

博士論文

近代木造建築の壁構法と構造性能に関する研究

木摺漆喰壁の構成要素と水平力抵抗機構

松本直之





## 論文の内容の要旨

論文題目 近代木造建築の壁構法と構造性能に関する研究  
木摺漆喰壁の構成要素と水平力抵抗機構

氏 名 松本 直之

幕末以来、西洋由来の技術が導入され建設された近代木造建築は、現代の木造軸組構法へ繋がる多様な技術や様式の受容過程を示す遺構であると同時に、登録文化財制度の整備以降、地域に根付いた文化資源としての価値が認知されつつある。しかし一方で、近代に建てられた木造建築には、伝統的な木造構法と新技術が混在した構法も多く、構造性能評価の基準や指標が未整備であるものが多い。そのため、例えば近年では東北地方太平洋沖地震による広域多数の被災建築物の復旧において、専門的技術者の関与しない改修における過剰な補強や不要な取り壊しが顕在化したことが報告されている。

一方、近代には木造建築に筋違や耐力壁の設置、金物での緊結による構造補強が進められたことは広く知られているが、なかでも主要な水平抵抗要素である壁構法は、新たな材料や構法の導入により多様な展開を見せた。これらの適切な補強、改修を行うためには、従前の構造性能を評価することが必要になる。しかし小舞土壁や板壁といった近世以前からある構法や、筋違、ラスモルタル壁などの現代の構法については実験の蓄積や解析方法の提案が行われ、評価方法が確立しつつあるのに対し、近代の壁に着目した研究は未だ少なく、実際には余力を見込むことのできる多様な壁が存在していると予想される。

なかでも本研究が着目する、目透かしに張った木板下地に漆喰を塗った壁である木摺漆喰壁は、近代木造の壁に広く用いられたことが知られているが、現在は実大試験による以外は、漆喰を考慮しない水平張りの場合の文献値を用いる他ない。一方で、既往の実験においては、漆喰による剛性上昇や漆喰破壊後の耐力の増加が報告されている。そのため、漆喰を含めた木摺壁の構造性能を解析的に評価することが出来れば、耐震診断や構造性能評価における耐力・偏心率等の適切な評価につながり、増加する近代木造建築の保存・改修に資すると考える。

以上の背景のもとに、本研究は、既往の地震被害にみられる特徴から近代木造の被害と構法との関係を明らかにすること、壁構法の構成要素に着目して変遷と分布を把握し、主要な近代以降の壁構法とその構造性能に影響する部材寸法の範囲を明らかにすること、これらを踏まえ、主要な耐力壁構法（木摺漆喰壁）の水平力抵抗機構を実験的に解明し、基礎的な構造性能として初期剛性、最大荷重に関する力学モデルを提示することを目的とした。

具体的には、第2章では近年の地震被害として2011年東北地方太平洋沖地震における近代木造建築の被害と構法の関係について現地調査を実施した。第3章では、近代木造の壁構法の構成要素の種類と分布、木摺壁の耐力に影響する部位の寸法変化の把握を目的として、文化財修理工事報告書の文献調査を実施した。第4章では、真壁水平木摺壁および大壁斜め木摺壁を対象とした静的加力試験を実施し、水平力抵抗機構の検討を行い、木摺部分の主要な抵抗要素に着目して、初期剛性と最大荷重の推定を目的とした力学モデルを提示した。第5章では、静的試験から把握された抵抗要素を対象とした要素実験を行い、その構造性能を明らかにした。第6章では、水平抵抗要素による力学モデルに要素実験結果を適用し、真壁水平木摺壁、および大壁斜め木摺壁に対する静的解析を実施し、実験結果との比較と適用条件の考察からその妥当性を検証した。

## 第1章：研究の背景、目的、方法

背景として近代木造建築の増加、構法的多様性を類型的に把握し、構造性能を明らかにして行くことの必要性について述べた。研究目的は、実際の地震被害と近代木造構法の関係、壁構法の構成要素に着目した構法の全体像の把握、主要な壁である木摺壁の構造性能の実験的検証に基づくモデル化であるとした。既往研究との関連では、近年行われた構法の分析研究との視角の違い、関連する耐力壁構法の研究との関連、木摺壁構法の研究の近年の動向との関連について述べた。

## 第2章：近代木造建築の地震被害調査

2011年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の地震被害調査を実施し、被害の傾向および特徴的な構法と被害の関係についてまとめた。

近代的構法に特徴的な被害として、石積の布基礎と、木摺漆喰壁の剥落被害があることを明らかにした。特に木摺漆喰の漆喰剥落被害の特徴として、木摺空きでの破壊と中塗り層での破壊が見られることを示した。また、剥落被害と構法の関係として、開口部との位置関係、下苧の真鍮釘による固定や、塗り材料の影響、漆喰と下地の空きに葎小舞が挿入されて定着を妨げている場合があること、などの特徴が確認された。

### 第3章：近代木造建築の壁構法の変遷および木摺壁の寸法分析

重要文化財を中心とした111棟の近代木造建築の壁構法の構成要素を文献調査から明らかにし、大壁・真壁の別や下地・仕上げの各層の組み合わせを分析した。特に、水平耐力に影響する外周壁構法の構成について、外周壁外側・内側それぞれの構法を整理した。外周壁全体の組み合わせとしては、木摺下地漆喰仕上げが全体の約20%を占め、最も多い構法であった。以上より、近代木造建築の代表的な壁構法の一つとして、内側：木摺漆喰・外側：間柱下見板の壁を抽出した。木摺壁の構造的な類型（真壁・大壁、水平・斜め・堅）、既往の木摺壁に関する構法的な知見を整理しその位置づけを確認した。

文献調査から得られた木摺下地の幅、厚さ、空き（目透かし）、木摺張の方向性、接合具の仕様について分析し、主要寸法の傾向と変遷、範囲を示し、次章以降の実大試験体のモデルとした建物の位置づけを行った。

### 第4章：木摺漆喰壁の実大静的加力試験

真壁木摺漆喰壁および大壁斜め木摺漆喰壁の水平力抵抗機構を明らかにすることを目的として実大静的加力試験を実施した。

真壁水平木摺壁の実験の結果、初期は同寸法の土壁と同程度の剛性を発揮し、荷重は最大経過後（1/60rad.）には脆性的に約6割まで低下するものの大変形では漸増した。本仕様では、幅木と鴨居による壁の分割の影響により、漆喰層の拘束条件が変化（幅木端部破損）し、初期剛性時には四周拘束による漆喰層の圧縮が、最大荷重時には左右拘束となり漆喰層の回転による木摺空き漆喰のせん断がそれぞれ支配的となるという抵抗機構を示すと推定された。これらの場合に対し、木摺の釘接合部の回転剛性と上記の2つの機構を考慮した初期剛性推定モデルと最大耐力推定モデルを提示した。

大壁斜め木摺壁の実験結果から、木摺のみでは荷重は漸増し1/30rad. 付近で釘の引き抜けによって荷重が低下した。漆喰を塗った場合は亀裂が入る1/450rad. までの初期剛性、木摺引張時の最大荷重に漆喰の影響が見られたが、斜め木摺と釘によるせん断抵抗の影響が大きい。また、下見板による木摺の座屈補剛の効果が確認された。木摺漆喰部分の主要な水平力抵抗機構として、釘接合部のせん断、木摺空きの漆喰のせん断、木摺引張方向加力の際の木摺空きの漆喰の圧縮を抵抗要素として指摘した。漆喰のせん断・圧縮の影響に関しては、試験体の漆喰の有無から差分に対して考察するにとどめ、全体のモデルとしては、斜め木摺の木摺と釘のせん断抵抗を考慮した解析モデルを提示した。

### 第5章：木摺壁の水平抵抗要素に関する要素実験

木摺漆喰壁の主要な水平抵抗要素であると推定した、木摺漆喰壁の釘接合部の回転抵抗及びせん断抵抗、木摺空きの漆喰のせん断抵抗、漆喰層の圧縮抵抗・せん断抵抗に関する要素実験を実施し、各抵抗要素のモデル化を行った。

## 第6章：木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の力学モデル

前2章の結果をもとに、木摺漆喰壁の主要な抵抗要素を考慮した力学モデルの構築と解析を行った。本モデルでは、木摺漆喰部分の寄与に着目し、ピン接合の剛体フレームに木摺が取り付けられ、軸組の耐力と足し合わせが可能であり、柱の曲げ変形は無視できるとの仮定のもとに解析を行った。

鴨居・幅木を持つ真壁水平木摺壁では、初期剛性モデル（鴨居の上下共に対角圧縮）では要素実験による木摺漆喰壁のせん断剛性を適用することで初期剛性は約8割の結果を得た。最大耐力モデル（鴨居の下は木摺空きのせん断）では漆喰層の回転によるモーメント抵抗を木摺空きのせん断強度から算出し、剛性は変形の仮定により過大に評価しているものの、最大荷重については約1.3倍の結果を得た。

大壁の斜め木摺壁を対象とした解析では、木摺のみの場合を対象として要素実験による釘接合部のせん断ばねを柱、間柱に適用した。解析の結果、初期剛性、最大荷重共に実験値の上下約2割程度の範囲の結果となり、回転剛性の適用により解析の適用範囲内では比較的よい一致をみた。

## 第7章：結論

本研究は、近代木造の地震被害に見る構法的特徴、現存する壁構法の種類と仕様を踏まえ、これまで困難であった木摺漆喰壁の漆喰を含めた構造性能評価の基礎的な研究として、実験による水平力抵抗機構の推定と、木摺漆喰部分による初期剛性と最大荷重を推定する力学モデルの構築を試みたものである。

真壁水平木摺壁では、漆喰層の拘束条件（幅木・鴨居）が抵抗機構に影響することを示し、漆喰層の対角圧縮と木摺空きのせん断という要素がそれぞれ変形初期および最大荷重時に支配的であるとして評価し、初期剛性、最大荷重共に一定の有効性を示した。

大壁斜め木摺壁では釘のせん断による寄与が大きく、接合部の変形量の分配を仮定することで、漆喰がない場合の初期剛性と最大荷重を要素実験から概ね推定することが出来た。

今後は、本研究では考慮していない、木摺空き漆喰と漆喰層の連動した挙動や軸材の変形挙動の他、木摺漆喰と軸組の応力分担や漆喰の材料強度の経年変化などについて検討を行う必要がある。

# 目次

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 第1章 研究の背景, 目的, 方法 .....            | 1-1   |
| 1.1. 研究の背景 .....                   | 1-2   |
| 1.2. 研究の目的 .....                   | 1-4   |
| 1.3. 研究の方法 .....                   | 1-5   |
| 1.4. 関連する既往研究と本研究の位置づけ .....       | 1-6   |
| 1.5. 本研究の構成 .....                  | 1-7   |
| 第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査 ..... | 2-1   |
| 2.1. 調査概要 .....                    | 2-2   |
| 2.1.1 調査対象と調査内容 .....              | 2-2   |
| 2.1.2 調査対象と付近の強震観測点の分布 .....       | 2-3   |
| 2.1.3 調査対象建物の構法と被害度の一覧 .....       | 2-5   |
| 2.2. 福島県の事例 .....                  | 2-6   |
| 2.2.1 ①旧伊達郡役所 .....                | 2-6   |
| 2.2.2 ②奥山家住宅 和館 (1921) .....       | 2-20  |
| 2.2.3 ③奥山家住宅 洋館 (1921) .....       | 2-32  |
| 2.2.4 ④旧亀岡家住宅 .....                | 2-40  |
| 2.2.5 ⑤旧廣瀬座 .....                  | 2-46  |
| 2.2.6 ⑥福島県迎賓館 (旧高松宮翁島別邸) .....     | 2-54  |
| 2.2.7 ⑦天鏡閣 (旧有栖川宮別邸) .....         | 2-61  |
| 2.2.8 ⑧旧福島県尋常中学校本館 (安積歴史博物館) ..... | 2-71  |
| 2.2.9 ⑨郡山市開成館 .....                | 2-85  |
| 2.2.10 ⑩旧南会津郡役所 .....              | 2-95  |
| 2.2.11 ⑪白河ハリストス正教会 .....           | 2-100 |
| 2.3. 宮城県の事例 .....                  | 2-103 |
| 2.3.1 ①旧登米高等尋常小学校校舎 (教育資料館) .....  | 2-103 |
| 2.3.2 ②旧登米警察署庁舎 (警察資料館) .....      | 2-118 |
| 2.3.3 ③旧水沢県庁庁舎 (水沢県庁記念館) .....     | 2-124 |
| 2.3.4 ④武家屋敷 (旧鈴木邸, 春蘭亭) .....      | 2-129 |
| 2.4. 岩手県の事例 .....                  | 2-133 |
| 2.4.1 ①岩手大学農学部 (旧盛岡高等農林学校本館) ..... | 2-133 |
| 2.5. 考察 .....                      | 2-143 |

|        |                             |       |
|--------|-----------------------------|-------|
| 2.6.   | 各建物の被害概要.....               | 2-144 |
| 2.6.1  | ①旧伊達郡役所（1883 建設） .....      | 2-144 |
| 2.6.2  | ②奥山家住宅 和館（1921） .....       | 2-144 |
| 2.6.3  | ③奥山家住宅 洋館（1921） .....       | 2-145 |
| 2.6.4  | ④旧亀岡家住宅 .....               | 2-145 |
| 2.6.5  | ⑤旧廣瀬座 .....                 | 2-146 |
| 2.6.6  | ⑥福島県迎賓館（旧高松宮翁島別邸） .....     | 2-146 |
| 2.6.7  | ⑦天鏡閣（旧有栖川宮別邸） .....         | 2-147 |
| 2.6.8  | ⑧旧福島県尋常中学校本館（安積歴史博物館） ..... | 2-147 |
| 2.6.9  | ⑨郡山市開成館 .....               | 2-148 |
| 2.6.10 | ⑩旧南会津郡役所.....               | 2-148 |
| 2.6.11 | ⑪白河ハリストス正教会.....            | 2-149 |
| 2.6.12 | ①旧登米高等尋常小学校校舎（教育資料館） .....  | 2-149 |
| 2.6.13 | ②旧登米警察署庁舎（警察資料館） .....      | 2-150 |
| 2.6.14 | ③旧水沢県庁庁舎（水沢県庁記念館） .....     | 2-151 |
| 2.6.15 | ④武家屋敷（旧鈴木邸，春蘭亭） .....       | 2-151 |
| 2.6.16 | ①岩手大学農学部（旧盛岡高等農林学校本館） ..... | 2-152 |
| 2.7.   | 調査対象全体の被害傾向 .....           | 2-153 |
| 2.8.   | 各部構法別の被害.....               | 2-156 |
| 2.8.1  | 調査対象建物に用いられた各部構法 .....      | 2-156 |
| 2.8.2  | 壁.....                      | 2-157 |
| 2.8.3  | 軸組（床束，壁内部は除く） .....         | 2-161 |
| 2.8.4  | 基礎.....                     | 2-162 |
| 2.8.5  | 小屋組 .....                   | 2-164 |
| 2.8.6  | 屋根.....                     | 2-164 |
| 2.8.7  | 水平構面.....                   | 2-164 |
| 2.8.8  | 建具.....                     | 2-164 |
| 2.8.9  | 地盤被害 .....                  | 2-164 |
| 2.9.   | 歴史的木造建築物の被害との比較.....        | 2-165 |
| 2.10   | （一般）木造建築物の被害との比較 .....      | 2-166 |
| 2.10.1 | 住宅・店舗併用住宅の振動被害 .....        | 2-166 |
| 2.10.2 | 大谷石の石積による高基礎を設けた木造住宅.....   | 2-166 |
| 2.10.3 | 土蔵造 .....                   | 2-166 |
| 2.10.4 | 倉庫・納屋 .....                 | 2-166 |
| 2.10.5 | 学校建築.....                   | 2-166 |
| 2.11.  | 第2章 まとめ .....               | 2-167 |

|   |       |
|---|-------|
| 第3章 近代木造建築の壁構法の構成要素および木摺下地の仕様・寸法の分析.....        | 3-1   |
| 3.1. 概要 .....                                   | 3-2   |
| 3.2. 分析方法.....                                  | 3-3   |
| 3.3. 壁構法の分布に関する調査結果 .....                       | 3-4   |
| 調査対象の内訳 .....                                   | 3-4   |
| 大壁・真壁の分類.....                                   | 3-4   |
| 外周壁外側の構法.....                                   | 3-6   |
| 外周壁内側の構法.....                                   | 3-8   |
| 外周壁構法全体の傾向.....                                 | 3-10  |
| 代表的な近代の壁構法の類型とその構造的な特徴：木摺漆喰壁 .....              | 3-11  |
| 木摺漆喰壁の構法 構造的観点からの分類 .....                       | 3-12  |
| 木摺・漆喰層の軸組に対する固定位置〔真壁・大壁〕： .....                 | 3-12  |
| 木摺の方向： .....                                    | 3-12  |
| 3.4. 木摺漆喰壁の構法に関する既往の知見.....                     | 3-13  |
| 3.5. 木摺漆喰壁の構成要素の寸法・仕様の分析 .....                  | 3-15  |
| 調査の対象と方法.....                                   | 3-15  |
| 木摺下地の寸法・仕様 分析結果.....                            | 3-17  |
| 第4章の壁実験のモデル建物の位置づけ .....                        | 3-20  |
| 3.6. 第3章 まとめ .....                              | 3-21  |
| 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験 .....                        | 4-1   |
| 4.1. 概要 .....                                   | 4-2   |
| 4.2. 木摺漆喰壁に関する用語の定義と構造性能に関する既往の知見の整理.....       | 4-3   |
| 4.2.1. 木摺漆喰壁の構法と用語の定義 .....                     | 4-3   |
| 4.2.2. 木摺漆喰壁の構造性能に関する既往の知見の整理.....              | 4-4   |
| 4.3. 真壁水平木摺漆喰壁の静的水平加力試験 .....                   | 4-10  |
| 4.3.1. 実験概要と本実験の水平木摺漆喰壁の位置づけ .....              | 4-10  |
| 4.3.2. 実験計画 .....                               | 4-12  |
| 4.3.3. 実験結果 .....                               | 4-31  |
| 4.3.4. 試験結果の考察 .....                            | 4-83  |
| 4.3.5. 真壁水平木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の推定と力学モデルの仮定・適用範囲 ..... | 4-89  |
| 4.4. 大壁斜め木摺漆喰壁の静的水平加力試験 .....                   | 4-110 |
| 4.4.1. 実験概要と本実験の斜め木摺壁の位置づけ .....                | 4-110 |
| 4.4.2. 実験計画 .....                               | 4-111 |

|        |   |       |
|--------|---|-------|
| 4.4.3. | 実験結果 .....                                  | 4-123 |
| 4.4.4. | 大壁斜め木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の推定と力学モデルの仮定・適用範囲<br>4-146 |       |
| 4.4.5. | 漆喰の負担荷重と寄与率の推定 .....                        | 4-157 |
| 4.4.6. | 既往研究との比較 .....                              | 4-158 |
| 4.4.7. | 斜め木摺を持つ近代木造建築の地震被害との比較 .....                | 4-159 |
| 4.5.   | 地震動被害と実験結果の破壊状況の比較による木摺壁の破壊挙動 .....         | 4-160 |
| 4.5.1. | 地震時の破壊挙動 .....                              | 4-160 |
| 4.5.2. | 静的実験における破壊挙動 .....                          | 4-160 |
| 4.6.   | 第4章 まとめ .....                               | 4-161 |
| 第5章    | 木摺漆喰壁の水平抵抗要素に関する要素実験 .....                  | 5-1   |
| 5.1.   | 概要 .....                                    | 5-2   |
| 5.1.1. | 想定する抵抗要素と実施する実験の模式図 .....                   | 5-2   |
| 5.1.2. | 実験概要 .....                                  | 5-4   |
| 5.1.3. | 試験体一覧 .....                                 | 5-5   |
| 5.2.   | 試験体図面および計測計画〔Sr4-6 試験は各試験結果報告中に記載〕 .....    | 5-6   |
| 5.2.1. | Sr1 モーメント抵抗とせん断抵抗に関する実験 .....               | 5-6   |
| 5.2.2. | Sr2 580 角小試験体 .....                         | 5-9   |
| 5.2.3. | Sr3 シリーズ .....                              | 5-11  |
| 5.3.   | Sr1 : 柱2本によるせん断実験 .....                     | 5-13  |
| 5.3.1. | 計測計画 .....                                  | 5-13  |
| 5.3.2. | Sr1 実験結果 .....                              | 5-15  |
| 5.4.   | Sr2 : 580 角小試験体によるせん断実験 .....               | 5-38  |
| 5.4.1. | 計測計画 .....                                  | 5-38  |
| 5.4.2. | 小試験体のせん断変形角 $\gamma$ の導出 .....              | 5-41  |
| 5.4.3. | 実験結果 .....                                  | 5-42  |
| 5.5.   | Sr3 : 斜め木摺の木摺 - 柱の一面せん断試験および座屈の検討 .....     | 5-63  |
| 5.5.1. | 試験体の仕様 .....                                | 5-63  |
| 5.5.2. | 計測計画 .....                                  | 5-64  |
| 5.5.3. | 実験結果 .....                                  | 5-65  |
| 5.5.4. | Sr3 試験結果の考察 .....                           | 5-69  |
| 5.6.   | Sr4 漆喰の一軸圧縮試験1 (第4章斜め木摺漆喰試験の漆喰) .....       | 5-74  |
| 5.6.1. | 実験概要 .....                                  | 5-74  |
| 5.6.2. | 漆喰の材料特性に関する既往研究 .....                       | 5-74  |
| 5.6.3. | 試験方法 .....                                  | 5-75  |



|        |  |       |
|--------|--|-------|
| 5.6.4. | 試験体 .....                                | 5-76  |
| 5.6.5. | 実験結果〔初期滑り補正後〕 .....                      | 5-78  |
| 5.6.6. | 漆喰の圧縮強度試験 まとめ .....                      | 5-87  |
| 5.7.   | Sr5 漆喰の一面せん断試験 .....                     | 5-88  |
| 5.7.1. | 実験概要 .....                               | 5-88  |
| 5.7.2. | 試験体仕様 .....                              | 5-89  |
| 5.7.3. | 計測計画 .....                               | 5-90  |
| 5.7.4. | 試験結果 .....                               | 5-91  |
| 5.7.5. | 実験結果の考察 .....                            | 5-93  |
| 5.7.6. | 漆喰の密度に関する考察 .....                        | 5-96  |
| 5.7.7. | Sr5 試験による下ごすり漆喰の一面せん断剛性のモデル .....        | 5-97  |
| 5.8.   | Sr6 漆喰の一軸圧縮試験 2（第 4 章真壁水平木摺漆喰壁の漆喰） ..... | 5-98  |
| 5.8.1. | 実験概要 .....                               | 5-98  |
| 5.8.2. | 試験体 .....                                | 5-98  |
| 5.8.3. | 計測計画 .....                               | 5-99  |
| 5.8.4. | 実験結果 .....                               | 5-100 |
| 5.8.5. | 破壊の進行 .....                              | 5-102 |
| 5.8.6. | Sr5 一面せん断試験との比較 .....                    | 5-103 |
| 5.9.   | 第 5 章 まとめ .....                          | 5-104 |
| 第 6 章  | 木摺漆喰壁の水平抵抗機構の力学モデル .....                 | 6-1   |
| 6.1.   | 概要 .....                                 | 6-2   |
| 6.2.   | 解析の対象とする木摺壁とその力学メカニズムの仮定、適用範囲 .....      | 6-3   |
| 6.2.1. | 真壁水平木摺漆喰壁の力学メカニズムの仮定と適用範囲 .....          | 6-3   |
| 6.2.2. | 大壁斜め木摺漆喰壁の力学モデルの仮定と適用範囲 .....            | 6-9   |
| 6.3.   | 各水平抵抗要素と要素実験の関係 .....                    | 6-12  |
| 6.3.1. | 釘の回転剛性およびせん断剛性による抵抗 .....                | 6-12  |
| 6.3.2. | 木摺空きの漆喰のせん断抵抗機構 .....                    | 6-15  |
| 6.3.3. | 四周拘束された木摺漆喰部分のせん断剛性 .....                | 6-23  |
| 6.4.   | 解析結果 .....                               | 6-24  |
| 6.4.1. | 真壁水平木摺漆喰壁の解析 .....                       | 6-24  |
| 6.4.2. | 大壁斜め木摺壁の解析 .....                         | 6-31  |
| 6.5.   | 考察 .....                                 | 6-38  |
| 6.6.   | 第 6 章 まとめ .....                          | 6-42  |

|  |     |
|--|-----|
| 第7章 結論 .....                               | 7-1 |
| 7.1 本研究のまとめ .....                          | 7-2 |
| 7.2 結語 .....                               | 7-6 |
| 7.3 今後の課題 .....                            | 7-7 |
| 参考文献 .....                                 | 1   |
| 第1章 研究の背景, 目的, 方法 .....                    | 1   |
| 第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査 .....         | 1   |
| 第3章 近代木造建築の壁構法の構成要素および木摺下地の仕様・寸法の分析 .....  | 2   |
| 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験 .....                   | 7   |
| 第5章 木摺漆喰壁の水平抵抗要素に関する要素実験 .....             | 9   |
| 付録: .....                                  | 1   |
| 概要: 大壁斜め木摺漆喰における木摺空きの漆喰のせん断と圧縮に関する検討 ..... | 2   |
| 1. 木摺空き漆喰のせん断による初期剛性の検討 .....              | 5   |
| 1.1 木摺空き漆喰のせん断抵抗機構の仮定 .....                | 5   |
| 1.2 木摺空き漆喰のせん断による初期剛性 解析結果 .....           | 7   |
| 2. 斜め木摺引張方向の木摺空きの縮みによる圧縮抵抗 .....           | 9   |
| 2.1 木摺空きの縮みによる圧縮抵抗の仮定 .....                | 9   |
| 2.2 斜め木摺引張方向の木摺空きの縮みによる圧縮抵抗 解析結果 .....     | 11  |

## 第 1 章 研究の背景, 目的, 方法

### 1. 第 1 章 研究の背景, 目的, 方法

### 1.1. 研究の背景

幕末以来, 西洋由来の技術が導入され建設された近代木造建築<sup>1</sup>は, 現代の木造軸組工法へ繋がる多様な技術や様式の受容過程を示す遺構であると同時に, 登録文化財制度の整備以降, 地域に根付いた文化資源としての価値が認知されつつある。

しかし一方で, 近代に建てられた木造建築には, 伝統的な木造構法と, 新技術が混在した構法が多いことが知られており<sup>2</sup>, 構造性能評価の基準や指標が未整備であるものも多い。そのため例えば近年では, 東北地方太平洋沖地震による広域多数の被災建築物の復旧において, 専門的技術者の関与しない改修における過剰な補強や不要な取り壊しが顕在化していることが報告されている<sup>3</sup>。近代木造建築の多様な構法に応じた構造性能評価方法が確立しておらず, また少数の文化財専門技術者以外にはその構法を把握し, 耐震性能を診断することが困難である現状に鑑みれば, 構造性能評価指標を確立するための基礎的な研究として, 主要な構造要素の構法の実態を把握するとともに, 構造性能を実験的検証に基づいて評価し, 汎用的な評価方法を提出することが重要であると考えられる。

近代以降, 木造建築にも筋違や耐力壁の設置, 金物での緊結による構造補強がすすめられたことは広く知られているが, なかでも主要な水平抵抗要素である壁構法は, 煉瓦等の新材料に加えて, 木摺壁や筋違といった新たな木質構法が導入され, 多様な展開を見せたことが知られており, また保存における耐震補強では, 水平耐力や偏心の改善のため, 壁の改修が挙げられることも多い。これらの適切な補強, 改修を行うためには, 従前の構造性能を評価することが必要になるが, 小舞土壁や板壁といった近世以前からある構法や, 筋違, ラスモルタル壁などの現代の構法については実験, 解析方法の提案が行われており評価方法の策定が進みつつあるが, 近代の壁に着目した研究は未だ少なく, 余力を評価しうる壁が多く存在していることが予測される。

その中で, 本研究が着目する, 目透かしに張った木板下地に漆喰を塗った壁である木摺漆喰壁は, 近代木造の壁に広く用いられていることが知られているが, 現在はその構造性能を評価するには, 実大試験を行うか, 文献に依拠するしかない。これまで使用可能であった文献には, 大壁の水平木摺壁を対象とした, 基準法施行令第46条の壁倍率や, 『木造住宅の耐震診断と補強方法(2012年版)』の標準骨格曲線があるが, これらの性能には漆喰の効果は含まれていない。また, 斜め木摺は木摺釘のみの評価方法も提案されていない。他方で, 既往の研究においては, 漆喰によって剛性が上昇する効果が確認されており, また漆喰破壊後の剛性上昇の可能性も指摘されている。漆喰を含めた木摺漆喰壁の構造性能評価が可能となれば, 耐震診断, 構造性能評価における耐力・偏心率等の適切な評価につながり, 適切な補強の量, 補強箇所の検討に寄与すると考えられる。その都度の実験検証によって改修は可

<sup>1</sup>本研究では, 幕末以降第二次世界大戦まで(1856~1945)に建設された木造建築を近代木造建築と定義する。

<sup>2</sup>村松貞次郎, 日本近代建築技術史, 彰国社, 1976

<sup>3</sup>建築史学会 2012 年大会記念シンポジウム「災害と建築史学」。なお文化財被害 725 件中 420 件が登録文化財である(文化庁 2011.8.26)

## 第1章 研究の背景, 目的, 方法

能であるが, 形状によらない解析的な評価手法・理論の構築が, 増加する近代木造建築の修理や改修に資すると考える.

## 第1章 研究の背景, 目的, 方法

### 1.2. 研究の目的

以上の背景のもとに, 本研究は以下の目的で研究を実施した.

i) 既往の地震被害調査から, 近代木造建築の地震被害の傾向を抽出し, 破壊性状と構法の関係を明らかにすることで, 構造性能の観点から着目すべき構法の特徴を示す.

ii) 近代木造建築の壁構法について, 構成要素の組み合わせに着目してその種類や使用率, 変遷を明らかにする. 主要な壁(木摺漆喰壁)の構成要素の類型を抽出し, その構造的な特徴を整理したうえで, 壁の構成要素の仕様・寸法に着目し, 構造性能に影響する部材の寸法の範囲を明らかにする.

iii) 真壁水平木摺, および大壁斜め木摺の各木摺漆喰壁の水平力抵抗機構とその力学モデルを実験・解析に基づいて提案する. これにより, 従来は評価の困難であった, 木摺漆喰壁の漆喰を含めた構造性能評価の基礎的段階として, 初期剛性と最大荷重に着目した解析を可能とすることを目的とする. 初期剛性, 最大耐力が評価できることで, 初期剛性は弾性解析, 構造設計時の偏心率の評価や許容応力度設計における壁倍率の算定などに, また最大荷重は壁体の最大強度の推定, 風荷重の検討に使用することが想定される.

### 1.3. 研究の方法

本研究は以下の5段階で実施した。研究方法を対応する目的と併せて以下に示す。

- ・目的1：近代木造建築の地震被害と構法の関係
  - ① 近代木造建築の振動被害調査：地震被害と構法的特徴の関係を把握するため、近年の地震被害として2011年東北地方太平洋沖地震における近代木造建築の被害について現地調査を実施した（第2章）。
- ・目的2：近代木造建築の壁構法 構成要素に着目した仕様・寸法の変遷の解明
  - ② 近代木造の壁構法の仕様・寸法の分布に関する分析：壁構法の種類と分布、主要構法の耐力に影響する構成要素の寸法変化の把握を目的として、文化財修理工事報告書の文献調査および現地調査を実施した。外周壁、間仕切り壁の構法を抽出し、その使用率を示し、また代表的な構法（木摺壁）の構成要素について、寸法の変化を明らかにした。（第3章）
- ・目的3：木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の解明と力学モデルの構築
  - ③ 静的加力試験に基づく木摺漆喰壁の力学メカニズムの検討：真壁水平木摺漆喰壁および大壁斜め木摺漆喰壁の基礎的な構造性能と力学メカニズムを明らかにするため、実大試験体による静的加力試験を実施した。実験結果の分析から、木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の推定を行い、初期および最大荷重時に着目したモデル化を行った（第4章）
  - ④ 静的試験に基づく力学モデルにおいて考慮する水平抵抗要素に対して要素実験を行い、各抵抗要素の構造性能のモデル化を行った（第5章）。
  - ⑤ 木摺漆喰壁の力学モデルの提示：上記の解析モデルに抵抗要素のモデルを適用し、実験結果との比較から、提案したモデルの妥当性を検証した。（第6章）

### 1.4. 関連する既往研究と本研究の位置づけ

近代木造建築の構法を体系的に分析した研究として、佐久間（文 1-1）、源（文 1-2）、が近年の主要な成果として挙げられる。前者は、43 件の近代洋風建築の修理工事報告書を調査し、洋風壁構法の層構成の変遷を明らかにしたものであり、後者は壁、基礎、軸組、筋違、小屋組等の明治から戦前までの各部構法の変遷を 59 件の修理工事報告書、及び当時の技術書から明らかにしたものである。本研究は、両者の成果を参照しつつ、特に耐力壁の変遷に着目し、構造的な観点から分類と分布について考察を行い、寸法の変遷についても検討を行う。また、本研究の調査では、近年修理がすすめられ、資料の刊行が進んできた近代和風建築も対象とし、現在分かる限りでの近代木造の壁の全体像の提示を試みている。

また、耐力壁の構造性能に関する研究は、河野（文 1-3）に始まる実験的研究以来、数多く行われてきた。小舞土壁や板壁といった近世以前からある構法や、筋違、ラスモルタル壁などの現代の構法については実験、解析方法の提案が行われており評価方法の策定が進みつつあるが（文 1-7 など）、近代の壁に着目した研究は未だ多くない。本研究後半の主要な対象である木摺壁に関する構造的な研究は、戦前は一般の住家にも多く使用されていたため、当初は伝統的な土壁と比較する形で、柱間 1 間分を対象とした構造性能の把握と補強工法の提案を目的とした実験が複数実施された（文 1-4 など。第 4 章に詳述）。戦後は、より実際の建物における挙動を把握するため、壁の縦横比や開口部を持つ場合の性能に関する研究が実施されるようになった（文 1-5）。その後、90 年代から 2000 年代前半には個別の建物の構造性能評価を目的とした特定の仕様の実験が散見される程度であったが、2000 年代後半からは、文化財建造物を含めた耐震診断指針や伝統的構法による設計法の検討（文 1-6）が行われる中で、木摺壁を対象とした実験が複数実施され、木摺のみならず漆喰の影響に関する研究も開始されてきた。

しかし、現在に至るまで木摺漆喰壁の漆喰を含めた力学的挙動や、水平力抵抗機構に着目した研究は少なく、その構成要素の構法や寸法の与える影響に関する検討も未検討の事項が多い。そのため、木摺壁を使用した建物の構造性能評価や設計にあたっては、特定の実験結果を使用するか、基準法施行令 46 条や、上述の耐震診断指針の基準値を使用するにとどまっており、木摺壁の仕様に対応した柔軟な構造性能の略算・検討は困難である。一方で、本論第 3 章に示すように、木摺壁は近代建築において多数用いられていたと考えられ、今後増加すると想定される建造物修理や耐震改修における構造性能評価においては、検討の基礎的資料となりうるデータや、耐力推定手法の確立は急務であると考えられる。



## 第1章 研究の背景, 目的, 方法

### 1.5. 本研究の構成

本研究の構成と各章の概要を以下に示す.

#### 第1章：背景・目的・方法

#### 第2章：近代木造建築の振動被害に関する現地調査

- 2011年東北地方太平洋沖地震の現地調査…振動被害と構法の関係
- 地震振動被害に見る近代木造建築構法の特性の把握…検討すべき構法の抽出

#### 第3章：近代木造建築の壁構法の仕様寸法の分析

- 修理工事報告書に基づく壁構法の構成要素分析…壁構法の仕様の割合
- 木摺漆喰壁の寸法分析…寸法・形状の変遷

#### 第4章：木摺漆喰壁の静的加力試験

- 木摺漆喰壁の構造性能に関する既往研究の検討
- 真壁水平木摺壁の静的加力試験
- 水平力抵抗機構の分析に基づく力学モデルの提案（真壁水平木摺壁）
- 大壁斜め木摺漆喰壁の静的加力試験
- 水平力抵抗機構の分析に基づく力学モデルの提案（大壁斜め木摺壁）

#### 第5章：木摺漆喰壁の水平抵抗要素の要素実験

- 柱2本せん断による釘接合部の回転剛性試験…木摺と釘の回転抵抗
- 580角せん断試験体による純せん断試験…漆喰を含めたせん断抵抗
- 斜め木摺の一面せん断試験…斜め木摺の釘のせん断抵抗
- 漆喰の一軸圧縮試験…漆喰の材料特性（圧縮強度）
- 漆喰の一面せん断試験…漆喰の材料特性（せん断強度）

#### 第6章：木摺漆喰壁の力学モデルの構築

- 要素実験と力学モデルの対応関係
- 水平木摺真壁のモデルと解析結果
- 斜め木摺漆喰壁のモデルと解析結果

#### 第7章：結論

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

**第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査**  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

## ■調査概要

本章では、本研究の対象とする近代木造建築の実際の地震動被害における被害事例調査を行い、一般の木造建築、近世以前の歴史的建造物の被害と比較した近代的構法の被害の特徴を明らかにすることを目的とする。具体的には、平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方の近代木造建築に対して行った被害事例調査の結果について述べる。

### 2.1.1 調査対象と調査内容

平成23年東北地方太平洋沖地震によって、震動被害を受けた福島・宮城・岩手県の近代木造文化財のうち、全ての国指定重要文化財（7件）、県指定重文5件、町指定有形文化財（2件）、国登録文化財（1件（2棟））の計15件16棟について、聞き取りと実測を含む被害調査を実施した（図2-1）。

なお、福島県所在の奥山家住宅に関しては、登録としては1件だが、和館、洋館で構造形式、被害共に異なるため2棟を別に集計し調査結果をまとめた。

#### 調査内容

- ・東北地方太平洋沖地震による震動被害、被災度判定等の聞き取り調査。
- ・改修計画内容の聞き取り、改修現場の見学。
- ・被災、改修時の写真資料の入手。
- ・対象建物の周辺被害に関する調査。
- ・最も近い強震観測点付近の写真、地震被害状況の調査。

#### 被害度の判定

また、被害調査結果をまとめ、被害度を部分被害、半壊、不明に分類した。判定基準は岡田らによる建物の破壊パターン<sup>1</sup>に準拠し、部分被害は屋根、壁の亀裂・剥落があるが構造に被害は無いもの、半壊は主体構造にも損傷が及んでいるが、内部空間の欠損が生じていないものとした。

但し、基礎のはらみ出し、全面的な壁の塗り直しが必要なレベルの壁剥落が起きている場合は復旧可能性を考慮して半壊とした。

#### 調査日時

2011年8月1－3日、2011年9月26－29日、2012年1月30日－2月5日、2012年8月18－24日。

---

<sup>1</sup> 岡田成幸、高井伸雄「地震被害調査のための建物分類と破壊パターン」日本建築学会構造系論文集、1999.10

### 2.1.2 調査対象と付近の強震観測点の分布

調査対象は、福島県、宮城県、岩手県の明治以降建設の全ての木造重要文化財とその周辺の近代木造文化財として下記の16棟とした。図2-1に、調査対象の所在地と付近の強震観測点を図示した。

#### 福島県

郡山市 旧福島尋常中学校（安積高校）、郡山開成館

猪苗代町 天鏡閣、福島県迎賓館

福島市 旧廣瀬座（福島市民家園）

桑折町 旧伊達郡役所

国見町 奥山家住宅和・洋館

伊達市 旧亀岡家住宅

南会津町 旧南会津郡役所

白河市 白河ハリストス正教会

#### 宮城県

登米市 旧登米高等尋常小学校、旧登米警察署、水沢県庁記念館、春蘭亭

#### 岩手県

盛岡市 旧盛岡高等農林学校本館（岩手大学農学部）



図 2-1 調査対象と付近の強震観測点の分布（Google Map を加工）

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

対象建物周辺の計測地震動

対象建物付近の k-net(hi-net)観測点の本震最大加速度，気象庁計測震度を以下に示す。

表 2-1 調査対象付近の強震観測点における本震の最大加速度，気象庁計測震度

|                  | 指定名 | 岩手大学農学部<br>(旧盛岡高等農林学校)           | 旧登米高等尋常小学校校舎<br>(教育資料館)          | 旧登米警察署庁舎<br>(警察資料館)              | 旧水沢県庁庁舎<br>(水沢県庁記念館)             | 武家屋敷<br>(旧鈴木邸 春蘭亭)               | 旧伊達郡役所   | 奥山家住宅 和館                                | 奥山家住宅 洋館                                | 旧亀岡家住宅                                  | 旧広瀬座                 | 旧高松宮翁島別邸<br>(福島県迎賓館)            | 天鏡閣<br>(旧有栖川宮別邸)                | 旧福島県尋常中学校本館<br>(安積歴史博物館)    | 郡山市開成館                      | 旧南会津郡役所                         | 白河ハリストス正教会                        |
|------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|---|---|---|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 気象庁計測震度          |     | 5強                               | 6弱                               | 6弱                               | 6弱                               | 6弱                               | 6弱   | 6強                                      | 6強                                      | 5強                                      |                      |                                 |                                 |                             | 6弱                          |                                 |                                   |
| 強震観測点            |     | IWT018(K-net盛岡)                  | K-net豊里<br>(MYG007)              | K-net豊里<br>(MYG007)              | K-net豊里<br>(MYG007)              | K-net豊里<br>(MYG007)              | K-net梁川<br>(FKS002)<br>・K-net福島<br>(FKS003)  | K-net梁川<br>(FKS002)                     | K-net梁川<br>(FKS002)                     | K-net梁川<br>(FKS002)                     | Hi-net福島<br>(FKSH16) | K-net猪苗代<br>(FKS020)            | K-net猪苗代<br>(FKS020)            | K-net郡山<br>(FKS018)         | K-net郡山<br>(FKS018)         | K-net下郡<br>(FKS025)             | K-net白河<br>(FKS016)               |
| 調査対象との距離         |     | 2.2km                            | 7.9km                            | 7.6km                            | 7.8km                            | 7.8km                            | 梁川:<br>7.2km<br>福島:<br>9.8km   | 6.0km                                   | 6.0km                                   | 3.9km                                   | 4.0km                | 6.5km                           | 6.3km                           | 1.1km                       | 0.9km                       | 16.5km                          | 1.9km                             |
| 本震最大加速度<br>(gal) |     | NS 162.9<br>EW 248.7<br>UD 111.7 | NS 568.0<br>EW 650.9<br>UD 242.7 | NS 568.0<br>EW 650.9<br>UD 242.7 | NS 568.0<br>EW 650.9<br>UD 242.7 | NS 568.0<br>EW 650.9<br>UD 242.7 | 梁川:<br>NS 477.8<br>EW 556.9<br>UD 196.4<br>福島:<br>NS 327.5<br>EW 298.5<br>UD 149.8 | 梁川:<br>NS 477.8<br>EW 556.9<br>UD 196.4 | 梁川:<br>NS 477.8<br>EW 556.9<br>UD 196.4 | 梁川:<br>NS 477.8<br>EW 556.9<br>UD 196.4 |                      | NS 241.5<br>EW 275.6<br>UD 96.0 | NS 241.5<br>EW 275.6<br>UD 96.0 | NS 745<br>EW 1069<br>UD 457 | NS 745<br>EW 1069<br>UD 457 | NS 97.0<br>EW 146.9<br>UD 137.3 | NS 1295.1<br>EW 948.8<br>UD 440.7 |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

2.1.3 調査対象建物の構法と被害度の一覧

2-2以降で各建物の概要、構法、被害について述べるが、本項にも対象の構法一覧と各部構法の被害程度、これらを考慮した被害度を掲載する。軸部構法のみ、部材単位での有無とし、その他は採用した構法を示した。各部構法の被害は基礎・土台では亀裂を被害少、移動、沈下を被害大、軸部では軽微亀裂・移動を被害少、折損・脱落を被害大、壁では小規模亀裂・剥落を被害少とし、これらをまとめて全体の被害度を判定した。

表 2-2 調査対象建物と被害度一覧

| 建物名称 | 春蘭亭       | 旧水沢県庁舎 | 郡山市開成館       | 旧伊達郡役所    | 旧南会津郡役所    | 旧廣瀬座     | 旧登米高等尋常小学校 | 旧登米警察署庁舎         |
|------|-----------|--------|--------------|-----------|------------|----------|------------|------------------|
| 建設年  | 1800      | 1871   | 1874         | 1883      | 1885       | 1887     | 1888       | 1889             |
| 被害度  | 半壊        | 半壊     | 半壊           | 半壊        | 部分被害       | 部分被害     | 半壊         | 半壊               |
| 建物名称 | 旧福島県尋常中学校 | 旧亀岡家住宅 | 天鏡閣（旧有栖川宮別邸） | 旧盛岡高等農林学校 | 白河ハリストス正教会 | 奥山家住宅 和館 | 奥山家住宅 洋館   | 旧高松宮翁島別邸（福島県迎賓館） |
| 建設年  | 1889      | 1904   | 1908         | 1912      | 1915       | 1921     | 1921       | 1922             |
| 被害度  | 半壊        | 部分被害   | 半壊           | 部分被害      | 不明         | 半壊       | 部分被害       | 部分被害             |

表 2-3 調査対象建物の構法と各部構法の被害程度

（オレンジ色：被害大、黄色：被害小 オレンジの各部構法被害のあるものを被害度：半壊と判定）

|                  | 建設年  | 被害度  | 基礎・土台          |            |          |         | 軸部 |          |           |            |    |        | 壁       |          |       |         | 小屋組     |         |     |        | その他              |         |        |       |
|------------------|------|------|----------------|------------|----------|---------|----|----------|-----------|------------|----|--------|---------|----------|-------|---------|---------|---------|-----|--------|------------------|---------|--------|-------|
|                  |      |      | 石場建（側布敷石土台も含む） | 側のみ布基礎2段以上 | 側・内部共有基礎 | 基礎土台の繋結 | 伝統 | 通柱/管柱    | 銅繋        | 筋違         | 間柱 | 貫      | 木舞+土壁   | 木摺+漆喰/土壁 | 下見板   | その他     | キングポスト  | クイーンポスト | 和小屋 | その他    | 火打               | 金物      | 屋根葺材   |       |
| 春蘭亭              | 1800 | 半壊   | ○              | ×          | ×        | ×       | ○  | ×        | ×         | ×          | ×  | ○      | ○       | ×        | ×     | ×       | ×       | ○（推定）   | ×   | ×      | 不明               | 不明      | 土葺瓦    |       |
| 旧水沢県庁舎           | 1871 | 半壊   | ○              | ×          | ×        | 不明      | ○  | ×        | 不明        | ×          | ×  | ○      | ○       | ×        | ○     | ×       | 不明      |         |     |        | 不明               | 不明      | 桧瓦葺    |       |
| 郡山市開成館           | 1874 | 半壊   | ○              | ×          | ×        | ×       | ×  | 2本のみ通柱   | ×         | ○（増強時たすき葺） | ×  | ○      | ○       | ×        | ×     | ×       | ×       | ○       | ×   | ×      | ○                | 鉄板葺     |        |       |
| 旧伊達郡役所           | 1883 | 半壊   | ×              | ○          | ×        | ×       | ×  | ○        | ○         | ×          | ○  | ○（付属風） | ○（付属風）  | ○（弱め）    | ○     | ×       | ○       | ×       | ×   | ○（対策）  | ×                | ○       | 土葺瓦    |       |
| 旧南会津郡役所          | 1885 | 部分被害 | ○              | ×          | ×        | 不明      | ×  | ○        | ○         | ×          | ○  | ×      | ×       | ○        | ○     | ×       | ×       | ×       | ×   | ×      | 不明               | 不明      | トタン葺   |       |
| 旧廣瀬座             | 1887 | 部分被害 | ○              | ×          | ×        | ×       | ○  | ×        | ×         | △（移築時ブレース） | ×  | ○      | ○       | ×        | ×     | ×       | ○       | ×       | ×   | ×      | ×                | 木羽葺     |        |       |
| 旧登米高等尋常小学校       | 1888 | 半壊   | ○（側・内土台）       | ×          | ×        | ×       | ×  | ○（力柱に被り） | ×         | ×          | ×  | ○      | ○       | ×        | ○     | ×       | ○       | ×       | ×   | ×      | ×                | ○       | 土葺瓦    |       |
| 旧登米警察署庁舎         | 1889 | 半壊   | ×              | ○          | ×        | 不明      | ×  | 不明       | 不明        | 不明         | ×  | ×      | ○（水平）   | ○        | ×     | ×       | 不明      |         |     |        | 不明               | 不明      | 桧瓦葺    |       |
| 旧福島県尋常中学校        | 1889 | 半壊   | ×              | ○          | ×        | ×       | ×  | ○        | ○（段間一枚）   | ○          | ○  | ×      | ○（弱+水平） | ○        | ×     | ○       | ○（増築部）  | ×       | ×   | ×      | ×                | 棟以外空瓦葺止 |        |       |
| 旧亀岡家住宅           | 1904 | 部分被害 | ×              | ○          | ×        | ○       | ×  | ○        | ○         | ×          | ×  | ○      | ○       | ×        | ○     | ×       | ○（不完全）  | ×       | ×   | ○（2階床） | ○                | 土葺瓦     |        |       |
| 天鏡閣（旧有栖川宮別邸）     | 1908 | 半壊   | ×              | ×          | ○        | ○       | ×  | ○        | ○（厨壁張り直し） | ○          | ×  | ×      | ○（水平）   | ○        | ×     | ○       | ×       | ×       | ×   | ×      | ×（裏面シンサード・命題トラス） | ○       | スレート葺  |       |
| 旧盛岡高等農林学校        | 1912 | 部分被害 | ×              | ○          | ×        | ○       | ×  | ○        | ○         | 新型／型       | ○  | ×      | ×       | ○        | ○     | ×       | ○（力付付）  | ×       | ×   | ×      | ×                | ○       | スレート葺  |       |
| 白河ハリストス正教会       | 1915 | 不明   | ×              | ○（内部不明）    | ×        | ×       | ×  | 不明       | 不明        | 不明         | 不明 | ×      | ○       | ○        | ×     | ×       | 一部ボード下地 | ×       | ×   | ×      | ×                | ×       | 鉄板葺    |       |
| 奥山家住宅 和館         | 1921 | 半壊   | ○              | ×          | ×        | ×       | ×  | ○        | ×         | ×          | ×  | ×      | ○       | ×        | ×     | 一部ボード下地 | ×       | ×       | ○   | ×      | ×                | 不明      | 土葺瓦    |       |
| 奥山家住宅 洋館         | 1921 | 部分被害 | ×              | ○          | ×        | ×       | ×  | ○        | ○         | ○          | ○  | ×      | ○（内）    | ×        | ×     | 石貼り     | ○       | ×       | ×   | ×      | 八角擦縁             | ○       | ○（ボルト） | スレート葺 |
| 旧高松宮翁島別邸（福島県迎賓館） | 1922 | 部分被害 | ○              | ×          | ×        | ×       | ×  | ○        | ×         | ×          | ×  | ○      | ○       | ×        | ○（一部） | ×       | ×       | 不明      |     | ×      | ×                | 不明      | 不明     | 銅板葺   |

## 福島県の事例

### 2.2.1 ①旧伊達郡役所

|      |                                 |  |
|------|---------------------------------|--|
| 所在地  | 伊達郡桑折町                          |  |
| 基本情報 | 重文                              |  |
| 竣工年  | 1883                            |  |
| 修理年  | 1977-79                         |  |
| 修理内容 | 半解体、搭屋復元のため2階小屋に鉄骨補強、壁仕様は当初と同様。 |  |
| 構造種別 | 木造一部2階建、玄関・塔屋付                  |  |
| 建築面積 | 375.8 m <sup>2</sup>            |  |
| 設計   | 不明                              |  |
| 施工   | 山内幸之助・銀作                        |  |

#### 構法

- ・基礎：側廻り及び「大事務室」西側柱筋、「小事務室」南側柱筋下は、布石基礎延切石三段積、他は自然石据。
- ・土台：下屋、側柱、間仕切柱全て土台建て。
- ・軸部：基礎上に土台。柱ほぞ差し、胴差、二階柱、敷桁、楣、窓台で固める。
- ・胴差：有（一重型）、窓マグサ型
- ・筋かい：無
- ・間柱：有（洋型）
- ・貫：無（但し楣・窓台などで固める）
- ・壁：外は下見板、内は木摺漆喰（外周斜め、間仕切り水平）
- ・天井：板張り＋紙張り
- ・小屋組：キングポストトラス
- ・屋根：野地、土居葺、桟瓦葺（土有）
- ・金物：端部金物、鉄骨補強（2階、小屋裏、1977-1979修理工事時）

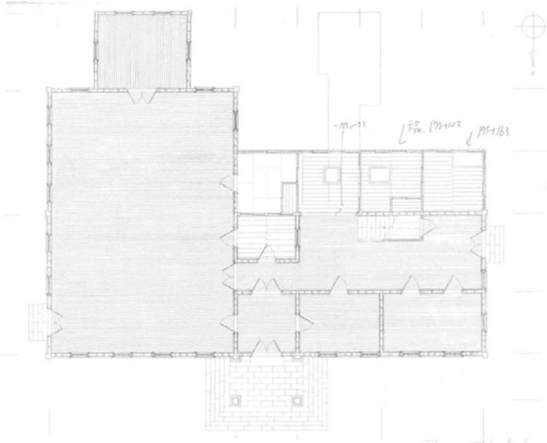
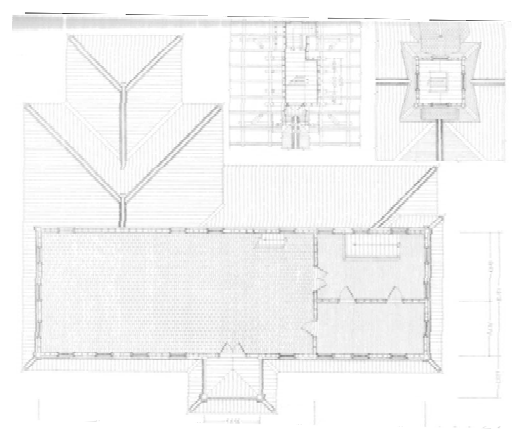
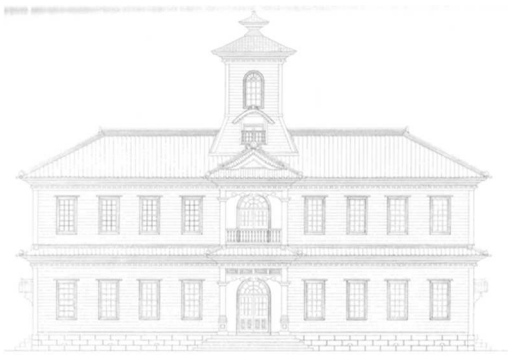

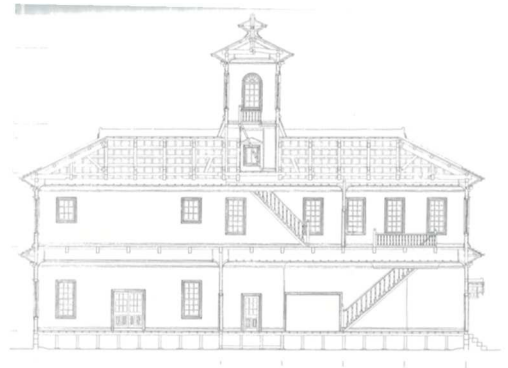

#### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：6弱
- ・強震観測点：K-net 梁川(FKS002)・K-net 福島(FKS003)
- ・調査対象との距離：（梁川）7.2km、（福島）9.8km
- ・本震最大加速度（gal）：（梁川）NS 477.8, EW 556.9, UD 196.4  
（福島）NS 327.5, EW 298.5, UD 149.8



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

図面

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>平面図（1階）</p>  | <p>平面図（2階）</p>   |
|   |   |
| <p>立面図（正面）</p>  | <p>立面図（東側面）</p>  |
|  |  |
| <p>断面図（桁行）</p>  | <p>断面図（梁間）</p>   |



### 主な被害

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：内側漆喰壁1，2階とも亀裂，剥落．基礎石孕み出し（基礎内部被害不明）
- ・主な被災部位：壁・基礎
- ・復旧計画：有
- ・設計者：文建協
- ・施工者：未定
- ・内容：2012年内開始予定

### 調査結果

旧伊達郡役所は明治16年に建設された木造2階一部塔屋・付属屋付の木造郡役所建築である．構法的な特徴として，側廻りのみの積石布基礎（3段積），その上に引き回した土台の上に通柱，管柱，間柱を柄差しで建て，窓台・窓マグサを延長した胴繫で各層横を固め，敷桁で上を留める．壁は外周が斜め木摺漆喰下見板貼り，間仕切り壁は両面水平木摺，付属屋は真壁の土壁・下見板壁である．屋根はキングポストトラスを用い，頂部は金物で留め，現在は吊金物も挿入されている．平面はL字型で正面の□部分のみ2階建である．

また正面入り口が北側である．木摺漆喰壁は第2章の文献調査結果などからも代表的な近代木造建築の壁構法であると言える．また，積石布基礎を外周のみに用いる基礎構法は文献調査から，主に1880年代後半までに用いられた構法であることも判明している．窓楣・窓台を延長する胴差は山形・福島県で三島通庸県令下（明治10年代）に良く見られる構法とされており，今回の被害調査対象では旧福島尋常中学校にも見られる．

地震被害は，詳細調査を2011年8-9月に実施した．主な被害は木摺壁の剥落と基礎の隅部分でのはらみ出しであった．壁の損傷や浮き上がりは全面に見られるが，短辺方向や階段脇部分といった部分で集中した剥落が見られた．軸部の損傷は玄関ベランダの柱に亀裂と移動が見られたが軽微であったと言える．小屋組には被害は見られず，屋根瓦の落下も少なかった．また，付属屋は和風建築であるがこれとの接続部である階段脇壁の剥落が激しい．但し，5章以降も詳述するように，この原因は複数考えられる．

壁の剥落状態からは，木摺の付着に関する釘や下げ苧の効果に関する知見や変形角の推定（5-4）に関する知見が得られた．

詳細被害調査

■外部被害

・積石基礎の亀裂と移動

主屋北西隅（北へ最大47mm）

主屋北東隅 亀裂

主屋南東隅（東へ20mm）

郡長室 南東隅10mm 南西隅8mm・15mm 北西8mm

主屋事務室南西隅柱の礎盤が14, 7mm移動

主屋南西 7mm

主屋西 一部はらみ 階段損傷

|  |   |
|--|---|
|  |  |
| 外周積石布基礎の外側へのはらみ出し  | 隅部分は石貼りもされている   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

■外部 エントランス

石畳前方に移動

壁と柱の取り合い亀裂（左 23mm，右 60mm）

前方柱2本亀裂

小壁（木摺漆喰）の隅剥落



エントランス 石畳の移動



玄関前方柱の亀裂

■内部被害 1階

・漆喰壁，亀裂，剥落

・ドアガラス亀裂



西側壁の剥落



1階 大事務室亀裂，浮き上がり

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

■内部被害 1階 付属屋

- ・漆喰壁，亀裂，剥落
- ・主屋に比べて被害軽微

|  |  |
|--|--|
|  |  |
| <p>付属屋 土壁の亀裂被害は比較的少ない</p>  | <p>隅部などに亀裂被害</p>   |

■内部被害 1階

- ・漆喰壁，亀裂，剥落
- ・ドアガラス亀裂

|   |
|---|
|  |
| <p>1-2 階階段部分脇壁の剥落</p>   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

■内部被害 2階

- ・漆喰壁，亀裂，剥落
- ・ドアガラス亀裂
- ・天井紙の剥離

|   |   |
|---|---|
|    |   |
| 2階西側 間仕切り壁の剥落   | 2階西側 外周壁の剥落   |
|   |  |
| 2階旧議会室 壁の亀裂，剥落  | 天井紙の破れ  |
|  |   |
| 2階 旧議会室隅の壁の剥落   |   |

- 内部被害 3階（塔屋1階）
- ・漆喰壁，亀裂が2階-3階間の階段にあるのみ，剥離なし

|  |  |
|--|--|
|   |  |
| <p>3階 漆喰壁の亀裂</p>   | <p>同 窓脇の壁亀裂</p>  |
|  |  |
| <p>2-3階 階段</p>   |  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

- 内部被害 4階（塔屋2階）
- ・漆喰壁，亀裂（ただし震災前からのものか）
  - ・ガラスに亀裂は無し
  - ・梁の亀裂拡大
  - ・南側の瓦一部落下

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 3-4 階 梁の亀裂 被災によるか不明   | 南側の瓦の一部落下  |

- 内部被害 小屋裏（2階小屋裏）
- ・被害無．一部ずれたと思われる箇所もあるが地震によるものか不明．

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 2 階小屋裏 被害無  | 2 階小屋裏 被害無   |

■ 小 結

□ 特徴的な壁の剥落

- ・ 2階西側の間仕切り（水平木摺，約3割）
- ・ 階段部分脇壁の剥落（約3割）
- ・ 大空間の事務室・議場の剥落は比較的少ない
- ・ 剥落が発生しているのは，開口部の間の箇所や階段わきであった．

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 2階 西側壁の剥落   | 階段脇壁の剥落  |
|   |  |





第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

□実験における壁の破壊性状との比較

- ・釘のめり込み，引き抜きが郡役所の方が少ない．
- ・下苧が釘ごと綺麗に取れている箇所が多い．  
→下苧の釘の違い．

実験…鉄釘

現状…真鍮釘

|  |   |
|--|---|
|  |  |
| 伊達郡役所壁剥落部分の釘の引き抜き  | 試験体4解体中 下げ苧の残存  |

□積石基壇の移動

- ・土台下の基礎石の隅部分が移動．（布石積基礎）
- ・類似被害が，同様の構法の旧福島尋常中学校などでも確認された．

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 北西隅の基礎石の移動  | 旧福島尋常中学校の布石基礎はらみ出し   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

□破壊部位の偏り

- ・南北方向
- ・階段部分
  - ・平面形状
    - ・付属屋によるねじれ
    - ・階段部の裏側は下見板が張られていない
    - ・階段部分の剥落箇所の斜め木摺には、漆喰の空きに葎小舞が入れられている箇所があり、裏側まで漆喰が到達していなかった。



附属屋小屋裏 階段部の裏

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧伊達郡役所被害調査（第3回 以前の調査で未見の便所等）（2012年8月，筆者撮影）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 正面外観  | 北西隅 基礎積石の孕み出し  |
|   |   |
| 同上  | 1階 大事務室内観  |
|  |  |
| 1階便所  | 同左 土壁の亀裂・剥落  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧伊達郡役所・K-net 梁川

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>同上</p>   | <p>1階 宿直室</p>  |
|   |   |
| <p>同上</p>   | <p>同上</p>  |
|  |  |
| <p>K-net 梁川観測点</p>  | <p>同左</p>  |

## 2.2.2 ②奥山家住宅 和館（1921）

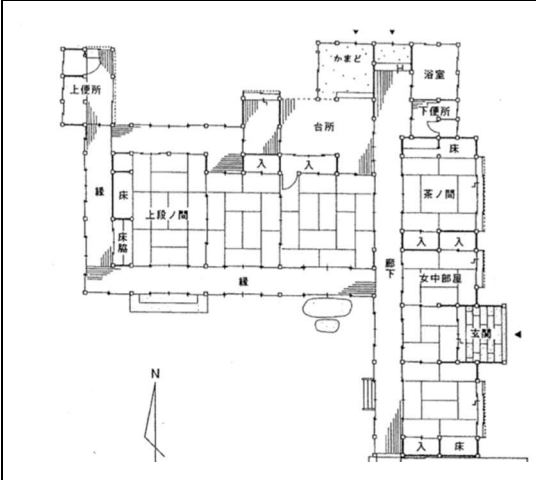
|      |                     |  |
|------|---------------------|--|
| 所在地  | 伊達郡国見町              |  |
| 基本情報 | 国登録有形文化財            |  |
| 竣工年  | 1921                |  |
| 修理年  | 1997, 宮城沖地震後（1979頃） |  |
| 修理内容 | 土壁一部ボード下地に変更        |  |
| 構造種別 | 木造平屋 入母屋            |  |
| 設計   | 大内官平                |  |
| 施工   | 阿部佐七                |  |

### 構法

- ・基礎：土台（石場建て）
- ・土台：有り
- ・軸部：柱梁構法（伝統的軸組）（主な柱 118mm 内外）
- ・胴差：なし
- ・筋かい：なし
- ・間柱：なし
- ・貫：有り
- ・壁：土壁，一部ボード下地
- ・水平構面：大引根太床
- ・天井：板貼り
- ・小屋組：和小屋
- ・屋根：土瓦葺
- ・金物：なし（推定）
- ・平面：T字型

### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：6 強
- ・強震観測点：K-net 梁川(FKS002)
- ・調査対象との距離：6.0km
- ・本震最大加速度（gal）：（梁川）NS 477.8, EW 556.9, UD 196.4

| 図面  |          |
|---|----------|
|  | なし       |
| 平面図（1階）   | 平面図（2階）  |
| なし  | なし       |
| 立面図（正面）   | 立面図（東側面） |
| なし  | なし       |
| 断面図（桁行）   | 断面図（梁間）  |

### 主な被害一覧

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：土壁、木摺壁の剥落多数。風呂場など軸組破損。石蔵破損に伴い一部軸部破損、傾斜（東西、南北共）。
- ・主な被災部位：壁、柱、残留変形
- ・復旧計画：国見町の補助を一部受けて改修中（2012. 7～）
- ・内容：面格子耐震壁の設置、耐震ボードの使用、風呂場・上便所の全面改修（軸部、壁、屋根）、傾斜の修正

### 調査結果

奥山家住宅は伊達郡国見町に所在する和洋併設型の住宅建築である。大正10年の建設以降、洋館は戦後に医院などに貸し出されたこともあるとのことだが、現在に至るまで居住され続けている。居住棟としての和館、応接場としての洋館以外に周辺には「いしぐら」1棟、土蔵3棟が立ち並んでいたが、本震により被災、2011年7月に取り壊された。

「主屋は南庭に面して西から並ぶ上段の間（12畳）、次の間（10畳）、前の間（12畳半）から構成され、上段の間の西通りに造作する床や床脇・平書院は特に入念であり」<sup>2</sup>とされているように、内部の造作に非常に手間がかかっていることが分かる。

断面図等の資料は公刊されていないが、現地調査による聞き取り、実測と『藤田町所在奥山様住宅洋館材料明細書』、『前家之部 藤田町奥山氏離座敷建築工事明細書』、『同 数量明細書』、『後家之部 藤田町奥山氏離座敷建築工事明細書』記載の材料表から構法を推定した。

和館の構法は平面がT字になっていることを除けば、一部垂れ壁等に縦木摺による塗壁が見られる以外はほぼ洋風の要素は用いられていないと考えられる。上記の工事明細書の部材名から判断した。基礎は外周に土台を回した石場建て、壁も土壁、小屋組も和小屋であった。柱寸法は概ね118mmであった。金物に関する記載はない。洋館の明細書には「ボートルト及び平鉄 所要二尺造り 30貫」の記載があるため、和館に記載がないので当初は使用されていなかったと推定される。

また、大工棟梁の氏名は参考文献に記されている調査の時点では不明とされていたが、被災後に蔵から発見された資料より、伊達在住の棟梁阿部佐七であったことが判明した。

被害については、壁については土壁の剥落が特に東棟の女中部屋を中心に見られた。木摺壁の剥落は仏間脇の垂れ壁で縦梁木摺からの漆喰の脱落が見られた。但し、土壁の下地は宮城沖地震の際に耐熱耐火ボード張りに改修している箇所も散見されたが、これらは今回の本震で脱落していた。ボードの配置の検討は詳細には行っていないが、おそらく前回土壁が剥落した箇所にそのまま張ったと思われ、その配置が今回までの耐震性能に与えた影響を

<sup>2</sup> 福島県の近代和風建築、（草野和夫執筆）福島県教育委員会、1998。

考慮する必要がある。

軸組の破損は、主に風呂場で土壁の全面剥落などに伴い一部隅の柱が折損した。但し、従前から腐朽が進んでいた部位であった。また、紙便所は隣接する土蔵の破損に伴い一部軸部破損した。傾斜は東西方向に見られ、ワイヤーによる牽引を行っている。

床、屋根瓦の被害は少なく、小屋組への被害も小屋裏を見た限り見られなかった。

そのほか、後述する洋館との接続部分は100mm程度の空が生じ、雨漏りが起きていた。接続部分の接合については詳細は不明であるが、洋館は接続部の表面石貼りが剥落していた。

#### 改修に関する状況（2012年8月）

- ・大工の手配が困難な状況が続いていたが、2012年夏から工事が始まっており、和館の上便所、風呂場などの崩壊箇所の再建が行われている。また、耐震補強として、面格子壁の設置が和館の2012年8月時点で2か所で行われていた。上屋の桁と床の間にはめ込んでいるだけのようにも見えたが詳細は不明である。寸法は105角、縦横寸法は2880×1240, 1820×1400であった。孔は120mm角程度。
- ・床の間のボードは耐熱耐火ボード（ダイライト）を取り替えた。
- ・和館の傾斜は引張建て起こしたが残留変形は残存している。
- ・瓦は補修済みである。
- ・和洋館の隙間は20mm程度に改善していた。ワイヤー牽引による引き戻しの効果か。
- ・上便所は、旧材を残しつつ壁を斜め木摺にボード張りにするなど補強されている。



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

奥山家住宅被災直後写真（奥山和子氏撮影）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>和・洋館に隣接する石蔵倒壊</p>  | <p>隣接する石蔵倒壊</p>  |
|   |   |
| <p>土蔵（全壊→解体）</p>  | <p>和館 床の間壁の全面崩落</p>  |
|  |  |
| <p>同 小壁崩落</p>   | <p>同 床の間漆喰壁剥落</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |   |
|---|---|
|    |   |
| <p>同 床の間壁の全面崩落</p>  | <p>同 外観，土壁被害</p>  |
|   |  |
| <p>同 風呂場，壁落下</p>  | <p>同 欄間の落下</p>  |
|  |   |
| <p>同 上便所 蔵の倒壊を受けて崩落</p>   |   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

奥山家和館被害調査（2012年1月、松本撮影）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 小壁の土壁剥落   | 床の間ボード壁亀裂  |
|   |   |
| 土壁の剥落   | 上便所：剥落と傾斜  |
|  |  |
| 離れ：小壁の剥落  | 同左   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>仏間、立て木摺漆喰の剥落)</p>  | <p>床の間：土壁剥落</p>  |
|   |   |
| <p>風呂場：壁剥落と柱の折損</p>   | <p>同左</p>  |
|  |  |
| <p>基礎の移動離れ</p>  | <p>洋館との接続部（100mm 程度の空き）</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| 縁下束の移動   | 上便所：隅柱の移動   |
|  |  |
| 同上：屋根の崩壊（落下物）  | 床の間の亀裂  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

奥山家住宅和館（2012年8月 改修中）







|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>工事中，歪み防止</p>   | <p>上便所：ボード補修</p>   |
|   |   |
| <p>耐震壁 1</p>  | <p>耐震壁 2</p>   |
|  |  |
| <p>耐震壁と桁の接続部分</p>   | <p>土壁亀裂，未補修</p>  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>上便所内観（壁，軸，屋根修理）</p>  | <p>小屋裏 和小屋</p>   |
|   |   |
| <p>耐震壁2 外観</p>  | <p>小屋裏 土壁</p>  |
|  |  |
| <p>廊下部分 ボード補修</p>   | <p>風呂場 修理現場</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 同上  | 同上   |
|   |   |
| 同上  | 同上   |
|  |  |
| 上便所補修後  | 同左，斜め木摺の使用   |



### 2.2.3 ③奥山家住宅 洋館（1921）

|      |                   |  |
|------|-------------------|--|
| 所在地  | 伊達郡国見町            |  |
| 基本情報 | 国登録               |  |
| 竣工年  | 1921              |  |
| 修理年  | 1997              |  |
| 修理内容 | 床フローリング           |  |
| 構造種別 | 木造平屋（木骨石貼）寄棟      |  |
| 建築面積 | 105m <sup>2</sup> |  |
| 設計   | 大内官平              |  |
| 施工   | 阿部佐七              |  |

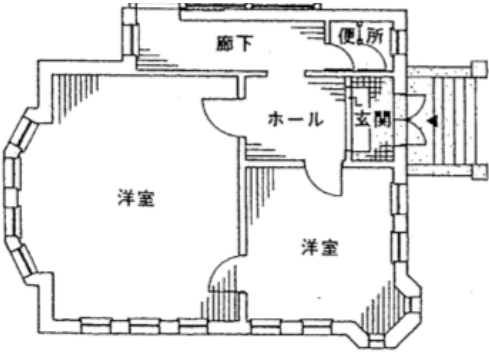
#### 構法

- ・基礎：外周布石基礎，内部藤田石独立基礎
- ・土台：有り
- ・軸部：壁厚約260mm，木骨石貼
- ・胴差：有り
- ・筋かい：有り
- ・間柱：有り
- ・貫：有り
- ・壁：木骨石造（天井裏水平木摺露出）
- ・水平構面：下引き，根太床
- ・天井：木摺漆喰
- ・小屋組：キングポスト系
- ・屋根：スレート
- ・金物：「ボールト及び平鉄」

#### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：6強
- ・強震観測点：K-net 梁川(FKS002)
- ・調査対象との距離：6.0km
- ・本震最大加速度（gal）：（梁川）NS 477.8，EW 556.9，UD 196.4

図面

|   |          |
|---|----------|
|  | なし       |
| 平面図（1階）   | 平面図（2階）  |
| なし  | なし       |
| 立面図（正面）   | 立面図（東側面） |
| なし  | なし       |
| 断面図（桁行）   | 断面図（梁間）  |

### 主な被害

- ・被害度：部分被害
- ・被害概要：外壁石貼りに亀裂，内壁漆喰に亀裂，軒裏木摺漆喰の漆喰剥落
- ・主な被災部位：壁・天井亀裂
- ・復旧計画：国見町の一部補助を受けて改修中（2012.7～）
- ・内容：亀裂の補修（漆喰塗り，石貼）

### 調査結果

奥山家洋館は，和館と同時に応接部分として建設された。戦後，食糧倉庫や医院に転用された時期もあったが現在は居住棟として使われている。

軸部・壁の構法は木骨石造で，木造軸組の内側に木摺張（材料明細より），外側は石充填後石貼りであった（剥落箇所から確認）。基礎は藤田石（近在で採取される凝灰岩）の石積布基礎が外周に回り，内部は大引の下に1m各程度の石束が3本建てられている。基礎高は1m以上あり，湿気はあるが部材の腐朽は見られなかった。小屋組は材料明細より「真束」と同定した。小屋裏は入口が狭く，内壁の木摺を確認するのみにとどまった。1層であるが天井高は高く，搭屋が付設している。

前述の『材料数量明細書』記載情報より，筋違，木摺，真束，「ボルト及び平鉄」の使用が確認された。ボルト及び平鉄は短冊金物とボルトの事と考えられ，小屋端部の固定などに用いられたことが考えられる（現段階で，手書き明細の判読が困難な箇所）。

被害は主に外壁表面の亀裂，内部漆喰壁の表面亀裂，洋館和館の接続部分での表面の剥落であった。和館と比較すると比較的軽微な被害に留まった。

### 改修状況調査

- ・洋館は補修終了。補修の内容は，外壁の亀裂補修（モルタルでコーキング）。内部漆喰塗り，漆喰で補修（色の違いが目立つ）。

奥山家住宅の周辺被害

福島県伊達郡国見町

- ・近在では住宅，土蔵への振動被害が大きい地域であった．計測震度は6強．

被害状況（2011年8月1日）

- ・木造,古いものから新しいのまで分布．
- ・石蔵被害多数．
- ・土蔵被害として，妻など外壁の土壁の剥落．
- ・ブルーシート（棟など屋根被害）を被せた住宅も多数
- ・体育館被害あり（以下の情報は奥山氏より聞き取り）．
- ・日向団地（4号線の奥）地盤被害（未確認）．
- ・4号線の奥の田園地帯の被害も市街との差は確認できず
- ・藤田駅周辺（もともと沢だったそうだが，被害の差は確認できなかった．より山側へ）
- ・液状化した地域を確認する必要がある．

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 国見町被害家屋 妻壁の剥落，棟の被害  | 同 屋根瓦の被害   |

奥山家住宅洋館被害調査（2011年8月筆者撮影）

|  |  |
|--|--|
|   |  |
| 正面   | 洋館外観亀裂   |
|  |  |
| 同上   |  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

奥山家洋館被害状況（2012年1月、松本撮影）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 風呂場の改修用   | 内観   |
|   |   |
| 天井、漆喰塗り補修   | 同上   |
|  |  |
| 同上  | 同上、天井高が高い  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|  |  |
|--|--|
|   |  |
| 内観，亀裂  | 同左，漆喰剥落  |
|  |  |
| 同上，端部亀裂  |  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

奥山家住宅洋館（2012年8月 改修後）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>内観：漆喰塗り直し</p>  | <p>小屋裏：筋交い，間柱</p>  |
|   |   |
| <p>小屋裏：水平木摺</p>   | <p>亀裂の補修</p>   |
|  |  |
| <p>軒の落下補修 モルタル</p>  | <p>基礎状況 藤田石による束 緊結不明</p>   |



#### 2.2.4 ④旧亀岡家住宅

|      |   |  |
|------|---|--|
| 所在地  | 伊達市保原町  |  |
| 基本情報 | 県指定重文   |  |
| 竣工年  | 1904 頃  |  |
| 修理年  | 1986 解体→1995 移築組立                                     |  |
| 修理内容 | 基礎裏布コン打ちなど  |  |
| 構造種別 | 木造寄棟，2階塔屋付  |  |
| 建築面積 | 座敷棟平面 220m <sup>2</sup> (1F)<br>居住棟 195m <sup>2</sup> |  |
| 設計   | 当初不明，移築：溝井宇一建築事務所                                     |  |
| 施工   | 当初：小笠原邦太郎，移築：星工務店                                     |  |

#### 構法

- ・基礎：
  - (当初) 座敷棟：花崗岩角石4段積布基礎（礎石下数尺玉石胴搗き地形）
  - 居住棟：同上。
  - (移築) 主柱礎石したに配筋布コン，石積にコンクリート裏打ち補強と，アンカー緊結．その他は基礎束石．
- ・土台：あり
- ・軸部：通柱に胴差または2階側梁
- ・胴差：図面より無（2階側梁有り）
- ・筋かい：たすき掛け
- ・間柱：不明
- ・貫：あり
- ・壁：
  - (座敷棟) 外：下見板銅板覆い，内：木舞土壁
  - (居住棟) 外：下見板，土壁．内；木舞土壁，板壁
- ・水平構面：大引根太床板
- ・天井：板貼り，土壁
- ・小屋組：
  - (座敷棟) クイーンポスト（対束合掌分断，小屋梁中央を桁行大梁で受ける．不完全）
  - (居住棟) キングポスト
- ・屋根：寄棟土瓦

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

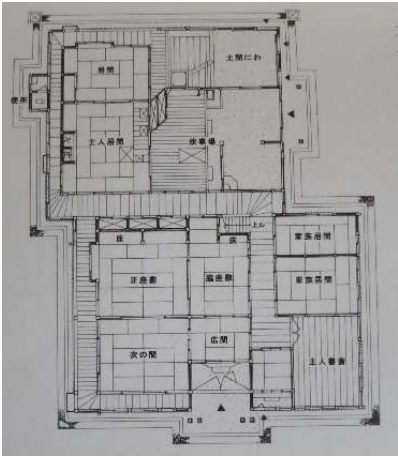
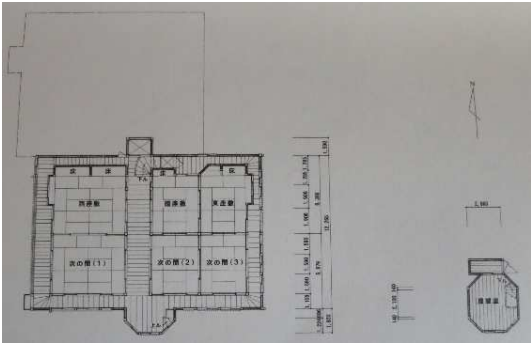
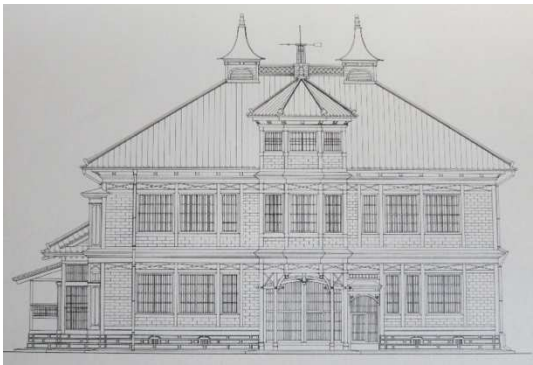

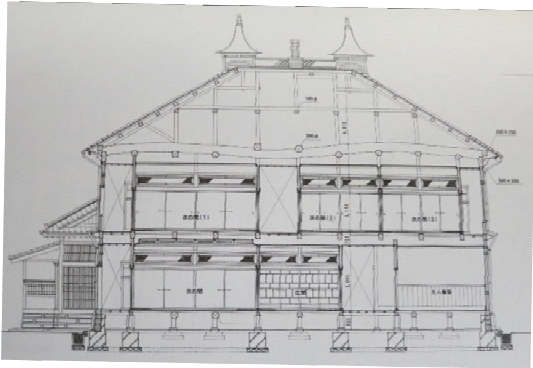
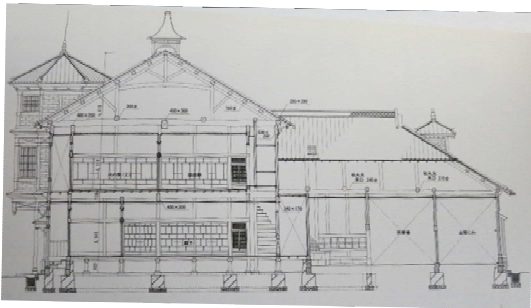
- ・金物：有り（詳細不明）

**付近の強震観測記録（本震）**

- ・気象庁計測震度：5 強
- ・強震観測点：K-net 梁川(FKS002)
- ・調査対象との距離：3.9km
- ・本震最大加速度（gal）：（梁川）NS 477.8, EW 556.9, UD 196.4

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

図面

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>平面図（1階）</p>  | <p>平面図（2階）</p>   |
|   |   |
| <p>立面図（正面）</p>  | <p>立面図（東側面）</p>  |
|  |  |
| <p>断面図（桁行）</p>  | <p>断面図（梁間）</p>   |

### 主な被害一覧

- ・被害度：部分被害
- ・被害概要：土壁の剥落
- ・主な被災部位：土壁
- ・復旧計画：有り

### 調査結果

亀岡家住宅は明治30年前後に竣工したとされる当時の豪農住宅である。民家風の居住棟に、軸をずらして棟の直交する座敷棟が接合している。通柱に胴差を回しており、写真から判断する限り貫通木舞掻きによる土壁で構成されており、洋風の壁構法を用いていない。但し、たすき掛け筋違を用いた建物であるという報告もあり、移築時の資料を用いた今回の調査範囲では明らかにできていない。1,2階ともに座敷棟には間仕切りの全面壁は殆どなく、ガラス障子を嵌めている。但し、柱寸法は太く、190mm~160mm程度の柱が外周に使われている。

基礎は外周に布石3段積、内部は束石と束で受けているが、1990年代の移築補強時に石の裏のみにコンクリートを打ち回し、内部にアンカーを通してしている。小屋組は対束であるが、中間部分でランタン設置のため切れており不完全な形となっている。小屋組も移築補修時に金物補強が施されているが、これはランタンの荷重を受けるためとのことであった。

被害は主に土壁、屋根瓦の亀裂落下に見られたが、聞き取りによれば躯体に歪みが出ているとのことであった。2階北側壁の太い柱周辺の壁亀裂、1回東側南北壁では比較的亀裂・剥落の規模が大きい。また、アンカー・布基礎入りの基礎には亀裂や束の移動も見られなかった。

平面が不整形であり、外周の太い通柱以外には壁が少なく、和風棟と軸をずらして接合する平面を含め、福島県内の同時代の近代木造建築（今回の調査範囲では、旧伊達郡役所、福島尋常中学校）などとは異なっている。郡役所、尋常中学校は、三島通庸県令下に建設された一群の官系の建物で、施工は大工棟梁であるが、窓マグサによる胴繋ぎなど共通した構法も多いが、これは現時点ではその分類に当てはめることは困難である。

但し、清水重敦により、本建物は三島県令下に活動した大工江川三郎八によるものである可能性が指摘されている。<sup>3</sup>

<sup>3</sup> 旧亀岡家住宅とその設計者、施工者、清水重敦、日本建築学会大会梗概集、2005.9.

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧亀岡家住宅被害調査（2012年8月，松本撮影）

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 正面  | 側面   |

旧亀岡住宅被害調査（2012年1月，松本撮影）

|   |  |
|---|--|
|   |   |
| 外周土台：亀裂があるが，移動無し  | 床下：束石  |
|  |  |
| 座敷棟   | 居住棟  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>居住棟：土間土壁亀裂</p>   | <p>同上，小壁の亀裂</p>  |
|   |   |
| <p>同上，内観</p>  | <p>座敷棟，1Fの壁亀裂</p>  |
|  |  |
| <p>同上</p>   | <p>小屋裏，明かり取りに雨漏り</p>   |

### 2.2.5 ⑤旧廣瀬座

|      |                       |  |
|------|-----------------------|--|
| 所在地  | 福島市（福島市民家園内）          |  |
| 基本情報 | 重文                    |  |
| 竣工年  | 1887                  |  |
| 修理年  | 1990 大氾濫後移築           |  |
| 修理内容 | 布基礎，補強柱，ブレース，水平ブレースなど |  |
| 構造種別 | 木造一部2階，入母屋木羽葺         |  |
| 建築面積 |                       |  |
| 設計   | 当初不明，移築：溝井宇一建築事務所     |  |
| 施工   | 移築：星工務店               |  |

#### 構法

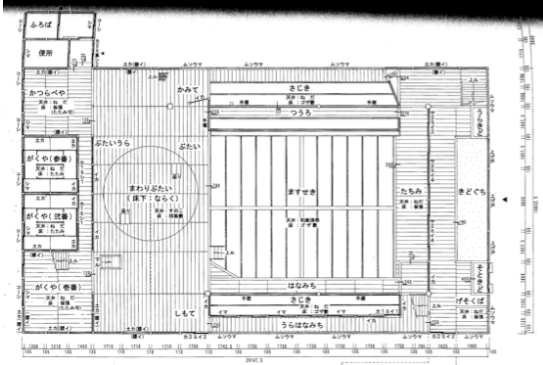
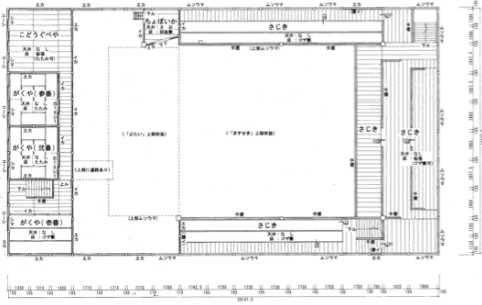
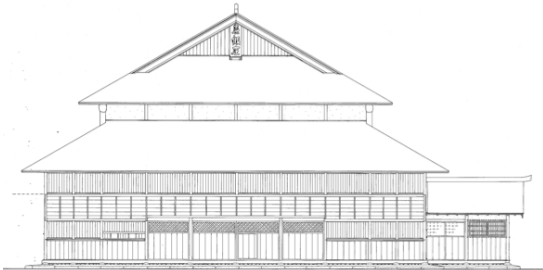
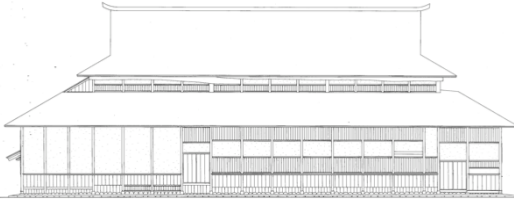
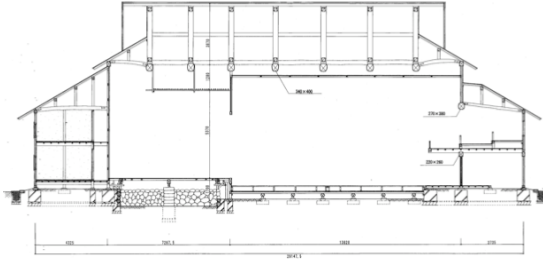
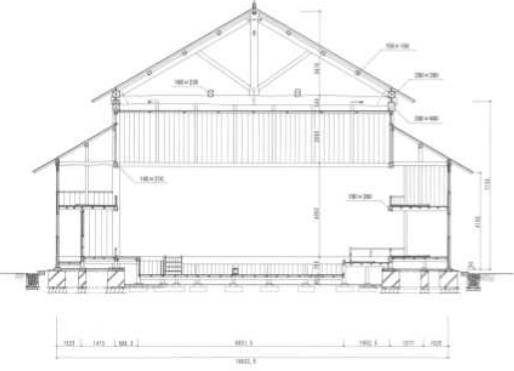
- ・基礎：（移築時）コンクリート布基礎上に地覆，土台，内部は束石建て
- ・土台：有り
- ・軸部：軸組構法（移築時にブレース補強）
- ・胴差：なし
- ・筋かい：有り（移築時ブレース）
- ・間柱：なし
- ・貫：有り
- ・壁：土塗真壁
- ・水平構面：ブレース（移築時）
- ・天井：板張り（格天井）
- ・小屋組：キングポストトラス（真東洋小屋）
- ・屋根：木羽葺
- ・金物：土壁ブレース補強，水平構面補強

#### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：5弱
- ・強震観測点：Hi-net 福島(FKSH16)
- ・調査対象との距離：4.0km
- ・本震最大加速度（gal）：

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

図面

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>平面図（1階）</p>  | <p>平面図（2階）</p>   |
|   |  |
| <p>立面図（正面）</p>  | <p>立面図（東側面）</p>  |
|  |  |
| <p>断面図（桁行）</p>  | <p>断面図（梁間）</p>   |



### 主な被害

- ・被害度：部分被害
- ・被害概要：文化庁110322には記載なし  
→2階正面妻側内土壁に横に長い亀裂。楽屋、ブレース補強端部に亀裂。基礎石一部破損。
- ・主な被災部位：壁亀裂（補強ブレース端部含）
- ・復旧計画：土壁補修済み（2012年8月）

### 調査結果

旧広瀬座は洋小屋を用いて大スパンを飛ばした明治中期の劇場建築を移築したものである。舞台下への奈落の設置、内部の大空間などに特徴が見られる。基礎も地覆石上に柱建てをしたもので、構法的には西洋風の要素は小屋組程度であったと思われる。福島市民家園への移築時に地形のコンクリート補強、側面の土壁に沿わせた形のブレース（φ20mm, M11ボルト）がたすきに入れられ、また水平屋根構面もブレースで補強されている。

地震被害は楽屋などブレースがボルトにて取り付けられている柱の端部の土壁の破損、天井の板のズレ、正面妻壁裏に横長の亀裂、基礎の地覆石の一部に亀裂が見られた。奈落に下りて確認したところ、基礎には被害は無かった。

なお、福島市民家園のその他の建物の被害については、土壁の剥落は民家を中心に多く見られたが、他にワイヤーによる引張補強（常時）が切れた例（旧小野家）、床の一部沈下（床束の被害か）が旧渡辺家、土壁の被害が旧阿部家などで見られた。また、茅葺屋根の軒で竹が破損し落下する例も見られた。倒壊に至る例はなかった。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧廣瀬座 [2012年8月20日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 正面  | 側面   |
|   |   |
| 背面  | 基礎, 土台   |
|  |  |
| 土壁亀裂, ブレース端部が見える.   | 土壁の石   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|         |             |
|---------|-------------|
|         |             |
| 内観      | 入り部分        |
|         |             |
| 2F 席    | 舞台上水平ブレース補強 |
|         |             |
| 舞台から座敷席 | ブレース端部      |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| ブレース  | 同上   |
|   |   |
| 2F  | 土壁補修   |
|  |  |
| ブレース端部の亀裂   | 入口   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 天井板のズレ  | 土壁，横に大きな亀裂   |
|   |   |
| 舞台  | 楽屋 2F，亀裂   |
|  |  |
| 同上  | 同上   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧廣瀬座・Hi-net 福島観測点

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| <p>奈落，被害無し</p>   | <p>同上</p>   |
|  |  |
| <p>Hi-net 福島付近</p>   | <p>同上</p>   |

## 2.2.6 ⑥福島県迎賓館（旧高松宮翁島別邸）

|      |                   |  |
|------|-------------------|--|
| 所在地  | 耶麻郡猪苗代町           |  |
| 基本情報 | 重文                |  |
| 竣工年  | 1922              |  |
| 修理年  | 不明                |  |
| 修理内容 | 銅板葺き替え            |  |
| 構造種別 | 木造平屋 寄棟           |  |
| 建築面積 | 589m <sup>2</sup> |  |
| 設計   | 木子幸三郎（内匠寮）        |  |
| 施工   | 不明                |  |

### 構法

- ・基礎：石場建て独立基礎・布石上に土台
- ・土台：一部有り（布石上に土台引き回し）
- ・軸部：120mm 内外の柱（数寄屋風）
- ・胴差：なし
- ・筋かい：不明
- ・間柱：不明
- ・貫：有り
- ・壁：土壁
- ・水平構面：床：床束・大引・根太+床板.
- ・天井：板貼り
- ・小屋組：不明（和小屋推定）
- ・屋根：柿葺→銅板葺
- ・金物：不明

### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：
- ・強震観測点：K-net 猪苗代(FKS020)
- ・調査対象との距離：6.5km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 241.5, EW 275.6, UD 96.0

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|  |  |
|--|--|
| <div data-bbox="252 342 754 779"> </div>         | <div data-bbox="1050 539 1104 577">なし</div>        |
| <div data-bbox="244 817 422 855">平面図（1階）</div>   | <div data-bbox="805 817 984 855">平面図（2階）</div>     |
| <div data-bbox="481 1097 536 1135">なし</div>      | <div data-bbox="1050 1097 1104 1135">なし</div>      |
| <div data-bbox="244 1368 422 1406">立面図（正面）</div> | <div data-bbox="805 1368 1013 1406">立面図（東側面）</div> |
| <div data-bbox="481 1641 536 1680">なし</div>      | <div data-bbox="1050 1641 1104 1680">なし</div>      |
| <div data-bbox="244 1912 422 1951">断面図（桁行）</div> | <div data-bbox="805 1912 984 1951">断面図（梁間）</div>   |



### 主な被害

- ・被害度：部分被害
- ・被害概要：土壁亀裂，剥落（廊下隅，竹の間：茶室）
- ・主な被災部位：壁亀裂，剥落
- ・復旧計画：復旧済み（2012年8月）

### 調査結果

福島県迎賓館は旧高松宮翁島別邸として天鏡閣のほど近くに1922年に建設された和風建築である。設計は内匠寮木子幸三郎により，その後も宮内庁の管轄によっていた。

石場建て独立基礎上に一部土台を回し，貫木舞掻き土壁である。壁の仕上げには珪藻土が用いられており，厚みは約45mmであった。柿葺きより変更した金属板葺が用いられているがこれは積雪対策とのことであった。柱径は120mm程度で，聞き取りに依れば積雪対策としての補強などは無く，冬季には囲い木を周囲に回してトタン板を張るとのことであった。建具のガラスなどを別にして近代的構法の使用は調査範囲にはほとんど見られず，屋根の葺き替え程度であった。

地震被害は茶室部分の壁，廊下の隅部分などで土壁が剥落・亀裂した程度であった。接合部の緩みも確認されず，ガラスの割れもない。一方で，敷地内の長屋門（栃木県から移築，江戸中期建設）では土壁の剥落，茅葺屋根軒先の破損などが見られた。また，徒歩5分程度の距離にある後述の天鏡閣では壁の亀裂が大規模にあったことと比較して，迎賓館の被害の少なさは際立っている。今回は外観調査と聞き取りのみによるため，詳細な調査と検討が必要ではあるが，現時点では建物が平屋である点，重量が比較的軽いと考えられる点などがその理由として指摘できる。

建物は現在まで解体修理の記録が無く，構法の詳細の把握は困難である可能性もあるが，近代的構法がふんだんに用いられている天鏡閣との比較を行うことは重要な課題であると考えられる。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

福島県迎賓館 [2012年8月19日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 長屋門   | 長屋門 土壁補修後  |
|   |   |
| 長屋門 軒が一部垂下 (推定)   | 長屋門 基礎と柱 移動は見られない  |
|  |  |
| 迎賓館正面   | 迎賓館  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 背面  | 茶室   |
|   |   |
| 内部, 土壁  | 隅部 一部に亀裂がある 接合部は健全   |
|  |  |
| 同上  | 中の間  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 同上  | 廊下、亀裂あり  |
|   |   |
| 同上、土壁亀裂   | 内観   |
|  |  |
| 縁   | 茶室、右側の壁が剥落した   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 剥落した壁（補修済み）   | 積雪対策の板の枠   |
|   |   |
| 入口壁に亀裂  | 事務棟，被害なし   |
|  |  |
| 外周基礎土台，被害なし   | 同上，外観  |

### 2.2.7 ⑦天鏡閣（旧有栖川宮別邸）

|      |  |  |
|------|--|--|
| 所在地  | 耶麻郡猪苗代町  |  |
| 基本情報 | 重文   |  |
| 竣工年  | 1908   |  |
| 修理年  | 1980-83  |  |
| 修理内容 | 基礎部分補修<br>木部：土台基礎アンカー緊結<br>2階ホール鉄骨梁<br>屋根全面葺き替え<br>壁ほぼ塗り替え |  |
| 構造種別 | 木造2階塔屋、ベランダ付   |  |
| 建築面積 | 505.7m <sup>2</sup>  |  |
| 設計   | 不明   |  |
| 施工   | 遠藤君蔵   |  |

#### 構法

- ・基礎：外周及び間仕切りは積布基礎（割栗・石灰モルタル・根積煉瓦）。床束石は野面石据。
- ・土台：土台アンカーボルト締め
- ・軸部：土台に柱・管柱・間柱を建てる。胴差，筋違，窓台，楣，桁，火打ちで固める。内部は管柱。
- ・胴差：有
- ・筋かい：有（主に1階）
- ・間柱：有
- ・貫：無（楣，窓台，胴差あり）
- ・壁：（外）ドイツ下見，南京下見  
（内）水平木摺漆喰
- ・水平構面：（床）床束・大引・根太・根がらみ貫+床板。
- ・天井：漆喰塗
- ・小屋組：キングポストトラス，変形マンサードトラス，傘型トラス（搭屋）
- ・屋根：天然スレート
- ・金物：有り（修理時に鉄骨一部挿入）

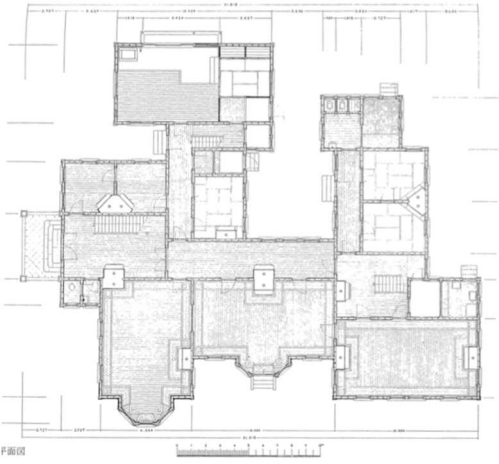
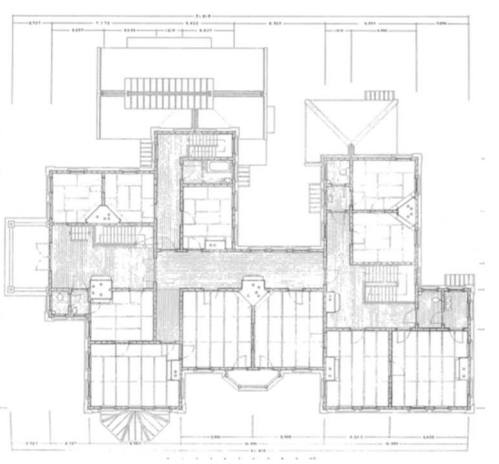

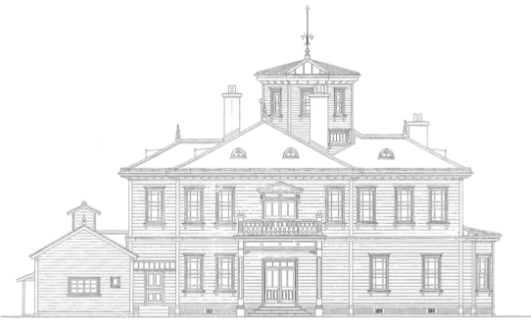
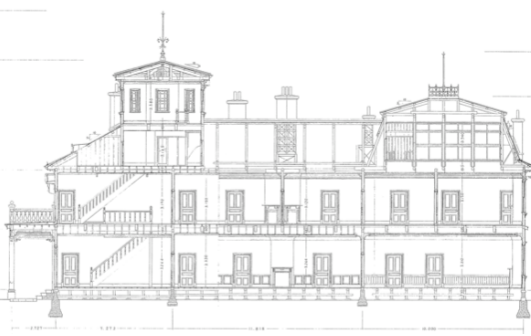

#### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：
- ・強震観測点：K-net 猪苗代(FKS020)
- ・調査対象との距離：6.3km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 241.5，EW 275.6，UD 96.0



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

図面

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>平面図（1階）</p>  | <p>平面図（2階）</p>   |
|   |   |
| <p>立面図（南側面）</p>   | <p>立面図（西側面）</p>  |
|  |  |
| <p>断面図（東西）</p>  | <p>断面図（南北）</p>   |

### 主な被害

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：ガラス窓，壁崩落（出窓・入隅に亀裂多）．ビリヤード室に被害多．
- ・主な被災部位：壁
- ・復旧計画：有り
- ・設計者：文建協
- ・内容：壁の塗り直し

### 調査結果

天鏡閣は明治41年に建設された木造2階建て洋館であり，構法は上記に記したように，積布基礎（煉瓦）が間仕切り下まで回されており，また筋違も1階を中心としてであるが多く導入されている．筋違は斜め型（＼）と，胴繋ぎを挟んで折り返す形式である．但し窓上下の小壁までに執拗に組み込む形式ではない．とはいえ，これらの特徴を持ち，木摺漆喰壁，通柱と胴差による架構形式は明治後期の近代木造建築であることを良く表している．小屋組にはキングポストトラスを一間ごとに挿入しているが，2階ホール部分には変形マンサードトラス，搭屋部分には傘型トラスが用いられている．平面形状はコの字型に近いが，旧台所部分等延べ石基礎になっている部分や，棟が直交する部分があり，振動特性はやや複雑であると予測される．

地震被害は，内部水平木摺壁の亀裂，剥落であった．特に被害が大であったのはコの字の奥の面（南面）で，特に旧ビリヤード室（2階マンサード屋根のホール1階）であり先に補修が開始されていた（補修後のため聞き取り）．調査時点でも南側の残り2室の壁では，暖炉と壁の取り合いなどの入隅・出隅部分で亀裂が深く壁が浮き上がっている箇所が多く見られた．また，ビリヤード室はマンサード屋根のホールの下であり，ここは修理工事時に鉄骨補強が加えられた箇所である．因果関係は現状では不明であるが，屋根形状や部屋の構成の複雑さに加えて，振動特性に影響すると考えられる．

壁以外の主な被害は建具のガラスであり，100枚以上が破損していた（聞き取り）．







基礎に被害は見られなかった．間仕切り部分にも煉瓦積布基礎が回されており，またアンカーで土台と緊結されているのは今回の対象中でも堅固な構造であると考えられる．但し，入隅部分ではコケやカビの繁殖がかなりあり，部材の劣化という観点からは問題をはらんでいるように思われた．

また，前述したが徒歩5分圏内にある（現状の調査範囲では）ほぼ伝統木造の福島迎賓館との被害の差はかなり大きかった．単純に基礎，軸部の構法で比較すればこちらが剛であるように考えられるが，屋根形状や重量，平面形状を考えて比較することが必要であると考えられる．なお福島迎賓館も3棟程度の建物が繋がるコの字平面であり複雑な平面形式であると言える．



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

天鏡閣 [2012年8月19日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 門   | 側面外観   |
|   |   |
| 庭園  | 当初玄関部分   |
|  |  |
| 旧台所との接続部  | 旧台所 現在の入場口   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

天鏡閣 [2012年8月19日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 北側側面  | 東側側面   |
|   |   |
| 南側側面  | 基礎 被害無   |
|  |  |
| 西側側面  | 床下 束と足固貫（間仕切り壁以外の箇所）   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

天鏡閣 [2012年8月19日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 別館  | 敷地内 柵のモルタルの破損  |
|   |   |
| 伊東忠太設計の RC 碑 被害無  | 旧台所棟 天井  |
|  |  |
| 廊下 亀裂はドア隅などにあり  | 同上   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

天鏡閣 [2012年8月19日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 出隅の亀裂   | 南側第一室 内観   |
|   |   |
| 木摺漆喰壁の亀裂  | 同上   |
|  |  |
| 出隅での剪断的亀裂破壊   | 入り角での破損  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

天鏡閣 [2012年8月19日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>南側真中の部屋 壁の亀裂</p>   | <p>同 窓隅の亀裂</p>   |
|   |   |
| <p>同 内観</p>   | <p>同 壁の亀裂は斜め</p>   |
|  |  |
| <p>補修済みの旧ビリヤード室</p>   | <p>2階ベランダ脇 壁の亀裂</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

天鏡閣 [2012年8月19日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>2階 3階部分の被害は不明</p>  | <p>2階廊下</p>  |
|   |   |
| <p>2階 壁亀裂</p>   | <p>2階 畳敷きの洋室</p>   |
|  |  |
| <p>天井廻縁（木製）の亀裂</p>  | <p>隅の壁亀裂</p>   |



天鏡閣

|  |  |
|--|--|
|   |  |
| 基礎 コケの繁茂   | 基礎内部 間仕切り布基礎が見える   |
|  |  |
| 基礎 軽微亀裂  |  |

## 2.2.8 ⑧旧福島県尋常中学校本館（安積歴史博物館）

|      |                      |  |
|------|----------------------|--|
| 所在地  | 郡山市                  |  |
| 基本情報 | 重文                   |  |
| 竣工年  | 1889                 |  |
| 修理年  | 1978-1980            |  |
| 修理内容 | 半解体修理，一部基礎補修含        |  |
| 構造種別 | 木造2階                 |  |
| 建築面積 | 1154.8m <sup>2</sup> |  |
| 設計   | 不明                   |  |
| 施工   | 不明                   |  |

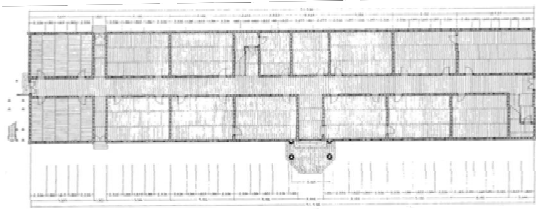
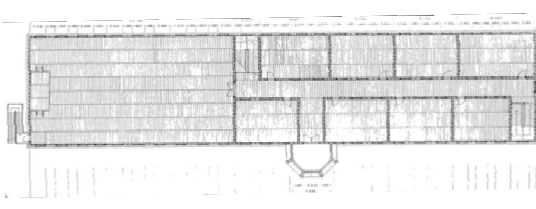

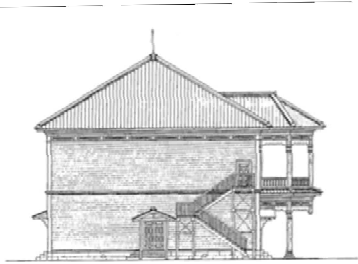
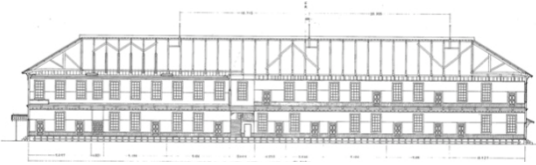
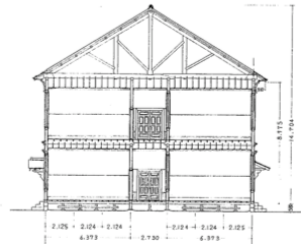
### 構法

- ・基礎：布石基礎（側2段）
- ・土台：布石に天乗
- ・軸部：外部通柱・内部管柱
- ・胴差：両妻1，2階ともあり
- ・筋かい：梁間のみ\型
- ・間柱：柱間にあり
- ・貫：各階に腰貫，内法貫あり
- ・壁：外下見板 内木摺漆喰壁 壁中央に見切縁
- ・水平構面：板貼床
- ・天井：板張り
- ・小屋組：当初部分キングポスト，増築部分クイーンポスト
- ・屋根：桟瓦葺
- ・金物：有り

### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：
- ・強震観測点：K-net 郡山(FKS018)
- ・調査対象との距離：1.1km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 745，EW 1069，UD 457

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>平面図（1階）</p>  | <p>平面図（2階）</p>   |
|  |   |
| <p>立面図（正面）</p>  | <p>立面図（東側面）</p>  |
|  |  |
| <p>断面図（桁行）</p>  | <p>断面図（梁間）</p>   |

### 主な被害

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：内部漆喰壁剥落，布石基礎はらみ出し，床束折損，隅柱一部欠け，下屋は棟瓦落下
- ・主な被災部位：壁・基礎
- ・復旧計画：有
- ・設計者：文建協
- ・施工者：八光建設
- ・内容：基礎，壁（木摺空きの拡大，さげ縄の増強，基礎ジャッキアップ積直しなど）

### 調査結果

旧福島県尋常中学校は外周に積石布基礎を巡らし，通柱と胴差，窓マグサを延長した胴繋により軸組を構成し，長手方向は木摺水平張，短手方向は斜め木摺の両面たすき張とし，漆喰で壁を仕上っている．小屋組はキングポストであるが明治33年に一部増築した東側（図面左側）では一部対束になっている．筋違は梁間方向に＼型で入っている．

振動被害は，漆喰壁の剥落，基礎のはらみ出し，基礎の移動に伴う床束の折損，北西隅柱の移動・傾斜・亀裂，下屋部分での屋根瓦の一部落下，玄関ポーチの移動，窓ガラスの破損などであった．

漆喰壁の剥落箇所の詳しい分布状態は調査できていないが，写真資料からは長手方向，身近手方向共に被害を受けたと推定される．特に2階の講堂などでは大規模に落ちたことが分かる．調査時点では既に漆喰の斫り落としが終わっていたが，木摺間の空きが小さく，付着が弱かったことが明らかになっており，改修においては木摺空きを最大15mm程度に拡大している．また，壁の剥離時点では下げ縄の破断が見られた．改修にあたっては壁には補強は行わないが，シュロ縄を下げ縄として使って壁の付着を良くする方針がとられている．

基礎の移動は，長手方向の西側東西に主に見られ，間仕切り壁が当たる部分を中心に数ミリから最大95mmまでのはらみ出しが確認された．該当する間仕切り壁下床束は折損していた．の東側増築部分のみが修理工事の際に据え直されていることから，東側には被害が見られなかった．基礎の復旧に関しては特別な補強は行わず，西側のみをジャッキアップしてアンダーピニング工法（に類似した工法）を用いて現状復旧に留める方針で行われていた．

軸部の破損は床束の破損という付随的に発生したものであり，その他には主に壁の剥落が発生するという今回の調査における典型的な被害の事例と言える建物であった．一方で外周のみ積石基礎のはらみ出しに関しては，間仕切り位置を中心とした大きな移動（隅部分にも移動は見られる）は旧伊達郡役所における隅のみが飛び出す形の被害とは異なっていた．根がらみで束同士をつなぐ構法は類似しているため，全体の剛性の違いによって郡役所は全体として移動したため隅に被害が集中し，一方比較的間仕切り壁が良く揺れた尋常中学校ではその箇所を中心に被害が出た可能性や，大入れに入っている横架材と石の端部の

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

接合の仕方の違い、東西方向の基礎性状が異なること（郡役所は同様）、石積の摩擦の違い、などが理由として考えられるが、定量的な検討を行う必要がある。特に本建物のように補強を行わない場合は今後も同様の被害が起こりうるし、全国に残る明治20年前後以前の近代木造建築の基礎には、同様の危険があると考えられる。



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

安積高校（旧福島県尋常中学校本館）被害調査（2011年8月，松本撮影）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 正面外観  | 一階内部土壁の剥落  |
|   |   |
| 基礎石の飛び出しを仮補強  | 一階内部土壁の剥落  |
|  |  |
| 二階ベランダ正面の壁剥落  | 一階内部土壁の亀裂  |
|  |  |
| 隅石のずれと柱の破損  | 隅柱の傾斜  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

安積高校：旧福島尋常中学校（八光建設による）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 2011.03.12 2階 壁の剥落  | 2011.03.12 2階 壁の剥落   |
|   |   |
| 2011.03.12 階段 壁の剥落  | 2011.03.12 1階 壁の剥落   |
|  |  |
| 2011.03.12 1階トイレ 棟瓦の落下  | 2011.03.12 周辺被害 ブロック塀崩落  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>2011.0412 床束の破損</p>  | <p>2011.0412 床束, 大引</p>  |
|   |   |
| <p>2011.04.12 基礎石の破損, 移動</p>  | <p>2011.04.12 基礎石の破損, 移動</p>   |
|  |  |
| <p>2011.04.12 基礎石の破損, 移動</p>  | <p>2011.04.12 基礎石の破損, 移動</p>   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>2011.0415 基礎石の補強</p>   | <p>2011.0415 基礎石の補強</p>  |
|   |   |
| <p>2011.04.08 正面玄関脇小壁の亀裂</p>  | <p>2011.04.08 トイレ棟瓦応急補修</p>  |
|  |  |
| <p>2011.08.08 基礎石の状況</p>  | <p>2011.08.08 基礎石の状況</p>   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 2012.06.04 着工後 木摺   | 2012.06.04 着工後 木摺  |
|   |   |
| 2012.06.04 着工後 木摺   | 2012.06.04 着工後 木摺  |
|  |  |
| 2012.05.01 壁土断面   | 2012.05.01 壁土断面  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 2012.07.09 床束の外れ  | 2012.07.09 床束の割裂   |
|   |   |
| 2012.07.09 床束 昭和54年修理時の銘  | 2012.07.09 基礎石 根太掛   |
|  |  |
| 2012.07.06 基礎試掘   | 2012.07.06 基礎試掘  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 2012.08.03 ノロ漆喰の研り  | 2012.08.03 ノロ漆喰の研り   |
|   |   |
| 2012.08.08 ジャッキアップ基礎孕出修正  | 2012.08.08 ジャッキアップ基礎孕出修正   |
|  |  |
| 2012.08.18 正面   | 2012.08.18 工事概要  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

安積高校（旧福島尋常中学校）（2012年8月18日，松本撮影）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>玄関補修の様子</p>  | <p>脇の柱礎が壁面から少し浮いている</p>  |
|   |   |
| <p>石積基礎 補修跡</p>   | <p>補修後の石積基礎</p>  |
|  |  |
| <p>石積基礎隅部 剥落後補修予定箇所</p>   | <p>内部2階 研り後の斜め木摺壁</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>内部 水平木摺</p>  | <p>斜め木摺 空きを15mm以上に調整後</p>  |
|   |   |
| <p>木摺 残存下げ縄</p>   | <p>内部 隅部 壁との取り合い</p>   |
|  |  |
| <p>内部 天井 壁が剥落し木摺が露出</p>   | <p>内部 2階 ベランダへ接続する箇所</p>   |




第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 外部 隅部 柱の欠損  | 内部 斜め木摺 空きに薄い木材が挿入されている  |



## 2.2.9 ⑨郡山市開成館

|      |   |  |
|------|---|--|
| 所在地  | 郡山市   |  |
| 基本情報 | 県指定重文   |  |
| 竣工年  | 1874  |  |
| 修理年  | 1960, 1997  |  |
| 修理内容 | 屋根葺き替え, 軸部締め直し<br>(土台, 間仕切り, 床板, 土間,<br>補強鋼管柱の挿入(2階), 壁中<br>塗り以上塗り直しなど) |  |
| 構造種別 | 木造3階 寄棟 瓦棒葺・鉄<br>板葺,  |  |
| 建築面積 | 166 平米(下屋を除く)   |  |
| 設計   | 増子儀三郎・宗形彦八  |  |
| 施工   | 同上  |  |

### 構法

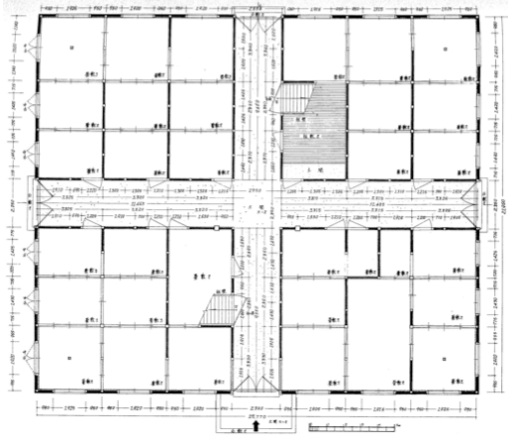
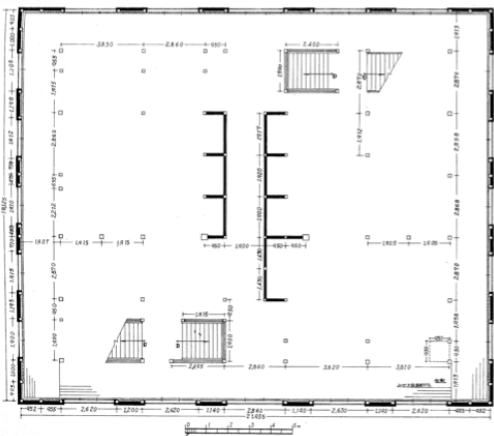


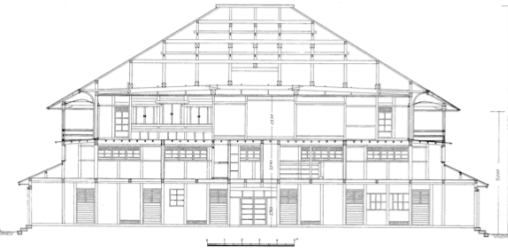

- ・基礎：基礎布コンクリート（500mm）上に外周布石，内部独立基礎（改修後）
- ・土台：有り
- ・軸部：木造軸組
- ・胴差：不明
- ・筋かい：一部有り（解体時写真）
- ・間柱：有り
- ・貫：有り
- ・壁：（内外）木舞土壁
- ・水平構面：床組
- ・天井：板貼り
- ・小屋組：和小屋
- ・屋根：鉄板葺
- ・金物：補強鋼管柱，補強ボルト，柱への鉄巻き付け補強

### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：6 弱
- ・強震観測点：K-net 郡山(FKS018)
- ・調査対象との距離：0.9km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 745, EW 1069, UD 457

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

図面（※1960年修理工事時の図面を採録）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 平面図（1階）   | 平面図（2階）  |
|   |   |
| 立面図（正面）   | 立面図（東側面）   |
|  |  |
| 断面図（桁行）   | 断面図（梁間）  |

### 主な被害

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：柱の折損（移動）、梁亀裂・鴨居柱接合部破損、内外土壁の崩落、筋違も破損（交換）
- ・主な被災部位：柱・壁
- ・復旧計画：有
- ・設計者：郡山市建設課
- ・施工者：八光建設
- ・内容：柱、梁亀裂破損部の補強、壁の全面塗り直し、基礎亀裂の補修。

### 調査結果

郡山市開成館は、明治7年に竣工し、「西洋造」と呼称された木造3階建ての初期近代木造建築である。軸部は通柱2本のみを中心部に据え、そのほかは全て管柱として建てて3階までの架構を作っている。胴繋など、軸部に洋風技術は見られない。基礎は延べ石上に土台を引き回している。石積風に見える部分は海鼠壁と漆喰による。壁は内外とも木舞掻きを施した土塗壁であり、外周部分の厚みは200mm程度でかなり分厚いが、1階外周以外は1階間仕切り2階の中心部の通柱の周囲にだけ（3階はほとんどない）であり、合計壁量はかなり少ないと考えられる。また管柱の幅は通柱に比べてかなり細く、梁との接合部を鋼材で補強している箇所なども見られた。小屋組は和小屋を用いている。屋根葺き材は金属板葺に変更されている。たすき掛けの筋違が一部に用いられていることが分かったが、詳細な配置や分布は特定できていない。

地震による被害としては、外周部被害として2階の壁が全方向にわたって大きく損傷し、土壁が崩落、内部の木舞が見えていた。1階は下部の漆喰による石積み風装飾のなされている土壁が亀裂、剥落している部分が多数見られる。他に窓ガラスの亀裂・破損。屋根はたわみが見られるが目立った損傷はなかった。内部では、間柱の回転、1階柱鴨居接続部の亀裂や鴨居の落下などの軸部の損傷が見られた。

梁の亀裂被害が大であった下屋部分は被災後に梁が交換され、長いボルトで両端から占める形で補強が施されている。これは当初に3階屋根を拡張した際に、内部柱と下屋桁を繋いだボルトと同様の構法である。ただし、下屋部分は当初は別構造であり、主体構造との接続方法を調査する必要があると考えられる。柱の傾斜、外周壁の損壊による傾斜も大きい。壁に関しては木舞壁を用いて復旧される計画がなされている。

なお、以下の写真に示したように、開成館の通柱はかなり亀裂が進んでいるが鉄板とボルトによる拘束で補強し継続して使用されている。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

2011年8月調査（松本撮影）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 正面外観  | 一階破損と二階壁の崩落  |
|   |   |
| 二階隅の破損  | 一階基礎上の土壁破損   |
|  |  |
| 二階壁 内部木舞露出  | 二階壁 内部木舞露出   |
|   |  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

郡山開成館被災後写真 [八光建設撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>3階内部 土壁の崩落，天井紙の亀裂</p>  | <p>3階ベランダ 土壁の崩落</p>  |
|   |   |
| <p>3階内部 土壁の剥落</p>   | <p>2階内部</p>  |
|  |  |
| <p>2階内部 土壁の剥落</p>   | <p>1階梁 梁の亀裂</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

郡山開成館

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>外観</p>   | <p>1階 垂れ壁の落下</p>   |
|   |   |
| <p>1階 鴨居と柱接合部の破損</p>  | <p>梁と天井板接合部の破損</p>   |
|  |  |
| <p>3階 土壁の崩落</p>   | <p>2階 間柱の回転</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

郡山開成館

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 筋交の交換   | 土壁内部   |
|   |   |
| 土壁内部 貫  | 木舞竹の施工   |
|  |  |
| 1階柱 亀裂後 補強前   | 1階柱 亀裂後 補強   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

郡山開成館 [2012年8月18日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>外観</p>   | <p>外観 外壁土壁の補修と塗装</p>   |
|   |   |
| <p>1階内観</p>   | <p>1階 補強柱（2本の通柱のうちの一本）</p>   |
|  |  |
| <p>1997年改修時と思われる鋼材の梁</p>  | <p>間柱（つかい）上部の接合具</p>   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

郡山開成館 [2012年8月18日, 松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 2階内観 壁補修はおおむね終了している   | 3階内観 同左  |
|   |   |
| 3階外部ベランダ 壁補修後   | 1階 垂れ壁補強鋼棒   |
|  |  |
| 1階 垂れ壁補強鋼棒端部  | 1階 梁の交換後   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

郡山開成館，K-net 郡山 [2012年8月18日，松本撮影]

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| <p>3階内部 補強鋼材の端部（3階改修時）</p>   | <p>K-net 郡山周辺</p>   |
|  |  |
| <p>K-net 郡山強震観測点</p>   | <p>K-net 郡山周辺</p>   |

## 2.2.10 ⑩旧南会津郡役所

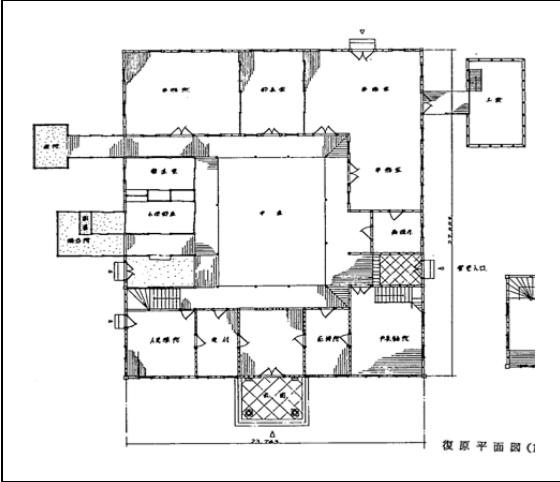
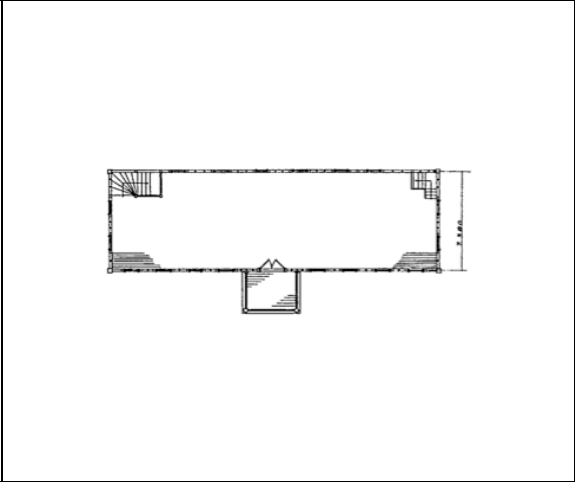
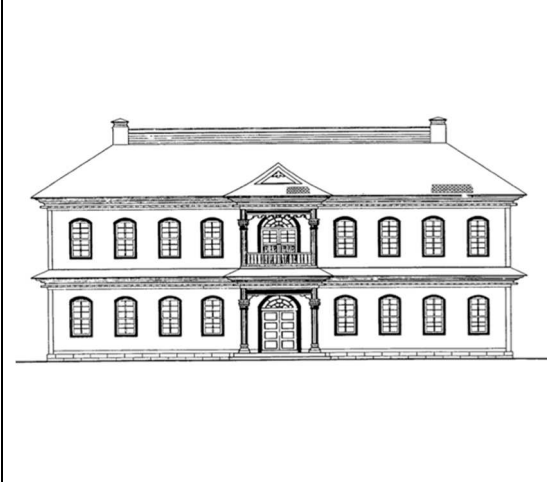
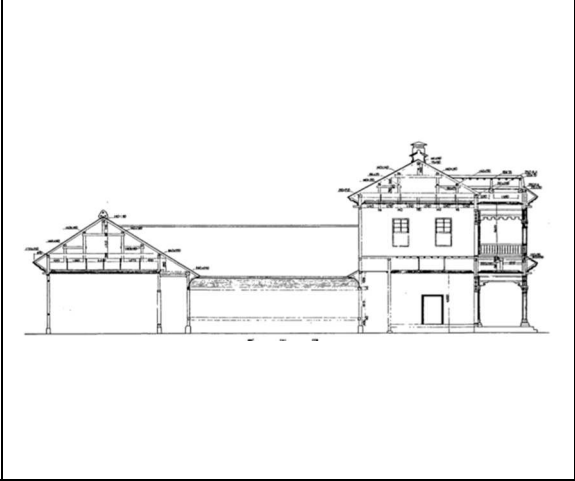
|      |                            |  |
|------|----------------------------|--|
| 所在地  | 南会津郡南会津町田島                 |  |
| 基本情報 | 県指定重文                      |  |
| 竣工年  | 1885                       |  |
| 修理年  | 1914, 1971                 |  |
| 修理内容 | 1914 正面下見板化など. 1971 曳き屋・補修 |  |
| 構造種別 | 木造一部2階                     |  |
| 建築面積 | 767m <sup>2</sup>          |  |
| 設計   | 牛田方造（福島県庁土木掛）              |  |
| 施工   | 貝瀬鉄吉・古川源治                  |  |

### 構法

- ・基礎：（外周）布石上土台引き回し（延石）
- ・土台：有り（外周）
- ・軸部：通柱
- ・胴差：有り
- ・筋かい：不明
- ・間柱：有り
- ・貫：不明
- ・壁：外：下見板 内部：木摺漆喰
- ・水平構面：板貼床
- ・天井：水平木摺漆喰，棹縁天井など併用
- ・小屋組：和小屋対束
- ・屋根：金属葺
- ・金物：不明

### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：
- ・強震観測点：K-net 下郡(FKS025)
- ・調査対象との距離：16.5km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 97.0, EW 146.9, UD 137.3

| 図面   |  |
|--|--|
|   |    |
| 平面図（1階）  | 平面図（2階）  |
|  | なし   |
| 立面図（正面）  | 立面図（東側面）   |
| なし   |  |
| 断面図（桁行）  | 断面図（梁間）  |



### 主な被害

- ・被害度：部分被害
- ・被害概要：壁亀裂（一階入り口脇，2階長手方向に浮き上がりなど）
- ・主な被災部位：壁
- ・復旧計画：内装工事
- ・設計者：未調査
- ・施工者：未調査
- ・内容：平成24年10月1日～平成25年1月3日（内装工事を予定）

### 調査結果

木造2階口の字型平面を持つ郡役所建築。基礎は外周に延べ石を引き回し土台を載せている。軸部は通柱に胴差を使用していると思われる。壁は外部が下見板，内部は木摺漆喰である。小屋組は対束である。屋根葺き材は積雪を考慮して金属板葺で仕上げられている。被害は下記の様であった。

外部：

- ・ペンキの剥離，北西ファサードの亀裂，土壁露出などあるが，震災前からのものと思われる。窓ガラス被害は，二階ベランダ上部半円部のみ。

内部：

#### 1F

- ・全体に壁への亀裂あり。従前からのものもある。
- ・玄関脇に水平の亀裂（震災後）。
- ・中庭を囲む柱の，南西側が少し南西へ転んでいる。
- ・中庭を囲む廊下，天井雨漏り（庇の谷部分）。
- ・中庭廊下に面する垂れ壁に亀裂と膨らみあり。内部の土露出。
- ・北東部分など，壁紙亀裂。中の縦木摺が少し見える状態。

#### 2F

- ・壁に亀裂多数。（窓枠周辺など。特に南東，バルコニー脇が大）
- ・バルコニー上部半円ガラスに亀裂，破損。

近代的構法に関する被害としては壁亀裂が挙げられる。小屋組等の被害については見られない。基礎も健全であったが，外部下見板には風雨による劣化が多く見られた。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧南会津郡役所被害調査（2012年8月，松本撮影）

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| <p>正面外観</p>  | <p>中廊下 柱の内転び</p>  |
|  |  |
| <p>一階天井 壁紙の亀裂 雨漏り跡</p>   | <p>二階 漆喰壁の亀裂</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| 二階ベランダ 正面壁亀裂   | 二階 漆喰壁亀裂 詳細   |
|  |  |
| 中庭 中廊下上部の屋根の谷部分  | 基礎と土台、柱 (被害無)   |

### 2.2.11 ⑪白河ハリストス正教会

|      |               |  |
|------|---------------|--|
| 所在地  | 白河市           |  |
| 基本情報 | 県指定重文         |  |
| 竣工年  | 1915          |  |
| 修理年  | 不明            |  |
| 修理内容 |               |  |
| 構造種別 | 木造平屋一部2階亜鉛葺鉄板 |  |
| 建築面積 | 未詳            |  |
| 設計   | 河村伊蔵          |  |
| 施工   | 中村信太郎等        |  |

#### 構法

- ・基礎：(外周) 石積布石上土台引き回し
- ・土台：有り
- ・軸部：不明
- ・胴差：不明
- ・筋かい：不明
- ・間柱：不明
- ・貫：不明
- ・壁：(外) 下見板, (内) 木摺漆喰 (写真による)
- ・水平構面：不明
- ・天井：不明
- ・小屋組：不明
- ・屋根：銅板葺
- ・金物：

#### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：5 強
- ・強震観測点：K-net 白河(FKS016)
- ・調査対象との距離：1.9km
- ・本震最大加速度 (gal)：NS 1295.1, EW 948.8, UD 440.7



## 第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査

### 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査






#### 主な被害

- ・被害度：不明
- ・被害概要：外観からは不明

#### 調査結果

本建物では外観調査のみを行ったため、構法、被害の細部は不明である。  
基礎は布石を引き回しているが、内部は不明。ただし移動、亀裂などの被害は見られなかった。なお隣接する司祭館には亀裂、土壁の剥落が確認された。周辺の住宅においても土壁の剥落被害が見られた。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 外観  | 司祭館  |
|   |   |
| 外観  | 司祭館 盲窓の土壁剥落  |
|  |  |
| 石積み基礎と柱の接合部（被害無）  | 周辺の蔵 土壁剥落（白河市）   |
|  |  |
| 下見板   | 周辺の住宅 土壁剥落（白河市）  |

## ■宮城県の事例

### 2.3.1 ①旧登米高等尋常小学校校舎（教育資料館）

|      |                     |  |
|------|---------------------|--|
| 所在地  | 登米市登米町              |  |
| 基本情報 | 重文                  |  |
| 竣工年  | 1888                |  |
| 修理年  | 1989                |  |
| 修理内容 | 半解体修理               |  |
| 構造種別 | 木造2階                |  |
| 建築面積 | 841.7m <sup>2</sup> |  |
| 設計   | 山添喜三郎（宮城県技手）        |  |
| 施工   | 三島秀之助・佐藤朝吉（大工棟梁）    |  |

#### 構法

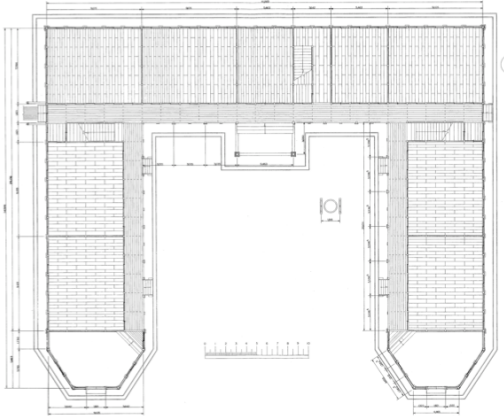
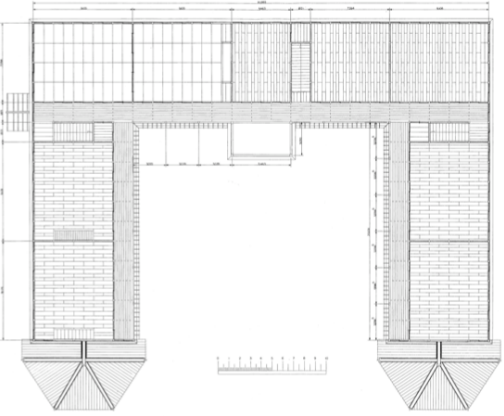

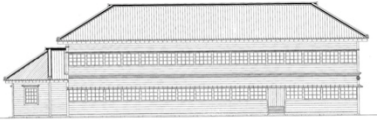

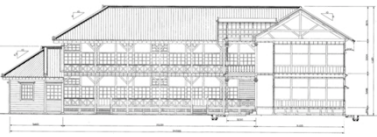
- ・基礎：切石・地覆（基礎下に300mm三和土ベース有り（「堅固」と言われる））
- ・土台：周囲及び各部屋境に土台
- ・軸部：側柱・廊下柱通柱，間仕切り管柱
- ・胴差：不明
- ・筋かい：2階梁との間に水平筋違
- ・間柱：縦胴縁
- ・貫：1，2階とも腰貫・内法貫を2段に通す。
- ・壁：（外）下見板・バルコニー，（内）教室土壁腰壁縦梁，階段土壁（64mm）
- ・水平構面：板貼り
- ・天井：板貼り
- ・小屋組：キングポストトラス
- ・屋根：棧瓦葺・一部鉄板葺
- ・金物：不明

#### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：6弱
- ・強震観測点：K-net 豊里(MYG007)
- ・調査対象との距離：7.9km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 568.0，EW 650.9，UD 242.7

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

図面

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>平面図（1階）</p>  | <p>平面図（2階）</p>   |
|  |  |
| <p>立面図（正面）</p>  | <p>立面図（東側面）</p>  |
|  |  |
| <p>断面図（桁行）</p>  | <p>断面図（梁間）</p>   |



### 主な被害

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：窓、漆喰壁、手すり（文化庁110322発表）、基礎・壁・ガラス、瓦は少しずれた
- ・主な被災部位：教室壁、階段壁・両端昇降口など大規模な壁の剥落、方杖の脱落、窓ガラス（約2割）

### 調査結果

木造2階建て棧瓦葺、コの字平面を持つ木造校舎である。基礎は石場建て、コの字の臆面には延べ石を引き土台建てとしている。基礎下には300mmの三和土ベースがあり、「堅固」と語り伝えられていた。軸部は土台上に管柱、通柱を杢差しで建てる形式であり、貫を使用した土壁が内部、外部は下見板仕上になっている。胴差の有無は確認できなかった。筋違は2階床付近に水平のものが見られる。小屋組は一間ごとにトラスを汲んでいる。コの字の両端部分に「六方」と呼ばれる昇降口が取り付けられている。小屋組はキングポストで、屋根は主体部分が棧瓦葺、一部カラー鉄板葺である。後述の登米警察署庁舎と共に、宮城県技師山添喜三郎による建設である。後者を見ると、ほぼ同年の竣工ながら積煉瓦の布基礎が回されており、本建物において石場建てが採用されている理由は主に意匠上の理由であると考えられる。

被害内容としては、教室内部、外部共に真壁土壁の剥落があり、階段部分や両翼端部「六方」における土壁の剥落は顕著であった。軸部に関する被害としては方杖の抜けが見られたが、これは聞き取りに依れば当初から接合に問題があった（釘が無いなど）部位であるとのことであった。基礎にはほとんど被害は見られない。「六方」部分における剥落は顕著であるが、これがコの字平面の端部という位置の問題なのか、六方のトラス架構が補強されていることから示されるように脆弱な部位であったのかを検討する必要がある。コの字平面で、採光のためか外側、内側ともに全面壁は少なく、梁間方向と桁行方向で壁量にかなり違いがあると考えられる。これは窓ガラスの大規模な破損が生じていることとも関連すると考えられる。構法上というよりは、計画上の問題と考えられるが他の事例との比較も含めた考察が必要であると思われる。

今回の調査範囲の中で唯一大規模な真壁を持つ木造建築であったが、剥落は顕著であったが軸部に被害は見られないなど全体的な耐震性には問題はなかったと推定される。なお、今後の課題として六方の付加に見られるような建築構成上の特徴を近代木造建築の構造性能を構法的に検証する際に考慮することが考えられる。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校[2012年8月松本撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 正面  | 六方（昇降口）  |
|   |   |
| 基礎亀裂無   | 窓ガラス破損   |
|  |  |
| 2階床の風雨による劣化   | 六方との接続部分   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>同 風雨による劣化</p>  | <p>土台部分 被害無</p>  |
|   |   |
| <p>六方取り付け部分</p>   | <p>方杖の外れ</p>   |
|  |  |
| <p>手摺緩み</p>   | <p>方杖の外れ</p>   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| ガラス窓の破損   | ベランダ取り付け部分 奥壁亀裂  |
|   |   |
| 手摺端部の外れ   | ガラス 古いコーキング処理がされている  |
|  |  |
| 六方取り付け部分 瓦の落下   | 背面 連続水平窓 ガラス破損多数   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>窓ガラス詳細 充填剤の劣化</p>  | <p>全面壁が少ない</p>   |
|   |   |
| <p>隅部分 ガラスの破損</p>   | <p>「六方内部」土壁の破損と特殊なトラス</p>  |
|  |  |
| <p>トラスの包帯補強（実施日時不明）</p>   | <p>土壁の亀裂 壁にトラスが見える</p>   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>栈木による押さえが施された土壁</p>  | <p>1階廊下</p>  |
|   |   |
| <p>小壁端部での土壁の破損</p>  | <p>教室内観 開放的であるが壁は一方向</p>   |
|  |  |
| <p>階段部分亀裂，剥落</p>  | <p>同 壁の亀裂</p>  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>教室内観</p>   | <p>小壁の破損</p>   |
|   |   |
| <p>隅部分 内観</p>   | <p>長押（貫か）の外れ</p>   |
|  |  |
| <p>土壁の破損</p>  | <p>階段脇の浮き</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 同 階段部亀裂   | 壁破損 天井は2階が吹き放ちのため雨漏  |
|   |   |
| コの字端部土壁の剥落  | 六方端部外観   |
|  |  |
| 六方内部 土壁被害 階高が高い   | 同様 比較的全面壁が多い部位である  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |   |
|---|---|
|    |   |
| 2階壁 補修  | 方杖  |
|   |  |
| 和室 欄間には被害無  | コの字内側隅  |
|  |   |
| 背面 ガラス窓の多さを確認   |   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校 被災直後（撮影：とやま振興公社）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>ガラス破損</p>  | <p>土壁の浮き上がり</p>  |
|   |   |
| <p>方杖の脱落</p>  | <p>ガラス，壁の破損</p>  |
|  |  |
| <p>外観</p>   | <p>外観</p>  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 内部土壁の斜めの亀裂（筋違無）   | 縁部分でも基礎移動は見られない  |
|   |   |
| 廊下内観  | 階段部分   |
|  |  |
| 「六方」内部壁の破損  | 同  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| ハーフティンバー風部分も木舞壁充填   | 同  |
|   |   |
| 同   | 内部建具の転倒，破損   |
|  |  |
| 屋根瓦には被害は見られない   | 六方取り付け部分ガラス窓被災   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧登米高等尋常小学校

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| 背面ガラス窓   | 背面 枠ごと取れた箇所を確認できる   |
|  |  |
| 土壁内部の竹木舞が露出  | 手摺端部の外れ   |
|  |   |
|  |   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

2.3.2 ②旧登米警察署庁舎（警察資料館）

|      |            |  |
|------|------------|--|
| 所在地  | 登米市登米町     |  |
| 基本情報 | 県指定重文      |  |
| 竣工年  | 1889       |  |
| 修理年  | 1988（復原修理） |  |
| 修理内容 | 不明         |  |
| 構造種別 | 木造2階一部平屋   |  |
| 建築面積 | 不明         |  |
| 設計   | 山添喜三郎      |  |
| 施工   | 不明         |  |

構法

- ・基礎：煉瓦布石積（内部補強不明）
- ・土台：有
- ・軸部：不明
- ・胴差：不明
- ・筋かい：不明
- ・間柱：あり
- ・貫：あり（木舞あり）
- ・壁：（外）下見板張，（内）水平木摺＋漆喰（木摺の内側に木舞壁か）
- ・水平構面：不明
- ・天井：板貼
- ・小屋組：不明
- ・屋根：寄棟瓦葺
- ・金物：不明

付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：6弱
- ・強震観測点：K-net 豊里(MYG007)
- ・調査対象との距離：7.6km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 568.0, EW 650.9, UD 242.7

### 主な被害

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：瓦，ガラスに小被害，壁被害（全面塗り替え）
- ・主な被災部位：壁，基礎は見た目被害無
- ・復旧計画：あり
- ・設計者：未詳
- ・施工者：未詳
- ・内容：壁全面塗り替え，ガラスのビス留固定

### 調査結果

登米尋常高等小学校と同じく宮城県技師山添喜三郎による木造一部2階建て建築である。内部の軸組などの詳細は未詳であるが，周囲には煉瓦積布基礎が回されている。尋常高等小学校の翌年に建設されているが，基礎構法は異なる。壁も真壁木舞土壁ではなく，木摺漆喰であるが，被災時の木摺の下には木舞が見られ，木摺は後補の可能性もある。

平面形状は整形だが前部が2階，後ろが1階建ての形式で，2階以上の揺れは大きいと予想される。窓の配置などは郡役所建築などに近い形式をとっている。

なお，登米町の4棟は1990年ごろにまとめて修理されており，当時の補修方針についても検討する必要があると思われる。

なお内部に展示資料として実寸の古いパトカーが入っていたが修理工事時などに入れたのかどうかは不明であった。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

警察資料館・登米町周辺市街地（松本撮影）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 正面  | 側面 内部は改修工事中  |
|   |   |
| レンガ積み基礎亀裂無  | 背面1階部分 外観被害無   |
|  |  |
| 登米町市街地 土蔵造り屋根壁の被害   | 登米町市街地   |









第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

警察資料館（撮影：とやま振興公社）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>2011.03.18 警察資料館 1階中央廊下</p>  | <p>入口受付付近</p>  |
|   |   |
| <p>ふれあいコーナー</p>   | <p>事務室</p>   |
|  |  |
| <p>事務室</p>  | <p>事務室</p>   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| ふれあいコーナー  | ふれあいコーナー   |
|   |   |
| 消防の部屋   | 留置所前通路 木摺と木舞併用か  |
|  |  |
| 階段  | 階段   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| 2階展示室  | 2階展示室   |
|  |  |
| 2階展示室（小）   | バルコニー基礎   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

2.3.3 ③旧水沢県庁庁舎（水沢県庁記念館）

|      |                       |  |
|------|-----------------------|--|
| 所在地  | 登米市登米町                |  |
| 基本情報 | 町指定文化財                |  |
| 竣工年  | 1871 創建. 1889 頃の姿に復元. |  |
| 修理年  | 1990～1991             |  |
| 修理内容 | 不明                    |  |
| 構造種別 | 木造平屋                  |  |
| 建築面積 | 不明                    |  |
| 設計   | 不明                    |  |
| 施工   | 不明                    |  |

構法

- ・基礎：延べ石土台引き回し
- ・土台：あり
- ・軸部：伝統的柱梁
- ・胴差：不明
- ・筋かい：不明
- ・間柱：あり
- ・貫：有り
- ・壁：木舞土壁
- ・水平構面：根太床
- ・天井：板貼り
- ・小屋組：不明
- ・屋根：瓦葺
- ・金物：不明

付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：6 弱
- ・強震観測点：K-net 豊里(MYG007)
- ・調査対象との距離：7.8km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 568.0, EW 650.9, UD 242.7



### 主な被害

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：壁剥落
- ・主な被災部位：壁
- ・復旧計画：あり
- ・設計者：
- ・施工者：
- ・内容：土壁をボード下地に変更

### 調査結果

構法の詳細は未詳であるが、木造平屋下見板張りの建物である。壁は仕上げ材が土塗壁であり、内部が真壁であることから木舞掻きを用いた伝統的構法であると考えられる。改造を繰り返したのち1990年ごろに復原されたため当初構法とは異なる可能性がある。被災後は土壁はボード下地に変更されて改修された。

なお、柱と窓枠に200mm程度の小壁が挟まるように入っているなど、基本的には真壁であるが少し奇妙な開口の取り方が行われていた。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

水沢県庁記念館（撮影：とやま振興公社）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 外観  | 敷地周辺塀  |
|   |   |
| 内部 ガラスの破損と土壁の亀裂   | ドアの板木の破損   |
|  |  |
| 土壁亀裂  | 同  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

水沢県庁記念館

|   |  |
|---|--|
|  <p>18.03.2011</p>   |  <p>18.03.2011</p>   |
| <p>入り口部分</p>  | <p>展示室腰壁破損 竹木舞露出</p>   |
|  <p>18.03.2011</p>  |  <p>18.03.2011</p>  |
| <p>亀裂は柱の貫部分と窓枠を結ぶ位置</p>   | <p>真壁開口部付近のせん断亀裂</p>   |
|  <p>18.03.2011</p> |  <p>18.03.2011</p> |
| <p>土壁の破損</p>  | <p>内部の竹木舞，貫の露出</p>   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査


水沢県庁記念館（松本撮影 補修後）

|   |   |
|---|---|
|    |   |
| 正面  | 同   |
|   |  |
| 側面写真  | 内部 ボード張り補修後   |
|  |   |
| 同様  |   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

2.3.4 ④武家屋敷（旧鈴木邸，春蘭亭）

|      |          |  |
|------|----------|--|
| 所在地  | 登米市登米町   |  |
| 基本情報 | 町指定有形文化財 |  |
| 竣工年  | 1800年以前  |  |
| 修理年  | 1990年前後  |  |
| 修理内容 | 不明       |  |
| 構造種別 | 木造平屋     |  |
| 建築面積 | 不明       |  |
| 設計   | 不明       |  |
| 施工   | 不明       |  |

構法

- ・基礎：石場建て 側地覆石
- ・土台：一部有
- ・軸部：伝統的柱梁
- ・胴差：不明
- ・筋かい：不明
- ・間柱：不明
- ・貫：有り
- ・壁：木舞土壁
- ・水平構面：板貼り
- ・天井：不明
- ・小屋組：不明
- ・屋根：土瓦葺
- ・金物：不明

付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：6弱
- ・強震観測点：K-net 豊里(MYG007)
- ・調査対象との距離：7.8km
- ・本震最大加速度（gal）：NS 568.0, EW 650.9, UD 242.7

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

**主な被害**

- ・被害度：半壊
- ・被害概要：土壁，鴨居落下
- ・主な被災部位：壁，軸部

**調査結果**

構法は未詳であるが，江戸時代に建てられており，石場建て土台に柱貫に木舞土壁を用いた  
ほぼ伝統的構法の範疇である。

被害としては土壁の亀裂・剥落，鴨居の落下などが見られた。

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

春蘭亭（撮影：とやま振興公社）

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 土壁貫位置と思われる亀裂  | 土壁剥落   |
|   |   |
| 土壁建て亀裂  | 勝手口付近 土壁亀裂   |
|  |  |
| 正門  | 正門 脇壁の剥落   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

春蘭亭・K-net 豊里

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 正門裏   | 縁周り建具の外れ   |
|   |   |
| 貫の脱落  | K-net 豊里   |
|  |  |
| K-net 豊里  | K-net 豊里 周辺の地盤沈下   |



## ■岩手県の事例

### 2.4.1 ①岩手大学農学部（旧盛岡高等農林学校本館）

|      |                      |  |
|------|----------------------|--|
| 所在地  | 岩手県盛岡市               |  |
| 基本情報 | 重文                   |  |
| 竣工年  | 1912(T1)             |  |
| 修理年  | 1977<br>1994         |  |
| 修理内容 | 展示資料室を1室に復原          |  |
| 構造種別 | 木造2階寄棟スレート           |  |
| 建築面積 | 500.82m <sup>2</sup> |  |
| 設計   | 谷口鼎（文部省営繕 技手）        |  |
| 施工   | 不明                   |  |

#### 構法

- ・基礎：（外周）煉瓦布基礎  
（その他）煉瓦独立基礎  
（基礎最上部）布石（御影石）  
イギリス積み，奥行320mmGLから711mm，煉瓦の下にはコンクリートと割栗地形あり，コンクリートと煉瓦は4尺アンカーで緊結
- ・土台：基礎との緊結は不明（アンカー延長しているかどうか）
- ・軸部：基礎上に土台，大壁内の通柱・管柱・間柱を土台にほぞ差し．中間部に胴差，各階に窓台・楣，頂部に敷桁．間柱・筋違あり
- ・胴差：有
- ・筋かい：K型・＼型，柱に大入れ，間柱欠きこみ
- ・間柱：ほぞ差し
- ・貫：無
- ・壁：（外）下見板，（軸）間柱・K型筋違，（内）水平木摺・漆喰15mm程度
- ・水平構面：（床）土台・大引・根太＋火打ち土台．火打ち有（床，小屋）
- ・天井：吊木→野縁→木摺漆喰
- ・小屋組：東西寄棟，クイーンポスト，火打梁，野地板
- ・屋根：スレート葺
- ・金物：通柱と梁：短冊金物，ボルト等

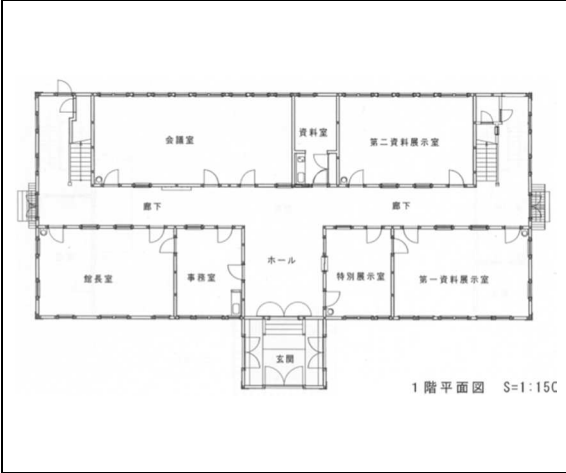
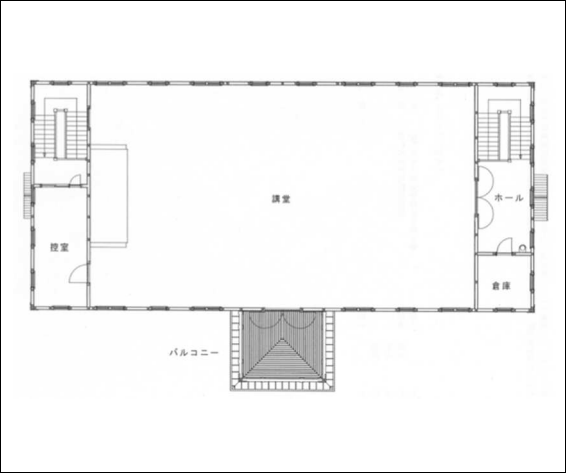

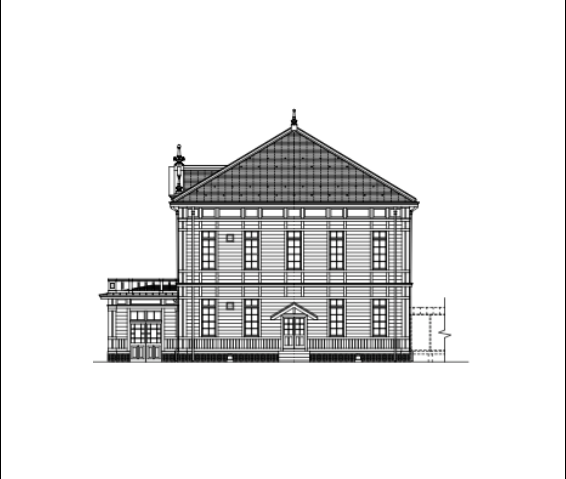

#### 付近の強震観測記録（本震）

- ・気象庁計測震度：5強

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

- ・強震観測点：IWT018(K-net 盛岡)
- ・調査対象との距離：2.2km
- ・本震最大加速度 (gal)：NS 162.9, EW 248.7, UD 111.7

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

| 図面   |  |
|--|--|
|  <p>1階平面図 S=1:150</p> |    |
| 平面図（1階）  | 平面図（2階）  |
|                      |   |
| 立面図（正面）  | 立面図（東側面）   |
| なし   |  |
| 断面図（桁行）  | 断面図（梁間）  |

### 主な被害

- ・被害度：部分被害
- ・被害概要：壁・天井亀裂．文化庁110322発表には記載なし
- ・主な被災部位：階段開口隅亀裂，漆喰壁亀裂，基礎被害不明
- ・復旧計画：以前からの改修計画を利用
- ・設計者：三四五建築設計事務所
- ・施工者：平野組
- ・内容：間仕切り復元，窓→壁に復原，雨戸，壁に合板を入れる．ヒーター，排水，小屋裏水平ブレース，屋根の葺き替え（振動被害のせいではない）

### 調査結果

外周部は煉瓦積布基礎で，内部は煉瓦独立基礎，内部は間仕切り壁の下を煉瓦独立基礎で受ける形となっている．これらの基礎上に土台を設け，通柱，管柱，間柱を土台に柄差しとしている．胴差が外周に渡されている．窓台，マグサは横に延長し胴繋となる形式ではない．筋違はK型であるが，窓台または窓楣位置で折り返す（筋交いが直角に交差する）形式である．壁は内部は水平木摺に漆喰塗仕上げ，外部は下見板貼りであった．水平構面には火打ち張りが端部に使用されている．金物の使用は，梁と桁の接合に帯金物とボルトが用いられている．また平面形式は東西に長く，1階は展示室として細かく分かれ，2階はほぼ1室の講堂であった．

なお，被災前の岩手大学と三四五建築事務所による調査<sup>4</sup>，その後の改修から，アンカーで煉瓦が緊結されていること，また，本建物のK型筋違については実験から壁倍率で3~4倍であり，筋違の接合部分は間柱や下見板による拘束の効果も考慮する必要があるが，最終的に押し切るまで座屈や仕口の破壊を起こさなかったことなどが報告されている．

地震による主な被害は壁の亀裂であった．長手方向の隅や，短辺方向階段踊り場の窓隅からなどに目立つ亀裂が生じていた．2階では天井，北側の壁などに亀裂が見られた．基礎にも被害は無く，全体的に被害は軽微であった．

現在は被災前からの計画により耐震改修事業が前述の事務所と岩手大により進められており，K型筋違の実験結果を用いれば，後補で窓になった箇所を壁に復原すれば耐震性能が担保できることが示されている．壁の補修や屋根の全面葺き替え（人工スレートへ）が進行中である．

<sup>4</sup> 岩手大学農学部旧本館耐震診断業務報告書，平成23年3月，岩手大学，三四五建築研究所



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
 平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧盛岡高等農林学校本館[岩手大 武田純一氏撮影]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>2011.03.11 短辺報告壁亀裂</p>   | <p>展示ケースの破損</p>  |
|   |   |
| <p>2011.03.14 短辺方向窓隅亀裂</p>  | <p>換気孔周辺の天井亀裂</p>  |
|  |  |
| <p>天井隅部分の亀裂</p>   | <p>同</p>   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧盛岡高等農林学校本館[2012年8月松本撮影 改修工事中]

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>2012.08.23 盛岡高等農林学校改修中正面</p>   | <p>内観 改修作業刻み</p>   |
|   |   |
| <p>間仕切り壁の復元</p>   | <p>下げ苧詳細</p>   |
|  |  |
| <p>間仕切り壁復原</p>  | <p>1・2階部分内部 胴差</p>   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧盛岡高等農林学校本館

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 廊下 亀裂は軽微  | 腰壁   |
|   |   |
| 下見板の改修  | 窓部分を壁に復原   |
|  |  |
| 復元前の間仕切り痕跡調査  | 短辺方向階段部分下  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査



旧盛岡高等農林学校本館

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>この周辺に亀裂被害が比較的多い</p>  | <p>2階講堂 短辺方向の間仕切りなどは無し</p>   |
|   |   |
| <p>階段頂部 壁の亀裂</p>  | <p>奥の窓の隅に目立つ亀裂</p>   |
|  |  |
| <p>一部ボード張りによる改修</p>   | <p>木摺漆喰壁 模型による施工法の確認</p>   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧盛岡高等農林学校本館

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| さげ苅詳細   | 巾木の劣化  |
|   |   |
| 屋根補修 天然から人工スレート   | 屋根棟隅部分   |
|  |  |
| 降り棟防水詳細   | 柱頂部  |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

旧盛岡高等農林学校本館

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>外壁塗装等修理前</p>   | <p>積石布基礎に天石載せ</p>  |
|   |   |
| <p>別館 土壁被害（聞き取りによる）</p>   | <p>基礎部分はモルタルで塗られており不明</p>  |
|  |  |
| <p>門番小屋（附指定）外観</p>  | <p>門番小屋内観 亀裂が見られた</p>  |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

■考察

以上の調査結果を考察する。まず各建物の被害概要を簡潔に再掲し、全体被害、各部構法の被害をまとめる。

## ■各建物の被害概要

### 2.6.1 ①旧伊達郡役所（1883 建設）



#### 主な被害

被害度：半壊

壁：内側漆喰壁1，2階とも亀裂，剥落.

基礎：基礎石孕み出し.

### 2.6.2 ②奥山家住宅 和館（1921）



#### 主な被害

被害度：半壊



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

壁：土壁，木摺壁の剥落

軸組：風呂場など軸組破損

石蔵破損に伴い一部軸部破損

### 2.6.3 ③奥山家住宅 洋館（1921）



#### 主な被害

被害度：部分被害

壁：外壁石貼りに亀裂

内壁漆喰に亀裂

軒：軒裏木摺漆喰の漆喰剥落

### 2.6.4 ④旧亀岡家住宅



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

主な被害

被害度：部分被害

壁：土壁の剥落

2.6.5 ⑤旧廣瀬座



正面



被害写真

主な被害

被害度：部分被害

壁：2階正面妻側内土壁に横に長い亀裂。

楽屋，ブレース補強端部に亀裂。

基礎：地覆石一部破損。

2.6.6 ⑥福島県迎賓館（旧高松宮翁島別邸）



正面



被害写真

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

主な被害

被害度：部分被害

壁：土壁亀裂，剥落（廊下，竹の間：茶室）

2.6.7 ⑦天鏡閣（旧有栖川宮別邸）



主な被害

被害度：半壊

壁：水平木摺漆喰壁亀裂・剥落（出窓・入隅に亀裂多．ビリヤード室に被害多．）．

2.6.8 ⑧旧福島県尋常中学校本館（安積歴史博物館）



主な被害

被害度：半壊



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

壁：内部漆喰壁剥落

基礎：布石基礎はらみ出し

床束折損

軸組：隅柱一部欠け

屋根瓦：下屋 棟瓦落下

### 2.6.9 ⑨郡山市開成館

|  |   |
|--|---|
|  |  |
| 正面   | 被害写真  |

#### 主な被害

被害度：半壊

軸組：柱の折損（移動），梁亀裂・鴨居と柱接合部破損，筋違も破損（交換）

壁：内外土壁の崩落

### 2.6.10 ⑩旧南会津郡役所

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 正面  | 被害写真   |



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

主な被害

被害度：部分被害

壁：亀裂

軸組：中庭周辺柱の内転び

2.6.11 ⑪白河ハリストス正教会

|  |   |
|--|---|
|  |  |
| 正面   | 被害写真  |

主な被害

被害度：不明

外観からは不明.

基礎：石積布基礎には被害が見られない.

2.6.12 ①旧登米高等尋常小学校校舎（教育資料館）

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 正面  | 被害写真   |

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

主な被害

被害度：半壊

壁：教室壁，階段壁・両端昇降口など大規模な土壁の剥落

軸組：方杖・内側手摺の脱落

建具：窓ガラス（約2割）

基礎：基礎

屋根：瓦のズレ

2.6.13 ②旧登米警察署庁舎（警察資料館）

|  |   |
|--|---|
|  |  |
| 正面   | 被害写真  |

主な被害

被害度：半壊

壁：内部壁大規模に剥落。（全面塗り替え）

基礎：基礎は外観上被害無.

屋根：瓦小被害.

建具：ガラス小被害.

第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

2.6.14 ③旧水沢県庁庁舎（水沢県庁記念館）



主な被害

被害度：半壊

壁：土壁の剥落

2.6.15 ④武家屋敷（旧鈴木邸，春蘭亭）



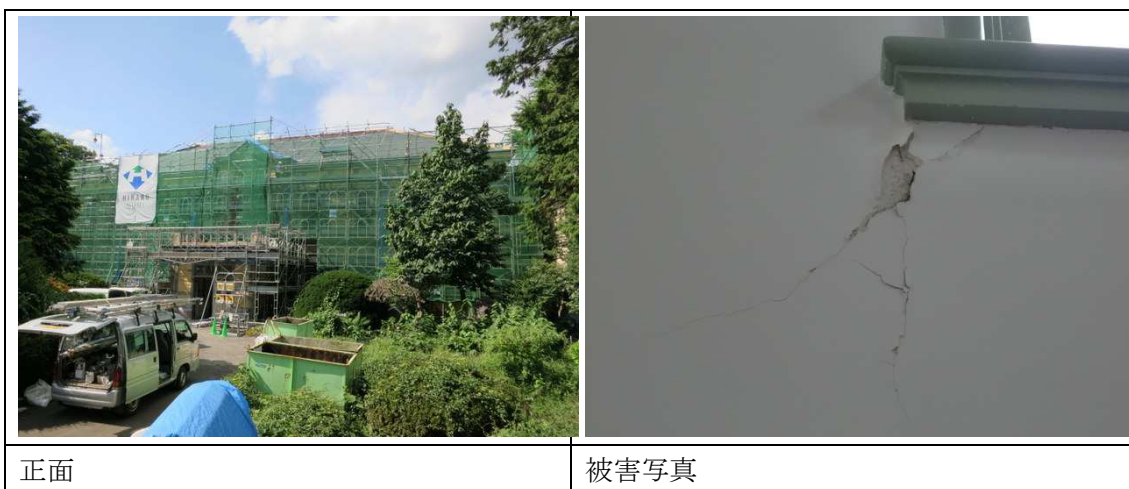
主な被害

被害度：半壊

壁：土壁の剥落

軸：鴨居の落下

2.6.16 ①岩手大学農学部（旧盛岡高等農林学校本館）



主な被害

被害度：部分被害

壁：漆喰壁（階段開口隅など）・天井に亀裂、一部剥落。



第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査  
平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方近代木造建築の被害事例調査

調査対象全体の被害傾向

まず、以下に上記調査対象の建物における使用構法と被害度の一覧を示す。  
軸部構法のみは部材単位での有無とし、その他は採用した構法を示した。  
各部構法の被害は基礎・土台では亀裂を被害少、移動、沈下を被害大、軸部では軽微亀裂・移動を被害少、折損・脱落を被害大、壁では小規模亀裂・剥落を被害少とし、これらをまとめて全体の被害度を判定している。  
全体の被害度は部分被害、半壊、不明に分類したが、判定基準は岡田ら<sup>5)</sup>による建物の破壊パターンに準拠し、部分被害は屋根、壁の亀裂・剥落があるが構造に被害は無いもの、半壊は主体構造にも損傷が及んでいるが、内部空間の欠損が生じていないものとした。但し、基礎のはらみ出し、全面的な壁の塗り直しが必要なレベルの壁剥落が起きている場合は復旧可能性も考慮して半壊とした。

表 2-4 調査対象建物の構法と被害度の一覧  
(オレンジ色：被害大、黄色：被害小)

|                 | 建設年  | 被害度  | 基礎・土台          |            |          |         |    | 軸部       |             |            |    |        | 壁      |          |       |     | 小屋組    |         |       |     | その他    |        |        |         |       |      |     |
|-----------------|------|------|----------------|------------|----------|---------|----|----------|-------------|------------|----|--------|--------|----------|-------|-----|--------|---------|-------|-----|--------|--------|--------|---------|-------|------|-----|
|                 |      |      | 石場建（側布敷石土台も含む） | 側のみ布基礎2段以上 | 側・内部共有基礎 | 基礎土台の露結 | 伝統 | 通柱/管柱    | 胴繋          | 筋違         | 間柱 | 貫      | 木舞+土壁  | 木摺+漆喰/土壁 | 下見板   | その他 | キングポスト | クイーンポスト | 和小屋   | その他 | 火打     | 金物     | 屋根葺材   |         |       |      |     |
| 春蘭亭             | 1800 | 半壊   | ○              | ×          | ×        | ×       | ○  | ×        | ×           | ×          | ×  | ○      | ○      | ×        | ×     | ×   | ×      | ×       | ○（推定） | ×   | 不明     | 不明     | 土葺枕    |         |       |      |     |
| 旧水沢県庁舎          | 1871 | 半壊   | ○              | ×          | ×        | ×       | 不明 | ○        | ×           | 不明         | ×  | ○      | ○      | ×        | ○     | ×   | ×      | 不明      | ×     | 不明  | 不明     | 木瓦葺    |        |         |       |      |     |
| 郡山市開成館          | 1874 | 半壊   | ○              | ×          | ×        | ×       | ×  | 2本のみ通柱   | ○（補強材+たすき板） | ×          | ○  | ○      | ×      | ×        | ×     | ×   | ×      | ×       | ○     | ×   | ×      | 鉄板葺    |        |         |       |      |     |
| 旧伊達郡役所          | 1883 | 半壊   | ×              | ○          | ×        | ×       | ×  | ○        | ○           | ×          | ○  | ○（付属壁） | ○（付属壁） | ○（跡め）    | ○     | ×   | ×      | ×       | ×     | ×   | ×      | ○      | 土葺枕瓦   |         |       |      |     |
| 旧南会津郡役所         | 1885 | 部分被害 | ○              | ×          | ×        | ×       | 不明 | ×        | ○           | ×          | ×  | ×      | ×      | ○        | ○     | ×   | ×      | ×       | ○（対東） | ×   | 不明     | 不明     | トタン葺   |         |       |      |     |
| 旧廣瀬座            | 1887 | 部分被害 | ○              | ×          | ×        | ×       | ○  | ×        | ×           | △（修築時ブレース） | ×  | ○      | ○      | ×        | ×     | ×   | ○      | ×       | ×     | ×   | ×      | ○      | 木瓦葺    |         |       |      |     |
| 旧登米高等尋常小学校      | 1888 | 半壊   | ○（側・内土台）       | ×          | ×        | ×       | ×  | ○（方柱に被害） | ×           | ×          | ×  | ○      | ○      | ×        | ○     | ×   | ○      | ×       | ×     | ×   | ×      | ×      | ○      | 土葺枕瓦    |       |      |     |
| 旧登米警察署庁舎        | 1889 | 半壊   | ×              | ○          | ×        | ×       | 不明 | ×        | ×           | 不明         | 不明 | ○      | ×      | ○（本平）    | ○     | ×   | ×      | ×       | ×     | ×   | ×      | ×      | ○      | 木瓦葺     |       |      |     |
| 旧福島県尋常中学校       | 1889 | 半壊   | ×              | ○          | ×        | ×       | ×  | ×        | ○           | ○（梁間一枚）    | ○  | ○      | ×      | ○（跡・本平）  | ○     | ×   | ○      | ○（増築部）  | ×     | ×   | ×      | ×      | ○      | 木以外空葺枕瓦 |       |      |     |
| 旧亀岡家住宅          | 1904 | 部分被害 | ×              | ○          | ×        | ○       | ×  | ○        | ×           | ○          | ×  | ○      | ○      | ×        | ×     | ×   | ×      | ○（増築部）  | ×     | ×   | ○（増築部） | ○（2階床） | ×      | ○       | 土葺枕瓦  |      |     |
| 天鏡閣（旧有栖川宮別邸）    | 1908 | 半壊   | ×              | ×          | ○        | ×       | ×  | ×        | ○           | ○（胴繋ぎ折り返し） | ×  | ○      | ×      | ×        | ○（本平） | ○   | ×      | ×       | ×     | ×   | ×      | ×      | ○      | ○       | スレート葺 |      |     |
| 旧盛岡高等農林学校       | 1912 | 部分被害 | ×              | ○          | ×        | ○       | ×  | ○        | ×           | △（型、型）     | ○  | ×      | ×      | ×        | ○     | ×   | ×      | ○（方柱付）  | ×     | ×   | ×      | ×      | ○      | ○       | スレート葺 |      |     |
| 白河ハリストス正教会      | 1915 | 不明   | ×              | ○（内部不明）    | ×        | ×       | ×  | ×        | ×           | 不明         | 不明 | 不明     | 不明     | ×        | ○     | ○   | ×      | ×       | ×     | ×   | ×      | ×      | ×      | ×       | 鉄板葺   |      |     |
| 奥山家住宅 和館        | 1921 | 半壊   | ○              | ×          | ×        | ×       | ×  | ○        | ×           | ×          | ×  | ×      | ○      | ○        | ×     | ×   | ×      | ○（廊下下地） | ×     | ×   | ○      | ×      | ×      | ×       | 不明    | 土葺枕瓦 |     |
| 奥山家住宅 洋館        | 1921 | 部分被害 | ×              | ○          | ×        | ×       | ×  | ×        | ○           | ○          | ○  | ○      | ×      | ○（内）     | ×     | ×   | ×      | ×       | ×     | ×   | ×      | 八角骨筋   | ○（ボルト） | ×       | スレート葺 |      |     |
| 旧高松宮島別邸（福島県迎賓館） | 1922 | 部分被害 | ○              | ×          | ×        | ×       | ×  | ○        | ×           | ×          | ×  | ×      | ○      | ○        | ×     | ×   | ○（一部）  | ×       | ×     | ×   | ×      | ×      | ×      | ×       | 不明    | 不明   | 鉄板葺 |

<sup>5)</sup> 岡田成幸、高井伸雄「地震被害調査のための建物分類と破壊パターン」日本建築学会構造系論文集、1999.10、

・16棟中に無被害のもの、また全壊、倒壊に至った建物はなく、半壊が9棟、部分被害が6棟、被害不明が1棟であった。被害度、半壊被害、部分被害の内訳を以下に示す。以下、一棟において被害は重複するため、棟数の合計は16ではない。

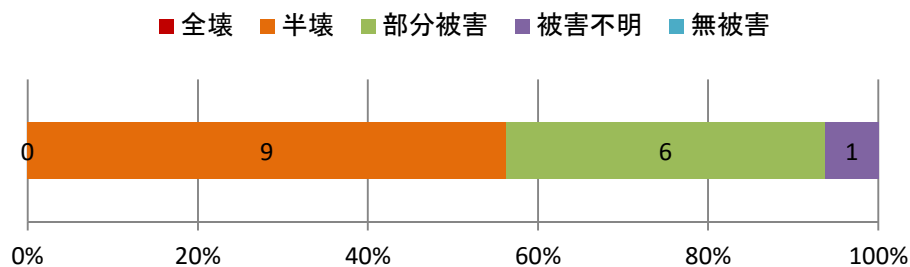


図 2-2 建物の全体被害度内訳

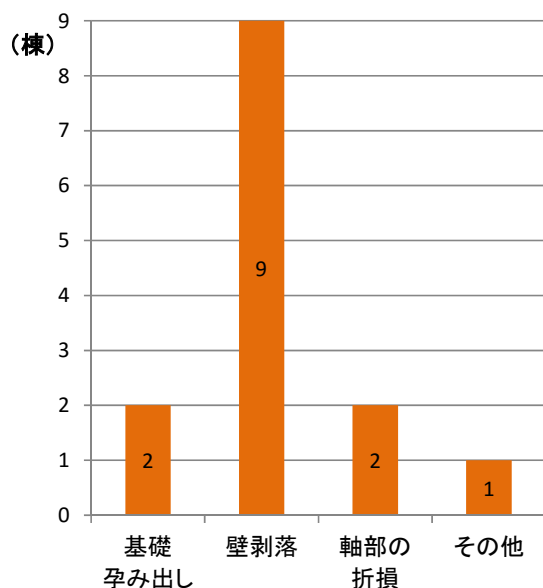


図 2-3 半壊被害内訳

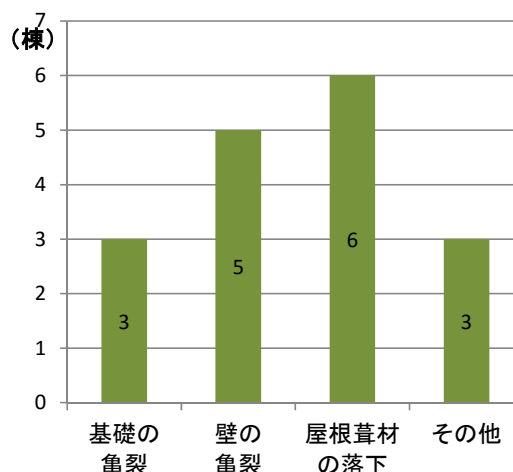


図 2-4 部分被害内訳

・半壊被害の被害内容としては、軸部の折損（梁、鴨居など含む）（2棟）土壁・漆喰壁の崩落（9棟）、外周壁布石積の基礎石のはらみ出し（2棟）、その他に床束の折損（1棟）であった。全ての半壊被害建物で壁の剥落が起こっており、今回の調査における主要な被害の一つであると言える。被害要因に関しては各部構法の項で論じる。

・部分被害としては壁の亀裂（5棟）、基礎の亀裂（3棟）、屋根葺材の落下（6棟）、方杖の外れ（1棟）などが見られた。

建設年代と全体の被害度の関係を以下に示した。

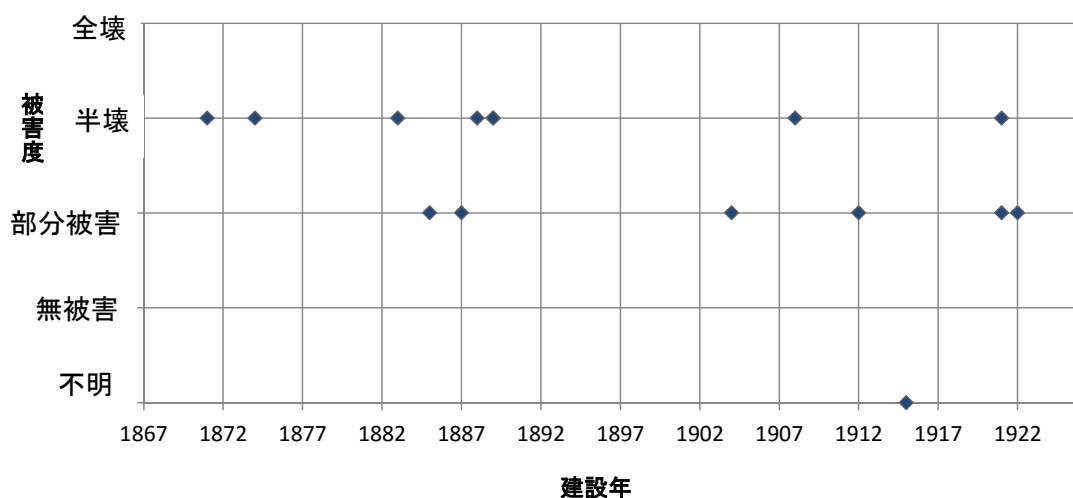


図 2-5 建設年と被害度

まず調査対象の建設年代は、1899 年以前建設のものと、1900 年代以降建設のものに大きく分かれていた。壁被害が見られたのはどの建物でも共通していたが、1899 年以前建設の半壊被害に着目すると、土壁または漆喰壁の剥落に加えて、基礎のはらみ出し 2 棟はどちらもこの時期に属していた。構法も、外周部のみに布基礎を回すアンカー緊結なしの形式で共通している。なお、1890 年代の空白期間は第 2 章で述べた間仕切り下に布基礎が敷かれるようになる端境期間である。1900 年代以降建設のものでは基礎に被害は見られないが、構法は石場建て、外周布石積基礎（アンカー有無）、側・うちとも布石積基礎、と分布しており特定の構法のみが強いわけではない。但し、同様の外周のみ布石積基礎の亀岡家住宅では内側の裏打ちコンクリートが補剛効果を発揮した可能性はある。

一方、明治 1900 年以降建設で半壊が確認できたのは奥山家住宅和館と天鏡閣であった。これは、ほぼ伝統的構法で建てられた平屋和風住宅と布基礎、木摺壁を備えた洋館と対照的である。奥山家の被害内容として土壁の剥落、欄間の落下、浴室柱の折損などが挙げられる。天鏡閣の被害は漆喰壁の亀裂、剥落であった。

## ■各部構法別の被害

### 2.8.1 調査対象建物に用いられた各部構法（重複を含むため合計は16棟を超える）

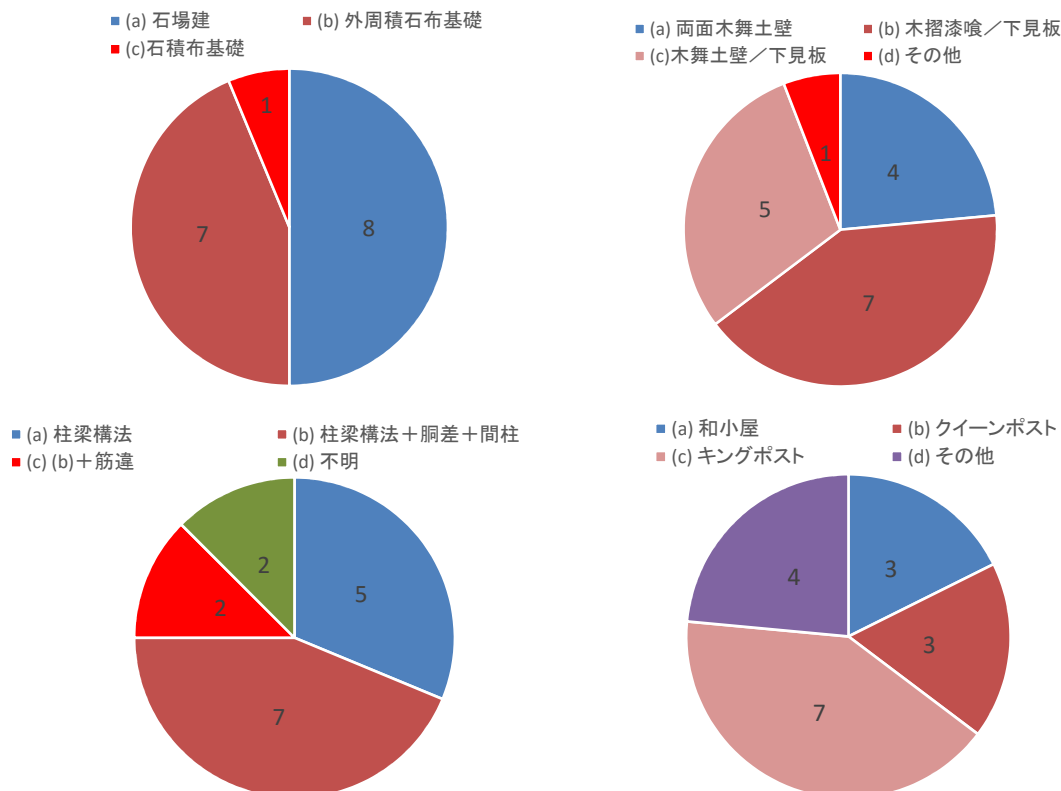


図 2-6 調査対象建物の各部構法の内訳  
壁

外側：下見板・内側：木摺漆喰 7 棟（うち斜め木摺 2 棟），外側：下見板・内側：木舞土壁 5 棟，内外とも土壁 4 棟，外側：木骨石貼・内側：木摺漆喰 1 棟。

#### 基礎・土台

16 棟中，石場建（外周土台含）8 棟，外周：石積又は煉瓦積の布基礎・内部：布基礎無し 7 棟，外周・内部共石又は煉瓦積の布基礎有り 1 棟。

#### 軸組・筋違

軸組は伝統的柱梁構造によるもの 5 棟，通柱あり 9 棟（内 1 棟以外胴差使用），不明 2 棟。

筋違は 16 棟中 5 棟で使用。全面的な使用は K 型を主に使っている 1 棟（岩手大学）のみ。

#### ・小屋組・屋根葺材

小屋組は，キングポストトラス 7 棟，クイーンポストトラス 3 棟，和小屋 3 棟，不明 4 棟であった。屋根葺き材の種別は金属板葺 4 棟，瓦葺 8 棟，スレート葺 3 棟，木羽葺 1 棟。

#### 近代以降に用いられた各部構法

上記の各部構法のうち主に近代以降に用いられた構法は，壁の南京下見板や木摺，基礎・土台の外周に積石又は煉瓦の布基礎，軸組の胴差を伴う通柱，筋違，小屋組のキングポスト，クイーンポスト，屋根葺材ではスレート葺等が挙げられる。



2.8.2 壁

・壁に被害が見られたものは16棟中15棟、被害不明が1棟であった。なお、下見板を壁外部に用いたものは8棟あったが、下見板部分の被害はなかった。

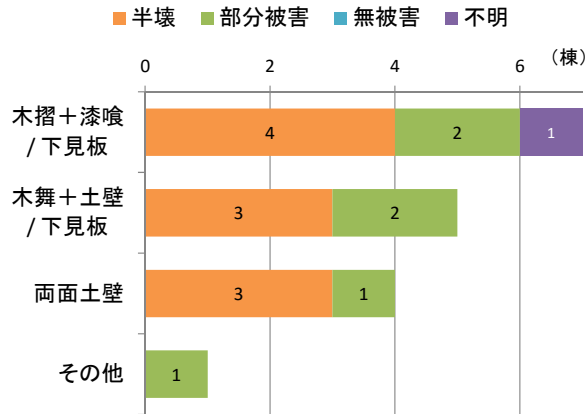


図 2-7 壁構法の種類と被害内訳



図 2-8 漆喰壁の剥落 (旧福島尋常中学校)

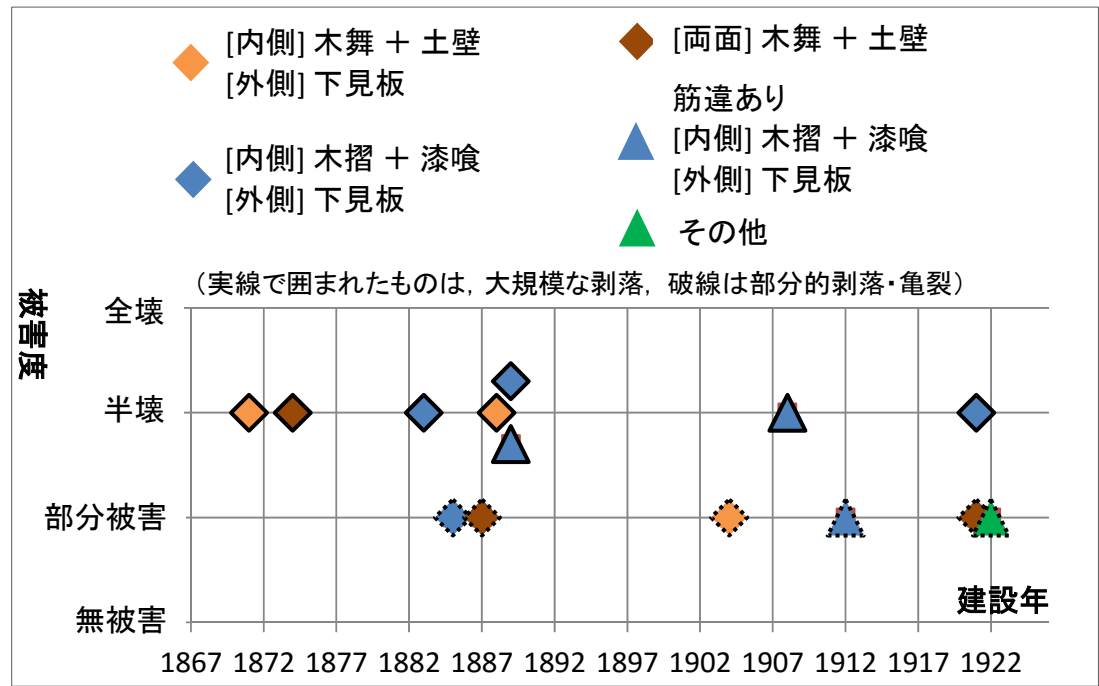


図 2-9 建設年、壁構法種類と全体被害度（被害不明除、1889年の2棟は共に半壊）

壁の被害内容

被害不明の1棟を除き全てで仕上げ材の亀裂・剥落が見られた。全面改修が必要な剥落被害は木摺漆喰+下見板壁で7棟中4棟、木舞土壁+下見板で5棟中3棟、両面土壁で4棟中3棟であった。この内、近代以降の仕様と考えられるのは木摺漆喰+下見板壁と土壁+下見板壁

である。なお、どの下見板面にも被害は見られず、また漆喰が剥落しているものでも内部の木摺下地には座屈・折損は見られなかった。また平面が整形の旧福島尋常中学校等と比較して、1階がL字で付属屋を持つ旧伊達郡役所では剥落箇所により（西側短辺方向、階段脇）が見られた。

### 壁 考察

- ・被害内容の内訳は、木摺漆喰壁における漆喰の亀裂・剥落。木舞土壁においても内外部の亀裂・剥落が見られ、また木骨石造壁においても内外部の亀裂が見られた。木摺下地に関して、座屈・折損は見られなかった。また木骨石造に関しては、内部軸組の腐食が確認されたが直接振動被害によるものではないと考えられる。
- ・また、壁内部の軸組の破損に関しては、郡山市開成館の事例で一部の筋違に見られた程度であり、多くは壁仕上げの損傷に留まっていた。一方で、内部の軸組が破損していた郡山市開成館に関しては、軸組の破損、傾斜も見られ、総合的に大規模な被害を受けていると考えられる。
- ・また、被害部位の調査を詳細に行ったものに関しては、旧伊達郡役所では2階短辺方向、西側方向に被害が集中している傾向があった。但し、これは建物の振動性状、耐震要素の配置を考慮する必要がある。また、主要構造部の修理時期から考えて、壁自体の劣化を考慮する必要もある。
- ・また、壁の剥落と、壁仕上げ時の定着を図る構法との関係では、木舞壁のものに関しては下地との定着に特殊な構法はないが、木摺下地を使用しているものに関しては、下げ芋を用いている。ただし、被害の少ない旧盛岡高等農林学校でも、被害が比較的大規模であった旧福島尋常高等学校、旧伊達郡役所などでも同様に木摺漆喰に下げ芋が用いられていた。被災後の旧福島尋常中学校、旧伊達郡役所の壁剥落箇所では下げ芋は多く断裂または釘ごと引き抜かれて落下していた。なお、漆喰層の塗り仕様には土塗りを途中に用いるものがある。今回の調査建物では福島県尋常高等学校が中塗りに土を用いていた。剥落被害との傾向は必ずしも明快ではないが、剥落のパターンとして、木摺表面での剥落となるか、漆喰の層破壊に至るかにして関連している可能性がある。
- ・木摺下地の斜め打ち、水平打ちに関する考察として、明確に斜め打ちを使用していると考えられるのは、旧伊達郡役所と旧福島尋常中学校である。一方、水平木摺を使用していたのは旧盛岡高等農林学校、旧登米警察署庁舎、天鏡閣である。一般に、斜め木摺は水平木摺より高い耐震性能を有するとされているが、今回の被害調査からは、軸部の変形を良く防止しているとは考えられるが、大規模に剥落しており、補修必要性という観点からは効

果が著しく良いとは言えない。

- ・また、大壁と真壁という分類で考えると、真壁を採用しているのは、旧登米尋常高等小学校本館、郡山市開成館、奥山家住宅和館、春蘭亭である。被害はどれも大であるが、これらは真壁/下見板（筋違無貫有）、真壁/大壁（筋違一部有）、真壁/真壁（筋違不明貫有）、とそれぞれ仕様が大幅に異なっており、一概に比較することはできない。
- ・猪苗代湖周辺で徒歩5分圏内にある天鏡閣と福島県迎賓館では、被害に明確な違いが出た。前者では筋違入り水平漆喰壁の亀裂・浮きが多く見られ、全面的な壁の補修が必要になったが、後者は一部土壁の剥落以外にはほとんど被害は見られなかった。単純な壁強さの比較では筋違入りの漆喰壁の方が強いと考えられるが、規模・重量の他、変形コの字型平面や複雑な出隅入隅を作っている天鏡閣の振動性状については考慮する必要があると考えられる。
- ・筋違入りの壁としては、福島尋常中学校、天鏡閣は被害大、旧盛岡高等農林学校では亀裂程度と違いが出た。尋常中学校では梁間のみに斜めに入っている程度であるが、天鏡閣、盛岡高等農林学校では比較的密に入れられている。天鏡閣と旧盛岡では勿論かなり遠隔ではあるが、付近の強震記録における最大加速度は共に **250gal** 前後である。基礎も共にアンカーで緊結されている。壁内部仕様の違いで言えば、筋違の形式が考えられる。どの程度壁の剥離に影響するのかは現段階では明言できないが、旧盛岡では胴繋なしの窓枠または窓マグサで筋違が直角に交わる **K** 型、天鏡閣では胴繋ぎを挟んで **\** 型が上下に並ぶ形の **K** 型であった。前述の三四五建築事務所の報告書によれば旧盛岡の **K** 型筋違において **1/75[rad]** 付近から漆喰は耐力を負担しなくなることが報告されている。天鏡閣型の場合については不明であるが、漆喰が剛性を負担しうる変形に差がある可能性もある。これについては、福島尋常中学、旧伊達郡役所などの同様の漆喰剥落が見られた建物についても今後考える必要がある。なお、郡役所の変形角と漆喰の剥離に関する考察は **5-4** を参照。
- ・また、コの字平面を持ち、内外とも外周部の殆どに水平窓が巡らされている旧登米尋常中学校では土壁の亀裂剥落が多く見られた。今後は構法の類型をより拡大し、立面における耐震要素の配置などを考慮したい。あるいは単純に学校建築の典型的なあり方なのか、ビルディングタイプ別の平面形式の分析などについても、構造性能の観点から見直す必要がある。

### 木摺壁に関する被害とその特徴

#### ■被害パターン：

##### 被害パターン1．漆喰層の剥離：

- 1-1. 漆喰層が、木摺面で剥離している場合…木摺空きで漆喰層が破壊
- 1-2. 漆喰層が、中塗り（下塗りの上）で破壊して剥落している場合…中塗り層で破壊

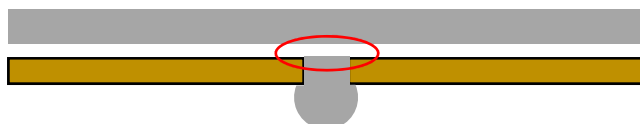


図 2-10 木摺空きでの漆喰の破壊

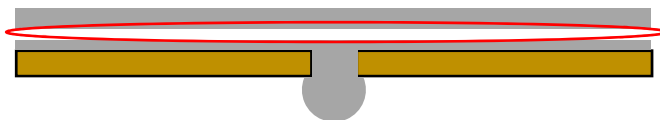


図 2-11 漆喰中塗り層での漆喰の破壊

#### 被害パターンとその構法的要因

- ・漆喰の構成層の定着が十分でない場合、漆喰層で破壊に至ったと推定される。

#### ■被害パターン2．漆喰層への亀裂

- ・45度方向せん断亀裂、窓枠端部からの亀裂

#### ■その他被害パターン．木摺釘・木摺材の変形，破壊

- ・調査範囲では確認されなかった



### 2.8.3 軸組（床束、壁内部は除く）

- ・被害が見られたのは、半壊被害では2棟であるが部分被害も含めると16棟中3棟であった。ただし、解体修理が進んでいるもの以外は、壁内側の詳細、接合部詳細は不明のため、郡山開成館以外は、解体前に目視で確認できたものを取り上げる。
  - ・構法の内訳は、伝統木造（奥山家和館）、一部通柱ほぼ管柱3階建ての開成館、側柱・廊下柱が通柱で間仕切りは管柱の旧登米尋常高等小学校校舎。
  - ・被害の内訳は、郡山開成館における柱の回転、梁・鴨居の亀裂と落下、奥山家住宅和館における柱の折損、旧登米尋常高等小学校校舎における方杖、手摺の外れであった。
  - ・開成館は各論でも述べたが壁が少ない、通柱が2本のみ、管柱が細い等の不安要素が確認されている。また下屋は元々別構造であることから、被災前からボルトによる補強がなされていた。
  - ・奥山家の折損した柱については、従前からの虫害（シロアリ）による劣化が見られた。
  - ・旧登米尋常高等小学校校舎に関しては、方杖、手摺の外れは釘止めが行われていない桝差し部位であった。
- ・近代的軸組要素として今回第2章で検討した胴差・胴繋ぎについては、7棟で用いられていたがそれ単体の被害は無い。2階階境において用いられる胴差についての検証としては、間柱との接合などを調査することも考えられる。一方で、胴繋と呼称した、階境より下で横に通柱を繋ぐ部材に関しては、福島県の事例に多く見られたが、単体での評価は被害が出る場合以外は難しく、耐震性能的には壁要素の一部として考慮すべきかもしれない。

#### 軸組 小結

- ・一般的な軸組の振動被害という意味での被害は少なかったと考えられる。
- ・郡山開成館の被害…管柱の断面が小さい管柱。1階の元々下屋であったところとの接合部分。
- ・蟻害等による劣化が原因と考えられる事例があった。

2.8.4 基礎

- ・被害が見られたのは、16棟中4棟.
- ・被害内容は、積石布基礎の移動2棟、ブレース端部の地覆石の亀裂1棟、積石基礎の移動に伴う床束の折損1棟などであった.

基礎 概要

基礎被害は16棟中4棟で確認された。被害内容は、石場建では布石の亀裂が1棟、土台の破損が1棟、外周のみ布石積基礎では7棟中2棟で積石が外にはらみ出す被害を受け、うち1棟は床束の折損を伴った。はらみ出した2棟の外周のみ積石布基礎は間仕切り通りに布基礎が引かれていない明治20年前後以前のものであった。また、それらは共にはらみ出す位置に偏りがあり、旧伊達郡役所では隅部分で、旧福島尋常中学校では西側の内部に間仕切り壁がある部分で顕著であった。一方、はらみ出し被害の無かった積煉瓦/積石布基礎（3棟）の内部にはアンカーが通されていることが確認された。

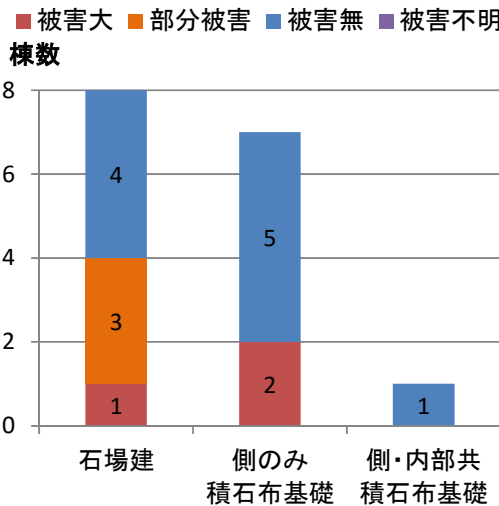


図 2-12 基礎構法の種類と被害内訳

図 2-13 旧福島尋常中学校 基礎はらみ出し

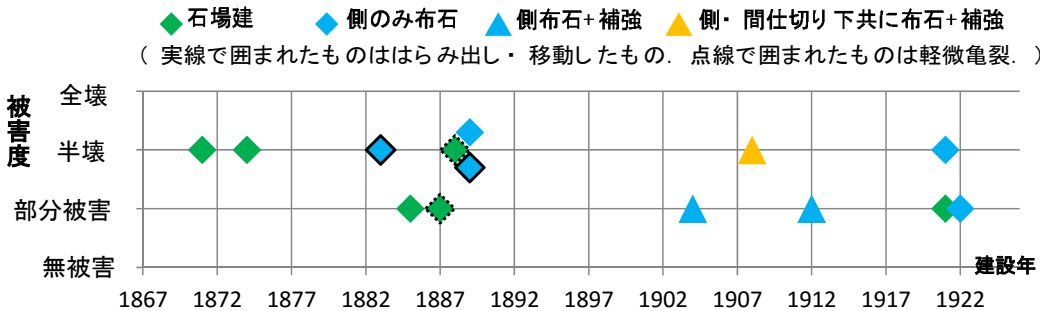


図 2-14 建設年、基礎構法種類と全体被害度（1889年建設の2棟は共に半壊）

### 基礎 考察

- ・修理工事が行われた事例では石の下はコンクリートで地形され直している。
- ・側積石基壇に関して、被害が無かったものとあったものを比較する必要があると考えられる。被害があった旧伊達郡役所・旧福島尋常中学校のものはどちらも外周のみの積「石」であり、間仕切り通りには布基礎が引かれていない。一方、被害が無かったもののうち旧盛岡高等農林・天鏡閣・旧亀岡家住宅は積「煉瓦」基壇で、内部にはアンカーが通されていた。土台との緊結も確認された。建設年度から考えても、基礎に関しては大きく被害を受けたのは明治20年前後以前ののものであり、第2章の知見によれば、布基礎が回っているかどうか（亀岡家は間仕切り通りは束石だが）が影響していると思われるが、どれもアンカーが回っており直接の比較は困難であった。なお、亀岡家住宅では再築の際に外周布基礎内側にRCの布基礎が回されており、これにおいても被害は軽微であった。
- ・基礎の被害として特徴的であったのは、側のみ積石布基礎の2例であったが、福島尋常中学校では間仕切り位置を中心とした大きな移動（隅部分にも移動は見られる）、旧伊達郡役所では隅のみが飛び出しており、被害の形式がやや異なっていた。内部の束や横架材は根がらみで束同士をつなぐ構法で類似しているため、全体の剛性の違いによって郡役所は全体として移動したため隅に被害が集中し、一方比較的間仕切り壁が良く揺れた尋常中学校ではその箇所を中心に被害が出た可能性や、大入れに入っている横架材と石の端部の接合の仕方の違い、東西方向の基礎性状が異なること（郡役所は同様、尋常中学は東側のみ据え直しあり）、石積の摩擦の違い、などが理由として考えられるが、定量的な検討を行う必要があると考えられる。特に福島尋常中学校のように補強をしない場合は今後も同様の被害が起こりうると思われる。

### 基礎 小結

- ・はらみ出し被害を受けたのは主に側基礎のみが積石の布基礎で、土台と緊結されていない明治20年代以前のもの。ただし、間仕切り壁の位置や、振動性状に起因すると思われる被害部位の偏りが見られた。
- ・アンカーが入っていた。RCの布基礎が内部に回されていたものは被害少であった。

#### 2.8.5 小屋組

- ・被害が見られたのは、16棟中1棟（奥山家住宅和館）であった。
- ・構法は和小屋。
- ・被害内容は、隣接する「いしぐら」の倒壊に伴って落下物により破損したものであり、直接的な振動被害によるものではない。
- ・なお小屋組構法の内訳は、キングポストトラス7棟、クイーンポストトラス3棟、和小屋3棟、不明4棟である（第2章参照）。

#### 2.8.6 屋根

- ・被害が見られたのは、16棟中6棟でどれも瓦葺。棟瓦の落下に留まり、被害程度は軽微。
- ・被害の内訳は、一部棟瓦の落下であった。ただし、これはこれらの建物とその周辺市街地での被害と比較するとかなり少ないと考えられる。
- ・なお屋根葺き材の種別は金属板葺4棟、瓦葺8棟、スレート葺3棟、木羽葺1棟であった（第2章参照）。

#### 2.8.7 水平構面

- ・床組、根太、大引など。
- ・被害が見られたのは、16棟中0棟であった。

#### 2.8.8 建具

- ・ほぼすべての調査対象で被害が見られた。
- ・被害の内訳は、窓・ドアのガラスの破損、障子等建具の破損、壁紙・天井紙の破損。
- ・ガラスの被害は、開口部の配置による可能性がある事が旧登米高等小学校の事例から推定される。間に壁を挟むことで変形角を小さくできるはずである。

#### 2.8.9 地盤被害

- ・対象とした建物のうち、液状化などの地盤変状による被害を受けたものは0棟であった。
- ・但し、周辺地域では地盤変状が起きている例もあり（旧伊達郡役所、奥山家住宅など）、確言はできないが比較的強固な地盤の上に建設されていたものと考えられる（修理工事報告書などにより確認できたものもある）。また、移築時にコンクリートによる地形を施している事例が多いことも地盤被害が僅少にとどまった理由であると考えられる。



### ■ 歴史的木造建築物の被害との比較

本節では、以上の東北地方近代木造建築の地震被害調査の結果と、その他の歴史的木造建築物の被害傾向との比較を行った。東北地方文化財被害の主な被害傾向を、本調査で対象とした3県について既報の報告から抜粋すると以下の様であった（文2-1）。

「・岩手・福島県…比較的軽微な被害。土壁壁面の亀裂、貫の抜け、鴨居の垂下、柱と壁、壁面と床に隙間。

- ・宮城県…重度被害。柱の傾斜、差鴨居等の構造材の外れ、床の変形。
- ・土蔵造に各県とも甚大な被害（剥落、傾斜）。」

これと前節までの被害調査結果を比較すると、概ね被害の傾向は同様であるが、被害程度に関しては、宮城県登米町の3棟と、福島県郡山市の2棟、桑折町1棟、国見町2棟に関しては大規模な壁の剥落が起こっており、軸組の被害は郡山市でも発生している。岩手県で被害が比較的軽微であるというのは、事例が1棟ではあるが一致している。

また、ここに指摘されていない被害傾向として、

- ・壁に関しては、方向性を持った崩落の傾向（振動性状等を考慮）がある事。
- ・石積布基礎のはらみ出し被害が、特にアンカー、RC布基礎裏打ちなどをしないものに関しては起こっていること。それに伴って床束の折損などが起こっていること。

が挙げられる。

### 被災度判定区分の適用可能性について

本章で検討してきた、近代木造建築の各部構法における被害を鑑みて、広く被害度の判定に用いられる「被災度判定区分」の方法は適切かどうか、项目的な検討を加える。

但し、本論文における調査では、残留変形などの詳細な記録を行っていないため、被災度区分判定自体を適用することはできない。そのため、判定結果に対して別の手法を提示するのではなく、近代木造文化財の被災度区分を判定する際に考慮すべき項目を提示するに留める。一例として、基礎被害としての孕み出しが挙げられる。

### ■（一般）木造建築物の被害との比較

同様に、近代木造建築の地震被害と一般の木造建築物の被害と比較する。2×4構法に当る構法のものはなかったため、在来構法に準じる建物の被害との比較とする。在来構法の被害としては、以下のように報告されている（文2-1）。

#### 2.10.1 住宅・店舗併用住宅の振動被害

・宮城県石巻市、大崎市、栗原市など、福島県須賀川市、栃木県那須烏山市など、茨城県桜川市など。

- ・老朽化、すなわち建設年代が比較的早く、部材に腐朽・蟻害が認められるものも多い。
- ・店舗併用住宅における開口部の大きさ。ラスモルタル剥落、下地板、軸組腐朽。
- ・元々の耐震要素の少なさと、老朽化による部材の劣化が被害の拡大要因。例外有。

#### 2.10.2 大谷石の石積による高基礎を設けた木造住宅（栃木県那須烏山市、市貝町周辺に多）

石積部分の崩壊により倒壊または大破した例が多く見られた。大谷石の石蔵被害も多い。

#### 2.10.3 土蔵造

- ・関東から東北の広範囲に被害あり。
- ・外壁土壁の剥落、瓦の落下が多数。構造躯体の傾斜は小さい例も多い。

#### 2.10.4 倉庫・納屋

- ・住宅に被害が多い地域では同様にこれらの軽微な構造にも被害が多い。倒壊、傾斜。

#### 2.10.5 学校建築

- ・建設年代の古い、製材による軸組構法を用いたものは、2層崩壊の事例（大崎市）などあり。
- ・集成材を用いた比較的新しいものでは、基礎コンクリートの損傷、木製ブレースの柱など軽微な被害のものあり（那珂市）。」

これと近代木造建築の地震被害を比較すると、

- ・瓦の落下は比較的少なく、また軽微にとどまった（16棟中6棟）。
- ・緊結されていない基礎からの土台の遊離は、外周土台の孕み出しとかなり類似した被害であるが、基礎が（無筋）コンクリートの場合と、石積の場合では被害程度が異なる可能性がある。

・土蔵との類似性をどう考えるか。規模的には違うが、土蔵の基礎に関しては被害は報告が無いようだが類似性はあると考えられる。特に、外周布石積基礎は、土蔵の構法と類似しているため、何故報告が無いのか、実際に被害事例としてほとんど存在しないのかを今後調査することで、外周布石積基礎の特徴も明らかになると思われる。

ただし、考慮すべき点として土蔵は今回の被害調査における基礎被害の事例よりはかなり規模が小さいと思われる。

## ■第2章 まとめ

本章では、2011年東北地方太平洋沖地震による福島・宮城・岩手三県の近代木造建築の被害調査を実施した結果、以下の知見が得られた。

### 全体的な被害の傾向

- ・16棟中に無被害のもの、また全壊、倒壊に至った建物はなく、半壊が9棟、部分被害が6棟、被害不明が1棟であった。
- ・半壊被害の被害内容としては、軸部の折損（梁、鴨居など含む）（2棟）土壁・漆喰壁の崩落（9棟）、外周壁布石積の基礎石のはらみ出し（2棟）、その他に床束の折損（1棟）であった。全ての半壊被害建物で壁の剥落が起っており、今回の調査における主要な被害の一つであった。

### 近代的構法部位における特徴的な被害：積石布基礎と木摺漆喰壁の被害

- ・外周のみの積石布基礎におけるはらみ出し、木摺漆喰壁の剥落が多く見られ今回の調査範囲における代表的な被害であった。

#### 木摺漆喰壁の被害：

木摺自体は確認できた範囲では健全であり、座屈・折損や釘接合部の破壊事例は見られなかった。被害は漆喰層の亀裂、剥落であった。被害の類型としては、亀裂は×型のせん断亀裂、開口部周辺の変形の集中によると推定されるクラックに起因する窓間の壁の破壊、が見られた。被害の程度としては、部分的な亀裂から、全面的な剥落までが確認された。

漆喰の剥落には、下塗りから剥落している場合（木摺空きの漆喰がせん断破壊している場合）、中塗りから剥落している場合（漆喰層の中塗り部位で破壊している場合）が確認され、漆喰層の定着、木摺空きの漆喰のせん断性能が剥落に影響していると推定された。

剥落被害と構法の関係に関しては、建物内での配置、開口部に隣接していることに加えて、下地材と漆喰層の定着に関しても、下葎の釘が細い真鍮である場合や、塗り材の途中に土塗りが含まれている場合、漆喰と下地の空きに葎小舞が挿入されて定着を妨げている場合、木摺の空きが極端に狭い場合などが挙げられ、被害を拡大した可能性がある。

### 近世以前からの各部構法での被害

- ・屋根葺き材の落下は比較的小規模。
- ・木舞土壁においても壁の剥落が見られた。
- ・小屋組の振動被害は和小屋、洋小屋を問わずなかった。
- ・軸組の被害は、細い独立の管柱、元々下屋部分の鴨居の落下、筋違の破損、虫害による柱の損傷などであった。

3. 第3章 近代木造建築の壁構法の構成要素および木摺下地の仕様・寸法の分析



#### 3.1. 概要

本章では、近代木造建築の水平抵抗要素のうち、耐力を負担する壁に着目し、①構法を角構成層の組み合わせとして把握し、類型を整理すること、および②そこで見出された主要な近代の壁構法の耐力負担要素の寸法と変遷を明らかにすることを目的とした。

本調査にあたって、2015年5月時点における国指定重要文化財建造物4629棟（そのうち、近代以降建設898棟233件）のうち、1858年以降に建設されたもの、かつ主体構造に木造を含む建物<sup>1</sup>全170件（指定件）の内、（指定の中心的建物の）修理工事報告書、および内部仕様の記載のある調査報告等が刊行されている98件、および既往研究<sup>2</sup>において近代木造建築の例として言及のある史跡・県指定文化財等8件の計106件<sup>3</sup>111棟を対象として文献調査を実施した。なお、指定対象のうち、附属屋、門、蔵等の施設は除き、主屋、本館棟を分析対象とした。また、偏りを考慮して、構法が類似している場合は同指定建物中の中心的な施設から各1棟を選定し分析の対象とした。

本章の調査は、まず上記の111棟について軸組・壁構法に関するデータベースを作成した（表3-1）。次いで、壁構法のうち、主要な構造性能を負担すると想定される外周壁構法を対象として、壁の下地・仕上げ構法の組み合わせを分類し、壁構法の統計的な傾向を把握した。また、壁体のせん断性能を検討する目的のため、軸部材として貫・筋違の有無、壁下地・壁仕上の仕様と、壁面が大壁であるか真壁であるか等についても確認を行った。

分析の結果近代の壁構法の主要なものと推定された壁構法（木摺漆喰壁構法）に関して、既往の構法的な知見を整理すると共に、壁を構成する下地材料（木摺）の寸法・仕様の変遷に関する分析を行った。寸法・仕様については、併せて現行の類似する仕様の規定、当時の技術書と比較し、近代木造の構造性能を規定する部位の構法的特徴としてまとめた。

---

<sup>1</sup> 「産業・交通・土木」以外の合計指定件数。「産業・交通・土木」の分類の建築、構造物からは報告書の刊行されている旧小坂鉱山事務所を加えた。

<sup>2</sup> 『木造軸組構法の近代化』、源愛日兄、中央公論美術出版、2009。および「洋風技術導入期の洋風木造建築における壁構法の変遷に関する研究」、佐久間千恵、職業能力開発大学校修士論文、2003。での対象建物（重複を除き合計61棟）のうち、本節で述べる対象の条件に該当する建物。

<sup>3</sup> 旧岩崎家住宅、旧呉鎮守府司令長官官舎、旧松本家住宅、旧諸戸家住宅（東諸戸邸、六華苑）は、和館、洋館を指定の中に含むため、1件当たり2棟を対象とした。

### 3.2. 分析方法

本章では、使用された壁構法の類型化を試みるため、まず壁は外周壁外側の仕上げ、外周壁内側の仕上げと下地、軸組、外周壁外の下地と仕上げの4層+軸組で構成され则认为。ただし、軸部に直接壁の構成材料が固定されている場合、下地構法として軸部材（間柱等）を含めるものとして分類を行った。また外周壁の場合、外部と内部で仕様の異なる例が多いが、間仕切り壁の場合は同一である例が多いため、そのような箇所を選定した。そのため、間仕切り壁は軸組、下地、仕上げ材料各1種類からなるものとしている。

また、仕上げ材料には一般的に塗装材料が含まれるが、本研究では構造性能に影響すると考えられるものを抽出した。例えば、小舞下地に土壁を塗り、漆喰の上塗（数 mm 程度）仕上げの壁に関しては、主要な抵抗要素である土壁とのみ記載したが、一方で木摺漆喰壁等では漆喰は10 mm以上塗られ、構造性能への影響が多いと考えられるため、漆喰を仕上げ材料として計上している。また、分析の対象とした構面は、資料から判明する範囲で全面壁を選定した。

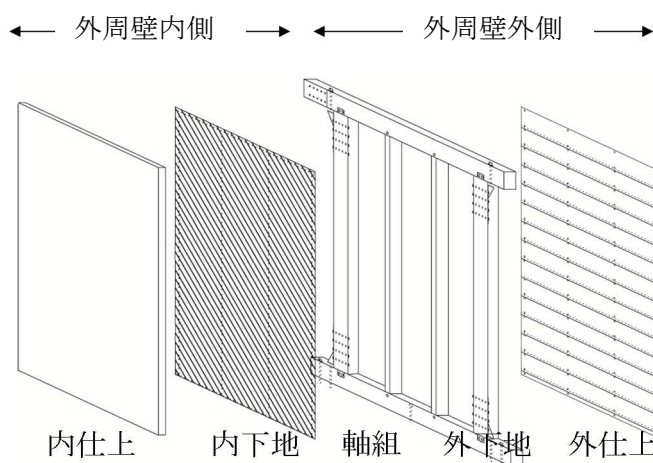


図 3-1 外周壁の層構成 （例：漆喰一斜め木摺一間柱一下見板仕上げ）

### 3.3. 壁構法の分布に関する調査結果

#### 調査対象の内訳

111 棟の内訳は、近代和風建築<sup>4</sup>30 棟、洋風建築・近代建築等を併せて 81 棟であった。また、壁構法は同一の建物で複数種類が使用されている場合があるため、その場合は、主要部分に併用されている場合は重複して数えた。そのため、壁構法の分析数は計 143 件となった。

#### 大壁・真壁の分類

壁面の仕様を大壁、真壁に分類した結果（図 3-2；ただし併用の場合は重複せずに別途記したため全体で 111 棟分の結果となっている）、外周壁外側で 7 割、外周壁内側および間仕切り壁で約 6 割が大壁仕様となっており、全体として大壁仕様の壁面が多くみられた。洋風建築が多く含まれることも影響しているが、後述のように和風建築であっても大壁とする例も見られた。なお、真壁、大壁の区別については、主要な柱が壁面内に収められている場合を大壁とし、逆に柱面内に下地・仕上げが納められている場合を真壁とした。化粧柱については、原則的に大壁として扱ったが、木摺等の下地材料によっては仕上げが大壁であっても下地材は柱面内に収められている場合もあり、その場合は個別に判断を行った。

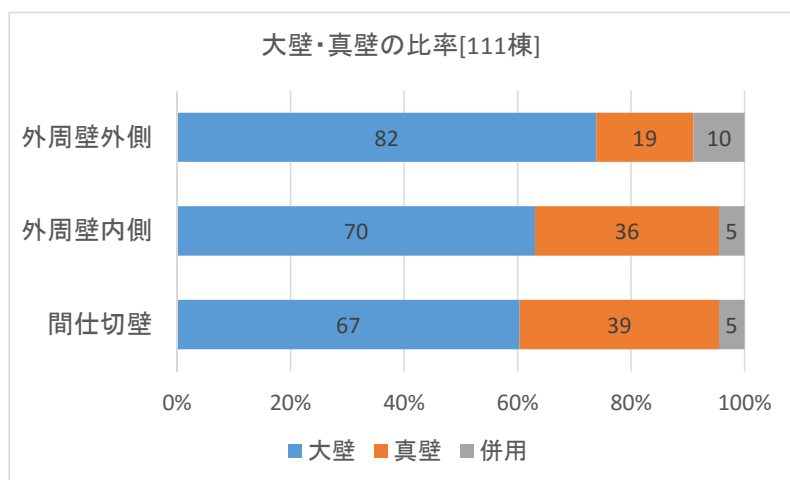


図 3-2 調査対象 111 棟の大壁、真壁の比率

表 3-2 に、外周壁の内側と外側それぞれの大壁・真壁の分類と構成要素の組み合わせの分布を示した。なお、調査対象の仕様の組み合わせは、ここに挙げた類型に分類できるが、各類型には中でさらに仕様の差異がある（木摺下地の張り方の方向など）。

次項では、外周壁の内側、外側、組み合わせた全体、のそれぞれの傾向と代表的な壁構法について述べる。

<sup>4</sup> 「月刊文化財」2014.11 所収、近代和風建築リスト（文化庁）に記載のあるものとした。

表3-1 近代木造建築111棟の壁構法と構成要素(1) [-は部材が存在しないことを示す]

| 番号 | 名称                         | 棟名                          | 建設年<br>(和暦)<br>M:明治<br>T:大正<br>S:昭和 | 建設年<br>(西暦)   | 所在   | 構造形式階数    | 近代和風<br>※文化庁に<br>よる月刊文<br>化財2014.11<br>リスト | 各部構法 |   |         |               |                 | 大壁・真壁<br>大壁○、真壁●                    | 壁面毎の大壁・真壁の判定                  |         |                                     | 壁構法 |           | 壁の層構成要素 |                             |                             |                           |  |                       |  | その他壁仕様                       |                |                              |   |
|----|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------|------|-----------|--|------|---|---------|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------|-------------------------------------|-----|-----------|---------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|-----------------------|--|------------------------------|----------------|------------------------------|---|
|    |                            |                             |                                     |               |      |           |  | 基礎   | 土台  | 小屋組     | 胴差            | 筋違              |                                     | 貫                             | 間柱      | 外周外                                 | 外周内 | 間仕切り<br>壁 | 外周壁外側   | 外周壁内側                       | 間仕切り壁                       | 外周壁 外側仕上げ<br>下地           | 外周壁 外側下<br>地                           | 外周壁 内側仕上              | 外周壁 内側下地                               |                              | 間仕切 仕上げ        | 間仕切 下地                       |   |
| 1  | 旧グラバー住宅母屋                  | 母屋                          | 文久3年                                | 1863          | 長崎県  | 木造        | 1  |      | —   | —       | 和小屋           | —               | —                                   | ○                             | —       | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 両面小舞土壁<br>(大壁)              | 両面小舞土壁<br>(大壁)              | 両面小舞土壁<br>(大壁)            | 土壁                                     | 両面小舞                  | 土壁                                     | 両面小舞                         | 土壁             | 両面小舞                         |   |
| 2  | 旧オルト住宅                     |                             | 文久3年～慶<br>応3年                       | 1863～<br>1867 | 長崎県  | 木造        | 1  |      | 側2・内  | —       | 和小屋           | —               | —                                   | ○                             | —       | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 石積、小舞土<br>壁、小舞土壁石<br>貼      | 石積漆喰、両面<br>小舞土壁(大壁)         | 小舞土壁(大壁)                  | 石/土壁+石貼                                | 石積、小舞                 | 土壁、漆喰                                  | 両面小舞、石積<br>貼                 | 土壁/土壁+紙<br>貼   | 小舞                           |   |
| 3  | 旧鹿児島紡績所技師館                 |                             | 慶応3年                                | 1867          | 鹿児島県 | 木造        | 2  |      | 不明  | 側・(内不明) | 和小屋           | 不明              | 不明                                  | 不明                            | 不明      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | △小舞土壁(大<br>壁)               | △小舞土壁(大<br>壁)               | △小舞土壁(大<br>壁)             | △土壁                                    | △小舞                   | △土壁                                    | △小舞                          | △土壁            | △小舞                          |   |
| 4  | 旧日光田母澤御用邸                  | 皇后御座所等<br>※多様のため壁<br>構法のみ抜粋 | M初期<br>1868～<br>1911                | 1868～<br>1911 | 栃木県  | 木造        | 一部2<br>階                                   | ○    | ※   | ※       | ※             | ※               | ※                                   | ○                             | ※       | 真壁                                  | ●   | ●         | ●       | 小舞土壁、下見                     | 堅木摺紙貼、下<br>地板紙貼、小舞<br>土壁    | 堅木摺紙貼、小舞<br>土壁            | 廊子下見、土壁                                | 小舞、他不明                | 土壁、漆喰、紙貼<br>など                         | 堅木摺、下地<br>板、小舞               | 土壁、漆喰、紙<br>貼など | 堅木摺、下地<br>板、小舞               | 堅木摺：八寸の四分板3つ割り(=80×12)<br>市松下地板：2寸×四分板(60×12)   |
| 5  | 旧リンガー住宅                    |                             | M1頃                                 | 1868          | 長崎県  | 木造・石<br>造 | 1  |      | 側   | —       | 和小屋           | —               | —                                   | ○                             | —       | 大壁、間仕切り<br>小舞も柱塗り込<br>める            | ○   | ○         | ○       | マダサ下・石積<br>マダサ上・竹小舞<br>土壁石貼 | 石積漆喰                        | 小舞土壁(大壁)                  | 石/土壁+下見                                | —                     | 漆喰                                     | 石                            | 土壁             | 小舞                           | 柱と石は鉄鉋でひきつけている。   |
| 6  | 東山手十二番館                    | 主屋                          | M1                                  | 1868          | 長崎県  | 木造        | 1  |      | —   | 側・内     | 和小屋           | 胴繫型             | —                                   | ○                             | 貫挟型     | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 下地板下見板                      | 水平木摺漆喰、<br>斜め木摺漆喰           | 水平木摺漆喰<br>(斜め不明)          | 下見板                                    | 下地板                   | 漆喰                                     | 水平/斜め木摺                      | 漆喰             | 木摺                           | 下地板、斜め張厚7分(附風簾)<br>・木摺下地に、下準なしで赤土による荒壁、黄色土による中塗り、漆喰仕上げ。<br>・木摺は開口部上下水平、そのほか多く斜め強。<br>・荒壁5mm、中塗り9mm、漆喰3mm、荒壁弱少、中塗り弱多め。 |
| 7  | 旧新潟税関庁舎                    |                             | M2                                  | 1869          | 新潟県  | 木造        |  |      | 側2・(内)                                      | 側・内     | 和小屋           | —               | —                                   | ○                             | 貫挟型     | 大壁、真壁(木<br>摺の取り付けは<br>共に真壁型か)       | ○   | ○         | ○       | 下地板なまこ<br>壁、他？              | 水平木摺漆喰                      | 水平木摺漆喰                    | 海鼠/漆喰                                  | 下地板                   | 漆喰                                     | 水平木摺                         | 漆喰             | 水平木摺                         | 海鼠壁は瓦四半張り、海鼠壁下地板は水平<br>下見板かさね20mm<br>塗り材は全て漆喰、ただし下塗り18mm、総塗り厚44～45mmと厚い。  |
| 8  | 旧羅典神学校                     |                             | M8                                  | 1875          | 長崎県  | 木骨煉<br>瓦造 | 3  |      | 側・布   | ○       | 和小屋           | ○、窓台・窓まぐ<br>さ   | —                                   | —                             | —       | 内外真壁(木骨<br>レンガ造)                    | ●   | ●         | ●       | 煉瓦漆喰                        | 煉瓦土塗り漆喰                     | 煉瓦漆喰、石積<br>漆喰             | 漆喰                                     | 煉瓦                    | 煉瓦に土塗り後漆<br>喰                          | 煉瓦                           | 漆喰             | 煉瓦、石積                        | ・柱を5分欠き込み、煉瓦を大入れに1枚積み(半枚?112mm)で積み入れて<br>壁体としている。煉瓦は漆喰で積んでいる。<br>地階間仕切り、南面乱石積部は土塗り漆喰                                  |
| 9  | 旧陸沢小学校校舎                   |                             | M8                                  | 1875          | 山梨県  | 木造        | 2  |      | 側3  | 側       | 和小屋           | 不明              | —                                   | ○                             | 不明      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 斜め木摺漆喰、<br>二重小舞土壁<br>(大壁)   | 斜め木摺漆喰、<br>二重小舞土壁<br>(大壁)   | 二重小舞土壁                    | 土壁/漆喰                                  | 二重小舞/斜め<br>木摺         | 土壁/漆喰                                  | 二重小舞/斜め<br>木摺                | 土壁             | 二重小舞                         | 外周側は貫、間渡、小舞に土塗り、内部は、木小舞を柱に欠き込み、間渡、小<br>舞土塗り、ウグイ竹、内部は裏返しなし。<br>塔壁は当初から木摺漆喰   |
| 10 | 旧中込学校校舎                    |                             | M8                                  | 1875          | 長野県  | 木造        | 2  |      | 側2  | 側・内     | 和小屋           | —               | 不明                                  | ○                             | 不明      | 外部大壁、内部<br>真壁                       | ○   | ●         | ●       | 小舞土壁(大<br>壁)、小舞土壁<br>下見板    | 小舞土壁                        | 小舞土壁                      | 下見/土壁                                  | 小舞                    | 土壁                                     | 小舞                           | 土壁             | 小舞                           | 胴縁、貫に間渡竹、蔵小舞取り付け<br>内装は真壁   |
| 11 | 旧見付学校校舎                    |                             | M8                                  | 1875          | 静岡県  | 木造        | 3  |      | 側2  | 側・内     | A型東付          | (一重型)           | △<型                                 | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 堅瓦漆喰                        | 斜め木摺漆喰                      | 不明                        | 漆喰                                     | 堅瓦                    | 漆喰                                     | 斜め木摺                         | 不明             | 不明                           |   |
| 12 | 旧開智学校校舎                    |                             | M9                                  | 1876          | 長野県  | 木造        | 2  |      | 側2  | 側・内     | クイーンポスト<br>ラス | 一重型             | —                                   | 二重通し貫                         | 伝統型     | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 二重小舞土壁                      | 二重小舞土壁                      | 二重小舞土壁                    | 土壁                                     | 二重小舞                  | 土壁                                     | 二重小舞                         | 土壁             | 二重小舞                         | 二重通し貫とする。内部壁では、貫は柱に欠き込み。  |
| 13 | 林家住宅                       | 主屋                          | M10                                 | 1877          | 長野県  | 木造        | 2  | ○    | 側地覆石  | 側一部     | 和小屋           | 不明              | 不明                                  | ○                             | 不明      | 外部：一部土蔵<br>大壁、真壁、内<br>部：真壁          | ○●  | ●         | ●       | 小舞土壁、不明<br>下下見板             | 小舞土壁                        | 小舞土壁                      | 土壁/下見板                                 | 小舞                    | 土壁                                     | 小舞                           | 土壁             | 小舞                           | —   |
| 14 | 旧開拓使工務局庁舎                  |                             | M10                                 | 1877          | 北海道  | 木造        | 2  |      | 側石積   | 側・内不明   | 不明            | 不明              | —                                   | —                             | ○       | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板                       | 横堅羽目板、羽<br>目板紙貼             | 横堅羽目板、羽<br>目板紙貼           | 下見板                                    | 間柱                    | 堅羽目板/紙貼                                | 横羽目板                         | 堅羽目板/紙貼        | 横羽目板                         | —   |
| 15 | 旧群馬県衛生所                    |                             | M11                                 | 1878          | 群馬県  | 木造        | 2  |      | 側3  | 側・[内]   | 和小屋           | 一重型、窓台、<br>窓まぐさ | —                                   | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板、斜<br>め木摺漆喰            | 下地板紙貼、斜<br>め木摺漆喰            | 下地板紙貼、斜<br>め木摺漆喰          | 下見/漆喰                                  | 間柱/斜め木摺               | 壁紙/漆喰                                  | 下地板(堅張)/<br>斜め木摺             | 壁紙/漆喰          | 下地板(堅張)/<br>斜め木摺             | 下地板：240×7.5<br>胴縁間柱に大入れ下地板打ち。<br>外装：コの字内側のみ漆喰他下見<br>・昭和修理時の木摺は45×6と小さい  |
| 16 | 旧札幌農学校演武場(時計台)             |                             | M11                                 | 1878          | 北海道  | 木造        | 2  |      | 当初仕様不明                                      | 当初仕様不明  | クイーンポスト<br>ラス | 一重型             | 対角型、端間柱                             | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板                       | 間柱板張                        | 間柱板張                      | 下見板                                    | 間柱                    | 板張                                     | 間柱                           | 横羽目板           | 間柱                           | 横羽目：152×21<br>下見板：176×106・17<br>筋違に断面欠損(相欠)   |
| 17 | 旧済生館本館                     |                             | M11                                 | 1878          | 山形県  | 木造        | 4  |      | 側3  | 側・内     | キングポストラ<br>ス  | 窓枠型             | 小壁                                  | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板                       | 水平木摺漆喰                      | 水平木摺漆喰                    | 下見板                                    | 間柱                    | 漆喰                                     | 水平木摺                         | 漆喰             | 水平木摺                         | 下準千鳥角釘打ち、400@420<br>下塗り14-18(砂漆喰)、上塗り4 計22  |
| 18 | 名古屋衛成病院                    |                             | M11                                 | 1878          | 愛知県  | 木造        | 1  |      | 側2・△内                                       | 側・△内    | キングポスト        | 胴繫型             | 対角                                  | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 斜め木摺漆喰、<br>木摺堅瓦漆喰           | 斜め木摺漆喰                      | 斜め木摺漆喰                    | 漆喰                                     | 斜め木摺/木摺<br>+堅瓦        | 漆喰                                     | 斜め木摺                         | 漆喰             | 斜め木摺                         | 「筋違を間柱で節出しているため斜め木摺を使用」   |
| 19 | 旧西村山郡役所                    |                             | M11                                 | 1878          | 山形県  | 木造        | 2  |      | 側4  | 側・[内]   | キングポスト        | 窓枠型             | 小壁                                  | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板                       | 下地板紙貼                       | 不明                        | 下見板                                    | 間柱                    | 壁紙                                     | 下地板                          | 当初不明           | 当初不明                         | 内装は全て紙貼、水平木摺の間隔は推定200mm前後とまばら   |
| 20 | 四階楼                        |                             | M12                                 | 1879          | 山口県  | 木造        | 4  | ○    | 側1  | —       | 和小屋           | (一重型)           | 柱貫の交点にぶ<br>ついているほか、<br>壁中間部対角な<br>ど | ○                             | —       | 側：大壁(漆<br>籠)、間仕切り：<br>真壁            | ○   | ○         | ●       | 小舞土壁(大壁)                    | 小舞土壁(大壁)                    | 小舞土壁                      | 土壁                                     | 小舞                    | 土壁                                     | 小舞                           | 土壁             | 小舞                           |   |
| 21 | 旧三重県庁舎                     |                             | M12                                 | 1879          | 愛知県  | 木造        | 2  |      | 側4・△内                                       | 側・△内    | 和小屋           | 胴固              | —                                   | 壁貫：内よりに貫<br>通<br>その他通し貫4<br>段 | 貫貫通(伝統) | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 斜め木摺漆喰、<br>堅瓦漆喰             | 小舞土壁(大壁)                    | 小舞土壁(大壁)                  | 漆喰                                     | 斜め木摺/堅瓦<br>(四半張)      | 土壁                                     | 小舞                           | 土壁             | 小舞                           | 貫を真からずらす一小舞で大壁を作りやすいためか<br>・75×24#303の斜め下地柱欠き込み、303角厚18の平瓦四半張り。<br>木摺：漆喰 差込9.1、土壁：間渡丸竹φ30                             |
| 22 | 龍谷大学                       | 本館                          | M12                                 | 1879          | 京都府  | 木造石<br>貼  | 2  |      | 側3  | 側       | クイーンポスト       | 一重/窓枠型          | ○                                   | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 小舞土壁(大<br>壁)、小舞土壁<br>石貼     | 水平木摺漆喰                      | 水平木摺漆喰                    | 土壁/土壁+石貼                               | 小舞(大壁)                | 漆喰                                     | 水平木摺                         | 漆喰             | 水平木摺                         | 木骨石貼、ただし石は土壁上に貼り付けか<br>外周は縦横の木小舞を柱に取り付け大壁<br>間仕切り壁に筋違の使用有り<br>下塗り生漆喰、砂漆喰、300の墨を縦横にして摺り込み                              |
| 23 | 豊平館                        |                             | M13                                 | 1880          | 北海道  | 木造        | 2  |      | 側4  | その他     | キングポストラ<br>ス  | 一重型             | K型                                  | ○                             | 貫挟型     | 大壁、真壁                               | ○   | ○         | ○       | 下地板下見板                      | 中壁：小舞土<br>壁、表面：斜め<br>木摺漆喰   | 中壁：小舞土<br>壁、表面：斜め<br>木摺漆喰 | 下見板                                    | 下地板                   | 漆喰                                     | 中壁：小舞+土<br>壁、内側壁：斜<br>め木摺+漆喰 | 漆喰             | 中壁：小舞+土<br>壁、内側壁：斜<br>め木摺+漆喰 |   |
| 24 | 旧岩科学校校舎                    |                             | M13                                 | 1880          | 静岡県  | 木造        | 2  |      | 側3  | 側・[内]   | 和小屋           | —               | —                                   | ○                             | —       | 外部大壁、内部<br>真壁                       | ○   | ●         | ●       | 水平木摺漆喰、<br>疎ら木摺海鼠           | 小舞土壁                        | 小舞土壁                      | 海鼠/漆喰                                  | 水平木摺/疎ら<br>木摺(海鼠)     | 土壁                                     | 小舞                           | 土壁             | 小舞                           | 貫5段120×24<br>海鼠壁の木摺：120×15<br>外の木摺下地は空きをとしている<br>内側・間仕切り壁は真壁  |
| 25 | 旧神戸居留地十五番館                 |                             | M14                                 | 1881          | 兵庫県  | 木骨煉<br>瓦造 | 2  |      | 側・内3段(見え<br>がかり)                            | 側・内     | キングポストラ<br>ス  | 二重              | ○ 隅部など                              | △(小舞間仕切<br>壁のみ)               | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 煉瓦モルタル                      | 煉瓦漆喰                        | 両面小舞土壁<br>(大壁)、水平木<br>摺漆喰 | モルタル                                   | 煉瓦                    | 土・漆喰                                   | 煉瓦                           | 土/漆喰           | 両面小舞/水平<br>木摺                | 間仕切壁に煉瓦ア<br>ンコンにやく煉瓦  |
| 26 | 旧西田川郡役所                    |                             | M14                                 | 1881          | 山形県  | 木造        | 2  |      | 側3  | 側・[内]   | キングポストラ<br>ス  | 窓枠型             | (K型)                                | (○)                           | ○       | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板                       | 二重小舞土壁<br>(大壁)              | 小舞土壁(大壁)                  | 下見板                                    | 間柱                    | 土壁                                     | 二重小舞                         | 土壁             | 蔵小舞                          | 大壁のため裏返し塗りなし、柱に胴縁を大入れにして、間渡の下地とする。<br>貫は間仕切り壁   |
| 27 | 旧西郷従道住宅<br>(旧所在 東京都目黒区上目黒) |                             | M10年<br>代                           | 1882          | 愛知県  | 木造        | 2  |      | △側3・?                                       | 側・内     | 洋式トラス         | 一重型             | 対角                                  | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板                       | 水平木摺漆喰                      | 水平木摺漆喰                    | 下見板                                    | 間柱                    | 漆喰                                     | 水平木摺                         | 漆喰             | 水平木摺                         | 大壁内部1mに煉瓦半枚浮き上がり防止  |
| 28 | 宝山寺獅子閣                     |                             | M15                                 | 1882          | 奈良県  | 木造        | 2  |      | 側：南面：懸造石<br>垣から3面：切石<br>布石<br>内：建云<br>側煉・△内 | 側・△[内]  | 和小屋           | ○               | —                                   | ○                             | △(壁内柱?) | 外周：内外大<br>壁、間仕切り：一<br>部<br>真壁<br>大壁 | ○   | ○         | ○●      | 小舞土壁(大壁)                    | 小舞土壁(大<br>壁)、小舞土壁<br>紙貼(大壁) | 小舞土壁(大壁)                  | 土壁                                     | 小舞                    | 土壁、土壁+紙貼                               | 小舞                           | 土壁             | 小舞                           | ・大壁：柱内外二重小舞壁、真壁：一重小舞。<br>・木製胴縁に取付小舞並縁小舞並き<br>・洋館側裏返しの後外周外側取り付け荒壁(裏返しなし)。<br>p19に詳細                                    |
| 29 | 新潟県議会旧議事堂                  |                             | M15                                 | 1882          | 新潟県  | 木造        | 2  |      | 側煉・△内                                       | 側・△[内]  | 折衷系トラス        | 一重型             | 対角                                  | —                             | 洋型、輪廻ぎ  | 洋型                                  | ○   | ○         | ○       | 水平木摺漆喰                      | 水平木摺漆喰                      | 水平木摺漆喰                    | 漆喰                                     | 水平木摺                  | 漆喰                                     | 水平木摺                         | 漆喰             | 水平木摺                         | 木摺は杉・突きつけ、柱・間柱・筋違に釘打ち<br>釘寸法24mm長<br>筋違いに断面欠損(輪廻)、塗り(補修時)：下塗り、珪直し、中塗り、上塗りとも<br>漆喰、珪直し、中塗り、下付けには川砂入り、塗り厚不明             |
| 30 | 北海道大学農学部植物園・博物館            | 博物館本館                       | M15                                 | 1882          | 北海道  | 木造        | 2  |      | 側1  | 側       | キングポストラ<br>ス  | △一重型            | 端間柱                                 | —                             | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板                       | 間柱羽目板                       | —                         | 下見板                                    | 間柱                    | 羽目板                                    | 間柱                           | —              | —                            | 筋違に断面欠損(相欠)(推測)   |
| 31 | 旧伊達郡役所                     |                             | M16                                 | 1883          | 福島県  | 木造        | 2  |      | 側3  | 側・内     | キングポストラ<br>ス  | 窓枠型             | —                                   | (○)                           | 洋型      | 大壁                                  | ○   | ○         | ○       | 間柱下見板                       | 斜め木摺漆喰                      | 水平木摺漆喰                    | 下見板                                    | 間柱                    | 漆喰                                     | 斜め木摺                         | 漆喰             | 水平木摺                         | ・斜め木摺の木摺空きに葺が入れられていた(実測)<br>外周壁内側の木摺は斜め、間仕切り壁の木摺は水平   |
| 32 | 旧出津救助院                     | 授産場                         | M16                                 | 1883          | 長崎県  | 木造・石<br>造 | 2  |      | 石積  | 礎石版、礎石  | 和小屋           | 敷梁のみ            | 不明                                  | 不明                            | 不明      | 木骨石造・レン<br>ガ造：大壁、土<br>壁：真壁          | ○●  | ○●        | ●       | 石、煉瓦、小舞<br>土壁               | 石、煉瓦、小舞<br>土壁               | 板張                        | 1F:石・煉瓦壁・石灰<br>モルタル、木部：土<br>壁<br>2F:土壁 | 1F:石・煉瓦壁、<br>小舞、2F:小舞 | 1F:石・煉瓦壁・石<br>灰モルタル、木部：<br>土壁<br>2F:土壁 | 1F:石・煉瓦壁、<br>小舞、2F:小舞        | —              | 板張                           | ド口壁(石積、赤土を混ぜた漆喰目地)  |



表3-1 近代木造建築111棟の壁構法と構成要素(2)

| 番号 | 名称                   | 棟名   | 建設年<br>(和暦)<br>M:明治<br>T:大正<br>S:昭和 | 建設年<br>(西暦) | 所在  | 構造形式階数         | 近代和風 | 各部構法 |                     |             |                        |        |                 | 大壁・真壁         | 壁面毎の大壁・真壁の判定<br>大壁○、真壁● |                    |     | 壁構法   |       |                      | 壁の層構成要素           |            |                      |                    |                 |            | その他壁仕様  |                                   |  |
|----|----------------------|------|-------------------------------------|-------------|-----|----------------|------|------|---------------------|-------------|------------------------|--------|-----------------|---------------|-------------------------|--------------------|-----|-------|-------|----------------------|-------------------|------------|----------------------|--------------------|-----------------|------------|---------|-----------------------------------|--|
|    |                      |      |                                     |             |     |                |      | 基礎   | 土台                  | 小屋組         | 胴差                     | 筋違     | 貫               |               | 間柱                      | 外周外                | 外周内 | 間仕切り壁 | 外周壁外側 | 外周壁内側                | 間仕切り壁             | 外周壁 外側仕上げ  | 外周壁 外側下地             | 外周壁 内側仕上げ          | 外周壁 内側下地        | 間仕切 仕上げ    |         | 間仕切 下地                            |  |
| 33 | 旧徳川家松戸定部             | 表座敷棟 | M17                                 | 1884        | 千葉県 | 木造             | 1    | ○    | 側玉石                 | △側          | 不明                     | 不明     | 不明              | ○             | 不明                      | 真壁                 | ●   | ●     | ●     | 小舞土壁、板張              | 小舞土壁              | 小舞土壁       | 土壁、板張                | 小舞                 | 土壁              | 小舞         | 土壁      | 小舞                                |  |
| 34 | 本芳我家住宅               | 主屋   | M17                                 | 1884        | 愛媛県 | 木造             |      | ○    | 側1(布石)、内一部同様、その他礎石建 | 側・一部内       | 和小屋                    | -      | -               | ○             | (○)                     | 外:大壁(土蔵)、内:真壁      | ●○  | ●     | ●     | 小舞土壁、下地?海鼠           | 小舞土壁              | 小舞土壁       | 土壁、海鼠                | 小舞                 | 土壁              | 小舞         | 土壁      | 小舞                                | 柱外面に苅掛けを作り、横竹を載せて堅竹を挟んで大壁小舞下地とする。  |
| 35 | 旧山梨県東山梨郡役所           |      | M18                                 | 1885        | 愛知県 | 木造             | 2    |      | △側3                 | 側・内         | キングポスト・和小屋             | 一重型    | △K型             | △             | △洋型                     | 大壁、真壁              | ○   | ○     | ○●    | △小舞土壁(大壁)            | △小舞土壁(大壁)         | 小舞土壁       | 土壁                   | △小舞                | 土壁              | △小舞        | 土壁      | 小舞                                | ・移築時に壁を木摺ブラスターに変更した旨の記述あり。当初仕様の詳細は不明。  |
| 36 | 旧西村山郡会議事堂            |      | M19                                 | 1886        | 山形県 | 木造             | 2    |      | 側2                  | 側・〔内〕       |                        | ○      | (○)             | ○             | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 間柱下見板                | △下地板紙貼            | 不明         | 下見板                  | 間柱                 | △紙貼             | △下地板(水平木摺) | 当初不明    | 当初不明                              | 木摺空き約30mm(写真)  |
| 37 | 旧広瀬座                 |      | M20                                 | 1887        | 福島県 | 木造             | 1部2階 | ○    | 地覆・土台、東石            | 土台あり        | キングポスト                 | 不明     | -               | ○             | -                       | 真壁                 | ●   | ●     | ●     | 小舞土壁                 | 小舞土壁              | 小舞土壁、豎板    | 土壁                   | 小舞                 | 土壁              | 小舞         | 土壁、豎板   | 小舞                                |  |
| 38 | 旧三戸部家住宅              |      | M20                                 | 1887        | 北海道 | 木造             | 1    | ○    | 側                   | 側・内         | 和小屋                    | -      | -               | ○             | -                       | 外:大壁、内:真壁          | ○   | ●     | ●     | 小舞土壁(大壁)             | 小舞土壁              | 小舞土壁       | 土壁                   | 小舞                 | 土壁              | 小舞         | 土壁      | 小舞                                | 大壁は、柱にマンリキ5段をつけて間渡竹を縛からみ   |
| 39 | 旧檜山爾志郡役所庁舎           |      | M20                                 | 1887        | 北海道 | 木造             | 2    |      | △側2                 | 側・内         | キングポスト                 | 一重型    | 小壁片筋、大貫か        | -             | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 下地板下見板               | 下地板紙貼             | 下地板紙貼      | 下見板                  | 下地板                | 紙貼              | 下地板        | 紙貼      | 下地板                               | 下地板:杉薄板200・260×12#0  |
| 40 | 旧青木家那須別邸             |      | M21                                 | 1888        | 栃木県 | 木造             | 2    |      | 不明(礎石か)             | 不明          | ドイツ小屋                  | 二重・胴繋  | 一型/対角/K型        | -             | 洋型表裏2本                  | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | △間柱下見板、水平木摺漆喰        | 下地板紙貼             | 間柱板張(+紙貼)  | 下見板/漆喰               | △間柱/(△水平)木摺        | 板張/壁紙           | 間柱+下地板     | 板張、紙貼   | 間柱、板張                             |  |
| 41 | 旧登米高等尋常小学校校舎         |      | M21                                 | 1888        | 宮城県 | 木造             | 2    |      | -                   | 側・内         | キングポストラス               | -      | -               | ○             | (豎胴縁)                   | 外装:大壁、内装:真壁        | ○   | ●     | ●     | 胴縁下見板、小舞土壁           | 小舞土壁、腰板           | 小舞土壁       | 下見板、土壁               | 胴縁、小舞              | 腰板/土壁           | 小舞         | 土壁      | 小舞                                | 貫・棟樫縄打ち付け小舞下地漆喰仕上げのところは真壁  |
| 42 | 旧中村家住宅               | 主屋   | M22                                 | 1889        | 北海道 | 木造             | 2    | ○    | 石空積、地覆石、礎石          | ○           | 和小屋                    | ○      | -               | ○             | 不明                      | 土蔵:外大壁、内真壁         | ○   | ●     | ●     | 小舞土壁、水平木摺漆喰          | 小舞土壁              | 小舞土壁       | 土/漆喰                 | 小舞/木摺              | 土壁              | 小舞         | 土壁      | 小舞                                | 外仕上げ:中塗り土、中塗り漆喰とも  |
| 43 | 旧福島県尋常中学校本館          |      | M22                                 | 1889        | 福島県 | 木造             | 2    |      | 側2                  | 側           | キングポスト・クイーンポスト         | 窓枠/一重  | 対角(梁間)          | ○(梁間間仕切)      | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 間柱下見板                | 水平木摺漆喰、斜め木摺漆喰     | 斜め木摺漆喰     | 下見板                  | 間柱                 | 腰板/漆喰           | 斜め木摺/水平木摺  | 漆喰      | 斜め木摺                              | 梁間方向の木摺は斜め・桁行き方向の木摺は水平下枠(下塗り)、下げ縄(張直し)下塗り～中塗りは土塗り  |
| 44 | 明治学院インブリー館           |      | M22頃                                | 1889        | 東京都 | 木造             | 2    |      | 側・内(材不明)            | 側・内         | 東立・洋型か                 | ○、頭繋も  | 片筋突きつけ(釘打ち)窓まぐさ | -             | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 斜め下地板紙貼下見板           | 水平木摺漆喰            | 水平木摺漆喰     | 下見板                  | 下地板(斜め)+紙貼         | 漆喰              | 水平木摺       | 漆喰      | 水平木摺                              | 外装下地板:300・360×15斜め洋釘下見板121×15、内部石詰め塗り厚:1(砂なし)、6,3.1  |
| 45 | 旧トーマス住宅              |      | M後期                                 | 1890        | 兵庫県 | 石造・木造・木骨・煉瓦造一階 | 2    |      | 側石・内煉瓦              | 側・内         | クイーンポストラス              | 胴繋(窓台) | ○               | -             | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 煉瓦、煉瓦モルタル            | 水平木摺漆喰            | 水平木摺漆喰     | 地下:石積1F:煉瓦積2F:モルタル塗り | 1F:軸組2F:木骨レンガ      | 漆喰、漆喰紙貼         | 水平木摺       | 漆喰、漆喰紙貼 | 水平木摺                              | 地下の外周壁内側および間仕切り壁は煉瓦積煉瓦壁は軸部より外15mm空いて半秋積。手違いで繋ぎモルタル込め。  |
| 46 | 山口家住宅                |      | M年間                                 | 1890        | 佐賀県 | 木造             | 1    | ○    | 礎石                  | -           | 和小屋(茅葺)                | -      | -               | ○             | -                       | 真壁                 | ●   | ●     | ●     | 小舞土壁                 | 小舞土壁              | 小舞土壁       | 土壁                   | 小舞                 | 土壁              | 小舞         | 土壁      | 小舞                                |  |
| 47 | 高良家住宅                |      | M中期                                 | 1890        | 沖縄県 | 木造             | 1    | ○    | 礎石                  | -           | 和小屋                    | -      | -               | ○             | -                       | 真壁                 | ●   | ●     | ●     | 豎羽目                  | 豎羽目               | 豎羽目        | 豎羽目                  | -                  | 豎羽目             | -          | 豎羽目     | -                                 |  |
| 48 | 旧東京音楽学校奏楽堂           |      | M23                                 | 1890        | 東京都 | 木造             | 2    |      | 側2・内                | 側・内         | クイーンポストラス              | 一重型    | 対角/K型           | -             | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 間柱下見板                | 水平木摺漆喰            | 水平木摺漆喰     | 下見板                  | 間柱                 | 漆喰              | 水平木摺       | 漆喰      | 水平木摺                              | 壁間に豪太・大鏡屏詰め 間仕切り壁に筋違使用有り   |
| 49 | 旧呉服座                 |      | M25                                 | 1892        | 愛知県 | 木造             | 一部2階 | ○    | 礎石、側切石              | 記載なし        | 和小屋                    | ○      | 記載なし            | 10.5×1.8(補足材) | 不明                      | 真壁                 | ●   | ●     | ●     | 小舞土壁、板壁              | 小舞土壁              | 小舞土壁       | 土壁、板壁                | 小舞                 | 土壁              | 小舞         | 土壁      | 小舞                                |  |
| 50 | 旧アメリカン・ボード宣教師館       |      | M25                                 | 1892        | 群馬県 | 木造             | 2    |      | 側煉                  | 側・〔内〕       |                        | (一重型)  | 対角              | -             | ○                       |                    | ○   | ○     | ○     | 二重小舞土壁下見板、小舞土壁       | 二重小舞土壁、小舞土壁       | 不明         | 下見板                  | 二重/一重小舞            | 土壁              | 二重/一重小舞    | 不明      | 不明                                |  |
| 51 | 旧本間家住宅               | 呉服蔵  | M26                                 | 1893        | 北海道 | 木造(土蔵)         | 2    |      | 側軟石・内不明             | 側・内不明       | キングポスト                 | 不明     | 片筋違             | 不明            | 不明                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 木骨石積                 | 水平木摺漆喰、板張         | 不明         | -                    | 石積                 | 漆喰              | 水平木摺・板張    | 不明      | 不明                                | 石積は柱真から275が面、控え廻で留める。内側に土塗り  |
| 52 | 大野教会堂                |      | M26                                 | 1893        | 長崎県 | 石造・木造          | 1    |      | 一部側石積、他葛石、狭間石       | 礎石          | 信徒席:キングポスト、司祭室:和小屋     | ○      | -               | -             | -                       | 外:煉瓦大壁、内部真壁        | ○●  | ○●    | ●     | 石積、小舞土壁              | 石積モルタル、小舞土壁       | 小舞土壁       | 信徒席:-、司祭室:土壁         | 信徒席:石造、司祭室:小舞      | 信徒席:石造、司祭室:小舞   | 土壁         | 小舞      | 信徒席:石造、石灰モルタルまたは土塗り漆喰仕上げ、司祭館:小舞土壁 |  |
| 53 | 上芳我家住宅               | 主屋   | M27                                 | 1894        | 愛媛県 | 木造             | 2    | ○    | 側・内一部敷石             | 側・内一部       | 和小屋                    | 敷梁     | -               | ○             | -                       | 外部大壁、内部真壁          | ○   | ●     | ●     | 小舞土壁、下地海鼠            | 板壁、小舞土壁           | 小舞土壁、板壁    | 土壁/海鼠                | 小舞、海鼠下地不明          | 板壁、土壁           | 小舞、柱       | 板壁、土壁   | 小舞、板壁下地不明                         |  |
| 54 | 旧日野医院                | 本館   | M27                                 | 1894        | 大分県 | 木造             | 2    |      | 側2                  | 側           | キングポスト                 | 不明     | たすき(2Fのみ)胴付釘打   | ○             | -                       | 外部:大壁、内部:真壁        | ○   | ●     | ●     | 水平木摺漆喰、小舞大壁(大壁)      | 小舞土壁              | 小舞土壁       | 1F正面:漆喰その他:土壁        | 1F正面:木摺その他:小舞(大壁)  | 土壁              | 小舞         | 土壁      | 小舞                                | 大壁の土壁、柱外面に横小舞竹釘打ち。木摺は寸法記載なし。   |
| 55 | 旧篠原家住宅               | 主屋   | M28                                 | 1895        | 栃木県 | 木造(土蔵)         | 2    | ○    | 側2(南北のみ)            | 側(南北のみ)     | 和小屋                    | △      | 不明              | (○)           | 不明                      | 外部土蔵大壁、内部真壁        | ○   | ●     | ●     | △小舞土壁、石貼             | △小舞土壁             | 小舞土壁       | 土壁、石貼                | △小舞                | 土壁              | △小舞        | 土壁      | 小舞                                | 部分修理のため詳細不明  |
| 56 | 新御苑旧洋館御休所            |      | M29                                 | 1896        | 東京都 | 木造             | 1    |      | 外周及び間仕切り:煉瓦積布基礎     | ○、アンカーボルト締め | キングポスト(当初)、和小屋(1909増築) | ○      | ○               | -             | ○ 洋型か                   | 大壁、真壁              | ○   | ○     | ○     | 木摺漆喰、ラスモルタル          | 木摺漆喰、紙貼           | 木摺漆喰       | 漆喰・モルタル              | 木摺・ラス              | 漆喰、紙            | 水平木摺       | 漆喰      | 水平木摺                              | ・窓台 窓まぐさ・モルタルのラス板:1922は25×12#10、1924は50×9#10 3工程10mm(1896)、4工程20mm(1922)   |
| 57 | 旧岩崎家住宅(東京都台東区池之端一丁目) | 大広間  | M29頃                                | 1896        | 東京都 | 木造             | 1    | ○    | 側煉・(内)              | 側・内         | キングポスト                 | -      | △対角棒            | ○             | 不明                      | 真壁                 | ●   | ●     | ●     | △小舞土壁                | 木摺紙貼              | 木摺紙貼       | 土壁                   | △小舞                | 紙貼              | 木摺         | 紙貼      | 木摺                                |  |
| 58 | 旧岩崎家住宅(東京都台東区池之端一丁目) | 洋館   | M29頃                                | 1896        | 東京都 | 木造             | 2    |      | 側3・内                | 側・内         | クイーンポスト                | 一重・胴繋  | 一型・たすき          | -             | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 斜め下地板+アスファルトフェルト+下見板 | 斜め木摺+漆喰+胴縁+豎木摺+紙貼 | 水平木摺紙貼、羽目板 | 下見板                  | 下地板(斜め)+アスファルトフェルト | 漆喰/漆喰+胴縁+豎木摺+壁紙 | 斜め木摺・水平木摺  | 羽目板、紙貼  | 木摺                                |  |
| 59 | 旧学習院初等科正堂            |      | M32                                 | 1899        | 千葉県 | 木造             | 1    |      | 側煉                  | 側           | 折衷系トラス                 | 胴繋型    | △一型             | -             | 筋違換型                    | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 水平木摺漆喰、間柱下見板         | 水平木摺漆喰、腰板         | 水平木摺漆喰     | 下見板/漆喰               | 水平木摺/間柱            | 腰板/漆喰           | 水平木摺       | 漆喰      | 水平木摺                              | 下見板:羽重ね20、厚18  |
| 60 | 旧東松家住宅               |      | M34                                 | 1901        | 愛知県 | 木造             | 3    | ○    | 当初不明                | 側・内一部       | 和小屋                    | △一重    | 不明              | ○             | 不明                      | 真壁                 | ●   | ●     | ●     | 小舞土壁                 | 小舞土壁              | 小舞土壁       | 土壁、一部杉皮張             | 小舞                 | 土壁              | 小舞         | 土壁      | 小舞                                |  |
| 61 | 旧山形師範学校本館            |      | M34                                 | 1901        | 山形県 | 木造             | 2    |      | 側3                  | 側           | クイーンポストラス              | 二重型    | △対角窓台・窓マグサ      | -             | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 木摺下地+豎瓦+モルタル         | 水平木摺漆喰、腰板         | 水平木摺漆喰     | モルタル                 | 下地木摺+豎瓦            | 漆喰、腰板           | 水平木摺       | 漆喰      | 水平木摺                              | 下地瓦:255角×21、瓦下地木摺120×24@20-40、モルタル15-20塗り・漆喰塗り:木摺45×15@7-10内外洋釘、下枠120-150@230-240漆喰:下塗り漆喰3mm(砂漆喰)、中塗り土12、上塗り漆喰4 計約21mm |
| 62 | 旧旭川循行社               |      | M35                                 | 1902        | 北海道 | 木造             | 2    |      | 側4・内不明              | ○           | 洋式トラス                  | ○      | 柱2つ割            | 不明            | ○                       | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 水平木摺漆喰、下見板           | 水平木摺漆喰            | 水平木摺漆喰     | 漆喰、下見板               | 水平木摺               | 漆喰              | 水平木摺       | 漆喰      | 水平木摺                              |  |
| 63 | 旧奈良県物産陳列所            |      | M35                                 | 1902        | 奈良県 | 木造             | 一部2階 | ○    | 側4・内                | 側・内         | クイーンポストラス              | 二重型    | 2段              | 不明            | ○                       | 外部:大壁(柱貼り付け)、内部:大壁 | ○   | ○     | ○     | △木摺漆喰、腰板             | 水平木摺漆喰、斜め木摺漆喰     | △木摺漆喰      | 腰板/漆喰                | △木摺                | 漆喰              | 水平/斜め木摺    | 漆喰      | △木摺                               | 内部所により斜め木摺実施:45×12仕様書:杉6分板部分的に斜め木摺   |
| 64 | 旧ハッサム住宅              |      | M35頃                                | 1902        | 兵庫県 | 木造             | 2    |      | 側3・内                | 側・内         | 和小屋                    | 一重型    | -               | ○             | ○和洋:貫と間柱を併用)            | 大壁                 | ○   | ○     | ○     | 間柱下見板                | 小舞土壁              | 小舞土壁、木摺漆喰  | 下見板                  | 間柱                 | 土壁              | 小舞         | 土壁、一部漆喰 | 小舞、一部木摺                           |  |

表3-1 近代木造建築111棟の壁構法と構成要素(3)

| 番号 | 名称                            | 棟名                    | 建設年<br>(和暦)<br>M:明治<br>T:大正<br>S:昭和 | 建設年<br>(西暦) | 所在   | 構造形式   | 階数   | 近代和風 | 各部構法         |             |                |                |                         | 大壁・真壁             | 壁面毎の大壁・真壁の判定          |                              |     |     |       | 壁の層構成要素                    |                      |                      |                       |                      | その他壁仕様                 |                   |                        |                         |  |
|----|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------|------|--------|------|------|--------------|-------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------------|-----|-----|-------|----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|--|
|    |                               |                       |                                     |             |      |        |      |      | 基礎           | 土台          | 小屋組            | 胴差             | 筋違                      |                   | 貫                     | 間柱                           | 外周外 | 外周内 | 間仕切り壁 | 外周壁外側                      | 外周壁内側                | 間仕切り壁                | 外周壁 外側仕上げ             | 外周壁 外側下地             |                        | 外周壁 内側仕上げ         | 外周壁 内側下地               | 間仕切 仕上げ                 | 間仕切 下地   |
| 65 | 旧遠江国報徳社公会堂<br>(大日本報徳社大講堂)     | 旧遠江国報徳社公会堂(大日本報徳社大講堂) | M36                                 | 1903        | 静岡県  | 木造     | 2    | ○    | 下屋礎石、上屋切石    | 側(一部)       | 和小屋            | ○              | -                       | ○                 | 記載なし                  | 2F外のみ大壁、他真壁                  | ○●  | ●   | ●     | 小舞土壁、小舞木摺併用+土壁(大壁)         | 小舞土壁                 | -                    | 1F:真壁土塗り、2F:大壁土塗り     | 1F:小舞、2F:小舞+木摺       | 真壁土塗り                  | 1F:小舞、2F小舞        | -                      | -                       | 小舞と木摺を交互に併用  |
| 66 | 旧普通寺僧行社                       |                       | M36頃                                | 1903        | 香川県  | 木造     | 1    |      | 側煉1枚半積15段、内  | 側・内         | キングポスト         | ○、窓台・窓まぐさ      | ○                       | -                 | 洋型・筋違大入               | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 小舞土壁(大壁)                   | 小舞土壁(大壁)             | 小舞土壁(大壁)             | 土壁                    | 小舞                   | 土壁                     | 小舞                | 土壁                     | 小舞                      |  |
| 67 | 小林家住宅(旧シャープ住宅)                |                       | M36頃                                | 1903        | 兵庫県  | 木造     | 2    |      | 側布石積、間仕切り煉瓦積 | 側・内         | 和小屋            | 胴差、窓台・まぐさ      | 片筋違、柱外面当たり              | 115×24、1F4通り2F3通り | 洋型、ただし貫貫通、間渡貫通、筋違欠き込み | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 間柱下見板(ドイツ)                 | 小舞土壁(大壁)、水平木摺土塗プラスター | 小舞土壁(大壁)、水平木摺土塗プラスター | ドイツ下見板                | 間柱                   | 土壁/石膏プラスター(中塗り土壁)、一部紙貼 | 小舞/水平木摺(建具引き込み箇所) | 土壁/石膏プラスター(中塗り土壁)、一部紙貼 | 小舞/水平木摺(建具引き込み箇所)       | 木摺は開口部、枠廻り、引き込み戸の戸袋部など、その他は小舞土壁。   |
| 68 | 旧富山県立農学校本館<br>(富山県立福野高等学校蔵浄閣) |                       | M36                                 | 1903        | 富山県  | 木造     | 2    |      | 側3           | 側           | キングポスト         | 一重型            | K型                      | -                 | 通さず筋違つきつけ、堅胴縁         | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 間柱下見板、木摺漆喰                 | 小舞土壁(大壁)、腰板          | 小舞土壁(大壁)、腰板          | 下見板/漆喰                | 間柱/木摺                | 腰板/土壁                  | 小舞(大壁)            | 腰板/土壁                  | 小舞(大壁)                  | 筋違、間柱、柱は面一、堅胴縁は土台から筋違につきついで通さないところ多。横間渡釘打ち、堅間渡胴縁釘打ち。下地材は薄い、間渡15・24×3など乾燥が短く、腐朽あり。外部の上部は木摺下地。木摺[中塗り土混ぜる]。3.1材の厚さ分目遣かしの記述。下3中9上3計15、下塗り砂入り |
| 69 | 史跡出島和蘭商館跡建造物旧内外クラブ            |                       | M36                                 | 1903        | 長崎県  | 木造     | 2    |      | 側2・内         | 側・内         | クイーンポスト        | 一重型            | K型                      | -                 | 洋型                    | 大壁(外部付け柱と推定)                 | ○   | ○   | ○     | △間柱下見板                     | 水平木摺漆喰               | 水平木摺漆喰               | 下見板                   | △間柱                  | 漆喰                     | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    |  |
| 70 | 旧第五十九銀行本店本館                   |                       | M37                                 | 1904        | 青森県  | 木造     | 2    |      | △側           | △(側)        | 折衷系トラス         | 不明・胴繋          | 一型                      | -                 | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 木摺胴縁+堅瓦+モルタル               | 水平木摺漆喰、腰板            | 水平木摺漆喰               | モルタル                  | 胴縁+堅瓦                | 腰板/漆喰                  | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    |  |
| 71 | 旧高取家住宅                        | 大広間棟                  | M37                                 | 1904        | 佐賀県  | 木造     | 2    | ○    | 側・(内不明確)     | 側・内不明       | 和小屋            | 一重             | 記載なし                    | ○                 | 記載なし                  | 真壁、一部大壁                      | ○●  | ●   | ●     | 小舞土壁、板張                    | 小舞土壁                 | 小舞土壁                 | 土壁、板張                 | 小舞                   | 土壁                     | 小舞                | 土壁                     | 小舞                      |  |
| 72 | 旧高取家住宅                        | 居室棟                   | M37                                 | 1904        | 佐賀県  | 木造     | 2    |      | 側・(内不明確)     | 側・内不明       | 和小屋            | 一重             | 記載なし                    | ○                 | 記載なし                  | 真壁/洋間は外壁土壁+モルタル              | ●   | ●   | ●     | 小舞土壁、板張、小舞土壁モルタル           | 小舞土壁、堅木摺漆喰紙貼         | 小舞土壁                 | 土壁、板張、土壁漆喰塗り+モルタル(未詳) | 小舞                   | 土壁/漆喰                  | 小舞/洋間は堅木摺         | 土壁                     | 小舞                      |  |
| 73 | 旧花田家番屋                        |                       | M38                                 | 1905        | 北海道  | 木造     | 2    | ○    | 礎石玉石         | 側・内         | 和小屋            | 胴差、窓台、胴まぐさ     | -                       | ○                 | 上下突き付け釘打ち貫書き込み釘打ち     | 外:大壁、内:真壁                    | ○   | ●   | ●     | 間柱下見板                      | 羽目板紙貼、板張             | 板張紙貼                 | 下見板                   | 間柱                   | 紙貼、板                   | 羽目板、下地板貫          | 紙貼                     | 板                       |  |
| 74 | 旧呉鎮守府司令長官官舎(呉市入船山記念館)         | 洋館                    | M38                                 | 1905        | 広島県  | 木造     | 1    |      | 側3・内         | 側・内         | キングポスト         | -              | ○                       | -                 | 洋型                    | 大壁、ハーフトインバー                  | ○   | ○   | ○     | 水平木摺漆喰、腰板                  | 水平木摺漆喰、紙貼            | 水平木摺漆喰、紙貼            | 腰板/漆喰                 | 水平木摺                 | 漆喰/壁紙                  | 水平木摺              | 漆喰/壁紙                  | 水平木摺                    |  |
| 75 | 旧呉鎮守府司令長官官舎(呉市入船山記念館)         | 和館                    | M38                                 | 1905        | 広島県  | 木造     | 1    |      | 側1           | 側・(内)       | 和小屋            | -              | △対角                     | ○                 | △塗込貫型                 | 真壁                           | ●   | ●   | ●     | 小舞土壁、下見板                   | 小舞土壁                 | 小舞土壁                 | 土壁(漆喰)/下見板            | 小舞                   | 土壁                     | 小舞                | 土壁                     | 小舞                      |  |
| 76 | 旧小坂鉱山事務所                      |                       | M38                                 | 1905        | 秋田県  | 木造     | 3    |      | 当初不明(礎石)     | 側・内         | キングポスト         | ○              | 小壁、K型                   | -                 | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 水平木摺漆喰                     | 水平木摺漆喰               | 水平木摺漆喰               | 漆喰                    | 水平木摺                 | 漆喰                     | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    | 塗り厚40、下葺下塗り2.5、斑直し5、鹿の子摺り8、中塗り8、上塗り 計18下葺@300  |
| 77 | 銘司家住宅                         | 主屋                    | M39                                 | 1906        | 沖縄県  | 木造     | 1    | ○    | 礎石           | -           | 和小屋            | -              | -                       | ○                 | -                     | 真壁                           | ●   | ●   | ●     | 堅羽目                        | 堅羽目                  | 堅羽目                  | 堅羽目                   | -                    | 堅羽目                    | -                 | 堅羽目                    | -                       |  |
| 78 | 弘前学院外人宣教師館                    |                       | M39                                 | 1906        | 青森県  | 木造     | 2    |      | 側3・内         | 側・内         | キングポストトラス      | 二重・胴繋          | 一型                      | (○)               | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 間柱フェルト下見板                  | 水平木摺漆喰               | 水平木摺漆喰               | 下見板                   | 間柱+フェルト              | 漆喰                     | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    | ・木摺、杉およびヒバ挽肌材・外周壁外側の下見板張の下地にフェルトが張られている。床下地と同仕様であり、防寒のためと推測されている(報告書)・厨房のみ真壁小舞下地   |
| 79 | 仁風閣                           |                       | M40                                 | 1907        | 鳥取県  | 木造     | 2    |      | 側3・内         | 側・内         | 折衷系トラス         | 二重型            | ○                       | -                 | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 間柱下見板                      | 水平木摺漆喰、紙貼            | 水平木摺漆喰、紙貼            | 下見/漆喰                 | 間柱                   | 漆喰/壁紙                  | 水平木摺              | 漆喰・紙貼                  | 水平木摺                    |  |
| 80 | 旧ハンター住宅                       |                       | M40                                 | 1907        | 兵庫県  | 木造     | 2    |      | 側石・(内不明)     | 側・(内不明)     | キングポストトラス      | ○              | ○                       | -                 | △                     | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 煉瓦モルタル、木摺漆喰                | 煉瓦漆喰、木摺漆喰か           | 煉瓦漆喰                 | モルタル、漆喰               | 木摺/煉瓦                | 漆喰(中塗りは土)              | 煉瓦                | 漆喰                     | 煉瓦                      | 柱0.6尺、煉瓦1枚0.8尺、その分柱に瓦貼り付けて調整。  |
| 81 | 旧日本聖公会京都聖約翰教会堂                |                       | M40                                 | 1907        | 愛知県  | 煉瓦造・木造 | 2    |      | 側煉・内煉瓦独立     | 内(側は煉瓦)     | クイーンポストトラス     | 不明             | ○                       | -                 | ○                     | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 煉瓦漆喰、木摺漆喰                  | 煉瓦漆喰、木摺漆喰            | 木摺漆喰                 | 1F煉瓦、2F窓下から漆喰         | 1F:煉瓦、2F:木摺          | 1F漆喰、2F窓下から漆喰          | 1F煉瓦、2F木摺         | 漆喰                     | 木摺                      | 煉瓦:一枚半イギリス積み。  |
| 82 | 旧長崎英国領事館                      | 職員住宅                  | M40                                 | 1907        | 長崎県  | 煉瓦造・木造 | 2    |      | 側煉・内         | -           | キングポストトラス      | 一重型            | -                       | ○                 | 伝統/塗込貫型               | 大壁、真壁                        | ○   | ○●  | ○●    | 間柱下見板、煉瓦                   | 木摺漆喰、小舞土壁            | 小舞土壁、煉瓦漆喰、木摺漆喰       | 下見板                   | 間柱                   | 漆喰                     | 木摺/小舞             | 土壁/漆喰                  | 小舞/煉瓦/木摺                | 内装の大部分が、真壁小舞下地漆喰仕上げ  |
| 83 | 雑司ヶ谷旧宣教師館                     |                       | M40頃                                | 1907頃       | 東京都  | 木造     | 2    |      | 側3           | 側・[内]       |                | 一重型            | 対角、K型                   | -                 | 洋型                    | 大壁、一部真壁                      | ○   | ○   | ○     | 間柱下見板                      | 水平木摺漆喰、腰板            | 水平木摺漆喰               | 下見板                   | 間柱                   | 腰板/漆喰                  | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    | 真壁木摺あり塗り厚18  |
| 84 | 天鏡閣                           | 本館                    | M41                                 | 1908        | 福島県  | 木造     | 2    |      | 側煉・内         | 側・内、アンカーボルト | キングポストトラス      | 一重・胴繋(窓台、窓まぐさ) | 一型                      | -                 | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 間柱下見板(ドイツ)                 | 水平木摺漆喰               | 水平木摺漆喰               | 下見板                   | 間柱                   | 漆喰                     | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    |  |
| 85 | 旧松本家住宅                        | 日本館                   | M42                                 | 1909        | 福岡県  | 木造     | 2    | ○    | 側布石、内切石      | 側・内         | 和小屋            | 記載なし           | -                       | 1F:4段、2F:3段       | 記載なし                  | 真壁                           | ●   | ●   | ●     | 小舞土壁                       | 小舞土壁                 | 小舞土壁                 | 土壁                    | 小舞                   | 土壁                     | 小舞                | 土壁                     | 小舞                      |  |
| 86 | 旧伊勢郵便局舎(宇治山田郵便局舎)             |                       | M42                                 | 1909        | 愛知県  | 木造     | 1    |      | 側煉・内         | 側・内         | クイーンポスト        | 胴繋             | 60×135                  | -                 | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | △間柱下見板、ハーフトインバー一部不明        | 水平木摺漆喰、羽目板           | 水平木摺漆喰               | 下見板、ハーフトインバー          | △間柱                  | 漆喰、腰:羽目板、堅羽目板          | 漆喰                | 水平木摺                   | 当初不明、修理時はメタルラス+プラスターに変更 |  |
| 87 | 旧函館区公会堂                       | 本館                    | M43                                 | 1910        | 北海道  | 木造     | 2    |      | 側煉・内         | 側・内         | 折衷系トラス         | 一重/二重          | K型                      | ○                 | 洋型、貫貫通                | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 間柱下見板、木摺漆喰                 | 水平木摺漆喰、斜め木摺漆喰        | 木摺漆喰                 | 下見板、漆喰                | 間柱、木摺                | 漆喰                     | 水平/斜め木摺           | 漆喰(+紙貼)                | 木摺                      | 木摺斜め張り・一部平行  |
| 88 | 旧福岡県公会堂貴賓館                    |                       | M43                                 | 1910        | 福岡県  | 木造     | 2    |      | 側煉・内         | 側・内         | 折衷系クイーンポスト     | 一重型            | 対角、K型                   | -                 | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 水平胴縁+瓦下地砂漆喰中塗モルタル仕上腰組、瓦下地砂 | 水平木摺漆喰、腰板            | 木摺漆喰、紙貼              | 漆喰、モルタル               | 胴縁(木摺)+堅瓦            | 腰板/漆喰                  | 水平木摺              | 漆喰・漆喰紙貼                | 木摺                      | 紙貼り仕上げの木摺は高さで目抜き幅が変わる。下塗2.5mm、斑直し7.5mm、下葺を半量ずつ千鳥に塗り込め、鹿の子摺り2.5mm、中塗り4.5mm、上塗り1.5mm、計18.5mm   |
| 89 | 八千代座                          |                       | M43                                 | 1910        | 熊本県  | 木造     | 2    | ○    | 側切石、その他礎石    | 側のみ         | キングポスト         | ○              | -                       | ○                 | 記載なし                  | 両妻大壁、他真壁                     | ○●  | ●   | ●     | 小舞土壁                       | 小舞土壁                 | 小舞土壁、貫板壁             | 土壁                    | 小舞                   | 土壁                     | 小舞                | 土壁/板壁                  | 小舞/貫                    |  |
| 90 | 旧内田家住宅                        |                       | M43                                 | 1910        | 神奈川県 | 木造     | 2    |      | 側煉           | 側・[内]       | 和小屋            | 一重型            | K型                      | -                 | 洋型                    | 外壁:大壁、外周内側:大壁(化粧柱あり)、間仕切り、大壁 | ○   | ○   | ○     | 壁捨板ルーフィング下地下見板             | 水平木摺漆喰               | 水平木摺漆喰               | 下見板                   | 下地板(水平)+アスファルトルーフィング | 漆喰                     | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    | 機械挽、下塗り2-3、斑直し7-9、中塗り2、上塗り1 計13-15mm   |
| 91 | 旧松本家住宅                        | 洋館                    | M43                                 | 1910        | 福岡県  | 木造     | 2    |      | 側煉・内         | 側・内         | キングポスト・クイーンポスト | ○              | △151×40                 | -                 | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 小舞土壁木摺切片メタルラスセメント          | 水平木摺漆喰、△小舞土壁         | 水平木摺漆喰               | メタルラス+セメント            | 小舞土壁+木摺切片            | 漆喰、土替え                 | 水平木摺、小舞           | 漆喰                     | 水平木摺                    | 外周壁の内側が真壁 竹小舞極土壁   |
| 92 | 旧米沢高等工業学校本館                   |                       | M43                                 | 1910        | 山形県  | 木造     | 2    |      | 側3・内         | 側・内         | 折衷系トラス         | 一重型            | 窓台・窓マグサ                 | -                 | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 間柱下見板                      | 水平木摺漆喰、腰板            | 水平木摺漆喰               | 下見板                   | 間柱                   | 腰板/漆喰                  | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    | 間仕切り壁では筋違は折り返しに配置  |
| 93 | 旧中笠家住宅(愛知県半田市天王町)             |                       | M44                                 | 1911        | 愛知県  | 木造     | 2    |      | 側煉・内         | 側・内         | キングポスト         | 一重、胴繋          | 片筋違(内側のものは貫と共に間渡竹で挟み込み) | ○(内部土壁部)          | 洋型(貫と併用)              | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | 水平木摺漆喰、斜め木摺漆喰              | 小舞土壁                 | 不明                   | 漆喰、一部小石埋め込み           | 水平木摺、一部斜め            | 土壁                     | 小舞                | 不明                     | 不明                      | 漆喰壁:マニラ麻6002折り、亜鉛釘千鳥打ち、扇形塗り込み(修理時)、下塗りは、当初土塗り→砂漆喰に変更   |
| 94 | 旧諸戸家住宅(三重県桑名市)(東諸戸邸、六華苑)      | 和館                    | T1                                  | 1912        | 三重県  | 木造     | 一部2階 | ○    | △側地覆石        | △側          | 和小屋            | 不明             | 不明                      | △                 | 不明                    | 真壁                           | ●   | ●   | ●     | △小舞土壁(大壁)                  | △小舞土壁(大壁)            | △小舞土壁(大壁)            | 土壁                    | △小舞                  | 土壁                     | △小舞               | 土壁                     | △小舞                     |  |
| 95 | 岩手大学農学部(旧盛岡高等農林学校)            | 旧本館                   | T1                                  | 1912        | 岩手県  | 木造     | 2    |      | 側煉・内部煉瓦独立基礎  | 側・内         | クイーンポスト        | ○              | K型                      | -                 | 洋型                    | 大壁、ただし木摺の納まり真壁の箇所あり          | ○   | ○   | ○     | 間柱下見板、腰板                   | 水平木摺漆喰、腰板            | 水平木摺漆喰               | 下見板、腰壁板               | 間柱                   | 漆喰、腰壁板                 | 水平木摺              | 漆喰                     | 水平木摺                    | 腰板裏に外気止めの漆喰塗り。下塗り(砂量漆喰比1:0.1)2.5、斑直し(砂量漆喰比1:1)5、中塗り5(同前)、下付け1.5、上付け1mm、総塗り厚15mm、下葺は麻千鳥@181。  |
| 96 | 旧諸戸家住宅(三重県桑名市)(東諸戸邸、六華苑)      | 洋館                    | T2                                  | 1913        | 三重県  | 木造     | 2    |      | 側煉・内         | 側・内         | キングポスト         | 一重             | 一型                      | 不明                | 洋型                    | 大壁                           | ○   | ○   | ○     | (水平)木摺漆喰                   | (水平)木摺漆喰、木摺クロス貼      | 木摺クロス貼               | 漆喰                    | 木摺                   | 漆喰、袋貼クロス貼              | 木摺                | クロス貼                   | 木摺                      |  |

表3-1 近代木造建築111棟の壁構法と構成要素(4)

| 番号  | 名称                 | 棟名  | 建設年<br>(和暦)<br>M:明治<br>T:大正<br>S:昭和 | 建設年<br>(西暦) | 所在   | 構造形式          | 階数   | 近代和風 | 各部構法            |             |            |              |              | 大壁・真壁 | 壁面毎の大壁・真壁の判定<br>大壁○、真壁● |                    |     | 壁構法 |       |                 | 壁の層構成要素                  |           |                          |                    |                 | その他壁仕様           |          |         |  |
|-----|--------------------|-----|-------------------------------------|-------------|------|---------------|------|------|-----------------|-------------|------------|--------------|--------------|-------|-------------------------|--------------------|-----|-----|-------|-----------------|--------------------------|-----------|--------------------------|--------------------|-----------------|------------------|----------|---------|--|
|     |                    |     |                                     |             |      |               |      |      | 基礎              | 土台          | 小屋組        | 胴差           | 筋違           |       | 貫                       | 間柱                 | 外周外 | 外周内 | 間仕切り壁 | 外周壁外側           | 外周壁内側                    | 間仕切り壁     | 外周壁 外側仕上げ                | 外周壁 外側下地           | 外周壁 内側仕上げ       |                  | 外周壁 内側下地 | 間仕切 仕上げ | 間仕切 下地   |
| 97  | 旧与那国家住宅            |     | T2                                  | 1913        | 沖縄県  | 木造            | 1    | ○    | 礎石              | -           | 和小屋        | -            | -            | 5段    | -                       | 真壁                 | ●   | ●   | ●     | 竪羽目             | 竪羽目                      | 竪羽目       | 竪羽目                      | -                  | 竪羽目             | -                | 竪羽目      | -       |  |
| 98  | 武雄温泉新館及び楼門         | 新館  | T3                                  | 1914        | 佐賀県  | 木造            | 2    | ○    | 側煉・内            | 側・内 アンカーボルト | 和小屋        | ○            | -            | 不明    | ○                       | 真壁                 | ●   | ●   | ●     | 小舞土壁            | 小舞土壁、水平木摺漆喰、水平木摺モルタル、堅木摺 | 小舞土壁、木摺漆喰 | 土壁                       | 小舞                 | 土壁/漆喰/一部モルタルタイル | 小舞/水平木摺、堅木摺      | 土壁/漆喰    | 小舞/木摺   |  |
| 99  | 移情閣                |     | T4                                  | 1915        | 兵庫県  | 木骨コンクリートブロック造 | 3    |      | 側:コンクリート、内:煉瓦床束 | 側・アンカーボルト内  | 傘トラス       | 胴差、窓台、窓まぐさ   | たすき          | -     | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○   | ○     | 木骨コンクリートブロック    | 水平木摺漆喰                   | -         | コンクリートブロック               | 軸組                 | 腰板、漆喰+紙貼        | 水平木摺             | -        | -       |  |
| 100 | 旧浪沢家飛鳥山邸           | 晩香廬 | T7                                  | 1918        | 東京都  | 木造            | 1    |      | 側煉化粧石・内土間       | ○           | 和小屋        | -            | 片筋 内部木摺と間柱の間 | -     | 洋型                      | 談話室:大壁、その他:真壁      | ○●  | ○●  | ○●    | 木摺胴縁堅瓦モルタル漆喰    | 水平木摺漆喰土壁、水平木摺土壁          | 水平木摺漆喰    | 厚40塗り壁(モルタル+漆喰、モルタル+タイル) | 木摺胴縁(幅広、厚15)+平瓦厚15 | 漆喰+土壁、土壁        | 水平木摺(巾36、厚6、空き9) | 漆喰/土壁    | 木摺      |  |
| 101 | 旧松本高等学校            | 本館  | T9                                  | 1920        | 長野県  | 木造            | 2    |      | 側3・内            | 側・内         | キングポスト     | ○            | ○            | -     | 洋型                      | 大壁(外部付け柱)          | ○   | ○   | ○     | 水平木摺漆喰、間柱下見板    | 水平木摺漆喰                   | 水平木摺漆喰    | 下見板、漆喰                   | 間柱、木摺              | 漆喰              | 水平木摺             | 漆喰       | 水平木摺    | 外部木摺漆喰部は真壁か  |
| 102 | 旧門司三井倶楽部           | 本館  | T10                                 | 1921        | 福岡県  | 木造            | 2    |      | 側煉・内            | 側・内、アンカーボルト | クイーンポストトラス | 二重・胴繋        | 一型/小壁        | -     | 洋型                      | 外部:ハーフトインバー、内部:大壁  | ○   | ○   | ○     | 胴縁+堅瓦+モルタル      | 水平木摺漆喰、紙貼                | 水平木摺漆喰、紙貼 | モルタル                     | 胴縁+堅瓦              | 漆喰              | 水平木摺             | 漆喰・漆喰紙貼  | 水平木摺    | 羽目板には当初から合板が使用されていた<br>24-30mm厚<br>:木摺押さえ4.5mm、中塗り9mm、7.54mm、上塗り3mm                                  |
| 103 | 蘆花浅水荘              | 本屋  | T10                                 | 1921        | 滋賀県  | 木造            | 一部2階 | ○    | 礎石建             |             | キングポスト     | ○            | -            | ○     | 記載なし                    | 真壁                 | ●   | ●   | ●     | 小舞土壁            | 小舞土壁、水平木摺漆喰土塗紙貼          | 小舞土壁      | 土壁                       | 小舞                 | 土壁/漆喰・土・紙貼      | 小舞/木摺            | 土壁       | 小舞      | 漆喰、中塗り土、紙貼、壁紙  |
| 104 | 自由学園明日館            | 中央棟 | T10                                 | 1921        | 東京都  | 木造            | 一部2階 |      | 側煉・内            | 側・内         | 山形トラス      | 不明           | 対角、柱中        | -     | 洋型                      | 大壁                 | ○   | ○   | ○     | 下地板+ルーフィング+ラス漆喰 | 水平木摺漆喰                   | 水平木摺漆喰    | 漆喰                       | 下地板+ルーフィング+ラス      | 漆喰              | 水平木摺             | 漆喰       | 水平木摺    | 木摺は36*8@10、45-55*8@10、下等300下地板182*12ワイヤラスひし形、ステープル留め<br>外壁はラス漆喰(下(砂)10中(砂)10上3)<br>内壁:下1中(砂)10上3 計14 |
| 105 | 旧高松宮翁島別邸(福島県迎賓館)   | 居間棟 | T11                                 | 1922        | 福島県  | 木造            | 1    | ○    | 側地覆石            | 側           | 不明         | -            | 不明           | (○)   | 不明                      | 真壁                 | ●   | ●   | ●     | 土壁、下見板          | 土壁                       | 土壁        | 土壁/下見板                   | 不明                 | 土壁              | 不明               | 土壁       | 不明      |  |
| 106 | 旧松本高等学校            | 講堂  | T11                                 | 1922        | 長野県  | 木造            | 一部2階 |      | 側・内             | 側・内         | トラス        | ○            | △            | -     | 洋型                      | 大壁(外部付け柱)          | ○   | ○   | ○     | △間柱下見板、木摺漆喰     | 不明・漆喰                    | 不明        | 下見板/漆喰                   | 間柱、木摺              | 漆喰              | 不明               | 不明       | 不明      | 部分解体のため詳細不明  |
| 107 | 旧馬場家牛込邸(最高裁判所長官公邸) |     | S3                                  | 1928        | 東京都  | 木造            | 一部2階 | ○    | 側地覆             | △側          | 不明         | 不明           | 不明           | ○     | 洋型                      | 真壁(内側、間仕切り)、大壁(外部) | ●○  | ●   | ●     | 小舞土壁、間柱下見板      | 水平木摺漆喰、小舞土壁              | 小舞土壁      | 下見板/土壁                   | 間柱、小舞              | 漆喰、土替え          | 水平木摺、小舞          | 土壁       | 小舞      |  |
| 108 | 石谷家住宅              | 主屋  | S3                                  | 1928        | 鳥取県  | 木造            | 2    | ○    | 側切石2段、内切石       | 側・内         | 和小屋        | ○〔間仕切り上も含める〕 | 不明           | ○     | 記載なし                    | 真壁                 | ●   | ●   | ●     | 小舞土壁            | 小舞土壁                     | 小舞土壁      | 土壁                       | 小舞                 | 土壁              | 小舞               | 土壁       | 小舞      |  |
| 109 | 旧鍋島家住宅             | 主屋  | S5                                  | 1930        | 長崎県  | 木造            | 一部2階 | ○    | 側・布石            | 記載なし・礎石か    | 和小屋        | 記載なし         | -            | ○     | 記載なし                    | 真壁、外壁豎板            | ●○  | ●   | ●     | 両面小舞土壁、豎板       | 両面小舞土壁                   | 小舞土壁      | 土壁/豎板                    | 両面小舞               | 土壁              | 両面小舞             | 土壁       | 小舞      |  |
| 110 | 旧高野口尋常高等小学校校舎      |     | S12                                 | 1937        | 和歌山県 | 木造            | 1    |      | △側・内 鉄筋コンクリート   | △側・内 ボルト締   | キングポスト     | -            | ○            | △     | ○                       | 外部大壁、内部真壁          | ○   | ●   | ●     | 不明下地板           | 小舞土壁                     | 小舞土壁      | 下見板                      | 不明                 | 土壁              | 小舞               | 土壁       | 小舞      | 筋違も入っているが、内部は真壁  |
| 111 | 日土小学校              | 中校舎 | S31                                 | 1956        | 愛媛県  | 木造            | 2    |      | 側・内 無筋コンクリート    | 側・内         | キングポスト     | 135*135(150) | たすき、K型、丸鋼たすき | ○     | ○                       | 一部真壁               | ○   | ○●  | ○●    | ラスモルタル          | 小舞土壁、間柱ベニヤ貼など            | 小舞土壁      | モルタル                     | ラス                 | 土壁/ベニヤ等         | 小舞/間柱/ラス         | 土壁       | 小舞      | ラス板90*12@454   |

表 3-2 近代木造建築の壁構法の構成要素 外周壁内側と外周壁外側の対応

|       | 大壁/真壁              | ●真壁  | ○大壁    | ○大壁  | ○大壁    | ○大壁   | ○大壁 | ○大壁            | ○大壁 | ●真壁 | ○大壁 | ●真壁  | ●真壁    | ●真壁    | ●真壁 | ○大壁             | ○大壁              | ○大壁             |     |
|-------|--------------------|------|--------|------|--------|-------|-----|----------------|-----|-----|-----|------|--------|--------|-----|-----------------|------------------|-----------------|-----|
|       | 外周内側               | 小舞土壁 | 水平木摺漆喰 | 小舞土壁 | 斜め木摺漆喰 | 下地板紙貼 | 板張  | 木摺漆喰<br>[方向不明] | 煉瓦  | 羽目板 | 石積  | 木摺紙貼 | 水平木摺漆喰 | 水平木摺土塗 | 煉瓦  | 小舞土壁<br>+斜め木摺漆喰 | 斜め木摺漆喰<br>+縦木摺紙貼 | 水平木摺土塗<br>プラスター |     |
| 大壁/真壁 | 外周外側               |      |        |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 |     |
| ○大壁   | 間柱下見板              | -    | 16     | 4    | 4      | 4     | 3   |                |     | 1   |     |      | 1      |        |     |                 |                  | 1               | 34  |
| ●真壁   | 小舞土壁               | 19   | -      | -    |        |       |     |                |     |     |     | 1    |        | 1      |     |                 |                  |                 | 21  |
| ○大壁   | 小舞土壁               | 7    | 1      | 8    |        |       |     |                |     |     | 1   |      |        |        |     |                 |                  |                 | 17  |
| ○大壁   | 水平木摺漆喰             | 3    | 7      | 1    |        | 1     |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 12  |
| ○大壁   | 木摺漆喰[方向不明]         | -    | 1      | 1    | 2      | 1     |     | 3              |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 8   |
| ○大壁   | 竪瓦モルタル             | -    | 5      | 1    | 2      |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 8   |
| ○大壁   | 斜め木摺漆喰             | -    | -      | 2    | 3      | 1     |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 6   |
| ○大壁   | 下地板下見板             | -    | 2      | -    | 1      | 1     |     |                |     |     |     |      |        |        |     | 1               |                  |                 | 5   |
| ○大壁   | 煉瓦                 | -    | 1      | -    |        |       |     |                | 4   |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 5   |
| ○大壁   | 石積                 | -    | -      | 1    |        |       |     |                |     |     | 2   |      |        |        |     |                 |                  |                 | 3   |
| ○大壁   | 海鼠                 | 2    | 1      | -    |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 3   |
| ●真壁   | 羽目板                | -    | -      | -    |        |       |     |                |     | 3   |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 3   |
| ○大壁   | ラスモルタル             | 1    | -      | -    |        |       | 1   | 1              |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 3   |
| ○大壁   | 小舞土壁石貼             | 1    | 1      | -    |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 2   |
| ○大壁   | 斜め下地板下見板           | -    | 1      | -    |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 | 1                |                 | 2   |
| ○大壁   | 木骨石積               | -    | 1      | -    |        |       | 1   |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 2   |
| ●真壁   | 下見板                | 2    | -      |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 2   |
| ○大壁   | 下地板ルーフィング<br>グラス漆喰 | -    | 1      |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 1   |
| ○大壁   | 竪胴縁下見板             | 1    | -      |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 1   |
| ●真壁   | 煉瓦                 | -    | -      |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        | 1   |                 |                  |                 | 1   |
| ○大壁   | 小舞と木摺併用            | 1    | -      |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 1   |
| ○大壁   | 小舞土壁下見板            | 1    | -      |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 1   |
| ○大壁   | 下見板                | 1    | -      |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 1   |
| ○大壁   | 木骨コンクリート<br>ブロック   | -    | 1      |      |        |       |     |                |     |     |     |      |        |        |     |                 |                  |                 | 1   |
|       |                    | 39   | 39     | 18   | 12     | 8     | 5   | 4              | 4   | 4   | 3   | 1    | 1      | 1      | 1   | 1               | 1                | 1               | 143 |



### 外周壁外側の構法

#### 外周壁外側の下地構法

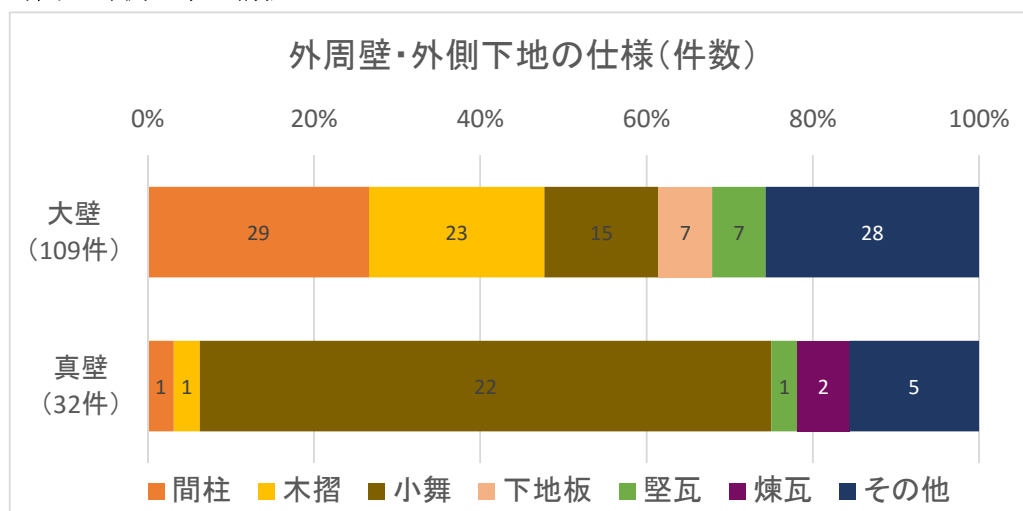


図 3-3 外周壁外側の下地の仕様

外周壁外側の下地構法を大壁，真壁ごとに示した．結果として，大壁では間柱を下地とする例（直接下見板等の仕上げ材を取り付ける）が最も多く 27%を占め，次いで木摺下地が 21%（このうち約 20%が斜め張）であった．真壁では小舞下地が 69%を占め，最も使用率が高い．

#### 外周壁外側の仕上げ構法

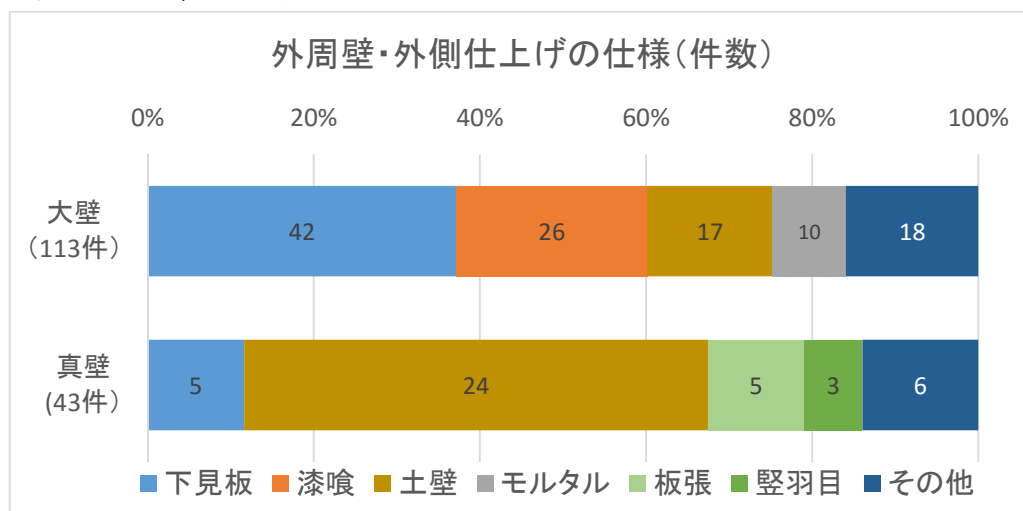
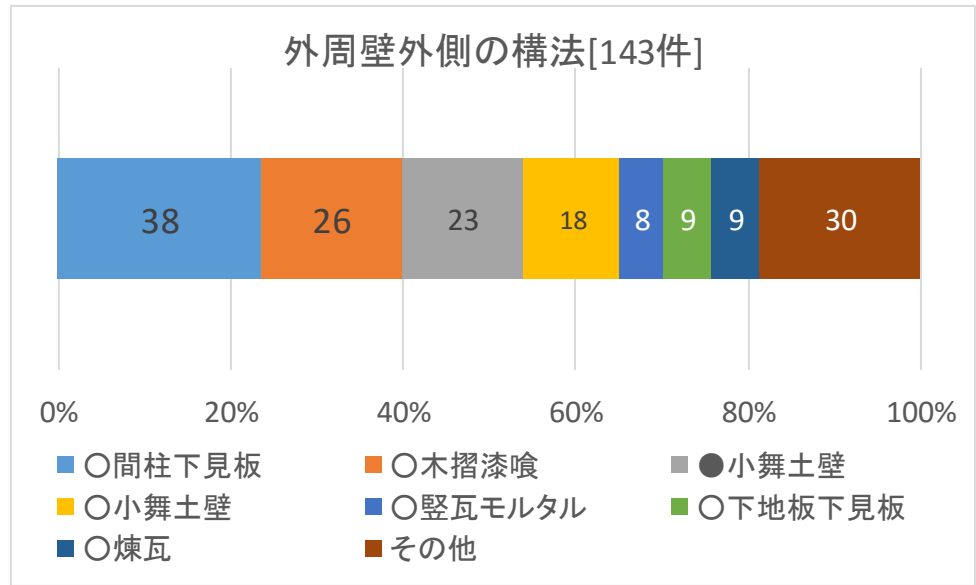


図 3-4 外周壁外側の仕上げの仕様

外周壁外側の仕上げ構法を大壁，真壁ごとに示した．結果として，大壁では下見板が最も多く使われ 37%を占め，次いで漆喰仕上げが 23%であった，真壁では土壁が 56%を占め，最も使用率が高い．

外周壁外側全体の構法



※○:大壁, ●真壁

図 3-5 外周壁外側の構法の分布

以上の外周壁の外側の下地・仕上げの組み合わせである、外側全体の構法を上図に示した。その結果、外周壁外側の構法は、間柱下見板が 20%以上を占め最も多く使われており、次いで木摺漆喰、真壁小舞土壁、大壁小舞土壁の使用率が高い結果となった。

外周壁内側の構法  
外周壁内側の下地構法

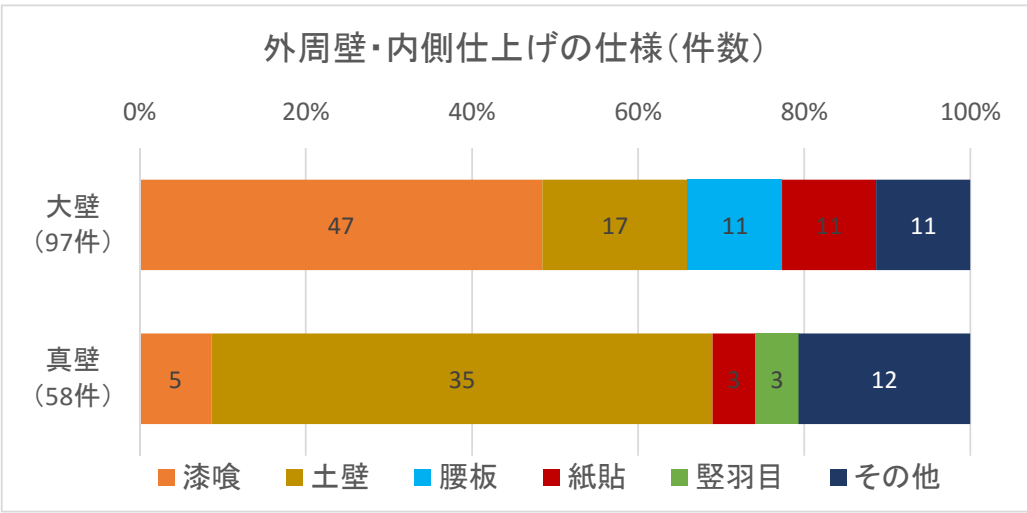


図 3-6 外周壁外側の下地の仕様

外周壁内側の仕上げ構法を大壁，真壁ごとに示した．結果として，大壁では漆喰仕上げが最も多く 48%を占め，次いで土壁仕上げが 18%であった．真壁では小舞下地が 60%を占め，最も使用率が高い．

外周壁内側の仕上げ構法

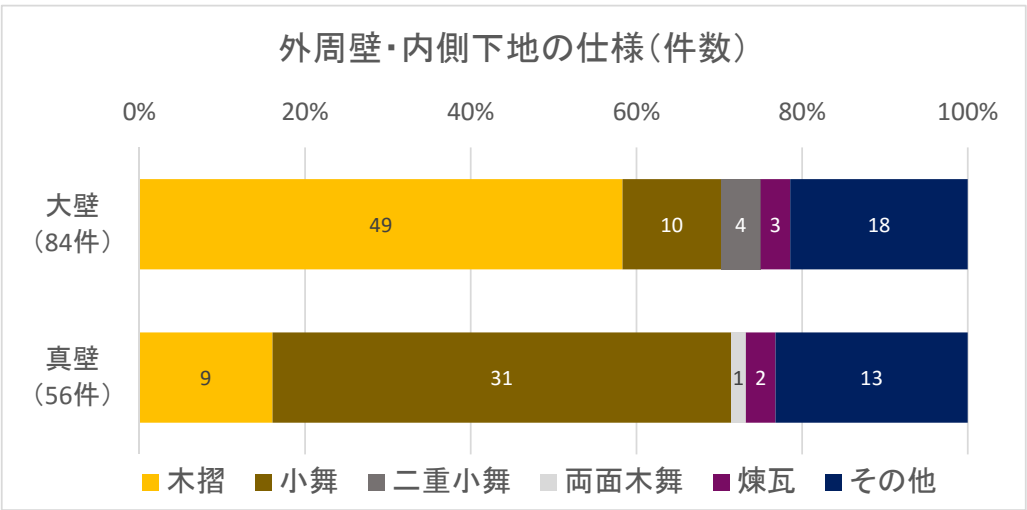
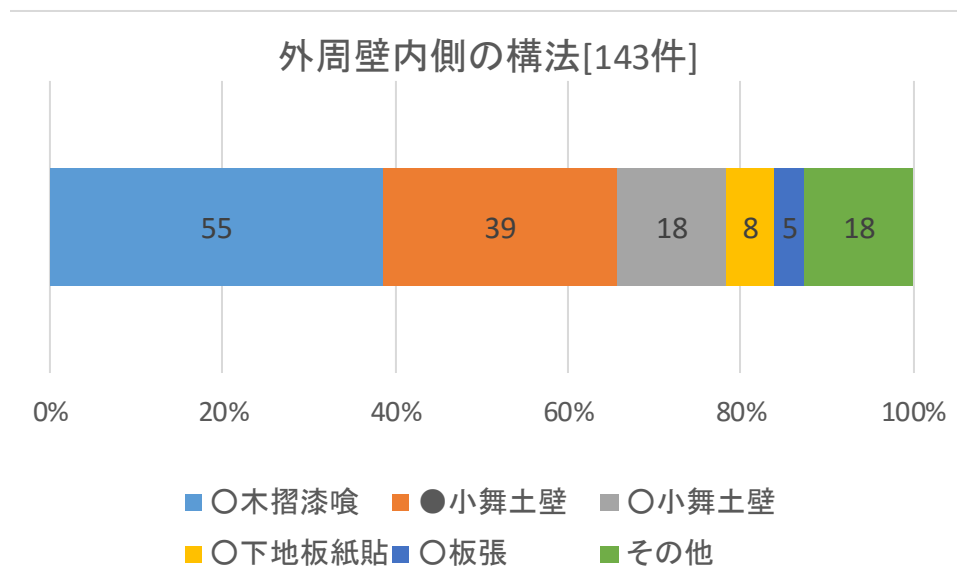


図 3-7 外周壁外側の仕上げの仕様

外周壁内側の下地構法を大壁，真壁ごとに示した．結果として，大壁では木摺下地が最も多く 58%（このうち斜め木摺は約 20%）を占め，次いで小舞下地が 12%であった．真壁では小舞下地が 55%を占め，最も使用率が高いが，木摺下地も 16%（うち 30%が斜め木摺）と小舞下地に次いで使用されていたことが確認された．

### 外周壁内側全体の構法



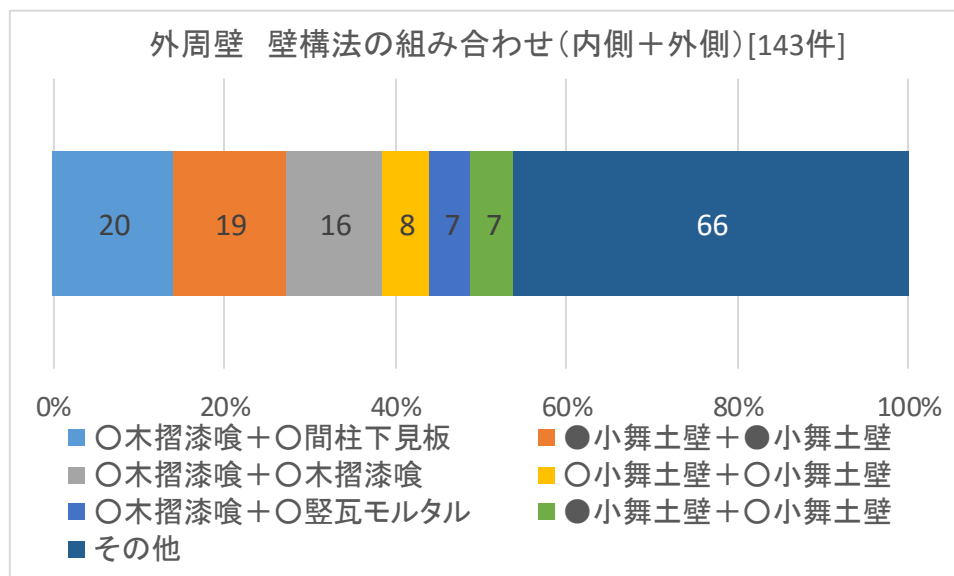
※〇: 大壁, ●真壁

図 3-8 外周壁内側の構法

以上の外周壁の外側の下地・仕上げの組み合わせである, 外側全体の構法を上図に示した. 外周壁内側の構法で最も多く用いられたのは大壁木摺漆喰で 38%を占めた. 次いで真壁の小舞土壁 27%, 大壁の小舞土壁 13%であった.



### 外周壁構法全体の傾向



※○:大壁, ●真壁

図 3-9 外周壁構法の組み合わせ

外周壁の外側と内側それぞれを統合し、壁体全体での大壁・真壁、内側・外側、下地・仕上げの傾向を図 3-9 に示した。143 件の構法の組み合わせで、最も多くみられた外周壁構法は、内側が大壁の木摺漆喰で外側が大壁の間柱下見板張のものであり、全体の 14% を占めた。次いで、内外共に真壁の小舞下地土壁仕上げの壁が 19 棟 13%、内外共に大壁の木摺下地漆喰仕上げのものが 16 棟 11% を占めた。次いで、5% 程度を占めたのが、内外共に大壁の小舞下地土壁、内外大壁の木摺下地と豎瓦モルタル塗り、内側が真壁の小舞土壁で外側が大壁の小舞土壁となる例であった。

以上より、木摺壁、特に大壁木摺漆喰壁は、外周壁内側で 38%、外周壁外側でも 18%、全体で 20% を占め、近代木造建築に最も多く使用された壁の下地・仕上げ構法の一つであったことが分かった。

以降、本研究では本調査で確認された木摺漆喰壁の種類を対象として、構法の類型を分類し、それぞれに対して構造性能評価手法の構築を行う。

### 代表的な近代の壁構法の類型とその構造的な特徴：木摺漆喰壁

木摺下地は、一般に幅 50mm 前後、厚 10mm 前後の小幅板を軸組みに連続的に釘打ちし、漆喰塗の下地とする構法である。明治以降、洋風建築の大壁構法の下地として普及したとされ、後に和風建築の下地としても用いられたことが知られている。本節の壁の構成要素分析で検討したように、近代木造建築において約 20%程度を占める壁下地構法である。また、現行法規（建築基準法施行令第 46 条）では、片側水平張りが壁倍率 0.5 と規定されているが、漆喰仕上げを含んだ耐力は規定されておらず、また斜め木摺に関する規定は定められていない。

漆喰塗を施す下地として用いられる木摺壁には、大壁・真壁、水平・斜め（・堅（紙貼下地））、という類型が含まれている。次項では、構造的な観点から大壁と真壁、水平張と斜め張の構法の違いについて述べ、次節以降の分析を行う。

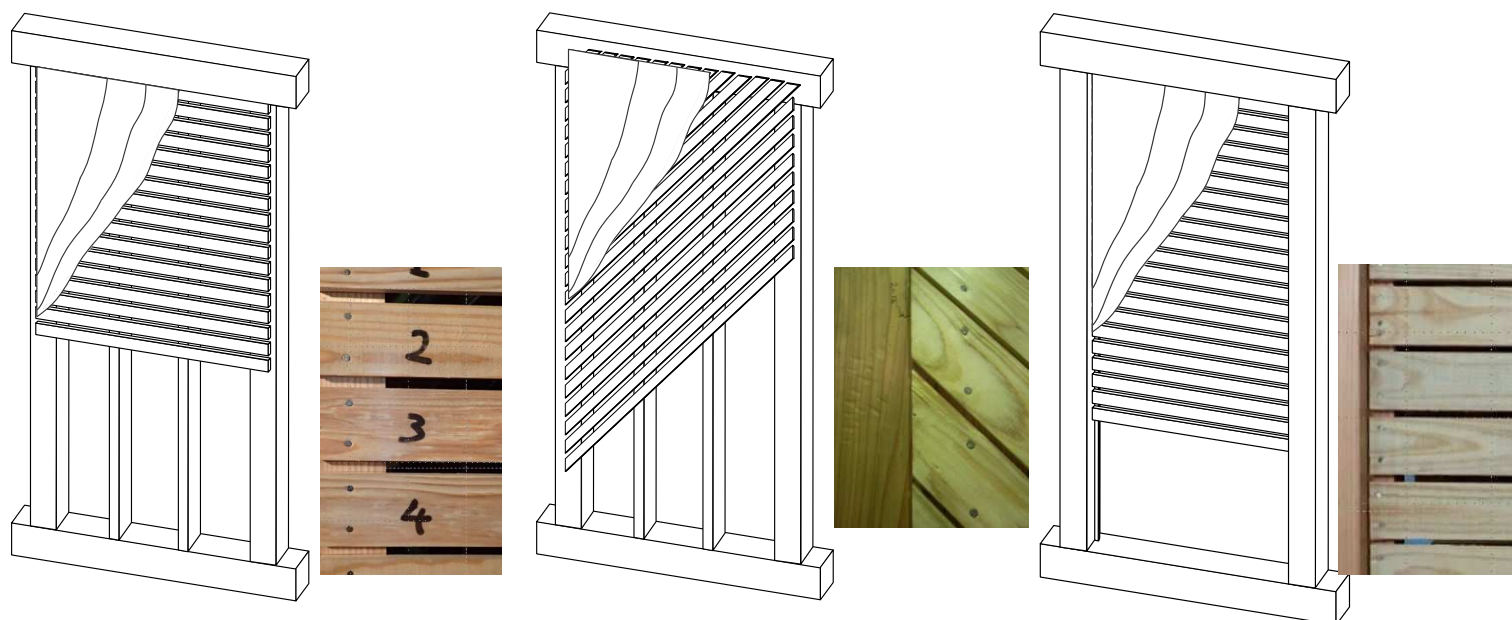


図 3-10 木摺壁の種類と端部の釘打ちの形式：大壁水平木摺，大壁斜め木摺，真壁水平木摺



図 3-11（左図） 斜め木摺の施工



図 3-12（右図） 真壁水平木摺壁の例

### 木摺漆喰壁の構法 構造的観点からの分類

木摺漆喰壁は、柱間に木摺と呼ばれる板材を軸部材に釘打ちで張りあげて下地とし、その上に漆喰を塗り重ねた壁である。水平力抵抗機構と構法の関係について、調査建物にみられた情報から、以下の3点に関してまとめた。

#### 木摺および漆喰層の軸組に対する固定・拘束位置〔真壁・大壁〕：

壁は柱や横架材との関係から真壁（柱・土台の面内に収める）と大壁（柱より上に木摺下地・漆喰仕上げを施す）に分けられる。真壁では柱・横架材の内側に枳材を取り付け、木摺の両端を釘打ちする方法がみられる。壁中間部では間柱や縦・横棧が設けられ、そこに木摺の中間部を釘打ちする。大壁では柱・横架材自体に木摺の両端を釘打ちし固定する。壁中間部では、間柱を立て、木摺を釘打ちにて固定している。

真壁と大壁では、①木摺の釘打ち位置、②漆喰層の四周拘束条件、が異なる。

①木摺の釘打ちに関しては、i) 柱や横架材に直接木摺を釘打ちする（大壁）、ii) 柱や横架材の内側に枳材を設け釘打ちする（真壁）点が異なる。これは、釘のせん断によるせん断抵抗力発現に影響すると考えられる。②漆喰層の四周拘束条件の違いは、i) 軸組・木摺下地と漆喰層の回転角の違いによる木摺空きの漆喰のせん断耐力発現、ii) 漆喰層の圧縮筋違効果、に影響を与えると推定される。

具体的には、真壁では、枳材と木摺とのせん断に加えて枳材と軸部材の釘接合部のせん断を考慮する必要がある点、また木摺の上の漆喰層の隅角部の木口と横架材の圧縮による圧縮筋違効果を考慮する必要がある点、木摺の取り付けが柱面内になるため、木摺の空きが狭いか大変形に至ると木摺と柱が接触し、柱－木摺のめり込み抵抗と共に、受け木の引き抜けが発生する可能性がある点が違いとなる。大壁の場合は次章に述べるように木摺と柱・横架材の釘接合部のせん断耐力と、漆喰層と木摺（軸組）の回転角の違いによる木摺空きの漆喰のせん断耐力が主要な影響要因となると推測される。

#### 木摺の方向：

また、木摺を張り上げる方向は複数存在しており、水平張り、斜め張り、縦張りが確認されている。水平張りは、縦棧または間柱を立てその上に木摺を水平に流し、柱や枳材、棧などに釘打ちで固定される。斜め張りは、角度を持った木摺を柱や棧に釘打ちで固定する。角度の分布に関しては明らかでないが、全面壁では45度に近い例が散見される。縦張りは、木摺を縦に流し、上記と同様に固定したものであり、小壁や紙貼下地などにみられた。

木摺の方向は、壁の水平せん断に対して、並行であるか、角度を持つかが異なり、荷重角度の観点からマクロに見た場合の挙動が異なると考えられる（筋違か、横板か）すなわち、壁のせん断変形に対する変形状態が異なると考えられる。

#### 漆喰仕上げ：木摺空きから裏へのはみ出し

漆喰は木摺の上に通常4～5層以上塗り（10・30mm厚程度）、木摺の空きから裏にはみ出させ、これにより木摺と漆喰が接触・接合している。なお、裏返し塗りは行われない場合が多いとされる（前掲文1・2等）。漆喰は石灰、ツノマタ、砂、苧を混和して製作される。

### 3.4. 木摺漆喰壁の構法に関する既往の知見

前節までに、近代木造建築の壁構法において主要なものの一つであることが確認された、木摺下地漆喰塗壁について、本節ではその構法に関する既往の知見を整理した。なお、木摺壁の構造性能に関する研究に関しては第4章にまとめた。

#### ①壁・左官技術に関連する文献における記述

各種技術書において施工手順や仕様の基準について記述しているもの（『和洋改良大建築学』（三橋四郎，文 3-104），『住宅建築要義』（武田五一，文 3-105），『日本建築辞彙』（中村達太郎，（文 3-106）など）が挙げられるほか、日本の壁構法に関する文献において言及が見られる。

山田は、『日本の壁』（文 3-107）において、木摺は「大壁構造に適した下地」であるとして、「明治以降の洋風建築」に多用されたものとして紹介している。土より乾燥が早く、工期短縮上は有利である一方で、木摺の吸湿によるひび割れや変色、軸部と下地が一体化していることによる「構造的な問題」があることを指摘している（亀裂の発生などを指していると推定される。また、材料については、割れを防ぐために厚手のものとするほか、スギの赤身柃目材の使用、継手は乱継にすること、強度低下や剥離の問題から木摺に土を直接塗ることは避けることを推奨している。さらに山田は、中世藤原頼長の文倉の板張に直接石灰を塗る構法を取り上げ、板下地に（小舞などを用いずに）直接漆喰を塗る構法は、近代まで見られない特殊な例であったことを示している。また、近代以降の漆喰構法については、「洋式漆喰は耐力壁の発想に基づき下塗・中塗段階では石灰と川砂を混合するが、そこに糊料を使用する習慣はない」のに対して、日本においては川砂と共に苧や糊といった、土壁で使用されてきた「施工性の向上」や「亀裂の防止」を目的とした材料の混入が行われる点を指摘し、伝統的な左官技法と西洋由来の漆喰塗工法が初期から混合していたことを指摘している。

また、明治以降現代までの左官構法の変遷を、明治以降の公刊技術書や仕様書の分析により明らかにした研究として、鈴木光『明治以降を主とする左官構法の変遷に関する研究』（2014，工学院大学）（文 3-108）がある。鈴木は、過去の技術書、仕様書の分析と共に現在のラスモルタル構法に対する左官職人の対応実態等に関してもまとめている。本研究の対象とする近代の木摺工法に関しては、上記中村、山田らの記述を引く他、東宮御所等の実例における寸法について記している。また、「嵐打ち」と呼ばれた木摺の斜め打ち構法については、現在では水平張が一般的であるが、明治期には斜め張があったことを記し、この構法には「四半張り海鼠壁構法」の下地構法が影響を与えたと推定している。

#### ②近代木造構法に関する研究

木摺下地は、主に明治以降に使用され始めた構法であるため、その構法に関する研究も近代の木造建築を対象とした研究において言及がみられる。個別の近代建築の調査研究結果の報告は多数あるが、比較的多くの建物の修理技術報告書を参照して仕様を抽出し分析を



試みた以下の研究が壁構法に関する概観を与えている。

源（2007，前掲文 1-2）は，在来木造構法登場以前の木造構法の近代化に関して修理工事報告書，各種仕様書，西欧の技術書の文献調査を元に分析を行っている．木摺漆喰に関しては，北米系から移入された可能性を推定している一方で，日本で外周壁に使用されたのは塗屋造の応用である可能性についても触れている．また，斜め張りは明治前半に多く見られるが，筋違の有無と斜め張り仕様の適用には明確な相関は見られず，仕様の決定要因は不明であるとしている．なお，下苧は近世でも書院の蟻壁（普門寺方丈など）の，小舞が組めない板下地に用いられた例があり，木摺など裏返し塗が出来ない塗壁の定着を意図したと推定している．結論としては，代表的な近代以降の壁構法として木摺下地に漆喰を塗るものがあるが，文献調査の中では初出は旧新潟税関庁舎（1869）であったこと，耐力が高いと考えられる斜め張りの木摺の使用は明治前半に多いこと，一方，従来の壁構法から二重木舞や両面木舞，海鼠壁も用いられ続けたこと，壁下地としては木摺や下見板を固定するために柱幅一杯に建てる洋風間柱が従来の縦胴縁と異なるものとして用いられるようになったという変遷を明らかにしている．

佐久間（2003，前掲文 1-1）は，洋風木造建築 43 件の修理工事報告書の収集，分析により，壁の構成要素の構成の変遷を明らかにしている．木摺に関しては，外周壁内側の構法として木摺漆喰が明治 20 年代以降多く用いられたことを明らかにしている．

以上の既往の研究においては，木摺下地を含む近代の木造建築における壁体の変遷を示すことが目指されており，資料の蓄積と共に特に洋風建築に関しては代表的な事例の実態が示されるようになったが，木摺壁の構造性能自体に関する詳細な言及は行われていない．

そのため，次節では木摺漆喰の仕様の記載のある建物を選定し，木摺下地の寸法の変遷，取り付け方法の変化について検討を行った．

### 3.5. 木摺漆喰壁の構成要素の寸法・仕様の分析

本節では、前節において 111 棟 143 件の近代木造建築の外周壁構法のうち約 40%の外周壁（内側）での使用が確認された木摺下地壁を対象として、その構造性能に影響すると推定される木摺の寸法と仕様に関する分析の結果を述べる。

#### 調査の対象と方法

本節の分析対象は、既報（文 3-109）における文献調査（文 1-1,1-2 に基づく）の対象とした 61 棟（壁構法の重複を含め 72 件）の洋風を中心とした近代木造建築とし、このうち部材寸法の記載があった 32 件について分析を行った。なお、これらは本章に付した表 3-1 にすべて含まれている。

修理工事報告書等の文献調査により、木摺下地の主要な当初寸法（見付（幅）[mm]，見込み（厚さ）[mm]，空き[mm]）と仕様（釘打ち，下葎の取付）を収集し，建設年による分布に着目して比較を行った。また，同時期に刊行された建築技術書における記述および現行の標準仕様書（以下『JASS15 左官』（文 3-110)）における仕様との比較を行った。

なお，文献調査にあたっては，「木摺」と明記された部材のほかに「下地板」，「大貫」等の同種の用途を持つと推定される下地を用いている場合も含めた。木摺の使用部位は外周壁（内側，外側とも）とした。

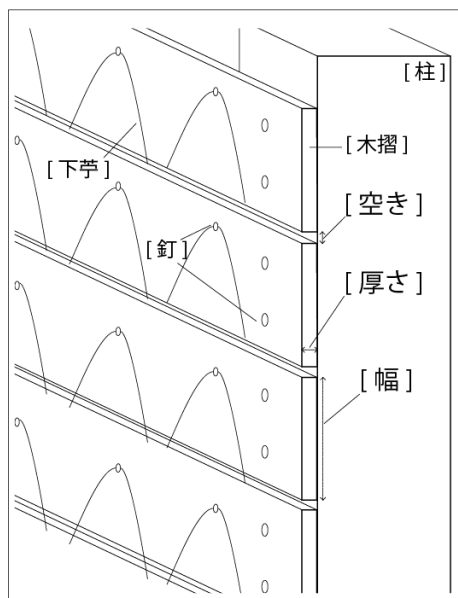


図 3-13 木摺漆喰壁の構成要素 柱，木摺接合部・主要寸法部分詳細

図 3-14 木摺漆喰壁の例（斜め張り，旧伊達郡役所(1883)，2013 年松本撮影）

### 第3章 近代木造建築の壁構法の構成要素および木摺下地の仕様・寸法の分析

本調査の対象とした、木摺の寸法の記載のある建物一覧を以下に示す。

表 3-2：木摺下地を壁に使用する近代木造建築〔32 棟〕 一覧と寸法・仕様

| 竣工年  | 建物名                    | 外周壁の仕様  |                    |       |                 | 主要寸法        |             |            | その他仕様                      |                  |                                     |
|------|------------------------|---------|--------------------|-------|-----------------|-------------|-------------|------------|----------------------------|------------------|-------------------------------------|
|      |                        | 外仕上げ    | 外下地                | 内仕上げ  | 内下地             | 木摺幅<br>[mm] | 木摺厚<br>[mm] | 空き<br>[mm] | 釘                          | 留め方              | 下葎の仕様                               |
| 1869 | 旧新潟税関庁舎                | ナマコ/漆喰  | 下地板                | 漆喰    | 水平木摺            | 37-44       | 12          | 15         | 角釘                         | 1本打ち             | 径6mm縄巻                              |
| 1875 | 旧見付学校校舎                | 漆喰      | 堅瓦                 | 漆喰    | 斜め木摺            | 105         | 30          | -          | -                          | -                | -                                   |
| 1878 | 旧群馬衛生所                 | 下見/漆喰   | 間柱/<br>斜め木摺        | 壁紙/漆喰 | 胴縁+下地板/<br>斜め木摺 | 90-105      | -           | 15         | 洋釘                         | 2本打              | 300麻, 洋釘24mm.                       |
| 1878 | 山形市立病院済生館本館            | 下見板     | 間柱                 | 漆喰    | 水平木摺            | 48          | 15          | 5          | 角釘                         | 3-5枚乱に1<br>本打ち   | 麻, 千鳥, 角釘,<br>400, 空420             |
| 1878 | 名古屋衛戍病院                | 漆喰      | 斜め木摺/<br>堅瓦        | 漆喰    | 斜め木摺            | 61          | -           | -          | -                          | -                | -                                   |
| 1879 | 旧三重県庁舎                 | 漆喰      | 斜め木摺/<br>堅瓦        | 漆喰    | 不明              | 60          | 18          | -          | -                          | -                | 550マニラ麻, 18mm亜鉛<br>めっき金釘, 空き250, 千鳥 |
| 1879 | 龍谷大学本館                 | 石/左官    | 木舞                 | 漆喰    | 水平木摺            | 50          | 24          | 15         | 釘打ち                        | 乱継ぎ              | 30cm流し藁を3cm間<br>隔縦張                 |
| 1880 | 豊平館                    | 下見板     | 下地板                | 漆喰    | 木舞、斜め木摺、<br>胴縁等 | 60          | 15          | 15         | 和釘                         | -                | 和釘に麻を結んだ下<br>葎伏せ込み                  |
| 1880 | 旧岩科学学校校舎               | 海鼠/漆喰   | 木摺/疎ら木摺<br>(海鼠)    | 漆喰    | 木舞(真壁)          | 91          | 12          | 0          | 鉄丸釘, 1.2寸*0.6<br>分, 頭径1.5分 | -                | -                                   |
| 1880 | 同上                     | 同上      | 同上                 | 同上    | 同上              | 121         | 15          | -          | -                          | -                | -                                   |
| 1880 | 旧神戸居留地十五番館             | モルタル/漆喰 | 煉瓦/木摺              | 漆喰    | 煉瓦              | 24-30       | 8-9         | 8          | -                          | -                | -                                   |
| 1883 | 旧伊達郡役所                 | 下見板     | 間柱                 | 漆喰    | 斜め木摺            | 60          | 12          | 5          | 釘打ち                        |                  | 麻900, 横240縦<br>300-360で千鳥打ち         |
| 1883 | 新潟県議会旧議事堂              | 漆喰      | 水平木摺               | 漆喰    | 水平木摺            | 36          | 7           | -          | 洋釘24mm                     |                  | -                                   |
| 1887 | 旧檜山爾志郡役所庁舎             | 下見板     | 間柱                 | 壁紙    | 下地板             | 200-<br>260 | 12          | 0          | -                          | -                | -                                   |
| 1889 | 旧福島尋常中学校本館             | 下見板     | 間柱                 | 腰板/漆喰 | 斜め木摺/水平木<br>摺   | -           | -           | 3-5        | 釘2本                        | 5-6本ごと乱<br>継ぎ    | あり                                  |
| 1890 | 旧東京音楽学校奏楽堂             | 下見板     | 間柱                 | 漆喰    | 水平木摺            | 65          | 11          | 12         | 釘2本                        | 6-8枚ごと乱<br>継ぎ    | -                                   |
| 1896 | 旧岩崎家住宅(洋館)             | 下見板     | 下地板+アスファ<br>ルトフェルト | 漆喰/壁紙 | 斜め木摺            | -           | 7           | -          | -                          | -                | -                                   |
| 1899 | 旧学習院初等科正堂              | 下見/漆喰   | 水平木摺/<br>間柱        | 腰板/漆喰 | 水平木摺            | 75-100      | 15          | -          | -                          | -                | -                                   |
| 1901 | 旧山形師範学校本館              | モルタル    | 木摺下地+堅瓦            | 腰板漆喰  | 水平木摺            | 45          | 15          | 7-10       | 洋釘                         | -                | 120-150, 230240内<br>外千鳥洋釘打ち         |
| 1902 | 旧奈良県物産陳列所              | 腰板/漆喰   | △木摺                | 漆喰    | 水平/斜め木摺         | 60-120      | 12          | -          | -                          | -                | -                                   |
| 1903 | 小林家住宅<br>(旧シャープ住宅)     | ドイツ下見板  | 間柱                 | プラスター | 木舞/漆喰           | 35          | 9           | 8-9        | 洋釘                         | -                | -                                   |
| 1903 | 史跡出島和蘭商館跡<br>建造物旧内外クラブ | 下見板     | △間柱                | 漆喰    | 水平木摺            | 45-55       | 9-12        | 9-12       | -                          | 2本打, 柱に<br>脳天釘止め | 不明                                  |
| 1903 | 旧富山県立農学校本館             | 下見/漆喰   | 柱/木摺               | 腰板/左官 | 二重木舞            | 48          | 12          | 10         | -                          | -                | -                                   |
| 1906 | 弘前学院外人宣教師館             | 下見板     | 間柱+フェルト            | 漆喰    | 水平木摺            | 30          | 9           | 6-8        | 釘                          | 1本止め             | 径3-5mm手摺りの<br>みご縄鉄釘にて上下<br>2段に木摺打付  |
| 1907 | 旧長崎英国領事館職員住宅           | 下見板     | 間柱                 | 漆喰    | 木摺/木舞           | 36          | 6           | -          | 釘                          | 1本打ち             | -                                   |
| 1907 | 旧ハンター住宅                | モルタル    | 煉瓦/木摺              | 漆喰    | 煉瓦/木摺           | 30          | 2.4         | 0.91       | -                          | -                | -                                   |
| 1907 | 雑司ヶ谷旧宣教師館              | 下見板     | 間柱                 | 腰板/漆喰 | 水平木摺            | 54          | 10          | 5-6        | -                          | -                | -                                   |
| 1910 | 旧福岡県公会堂貴賓館             | モルタル    | 胴縁+堅瓦              | 腰板/漆喰 | 水平木摺            | 45-50       | 5           | 15-18      | -                          | -                | -                                   |
| 1910 | 旧米沢高等工業学校本館            | 下見板     | 間柱                 | 腰板/漆喰 | 水平木摺            | 91          | -           | 9.1        | 釘2本打ち                      | -                | -                                   |
| 1910 | 旧函館区公会堂本館              | 下見板     | 間柱                 | 漆喰    | 水平/斜め木摺         | 48          | 12          | -          | -                          | -                | -                                   |
| 1910 | 旧内田家住宅                 | 下見板     | 下地板+<br>ルーフィング     | 漆喰    | 水平木摺            | 36          | 9           | 9          | 鉄釘2本留め                     | -                | -                                   |
| 1911 | 旧松本家住宅洋館               | モルタル    | メタルラス              | 漆喰    | 木摺/木舞           | 19-24       | 12          | 9          | -                          | -                | 300mm麻, 200千鳥                       |

### 木摺下地の寸法・仕様 分析結果

#### 結果概要 張り方の向きと寸法平均値

61 棟の外周壁構法のうち、外周壁当初構法として木摺下地を使用している例は 49 棟、更に寸法の一部が文献から把握できたものは 32 棟であった（表 3-2）。このうち、木摺板の張り方は、水平木摺が 23 棟、斜め木摺が 10 棟で使用されていた（3 棟で重複使用）。また、下地として木摺が使用される場合の仕上げとして、漆喰仕上げ（28 棟）、瓦張り（2 棟）、紙張り（2 棟）が確認された。

主要寸法の平均値<sup>5</sup>は、木摺幅：57.6mm[1.9 寸]、木摺厚さ：12.1mm[4 分]、木摺空き：8.6mm[2.8 分]であった[1 寸 = 30.3mm. 以下同様]。以下、上記主要寸法の分布の特徴を述べ、『辞彙』に推奨された「幅 1 寸、明き 3 分」、『JASS15』の標準仕様「幅 40mm、厚 7 mm. 接合具ステンレスまたはめっき処理。壁は 7mm 内外の目透かし」と比較検討する。

#### 各主要寸法の分布と仕様

##### 木摺幅

図 3-11 に、建設年と木摺幅の分布(29 棟)を示した。平均値は 57.6mm であり、『JASS15』（文 3-110）の指針 40mm と比較すると約 1.4 倍、また『辞彙』（文 3-106）記載の寸法 1 寸と比較すると約 1.9 倍の大きさとなっている。寸法の分布は概ね 30mm（1 寸）から 90mm（3 寸）の間に収まっているが、瓦張りの下地である 2 棟では 100mm 以上の幅広の木摺が使用されていることが分かる。また、斜め木摺下地は 8 棟中 1 棟を除いて全て 60mm（2 寸）幅以上であり、水平木摺と比較して幅広の板が使用される傾向が見られた。

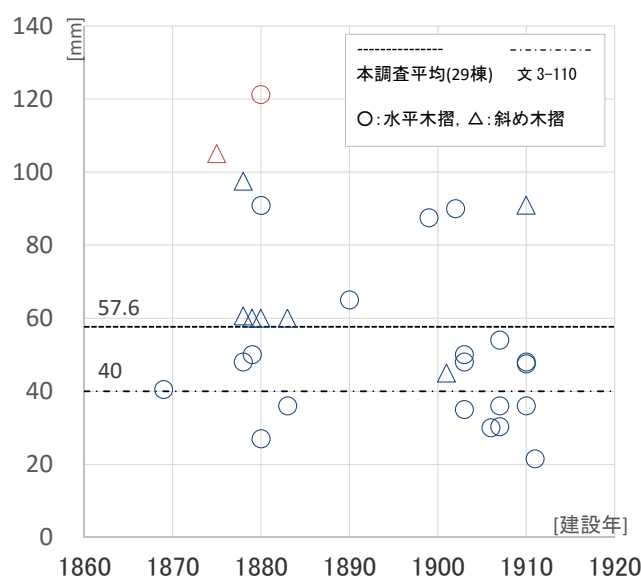


図 3-15 木摺幅の寸法の分布（29 棟）〔青のマーカーは木摺、赤のマーカーはなまこ壁等の木摺状の下地板を示す〕

<sup>5</sup> 旧檜山爾志郡役所の紙張り下地板は、幅が 200mm 以上と明らかに他のものより大型であったため、平均値の算出および以降の検討から除外している。



### 木摺厚さ

図 3-12 に、建設年と厚さの分布（28 棟）を示した。平均値は 12mm となり、『JASS15』（文 3-110）の指針 7mm の 1.7 倍の大きさであった。竣工年が下るにつれて厚さは小さくなる傾向が見られるが、2 棟を除き 20mm 以内に分布している。

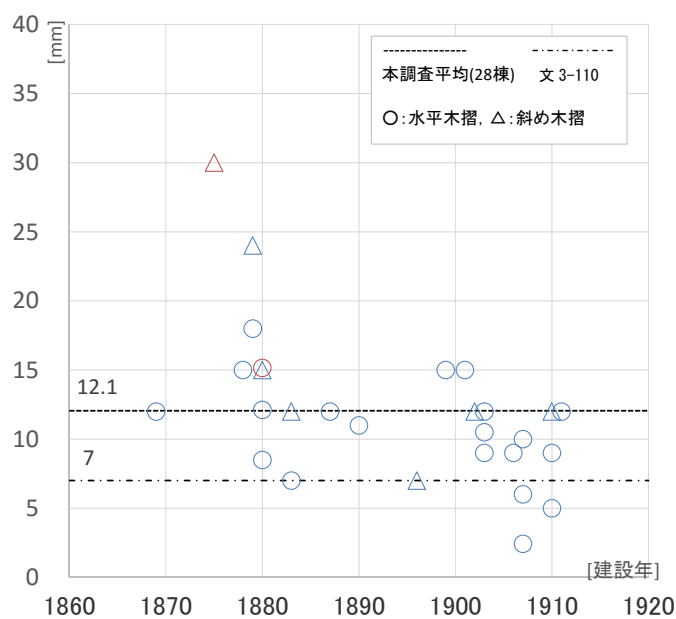


図 3-16 木摺厚さ寸法の分布（28 棟中）〔青のマークは木摺，赤のマークはなまこ壁等の木摺状の下地板を示す〕

### 木摺空き

図 3-10 に、建設年と木摺幅の分布 (22 棟) を示した。平均値は 8.6mm であり、『JASS15』(文 3-110) の指針 7mm の約 1.2 倍、『辞彙』(文 3-106) 記載の 3 分 (9mm) の 0.96 倍であった。空き寸法は最大 18mm 程度であったが、空きを設けない場合 (0mm) があることも 2 棟で確認された。また、上述の厚さと同様に竣工年が下ると減少傾向が見られることは、一部報告書に記載の見られた、「木摺空きは厚さと同寸とする」手法が影響していると推定される。

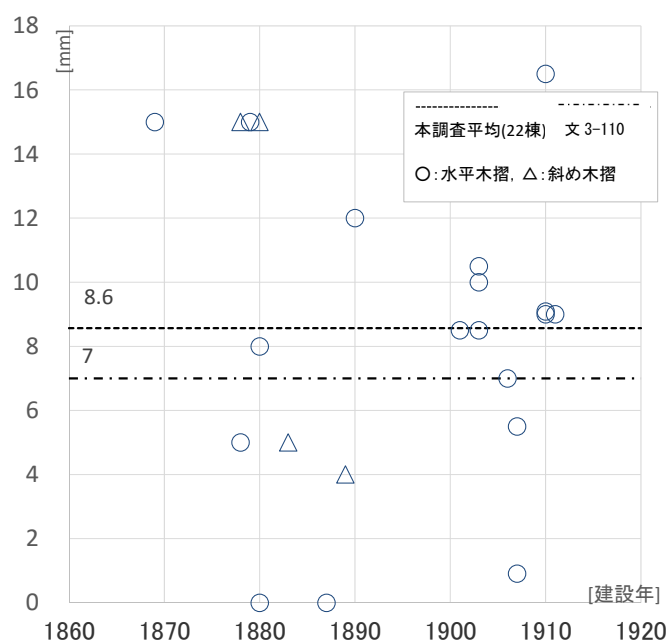


図 3-17 木摺空き寸法の分布 (22 棟中)

### 釘の留め付け、下葎の仕様

旧新潟税関(1869)から豊平館(1880)までは、和釘(角釘)の使用が確認された。一箇所当り留め付け本数は、釘 1 本打が 3 件、2 本打が 6 件確認される一方、明治後期でも 1 本打が見られる。下葎に関しては、旧新潟税関のみ 6mm の縄巻きであったが、その他の使用された事例では千鳥打ちであることが確認された。

### 本節のまとめ

本調査の範囲における近代木造建築の外周壁木摺の主要寸法(幅, 厚, 空き)の分布, それらがいずれも平均値では現行規定以上の寸法を確保していたこと, 木摺の張り方と寸法の傾向等を明らかにした。今後の課題として, 各寸法同士の関係や規定要因の検討とともに, これらの寸法と構造性能の関係を検討することが必要である。

#### 第4章の壁実験のモデル建物の位置づけ

次章以降では木摺漆喰壁の具体的な壁体を対象とした構造実験を実施する。本章で得られた寸法の分析結果，構法的な特徴を併せて試験体のモデルを位置づける。

次章の実大試験では，近代和風建築における木摺下地構法の一つであった真壁水平張り漆喰塗りの壁体（旧馬場家牛込別邸仕様），および，洋風の大壁斜め木摺試験体（旧伊達郡役所仕様）の壁体を，実測寸法に基づいた試験体として作成し実験を実施している。

両者の木摺の寸法，仕様は，真壁水平張の建物が巾 50，厚 8，空き 8mm，釘が約 30mm 鉄釘 2 本桝木に打ち付けであった。旧伊達郡役所は，巾 60mm 厚 12mm，空き 5mm の斜め張，柱に 2 本釘打ちであった。斜め木摺は平均よりやや空きが狭いが，斜め木摺としては巾 60mm で平均的な寸法，馬場邸の水平木摺は，巾，厚さ，空きどれも調査対象の近代木造平均よりはやや小さいが JASS15 の規定値よりは大きな値であった。

### 3.6. 第3章のまとめ

本章では、現存する近代木造建築の壁構法の分布を構成要素の分析から統計的に明らかにし、また構成寸法の変遷を文献から明らかにした。重要文化財建造物等 111 棟の建物を対象とした構法の文献調査を実施し、壁体の構成要素の分布を明らかにした。

また、111 棟中 61 棟の洋風建築を対象とした木摺寸法の分析を実施した。

#### ■壁体の構成要素の分布と組み合わせによる把握

本章前半では、111 棟の近代木造建築の壁構法を文献調査から明らかにし、大壁・真壁の区分ごとに下地・仕上げの各層の組み合わせとして把握した。

特に、水平耐力の負担の面から重要な、外周壁構法の構成について、外周壁外側、外周壁内側それぞれの構法を整理した。外周壁全体の組み合わせとしては、木摺下地漆喰仕上げが全体の約 20%を占め、最も多い構法であった。

以上より、近代木造建築の代表的な壁構法の一つとして、木摺漆喰・間柱下見板壁を抽出した。また、既往の木摺壁に関する構法的な知見を整理し位置づけを確認した。

■木摺壁の種類の構造的な意味の整理（真壁、大壁、水平・斜め・堅）を行った。

■最後に、文献調査の範囲内で、明らかになった木摺下地の幅、厚さ、張り上げる際の空き間隔、木摺張の方向性、接合具の仕様について分析を加え、主要寸法の傾向と変遷を示した。また、次章以降の実大試験体のモデルとした建物の位置づけを行った。





## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 4. 4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 4.1. 概要

本章では、前章までで近代木造建築における主要な壁構法であることを示した、木摺漆喰壁の構造性能を把握するため、実大静的加力試験を実施した。荷重変形関係を得るとともに破壊性状を検討し、木摺壁の水平力抵抗機構を〔特に初期剛性、最大荷重に着目して〕推定し、力学モデルを提示した。

試験を実施した木摺漆喰壁の構法は、前章での木摺壁の類型の内、近代和風建築の真壁の構法であり既往の実験例の少ない①真壁水平木摺壁、と②大壁斜め木摺壁とした。また、①の真壁の実験では併せて土壁、軸組壁の実験を行い、木摺漆喰壁との比較検討を行った。

また、第2章の地震被害調査で見られた壁の被害と実験による破壊現象を比較し、地震時における木摺漆喰壁の破壊のメカニズムについても考察を行った。

#### 4.2. 木摺漆喰壁に関する用語の定義と構造性能に関する既往の知見の整理

#### 4.2.1. 木摺漆喰壁の構法と用語の定義

木摺漆喰構法に関する詳細は第3章を参照．本章以降の実験・解析では木摺漆喰壁に関する用語は以下のように定義した．各建物の位置づけは4.3.1, 4.4.1を参照．

- ・木摺：幅 50，厚 10，空き 10mm 程度〔詳細：第 3 章の構法分析〕の挽板．柱等に釘打ち〔1 ～ 3 本打ちまでが確認されているが，洋釘 2 本打ちが標準的である〕し，漆喰塗壁の下地としたもの．
- ・木摺空き：木摺と木摺の間隔
- ・木摺空き漆喰：木摺と木摺の間隔に塗り込められた漆喰
- ・木摺空き漆喰のせん断：木摺空き漆喰と漆喰層の界面でのせん断挙動
- ・漆喰層：木摺より上面の漆喰の層
- ・木摺受け：真壁の場合に木摺を釘打ちする材．柱面内に釘打ち固定する．

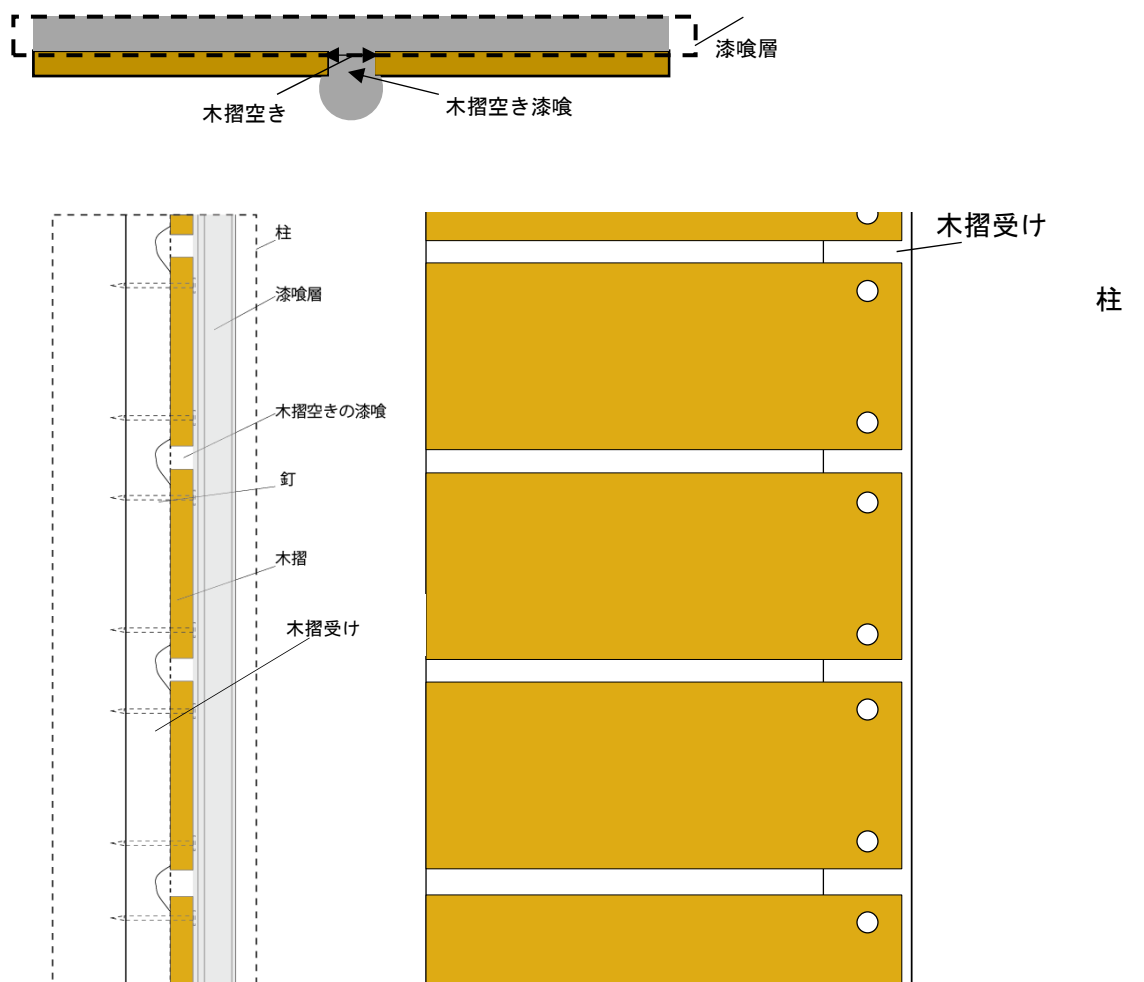


図 4-1 木摺漆喰の構法（真壁水平木摺，釘 2 本打ちの例を示す）



### 4.2.2. 木摺漆喰壁の構造性能に関する既往の知見の整理

本節では、木摺漆喰壁に関する既往の実験的研究を整理し、現在までに得られている知見をまとめた。

木摺漆喰壁の構造性能に関する戦前の研究としては1930年代に、田邊、河野、谷口らによってそれぞれ行われた実験的研究が挙げられる。

最初の報告は1937年の河野（文4-37）で、4尺2寸四方の木枠に対して、貫、土壁、水平木摺漆喰、下見板等の当時使用されていた木造建築物の壁体を取り付け、水平せん断試験を実施している。木摺壁試験体については、「低応力」より亀裂を生じ、最大荷重の1/3程度（1/125-1/75rad.筆者算定）から顕著になることや、壁体の破壊後（変形角不明）も木摺釘は曲がっておらず、木摺の端抜け・亀裂や釘頭によるめり込みによって破壊することを報告している。その他の釘留による試験体の結果も踏まえ、壁体の耐力を増すためには「板厚を増し」、「釘を大なる」ものとし、「釘を板の切端近く用いない」ことを推奨している。また、この実験で最大の耐力を発揮したのは、斜め羽目板壁であった。空きを設けず、漆喰塗りを前提としない釘打ちによる板張構法であると推定される。斜め木摺に使用される材とはかなり寸法が異なる（板巾9寸×厚0.18寸（270mm×厚5.4mm）と幅広の薄板）が、板の斜め張を構造性能を持つ壁体として想定した最初の事例である。

次に1938年の田邊の実験（文4-5, 6）を取り上げる。これは田邊が前年度より発表を始めていた「交番水平荷重を受くる木造」骨組の研究の一環である。前年の無壁の骨組（軸組、筋違等のみの試験体）（文4-2）の結果を踏まえ、有壁骨組（真壁、大壁）の実大せん断試験結果を報告している。「木造有壁（真壁）」の実験では、伝統的な真壁の土壁の他、鉄棒筋違や木摺漆喰の真壁仕様のものが対象とされている。水平木摺漆喰壁（柱2つ割片筋違入り）の実験結果に対して、亀裂：750kgで周辺に小亀裂、1300kg（最大荷重の6-7割）変形角約1/120rad.時以降に中央部に斜め亀裂が発生、伸展してゆき、最終的には筋違の座屈破壊によって最大耐力が決定されることを指摘している。また、前報の無壁片筋違実験との比較を行い、最大耐力は1300kgから2400kgと約2倍の最大耐力を発揮していることを報告している。また、荷重変形曲線のループの形状から、土壁と比較して、木摺壁においては木摺があるために、漆喰が肌別れした後も木摺によって強度が保たれ、急速な変位の進展を招かないと考察をしており、漆喰の役割は大ではないと結論付けている。加えて、大変形時には荷重が再び増加する現象について、木摺間隔が密着するに至って押し合う結果であると推定している。剛性については真壁土壁の1.2倍、最大耐力では2.3倍に達するとまとめられている。

「有壁骨組（大壁）」の実験では、水平木摺、斜め木摺、筋違付き、下見板付き、ラスモルタル壁等の湿式仕上げの木摺・ラス下地板壁について実大静的加力試験を実施している。大壁・両面仕上げ試験体については、水平荷重500kg（変形角0.0036rad.）で45°のせん断による初期亀裂を生じているが、明確な降伏点が生じていないとしている。亀裂は荷重の上昇と共に増大し、665kg（2体平均）で変位が増大したため破壊とみなしている。上述

の土壁真壁の実験と比較すると、初期亀裂発生時の荷重、変形角共により小さかった他、降伏点が認められないことから、剛性、強度の上昇に与える影響は小であると結論付けている。斜め木摺漆喰壁については、荷重 400 kg (変形角 0.0035rad.) で初期亀裂を生じたが、亀裂が生じたのは木摺に圧縮が作用する側であったこと、木摺の損傷に至るまでは漆喰の亀裂は木摺圧縮時のみに生じていたことから、その場合は木摺による漆喰の引張変形の防止効果が薄いと推定している。荷重 1500 から 1900kg (変形角 0.016~0.025rad.) で木摺は座屈破壊を起こし、壁面に垂直方向の亀裂が発生して破壊に至っている。これらにより、斜め木摺打ちは、水平木摺打ちに比して、「終局の強さの上では有利」であるが、「せん断力による引張応力が荷重の方向によっては全て漆喰のみに負担」させられるため、木摺は補強の役割を果たさず、水平木摺より亀裂が入りやすく、その伸展も激しいと結論している。ここでは、斜め木摺の強度的特徴と併せて、漆喰の亀裂防止効果に与える木摺の向きの影響について言及していることが特徴である。また、「大壁は真壁と異なり漆喰が変形に対して殆ど無力」であるため、筋違なしの大壁は「主として木摺と柱の仕口が有する抵抗モーメント」によって「剛度を保つ」ため、無壁骨組と類似した荷重変形曲線の形状(明確な降伏点を持たない)としている。

田邊は、以上の2論文をまとめて、大壁(水平木摺)では「骨組の強さ、剛さに対し漆喰は殆ど無力」であり、耐力、剛性を増加させるためには「下地の木摺及び間柱の柄」が主要なものであるとしている。また、大壁の漆喰は、真壁よりも低い荷重、小さな変形(変形角約 1/300rad.) で亀裂を生じたと報告している。斜め木摺に関しては、水平木摺漆喰の2倍以上の最大耐力を発揮する点については評価しているが、小変形で亀裂が入る点、木摺の強度は木摺材の仕様に影響する点について触れている。

また谷口(1939, 前掲)は、木造家屋の有壁骨組(2000mm×2000mm)に対して、正負交番荷重、自由振動を与えた実験について報告している。ここでは、片面斜め木摺漆喰・片面下見板、と片面水平木摺漆喰・片面下見板・筋違付の2種で木摺漆喰を対象としている。亀裂の発生状況から、弾性限界が 1/200-100rad.とみなせること、下見板や筋違の仕様によって外部摩擦面積を増やすことで、強度と減衰性能の増加が同時に可能であることなどを述べている。また、荷重変形関係についても示されている。

戦後の研究としては、まず久田(1951, 文 4-8)、川島(1972, 文 4-33)らによる研究が、当時の在来構法壁体の一環として木摺壁を扱った研究として挙げられる。

久田は、大壁の「壁体の寸法」、「実大寸法」、「常時過重負荷状態」の影響に着目し、静的加力試験を実施している。壁体は土壁、木摺壁を基本とし、筋違、下見板を付した仕様や、同仕様で壁体の長さを3尺、6尺とした場合も実施している。ただし、木摺壁に関しては、塗り材は「土塗」とされており、仕様の詳細は不明であるが、当時実施されることもあった(鈴木, 前掲論文参照)木摺に直接土塗りを行った壁体であったと考えられる。実験により、初期亀裂→漆喰の剥落・土と木摺の分離→最大荷重到達、という破壊の進行や、最大荷重時には木摺を留めた2本の釘がかなり変形していることなどを示している。一方

で、片面を下見板とした試験体では、最大荷重記録後、木摺よりは下見板の釘に湾曲や抜け出しが多くみられたことが示されている。また、変形角  $1/100\text{rad}$  付近から亀裂が発生しはじめ、弾性を超えると推定している。さらに、壁の寸法（柱間隔）の影響については、柱間 3 尺、柱間 6 尺、12 尺（柱間 6 尺の連続）の試験体の比較により、「柱間の壁幅の 2 乗に剛度（弾性範囲の荷重を指す）が比例するとしている。また、当時の建築基準法施行令の木摺替えの倍率は 0.5 であったが、これと比して実験結果は 4 から 8 倍となっており、筋違のない壁体のみの大壁が過小評価されていることを述べている。

川島（1972, 前掲）は、当時普及しつつあった合板や石膏ボードなどの釘打ちによる新建材の耐力評価に先鞭をつけた研究である。木摺漆喰は、旧来の軸組とされ、新建材による壁体と比較する目的で、片面：水平木摺漆喰、片面：下見板壁の実大静的加力試験を実施している。ラスボード、ラスモルタル、合板等の新建材の壁が下地の釘接合部、接着部で破壊したのに対して、木摺漆喰壁のみが壁体中央の斜めのせん断亀裂によって最大耐力に達したことを報告している。

野口（1975, 文 4-12）は、斜め木摺壁（漆喰なし）の方向性（圧縮側・引張側）と横幅寸法（アスペクト比 1:3 と 2:3 の比較）の影響を実大静的加力試験によって検討し、張った方向（圧縮・引張）の差はほとんどないこと、真のせん断歪に対する単位長さ当たり荷重で比較すると同一変形時の荷重は横幅にほぼ比例することを示している。

その後の研究としては、釘の留め付け間隔と剛性・耐力の関係に着目した安藤（1981）、接合部にガセットプレートを使用した斜め木摺壁に関する上西の一連の研究（1984-89）がある。90 年代以降には、森田（1999, 2008）や朝倉（2001）によって斜め木摺真壁や木摺壁に関する実験的研究が実施されているが、これらは実際の建物の構造性能評価に際しての実験という意味合いが強かった。

海外では、近年の研究としてカラジャベリ（2007, 文 4-25）による、斜めおよび水平張りの羽目板構法（漆喰なし）の壁実験があげられる。ここでは、圧縮・引張方向による破壊モードとせん断性能の違いや、水平方向と斜め方向を比較して、変形性能は 0.9 倍となるがせん断耐力で 4 倍、剛性で 10 倍の差が見られることが確認されている。

近年では、国土交通省（2008, 文 4-36）による研究など、伝統的構法による設計法の検討の中で、木摺壁に関する実験データが実施され、公開されている。前者は、壁の横幅、真壁・大壁、斜め・水平の各仕様の試験体にたいして静的加力試験を実施しており、破壊の進行などに関してもまとめられている。

また、文化財等を対象に含む耐震診断指針においては、日本建築防災協会『木造住宅の耐震診断と補強方法』（文 4-31, 34）では 2004 年版、2012 年版共に、漆喰を塗らない木摺壁の荷重変形関係が掲載されているが（ただし、両者のデータは異なっている）、詳細な仕様は不明である。

また、山辺（文 4-29）は、大工技能者と共同で行った一連の壁実験の中で、貫 4 段入り片面斜め木摺壁の実験結果を報告している。また、2012 年にはカトリック北一条教会の壁

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

をモデルとした水平木摺大壁の構造性能に関する実験を片山（文 4-32）が実施しており、この中では漆喰塗りを下塗りのみとした試験体と中塗りまでとした試験体が比較されており、中塗りの施工によって、最初の荷重ピークの耐力、剛性が上昇することが確認されている。

以上のように、戦前は一般の住家にも多く使用されていた木摺壁は、当初は伝統的な土壁と比較する形で、柱間1間分を対象とした構造性能の把握と補強工法の提案を目的とした実験が複数実施された。戦後は、より実際の建物における挙動を把握するためと推定される、壁のアスペクト比や開口部を持つ場合の性能に関する研究が実施されるようになった。その後、90年代から2000年代前半には個別の建物の構造性能評価を目的とした特定の仕様の実験が散見される程度であったが、2000年代後半からは、文化財建造物を含めた耐震診断指針や伝統的構法による設計法の検討が行われる中で、木摺壁を対象とした実験が複数実施され、木摺のみならず漆喰の影響に関する研究も開始されてきた。

しかし、現在に至るまで木摺漆喰壁の力学的挙動や、水平耐力発現機構に着目した解析手法の構築を行った研究は見られず、その構成要素の構法や寸法の与える影響に関しても未検討の事項が多い。そのため、木摺壁を使用した建物の構造性能評価や設計にあたっては、特定の実験結果を使用するか、基準法施行令46条や、上述の耐震診断指針の基準値を使用するにとどまっており、木摺壁の仕様に対応した柔軟な構造性能の略算・検討は困難である。一方で、第3章に示したように、木摺壁は近代建築において多数用いられたと考えられ、今後増加すると想定される建造物修理や耐震改修における構造性能評価においては、検討の基礎的資料となりうるデータや、耐力推定手法の確立は急務であると考えられる。



以上より、木摺漆喰壁の構造性能に関する既往の知見は以下のようにまとめられる。

### ■最大荷重：水平木摺：

漆喰のない試験体では、 $1/25\text{rad}$ .以上まで耐力を増加し続けることが報告されている。一方、漆喰がある場合は水平木摺では  $1/200\sim 1/50\text{rad}$ .程度で最大耐力に達しているが、漆喰がある場合は、漆喰の亀裂発生後も耐力は増加し、釘の破壊によって決まった、という報告と、漆喰の破壊によって最大耐力が決定されたという事例が混在しており、施工状態や漆喰層の剛性、釘の仕様や本数、木摺自体の寸法に影響を受けると推定される。

### ■最大荷重：斜め木摺：

斜め木摺に関する実験例は少ないが、引張り側では釘接合部の破壊（主材からの引き抜け、パンチング）、圧縮側では木摺の座屈破壊によって最大耐力からの荷重低下が報告されている。事例によるばらつきも大きい、これらも釘本数等の影響を考慮して検討する必要があると推定される。

### ■剛性：

漆喰を塗布した場合、水平、斜め共に、漆喰に亀裂が発生する時点までは漆喰による剛性の上昇が見られる。また、水平張と斜め張でも剛性には大きな違いがある（上記カラジャベリの報告では約 10 倍）。

### ■寸法の影響：

寸法の影響に関する実験結果は2例にとどまる。水平木摺漆喰塗りに対しては、柱間間隔の二乗に比例するというもの（久田 1951）、斜め木摺に関しては柱間間隔に比例するという結果（野口 1975）が報告されているが、釘接合部の個数や木摺空きの長さなどの具体的な影響要因については詳細に検討されていない。

### ■破壊の進行：

壁体の中央に亀裂の発生する変形角は、水平木摺のみに絞っても  $1/300\sim 1/100\text{rad}$ .とまちまちであり、壁の材料や施工状況に影響を受けると推定される。また、最大耐力の発現する変形状態に関しても、上述のように、試験体により異なる（漆喰の破壊時点か、釘の降伏時点か）。ただし、破壊の進行に関しては、比較的小変形時（既往では  $1/100\text{rad}$ .程度まで）において壁体の亀裂発生→大変形時に釘の降伏・端抜け等による破壊、という順序は同様であった。なお、水平木摺と斜め木摺に関してその破壊状態を比較したのは田邊（1938）のみであったが、そこでは、斜めの方がより早期に亀裂を生じること、斜めの場合は筋違が引張として働く向きに加力している際は、木摺によって漆喰の引張が抑制されること、水平木摺では交互に  $45$  度のせん断亀裂が発生することが報告されている。

既往研究における実験として、水平大壁の実験結果を以下にまとめた。斜め木摺、水平真壁については本章の各実験末尾で試験結果の比較と共に述べる。

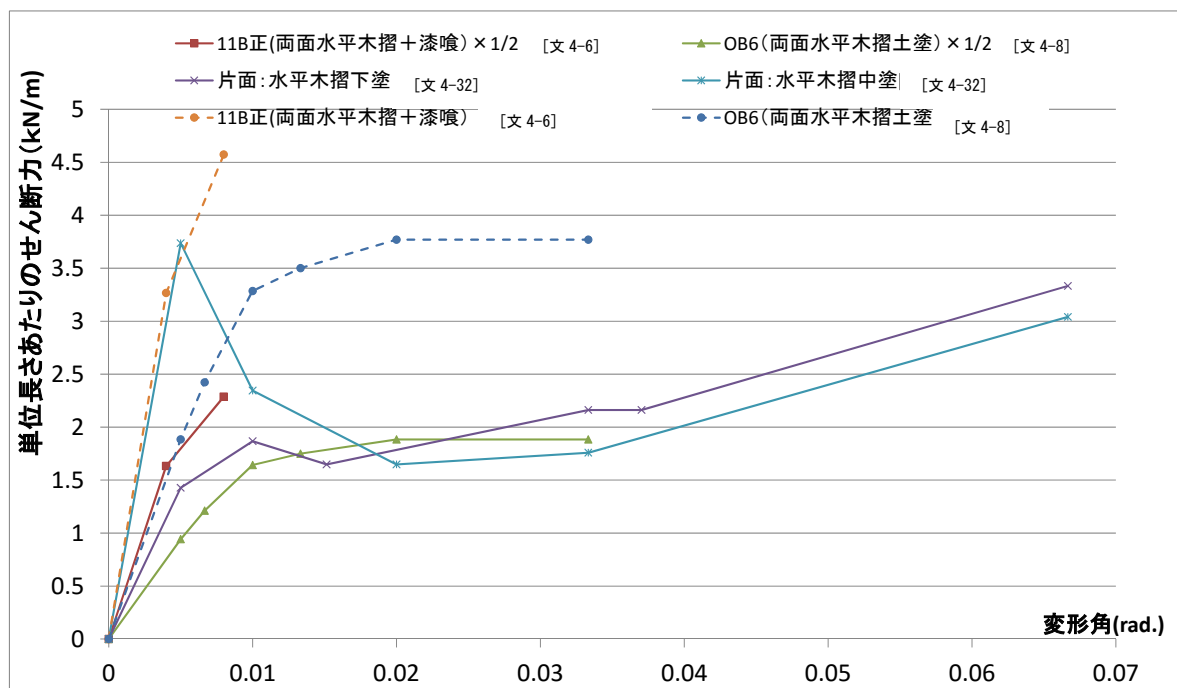


図 4-2 既往研究における水平大壁木摺漆喰の耐力〔両面実験は片面化している〕

本実験結果は上記の田邊，久田，片山の実験をまとめた結果である。片山の実験結果（文 4-32）からは，中塗りと下塗りで初期のピーク値の値が約 2 倍異なること，また共通して大変形では荷重が増加し続けること（片山は試験体の変形に伴う漆喰の圧縮の効果であると推定している）を示している。久田の実験（文 4-8）では，中塗りを土塗りとした壁体が比較的靱性の高い結果を示している。漆喰を塗布した試験体では，漆喰層が 1/100rad.付近で破壊し終了しているため，その後の荷重，変形挙動については明らかではない。

### 4.3. 真壁水平木摺漆喰壁の静的水平加力試験

#### 4.3.1. 実験概要と本実験の水平木摺漆喰壁の位置づけ

本実験は、水平木摺下地漆喰仕上げ壁の真壁仕様の場合の面内せん断性能の把握を目的として実施した静的加力試験である。実験の対象とした試験体は、前章でも検討の対象とした、旧馬場家牛込別邸（最高裁判所長官公邸）〔以下、馬場邸〕である。逋信省吉田鉄郎の設計になる近代和風住宅であり、壁体には水平木摺漆喰壁、小舞土壁が用いられている。また、前章で検討した通り、木摺下地構法の寸法は比較的平均値に近い値をとっており、試験体として適していると判断した。なお、本実験の壁体は、土台から桁までの一構面の再現を意図しているが、土台から床下幅木までの壁が存在していない部位についても再現した。第2章の地震被害調査、第3章の壁構法調査でも言及したが、和風住宅では床下までの仕上げとしない例があり、破壊モードや耐力発現機構の実態把握を意図した仕様としている。

軸部寸法等の仮定に関しては後述し、ここでは木摺漆喰部位の位置づけを述べる。第3章で見たように、木摺漆喰壁の構法的な特徴として、釘接合部の釘仕様、木摺の柱に対する固定位置、漆喰の塗り方がある。

本節で実験及び解析の対象とした木摺壁は、柱面内の受け木に木摺を釘打ちする種類である真壁の木摺漆喰壁の内、木摺の方向が水平であるものである。また、釘打ちに関しては、第3章で調査を行った、幕末から戦前における近代木造建築においては、和釘の1本打ちから洋釘3本打ちまでが確認されたが、最も使用率の高かった洋釘2本打ちの木摺を実験と解析の対象とした。木摺寸法も概ね平均値である幅50、厚8、空き8mmの木摺である。釘打ちはモデルとした建物に合わせ約30mmとしている。なお、漆喰塗りに関しても、下塗り・中塗り・上塗りの合計厚さ16mmの標準的な塗り厚としている。また下塗りは砂を入れない生漆喰である。

真壁木摺漆喰壁の内でも、今回の壁では、中塗り以降に付鴨居（40\*30mm）および幅木（50\*20mm）を取り付けており、鴨居の上下の壁はここで部分的に接合している。付鴨居および幅木の柱との端部接合は左端部が斜め釘打ち、右端部が胴付け柄差し（10 mm）である。

また、試験体の縦横比は1：3（910：2730）とし、下部600mmは開口部とした。開口部に関しては、真壁の主に用いられる和風建築の外周壁構法として一般的な床下の塗りのない仕様を再現するものとしている。また貫4本通、根太掛けも壁体の軸組として再現している。

4.3.1.1. 最高裁判所長官公邸（旧馬場家牛込邸） 建物概要<sup>1</sup>

- ・建設年：昭和3年（1928年）
- ・設計者：吉田鉄郎
- ・建物：木造，一部2階建
- ・建築面積：582.86 m<sup>2</sup>
- ・文化財指定：国指定重要文化財（2014年9月指定）
- ・壁構法：外周壁 外側：小舞土壁，間柱下見板  
内側：小舞土壁，水平木摺漆喰  
間仕切り壁：小舞土壁



図 4-3 旧馬場家牛込別邸 外観〔160803 松本撮影〕

4.3.1.2. 実験実施日時・場所

- ・日時：下記全て 2015 年度実施  
7/30,8/3：建物実測調査  
10/13（火）：軸組実大試験体 加力  
10/29（木）：木摺漆喰実大試験体 加力  
11/5（木）：土壁実大試験体 加力
- ・場所  
東京大学本郷キャンパス 工学部 11 号館 地下実験室

<sup>1</sup> 国指定文化財等データベース [http://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/index\\_pc.html](http://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/index_pc.html) 内「旧馬場家牛込邸」による



## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 4.3.2. 実験計画

#### 4.3.2.1. 建物実測調査

試験体作成にあたって、建物の実測調査を実施した。記録写真と概略を以下に示す。

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 外周壁内側の木摺漆喰壁（解体）   | 下地，漆喰  |
|   |   |
| 貫端部の  | 床上幅木での壁の分割，チリトンボ打ち   |
|  |  |
| 間仕切りの土壁   | 土壁内部仕様   |

図 4-4 馬場邸実測調査

柱：約 120 角，漆喰壁：木摺；水平，釘 2 か所洋釘約 30mm 打ち，柱内受け木および間柱に釘打ち。巾 50×厚 8，空き約 8。下苧尺切（300mm）麻と推定される。幅木下は中塗り途中まで。チリトンボを柱チリから取り付ける。下部のチリトンボは幅木に打ち付けた小釘から壁に張り上げていた。

貫：100×15@約 450 で通す。漆喰壁では柱面内の木摺受けを欠き込んで柱胴付け。

4.3.2.2. 試験体仕様・製作図

軸組試験体

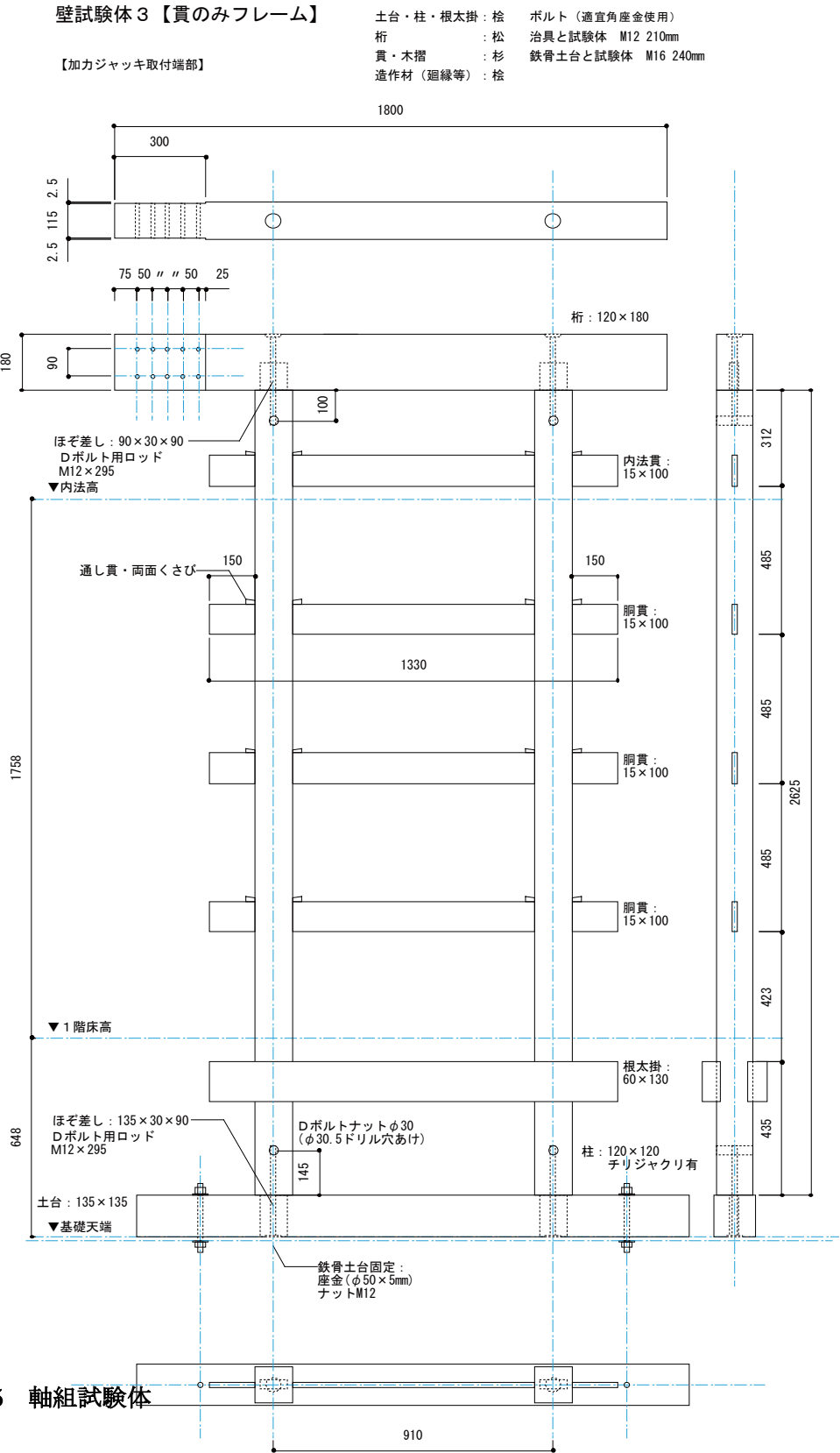


図 4-5 軸組試験体

木摺漆喰試験体

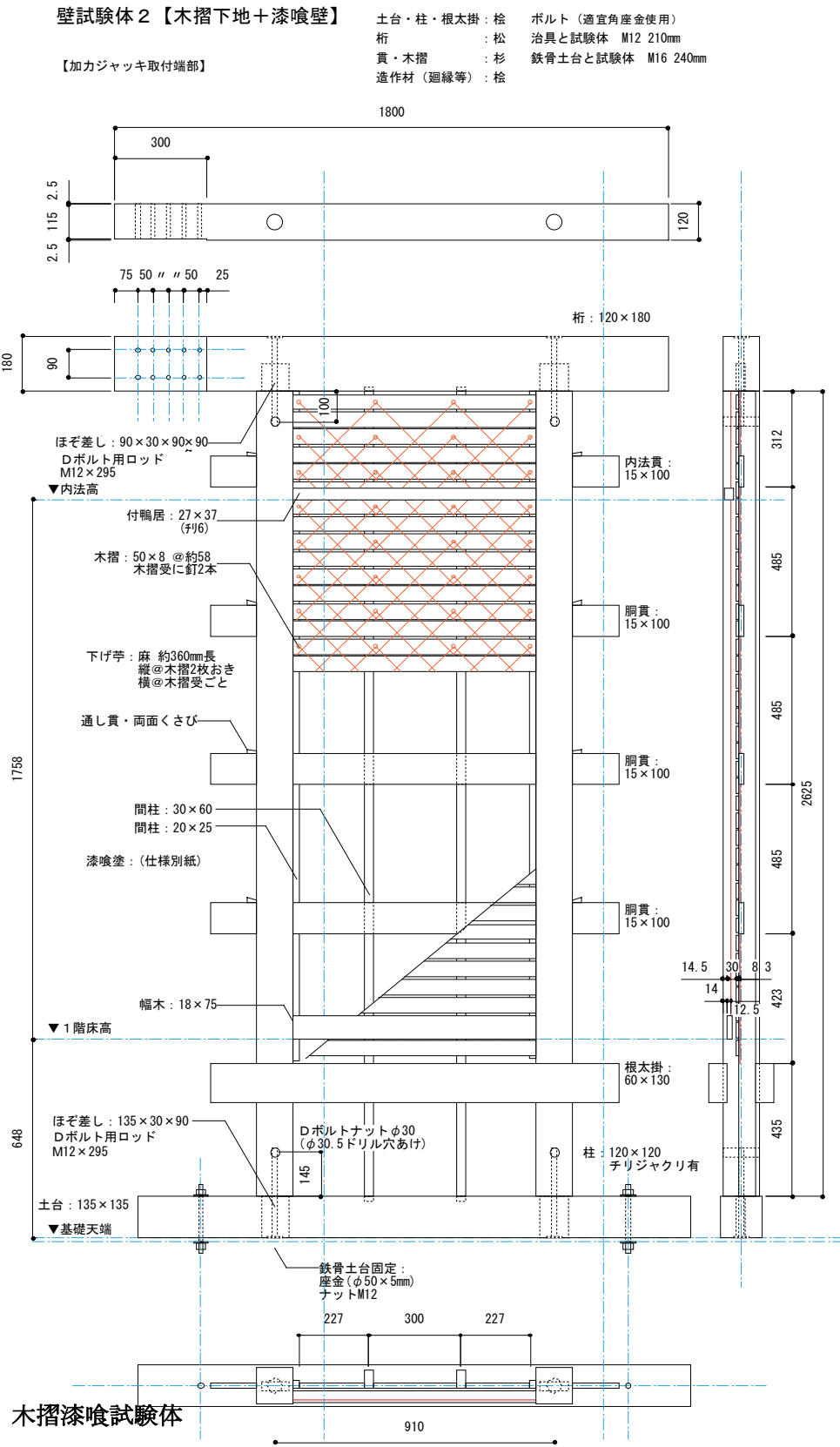


図 4-6 木摺漆喰試験体

土壁試験体

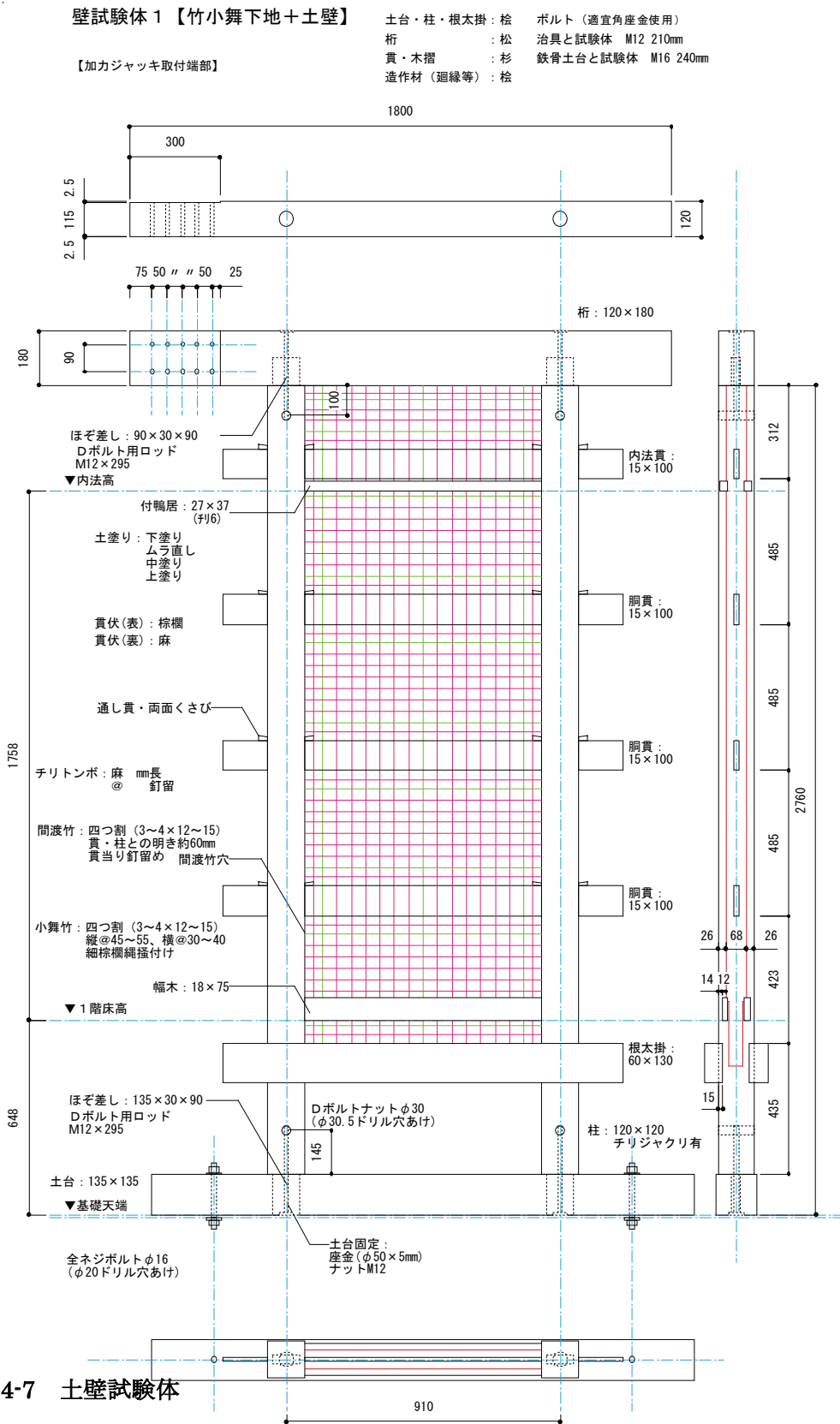


図 4-7 土壁試験体



## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 漆喰塗りの仕様

漆喰塗りの仕様は、実測より木摺伏（下ごすり）～仕上げ塗の計7層 16mm 厚とした。消石灰、ツノマタ（海藻糊）、スサ（今回は下塗から上塗まで晒しスサ）を混合した生漆喰を基準とし、それに砂を混合したものを中塗りとして用いた。ただし、生漆喰の作成では、ツノマタとスサをあらかじめ混合した「ツタ合わせ」を用い、これと生漆喰を混合した。また、乾燥期間は各1週間程度とし、仕上げ塗から試験実施までの期間は20日である。

表 4-1 漆喰壁 左官仕様

| 15年 真壁水平木摺壁実験[馬場邸] 漆喰壁仕様 |      |  |         |  |              |                |   |                               |
|--------------------------|------|--|---------|--|--------------|----------------|---|-------------------------------|
| 総塗厚 木摺面より16mm            |      |  |         |  |              |                |   |                               |
| 層                        | 名称   | 塗厚<br>(mm)   | 漆喰      | 漆喰の調合<br>その他   | 苧            | 工期<br>(日数)     | 乾燥期間<br>(日数)                            | 備考                            |
|                          | 木摺り  | ・真壁水平：水平木摺（50*8，スギ）．各間柱および木摺受に木摺り上下端より15開けてN32釘2本を縦に並べて打ち付け．             |         |  |              | 1<br>[15 9/12] | 9                                       |                               |
| 1                        | 下塗り  | 木摺面より2   | 漆喰(白)   | ツタ合わせ10~12杯（柄杓）＋石灰20kg（1袋）＋水<br>石灰…上灰（駒形石灰工業，特選消石灰）  | さらし苧（短切15mm） |                |   |                               |
|                          | 下げ苧  | 釘1.0φ×20 麻4φ×270～300<br>縦は木摺1枚おき、横は間柱および木摺受ごとに下げ苧を1本打ち付け、足は90度に開き下向きに下げる |         |  |              |                |   |                               |
| 2                        | 下塗り  | 1  | 漆喰(白)   | ツタ合わせ10~12杯（柄杓）＋石灰20kg（1袋）＋水<br>石灰…上灰（駒形石灰工業，特選消石灰）  | さらし苧（短切15mm） |                |   |                               |
| 3                        | むら取り | 1  | 漆喰(白)   | 〃  | さらし苧（短切15mm） |                |   |                               |
| 4                        | 中付   | 4（実大のみ、ちりトンボ伏せ込み）  | 砂漆喰     | 漆喰：砂1：2以上<br>ちりトンボは釘1.0φ×18 麻2～4φ×約50 柱居にピッチ25～30で打付 | しらが苧         | 1<br>[9/22]    | 6                                       |                               |
| 5                        | 中付   | 3  | 砂漆喰     | 〃  | 〃            | 1<br>[9/29]    | 6                                       | 6終了時点：小試験体のチリ6mm，実大のチリ26～28mm |
| 6                        | 中付   | 3  | 砂漆喰     | 〃「漆喰と砂約1：3＋水（柄杓1杯）」                                  | 〃            |                |   |                               |
| 7                        | 仕上塗  | 2  | 漆喰（薄黄色） | 生漆喰（貝灰），つのまたのり                                       | さらし苧         | 1<br>[10/6]    | 7+α                                     |                               |
|                          |      |  |         |  |              |                | 下塗りから仕上げ塗完了まで 21日<br>αは仕上げ塗から試験まで長いほど良い |                               |

第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| ツタ合わせ (ツノマタ糊とスサの混合材料)  | 真壁木摺釘接合部とチリトンボ  |
|  |  |
| 下塗り後、下葎伏せ  | チリトンボを砂漆喰で伏せこむ  |

図 4-8 左官塗りの工程

表 4-2 漆喰 調合比

|       | ツノマタ<br>kg | 水<br>L | 晒しスサ<br>g | 備考                      |
|-------|------------|--------|-----------|-------------------------|
| ツタ合わせ | 3          | 40     | 1600[2袋]  | 水は 40-50L<br>ツノマタ篩は2mm目 |

比重は1とする

|               | 塗り厚<br>mm | 生漆喰       |            |        | 川砂<br>L | ツタ合わせ+水/漆喰<br>比 | 砂/生漆喰比 |
|---------------|-----------|-----------|------------|--------|---------|-----------------|--------|
|               |           | 消石灰<br>kg | ツタ合わせ<br>L | 水<br>L |         |                 |        |
| 木摺伏<br>(下ごすり) | 2         | 20[石灰]    | 3-3.6      | 10     | -       | 0.65-0.68       | -      |
| 下塗り           | 1         | 同上        |            |        | -       | 同上              | -      |
| 斑とり(斑直し)      | 1         | 同上        |            |        | -       | 同上              | -      |
| 中付1           | 4         | 同上        |            |        | 生漆喰同量   | 同上              | 1:1    |
| 中付2           | 3         | 同上        |            |        | 生漆喰同量   | 同上              | 1:1    |
| 中塗            | 3         | 同上        |            |        | 生漆喰同量   | 同上              | 1:1    |
| 仕上げ塗り         | 2         | 8.5[貝灰]   | 2.1-2.4    | 6      | -       | -               | -      |
| 計             | 16        |           |            |        |         |                 |        |

土壁の左官仕様

・仕様表 土壁は中塗りまでの施工とし、中塗り後試験実施までの期間は 27 日間である。

表 4-3 土壁左官仕様

1. 土壁仕様

今回調査した仕上げ塗は京壁であったが、他の部位では京壁仕上げとはなっていない場所も多い。他の仕様での塗仕上げの壁があることも考慮に入れ、仕上げ塗 (3mm 程度) は施工しない (強度的には安全側であると推定できる) こととする。

| 表塗 (化粧室側 総塗厚 貫面より30mm)                      |                             |  |                |               | 裏塗 (廊下側 総塗厚 貫面より28) |   |                |               |  | 備考         | 工期<br>(日数) | 乾燥期間<br>(日数) |
|---|-----------------------------|--|----------------|---------------|---------------------|---|----------------|---------------|--|------------|------------|--------------|
| 層   | 名称                          | 塗厚<br>(mm)   | 土の種類           | 苺(mm)         | 名称                  | 塗厚<br>(mm)  | 土の種類           | 苺(mm)         |  |            |            |              |
| 1   | 荒壁                          | 貫面まで   | 荒木田土           | 切りわら<br>15～30 | 荒壁                  | 貫面まで  | 同左             |               | 小舞面にて切り落とし<br>裏返し塗なし   | 1<br>[9/5] | 16         |              |
|   | 貫伏トンボ                       | 釘1.5φ麻ひも3～4φ×80～100<br>貫の上下端から約15の位置に横の間隔は<br>30～40で上下に千鳥に打ち付け、<br>上下にひげを伸ばし荒壁に摺り込む。 |                |               | 貫漆喰                 | 3   |                |               | 貫漆喰は貫の裏面のみ   |            |            |              |
| 2   |                             |  |                |               | 貫伏セトンボ              | 釘1.5φ麻ひも3～4φ×165～200<br>貫の中央の高さに堅間渡竹・堅小舞竹の間に1本ずつ貫に打ち付け、上下にひげを伸ばし、<br>荒壁に摺り込む。 |                |               |  | 1          | 4          |              |
|   |                             |  |                |               |                     |   |                |               |  |            |            |              |
|   | 貫伏棕櫚<br>・1φ<br>荒壁<br>(貫伏せ塗) |  |                |               | 貫伏トンボ               | 釘1.5φ棕櫚縄4～5φ×165～200<br>貫の中央の高さに堅間渡竹・堅小舞竹の間に1本ずつ貫に打ち付け、上下にひげを                 |                |               |  |            |            |              |
| 3   |                             | 貫面より16.5   | 荒木田：中目砂<br>1：1 | 切りわら<br>10～15 | 中付                  | 貫面から16.5  | 荒木田：中目砂<br>1：1 | 切りわら<br>10～15 |  | 1          | 7          |              |
|   | ちり廻り塗                       | ちりトンボ塗り込み  | 荒木田：中目砂<br>1：2 | もみすさ<br>約5    | ちり廻り塗               | ちりトンボ塗り込み   | 荒木田：中目砂<br>1：2 | もみすさ<br>約5    | 釘1.0φ×13、麻2～3φ×60～65<br>@25～30で、幅木・付鴨居の上面には@18～24で打ち付ける。付鴨居、天井廻縁の下面には打っていない。 |            |            |              |
|   | むら直し                        | 5  | 荒木田：中目砂<br>1：2 | もみすさ<br>約5    | 中塗り                 | 5   | 荒木田：中目砂<br>1：2 | もみすさ<br>10～15 |  |            |            |              |
|   | 貫伏麻布                        | 麻塗り込み  |                |               | 貫伏麻布                | 麻塗り込み   |                |               |  |            |            |              |
| 4   | 中塗り                         | 5  | 荒木田：中目砂<br>1：2 | もみすさ<br>約5    | 中塗り                 | 5   | 荒木田：中目砂<br>1：2 | もみすさ<br>10～15 |  | 1          | 7+α        |              |
| 5   | 上塗り(下付)                     | 1.5  | 京壁(のり)         | みじんすさ         | 上塗り(下付)             | 1.5   | 京壁(のり)         | みじんすさ         | 試験体では再現しない   | 1          | 4          |              |
| 6   | 上塗り(上付)                     | 1  | 京壁(聚楽壁)        | みじんすさ         | 上塗り(上付)             | 1   | 京壁(聚楽壁)        | みじんすさ         | 試験体では再現しない   |            |            |              |
| 荒壁塗から仕上げ塗完了まで 38日<br>αは仕上げ塗から試験まで<br>長いほど良い |                             |  |                |               |                     |   |                |               |  |            |            |              |





|  |   |
|--|---|
|   |   |
| 貫伏せ  | 棕櫚伏せ（表側貫位置の伏せ込み）  |
|  |  |
| 付鴨居の施工 チリトンボは上のみ   | 中塗り完了   |

図 4-9 土壁作成工程

4.3.2.3. CH リスト

・ロードセル (水平荷重), 変位計 (水平変位, 柱脚浮き上がり, 貫の曲げ変形), ひずみゲージ (塗材表面および木摺・軸部材のひずみ) により, 下記の項目を測定した. チャンネルリストを下記に示す.

実大試験体 CH リスト

表 4-4 CH リスト

表: 計測 CH リスト

|      |        |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|      |        | CH. 000       | CH. 001       | CH. 002       | CH. 003       | CH. 004       | CH. 005       | CH. 006       | CH. 007       | CH. 008       | CH. 009       |
| 軸組   | Remark | TCLP-20B      | DP-1000C      | DP-1000C      | DP-1000E      | DP-500B       | DP-500B       | DP-500B       | SDP-200D      | SDP-50C       | CDP-50        |
|      | Unit   | tf            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |
| 木摺漆喰 | Remark | TCLP-20B      | DP-1000C      | DP-1000C      | DP-1000E      | DP-500B       | DP-500B       | DP-500B       | SDP-200D      | SDP-50C       | SDP-50C       |
|      | Unit   | tf            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |
| 土壁   | Remark | TCLP-20B      | DP-1000C      | DP-1000C      | DP-1000E      | DP-500B       | DP-500B       | DP-500B       | SDP-200D      | SDP-50C       | SDP-50C       |
|      | Unit   | tf            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |
|      |        | CH. 010       | CH. 011       | CH. 012       | CH. 013       | CH. 014       | CH. 015       | CH. 016       | CH. 017       | CH. 018       | CH. 019       |
| 軸組   | Remark | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | SDP-50C       | CDP-50        | CDP-50        |
|      | Unit   | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |
| 木摺漆喰 | Remark | SDP-50C       | SDP-50C       | SDP-50C       | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        |
|      | Unit   | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |
| 土壁   | Remark | SDP-50C       | SDP-50C       | SDP-50C       | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        |
|      | Unit   | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |
|      |        | CH. 020       | CH. 021       | CH. 022       | CH. 023       | CH. 024       | CH. 025       | CH. 026       | CH. 027       | CH. 028       | CH. 029       |
| 軸組   | Remark | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | SDP-50C       | CDP-25        | CDP-25        | CDP-25        | CDP-25        |               |
|      | Unit   | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |               |
| 木摺漆喰 | Remark | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-25        |               |               |
|      | Unit   | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |               |               |
| 土壁   | Remark | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-25        |               |               |
|      | Unit   | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |               |               |
|      |        | CH. 030       | CH. 031       | CH. 032       | CH. 033       | CH. 034       | CH. 035       | CH. 036       | CH. 037       | CH. 038       | CH. 039       |
| 軸組   | Remark |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 木摺漆喰 | Remark | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     |
|      | Unit   | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] |
| 土壁   | Remark | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     |
|      | Unit   | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] |
|      |        | CH. 040       | CH. 041       | CH. 042       | CH. 043       | CH. 044       | CH. 045       | CH. 046       | CH. 047       | CH. 048       | CH. 049       |
| 軸組   | Remark |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 木摺漆喰 | Remark | PFL-30-11     | PFL-30-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     |               |               |               |
|      | Unit   | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] |               |               |               |
| 土壁   | Remark | PFL-30-11     | PFL-30-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     | LFLA10-11     |
|      | Unit   | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] |
|      |        | CH. 050       | CH. 051       | CH. 052       | CH. 053       | CH. 054       | CH. 055       | CH. 056       | CH. 057       | CH. 058       | CH. 059       |
| 軸組   | Remark |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 木摺漆喰 | Remark |               |               |               |               |               |               |               | PFL-30-11     | PFL-30-11     | PFL-30-11     |
|      | Unit   |               |               |               |               |               |               |               | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] | 1G3W[120 Ohm] |
| 土壁   | Remark |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |



### 4.3.2.4. 測定計画

#### ■加力方法

- ・正負交番繰り返し加力（油圧式ジャッキ，変位制御）
- ・加力サイクル(rad.)：見かけのせん断変形角で  
1/600,1/450,1/300,1/200,1/150,1/120,1/100,  
1/75,1/60,1/50,1/30,1/15,1/20,1/10(1/10は引き側のみ)  
正負各1回
- ・最大荷重記録後荷重が80%に低下した場合，そこで計測を終了する．  
破壊に至らない場合，1/10rad.まで加力を行う．
- ・加力速度は，1インターバル[5秒]辺り0.3mm程度を想定．

#### ■計測計画

- ・CH0 荷重 [ロードセル定格50kN]
- ・CH1,2 頂部水平変位 [表・裏]
- ・CH3-7 貫接合部の水平変位，柱の変形
- ・CH8 土台水平移動
- ・CH9-12 柱頭柱脚引き抜き
- ・CH13-18,47 貫接合部のめりこみ変位 [めり込み変形式による算定の検証]
- ・CH19-26 柱頭柱脚接合部のめりこみ変形
- ・CH27-41,57-59 漆喰仕上げ上の応力分布
- ・CH42-46 木摺の応力分布

## 軸組（貫）試験体

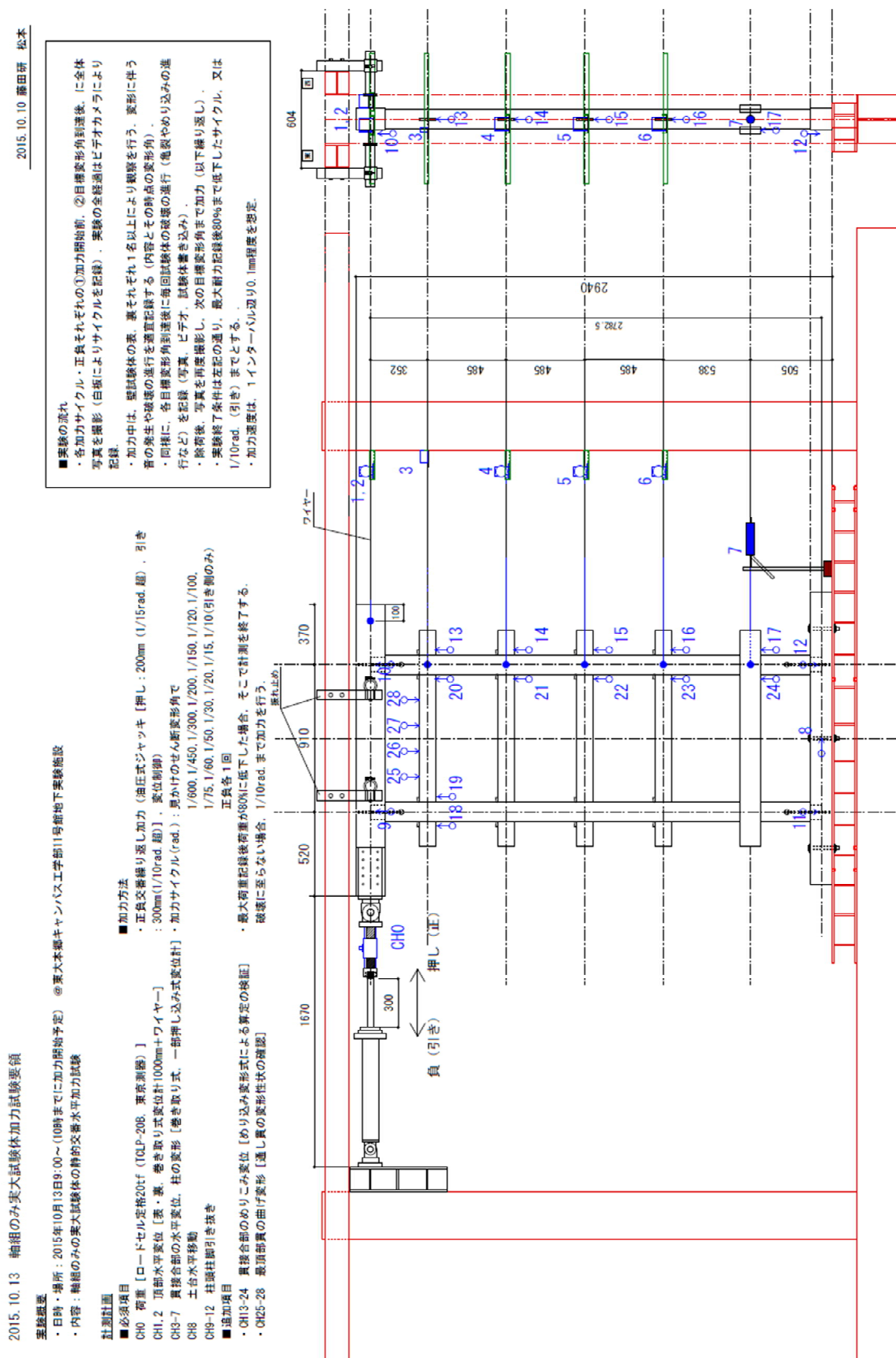


図 4-10 軸組試験体計測計画

水平木摺漆喰試験体 表側

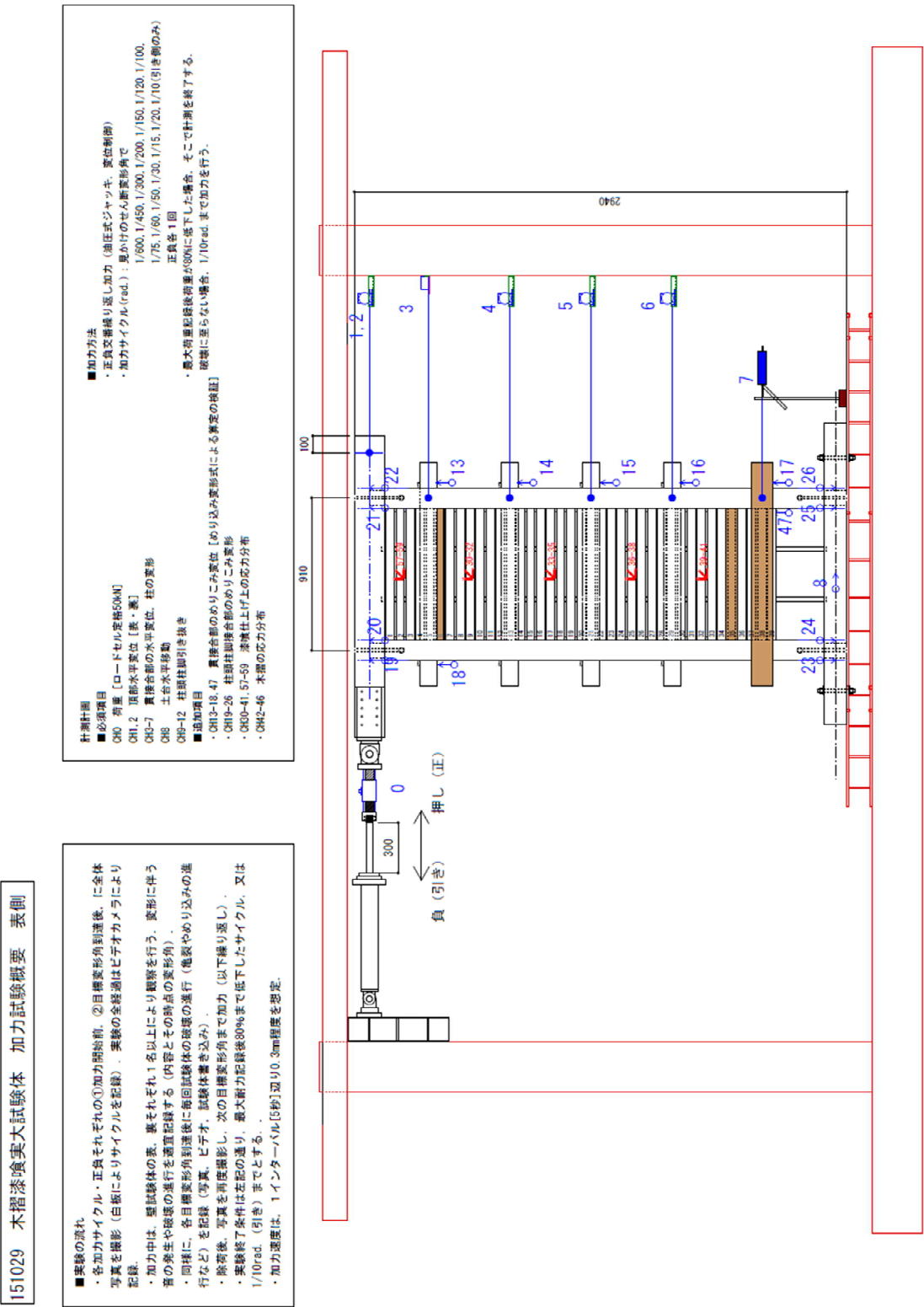


図 4-11 木摺漆喰試験体計測計画

水平木摺漆喰試験体 裏側

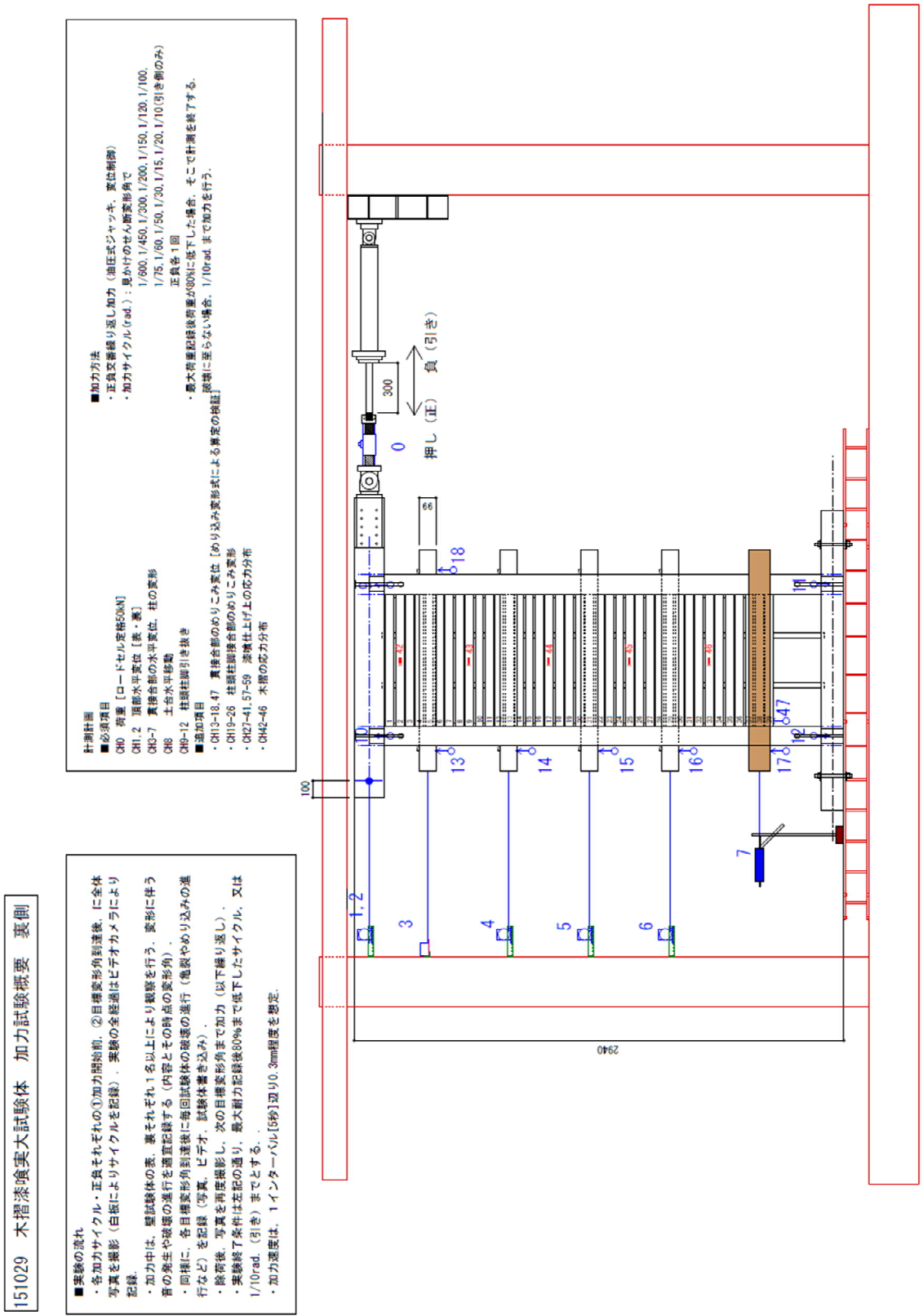


図 4-12 木摺漆喰試験体計測計画

## 土壁試験体 表側

151105 土壁実大試験体 加力試験概要 表側

- 実験の環境
- ・各方向それぞれ①加力開始前、②目標変形角到達後、に全体写真撮影（白版によりサイクルを記録）。実験の全経過はビデオカメラにより記録。
- ・加力中は、望遠鏡の表、裏それぞれ1名以上により観察を行う。変形に伴う筋の発生と呼吸峰の進行を適宜記録する（内容とこの時点の変形角・回轉に、各目標変形角到達後に毎回試験体の破壊の進行（亀裂やめり込みの進行など）を記録。写真、ビデオ、試験機書き込み）。
- ・除荷後、記録を再度撮影し、次の目標変形角まで加力（以下繰り返し）。
- ・実験終結条件は左記の通り、最大耐力記録後80%まで低下したサイクル、又は1/100変位、1インチ（引き）までとする。
- ・加力速度は、1インチ（押し）辺り0.3mm程度を想定。

- [illegible]

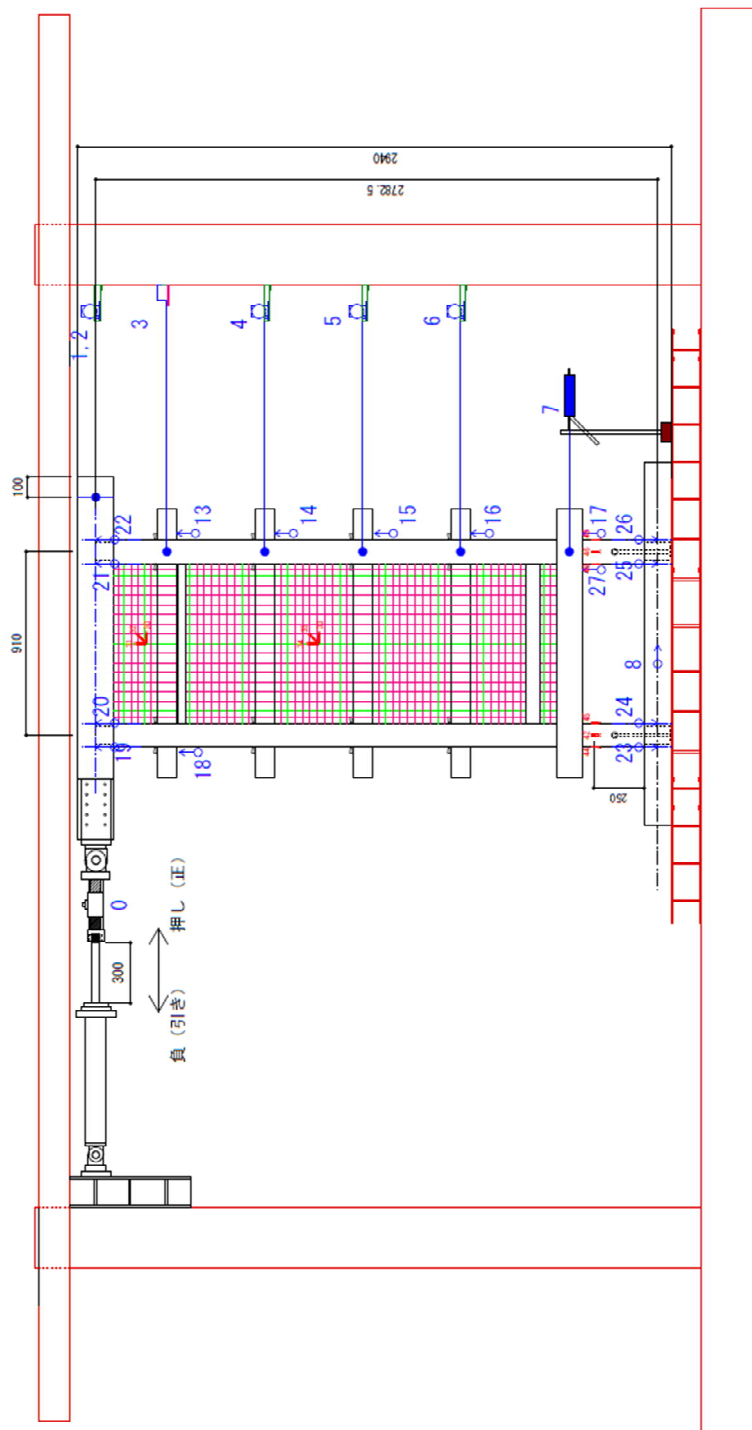


図 4-13 土壁試験体計測計画



## 土壁試験体 裏側

151105 土壁実大試験体 加力試験概要 裏側

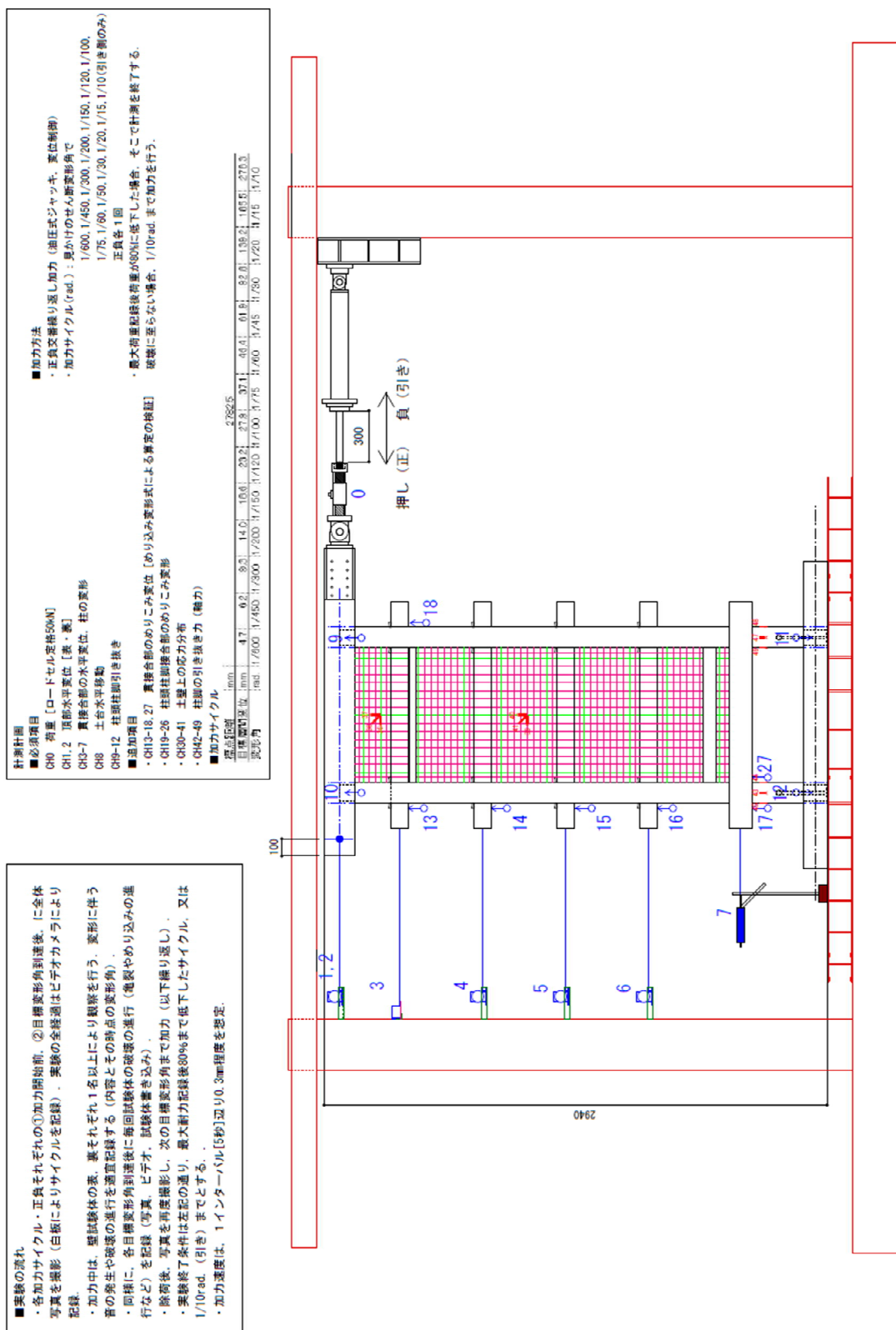


図 4-14 土壁試験体計測計画

#### 4.3.2.5. 評価方法

実験結果の評価は、文献<sup>23</sup>に準拠し、以下の方法で実施した。

##### ①せん断変形角

荷重変形関係、包絡線、特性値の算出ともに、下記の見かけのせん断変形角 $\gamma$ を適用した。

$$\gamma = \frac{(Ch.1 + Ch.2) / 2 - Ch.8}{2782.5} (rad.)$$

Ch. 1, 2 は桁の水平方向変位 (mm) (変位計 1, 2)

Ch. 8 は土台の水平方向変位 (mm) (変位計 8)

2782.5 は、本試験体の Ch. 1・2 と 8 の標点距離 (mm)

##### ②包絡線の作成

包絡線は計測データから、変位が増加している点を随時結んで得られた曲線とした。ただし、各サイクル間は、次サイクルが前サイクルの荷重ピークの変位を超えた位置と前サイクルのピークを結んだものとした。

##### ③短期基準せん断耐力の算出

短期基準せん断耐力 $P_0$ は、下記の(a)～(d)に、各項目のばらつき係数を乗じた最小値とした。

- (a) 降伏耐力 $P_y$
- (b) 終局耐力 $P_u \times (0.2 / D_s)$
- (c) 最大荷重 $P_{max}$ の $2/3$
- (d)  $\epsilon$ 見かけのせん断変形角 $1/120 rad$ 時の耐力 (柱脚固定式のため)

(a)～(d)およびその他特性値の算出に当たっては、枠組壁構法の試験評価方法で提案されている方法 (下図参照) に従って完全弾塑性モデルを作成し導出した。

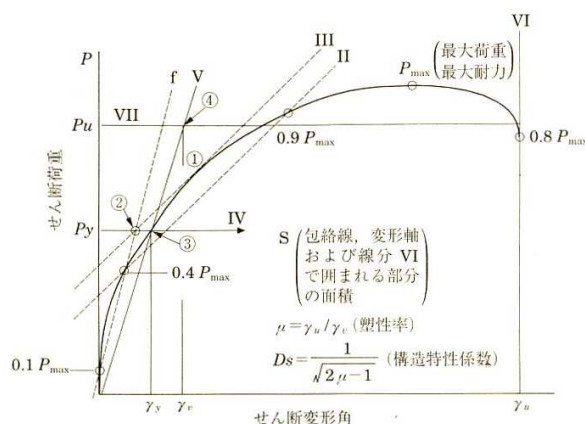


図 4-15 完全弾塑性モデルの導出方法 (文 2)

<sup>2</sup> 『木質構造設計規準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法— (第 4 版)』, 日本建築学会, 2006

<sup>3</sup> 『木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2008 年度版) (第 6 版)』, (公財) 日本住宅・木材技術センター, 2013

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

なお、ばらつき係数は母集団の分布形を正規分布とみなし信頼水準 75%の 50%下側許容限界値をもとに、下記のばらつき係数で表される。

$$\text{ばらつき係数} : 1 - CV \cdot k$$

$CV$  : 変動係数 (標準偏差/平均値)

$k$  : 信頼水準 75%の 50%下側許容限界値を求めるための係数

ただし、本試験では実施試験体数が 1 体ずつであるため、試験結果の評価においては、①ばらつき係数を乗じない場合 (ばらつき係数 1)、②旧倍率規定 (ばらつき係数 0.75) を採用した場合、の 2 種を併記した。

### ④短期許容せん断耐力の算出

短期許容せん断耐力  $P_a$  は次式により算定される。

$$P_a = P_0 \times \alpha$$

$P_a$  : 短期基準せん断耐力

$\alpha$  : 構成材の耐久性、使用環境、施工性、などを勘案して決める低減係数。今回は  $\alpha = 1$  と仮定した。

### ⑤壁倍率の算定

壁倍率は、以下の式により算定した。

$$\text{壁倍率} = \frac{P_a}{0.91 \times 1.96}$$

ただし、0.91(m)は試験体の柱真距離、1.96 (kN/m)は壁倍率 1 を定める定数である。

#### 4.3.2.6. 真のせん断変形角の導出について 柱頭柱脚浮き上がりの検討

柱頭柱脚部の浮き上がり量を下記の方法で評価し、真のせん断変形角を導出した。浮き上がり量は柱真の変位  $\delta$  とする。ただし、柱真の変位は直接計測した値  $d$  と、柱左右側面の平均値  $d_1+d_2/2$  を比較し、妥当な方を採用することとする。

- ・以下に、柱脚部を例に評価方法を示す。柱頭も同様である。
- ・左図は柱の左右片方がめり込む場合、右図はめり込みが発生しない場合（両端とも浮き上がった状態で回転）でともに下記の関係が成り立つ。

$B$  : 柱幅 (120mm)

$d$  : 柱脚中央部の変位 (変位計 ch.9,10,11,12)

$d_1$  : 柱脚左側面の変位 (変位計 ch.19,21,23,25)

$d_2$  : 柱脚右側面の変位 (変位計 ch.20,22,24,26)

$\phi$  : 柱脚部 1 個所の変形角

$\delta$  : 柱真位置の浮き上がり量

$$d = (d_1 + d_2) / 2$$

$$\cos \phi = \frac{B}{\sqrt{(d_1 - d_2)^2 + B^2}}$$

$$\delta = d \cdot \cos \phi$$

- ・左右の柱の各柱脚部の浮き上がり量 ( $\delta_l$ ,  $\delta_r$ ) の差を取り、柱間隔 (910mm) で除し、柱脚部の変形角  $\theta$  とする。

$$\theta = (\delta_l - \delta_r) / 910$$

- ・見かけのせん断変形角  $\gamma$  と柱脚部の変形角  $\theta$  の差を真のせん断変形角  $\Theta$  とする。

$$\Theta = \gamma - \theta$$

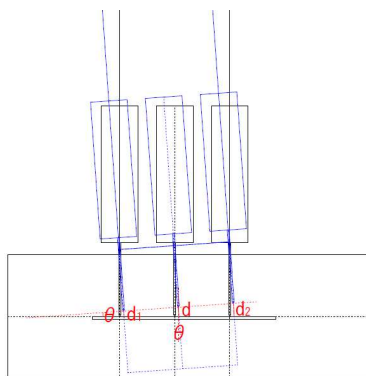


図 4-16 めり込みなしの場合

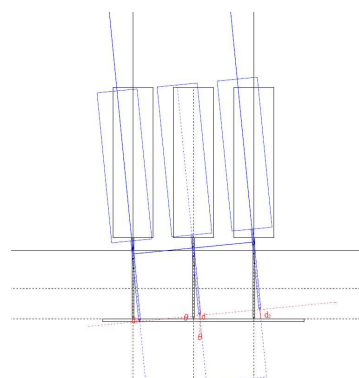


図 4-17 めり込みが発生している場合

#### 4.3.2.7. 柱頭部と柱脚部の変形角

・ 前述の方法で、各試験体の柱頭部、柱脚部の変形角を算出し、相関関係について検討した。柱脚部の浮き上がりの測定は、軸組試験体のみ柱真位置4か所で測定し、木摺漆喰試験体と土壁試験体は柱真位置4か所に加えて柱頭柱脚それぞれの柱左右側面計8か所で測定を行った。

・ 軸組試験体は柱真位置の変位を浮き上がり量とし、木摺漆喰試験体と土壁試験体は柱真位置での変位と、柱側面の平均値をそれぞれ浮き上がり量として導出し比較した。

・ 結果として、柱側面での測定の平均値がより実際の値に近いと判断し、これを木摺漆喰試験体、土壁試験体の浮き上がり量として、真のせん断変形角の導出を行った。

・ また、桁の浮き上がり量は、全試験体において柱脚部の浮き上がり量より微小であったため、真のせん断変形関係の導出には、柱脚部の浮き上がりによる変形角のみを考慮した。

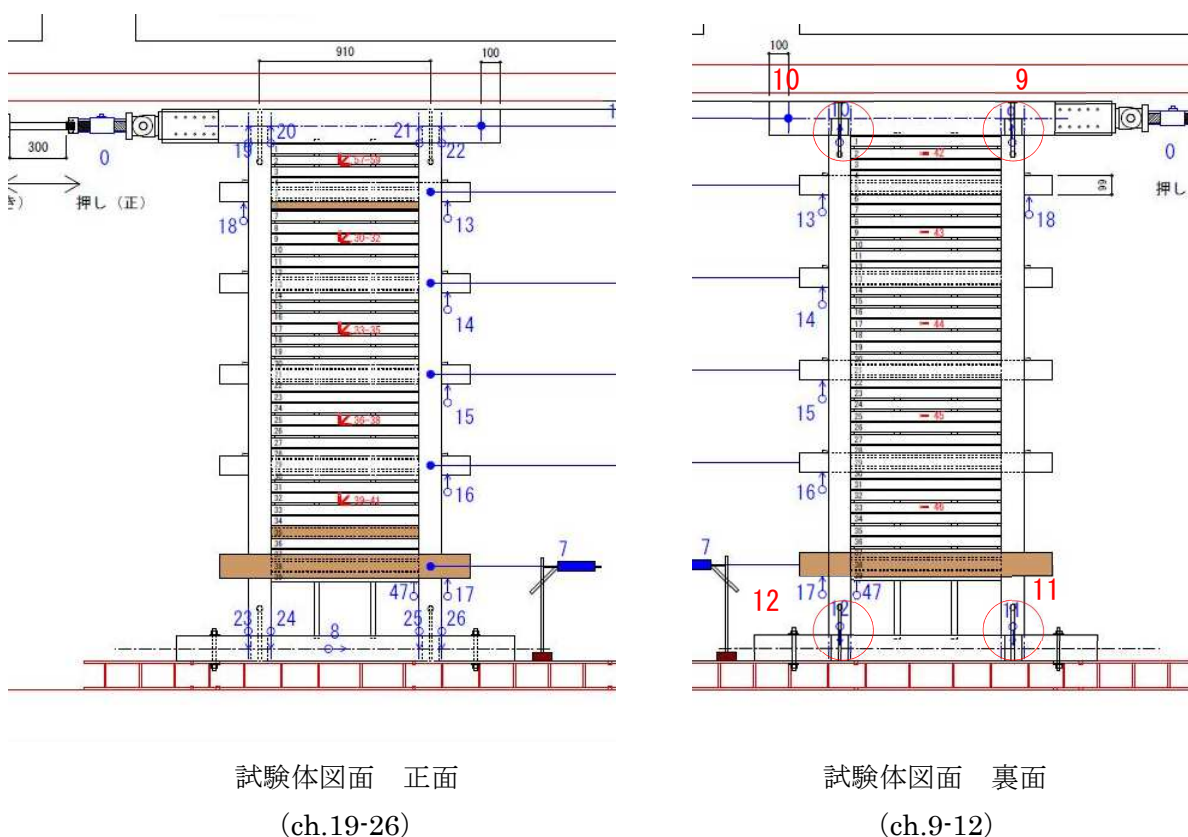


図 4-18 柱頭柱脚部変位計設置位置



### 4.3.3. 実験結果

#### 4.3.3.1. 荷重変形関係（各試験体，見かけの変形角，真のせん断変形角それぞれを示す）

##### 軸組試験体

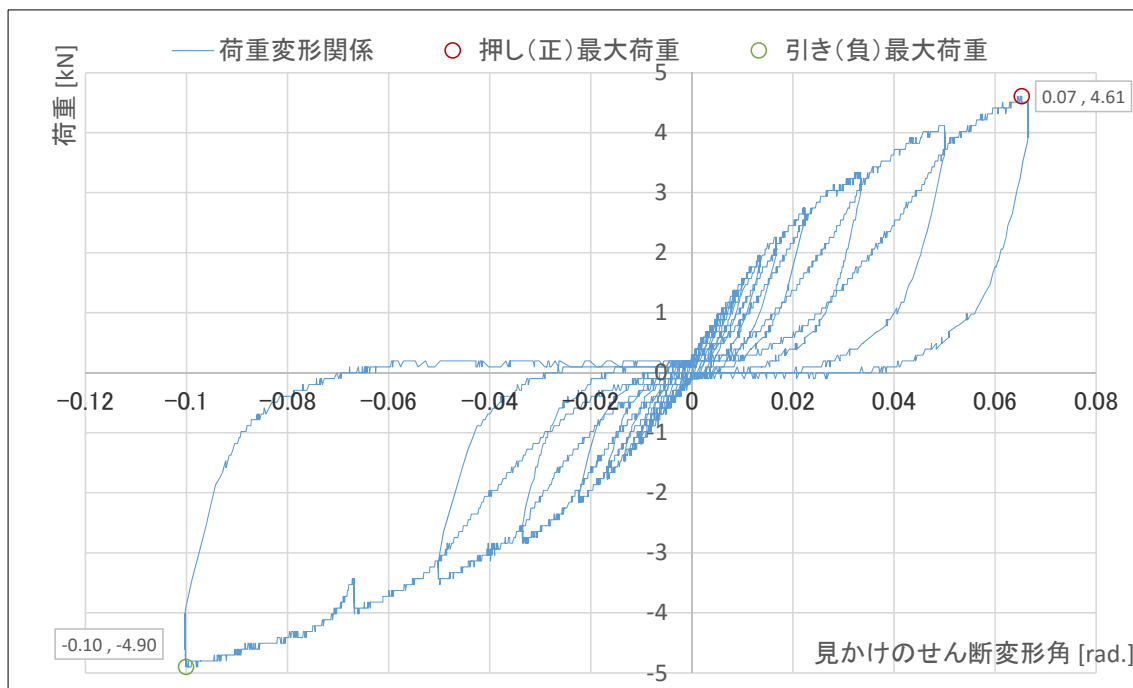


図 4-19 軸組試験体荷重変形曲線

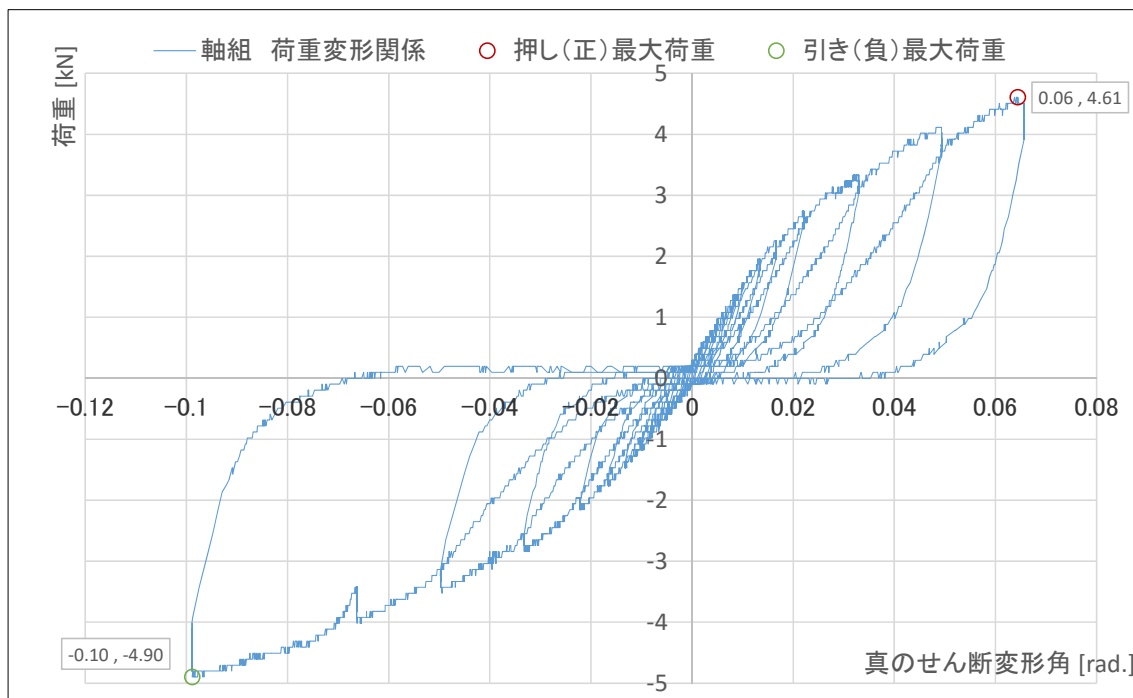


図 4-20 軸組試験体 荷重変形曲線 真のせん断変形

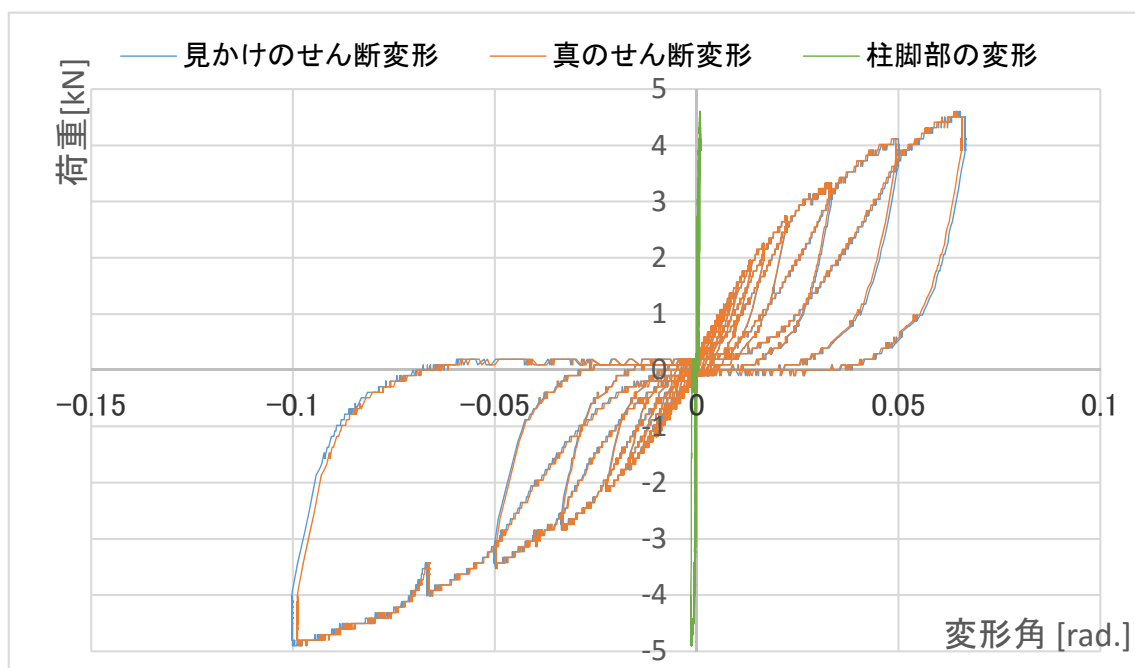


図 4-21 軸組試験体 荷重変形曲線 変形角の比較

木摺漆喰試験体

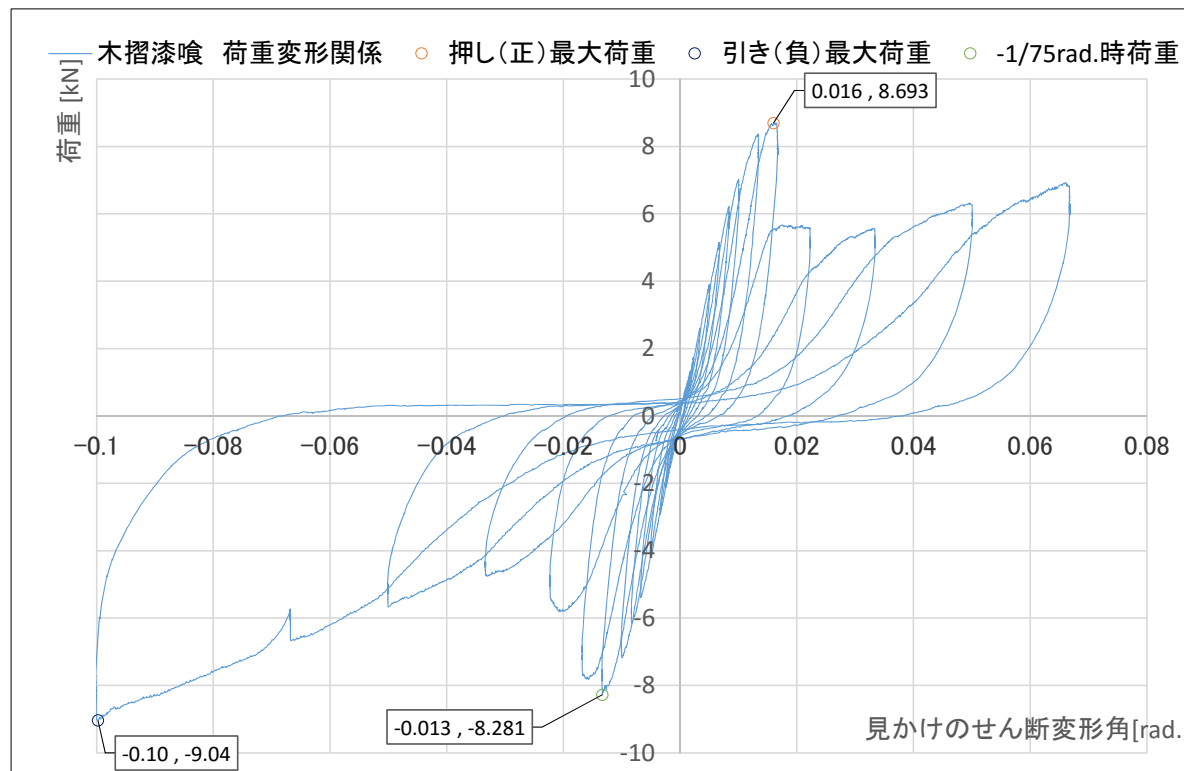


図 4-22 木摺漆喰試験体 荷重変形関係 見かけのせん断変形角

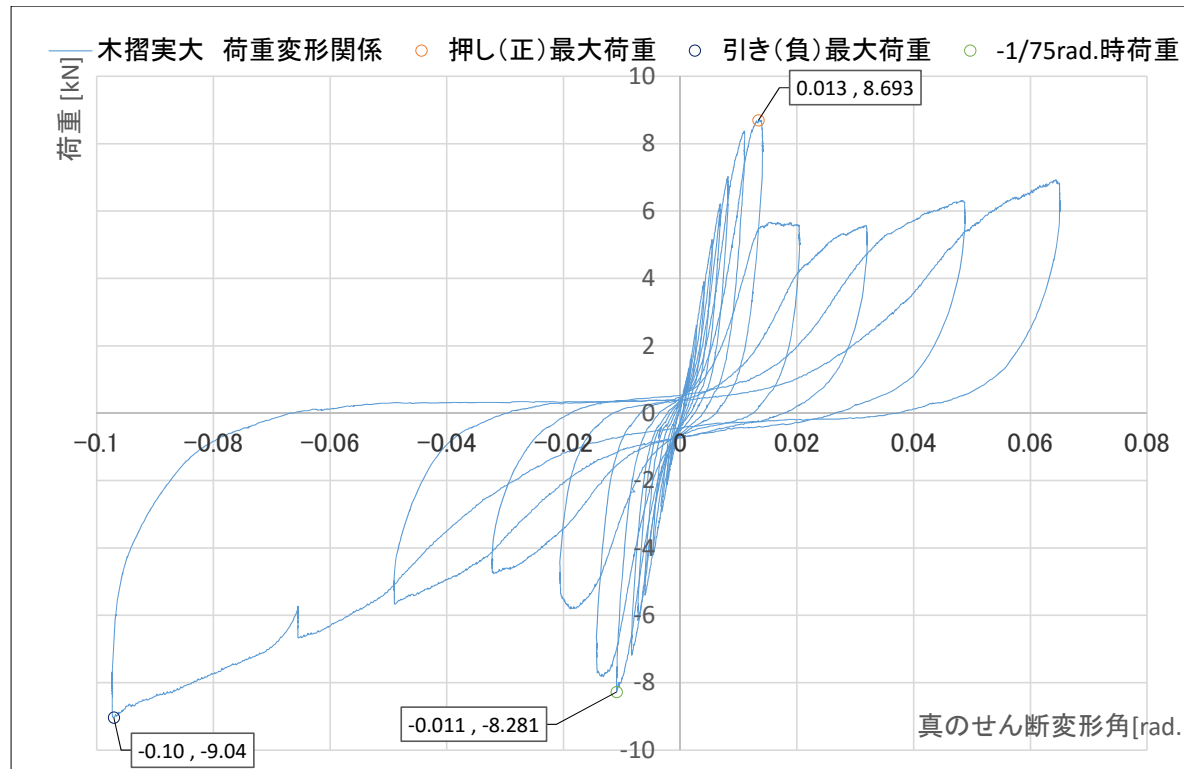


図 4-23 木摺漆喰試験体 荷重変形関係 真のせん断変形角

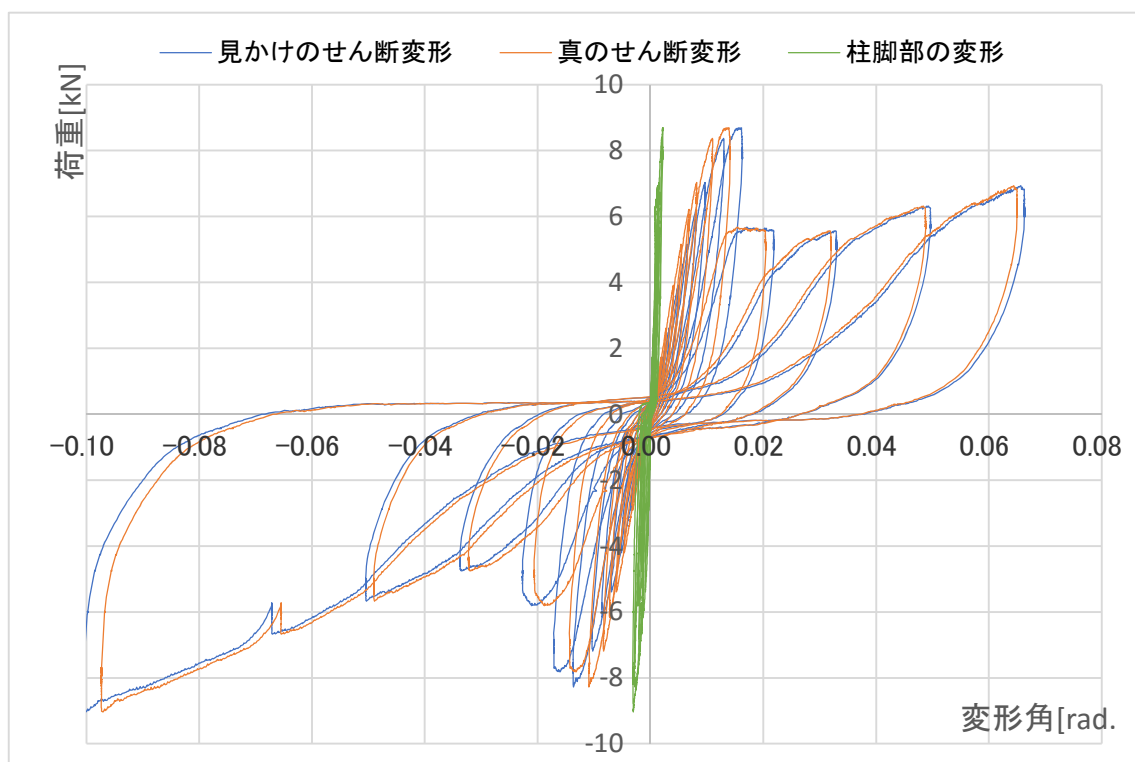


図 4-24 木摺漆喰試験体 荷重変形関係

土壁試験体

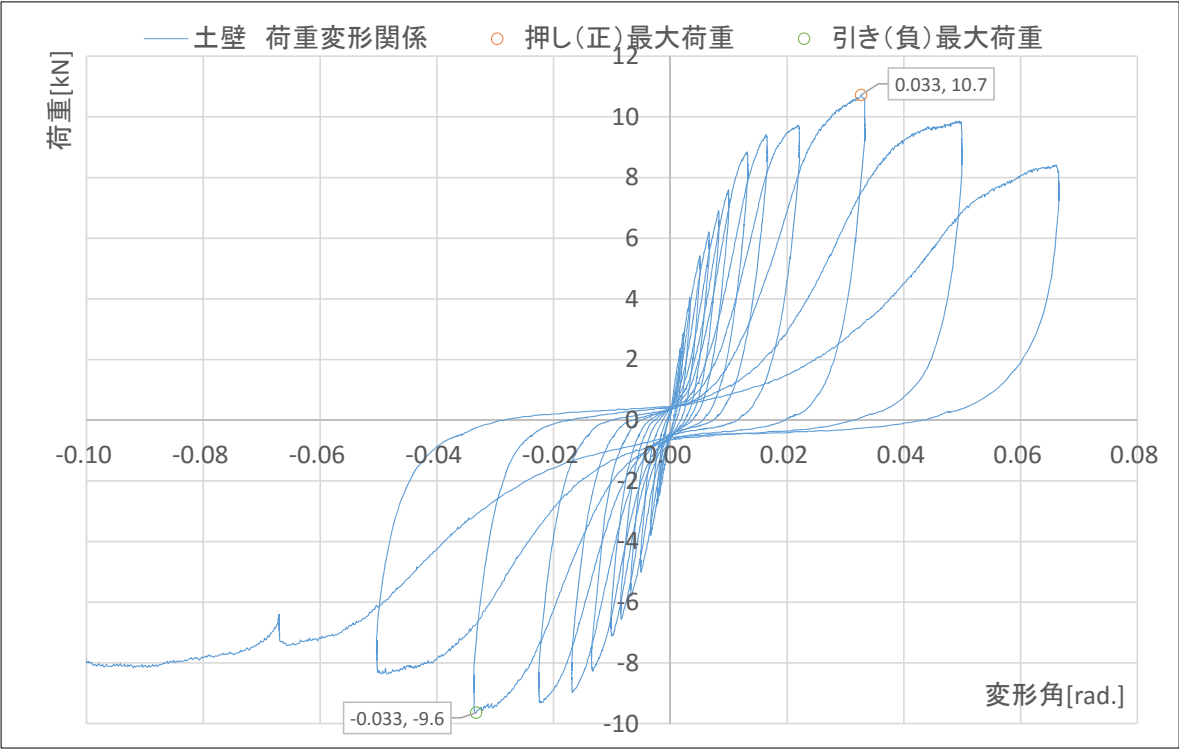


図 4-25 土壁試験体 荷重変形関係 見かけのせん断変形角

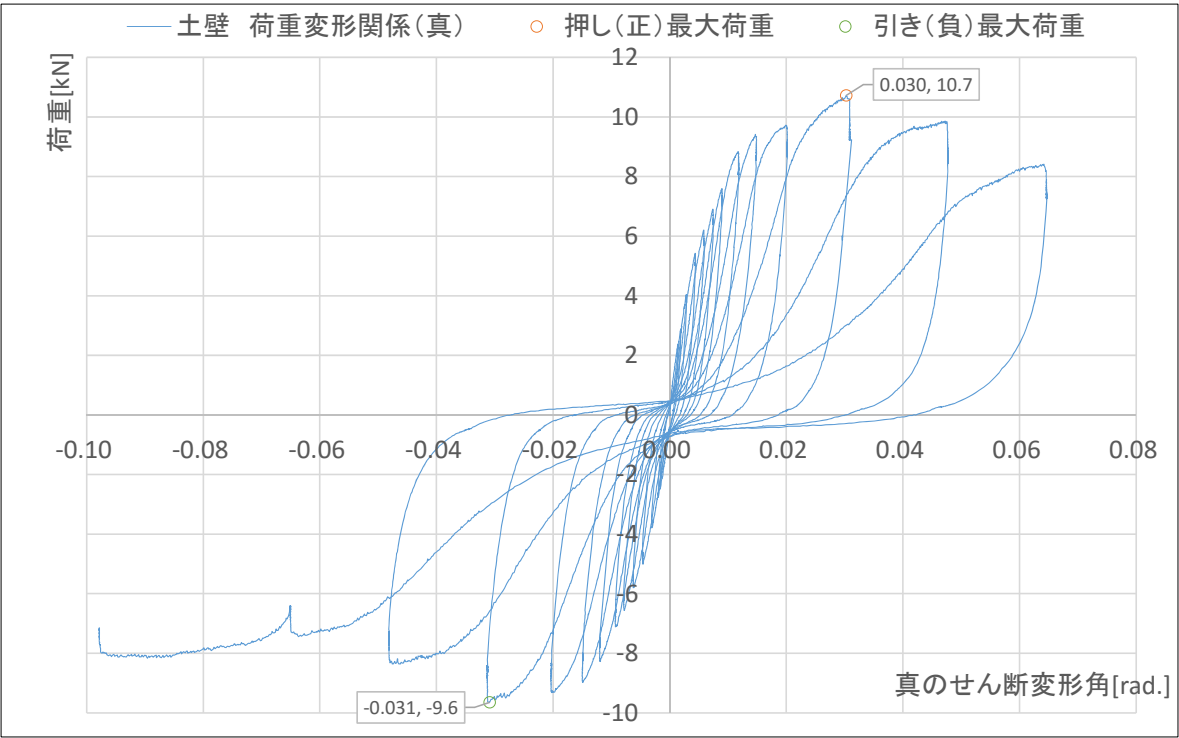


図 4-26 土壁試験体 荷重変形関係 真のせん断変形角



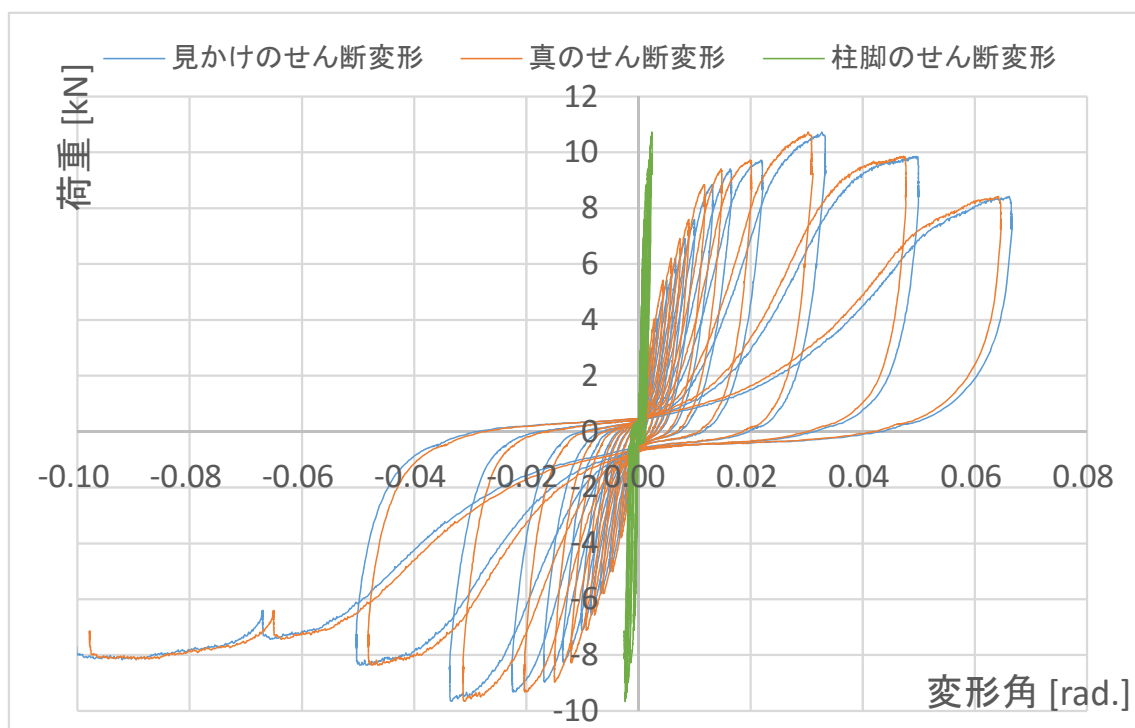


図 4-27 土壁試験体 荷重変形関係

全試験体の比較 見かけのせん断変形角

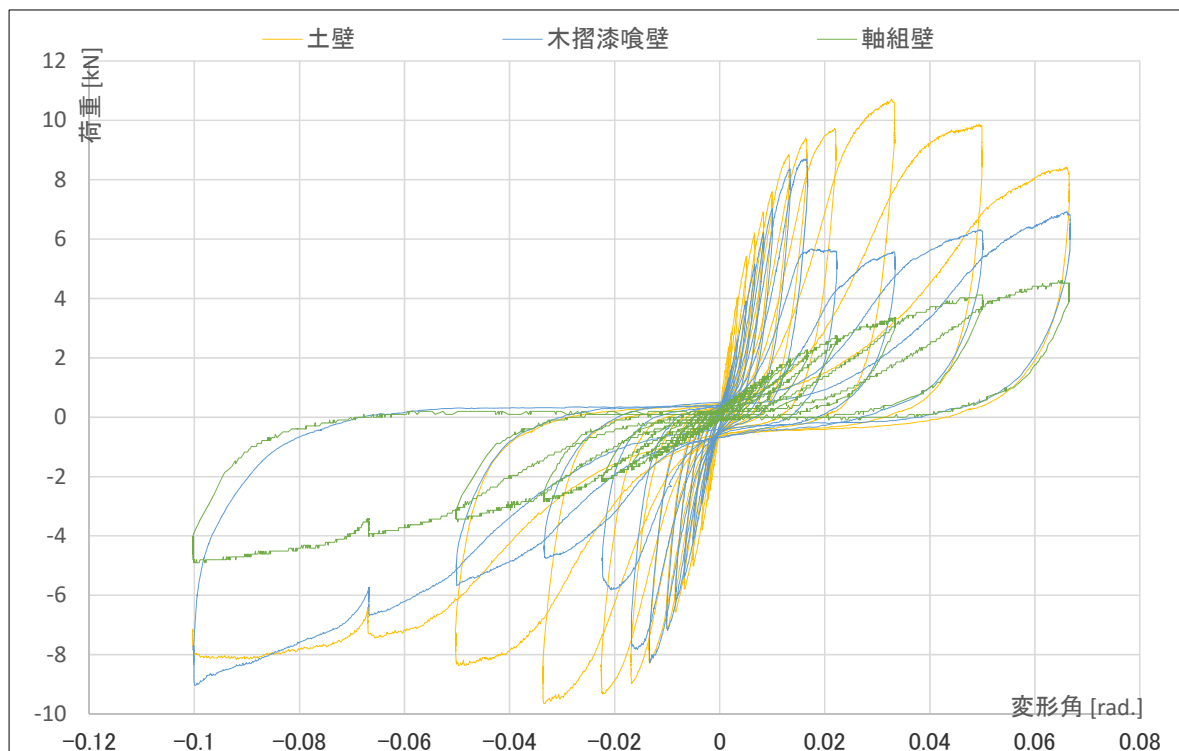


図 4-28 全試験体 荷重変形関係 見かけのせん断変形角

全試験体の比較 真のせん断変形角

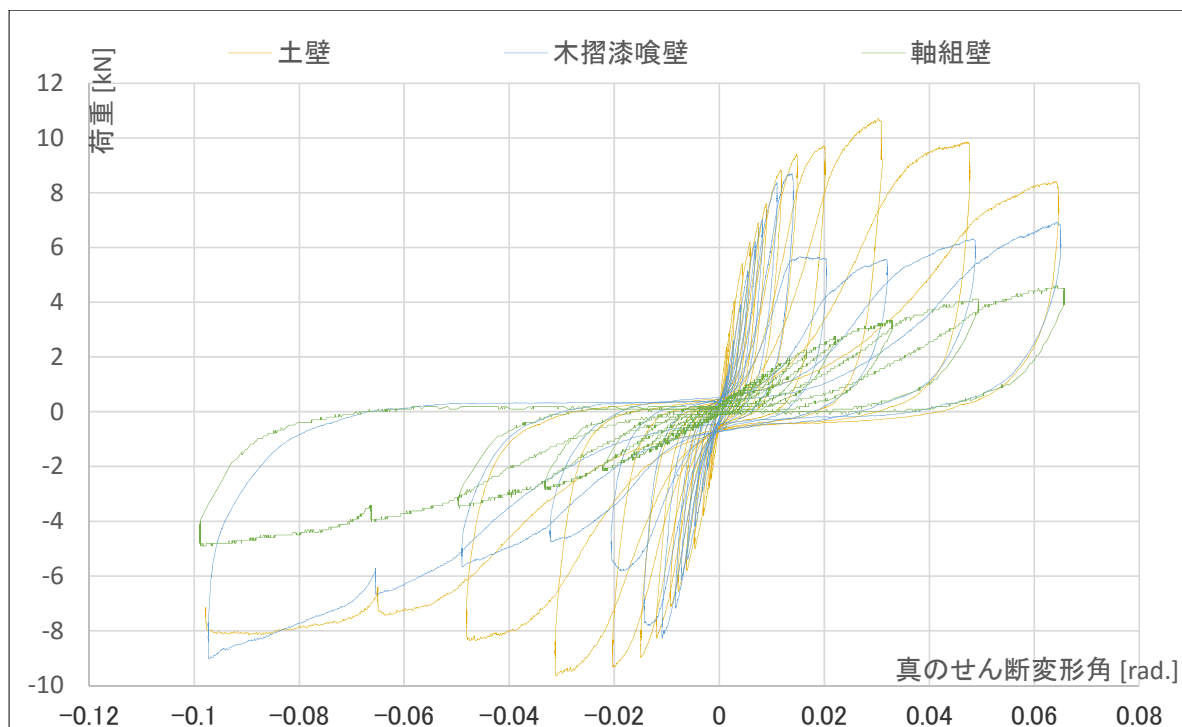


図 4-29 全試験体 荷重変形関係 真のせん断変形角

### 4.3.3.2. 各試験体の包絡線

軸組試験体 包絡線 見かけの変形角

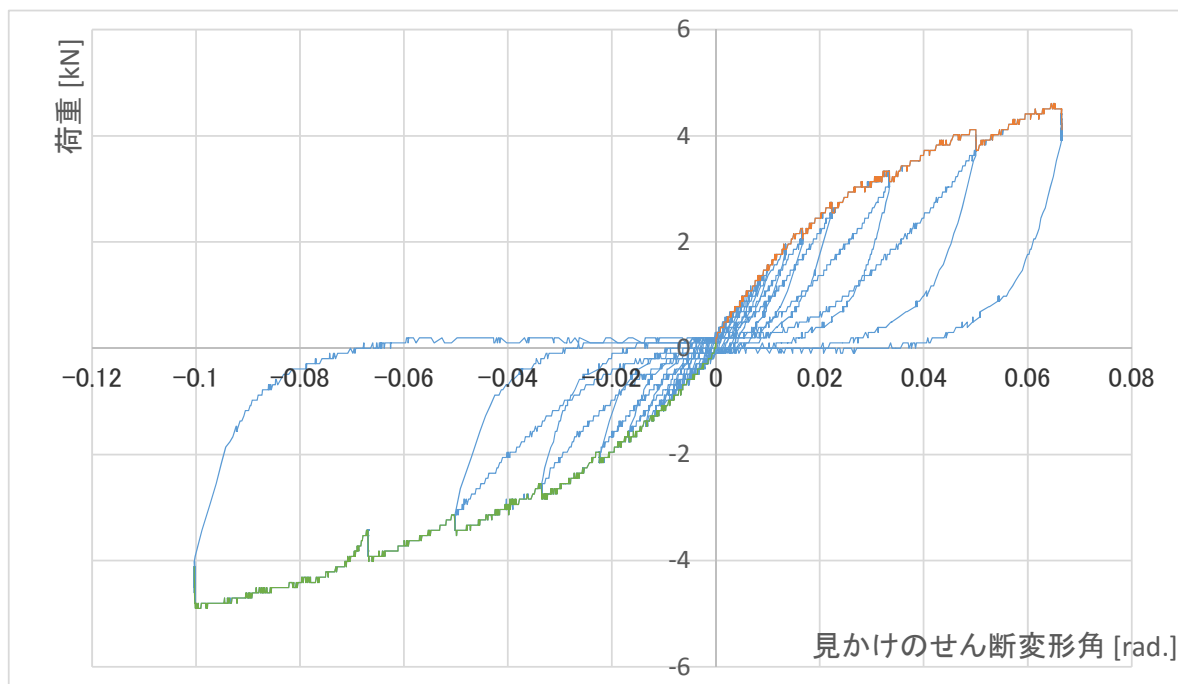


図 4-30 軸組試験体包絡線

軸組試験体 包絡線 正負比較 見かけの変形角

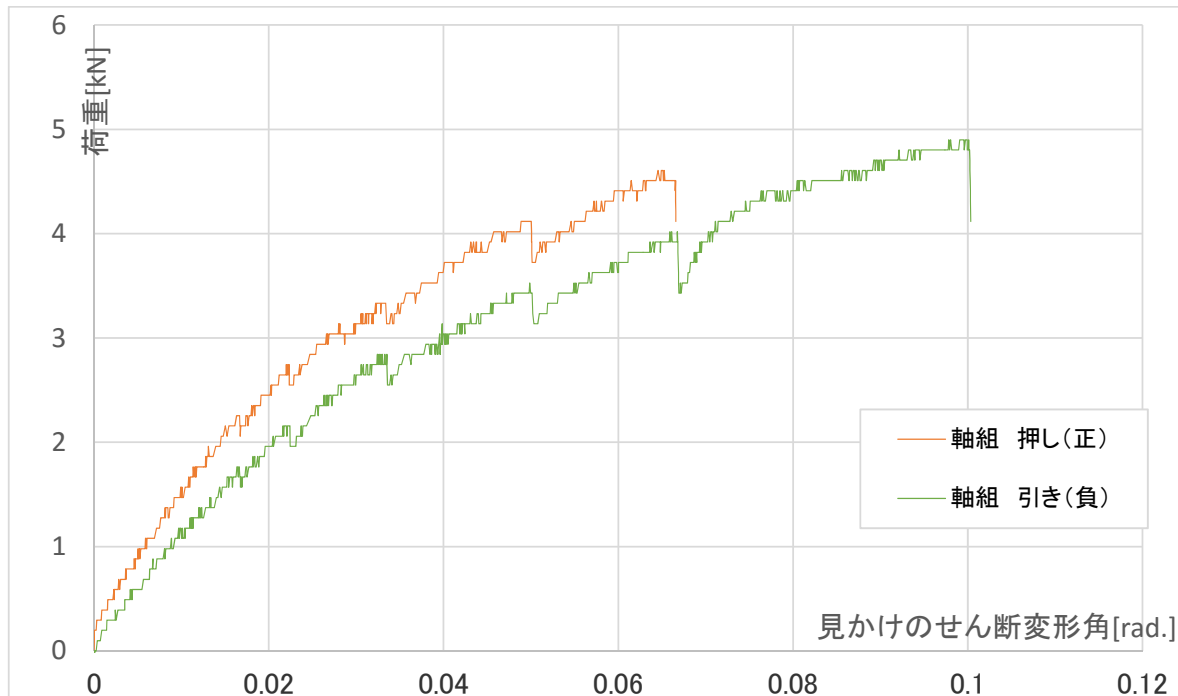


図 4-31 軸組試験体包絡線

軸組試験体 包絡線 真のせん断変形角

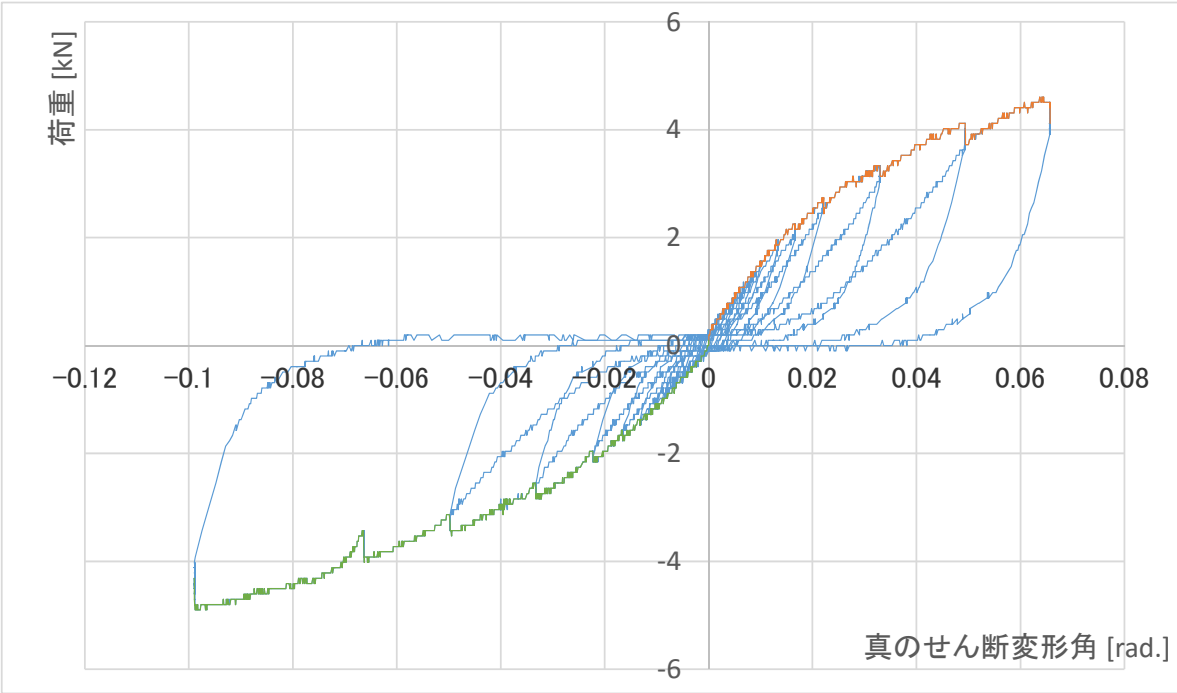


図 4-32 軸組試験体包絡線

軸組試験体 包絡線 正負比較 真のせん断変形角

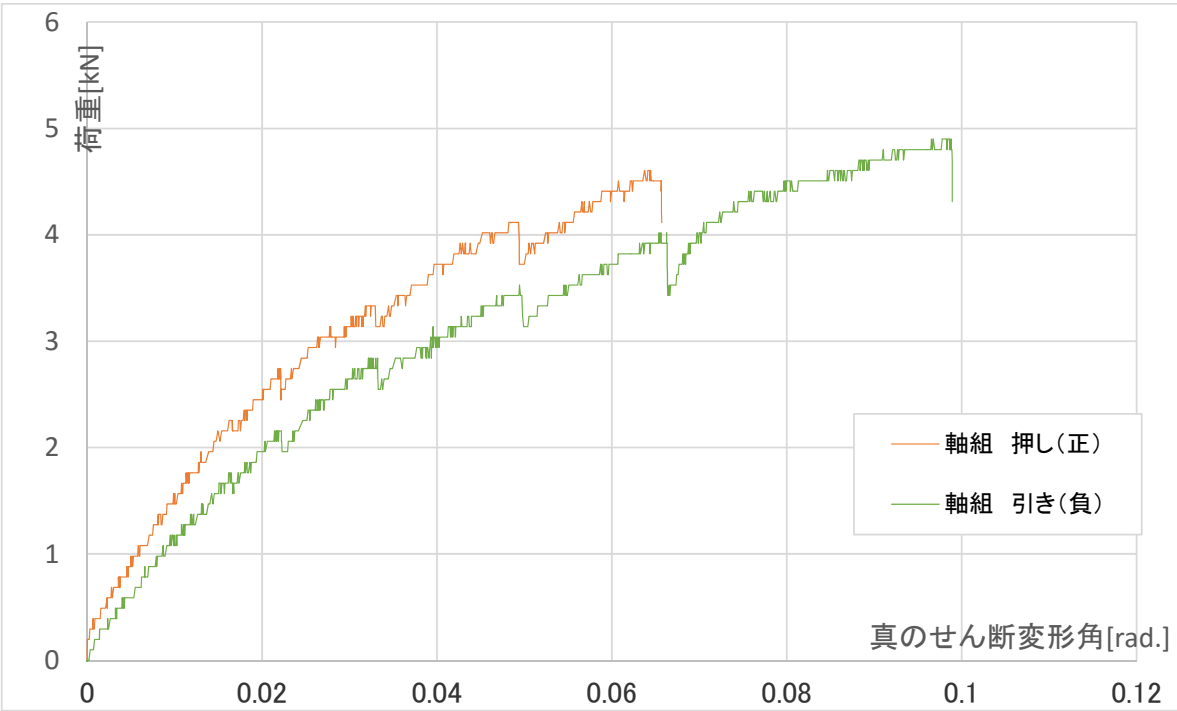


図 4-33 軸組試験体包絡線

木摺漆喰試験体 包絡線 見かけのせん断変形角

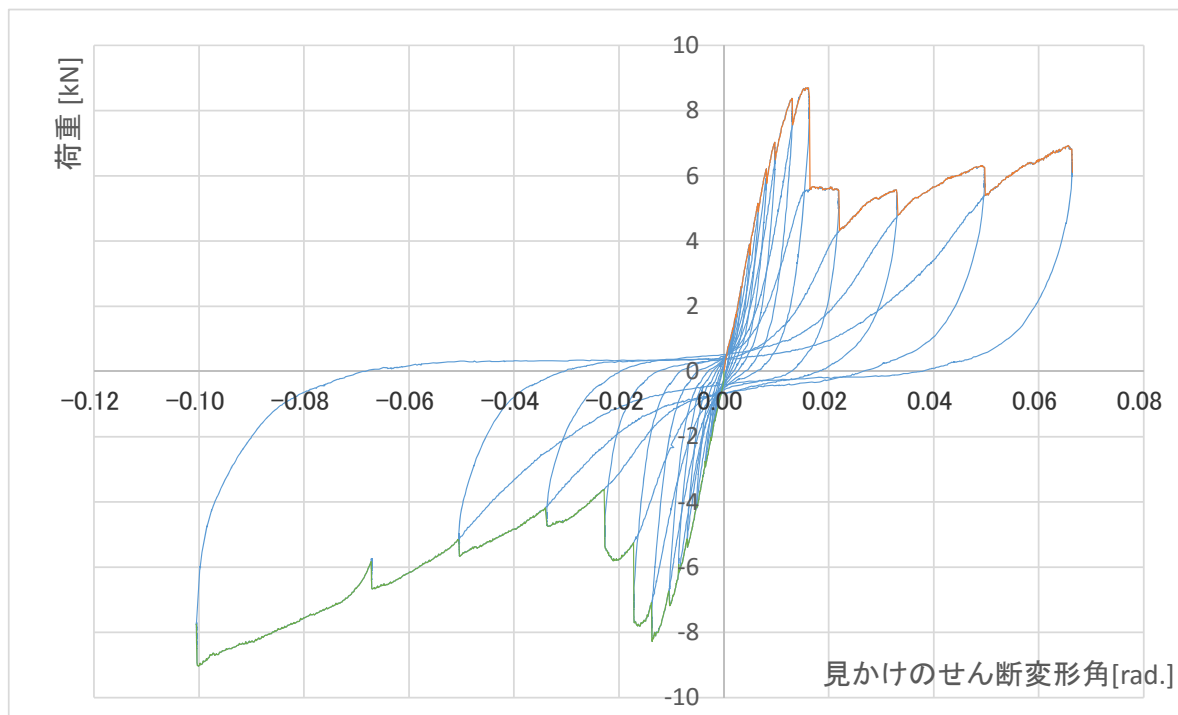


図 4-34 木摺漆喰試験体包絡線

木摺漆喰試験体 包絡線 正負比較 見かけのせん断変形角

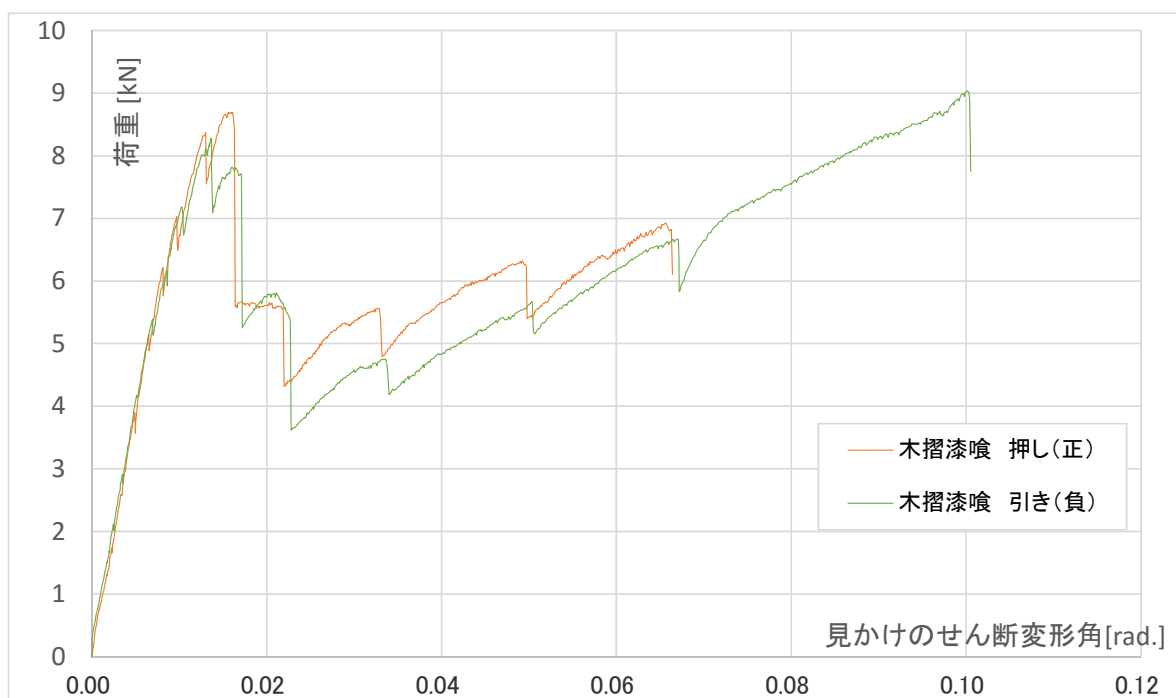


図 4-35 木摺漆喰試験体包絡線



木摺漆喰試験体 包絡線 真のせん断変形角

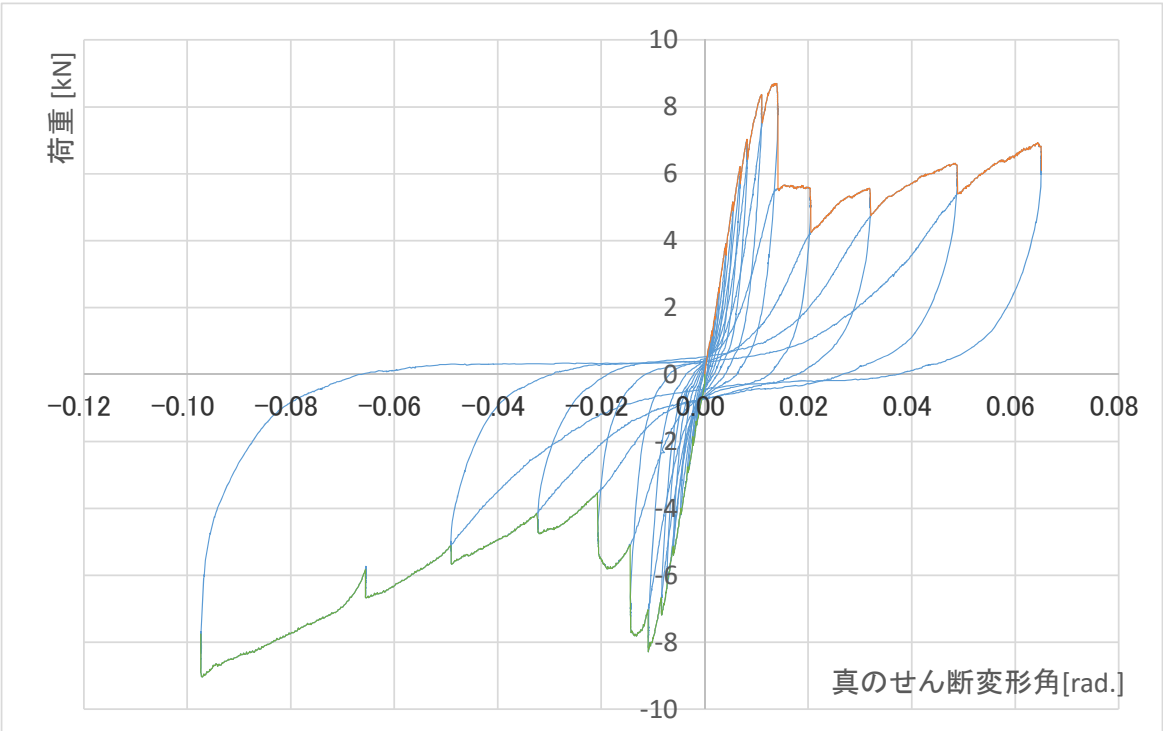


図 4-36 木摺漆喰試験体包絡線

木摺漆喰試験体 包絡線 正負比較 真のせん断変形角

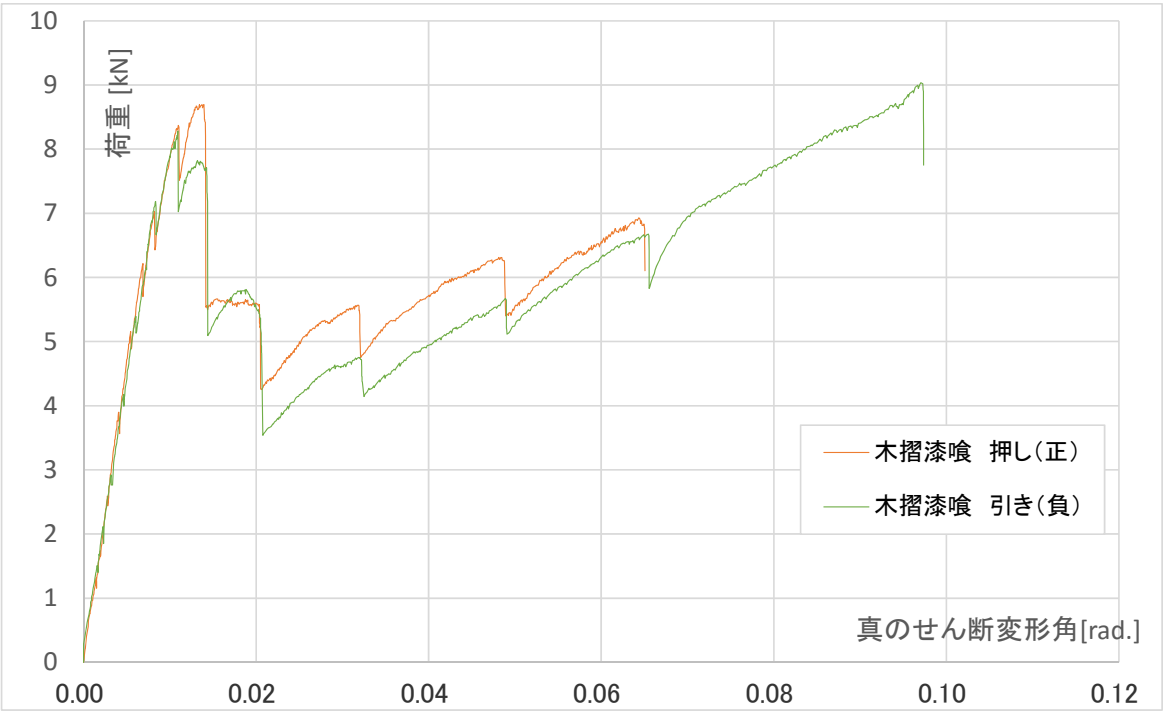


図 4-37 木摺漆喰試験体包絡線

土壁試験体 包絡線 見かけのせん断変形角

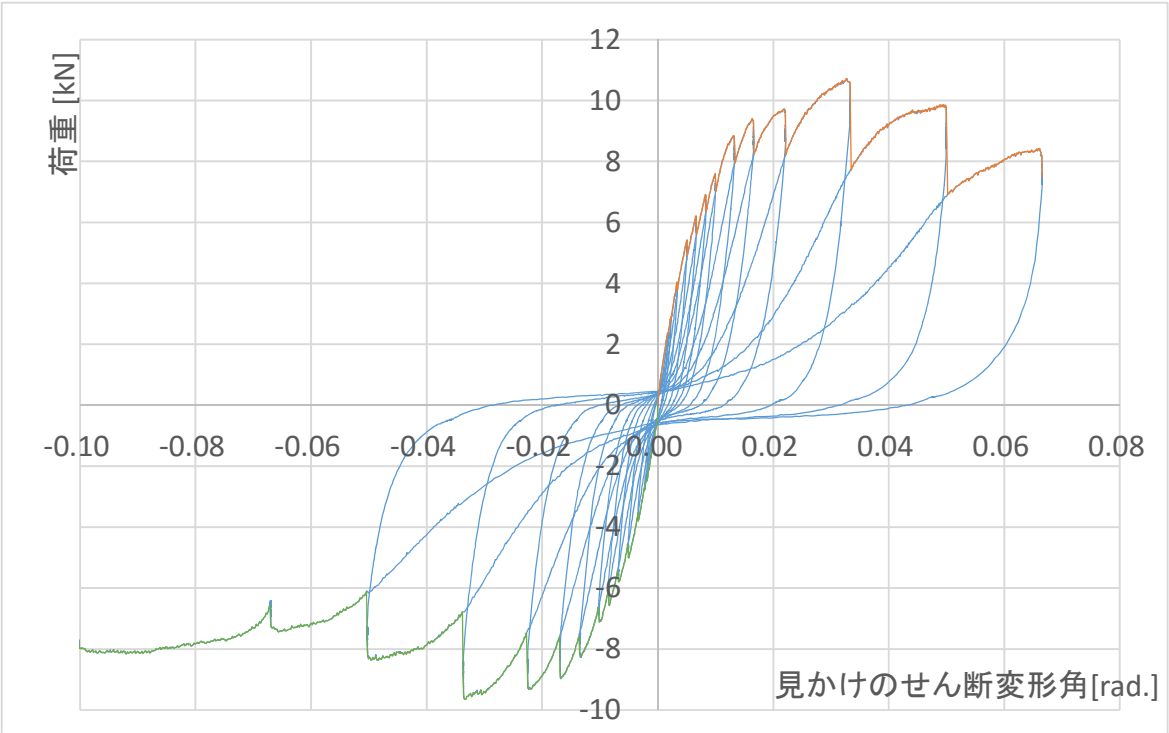


図 4-38 土壁試験体包絡線

土壁試験体 包絡線 正負比較 見かけのせん断変形角

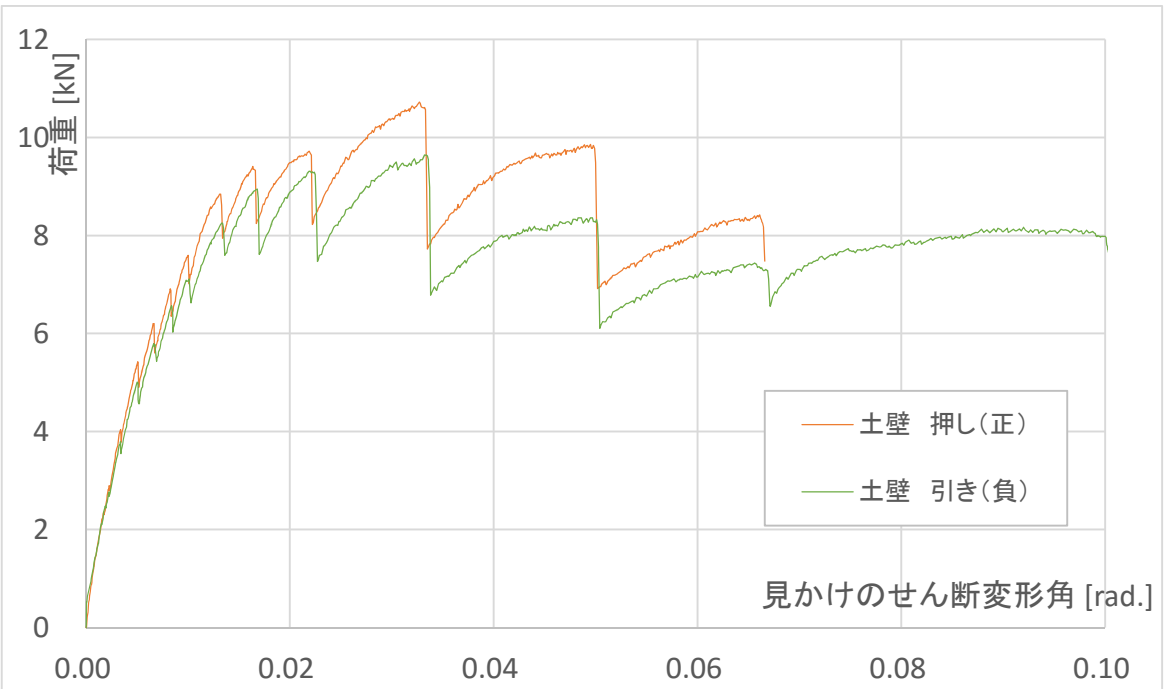


図 4-39 土壁試験体包絡線

土壁試験体 包絡線 真のせん断変形角

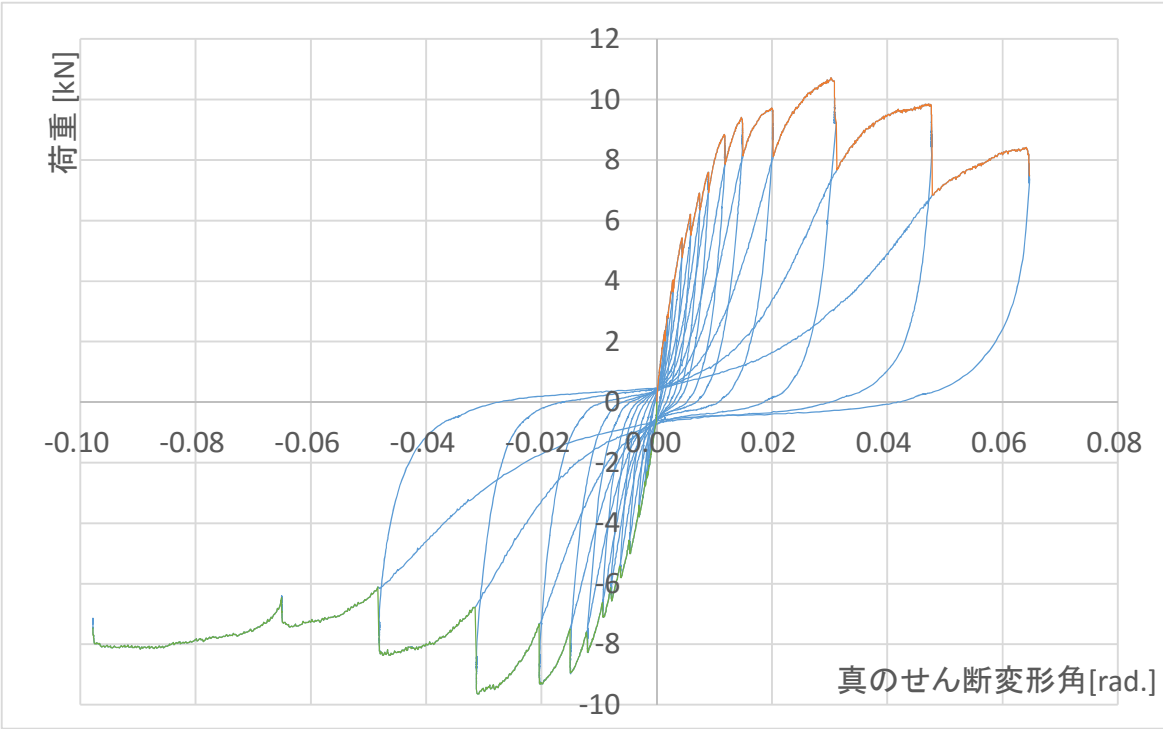


図 4-40 土壁試験体包絡線

土壁試験体 包絡線 正負比較 真のせん断変形角

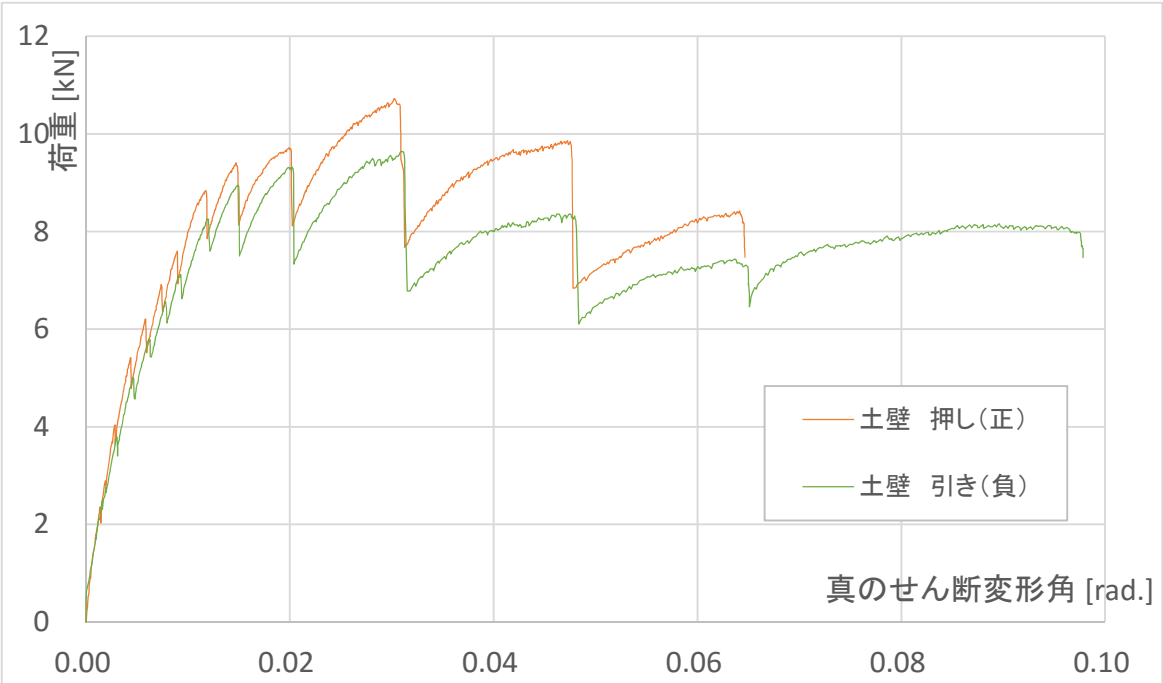


図 4-41 土壁試験体包絡線

### 4.3.3.3. 各試験体の実験結果 特性値、破壊の進行、完全弾塑性モデル

各試験体の結果を以下に示す。また 4.2.2.5 に記載した方法により完全弾塑性モデルを作成した。ただし、終局変形角の判定（通常  $0.8P_{\max}$  時）は個別に検討を行った。

#### 4.1.1.1.1. 軸組試験体

・各特性値を下記に示す。

表 4-5 軸組試験体 実験結果特性値

| 試験体種類                   |         | 試験結果                   |                           |                      |                        |                      |                        |                        |              |                          |      |                |      |
|-------------------------|---------|------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|------|----------------|------|
|                         |         | 最大耐力                   | 最大耐力時変形角                  | 降伏耐力                 | 降伏変形角                  | 終局耐力                 | 完全弾塑性降伏点変形角            | 終局変形角                  | 弾性剛性         | 1/120rad.時耐力             | 塑性率  | 構造特性係数         |      |
|                         |         | P <sub>max</sub><br>kN | δ <sub>Pmax</sub><br>rad. | P <sub>y</sub><br>kN | δ <sub>y</sub><br>rad. | P <sub>u</sub><br>kN | δ <sub>v</sub><br>rad. | δ <sub>u</sub><br>rad. | K<br>kN/rad. | P <sub>1/120</sub><br>kN | μ    | D <sub>s</sub> |      |
| 軸組<br>※終局変形<br>1/15rad. | 見かけの変形角 | 正                      | 4.61                      | 0.065                | 2.71                   | 0.024                | 4.13                   | 0.036                  | 0.067        | 114                      | 1.37 | 1.84           | 0.61 |
|                         |         | 負                      | 4.02                      | 0.066                | 2.37                   | 0.027                | 3.51                   | 0.040                  | 0.067        | 89                       | 0.98 | 1.69           | 0.65 |
|                         |         | 平均                     | 4.31                      | 0.065                | 2.54                   | 0.025                | 3.82                   | 0.038                  | 0.067        | 102                      | 1.18 | 1.76           | 0.63 |
|                         | 真の変形角   | 正                      | 4.61                      | 0.064                | 2.71                   | 0.023                | 4.10                   | 0.035                  | 0.066        | 116                      | 1.37 | 1.86           | 0.61 |
|                         |         | 負                      | 4.02                      | 0.066                | 2.37                   | 0.026                | 3.49                   | 0.039                  | 0.066        | 90                       | 0.98 | 1.71           | 0.64 |
|                         |         | 平均                     | 4.31                      | 0.065                | 2.54                   | 0.025                | 3.80                   | 0.037                  | 0.066        | 103                      | 1.18 | 1.78           | 0.63 |

水色のセル: 見かけの変形角で評価した場合より値が小さくなったもの

赤のセル: 同上 値が大きくなったもの

完全弾塑性モデルに置換した場合の指標値、壁倍率を下記に示す。なお、最終サイクルまで荷重が低下しなかったため、終局変位を 1/15rad.として、エネルギー等価となるように完全弾塑性モデルを作成した。

表 4-6 軸組試験体 完全弾塑性モデル 特性値、壁倍率

|                   |             |    | Py   | Pu*(0.2/Ds) | Pmax * 2/3 | P1/120 | ばらつき係数 1 |      |                 | ばらつき係数 0.75 |      |                 |
|-------------------|-------------|----|------|-------------|------------|--------|----------|------|-----------------|-------------|------|-----------------|
| 試験体               |             |    |      |             |            |        | P0       | 壁倍率  | 同左<br>(0.1以下切捨) | P0          | 壁倍率  | 同左<br>(0.1以下切捨) |
| 軸組<br>※終局1/15rad. | 見かけの<br>変形角 | 正  | 2.71 | 1.35        | 3.07       | 1.37   | 1.35     | 0.76 |                 | 0.7         | 1.01 | 0.57            |
|                   |             | 負  | 2.37 | 1.08        | 2.68       | 0.98   | 0.98     | 0.55 |                 | 0.5         | 0.74 | 0.41            |
|                   |             | 平均 | 2.54 | 1.22        | 2.87       | 1.18   | 1.18     | 0.66 |                 | 0.6         | 0.88 | 0.49            |
|                   | 真の変形角       | 正  | 2.71 | 1.35        | 3.07       | 1.37   | 1.35     | 0.76 |                 | 0.7         | 1.01 | 0.57            |
|                   |             | 負  | 2.37 | 1.09        | 2.68       | 0.98   | 0.98     | 0.55 |                 | 0.5         | 0.74 | 0.41            |
|                   |             | 平均 | 2.54 | 1.22        | 2.87       | 1.18   | 1.18     | 0.66 |                 | 0.6         | 0.88 | 0.49            |

水色のセル: 見かけの変形角で評価した場合より値が小さくなったもの

赤のセル: 同上 値が大きくなったもの

赤字のセル : 各試験体の4指標値のうち最小値

※ ばらつき係数は、試験体1体のため、1、および0.75(旧規定)の2通りを併記した。

※ 低減係数  $\alpha=1$  と仮定した。そのため、 $P_0 = P_s$  (短期許容せん断耐力)

※ 壁長は柱真々で0.91m

※ 壁倍率は、 $P_s / \text{壁長(m)} \times 1.96$  により算出した

※ 平均は、4指標の平均値の最小値に対して、正負と同様の手続きで壁倍率を算出した。

軸組試験体の荷重は終局段階まで増加し続け、剛性は徐々に低下したものの荷重は低下しなかった。せん断変形に対する抵抗は主に柱一貫接合部のめり込み抵抗、接合部のめり込み抵抗によるものと推定される。1/60rad.以降目視でも確認できる程度に、楔のめり込み、柱の貫へのめり込み、本試験体では最下部に釘打ち固定としている根太掛の柱へのめり込みが見られた。なお、1/20rad.付近に達すると、最上部の貫材の曲げ変形に伴うと推定される亀裂や、根太掛の胴付部（欠き込んで柱に接する部位）での応力集中による破壊が観察された。

最大荷重は正方向で 4.6kN、負方向で 4.0kN 平均で 4.3kN を記録した（正負共に記録のある 1/15rad.時）。エネルギー等価な完全弾塑性モデル（変形限界を 1/15rad.とした）に置換した際には正負平均弾性剛性約 102kN/rad., 降伏荷重は約 3.8kN となった。また、壁倍率は、ばらつき係数を 1 とした際 0.6、ばらつき係数を 0.75 と仮定した際は 0.4 となった。

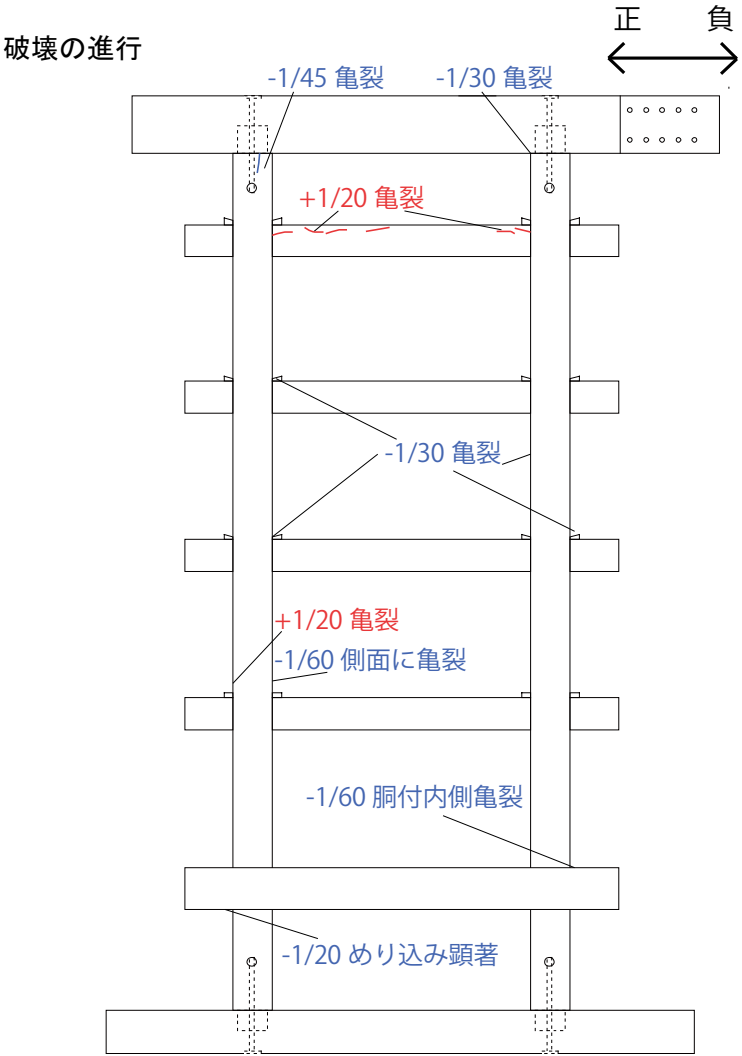


図 4-43 破壊の進行（軸組試験体 裏側）

変位の増加に伴い、荷重も継続的に増加し、最終加力サイクル（押し：1/15rad., 引き：1/10rad.）に至っても荷重の低下や破壊は見られなかった。ただし 1/60rad.程度以降は、楔の貫へのめり込み・亀裂、根太掛の柱へのめり込み等が顕著に見られた。

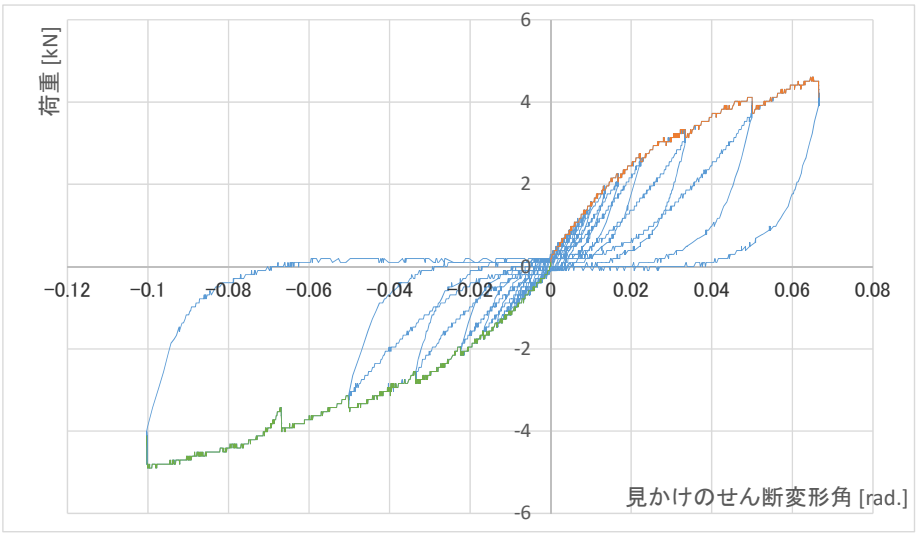


図 4-42 荷重変形関係 軸組試験体（見かけの変形角）

表 4-7 軸組試験体 破壊の進行

| 変形角(rad) |   | 観察記録                           |
|----------|---|--------------------------------|
| 1/600    | 正 |                                |
|          | 負 |                                |
| 1/450    | 正 |                                |
|          | 負 |                                |
| 1/300    | 正 | 根太掛から軋み音.                      |
|          | 負 | 除荷時に残留応力が残り始める. スリップ性状はまだ見られない |
| 1/200    | 正 |                                |
|          | 負 | 接合部軋み音                         |
| 1/150    | 正 |                                |
|          | 負 |                                |
| 1/120    | 正 | 根太掛けから軋み.                      |
|          | 負 | 接合部軋み音継続                       |
| 1/100    | 正 | 根太掛外側めり込みの進展, 楔のめり込みが進む        |
|          | 負 |                                |
| 1/75     | 正 |                                |
|          | 負 |                                |
| 1/60     | 正 | 左柱脚部めきめき音, めり込み. めり込み音以降継続     |
|          | 負 |                                |
| 1/45     | 正 |                                |
|          | 負 |                                |
| 1/30     | 正 |                                |
|          | 負 |                                |
| 1/20     | 正 | 根太掛のめり込み音顕著に.                  |
|          | 負 | 根太掛け左めり込み音顕著.                  |
| 1/15     | 正 |                                |
|          | 負 |                                |
| 1/10     | 正 |                                |
|          | 負 | 荷重低下せず. ジャッキを引き切ったため加力終了とする.   |



軸組試験体 0 - +1/60 rad



図 4-44 軸組試験体 0 - +1/60rad.

# 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

軸組試験体 +1/30 - -1/10 rad.

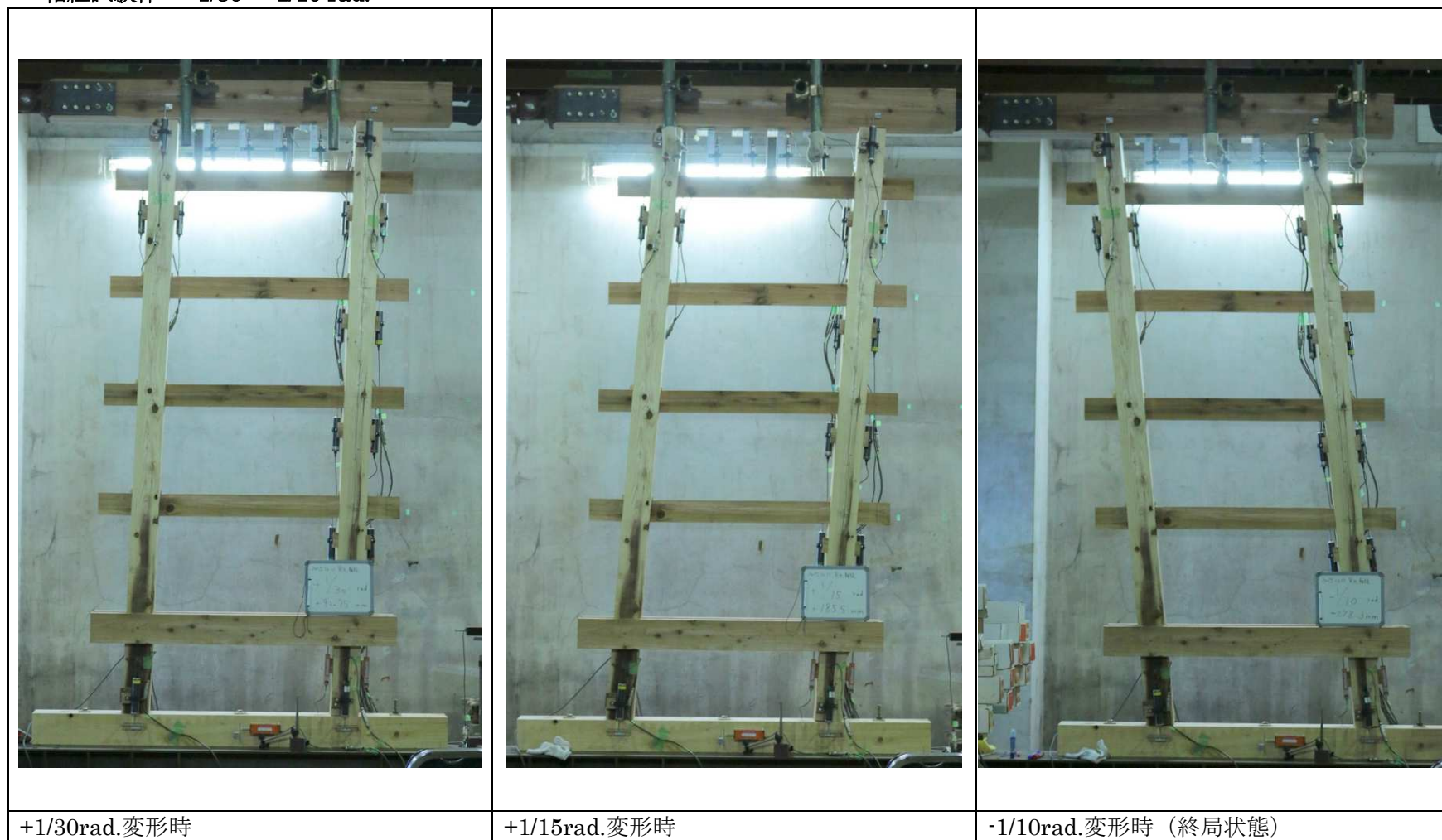


図 4-45 軸組試験体 +1/30 -1/10 rad.

軸組壁 完全弾塑性モデル

軸組実大 押し側 終局変位：1/15rad.（見かけのせん断変形角）

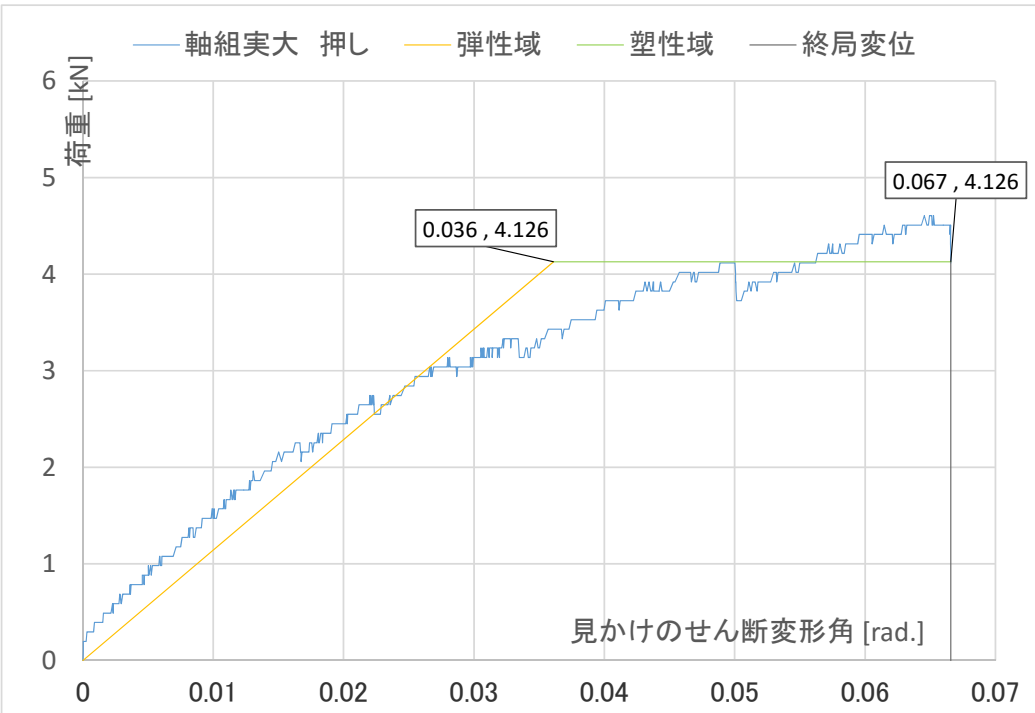


図 4-46 軸組実大 押し側 終局変位：1/15rad.（見かけのせん断変形角）  
軸組実大 引き（正負を反転して表示） 終局変位：1/15rad.（見かけのせん断変形角）

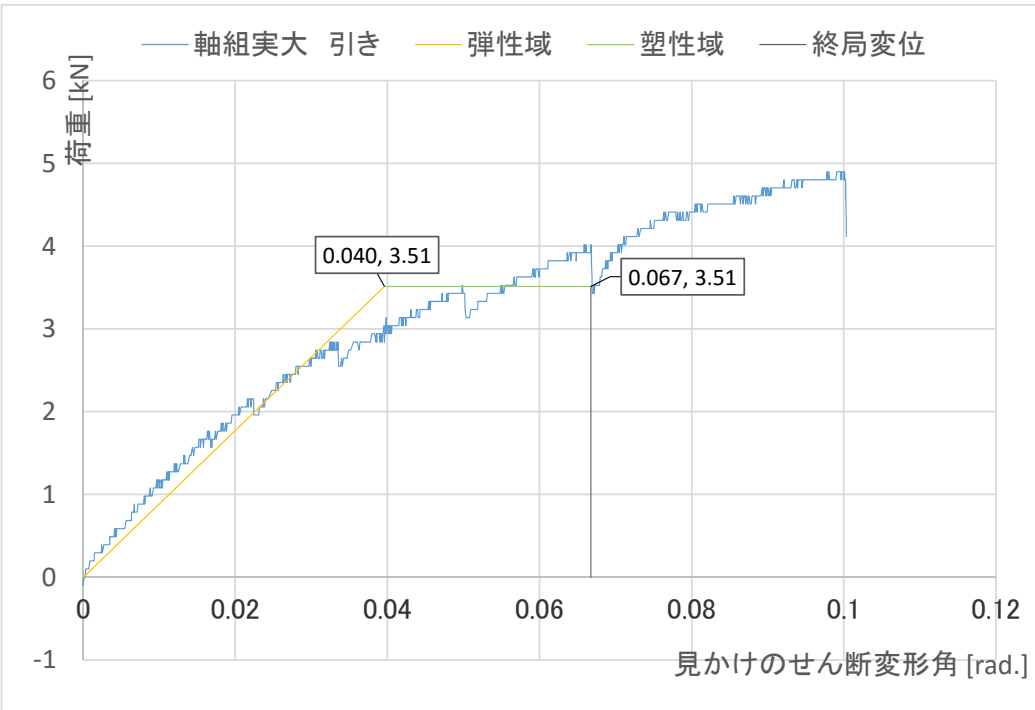


図 4-47 軸組実大 引き側（正負反転して表示） 終局変位：1/15rad.（見かけのせん断変形角）

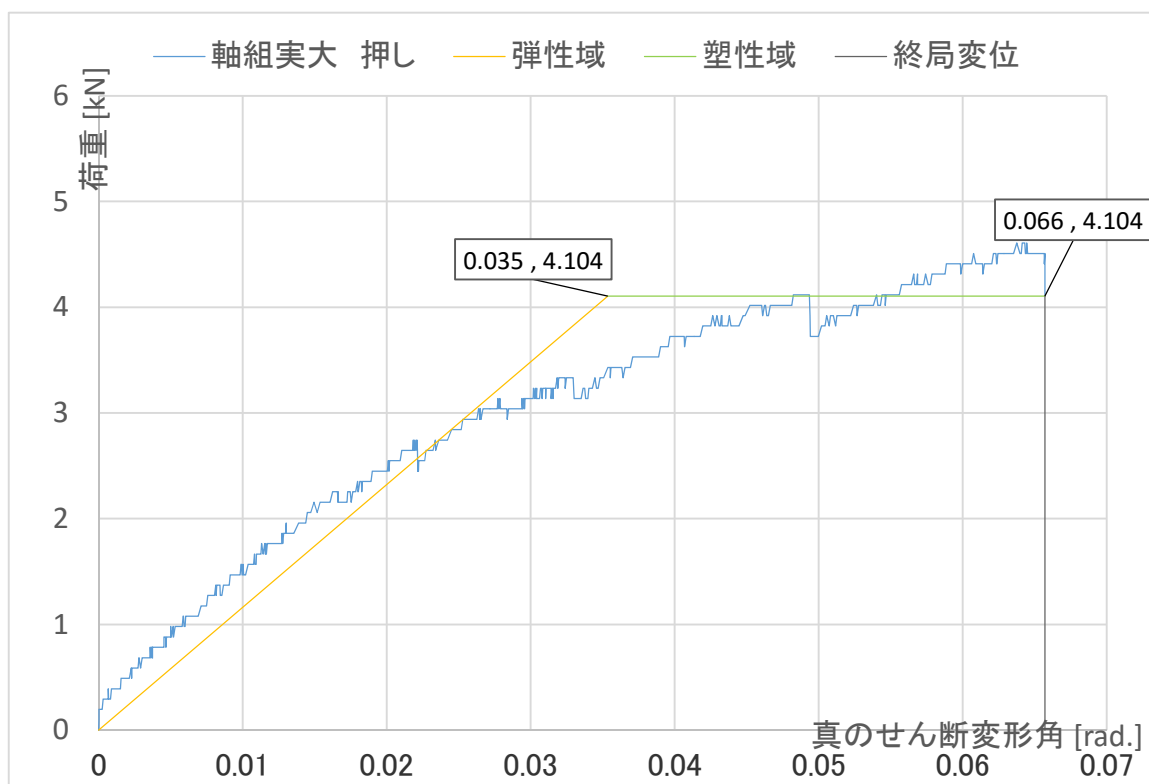


図 4-48 軸組実大 押し側 終局変位：1/15rad. (真のせん断変形角)

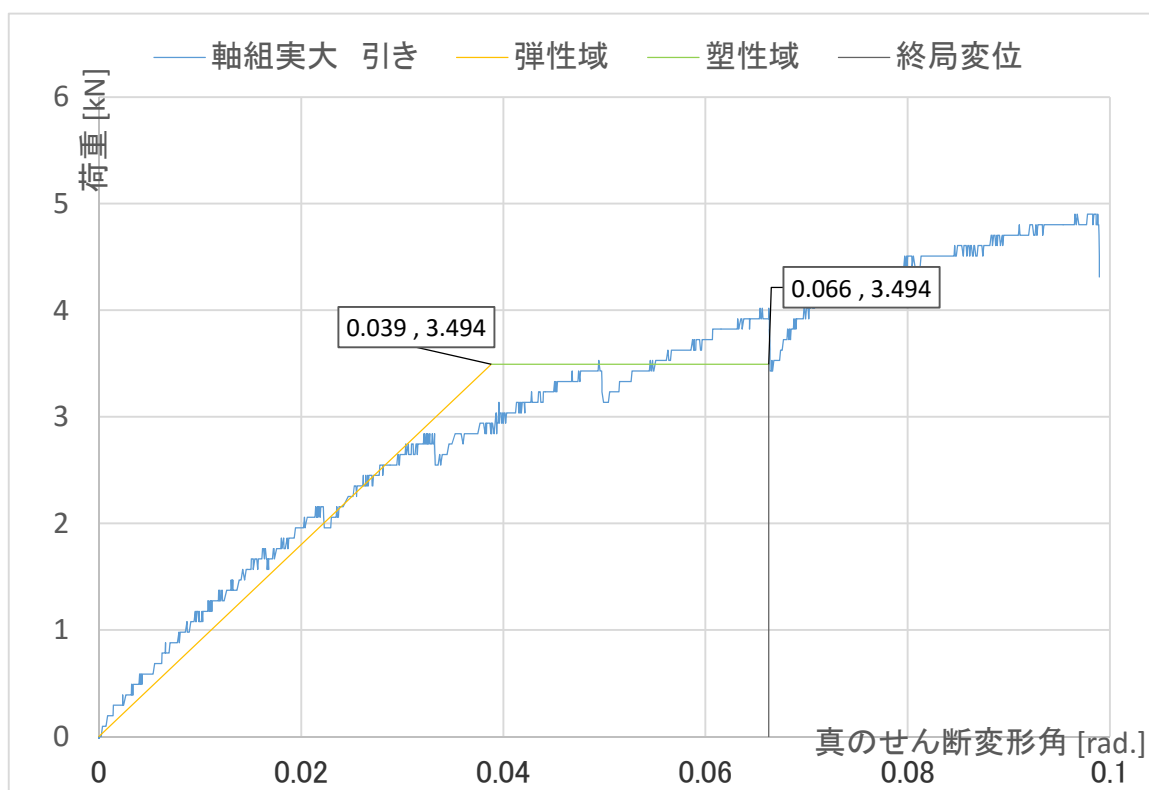


図 4-49 軸組実大 引き (正負を反転して表示) 終局変位：1/15rad. (真のせん断変形角)

木摺漆喰試験体

実験結果

表 4-8 木摺漆喰試験体実験結果 各特性値

| 試験体種類                     |             | 特性値<br>unit | 最大耐力                   |                         | 降伏耐力                 |                    | 終局耐力                 |                    | 完全弾塑性降伏点変形角        |                    | 終局変形角 |      | 弾性剛性<br>K<br>kN/rad. | 1/120rad.<br>時耐力<br>P <sub>1/120</sub><br>kN | 塑性率<br>$\mu$ | 構造特性係数<br>Ds |
|---------------------------|-------------|-------------|------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|------|----------------------|--|--------------|--------------|
|                           |             |             | P <sub>max</sub><br>kN | $\delta_{Pmax}$<br>rad. | P <sub>y</sub><br>kN | $\delta_y$<br>rad. | P <sub>u</sub><br>kN | $\delta_u$<br>rad. | $\delta_v$<br>rad. | $\delta_u$<br>rad. |       |      |                      |  |              |              |
|                           |             |             |                        |                         |                      |                    |                      |                    |                    |                    |       |      |                      |  |              |              |
| 木摺漆喰<br>※終局変形<br>1/30rad. | 見かけの<br>変形角 | 正           | 8.69                   | 0.016                   | 5.69                 | 0.007              | 6.10                 | 0.008              | 0.033              | 0.033              | 768   | 6.49 | 4.15                 | 0.37   |              |              |
|                           |             | 負           | 8.28                   | 0.014                   | 5.27                 | 0.007              | 5.72                 | 0.007              | 0.034              | 0.034              | 784   | 6.07 | 4.60                 | 0.35   |              |              |
|                           |             | 平均          | 8.49                   | 0.015                   | 5.48                 | 0.007              | 5.91                 | 0.008              | 0.033              | 0.033              | 776   | 6.28 | 4.38                 | 0.36   |              |              |
|                           | 真の変形<br>角   | 正           | 8.69                   | 0.013                   | 5.42                 | 0.006              | 5.97                 | 0.007              | 0.032              | 0.032              | 902   | 6.50 | 4.83                 | 0.34   |              |              |
|                           |             | 負           | 8.28                   | 0.011                   | 7.31                 | 0.009              | 5.64                 | 0.007              | 0.032              | 0.032              | 802   | 7.16 | 4.52                 | 0.35   |              |              |
|                           |             | 平均          | 8.49                   | 0.012                   | 6.36                 | 0.008              | 5.81                 | 0.007              | 0.032              | 0.032              | 852   | 6.83 | 4.68                 | 0.35   |              |              |

水色のセル:見かけの変形角で評価した場合より値が小さくなったもの

赤のセル:同上 値が大きくなったもの

完全弾塑性モデルに置換した場合の指標値、壁倍率を下記に示す。本試験体は、最大耐力記録後、荷重が6割程度まで一旦低下するが、その後の荷重増加を考慮するため、終局変形角を1/30rad.としてモデルを作成した。ただし、最大耐力記録直後の除荷部分で0.8P<sub>max</sub>となる点を終局変形角とした場合も作成し併載した。

表 4-9 木摺漆喰試験体結果 最大耐力直後で 0.8P<sub>max</sub> を評価した場合 各特性値

| 試験体                 |             |    | Py   | Pu*(0.2/Ds) | Pmax * 2/3 | P1/120 | ばらつき係数 1 |      |                 | ばらつき係数 0.75 |      |                 |
|---------------------|-------------|----|------|-------------|------------|--------|----------|------|-----------------|-------------|------|-----------------|
|                     |             |    |      |             |            |        | P0       | 壁倍率  | 同左<br>(0.1以下切捨) | P0          | 壁倍率  | 同左<br>(0.1以下切捨) |
|                     |             |    |      |             |            |        |          |      |                 |             |      |                 |
| 木摺漆喰<br>※終局1/30rad. | 見かけの<br>変形角 | 正  | 5.69 | 3.30        | 5.80       | 6.49   | 3.30     | 1.85 | 1.8             | 2.48        | 1.39 | 1.3             |
|                     |             | 負  | 5.27 | 3.28        | 5.52       | 6.07   | 3.28     | 1.84 | 1.8             | 2.46        | 1.38 | 1.3             |
|                     |             | 平均 | 5.48 | 3.29        | 5.66       | 6.28   | 3.29     | 1.84 | 1.8             | 2.47        | 1.38 | 1.3             |
|                     | 真の変形<br>角   | 正  | 5.42 | 3.51        | 5.80       | 6.50   | 3.51     | 1.97 | 1.9             | 2.63        | 1.48 | 1.4             |
|                     |             | 負  | 7.31 | 3.20        | 5.52       | 7.16   | 3.20     | 1.80 | 1.7             | 2.40        | 1.35 | 1.3             |
|                     |             | 平均 | 6.36 | 3.36        | 5.66       | 6.83   | 3.36     | 1.88 | 1.8             | 2.52        | 1.41 | 1.4             |

水色のセル:見かけの変形角で評価した場合より値が小さくなったもの

赤のセル:同上 値が大きくなったもの

赤字のセル :各試験体の4指標値のうち最小値

※ ばらつき係数は、試験体1体のため、1、および0.75(旧規定)の2通りを併記した。

※ 低減係数 $\alpha=1$ と仮定した。そのため、P<sub>0</sub>=P<sub>s</sub>(短期許容せん断耐力)

※ 壁長は柱真々で0.91m

※ 壁倍率は、P<sub>s</sub>/壁長(m)\*1.96 により算出した

※ 平均は、4指標の平均値の最小値に対して、正負と同様の手続きで壁倍率を算出した。

・破壊過程

本試験体は、押し側 1/60rad., 引き側 1/75rad.で最大荷重を記録後、次サイクルでピーク値は6割程度まで低下した。ただし、その後は加力終了時まで荷重が増加し続けた。1/60rad.の最大耐力記録サイクル付近で、漆喰層と木摺の接合部分(空きへの食い込み)がせん断破壊し、その後は木摺および軸組・貫による抵抗機構へ移行したと推定される。漆喰面の破壊に関しては、大変形領域では付鴨居の上部と下部が分割されていると推定され、付鴨居の下部は幅木を押し下げ、ずり下がるように剥離していったことが伺える。また、漆喰面への亀裂は付鴨居上部で少数せん断亀裂が発生した程度であり、付鴨居の下部では隅部の潰れに留まっていた。

幅木の垂下が 1/60rad.で目視でも確認され、それ以降は鴨居の下の壁は対角の圧縮による効果を大きく受けなかったと推定される。一方、付鴨居も 1/60rad.付近では上下の移動が確認されたが、鴨居の上の壁は上方を桁で固定されており下部は鴨居、壁で抑えられているためか、対角方向の圧縮によるつぶれ、せん断変形による亀裂が比較的明確に確認された。この点を考えると、本試験体では、初期には対角方向の圧縮が発揮されていたと考えられるが、少なくとも 1/60rad.以降は、幅木の垂下が著しいため、対角方向の圧縮は減少していたと推定される。試験体から発する漆喰の切れる音からは、最大耐力経過付近で漆喰の接合部分はある程度破壊したと考えられるが、触って確認を行ったのは 1/45rad.以降であるため、最初の破壊時点に関しては明確には把握できなかった。



#### 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

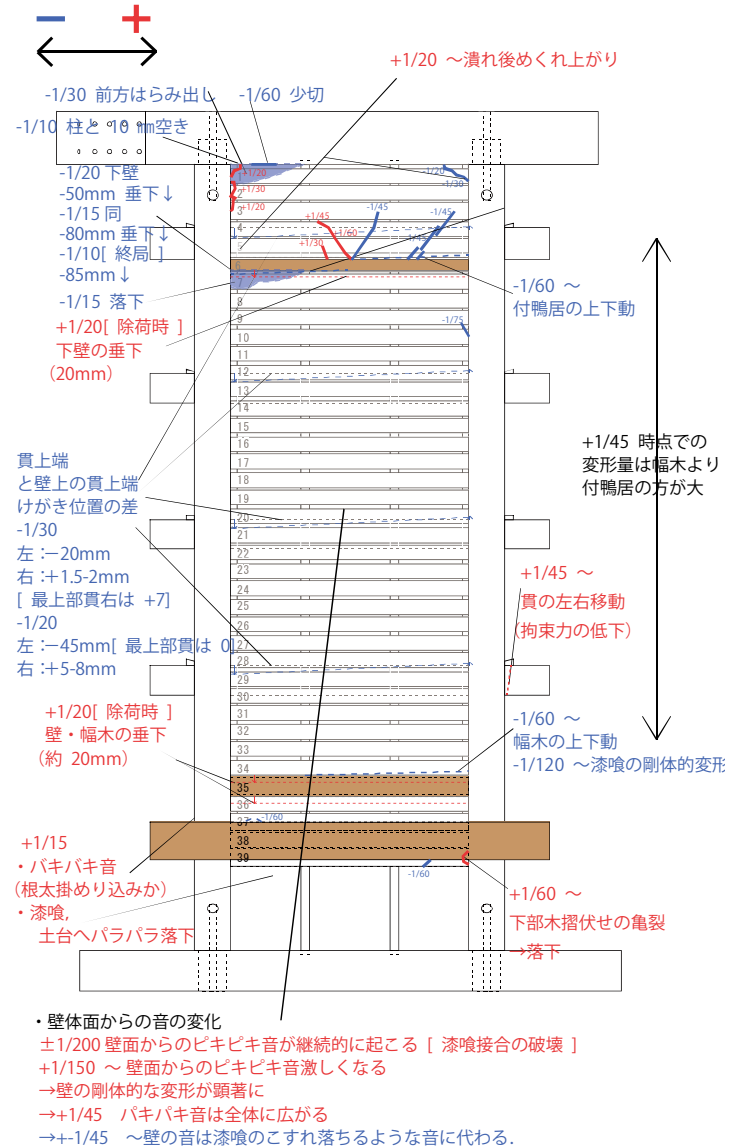


図 4-51 木摺漆喰壁 破壊の進行 表側

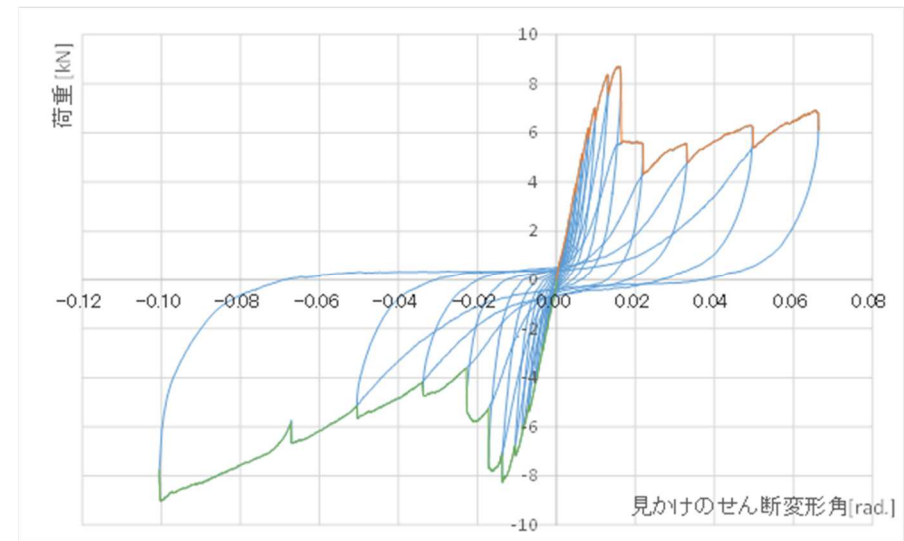


図 4-50 木摺漆喰壁 荷重変形関係

- ・破壊の進行（変形角は試験実施時の見かけの変形角〔目標変形角〕）
  - ・1/300rad. : (+) 壁のミリミリ音発生.
  - ・1/200rad. : (+) 壁面からの音増加, 特に木摺 30-34 付近か.
  - ・1/150rad. : (+) 壁のミリミリ音はより広範囲からに広がる.
  - ・1/120rad. : (+) 幅木—鴨居間の壁は剛体のように回転している.
  - ・1/100rad. : (+) 幅木右上小つぶれ.
  - ・1/60rad. : (+) 最大荷重 (8.6kN/0.91m). 付鴨居より下の漆喰層が剛体として回転移動していると推定される. 付鴨居の上部に最初の亀裂確認.
  - ・1/45rad. : (+) 壁面からのミシミシ音が全体に広がる. 木摺 30-34 は切れている.

(一) 漆喰の切れる音ではなく, 粉が落ちる音に.

- ・1/30rad. : (+) ぼろぼろ崩れるような音. すでに漆喰はほとんど切れたか.

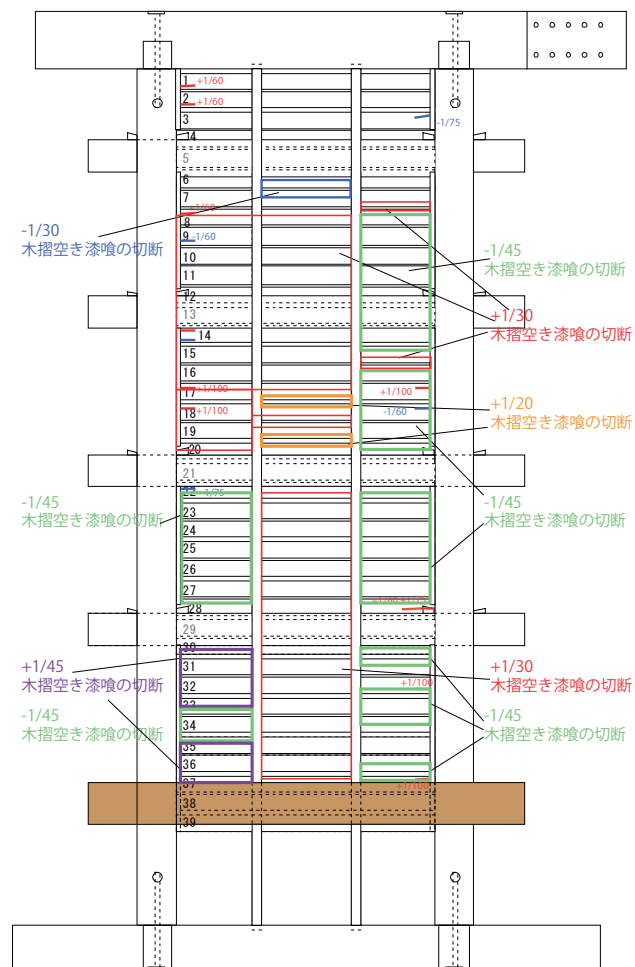
: (一) 付鴨居より上の面, 左上前方にはらみだし.

- ・以降は, 壁のずり落ちが増加して最終-1/10rad.での変形に至っても剥落はなかった.

○鴨居～幅木の漆喰層には亀裂は入らなかった (先に幅木が破壊). 鴨居～桁の壁には 1/60rad.以降一部せん断によるとみられる 45 度方向の亀裂と隅部のはらみだしがみられた.

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

※+1/45 以前は漆喰の切断は未確認



### ・木摺空きの漆喰の切断状況

- ・+1/45 附近で壁全体のバキバキという破壊音が大きく顕著となったため、裏側の漆喰はみ出し部分を触り、漆喰層と切断されているかを確認した。
- ・±1/45rad. 附近で、両側面から一気に切断が進み、その後中心部に移動していることが分かる。
- ・また、付鴨居上の壁（木摺 1 から 6）では、切断は触った限りでは不明瞭であった。

図 4-53 木摺漆喰壁 破壊の進行 裏側

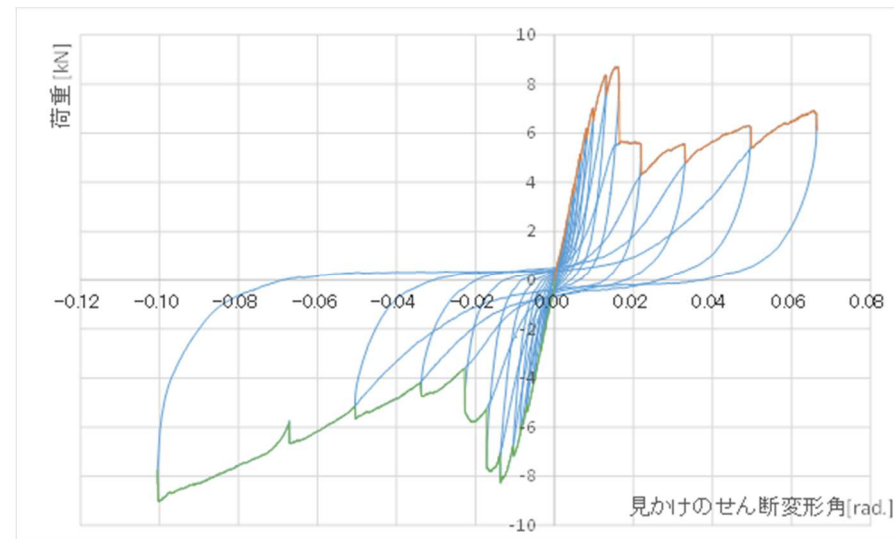


図 4-52 木摺漆喰壁 荷重変形関係

### ・破壊の進行（変形角は試験実施時の見かけの変形角〔目標変形角〕）

- ・1/300rad. : (+) 壁のミリミリ音発生。
- ・1/200rad. : (+) 壁面からの音増加、特に木摺 30 - 34 付近か。
- ・1/150rad. : (+) 壁のミリミリ音はより広範囲からに広がる。
- ・1/120rad. : (+) 幅木—鴨居間の壁は剛体のように回転している。
- ・1/100rad. : (+) 幅木右上小つぶれ。
- ・1/60rad. : (+) 最大荷重 (8.6kN/0.91m)。付鴨居より下の漆喰層が剛体として回転移動していると推定される。付鴨居の上部に最初の亀裂確認。
- ・1/45rad. : (+) 壁面からのミシミシ音が全体に広がる。木摺 30・34 は切れている。

(一) 漆喰の切れる音ではなく、粉が落ちる音に。

- ・1/30rad. : (+) ぽろぽろ崩れるような音。すでに漆喰はほとんど切れたか。
- ：(一) 付鴨居より上の面、左上前方にはらみだし。

・以降は、壁のずり落ちが増加して最終-1/10rad.での変形に至っても剥落はなかった。

○鴨居～幅木の漆喰層には亀裂は入らなかった（先に幅木が破壊）。鴨居～桁の壁には 1/60rad.以降一部せん断によるとみられる 45 度方向の亀裂と隅部のはらみだしがみられた。

#### 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

木摺漆喰試験体 0 - +1/60 rad.

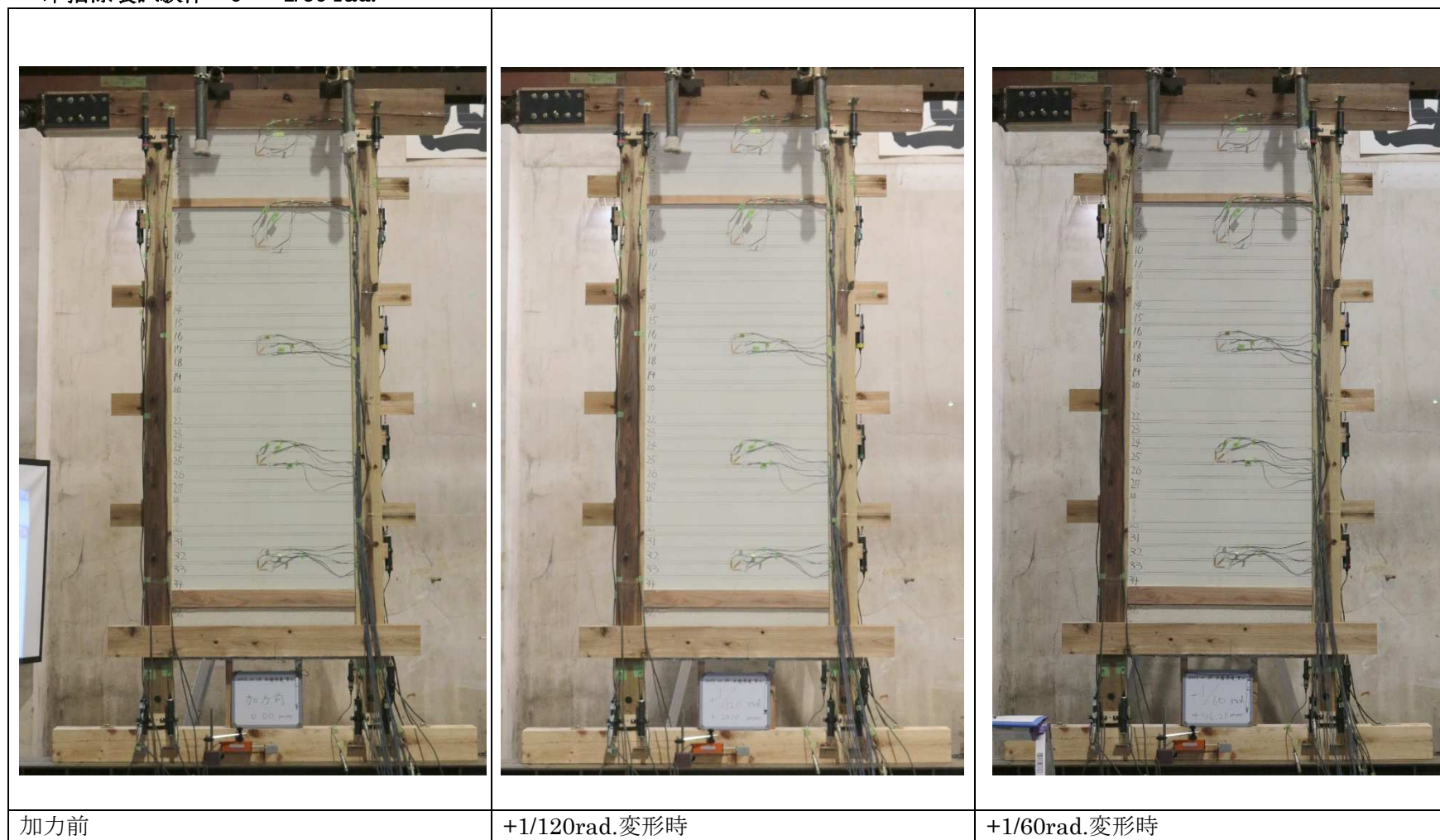


図 4-54 木摺漆喰試験体 0 - +1/60 rad.



木摺漆喰試験体 +1/30 - -1/10 rad.



図 4-55 木摺漆喰試験体 0 - +1/60 rad.

加力前の試験体

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 裏面の初期状態 貫 1-2 まで  | 裏面の初期状態 貫 2-4 まで   |
|   |   |
| 裏面の初期状態 貫 4～根太掛けまで  | 加力前試験体全景   |
|  |  |
| 木摺端部加力前 木摺受および貫に釘留  | 幅木、胴付斜め釘打ち、柄差し、36 以降は中付まで、チリトンボは上のみ施工。   |
|  |  |
| 付鴨居。左：胴付釘斜打，右：柄差し<br>チリトンボは、部材の上方のみ施工。  | 間柱 30*60 貫 10 mm 欠き込み  |

図 4-56 木摺漆喰試験体破壊の進行



## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 破壊の進行


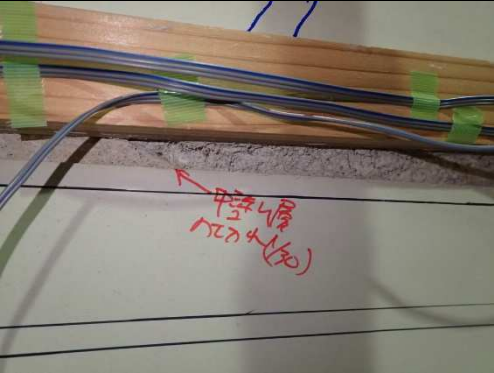

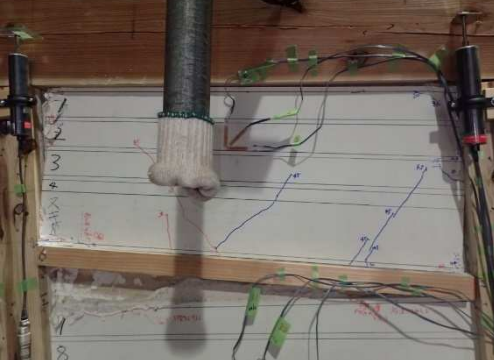
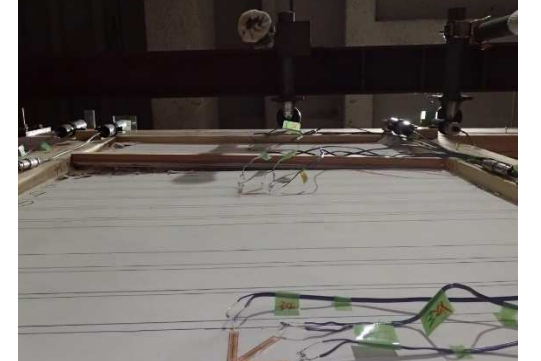
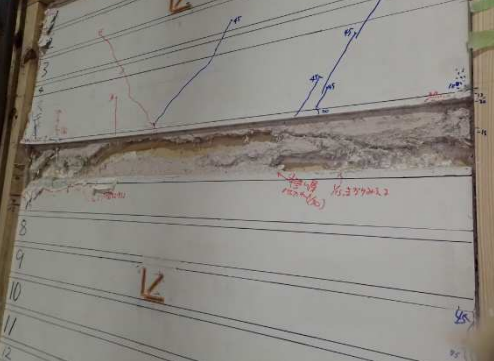


|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 1/75rad.木摺釘の割裂  | 1/30rad. 中塗りの切れ  |
|   |   |
| -1/10rad. 柱・間柱の変形状態   | -1/10rad. 鴨居一桁の壁の破壊性状  |
|  |  |
| -1/10rad. 鴨居 左端部破壊浮き上がり   | 鴨居撤去後 上下の壁の破壊  |
|  |  |
| -1/10rad. 幅木 チリトンボの引き抜け   | -1/10rad. 幅木右端部の垂下   |

図 4-57 木摺漆喰壁 破壊の進行

木摺壁の完全弾塑性モデル

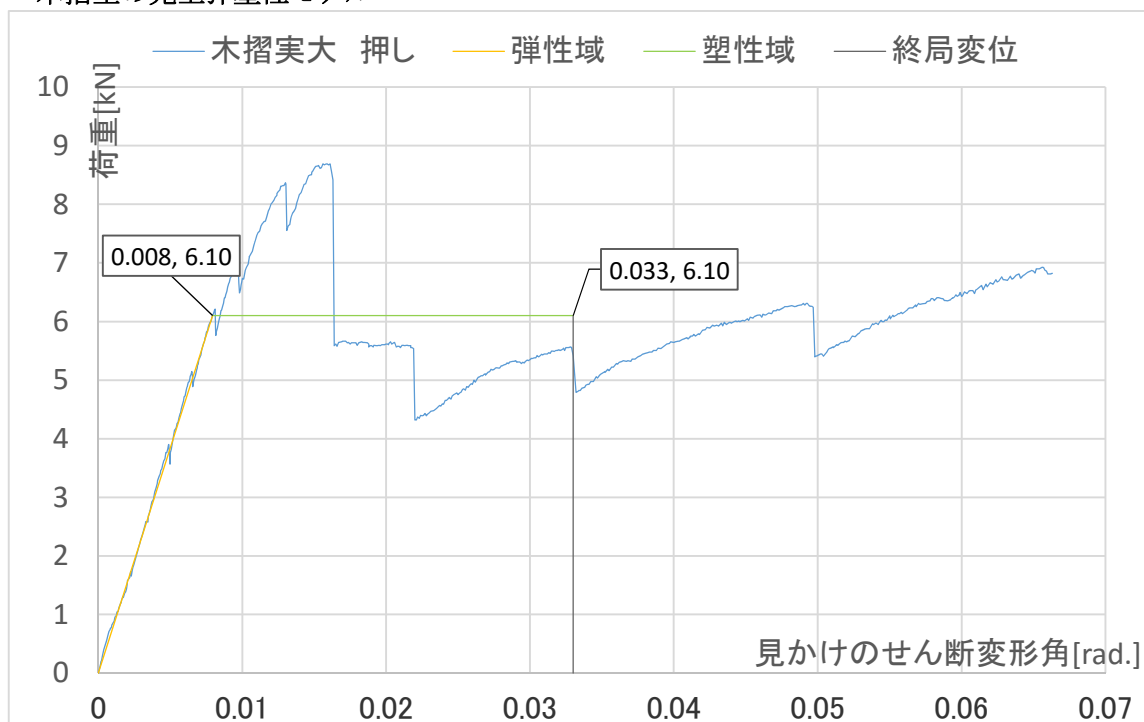


図 4-58 木摺実大 押し [1/30rad.を終局変位とした場合] (見かけのせん断変形角)

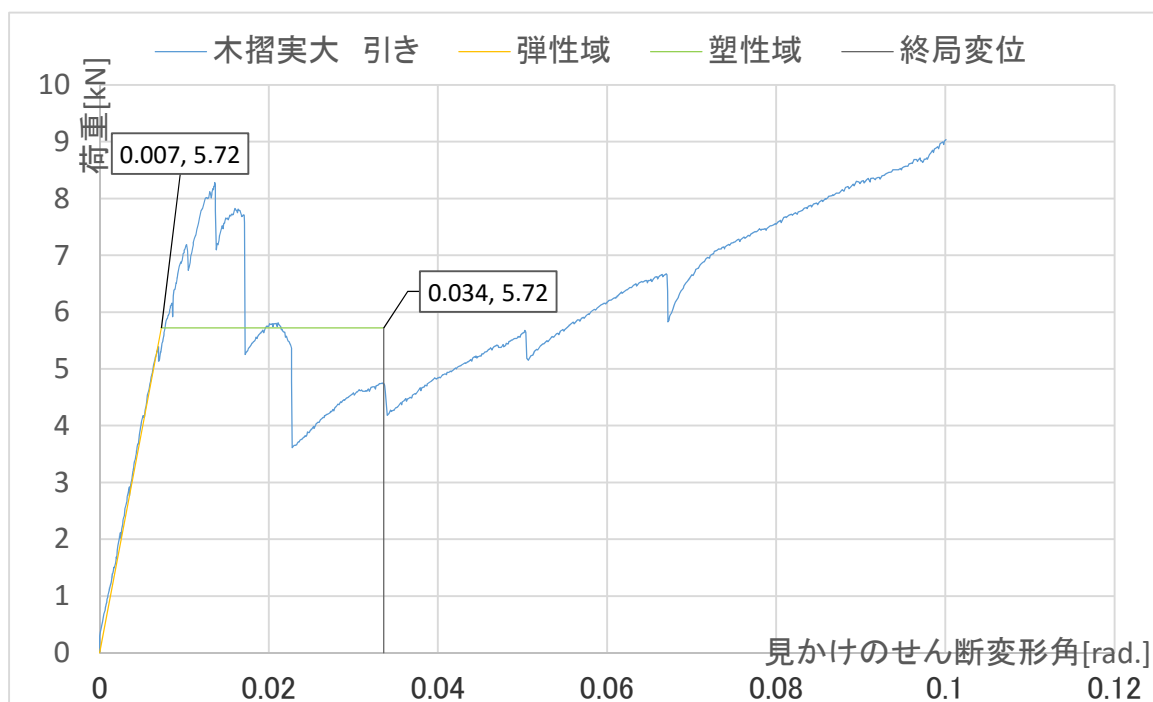


図 4-59 木摺実大 引き [1/30rad.を終局変位とした場合] (見かけのせん断変形角)

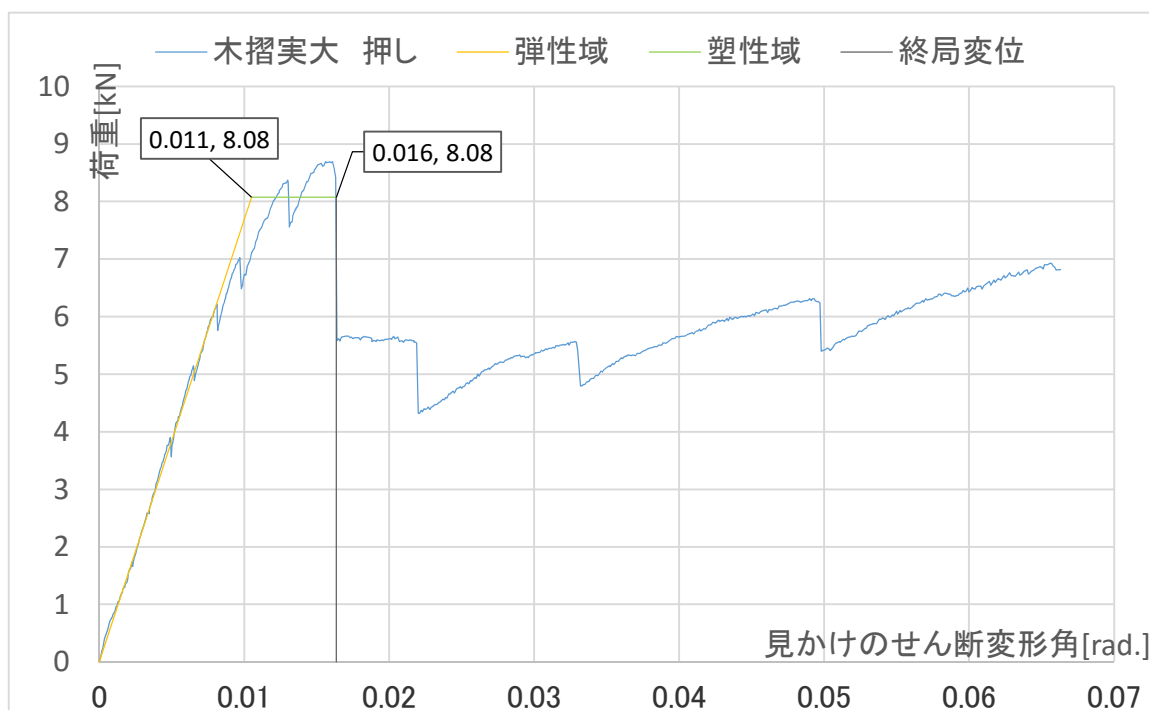


図 4-60 木摺実大 押し [最大耐力の 0.8 倍となる点を終局変位] (見かけのせん断変形角)

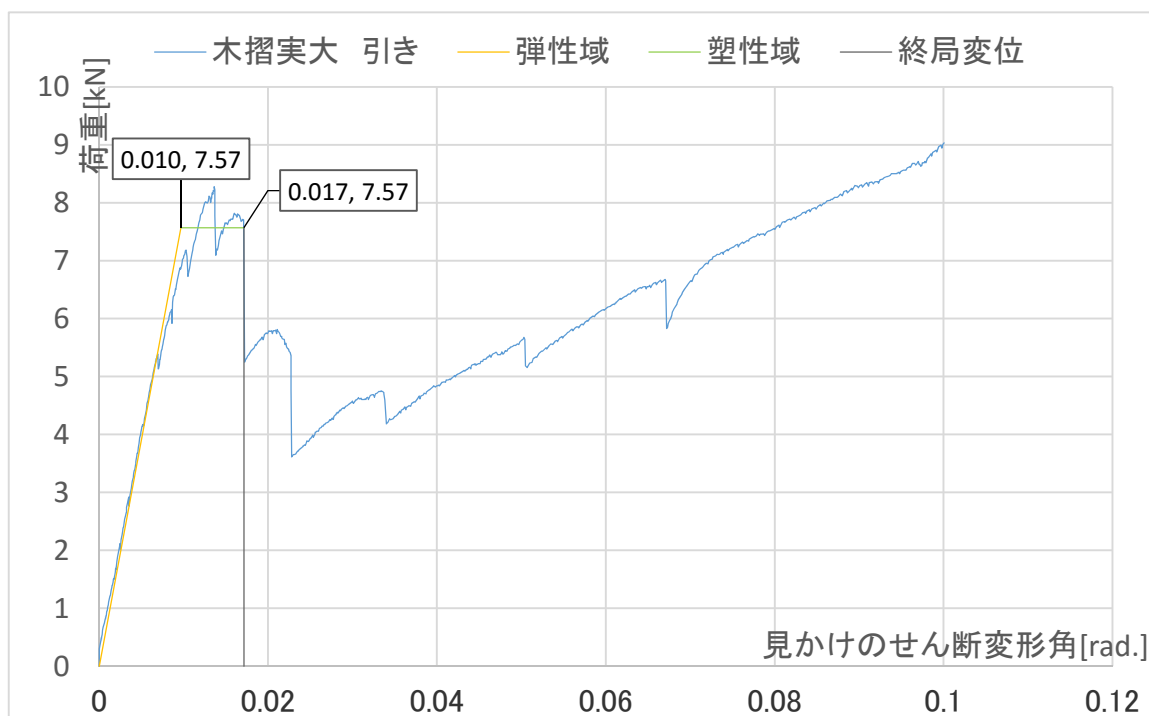


図 4-61 木摺実大 引き [最大耐力の 0.8 倍となる点を終局変位] (見かけのせん断変形角)

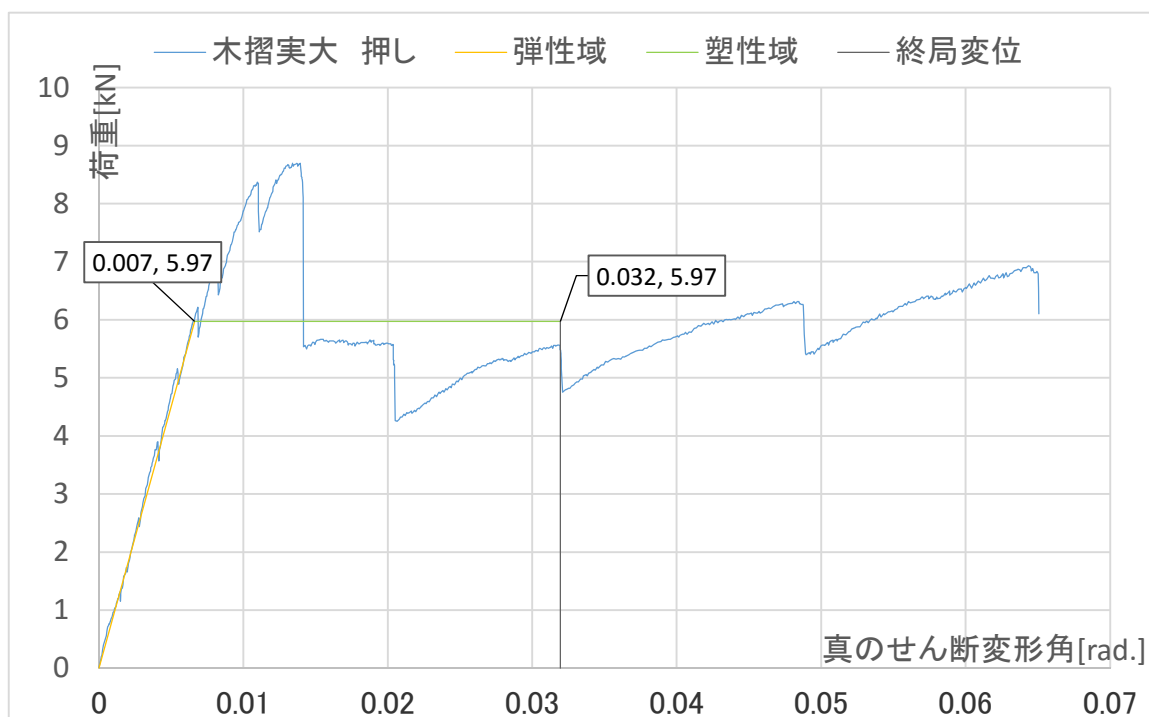


図 4-62 木摺実大 押し [1/30rad.を終局変位とした場合] (真のせん断変形角)

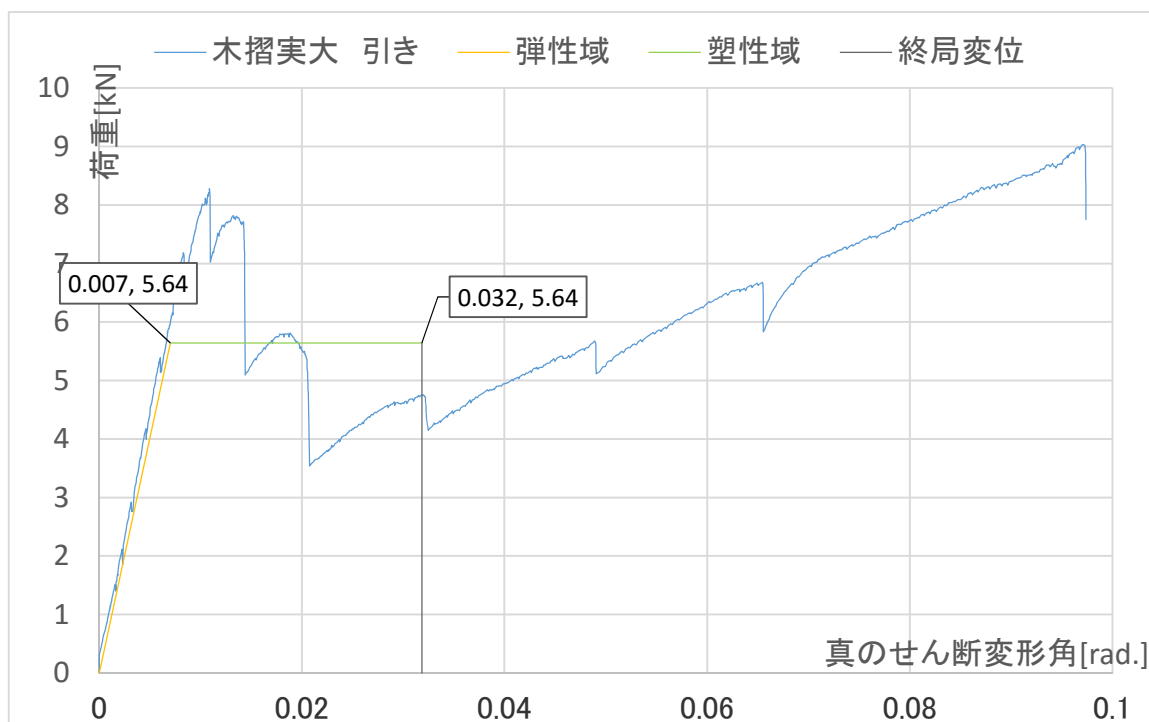


図 4-63 木摺実大 引き [1/30rad.を終局変位とした場合] (真のせん断変形角)

土壁試験体  
実験結果

表 4-10 土壁実大試験 特性値

| 試験体種類                                 |         | 特性値  | 最大耐力      |                 | 降伏耐力  |            | 終局耐力  |            | 完全弾塑性降伏点変形角 |            | 終局変形角   |             | 弾性剛性 | 1/120rad.時耐力 | 塑性率 | 構造特性係数 |
|---------------------------------------|---------|------|-----------|-----------------|-------|------------|-------|------------|-------------|------------|---------|-------------|------|--------------|-----|--------|
|                                       |         |      | $P_{max}$ | $\delta_{Pmax}$ | $P_y$ | $\delta_y$ | $P_u$ | $\delta_u$ | $\delta_v$  | $\delta_u$ | K       | $P_{1/120}$ |      |              |     |        |
|                                       |         | unit | kN        | rad.            | kN    | rad.       | kN    | rad.       | rad.        | rad.       | kN/rad. | kN          |      |              |     |        |
| 土壁<br>※終局変形<br>0.8P <sub>max</sub> 時点 | 見かけの変形角 | 正    | 10.72     | 0.033           | 6.78  | 0.008      | 9.42  | 0.011      | 0.050       | 0.050      | 836     | 6.87        | 4.44 | 0.36         |     |        |
|                                       |         | 負    | 9.64      | 0.033           | 5.34  | 0.006      | 8.29  | 0.009      | 0.050       | 0.050      | 887     | 6.54        | 5.38 | 0.32         |     |        |
|                                       |         | 平均   | 10.18     | 0.033           | 6.06  | 0.007      | 8.85  | 0.010      | 0.050       | 0.050      | 861     | 6.71        | 4.91 | 0.34         |     |        |
|                                       | 真の変形角   | 正    | 10.72     | 0.030           | 6.78  | 0.007      | 9.38  | 0.010      | 0.048       | 0.048      | 936     | 7.21        | 4.76 | 0.34         |     |        |
|                                       |         | 負    | 9.64      | 0.031           | 5.17  | 0.005      | 8.26  | 0.009      | 0.048       | 0.048      | 966     | 6.47        | 5.63 | 0.31         |     |        |
|                                       |         | 平均   | 10.18     | 0.031           | 5.97  | 0.006      | 8.82  | 0.009      | 0.048       | 0.048      | 951     | 6.84        | 5.20 | 0.33         |     |        |
|                                       |         |      |           |                 |       |            |       |            |             |            |         |             |      |              |     |        |
|                                       |         |      |           |                 |       |            |       |            |             |            |         |             |      |              |     |        |

水色のセル:見かけの変形角で評価した場合より値が小さくなったもの  
赤のセル:同上 値が大きくなったもの

完全弾塑性モデルに置換した場合の指標値、壁倍率を下記に示す。完全弾塑性モデル化にあたって、0.8P<sub>max</sub>（終局変形の指標値）を記録する変形角は、最大荷重記録後の除荷時ではなく、次サイクルとした。なお、押し側のピーク値は0.8P<sub>max</sub>以上であるため、除荷時で0.8P<sub>max</sub>となる点を終局点とし、安全側の評価とした

| 試験体                          |         |    | $P_y$ | $P_u*(0.2/D_s)$ | $P_{max} * 2/3$ | $P_{1/120}$ | ばらつき係数 1 |      |                 | ばらつき係数 0.75 |      |                 |
|------------------------------|---------|----|-------|-----------------|-----------------|-------------|----------|------|-----------------|-------------|------|-----------------|
|                              |         |    |       |                 |                 |             | P0       | 壁倍率  | 同左<br>(0.1以下切捨) | P0          | 壁倍率  | 同左<br>(0.1以下切捨) |
| 土壁<br>※終局0.8P <sub>max</sub> | 見かけの変形角 | 正  | 6.78  | 5.29            | 7.15            | 6.87        | 5.29     | 2.97 | 2.9             | 3.97        | 2.23 | 2.2             |
|                              |         | 負  | 5.34  | 5.18            | 6.43            | 6.54        | 5.18     | 2.90 | 2.9             | 3.88        | 2.18 | 2.1             |
|                              |         | 平均 | 6.06  | 5.24            | 6.79            | 6.71        | 5.24     | 2.94 | 2.9             | 3.93        | 2.20 | 2.2             |
|                              | 真の変形角   | 正  | 6.78  | 5.48            | 7.15            | 7.21        | 5.48     | 3.07 | 3               | 4.11        | 2.30 | 2.3             |
|                              |         | 負  | 5.17  | 5.29            | 6.43            | 6.47        | 5.17     | 2.90 | 2.8             | 3.88        | 2.17 | 2.1             |
|                              |         | 平均 | 5.97  | 5.39            | 6.79            | 6.84        | 5.39     | 3.02 | 3               | 4.04        | 2.26 | 2.2             |
|                              |         |    |       |                 |                 |             |          |      |                 |             |      |                 |
|                              |         |    |       |                 |                 |             |          |      |                 |             |      |                 |

水色のセル:見かけの変形角で評価した場合より値が小さくなったもの  
赤のセル:同上 値が大きくなったもの  
赤字のセル :各試験体の4指標値のうち最小値  
※ ばらつき係数は、試験体1体のため、1、および0.75(旧規定)の2通りを併記した。  
※ 低減係数  $\alpha=1$  と仮定した。そのため、 $P_0 = P_s$  (短期許容せん断耐力)  
※ 壁長は柱真々で0.91m  
※ 壁倍率は、 $P_s / \text{壁長(m)} * 1.96$  により算出した  
※ 平均は、4指標の平均値の最小値に対して、正負と同様の手続きで壁倍率を算出した。

・破壊過程

表面：-1/60rad.で、貫の間に最初のせん断亀裂が発生した。1/30rad.では、表は貫の間、裏は壁全面にわたる形でのせん断亀裂が発生しているという傾向の違いが見られた。+1/15rad.では、表面の亀裂は幅木の上、鴨居の下のそれぞれで横方向に繋がり、最終的には-1/10rad.の除荷時に、幅木ー鴨居間の中塗層が一体に面外へ押し出されて剥落した。剥落後の観察では、貫間の荒壁土のせん断亀裂も激しいものではなかった。

裏面：-1/60rad.から、壁の全面にわたるせん断亀裂が、各加力方向における壁面の圧縮方向を中心に発生し始めた。その後も亀裂の発生が続いたが、最終変形角に至っても剥落には至らなかった。ただし、柱面程度までの浮き上がりは確認された。表面と比較して、壁面全体にわたってせん断亀裂が発生していた。

表側と裏側で破壊形式が異なった点に関しては、本試験体は貫を柱真に通し、裏面側に小舞を搔いた試験体であったため裏面が試験体との一体度が高かった可能性が考えられる。また、その影響が見られたのも、本実験の仕様では下部に開口があり、幅木の下を支持するものがないため、土壁のせん断変形に伴う亀裂は比較的少なかったと推定される。



土壁試験体 表 0 - +1/60 rad.

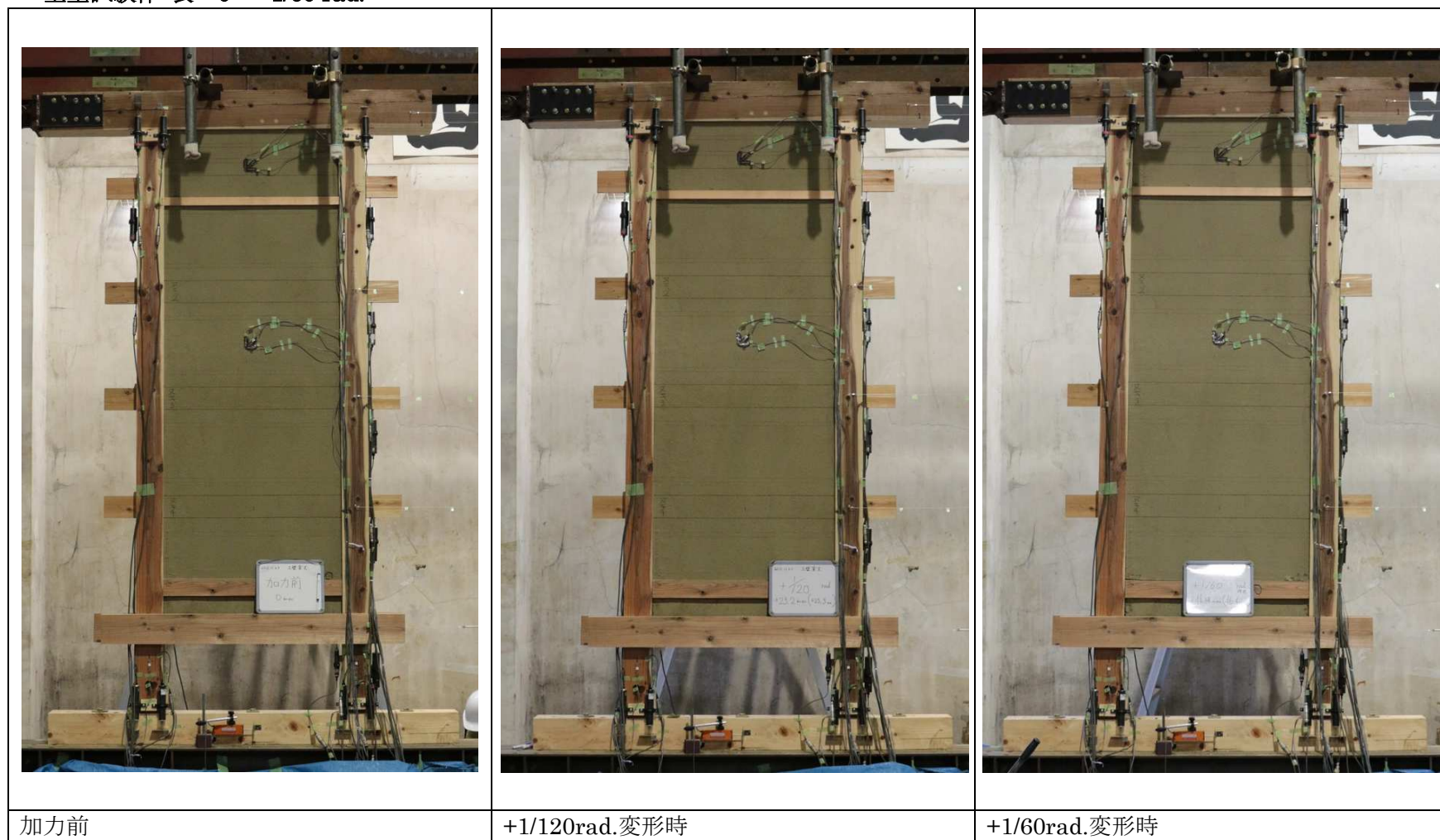


図 4-64 土壁試験体 表 0 - +1/60 rad.

土壁試験体 表 +1/30 - -1/10 rad.

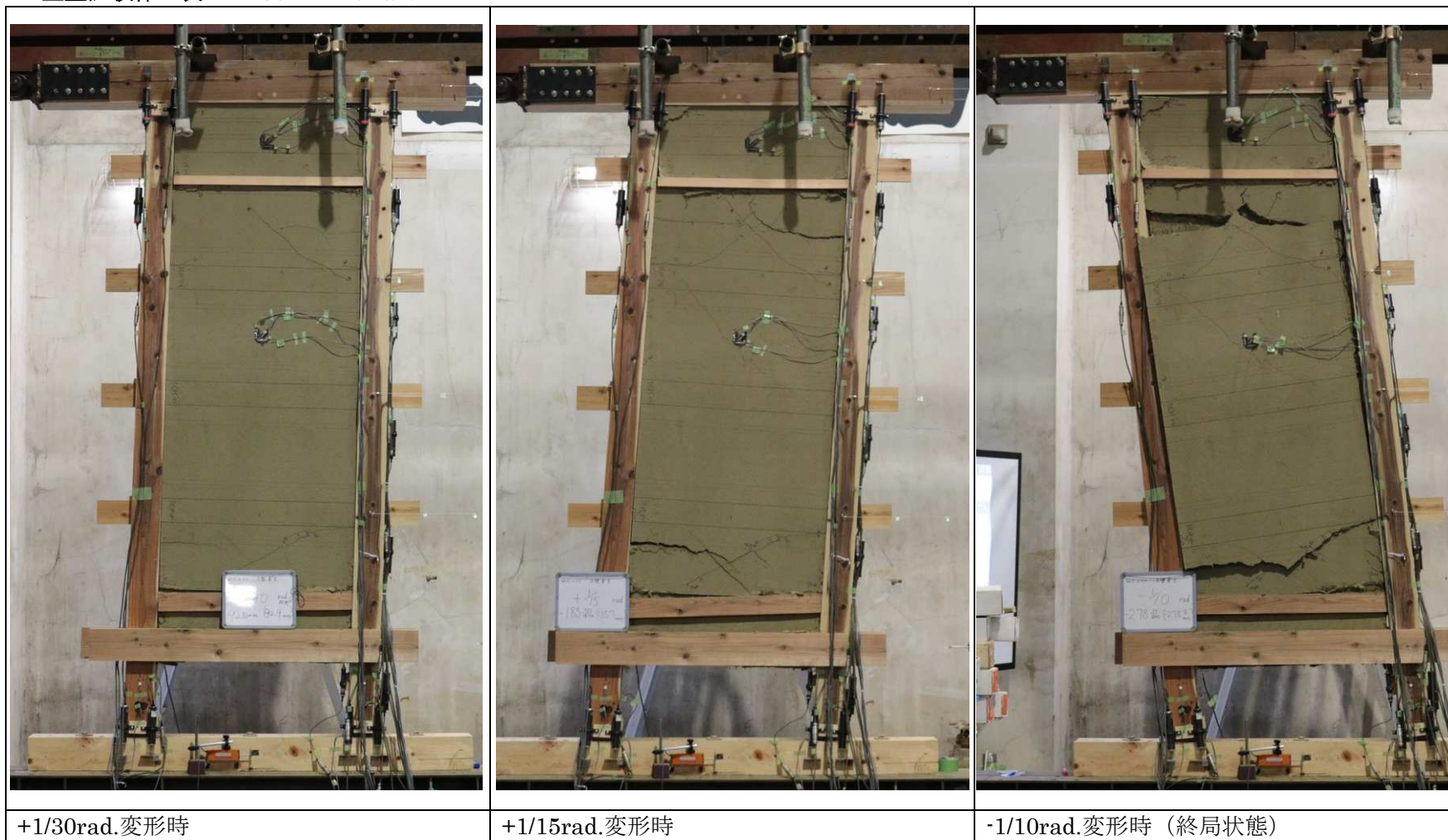


図 4-65 土壁試験体 表 +1/30 - -1/10 rad.



土壁試験体 裏 0 - +1/60 rad.

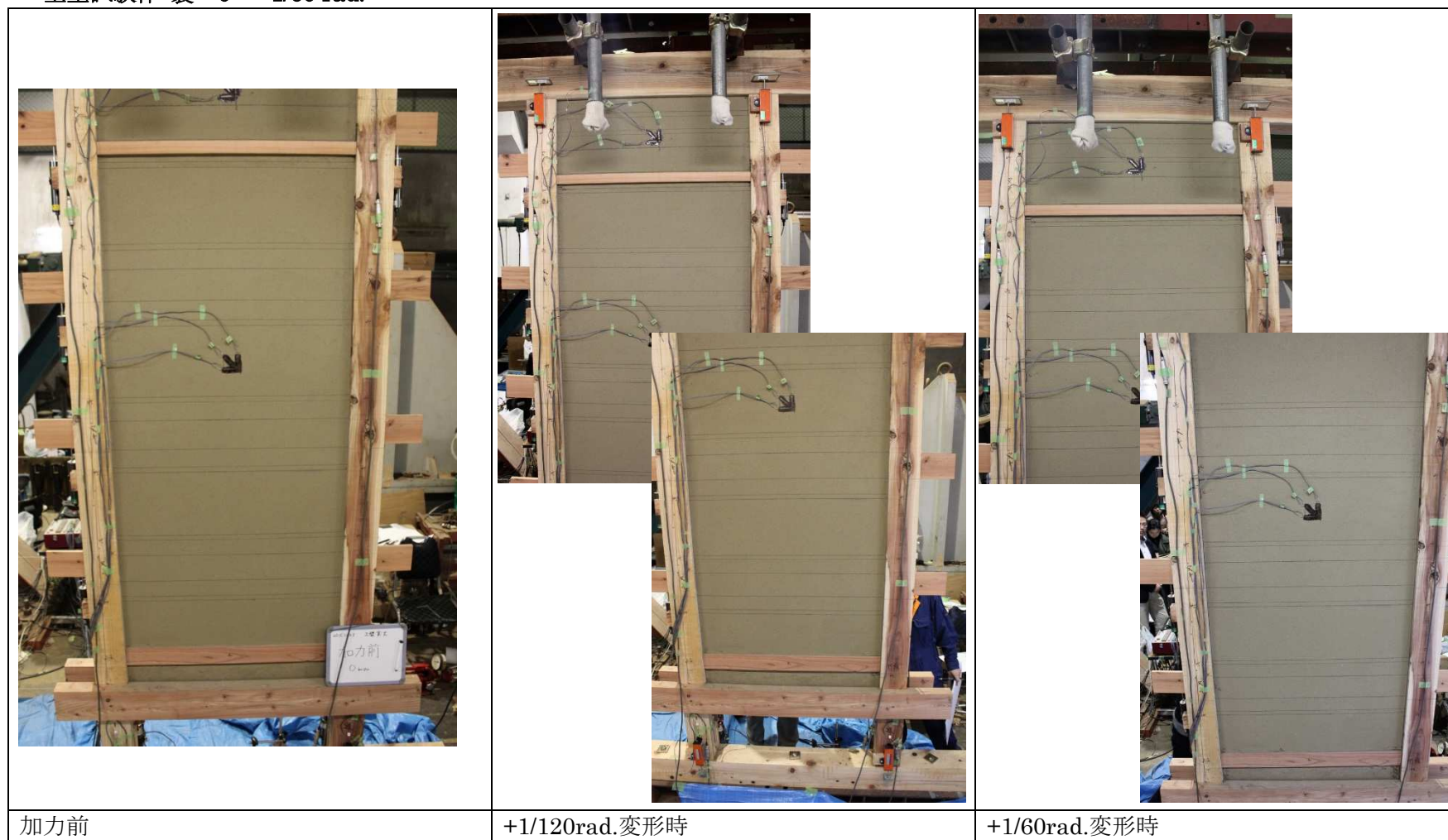


図 4-66 土壁試験体 裏 0 - +1/60 rad.

# 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

土壁試験体 裏 +1/30 - 1/10 rad.

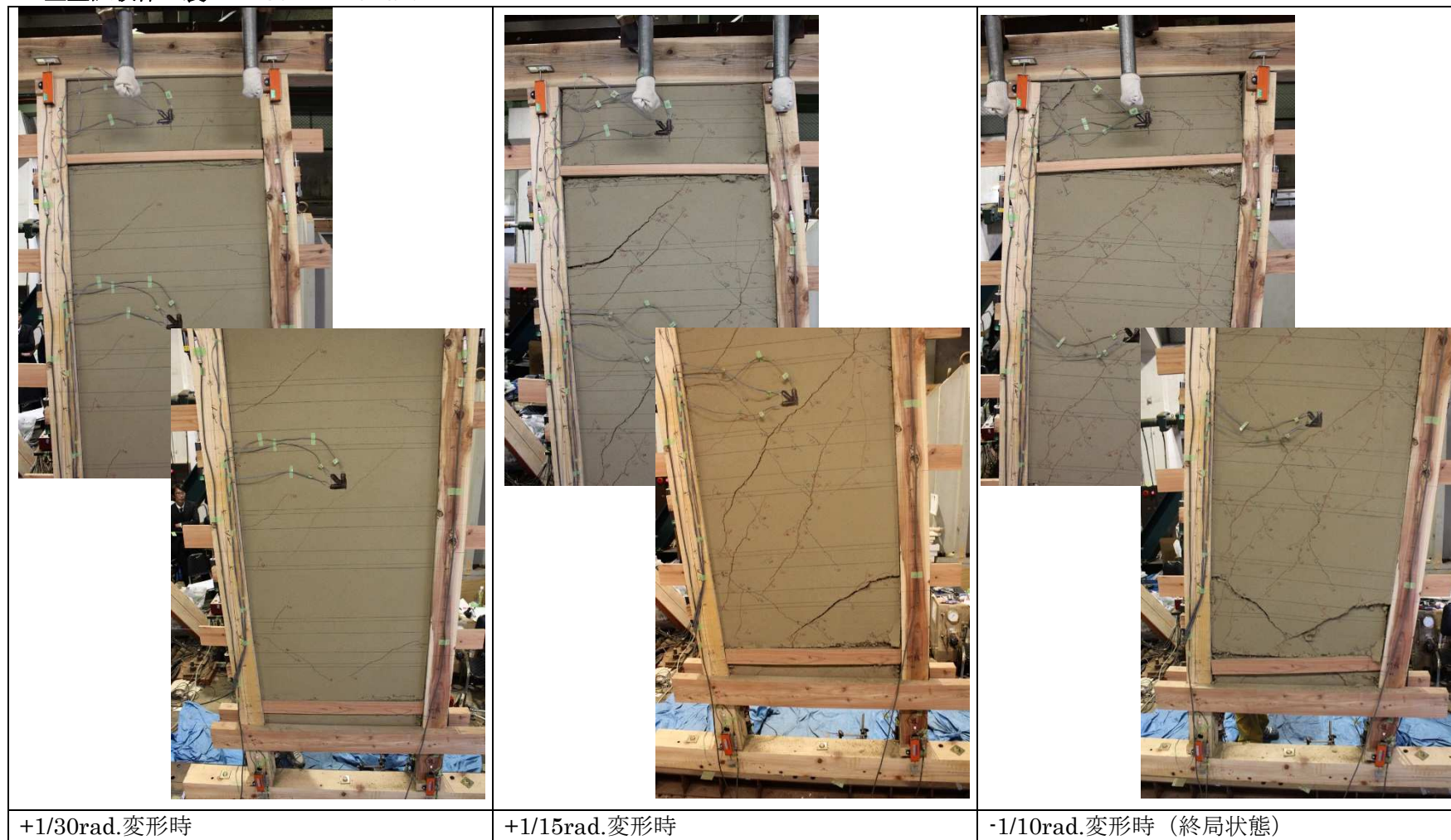


図 4-67 土壁試験体 裏 +1/30 - 1/10 rad.

土壁実大 押し（見かけのせん断変形角）

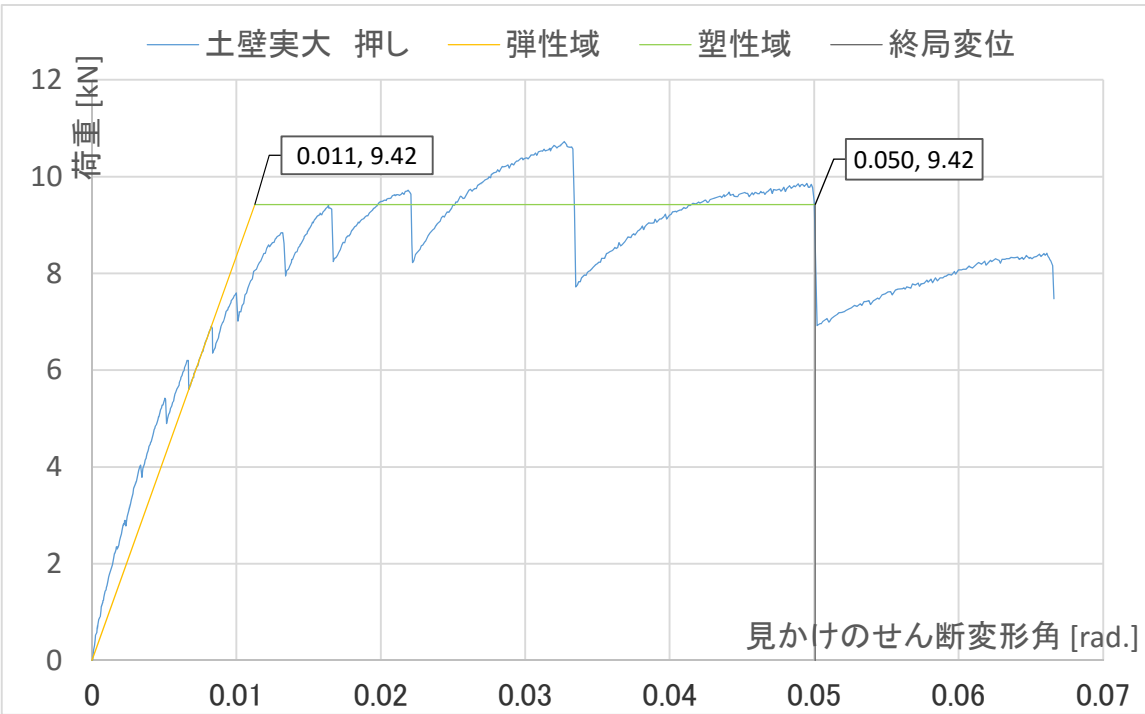


図 4-68 土壁実大 押し 見かけのせん断変形角

土壁実大 引き（見かけのせん断変形角）

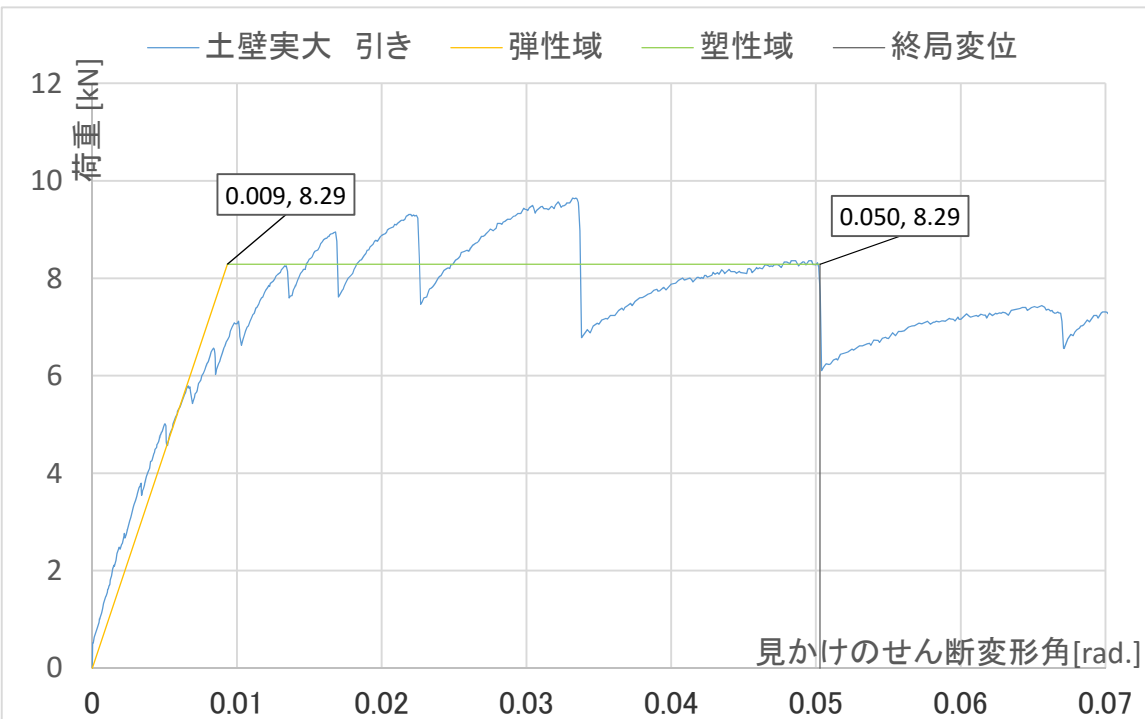


図 4-69 土壁実大 引き 見かけのせん断変形角



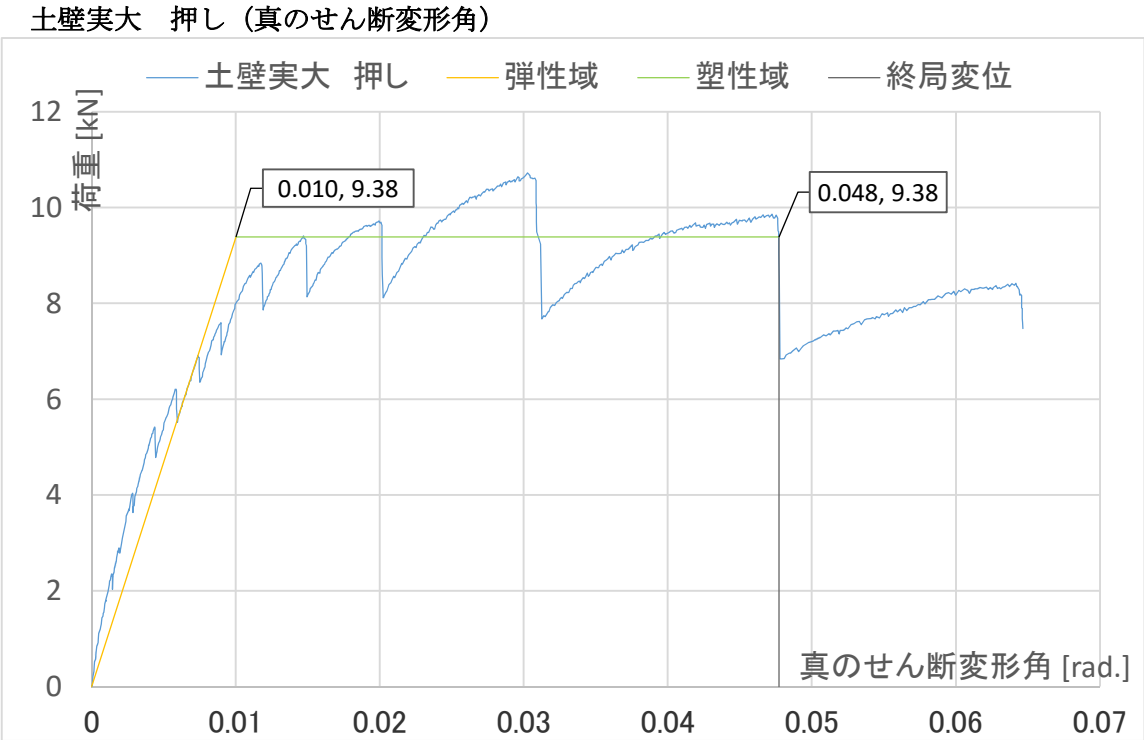


図 4-70 土壁実大 押し 真のせん断変形角

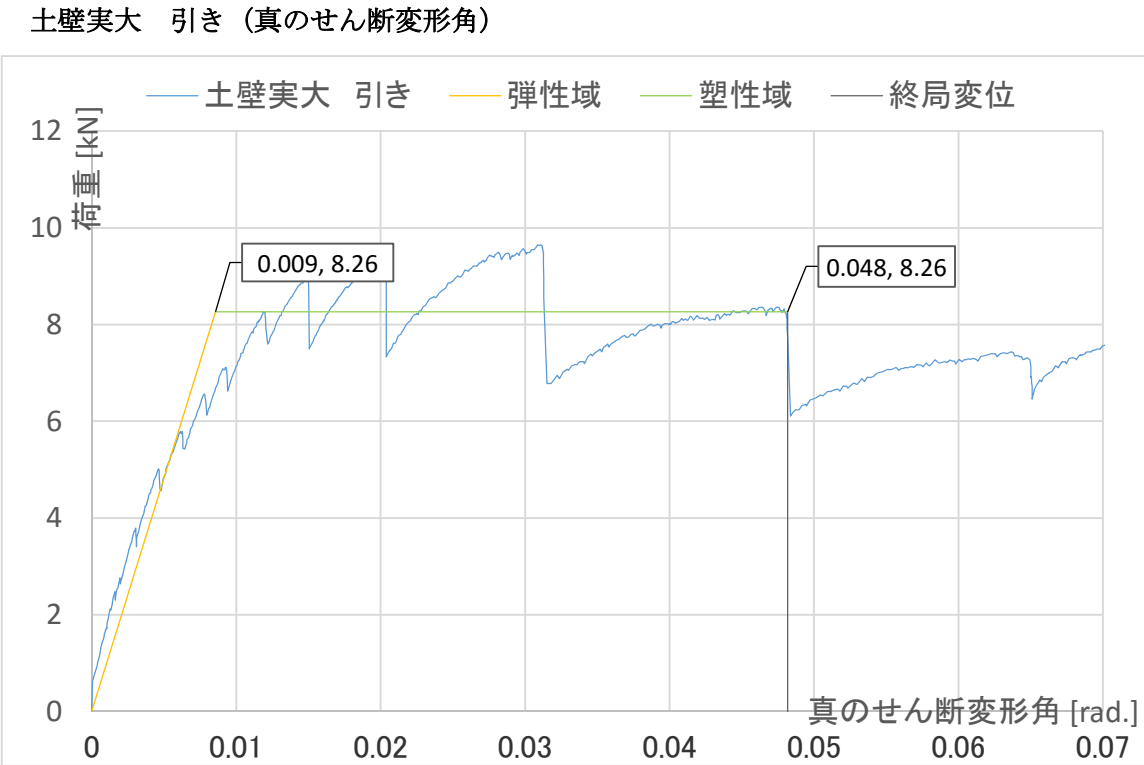


図 4-71 土壁実大 引き 真のせん断変形角

4.3.3.4. 各試験体特性値のまとめ

・実験結果より算出した各試験体の特性値を以下に示す。

表 4-11 真壁試験体 各試験体特性値

| 試験体種類                           |             | 特性値<br>unit | 最大耐力            | 最大耐力<br>時変形角            | 降伏<br>耐力    | 降伏<br>変形角          | 終局<br>耐力    | 完全弾塑性<br>降伏<br>点変形角 | 終局<br>変形角          | 弾性剛性         | 1/120rad.<br>時耐力  | 塑性率   | 構造特性<br>係数 |
|---------------------------------|-------------|-------------|-----------------|-------------------------|-------------|--------------------|-------------|---------------------|--------------------|--------------|-------------------|-------|------------|
|                                 |             |             | $P_{max}$<br>kN | $\delta_{Pmax}$<br>rad. | $P_y$<br>kN | $\delta_y$<br>rad. | $P_u$<br>kN | $\delta_v$<br>rad.  | $\delta_u$<br>rad. | K<br>kN/rad. | $P_{1/120}$<br>kN | $\mu$ | $D_s$      |
| 軸組<br>※終局変形<br>1/15rad.         | 見かけの<br>変形角 | 正           | 4.61            | 0.065                   | 2.71        | 0.024              | 4.13        | 0.036               | 0.067              | 114          | 1.37              | 1.84  | 0.61       |
|                                 |             | 負           | 4.02            | 0.066                   | 2.37        | 0.027              | 3.51        | 0.040               | 0.067              | 89           | 0.98              | 1.69  | 0.65       |
|                                 |             | 平均          | 4.31            | 0.065                   | 2.54        | 0.025              | 3.82        | 0.038               | 0.067              | 102          | 1.18              | 1.76  | 0.63       |
|                                 | 真の変形<br>角   | 正           | 4.61            | 0.064                   | 2.71        | 0.023              | 4.10        | 0.035               | 0.066              | 116          | 1.37              | 1.86  | 0.61       |
|                                 |             | 負           | 4.02            | 0.066                   | 2.37        | 0.026              | 3.49        | 0.039               | 0.066              | 90           | 0.98              | 1.71  | 0.64       |
|                                 |             | 平均          | 4.31            | 0.065                   | 2.54        | 0.025              | 3.80        | 0.037               | 0.066              | 103          | 1.18              | 1.78  | 0.63       |
| 木摺漆喰<br>※終局変形<br>1/30rad.       | 見かけの<br>変形角 | 正           | 8.69            | 0.016                   | 5.69        | 0.007              | 6.10        | 0.008               | 0.033              | 768          | 6.49              | 4.15  | 0.37       |
|                                 |             | 負           | 8.28            | 0.014                   | 5.27        | 0.007              | 5.72        | 0.007               | 0.034              | 784          | 6.07              | 4.60  | 0.35       |
|                                 |             | 平均          | 8.49            | 0.015                   | 5.48        | 0.007              | 5.91        | 0.008               | 0.033              | 776          | 6.28              | 4.38  | 0.36       |
|                                 | 真の変形<br>角   | 正           | 8.69            | 0.013                   | 5.42        | 0.006              | 5.97        | 0.007               | 0.032              | 902          | 6.50              | 4.83  | 0.34       |
|                                 |             | 負           | 8.28            | 0.011                   | 7.31        | 0.009              | 5.64        | 0.007               | 0.032              | 802          | 7.16              | 4.52  | 0.35       |
|                                 |             | 平均          | 8.49            | 0.012                   | 6.36        | 0.008              | 5.81        | 0.007               | 0.032              | 852          | 6.83              | 4.68  | 0.35       |
| 土壁<br>※終局変形<br>0.8 $P_{max}$ 時点 | 見かけの<br>変形角 | 正           | 10.72           | 0.033                   | 6.78        | 0.008              | 9.42        | 0.011               | 0.050              | 836          | 6.87              | 4.44  | 0.36       |
|                                 |             | 負           | 9.64            | 0.033                   | 5.34        | 0.006              | 8.29        | 0.009               | 0.050              | 887          | 6.54              | 5.38  | 0.32       |
|                                 |             | 平均          | 10.18           | 0.033                   | 6.06        | 0.007              | 8.85        | 0.010               | 0.050              | 861          | 6.71              | 4.91  | 0.34       |
|                                 | 真の変形<br>角   | 正           | 10.72           | 0.030                   | 6.78        | 0.007              | 9.38        | 0.010               | 0.048              | 936          | 7.21              | 4.76  | 0.34       |
|                                 |             | 負           | 9.64            | 0.031                   | 5.17        | 0.005              | 8.26        | 0.009               | 0.048              | 966          | 6.47              | 5.63  | 0.31       |
|                                 |             | 平均          | 10.18           | 0.031                   | 5.97        | 0.006              | 8.82        | 0.009               | 0.048              | 951          | 6.84              | 5.20  | 0.33       |

水色のセル: 見かけの変形角で評価した場合より値が小さくなったもの  
赤のセル: 同上 値が大きくなったもの

・完全弾塑性モデルに置換した場合の指標値および壁倍率を以下に示す。

表 4-12 真壁試験体 完全弾塑性モデルの指標値および壁倍率

| 試験体                    |             |    | $P_y$ |      | $P_u \times (0.2/D_s)$ |      | $P_{max} \times 2/3$ |      | $P_{1/120}$ |      | ばらつき係数 1 |     |                 | ばらつき係数 0.75 |      |                 |
|------------------------|-------------|----|-------|------|------------------------|------|----------------------|------|-------------|------|----------|-----|-----------------|-------------|------|-----------------|
|                        |             |    |       |      |                        |      |                      |      |             |      | $P_0$    | 壁倍率 | 同左<br>(0.1以下切捨) | $P_0$       | 壁倍率  | 同左<br>(0.1以下切捨) |
| 軸組<br>※終局1/15rad.      | 見かけの<br>変形角 | 正  | 2.71  | 1.35 | 3.07                   | 1.37 | 1.35                 | 0.76 | 0.7         | 1.01 | 0.57     | 0.5 | 0.5             | 0.74        | 0.41 | 0.4             |
|                        |             | 負  | 2.37  | 1.08 | 2.68                   | 0.98 | 0.98                 | 0.55 | 0.5         | 0.74 | 0.41     | 0.4 | 0.4             | 0.74        | 0.41 | 0.4             |
|                        |             | 平均 | 2.54  | 1.22 | 2.87                   | 1.18 | 1.18                 | 0.66 | 0.6         | 0.88 | 0.49     | 0.4 | 0.4             | 0.88        | 0.49 | 0.4             |
|                        | 真の変形<br>角   | 正  | 2.71  | 1.35 | 3.07                   | 1.37 | 1.35                 | 0.76 | 0.7         | 1.01 | 0.57     | 0.5 | 0.5             | 1.01        | 0.57 | 0.5             |
|                        |             | 負  | 2.37  | 1.09 | 2.68                   | 0.98 | 0.98                 | 0.55 | 0.5         | 0.74 | 0.41     | 0.4 | 0.4             | 0.74        | 0.41 | 0.4             |
|                        |             | 平均 | 2.54  | 1.22 | 2.87                   | 1.18 | 1.18                 | 0.66 | 0.6         | 0.88 | 0.49     | 0.4 | 0.4             | 0.88        | 0.49 | 0.4             |
| 木摺漆喰<br>※終局1/30rad.    | 見かけの<br>変形角 | 正  | 5.69  | 3.30 | 5.80                   | 6.49 | 3.30                 | 1.85 | 1.8         | 2.48 | 1.39     | 1.3 | 1.3             | 2.48        | 1.39 | 1.3             |
|                        |             | 負  | 5.27  | 3.28 | 5.52                   | 6.07 | 3.28                 | 1.84 | 1.8         | 2.46 | 1.38     | 1.3 | 1.3             | 2.46        | 1.38 | 1.3             |
|                        |             | 平均 | 5.48  | 3.29 | 5.66                   | 6.28 | 3.29                 | 1.84 | 1.8         | 2.47 | 1.38     | 1.3 | 1.3             | 2.47        | 1.38 | 1.3             |
|                        | 真の変形<br>角   | 正  | 5.42  | 3.51 | 5.80                   | 6.50 | 3.51                 | 1.97 | 1.9         | 2.63 | 1.48     | 1.4 | 1.4             | 2.63        | 1.48 | 1.4             |
|                        |             | 負  | 7.31  | 3.20 | 5.52                   | 7.16 | 3.20                 | 1.80 | 1.7         | 2.40 | 1.35     | 1.3 | 1.3             | 2.40        | 1.35 | 1.3             |
|                        |             | 平均 | 6.36  | 3.36 | 5.66                   | 6.83 | 3.36                 | 1.88 | 1.8         | 2.52 | 1.41     | 1.4 | 1.4             | 2.52        | 1.41 | 1.4             |
| 土壁<br>※終局0.8 $P_{max}$ | 見かけの<br>変形角 | 正  | 6.78  | 5.29 | 7.15                   | 6.87 | 5.29                 | 2.97 | 2.9         | 3.97 | 2.23     | 2.2 | 2.2             | 3.97        | 2.23 | 2.2             |
|                        |             | 負  | 5.34  | 5.18 | 6.43                   | 6.54 | 5.18                 | 2.90 | 2.9         | 3.88 | 2.18     | 2.1 | 2.1             | 3.88        | 2.18 | 2.1             |
|                        |             | 平均 | 6.06  | 5.24 | 6.79                   | 6.71 | 5.24                 | 2.94 | 2.9         | 3.93 | 2.20     | 2.2 | 2.2             | 3.93        | 2.20 | 2.2             |
|                        | 真の変形<br>角   | 正  | 6.78  | 5.48 | 7.15                   | 7.21 | 5.48                 | 3.07 | 3           | 4.11 | 2.30     | 2.3 | 2.3             | 4.11        | 2.30 | 2.3             |
|                        |             | 負  | 5.17  | 5.29 | 6.43                   | 6.47 | 5.17                 | 2.90 | 2.8         | 3.88 | 2.17     | 2.1 | 2.1             | 3.88        | 2.17 | 2.1             |
|                        |             | 平均 | 5.97  | 5.39 | 6.79                   | 6.84 | 5.39                 | 3.02 | 3           | 4.04 | 2.26     | 2.2 | 2.2             | 4.04        | 2.26 | 2.2             |

水色のセル: 見かけの変形角で評価した場合より値が小さくなったもの  
赤のセル: 同上 値が大きくなったもの  
赤字のセル: 各試験体の4指標値のうち最小値  
※ ばらつき係数は、試験体1体のため、1、および0.75(旧規定)の2通りを併記した。  
※ 低減係数  $\alpha=1$  と仮定した。そのため、 $P_0 = P_u$  (短期許容せん断耐力)  
※ 壁長は柱真々で0.91m  
※ 壁倍率は、 $P_u / \text{壁長(m)} \times 1.96$  により算出した  
※ 平均は、4指標の平均値の最小値に対して、正負と同様の手続きで壁倍率を算出した。

#### 4.3.3.5. 各試験体の完全弾塑性モデルの補正

※実験結果は、柱真々0.91m あたりの結果である。

➤試験体長さの補正

- ・正負それぞれで作成した完全弾塑性モデルの平均値（終局耐力  $P_u$ ）を、1/0.91 倍したものを 1m あたりの完全弾塑性モデルと仮定した。ただし、完全弾塑性の降伏変形角  $\delta_v$ 、終局変形角  $\delta_u$  は変化しないと仮定した。

➤ばらつきの考慮

- ・上記の 1m あたり完全弾塑性モデルの終局耐力  $P_u$  に 0.75 を乗じた値を終局耐力とするばらつきを考慮した完全弾塑性モデルを作成した。
- ・この場合も試験体長さの補正と同様に、降伏変形角、終局変形角は変化しないと仮定した。すなわち、剛性が一定であると仮定して終局耐力を低減する（降伏点変形角が小さくなる）場合と比較して、吸収エネルギーに関してより安全側となる。

➤見かけのせん断変形角と真のせん断変形角の値をともに示した

軸組試験体

- ・特性値
- ・見かけのせん断変形角

表 4-13 軸組試験体の特性値（見かけのせん断変形角）

| 0.91mあたり                |      | 最大耐力      | 最大耐力時<br>変形角    | 降伏<br>耐力 | 降伏<br>変形角  | 終局<br>耐力 | 完全弾塑性<br>性 降伏<br>点変形角 | 終局<br>変形角  | 弾性剛性    | 1/120rad.時<br>耐力 | 塑性率   | 構造特性<br>係数 |
|-------------------------|------|-----------|-----------------|----------|------------|----------|-----------------------|------------|---------|------------------|-------|------------|
| 試験体種類                   | 特性値  | $P_{max}$ | $\delta_{Pmax}$ | $P_y$    | $\delta_y$ | $P_u$    | $\delta_v$            | $\delta_u$ | K       | $P_{1/120}$      | $\mu$ | Ds         |
|                         | unit | kN        | rad.            | kN       | rad.       | kN       | rad.                  | rad.       | kN/rad. | kN               | —     | —          |
| 軸組<br>※終局変形<br>1/15rad. | 正    | 4.61      | 0.065           | 2.71     | 0.024      | 4.13     | 0.036                 | 0.067      | 114     | 1.37             | 1.84  | 0.61       |
|                         | 負    | 4.02      | 0.066           | 2.37     | 0.027      | 3.51     | 0.040                 | 0.067      | 89      | 0.98             | 1.69  | 0.65       |
|                         | 平均   | 4.31      | 0.065           | 2.54     | 0.025      | 3.82     | 0.038                 | 0.067      | 102     | 1.18             | 1.76  | 0.63       |
| 0.91mあたり                |      |           |                 |          |            |          |                       |            |         |                  |       |            |
| 完全弾塑性(平均)               |      | —         | —               | —        | —          | 3.82     | 0.038                 | 0.067      | 102     | —                | 1.76  | 0.63       |
| 完全弾塑性(平均)*0.75          |      | —         | —               | —        | —          | 2.87     | 0.038                 | 0.067      | 76      | —                | 1.76  | 0.63       |
| 1mあたり                   |      |           |                 |          |            |          |                       |            |         |                  |       |            |
| 完全弾塑性(平均)               |      | —         | —               | —        | —          | 4.20     | 0.038                 | 0.067      | 111     | —                | 1.76  | 0.63       |
| 完全弾塑性(平均)*0.75          |      | —         | —               | —        | —          | 3.15     | 0.038                 | 0.067      | 83      | —                | 1.76  | 0.63       |

- ・真のせん断変形角

表 4-14 軸組試験体の特性値（真のせん断変形角）

| 0.91mあたり                |      | 最大耐力      | 最大耐力時<br>変形角    | 降伏<br>耐力 | 降伏<br>変形角  | 終局<br>耐力 | 完全弾塑性<br>性 降伏<br>点変形角 | 終局<br>変形角  | 弾性剛性    | 1/120rad.時<br>耐力 | 塑性率   | 構造特性<br>係数 |
|-------------------------|------|-----------|-----------------|----------|------------|----------|-----------------------|------------|---------|------------------|-------|------------|
| 試験体種類                   | 特性値  | $P_{max}$ | $\delta_{Pmax}$ | $P_y$    | $\delta_y$ | $P_u$    | $\delta_v$            | $\delta_u$ | K       | $P_{1/120}$      | $\mu$ | Ds         |
|                         | unit | kN        | rad.            | kN       | rad.       | kN       | rad.                  | rad.       | kN/rad. | kN               | —     | —          |
| 軸組<br>※終局変形<br>1/15rad. | 正    | 4.61      | 0.064           | 2.71     | 0.023      | 4.10     | 0.035                 | 0.066      | 116     | 1.37             | 1.86  | 0.61       |
|                         | 負    | 4.02      | 0.066           | 2.37     | 0.026      | 3.49     | 0.039                 | 0.066      | 90      | 0.98             | 1.71  | 0.64       |
|                         | 平均   | 4.31      | 0.065           | 2.54     | 0.025      | 3.80     | 0.037                 | 0.066      | 103     | 1.18             | 1.78  | 0.63       |
| 0.91mあたり                |      |           |                 |          |            |          |                       |            |         |                  |       |            |
| 完全弾塑性(平均)               |      | —         | —               | —        | —          | 3.80     | 0.037                 | 0.066      | 103     | —                | 1.78  | 0.63       |
| 完全弾塑性(平均)*0.75          |      | —         | —               | —        | —          | 2.85     | 0.037                 | 0.066      | 77      | —                | 1.78  | 0.63       |
| 1mあたり                   |      |           |                 |          |            |          |                       |            |         |                  |       |            |
| 完全弾塑性(平均)               |      | —         | —               | —        | —          | 4.17     | 0.037                 | 0.066      | 113     | —                | 1.78  | 0.63       |
| 完全弾塑性(平均)*0.75          |      | —         | —               | —        | —          | 3.13     | 0.037                 | 0.066      | 84      | —                | 1.78  | 0.63       |

・軸組壁の完全弾塑性モデル比較

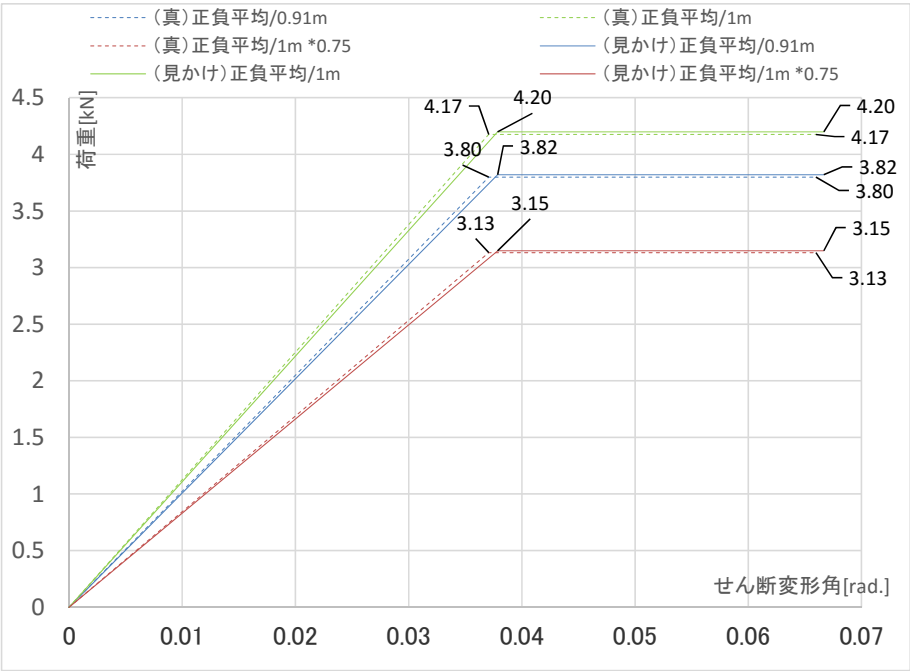


図 4-72 軸組壁の完全弾塑性モデル

木摺漆喰試験体

・見かけのせん断変形角

表 4-15 木摺漆喰試験体の特性値（見かけのせん断変形角）

| 0.91mあたり                  |      | 最大耐力      | 最大耐力時<br>変形角    | 降伏<br>耐力 | 降伏<br>変形角  | 終局<br>耐力 | 完全弾塑性<br>降伏点変形角 | 終局<br>変形角  | 弾性剛性    | 1/120rad.時<br>耐力 | 塑性率   | 構造特性<br>係数 |
|---------------------------|------|-----------|-----------------|----------|------------|----------|-----------------|------------|---------|------------------|-------|------------|
| 試験体種類                     | 特性値  | $P_{max}$ | $\delta_{Pmax}$ | $P_y$    | $\delta_y$ | $P_u$    | $\delta_v$      | $\delta_u$ | K       | $P_{1/120}$      | $\mu$ | Ds         |
|                           | unit | kN        | rad.            | kN       | rad.       | kN       | rad.            | rad.       | kN/rad. | kN               | -     | -          |
| 木摺漆喰<br>※終局変形<br>1/30rad. | 正    | 8.69      | 0.016           | 5.69     | 0.007      | 6.10     | 0.008           | 0.033      | 768     | 6.49             | 4.15  | 0.37       |
|                           | 負    | 8.28      | 0.014           | 5.27     | 0.007      | 5.72     | 0.007           | 0.034      | 784     | 6.07             | 4.60  | 0.35       |
|                           | 平均   | 8.49      | 0.015           | 5.48     | 0.007      | 5.91     | 0.008           | 0.033      | 776     | 6.28             | 4.38  | 0.36       |

※以下は、終局変形1/30rad.

0.91mあたり

|                |   |   |   |   |   |      |       |       |     |   |      |      |
|----------------|---|---|---|---|---|------|-------|-------|-----|---|------|------|
| 完全弾塑性(平均)      | - | - | - | - | - | 5.91 | 0.008 | 0.033 | 776 | - | 4.37 | 0.36 |
| 完全弾塑性(平均)*0.75 | - | - | - | - | - | 4.43 | 0.008 | 0.033 | 582 | - | 4.37 | 0.36 |

1mあたり

|                |   |   |   |   |   |      |       |       |     |   |      |      |
|----------------|---|---|---|---|---|------|-------|-------|-----|---|------|------|
| 完全弾塑性(平均)      | - | - | - | - | - | 6.50 | 0.008 | 0.033 | 852 | - | 4.37 | 0.36 |
| 完全弾塑性(平均)*0.75 | - | - | - | - | - | 4.87 | 0.008 | 0.033 | 639 | - | 4.37 | 0.36 |

・真のせん断変形角

表 4-16 木摺漆喰試験体の特性値（真のせん断変形角）

| 0.91mあたり                  |      | 最大耐力      | 最大耐力時<br>変形角    | 降伏<br>耐力 | 降伏<br>変形角  | 終局<br>耐力 | 完全弾塑性<br>降伏点変形角 | 終局<br>変形角  | 弾性剛性    | 1/120rad.時<br>耐力 | 塑性率   | 構造特性<br>係数 |
|---------------------------|------|-----------|-----------------|----------|------------|----------|-----------------|------------|---------|------------------|-------|------------|
| 試験体種類                     | 特性値  | $P_{max}$ | $\delta_{Pmax}$ | $P_y$    | $\delta_y$ | $P_u$    | $\delta_v$      | $\delta_u$ | K       | $P_{1/120}$      | $\mu$ | Ds         |
|                           | unit | kN        | rad.            | kN       | rad.       | kN       | rad.            | rad.       | kN/rad. | kN               | -     | -          |
| 木摺漆喰<br>※終局変形<br>1/30rad. | 正    | 8.69      | 0.013           | 5.42     | 0.006      | 5.97     | 0.007           | 0.032      | 902     | 6.50             | 4.83  | 0.34       |
|                           | 負    | 8.28      | 0.011           | 7.31     | 0.009      | 5.64     | 0.007           | 0.032      | 802     | 7.16             | 4.52  | 0.35       |
|                           | 平均   | 8.49      | 0.012           | 6.36     | 0.008      | 5.81     | 0.007           | 0.032      | 852     | 6.83             | 4.68  | 0.35       |

※以下は、終局変形1/30rad.

0.91mあたり

|                |   |   |   |   |   |      |       |       |     |   |      |      |
|----------------|---|---|---|---|---|------|-------|-------|-----|---|------|------|
| 完全弾塑性(平均)      | - | - | - | - | - | 5.81 | 0.007 | 0.032 | 852 | - | 4.67 | 0.35 |
| 完全弾塑性(平均)*0.75 | - | - | - | - | - | 4.36 | 0.007 | 0.032 | 638 | - | 4.67 | 0.35 |

1mあたり

|                |   |   |   |   |   |      |       |       |     |   |      |      |
|----------------|---|---|---|---|---|------|-------|-------|-----|---|------|------|
| 完全弾塑性(平均)      | - | - | - | - | - | 6.38 | 0.007 | 0.032 | 935 | - | 4.67 | 0.35 |
| 完全弾塑性(平均)*0.75 | - | - | - | - | - | 4.79 | 0.007 | 0.032 | 701 | - | 4.67 | 0.35 |

・木摺漆喰壁の完全弾塑性モデル比較

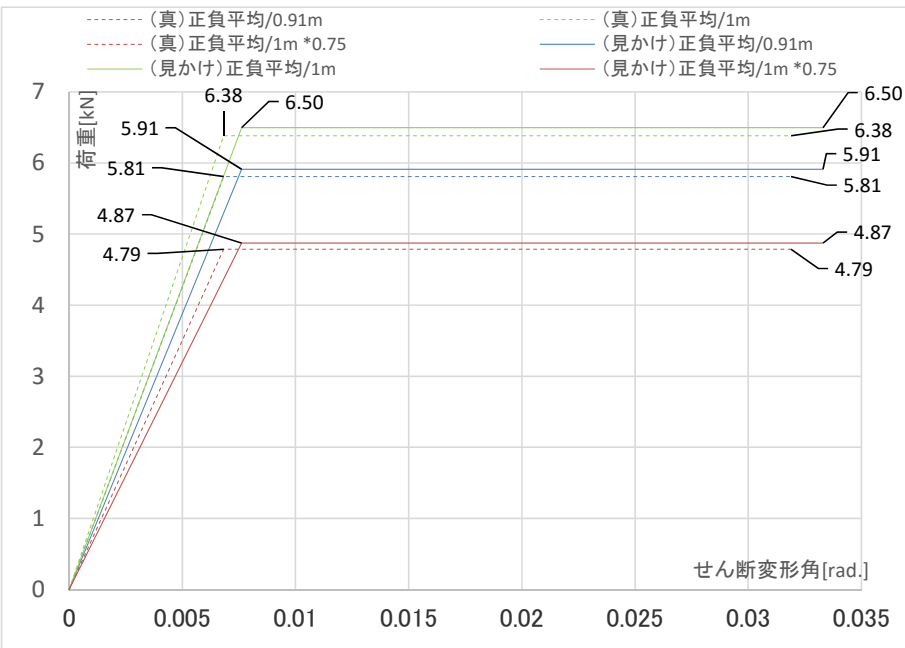


図 4-73 木摺漆喰壁の完全弾塑性モデル



土壁試験体

・見かけのせん断変形角

表 4-17 土壁試験体の特性値（見かけのせん断変形角）

| 0.91mあたり                        |      | 最大耐力      | 最大耐力時<br>変形角    | 降伏<br>耐力 | 降伏<br>変形角  | 終局<br>耐力 | 完全弾塑<br>性 降伏<br>点変形角 | 終局<br>変形角  | 弾性剛性    | 1/120rad.時<br>耐力 | 塑性率   | 構造特性<br>係数 |
|---------------------------------|------|-----------|-----------------|----------|------------|----------|----------------------|------------|---------|------------------|-------|------------|
| 試験体種類                           | 特性値  | $P_{max}$ | $\delta_{Pmax}$ | $P_y$    | $\delta_y$ | $P_u$    | $\delta_v$           | $\delta_u$ | K       | $P_{1/120}$      | $\mu$ | Ds         |
|                                 | unit | kN        | rad.            | kN       | rad.       | kN       | rad.                 | rad.       | kN/rad. | kN               | -     | -          |
| 土壁<br>※終局変形<br>0.8 $P_{max}$ 時点 | 正    | 10.72     | 0.033           | 6.78     | 0.008      | 9.42     | 0.011                | 0.050      | 836     | 6.87             | 4.44  | 0.36       |
|                                 | 負    | 9.64      | 0.033           | 5.34     | 0.006      | 8.29     | 0.009                | 0.050      | 887     | 6.54             | 5.38  | 0.32       |
|                                 | 平均   | 10.18     | 0.033           | 6.06     | 0.007      | 8.85     | 0.010                | 0.050      | 861     | 6.71             | 4.91  | 0.34       |
| 0.91mあたり                        |      |           |                 |          |            |          |                      |            |         |                  |       |            |
| 完全弾塑性(平均)                       |      | -         | -               | -        | -          | 8.85     | 0.010                | 0.050      | 861     | -                | 4.87  | 0.34       |
| 完全弾塑性(平均)*0.75                  |      | -         | -               | -        | -          | 6.64     | 0.010                | 0.050      | 644     | -                | 4.87  | 0.34       |
| 1mあたり                           |      |           |                 |          |            |          |                      |            |         |                  |       |            |
| 完全弾塑性(平均)                       |      | -         | -               | -        | -          | 9.73     | 0.010                | 0.050      | 944     | -                | 4.87  | 0.34       |
| 完全弾塑性(平均)*0.75                  |      | -         | -               | -        | -          | 7.30     | 0.010                | 0.050      | 708     | -                | 4.87  | 0.34       |

・真のせん断変形角

表 4-18 土壁試験体の特性値（真のせん断変形角）

| 0.91mあたり                        |      | 最大耐力      | 最大耐力時<br>変形角    | 降伏<br>耐力 | 降伏<br>変形角  | 終局<br>耐力 | 完全弾塑<br>性 降伏<br>点変形角 | 終局<br>変形角  | 弾性剛性    | 1/120rad.時<br>耐力 | 塑性率   | 構造特性<br>係数 |
|---------------------------------|------|-----------|-----------------|----------|------------|----------|----------------------|------------|---------|------------------|-------|------------|
| 試験体種類                           | 特性値  | $P_{max}$ | $\delta_{Pmax}$ | $P_y$    | $\delta_y$ | $P_u$    | $\delta_v$           | $\delta_u$ | K       | $P_{1/120}$      | $\mu$ | Ds         |
|                                 | unit | kN        | rad.            | kN       | rad.       | kN       | rad.                 | rad.       | kN/rad. | kN               | -     | -          |
| 土壁<br>※終局変形<br>0.8 $P_{max}$ 時点 | 正    | 10.72     | 0.030           | 6.78     | 0.007      | 9.38     | 0.010                | 0.048      | 936     | 7.21             | 4.76  | 0.34       |
|                                 | 負    | 9.64      | 0.031           | 5.17     | 0.005      | 8.26     | 0.009                | 0.048      | 966     | 6.47             | 5.63  | 0.31       |
|                                 | 平均   | 10.18     | 0.031           | 5.97     | 0.006      | 8.82     | 0.009                | 0.048      | 951     | 6.84             | 5.20  | 0.33       |
| 0.91mあたり                        |      |           |                 |          |            |          |                      |            |         |                  |       |            |
| 完全弾塑性(平均)                       |      | -         | -               | -        | -          | 8.82     | 0.009                | 0.048      | 951     | -                | 5.16  | 0.33       |
| 完全弾塑性(平均)*0.75                  |      | -         | -               | -        | -          | 6.62     | 0.009                | 0.048      | 712     | -                | 5.16  | 0.33       |
| 1mあたり                           |      |           |                 |          |            |          |                      |            |         |                  |       |            |
| 完全弾塑性(平均)                       |      | -         | -               | -        | -          | 9.70     | 0.009                | 0.048      | 1044    | -                | 5.16  | 0.33       |
| 完全弾塑性(平均)*0.75                  |      | -         | -               | -        | -          | 7.27     | 0.009                | 0.048      | 783     | -                | 5.16  | 0.33       |

・土壁の完全弾塑性モデル比較

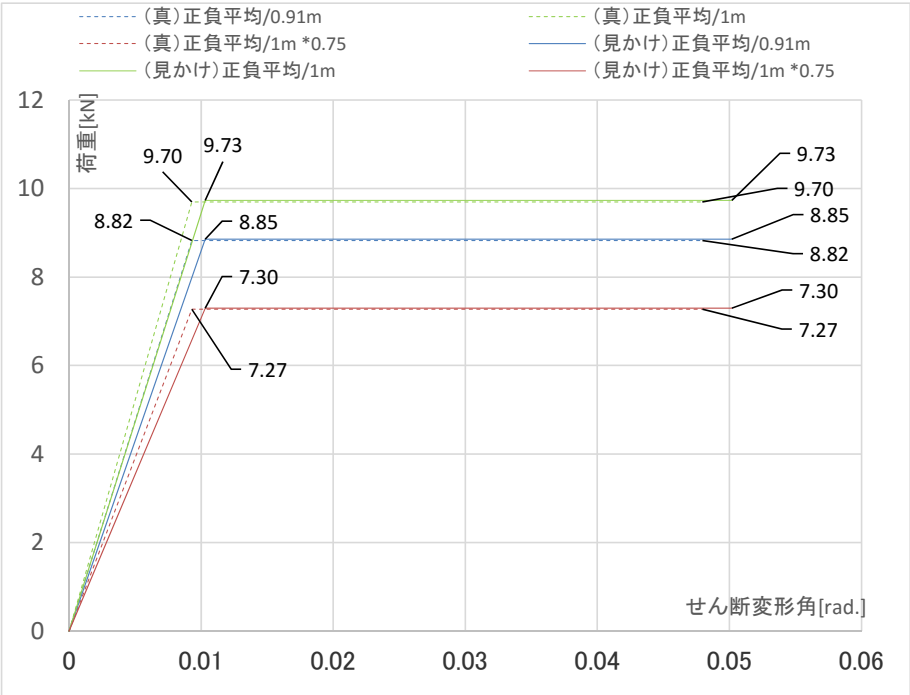


図 4-74 土壁の観世弾塑性モデル

#### 4.3.3.6. ひずみゲージによる計測結果

木摺漆喰壁について、計測したひずみゲージの計測結果についてまとめ、ひずみ量の変化から漆喰層内部の変化、破壊性状について考察を行った。以下、ひずみゲージの貼付箇所のうち、表面＝漆喰層表面、裏面＝木摺面としている。変形角は真のせん断変形角である。

#### 荷重変形角関係と破壊の進行

・以下、ひずみゲージの値と試験体の破壊過程を比較するため、特徴的な破壊の進行を以下にまとめる。（ただし、破壊の進行で示した変形角は見かけのせん断変形角）

- ・ 1/300rad. : (+) 壁のミリミリ音発生.
  - ・ 1/200rad. : (+) 壁面からの音増加, 特に木摺30-34付近か.
  - ・ 1/150rad. : (+) 壁のミリミリ音はより広範囲からに広がる.
  - ・ 1/120rad. : (+) 幅木-鴨居間の壁は剛体のように回転している.
  - ・ 1/100rad. : (+) 幅木右上小つぶれ.
  - ・ 1/60rad. : (+) 最大荷重 (8.6kN/0.91m). 付鴨居より下の漆喰層が剛体として回転移動していると推定される. 付鴨居の上部に最初の亀裂確認.
  - ・ 1/45rad. : (+) 壁面からのミシミシ音が全体に広がる. 木摺30-34は切れている.  
 (一) 漆喰の切れる音ではなく, 粉が落ちる音に.
  - ・ 1/30rad. : (+) ぽろぽろ崩れるような音. すでに漆喰はほとんど切れたか.  
 : (一) 付鴨居より上の面, 左上前方にはらみだし.
  - ・ 以降は, 壁のずり落ちが増加して最終1/10rad.での変形に至っても剥落はなかった.
- 鴨居～幅木の漆喰層には亀裂は入らなかった(先に幅木が破壊). 鴨居～桁は 1/60rad. 以降一部亀裂と隅部のはらみだしがみられた.

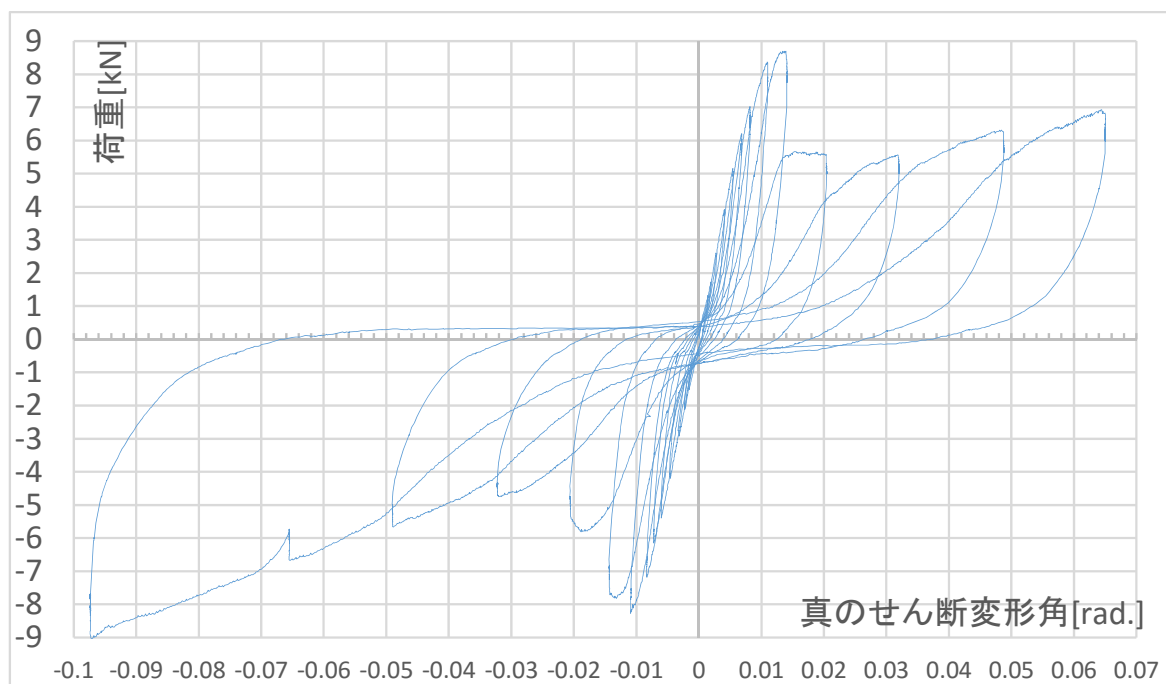


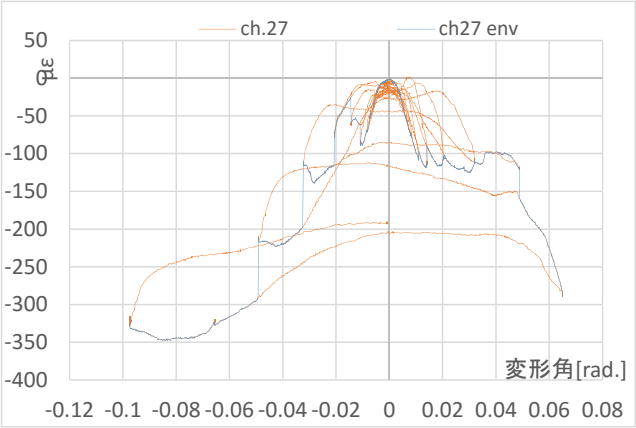
図 4-75 木摺壁の荷重変形関係 (真のせん断変形角)

ひずみ-変形角データ

表側（漆喰面）

➤表側 長軸方向

・鴨居の上



・鴨居の下

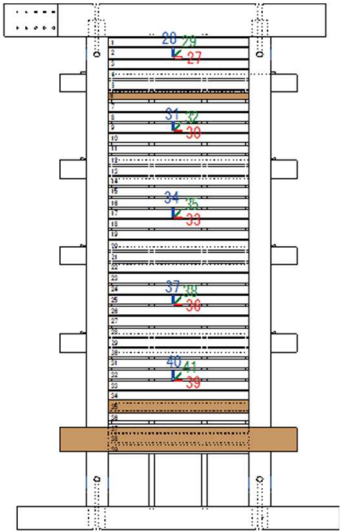
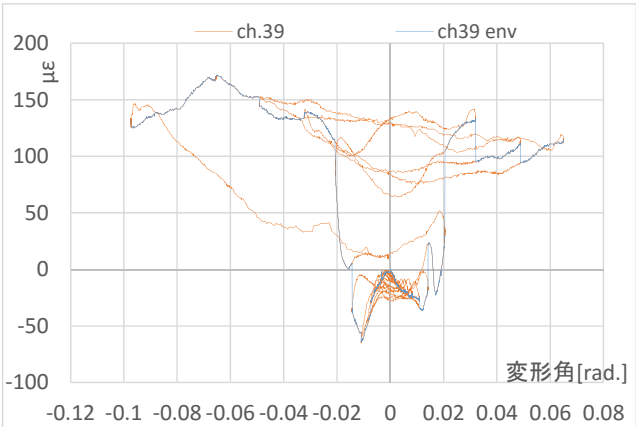
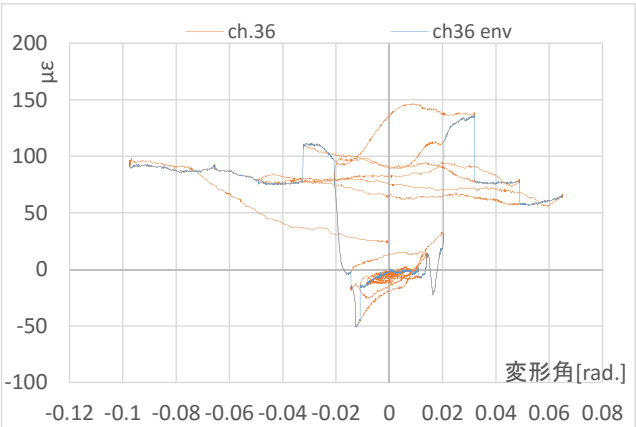
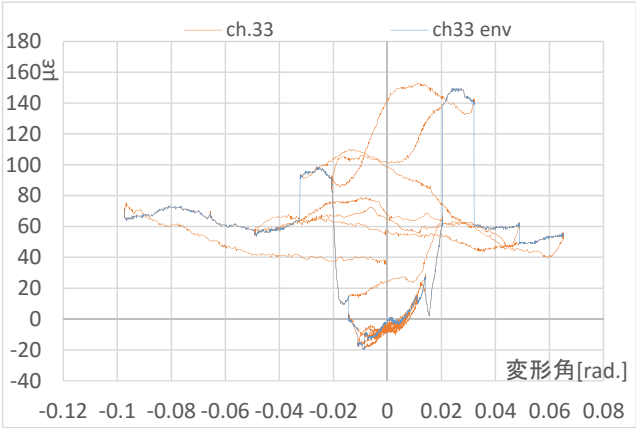
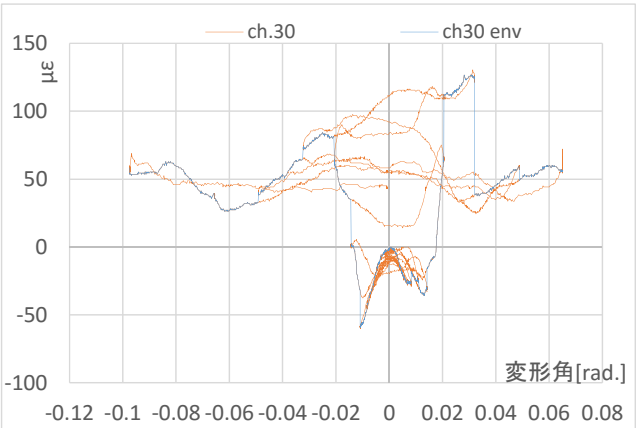


図 4-76 木摺漆喰試験体 漆喰層のひずみ 長軸方向

・表側 長軸方向 全ゲージ 包絡線比較

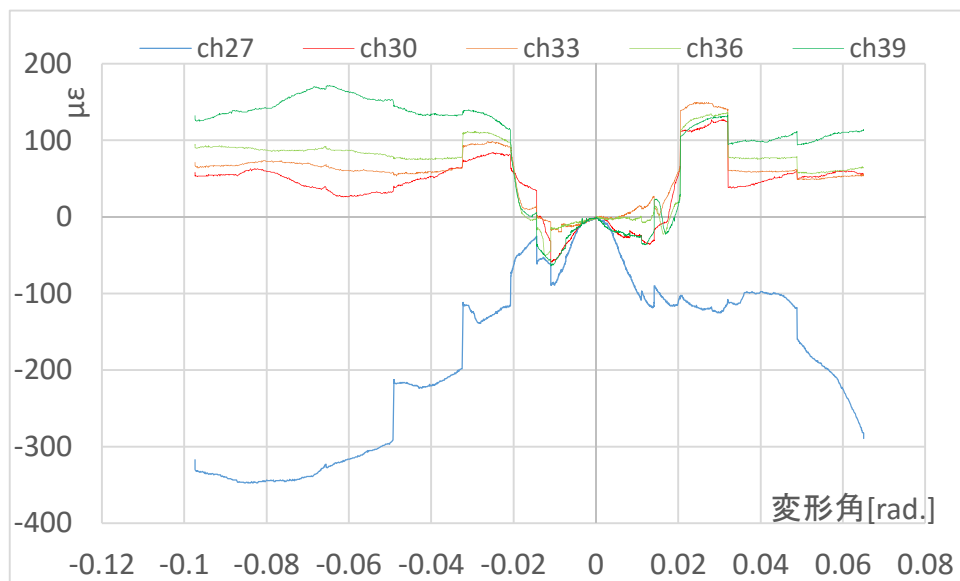


図 4-77 漆喰層 木摺長軸方向ゲージの比較

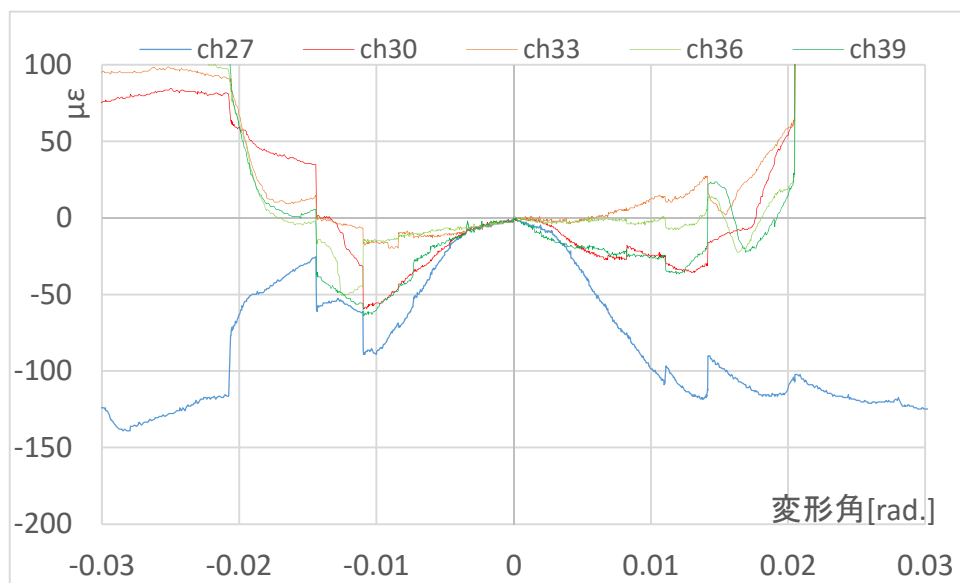


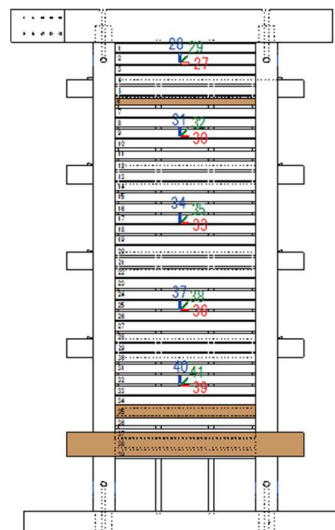
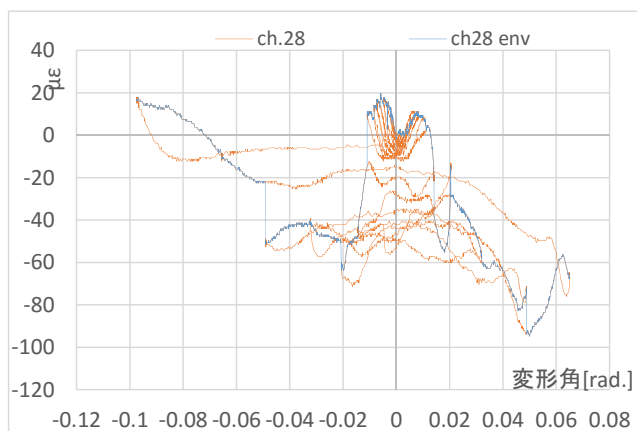
図 4-78 同上 拡大図

ひずみ量の傾向は、ch33,36 と ch30,39, ch27 に分けられる。前2者は付鴨居ら下部分のみを見たときに対称な位置のゲージであるため、漆喰層のひずみ量は鴨居の上下で異なっていたと考えられる。

また、全ひずみゲージで最大耐力到達（+1/60, -1/75rad.）時にひずみ量の低下が見られた。ただし、鴨居より上の壁に貼付した ch.27 のみ、最大耐力（鴨居より下の漆喰層が木摺面で大きく切れたと推定される）経過以降も圧縮力を受けていると推定される。破壊の進行で確認されたように、鴨居より下の壁にはほとんどせん断亀裂が発生せず、回転する挙動を取ったが、鴨居より上では、付鴨居が大きく垂下する 1/15rad.付近までは、せん断変形と対角の圧縮に伴う変形をしていた。この点と長軸方向の結果は符合している。

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

- ・表側（漆喰面） 短軸方向
  - ・鴨居の上



- ・鴨居の下

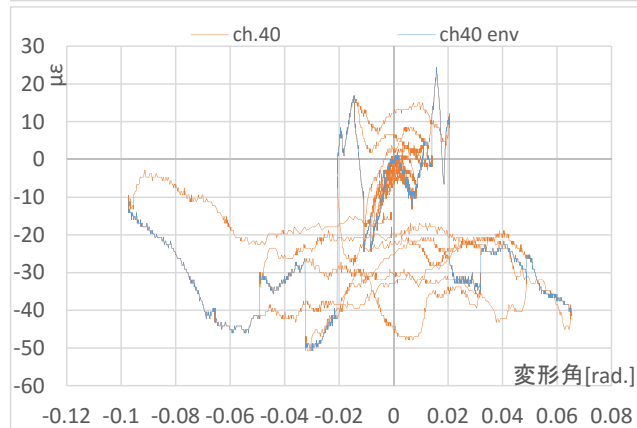
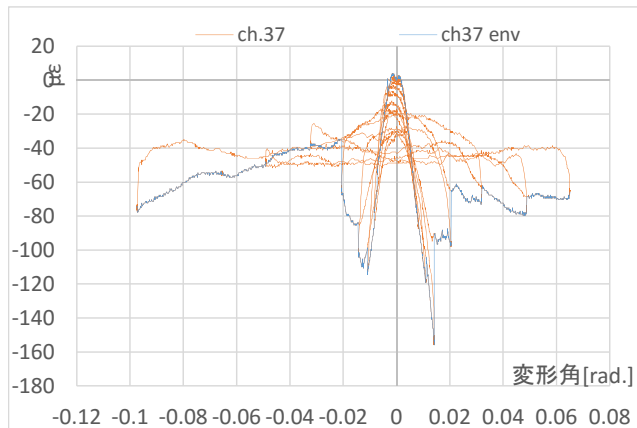
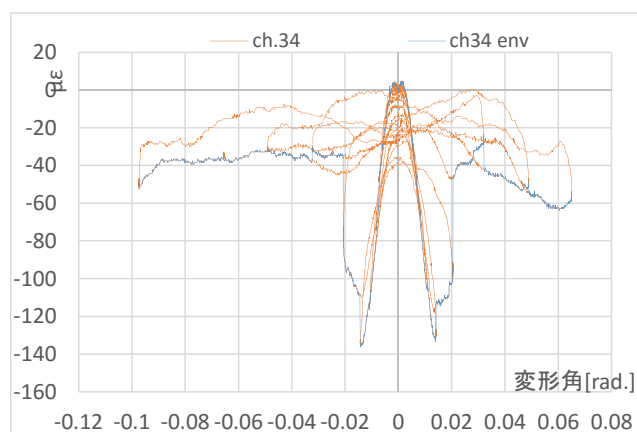
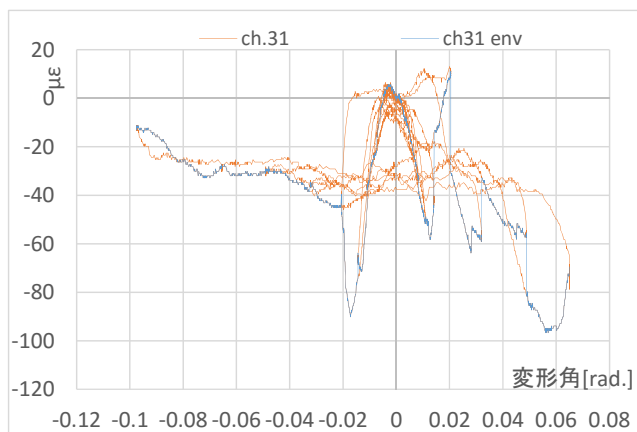


図 4-79 木摺漆喰試験体 漆喰層 木摺短軸方向ひずみゲージ



・表側 短軸方向 全ゲージ 包絡線比較

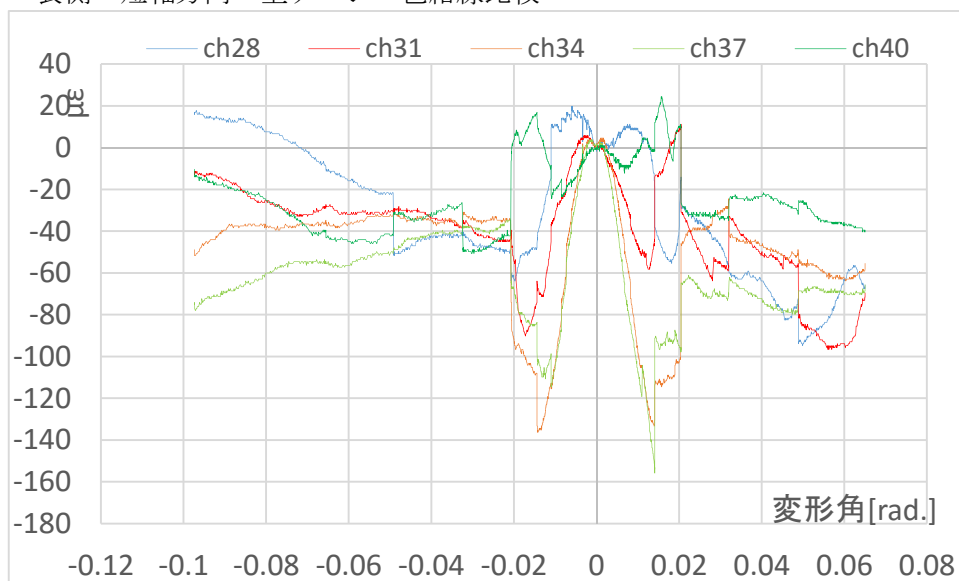


図 4-80 漆喰層 木摺短軸方向ひずみゲージの比較

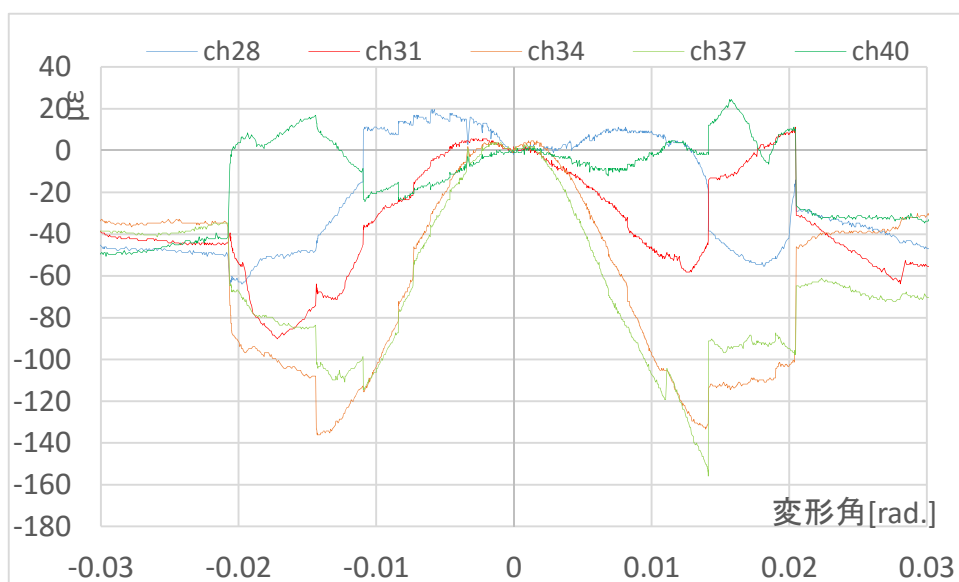
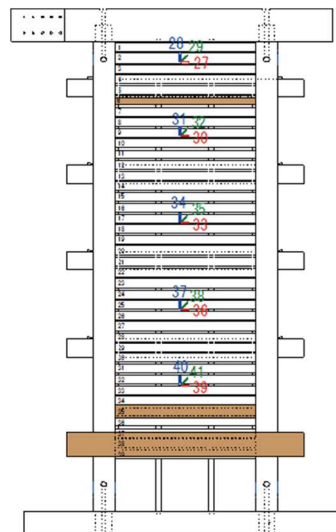
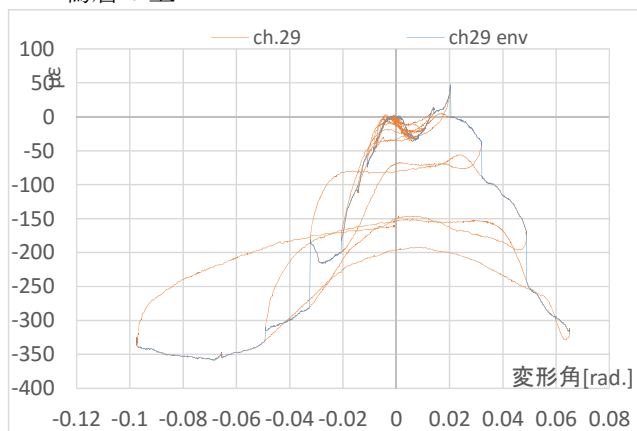


図 4-81 同上拡大図

ひずみ量の大小関係は、 $ch.40 < ch.31 < ch.34 < ch.37$  となっている。木摺空きの漆喰が切れるまでは、31,34（中央付近）の値が大きく発揮されている。

・表側（漆喰面） 軸  $45^\circ$

・鴨居の上



・鴨居の下

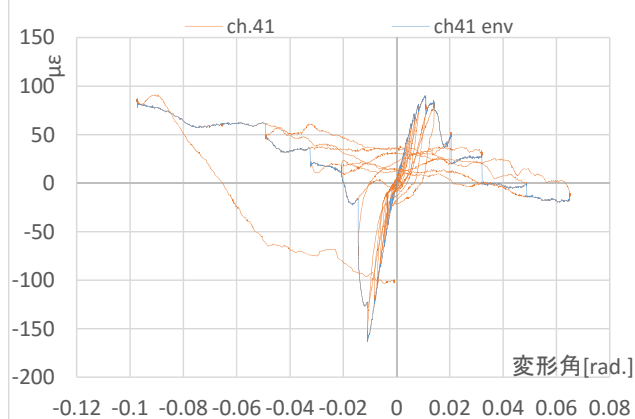
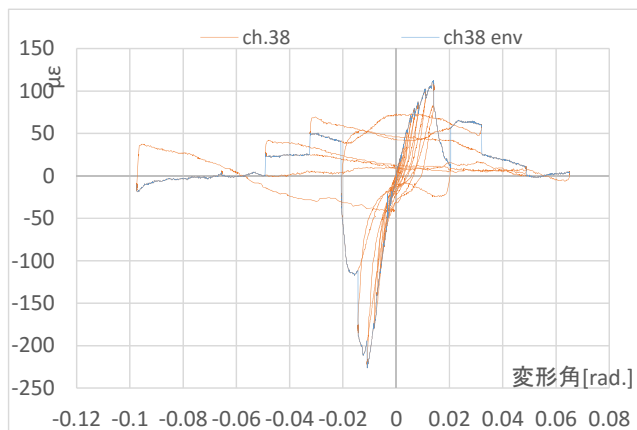
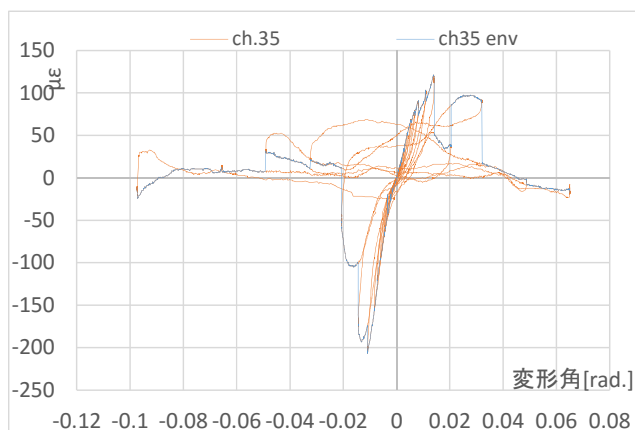
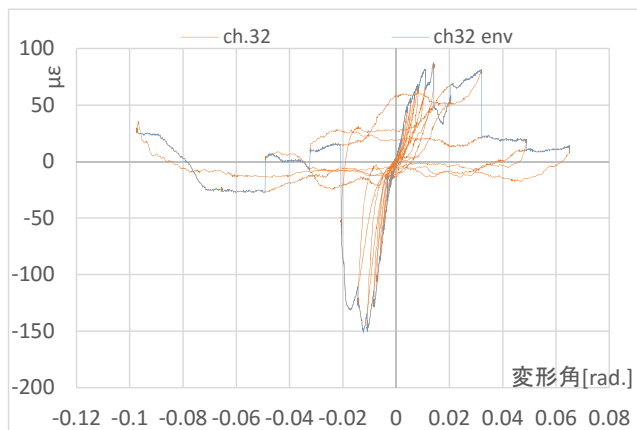


図 4-82 木摺漆喰試験体 漆喰層ひずみゲージ 45 度方向

・表側 軸 45° 方向 全ゲージ 包絡線比較

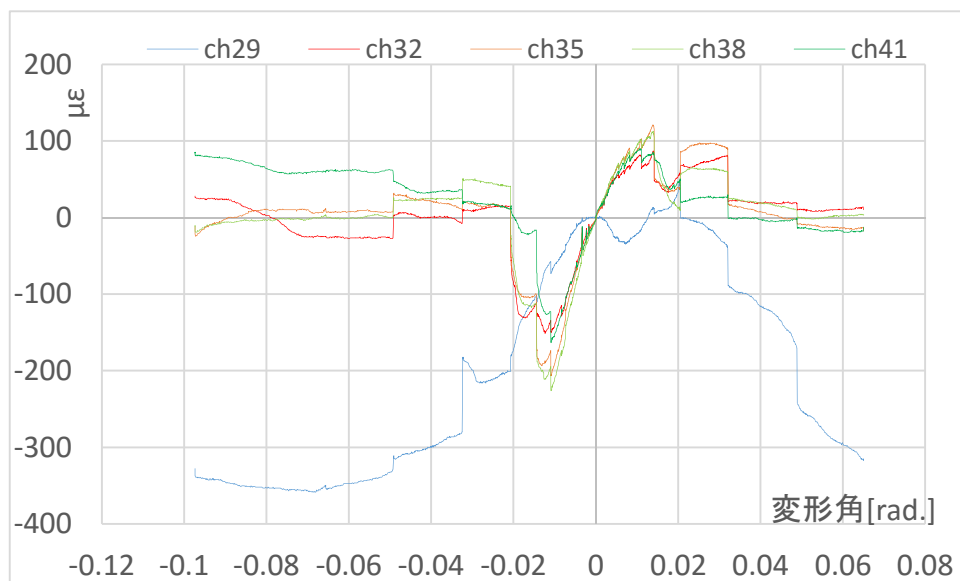


図 4-83 漆喰層 45 度方向 比較

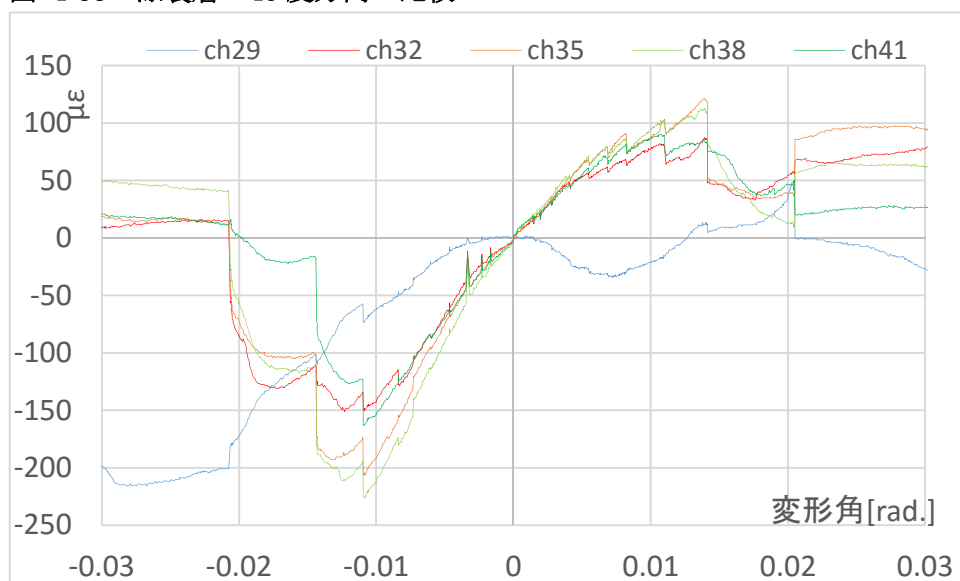


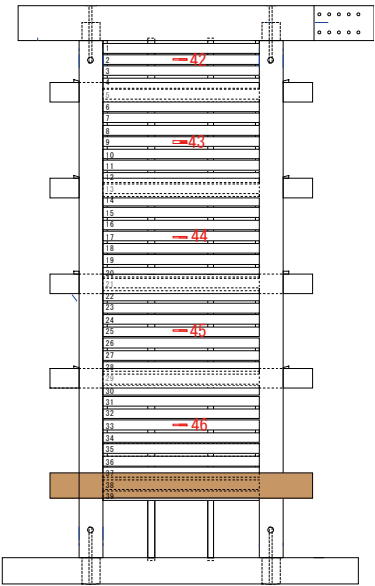
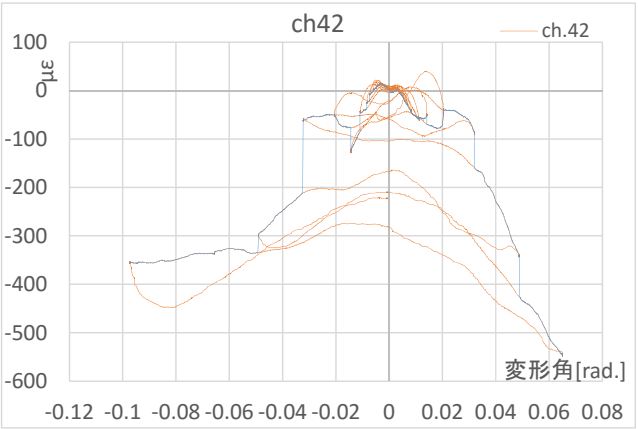
図 4-84 同上 拡大図

45 度方向の試験結果からは、鴨居上の Ch.29 以外は同種の傾向を持ち、正方向では引張力が、負方向では圧縮力が作用していることが確認された。最大耐力時の-1/75,+1/60 付近でひずみ量が減少する傾向は他と同様であり、漆喰の剥離、または幅木の破壊によって応力伝達機構が変化したと推測される。一方で、最大耐力時までのひずみ量の大小を確認すると、Ch.32,41, と Ch.35,38 がそれぞれ類似したひずみ量（前者<後者）となっている。これらは、幅木—鴨居間の壁の中心からそれぞれ対称な位置にある。破壊の進行の観察からは、漆喰と壁の接合部分（木摺空き）の漆喰は中心部からの距離に反比例して破壊する傾向が見られたが、本結果もその傾向を示唆していると推定される。

一方で鴨居上の小壁 Ch.29 では、初期は正負共に圧縮力が作用している。1/120rad.付近からは正方向のひずみは引張に反転しているため、鴨居下の壁との接合部分の剛性等が影響していることが推測される。

裏側（木摺面）

- ・裏側（木摺面） 長軸方向
- ・鴨居の上



- ・鴨居の下

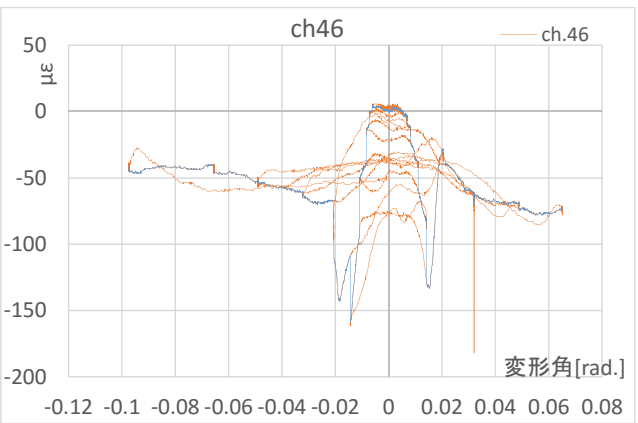
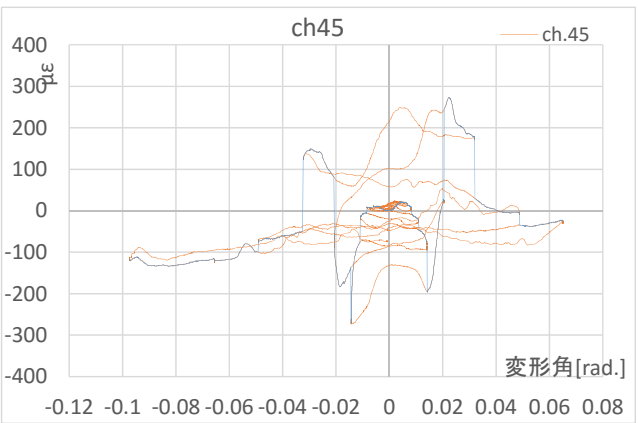
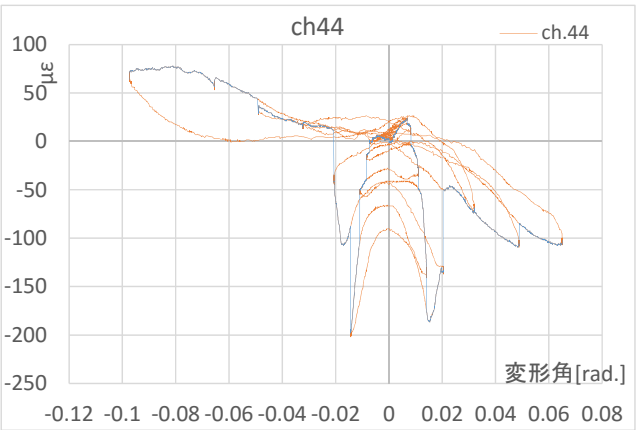
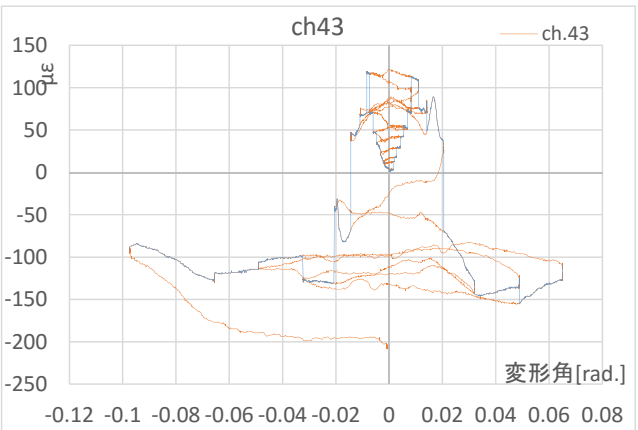


図 4-85 木摺漆喰試験体 木摺ひずみゲージ 長軸方向

・裏側（木摺面） 長軸方向 全ゲージ比較 包絡線

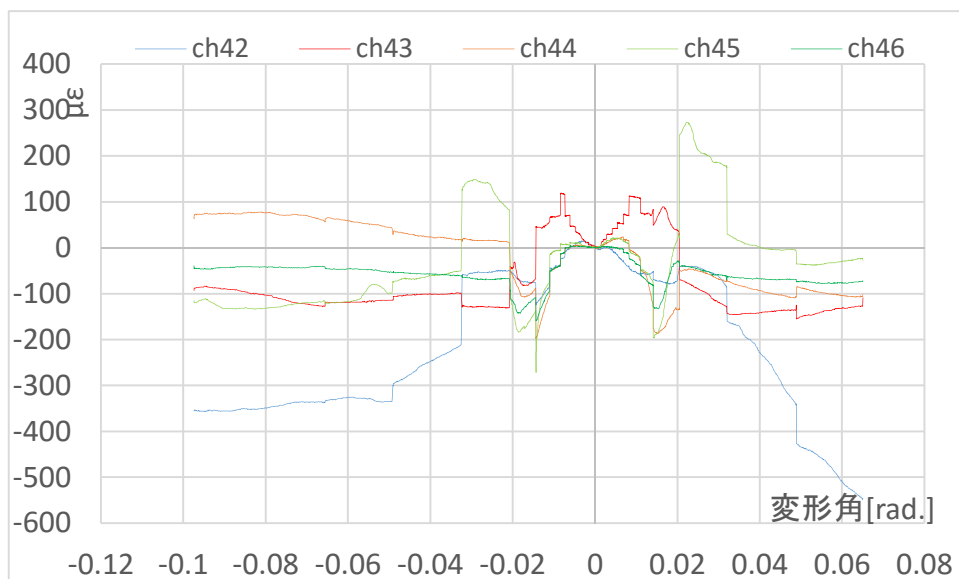


図 4-86 木摺面 長軸方向ひずみ 比較

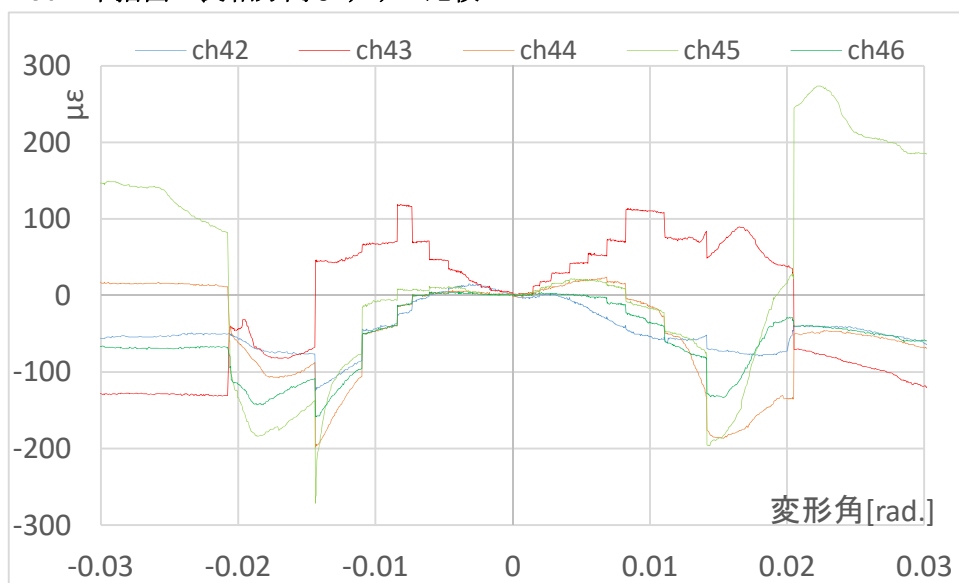


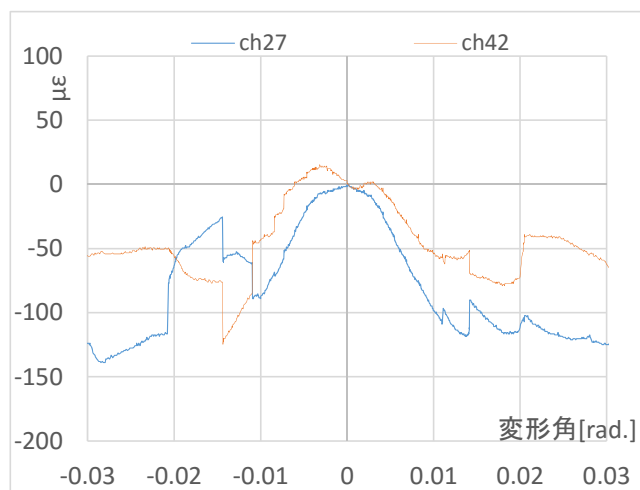
図 4-87 木摺面 木摺長軸方向ひずみ 拡大図

正負共に初期から引張応力が作用していたが、鴨居直下の Ch.43 は特に値が大きい．これ以外の部位では軸方向力の影響は相対的には小さいと考えられる．その後、Ch.42,46 では 1/300rad.付近から、Ch.44,46 は 1/120rad.付近から圧縮力が作用している．漆喰層上のひずみと同様、木摺のひずみに関しても、最大耐力到達時で挙動が大きく変化しており、作用していた圧縮力が減少している．この時点での試験体の主な変化は幅木—鴨居間の漆喰の剥離と推定されるため、漆喰の剥離によって木摺への応力の伝達が減少したと推測される．



表（漆喰）と裏（木摺）の対応する位置のひずみゲージ比較 長軸方向〔上から下の順〕

・鴨居の上



・鴨居の下

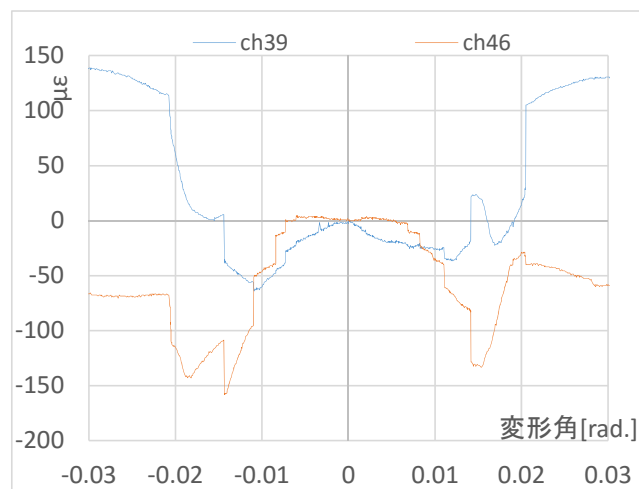
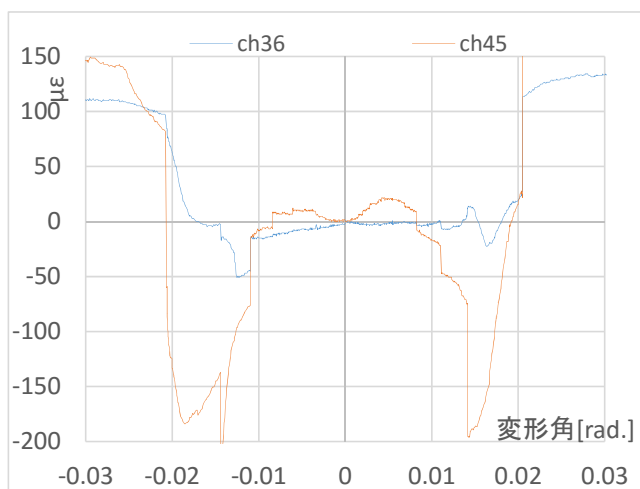
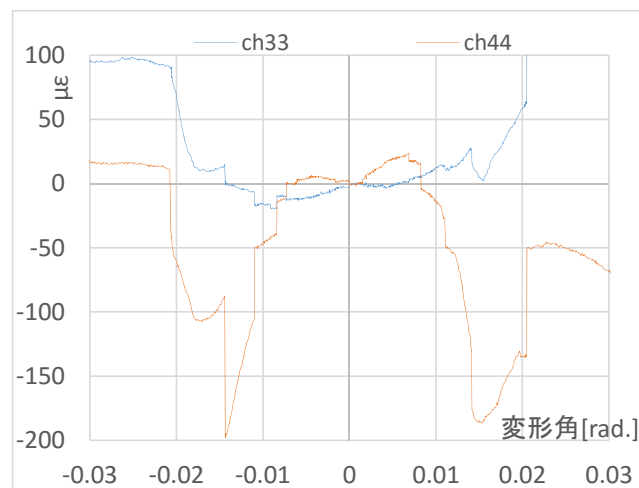
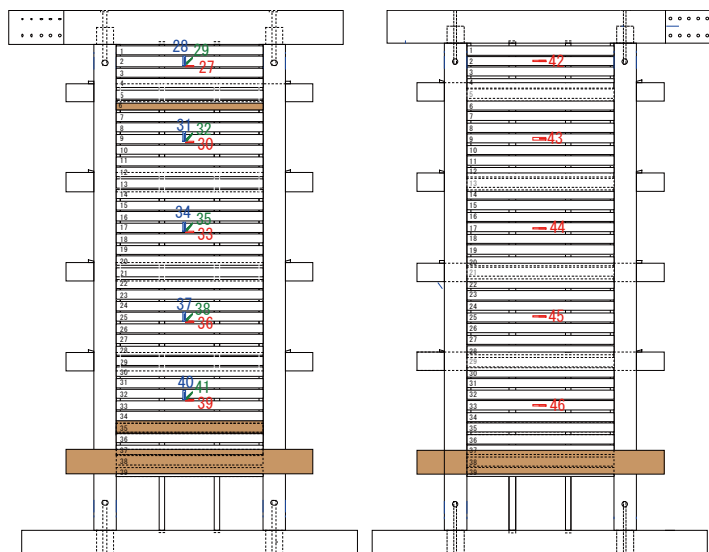
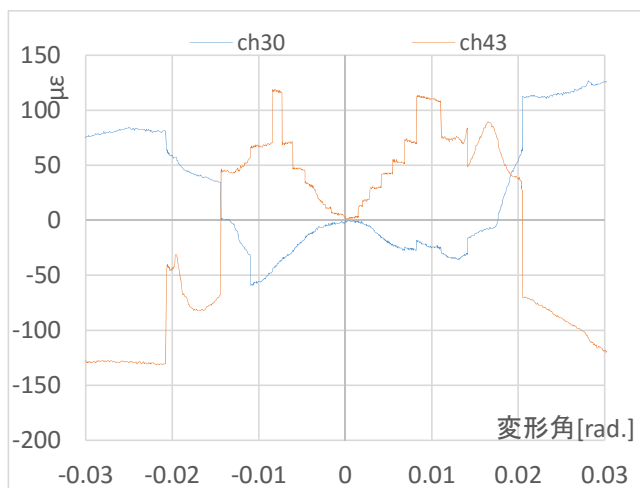


図 4-88 木摺漆喰試験体 ひずみゲージ 同位置表裏の比較

#### 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

どの位置でも、最大耐力経過後にひずみの分布傾向が変化していることが分かる。また、正負どちらの加力方向においても、長軸方向の木摺には初期には引張力が作用しており、一方で木摺面には圧縮力が作用している傾向が確認された。

4.3.4. 試験結果の考察

4.3.4.1. 試験体どうしの比較

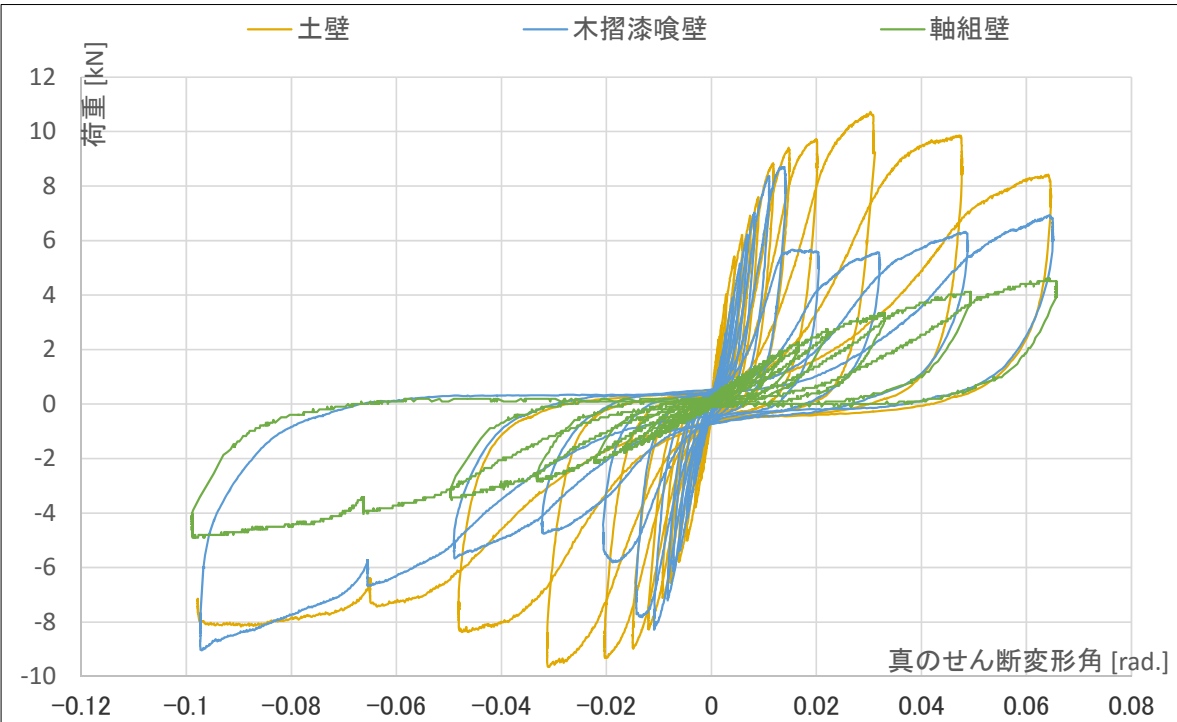


図 4-89 試験結果の比較

図 4-90 試験体特性値の比較

| 試験体種類                                 | 特性値<br>unit | 最大耐力                   |                            | 最大耐力時<br>変形角         |                        | 降伏<br>耐力             |                        | 降伏<br>変形角              |                        | 終局<br>耐力               |                        | 完全弾塑性<br>降伏点変形角        |                        | 終局<br>変形角              |                        | 弾性剛性<br>K<br>kN/rad. | 1/120rad.時<br>耐力<br>P <sub>1/120</sub><br>kN | 塑性率<br>μ | 構造特性<br>係数<br>Ds |
|---------------------------------------|-------------|------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|--|----------|------------------|
|                                       |             | P <sub>max</sub><br>kN | δ P <sub>max</sub><br>rad. | P <sub>y</sub><br>kN | δ <sub>y</sub><br>rad. | P <sub>u</sub><br>kN | δ <sub>v</sub><br>rad. | δ <sub>u</sub><br>rad. | δ <sub>v</sub><br>rad. | δ <sub>u</sub><br>rad. | δ <sub>v</sub><br>rad. | δ <sub>u</sub><br>rad. | δ <sub>v</sub><br>rad. | δ <sub>u</sub><br>rad. | δ <sub>v</sub><br>rad. |                      |  |          |                  |
| 軸組<br>※終局変形<br>1/15rad.               | 正           | 4.61                   | 0.065                      | 2.71                 | 0.024                  | 4.13                 | 0.036                  | 0.067                  | 0.036                  | 0.067                  | 0.036                  | 0.067                  | 0.036                  | 0.067                  | 0.036                  | 114                  | 1.37   | 1.84     | 0.61             |
|                                       | 負           | 4.02                   | 0.066                      | 2.37                 | 0.027                  | 3.51                 | 0.040                  | 0.067                  | 0.040                  | 0.067                  | 0.040                  | 0.067                  | 0.040                  | 0.067                  | 0.040                  | 89                   | 0.98   | 1.69     | 0.65             |
|                                       | 平均          | 4.31                   | 0.065                      | 2.54                 | 0.025                  | 3.82                 | 0.038                  | 0.067                  | 0.038                  | 0.067                  | 0.038                  | 0.067                  | 0.038                  | 0.067                  | 0.038                  | 102                  | 1.18   | 1.76     | 0.63             |
| 木摺漆喰<br>※終局変形<br>1/30rad.             | 正           | 8.69                   | 0.016                      | 5.69                 | 0.007                  | 6.10                 | 0.008                  | 0.033                  | 0.008                  | 0.033                  | 0.008                  | 0.033                  | 0.008                  | 0.033                  | 0.008                  | 768                  | 6.49   | 4.15     | 0.37             |
|                                       | 負           | 8.28                   | 0.014                      | 5.27                 | 0.007                  | 5.72                 | 0.007                  | 0.034                  | 0.007                  | 0.034                  | 0.007                  | 0.034                  | 0.007                  | 0.034                  | 0.007                  | 784                  | 6.07   | 4.60     | 0.35             |
|                                       | 平均          | 8.49                   | 0.015                      | 5.48                 | 0.007                  | 5.91                 | 0.008                  | 0.033                  | 0.008                  | 0.033                  | 0.008                  | 0.033                  | 0.008                  | 0.033                  | 0.008                  | 776                  | 6.28   | 4.38     | 0.36             |
| 土壁<br>※終局変形<br>0.8P <sub>max</sub> 時点 | 正           | 10.72                  | 0.033                      | 6.78                 | 0.008                  | 9.42                 | 0.011                  | 0.050                  | 0.011                  | 0.050                  | 0.011                  | 0.050                  | 0.011                  | 0.050                  | 0.011                  | 836                  | 6.87   | 4.44     | 0.36             |
|                                       | 負           | 9.64                   | 0.033                      | 5.34                 | 0.006                  | 8.29                 | 0.009                  | 0.050                  | 0.009                  | 0.050                  | 0.009                  | 0.050                  | 0.009                  | 0.050                  | 0.009                  | 887                  | 6.54   | 5.38     | 0.32             |
|                                       | 平均          | 10.18                  | 0.033                      | 6.06                 | 0.007                  | 8.85                 | 0.010                  | 0.050                  | 0.010                  | 0.050                  | 0.010                  | 0.050                  | 0.010                  | 0.050                  | 0.010                  | 861                  | 6.71   | 4.91     | 0.34             |

| 試験体  |    | P <sub>y</sub> | P <sub>u</sub> *(0.2/Ds) | P <sub>max</sub> * 2/3 | P <sub>1/120</sub> | ばらつき係数 1       |                  | ばらつき係数 0.75    |                  |
|------|----|----------------|--------------------------|------------------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
|      |    |                |                          |                        |                    | P <sub>0</sub> | 壁倍率<br>(0.1以下切捨) | P <sub>0</sub> | 壁倍率<br>(0.1以下切捨) |
| 軸組   | 正  | 2.71           | 1.35                     | 3.07                   | 1.37               | 1.35           | 0.76             | 0.7            | 1.01             |
|      | 負  | 2.37           | 1.08                     | 2.68                   | 0.98               | 0.98           | 0.55             | 0.5            | 0.74             |
|      | 平均 | 2.54           | 1.22                     | 2.87                   | 1.18               | 1.18           | 0.66             | 0.6            | 0.88             |
| 木摺漆喰 | 正  | 5.69           | 3.30                     | 5.80                   | 6.49               | 3.30           | 1.85             | 1.8            | 2.48             |
|      | 負  | 5.27           | 3.28                     | 5.52                   | 6.07               | 3.28           | 1.84             | 1.8            | 2.46             |
|      | 平均 | 5.48           | 3.29                     | 5.66                   | 6.28               | 3.29           | 1.84             | 1.8            | 2.47             |
| 土壁   | 正  | 6.78           | 5.29                     | 7.15                   | 6.87               | 5.29           | 2.97             | 2.9            | 3.97             |
|      | 負  | 5.34           | 5.18                     | 6.43                   | 6.54               | 5.18           | 2.90             | 2.9            | 3.88             |
|      | 平均 | 6.06           | 5.24                     | 6.79                   | 6.71               | 5.24           | 2.94             | 2.9            | 3.93             |

※:各試験体の4指標値のうち最小値

※ ばらつき係数は、試験体1体のため、1、および0.75(旧規定)の2通りを併記した。

※ 低減係数 α=1と仮定した。そのため、P<sub>0</sub> = P<sub>u</sub>(短期許容せん断耐力)

※ 壁長は柱真々で0.91m

※ 壁倍率は、P<sub>u</sub>/ 壁長(m)\*1.96 により算出した

※ 平均は、4指標の平均値の最小値に対して、正負と同様の手続きで壁倍率を算出した。

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

最大耐力は、正負平均で軸組試験体 4.3kN に対して木摺漆喰が 8.49 で約 2 倍、土壁が 10.18 と約 2.5 倍を記録した。弾性剛性では軸組試験体に対して木摺漆喰は 7.5 倍、土壁は 8.5 倍となっている。最大耐力時の変形角は、軸組試験体は荷重が低下しなかったのに対して、木摺漆喰では+1/60rad. -1/75rad., 土壁で 1/30rad.であった。壁倍率は、ばらつき係数を乗じない場合では、軸組壁 0.6, 木摺漆喰壁 1.8, 土壁 2.9 であった。

軸組壁は、めり込みによる貫や根太掛けの損傷が見られるものの、実験終了の 1/10rad. まで荷重を増加させた。

一方、木摺漆喰壁は初期は土壁と類似した剛性を示すが、最大耐力後の荷重は約 0.6 倍まで荷重が低下し、脆性的な挙動を示した。しかしその後も荷重は漸増し、軸組の 1.5 倍以上の荷重を発揮しており、漆喰以外の釘などは大変形まで機能していると考えられる。

### 木摺漆喰壁と軸組の比較による漆喰の寄与率の検討

軸組壁、漆喰壁其々の包絡線から、木摺漆喰部分の寄与率を推定した。以下、変形角は真のせん断変形角である。図中の正は試験体押し方向、負は試験体引き方向の加力であることを示す。

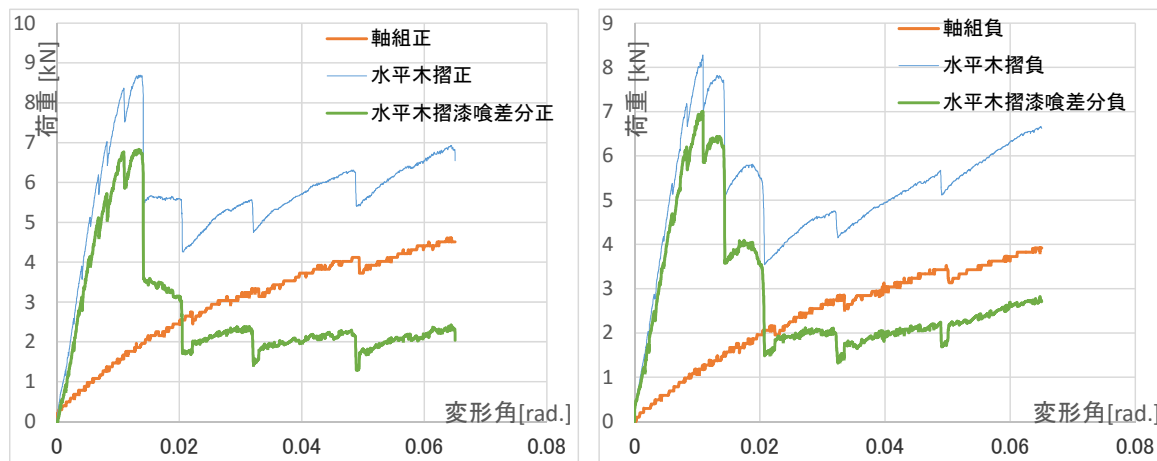


図 4-91 木摺漆喰壁と軸組壁の比較による木摺漆喰部分の荷重の推定

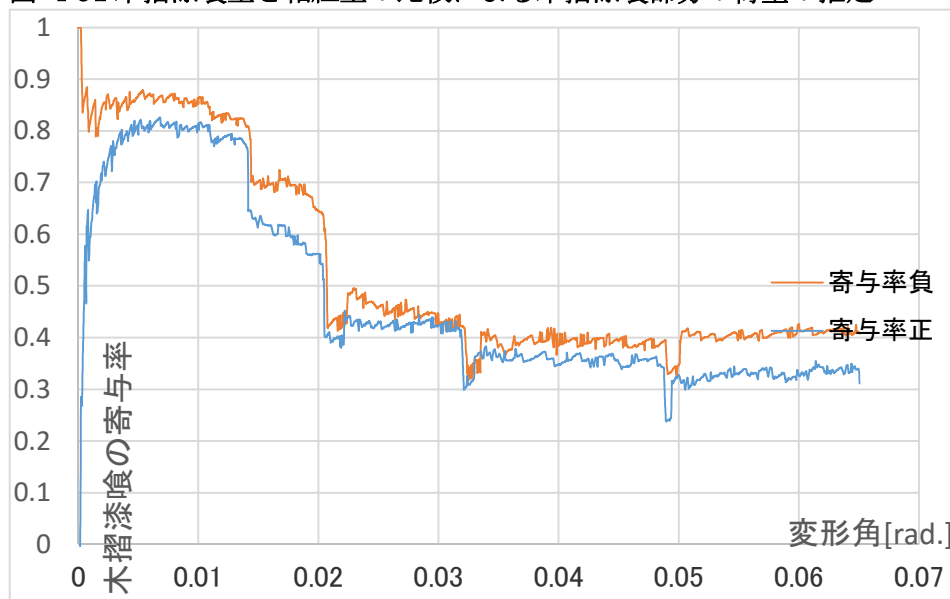


図 4-92 軸組を除いた木摺漆喰部分の荷重寄与率

木摺漆喰部分の負担荷重は、壁の最大耐力発現時に最大 7kN でこの時点までは 80%以上の荷重を負担している。最大耐力経過後は、荷重への寄与率（負担率）は 80%から 40%程度まで低下するが、1/15rad. に至っても、荷重は減少せず、一定か微増傾向にあり、これは漆喰のせん断抵抗が失われた後も、釘接合部などが耐力を負担していることを示していると考えられる。木摺壁の壁倍率算定の項で検討したが、バイリニアモデルを作る際に最大耐力経過後 8 割となった点または 1/15rad. を限界とみなしており、そのまま適用すると木摺漆喰壁は極めて小変形角までしか評価されない。木摺漆喰壁の場合、仕様によっては最大耐力経過後も荷重を負担しうると推測される。4.4.2 では荷重は負担するが落下を考慮して 1/30rad. を変形限界として算出した場合で壁倍率 1.4（ばらつき 0.75）となった。ただし、最大耐力経過後は木摺空きの漆喰がかなり切れているため、落下の危険や面外方向の性能、侍従の支持などを併せて検討する必要がある。



4.3.4.2. 既往研究結果との比較

既往研究結果と本研究の実験結果の比較を行った。上述のとおり、木摺漆喰壁の力学メカニズムは、軸部の寸法が同一の場合、①真壁か大壁か、②木摺の向き（水平か斜め）、によって分類可能であると考えられる。

そのため、本論文では、i) 真壁・水平木摺、ii) 大壁・水平木摺、iii) 大壁・斜め木摺、iv) その他、に既往研究を分類し、それぞれにおける荷重変形関係・破壊の進行について比較検討を行い、実施した実験結果と比較した。斜め木摺の比較は4.4節末に付す。大壁水平木摺の比較は本章4.2節に記載した。文献番号は本章文献リストと対応。

真壁・水平木摺壁の既往研究と本研究の実験結果の比較

既往研究のうち、①真壁、②水平木摺、を満たす実験報告は少なく、以下の3例にとどまる。

文4-5：田邊平學，勝田千利，後藤一雄，「交番水平荷重を受くる木造有壁骨組(真壁)の実験（耐震耐風木構造に関する研究 第6報）」，建築學會論文集，9号，pp130-9，1938.4

文4-36：国土交通省，「景観計画区域等における伝統的建築物の耐震性や防耐火性の簡易な評価・設計手法等の検討調査報告書」，国土交通省住宅局都市・地域整備局，pp37-112，2008.3

文4-40：伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会，平成24年度報告書，pp 732-759，2013

ただし、文4-5の試験体では、鉄筋筋違が挿入されている。また文献36の試験体は、柱頭柱脚接合部の仕様が本実験と類似のDボルト接合である。以上より、文献36と40の結果との比較を中心に検討を行う。以下に、比較を行う試験体の仕様の対照表を示す。

表 4-19 真壁水平木摺壁 本章の実験と既往研究の仕様の比較（○はその試験体で使われていることを示す）

| 試験体仕様比較(概要) |          |             |        |           |           |        |           |           |           |            |
|-------------|----------|-------------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 実験名称        |          | 文献36        |        |           |           |        | 文献40      |           |           | 旧馬場邸 壁実験   |
| 試験体名称       |          | 36-1-1      | 36-1-2 | 36-2-1    | 36-4-1    | 36-4-2 | 40-LPW1-2 | 40-LPW2-2 | 40-LPW4-2 | 馬場邸軸組壁(実大) |
| 軸組に対する納まり*  |          | -           | -      | -         | 真壁        | 真壁     | 真壁        | "         | "         | -          |
| 木摺の方向       |          | -           | -      | -         | 水平        | 水平     | 水平        | "         | "         | 真壁         |
| 設置面         | 片面/両面    | -           | -      | -         | 片面        | 片面     | 片面        | "         | 両面        | -          |
|             | 裏面の仕様    | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | 表裏同じ      | 片面         |
| 漆喰塗りの有無     |          | -           | -      | -         | ○         | ○      | -         | ○         | ○         | -          |
| 軸組の寸法       | 幅[mm]    | 910[1820]** | 1820   | 910[1820] | 910[1820] | 1820   | 1820      | "         | "         | 910        |
|             | 高さ[mm]   | 2850        | "      | "         | "         | "      | 2730      | "         | "         | 2783       |
| 開口部         |          | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | -         | ○          |
| その他の付加      | 貫        | -           | -      | ○         | -         | -      | ○         | ○         | ○         | ○          |
|             | 根太掛      | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | -         | ○          |
|             | 中柱***    | ○           | -      | ○         | ○         | -      | -         | -         | -         | -          |
|             | 間柱       | -           | -      | -         | ○         | ○      | ○         | ○         | ○         | ○          |
|             | 巾木       | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | -         | ○          |
|             | 付鴨居      | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | -         | ○          |
|             | 筋違       | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | -         | -          |
|             | 下見板      | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | -         | -          |
|             | 板張       | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | -         | -          |
|             | 瓦張(なまこ壁) | -           | -      | -         | -         | -      | -         | -         | -         | -          |

\*軸組、線材のみで構成されている壁は真壁・大壁の区別はないとして「-」とした。  
\*\*括弧内は全体のフレームの幅を示す。「910[1820]」は、全体が真々1820mmで、そのうち中柱より左が910mmの壁として想定されているという意味を示す。  
\*\*\*中柱は、壁軸組の左右の主柱と同寸法の柱が間に存在しているものを指し、壁下地としての間柱と区別した。

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 真壁水平木摺実験 試験体仕様の比較

表 4-20 比較する試験体の仕様の比較

試験体仕様比較(詳細)

| 実験名称                        |          | 文献36              |        |         |        |        | 文献40          |             |           | 旧馬場邸 壁実験             |                        |
|-----------------------------|----------|-------------------|--------|---------|--------|--------|---------------|-------------|-----------|----------------------|------------------------|
| 試験体名称                       |          | 36-1-1            | 36-1-2 | 36-2-1  | 36-4-1 | 36-4-2 | 40-LPW1-2     | 40-LPW2-2   | 40-LPW4-2 | 馬場邸軸組壁(実大)           | 馬場邸木摺壁(実大)             |
| 軸組(真々)                      |          | 1820*2850         | 〃*     | 〃       | 〃      | 〃      | 1820*2730     | 〃           | 〃         | 1820*2782.5          | 〃                      |
| 柱                           |          | 120*120           | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | 120*120       | 〃           | 〃         | 120*120              | 〃                      |
| 土台                          |          | 120*120           | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | 120*120       | 〃           | 〃         | 135*135              | 〃                      |
| 桁                           |          | 120*180           | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | 120*120       | 〃           | 〃         | 120*180              | 〃                      |
| 中柱                          |          | 120*120           | -**    | 120*120 | 〃      | -      | -             | 〃           | 〃         | -                    | -                      |
| 接合部<br>[左, 中, 右の柱と土台・桁の接合部] | 柱桁 接合部   | 長ほぞ 30*120        | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | 長ほぞ 込み栓       | 〃           | 〃         | 長ほぞ 90*30*90         | 〃                      |
|                             | 柱桁 金物    | Dボルトφ30, M16[150] | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | -             | 〃           | 〃         | Dボルトφ30, M12[100]    | 〃                      |
|                             | 柱土台 接合部  | 長ほぞ 30*90         | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | 長ほぞ 込み栓       | 〃           | 〃         | 長ほぞ 135*30*90        | 〃                      |
|                             | 柱土台 金物   | Dボルトφ30, M16[150] | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | -             | 〃           | 〃         | Dボルトφ30, M12[145]    | 〃                      |
| 貫                           | 形式       | -                 | -      | 通し      | -      | -      | 通し            | 〃           | 〃         | 通し                   | 〃                      |
|                             | 寸法       | -                 | -      | 120*27  | -      | -      | 120*24        | 〃           | 〃         | 100*15               | 〃                      |
|                             | 本数       | -                 | -      | 5       | -      | -      | 4             | 〃           | 〃         | 4                    | 〃                      |
|                             | 材種       | -                 | -      | スギ      | -      | -      | スギ            | 〃           | 〃         | スギ                   | 〃                      |
| 楔                           | 形式       | -                 | -      | 両面      | -      | -      | 両面            | 〃           | 〃         | 両面                   | 〃                      |
|                             | 材種       | -                 | -      | ヒノキ     | -      | -      | ヒノキ           | 〃           | 〃         | 堅木                   | 〃                      |
|                             |          |                   |        |         |        |        |               |             |           |                      |                        |
| 間柱                          | 寸法       | -                 | -      | -       | 30*75  | 〃      | 90*24 [貫合欠]   | 〃           | 〃         | -                    | 30*60                  |
|                             | 接合       | -                 | -      | -       | 2*N75  | 〃      | 大入れ15         | 〃           | 〃         | -                    | ほぞ差し                   |
|                             | 本数       | -                 | -      | -       | 1      | 3      | 3             | 〃           | 〃         | -                    | 2                      |
|                             | 材種       | -                 | -      | -       | スギ     | 〃      | スギ            | 〃           | 〃         | -                    | スギ                     |
| 木摺                          | 方向       | -                 | -      | -       | 水平     | 〃      | 水平            | 〃           | 〃         | -                    | 水平                     |
|                             | 寸法       | -                 | -      | -       | 40*7   | 〃      | 30*8          | 〃           | 〃         | -                    | 50*8                   |
|                             | 間隔       | -                 | -      | -       | 8      | 〃      | 8             | 〃           | 〃         | -                    | 8                      |
|                             | 枚数***    | -                 | -      | -       | 58     | 〃      | 67            | 〃           | 〃         | -                    | 39                     |
|                             | 材種       | -                 | -      | -       | スギ     | 〃      | スギ            | 〃           | 〃         | -                    | スギ                     |
|                             | 設置面      | -                 | -      | -       | 片面     | 〃      | 片面            | 〃           | 両面        | -                    | 片面                     |
| 木摺釘                         | 種類       | -                 | -      | -       | N32    | 〃      | メッキスクリュー釘2-25 | 〃           | 〃         | -                    | N50                    |
|                             | 間隔       | -                 | -      | -       | 記載なし   | 〃      | 記載なし          | 〃           | 〃         | -                    | 30                     |
|                             | 本数/1枚    | -                 | -      | -       | 2      | 〃      | 記載なし          | 〃           | 〃         | -                    | 2                      |
| 木摺受け材                       | 寸法       | -                 | -      | -       | 30*40  | 〃      | 記載なし [巾40程度]  | 〃           | 〃         | -                    | 20*25                  |
|                             | 材種       | -                 | -      | -       | スギ     | 〃      | 記載なし          | 〃           | 〃         | -                    | スギ                     |
| 受け材釘                        | 種類       | -                 | -      | -       | N75    | 〃      | 記載なし          | 〃           | 〃         | -                    | N50                    |
|                             | 間隔       | -                 | -      | -       | 300    | 〃      | 記載なし          | 〃           | 〃         | -                    | 150 [受け材は貫間のみ]         |
| 漆喰                          | 塗り厚      | -                 | -      | -       | 14     | 〃      | -             | 12[中塗迄]     | 〃         | -                    | 10                     |
|                             | 下葎       | -                 | -      | -       | 麻・釘1本留 | 〃      | -             | 麻・長さ300@300 | 〃         | -                    | 麻360mm, 縦@木摺2枚, 横@木摺受毎 |
|                             | 設置面      | -                 | -      | -       | 片面     | 〃      | -             | 片面          | 両面        | -                    | 片面                     |
| 載荷・固定方式                     |          | 柱脚固定              | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | 載荷式[柱]        | 〃           | 〃         | 柱脚固定                 | 〃                      |
| その他                         | Dボルトのトルク | 196N・mm           | 〃      | 〃       | 〃      | 〃      | -             | 〃           | 〃         | 不明                   | 〃                      |
|                             | 根太掛      | -                 | -      | -       | -      | -      | -             | 〃           | 〃         | 60*130(15mm欠いて柱に釘打ち) | 〃                      |
|                             | 付鴨居      | -                 | -      | -       | -      | -      | -             | 〃           | 〃         | -                    | 27*37                  |
|                             | 巾木       | -                 | -      | -       | -      | -      | -             | 〃           | 〃         | -                    | 18*75                  |

\*「〃」は左のセルと同じ値であることを示す。

\*\*「-」はその部材が存在しないことを示す。

\*\*\*文36試験体における桁直下部の、半割と推定される木摺は含めていない。

比較結果

・1m 当たりの荷重にした比較結果を以下に示す。図中「馬場邸」が本研究試験体である。

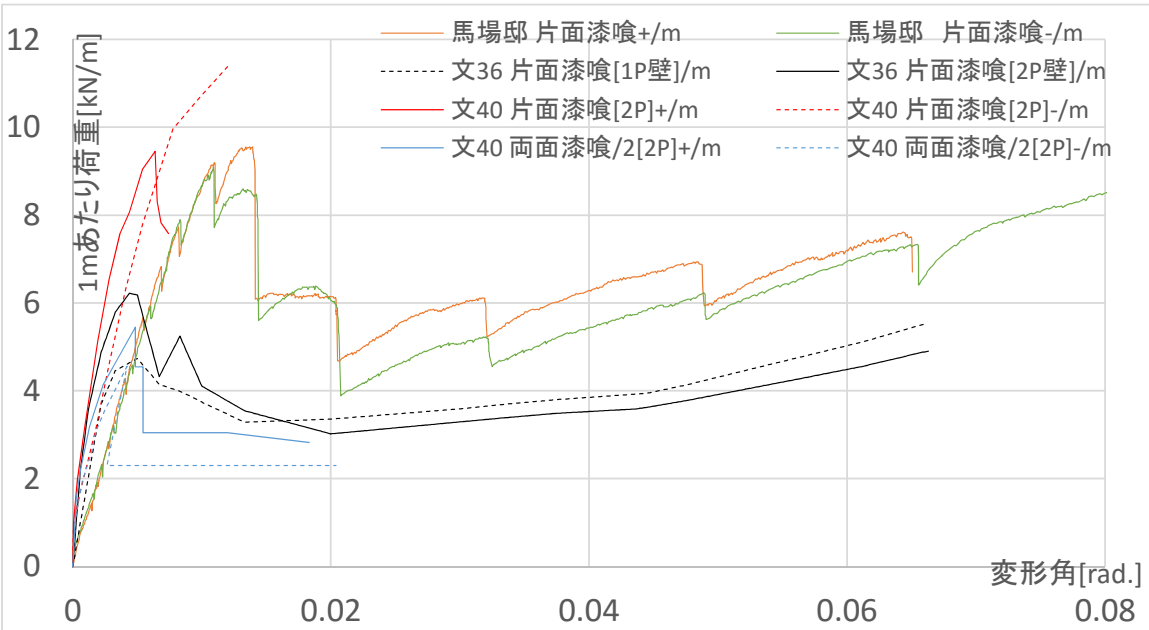


図 4-93 既往研究との比較 真壁水平木摺

最大荷重（時変形角）及び初期剛性を下表にまとめた

表 4-21 真壁水平木摺 既往研究との比較

| Unit           |    | Pmax |           | Pmax時変形角 |           | 初期剛性*    |           |
|----------------|----|------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
|                |    | kN/m | 馬場邸平均との比率 | rad.     | 馬場邸平均との比率 | kN/rad・m | 馬場邸平均との比率 |
| 馬場邸木摺<br>[1P]  | 正  | 9.6  | -         | 0.013    | -         | 946      | -         |
|                | 負  | 9.1  | -         | 0.011    | -         | 1014     | -         |
|                | 平均 | 9.3  | 1         | 0.012    | 1         | 980      | 1         |
| 文36 1P         |    | 4.7  | 0.5       | 0.005    | 0.4       | 1681     | 1.7       |
| 文36 2P         |    | 6.2  | 0.7       | 0.004    | 0.4       | 2481     | 2.5       |
| 文40 片面<br>[2P] | 正  | 9.5  | 1.0       | 0.006    | 0.5       | 2764     | 2.8       |
|                | 負  | 11.4 | 1.2       | 0.012    | 1.0       | 1792     | 1.8       |
|                | 平均 | 10.4 | 1.1       | 0.009    | 0.8       | 2278.2   | 2.3       |
| 文40 両面<br>[2P] | 正  | 5.4  | 0.6       | 0.005    | 0.4       | 2107     | 2.2       |
|                | 負  | 4.6  | 0.5       | 0.004    | 0.3       | 1734     | 1.8       |
|                | 平均 | 5.0  | 0.5       | 0.005    | 0.4       | 1920.5   | 2.0       |

\*[1/600rad.割線剛性]

- ・本研究の試験体と既往研究は、最大荷重記録後の荷重低下の傾向は類似している。
- ・文 40 の結果とは最大値は比較的近い値となっている。ただし、本試験体は他の試験体と異なる点として、試験体下部約 600mm が開口部であり、幅木、鴨居によって漆喰層が拘束されている。
- ・本研究の試験結果は最大荷重時変形角(真 1/80rad.)が最も大きい。他は最小で 1/250rad, 文 40 の正負平均でも 1/100rad.であった。原因の一つとして、四周の拘束に端部の弱い幅木が含まれているため、その損傷の進行によって対角圧縮の効果が減少していた可能性がある。一方、初期剛性は全て馬場邸木摺試験体よりも大であった（1.7~2.8 倍）。
- ・また、元が 2P の試験体の方が荷重が大きい傾向が見られた。

#### 4.3.5. 真壁水平木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の推定と力学モデルの仮定・適用範囲

本節では、本章の実験結果から、本実験の仕様の木摺漆喰壁の水平抵抗要素を抽出し、解析モデルの仮定とその適用範囲を定める。まず、以下に本試験体の破壊の進行を再掲する（詳細は4.3.3の観察記録を参照）。

##### 4.3.5.1. 真壁水平木摺壁の実験結果と破壊の進行

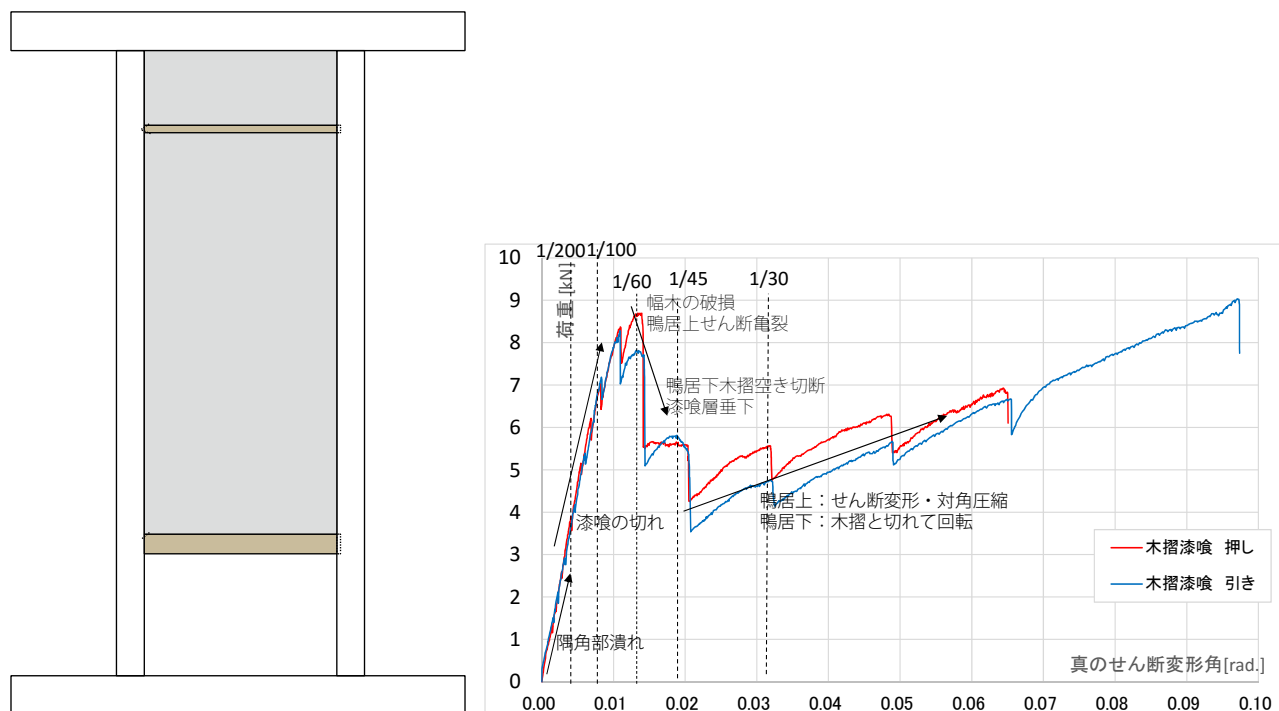


図 4-94 真壁水平木摺壁 試験体模式図（木摺漆喰・鴨居・幅木のみ抽出），荷重変形関係〔真のせん断変形角，図中上部の角度は見かけのせん断変形角との対応を示す。〕

破壊の時系列の進行〔見かけのせん断変形角〕

- ・ +1/300rad. : 幅木右上漆喰端部の小つぶれ
- ・ +1/200rad. : 壁面からの亀裂音の増加
- ・ -1/75 rad. : -最大荷重（8.4kN），幅木の垂下，鴨居上部に初亀裂
- ・ +1/60 rad. : +最大荷重（8.6kN），幅木の垂加
- ・ +1/45 rad. : 壁面の切れる音外周から全体へ。〔全体の漆喰が切れてきた〕

切れる音→粉が落ちる音 裏面の漆喰左右の切れ確認

- ・ -1/30 rad. : 付鴨居より上の面左上がはらみ出し。幅木のずり落ち目視。
- ・ 以降，鴨居上：せん断変形，鴨居下面：木摺と切れて回転。という挙動であった
- ・ 鴨居と幅木の間の漆喰層：最後までせん断亀裂発生なし。

#### 4.3.5.2. 真壁木摺漆喰壁の接合部，部材接触部

上記の破壊の進行を踏まえて，木摺漆喰壁の部材接合部，接触部分を実験に以下に列挙し，各部分の変形性状を示す．軸組部分，木摺と接触する木部材部分，漆喰と接触する部分の3種類に分けて以下に列挙し，その後これを踏まえた水平力抵抗機構の推定を行った．

##### 軸組の抵抗部位

軸組部分のみの抵抗部位を以下に示す．

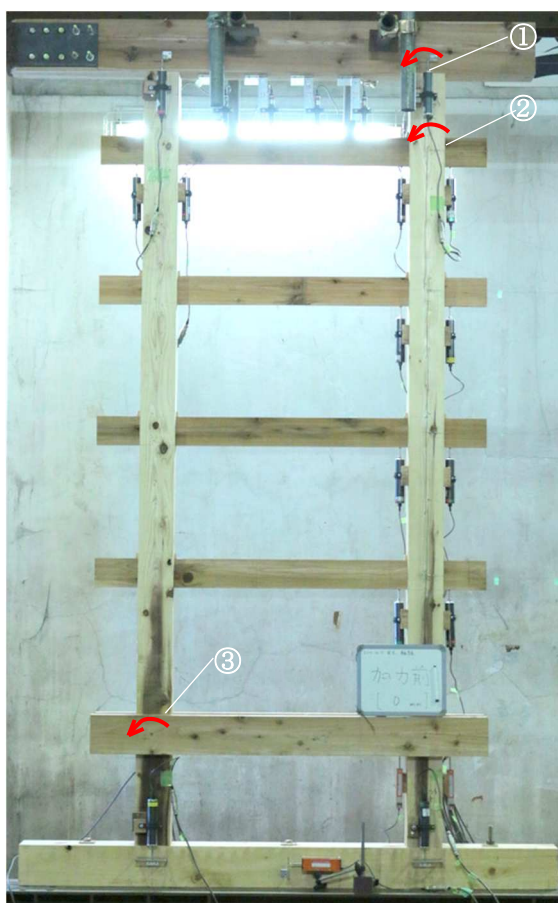


図 4-95 軸組の抵抗部位

##### ■接合部

- ① 柱頭・柱脚接合部：桟のめり込み抵抗，D ボルトによる引張抵抗
- ② 柱－貫接合部：貫のめり込み抵抗
- ③ 柱－根太掛け接合部：柱の根太掛けへのめり込み抵抗

##### ■部材の変形

- ・柱，根太掛け，貫の曲げ変形



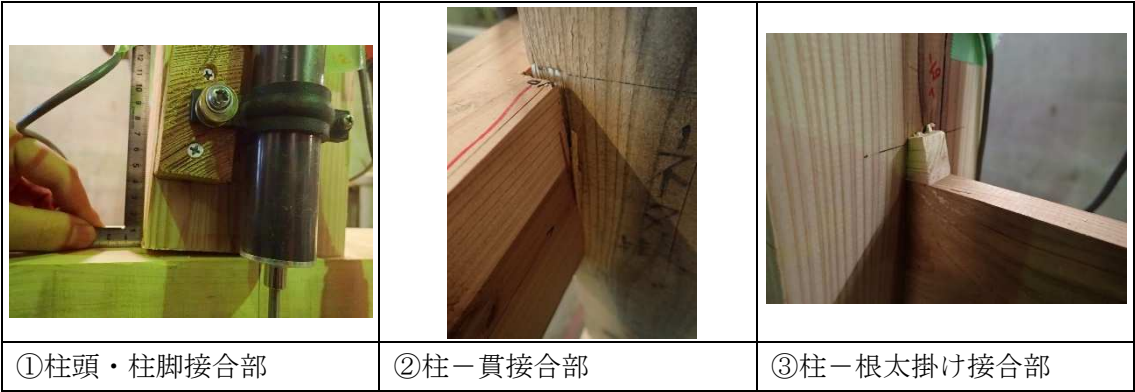


図 4-96 軸組試験体 接合部の変形性状 (+1/20rad. (見かけの変形角))

■変形挙動と破壊性状

・接合部のめり込み抵抗による荷重増加が継続して起こる。-1/10rad.に達しても明確な破壊は見られない。確認された挙動として以下がある。

- ・柱脚部の浮き上がり
- ・柱・ほぞの横架材へのめり込み
- ・根太掛けの柱へのめり込み
- ・貫のめり込み
- ・部材の変形として柱の曲げ変形，貫の曲げ変形，根太掛けの曲げ変形が想定されるが，柱の曲げ変形以外は木摺漆喰壁と軸組壁両方での測定を行っていない。

木摺漆喰壁の木摺及び間柱による抵抗部位



図 4-97 木摺漆喰壁試験体の木摺，木摺取り付け部材の抵抗部位

■接合部

- ④ 木摺一釘 - 木摺受け・間柱接合部：釘 2 本打ち→釘のせん断（偶力による回転）抵抗
- ⑤ 木摺 - 柱側面の接触（大変形時）：柱のめり込み抵抗
- ⑥ 木摺受け一釘 - 柱接合部：@150mm で釘打ち→釘のせん断抵抗・引張抵抗
- ⑦ 貫と間柱の接合部（接触）：貫のめり込み抵抗

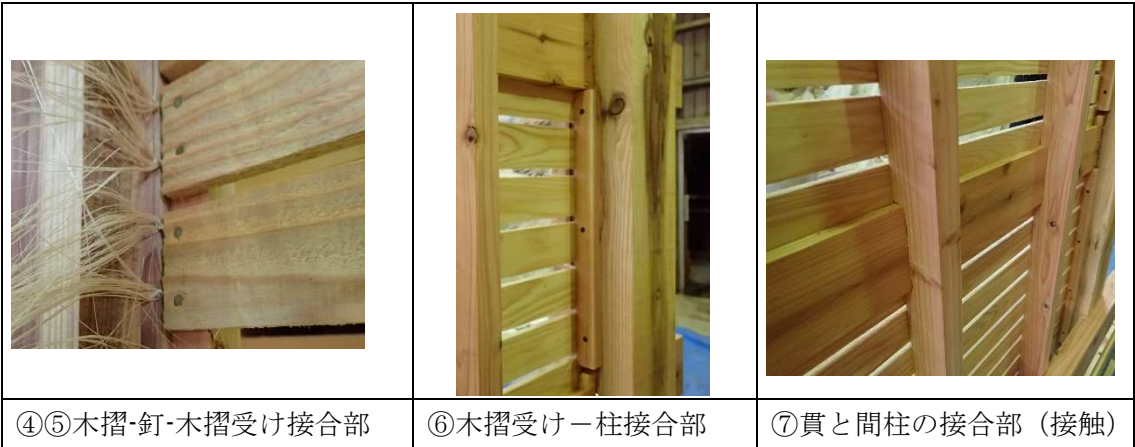


図 4-98 木摺漆喰壁（木摺塗布前）の接合部・接触箇所  
変形後の破壊性状

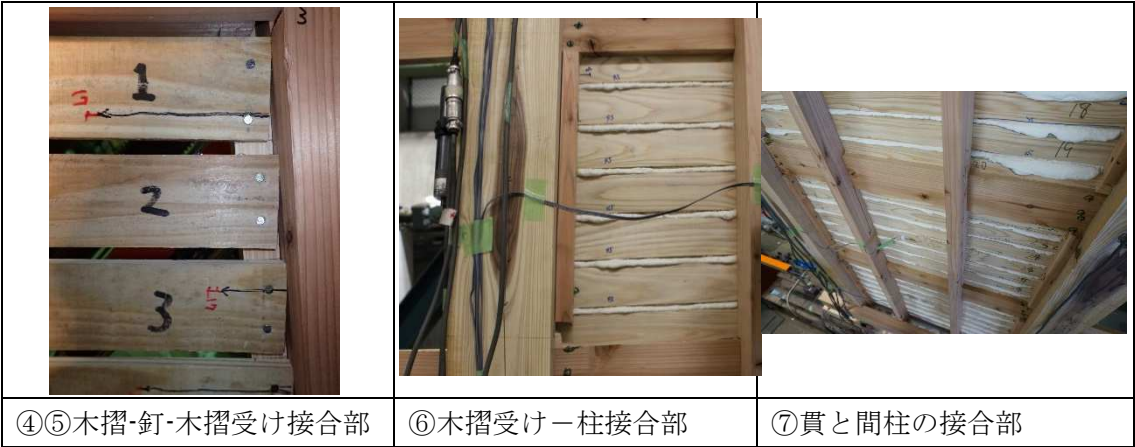


図 4-99 木摺漆喰壁の木摺接触部分の破壊性状（-1/15rad.）※④⑤のみ第5章 Sr2SHN1  
の 1/10rad.変形時の写真を掲載.

■変形挙動と破壊性状

⑥木摺 - 釘 - 木摺受け接合部，⑦大変形時の柱との接触部

- ・木摺は全体のせん断変形に伴って水平に移動する（目視・実験観察）.
  - ・端からの亀裂が発生している（1/60rad.-）
  - ・大変形で木摺端部と柱側面が接触し，柱のめり込みが発生する可能性がある（解体観察）.
- ただしめりこみ痕は限定的であった

⑧木摺受け一柱接合部

- ・木摺受けは約 2mm 柱から引き抜け．木摺と柱側面の接触によるめり込み抵抗の影響か.

⑨貫と間柱

- ・間柱の変形に伴って貫は間柱にめり込む挙動を示した．（目視・実験観察）

・部材の変形挙動としては，木摺，木摺受け，間柱，貫が考えられるが，後述の通り無視できるものと仮定する.

漆喰との接触部に関する抵抗部位



図 4-100 木摺漆喰壁の漆喰との接合部・接触部による抵抗部位

- ⑧鴨居 - 柱接合部：右端部桷接合，左端部斜め釘打ち  
→引張・圧縮抵抗
- ⑨幅木 - 柱接合部：右端部桷接合，左端部斜め釘打ち  
→引張抵抗・圧縮抵抗
- ⑩漆喰層 - 木摺空き漆喰の接合部：本来は一体だが，漆喰による接合部と見なす  
→漆喰のせん断抵抗
- ⑪漆喰層 - 柱の接触部：漆喰層の拘束
- ⑫漆喰層 - 幅木の接触部：漆喰層の拘束，幅木端部への圧縮抵抗
- ⑬漆喰層 - 鴨居の接触部：漆喰層の拘束，鴨居端部への圧縮抵抗
- ⑭漆喰層 - 梁の接触部：漆喰層の拘束
  
- ⑮木摺 - 木摺空き漆喰の接触部：（木摺空きが縮むことによる）木摺・漆喰の圧縮抵抗
- ⑯木摺 - 漆喰層の接触部：漆喰の付着抵抗
- ⑰木摺 - 漆喰 - 柱側面の接触部：漆喰の圧縮抵抗
- ⑱漆喰層のせん断抵抗・圧縮抵抗：せん断変形に伴う対角の圧縮抵抗



## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

真壁水平木摺壁：部位ごとの破壊の進行と特徴の整理

・漆喰層：鴨居と梁の間



図 4-101 加力前

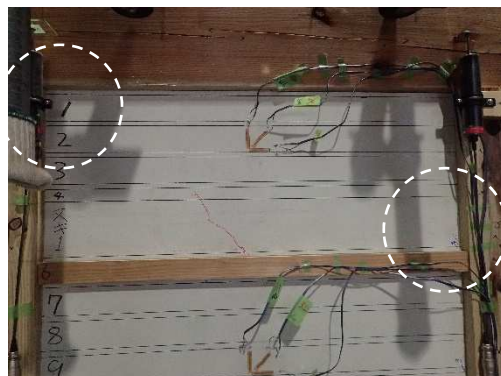


図 4-102 +1/60rad.

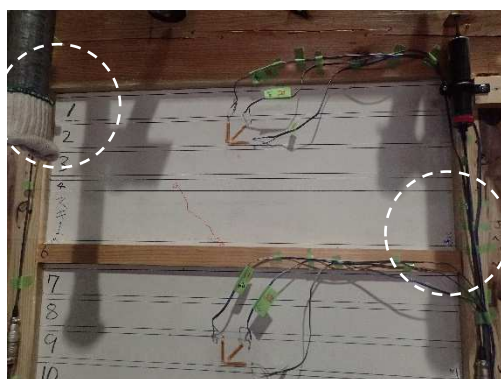


図 4-103 -1/60rad.

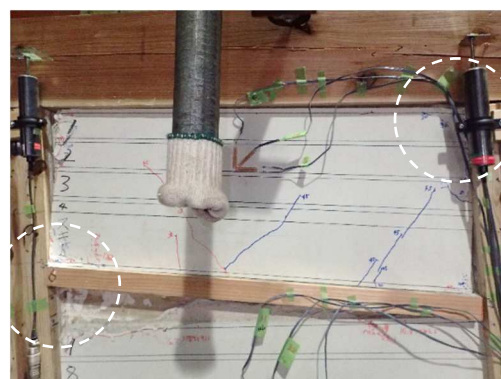


図 4-104 終局 (-1/10rad.)



図 4-105 解体後 漆喰付着状況〔中心部は漆喰が切れず残存〕

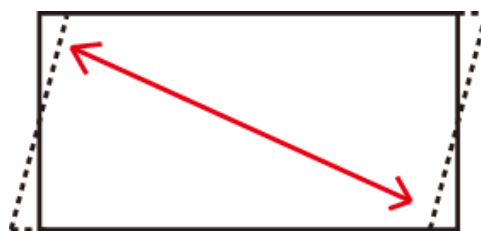


図 4-106 対角圧縮模式図

鴨居と梁の間では、せん断変形に伴う対角方向の圧縮、それによる端部の潰れが発生した。+1/60rad.以降では、中央下部からせん断亀裂が発生しており、漆喰層のせん断が十分に発揮されていたと考えられる。また、解体してみると、中央部の漆喰は切れずに残存しており、回転に伴う木摺空きの漆喰のせん断の影響は限定的であり、せん断変形に伴う対角の圧縮が支配的であったと推定された。

ただし、1/30rad.以降、鴨居と柱の接合部にゆるみが見られるため、その後はせん断力の伝達が不十分であった可能性がある。



## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

- ・漆喰層：鴨居と幅木の間

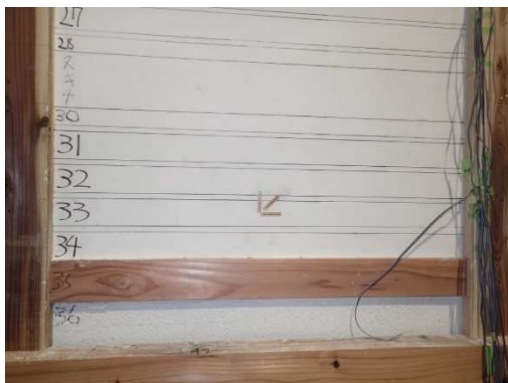


図 4-107 加力前



図 4-108 加力前 幅木の当初位置



図 4-109 幅木右端部の垂下+1/100rad. (左図), +1/60rad. [最大荷重時] (右図)

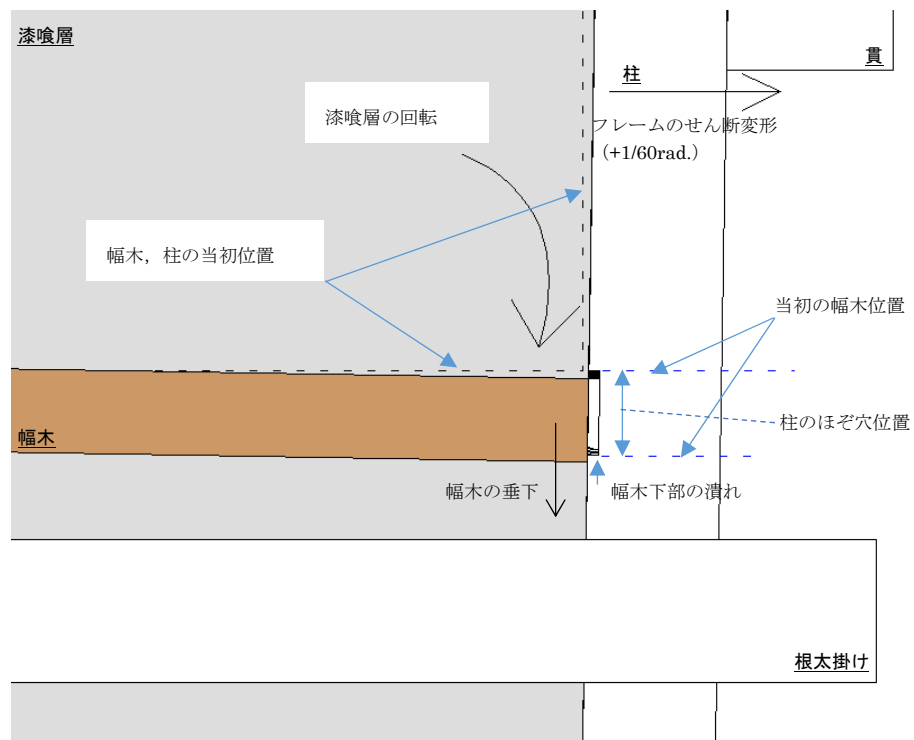


図 4-110 最大荷重 (+1/60rad.) 時の幅木右端部の垂下 模式図

#### 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

鴨居と幅木の間の壁は、端部のつぶれなどから、初期にはせん断変形に伴う対角圧縮が作用していると推定されるが、上図にみられるように、変形角の増加に伴い(約  $1/120\text{rad.}$ ~), 幅木の右端部では内部のほぞ下部が潰れ、押し下げられている。最大荷重を記録した  $+1/60\text{rad.}$ 時には約  $5\sim 7\text{mm}$ 垂下している〔幅木厚み  $18\text{mm}$  より推定〕。その後、鴨居と幅木の間の漆喰層にはせん断亀裂は発生せず、回転変形にともなう木摺空きの漆喰の切断が顕著にみられ ( $1/45\text{rad.}$ ~ 背面から切断を確認),  $1/30\text{rad.}$ 以降はずり下がっている。

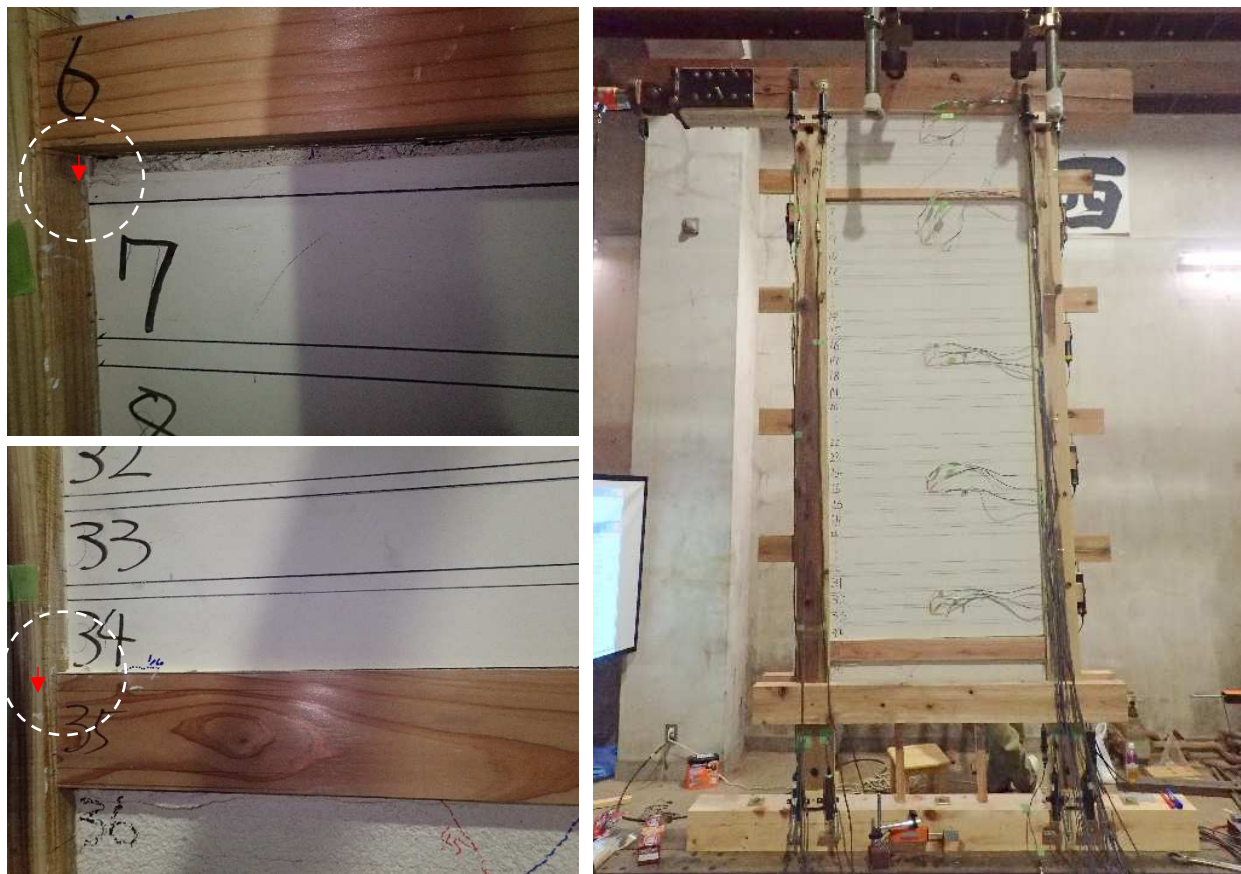


図 4-111  $-1/45\text{rad.}$  鴨居下漆喰の垂下, 幅木の垂下, 全景



図 4-112  $+1/30\text{rad.}$  幅木右端部の垂下の進行 (約  $20\text{mm}$  垂下)



図 4-113 左図：解体後の漆喰破壊状況 右図：鴨居下，幅木右端部の破壊状況



図 4-114 解体後の幅木右端部の破壊状況



図 4-115 解体後 幅木左端部の破壊状況〔胴付斜め釘 1 本打ち〕



以上より、真壁水平木摺漆喰壁の各抵抗部位の特徴と変形状は以下にまとめられる。番号は上述の接合部、接触部位の番号に対応する。

### ■軸組の抵抗部位と変形 ①～③

- ・柱頭柱脚部、貫のめり込み、根太掛けの柱へのめり込み
- ・柱・貫・根太掛けの曲げ変形

### ■木摺に関する抵抗部位と変形 ④～⑦

- ・木摺は平行に移動し、端部は釘のせん断抵抗の偶力としてモーメント抵抗力を発揮した。
- ・柱には一部木摺では端部へのめり込み痕が見られた。
- ・木摺材自体：1/60・端亀裂が裏から確認される。曲げ、上下変形は見られない。
- ・間柱への貫のめり込みが見られるが、貫は 15mm と細い

### ■漆喰との接触を伴う抵抗部位と変形 ⑧～⑱

- ・鴨居と幅木の間の漆喰層・木摺空きの漆喰

初期（～1/120rad.）は対角で圧縮されているが、その後幅木のゆるみが見られ、対角の圧縮の効果は減少したと推定される。観察から、最大荷重（-1/75・+1/60rad.）時では、木摺空きの漆喰のせん断で主に抵抗していたと推定される。+1/45～+1/30rad.以降では壁はずり落ちており概ね木摺空きの漆喰は切れていたものと推定される。鴨居下の漆喰層はせん断亀裂を生じず、木摺空きの漆喰のせん断破壊が生じた。

- ・鴨居の上の漆喰・木摺空きの漆喰

鴨居のゆるみは見られるものの、終局までせん断変形に伴う対角のつぶれがあり、対角圧縮を受けていたものと推定される。解体後、中央部分では木摺が切れずに残存していたこともあり、回転による木摺空きのせん断の影響が支配的ではなかったと推定される。

- ・漆喰層の座屈挙動に関しては、実験時に目視で確認されなかった。木摺への食い込み（アンカー）部分によって補剛されていた可能性もある。
- ・中塗り層での破壊は見られず、破壊した部位は、木摺空きの漆喰部分であった。
- ・柱・間柱その他の材料の変形・破壊の挙動：柱の曲げ変形；最大荷重後、鴨居の上下で挙動が変化。鴨居の上は荷重を負担していることが分かる。

### 4.3.5.3. 真壁水平木摺漆喰の力学モデルの仮定と適用範囲（対応する部位の番号）

#### 1. モデル全体の仮定：木摺漆喰部分と軸組部分の足し合わせの仮定

木摺漆喰試験体と軸組試験体では、柱に発生する応力状態は異なるが、実験結果からは、軸部の破壊モードは両試験体共に、貫及び根太掛けのめり込みの進行であり、柱の折損等の異なる損傷は見られない。また、柱の曲げ変形量について実験結果を検討した結果、柱は 120mm 角あり曲げ変形への影響は小さいと判断し、軸組試験体の実験結果、木摺漆喰壁実験の結果共に柱の曲げ変形の影響はないものと仮定した。すなわち、軸組試験体の荷重と木摺漆喰によって発生する荷重は足し合わせ可能であるとする。よって、以降の検討は木摺漆喰試験体から軸組試験体の結果を引いた差分を木摺漆喰部分による荷重変形関係であると見なして、この部分に対する解析を行った。なお、解析の比較対象として用いた実験結果は柱脚の浮き上がりを除いた真のせん断変形角に対する荷重の結果とした。

以上より

解析の仮定：

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし、また軸組部分と木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する。

適用範囲：

- ・柱の曲げ変形が無視でき、軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの。

#### 2. モデルの仮定：軸部材とその接合部の挙動と抵抗機構の仮定と適用範囲（①～③，⑦）

1. の仮定に基づき、木摺漆喰部分は、四周をピン接合とした剛体のフレームに設置されている状態とみなした。また、柱脚部の浮き上がりに関しては、十分に固定度がある場合を想定し、浮き上がりの影響はないものと仮定した。解析と比較する実験結果は、浮き上がりの影響を除いた真のせん断変形角に対する荷重変形関係を用いる。

また、木摺漆喰試験体では、貫は間柱を欠き込んでおり、めり込み抵抗が発生する可能性があるが、貫の幅は 15mm であり、めり込みによる影響は小さいと推定されるため、解析では無視できるものとした。

解析の仮定：1. の仮定から木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする。

柱脚の浮き上がり、間柱と貫のめり込みは無視できるものとする。

適用範囲：柱脚の浮き上がり、間柱と貫のめり込みが無視できる場合。

#### 3. モデルの仮定：鴨居 - 柱，幅木 - 柱の接合部（⑧，⑨）

破壊の進行に示したように、鴨居，幅木は端部を左端部斜め釘打ち，右端部柄差しと



した部材である。

鴨居：

鴨居の右端部の抜け出しは最大荷重以降少量見られるが、終局状態でも引き抜けてはいない。そのため、圧縮荷重は常に負担しえたと考えられる。一方で、引張荷重に対しては、柱の変形計測を行った右側のほぞ接合部においては、計測結果からは引張に対する抵抗力は必ずしも十分に発揮されていなかった可能性がある。また左端部についても1/30rad.以降では釘の引き抜けが見られ、引張力の伝達は不十分であった可能性がある。ただし、最大荷重時までにおいては左右での荷重変形関係の差は殆ど見られないため、鴨居以外の部材による応力の伝達が行われていたと考え、解析では鴨居接合部は引張荷重を負担していたと仮定する。また、柱の変形に伴う端部めり込み圧縮は少量であったこと、鴨居上下の壁によって桝の端部は破壊しなかったことから、端部の抵抗の影響は小さかったものと判断し、接合部はピン接合であると仮定した。部材は剛体と仮定する。

幅木：

幅木部分の左右の接合部形状は鴨居と同様であるため、初期においてはピン接合で引張・圧縮荷重を負担したものと仮定する。ただし、幅木は1/150rad.付近から既にほぞの破壊による部材の垂下が見られ、最大荷重時の1/60rad.においては破壊が進行し、漆喰層の回転が顕著に見られた（上述の破壊の進行を参照）。前述のように、この時点では幅木はほぞの破壊によって荷重の負担が減少しているものと考えられる。これ以降はさらにほぞの破壊が進行してゆき、以降は鴨居から幅木の間の漆喰層による圧縮抵抗は著しく減少したものと推定される。そのため、最大荷重の解析においては、部材は左右端部ともに失われたものと仮定した。よって、本研究では、幅木については初期剛性時（左右の固定度がある場合）、および最大荷重時の推定を目的としているため、解析上は初期はピン接合、最大荷重時には下部の固定が失われた（部材の接点がない状態）と仮定した。

以上より

解析の仮定：

- ・鴨居と柱の接合部、幅木と柱の接合部はピン接合で圧縮・引張軸力を負担しうる。ただし、幅木と柱の接合部は最大荷重時には端部の損傷によって端部の拘束がなくなる（部材なし）とする。鴨居と柱の接合部はピン接合で引張と圧縮を負担すると仮定した。

適用範囲：

- ・鴨居と柱の接合部、幅木と柱の接合部は圧縮・引張を負担しうる仕様であり、また、漆喰層下部の拘束部材（幅木）は最大荷重までに接合部が損傷し、拘束が失われる。

### 4. モデルの仮定：木摺ー釘ー木摺受け接合部、木摺 - 柱接触部の変形と抵抗機構の仮定 (④～⑦, ⑮～⑰)

水平木摺ー釘ー木摺受けの抵抗機構に関しては、実験結果からは目視では木摺は水平

に移動していたことが分かる。ただし、試験では漆喰が塗布されているため、釘の変形状態に関しては、次章の要素実験における変形状態から推定した。釘の挙動は木摺の水平変形に対して上下対象に水平に挙動しており、釘のせん断力の偶力による回転抵抗が発生しているものと推察し、半剛接の回転ばねによって評価できるとする。また、フレームは剛体と仮定しているため、各木摺－釘－木摺受け接合部の変形量も同様となり、すべての木摺－釘接合部におけるモーメント抵抗は同様の値（全体の回転角で決定される）ものとする。

また、間柱は柱間で拘束されているため剛体と見なせるものとした。接合部は短ほぞであり、ピン接合で浮き上がりはないものとする。上記の釘によるモーメント抵抗は、柱、間柱は同様に分配されると仮定する。

また、木摺端部と柱側面に関しては、大変形では接触し柱のめり込みの発生、または木摺端部と柱側面の間に入っていた漆喰の圧縮が発生している可能性がある。ただし、解体観察からは柱におけるめり込みの痕は少ないことから、今回の初期剛性モデル、最大荷重時モデルともに影響は小さかったと推定し、解析モデルでは無視するものとする。

また、壁全体の変形の進行に伴って、木摺の上下の間隔が縮み、木摺と漆喰が共に圧縮される効果が発現する可能性があるが、初期および最大荷重時においてもその縮み量は微小であること、また要素実験（第5章）および実大試験において木摺が切れた後では試験体背面のアンカー部分の漆喰が緩んでいたことより、影響は小さかったと考えられるため、解析においては無視できるものと仮定した。ただし、初期剛性推定モデルにおいて適用する壁のせん断剛性（第5章要素実験結果より）にはこの影響も含まれており、一部考慮している。

以上より、

解析の仮定：

- ・木摺－釘－木摺受け接合部は、半剛接の回転ばねと仮定し、その回転剛性は要素実験による釘2本打ちの回転剛性を適用する。また、間柱は両端ピン接合の剛体と見なし、柱、間柱での釘の回転ばねの剛性は同様とする。
- ・木摺端部と柱側面の接触によるめり込み抵抗、および木摺端部と柱側面の間に入った漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する。
- ・木摺空きの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する。

適用範囲：

- ・木摺－釘－木摺受け接合部では釘が偶力によって回転する釘配列
- ・間柱の接合部は回転剛性、抜け出しが無視でき、また曲げ変形が無視できる
- ・木摺端部と柱側面、および木摺端部と漆喰と柱側面には間隔があり接触しない
- ・木摺の上下面と木摺空きの漆喰の接触が無視できる場合（木摺空きの上下縮み量が小さい、木摺空きの漆喰と木摺の間に間隙があるなど）

5. モデルの仮定：漆喰層および木摺空きの漆喰による抵抗機構：初期剛性時と最大荷重時における支配的な抵抗要素の推定（⑧～⑬）

以下では、木摺と漆喰部分による主要な抵抗要素であると推定した、漆喰層のせん断変形に伴う対角圧縮，および木摺空きのせん断に関する実験結果からの挙動の推定と解析上の仮定について述べる。

破壊の進行から、荷重の増加に伴って、鴨居と幅木の間の壁の四周拘束の下端部である幅木が損傷することで、鴨居と幅木の間の漆喰層では漆喰層のせん断変形（に伴う圧縮筋違効果）の影響が低下し（鴨居と幅木の間の漆喰層は、せん断亀裂を発生しない）、最大荷重記録時には漆喰層の回転に伴う木摺空きの漆喰のせん断が支配的になっていると推定される。

ただし実際には、漆喰層と木摺空きの漆喰は全体のせん断変形に伴って、前述の四周拘束や木摺との接触箇所からの力を受け、連動してせん断変形を生じる。すなわち、

- ①漆喰層のせん断変形に伴う対角圧縮，と
- ②漆喰層のせん断変形・回転変形に伴う木摺空きの漆喰のせん断，

は並行して発生している。ただし、本研究においては、初期剛性時（鴨居と梁の間、鴨居と幅木の間でともに①が支配的である状態）と 最大荷重時（鴨居と梁の間では①が、鴨居と幅木の間では②が支配的である状態）を推定することを目的とし、それらの連動および移行状態に関しては今後の検討課題とする。以上より

・変形初期：鴨居と幅木の間の漆喰層の四周が拘束されており、①漆喰のせん断変形とそれに伴う対角の圧縮と、②木摺空きのせん断抵抗は共に発生している。回転量が小さいため②の影響は①と比較すると小さいものと推定される。

・最大荷重時：鴨居と幅木の漆喰層の下端の拘束が緩み、対角圧縮が減少し、また漆喰層の回転量が増加することで、②木摺空きのせん断抵抗が支配的になっていると仮定した。

以上より、変形初期の段階では要素実験（第5章参照）と同様に四周を拘束された壁体がせん断変形を生じる状態であると仮定し、要素実験から算出したせん断剛性・対角圧縮バネによって剛性を検討する。また、最大荷重時点では木摺空きの漆喰のせん断が支配的であると仮定し、漆喰層を剛体と仮定し、木摺空きと漆喰層がせん断ばねで拘束され、また漆喰層は左右を柱で拘束された状態として最大荷重を推定するものとする。

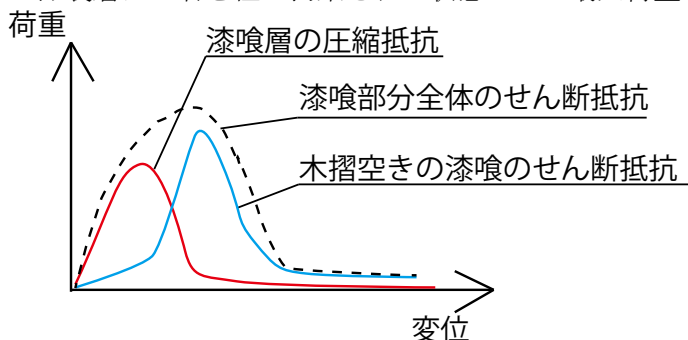


図 4-116 真壁水平木摺の漆喰部分の抵抗要素の分担のイメージ図

解析の仮定：

初期：1/120rad.（見かけの変形角）まで，最大荷重時以降：1/60rad.（見かけの変形角）

- ・鴨居と梁の間の漆喰層は，

- せん断変形に伴う対角圧縮が初期から実験終了時まで支配的であるとする.

- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は，

- ①変形初期は漆喰層の対角圧縮が支配的で，

- ②その後，幅木の損傷に伴って，漆喰層の上下拘束が減少するため，回転変形量が増加することで，木摺空きのせん断が支配的な抵抗機構に移行し，最大荷重時では木摺空きのせん断のみが作用したと仮定する.

- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は剛体と仮定する.

- ・木摺空きの漆喰は木摺と一体となって挙動する.

- ・木摺空きの漆喰のせん断は，剛体と仮定した漆喰層と木摺空きの漆喰間の漆喰せん断ばねの拘束によって抵抗する.

適用範囲：

- ・初期剛性時：漆喰層の四周がピン接合で四周拘束されていると見なせる場合

- ・最大荷重時：漆喰層は左右の柱による拘束と，木摺空きの漆喰とのせん断抵抗で拘束されている場合

- ・漆喰層は幅木 - 柱接合部の破壊より前にせん断破壊せず，幅木の破壊後は剛体として回転変形する.

- ・木摺空きの漆喰は，木摺と一体となって挙動する.

#### 6. モデルの仮定：各抵抗要素は並列ばねとする

以上の仮定によって，考慮する抵抗要素は，釘接合部の回転剛性，鴨居から梁の間の壁の漆喰層の対角圧縮と木摺空きのせん断剛性，鴨居から幅木の間の壁の漆喰層の対角圧縮と木摺空きのせん断剛性，であるが，これら3つは軸組に対して独立に作用するものと仮定する．対角圧縮と木摺空きのせん断は，要素実験で詳述するように連動しているがこれを等価なせん断ばねと見なすものとする．

以上1～6の仮定・適用条件をまとめると、

### 解析の仮定：

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし、また軸組部分と木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する。
  - ・木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする。
  - ・柱脚の浮き上がり、間柱と貫のめり込みは無視できるものとする。
  - ・鴨居と柱の接合部、幅木と柱の接合部はピン接合で圧縮・引張軸力を負担しうる。ただし、幅木と柱の接合部は最大荷重時には端部の損傷によって端部の拘束がなくなる（部材なし）とする。鴨居と柱の接合部はピン接合で引張と圧縮を負担すると仮定した。
  - ・木摺 - 釘 - 木摺受け接合部は、半剛接の回転ばねと仮定し、その回転剛性は要素実験による釘2本打ちの回転剛性を適用する。また、間柱は両端ピン接合の剛体と見なし、柱、間柱での釘の回転ばねの剛性は同様とする。
  - ・木摺端部と柱側面の接触によるめり込み抵抗、および木摺端部と柱側面の間に入った漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する。
  - ・木摺空きの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する。
- 初期：1/120rad.（見かけの変形角）まで、最大荷重時以降：1/60rad.（見かけの変形角）
- ・鴨居と梁の間の漆喰層は、
- せん断変形に伴う対角圧縮が初期から実験終了時まで支配的であるとする。
- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は、
- ①変形初期は漆喰層の対角圧縮が支配的で、
  - ②その後、幅木の損傷に伴って、漆喰層の上下拘束が減少するため、回転変形量が増加することで、木摺空きのせん断が支配的な抵抗機構に移行し、最大荷重時では木摺空きのせん断のみが作用したと仮定する。
- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は剛体と仮定する。
  - ・木摺空きの漆喰は木摺と一体となって挙動する。
  - ・木摺空きの漆喰のせん断は、剛体と仮定した漆喰層と木摺空きの漆喰間の漆喰せん断ばねの拘束によって抵抗する。
  - ・以上の抵抗要素は軸組に対して並列ばねとして作用するものとする。

### 適用範囲：

- ・柱の曲げ変形が無視でき、軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの。
- ・柱脚の浮き上がり、間柱と貫のめり込みが無視できる場合。
- ・鴨居と柱の接合部、幅木と柱の接合部は圧縮・引張を負担しうる仕様であり、また、漆喰層下部の拘束部材（幅木）は最大荷重までに接合部が損傷し、拘束が失われる。
- ・木摺 - 釘 - 木摺受け接合部では釘が偶力によって回転する釘配列
- ・間柱の接合部は回転剛性、抜け出しが無視でき、また曲げ変形が無視できる



#### 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

- ・木摺端部と柱側面，および木摺端部と漆喰と柱側面には間隔があり接触しない
- ・木摺の上下面と木摺空きの漆喰の接触が無視できる場合（木摺空きの上下縮み量が小さい，木摺空きの漆喰と木摺の間に間隙があるなど）
- ・初期剛性時：漆喰層の四周がピン接合で四周拘束されていると見なせる場合
- ・最大荷重時：漆喰層は左右の柱による拘束と，木摺空きの漆喰とのせん断抵抗で拘束されている場合
- ・漆喰層は幅木 - 柱接合部の破壊より前にせん断破壊せず，幅木の破壊後は剛体として回転変形する（木摺空きの配置が対称）.
- ・各抵抗要素の連動の効果は無視できるものとし，軸組に対して並列ばねとして作用する場合.

この仮定・適用条件を示す水平力抵抗機構の機構図を次に示す.

4.3.5.4. 真壁水平木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の仮定と力学モデル

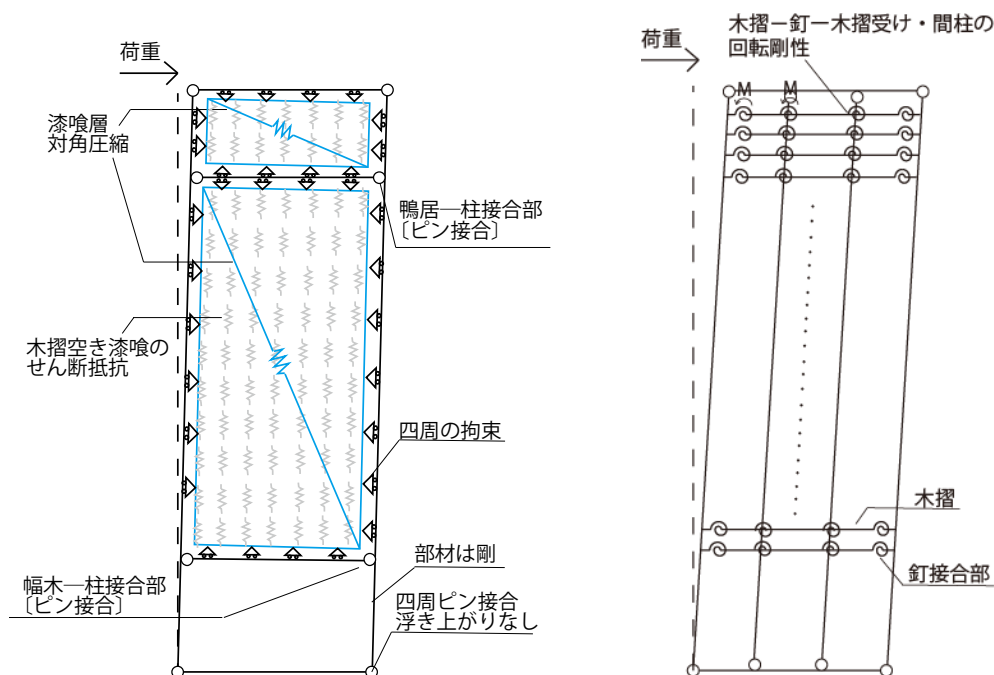


図 4-117 初期剛性推定モデル〔水平力抵抗機構を詳細に示した図，拘束はローラー〕

上図に，初期剛性推定モデル下図に最大荷重推定モデルを示す．左が木摺漆喰部分の機構，右図が木摺と釘接合部部分の機構図である．前述のように，これらはそれぞれ並列に作用すると仮定している．

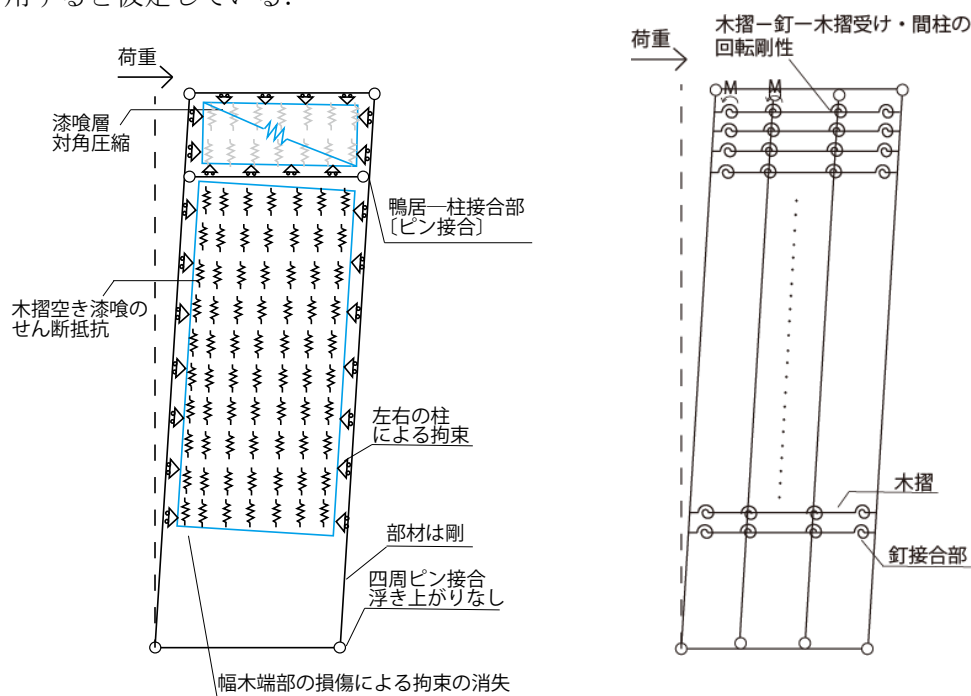


図 4-118 最大荷重推定モデル〔水平力抵抗機構を詳細に示した図，拘束はローラー〕

真壁水平木摺漆喰壁に関しては，上記のモデルによって初期剛性および最大荷重を推定するものとする．考慮する要素として，第5章において要素実験を実施する要素は以下である．詳細は第5章において述べる．

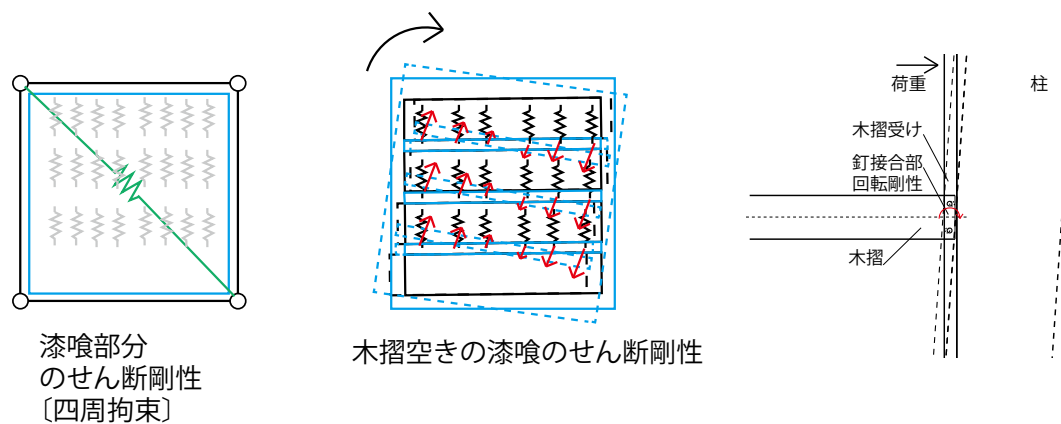


図 4-119 要素実験を実施する抵抗要素

※木摺および間柱は下図では省略し，上図の漆喰部分を解析モデルとして以下に示す．

①変形の初期：対角圧縮が支配的である（初期剛性時）モデル

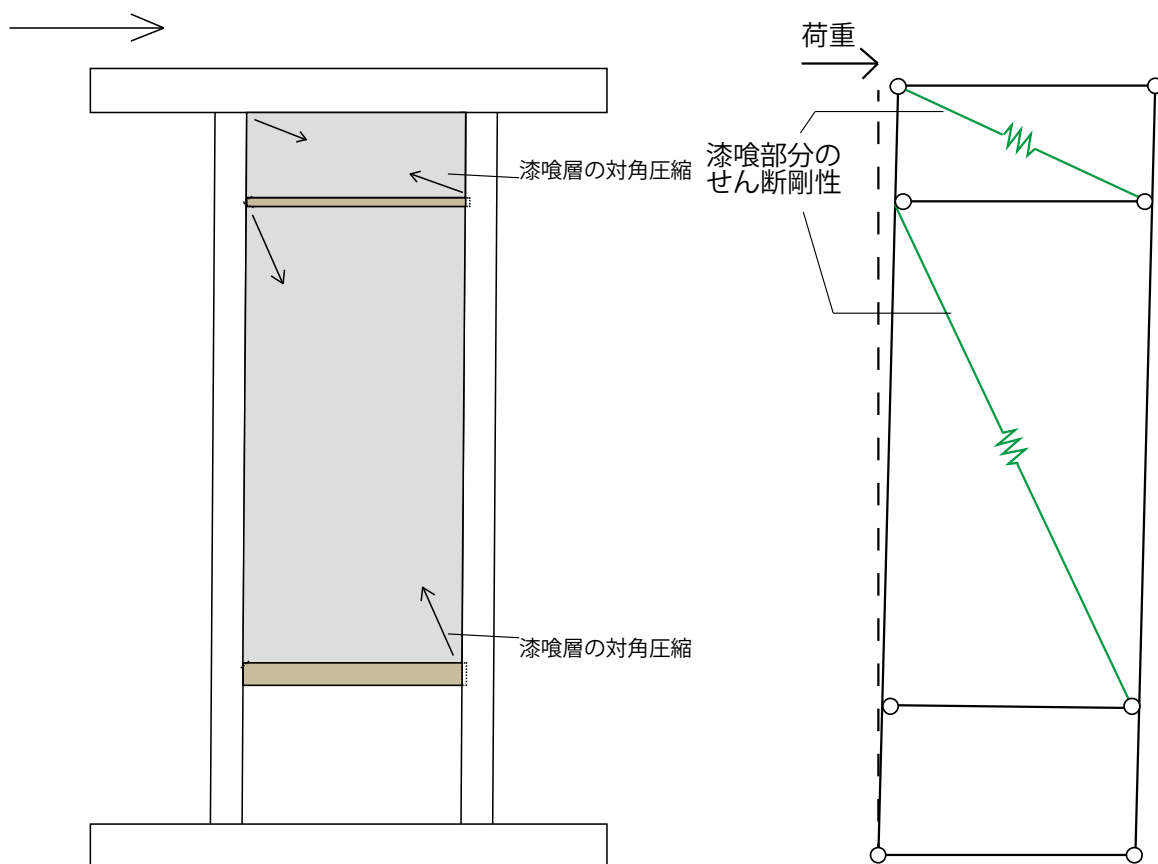


図 4-120 初期（0~1/120rad）の木摺漆喰部分の抵抗機構の模式図と力学モデル

- ・変形の初期には，四周を拘束されており，木摺漆喰のせん断変形に伴って漆喰層は対角方向の圧縮を受けているものと推定された．
- ・ただし，漆喰層の変形に伴って木摺空きに埋まっている漆喰も連動して変形している．漆喰層のみのせん断変形挙動は計測していない．そのため，漆喰層のせん断変形・圧縮とそれに伴う木摺空きの漆喰の抵抗を含めた対角バネとして評価するものと仮定する．
- ・漆喰を塗った真壁の要素実験結果から，対角圧縮を伴うせん断変形の剛性を算出し，これを適用した．適用に当たっては，左右の柱は均等に変形し，鴨居の上下の壁は同様のせん断変形を発生するものとし，垂れ壁付き独立柱の算定法を参照し，逆剪断による壁のせん断耐力の低下を考慮したものとした．

②最大荷重時：木摺空きの漆喰のせん断が支配的である（最大荷重時モデル）.

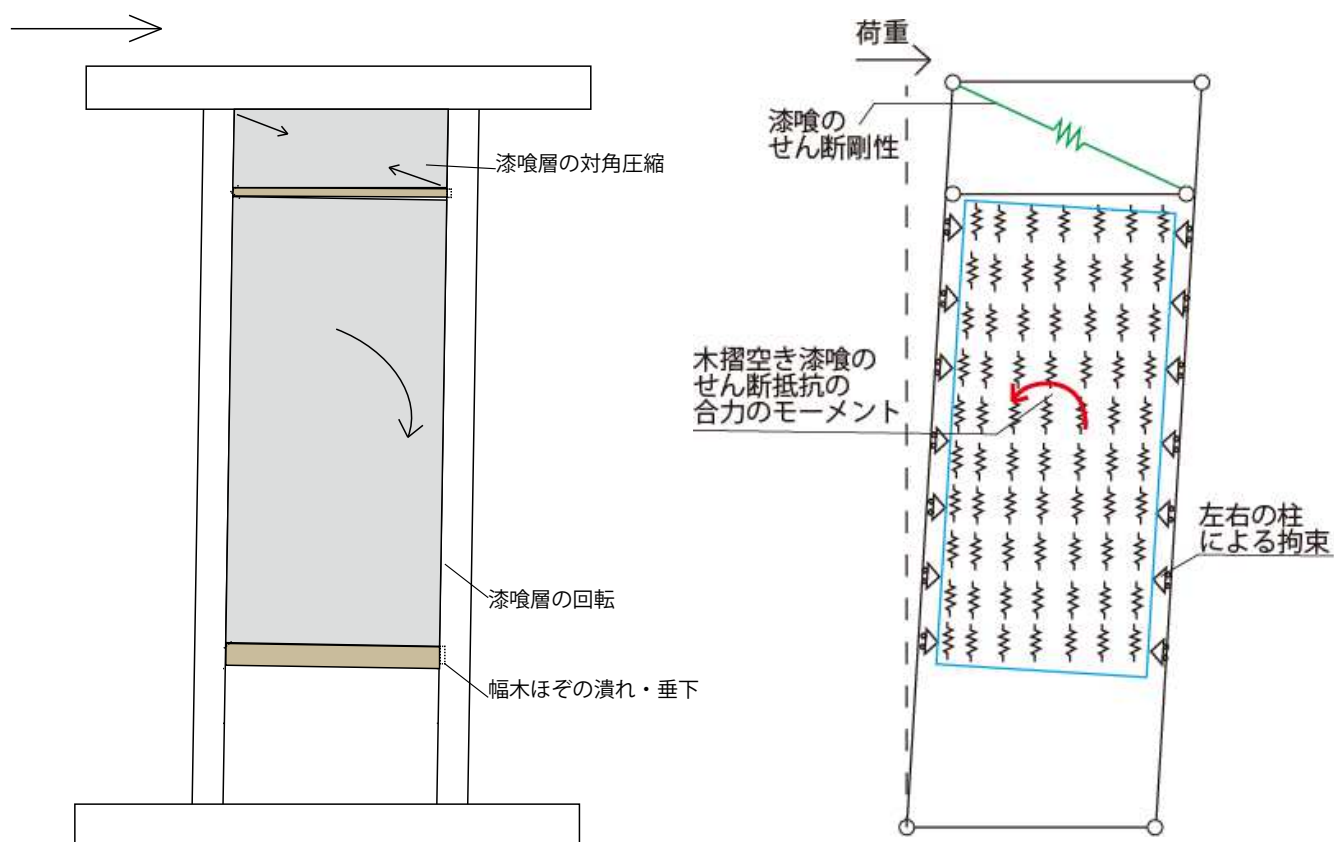


図 4-121 最大荷重 (+1/60rad.) 時の木摺漆喰部分の抵抗機構の模式図と力学モデル

・幅木の破壊に伴い，対角圧縮の効果が減少し，最大荷重時には木摺空きの漆喰のせん断抵抗が支配的であったと推定される．その場合は最大時には上記のような抵抗機構となっていたと推定される．

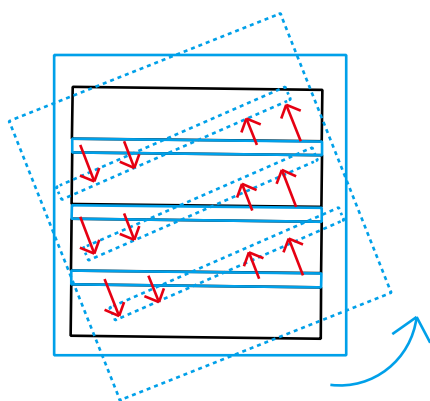


図 4-122 木摺空き漆喰の回転に伴うせん断抵抗発生の模式図（青線：漆喰，黒線：木摺）



## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 4.4. 大壁斜め木摺漆喰壁の静的水平加力試験

#### 4.4.1. 実験概要と本実験の斜め木摺壁の位置づけ

次いで、大壁斜め木摺漆喰壁の静的加力試験を実施した。

第3章の文献調査から、近代木造構法の代表的な外周壁構法の一つと考えられる木摺漆喰+下見板壁は、第2章における被害調査においても壁の剥落被害を受けた。

本項では近代的壁構法において大壁下地として多く用いられる（文献調査範囲で約20%）木摺漆喰+下見板壁の構造性能を静的加力試験により明らかにし、その水平力抵抗機構のモデル化を行った。

本実験は、貫、筋違などを用いていない仕様である旧伊達郡役所（1883、第2章参照）の壁体をモデルとして、洋風大壁としての斜め木摺+下見板壁の基本的な性能を測定するものである。

第3章で見たように、斜め木摺壁は主に明治20年代までに用いられた木摺構法である。大壁の柱間に釘打ちし、漆喰を塗りあげる点に関しては水平木摺と同様であるが木摺の張り方に角度がついているため、せん断性能において顕著な違いが見られる（4.2.2項の既往研究調査を参照）。

実験及びモデル化の対象とした旧伊達郡役所の外周壁では外側を下見板、内側を斜め木摺漆喰塗りとしている。木摺の寸法は（第3章参照）、幅60mm、厚12mmと斜め木摺の中では平均的な幅を持つが、空き寸法は5mmと比較的狭い。当初の釘仕様は不明である。漆喰の塗り厚は約20mm、下塗りには砂漆喰が使用されている。詳細は4.4.2参照。



図 4-123 旧伊達郡役所外観（2012 筆者）

図 4-124 旧伊達郡役所内部 斜め木摺壁（2013 筆者）

### 4.4.2. 実験計画

#### 4.4.2.1. 概要

本節では旧伊達郡役所の外壁構法(木摺漆喰+下見板)に基づいた試験体を4体製作し、静的水平加力試験を行った。また得られたデータを用いて、壁倍率の算定、現行法の定める木摺の構造性能、またそこに漆喰仕上の及ぼす影響を再検証し、加えて耐力を規定する要素の同定、圧縮と引張の挙動の違い等に関しても考察を加えた。これらを踏まえ、水平力抵抗要素とそのモデル化を試みた。また、既往の木摺壁の耐力に関する研究との比較も行っている。

#### 4.4.2.2. 実験方法

近代木造建築の典型的な外周壁構法の一つである「木摺漆喰+下見板」を持つ壁の水平せん断耐力を検証するため、旧伊達郡役所の外壁構法をモデルとした4体の実大壁の正負交番加力試験を行った。試験体1-3は漆喰仕上を施さず、試験体4のみ漆喰仕上を施した。加力は油圧ジャッキを使用し、変位制御に依った。

##### ・加力方法

- ①加力は前述の通り正負交番加力とする。繰り返しは一度きりとする。
- ②試験体の固定方法はホールダウン金物を用いた柱脚固定式とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が  $1/600$ ,  $1/450$ ,  $1/300$ ,  $1/200$ ,  $1/150$ ,  $1/120$ ,  $1/100$ ,  $1/75$ ,  $1/60$ ,  $1/45$ ,  $1/30$ ,  $1/20$ ,  $1/15(\text{rad})$  の正負変形時とした。但し最大荷重に達した後、各履歴のピークがその8割を切った場合、また試験体の破壊が極端に進行した場合は  $1/15$  に達しない場合でも引ききって試験を終了した。

##### ・試験体評価方法

試験結果の評価は、水平木摺壁と同様に完全弾塑性モデルに置換し、特性値の評価、壁倍率の算定等を行った。

#### 4.4.2.3. 試験体の仕様

本項では加力装置、及び試験体1-4の仕様について記述する。

##### ○加力装置の仕様

加力装置、半力フレームは以下のものを使用した。

ジャッキは最大  $500\text{mm}$  まで変形可能、荷重は  $20\text{tf}$  まで対応可能である。

ロードセル、歪みゲージの性能に関しては3.1.5に示すチャンネルリストに示した。

##### ○試験体の仕様

部材寸法、金物類の指定の詳細を示す。試験体4に関しては次項に述べた左官仕上の詳細を参照のこと。

表 4-22 試験体1～4の仕様および旧伊達郡役所の仕様

| 試験体1～4   |    | 柱  | 間柱   | 上梁   | 土台(下梁)                                       | 木摺   | 下見板   |
|----------|----|--|--|--|--|--|---|
| 材質       |    | 杉、JAS規格 機械等級E90相当 含水率15%以下(別表)                       |  |  |  |  |   |
| 寸法(mm)   | 厚  | 167  | 167  | 167  | 167  | 12   | 18  |
|          | 巾  | 185  | 60   | 180  | 167  | 60   | 210   |
|          | 長さ | 2730   | 2730   | 2600   | 2600   | 図参照  | 1820  |
| 仕口、端部処理  |    | 上下梁材と短ほぞ接合<br>短ほぞ寸法<br>厚さ30mm巾85mm高さ50mm             | 上下梁材と短ほぞ接合<br>短ほぞ寸法<br>厚さ30mm巾60mm高さ<br>50mm | 柱、間柱と短ほぞ<br>接合<br>ジャッキ治具とボルト<br>接合 ボルト接合<br>部は図面参照 | 柱、間柱と短ほぞ<br>接合<br>鉄骨土台とボルト<br>接合 寸法は図<br>面参照 | 柱、間柱と釘N50で<br>接合 間隔本数は<br>図面参照 木摺明き<br>は5mm    | 柱、間柱と釘N75で<br>接合 間隔、本数<br>は図面参照 羽重<br>ねは20mm  |
| 釘        |    | 柱～梁は両方の短ほぞの芯か<br>ら8分の位置にN125を2本打つ                    | 間柱～梁は両方の短ほ<br>ぞの芯上にN125を1本打<br>つ             | 柱、間柱を参照  | 柱、間柱を参照                                      | 柱、間柱と釘N50で<br>接合 間隔本数は<br>図面参照                 | 柱、間柱と釘N75で<br>接合 間隔、本<br>数は図面参照               |
| ホールダウン金物 |    | HDB-20を使用。梁、土台とは<br>M16 240mm、柱とはM12<br>210mmのボルトで緊結 |  | 柱を参照   | 柱を参照   |  |   |
| 特記事項     |    |  |  |  |  | 試験体2のみ、ブ<br>レーナー処理なし。<br>断面寸法は厚さ<br>14mm、巾62mm | 試験体3は1/120の<br>変形後、下見板を<br>全て取り外して加<br>力を続けた。 |

| 旧伊達郡役所  |    | 柱    | 間柱       | 窓楣兼胴楣                      | 土台   | 木摺  | 下見板 |
|---------|----|------|----------|----------------------------|------|-----|-----|
| 材質      |    | 杉    | 杉        | 松                          | 栗    | 杉   | 杉   |
| 寸法(mm)  | 厚  | 167  | 167(165) | 155                        | 167  | 12  | 18  |
|         | 巾  | 185  | 60       | 140                        | 167  | 60  | 210 |
|         | 長さ | 9300 | 3000     | 一階延8780                    | 3750 | 図参照 |     |
| 仕口、端部処理 |    | 短ほぞ  | 短ほぞ      | 柱に目違竿車知継<br>または目違いほぞ<br>差し | 短ほぞ  | 釘打ち | 釘打ち |
| 釘       |    |      |          |                            |      | 鉄くぎ | 鉄くぎ |

表中で着色されている部分が旧伊達郡役所（但し修理工事後）と変更した点である。変更理由は、出来るだけ無補正で斜め木摺壁の標準的な壁倍率を得るために壁倍率算定の標準試験体の寸法を参照したこと、旧伊達郡役所の項で述べたが、通し柱を多用し、横力には窓楣を延長した独特の胴繋状のフレームで抵抗する構造であることから、通常の柱梁の単位で切り出す事が困難であったこと、などである。

ただし、柱の寸法、間隔比率は変更していない。これは試験体図面に掲載した当該部分の模式試験体の参考図面を参照されたい。

ホールダウン金物、ほぞへの釘の使用は引き抜きの影響を軽減し壁の耐力を特に取り出す為に必要であると判断した。

また、仕上材に関しては、木摺、下見板とも寸法の変更は無い。

釘に関しては以下に述べる実測調査と資料調査により、JIS規格において適当な鉄釘を選定した。釘は構造用ではなく普通用を想定して用いた。

### ■旧伊達郡役所 実測調査結果〔2010年度調査結果〕

- ・ 木摺 水平木摺に関しては二階小屋裏において転用材から穴の跡を確認することが出来た 50mm 巾の板（水平木摺の寸法に一部 60mm に満たないものがあるため）に対してそれぞれ上下端から 10mm の距離に、頭径 6mm, または 8mm の釘が打たれていたようである。
- ・ 修理工事報告書によれば、木摺部分には真鍮釘を使用している。
- ・ 木摺の厚さは 12mm（杉）である。
- ・ 下見板 塗装の無い下屋及び、塗装の上からの実測により、外に利用されている釘は洋鉄釘で頭部径は 6-8mm 前後であると推定された。打つ位置は下部から約 20mm, 上端（羽重ね含む）から 20mm, 上下の釘間は芯々で 160mm であった。
- ・ 下げ苧に関しては資料に掲載された材料と寸法、打ち方のルールしか判明しなかった。

◇文献調査 旧伊達郡役所以外の、洋風技術を採用した木造建築の修理工事報告書を参照し、木摺、下見板の設置における釘、下苧の寸法について知見を得た。

木摺

- ・「奏楽堂」工事報告書によれば、ここでは厚さ 10-11mm の天井木摺に対して、37-39mm の長さの洋釘が使用されている。長さは当時釘が国内工業生産前であることよりインチの近似値であることが分かるとされている。
- ・「新潟県議会」では洋釘 24mm が厚み 7mm の壁木摺に対して用いられている。
- ・岩科学校校舎 厚四分の木摺板には、丸釘、鉄、長さ 1.2 寸×径 0.6 分 頭部径 1.5 分

下げ苧

18mm 亜鉛鍍金釘 旧三重県庁舎 漆喰塗り壁マニラ麻 55mm 二つ折り 25cmm 千鳥

24mm 洋釘 30cmm 麻製 千鳥 旧群馬衛生所

下見板

- ・下見板に用いられた洋釘に関しては、佐久間論文及びその他修理工事報告書を参照した結果、寸法が記載されている文献として「奏楽堂」の下見板における 53mm または 66mm が確認された。この場合下見板の板厚は、断面図から判断して約 20mm であり柱にはおよそ 30-45mm 刺さっていると考えられる。

これらより、

下見板には上下端から 20mm の位置に、JIS 規格に準拠し鉄丸くぎ N75(普通用)を間柱と柱の芯に縦に二本ずつ打つ。板厚の 3 倍程度が、下見板と柱の距離を勘案した上で柱に刺さるように決定した。

木摺は水平木摺における端部からの比を参考に(柱芯線上の)上下端から 17mm ごとに、間柱と柱の芯に打つ。当初は真鍮くぎの頭部径が 6mm, 長さ 50-60mm のものを使うことを検討したが、標準的な仕様を検討し、鉄くぎ N50 を採用。

下げ苧は 24mm の鍍金亜鉛釘を用いることが検討されたが、これも同様の理由で 7 分(21mm)の細鉄釘を採用した。

今回は実験上の配慮から鉄釘を使用した。修理工事報告書に拠れば、木摺は真鍮釘打ちであった。

#### 4.4.2.4. 試験体

次に、実際に上記の仕様で製作した試験体を、軸組のみ、木摺下地を張った面、下見板を張った面の順に示す。試験体1、2は木摺・下見板のみとし、試験体3は1/120rad.以降下見板を撤去し、その影響を検討した。試験体4は木摺上に漆喰仕上げを施したものである。図中左上の梁端に加力ジャッキからの治具を取り付ける。なお、ボルトの仕様は、治具と試験体を M12 210mm, 柱とホールダウンを M12 210mm, 土台と鉄骨土台・ホールダウンを M16 240mm とし、適宜角座金を使用した。

#### 軸組部分

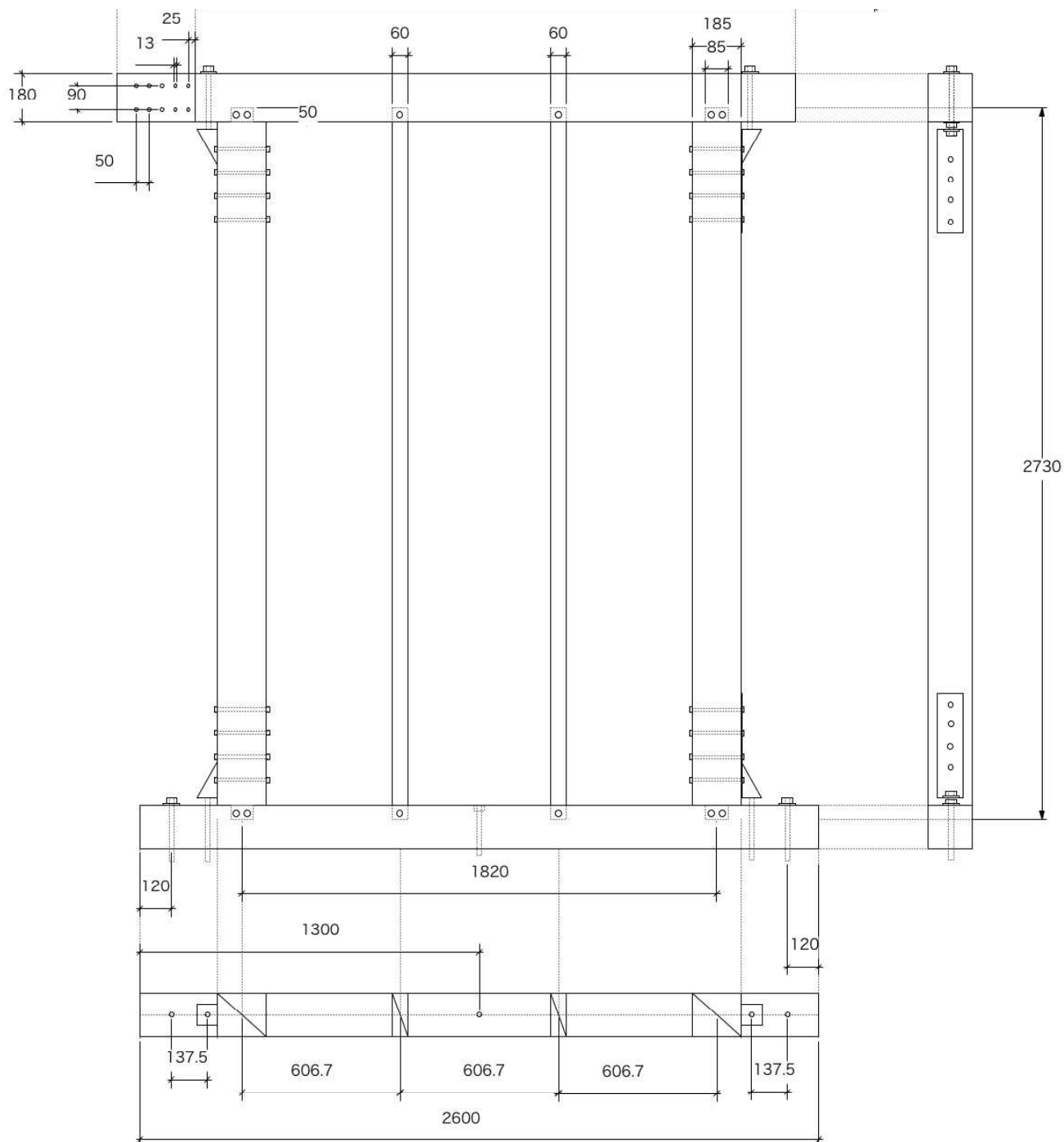


図 4-125 斜め木摺試験体 軸組寸法



試験体 斜め木摺面

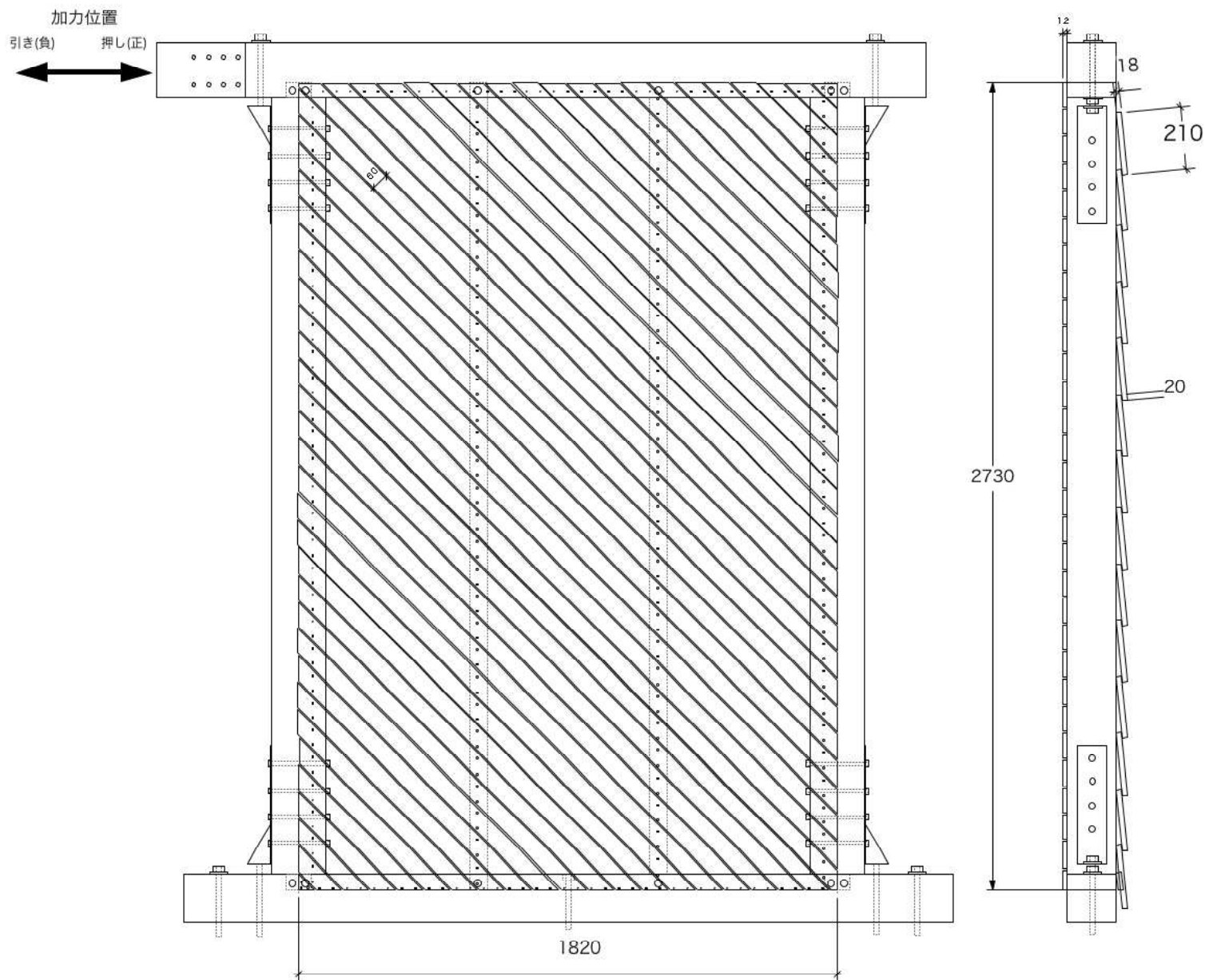


図 4-126 試験体の斜め木摺面詳細

木摺は巾 60mm, 厚さ 12mm, 空き 5mm の旧伊達郡役所当初仕様に準じた寸法とした。下見板は巾 210, 厚さ 18, 羽重ね 20mm である。釘接合は, 木摺は N50 普通鉄丸釘端から 12, 36, 12mm の間隔で各 2 本ずつ打ち付けた。下見板の釘は N75 を柱, 間柱箇所下見板上下各 1 本打ちである。

試験体 下見板面

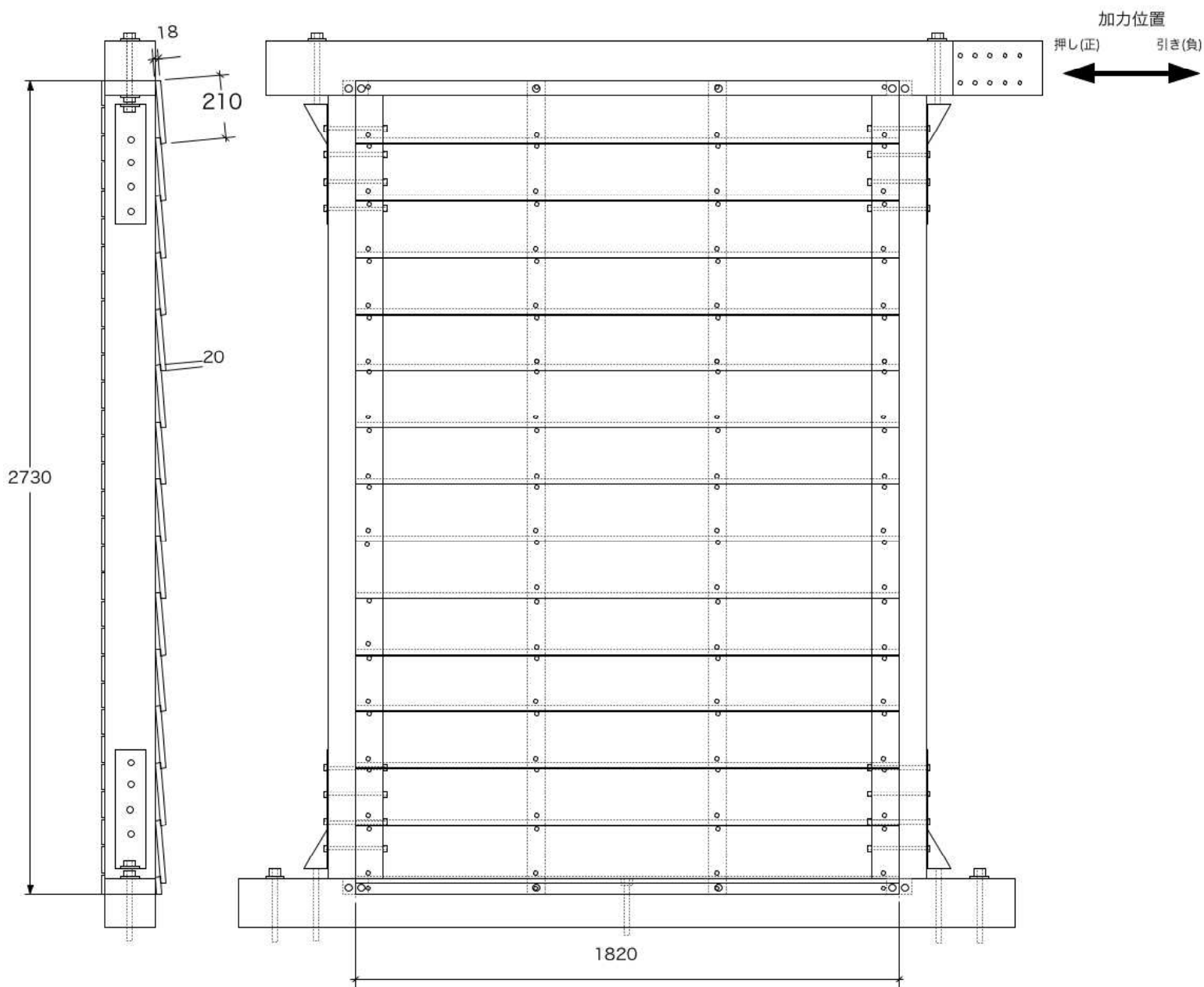


図 4-127 試験体下見板面

#### 4.4.2.5. 試験体4 漆喰仕上の詳細

試験体4に対して左官塗りを三回に分けて施した。  
試験体4の寸法は前述の通りである。漆喰塗りの厚み、構成に関しては以下に述べる。

##### ○ 施工日程

2010年

10月28日 一回目 木摺伏せ、下塗り

11月8日 二回目 中塗り

11月10日 三回目 上塗り →試験4の実施は11/24であり、乾燥期間は2週間。

##### ○ 材料及び塗り厚

表 4-23 左官塗り 材料比と塗り厚

| 塗り種類 |       | 塗り厚(木摺上) | 漆喰      |         |         |        | 砂(それぞれの漆喰との体積比) |
|------|-------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------------|
|      |       |          | 消石灰(kg) | ツノマタ(g) | 白毛スサ(g) | 晒スサ(g) |                 |
| 原材料  | 生漆喰   |          | 20      | 1200    | 800     | 0      | 0               |
| 下塗り  | 木摺伏せ  | 2mm      | 20      | 1200    | 800     | 0      | 10:1            |
|      | 下塗り   | 3mm      | 20      | 1200    | 800     | 0      | 6:4             |
| 中塗り  | 下げ苧伏せ | 3mm      | 20      | 700     | 700     | 0      | 6:4             |
|      | 中塗り1  | 6mm      | 20      | 700     | 700     | 0      | 5:5             |
|      | 中塗り2  | 3mm      | 20      | 700     | 700     | 0      | 5:5             |
| 上塗り  | 下付け   | 1mm      | 20      | 1000    | 0       | 600    | 0               |
|      | 上付け   | 1mm      | 20      | 600     | 0       | 600    | 0               |

註：ツノマタ・・・海藻を煮て作る糊。

砂・・・6厘目で篩った川砂を使用。

スサ・・・麻の繊維をほぐし晒した素材。

##### ○ 下げ苧の寸法、材料、打ち方

下げ苧は、晒した麻紐を使用。

下表にも記載したとおり、60cmのものを二つ折りにしてとっくり結びにし、7分の細鉄釘に結わえたものを使用した。取り付け間隔は横 23cm、縦は 4cm ほど交差部と釘が空くように千鳥に配置した。

また、下塗りと中塗りの下げ苧伏せにそれぞれ塗り込めている。この方法は修理工事報告書記載の「半片ずつ塗りこむ」という記述に従ったものであるが、具体的な方法は判明しなかった。

下げ苧は釘に紐を括るようにして4本の足が出ているのであるが、それを左右二本ずつを一度にその長さの半分までを塗りこみ、中塗り層で残りの半分を塗りこむという案と、下地には一本ずつ一組、中塗り層に残りの一組を塗りこむという解釈が存在しうると考えられる。検討の結果、後者を採用した。

取り付け間隔の微調整と、上述の半片の解釈、および釘を真鍮から鉄に変えたことが漆喰塗布前における解体修理時すなわち現況との変更点である。

以下に下げ苧を打つ位置の模式図を示した。

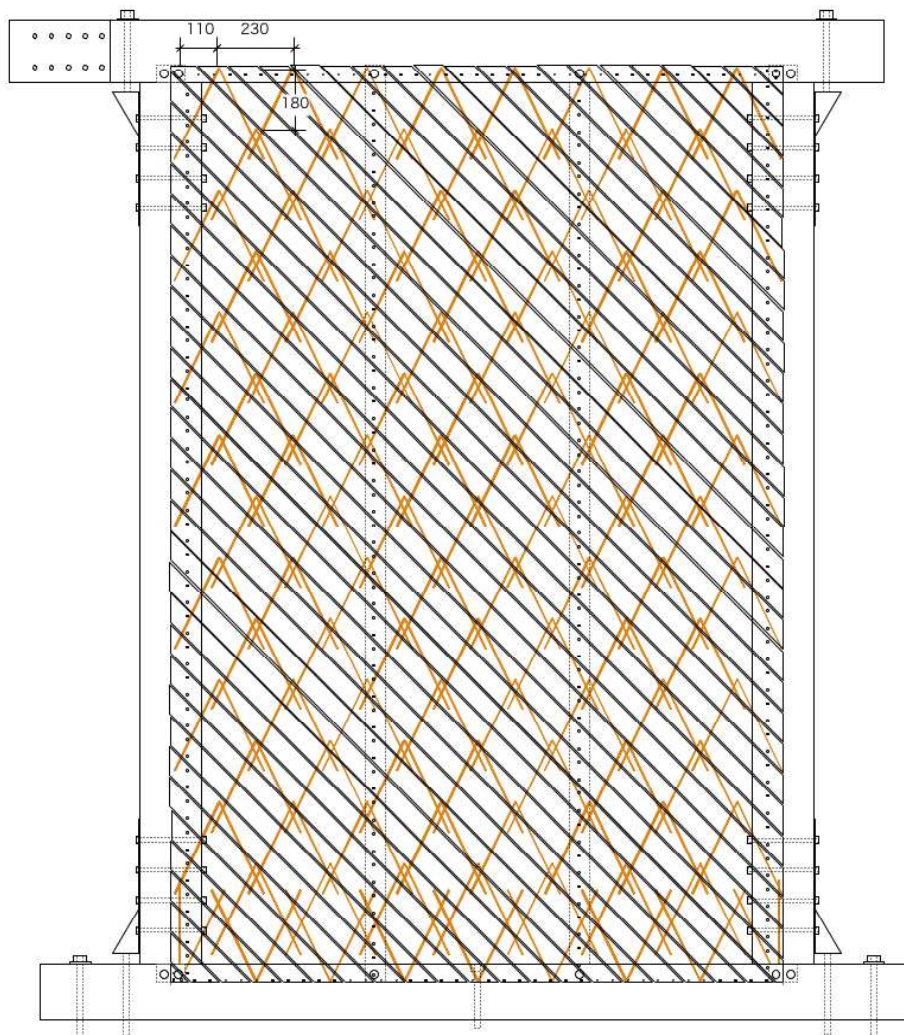


図 4-128 下げ葎配置図

## 4.4.2.6. 漆喰仕上げにおける旧伊達郡役所の仕様との異同

試験体は対象建物の解体修理時の仕様を参考にしているが、適宜変更を加えている。  
以下に郡役所の当初及び解体修理時の仕様をとの対照表を記載する。  
なお、修理工事報告書からは当初の漆喰の材料比率は不明であったため、修理時実施仕様を参考に、一般的な漆喰塗りの比率施工左官職人と協議の上で比率を決定した。

表 4-24 旧伊達郡役所と本試験体の仕様の比較

左官仕上の相違

|                          | 主屋大壁下地                               |  | 主屋下塗り   | 主屋中塗り  | 主屋仕上                                |
|--------------------------|--------------------------------------|--|---|--|-------------------------------------|
|                          | 木摺                                   | 釘打   |   |  |                                     |
| 本論文 試験体4<br>(材料調合比は別表参照) | 当初の工法に同じ。但し機械製材、継手は無し。               | 麻下葎60cmをニツ折りにし、横23cm間隔で取り付ける。縦は下葎の先が3-4cm重なるように16cm程度間隔で千鳥に配置した。釘は7分の細鉄釘を使用した。               | 木摺伏を2mm塗った後、下葎を打ち、半分を塗り込めた。その後下葎をよけて下塗りを3mm塗った。 | 下葎伏せを3mm塗った後、より砂の多い漆喰で6mm、3mmの順に中塗りを施した。むら通し塗りは施さない。 | 下付けを1mm、上付けを1mm、各々整面しながら施した。        |
| 解体修理時 実施工法               | 「当初の工法に同じ」                           | 「麻下葎長さ60cmをニツ折り真鍮釘にて横21cm、縦27cm間に千鳥に打付ける」「主屋は木摺下地とし、麻下葎を長さ60cmニツ折り、在来の空き(23cm)に千鳥に真鍮釘で打ち付ける」 | 「下葎を半片塗り込みながら厚1.5cm内外に下塗りする。(砂、漆喰、苧、のり)」        | 「大壁は下葎の半片を千鳥に厚さ1.5～2cmの中塗りに塗り込むとする。乾燥後むら通し中塗(漆喰下付)」  | 「上塗りは漆喰を用いて金鍍で不陸むらの生じないように入念に塗り上げる」 |
| 当初                       | 「木摺杉手挽材巾6cm、厚1.2cm、明き5mm、目透し、継手突き付け」 | 「麻下葎長さ90cmをニツ折り、横24cm、縦30-36cm間に千鳥に打付ける」   | 「砂、マニラ苧、石灰、のり混合の粘土の強いものを7mm厚に木摺明きに押込むように塗る」     | 「砂、マニラ苧、粘土、のり混合の砂の強いもので(苧は下塗りよりも多い)厚12mmに塗る」         | 「漆喰にて1.5mm厚に塗上げる」                   |

## ○ 左官作業工程

## ●2010.10/28 一日目 下塗り

## ・ 下ごすり用漆喰

生漆喰+砂 漆喰 10 に対して砂は 1 の割合。ただしバケツで混ぜながら調整する。

砂は、川砂を六厘目(約 1.8mm)の篩で篩ったものを使用。細かく篩うのは塗り残しを防ぐため。また、一回に確実に砂の厚み分は塗れていることも保証される。

・ 先に下ごすりをしたため、下げ葎を打つ際に間の漆喰が漏れてくるという事態が発生。なお、下ごすりの塗り厚は上述の砂の直径と実測から約 2mm 程度とする。

## ・ 下げ葎

とっくり結びにし、7分(約 2.1mm)の細鉄釘に巻いた細い晒し麻紐を使用。

今回は、一つあたり四本でている紐を、二本ずつ二組に分けて下塗りとは中塗りにそれぞれ塗り込み、漆喰の層間剥離の防止、強度の向上を図ったがこれは現行の旧伊達郡役所の工法に従っている。

## ・ 一日目の手順

1.生漆喰を刷り込む。

2.下げ葎を打つ。

3.下塗りを施す。

## ・ 「半片」の二通りの解釈

・ 下げ葎は約 150 本打っている。

・ 隙間からはみ出した漆喰が下げ葎の定着に役立つ



## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

- ・ 生漆喰+砂 比率は 6:4・・・下塗りの最後に塗ったもの、中塗りの定着を助ける。塗り厚は約 3mm.

- ・ 生漆喰の制作方法

つのまたをパール缶 1 杯半ほどの水で煮る。糊状になったつのまたを白毛スサに吸わせつつ混ぜる。その後石灰を加え、天樽に保管する。使用する時と場合に合わせて調整を加える。古くなると糊の効果が薄まり、水持ちが悪くなるため使用時期の見極めが重要である。調合比率は、石灰 20kg(1 袋)に対して、糊状つのまた 1200g に対して白毛スサ 800g である。

- ・ スサに関して

今回、通常の左官仕上の構法に従い、スサは「白毛（しらが）」と「晒し」の 2 種類を使用した。

共に麻素材をほぐしたものであるが、後者は晒すことなどにより、不純物をより取り除いてある。「白毛」が下塗りと中塗りに、「晒し」が上塗りに用いられる。

- ・ 木摺の明きへは 8mm 程度木摺伏の漆喰が入っている（実測による）。

### ● 11/8 二日目 中塗り

- ・ 今回は、前回の砂漆喰(生漆喰:砂=6:4)に石灰を加え、つのまたの相対量を減らす方法で漆喰を作成。糊の量は半分ほどに調整。

- ・ 中塗り土は使用しない。

- ・ 生漆喰:砂=1:1 程度のものをつくり、石灰を加える。糊を 700g 程度に調整。

- ・ 厚みは 2 分 5 厘(約 7.5mm)から 4 分 (約 12mm) ぐらいまで。

- ・ 一回あたり、4mm 程度の塗り厚 (6 厘=1.8mm×2) の見当。

- ・ 中塗りは一回目の塗りで、下げ苧を塗り込む。

- ・ 下塗りにクラックが散見される。

- ・ 左上部分は 1:1 に石灰を混ぜた固いもので一回目も塗っている。

- ・ 乾いた下塗りは水を吸う。

- ・ 下げ苧は、上下の重なりが交互になるように塗り込んで行く。

- ・ ムラ乾きは省略。すかさず 2 度目の塗りに入る。

- ・ 材料の変更は、上述の 1:1+石灰の固めの砂漆喰。

- ・ 今回の塗りは、下げ苧伏せが 1 分、次が 2 分、最後が 1 分の計 4 分(12mm)塗り。糸を張って厚みを調整。その後定木、スチロール鋺（小、大）でならす。

- ・ 次回までに乾きすぎた場合、まず 6:4 の上塗りをし、仕上に石灰:晒しスサ:700g:つのまた 600g のものを塗る。最初の生漆喰とはスサの種類とつのまたの量が違う。

### ● 11/10 三日目 上塗り=下付け+上付け

- ・ 木摺の「跡」が出ていることについて・・・11/8 に下塗りのムラ直し、11/10 に中塗り、という工程を踏めば出なかったのではないか。木摺明き上と、木摺面上で乾き方に差が出た為と考えられる。

- ・ 中塗りが生乾きの方が次の塗りは早く水をすわれて早く馴染む。

- ・ 今回も木摺面の方は下付けの乾きが悪い→新聞紙で吸収

- ・ 下付け：約 1-2mm 新聞紙で水を吸った後、上付け。材料比は、別紙→表を作成した。

- ・ 上付け：横にのばしてゆく。直しも横に。時に両手で押すように。材料比は同上。鋺は数種類を使い分ける。焼き入れを施した固いものは整面用。

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 4.4.2.7. 計測計画

変位計及び歪みゲージを利用し以下の項目を測定した。チャンネルリストと計測計画図を示す。

表 4-25 チャンネルリスト

|      |        | CH. 000       | CH. 001       | CH. 002       | CH. 003       | CH. 004       | CH. 005       | CH. 006       | CH. 007       | CH. 008       | CH. 009       |
|------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 試験体1 | Remark | TCLP-20B      | DP-1000E      | DP-1000C      | DP-1000C      | CDP-25        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | LFLA-10-11    |
|      | Unit   | tf            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | $\mu\epsilon$ |
| 試験体2 | Remark | TCLP-20B      | DP-1000E      | DP-1000C      | DP-1000C      | CDP-25        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        |               |
|      | Unit   | tf            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |               |
| 試験体3 | Remark | TCLP-20B      | DP-1000E      | DP-1000C      | DP-1000C      | CDP-25        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        |               |
|      | Unit   | tf            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |               |
| 試験体4 | Remark | TCLP-20B      | DP-1000E      | DP-1000C      | DP-1000C      | CDP-25        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        | CDP-50        |               |
|      | Unit   | tf            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            | mm            |               |
|      |        | CH. 010       | CH. 011       | CH. 012       | CH. 013       | CH. 014       | CH. 015       | CH. 016       | CH. 017       | CH. 018       | CH. 019       |
| 試験体1 | Remark |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 試験体2 | Remark | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    |
|      | Unit   | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ |
| 試験体3 | Remark | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    |
|      | Unit   | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ |
| 試験体4 | Remark | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ |               |               |               |               |               |               |               |
|      |        | CH. 020       | CH. 021       | CH. 022       | CH. 023       | CH. 024       | CH. 025       | CH. 026       | CH. 027       | CH. 028       | CH. 029       |
| 試験体1 | Remark |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 試験体2 | Remark | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      |
|      | Unit   | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ |
| 試験体3 | Remark | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      |
|      | Unit   | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ |
| 試験体4 | Remark |               |               |               | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      | FLA-1-11      |
|      | Unit   |               |               |               | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ |
|      |        | CH. 030       | CH. 031       | CH. 032       | CH. 033       | CH. 034       | CH. 035       | CH. 036       |               |               |               |
| 試験体1 | Remark |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 試験体2 | Remark | FLA-1-11      |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   | $\mu\epsilon$ |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| 試験体3 | Remark | FLA-1-11      | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    |               |               |               |
|      | Unit   | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ |               |               |               |
| 試験体4 | Remark | FLA-1-11      | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    | LFLA-10-11    |               |               |               |               |               |               |
|      | Unit   | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ | $\mu\epsilon$ |               |               |               |               |               |               |

# 計測器の配置

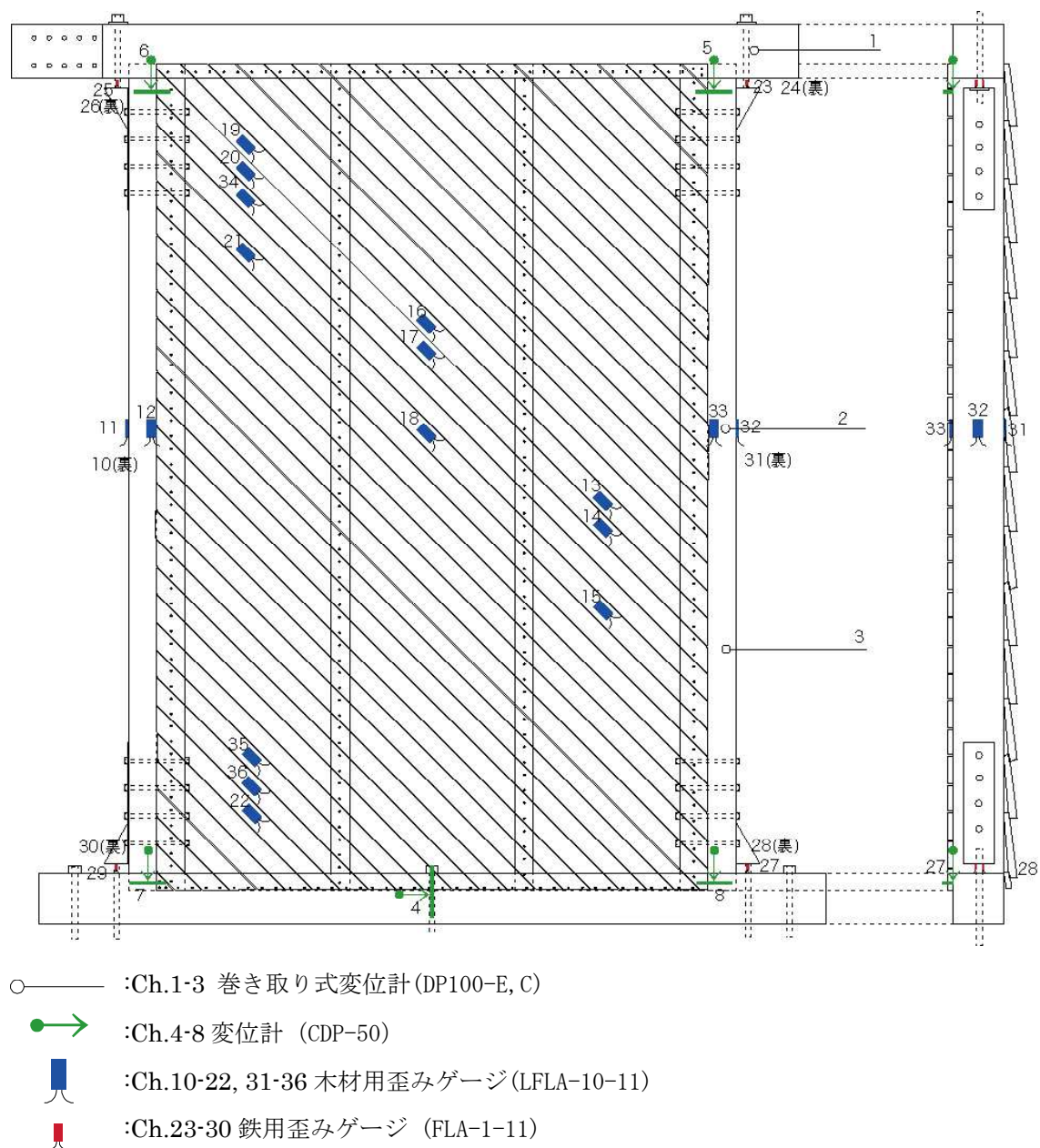


図 4-129 計測計画図

図中番号はチャンネルナンバーを示す。

なお、歪みゲージは試験体 2-4 に取り付けたが、木摺に歪みゲージを取り付けたのは試験体 2,3 のみである。また、漆喰層上のひずみは計測を行っていない。Ch.31-36 は試験体 3 にのみ取り付けている。

### 4.4.3. 実験結果

#### 4.4.3.1. 荷重変形曲線

以下に試験体1～4の荷重変形曲線と包絡線を示す。

包絡線はジャッキ引き方向〔斜め木摺引張方向〕（負）を反転させ、ジャッキ押し側〔斜め木摺圧縮方向〕（正）に重ねて示した。

なお、試験体1ではイニシャル計測の段階でのズレ（+1.36kN）を補正している。

また試験体3では、1/120rad以降は下見板をはずし、片面斜め木摺のみの場合として実験を継続した。その前後では明らかに異なる挙動をあらわしたため、1/120rad以降の部分は包絡線を決定する際、下見板をはずして以降のデータの0-120radの範囲をピークではなく新しいイニシャル点直後の荷重変形関係を0点まで延長し、補完した。

試験体 1 荷重変形曲線と包絡線

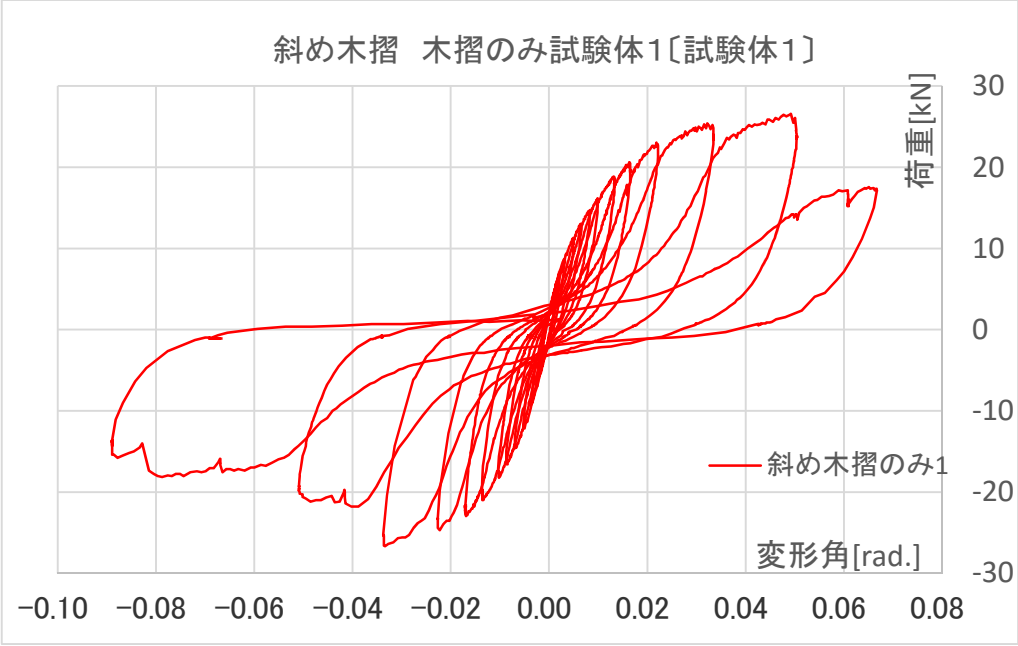


図 4-130 木摺のみ試験体 1 荷重変形曲線

包絡線 ゼロ点補正後 試験体 1

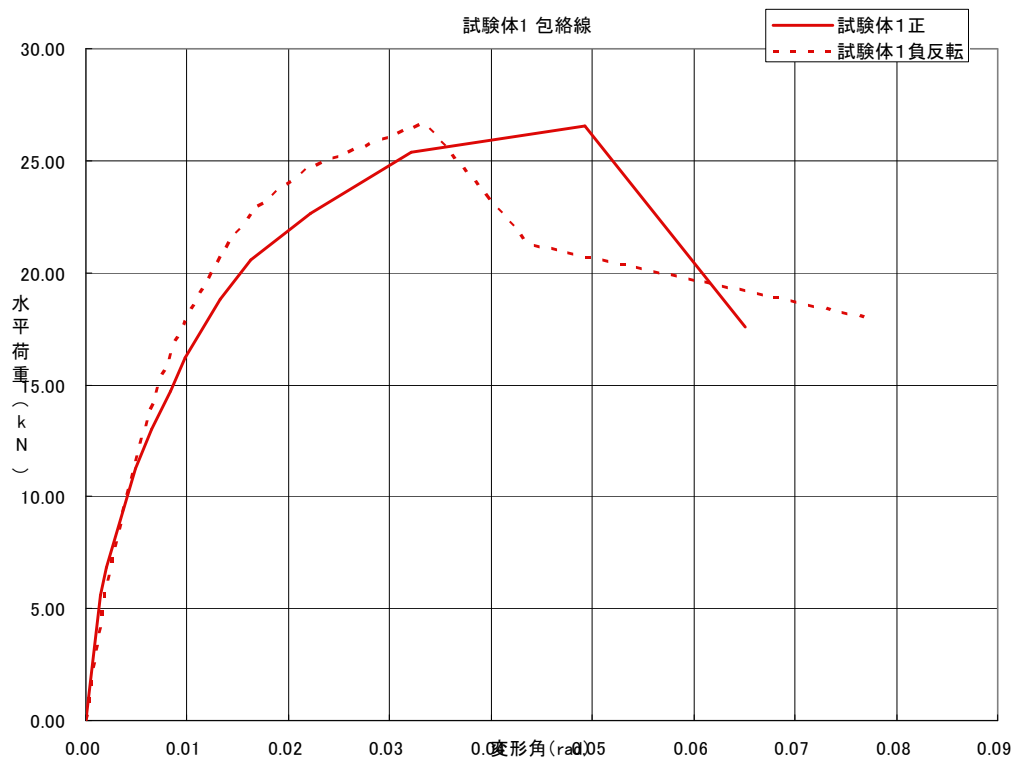


図 4-131 試験体 1 包絡線 ゼロ点補正後



試験体 2 荷重変形曲線と包絡線

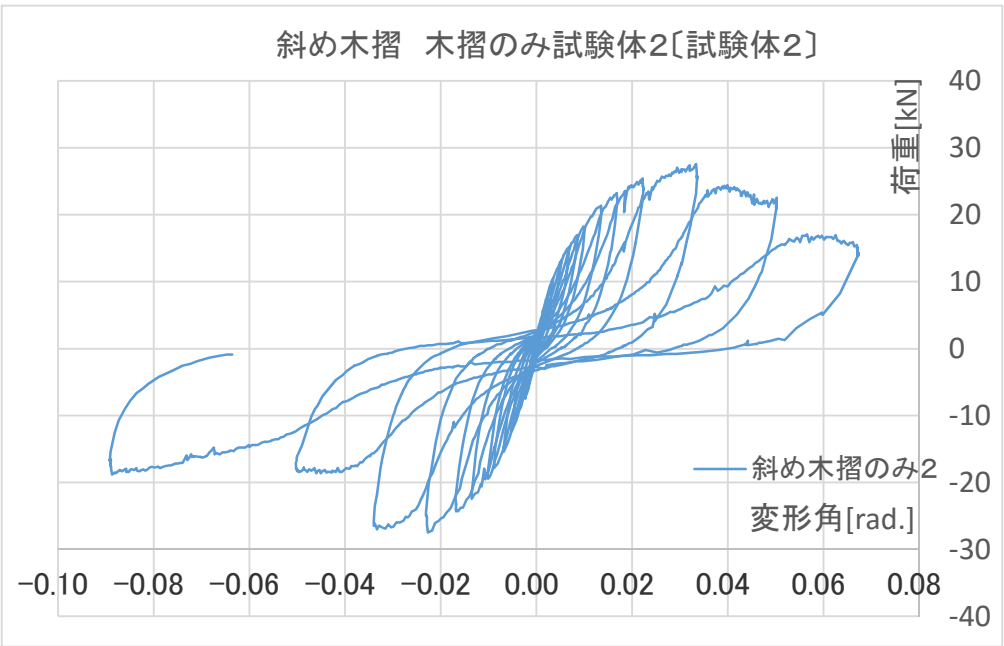


図 4-132 試験体 2 荷重変形曲線

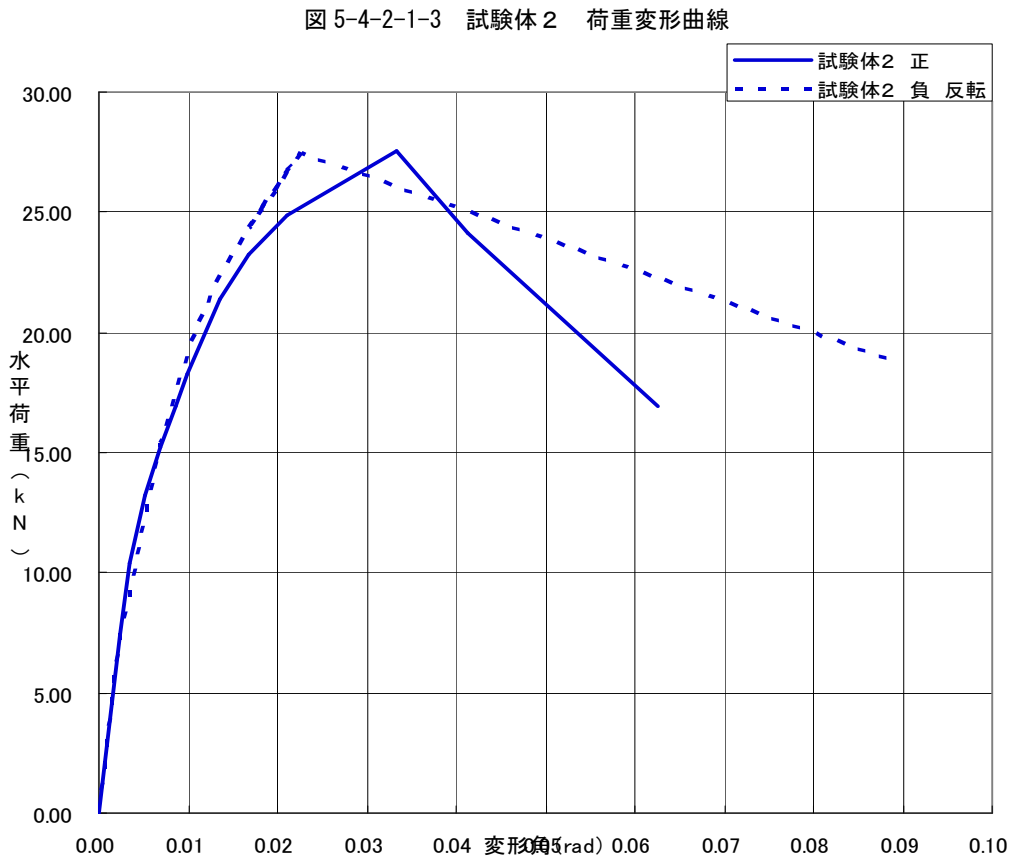


図 4-133 試験体 2 包絡線

試験体 3 荷重変形曲線と包絡線

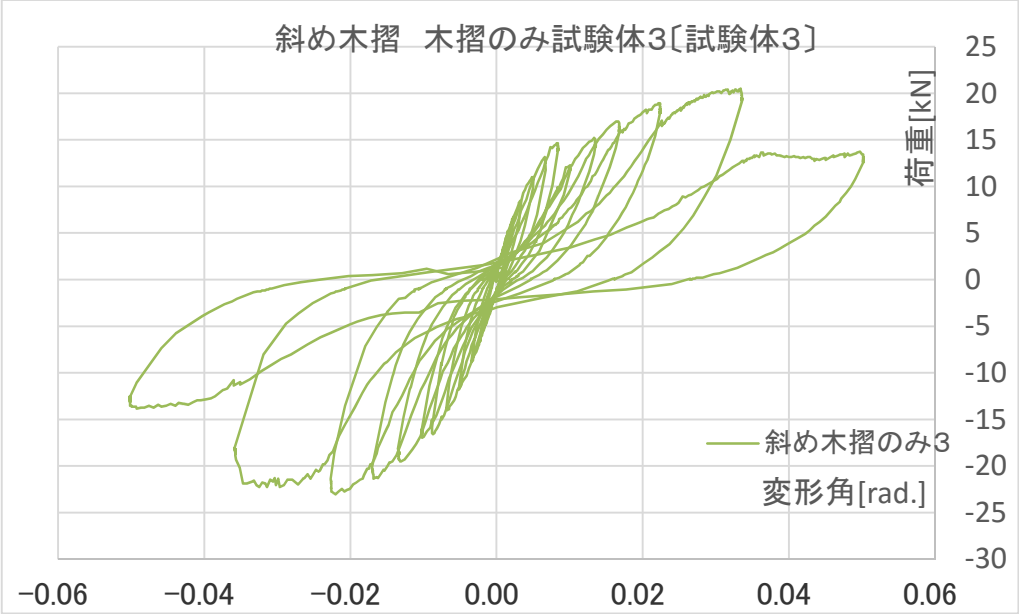


図 4-134 試験体 3 荷重変形曲線

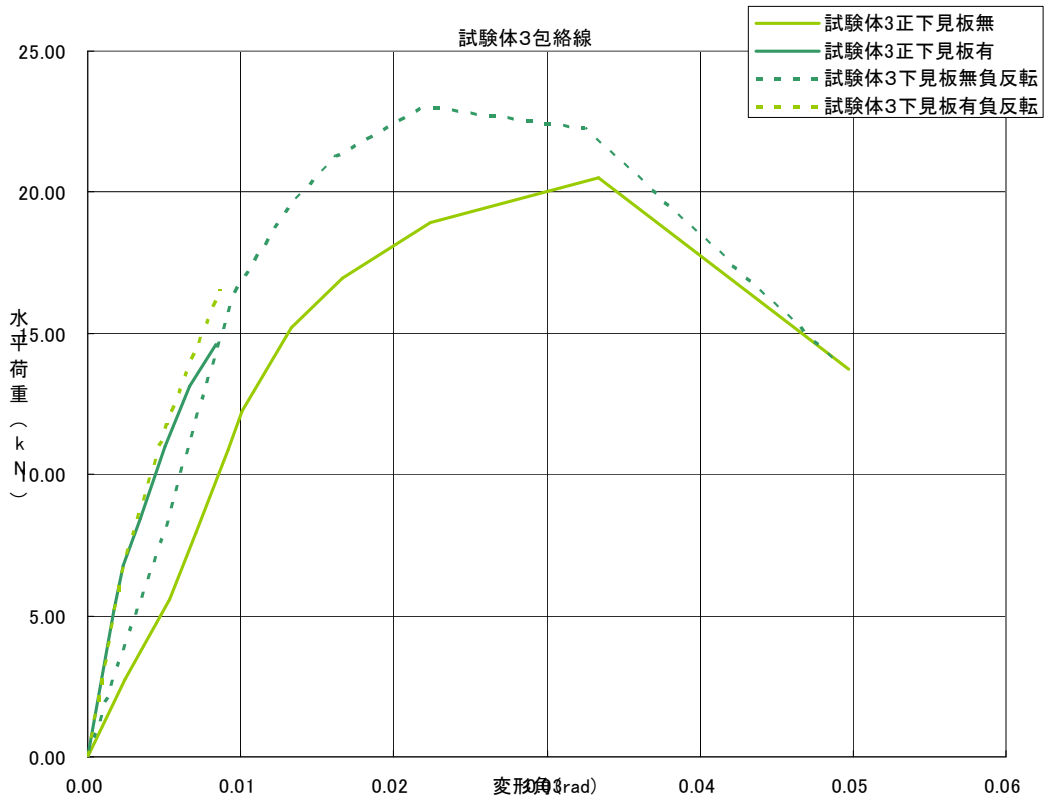


図 4-135 試験体 3 包絡線

試験体 4 荷重変形曲線と包絡線

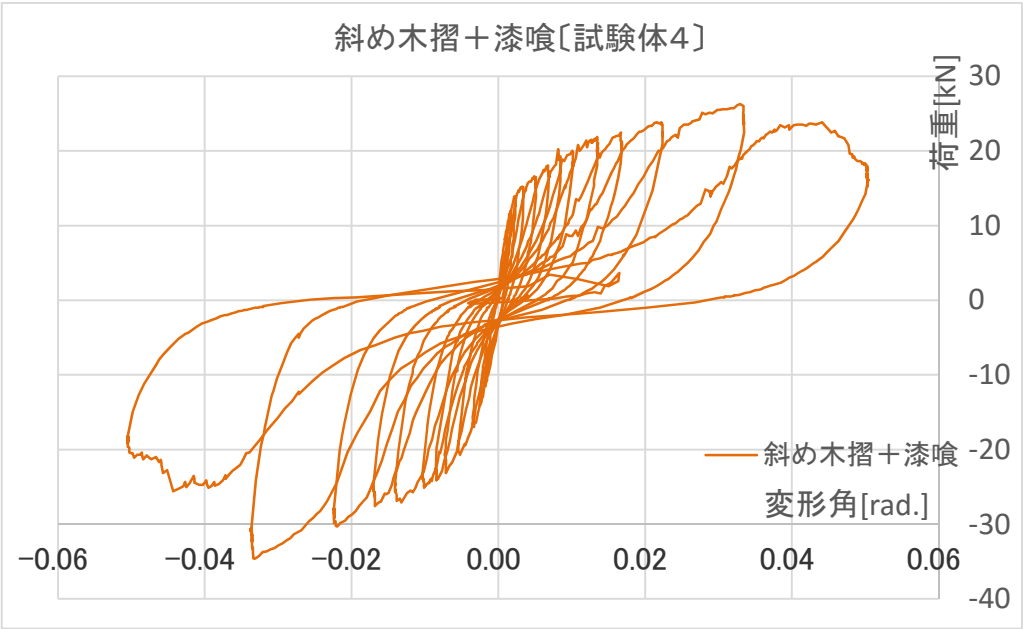


図 4-136 試験体 4 荷重変形曲線

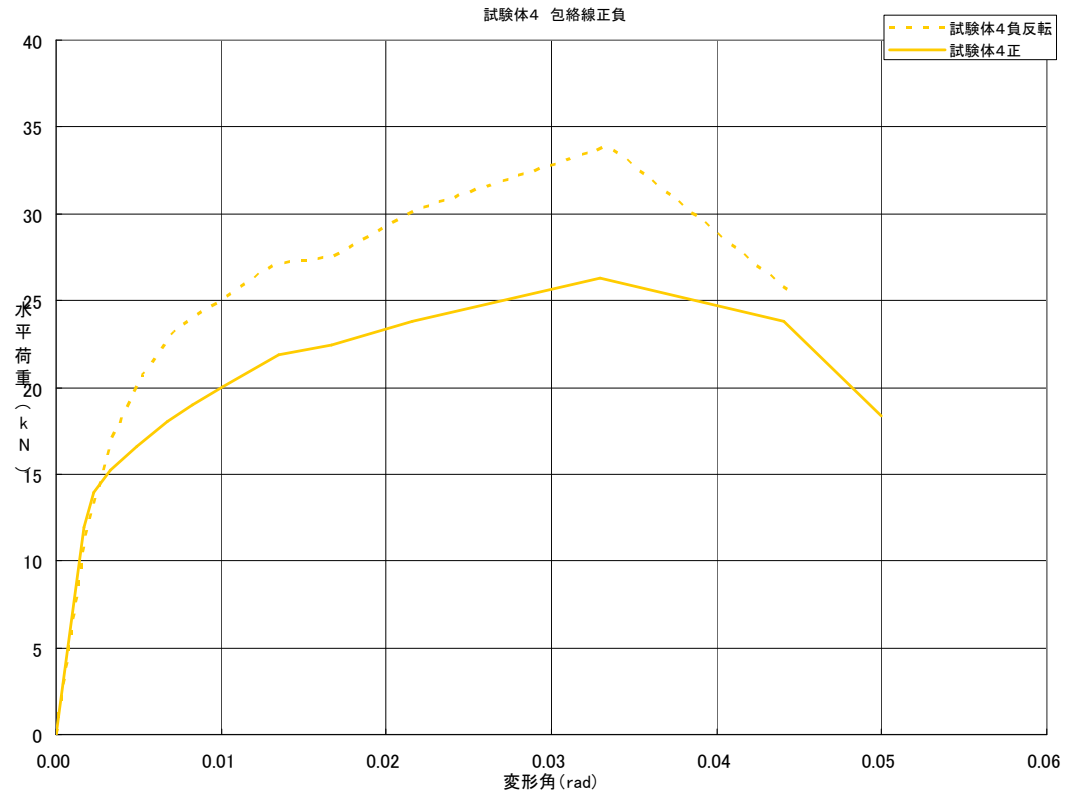


図 4-137 試験体 4 包絡線

試験体 1－4 包絡線

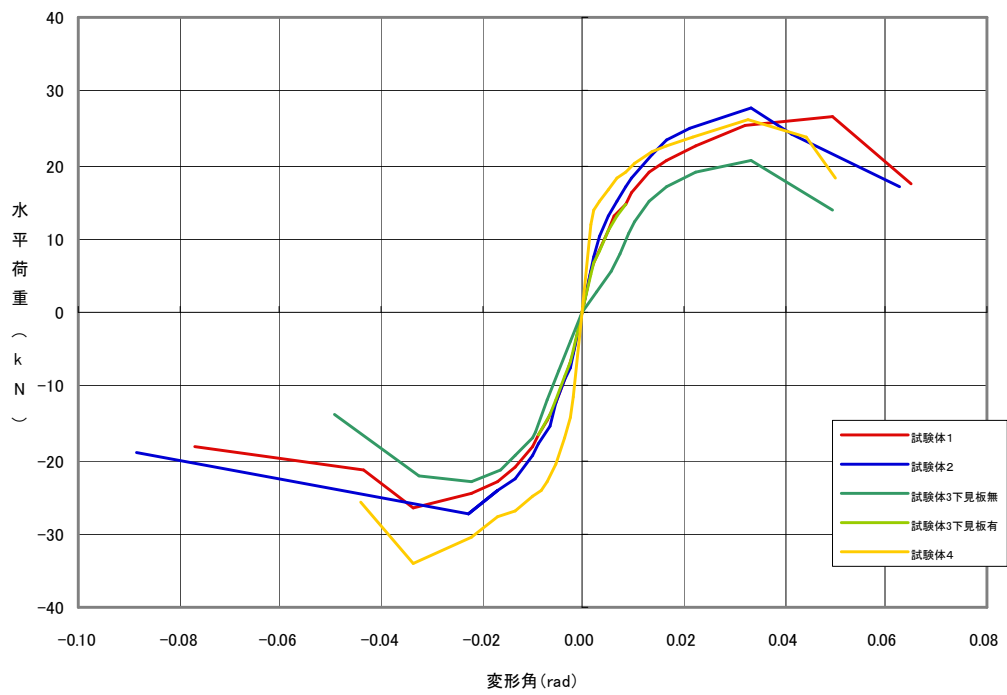


図 4-138 試験体 1～4 包絡線

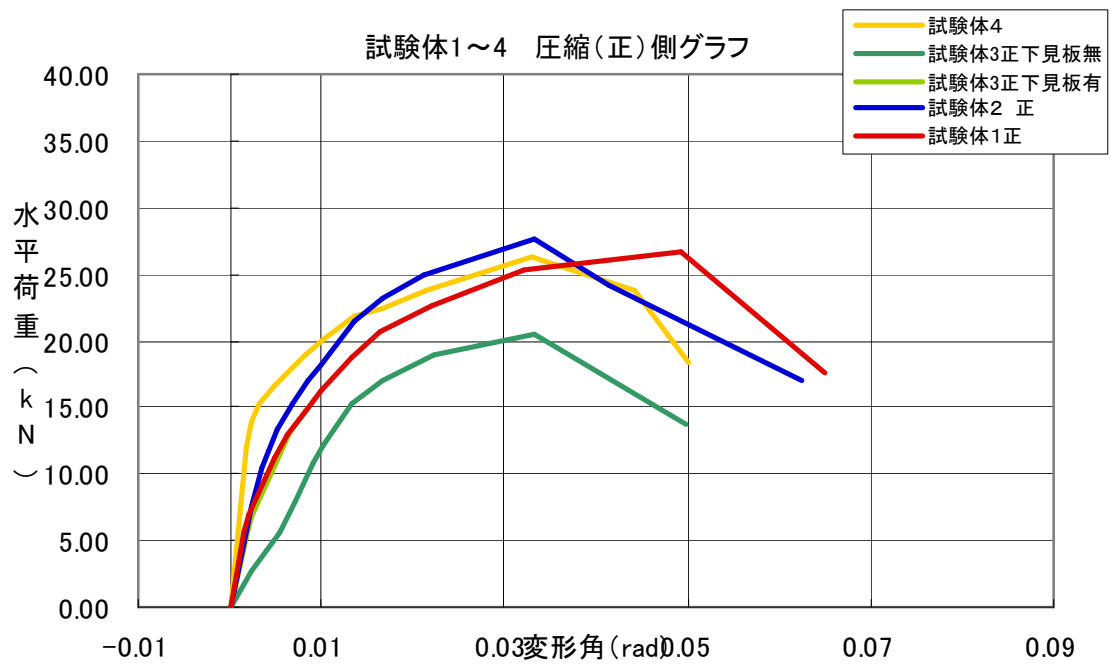


図 4-139 試験体 1～4 圧縮(正)側グラフ

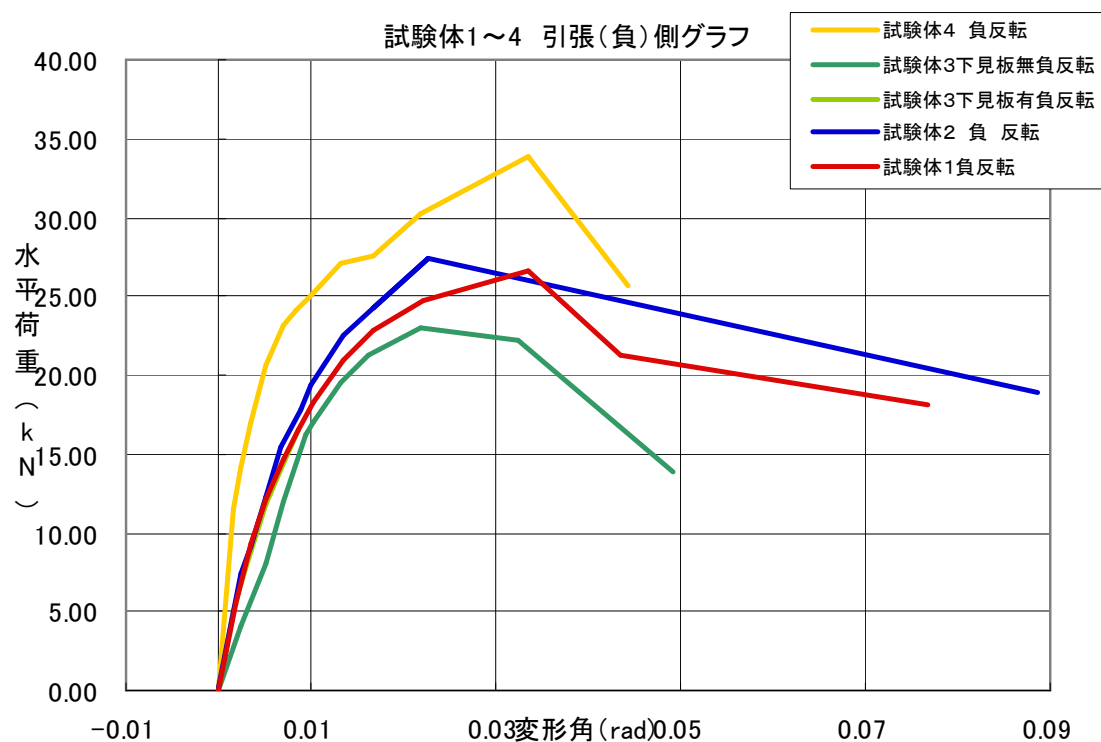


図 4-140 試験体1～4 引張(負)側グラフ

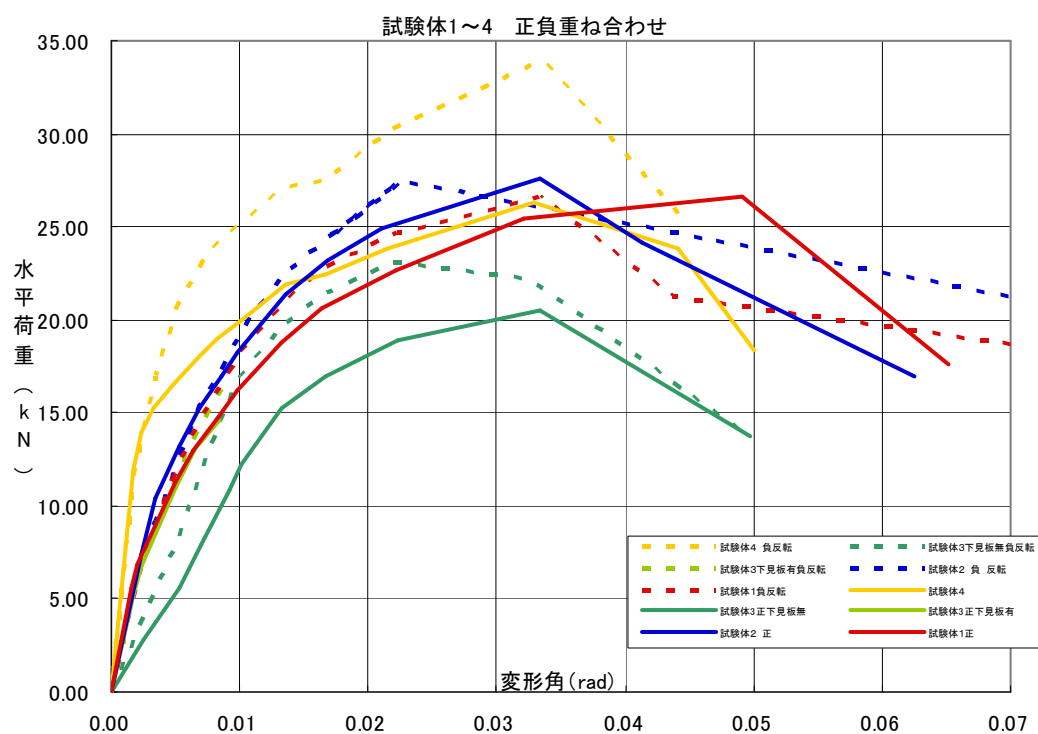


図 4-141 試験体1～4 正負重ね合わせ



### 4.4.3.2. 破壊の進行

試験体4の実験時損傷，変化に関する時系列的な資料を掲載する．試験時のピーク値記録表，破壊の進行に関するメモとまとめ，解体後判明したこと，写真，観測図の順で記述する．また簡便のため，計測計画図を再掲するが，赤字は分析のために割り当てた木摺番号であり，以下本項で「左柱上 25-28 が…」などの表記は Ch.番号ではなく木摺番号を指す．

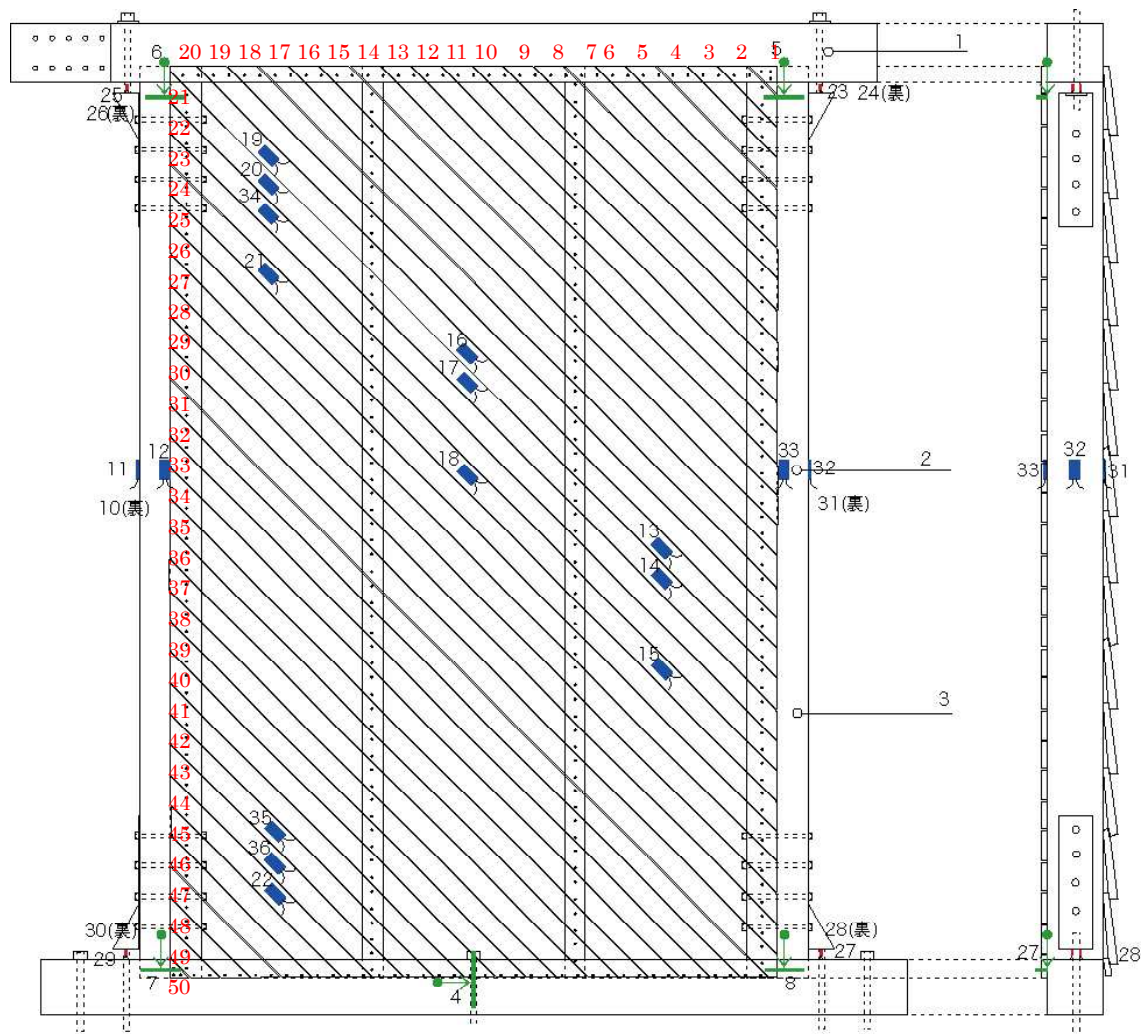


図 4-142 試験体4 計測計画図

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 試験体4 試験結果

実施日時：2010年11月24日

- ・計測インターバル3秒 漆喰塗り仕上げ(上塗りからの乾燥期間は11/8-11/24の16日間)
- ・柱とボルト以外の歪みゲージを使用しない。

表 4-26 試験体4 試験結果

2010 1124 試験体4 静的水平加力試験 コンピューター上開始 15:00 (実際も15:00)

正は圧縮/押し、負は引っぱり/引きとする。

| 時刻    | 標点距離(mm) | 変形角(rad) | 理論上の層間変位 (mm) | 計測した層間変位 (mm) |        | 荷重 (kN)  | 備考   |
|-------|----------|----------|---------------|---------------|--------|----------|--|
| 15:00 | 2798.5   |          |               |               |        |          |  |
|       |          | 1/600    | 4.66          | 正             | 4.79   | 正 11.96  |  |
|       |          |          |               | 負             | -4.8   | 負 -11.47 | -3.7kNでベキッと小さい音                            |
|       |          | 1/450    | 6.22          | 正             | 6.53   | 正 13.73  | 漆喰に亀裂が入る。木ずりに沿って(変位6mm位でだと思われる)            |
| 15:25 |          |          |               | 負             | -7.04  | 負 -13.93 |  |
|       |          | 1/300    | 9.33          | 正             | 9.48   | 正 15     | 8mm位で亀裂が中央付近にはっきり入る                        |
| 15:40 |          |          |               | 負             | -9.46  | 負 -16.87 |  |
|       |          | 1/200    | 14            | 正             | 14.23  | 正 16.38  | 全体からビキビキという音                               |
| 16:00 |          |          |               | 負             | -15.19 | 負 -20.01 | メシメシ                                       |
|       |          | 1/150    | 18.66         | 正             | 18.98  | 正 17.65  | 亀裂が広がっている 小さいが常にビキビキという音が聞こえている            |
| 16:20 |          |          |               | 負             | -19.98 | 負 -22.56 | 左下漆喰壁少し浮き上がる                               |
|       |          | 1/120    | 23.32         | 正             | 23.64  | 正 18.73  |  |
| 17:00 |          |          |               | 負             | -23.6  | 負 -23.73 |  |
|       |          | 1/100    | 27.99         | 正             | 28.51  | 正 19.61  |  |
|       |          |          |               | 負             | -28.32 | 負 -24.91 |  |
|       |          | 1/75     | 37.31         | 正             | 37.78  | 正 21.67  | 30mm辺りで斜めの亀裂が大きく繋がった                       |
|       |          |          |               | 負             | -38.76 | 負 -26.09 |  |
| 18:40 |          | 1/60     | 46.64         | 正             | 46.59  | 正 21.87  |  |
|       |          |          |               | 負             | -47.06 | 負 -26.87 |  |
|       |          | 1/45     | 62.19         | 正             | 62.36  | 正 23.54  |  |
|       |          |          |               | 負             | -62.69 | 負 -29.52 |  |
| 19:20 |          | 1/30     | 93.28         | 正             | 93.46  | 正 25.5   |  |
|       |          |          |               | 負             | -93.4  | 負 -34.13 | 最大耐力                                       |
| 20:00 |          | 1/20     | 139.93        | 正             | 140.55 | 正 17.95  | 19.2kN, 135mmで木ずり21番の左上が抜ける その後左はほぼ引き抜けた状態 |
| 20:45 |          |          |               | 負             | -140.8 | 負 -19.7  | 上方の壁が大きく剥離 荷重も0.8Pmaxを下ったため ここで試験終了とする     |
|       |          | 1/15     | 186.57        | 正             |        | 正        |  |
|       |          |          |               | 負             |        | 負        |  |
|       |          | 1/10     | 279.85        | 正             |        | 正        |  |
|       |          |          |               | 負             |        | 負        |  |

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

### 試験体4の損傷観測


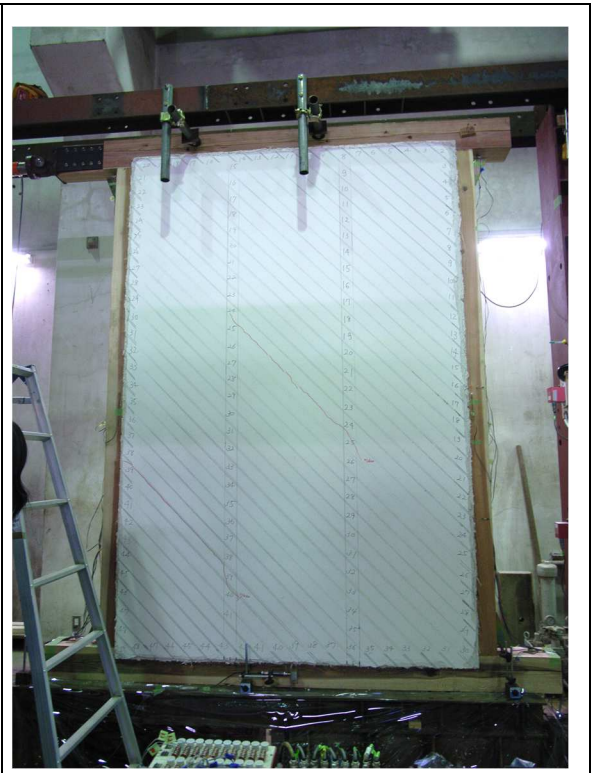


表 4-27 試験体4 損傷観測

| 漆喰仕上げ 木摺上のゲージはなし インターバル3秒 |         |   |
|---------------------------|---------|---|
| 変形角<br>(rad)              | 木ずり観察記録 | 下見板観察記録   |
|                           |         |   |
| 1/600                     | 正<br>負  |   |
| 1/450                     | 正<br>負  | ミシミシ音の後、6mm辺りで間柱間の24と25の境界に沿って亀裂が入る 中心下から左間柱40-41も 20, 21は意外と変化なし<br>右間柱真ん中辺り音がする   |
| 1/300                     | 正<br>負  | 新しい亀裂が更に縦(木摺に沿わずに)に入る 15上からと11右から左 最初の亀裂が上に延伸するなど 最初の中心24-25亀裂が右にも延伸し26-27右端と繋がる上にもつながり15左上から27右までの長い縦亀裂ができる  |
| 1/200                     | 正<br>負  | 新しい変形域から全体にバリバリという音がする。真ん中上の亀裂延伸 中心下の40-41亀裂が更に左の38-39の亀裂を伴い繋がるこれ以降、亀裂は縦の15-27亀裂と、38-40左下亀裂に集<br>引きでは亀裂は閉じる 周囲からビリビリ音<br>ここまで特に変化なし   |
| 1/150                     | 正<br>負  | 中心32-33に亀裂 1/300で入った縦の亀裂は広がらず、25-26中心から右、38-39左から中心、などに亀裂の広がりは集中していく また、39-40左など木摺の対角線方向にも亀裂が入り始め<br>左全体、特に46-50は5mm程度下ぐすり漆喰が木摺から明きに入っている分まで丸ごと浮く<br>柱脚が浮く(下見板側から見て左)         |
| 1/120                     | 正<br>負  | 左下ぐすりと木摺のはがれ、木摺明きの部分に亀裂が既に奥まで達している。 49左木摺が浮く 20-39も左側が浮く 右も浮いている 木摺と漆喰の挙動の違いか。<br>左端の木摺が浮いている。下に行くほど大きく、他方右上は引きでは剥離ははっきり見られない。亀裂は細かく増えるが大きなものが開き閉じを繰り返していく。                   |
| 1/100                     | 正<br>負  | 左の剥離は更に進む。木摺から漆喰が、柱中心が膨らむように浮き上がる。<br>左の浮き更に大、右はほぼなし。左側の木摺間から漆喰抜けてきて崩れ、鉄骨梁上にバラバラ落ち続ける。この量からも右では面外にほぼ動いていない。この粉が初期からのバラバラという音<br>-25mmボンという音                                   |
| 1/75                      | 正<br>負  | 真ん中の亀裂大(30mm 耐力低下 バキッバキッという音) 右が浮く 右の下ぐすり漆喰は木摺の中に残って上部層と取れてしまっている 浮きは減ってきているように見える<br>シュワシュワ音<br>右はほぼ浮きなし。  |
| 1/60                      | 正<br>負  | 50mm前後で耐力がかなり低下 剥離の進行? 左は上まで完全に剥がれて10mm程度浮いている<br>右変化ほとんどなし左も浮いたまま 柱脚正負で浮き上がりの差が1-2mm、2-4mmある -1/100から-1/60にかけて左下の亀裂はますます大  |
| 1/45                      | 正<br>負  | 50mm前後で釘が引きぬけていくような音<br>20mm漆喰が木摺より左に面ごとズレている もう追隨していないようだが剥落もしない どのように接合されているのか 亀裂は引きでは潰れて割れが出ている(割れが等間隔?)   |
| 1/30                      | 正<br>負  | 21-26の「木摺が」浮き始める 依然漆喰壁は剥落しない 下げ桟による保持効果があるのか 亀裂間を見ると下げ桟に張力がかかっている 木摺明きに残る漆喰の圧縮による面材化?<br>板の釘特に上側にせん断ズレ 引き側で両方にズレが発生<br>木摺21-23引き抜け近い 右は木摺りと漆喰壁がはっきり水平にずれている<br>4-5mm柱脚浮き(左)   |
| 1/20                      | 正<br>負  | そろそろ左上が引き抜けそう 左は21-38まで、ほぼ抜けかけ135mm、19.2kNで21が最初に引き抜ける<br>左の間柱が上ほぞの手前側付け根から下に裂けて、裂けた側は木摺と釘で留まったままであった。上方の漆喰壁が右と左で異なる破壊を示していた。左は間柱が裂け、漆喰と木摺りは定着したまま、一方で右は木摺から漆喰壁が剥がれるようなかたちであっ |

### 漆喰あり試験体 試験体4の損傷観測まとめ

- ・亀裂は木摺圧縮方向加力の  $1/450\text{rad}$  という比較的小変形から発生した.
  - ・亀裂は、木摺圧縮方向加力では木摺空きに沿って発生するものが多く、これは木摺空きに入っている漆喰の下ごすり塗り部分が先に破壊するためと推定される.むしろ始点は木摺空きでも亀裂がそれに沿わない場合もあった.また木摺引張方向加力でも  $1/150\text{rad}$  以降、木摺と直角方向にも亀裂が入った.
  - ・  $1/200\text{rad}$  以降は2つの亀裂に破壊が集中した.
  - ・釘が引き抜ける前に、両端の漆喰壁が木摺から面外方向に離れる挙動を見せた ( $1/150\text{rad}$  へ). 木摺の釘が引き抜け始める時点では両端の漆喰は剥がれたままで面外方向への変形はほぼせず、次いで水平方向に木摺とずれてゆく ( $1/60\text{rad}$  へ). 最初の面外への端部の浮き上がりは、木摺の座屈の影響が想定される.
  - ・面外方向にずれ、次いで水平にずれることによって、木摺空きに漆喰が残り、それが引きの時点で木摺と垂直方向に働く圧縮に対して抵抗しているのではないかと推測した.
- ・またそれに関連して、土台上に落ちる漆喰の粉の量は剥がれた下ごすりの量を示していると考えられるが、実験後半に至るまで左が右より多かったが、これは木摺の座屈によるたわみ量の違いが影響している可能性が考えられる.そこから上記の破壊の違いについても仮説を立てることが可能であると考えられる.
- ・下げ苅については、亀裂間で抵抗している様子が確認され、落下を防止していることが確認された.漆喰と木摺が水平にずれて挙動しつつ剥落しないという現象の解明のためには下げ苅の働きについても考察する必要がある.
- ・なお、終局状態においては、上方の壁が共に剥がれたが左右で違う破壊の仕方を示していた.右は漆喰と木摺が剥離し、左では間柱が割裂し漆喰と木摺は付着したままであった.

試験体 4 破壊の進行

|   |  |
|---|--|
|   |   |
| <p>加力前 全景〔間柱・斜め木摺位置を墨付〕</p>   | <p>+1/450 最初の亀裂（中心部および左下）</p>  |
|  |  |
| <p>+1/300 この 2 つの亀裂にこの後破壊が集中</p>  | <p>梁上下こすり漆喰粉末の左右の多寡</p>  |







#### 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| +1/150 漆喰の木摺からの浮き上がり  | 同 漆喰端部の浮き上がり   |
|  |  |
| +1/60 亀裂の集中   | 木摺と漆喰の変形量の差  |

#### 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>亀裂部位での下苅による漆喰層の固定</p>  | <p>+1/20 釘の引き抜け状況</p>  |
|  |  |
| <p>-1/20 終局状態 左上と右上漆喰は剥離</p>  | <p>左側面から 木摺釘の引き抜け破壊状況</p>  |

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 終局：間柱の割裂破壊  | 左下の漆喰撤去後の全体図   |
|  |  |
| 下ごすり漆喰は空気で圧縮されている   | 下見板の変形状態 釘のせん断変形跡は小さい  |



## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

觀察図面  
木摺面 1

試験体 B 下見板

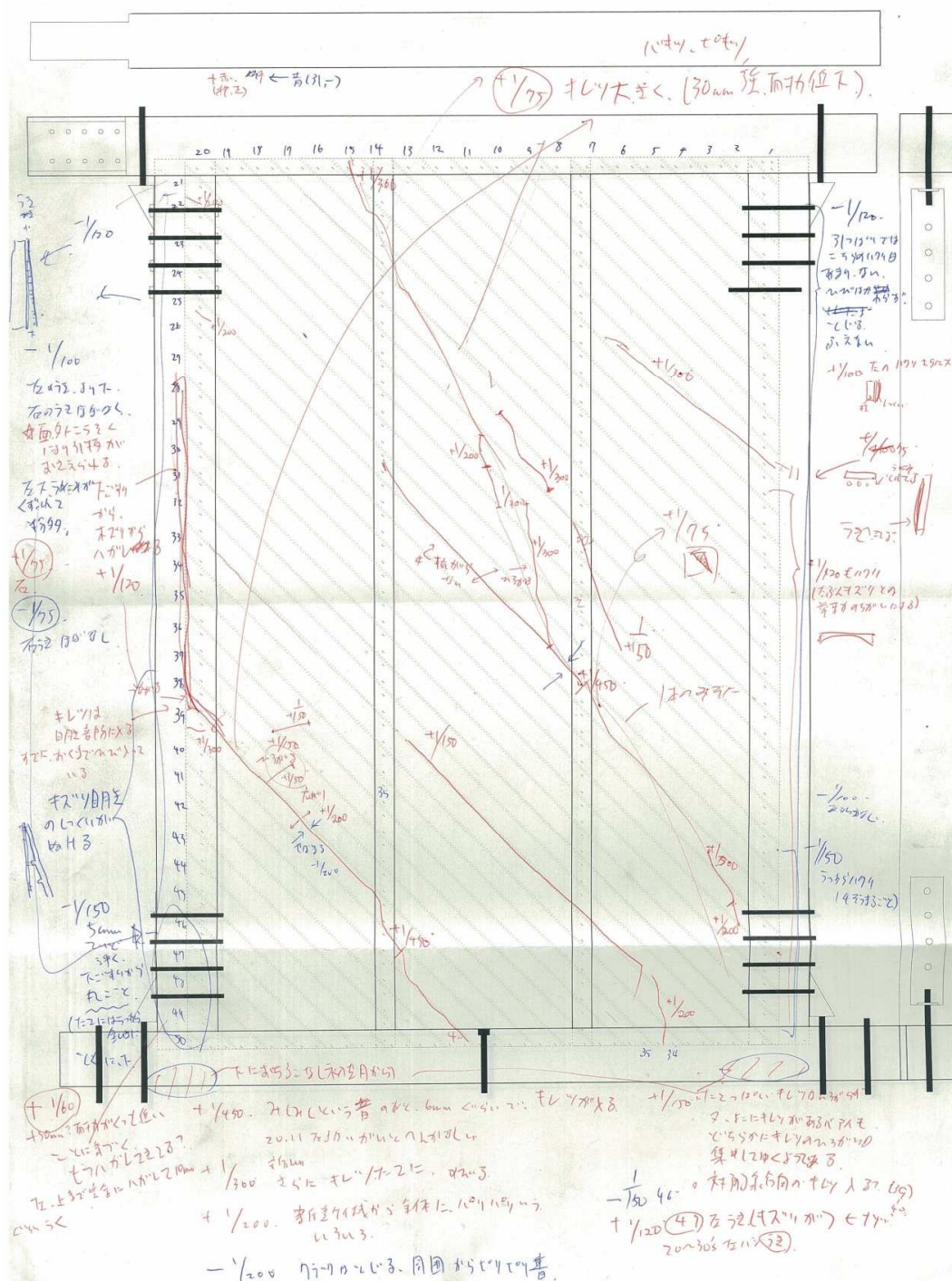


図 4-143 観察図面 木摺面 1

## 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

木摺面 2

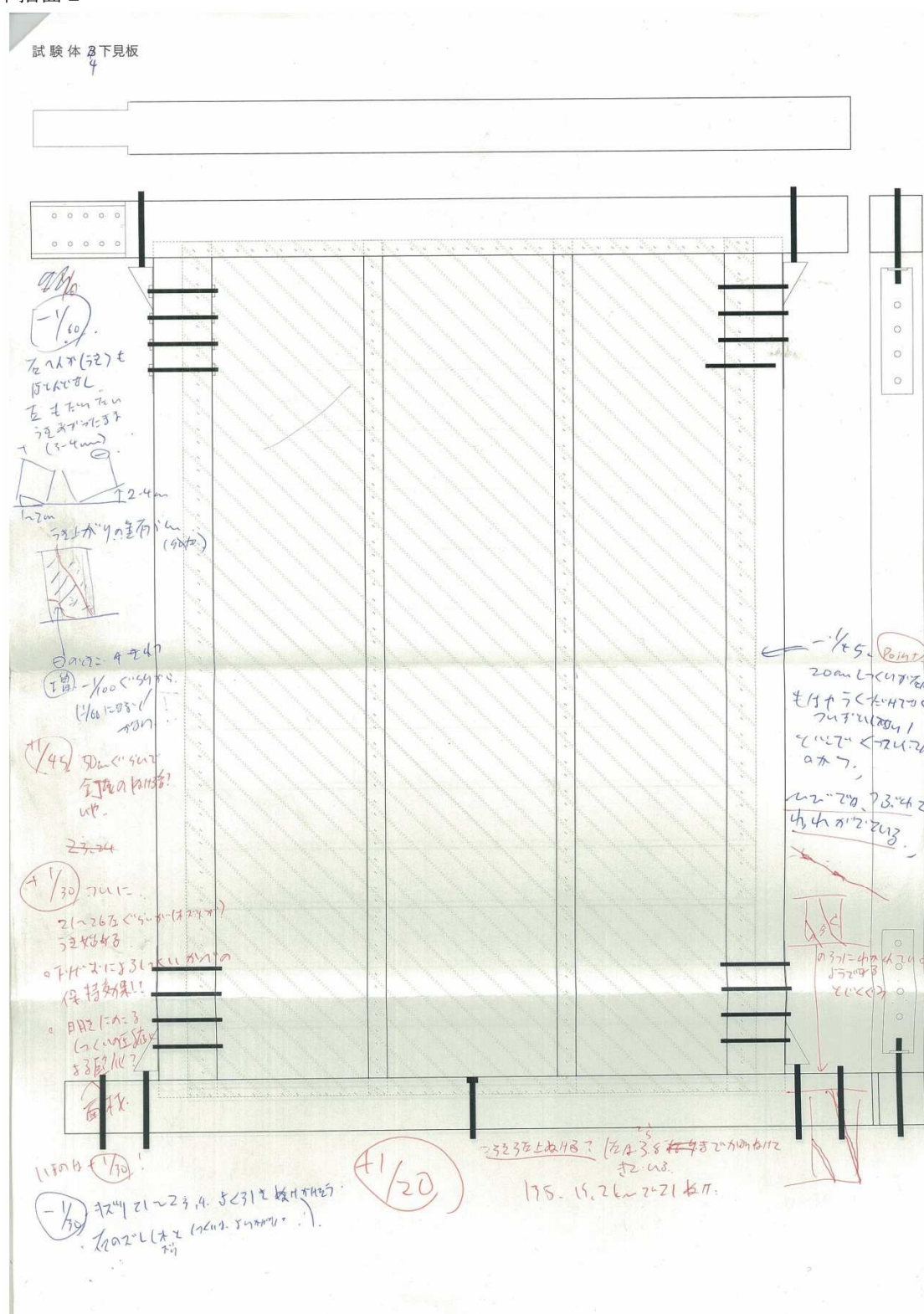


図 4-144 観察図面 木摺面 2



○下見板面

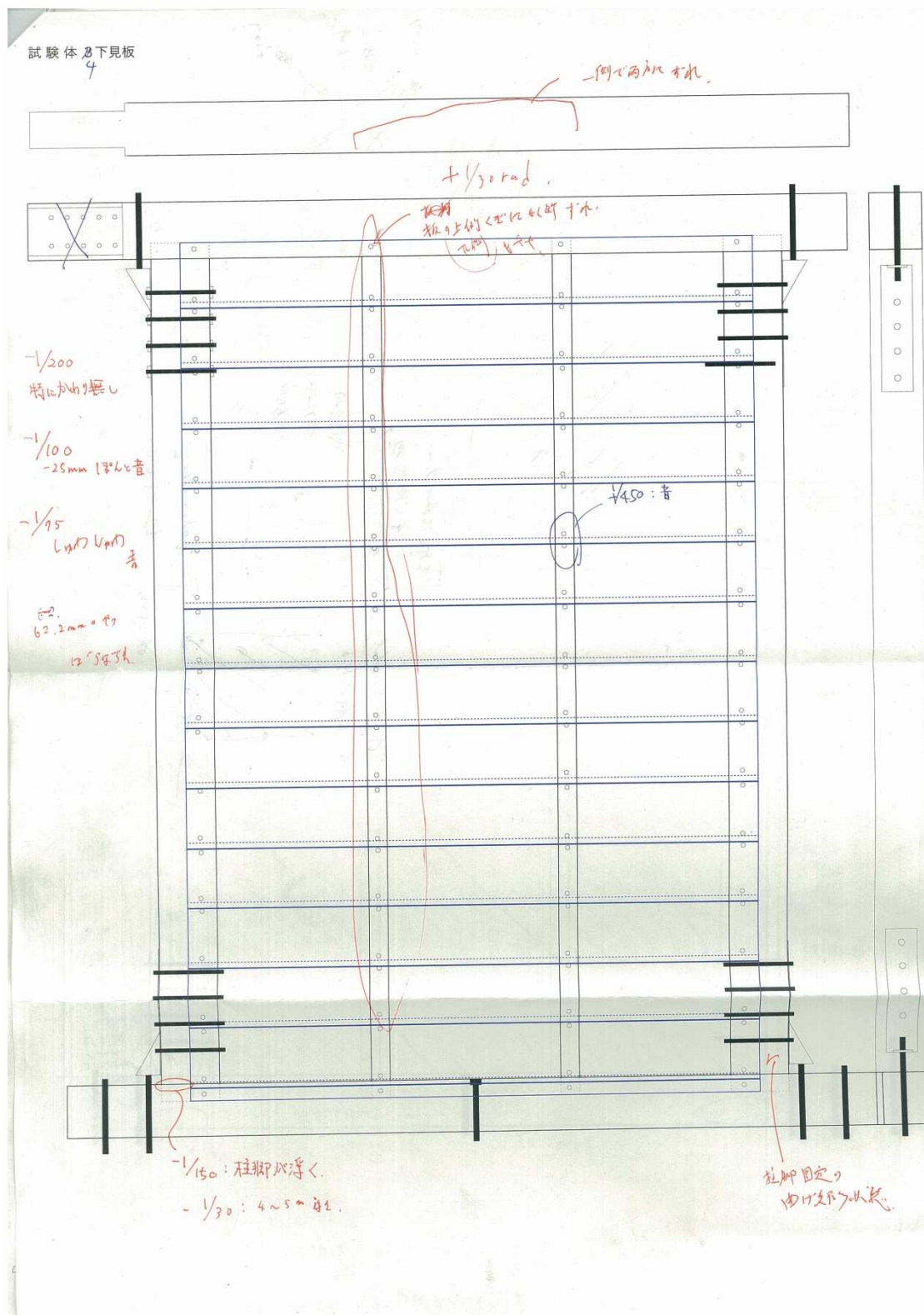


図 4-145 観察図面下見板

#### 4.4.3.3. 壁倍率の算定

完全弾塑性モデルを作成し、壁倍率を算定した。特性値を以下に示す。

表 4-28 特性値表

| 試験体  | 加力方向   | 最大耐力      |             | 1/120変形      |       | 構造特性係数 | 降伏耐力    |                  | 降伏変形角   |                  | 終局耐力             |                  | 仮想降伏             |                  | 初期剛性 |
|------|--------|-----------|-------------|--------------|-------|--------|---------|------------------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
|      |        | Pmax (kN) | Dpmax (rad) | P 1/120 (kN) | $\mu$ |        | Py (kN) | $\delta_y$ (rad) | Pu (kN) | $\delta_u$ (rad) | $\delta_u$ (rad) | $\delta_u$ (rad) | $\delta_u$ (rad) | $\delta_u$ (rad) |      |
| 試験体1 | 正      | 26.58     | 0.05        | 14.74        | 4.26  | 0.36   | 14.76   | 0.01             | 24.28   | 0.01             | 0.06             | 1767.98          |                  |                  |      |
|      | 負      | 26.67     | 0.03        | 16.30        | 3.76  | 0.39   | 14.91   | 0.01             | 24.07   | 0.01             | 0.04             | 2079.57          |                  |                  |      |
| 試験体2 | 正      | 27.56     | 0.03        | 16.74        | 4.53  | 0.35   | 14.37   | 0.01             | 24.43   | 0.01             | 0.05             | 2329.57          |                  |                  |      |
|      | 負      | 27.46     | 0.02        | 17.16        | 3.94  | 0.38   | 15.51   | 0.01             | 25.02   | 0.01             | 0.04             | 2309.42          |                  |                  |      |
| 試験体3 | 正      | 20.50     | 0.03        | 9.73         | 2.58  | 0.49   | 15.41   | 0.01             | 18.85   | 0.02             | 0.04             | 1122.94          |                  |                  |      |
|      | 負      | 23.05     | 0.02        | 14.24        | 2.81  | 0.47   | 18.55   | 0.01             | 21.96   | 0.01             | 0.04             | 1539.56          |                  |                  |      |
| 塗り無し | 平均     | 25.30     | 0.03        | 14.82        | 3.65  | 0.41   | 15.58   | 0.01             | 23.10   | 0.01             | 0.05             | 1858.17          |                  |                  |      |
|      | 変動係数CV | 0.11      | 0.31        | 0.19         | 0.22  | 0.14   | 0.10    | 0.35             | 0.10    | 0.19             | 0.14             | 0.26             |                  |                  |      |
| 試験体4 | 正      | 26.28     | 0.03        | 19.06        | 9.89  | 0.23   | 14.90   | 0.00             | 23.27   | 0.00             | 0.05             | 4884.98          |                  |                  |      |
|      | 負      | 33.93     | 0.03        | 24.03        | 5.79  | 0.31   | 20.15   | 0.00             | 29.73   | 0.01             | 0.04             | 4074.29          |                  |                  |      |

また、壁倍率に直接関係する4つの指標と導出した壁倍率は以下のようになる。

表 4-29 壁倍率

| 試験体     | 加力          | 降伏耐力Py | 終局耐力Pu<br>$\times (0.2/D_s)$ | 最大荷重Pmax $\times 2/3$ | 特定変形時の耐力<br>(1/120rad) | 短期基準剪断耐力<br>P0(ばらつき0.899) | P0(ばらつき0.75) | 低減係数<br>$\alpha$ | 壁倍率<br>=Pa/壁長<br>*1.96(ばらつき0.9) | 壁倍率<br>ばらつき係数<br>=0.75 | 旧耐震<br>壁倍率 | 旧耐震壁倍率の<br>倍率1を1.27kNから<br>1.96kN(現行)にしたもの |
|---------|-------------|--------|------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|--------------|------------------|---------------------------------|------------------------|------------|--|
| 試験体1    | 正           | 14.76  | 13.32                        | 17.72                 | 14.74                  | 11.98                     | 9.99         | 1.00             | 3.36                            | 2.80                   | 4.77       | 3.10                                       |
|         | 負           | 14.91  | 12.29                        | 17.78                 | 16.30                  | 11.05                     | 9.22         | 1.00             | 3.10                            | 2.58                   | 5.27       | 3.43                                       |
| 試験体2    | 正           | 14.37  | 13.87                        | 18.37                 | 16.74                  | 12.47                     | 10.40        | 1.00             | 3.50                            | 2.92                   | 5.41       | 3.52                                       |
|         | 負           | 15.51  | 13.12                        | 18.31                 | 17.16                  | 11.80                     | 9.84         | 1.00             | 3.31                            | 2.76                   | 5.55       | 3.61                                       |
| 試験体3    | 正           | 15.41  | 7.68                         | 13.66                 | 9.73                   | 6.91                      | 5.76         | 1.00             | 1.94                            | 1.82                   | 3.14       | 2.05                                       |
|         | 負           | 18.55  | 9.44                         | 15.36                 | 14.24                  | 8.49                      | 7.08         | 1.00             | 2.38                            | 1.98                   | 4.60       | 2.99                                       |
| 塗り仕上げ無し | 平均          | 15.58  | 11.62                        | 16.87                 | 14.82                  | 10.45                     | 8.72         | 1.00             | 2.93                            | 2.44                   | 4.79       | 3.12                                       |
|         | 変動係数CV      | 0.10   | 0.21                         | 0.11                  | 0.19                   |                           |              |                  |                                 |                        |            |  |
|         | ばらつき係数 1-   | 0.95   | 0.90                         | 0.95                  | 0.91                   |                           |              |                  |                                 |                        |            |  |
|         | 仮定ばらつき係数    | 0.75   | 0.75                         | 0.75                  | 0.75                   |                           |              |                  |                                 |                        |            |  |
|         | 平均×ばらつき係数   | 14.87  | 10.45                        | 15.96                 | 13.53                  |                           |              |                  |                                 |                        |            |  |
|         | 平均×仮定ばらつき係数 | 11.69  | 8.72                         | 12.65                 | 11.11                  |                           |              |                  |                                 |                        |            |  |
| 試験体4    | 正           | 14.90  | 20.17                        | 17.52                 | 19.06                  | 11.17                     | 11.17        | 1.00             | 3.13                            | 6.16                   | 4.01       | 4.01                                       |
|         | 負           | 20.15  | 19.35                        | 22.62                 | 24.03                  | 14.51                     | 14.51        | 1.00             | 4.07                            | 7.77                   | 5.05       | 5.05                                       |
| 塗り仕上げ有り | 平均          | 17.52  | 19.76                        | 20.07                 | 21.55                  | 12.84                     | 12.84        | 1.00             | 3.60                            | 6.96                   | 4.53       | 4.53                                       |
|         | 1m当り        | 9.63   | 10.86                        | 11.03                 | 11.84                  |                           |              |                  |                                 |                        |            |  |

青いセルが試験体1-4の正負それぞれの壁倍率を決定する指標である。試験体4以外は終局耐力と靱性による評価指標で決定されることが分かる。

赤いセルはばらつき係数を旧耐震基準に則って0.75として計算した倍率をしめす。

なお、橙のセルは試験体1-3について標準偏差を求めて現行法規どおりの変動係数を求めた倍率であるが、試験体3は1/120rad以降下見板を取り外しているため同等に評価できない。よって参考値として示した。

また旧耐震基準に基づいた倍率、旧耐震基準の倍率1に当たる耐力130kgfを現行の1.96kNに置き換えた値も参考に示した。

試験体1-3の平均値が2.44、試験体3を省いた試験体1,2の平均値が2.77、下見板をはずした試験体3だけでも平均値は1.8である。

これは現行の壁倍率規定である片面水平木摺の倍率0.5の約3.5~5倍となっている。

4.4.3.4. 実験結果 考察

実験結果を踏まえ、以下の考察を行った。  
○荷重変形関係と特性値から 以下に再度比較用にグラフと表を掲載する。

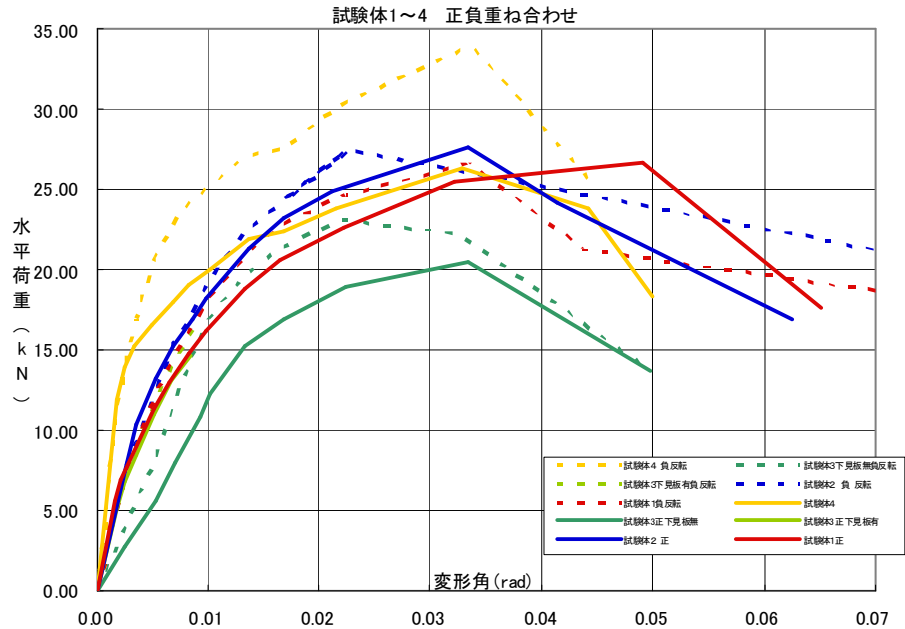


図 4-146 試験体 1~4 正負重ね合わせ

表 4-30 実験結果

| 試験体  |        | 加力方向      | 最大耐力        |              | 1/120変形 |      | 構造特     |                  | 仮想降伏    |                  |                  |           |  |
|------|--------|-----------|-------------|--------------|---------|------|---------|------------------|---------|------------------|------------------|-----------|--|
|      |        |           | 時変位         | 時耐力          | 塑性率     | 性係数  | 降伏耐力    | 降伏変形角            | 終局耐力    | 点変形角             | 終局変形角            | 初期剛性      |  |
|      |        | Pmax (kN) | Dpmax (rad) | P 1/120 (kN) | $\mu$   | Ds   | Py (kN) | $\delta y$ (rad) | Pu (kN) | $\delta v$ (rad) | $\delta u$ (rad) | K(kN/rad) |  |
| 試験体1 | 正      | 26.58     | 0.05        | 14.74        | 4.26    | 0.36 | 14.76   | 0.01             | 24.28   | 0.01             | 0.06             | 1767.98   |  |
|      | 負      | 26.67     | 0.03        | 16.30        | 3.76    | 0.39 | 14.91   | 0.01             | 24.07   | 0.01             | 0.04             | 2079.57   |  |
| 試験体2 | 正      | 27.56     | 0.03        | 16.74        | 4.53    | 0.35 | 14.37   | 0.01             | 24.43   | 0.01             | 0.05             | 2329.57   |  |
|      | 負      | 27.46     | 0.02        | 17.16        | 3.94    | 0.38 | 15.51   | 0.01             | 25.02   | 0.01             | 0.04             | 2309.42   |  |
| 試験体3 | 正      | 20.50     | 0.03        | 9.73         | 2.58    | 0.49 | 15.41   | 0.01             | 18.85   | 0.02             | 0.04             | 1122.94   |  |
|      | 負      | 23.05     | 0.02        | 14.24        | 2.81    | 0.47 | 18.55   | 0.01             | 21.96   | 0.01             | 0.04             | 1539.56   |  |
| 塗り無し | 平均     | 25.30     | 0.03        | 14.82        | 3.65    | 0.41 | 15.58   | 0.01             | 23.10   | 0.01             | 0.05             | 1858.17   |  |
|      | 変動係数CV | 0.11      | 0.31        | 0.19         | 0.22    | 0.14 | 0.10    | 0.35             | 0.10    | 0.19             | 0.14             | 0.26      |  |
| 試験体4 | 正      | 26.28     | 0.03        | 19.06        | 9.89    | 0.23 | 14.90   | 0.00             | 23.27   | 0.00             | 0.05             | 4884.98   |  |
|      | 負      | 33.93     | 0.03        | 24.03        | 5.79    | 0.31 | 20.15   | 0.00             | 29.73   | 0.01             | 0.04             | 4074.29   |  |

表 4-31 特性値表

| 試験体     | 加力 | 降伏耐力Py      | 終局耐力Pu<br>× (0.2/Ds) | 最大荷重Pmax<br>× 2/3 | 特定変形時の耐力<br>(1/120rad) | 短期基準剪<br>断耐力<br>P0(ばらつき<br>0.899) | P0(ばらつ<br>き0.75) | 低減<br>係数<br>α | 壁倍率<br>=Pa/壁長<br>×1.96<br>※ばら<br>つき0.9 | 壁倍率<br>ばらつ<br>き係数<br>=0.75 | 旧耐震<br>壁倍率 | 旧耐震壁倍率の<br>倍率1を1.27kNから<br>1.96kN(現行)に<br>したものと<br>したものと |      |
|---------|----|-------------|----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------|---------------|--|----------------------------|------------|--|------|
| 試験体1    | 正  | 14.76       | 13.32                | 17.72             | 14.74                  | 11.98                             | 9.99             | 1.00          | 3.36                                   | 2.80                       | 4.77       | 3.10   |      |
|         | 負  | 14.91       | 12.29                | 17.78             | 16.30                  | 11.05                             | 9.22             | 1.00          | 3.10                                   | 2.58                       | 5.27       | 3.43   |      |
| 試験体2    | 正  | 14.37       | 13.87                | 18.37             | 16.74                  | 12.47                             | 10.40            | 1.00          | 3.50                                   | 2.92                       | 5.41       | 3.52   |      |
|         | 負  | 15.51       | 13.12                | 18.31             | 17.16                  | 11.80                             | 9.84             | 1.00          | 3.31                                   | 2.76                       | 5.55       | 3.61   |      |
| 試験体3    | 正  | 15.41       | 7.68                 | 13.66             | 9.73                   | 6.91                              | 5.76             | 1.00          | 1.94                                   | 1.62                       | 3.14       | 2.05   |      |
|         | 負  | 18.55       | 9.44                 | 15.36             | 14.24                  | 8.49                              | 7.08             | 1.00          | 2.38                                   | 1.98                       | 4.60       | 2.99   |      |
| 漆喰仕上げ無し |    | 平均          | 15.58                | 11.62             | 16.87                  | 14.82                             | 10.45            | 8.72          | 1.00                                   | 2.93                       | 2.44       | 4.79   | 3.12 |
|         |    | 変動係数CV      | 0.10                 | 0.21              | 0.11                   | 0.19                              |                  |               |  |                            |            |  |      |
|         |    | ばらつき係数 1-   | 0.95                 | 0.90              | 0.95                   | 0.91                              |                  |               |  |                            |            |  |      |
|         |    | 仮定ばらつき係数    | 0.75                 | 0.75              | 0.75                   | 0.75                              |                  |               |  |                            |            |  |      |
|         |    | 平均×ばらつき係数   | 14.87                | 10.45             | 15.96                  | 13.53                             |                  |               |  |                            |            |  |      |
|         |    | 平均×仮定ばらつき係数 | 11.69                | 8.72              | 12.65                  | 11.11                             |                  |               |  |                            |            |  |      |
| 試験体4    | 正  | 14.90       | 20.17                | 17.52             | 19.06                  | 11.37                             | 11.17            | 1.00          | 3.13                                   | 6.16                       | 4.01       |  |      |
|         | 負  | 20.15       | 19.35                | 22.62             | 24.03                  | 14.51                             | 14.51            | 1.00          | 4.07                                   | 7.77                       | 5.05       |  |      |
| 漆喰仕上げ有り |    | 平均          | 17.52                | 19.76             | 20.07                  | 21.55                             | 12.84            | 1.00          | 3.60                                   | 6.96                       | 4.53       |  |      |
| 1m当り    |    | 9.63        | 10.86                | 11.03             | 11.84                  |                                   |                  |               |  |                            |            |  |      |

### 押し（正）木摺圧縮側

以下、グラフ上では試験体 1,2 は木摺+下見板として赤で、試験体 3 は木摺のみとして緑、試験体 4 は木摺+下見板+漆喰として黄色で表している。またグラフ中の数値は有効数字 2 けたとしている。

### 最大耐力

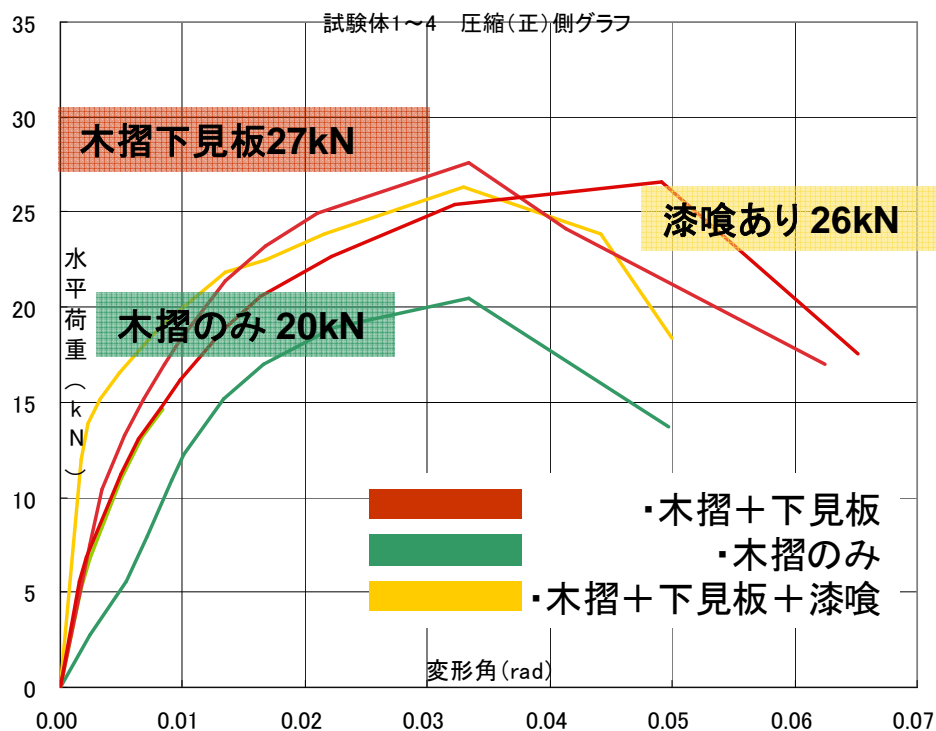


図 4-147 最大耐力

①最大耐力 試験体 1, 2 の平均が 27kN, 漆喰塗有の試験体 4 が 26kN, 下見板を取り外した試験体 3 が 21kN であり, 漆喰の有無は最大耐力にほぼ影響が認められない。一方, 下見板に関しては, 取り外した 3 は 1, 2 に比べて約 2 割低下していることが確認された。最大耐力時の変形角は, 試験体 1 のみ 1/20rad. で記録されたが, 他の試験体では 1/30rad. 時点で最大を記録した。

②初期剛性 試験体 1, 2, 3 (1/120rad まで) では, ほぼ 3000kN/rad. 前後であるが, 漆喰有りの 4 では 6990kN/rad で約 2.3 倍を示しており, 初期剛性における漆喰の効果が現れている。

# 引き（負）木摺引張側

以下のグラフの値は負を正にしたものである。

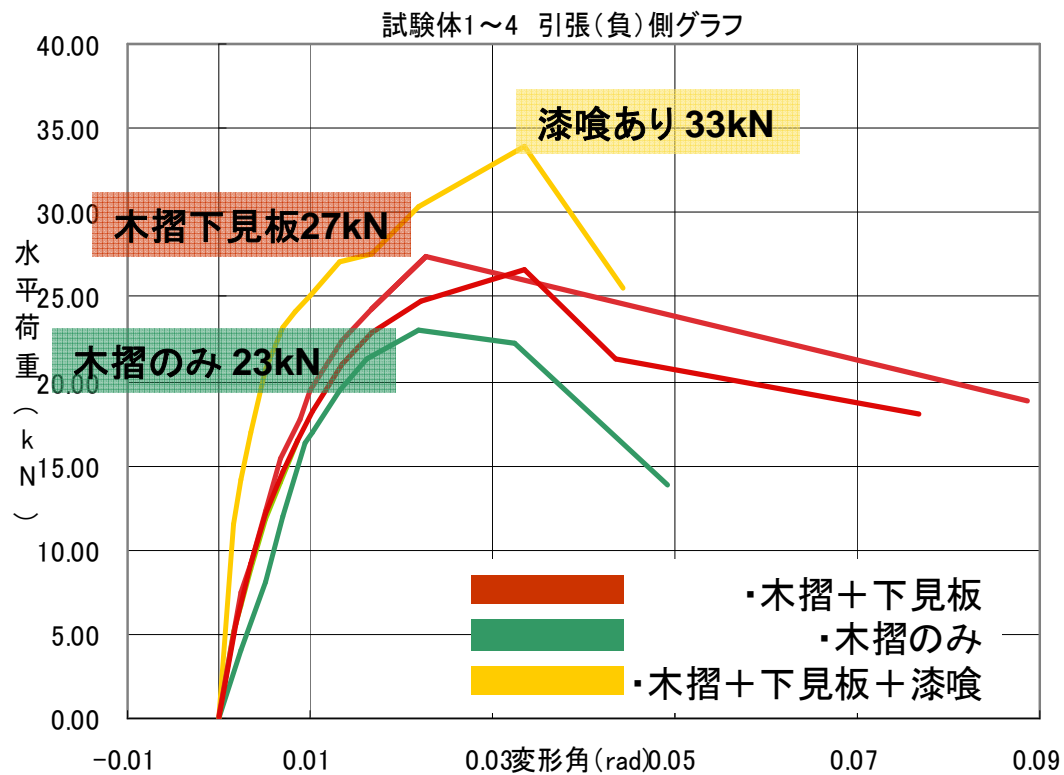


図 4-148 試験体 1～4 引張（負）側グラフ

①最大耐力 正方向と比較すると、試験体 1, 2 は 28kN でほぼ同等、試験体 3 下見板なしでは 23kN で 1.1 倍であるが、試験体 4 では 34kN となり 1.3 倍を記録した。

②初期剛性 試験体 1, 2, 4 に関しては(1 の正を除いて)押し側との違いはほぼ認められない。試験体 3 では下見板無しとして初期剛性を補完すると (1/120rad.以降からの推測値) は試験体 1, 2 の約 7 割となり、正方向(約 5 割)より低下率が小さいことがわかる。



## 大壁斜め木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の推定と力学モデルの仮定・適用範囲

### 4.4.3.5. 大壁斜め木摺漆喰壁の破壊の進行の整理

破壊の進行を整理し、大壁斜め木摺壁の水平力抵抗機構を推定し、力学モデルの仮定及び適用範囲を示す。以降の包絡線はピーク値ではなく、履歴ループを変位増分として包絡線を作成したものである。

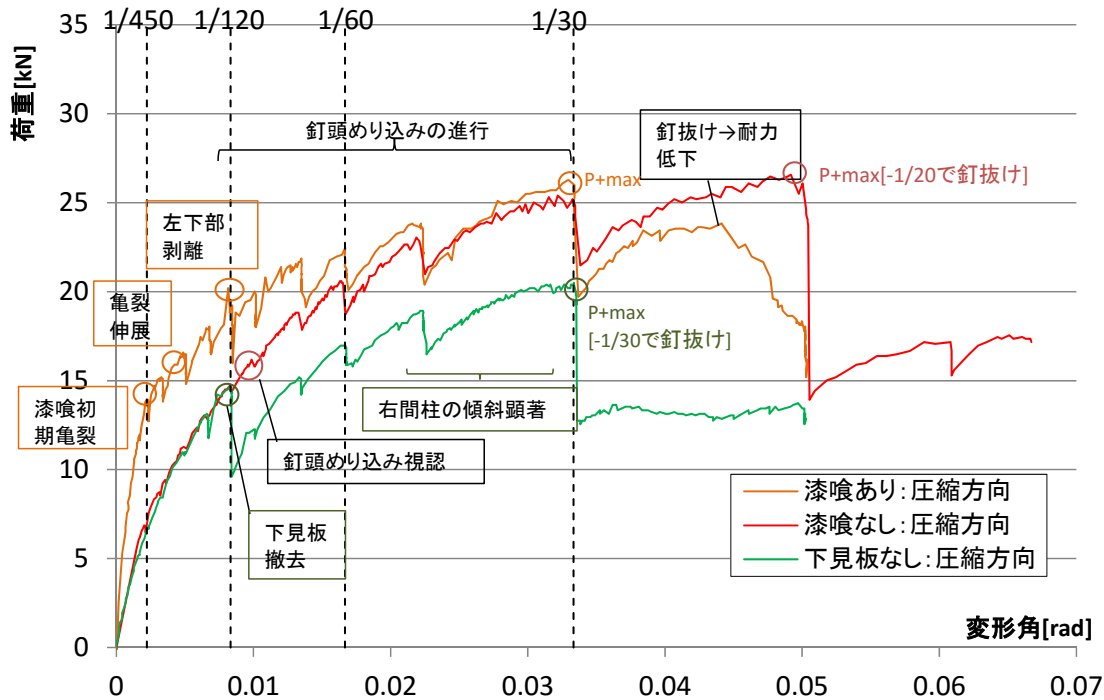


図 4-149 斜め木摺壁 圧縮方向の包絡線 破壊の進行（漆喰なし試験体は試験体 1 で代表）

※文中の番号は次ページ図に対応

各試験体の木摺圧縮方向を例に、破壊の進行の概要、釘のめり込み、終局状態、破壊の順について示した。なお、いずれの試験体においても最大耐力到達後の耐力低下は、左右の木摺の釘の引きぬけによった。また、木摺の座屈については、圧縮方向に加力中に面外変形は確認されたが、破壊に至ることはなかった。

漆喰なし（試験体 1， 2， 3）：

1/150rad.付近より木摺の面外へのはらみが目視できる。1/120-1/100rad.より釘頭の木摺の材軸方向へのめり込みが確認された。その後、めり込みと釘頭の浮き上がりが進行し、徐々に剛性を低下させつつ、1/30～1/20rad.で最大耐力を記録し、次サイクル加力時に左上または右下で木摺に打たれた釘の引きぬきによって破壊に至った。

なお、試験体 3 のみ 1/120rad.で下見板を撤去した。耐力は 8 割程度に低下し、間柱は拘束を逃れて座屈が顕著に見られた。

漆喰あり（試験体 4）：

漆喰面の初期亀裂は 木摺圧縮方向 1/450rad.で中央部および左下部に確認され、剛性が低下した。その後、亀裂は左下と中心部に集中し、1/150rad.前後からは直角方向への亀裂も増加し、木摺のはらみが顕著になる。また、左右端部の漆喰は、1/150-120rad.から木摺の浮き上がりに伴って浮き上がり、1/75rad.-1/60rad.では左下部はほぼ木摺から浮き、下葎で吊られた状態となる。最大耐力を引張方向 1/30rad.で記録し、左右釘抜け、間柱の破壊が確認された。

木部の最終的な破壊は、(1/30-20rad.)の最大耐力記録後、①左上・右下の釘の引き抜けて決定され、次いで②位置でも起こる。一方、間柱に接合されていない③左下と右上、及び間柱上の釘の引き抜け・めり込みの程度は少ないことが確認された。

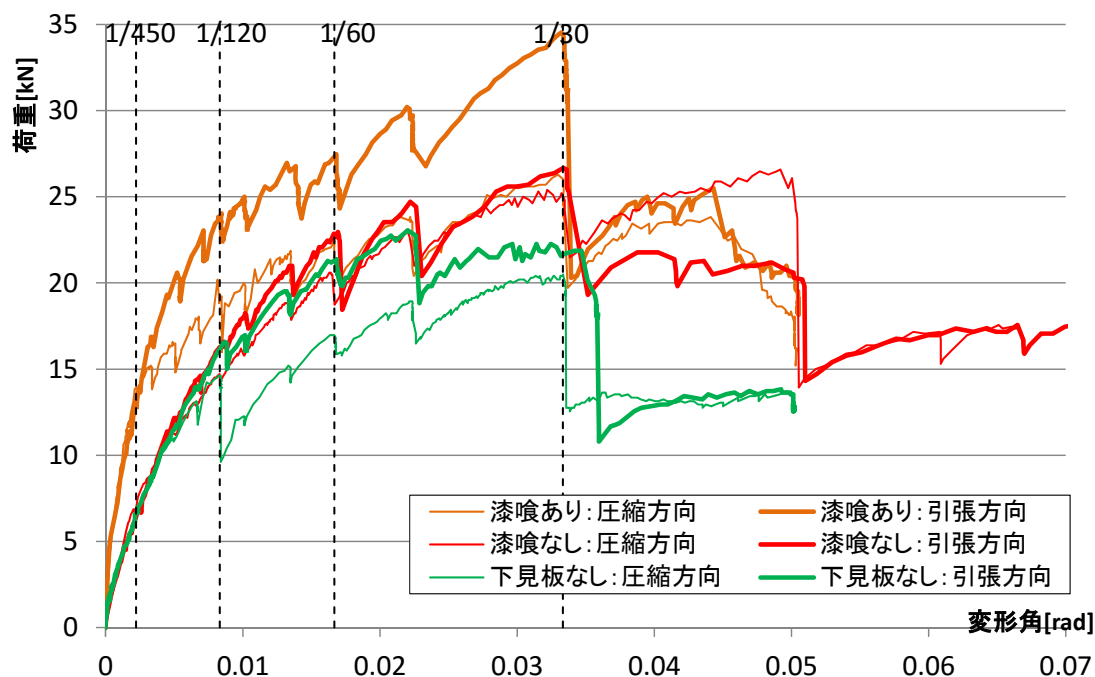


図 4-150 斜め木摺壁 圧縮及び引張方向の包絡線の比較

正負の違いについて考察するため、木摺圧縮方向と、木摺引張方向を比較したのが上図である。

下見板による座屈補剛：

まず、下見板を 1/120rad.で外した試験体に関しては、下見板の取り外し後、圧縮方向のみで荷重の低下（約 8 割に）が顕著にみられる。実験結果を見ると、下見板なしの試験体では、木摺圧縮方向において座屈の影響が顕著になっていることが原因であると推定される。一方、木摺引張方向ではわずかに荷重、剛性の低下が見られるもののほとんど差がなく、下見板の荷重・剛性に対する寄与は引張方向では限定的であったと推測されるが、圧縮方向では間柱の釘打ちによる拘束が、斜め木摺圧縮方向の座屈を補剛していたことが分かる。よって、本試験体の仕様においては、斜め木摺の圧縮荷重による座屈は下見板で補剛されていたものとみなし、力学モデルにおいては座屈の影響を考慮しないものとする。ただし、下見板による補剛の詳細な機構は検討しておらず、今後の課題とする。

木摺空きの漆喰の圧縮による引張方向の荷重増加：

漆喰ありの試験体において、木摺圧縮方向では、漆喰への亀裂以降は漆喰なしの試験体とほぼ同様の挙動を示したが、木摺引張方向加力では、荷重は増加を続け、木摺なしの約 1.3 倍に達した。この挙動については、斜め木摺の空きが、木摺引張載荷時に縮むことで漆喰および木摺が圧縮されたことによると推測される。

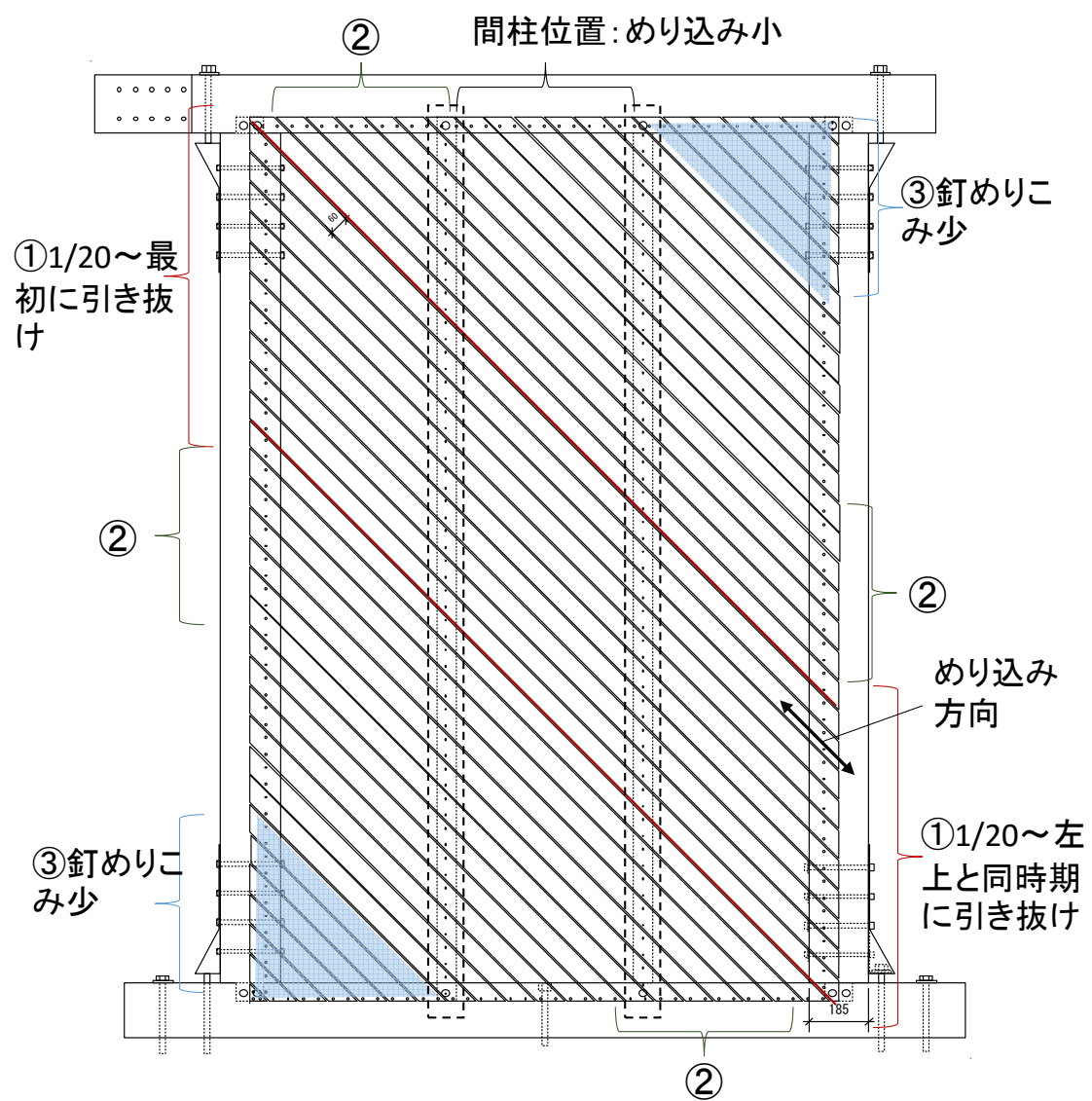


図 4-151 斜め木摺壁 木摺面の破壊の進行

■斜め木摺壁の変形と破壊性状：木摺のみの場合



加力前



+1/150rad. はらみ出し



+1/45rad.

図 4-152 斜め木摺壁 破壊の進行



+1/45rad. 端部の釘の軸方向変形





+1/20rad.



+1/20rad. 木摺端部釘の降伏，浮き上り



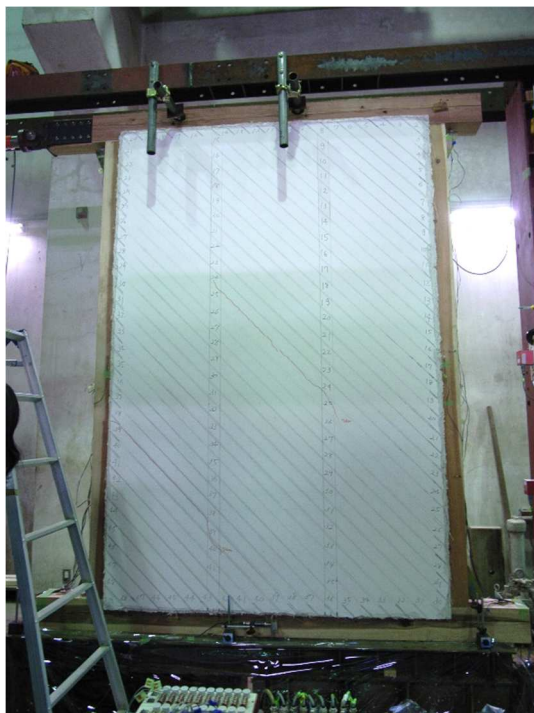
-1/20rad. 左上釘の引き抜け破壊 同詳細  
図 4-153 斜め木摺壁 破壊の進行





■木摺壁の変形と破壊性状：漆喰ありの場合

- ・+1/450：初期せん断亀裂，剛性低下
- ・1/150～：漆喰浮き上がり，亀裂の集中・直角方向伸展
- ・1/30：最大耐力
- ・+1/20：釘の引き抜けて耐力低下



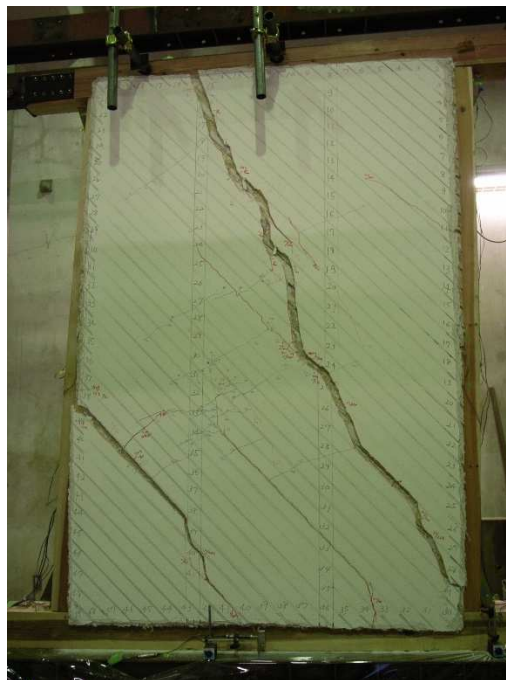
+1/450rad. 漆喰の初期亀裂



+1/150rad. 漆喰の端部剥離



破壊：+1/20rad. 釘接合部



同

図 4-154 斜め木摺漆喰壁 破壊の進行

#### 4.4.3.6. 大壁斜め木摺漆喰壁の水平力抵抗機構 モデル化の仮定と適用範囲

以上の破壊の進行，実験結果より，  
斜め木摺漆喰の水平抵抗要素は，実験結果から以下の要素が存在すると推定した．



図 4-155 斜め木摺漆喰壁（漆喰なし，あり）の抵抗要素

##### ■ 軸組部分の抵抗部位とその抵抗機構

- ①：柱および間柱の柱頭・柱脚接合部のモーメント抵抗
- ②：下見板－釘－柱接合部，下見板－柱－間柱の回転抵抗
- ③：柱および間柱の変形

##### ■ 木摺漆喰部分による抵抗部位とその抵抗機構

- ④：木摺－釘－柱，木摺－釘－間柱接合部の釘の回転・せん断による抵抗
- ⑤：漆喰層の回転変形に伴う木摺空きの漆喰のせん断抵抗
- ⑥：漆喰層のせん断剛性
- ⑦：木摺空きの縮みによる漆喰の圧縮抵抗
- ⑧：木摺空きに漆喰が塗り込められ一体化することによる剛性増加
- ⑨：木摺と漆喰の付着

#### 4.4.3.7. 大壁斜め木摺漆喰壁の力学モデルの仮定と適用条件

##### 1. モデル全体の仮定：足し合わせ

斜め木摺試験体においても、木摺漆喰を付加した場合と付加しない軸組では、柱に発生する応力状態は異なる。今回の斜め木摺壁の実験においては、柱は曲げ変形を受けるものの、破壊性状としては木摺－釘－柱・横架材接合部の釘の引き抜けで決まっており、柱は折損するに至っていない。また、柱寸法は 167\*185 長さ 2730 であり、曲げに対しては抵抗できるものとし、柱の曲げ変形の影響は無視できるものと仮定し、解析においては柱は剛体であると仮定した。なお、本研究では斜め木摺の実大試験では、木摺を施工しない軸組のみの試験を実施していない。そのため、ここでは、軸組及び下見板の寸法が本研究と比較的近い既往の文献値（文 4-41）から下見板を張った軸組試験体の荷重変形関係を推定し、これを軸組および下見板部分の結果であると仮定した。斜め木摺試験体と同様に柱の曲げ変形の影響は無視できるものとし、軸組および下見板部分の荷重と斜め木摺漆喰による荷重は足し合わせ可能であると仮定した。以降の検討は、軸組および下見板の荷重に対して、斜め木摺漆喰壁による荷重を加え、これを実験値と比較した。以上より、

解析の仮定：

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし、また軸組および下見板の部分と、付加される木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する。

適用条件：

- ・柱の曲げ変形が無視でき、軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの。

##### 2. モデル化の仮定：軸部材とその接合部の挙動と抵抗機構の仮定と適用条件

1. の仮定に基づき、斜め木摺漆喰部分は、四周をピン接合とした剛体のフレームに設置されている状態とみなした。また、柱脚部の浮き上がりに関しては、十分に固定度がある場合を想定し、浮き上がりの影響はないものと仮定した。

また、間柱は短ほぞ釘打ち仕様であるが、実験において間柱の引き抜けは顕著でなかったため、間柱は両端ピンで浮き上がりの影響はないとした。加えて、間柱は下見板によっても拘束されているため、曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体であると仮定した。

解析の仮定：1. の仮定から木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする。

柱脚の浮き上がり、間柱の曲げ変形が無視できるとする。

適用条件：柱脚の浮きあがり、間柱の曲げ変形が無視できる場合。今回は間柱は下見板により曲げ変形が拘束されているものとみなす。

##### 3. モデルの仮定：木摺－釘－柱・横架材接合部、木摺－釘－間柱接合部の変形と抵抗機構および木摺の変形性状

斜め木摺－釘－柱・横架材の抵抗機構に関して、実験結果からは目視では木摺端部は、回転変形を伴っていたが、斜め木摺の長軸方向の移動が顕著であった。

斜め木摺－釘－間柱接合部に関しても、回転および長軸方向の変形が見られたが、解体観察の結果からは、引き抜けに伴う釘孔の広がりや柱、横架材での痕と比較して少量であり、間柱における釘の移動量は相対的に小さいものであったと推定された。

以上より、斜め木摺－釘－柱・横架材接合部では、釘は回転を伴う一面せん断抵抗を発現していたものと推測される。解析上の仮定としては、回転せん断性状を一面せん断性状であったものと見なし、斜め木摺の端部は軸方向の半剛接と見なし、せん断ばねに置換した。ただし、第5章要素実験において、一面せん断実験に加えて、回転せん断実験も実施し、これを一面せん断性状に変換したものを算出する。これにより、回転せん断による一面せん断の影響について考察を加える。



間柱における釘のせん断性状に関しては、木摺と間柱との間に木摺と柱の間と同様の回転ばねを仮定した。間柱の変形性状に関しては、木摺の軸方向の応力が釣り合うように荷重を負担し、かつ木摺接合点では木摺は伸び縮みしないため、その分は釘が変形するものと仮定し、エネルギー最小の原理によって変形量を定めた。詳細は第6章に記述する。また、間柱は下見板の拘束により曲げ変形が抑制されているものと見なし、曲げ変形は無視できるものと仮定した。

木摺の変形性状に関しては、実験結果に示したように、 $1/150\text{rad}$ 付近から、木摺圧縮方向の加力において、間柱間で木摺が面外にはらみ出していた。ただし、下見板を取り外した実験の圧縮方向と下見板がある場合の圧縮方向を比較した結果、下見板がある場合は荷重変形関係において、木摺引張方向と圧縮方向には大きな差がないことが確認された。そのため、今回の解析的検討においては、下見板を付加した軸組に斜め木摺を附加することを想定しているため、木摺圧縮方向の座屈は下見板による補剛効果によって抑制されており、無視できるものと仮定した。ただし、座屈補剛の効果が見られる条件は、木摺の長さ、下見板の負担荷重、間柱寸法等様々な要件が想定されるが、今回はその適用範囲については本試験体と同様の場合、とするにとどめる。

また、全体のせん断変形の進行に伴って、引張方向では木摺空きの間隔が縮み、木摺と漆喰が共に圧縮される効果が発現する可能性がある。実験結果からも、漆喰ありの試験体では、最大荷重発現時においては圧縮方向と比較して最大荷重は約1.3倍となっている。 $1/30\text{rad}$ の変形時点では既に木摺端部の変形や漆喰壁面の亀裂が進行しており、木摺の空きに含まれる漆喰の量に関しても不明な点はあるが、考察としてすべての木摺空きに漆喰があそびなく塗りこめられており、脱落等していないものと仮定して、漆喰材料の圧縮剛性から、木摺間の圧縮による剛性を算出した。

以上より、

解析の仮定：

- ・木摺 - 釘 - 柱・横架材接合部は、半剛接の圧縮・引張方向同性状のせん断ばねと仮定し、そのせん断剛性は要素実験による一面せん断剛性を適用する。また、間柱は両端ピン接合の剛体と見なす。間柱における釘の変形量は、間柱の変位量と木摺の伸びがない条件、エネルギー最小の原理等から算出する。
- ・下見板による補剛により、圧縮方向における座屈による荷重低下は無視でき、圧縮、引張方向で同様の変形性状を示すと仮定する。
- ・木摺空きの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は変形の初期から発現しているものと仮定する。

適用条件：

- ・木摺 - 釘 - 柱・横架材接合部では釘は回転せん断挙動を示すが、軸方向の変形が顕著。
- ・端空きは十分にあり、端抜けによる破壊は起こらず、釘の引き抜けにより破壊する。
- ・間柱の接合部は回転剛性、抜け出しが無視でき、また下見板等の釘打ちによる拘束があり曲げ変形が無視できる場合
- ・木摺は下見板等の材によって間柱を通じて座屈補剛されており、面外座屈の影響が小さい場合。

#### 4. モデルの仮定：漆喰部分の変形と仮定

実験では、木摺圧縮方向  $1/450\text{rad}$  において漆喰層に亀裂が生じ、剛性が大幅に低下した。初期剛性には、木摺空きに漆喰が入っていることで斜め木摺壁全体の剛性が上昇する効果、木摺の上に塗られた漆喰層のせん断剛性、木摺空きの漆喰のせん断、が影響しているものと考えられる。漆喰層は剛体と仮定した場合でも、今回の測定においては、木摺空きに漆喰が入ることによる剛性上昇と木摺空きの漆喰のせん断によるせん断剛性を分割することは困難であった。そのため、以下の仮定の下に行った検討結果は参考として付録に採録した。

解析上は、木摺の間に入った漆喰による壁体全体の剛性上昇は無視できるものと仮定し、参考までに木摺空きの漆喰のせん断剛性のみの場合の剛性を示すものとどめた。初期剛性の増加に木摺空きの漆喰が与える影響は、前述の木摺空きの縮みによる荷重増加が始まる変形角とも関連していると思われるが、今回は参考までに木摺空きのせん断による初期剛性評価、木摺空きが縮まることによる荷重増加を別個に算出した。

**解析の仮定：**木摺の上の漆喰層は剛体と見なし、また木摺空きに漆喰が入ることによる初期剛性の増加は無視できるものとする。初期剛性は木摺空きの漆喰のせん断剛性によって定まるものと仮定した。

**適用条件：**漆喰層が十分なせん断剛性を持つ場合は剛体と見なせる。木摺空きに入った漆喰の影響を無視する点については、実際の適用範囲の確定は困難であるため、参考として付録に加えるにとどめている。

・上記の抵抗要素の内、解析に考慮するとしたものは

軸組・下見板の耐力、釘のせん断抵抗、木摺空きの漆喰のせん断、木摺空きの縮みによる圧縮荷重である。このうち、軸組・下見板と釘は足し合わせによって、木摺のみの場合の壁全体の荷重変形関係を推定するが、木摺空きの漆喰のせん断、木摺空きの縮みの影響に関しては、それぞれ、斜め木摺漆喰ありと斜め木摺漆喰なしの実験結果の差分に対して検討を加えたものを付録に採録するにとどめた。

以上の仮定をまとめると

**解析の仮定：**

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし、また軸組および下見板の部分と、付加される木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する。
- ・木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする。
- ・柱脚の浮き上がり、間柱の曲げ変形が無視できるとする。
- ・木摺 - 釘 - 柱・横架材接合部は、半剛接の圧縮・引張方向同性状のせん断ばねと仮定し、そのせん断剛性は要素実験による一面せん断剛性を適用する。また、間柱は両端ピン接合の剛体と見なす。
- ・下見板による補剛により、圧縮方向における座屈による荷重低下は無視でき、圧縮、引張方向で同様の変形性状を示すと仮定する。

**適用条件：**

- ・柱の曲げ変形が無視でき、軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの。
- ・柱脚の浮きあがり、間柱の曲げ変形が無視できる場合。今回は間柱は下見板により曲げ変形が拘束されているものとみなす。
- ・木摺 - 釘 - 柱・横架材接合部では釘は回転せん断挙動を示すが、軸方向の変形が顕著。
- ・端空きは十分にあり、端抜けによる破壊は起こらず、釘の引き抜けにより破壊する。
- ・間柱の接合部は回転剛性、抜け出しが無視でき、また下見板等の釘打ちによる拘束があり曲げ変形が無視できる場合
- ・木摺は下見板等の材によって間柱を通じて座屈補剛されており、面外座屈の影響が小さい場合。

以上の仮定による斜め木摺壁の力学モデルを以下に示す。



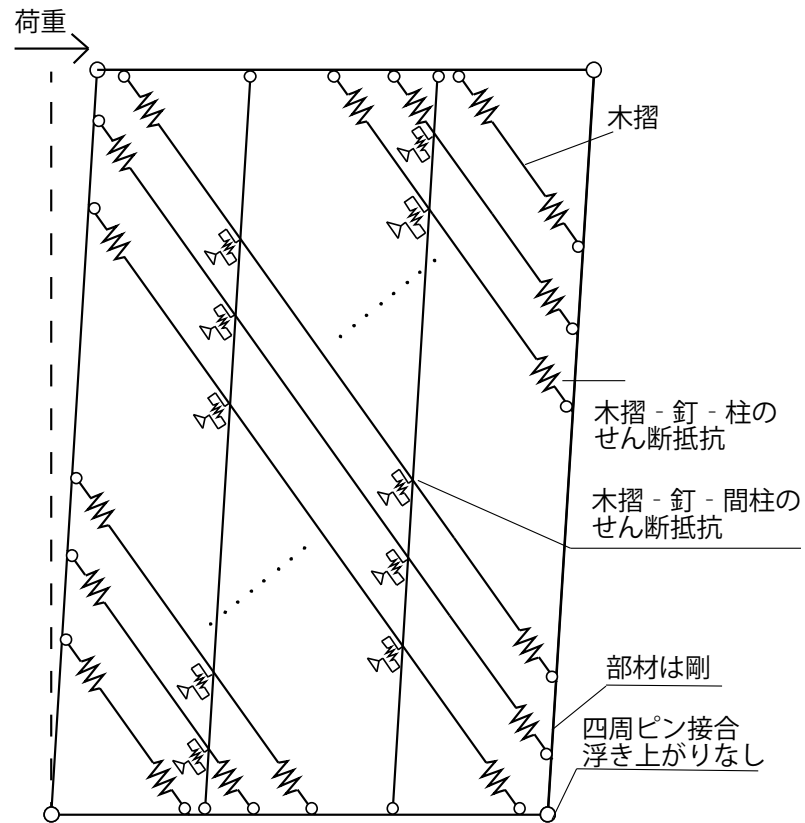


図 4-156 斜め木摺壁の力学モデル〔木摺のみ、圧縮・引張は座屈がなく同様とする〕

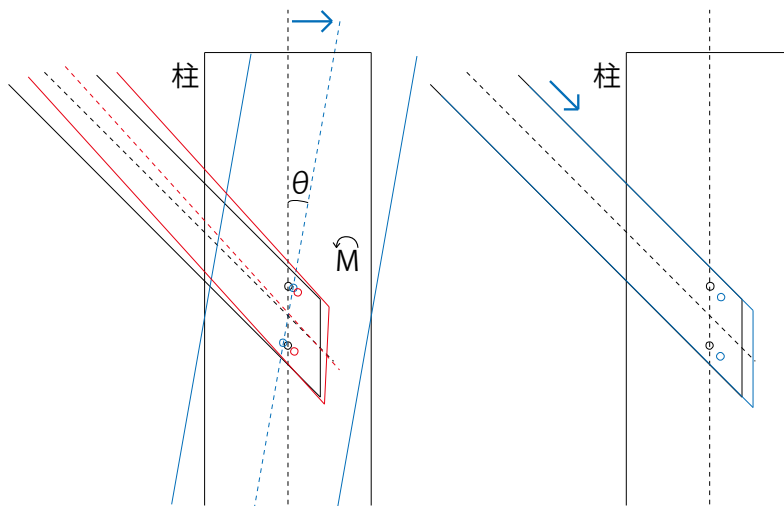


図 4-157 考慮する接合部抵抗要素 斜め木摺端部の接合部剛性〔回転せん断，せん断〕

#### 4.4.4. 漆喰の負担荷重と寄与率の推定

漆喰塗りありの試験体 4 から、木摺のみ試験体 1，2 の荷重を引き、漆喰による負担と推定される荷重を算出した。図中、木摺引張方向を T，木摺圧縮方向を C で表す（例：4C…試験体 4 の木摺圧縮方向の荷重変形関係）。

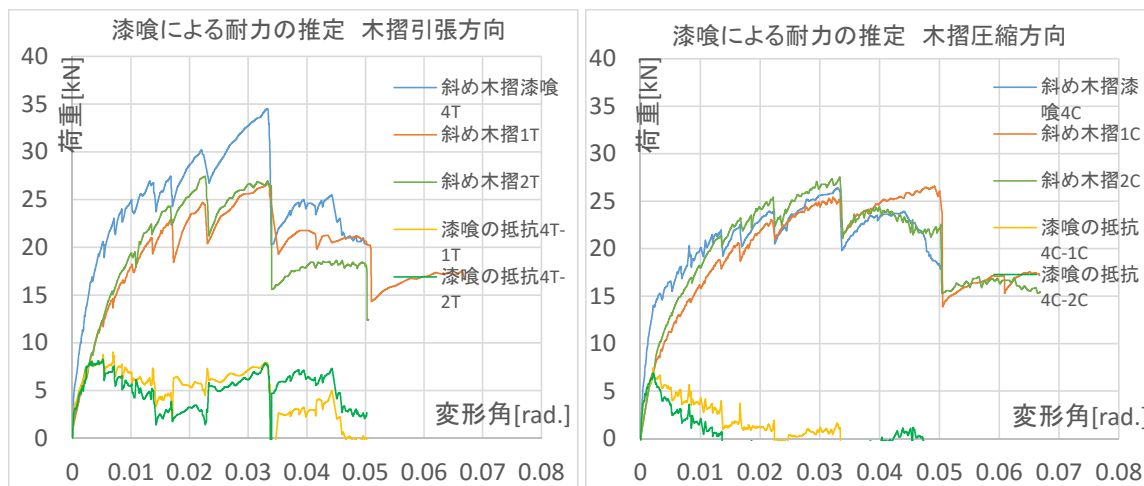


図 4-158 漆喰の負担荷重の推定

表 4-32 漆喰の負担荷重

|                  |     | 木摺壓縮  |        | 木摺引張   |        |        |
|------------------|-----|-------|--------|--------|--------|--------|
|                  |     | 4c-1c | 4c-2c  | 4t-1t  | 4t-2t  |        |
| P <sub>max</sub> | kN  | 7.5   | 6.9    | 9.0    | 8.3    |        |
| P <sub>max</sub> | ang | rad.  | 0.0021 | 0.0021 | 0.0070 | 0.0052 |

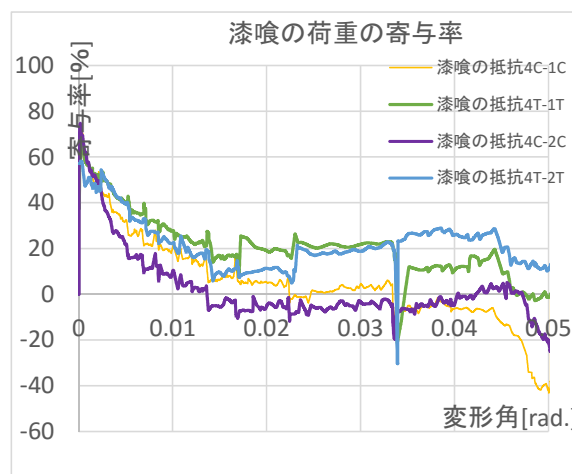


図 4-159 漆喰の荷重への寄与率

圧縮、引張方向共に、初期（1/500-1/150rad.）で最大荷重を記録しているが、その後引張方向では 0.02-0.03rad.の壁体の最大耐力付近での荷重の増加が見られる。荷重への寄与率は圧縮・引っ張り共に初期は約 80%を占めている。

実験観察からは、1/450rad で中心に初期の亀裂が確認され、剛性が低下している。圧縮方向ではその後の漆喰の寄与は殆ど見られないが、引張方向では継続して 10-20%程度の荷重を負担していると推定された。壁体のせん断変形に伴う斜め木摺の移動は、引張方向で木摺空きが縮むため、漆喰が圧縮されることによる荷重が発現しているものと推察される。ただし、ここでは漆喰による影響のうち、応力状態の変化による軸組部分の変化等に関しては無視できるものと仮定している。

#### 4.4.5. 既往研究との比較

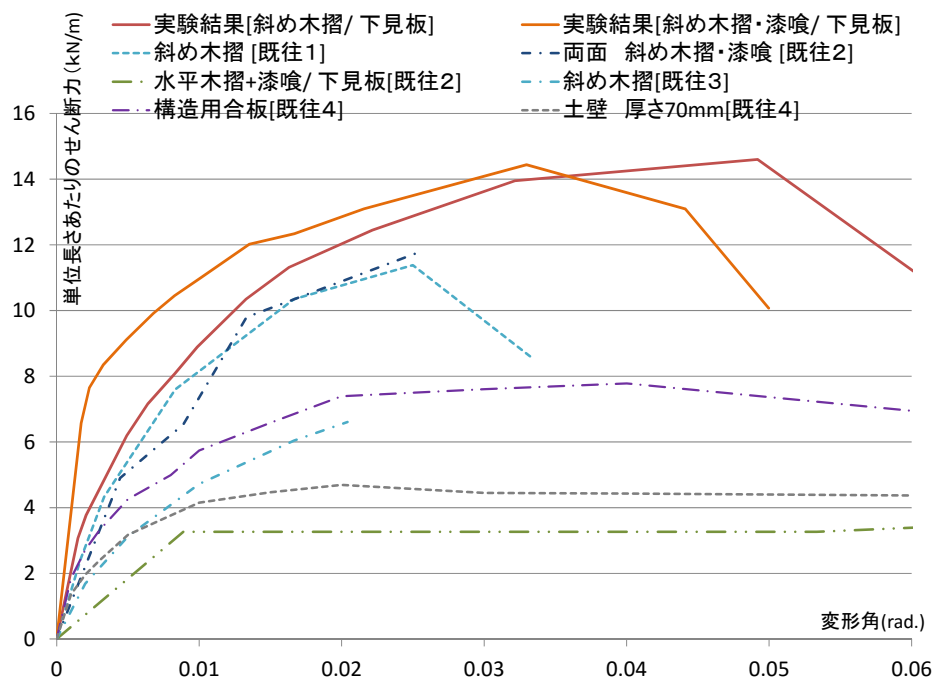


図 4-160 斜め木摺壁 既往研究との比較

表 4-33 斜め木摺壁の既往研究との比較

|      | 試験体       | 壁の仕様           |      | 漆喰塗 | 初期剛性*1<br>[kN/rad.] | 最大耐力<br>[1m当り]<br>[kN/m] | 最大耐力時変<br>形角<br>[rad.] | 破壊性状  |
|------|-----------|----------------|------|-----|---------------------|--------------------------|------------------------|-------|
|      |           | 表              | 裏    |     |                     |                          |                        |       |
| 実験結果 | 1[正]      | 斜め木摺           | 下見板  | なし  | 3740                | 26.6                     | 0.05                   | 釘抜け   |
|      | 4[正]      | 斜め木摺           | 下見板  | あり  | 6990                | 26.3                     | 0.03                   | 釘抜け   |
| 既往研究 | 既往1*文4-6  | 斜め木摺           | なし   | なし  | 1451                | 11.4                     | 0.025                  | 接合部破損 |
|      | 既往2*文4-12 | 斜め木摺           | 斜め木摺 | あり  | 1103                | 11.8                     | 0.025                  | 木摺座屈  |
|      | 既往2       | 水平木摺           | 下見板  | あり  | 817                 | 4.6                      | 0.008                  | 壁体降伏  |
|      | 既往3*文4-29 | 斜め木摺           | なし   | なし  | 843                 | 6.6                      | 0.02                   | -*2   |
|      | 既往4*文4-34 | 構造用合板[150,N50] |      | なし  | 1850                | 7.78                     | 0.04                   | -     |
|      |           | 土壁 [厚70mm]     |      | なし  | 1360                | 4.69                     | 0.02                   | -     |

\*1 第1折点までの割線剛性, \*2 記載無し

本実験結果（漆喰あり，なしの各結果）と，類似の仕様をもつ壁の既往の実験結果（文4-6，4-12，4-29，4-34）の荷重変形関係を上図，各種特性値を上表に示した．水平荷重は1m当りに換算し，初期剛性は第一折点までの割線剛性とした．

初期剛性：漆喰無しの試験体1は，既往3の構造用合板，土壁の2倍以上，既往1の2.5倍，既往3の4倍程度となっている．また，漆喰塗ありの場合では，試験体4は既往2の6倍以上の初期剛性を発揮しているが，剛性の低下はより早期(1/450rad.)で起こっており，漆喰面のせん断剛性にも差があったことが推察される．

最大耐力：本実験結果は既往の斜め木摺壁（既往1～3）に比して2倍以上の耐力を有しており，土壁，構造用合板と比較しても5倍以上の耐力を有していた．ただし，既往1が接合部の木栓が破壊して終了しているように，接合部の仕様，また木摺・釘打ちの本数の影響を考慮する必要がある．

最大耐力時変形角：既往の斜め木摺壁がともに最大耐力0.02～0.25rad.となっているのに対して，本実験結果では耐力は0.03rad.前後まで増加し続けており，より靱性が高く評価されていることが分かる．

#### 4.4.6. 斜め木摺を持つ近代木造建築の地震被害との比較

第2章で調査を実施した、旧伊達郡役所の東北地方太平洋沖地震による被害調査結果と、試験体4の損傷経過を比較し、被災時の応答変形角を推定した。以下に試験体4の加力終了後写真と、旧伊達郡役所の2階西側外周の被害状態と損傷観測結果の概要を示した。

表 4-34  
試験体4 破壊過程  
(抜粋)

|       |         |
|-------|---------|
| 1/450 | 初期亀裂    |
|       | 漆喰浮き上がり |
| 1/150 | 木摺浮き上がり |
| 1/120 | 左側端ほ    |
| 1/60  | ぼ剥離     |
| 1/45  | 釘の引き抜き  |
| 1/30  | 最大耐力    |



図 4-161 斜め木摺の破壊性状の比較 試験体4 終局状態（左図）、旧伊達郡役所2階西側被災後の漆喰剥落（右図）

壁実験の破壊経過からは、漆喰が壁から剥離するのは1/60[rad]以降であると考えられる。郡役所の剥落箇所においては釘の引き抜き箇所は少なく、接合部や劣化を考慮する必要があるが、1/60～1/45[rad]程度の変形であったと推定される。ただし、実験における木摺漆喰壁は乾燥期間が2週間であった。

なお、木摺から漆喰が浮いた後の剥落に関しては実験結果からも下げ苧の効果を考慮する必要がある。下げ苧による定着が強固であれば木摺が浮いて剛性が低下したのちも耐力への影響とは別に落下を防止することが考えられる。その点に関しては下げ苧を留める釘の種類も関係している可能性がある。実験では鉄釘を使用した。郡役所においては2cmの真鍮釘が使用されており、引き抜きは容易に起きたと考えられる。

地震被害と実験の破壊状況を比較すると、第2章でも見たように、郡役所における壁の剥落は、窓の間や脇などの層間変形の大きくなる位置であったことが原因の一つであると推定される。また、実験では中心からクラックが入りそこに亀裂が集中していく形式の被害であったが、窓間の被害では窓端部からのクラックがつながり落下につながっていた。

漆喰の剥落の形式としては、第2章の地震被害で見たように、中塗りにおける破壊と、木摺空きのせん断破壊が見られた。実験における破壊形式は木摺空きせん断破壊であった。中塗りでの破損による落下と木摺空きのせん断破壊による落下を定量的に検証することは現在までできていないが、漆喰層が十分な剛性を持った場合は、クラック、せん断破壊に至ると考えられる。せん断破壊の場合は、本章で見たように木摺空きの寸法がせん断剛性に与える影響（木摺空きの面積倍）があると推測される。面外方向の変形に関する検討も必要であり、これらの破壊を分かち要件の検討は今後検討する必要がある。

#### 4.5. 地震動被害と実験結果の破壊状況の比較による木摺壁の破壊挙動

本節では、第2章でみられた地震被害と、本章の実大試験および既往研究の静的実験における破壊挙動をまとめ、木摺漆喰壁の変形状態と破壊に関する考察を行った。

##### 4.5.1. 地震時の破壊挙動

- ・第2章の観察結果から、実際の建物で木摺壁が受ける被害は、壁の場所が全面壁、または窓などの開口部の間で異なっていた。破壊形式の違いは、窓の方は隅部からのクラックを起点にして窓の間の部分が落ちる例が見られた。
- ・実際の建物では、壁の端部での破壊が目立った。破壊の形式としては、クラックの集中→面として剥落する。すなわち、壁の存在する場所によって破壊の形式が異なる。
- ・実際の建物では、空きが狭い、空きに葎小舞を入れている、中塗りに土を使用している、などの理由で落下が増加したと考えられる事例が見られた。
- ・調査範囲では木摺釘の破壊にまで至る変形は生じていなかった。
- ・中塗りを土塗りとしている福島県尋常中学校では壁体の落下が内壁全面に至っていた。
- ・中塗りで破壊と木摺空きでの破壊の形式が確認された。

##### 4.5.2. 静的実験における破壊挙動

- ・静的な試験における破壊挙動は、1/300-1/100rad.付近から漆喰の亀裂→荷重低下が始まっている。実験上の終局状態は、柱頭柱脚の破壊、木摺の座屈破壊、釘接合部の破壊、間柱の破壊に至る形式が報告されている（本章既往研究分析参照）。
- ・ただし、本章の真壁水平木摺実験にみられたような、幅木等の軸部が負けて、壁が全面落下する例は確認されない。本研究では幅木の接合部剛性を極めて低く（胴付、柄斜め釘打）しているためであり、実際の建物での固定度は床構面の拘束もありより強いと推定される。本実験の真壁の挙動の一般性については検証の必要がある。
- ・既往研究からも、本研究の結果からも、漆喰層の荷重負担は、亀裂が入って以降はあまり剛性には期待できず、むしろ亀裂の発生等によって落下する危険もある。
- ・しかし一方で、建物の変形性能を評価するうえでは、真壁試験体で算出したように、最大荷重経過後も 1/30rad.程度までの変形を仮定すれば、壁倍率 1.4 程度は発揮できると推定される。
- ・そのため、解析的検討においては、初期剛性とその脆性的な破壊の傾向、最大耐力経過時以降の、漆喰以外の部材によると推察される変形性能と耐力、を評価することが重要であると思われる。
- ・下苧によって斜め木摺の壁体は支持されていたが、鉄釘を使用している。第3章でみたように、下苧の釘には真鍮釘等が用いられている場合があり、下苧の効果を落下防止として見た際も、その影響は限定的であると考えられる。
- ・このほか、特徴的な破壊の例としては、文 4-36 の斜め木摺矢筈張仕様（1 P の半分ずつをV字になるように張っている）の壁では、最大耐力が他と比較してもかなり低い（1/15rad.で 4.5kN）。破壊写真を見ると、間柱の曲げ変形が極めて大きく、左右で斜め木摺の角度が異なることから、間柱への応力の負担が集中したものと推定される。
- ・亀裂後の脱落に関しては、木摺空きのせん断破壊、後ろの引張抜け（小舞を入れているもの（旧伊達郡役所）など、面外に引張が働かないものがあつた）の効果を検証する必要がある。



#### 4.6. 本章のまとめ

本章では、近代木造建築の代表的な壁体構法の一つである木摺壁の、基礎的な構造性能を明らかにすること、力学メカニズムを把握することを目的として、既往の研究における取り扱いの少なかった真壁の水平木摺漆喰試験体、および大壁の斜め木摺漆喰試験体を対象とした実大静的加力試験を実施した。モデル化にあたっては、初期剛性と最大荷重を推定することを目的とした。

##### ■真壁水平木摺実験から得られた知見として、

最大耐力は、正負平均で軸組試験体 4.6kN に対して木摺漆喰が約 2 倍、土壁が約 2.5 倍を記録した。弾性剛性では軸組試験体 116kN/rad.に対して木摺漆喰は 7.5 倍、土壁は 8.5 倍となっている。最大耐力時の変形角は、軸組試験体は荷重が低下せずに増加し続けたのに対して、木摺漆喰では+1/60rad. -1/75rad., 土壁で 1/30rad.であった。壁倍率は、ばらつき係数を乗じない場合では、軸組壁 0.6, 木摺漆喰壁 1.8, 土壁 2.9 であった。

木摺漆喰壁は初期は土壁と類似した剛性を示すが、最大耐力後の荷重は約 0.6 倍まで荷重が低下し、脆性的な挙動を示した。しかしその後も軸組の 1.5 倍以上の荷重を発揮しており、漆喰以外の釘などは大変形まで機能していたと考えられる。

最大耐力経過付近では、木摺空きの漆喰の切れる音が連続して続き、最大耐力の発現に大きく影響していることが示唆された。

破壊の形式としては、付鴨居の上下で挙動が異なり、鴨居の上では圧縮による端部のつぶれ、せん断亀裂が確認されたのに対して、鴨居の下では最大耐力経過付近から、幅木を押し下げて回転する挙動となり、せん断亀裂は入らなかった。また、内部の木摺には端部の亀裂が発生しているほか、柱へのめり込み挙動、受け木の引き抜きが確認され、柱面内に木摺を留め付ける真壁仕様特有の性状が明らかとなった。

また、荷重に占める木摺漆喰部分の寄与率を軸組壁との比較から試算したところ、初期で 80-90%を占めるが、最大荷重経過後には 40%程度まで下がっていた。しかしそこから継続して荷重を負担しており、漆喰の破壊後も、釘接合部などが一定の荷重を発現していることが確認された。

以上の構造的な特性を表現しうる力学モデルとして、木摺の釘接合部の回転剛性、木摺空きの漆喰のせん断剛性、漆喰層の対角圧縮効果を加味したモデルを提示した。

##### ■斜め木摺実験から得られた知見

実験の結果、平均して下地のみの試験体では約 0.03rad で最大耐力約 27kN を記録した。初期剛性は漆喰無しの平均が 2122kN/rad, 下見板を外したものが 1331kN/rad(38%減)、漆喰有りで 4480kN/rad(2.1 倍)であった。壁倍率は平均で漆喰無しが 2.8, 下見板を外したものが 1.8, 漆喰有りが 3.6 となり、既往研究、現行規定と比較して高い値が確認された。

漆喰仕上げの有無の影響に関しては、最大耐力は引き側のみで約 1.3 倍となり、初期剛性に関しては約 2.4 倍に増加することが確かめられた。この場合、下げ苅の効果、漆喰の食い込みの効果について検討する必要があると考えられる。

下見板については、取り去った場合(試験体 3)で最大耐力が約 80%まで低下しており、下見板のみの耐力を差し引いた上で、間柱を拘束する効果などの寄与を考察する必要がある。

漆喰塗り試験体について、荷重の寄与率を算出した結果、1/450rad で中心に初期の亀裂が確認され、剛性が低下して以降圧縮方向ではその後の漆喰の寄与は殆ど見られないが、引張方向では継続して 10-20%程度の荷重を負担していると推定された。壁体のせん断変形に伴う斜め木摺の移動は、引張方向で木摺空きが縮むため、漆喰が圧縮されることによる荷重が発現しているものと推察される。

実験の観察から、斜め木摺の抵抗メカニズムとして、釘接合部のせん断、木摺空きの漆喰のせん断、木摺引張方向加力の際の漆喰の圧縮があることが推定された。

#### ■木摺漆喰壁の水平力抵抗機構

各実験結果から木摺壁の力学メカニズムを推定した。

#### 真壁水平木摺壁の水平力抵抗要素：接合部および接触部分

軸組による抵抗

- ① 柱頭・柱脚接合部：桟のめり込み抵抗，D ボルトによる引張抵抗
- ② 柱一貫接合部：貫のめり込み抵抗
- ③ 柱一根太掛け接合部：柱の根太掛けへのめり込み抵抗

木摺一釘等による抵抗

- ④ 木摺一釘 - 木摺受け・間柱接合部：釘 2 本打→釘のせん断（偶力による回転）抵抗
- ⑤ 木摺 - 柱側面の接触（大変形時）：柱のめり込み抵抗
- ⑥ 木摺受け一釘 - 柱接合部：@150mm で釘打ち→釘のせん断抵抗・引張抵抗
- ⑦ 貫と間柱の接合部（接触）：貫のめり込み抵抗

漆喰との接触部における抵抗

- ⑧鴨居 - 柱接合部：右端部桟接合，左端部斜め釘打ち→引張・圧縮抵抗
- ⑨幅木一柱接合部：右端部桟接合，左端部斜め釘打ち→引張抵抗・圧縮抵抗
- ⑩漆喰層一木摺空き漆喰の接合部：漆喰による接合部と見なす→漆喰のせん断抵抗
- ⑪漆喰層 - 柱の接触部：漆喰層の拘束
- ⑫漆喰層 - 幅木の接触部：漆喰層の拘束，幅木端部への圧縮抵抗
- ⑬漆喰層 - 鴨居の接触部：漆喰層の拘束，鴨居端部への圧縮抵抗
- ⑭漆喰層 - 梁の接触部：漆喰層の拘束
- ⑮木摺 - 木摺空き漆喰の接触部：（木摺空き縮みによる）木摺・漆喰の圧縮抵抗
- ⑯木摺 - 漆喰層の接触部：漆喰の付着抵抗
- ⑰木摺 - 漆喰一柱側面の接触部：漆喰の圧縮抵抗
- ⑱漆喰層のせん断抵抗・圧縮抵抗：せん断変形に伴う対角の圧縮抵抗

これらの要素に対して，以下の仮定と適用条件によって解析モデルを提示した。

#### 解析の仮定：

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし，また軸組部分と木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する。
  - ・木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする。
  - ・柱脚の浮き上がり，間柱と貫のめり込みは無視できるものとする。
  - ・鴨居と柱の接合部，幅木と柱の接合部はピン接合で圧縮・引張軸力を負担しうる。ただし，幅木と柱の接合部は最大荷重時には端部の損傷によって端部の拘束がなくなる（部材なし）とする。鴨居と柱の接合部はピン接合で引張と圧縮を負担すると仮定した。
  - ・木摺 - 釘 - 木摺受け接合部は，半剛接の回転ばねと仮定し，その回転剛性は要素実験による釘 2 本打ちの回転剛性を適用する。また，間柱は両端ピン接合の剛体と見なし，柱，間柱での釘の回転ばねの剛性は同様とする。
  - ・木摺端部と柱側面の接触によるめり込み抵抗，および木摺端部と柱側面の間に入った漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する。
  - ・木摺空き縮みの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する。
- 初期：1/120rad.（見かけの変形角）まで，最大荷重時以降：1/60rad.（見かけの変形角）
- ・鴨居と梁の間の漆喰層は，せん断変形に伴う対角圧縮が初期から実験終了時まで支配的であるとする。
  - ・鴨居と幅木の間の漆喰層は，
- ①変形初期は漆喰層の対角圧縮が支配的で，
  - ②その後，幅木の損傷に伴って，漆喰層の上下拘束が減少するため，回転変形量が増加

することで、木摺空きのせん断が支配的な抵抗機構に移行し、最大荷重時では木摺空きのせん断のみが作用したと仮定する。

- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は剛体と仮定する。
- ・木摺空きの漆喰は木摺と一体となって挙動する。
- ・木摺空きの漆喰のせん断は、剛体と仮定した漆喰層と木摺空きの漆喰間の漆喰せん断ばねの拘束によって抵抗する。

#### 適用範囲：

- ・柱の曲げ変形が無視でき、軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの。
- ・柱脚の浮き上がり、間柱と貫のめり込みが無視できる場合。
- ・鴨居と柱の接合部、幅木と柱の接合部は圧縮・引張を負担しうる仕様であり、また、漆喰層下部の拘束部材（幅木）は最大荷重までに接合部が損傷し、拘束が失われる。
- ・木摺 - 釘 - 木摺受け接合部では釘が偶力によって回転する釘配列
- ・間柱の接合部は回転剛性、抜け出しが無視でき、また曲げ変形が無視できる
- ・木摺端部と柱側面、および木摺端部と漆喰と柱側面には間隔があり接触しない
- ・木摺の上下面と木摺空きの漆喰の接触が無視できる場合（木摺空きの上下縮み量が小さい、木摺空きの漆喰と木摺の間に間隙があるなど）
- ・初期剛性時：漆喰層の四周がピン接合で四周拘束されていると見なせる場合
- ・最大荷重時：漆喰層は左右の柱による拘束と、木摺空きの漆喰とのせん断抵抗で拘束されている場合
- ・漆喰層は幅木 - 柱接合部の破壊より前にせん断破壊せず、幅木の破壊後は剛体として回転変形する（木摺空きの配置が対称）。

以上の仮定によって考慮する抵抗要素は、釘接合部の回転剛性（④）、鴨居から梁の間の壁の漆喰層の対角圧縮と木摺空きのせん断剛性（⑩、⑱）、鴨居から幅木の間の壁の漆喰層の対角圧縮と木摺空きのせん断剛性（⑩、⑱）、であるが、これら3つは軸組に対して独立に作用するものと仮定する。対角圧縮と木摺空きのせん断は、要素実験で詳述するように連動しているが等価なせん断ばねと見なす。

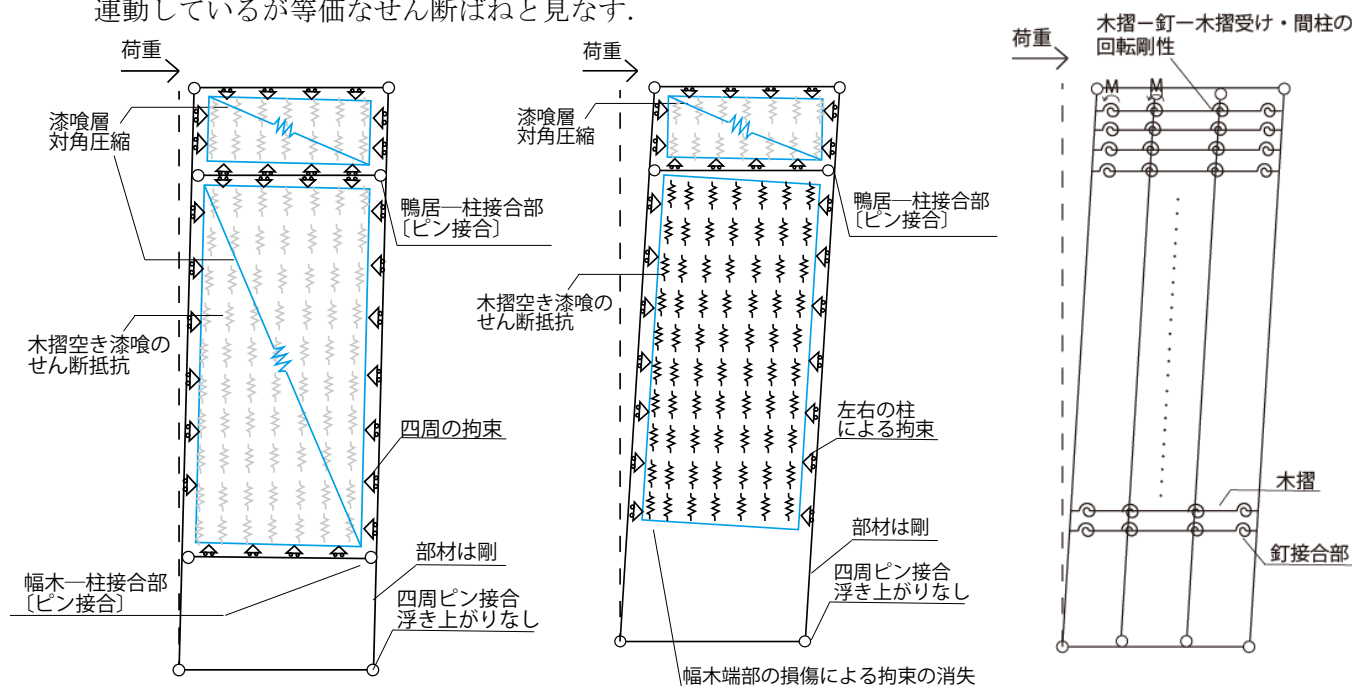


図 4-162 真壁水平木摺漆喰の力学モデル（木摺漆喰：初期剛性・最大荷重以降，釘）

## ■斜め木摺漆喰壁の水平力抵抗機構.

### 軸組部分の抵抗部位とその抵抗機構

- ①：柱および間柱の柱頭・柱脚接合部のモーメント抵抗
- ②：下見板－釘－柱接合部，下見板－柱－間柱の回転抵抗
- ③：柱および間柱の変形による抵抗

### 木摺漆喰部分による抵抗部位とその抵抗機構

- ④：木摺－釘－柱，木摺－釘－間柱接合部の釘の回転・せん断による抵抗
- ⑤：漆喰層の回転変形に伴う木摺空きの漆喰のせん断抵抗
- ⑥：漆喰層のせん断剛性
- ⑦：木摺空きの縮みによる漆喰の圧縮抵抗
- ⑧：木摺空きに漆喰が塗り込められ一体化することによる剛性増加
- ⑨：木摺と漆喰の付着

### 解析の仮定：

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし，また軸組および下見板の部分と，付加される木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する.
- ・木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする.
- ・柱脚の浮き上がり，間柱の曲げ変形が無視できるとする.
- ・木摺－釘－柱・横架材接合部は，半剛接の圧縮・引張方向同性状のせん断ばねと仮定し，そのせん断剛性は要素実験による一面せん断剛性を適用する. また，間柱は両端ピン接合の剛体と見なす.
- ・下見板による補剛により，圧縮方向における座屈による荷重低下は無視でき，圧縮，引張方向で同様の変形性状を示すと仮定する.
- ※以下2点は，付録に採録した漆喰の影響の検討の仮定
- ・木摺空きの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は変形の初期から発現しているものと仮定する.
- ・木摺の上の漆喰層は剛体と見なし，また木摺空きに漆喰が入ることによる初期剛性の増加は無視できるものとする. 初期剛性は木摺空きの漆喰のせん断剛性によって定まるものと仮定した.

### 適用条件：

- ・柱の曲げ変形が無視でき，軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの.
- ・柱脚の浮きあがり，間柱の曲げ変形が無視できる場合. 今回は間柱は下見板により曲げ変形が拘束されているものとみなす.
- ・木摺－釘－柱・横架材接合部では釘は回転せん断挙動を示すが，軸方向の変形が顕著.
- ・端空きは十分にあり，端抜けによる破壊は起こらず，釘の引き抜けにより破壊する.
- ・間柱の接合部は回転剛性，抜け出しが無視でき，また下見板等の釘打ちによる拘束があり曲げ変形が無視できる場合
- ・木摺は下見板等の材によって間柱を通じて座屈補剛されており，面外座屈の影響が小さい場合.
- ※以下1点は付録に採録した漆喰の影響の適用条件
- ・漆喰層が十分なせん断剛性を持つ場合は剛体と見なせる. 木摺空きに入った漆喰の影響を無視する点については，実際の適用範囲の確定は困難であるため，参考として付録に加えるにとどめている.

- ・上記の抵抗要素の内，解析に考慮するとしたものは  
軸組・下見板の耐力（①～③），釘のせん断抵抗（④），木摺空きの漆喰のせん断，木摺

空きの縮みによる圧縮荷重である。このうち、軸組・下見板と釘は足し合わせによって、木摺のみの場合の荷重変形関係を推定するが、木摺空きの漆喰のせん断、木摺空きの縮みの影響に関しては、それぞれ、参考までに斜め木摺漆喰と斜め木摺の実験結果の差分に対して検討を加えたものを付録に採録した。

以上の仮定のもと、斜め木摺壁に関する力学モデルとして以下を提示した。

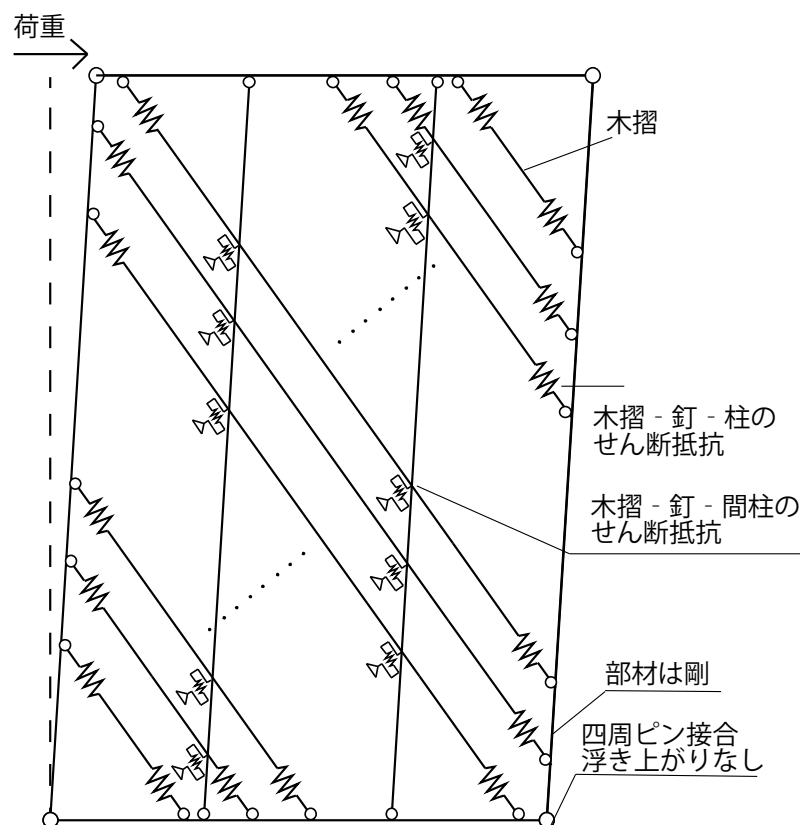


図 4-163 斜め木摺壁の力学モデル〔木摺のみのモデル・圧縮，引張は同様と仮定〕





5. 第5章 木摺漆喰壁の水平抵抗要素に関する要素実験

## 5.1. 概要

### 5.1.1. 想定する抵抗要素と実施する実験の模式図

本実験は、第4章の実大試験の結果から推定された、木摺漆喰耐力壁の主要な水平抵抗要素の内、1)釘接合部の回転モーメント・せん断抵抗と2)木摺空きの漆喰によるせん断抵抗、3)木摺空きの漆喰の圧縮、4)漆喰層のせん断および圧縮、の影響を把握するために実施したものである。試験体に使用される木摺、釘、漆喰の仕様・寸法は、第4章の実大試験体（水平、斜めそれぞれ）と同様としている。以下に、実大試験体の抵抗要素と本章の試験の模式図を示す。

#### 1)－1. 水平木摺－釘接合部のモーメントによる抵抗：Sr1 試験、Sr2 試験体（間柱の影響）

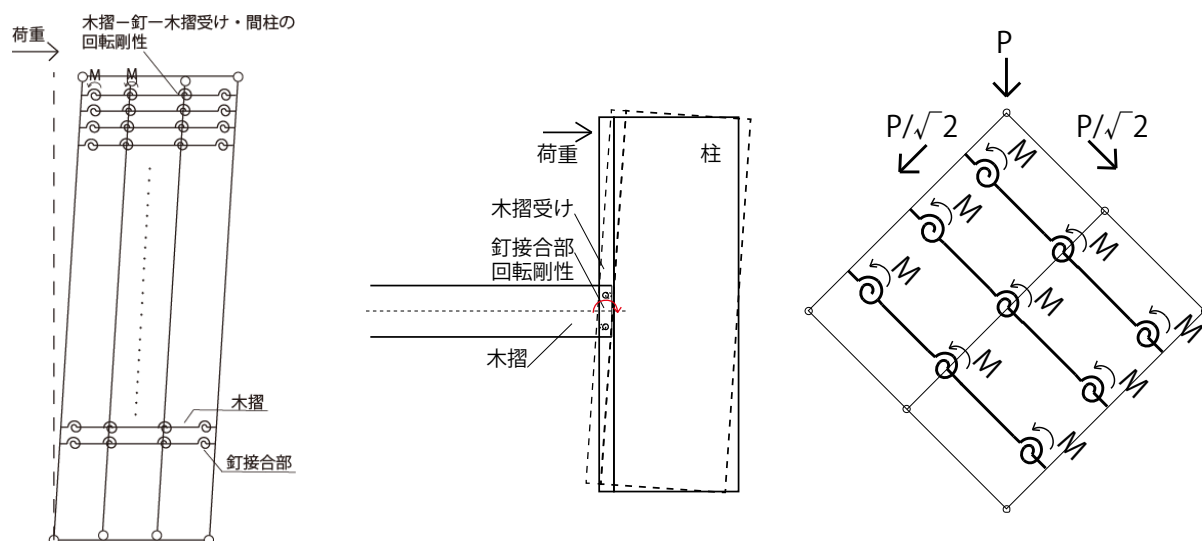


図 5-1 釘接合部のモーメント抵抗 Sr1 試験体、Sr2 試験体の概念図

#### 1)－2. 斜め木摺－釘のせん断抵抗，座屈：Sr3 一面せん断試験と Sr1 斜め木摺試験

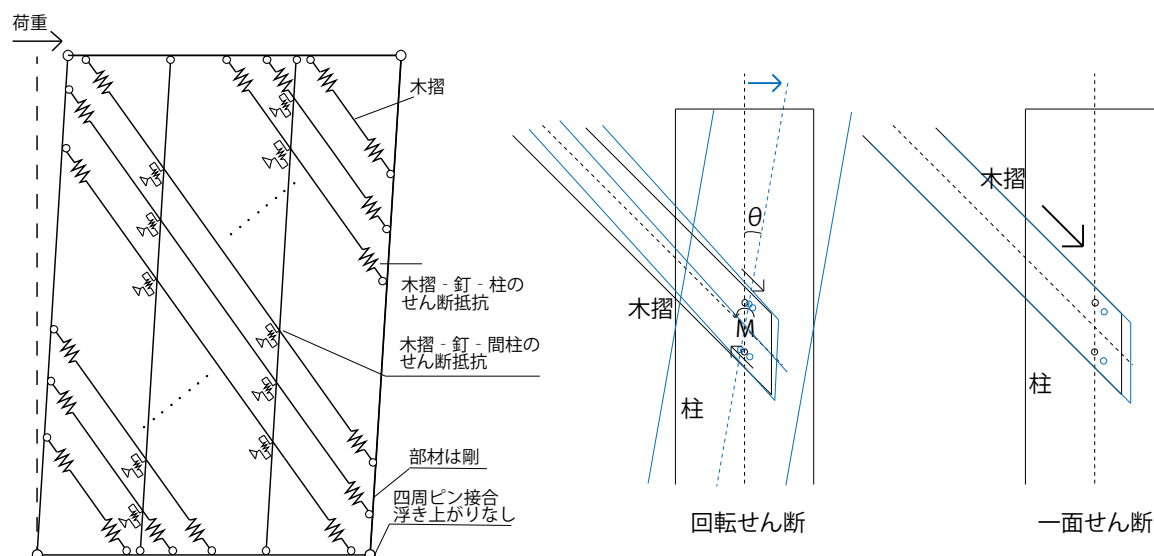


図 5-2 斜め木摺のせん断抵抗の想定と Sr3, Sr1 試験の概念図

2) 木摺空きの漆喰のせん断抵抗 : Sr5 一面せん断試験

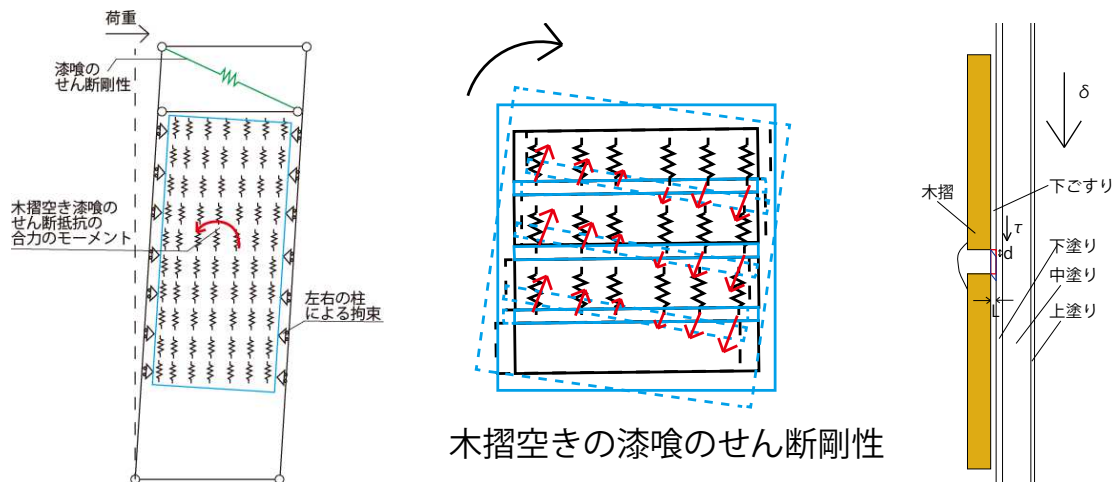


図 5-3 木摺空き漆喰のせん断抵抗の想定と実部材の対応

3) 斜め木摺引張時の木摺空きの漆喰の圧縮抵抗 : Sr4 一軸圧縮試験

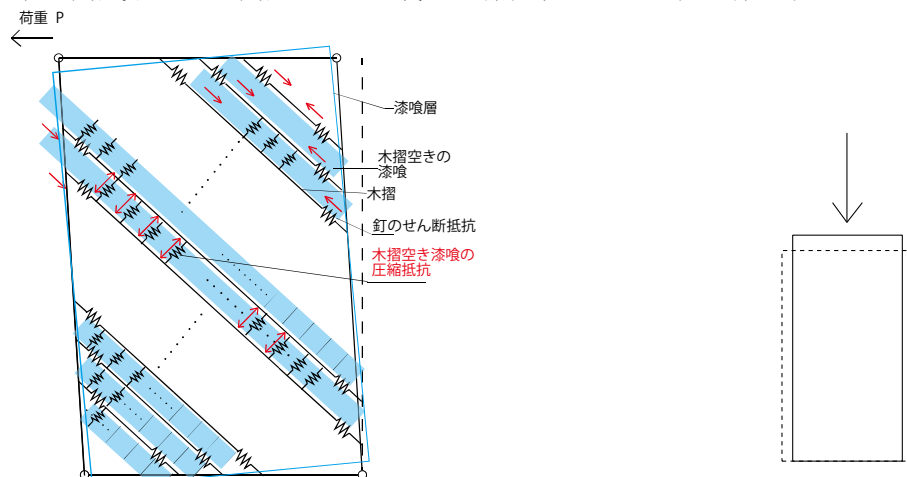


図 5-4 斜め木摺引張時の木摺空き漆喰の圧縮の想定と Sr4 試験

4) 漆喰層のせん断剛性 : Sr2 580 角せん断試験に漆喰塗り

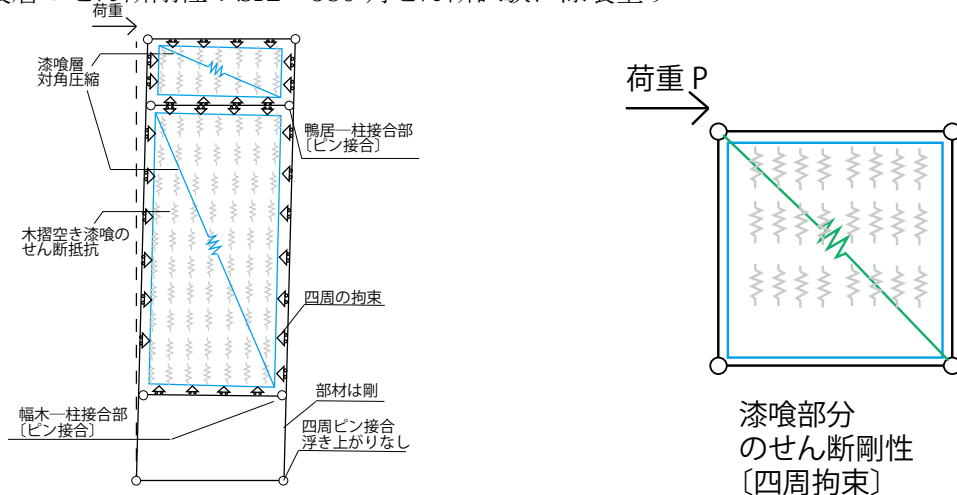


図 5-5 漆喰層のせん断剛性および圧縮効果と Sr2 試験

### 5.1.1. 実験概要

以上の特性を把握するために以下の6種類の要素実験を実施した.

**Sr1** : 柱2本と木摺による釘接合部に関するせん断実験

**Sr2** : 580角小試験体による釘接合部および木摺空き漆喰接合部に関するせん断実験

**Sr3** : 釘接合部の一面せん断実験

**Sr4** : 漆喰の一軸圧縮試験1 [2010 斜め木摺]

**Sr5** : 漆喰の一面せん断試験

**Sr6** : 漆喰の一軸圧縮試験2 [2015 水平木摺]

**Sr1** は, 壁体がせん断変形した際の, 釘接合部の回転を伴う変形による抵抗力を把握する目的で実施した. ここでは, 柱2本の水平方向の移動は, 振れ止めによって拘束するものとしている. 試験体は, 大壁水平木摺仕様, 大壁斜め木摺仕様 (圧縮), 真壁水平木摺仕様, の3種類の木摺試験体とし各3体を作成した.

**Sr2** は, 真々580mm角の木製枠材 (接合部はピン接合) に木摺を打ち付け, 実大壁の部分を取り出した変形 (平行四辺形に変形) を再現し, 釘接合部および木摺空きの漆喰接合部の影響を把握することを目的とした. 試験体は, 大壁水平木摺仕様, 大壁斜め木摺仕様 (圧縮), 真壁水平木摺仕様, の3種類の木摺試験体とし各3体を作成した. 真壁については, 漆喰層のせん断剛性, または (破壊性状を検討し) 圧縮剛性を把握するため, 第4章の実大試験と同仕様で仕上げ塗りまで施した試験体も作成した.

**Sr3** は, 斜め木摺の釘接合部の一面せん断試験と, 斜め木摺の圧縮方向で発生する座屈現象の検討を行う目的で実施した. 試験体は, 大壁斜め木摺仕様 ((短部材: 引張・圧縮)・長部材・圧縮を各3体作成した.

**Sr4,6** は, 木摺空きの減少に伴い発生すると想定される漆喰単体の圧縮強度を把握するために, 第4章に記述した斜め木摺(**Sr4**)および水平木摺(**Sr6**)の実大静的加力試験で使用した漆喰の一軸圧縮試験を実施した.

**Sr5** は, 木摺と漆喰層の接合部分におけるせん断強度を把握する目的で, 2015年の水平木摺の静的加力試験で使用した木摺伏 (下ごすり) 用の漆喰の一面せん断試験を実施した.



## 第5章 木摺漆喰壁の水平抵抗要素に関する要素実験

### 5.1.2. 試験体一覧

作成した試験体の一覧を以下に示す。漆喰仕上げ試験体は真壁仕様の Sr2\_SH\_NP のみ実施したが，Sr1,2 では，せん断変形時の漆喰の影響を検討するため，下塗りのみ，仕上げまでの各仕様の漆喰塗り仕様の試験体を作成している。

表 5-1 要素実験 試験体一覧

| 試験体の種類               |                |      | 試験体数 | 試験体名称            | 実験の目的             |
|----------------------|----------------|------|------|------------------|-------------------|
| ①柱2本せん断<br>Sr1       | 大壁・水平          | 漆喰なし | 3    | Sr1_OH_N         | 水平木摺 せん断・回転       |
|                      | 大壁・斜め 圧縮       | 漆喰なし | 3    | Sr1_ODC_N        | 斜め木摺 せん断・回転       |
|                      | 真壁・水平          | 漆喰なし | 3    | Sr1_SH_N         | 真壁水平木摺 同上         |
| ②580角せん断<br>Sr2      | 大壁・水平          | 漆喰なし | 3    | Sr2_OH_N         | 水平木摺 同上，間柱        |
|                      | 大壁・斜め 圧縮・引張    | 漆喰なし | 3    | Sr2_ODC_N, ODT_N | 斜め木摺 せん断，座屈       |
|                      | 真壁・水平          | 漆喰なし | 3    | Sr2_SH_N         | 真壁水平木摺 せん断        |
|                      |                | 漆喰あり | 1    | Sr2_SH_NP        | 漆喰層のせん断剛性         |
| ③一面せん断<br>Sr3        | 大壁・繊維45度 短     | 漆喰なし | 3    | Sr3_OD_N_S       | 斜め木摺 せん断          |
|                      | 大壁・繊維45度 長(圧縮) | 漆喰なし | 3    | Sr3_ODC_N_L      | 斜め木摺 せん断・座屈       |
| ④漆喰一軸圧縮<br>[斜め木摺]Sr4 | 生漆喰            |      | 3    | Sr4_A            | 漆喰の圧縮強度<br>・せん断強度 |
|                      | 木摺伏せ           |      | 3    | Sr4_B            |                   |
|                      | 下塗り            |      | 3    | Sr4_C            |                   |
|                      | 中塗り            |      | 3    | Sr4_D            |                   |
|                      | 上塗り 下付け        |      | 3    | Sr4_E            |                   |
|                      | 上塗り 上付け        |      | 3    | Sr4_F            |                   |
| ⑤漆喰一面せん断<br>Sr5      | 真壁実験漆喰 下塗り     |      | 7    | Sr5_PS           | 漆喰のせん断強度          |
| ⑥漆喰一軸圧縮<br>[真壁]Sr6   | 真壁実験漆喰 下塗り     |      | 2    | Sr6_PS           | 漆喰の圧縮強度・<br>せん断強度 |

・試験体記号：O；大壁，S；真壁，H；水平木摺，D；斜め木摺，N；釘，NP；釘と漆喰（仕上げ塗りまで），C；圧縮，T；引張，S；短，L；長，P；

## 5.2. 試験体図面および計測計画〔Sr4-6 試験は各試験結果報告中に記載〕

### 5.2.1. Sr1 モーメント抵抗とせん断抵抗に関する実験

・Sr1 試験は、柱を模した縦材 2 本に木摺を釘打ちし、柱に鉛直載荷することで、壁のせん断変形時の木摺接合部のモーメント抵抗及びせん断抵抗を把握することを目的として実施した。

・計測計画：変位計：載荷板上部のロードセル（PCLT-20tf，東京測器）載荷板の前後対角2か所（CDP-50，CDP-25，東京測器），木摺左右各一か所のひずみゲージ（LFLA-10-11，東京測器）を設置した。

・固定等：柱材は、M12 両ねじボルトを貫通させ、固定台、載荷板（引張時）に留め付けた。また、振れ止めの鉄骨治具を正面奥側に設置し、試験体の偏心を防ぐことを意図した。

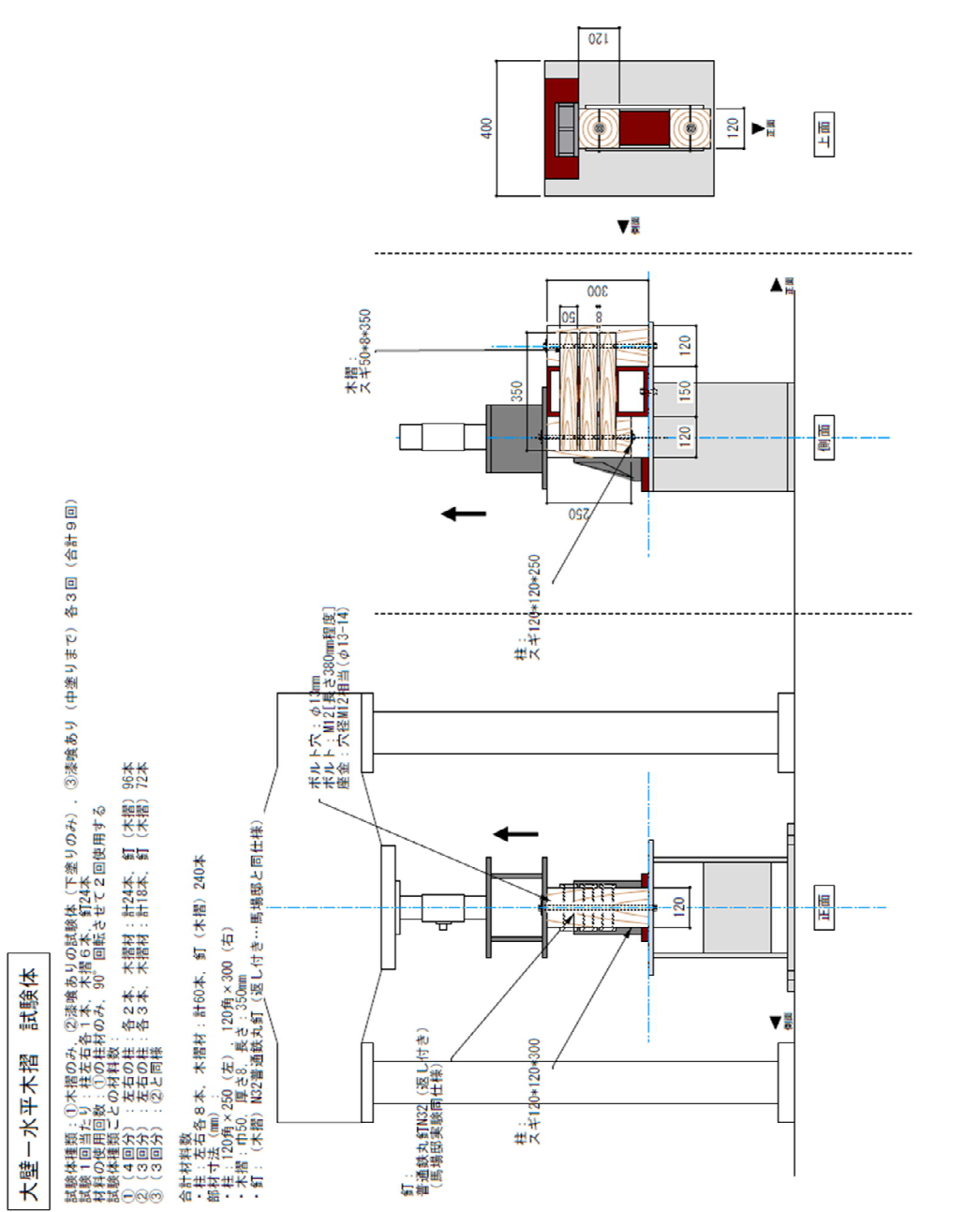


図 5-6 Sr1 大壁水平木摺試験体

図 5-7 S-1 真壁水平木摺試験体

# 真壁－水平木摺 試験体

試験体種類：①木摺のみ、②漆喰ありの試験体（下塗りのみ）、③漆喰あり（中塗りまで）各3回（合計9回）

試験1回当たり：柱左右各1本、木摺6本、釘24本

材料の使用回数：①の柱材のみ、90°回転させて4回使用する

試験体種類ごとの材料数：

①（4回分）：左右の柱：各1本、木摺材：計24本、釘（木摺）96本、釘（木摺受け）16本

②（3回分）：左右の柱：各3本、木摺材：計18本、釘（木摺）72本、釘（木摺受け）12本

③（3回分）：②と同様

合計材料数

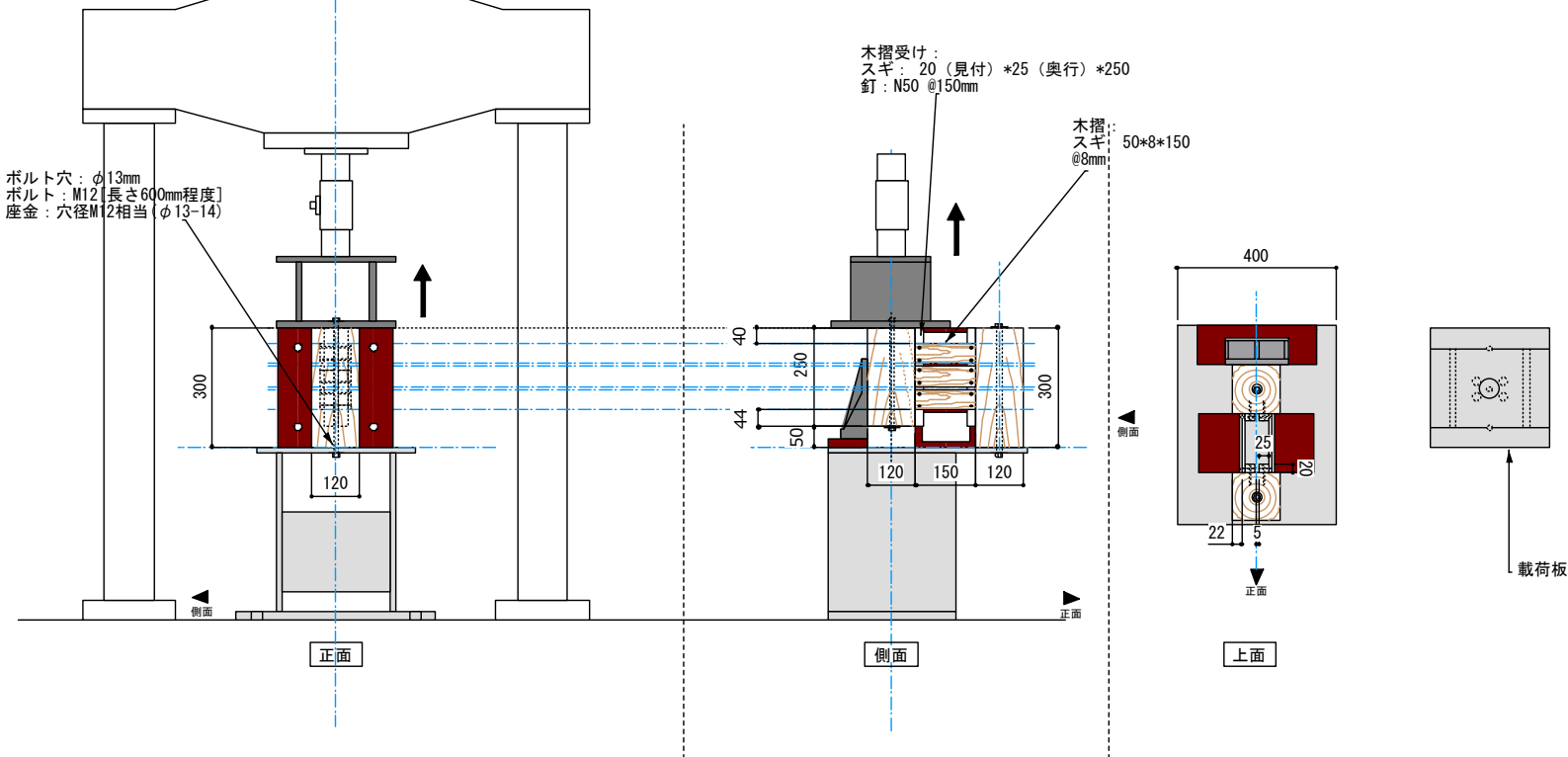
・柱：左右各7本、木摺材：計60本、釘（木摺）240本、釘（木摺受け）40本

部材寸法（mm）：

・柱：120角×250（左）、120角×300（右）

・木摺：巾50、厚さ8、長さ：150mm

・釘：（木摺）N32普通鉄丸釘（返し付き…馬場邸と同仕様）、（木摺受け）N50普通鉄丸釘



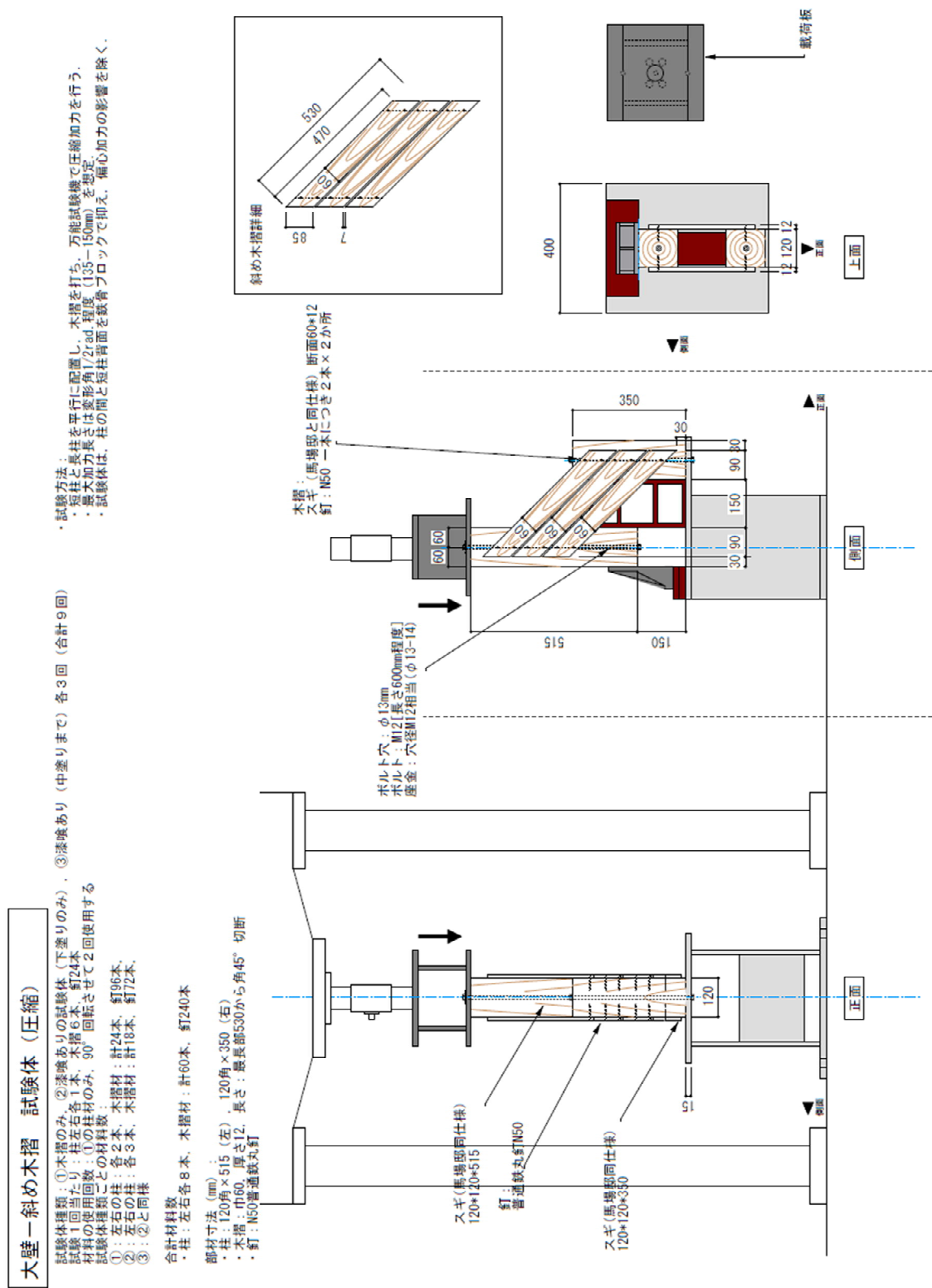


図 5-8 Sr1 大壁斜め木摺試験体

### 5.2.2. Sr2 580 角小試験体

Sr2 シリーズは、真々580 角の木製フレームに木摺を打ち、45 度方向からせん断変形させることで、壁体の軸組接合部がピン接合であると仮定した場合の壁面内での木摺の挙動とモーメント抵抗、せん断抵抗を明らかにすることを目的として実施した。

また、木摺壁における間柱の影響についても、Sr1 と比較する形で検討を行った。

真壁仕様の試験体では、木摺のみの試験体と漆喰塗りありの試験体を作成し、その差分から漆喰層の圧縮、せん断性能への影響力を考察した。

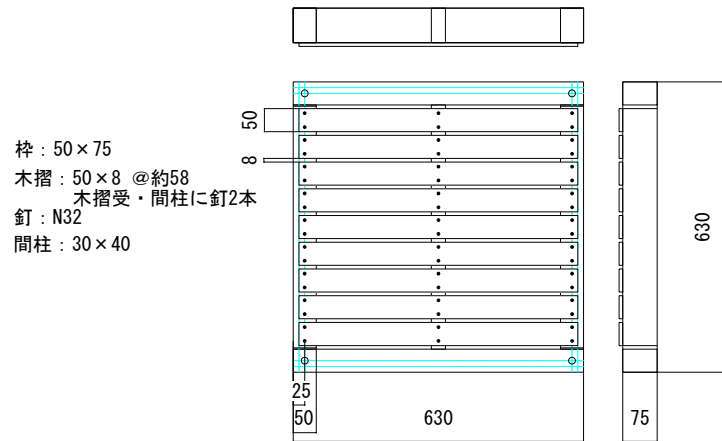
木摺、釘の仕様は第4 章の真壁水平木摺試験体と同様である。



## 第5章 木摺漆喰壁の水平抵抗要素に関する要素実験

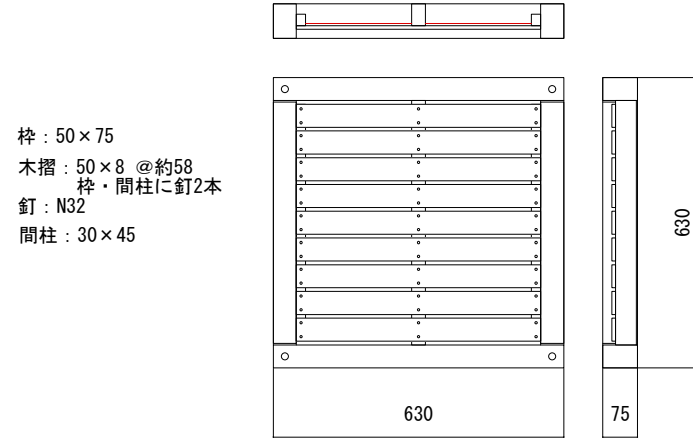
Sr2 OH\_N 大壁 水平木摺のみ 3体  
Sr2 OH\_NP 大壁 水平木摺+漆喰 3体

・真壁試験体とは、釘の固定方法、漆喰の四周拘束が異なる。

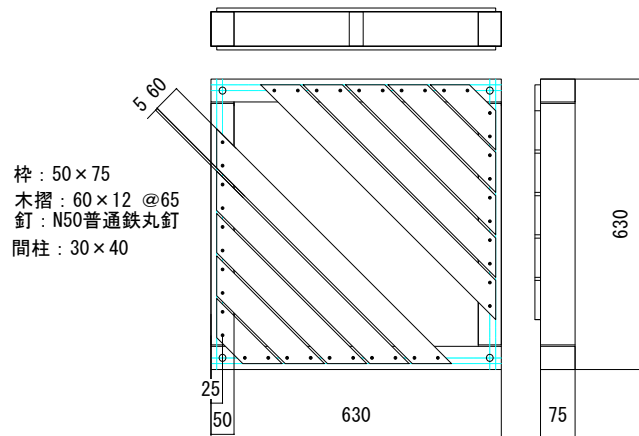


Sr2 SH\_N 真壁 水平木摺のみ 3体  
Sr2 SH\_NP 木摺+漆喰試験体 3体

(2015水平木摺試験と同仕様)



Sr2 ODC\_N 大壁 斜め木摺 圧縮, Sr2 ODC\_NP 大壁 斜め木摺+漆喰 圧縮  
Sr2 ODT\_N 大壁 斜め木摺 引張, Sr2 ODT\_NP 大壁 斜め木摺+漆喰 引張  
・斜め木摺の直交配置の釘は、Sr1のせん断試験が困難であるため、  
本試験体を用いて、木摺のみの試験を実施する。



Sr2 Wk\_1.2

・桢のみのせん断剛性の把握のために実施  
・試験体は、Sr2 OH\_Nの試験終了後試験体を再用。

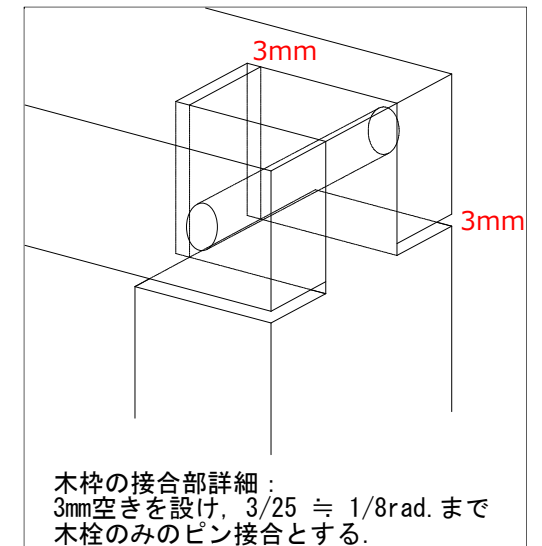
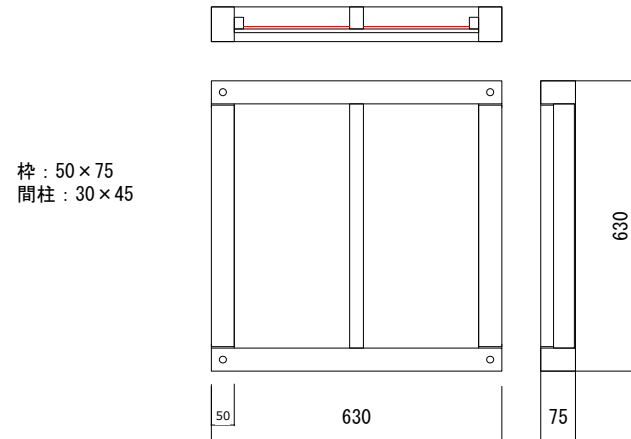


図 5-9 Sr2 試験体仕様

5.2.3. Sr3 シリーズ

Sr3 シリーズは、柱材を主材、木摺材を側材、接合具を釘とした、木・木の一面せん断試験である。試験体は斜め木摺試験体の柱－木摺接合部の最も長い間柱－柱の釘間距離(793mm)を再現した長試験体と、試験実施の限界まで部材を短くした(132mm)試験体の2種。

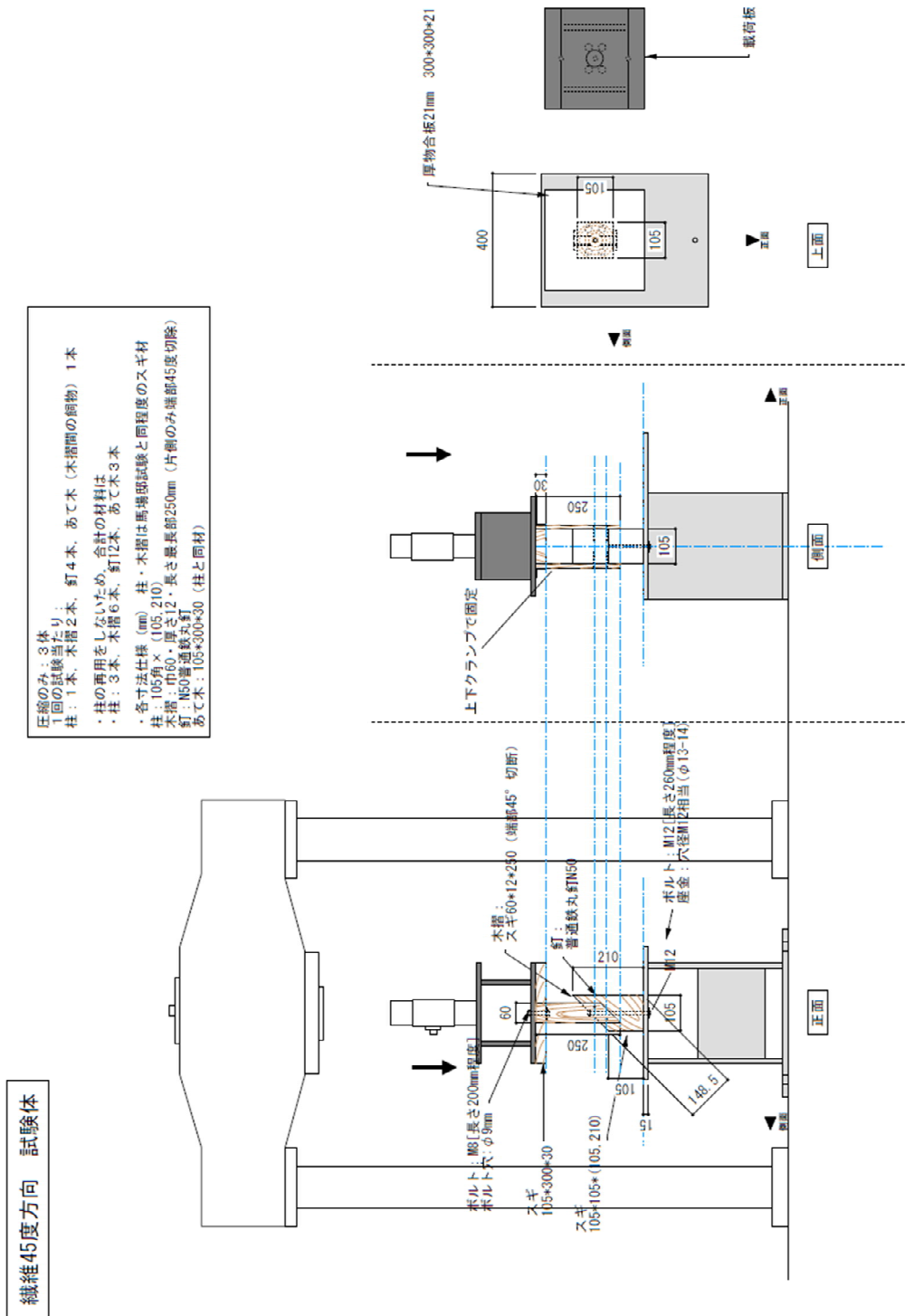


図 5-10 Sr3 斜め木摺試験体（短）

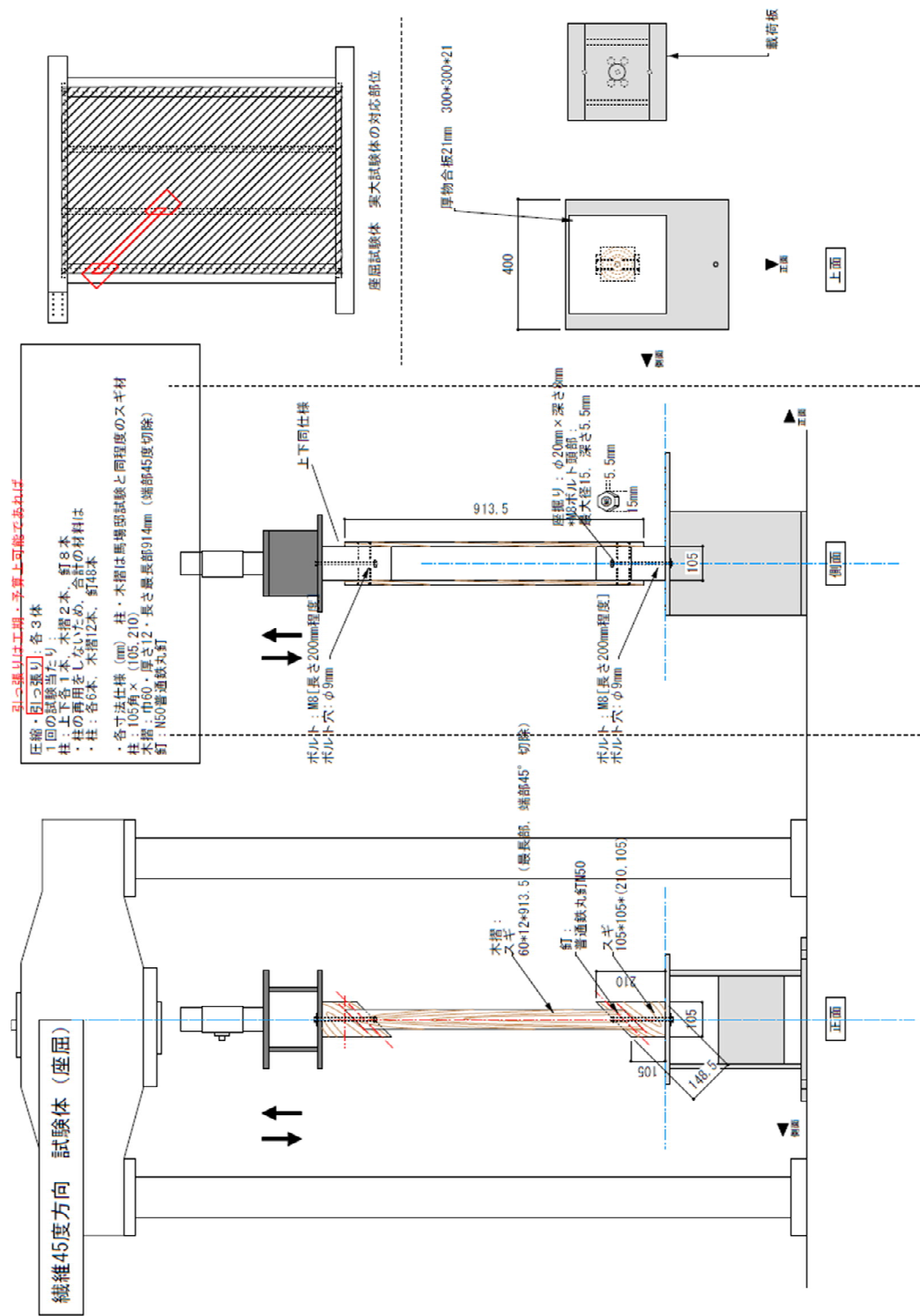


図 5-11 Sr3 斜め木摺試験体 (長)

### 5.3. Sr1 : 柱2本によるせん断実験

#### 5.3.1. 計測計画

- ・荷重，垂直方向変位，長柱の変形性状および，中央の木摺のひずみを計測した．
- ・加力速度は 0.5mm/min. 載荷方向は，短い柱と引きボルトでつないだ引張（各試験体 1 のみ），つながない圧縮（各試験体 2 以降）の 2 種類を実施している．

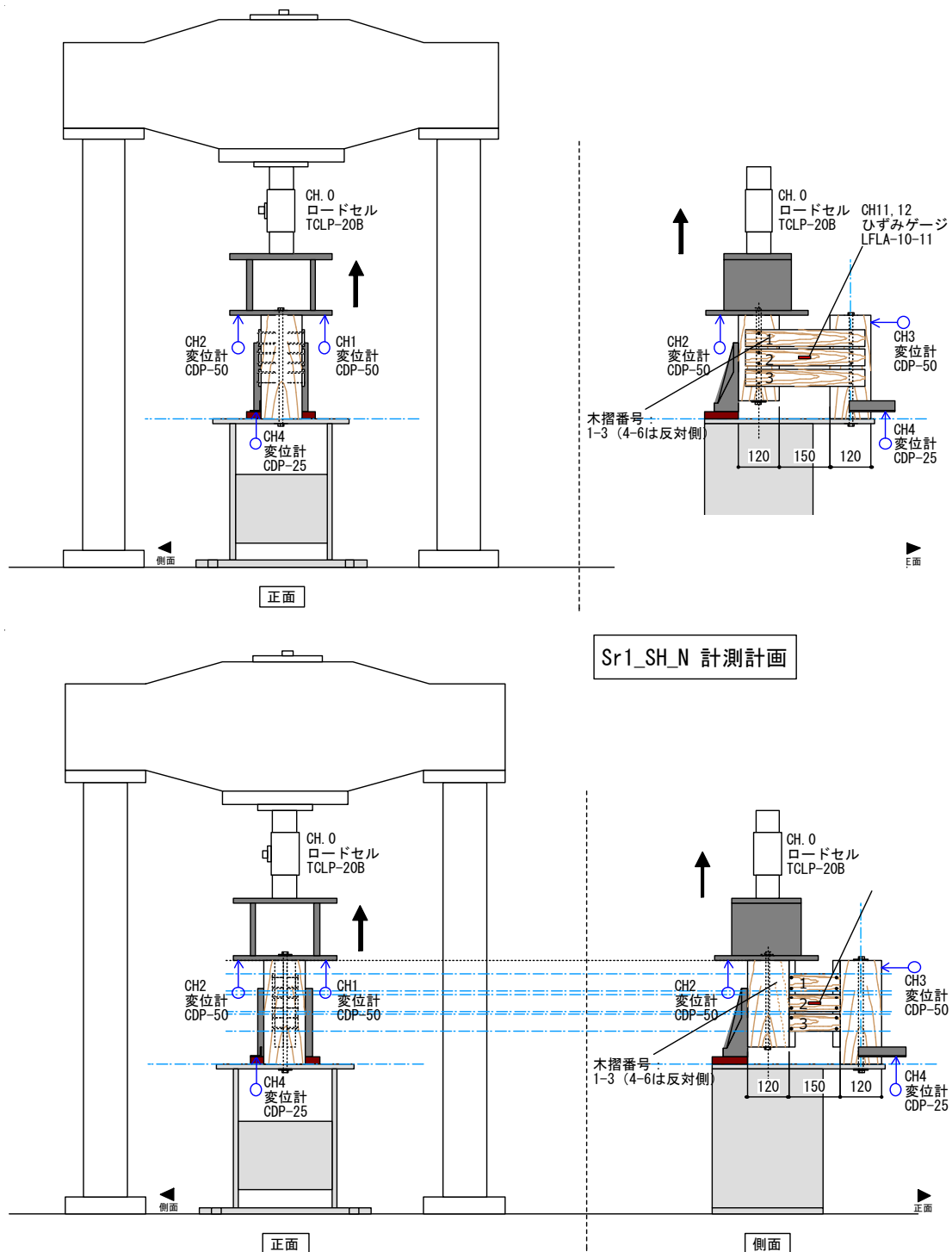


図 5-12 大壁水平木摺および真壁水平木摺計測計画 OH\_N\_1-3 (上図), SH\_N1-3 (下図)

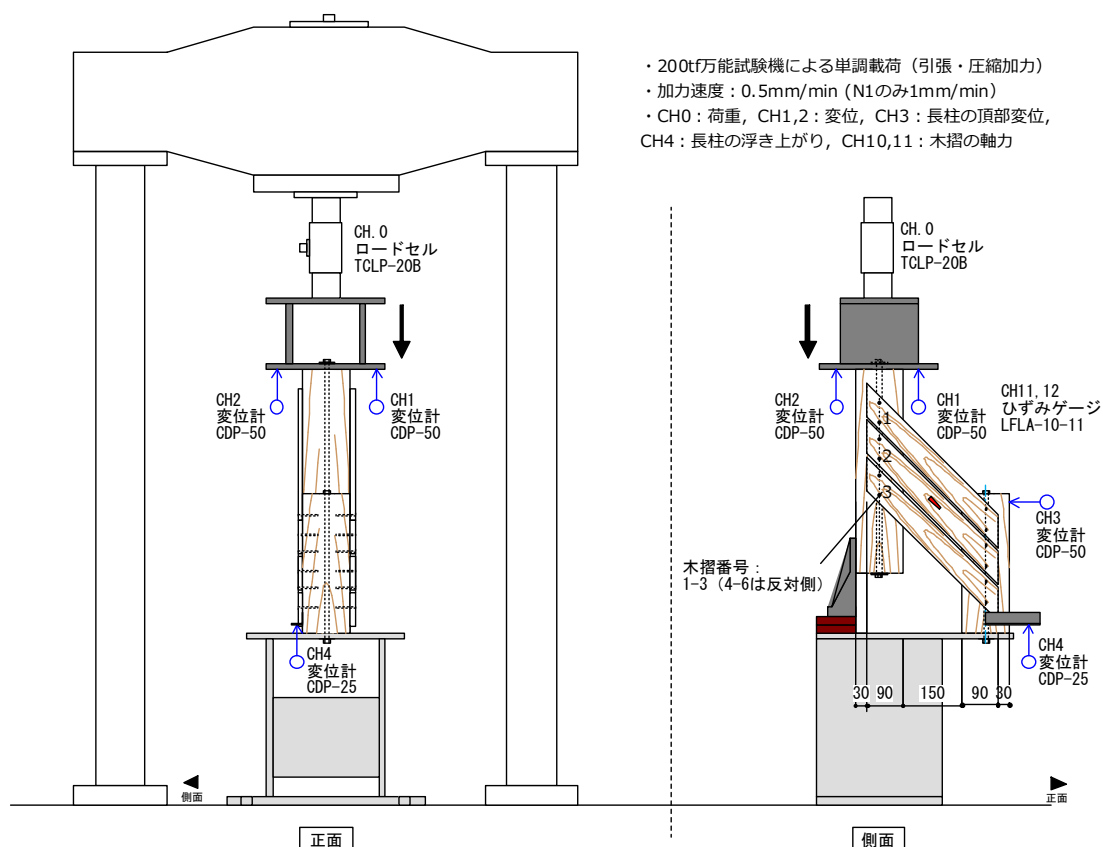


図 5-13 ・斜め木摺・圧縮方向載荷: ODC\_N

各試験体で計測を想定している荷重  $P$  と木摺部材の負担力の関係を以下に示す。水平木摺試験体では、実大壁体での接合部挙動を再現するため、柱軸方向の鉛直載荷により、木摺 - 釘接合部の回転剛性（モーメント変形角関係）を得ることを目的とする。斜め木摺試験体では、実大試験の破壊性状と、柱と木摺の角度が当初から  $45$  度であるため、木摺軸方向のせん断力が卓越していたと推定されるため、軸方向鉛直載荷により、回転角、および回転時の軸方向変形量に対するせん断耐力を把握することを目的とする。ただし、後述の一面せん断試験とは異なり、釘接合部のモーメント抵抗も加味した値として計測を行った。

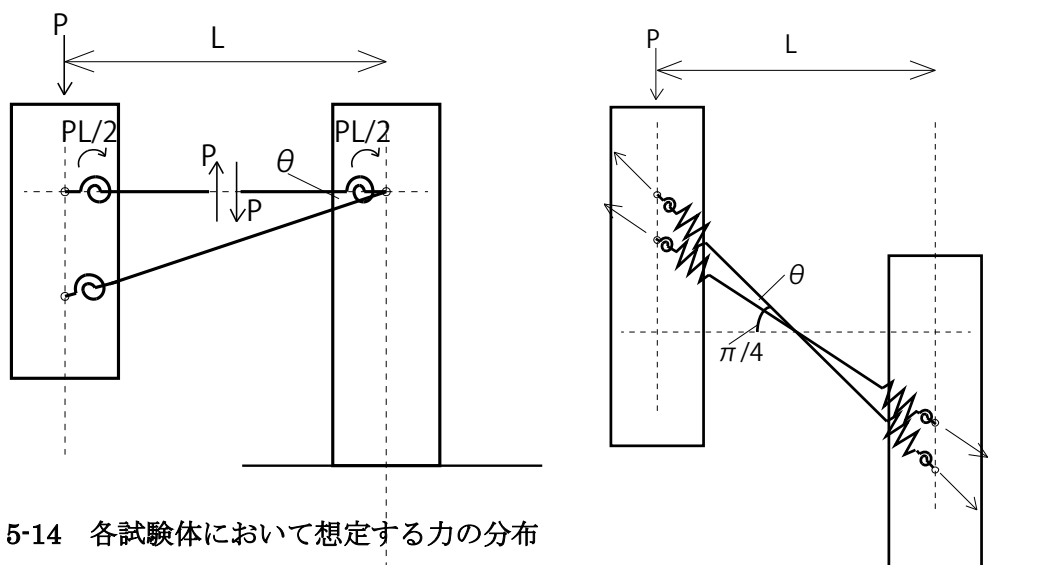


図 5-14 各試験体において想定する力の分布



5.3.2. Sr1 実験結果

5.3.2.1. Sr1\_OH\_N1-3

5.3.2.1.1. 荷重変形関係

引張載荷を行った N1 では、初期に摩擦の影響と想定される力が入ったため、初期の荷重をカットした修正荷重を併記した。

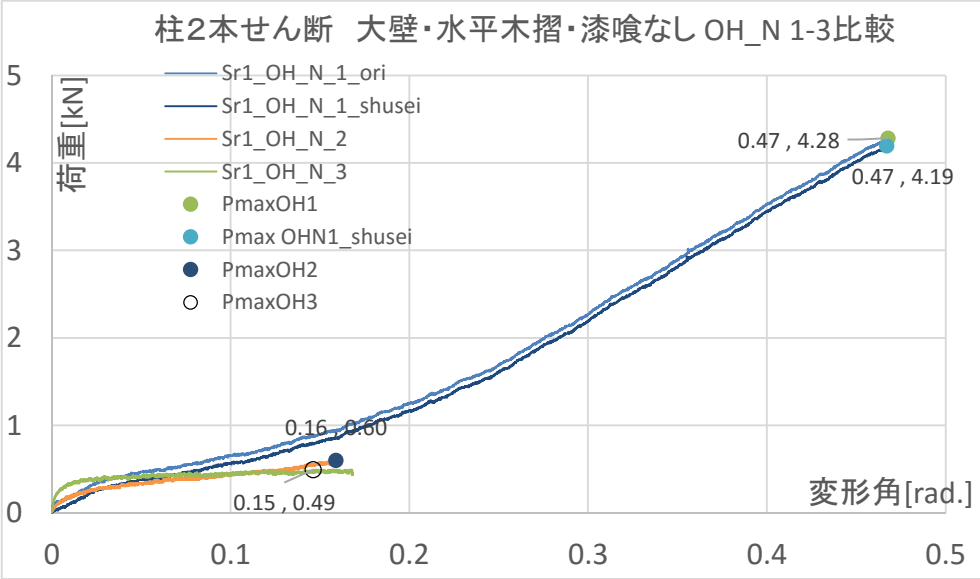


図 5-15 Sr1 OH N1-3 の荷重変形関係

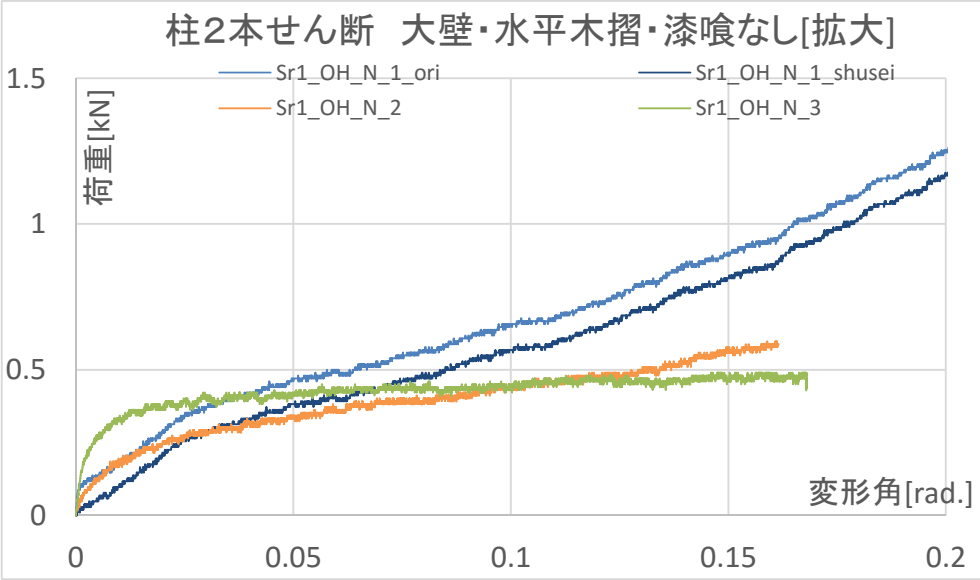


図 5-16 Sr1 OH N1-3 の荷重変形関係 [0.2rad.まで拡大]

表 5-2 特定変形角時荷重，最大荷重

|           | 1/600 rad | 1/300 rad | 1/120 rad | 1/60 rad | 1/30 rad | 1/15 rad | Pmax [kN] | Pmax時変形角[rad.] |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------------|
| OH N 1    | 0.11      | 0.13      | 0.16      | 0.27     | 0.39     | 0.51     | 4.28      | 0.468          |
| OH N 1 sh | 0.02      | 0.04      | 0.08      | 0.18     | 0.30     | 0.42     | 4.19      | 0.467          |
| OH N 2    | 0.07      | 0.09      | 0.17      | 0.24     | 0.29     | 0.37     | 0.60      | 0.159          |
| OH N 3    | 0.19      | 0.24      | 0.31      | 0.36     | 0.39     | 0.42     | 0.49      | 0.146          |

試験結果より，釘接合部一か所当たりのモーメント抵抗を以下の式により算出した．鉛直荷重によるモーメントを2か所×木摺6本の計12か所で均等に負担するものとした．

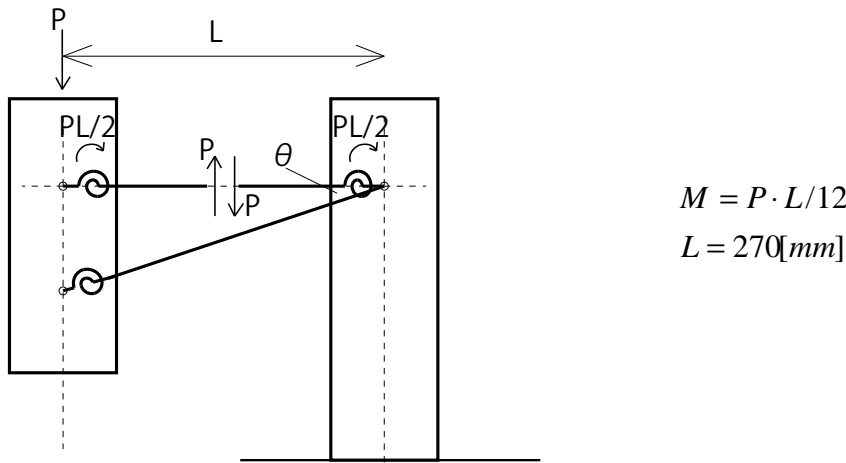


図 5-17 モーメント抵抗の模式図

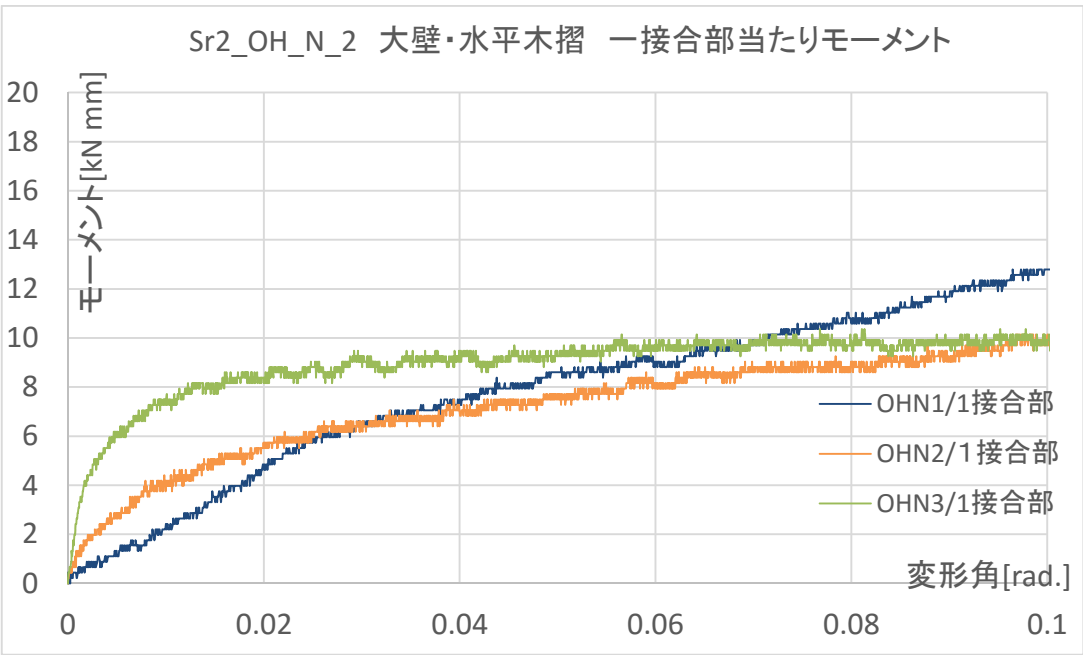


図 5-18 Sr1OHN1-3 1 接合部当たりのモーメント抵抗

表 5-3 OHN の 1 接合部当たり最大モーメント抵抗

|           | Mmax [kN・mm] | Mmax時変形角[rad.] |
|-----------|--------------|----------------|
| OH N 1 sh | 96.4         | 0.467          |
| OH N 2    | 16.3         | 0.159          |
| OH N 3    | 11.2         | 0.146          |

#### 5.3.2.1.2. 試験結果, 破壊の進行

##### Sr1\_OH\_N\_1

- ・ M12 の引きボルトを用いた引張載荷を行った。
- ・ 変形角  $1/10\text{rad.}$  を超えても破壊に至らず、木摺接合部は回転し続け、耐力が増加した。最大耐力は、 $4.28\text{kN}$  を記録した。
- ・  $1/10\text{rad.}$  付近から、木摺を固定している前方の柱の傾斜が確認された。それに伴って、軸力の増加の影響と推測されるが、載荷板が傾斜し、荷重は増加を続けた。

##### Sr1\_OH\_N\_2

- ・ 引きボルトは使用せず、圧縮載荷を行った。試験終了は、圧縮可能な長さ（約  $45\text{mm}$ ）で決定した。
- ・ 最大荷重は  $0.6\text{kN}$  ( $0.16\text{rad.}$ ) を記録した。  $1/20\text{rad.}$  付近 ( $0.35\text{kN}$ ) から載荷している柱の奥が少し浮いた（後傾した）。終局状態では柱端部で載荷板から  $2\text{mm}$  の空気が計測された。軸方向の引張力により、柱が下方に引っ張られたためと推測される。
- ・ 釘は N1 と同様に回転したが、亀裂等の発生は見られない。
- ・ 柱の傾斜（変位計 1，2 の差）は殆ど見られなかった。

##### Sr1\_OH\_N\_3

- ・ 引きボルトは使用せず、圧縮載荷を行った。
- ・ 釘によるめり込みの音が発生するのは約  $0.43\text{kN}$  以降、短柱の奥が浮いてくるのは、 $0.46\text{kN}$  以降。終局状態での載荷している柱の奥の浮きは  $2\text{mm}$  であった。
- ・ 釘は N1 と同様に回転したが、亀裂等の発生は見られない。
- ・ 柱の傾斜（変位計 1，2 の差）は殆ど見られなかった。
- ・  $0.34\text{kN}$  付近までは後方が片当たりしていた。

#### 5.3.2.1.3. 考察

- ・ 試験体の観察から、釘接合部は、初期には（左側面から見て）左下と右上の釘をそれぞれ中心として回転する変形となった。その後、変形は比較的上下対象に移行し、最終的には釘接合部中心付近を中心に回転したことが、木摺位置のケガキから推測された。
- ・ 釘のめり込みは回転に伴って木摺長軸方向に発生していた。しかし、釘の引き抜き、木摺の浮き上がり、木摺の亀裂等の破壊は発生しなかった。
- ・ 試験体 1 では荷重が増加し続け、最大荷重の特定に至らなかった。試験体 2，3 も釘接合部は破壊せず、載荷条件から試験を終了した。ただし、 $0.02\text{rad.}$  付近から剛性は低下し、 $1/15\text{rad.}$  で約  $0.4\text{kN}$  の荷重を発揮した。
- ・ 試験体 1 は、2，3 と比較して大変形での荷重増加が著しいが、これは引きボルトで短柱と載荷板を拘束しているため、変形の増加につれて軸方向力が大きくなり、載荷板・治具が

応力を負担したことによるものと推測された。そのため試験体2, 3では短柱と載荷板は拘束せず、圧縮載荷するものとした。この場合、大変形領域では試験体の載荷板奥側が浮き上がり傾斜した。

- ・初期状態で比較すると、初期剛性のばらつきがあるが、試験体1, 2は比較的近い剛性を発揮している。試験体3の初期剛性が高い理由については、載荷時の観察からは不明であったが、本試験では釘の打ち込みによる木摺・柱間の摩擦に関しては考慮していないため、試験体3では木摺の摩擦の影響があった可能性が想定される。

- ・以上より、本試験体による回転モーメント抵抗の結果としては、試験体2の値を解析モデルに適用することとする。解析では0.10kNまでを想定し、以降は荷重0と仮定する。

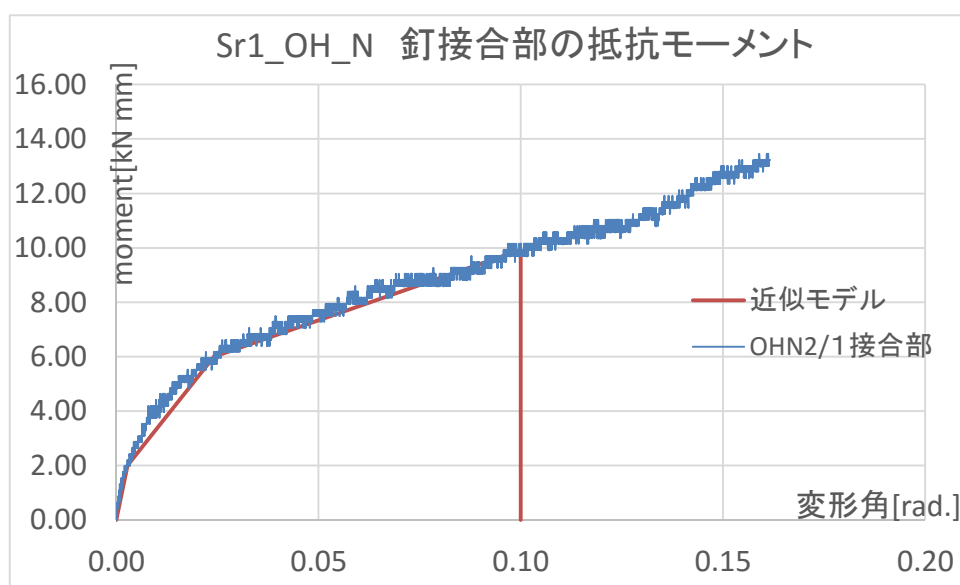



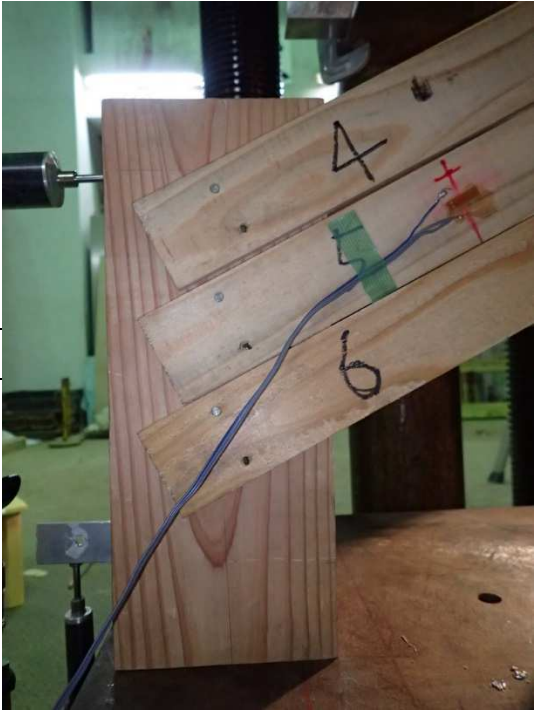


図 5-19 大壁水平木摺の釘接合部抵抗モーメントモデル

5.3.2.1.4. 破壊の進行 (OH\_N\_1)

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| 加力前  | 1/25rad.  |
|  |  |
| 1/3rad.  |   |
|  | 終局 (1/2rad.)  |



5.3.2.1.5. 破壊の進行 (OH\_N\_2)

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力前   | 1/30rad.   |
|   |   |
| 1/15rad.  | 終局 (1/6rad.)   |
|  |  |
| 試験終了後 接合部詳細 (1-3L)  | 同左 (矢印：釘めり込み方向)  |
|  |  |
| 試験終了後 接合部詳細 (4-6L)  | 同左 (矢印：釘めり込み方向)  |

5.3.2.1.6. 破壊の進行 (OH\_N\_3)

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力前   | 1/30rad.   |
|   |   |
| 1/15rad.  | 終局状態 (1/6rad.) 赤線：めり込み方向   |
|  |  |
| 試験終了後 接合部詳細 (1-3L)  | 同左 振れ止めとの間隙, 釘のめり込み  |
|  |  |
| 試験終了後 接合部詳細 (4-6L)  | 同左 振れ止めとの間隙, 釘のめり込み  |

## 5.3.2.1.7. 既往研究との比較

試験結果の1本当たり負担荷重を、類似した条件（木摺は柱に片方のみ N50 2本打ちとし、自由端を鉛直載荷した試験）で実施されたラスー釘接合部の回転モーメント抵抗時の負担荷重に関する既往研究（宮村，2006〔文 5-1〕）と比較した<sup>1</sup>。なお当該研究のラス板の仕様は、巾 78mm，釘 N50 鉄釘，釘間隔 60mmであった。本実験は巾 50mmの木摺，N32 鉄釘，釘間隔 30mmである。

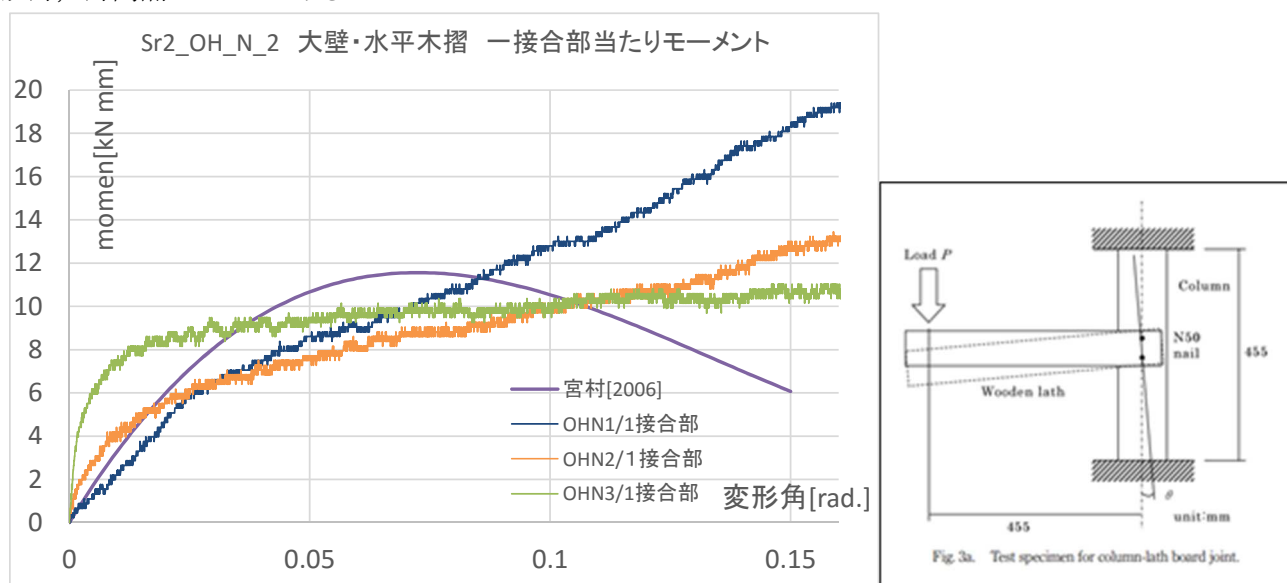


図 5-20 既往研究結果との比較 既往研究の試験模式図（文 5-1）

既往研究と比較すると、本実験の結果は、N 3を除き初期の剛性は類似しているが、降伏点はより早期に現れ、また  $1/15\text{rad.}$ を超えても荷重が低下しない傾向が見られた。ただし最大値は  $1/15\text{rad.}$ 時の抵抗モーメントで比較すると、約 10%低い評価となっている。

大変形で荷重が減少しない原因としては、本試験では釘の両端を固定しているため、軸方向力の影響が大きくなったことが考えられる。N 3の初期剛性が高い原因に関しては、木摺の留め付けによる摩擦の影響が考えられる。

<sup>1</sup> 宮村による試験では、一端を釘固定、他端を自由端として柱に N 5 0 釘 2 本で釘打ちしたラス板の端部に鉛直力を用い、回転モーメントを発生させていた。ここでは、論文に掲載されている「釘 1 本当たりの荷重変形関係」は回転角に対する作用鉛直力であると想定し、加力長さを乗じて釘 2 本による一接合部当たりのモーメント抵抗を算出した結果と比較している。

### 5.3.2.1.8. 前方柱の頂部変形と浮き上がり，変位計による差の検討

- ・ 頂部の変位，浮き上がり共に 1/10rad.程度までは十分小さいと推定される。
- ・ また，特に Sr1 の大変形時には柱が傾斜し変位計に差が生じていたため，下記のように同一荷重時の変位を確認したところ，1/10rad.までは概ね一致していることが分かった。

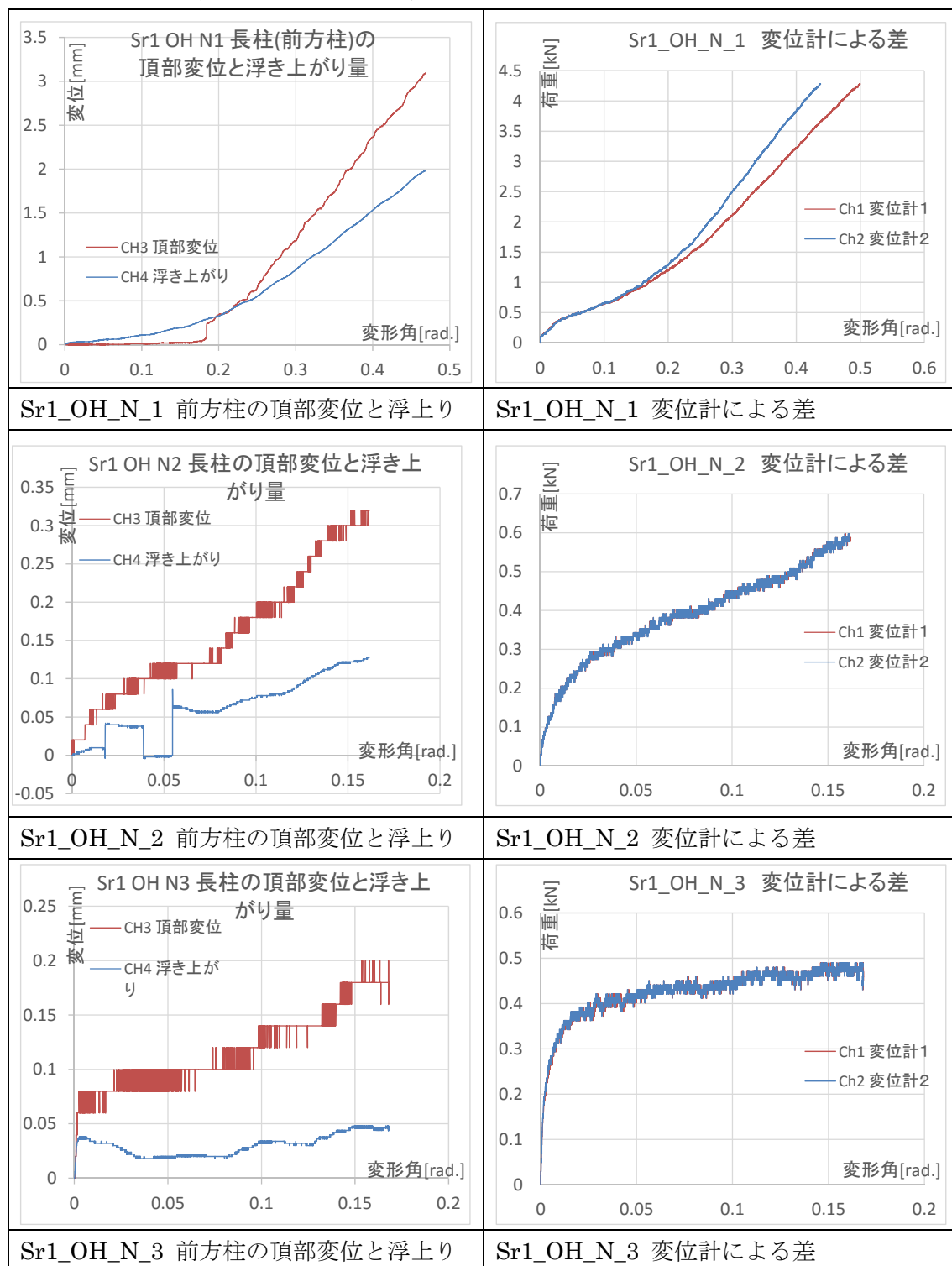


図 5-21 前方柱の傾斜，浮き上がり 変位計の前後の差の検討



5.3.2.2. Sr1\_SH\_N\_1（真壁・水平木摺・漆喰なし）

5.3.2.2.1. 荷重変形関係

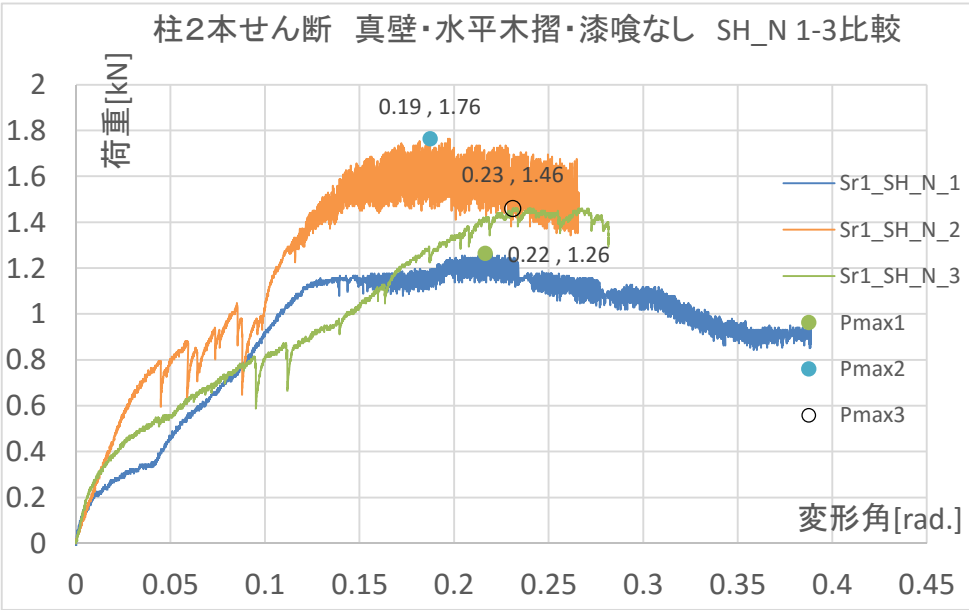


図 5-22 Sr1 真壁試験体 荷重変形関係

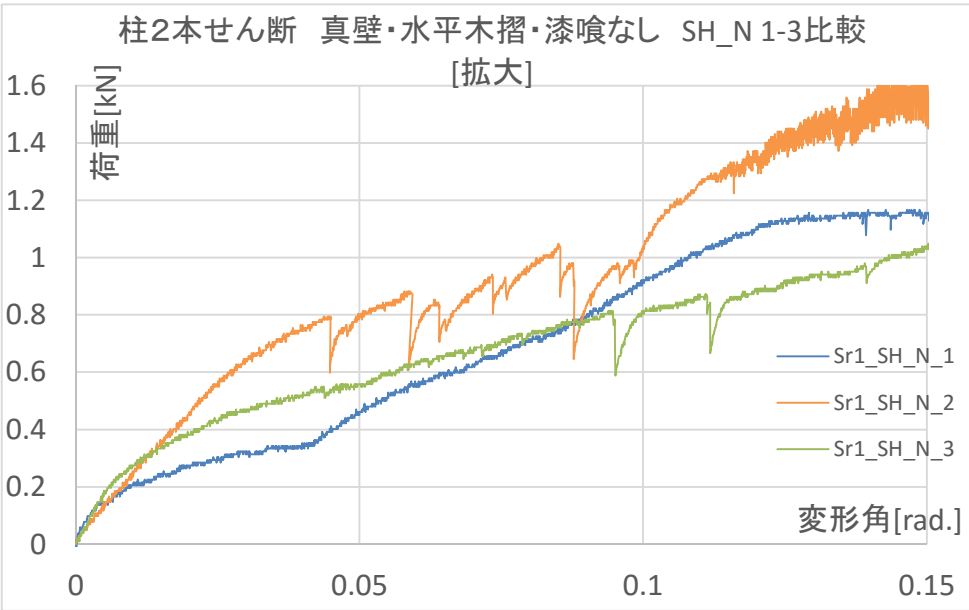


図 5-23 Sr1 真壁試験体 荷重変形関係



OH と同様に、1 接合部当たりのモーメント  $PL/12$  ( $L=270$ ) kNmm を算出した。

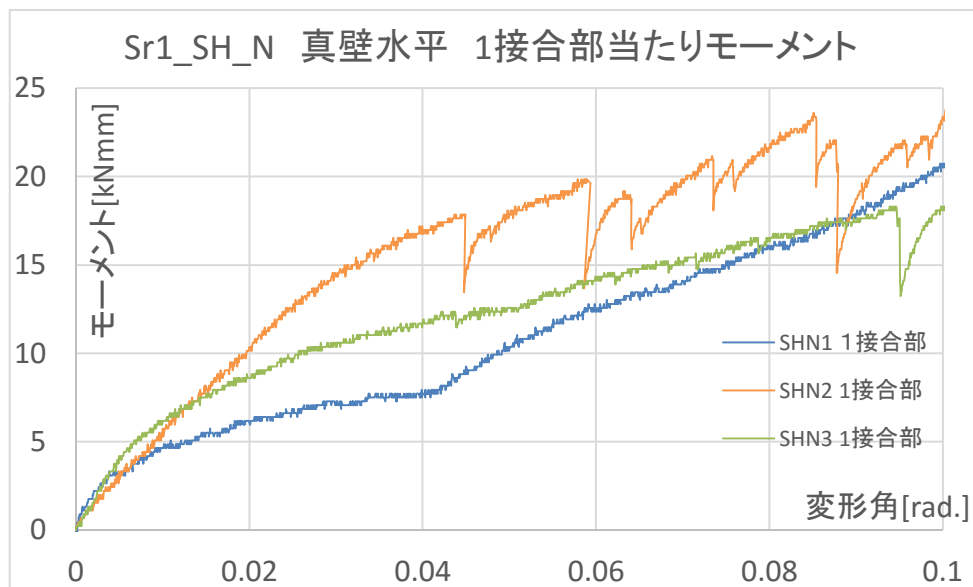


図 5-24 Sr1SHN 真壁水平 1 接合部当たりモーメント [0.1rad.までを示す]

#### 5.3.2.2.2. 試験結果, 破壊の進行

##### Sr1\_SH\_N\_1

- ・ M12 の引きボルトを用いた引張载荷を行った。
- ・ 最大値は 1.26kN, 28.4kNmm (0.22rad. ) であった。
- ・ 変形角 0.13rad.付近で荷重は頭打ちとなり、木摺釘および受け材釘の引き抜けによりと思われる荷重低下が断続的に発生した。また、0.04rad.付近からの剛性増加は、試験体の観察からは木摺材の柱へのめり込みによるものと推測される。めり込んだ部分の長さは約 6mm であった。
- ・ 0.1rad.付近からは、木摺の端の亀裂が見られた。亀裂は内側外側に広がったが、端空きが 10 mm と短いこと、めり込み抵抗によって内側の方向へ抵抗を受ける点が亀裂の発生及び伸展に影響していると推測される。

##### Sr1\_SH\_N\_2

- ・ 引きボルトは使用せず、圧縮载荷を行った。
- ・ 木摺と柱の空きは、0～1mm であり、加力初期からめり込みが発生していたと推定される。そのため、初期から木摺受け材へ引張力が作用し、0.045rad.付近からは、受け材の引き抜けに伴う断続的な荷重低下が発生した。その後 0.1rad.以降は荷重が安定して増加したが、0.12rad.付近からは、木摺の釘の亀裂破壊、断続的な木摺受けの釘の引き抜けが発生し、0.15rad.以降荷重増加は緩やかになった。
- ・ 終局状態では、木摺 1, 2 で木摺釘から端への亀裂が見られた。また、受け材の引き抜け

量（受け材の頂部）は、前方の柱では正面左から順に 6,5,3,2mm, 奥の柱では正面左から順に 4,4,0.5,0.5mm であった.

- ・木摺の釘が降伏する以前からめり込みが発生したため、初期の剛性が N\_3 と比較して高かったと推定される.

### **Sr1\_SH\_N\_3**

- ・引きボルトは使用せず、圧縮载荷を行った.
- ・木摺と柱の空きを 2mm となるように施工し、加力初期のめり込みの影響を除去した.
- ・1/20rad.付近で木摺 3 番, 1/15rad.付近で 5 番, と順に木摺と柱が接触し、剛性の上昇が確認された. すべての木摺が接触したのは 1/10rad.付近であったが、この時点で最初の受け材の引き抜けによる荷重低下も発生した. その後は、受け材の引き抜けを伴いつつ荷重が増加したが、1.26kN 付近で木摺 4, 5 の釘の端への亀裂が発生した. 以降、木摺の亀裂と受け材の引き抜けが進行し、0.23rad.で最大耐力を記録した.
- ・終局状態では、木摺の亀裂が（特に木摺 4・6 で）記録された. 受け材の引き抜け量（受け材の頂部）は、N\_2 より少なく、3～2 mm であった.

### 5.3.2.2.3. 考察

本試験結果はかなりばらつきが大きかったが、その要因としては真壁仕様試験体の場合、変形の進展に従って、木摺が柱側面に接触し柱にめり込むことで、部分圧縮による剛性の発現が起ること、またそれがある荷重を超えた段階で木摺を釘打ちしている受け材の釘が柱から引き抜けるためであると考えられる。

本試験体の仕様では、めり込みによる剛性上昇を検討するため、試験体2、3では木摺の端部と柱側面の空きを調整している（図5-21）。試験体2では平均0.4mm、試験体3では平均2mmとした（平均値のため、試験体2では空きほぼ0mmの箇所も見られたため初期から接触の影響がある）。実験の結果、試験体1では、1/30rad.付近から、試験体3では、1/20rad.付近から剛性の上昇が確認された。試験体2では、極めて初期からめり込みによる変形が発生しており、釘接合部が降伏する以前からめり込みによる抵抗モーメントが発生していたと推定される。

めり込みに至る柱との接触が生じたのち、本試験体では試験体2、3で共通して、計測荷重約0.8kN付近で受け木の釘の引き抜けに伴う荷重低下が発生し始めた。実挙動に関しては、受け材の釘の引き抜き量を算定し、空きの量を仮定できれば、めり込みの開始する変形角、めり込みによる荷重増加によって、最初の釘の引き抜けが起こる時点を考察可能だと思われるが、本実験では木摺の伸びに相当する軸方向の変形も発生しているため、それが受け材の引き抜きに及ぼしている影響も加わっている。

そのため、大壁と比較を行い、想定される変形角まではめり込みは生じないとみなしてよいかを検討した。

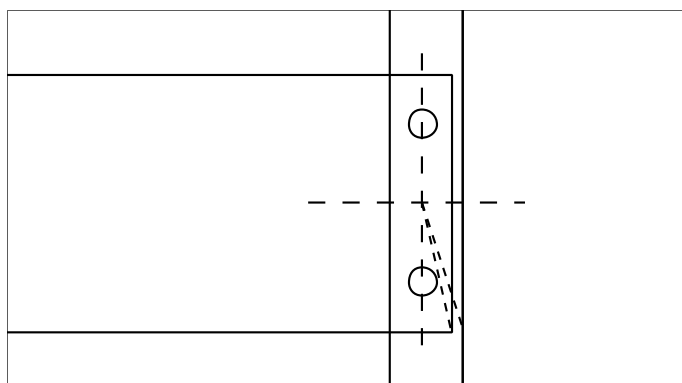


図 5-25 端部接触によるめり込みの開始変形角の模式図

表 5-4 木摺端部と柱の接触する変形角の検討

| 木摺端空き<br>mm | 釘－柱距離<br>mm | 変形角 $\theta$<br>rad. | 1/変形角<br>1/rad. |
|-------------|-------------|----------------------|-----------------|
| 0           | 5           | 0.000                | －               |
| 0.5         | 5.25        | 0.020                | 50              |
| 1           | 5.5         | 0.040                | 25              |
| 1.5         | 5.75        | 0.060                | 17              |
| 2           | 6           | 0.081                | 12              |

### 真壁と大壁の比較

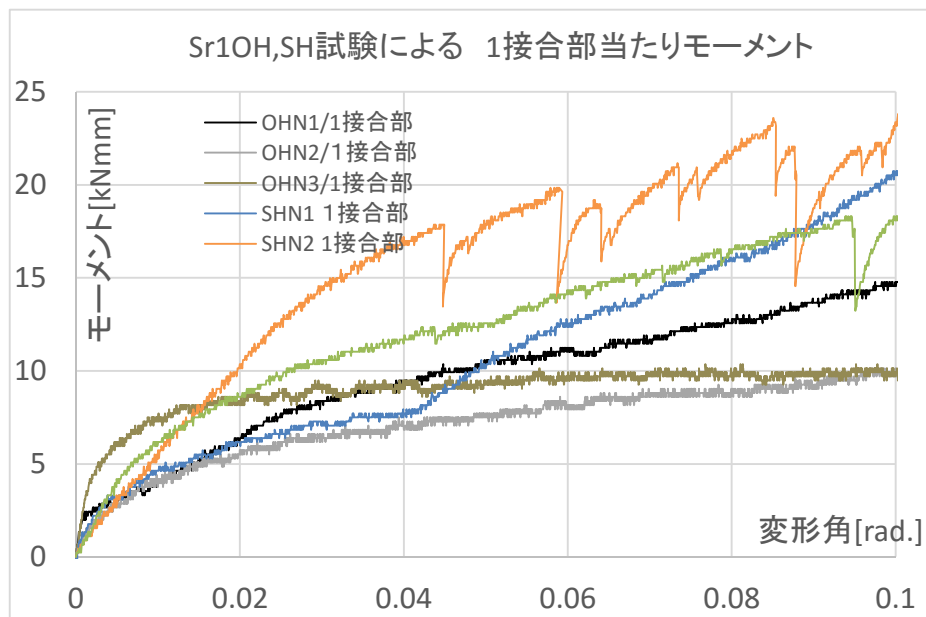


図 5-26 Sr2\_OH\_N\_2 と SH\_N 試験体の比較

1/10rad.までの試験結果を示す.

- ・真壁試験体と大壁試験体を比較する. 図に示すように, SHN1 と OHN2 は, 1/25rad.付近までは比較的類似した傾向を示す. その後, 真壁はめり込みによると推定される剛性の上昇がみられた.

- ・真壁試験体では, 木摺端と柱の空きによって開始位置が変化することが SH 実験からわかっているが, 変形が進むと端と柱が接触し, めり込み抵抗による回転剛性の上昇, その後ある荷重に達した段階で, 受け木の引き抜けによる荷重低下が並行して発生すると推定される.

- ・また, 本試験体では大変形領域において, 軸方向力の影響によると推定される荷重の増加が見られるため, めり込み抵抗によるモーメントを同定するのは困難であった.

- ・そのため, 解析モデルとしては, 木摺端の空きがとられている場合, 木摺の端部が接触するまでを検討するものとして, 大壁試験体の結果を適用するものとする. なお, 実大試験における初期の木摺端の空きは測定できていないが, 写真からは 1–2mm 程度の空きがあったものと推定される.

5.3.2.2.4. 破壊の進行 (SH\_N\_1)





|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力前   | 接合部ディテール   |
|   |   |
| 1/30rad. めり込みの発生付近  | 1/10rad. Pmax 付近   |
|  |  |
| 終局 木摺端亀裂, 受け木の引き抜け  | 同左 端部でのめり込みが確認される  |



5.3.2.2.5. 破壊の進行 (SH\_N\_2)

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力前 左端は既に柱に接触している   | 1/30rad. 拡大  |
|   |   |
| 1/15rad. むり込みの進行, 引き抜け  | 終局状態 (1/4rad.) 赤線：むり込み方向   |
|  |  |
| 1/30 rad. むり込み状態  | 1/20rad. 受け木の引き抜け (剛性の低下)  |
|  |  |
| 1/15rad. 釘接合部の亀裂  | 1/10rad. むり込み・引き抜け   |

5.3.2.2.6. 破壊の進行 (SH\_N\_3)

|  |   |
|--|---|
|   |   |
| 加力前 柱と木摺端の空き 2mm 程度  | 加力前   |
|  |  |
| 1/20rad. 3 番左木摺の接触   | 終局状態 赤線：亀裂  |

### 5.3.2.3. 前方柱の頂部変形と浮き上がり，変位計による差の検討

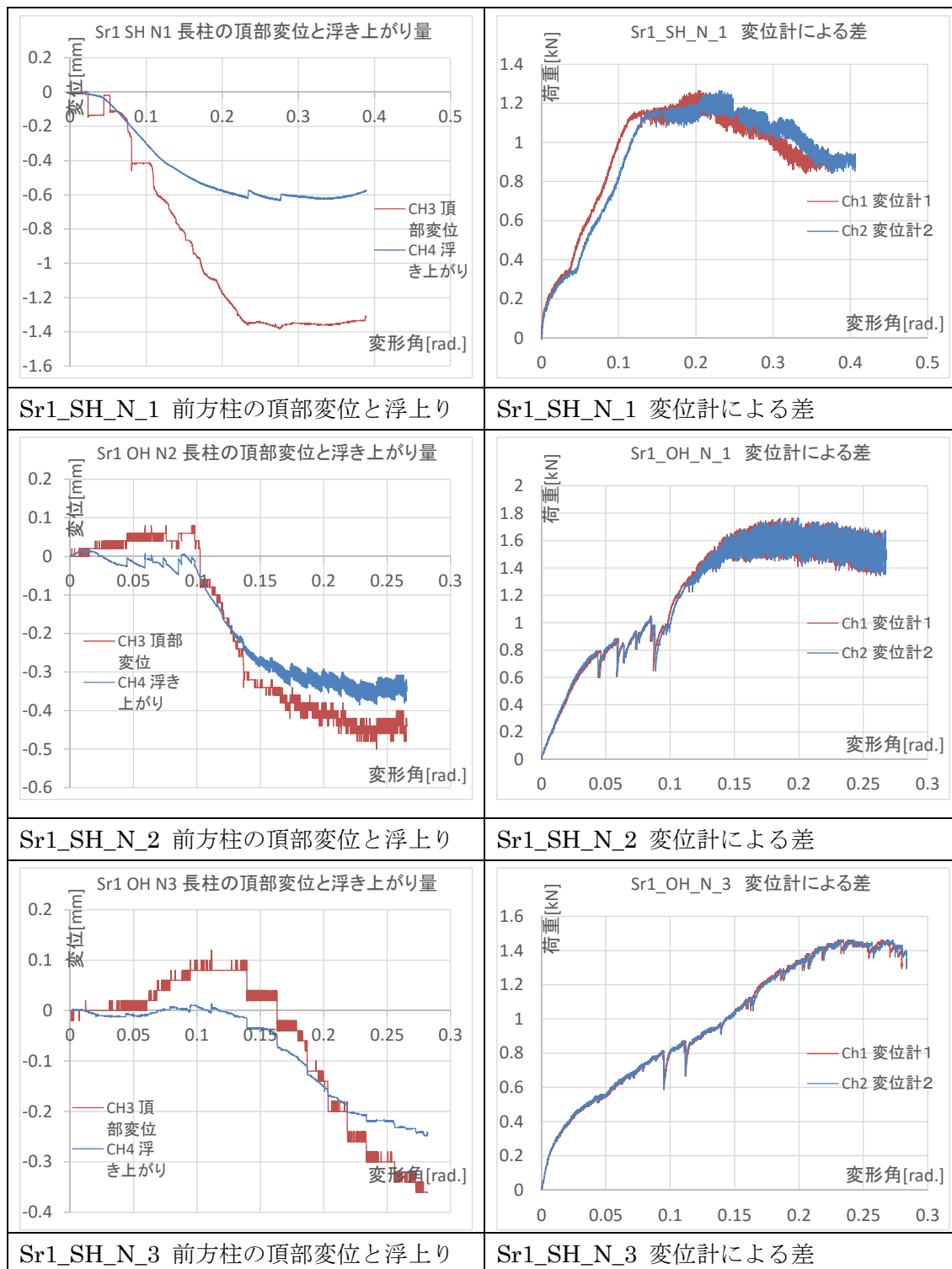


図 5-5-27 前方柱の頂部変位と浮き上がり，前後変位計の差異

#### 5.3.2.4. Sr1\_ODC\_N\_1-2 : 大壁, 斜め木摺, 木摺圧縮方向の釘のみの試験体

##### 5.3.2.4.1. 実験結果

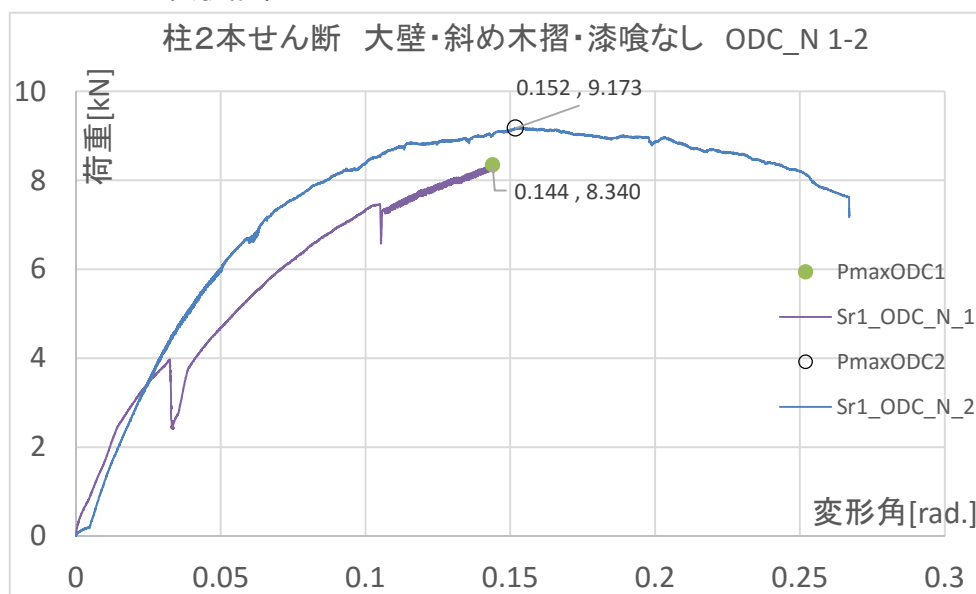


図 5-28 Sr1 斜め木摺試験体（木摺圧縮方向） 荷重変形関係

##### 5.3.2.4.2. 試験結果と破壊の進行

###### Sr1\_ODC\_1







- ・ 載荷板と試験体上部をボルトで接合し, 圧縮載荷を行った.
- ・ 1/50rad.前後から, 両柱の前傾が確認された. 終局状態に至っても釘は抜けず, 荷重は上昇し, 一部で端の割裂が確認された. 0.03rad.での荷重低下は, 振れ止め治具と短い柱が接触しそうになったため, いったん触れ止めを外し, 再度取り付けたためである. そのためもあり, これ以降傾斜はより顕著であった (終局時で載荷板約 1/20rad.傾斜).

###### Sr1\_ODC\_2

- ・ 載荷板とはボルトで接合せず, 試験体底面のみを台に固定し圧縮載荷を行った.
- ・ 荷重 0.47kN 付近までは試験体上面に片当たりしていた.
- ・ 奥側の振れ止めには 1.5kN 付近から接触していた.
- ・ 0.15rad., 9kN 付近で, 木摺 5 の釘が引き抜け, 最大耐力に達した. その後は木摺 4, 6 も引き抜けが進行した.









5.3.2.4.1. 破壊の進行 (ODC\_N\_2)

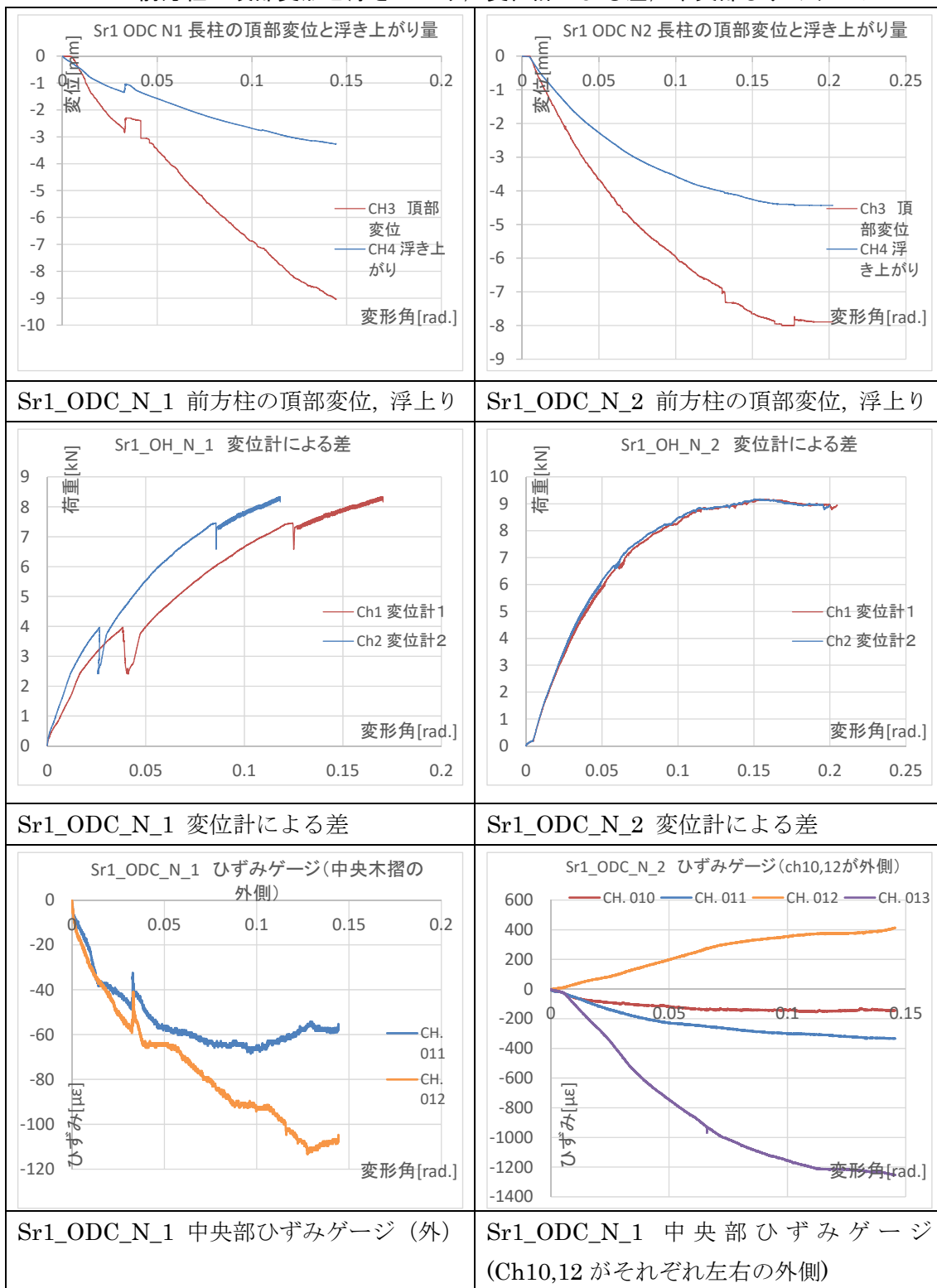
|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力開始前   | 1/30rad.   |
|   |   |
| 1/15rad.  | 終局   |
|  |  |
| 終局 右側面の木摺の引き抜け  | 終局 接合部破壊 釘の変形方向  |



同上

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力前   | 1/50rad. 短柱傾斜  |
|   |   |
| 1/25rad.  | 1/25rad.   |
|  |  |
| 終局  | 終局   |

5.3.2.4.2. 前方柱の頂部変形と浮き上がり，変位計による差，中央部ひずみゲージ



### 5.3.2.5. Sr1 実験による釘接合部の荷重変形関係モデル

水平木摺の接合部回転剛性を把握するための実験を実施し，以下の結果を得た．

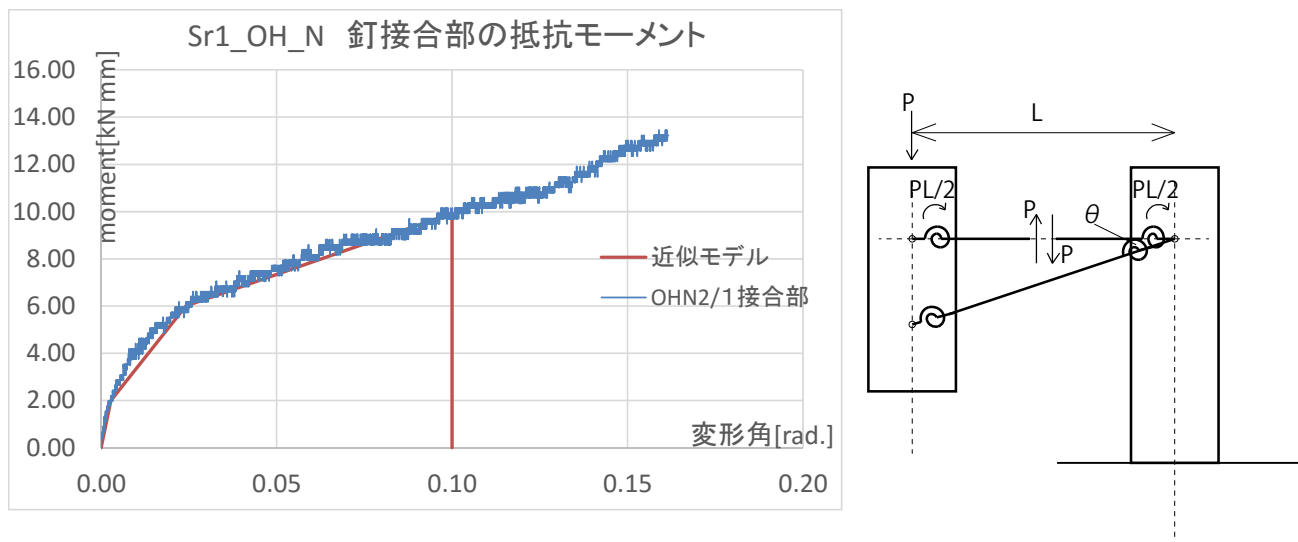


図 5-29 水平木摺の Sr1 試験による回転ばね要素（接合部 1 箇所）

#### ・ODC 試験体 斜め木摺

釘接合部に働く回転剛性，および釘のせん断を加味した等価な釘の一面せん断ばねとして，実験結果（試験上問題の発生しなかった試験体 2）から荷重変位関係を算出し，以下の結果を得た．

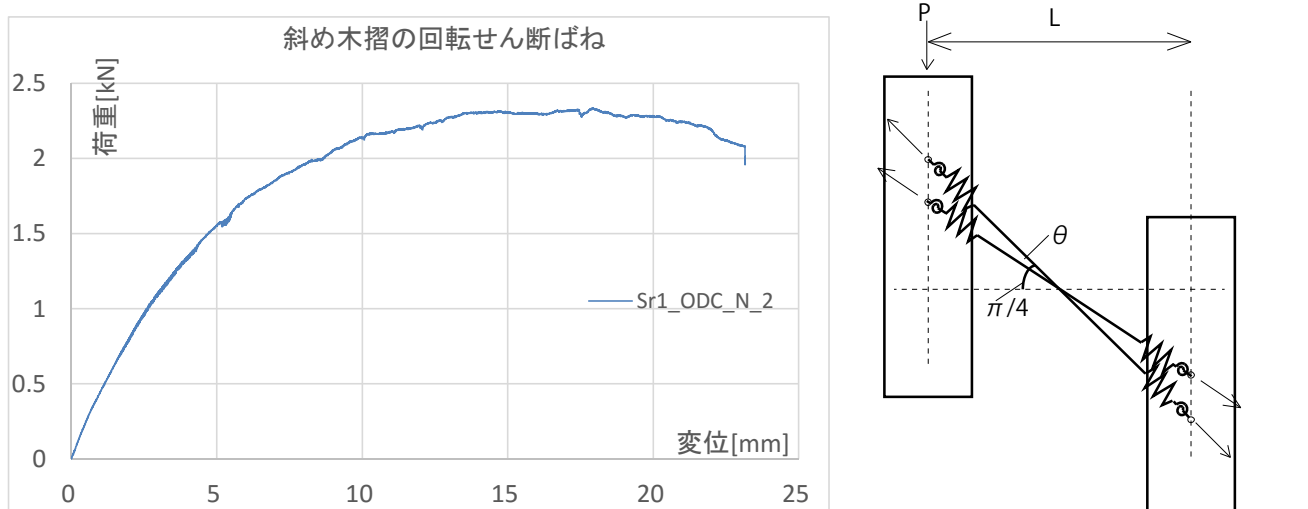


図 5-30 斜め木摺の Sr1 試験によるせん断ばね剛性（接合部 1 箇所あたり）

#### 5.4. Sr2 : 580 角小試験体によるせん断実験

##### 5.4.1. 計測計画

- ・荷重, 前後の変位の計測を基本とし, 一部の木摺には比較のため, ひずみゲージを貼付した. 試験体写真を以下に示す. 以下の4種, および枠のみのせん断試験を実施した.
- ・加力は 200tf 万能試験機による単調圧縮载荷である.
- ・加力速度は, 1mm 毎分 (各試験体 1), 0.5mm 毎分 (各試験体 2, 3) とした.
- ・木枠の接合部は 3mm 空きを設けてあり, 設計上は  $3/25$ (木枠幅の  $1/2$ )= $1/8.3$ rad.までは端部のめり込み変形は発生しないピン接合としている.

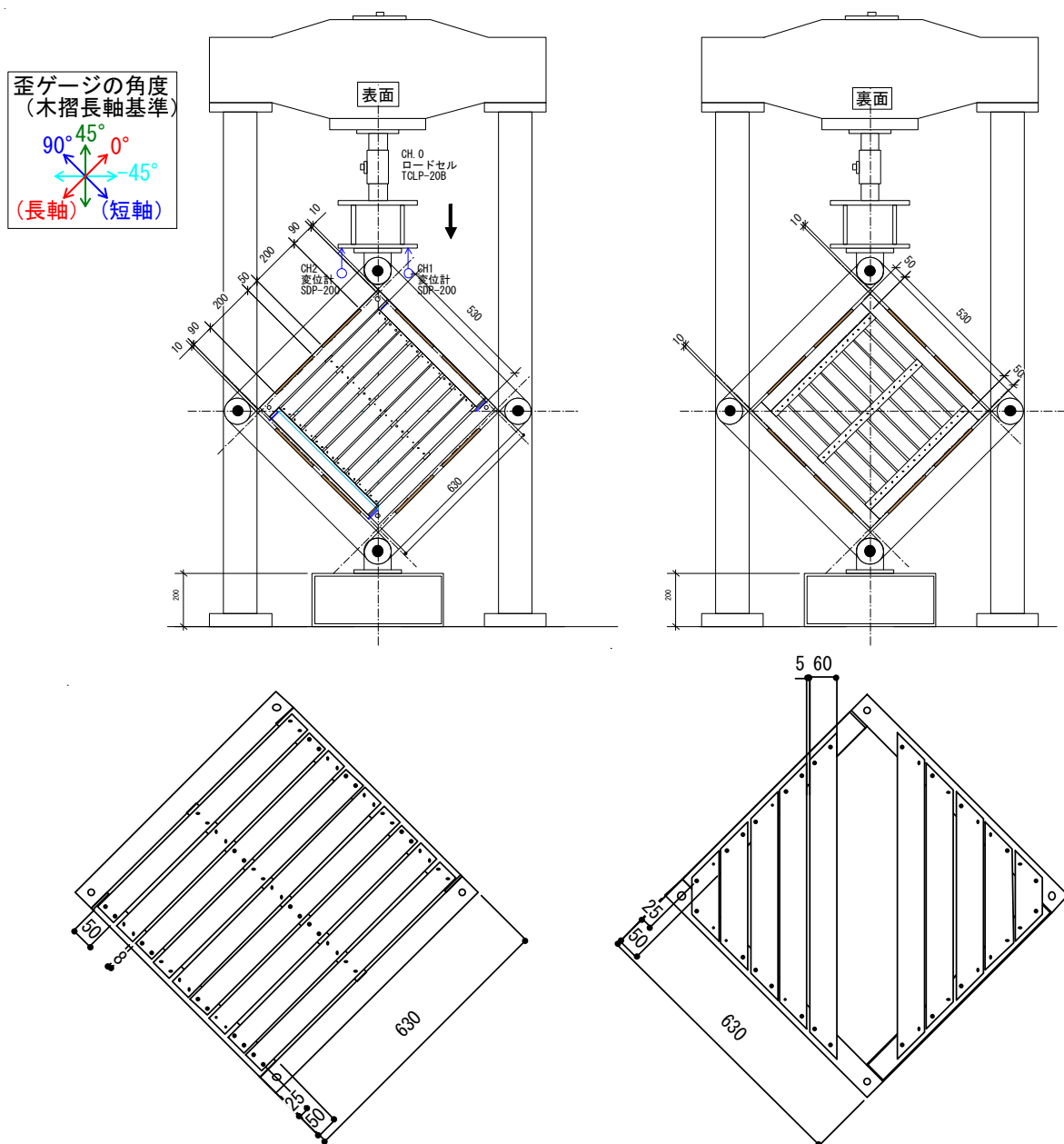


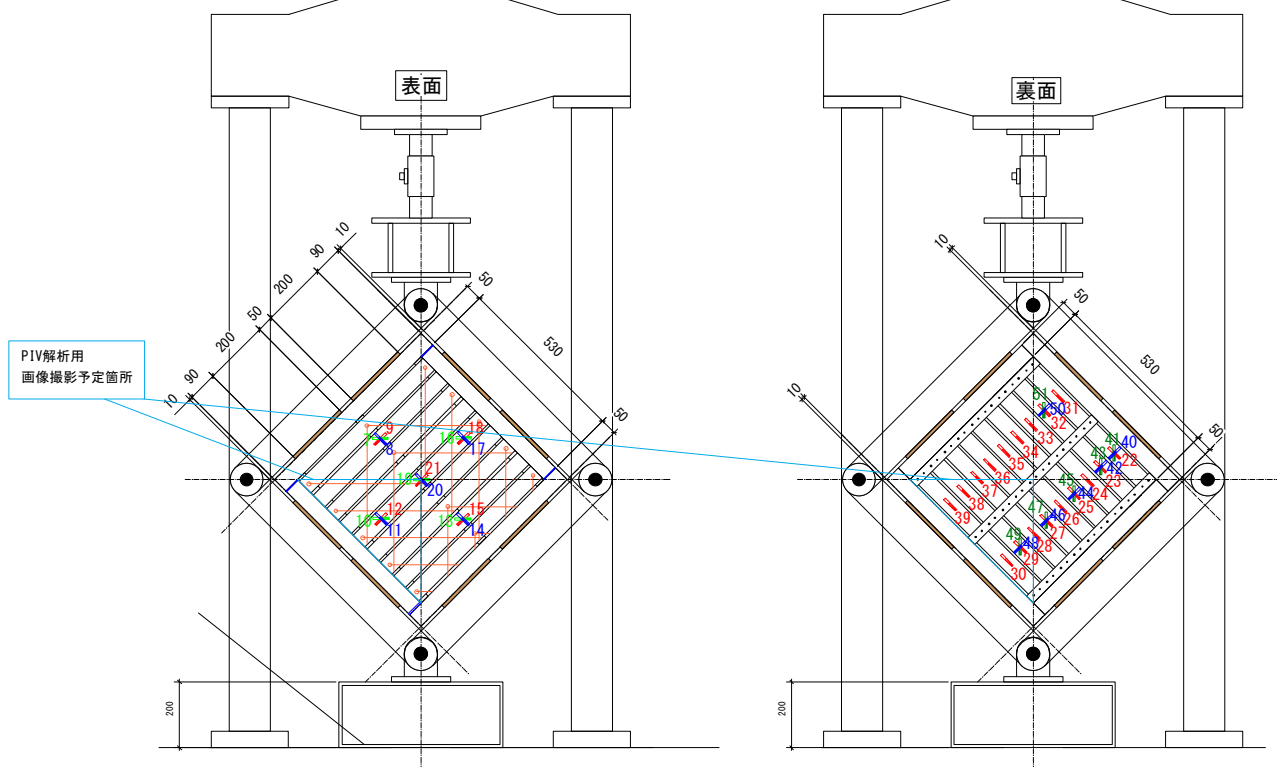
図 5-31 Sr2 計測計画 試験体 (真壁, 大壁, 斜め木摺)

## ■実験計画

- ・200tf万能試験機による、単調圧縮荷重試験。
- ・加力速度は、1mm/minとする（既往研究を参照）。
- ・接合部変形の発生し始める、変形角1/8.3rad.は対角変位で約50mm.ここを加力目標点とする。（既往研究との比較には、1/10 rad.程度までのデータで十分であると想定）

## ■木摺漆喰 小試験体 測定計画

- ・ひずみゲージ（1体あたり）
  - ・裏面：LFLA-10-11（木材用ゲージ）各木摺長軸方向、一部3軸に貼付
  - ・表面：PFLW-30-11 漆喰上5点各3軸に貼付
- ・変位計
  - ・上下対角変位[CH1]
  - ・各辺の移動[CH2-5]
- ・画像計測（PIV解析用）
  - 写真撮影により、ピクセルの移動による変位測定を行う



151019松本 10/20-22 小試験体せん断試験 試験要領

## ■実験計画

- ・200tf万能試験機による、単調圧縮荷重試験。
- ・加力速度は、1mm/minとする（既往研究を参照）。
- ・接合部変形の発生し始める、変形角1/8.3rad.は対角変位で約50mm.ここを加力目標点とする。（既往研究との比較には、1/10 rad.程度までのデータで十分であると想定）

## ■木摺漆喰 小試験体 測定計画

- ・ひずみゲージ（1体あたり）
  - ・裏面：LFLA-10-11（木材用ゲージ）各木摺長軸方向、一部3軸に貼付
  - ・表面：PFLW-30-11 漆喰上5点各3軸に貼付
- ・変位計
  - ・上下対角変位[CH1]
  - ・各辺の移動[CH2-5]
- ・画像計測（PIV解析用）
  - 写真撮影により、ピクセルの移動による変位測定を行う

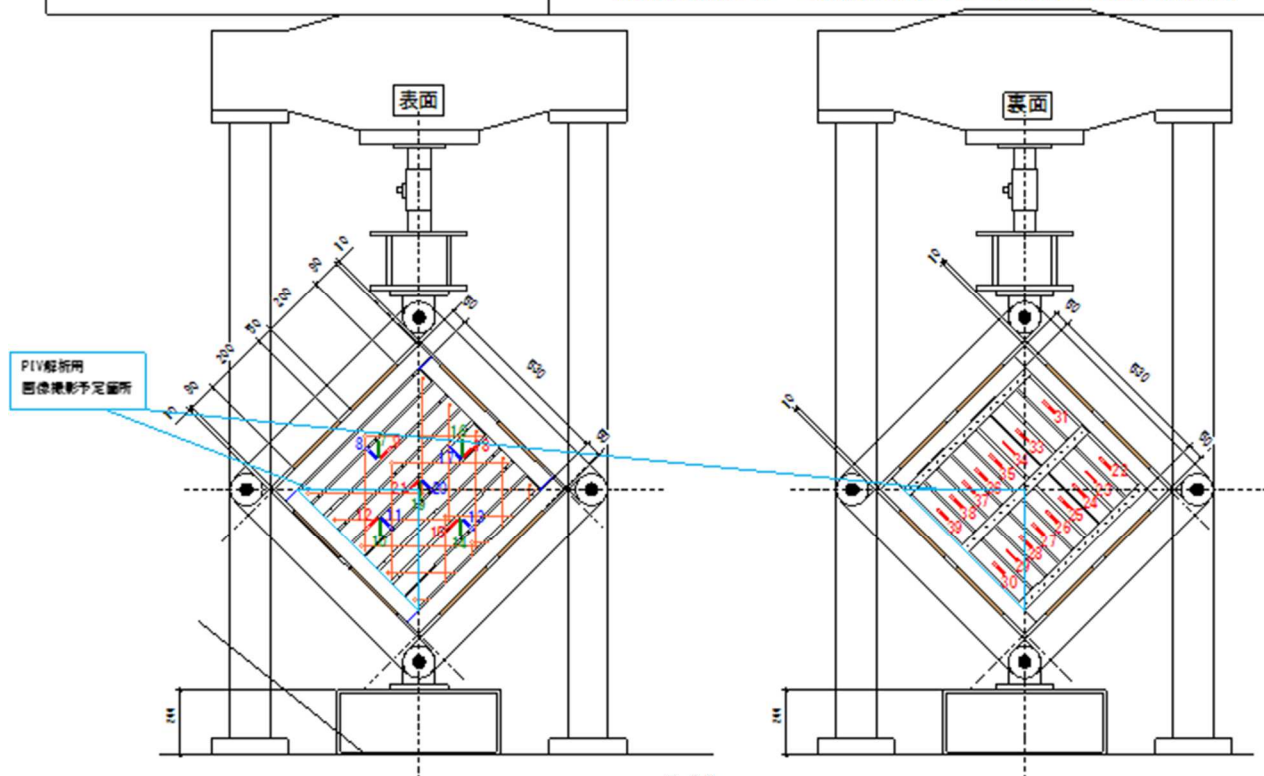


図 5-32 Sr2 計測計画 真壁水平木摺漆喰塗 1（上図），2（下図）



## 第5章 木摺漆喰壁の水平抵抗要素に関する要素実験

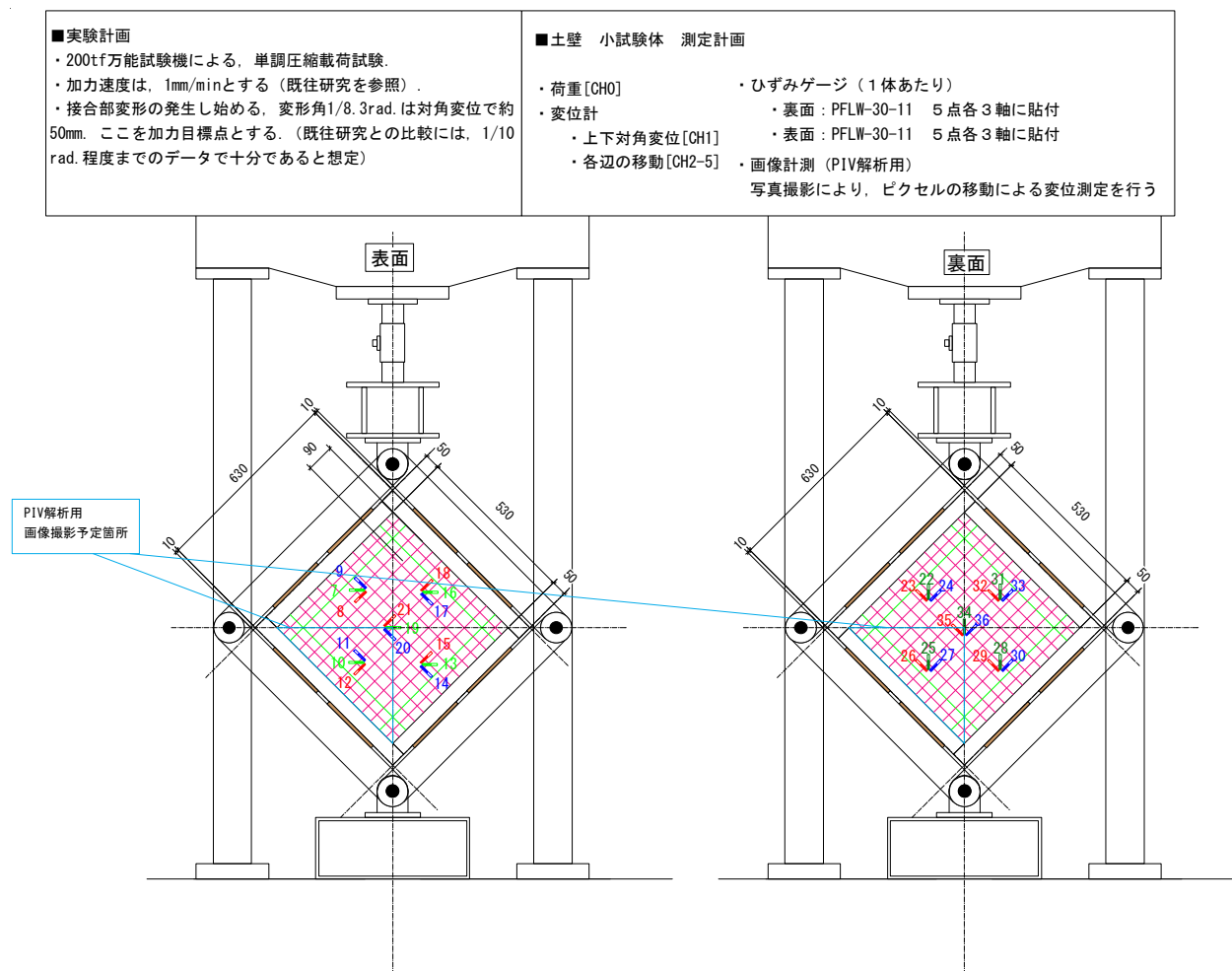


図 5-33 Sr2 計測計画 真壁土壁

真壁，大壁，斜め木摺，のそれぞれの木摺のみの試験体に加えて，真壁水平木摺の漆喰塗りありの試験体 Sr2\_SH\_NP1,2，土壁試験体 Sr2\_M のせん断試験を実施した．それぞれの塗り仕様は，第4章の漆喰塗り，土壁塗りと同様である．

#### 5.4.2. 小試験体のせん断変形角 $\gamma$ の導出

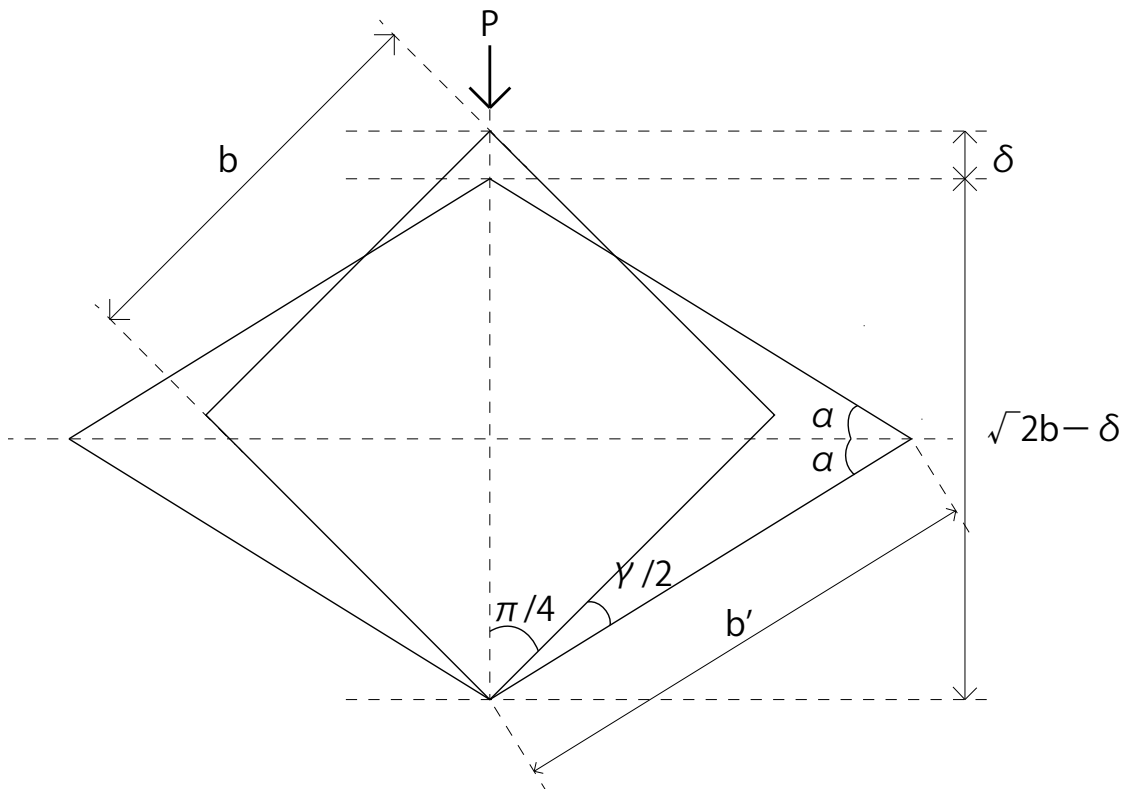


図 5-34 小試験体せん断実験におけるせん断変形角  $\gamma$

$b = b'$  とすると,

$$\gamma = 2 \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} - \text{Arcsin} \left( \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\delta}{2b}}{1} \right) \right\}$$

$\gamma$ : せん断ひずみ角 (rad.)

$\delta$ : 対角変位 (mm)

$b, b'$ : 試験体の辺長 (mm)

$$Q = \frac{P}{2 \cdot \cos \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} \right)}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

$P$ : 計測荷重 (kN)

$Q$ : せん断力 (kN)

$\tau$ : せん断応力度 (kN/mm<sup>2</sup>)

$A$ : せん断面積 (mm<sup>2</sup>)

と表せる。以下, 上記のせん断ひずみ角を变形角とした。

5.4.3. 実験結果

5.4.3.1. 枠のみの試験体 : Sr2\_WK1, 2

- ・ Sr2 Wk 1 : 枠（間柱付）のみのせん断試験を実施した.
- ・ Sr2 Wk 2 : Wk1 を実施後、鋼製治具へのビスによる固定をゆるめた状態のせん断試験.

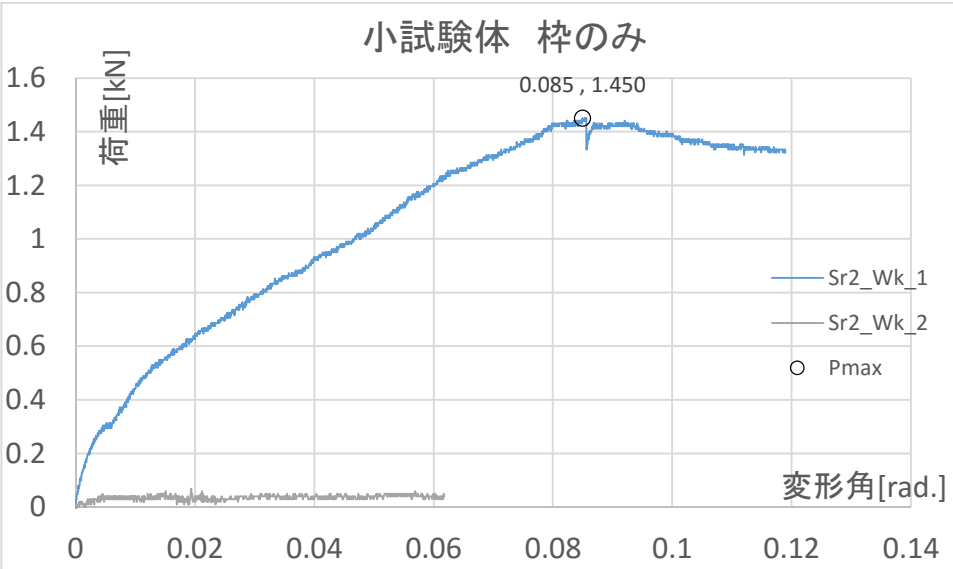

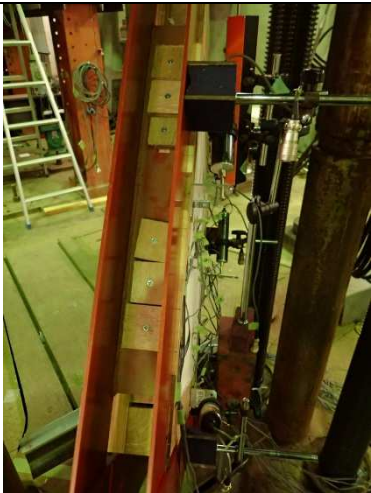


図 5-35 Sr2 Wk1 荷重変形関係

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 枠のみ試験体 (Sr2_OH_N_2 を再用)   | 鋼製治具と枠材の固定箇所 (合板 12mm ビス留め)  |

- ・ 枠、間柱のみの試験体のせん断試験の結果、最大で 1.45kN の荷重を記録した.
- ・ 試験体の各接合部は、木栓、空きのある柄で構成されており、ピン接合に近い. そのため、記録された荷重は、鋼製治具との固定部分の摩擦の影響によるものと推定される.
- ・ 固定は 30 角合板のビス留めであり、各試験で固定度にばらつきがあると想定されるが、本実験の結果を Sr2 の各試験結果から差し引いて評価する必要がある.

### 5.4.3.2. 大壁水平木摺，釘打ちのみ：Sr2\_OH\_N\_1,2,3

#### 5.4.3.2.1. 試験結果

・大壁水平木摺の小試験体3体の結果を，枠のみの試験体 Wk1 の結果と共に以下に示す．

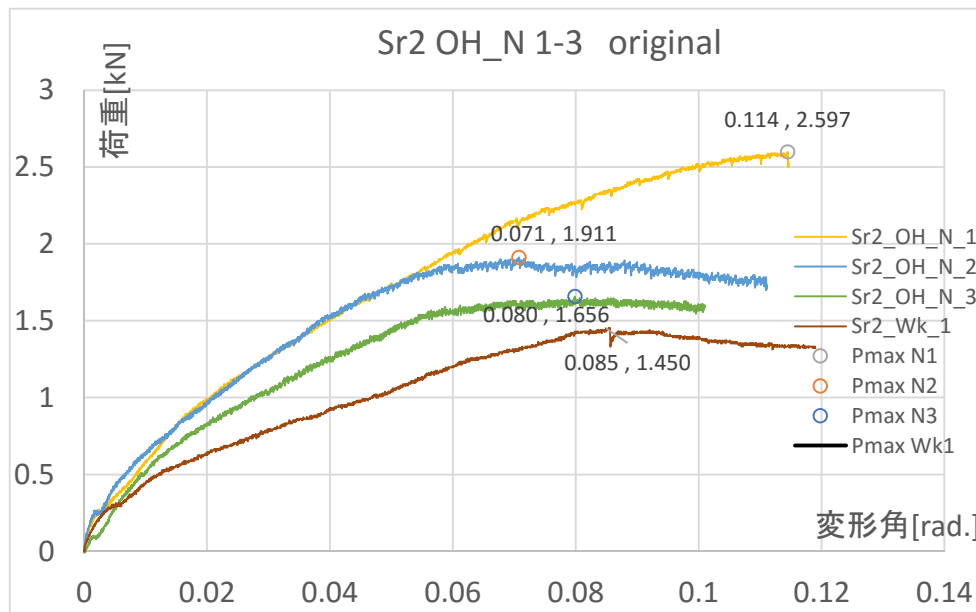


図 5-36 Sr2 OH\_N 荷重変形関係

試験結果，破壊の進行

- ・最大耐力は，順に 2.6kN(0.11rad.)，1.9kN(0.07rad.)，1.7kN(0.08rad.)を記録した．
- ・約 1/20rad.付近までは，N\_1,N\_2 の2体の結果は比較的一致したが，その後降伏した試験体と，荷重上昇を続けたものに分かれた．降伏した試験体は，荷重低下時には釘の引き抜けに伴うと思われる音が発生していたが，明確に引き抜けの痕跡は見られなかった．また，端部亀裂等の破壊も発生しなかった．
- ・一方，N\_3 は，上記2体と比較して，剛性の変化の傾向は類似しているが，最大耐力で約 0.25kN，1kN 低い値となった．また，N2 と同様に降伏する結果となった．また，初期においては，枠のみの試験体よりも荷重が低い値となっている．
- ・なお，全試験体で，初期に荷重が横ばいとなる箇所が存在した．これは，試験体を治具に設置する際の変形分（引張方向）が緩和される時点であると推測されるため，比較においてはこの分をカットする．
- ・変形性状：木摺の変形をトレースした結果，各接合部は，どれもほぼ釘列の中心を対象とする回転移動を行っている と推定された．

・初期の立ち上がり分をすべてのデータでカットし、Wk1 を差し引いた結果を実線で示した。

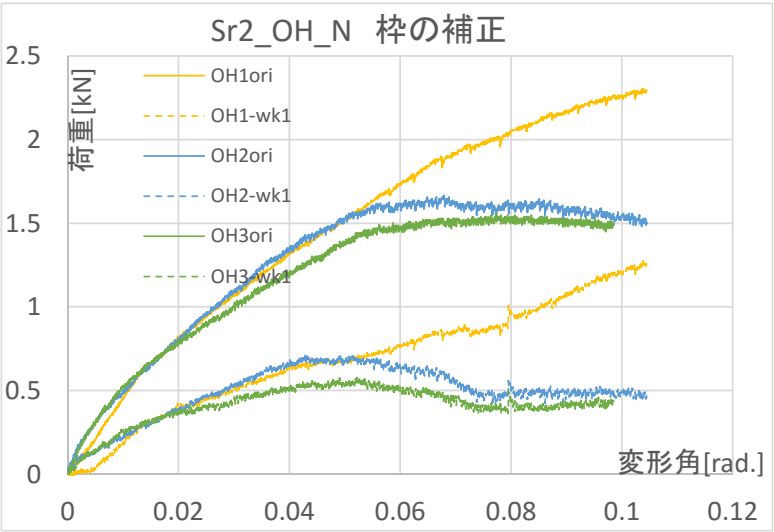


図 5-37 Sr2 大壁試験体の枠荷重の補正

試験結果から、一接合部当たりのモーメント抵抗を算出した結果を以下に示す。

モーメント抵抗は、釘接合部全 3 か所×木摺 9 本（間柱考慮）で均等に分布すると仮定し、

$$M = \frac{P}{\sqrt{2}} \cdot \frac{L}{27}$$

として算出した。下記には、間柱の抵抗を Sr1 との比較で検討するため、端部釘のみ抵抗するとした 18 か所とした場合の結果も併載した。

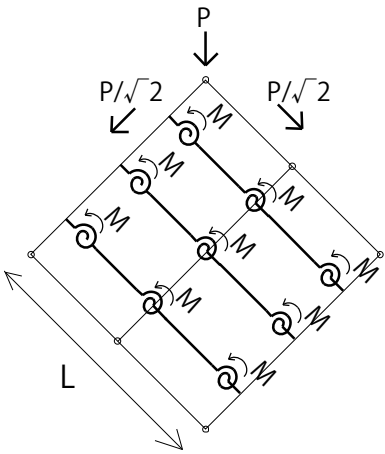
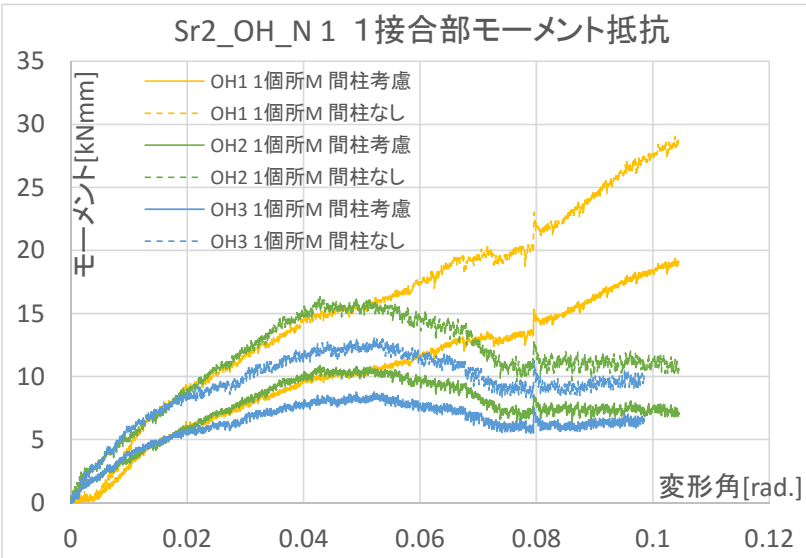


図 5-38 Sr2 大壁試験の 1 接合部当たりモーメントと抵抗機構の模式図



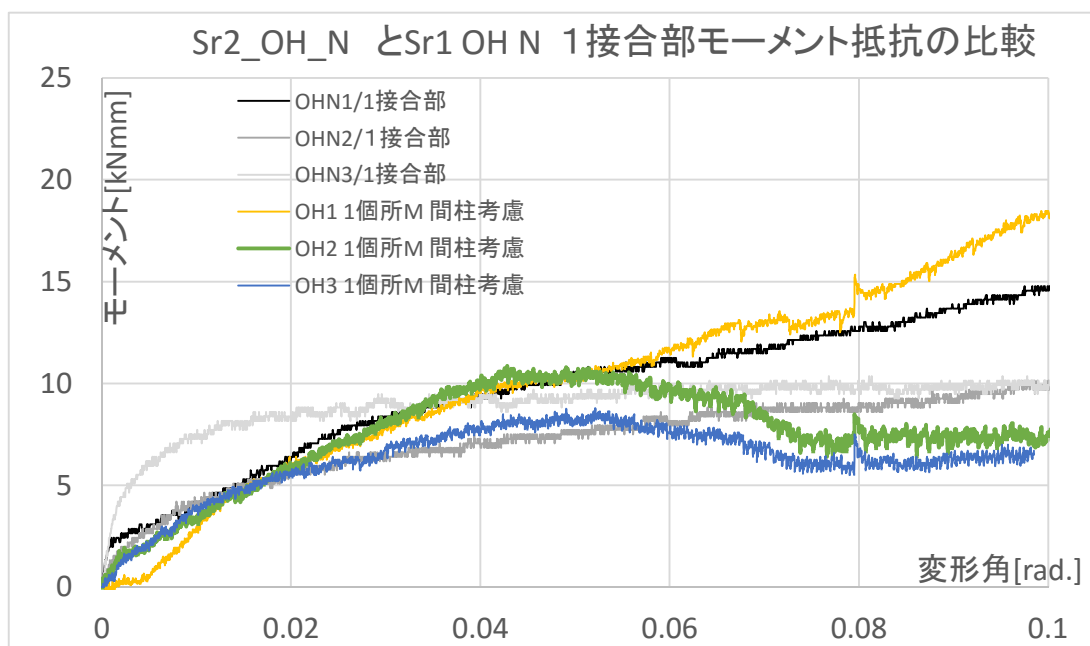


図 5-39 Sr1, Sr2 の抵抗モーメントの比較

本試験結果を前節 Sr1 試験結果と比較した。モノクロの凡例が Sr1 試験体の結果である。Sr1\_3を除いて、1/50rad.付近までは比較的よく一致している結果となった。また本試験体での一体目を除けば、0.06rad.付近から回転剛性が低下しており、木摺に引張荷重のかかる可能性のある Sr1 と比較して、釘の降伏を表現できている可能性がある。

本実験によるモーメント抵抗のモデルとしては、0.04rad.付近までは比較的2体で一致し、その後降伏した OH2 試験体を用いるものとする。

5.4.3.2.2. 破壊の進行の例 Sr2\_OH\_N\_1

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力前   | 加力前 木摺右端部  |
|   |   |
| 終局 1/9rad.  | 終局 1/9rad. 右端部の変形  |
|  |  |
| 終局 1/9rad. 左端部の変形   | 終局 1/9rad. 中央間柱の釘の変形   |

### 5.4.3.3. 真壁水平木摺, 釘打ちのみ : Sr2\_SH\_N\_1-3

#### 5.4.3.3.1. 計測計画

- ・加力速度 : 1mm, 0.5mm/min 単調圧縮载荷
- ・木摺の端部と木枠間の距離 (平均値) : N1 : 未計測, N2 : 1.2mm, N3 : 1.2mm
- ・木摺寸法 : 真壁水平実大と同様に, 巾 50, 厚 10, 空き 8 とし, 釘はN 3 2 鉄釘を 30mm の距離を開けて各 2 本打ちとした. 木摺を受ける受け材は, 巾 20, 見込み 25 とし, N50 釘 3 本@150mm で木枠に固定している. 間柱は 30×40mm で, 木枠に柄差し.

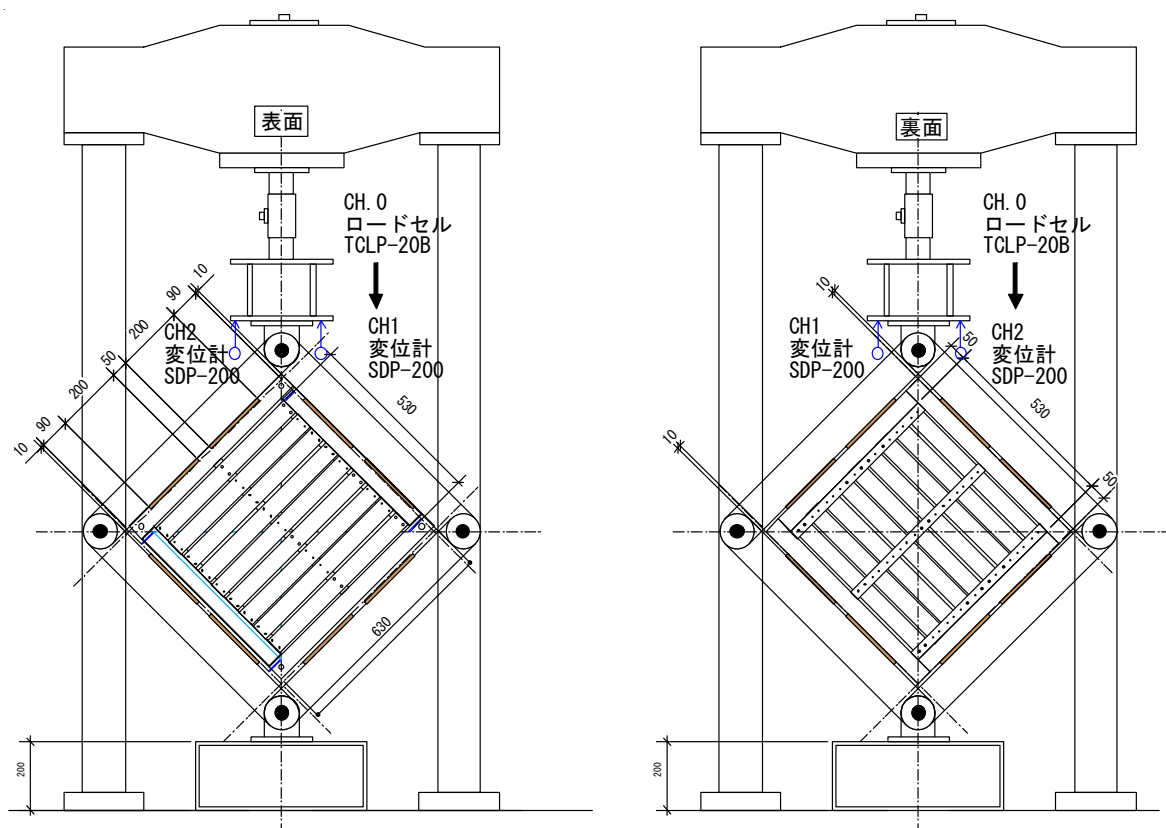


図 5-40 Sr2 SH\_N 計測計画図

#### 5.4.3.3.2. 荷重変形関係

・真壁水平木摺の小試験体3体の結果を，枠のみの試験体 Wk1 の結果と共に以下に示す．

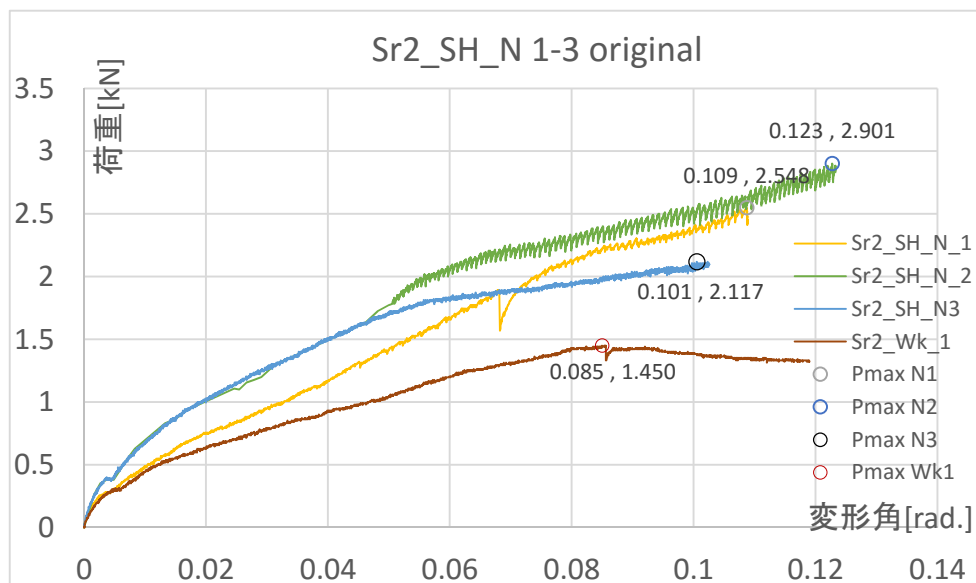


図 5-41 Sr2 SH 試験体試験結果

・試験結果，破壊の進行

・荷重の低下はなく，接合部がめり込まない変形限界（約 1/10rad.）に達したため試験を終了した．

・最大耐力は順に，2.5kN(0.11rad.)，2.9kN(0.12rad.)，2.1kN(0.1rad.)となった．試験体 2,3 は変形角約 1/20rad.までよく一致していたがその後，試験体 2 は，釘の引き抜けまたはビスの引き抜けによると思われる上下動を示しながら荷重を増加させた．ただし，試験終了後も原因となる明確な破壊点は見られなかった．

・木摺の端部と木枠の距離は概ね 1 から 1.5mm 程度であり，1/15rad.付近から木枠と木摺端部は接触した．試験終了後にめり込んだ範囲を計測したところ，N3 を例にとると約 10mm 程度の部分が接触により変形していた．



5.4.3.3.3. 破壊の進行の例 Sr2\_SH\_N\_3 ※黒矢印は加力前からの亀裂

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力前   | 加力前 接合部詳細 1mm 前後の空き  |
|   |   |
| 1/15rad. 木摺端部の接触  | 終局 1/10rad. 左端部の接触状態   |
|  |  |
| 終局 1/10rad. 間柱の変形状態   | 終局 右端部の状態  |



#### 5.4.3.3.4. 枠の荷重を考慮した結果

枠の荷重を考慮し、差し引きを行い、木摺1枚当たりの負担荷重を算出した。

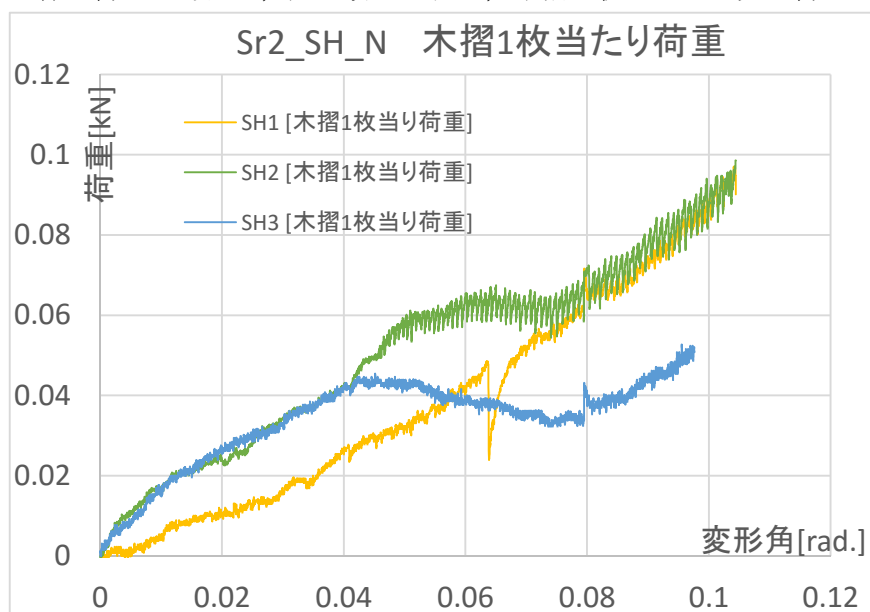


図 5-42 Sr2 真壁 木摺一枚当たりの荷重

また接合部一か所当たり（27 か所または 18 か所）の抵抗モーメントを前節と同様に算出した。

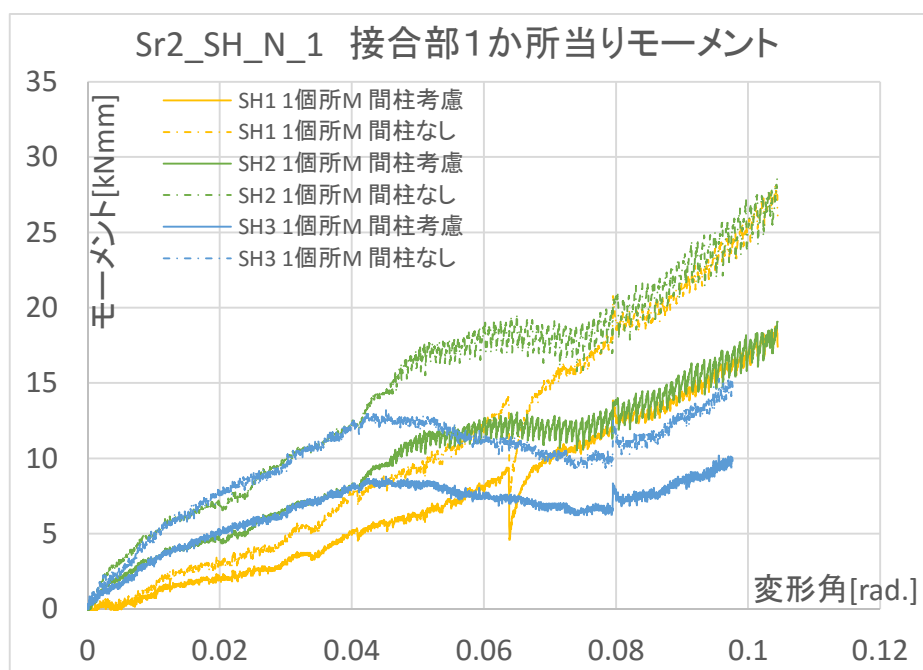


図 5-43 Sr2 真壁 接合部一か所当たりの抵抗モーメント

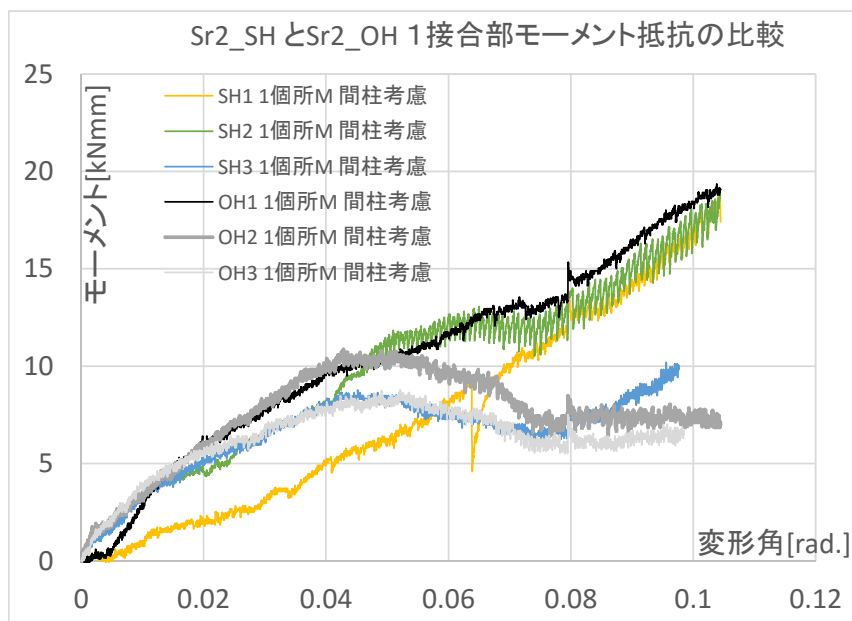


図 5-44 Sr2 真壁試験体と Sr2 大壁試験体の比較

Sr2 の大壁試験と真壁試験の 1 接合部当たりの抵抗モーメントを比較した。大壁，真壁それぞれにばらつきがあるため結果は明確ではないが，0.07rad.付近までは，真壁試験体 SH3

また，実験結果からは，1/15rad.付近から木摺端と木枠が接触し，めり込みが発生した可能性があるが，大壁試験との比較からはめり込みによる剛性上昇の影響は明確ではないが，比較的よく一致している SH3 と OH3 を比較すると，0.07rad.付近からの剛性上昇に影響していた可能性が考えられる。

#### 5.4.3.4. 斜め木摺・釘打ちのみ：Sr2\_ODC\_N\_1, Sr2\_ODT\_N\_1,2

##### 5.4.3.4.1. 試験体

- ・加力条件：1mm/min. 単調圧縮载荷および単調引張载荷.
- ・木摺壁の隅角部の破壊性状について検討するために実施した片面張りの斜め木摺の試験である．圧縮方向の ODC，引張方向の ODT 試験体とした．
- ・部材寸法：木摺の仕様は，第4章の斜め木摺壁の試験と同様とした．すなわち，巾 60，厚 12，空き 5mm とし，釘はN50 鉄釘を鉛直 51mmの距離を開けて各 2 本打ちとした．間柱は取り付けしていない．

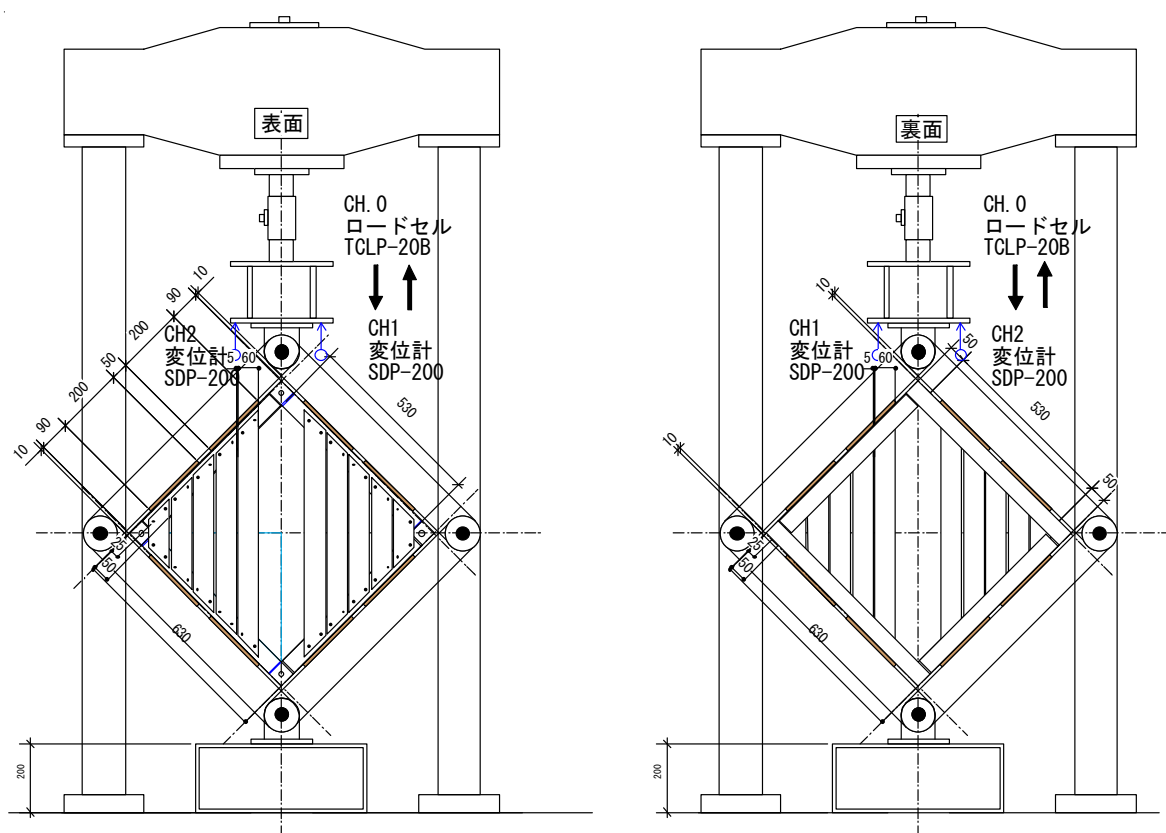


図 5-45 Sr2 ODC, ODT 計測計画図

図中の木摺に対して，左側は中心から端へ L1・5，右側は中心から端へ R1・5 としている．以下の観察の番号はこれに対応する．

#### 5.4.3.4.2. 荷重変形関係

- ・Sr2\_ODC\_N\_1 : 大壁, 斜め木摺, 釘打ちのみの試験体を, 木摺圧縮方向にせん断変形.
- ・Sr2\_ODT\_N\_1,2 : 大壁, 斜め木摺, 釘打ちのみの試験体を, 木摺引張方向にせん断変形.
- ・荷重変形関係を, 枠のみの試験結果と共に以下に示す.

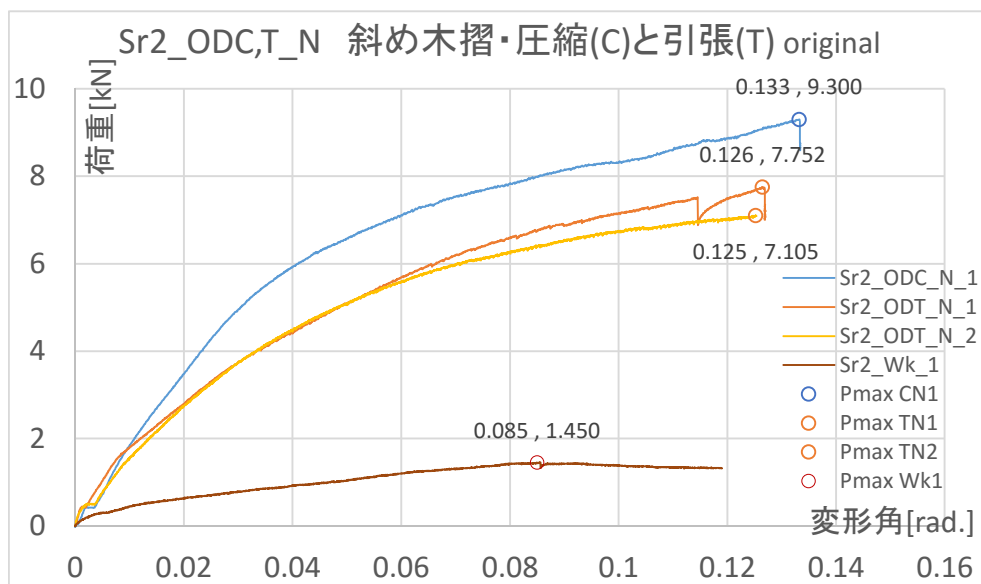


図 5-46 Sr2\_ODC,T の試験結果

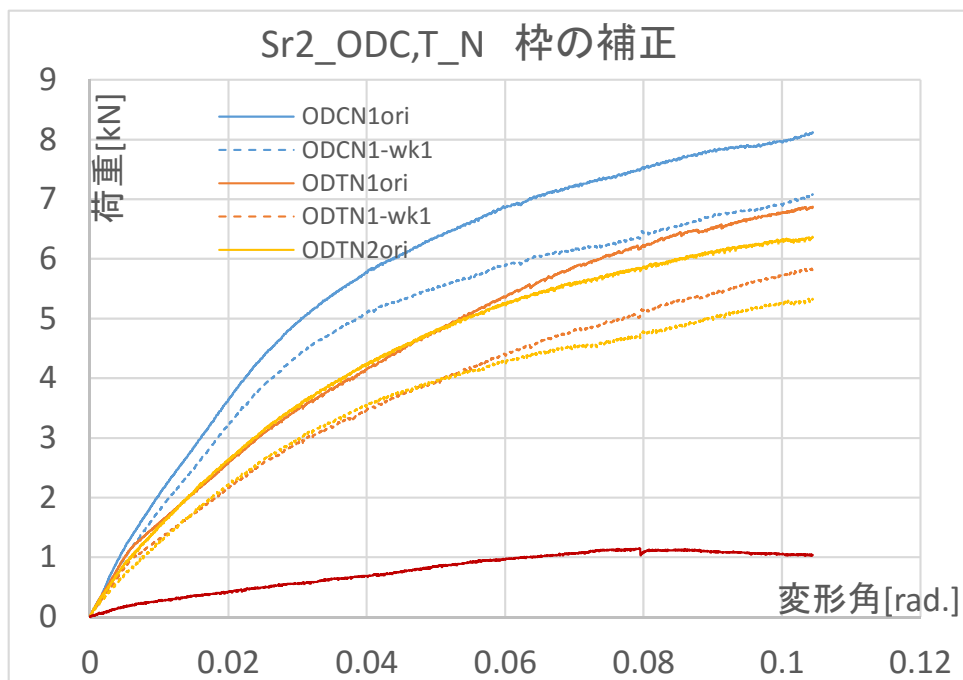


図 5-47 初期の滑りと枠の影響を除いた試験結果の比較

### ・試験結果、破壊の進行

本試験体は、斜め木摺壁の隅角部の木摺の挙動を把握する目的で実施した。結果としては、木摺圧縮方向の試験結果 9.3kN が引張方向の（平均 7.3kN）1.3 倍程度の最大荷重を記録した。

・引っ張り試験体 ODT1 では、当て板が破壊したために剛性の低下に至ったと推定したが、ODT2 では試験上は問題が発生しなかったが、ほぼ同様の荷重変形関係を示した。







・結果として、圧縮の場合が引張の場合よりも 1.3 倍高い荷重を示す結果となった。

・変形挙動としては、ODC 圧縮試験体では、左右端部に近い L3・5,R3・5 は共に比較的对象に変形し、加力後も木摺の中心線は左右で比較的揃っていた。一方、L1,L2 は下に大きくずれ、R1（座屈）,R2 は上に大きくずれる挙動を示した。引張試験に対しても、中心部に近い L1,R1 の変形が大きく、上下どちらかの釘が降伏し変形が集中する傾向が見られた。釘接合部の破壊挙動としては、座屈を伴った中心付近の木摺 L・R1,2 は一面せん断と類似しており、木摺の長軸方向に釘の傾斜が確認された。変形挙動として、木摺長さに拠る違いを確認した。

ただし、木摺の面外座屈に関しては（後述の Sr3 一面せん断試験では、良好な試験体に対してはほとんど発生しなかった）、木摺長さの影響に加えて、試験体が片面仕上げであったことの影響が想定される。



5.4.3.4.3. 破壊の進行 Sr2\_ODC\_N\_1

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 試験前   | 試験終了後 変位 56mm  |
|   |   |
| 試験終了 R1 の座屈   | 試験終了 L 側 3-5 はめり込み少  |
|  |  |
| 試験終了後 R 上部の釘接合部   | 試験終了後 R1 のたわみ量 (20mm)  |

5.4.3.4.4. 破壊の進行 Sr2\_ODT\_N\_1, 2

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| 加力前   | 変位 48mm 試験体正面右接合部破壊  |

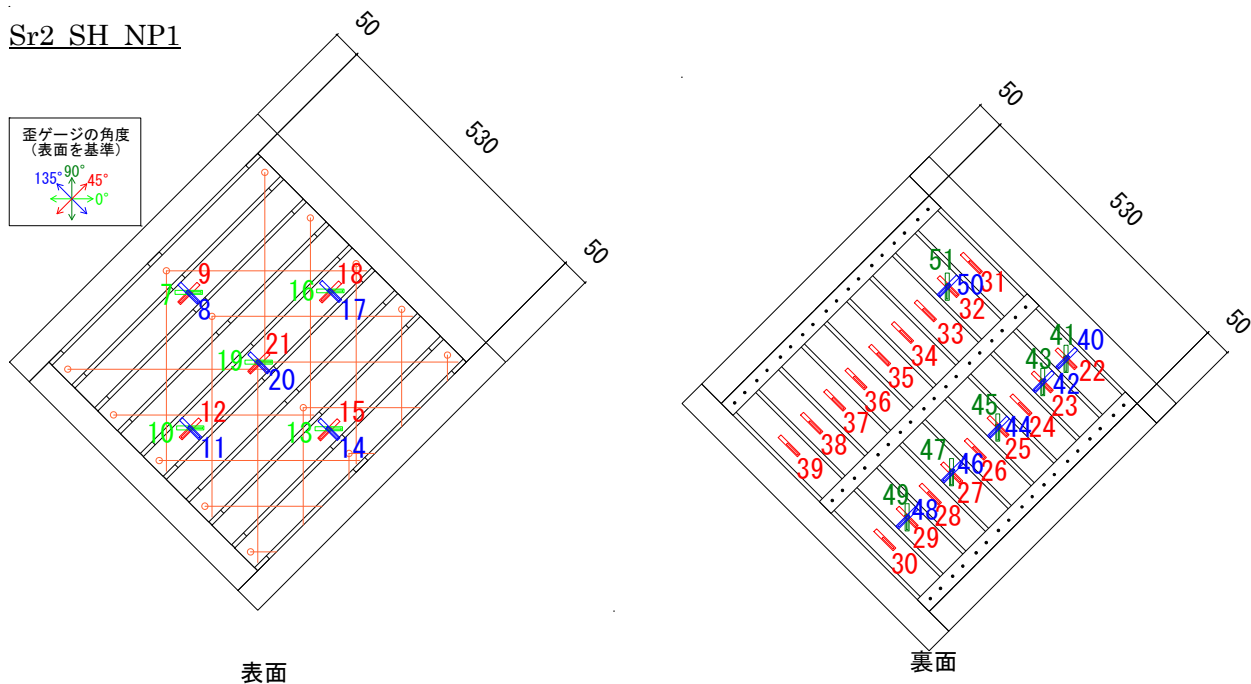
#### 5.4.3.5. 真壁水平木摺，釘と漆喰：Sr2\_SH\_NP\_1,2，土壁 Sr2\_M\_1

##### 5.4.3.5.1. 試験体・計測計画

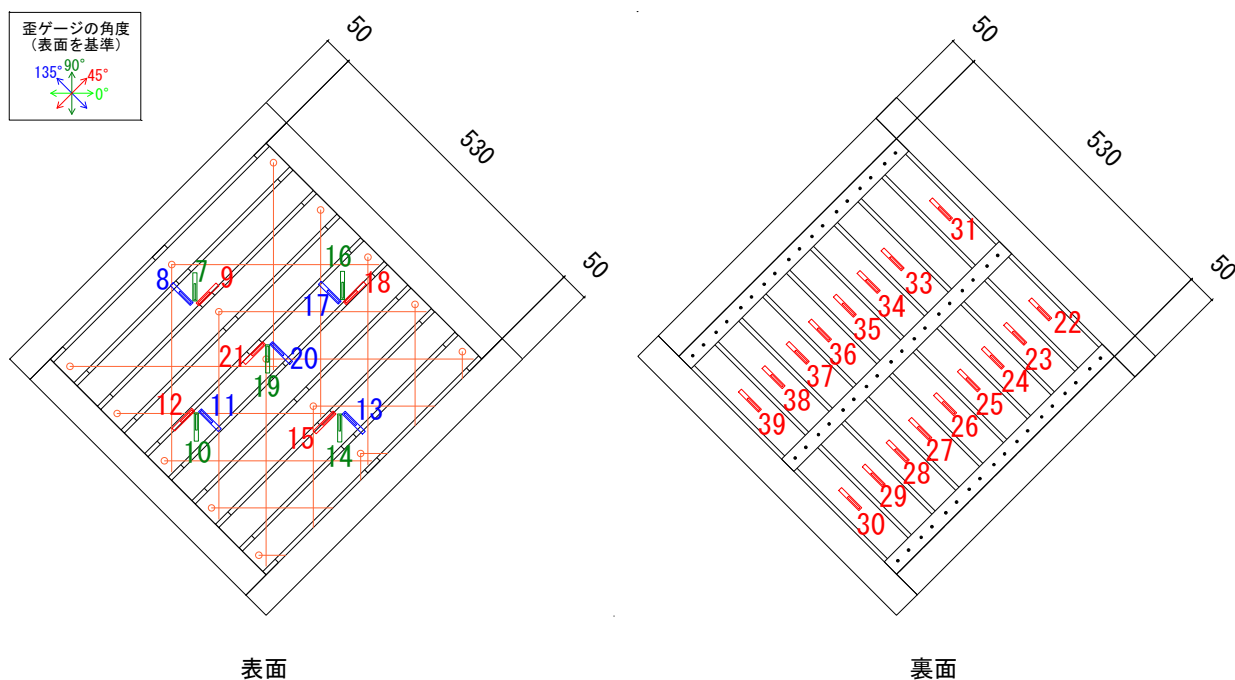
- ・加力速度 1mm/min，荷重計測等の条件は SH\_N と同様である．
- ・Sr2\_SH\_NP1,2 および，同じ木枠に土壁を施工した Sr2\_M\_1 の試験体を以下に示す．

各試験体に貼付したひずみゲージ（LFLA10-11）の配置についても併せて示した．

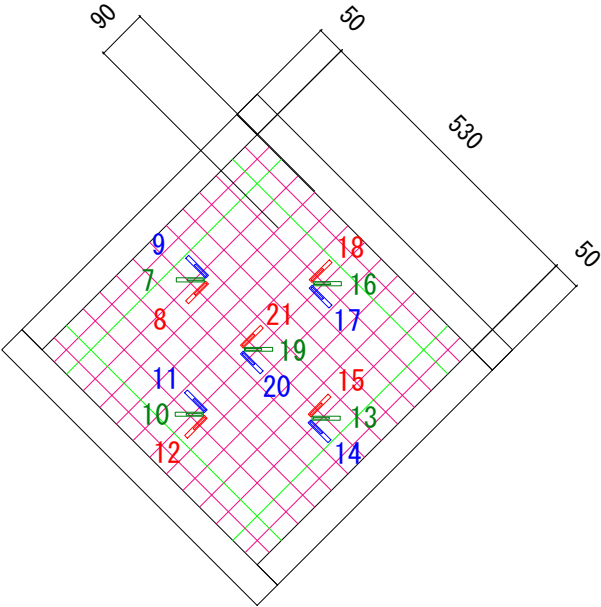
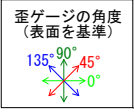
#### Sr2 SH NP1



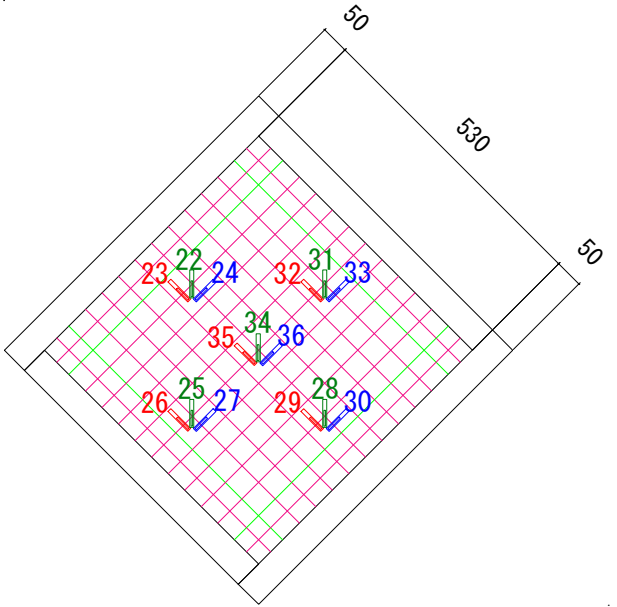
#### Sr2 SH NP2



Sr2 M 1



表面



裏面

図 5-48 Sr2 SH\_NP 試験体図

#### 5.4.3.5.2. 荷重変形関係

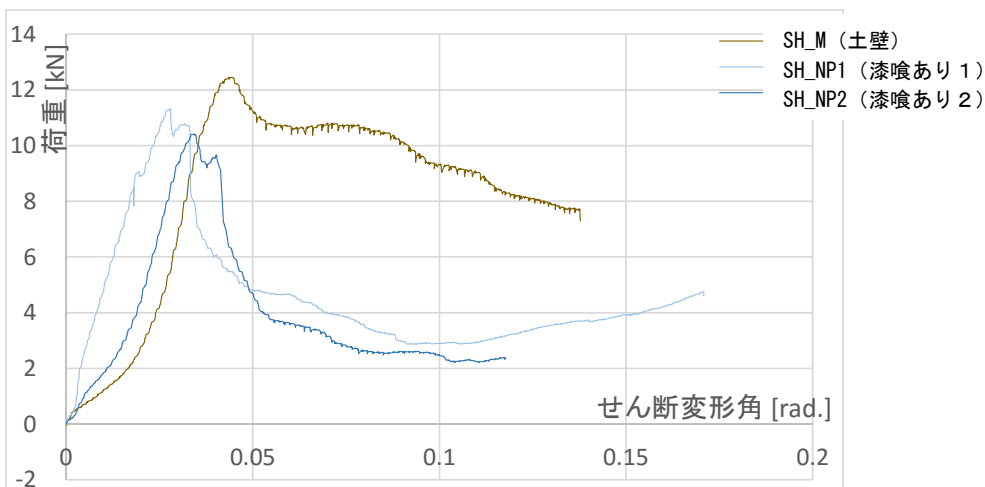


図 5-49 Sr2 SH\_NP1,2 SH\_M 荷重変形角関係

・試験結果，破壊の進行

・木摺漆喰試験体の破壊の進行は，木摺1では漆喰層が縁に食い込み，最終的には木摺空き部分での破壊，および上下端部で中塗り層が割かれる形で破壊に至った．木摺2では，漆喰層は木枠面内で抵抗し，変位約 15mm 荷重低下に至った．亀裂を目視で確認したのは，18mm（変形角約 1/22rad.）であり，引張破壊した．最大荷重を記録したのは，木摺1で 11kN 約 0.025rad.，木摺2で 10.2kN 約 0.035rad.であった．

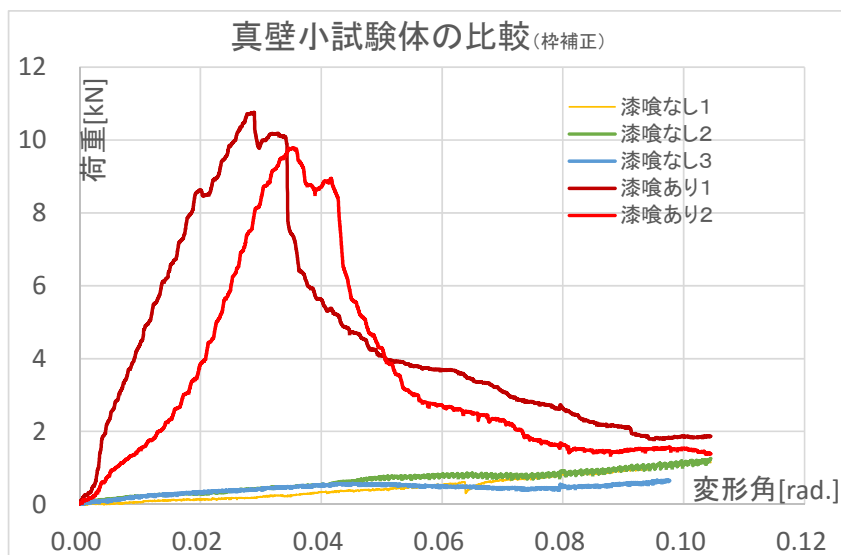
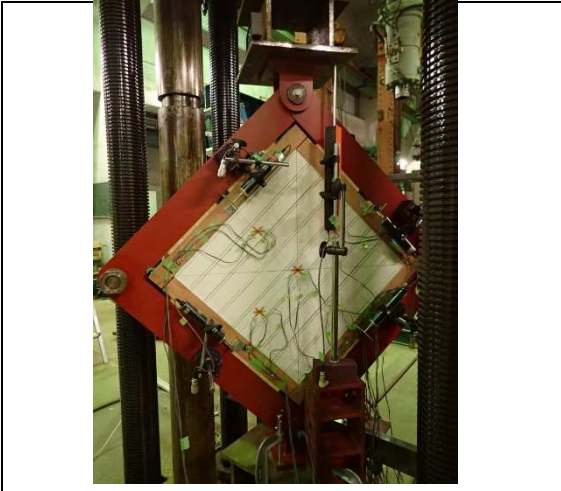

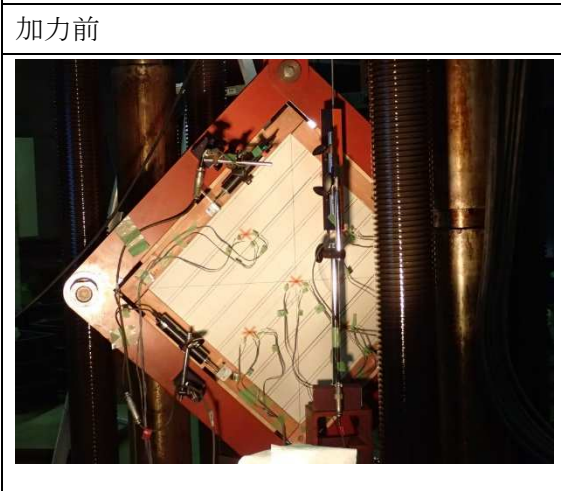





図 5-50 真壁木摺漆喰小試験体（SH\_N1-3（木摺のみ），SH\_NP1-2（漆喰あり））の比較

漆喰ありの真壁試験体と，前述の木摺のみの真壁試験体を比較した（枠の荷重を補正後）．これより，最大荷重経過後，変形角 1/10rad.付近では，漆喰の塗布による荷重への寄与は全体の 2-5 割程度まで低下しており，釘接合部の影響が大きくなっていることが分かる．



破壊の進行例 漆喰試験体 1 (Sr2\_SHNP1)

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| 加力前   | 加力前 漆喰のはみ出しの様子   |
|   |   |
| 最大耐力時 上下端のつぶれ   | 終局 漆喰層下端のはらみ出し   |
|  |  |
| 終局 上端部の層のはがれ  | 終局 破壊後の木摺面   |

#### 5.4.3.5.3. せん断剛性 $G_\gamma$ の検討 荷重変形角関係による推定

漆喰層のせん断弾性剛性の算出を行った。試験結果から、Sr2SH3（木摺のみ試験体）の結果を差し引き、漆喰層（および木摺空きの漆喰のせん断）による荷重変形関係を算出した。

$P$ : 圧縮荷重 (kN)

$\tau$ : せん断応力度 ( $\text{kN/mm}^2$ )

$b$ : 辺長 (mm) 580mm

$t$ : 厚さ (mm) 10mm (漆喰層)

とすると、

・試験体に加えた圧縮荷重  $P$  は、鋼板フレームを通じて以下のせん断力  $P/\sqrt{2}$  として各辺に作用すると考えられ、斜辺面に生じるせん断応力度  $\tau$  は以下で表される。

$$\tau = \frac{P}{\sqrt{2} \cdot b \cdot t}$$

一般にせん断剛性  $G_\gamma$  は、せん断応力度  $\tau$  ( $\text{kN/mm}^2$ ) と、せん断ひずみ角  $\gamma$  (rad.) によって以下のようにあらわされる。

$$G_\gamma = \frac{\tau}{\gamma} \quad (\text{kN/mm}^2 \cdot \text{rad.})$$

以上の方法により、せん断弾性剛性を算出した結果を以下に示す。

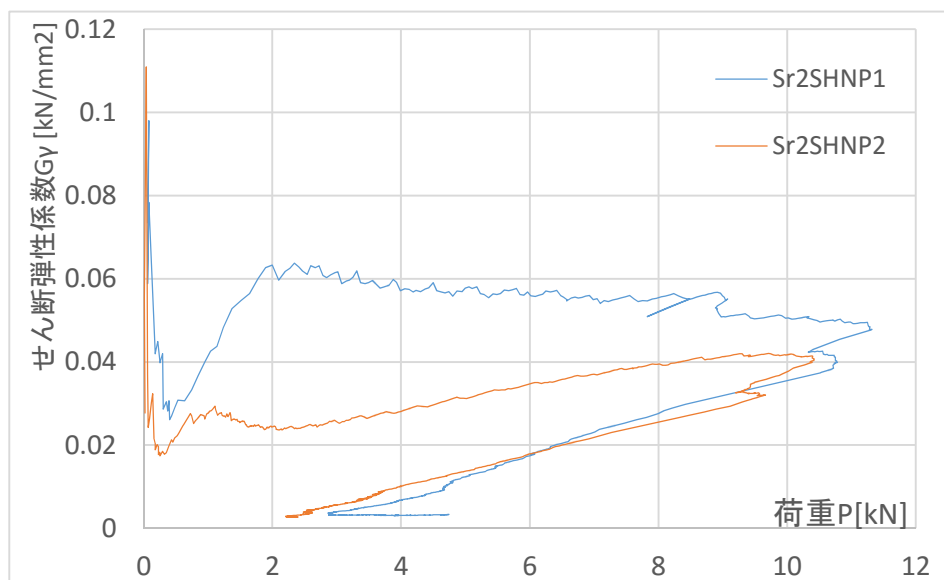


図 5-51 荷重変位関係より算出したせん断弾性剛性  $G_\gamma$

弾性剛性が発揮されたと想定されるのは最大荷重到達以前の約  $2\text{kN}$  以降であるが、剛性を算出した結果、試験体2では約  $0.02\text{--}0.04\text{kN/mm}^2$ 、試験体1では約  $0.06\text{kN/mm}^2$  の弾性剛性であった。

本試験では、試験体に対して、最大耐力時には漆喰層の左右端に隙間ができ上下端部が一部圧潰しているため、漆喰層のみのひずみ量はより小さく、せん断剛性は過小評価となっていると推測される。ただし、実大試験体においても端部の圧潰が生じ、厳密なせん断状態にはないため、特に変形の初期段階に対して、真壁の四周拘束時のせん断弾性剛性については、本試験の結果を対角圧縮効果、また漆喰の裏面における木摺空きの漆喰のせん断を含んだ等価なせん断剛性として適用可能であると仮定した。また最大荷重到達後の挙動についても、実験値と同様に低下するものと仮定した。

また、解析モデルへの適用に当たっては第6章に後述するように垂れ壁付き独立柱と類似の応力状態となっていると想定し、柱による逆せん断を考慮した低減を行い、せん断耐力を算出した。

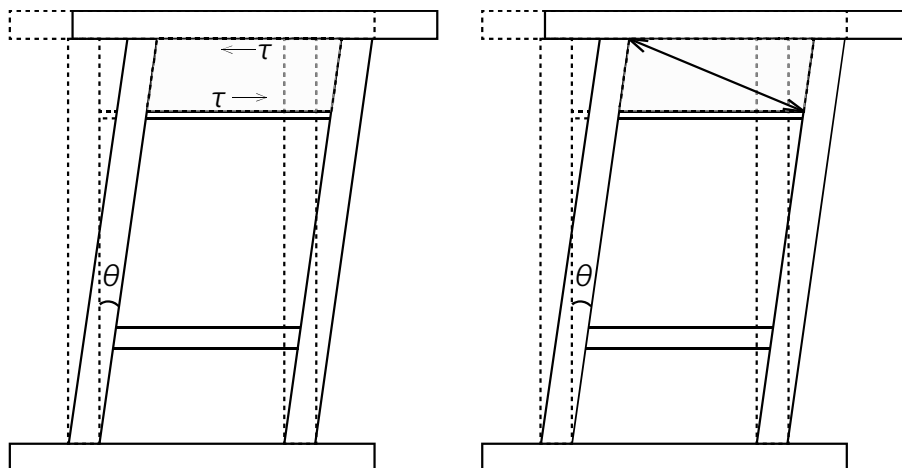


図 5-52 Sr2 SHNP 試験で検討した漆喰層のせん断変形に伴う対角圧縮抵抗の模式図

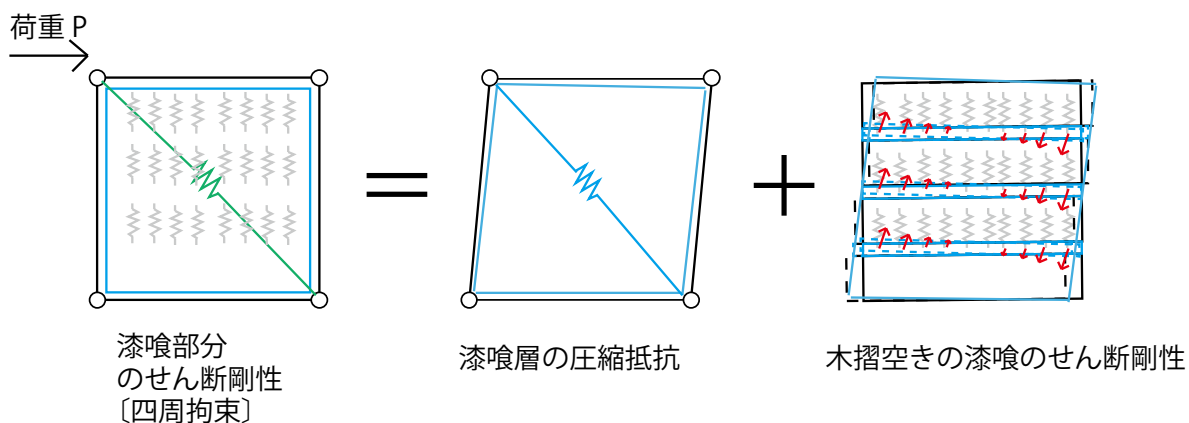


図 5-53 四周拘束の場合のせん断剛性の模式図

### 5.5. Sr3：斜め木摺の木摺 - 柱の一面せん断試験および座屈の検討

- ・実大試験及び Sr1 の試験より，斜め木摺における試験体の変形挙動は，主にせん断方向に集中すると推定されたため，斜め木摺の柱接合部における一面せん断試験を実施した．
- ・試験体の木摺の長さは，第4章の斜め木摺試験体の，最大の木摺長さ（釘 - 釘の間隔，ただし，間柱の固定を考慮し，柱 - 間柱間とした）である 793mm，および試験実施限界まで木摺を短くした 132mm の試験体の2種とした．前者は，接合部耐力に加えて実大試験体における座屈現象について考察を行うため，また後者は木摺の変形量の影響を可能な限り小さくしたうえで釘接合部の耐力を把握する目的で実施した．
- ・試験は，Sr3\_ODT\_L1, Sr3\_ODC\_L1,2, Sr3\_ODT\_S\_1-3, Sr3\_ODC\_S1-3 の計9体を実施した．試験結果の考察でも述べるが，引きボルトによる引張試験体(ODT 試験体)では，試験体設置時に引張力を作用させてしまった可能性があるため，追加圧縮試験を実施した．

#### 5.5.1. 試験体の仕様

- ・試験体は，2010 年斜め木摺実大試験の柱 - 木摺接合部を模擬した仕様としている．ただし木材調達上の理由から，柱材の繊維方向断面が 120 角以内となるように設計した．
- ・柱：105mm 角杉特一等材料
- ・木摺：杉特一等材料 巾 60 厚 12 長さ L 試験体 793mm，S 試験体 250mm（共に釘中心部の上下間隔）
- ・釘：N50 普通鉄丸釘

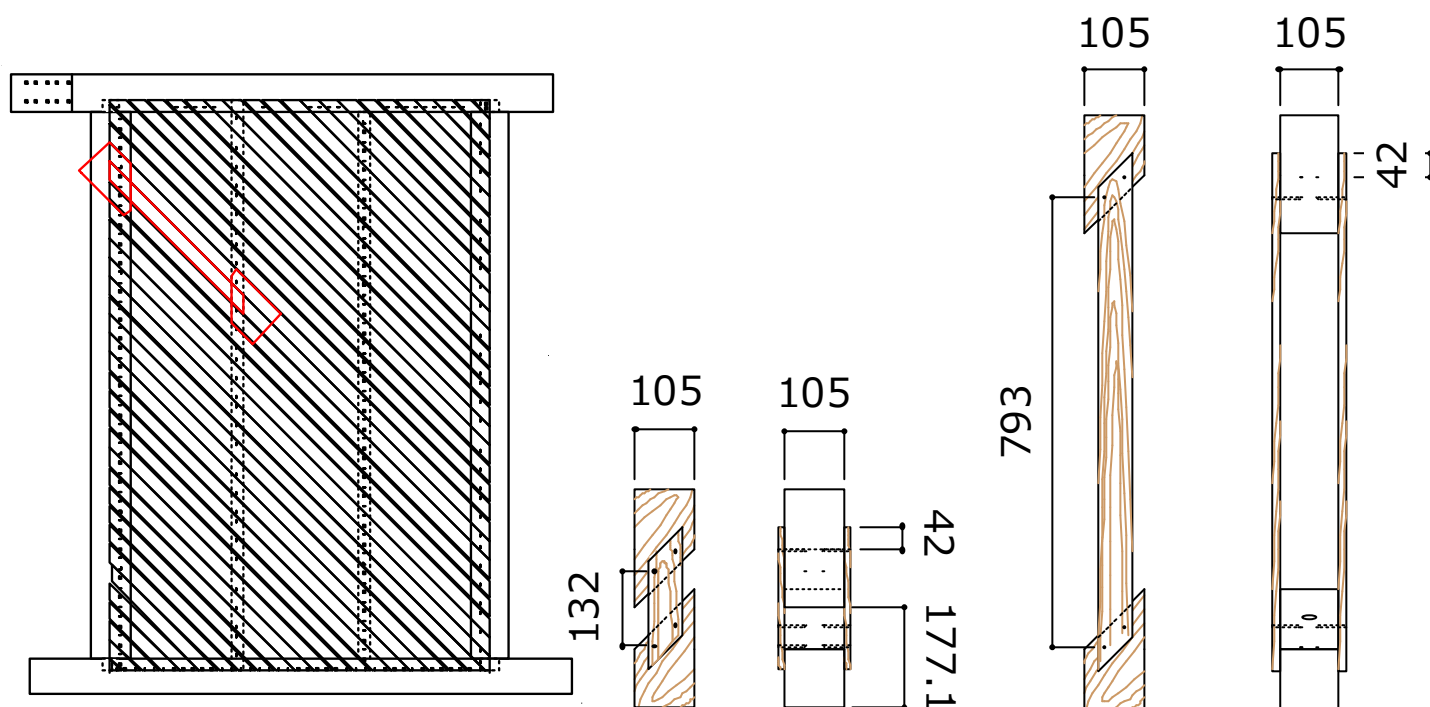


図 5-54 斜め木摺実大試験体の対応部分 Sr3 S 試験体と L 試験体

5.5.2. 計測計画

Sr3\_ODT\_N\_S 1-3 および Sr3\_ODC\_N\_S 1-3

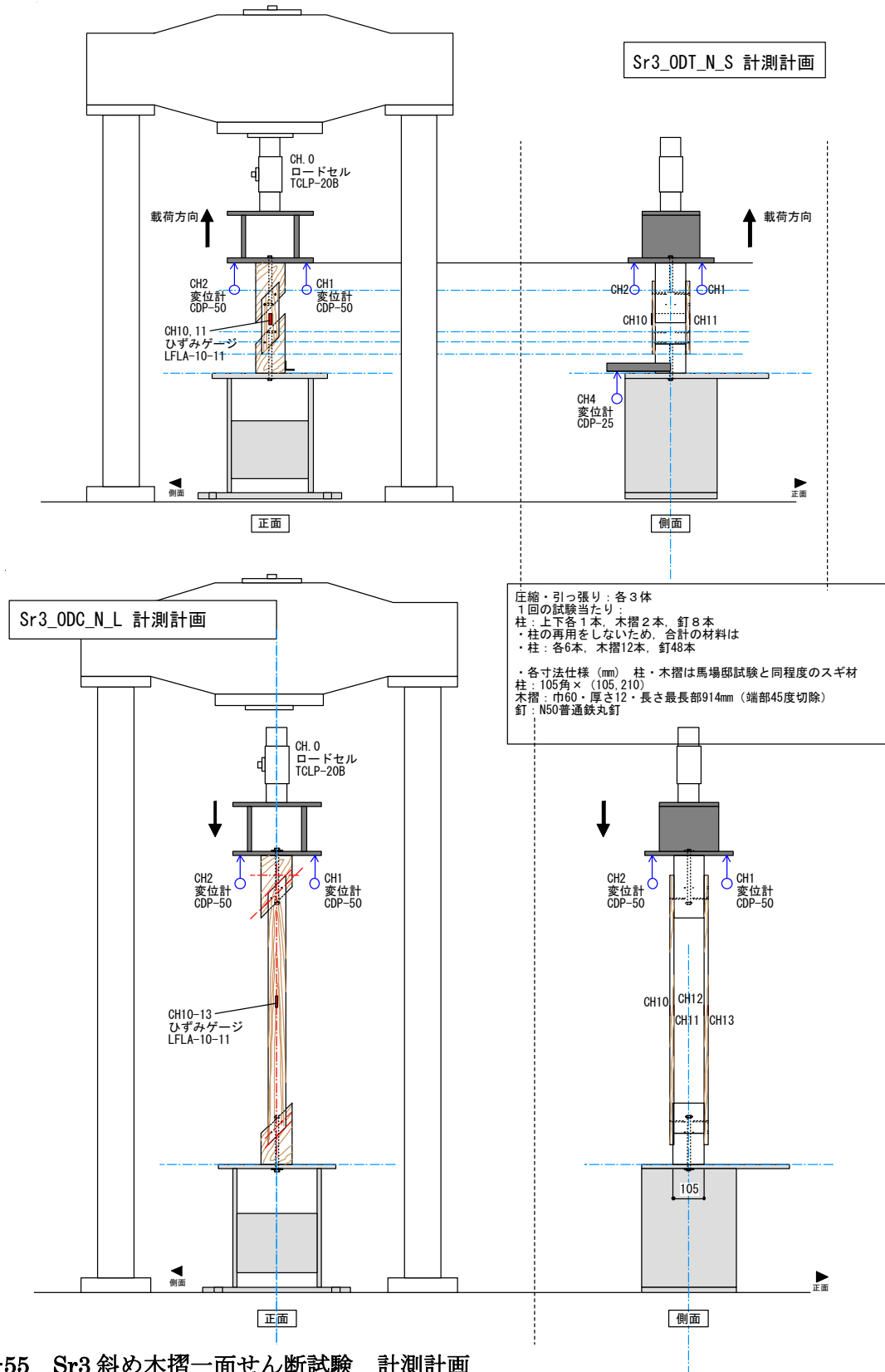


図 5-55 Sr3 斜め木摺一面せん断試験 計測計画



### 5.5.3. 実験結果

#### 5.5.3.1. Sr3\_ODT\_N\_S1-3 と Sr3\_ODC\_N\_S1-3 の荷重変形関係

・まず、木摺を短くした試験体のせん断について、引きボルトによる頂部引張载荷(ODT)と、ボルトなしの圧縮载荷(ODC)の結果を比較する。

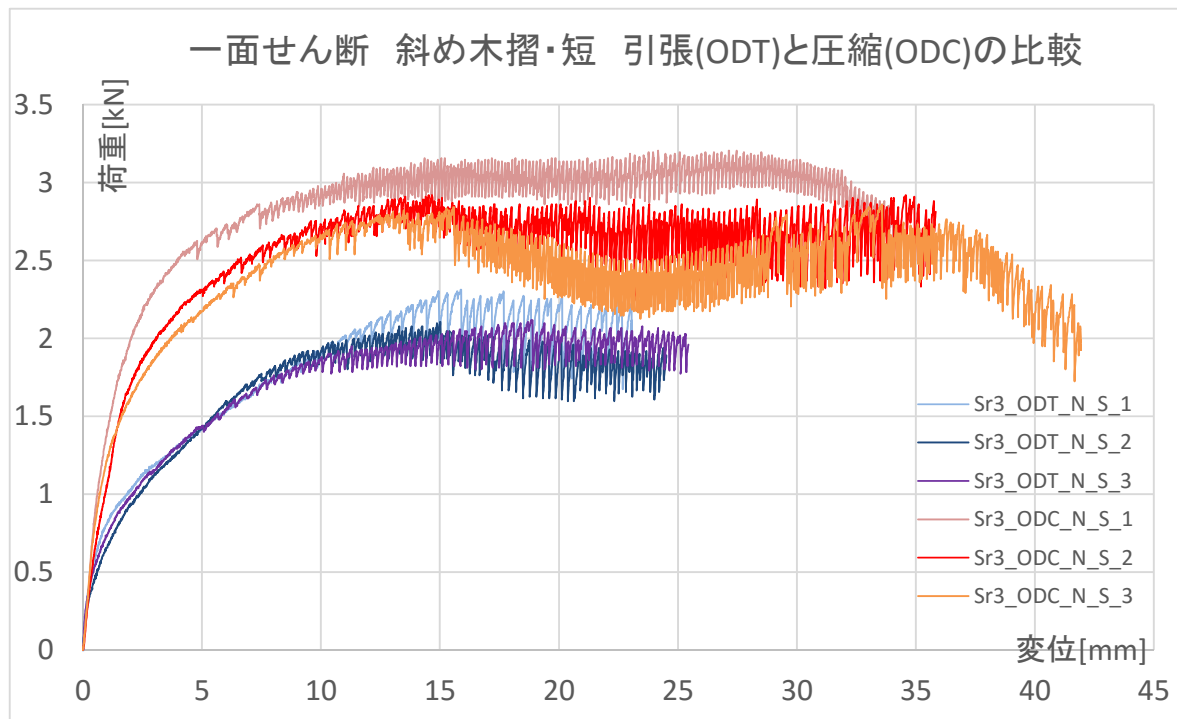


図 5-56 Sr3 ODTNS, ODCNS の比較

・全試験体の破壊は釘の引き抜けによって決定された。

・試験結果からは、圧縮試験体（平均 2.8）は引張試験体(平均 2)の約 1.4 倍の最大耐力を発揮しており、剛性も高い。しかし、試験体の破壊性状は共に変位 5mm 前後から釘の引き抜けが起こる形式となっており、その後の挙動も類似である。これは、試験体設置時に、載荷板との固定用の上部ボルトにより、試験体に過度の引張力を加えていたためであると推測される。そのため、以降の考察、検討では圧縮試験の結果を斜め木摺の一面せん断（短部材）の結果として使用することとした。



図 5-57 Sr3 ODC\_N\_S\_1 試験体 破壊の進行 下部釘の引き抜け

### 5.5.3.2. Sr3\_ODT\_N\_L1-3 の荷重変形関係

・釘間隔 793mm の長い木摺材の圧縮荷重による一面せん断試験結果をしめす。全て圧縮荷重による試験であるが、N\_L1 試験体では、載荷板下部と試験体上部をボルトで緊結している。N\_L2,3 は上部をボルトで固定せずに圧縮している。

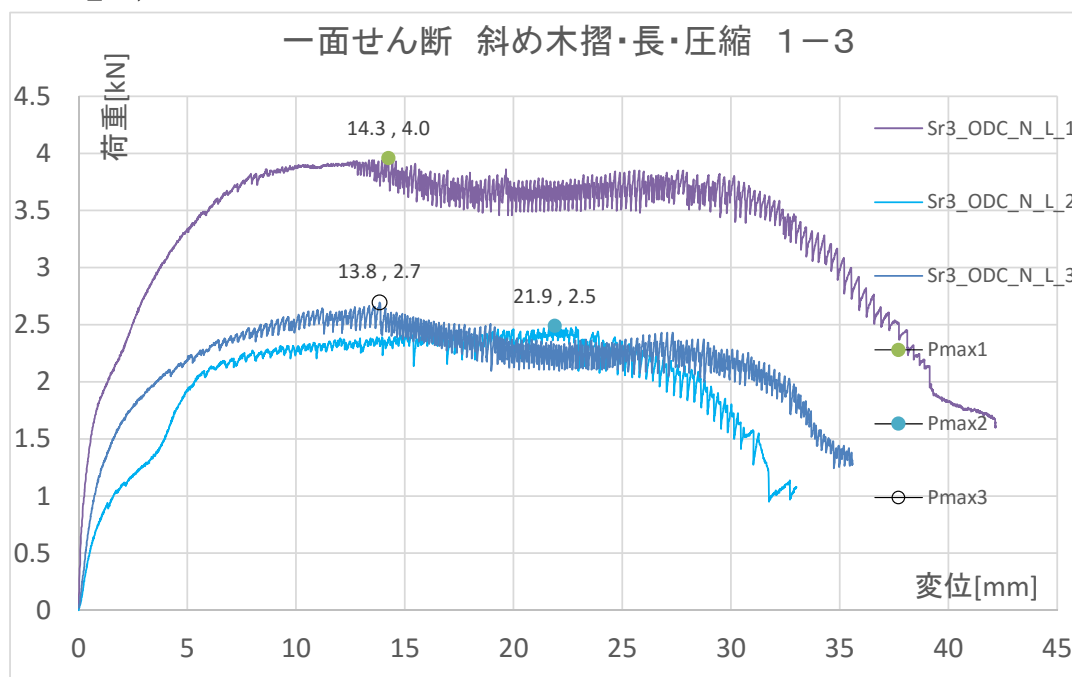


図 5-58 Sr3 ODCNL 試験結果 荷重変形関係

・試験の結果と破壊の進行

・最大耐力は試験体 1 で 4 k N (14.3mm)，試験体 2 で 2.5kN (22mm)，試験体 3 で 2.7kN (13.8mm) であった。破壊は、変位 5mm 付近から、左右上下各一方の釘の降伏，変形が卓越し，釘の引き抜けに伴う荷重の上下を繰り返しながら荷重を低下させ，変位 25-30mm 付近（一接合部平均 12-15mm）で一か所の釘が引き抜け，最大荷重の 8 割以下の荷重を記録した。

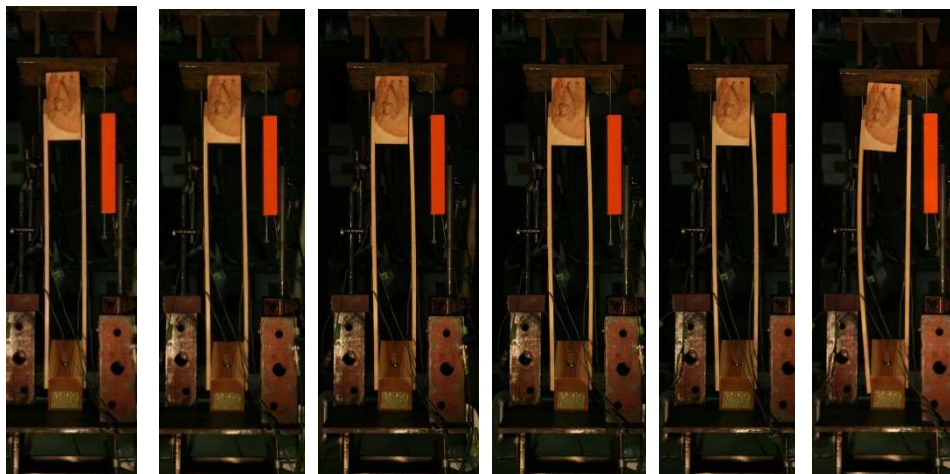
・本試験では，N\_L1 試験体の最大荷重は他の約 1.5 倍以上という結果となった。上部不陸を除くために試験体の上部と載荷板をボルトで緊結したため，引張力の作用した状態から荷重を載荷していたことが要因であると推測される。

・試験体 2 については，上部に不陸があり，載荷後上部が平行になると同時に木摺の片方に面外方向の曲げを作用させてしまっていたと考えられる（写真参照）。そのため，試験においては座屈に類する変形を示したが，最大荷重に関しては，負陸，初期面外曲げ変形を可能な限り減らした試験体 3 と比較的一致していた。

・試験体 3 は上述の問題を除いた。その結果，釘の降伏まででの木摺の座屈による面外変形量は，中央部の距離の相対測定で，変位 14mm で +3mm 程度であった。その後，釘接合部の降伏に伴って接合部の固定度が減少し，木摺は曲げ変形を受けた。考察を参照。

Sr3 ODC N\_L 試験体 破壊の進行

・ Sr3 ODC\_N\_L\_2 [変位 0,5,10,15,20mm,終局]



・ Sr3 ODC\_N\_L\_2 [変位 0,5,15,25,30mm,終局]

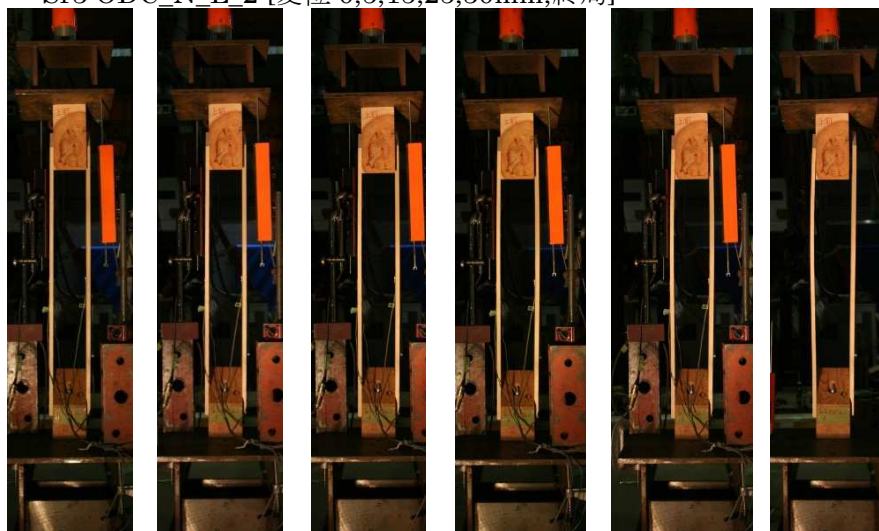


図 5-59 Sr3 ODC 試験体の破壊の進行例

上の図に示した ODC\_N\_L2 試験体では，上部の不陸が載荷板で均され，それに伴って初期から木摺に面外方向の力が作用している．

下図は可能な限り上部の不陸をなくした試験体であるが，この場合釘接合部が降伏するまでは木摺の面外変形量は小さかった．

### 5.5.3.3. Sr3\_ODC\_N\_L1-3 と, Sr3\_ODC\_N\_S\_1-3 の荷重変形関係の比較

・共に（ボルトを用いない）圧縮载荷とした場合の，木摺の長短（793mm, 132mm）の結果を比較した．なお，L\_2 は試験体上部の不陸が顕著であり，加力の初期から曲げ変形が発生していたと推察される．

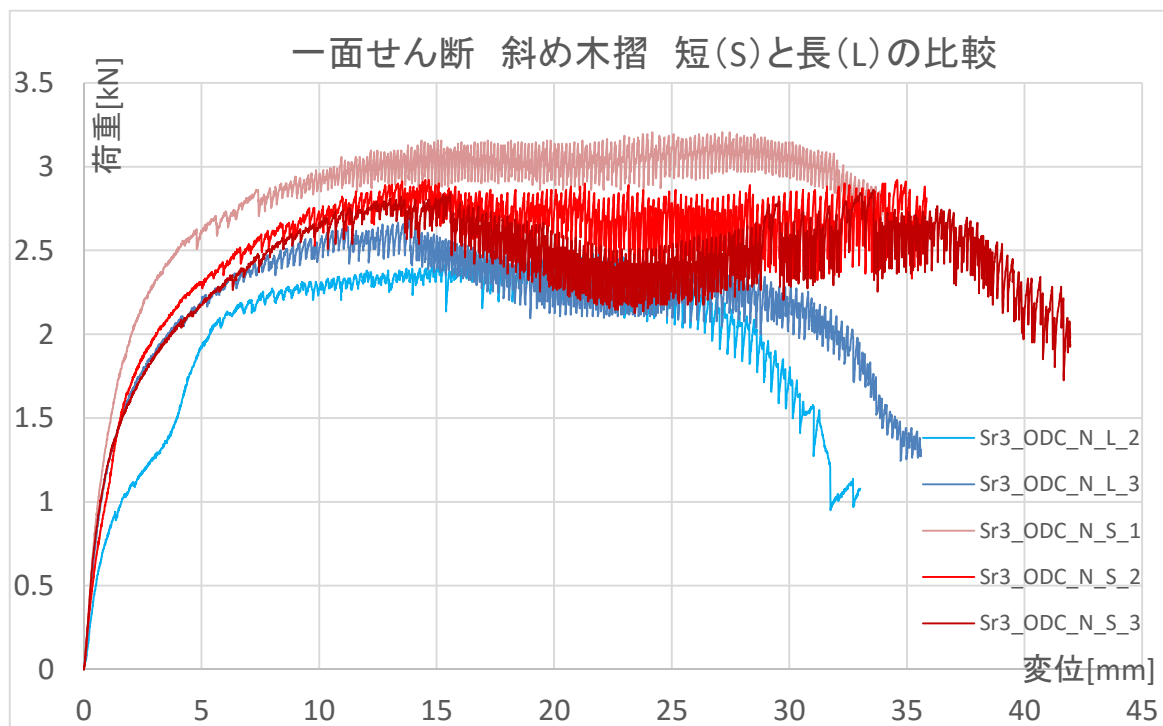


図 5-60 斜め木摺一面せん断試験 短材 (S) と長材 (L) の結果の比較

L 試験体の内，L\_2 は試験体の初期たわみが大きかったため変位 2mm 付近から一気に変形が進んでいる．たわみの小さかった L\_3 試験体では，変位 7mm 付近までは S 試験体 2,3 とよく一致している．どの試験体も変位 5mm 付近からは，上下端（どちらかに集中する傾向が見られた）の釘の引き抜けに伴って荷重の上下が激しい挙動を示している．

釘の引き抜けが顕著となる 5mm 付近までの挙動を考えると，最大荷重，初期剛性共に S, L(L\_3)試験体では大きな差が見られない．すなわち，本試験体の木摺長さ（釘間隔 793mm）においては，釘が降伏し引き抜け始める時点までにおいて座屈による急激な荷重の低下は発生しないことを示すと推定される．そのため，本研究で対象とした規模の斜め木摺においては，木摺の長さに拠らず，釘接合部の変形による耐力発現が主要な影響要因である可能性がある．

#### 5.5.4. Sr3 試験結果の考察

##### 5.5.4.1. 座屈性状に関する考察

本試験の L 試験体（圧縮）の結果は，S 試験体（圧縮）の試験体とほぼ同等の結果となった．そのため，本試験での木摺長さ（釘間隔 793mm）では，木摺の面外座屈が発生する前に釘接合部が降伏・破壊に至っていると推定される．ここで，オイラー座屈荷重との比較を行い，木摺の釘接合部の接合性状に関して考察を行う．弾性座屈荷重及び座屈長さは，以下のように算定した．

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

$P_{cr}$  : 座屈荷重  
 $E$  : ヤング係数（杉の繊維方向として8.7Gpaと仮定した）  
 $I$  : 断面2次モーメント  
 $L$  : 座屈長さ

斜め木摺の上下の固定条件を， i ) 両端固定， ii ) 両端ピン， iii ) 一端ピン・他端固定， iv ) 一端自由・他端固定， のそれぞれと仮定し，座屈荷重を算出し本実験結果（試験結果の1/2 を木摺1本当たりの負担荷重とした）と併せて示したのが以下である．

表 5-5 斜め木摺一面せん断の座屈荷重の検討 各固定度の仮定に対する座屈荷重

| unit  | 座屈係数 $\kappa$ | 部材長さL<br>mm | ヤング率 $E_L$<br>Gpa[kN/mm <sup>2</sup> ] | 幅b<br>mm | 厚さh<br>mm | I [bh <sup>3</sup> /12]<br>mm <sup>4</sup> | P <sub>cr</sub><br>kN |
|-------|---------------|-------------|--|----------|-----------|--|-----------------------|
| 固定-固定 | 0.5           | 793         | 8.7                                    | 60       | 12        | 8640                                       | 4.7                   |
| ピン-ピン | 1             | 793         | 8.7                                    | 60       | 12        | 8640                                       | 1.2                   |
| 固定-ピン | 0.7           | 793         | 8.7                                    | 60       | 12        | 8640                                       | 2.4                   |
| 自由-固定 | 2             | 793         | 8.7                                    | 60       | 12        | 8640                                       | 0.3                   |

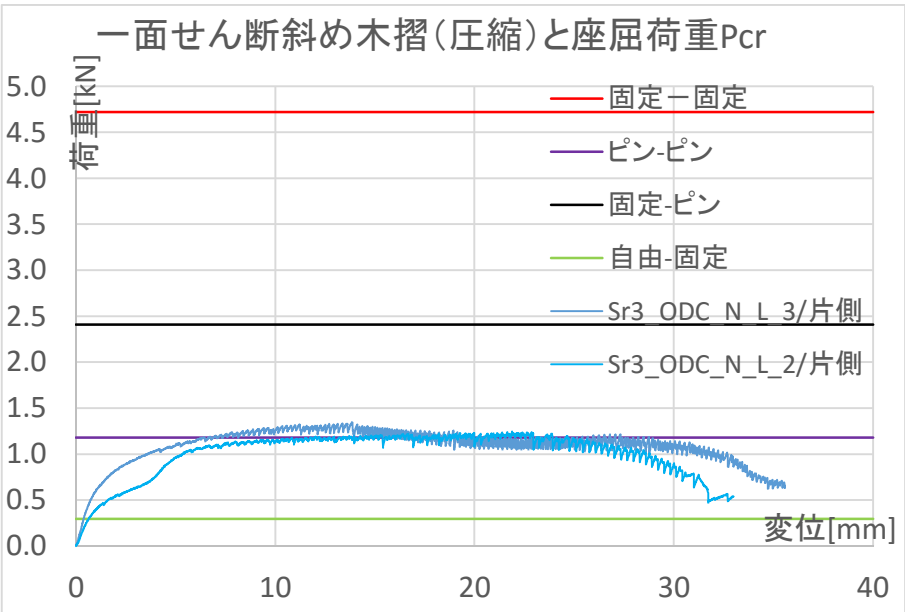


図 5-61 Sr3 ODC\_N\_L 斜め木摺一面せん断 長部材試験結果と座屈荷重推定値の比較



破壊の進行でも述べたが、本実験のうち、初期たわみの小さかった試験体3では、釘が降伏するまで、面外変形量は少であったが、終局に近い段階で釘の引き抜けが顕著になると、それに伴って木摺が徐々にたわむ結果となった。釘接合部の降伏は、上が先に降伏し、次いで下の接合部が降伏していた。これを上記の結果と比較すると、釘による固定は初期は両端固定に近かったが、釘の変形・降伏によって固定度が減少し、両端ピン支持に近い状態になったと推定される。

実大の斜め木摺壁は、今回想定した長部材が存在するのは、一端が柱に釘打ち、他端が間柱に釘打ちされた試験体である。その状態でのせん断力の発生機構に関しては第6章で検討を加えるが、本実験のように一面せん断に近い性状であれば、接合部が最大荷重に達するまでは、座屈挙動は現れにくいものと推定される。

一方、第4章の斜め木摺実大試験体の結果を見ると、木摺は前後にはらみ出すような挙動を示している。この挙動を座屈とし、またせん断力に対する釘の変形挙動が本節で検討した一面せん断に近いとすれば、その時点でその木摺は最大耐力付近に達していると推定される。あるいは、交番加力試験であったため、一面せん断試験時よりも損傷が進んでいた可能性も想定される。一方で、実大試験は片面が斜め木摺、片面が下見板の試験体であった。そのため、前後のせん断剛性にはかなり差があったと推定される。そのため、偏心加力に近い状態となっていた可能性もあり、その場合は初期から曲げモーメントが木摺に作用し、曲げ変形を起こしたと推定される。偏心荷重時における変形挙動、耐力に関して検討を行うためには、本実験に加えて、片面のみ斜め木摺とした実験を実施することなどが考えられる。

ただし、第4章で検討したように、下見板を外した場合は座屈が顕著に現れるものの、下見板がある場合には荷重の低下は小さいため、本研究の解析モデルでは圧縮荷重時の座屈による荷重低下は無視できるものとしている。

#### 5.5.4.2. Sr1 ODC 試験結果との比較

Sr1 試験体の斜め木摺圧縮試験体 (Sr1\_ODC\_N1,2) は、壁のせん断変形に伴う釘接合部の回転の影響を加味した釘接合部のせん断性能を把握する目的で実施していた。そこで、Sr3 試験体の一面せん断試験結果との比較を行った。

Sr1 試験体の結果は、荷重－変形角関係で得られているが、Sr3 試験との比較のため、以下の仮定の下に一接合部当たりの一面せん断と見なした荷重－変位関係を算出した。

変形角  $\theta$  時の斜め木摺の長軸方向のせん断変位  $d$  は

$$d = L \cdot \left( \frac{1}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)} - \frac{1}{\cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)} \right)$$

と表されるものとする.

また、計測値  $P$  に対して、木摺軸方向の荷重  $P_{dl}$  を

$$P_{dl} = \frac{P}{\cos\left(\frac{\pi}{4} + \theta\right)}$$

として算出する.

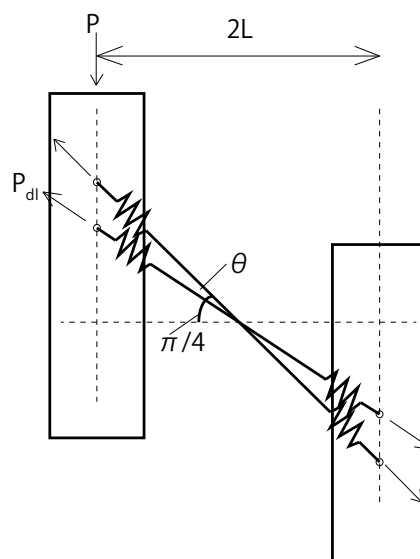


図 5-62 斜め木摺 Sr1 変形模式図

以上より得た **Sr1** の一面せん断の結果と **Sr3** を比較すると以下となる.

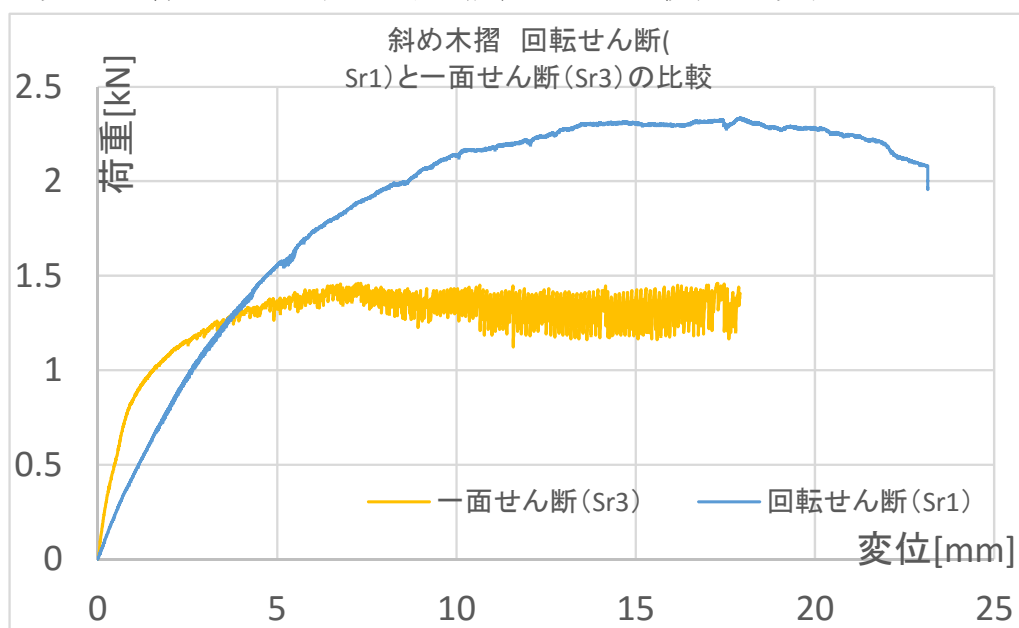


図 5-63 斜め木摺 Sr1 (回転せん断) と Sr3 (一面せん断) を共に一面せん断とした比較

Sr1 は Sr3 より初期剛性が低下するが、最大荷重は約 1.6 倍となっている。Sr1 試験は、釘の回転変形を伴うため、剛性が低下していると推定される。荷重の差に関しては、Sr1 試験では木摺を左右計 6 本張った試験体としており、釘接合部の引き抜きによる荷重低下が、Sr3 ほど 1 個所での破壊による影響が顕著でなかった点（最終的な荷重低下に至る 40mm 時では接合箇所計 12 か所中 3 か所で完全な引き抜きが発生していた）、また、Sr1 試験での、試験治具による摩擦（試験機奥側の触れ止めと接触した後、途中からは柱表面が剥けるような微小破壊を伴っており、荷重が発生していたと推定される）の影響、柱材の繊維方向との角度の変化の影響等が考えられる。

### 5.5.4.3. Sr3 試験に基づく斜め木摺の一面せん断性能に関するモデル

以上より，第4章で実施した斜め木摺実験の仕様・寸法の斜め木摺に関しては，釘接合部の変形に比して木摺の長さに伴う木摺材の座屈の影響は小さく，最大耐力の推定のためには，S,Lの試験体共通の荷重変形関係をモデルとして想定可能である．

よって，試験結果のうち，降伏後に比較的安定した挙動を示し，また2,3とほぼ同等の試験結果も得られていた Sr3\_ODC\_N\_SS\_2 試験体の試験結果から，第6章の解析に適用する荷重変形関係モデルを作成するものとする．試験結果から，木摺1本当たりの荷重変形関係を作成すると以下の通りである．ただし，他試験体の結果も考慮し，変位 20mm 以降は釘が引き抜け，0とみなすものとした．

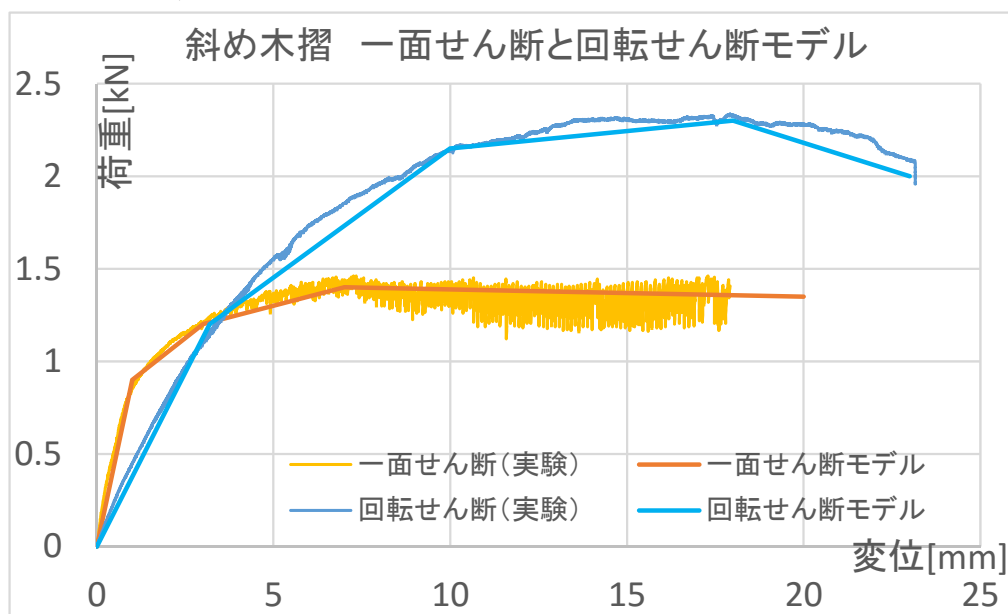


図 5-64 斜め木摺一面せん断の荷重変形関係モデル〔一接合部あたり〕

## 5.6. Sr4 漆喰の一軸圧縮試験1（第4章斜め木摺漆喰試験の漆喰）

### 5.6.1. 実験概要

本節では、第4章の実験結果において推定された木摺壁の抵抗要素のうち、木摺空きに塗り込まれた漆喰による、①斜め木摺壁引張方向での圧縮、および②斜め、水平共に漆喰層と木摺面の境界での接合部分のせん断破壊が起こっていること、を検討するため、圧縮強度および圧縮強度からの推定による最大せん断強度を把握することを目的として、一軸圧縮試験を実施した。

試験体は高さ 100mm、φ 50mm のプラモールドに入れ、温湿度管理は行わず常温状態で養生を行った。実験実施前に脱型し、不陸、収縮分を除去するため高さ 90mm まで研磨した。

・試験実施日時：2014 年 6-8 月

### 5.6.2. 漆喰の材料特性に関する既往研究

漆喰材料の材料特性に関する既往の研究として、以下のものが挙げられる。

・「漆喰壁の標準調合」、中村伸，1950（文 5-2）：下塗～上塗の5段階に対して曲げ強度（6-18kg/cm<sup>2</sup>），マルテンス硬度，亀裂発生試験を実施し，石灰，苧，砂，のりの調合比による変化を考察している。

・「漆喰の性質に及ぼす原材料の品質および調合の影響」，桑島浩恵，興石直幸，2004（文 5-3）：消石灰の種類，各種調合比（砂，ノリ，苧，水）を変化させ，フロー値，長さ変化率，曲げ強度，調湿性能等を確認。ノリの添加による強度の増加，苧の添加による脆性的曲げ破壊性状の改善が確認されている。

・「漆喰系材料の観点から考察した遺産的建築物の維持保全に関する実験的検討 その1 木摺漆喰工法を用いた天井板の非破壊・破壊試験による性能評価」，岡健太郎，田村雅紀，後藤治，2015，（文 5-4）：乾燥期間，スサの混合量，水/漆喰比の影響を曲げ試験，せん断試験によって検討した結果を報告している（Sr6 試験考察にてせん断試験結果との比較考察を行ったため詳細は 5.7.5 に記す）。



### 5.6.3. 試験方法

- ・ JIS A1108 コンクリートの圧縮強度試験法を参照．万能試験機による単純載荷試験．
- ・ 加力速度：0.5mm/min（A-1 試験体のみ）．以降は 1mm/min で実施した．
- ・ 測定方法：ロードセル(TCLP-20B)により荷重を計測．変位計（CDP-50）4箇所の変位を計測．
- ・ 最大荷重の8割に達する，または破壊した時点で計測終了とした．明確な破壊や，荷重の低下が見られない場合，変位測定が不可能になるまで載荷を継続した．

#### 5.6.3.1.1. 試験装置，計測計画

##### Sr4\_PS 計測計画（下ごすり漆喰（2010斜め木摺壁）一軸圧縮試験）

- ・ 200tf万能試験機による単調載荷（圧縮加力）
- ・ 加力速度：1 mm/min（PS\_A-1のみ0.5）
- ・ CH0：荷重 [ロードセルTCLM-50kNB]，  
CH1~4：変位 [変位計CDP-50]

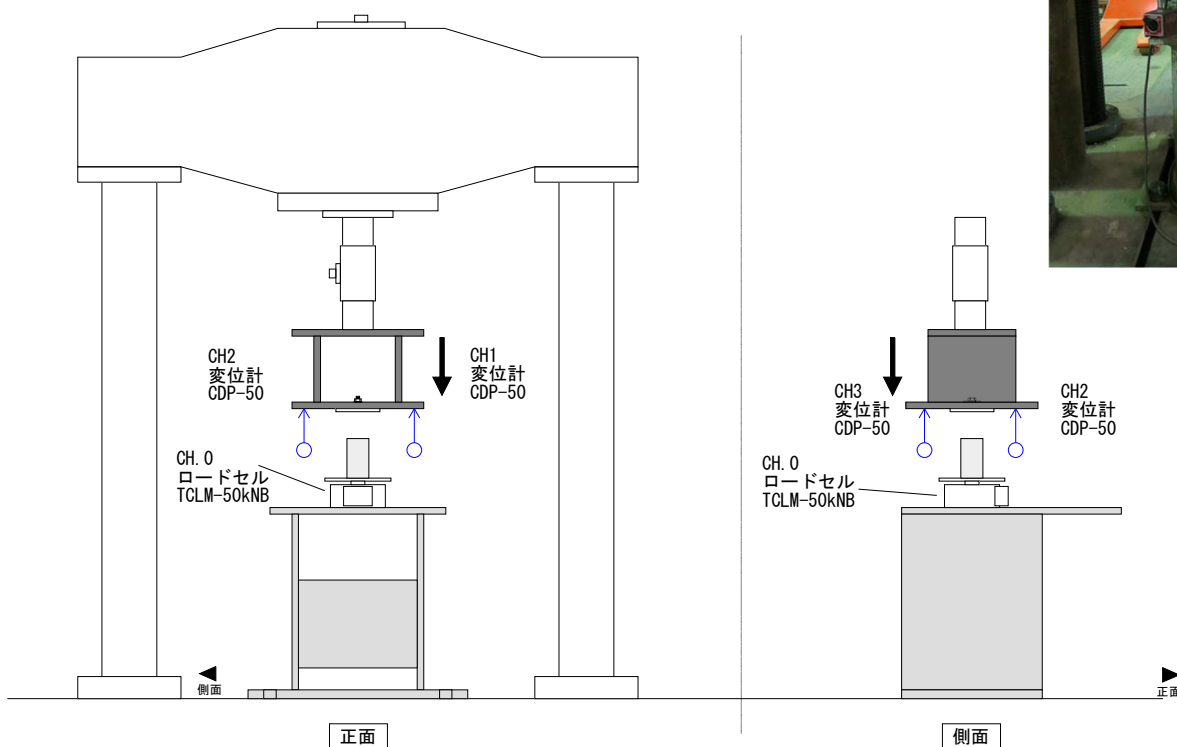


図 5-65 Sr4 漆喰一軸圧縮 1 計測計画図・正面写真

#### 5.6.4. 試験体

表 5-6 漆喰の圧縮強度試験 試験体の仕様

試験体仕様

| 塗り種類         | 試験体名称             |    | 重量<br>[g] | 高さ[mm]<br>左右平均 | 直径[mm]<br>上中下平均 | 底面積<br>mm <sup>2</sup> | 体積<br>cm <sup>3</sup> | 密度<br>g/cm <sup>3</sup> | 加力速度<br>mm/min |
|--------------|-------------------|----|-----------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| 原材料          | 生漆喰               | A  | 1         | 147            | 91.5            | 49                     | 1886                  | 173                     | 0.85           |
|              |                   |    | 2         | 144.1          | 90              | 48.8                   | 1868                  | 168                     | 0.86           |
|              |                   |    | 3         | 147.1          | 90.8            | 50.0                   | 1962                  | 178                     | 0.83           |
| 下塗り          | 生漆喰:砂<br>10:1     | 平均 |           | 146.1          | 90.8            | 49.3                   | 1905.2                | 172.9                   | 0.84           |
|              |                   |    | 1         | 190.1          | 96              | 47.5                   | 1774                  | 170                     | 1.12           |
|              |                   |    | 2         | 190.3          | 89.65           | 47.9                   | 1801                  | 161                     | 1.18           |
|              |                   |    | 3         | 192.6          | 90.5            | 46.7                   | 1714                  | 155                     | 1.24           |
|              |                   |    | 平均        | 191.0          | 92.1            | 47.4                   | 1762.9                | 162.3                   | 1.18           |
| 下塗り,<br>下塗り伏 | 生漆喰:砂<br>5:5      | C  | 1         | 236.1          | 90              | 47.0                   | 1734                  | 156                     | 1.51           |
|              |                   |    | 2         | 236.4          | 91.05           | 48.3                   | 1828                  | 166                     | 1.42           |
|              |                   |    | 3         | 235.1          | 90.1            | 48.3                   | 1829                  | 165                     | 1.43           |
|              |                   | 平均 |           | 235.9          | 90.4            | 47.8                   | 1797.3                | 162.5                   | 1.45           |
| 中塗り1,2       | 生漆喰:砂<br>5:5 + 石灰 | D  | 1         | 263.8          | 91.475          | 49.3                   | 1909                  | 175                     | 1.51           |
|              |                   |    | 2         | 266.1          | 90.6            | 48.9                   | 1879                  | 170                     | 1.56           |
|              |                   |    | 3         | 270.7          | 91.15           | 48.3                   | 1834                  | 167                     | 1.62           |
| 上塗り          | 下付                | 平均 |           | 266.9          | 91.1            | 48.8                   | 1873.9                | 170.7                   | 1.56           |
|              |                   | E  | 1         | 162.5          | 91.725          | 47.2                   | 1747                  | 160                     | 1.01           |
|              |                   |    | 2         | 158.6          | 91.7            | 47.2                   | 1749                  | 160                     | 0.99           |
|              |                   |    | 3         | 158.8          | 90.95           | 46.9                   | 1728                  | 157                     | 1.01           |
|              | 上付                | 平均 |           | 160.0          | 91.5            | 47.1                   | 1740.9                | 159.2                   | 1.00           |
|              |                   | F  | 1         | 174.2          | 91.15           | 46.1                   | 1670                  | 152                     | 1.14           |
|              |                   |    | 2         | 169.2          | 92.125          | 47.3                   | 1753                  | 162                     | 1.05           |
|              |                   |    | 3         | 172.7          | 92.2            | 46.1                   | 1670                  | 154                     | 1.12           |



図 5-66 対象試験体の例 (A 試験体)

本実験の試験体の試験体の調合比を以下に示す（第4章斜め木摺実験の項と同様）。本調合において、「ツノマタ」は既にツノマタ海藻を煮た糊状になっていたため、水分含有量等の比率は明らかではない。

表 5-7 斜め木摺漆喰実験の漆喰調合比

左官塗り 材料比と塗り厚

| 塗り種類 |       | 塗り厚(木摺上) | 漆喰      |         |         |        | 砂(それぞれの漆喰との体積比) |
|------|-------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------------|
|      |       |          | 消石灰(kg) | ツノマタ(g) | 白毛スサ(g) | 晒スサ(g) |                 |
| 原材料  | 生漆喰   |          | 20      | 1200    | 800     | 0      | 0               |
| 下塗り  | 木摺伏せ  | 2mm      | 20      | 1200    | 800     | 0      | 10:1            |
|      | 下塗り   | 3mm      | 20      | 1200    | 800     | 0      | 6:4             |
| 中塗り  | 下げ苧伏せ | 3mm      | 20      | 700     | 700     | 0      | 6:4             |
|      | 中塗り1  | 6mm      | 20      | 700     | 700     | 0      | 5:5             |
|      | 中塗り2  | 3mm      | 20      | 700     | 700     | 0      | 5:5             |
| 上塗り  | 下付け   | 1mm      | 20      | 1000    | 0       | 600    | 0               |
|      | 上付け   | 1mm      | 20      | 600     | 0       | 600    | 0               |

漆喰材料と、実大試験体の層構成の対応を以下の図に示す。試験体 A の生漆喰は、調合の基本となる材料であるが、斜め木摺試験体では直接木摺伏せに施工はしていない。なお、真壁水平木摺試験体では、モデルとした建築の仕様と同様に、生漆喰を下ごすり（木摺伏）に施工した。第3章で言及したように、既往の建築の漆喰調合においては、下ごすりには砂漆喰を施すもの、生漆喰を施すものの両方が存在していた。

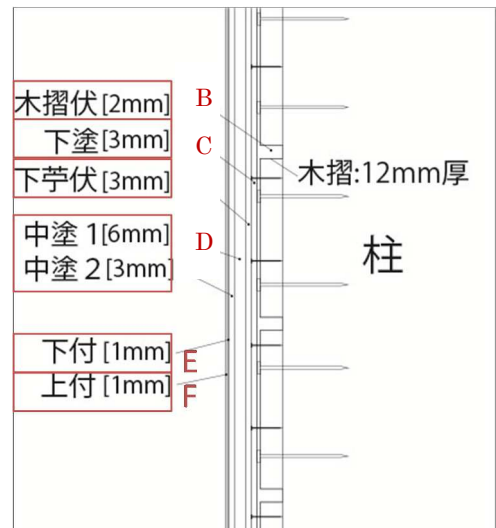


図 5-67 斜め木摺試験体の漆喰層の層構成と実験番号の対応

### 5.6.5. 実験結果〔初期滑り補正後〕

#### 5.6.5.1. Sr4\_A：生漆喰；生漆喰と苧による

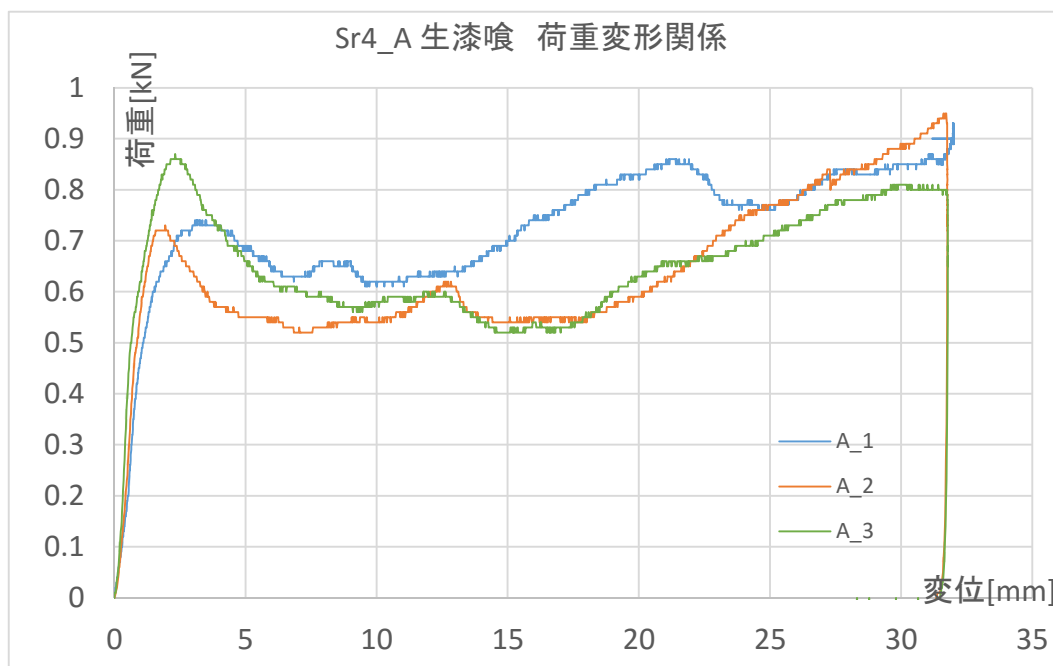


図 5-68 Sr4\_A 生漆喰の荷重変位関係

最大応力度  $\sigma = P_{\max}/A$  [N/mm<sup>2</sup>]

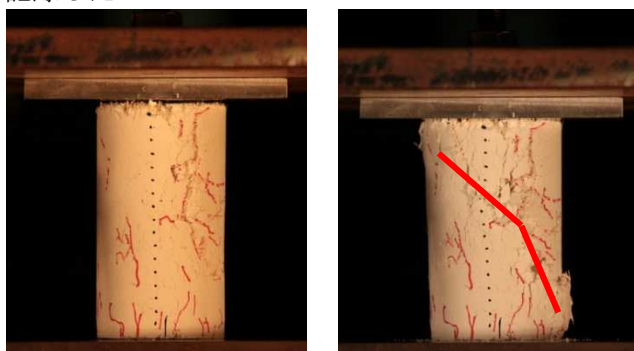
A\_1 : 0.38 , A\_2 : 0.39, A\_3 : 0.44

・破壊の進行

・2～4mm で降伏し、ピーク値を記録. その後、耐力が8割程度まで低下した後、更に耐力が上昇する傾向がある. 試験体1以外では、最初の降伏後のピークが最大耐力となった. セン断破壊に近い、斜め亀裂での破壊に至った.

・一つ目のピークの最大耐力は 0.72-0.86kN 程度までばらつきがあるが、第1勾配の剛性はおおむね等しい。

・最大耐力：最初のピークで 0.72, 0.74, 0.86[kN]. 試験体1のみ、22mm で最大 0.86kN を記録した.



A\_2 試験体 変位 0mm      A\_2 試験体 変位 6mm

図 5-69 Sr4\_A 破壊の進行の例

### 5.6.5.2. Sr4\_B 1層目：下ごすり1層目

- ・組成は、生漆喰：砂=10:1（体積比）

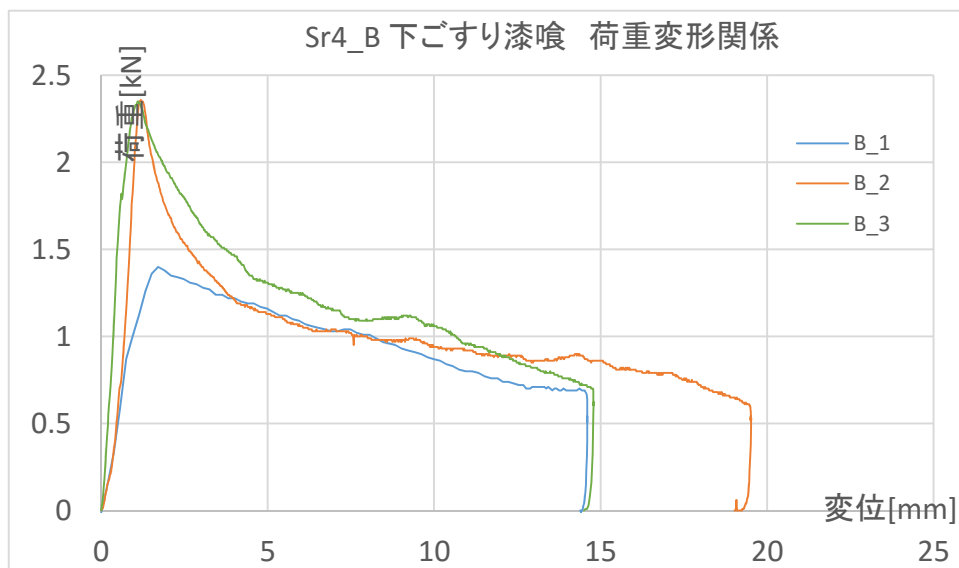


図 5-70 Sr4\_B 下ごすり漆喰の荷重変位関係

- ・最大応力度  $\sigma = P_{\max}/A$  [N/m<sup>2</sup>]

下塗\_2：1.31，下塗\_3：1.37

B：生漆喰に体積比で 1/10 程度川砂を混ぜたもの。木摺伏せに用いられる。A より剛性が高いことが予想される。木摺空きに入り、耐力を発揮すると想定される。

・破壊の進行：加力開始後、下部が膨らみ、最大値を記録した後、中央に亀裂が入り、急激な耐力低下を記録した。

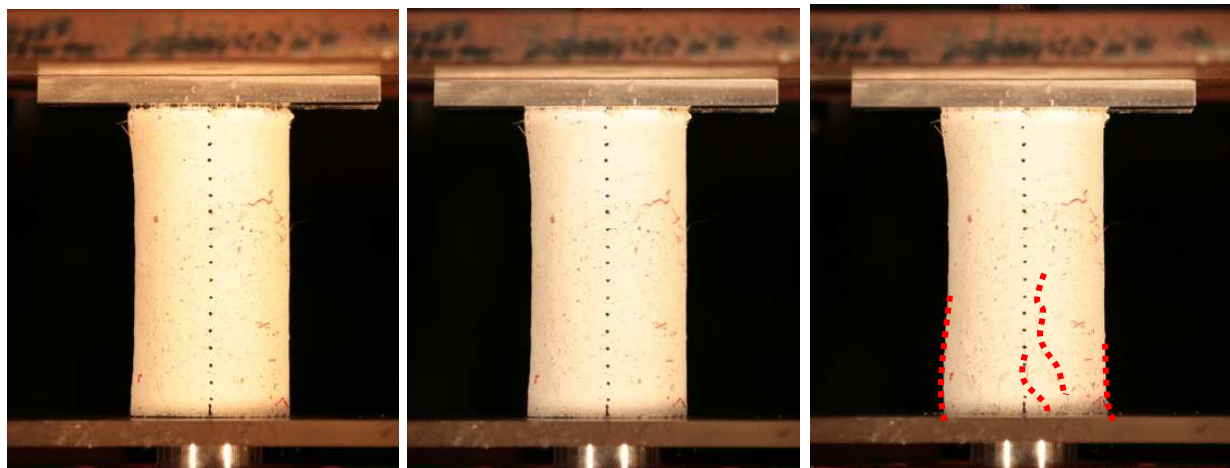
- ・B1は加力速度を 10mm/min としたため、早期破壊している。

・除く B2、3 に関しては、初期の立ち上がりにやや差が見られるものの、最大耐力は 2.3kN 程度でほぼ一致し、剛性もおおむね同等であった。

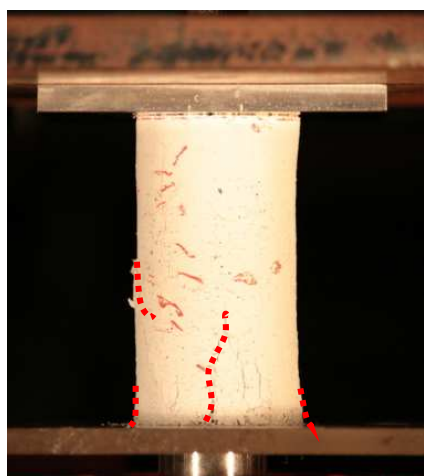
・破壊性状としては、中心部での亀裂により剛性が低下した後、加担から圧壊が進むにつれて耐力が緩やかに低下した。試験体の崩壊を避けるため 15-20mm 程度で実験を中止したが、耐力は 1kN 程度で長く安定した。



- ・破壊の進行：中央に亀裂が入り，下部が圧潰するかたちで破壊に至る．最大耐力は，中央亀裂が入る付近で記録された．
- ・最大耐力：1.5mm 前後で記録．値は，B\_2, B\_3 とともに約 2.3kN 程度．
- ・初期剛性：B\_2, B\_3 でやや異なる．B\_3 の初期の勾配がゆるいのは試験体の上部傾斜が影響している可能性が考えられる．



下ごすり\_2：変位 0mm，変位 1.2mm (Pmax)，変位 3mm



下ごすり\_3：変位 3mm

図 5-71 Sr4\_ 破壊の進行の例

### 5.6.5.3. Sr4\_C 2, 3層目：下塗り，下葎伏せ

・組成：生漆喰：砂＝6:4（体積比）

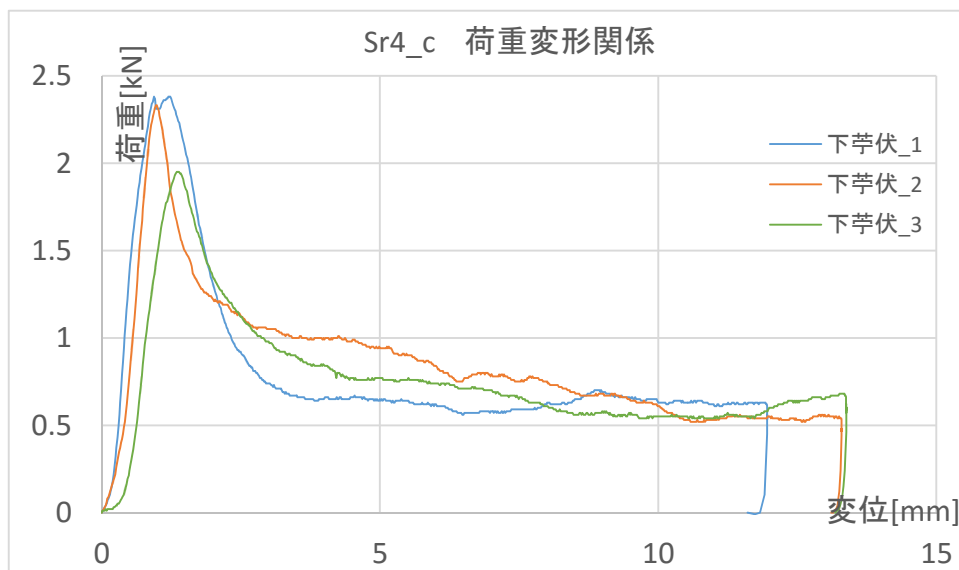


図 5-72 Sr4\_C 下塗り・下葎伏せ漆喰の荷重変位関係

・試験結果

最大応力度  $\sigma = P_{\max}/A$  [N/m<sup>2</sup>]

下葎伏せ\_1：1.37，下葎伏せ\_2：1.27，下葎伏せ\_3：1.07

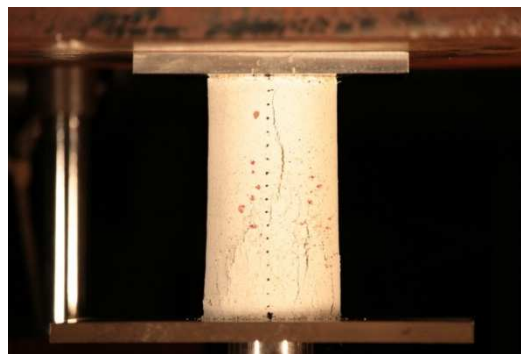
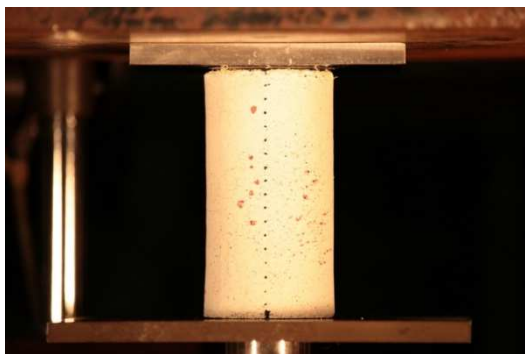
・破壊の進行：中央亀裂が入り，人字型に下部から圧潰．下ごすりと類似した破壊性状を示した．

・1，2は共に0.9－1.5mm変位時に最大耐力を記録した．その後，耐力は25-50%程度低下した．3も破壊の進行は同様であるが，最大耐力は7割程度であった．

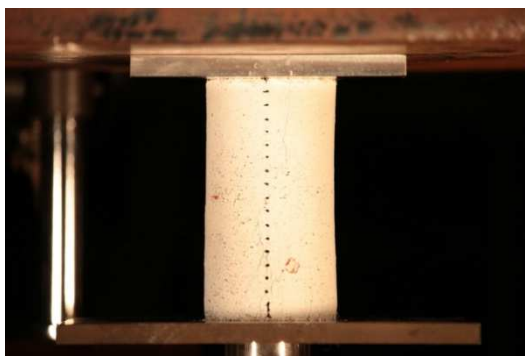
・結果として、剛性、最大耐力ともに下ごすり試験体とほぼ同等となった。

・初期のすべりを除去すると，変位約2mmで荷重約2.3kNに達し、荷重が低下した後、0.6-1kNの範囲では耐力は安定した。また，破壊性状の傾向も同様であった。下葎伏せ\_3の耐力がやや小さいことに関しては破壊性状と比較する形で検討する必要がある。

- ・破壊の進行：中央亀裂が入り，人字型に下部から圧潰．B と類似した破壊性状を示した．
- ・最大耐力：C\_1, C\_2 は共に 2.3kN 程度を，1.5－1.8mm 変位時に記録．その後，耐力は 25-50%程度低下するが，その後は耐力上昇・低下は極端に見られない．なお，C\_2 も破壊の進行は同様であるが，最大耐力は 7 割程度であった．
- ・初期剛性：C\_3 には初期のがたが見られるが，C\_1, C\_2 はほぼ同等．



下葎伏\_1 変位 0mm      下葎伏\_1 変位 3mm



下塗り\_3 変位 4mm

図 5-73 Sr4\_C 破壊の進行の例

#### 5.6.5.4. Sr4\_D 4・5層目：中塗

組成：漆喰（糊・苧が 1/2）：砂=5：5＋石灰（体積比）

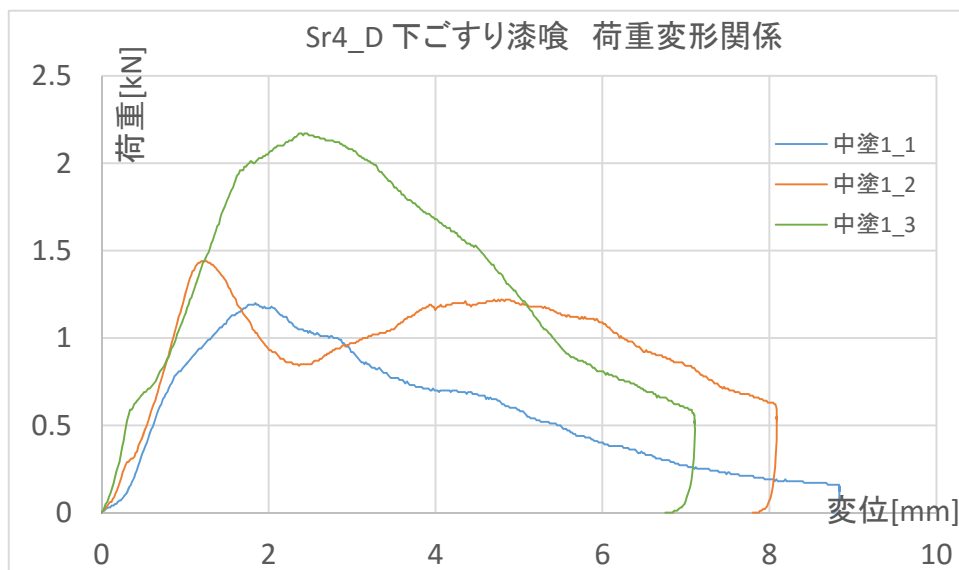


図 5-74 Sr4\_D 中塗り漆喰の荷重変位関係

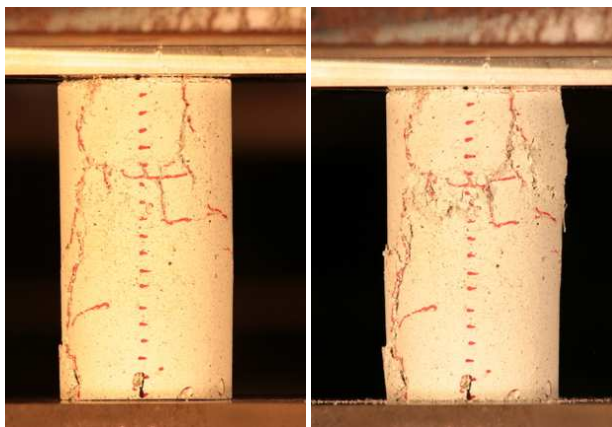
・実験結果

・最大応力度  $\sigma = P_{\max}/A$  [N/mm<sup>2</sup>]

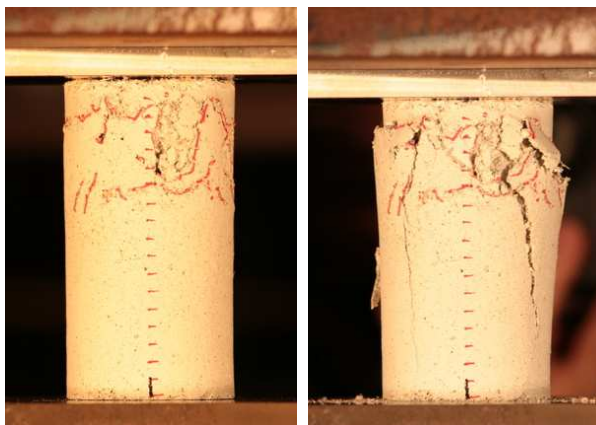
中塗 1\_1 : 0.63 , 中塗 1\_2 : 0.77, 中塗 1\_3 : 1.07

・破壊性状：3体とも，上部が初期に潰れ，下部へ亀裂が進展する形で破壊した．剛性，最大耐力ともにばらつきが大きい．ただし，比較的クラックの少なかった中塗\_3 では，下葎伏に近い 2.2kN 程度の最大耐力を示した．

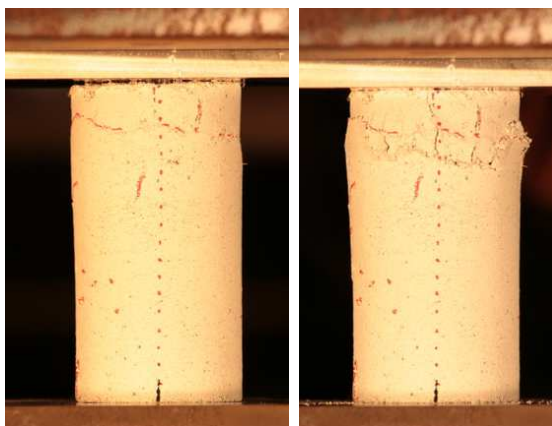
・破壊性状：3体とも，上部が初期に潰れ，下部へ亀裂が進展する形で破壊した．剛性，最大耐力ともにばらつきが大きい．ただし，比較的クラックの少なかった D\_3 では，C シリーズに近い 2.2kN 程度の最大耐力を示した．



中塗\_1 : 0mm 中塗り 1:3mm



中塗\_2 : 0mm 中塗り\_2 : 4mm



中塗\_3 : 0mm 中塗り\_3 : 2.4mm

図 5-75 Sr4\_D 試験 破壊の進行の例



#### 5.6.5.5. Sr4\_E, F 6, 7層目：下付, 上付

E：上塗り1層目；生漆喰にさらし苧を入れたもの。

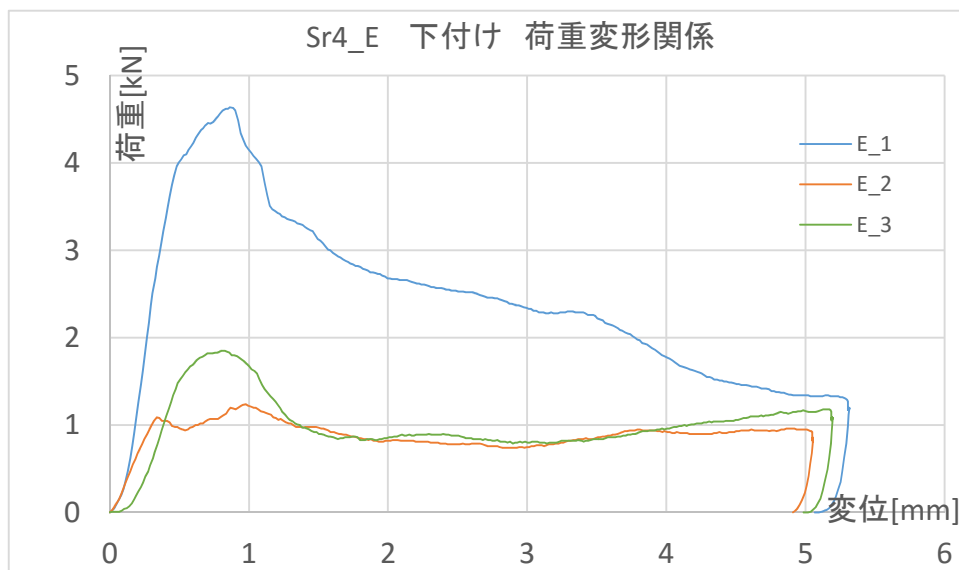


図 5-76 Sr4\_E 試験 下付の荷重変位関係

F：上塗り2層目；生漆喰にさらし苧を入れたもの。

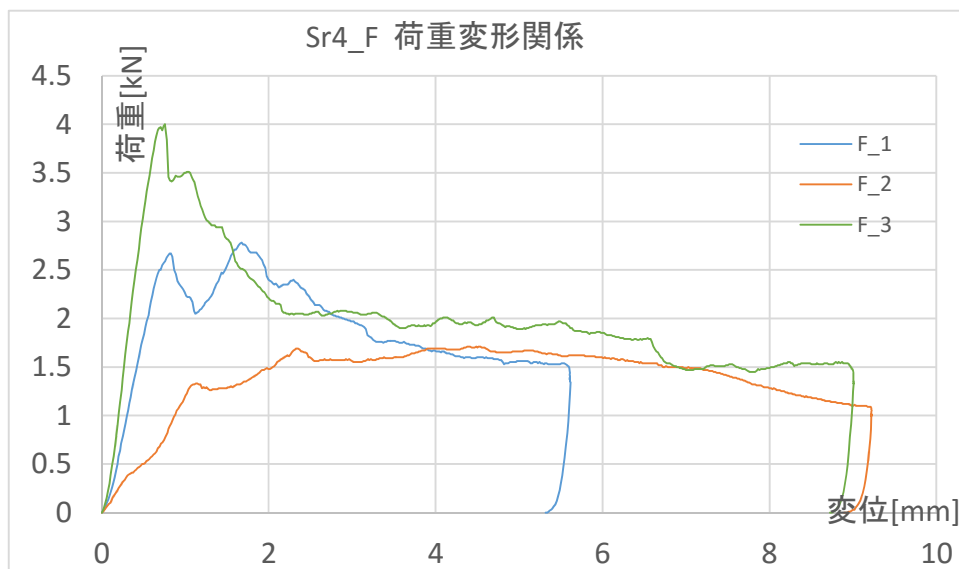


図 5-77 Sr4F 試験 上付の荷重変位関係

組成…砂なし（体積比），スサはさらしスサを使用

最大応力度  $\sigma = P_{\max}/A$  [N/m<sup>2</sup>]

下付\_1：2.66，下付\_2：0.71

下付\_3：1.07

上付\_1：1.66，上付\_2：0.98，上付\_3：2.39

・両シリーズとも，乾燥収縮による試験体の不陸，くぼみ，亀裂等が激しかった。

- ・破壊性状は縦亀裂の発生後，上部が開く形で破壊に至るものが多数．
- ・同材料を使用しているため，荷重変形関係も類似していると予想したが，両シリーズともばらつきが大きい．
- ・ただし最大耐力はすべて 1kN を超えており，剛性と共に高い値を示した．
- ・E, F 試験体とも，乾燥収縮による試験体の不陸，くぼみ，亀裂等が見られた．破壊性状は多く縦亀裂の発生後，上部が開く形で破壊に至る．
- ・E, F はほぼ同じ材料を使用しているため，荷重変形関係も類似していると予想していたが，両シリーズともばらつきが大きい．乾燥収縮の影響が大きく，試験体の初期不良が大きかったと推定される．

以下は，E,F のグラフを重ねたもの．

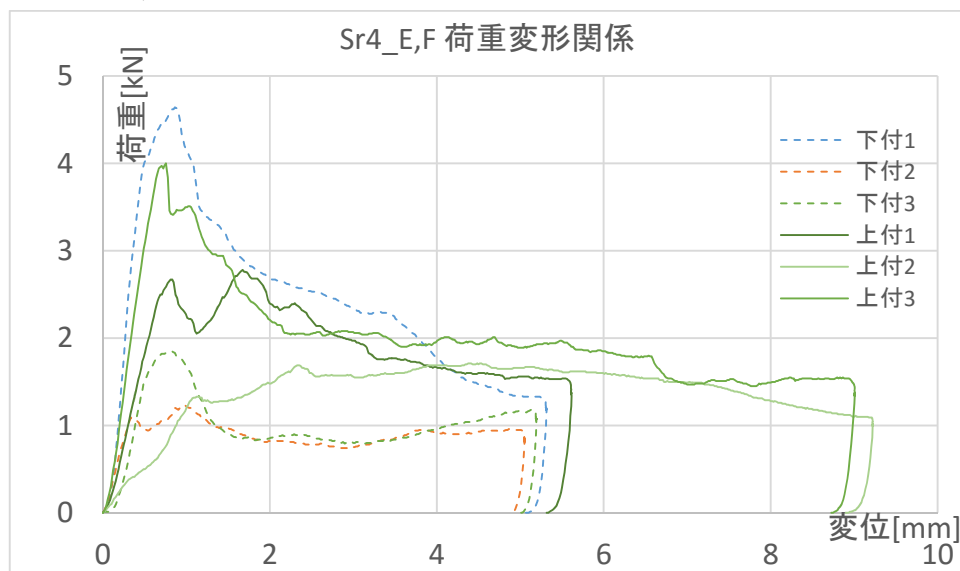
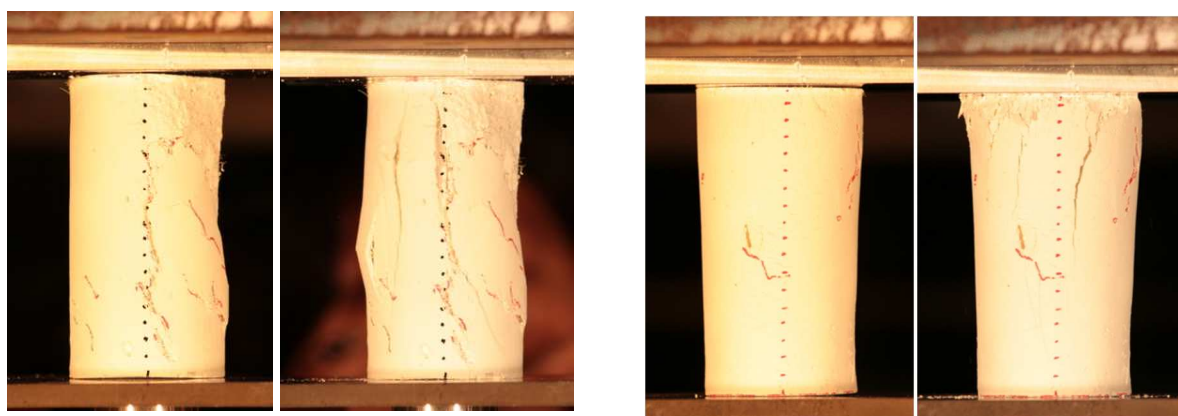


図 5-78 Sr4 E,F 試験結果



上付\_1 : 0mm      上付\_1 : 2mm

下付\_1 : 0mm

下付\_1 : 1.2mm

図 5-79 Sr4 E,F 試験体の破壊の進行

### 5.6.6. 漆喰の圧縮強度試験 まとめ

以下に漆喰の圧縮強度試験の結果（各試験平均値）をまとめた（ばらつきの大きかった EF 試験を除く）。なお、最大せん断応力度  $\tau$  は、今回のような一軸圧縮試験は、最大圧縮応力度  $\sigma$  の 1/2 とみなし（非圧密非排水試験でのせん断強さは側方応力によらず一定）<sup>2</sup>、算出した。

➤最大圧縮応力度  $\sigma$  [N/mm<sup>2</sup>]の比較

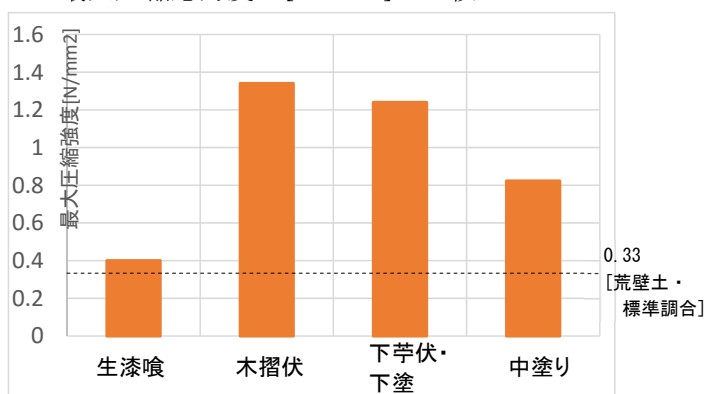


図 5-80 漆喰圧縮強度試験 各試験体最大圧縮応力度

・使用した各漆喰材料における、生漆喰：砂の体積比は、木摺伏 10:1、下塗り・下苧伏せ 6:4、中塗り 5:5 である。

・最大圧縮応力度  $\sigma$  [N/mm<sup>2</sup>]を比較すると、生漆喰が 0.4N/mm<sup>2</sup>と最も小さい結果となった。砂を混ぜた木摺伏せ以上では圧縮強度は生漆喰の 2 倍以上となっており、木摺伏せが最も高く 1.35N/mm<sup>2</sup>を記録した。下苧伏せ、中塗りは木摺伏の 5 倍程度砂が混和されているが、初期不良試験体を除いても応力度は同程度以下であった。

➤最大せん断応力度  $\tau$  の比較

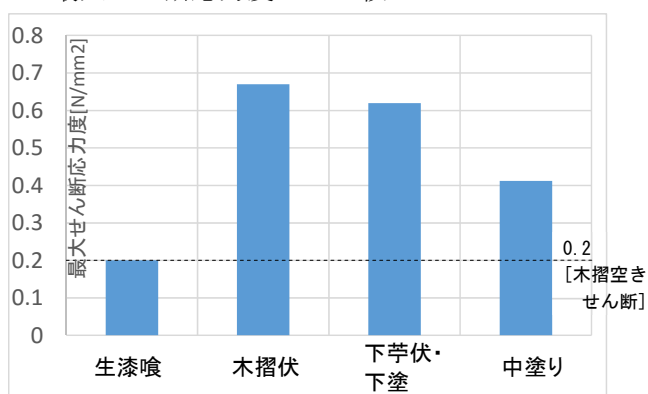


図 5-81 最大せん断応力度  $\tau$  [N/mm<sup>2</sup>]ただし  $\tau=1/2 \sigma$  とした。黒線は既往研究で示された水平木摺漆喰のせん断応力度（ただし筆者読み取りによる）

・木摺伏（木摺空き）の最大せん断応力度の推定値[0.2N/mm<sup>2</sup>]

→既往の漆喰壁－水平木摺のせん断実験結果（0.2N/mm<sup>2</sup>）<sup>3</sup>とほぼ同等であった。

<sup>2</sup> 『土質試験 基本と手引き 第二回改訂版』, pp155, 地盤工学会, 丸善出版, 2012 第 3 刷

<sup>3</sup> 『漆喰天井における喰いつきに関する研究』, 富岡備平, 2015 年度東京大学大学院修士論文

## 5.7. Sr5 漆喰の一面せん断試験

### 5.7.1. 実験概要

本節では、木摺空きに食い込んだ漆喰と、木摺上の漆喰層の境界部分で発生すると想定される、漆喰のせん断破壊に伴う構造性能を把握するため、下ごすり（木摺伏）の調合の漆喰（ただし 2015 馬場邸実験の仕様）の 1 面せん断実験を実施した。

#### 5.7.1.1.1. 試験体

試験体は、旧馬場邸実験の下塗りに用いた漆喰を施工中に採取し、40\*40\*300mm の箱内で成形した同一の材料試験体から切り出した。乾燥期間は 2015 9/14-3/10 の 178 日間である。温湿度管理は実施せず、外気温と同等の状態で乾燥を行った。試験実施前に 30\*30\*40mm から 10 mm の切り欠きを作ったいす型の一面せん断試験体 7 体を作成した。

#### 5.7.1.1.2. 試験装置

- ・加力は 200t 万能試験機により、0.5mm/min で単調載荷。
- ・ロードセル：TCLZ-10kN，変位計：CDP 25×2（共に東京測器）を使用した。

### 5.7.2. 試験体仕様

表 5-8 試験体仕様

|      | W    | B    | H    | H'   | せん断面積           | 体積              | 重量   | 比重   |
|------|------|------|------|------|-----------------|-----------------|------|------|
| unit | mm   | mm   | mm   | mm   | mm <sup>2</sup> | cm <sup>3</sup> | g    | -    |
| PS1  | 40   | 30   | 27   | 20   | 600             | 30.3            | 28.4 | 0.94 |
| PS2  | 39   | 30   | 28   | 20   | 600             | 30.4            | 27.6 | 0.91 |
| PS3  | 40   | 29   | 26   | 18   | 522             | 28.3            | 26.7 | 0.94 |
| PS4  | 40   | 30   | 29   | 20   | 600             | 32.1            | 30.7 | 0.96 |
| PS5  | 39   | 29   | 30   | 20   | 580             | 31.0            | 28.1 | 0.91 |
| PS6  | 38   | 30   | 28   | 19   | 570             | 29.0            | 27.6 | 0.95 |
| PS7  | 38   | 32   | 29   | 19   | 608             | 32.7            | 30.7 | 0.94 |
| 平均値  | 39.1 | 30.0 | 28.1 | 19.4 | 583             | 30.5            | 28.5 | 0.93 |

・試験に使用したのは、木摺漆喰の漆喰塗り1層目(下ごすり)に使用される生漆喰である。

・生漆喰の調合：消石灰+ツタ合わせ+水（バケツ1杯弱〔10L〕）

①ツタ合わせ（ツノマタ糊に苧，消石灰少量を加えたもの）：柄杓（0.3L）10~20杯

・ツノマタ糊…ツノマタ（海藻）3kg+バケツ（13L/杯）3杯で煮て，濾す。

②消石灰 20kg（駒形石灰工業製 上灰）：1袋

③苧…麻サラシ苧（短切 1.5cm）：800g 2袋 ※通常下塗は麻シラガ苧だが，参考建物と同仕様  
よって，調合は石灰：ツタ合わせ = 20kg：3~6kg = 6:1~3:1（重量比）と推定される。


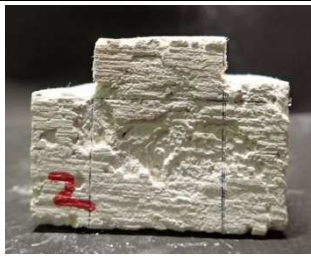






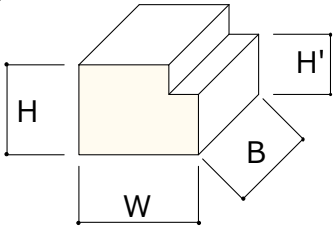
|   |   |   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| PS1   | PS2   | PS3   |
|  |  |  |
| PS4   | PS5   | PS6   |
|  |  |  |
| PS7   | 試験体製作状況   | 試験体寸法の凡例  |

図 5-82 加力前 試験体一覧



### 5.7.3. 計測計画

#### Sr5\_PS 計測計画（下ごすり漆喰（2015真壁）1面せん断試験）

- ・ 200tf万能試験機による単調載荷（圧縮加力）
- ・ 加力速度：0.5mm/min
- ・ CH0：荷重 [ロードセルTCLZ-10kNA],  
CH1,2：変位 [変位計CDP-25]

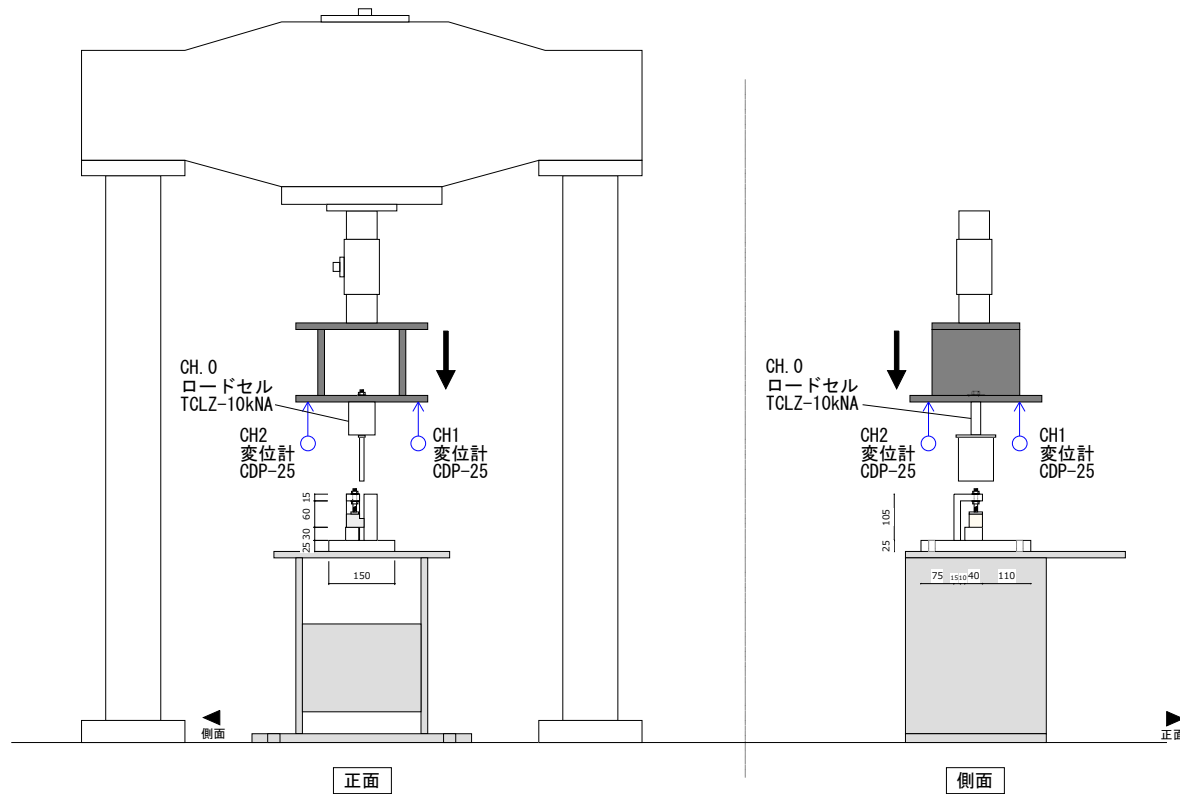
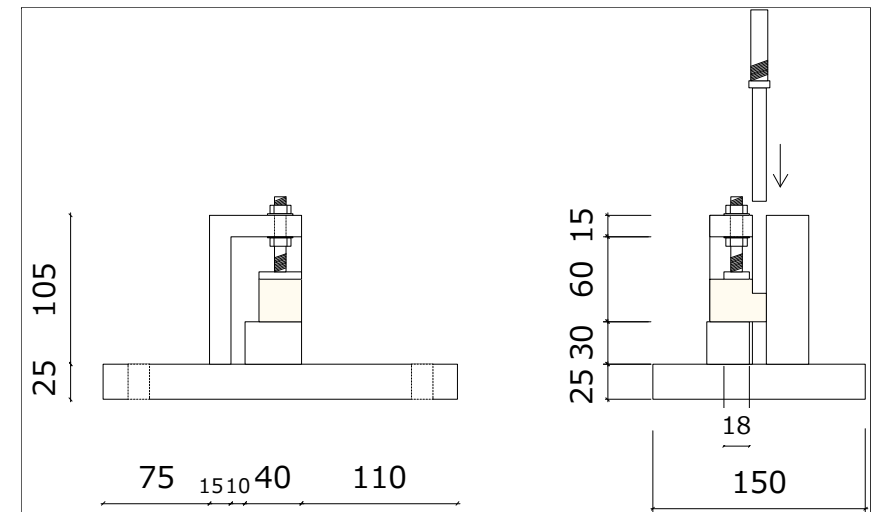
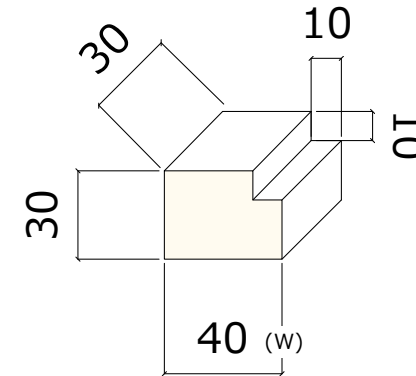


図 5-83 Sr5 漆喰一面せん断 計測計画，試験体詳細（計画寸法）



#### 5.7.4. 試験結果

##### 5.7.4.1. 荷重変位関係

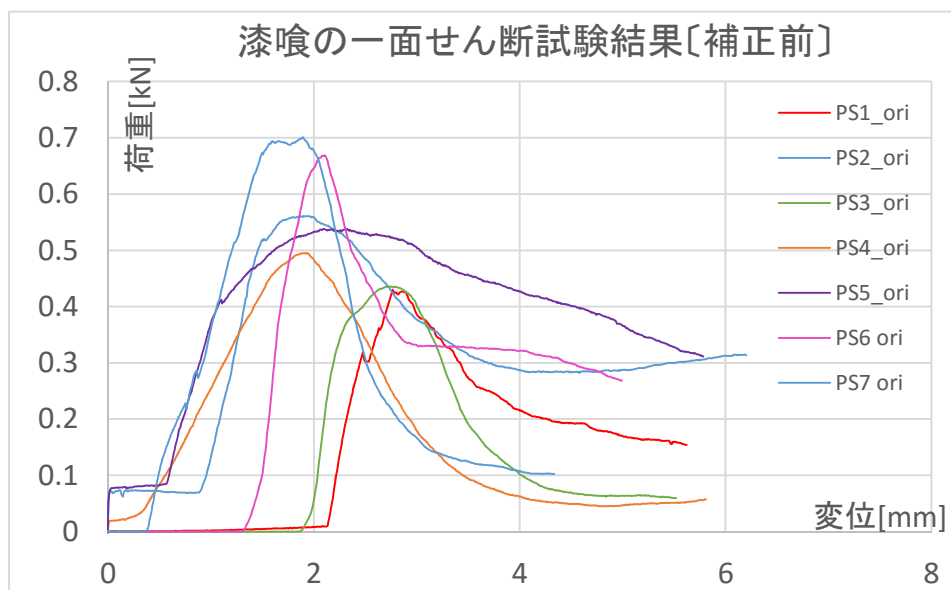


図 5-84 試験結果 荷重変位関係（初期すべりを含む）

初期すべり（載荷板の接触までの距離），および試験体 2,4,5 で見られた摩擦の影響を除いた補正値を以下に示す．また荷重をせん断面積（各試験体における  $B \times H'$ ）で除し，せん断応力度とした．

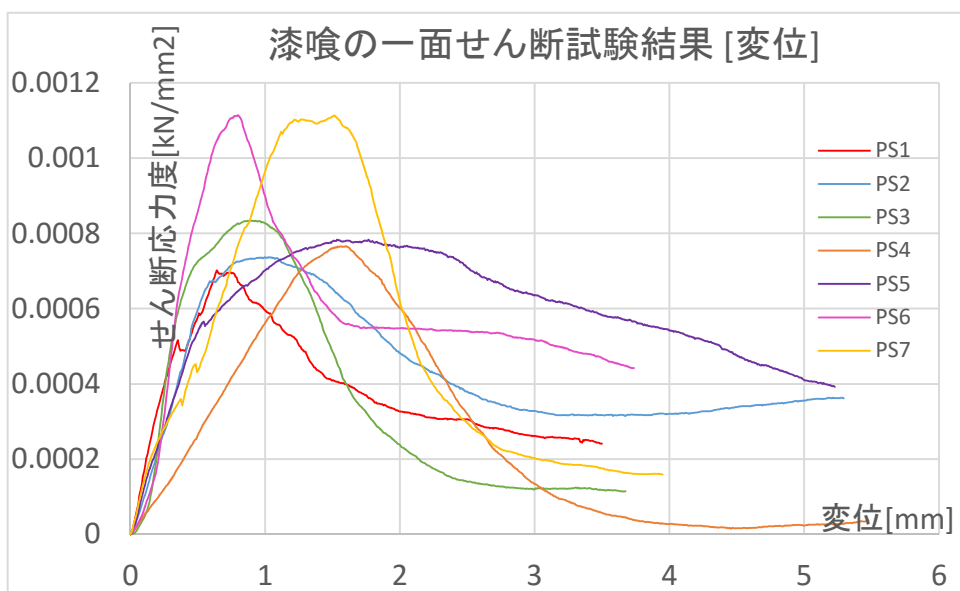


図 5-85 せん断応力度－変位関係（初期滑り，初期の摩擦をカット）

最大せん断応力度は，約 0.0007～0.0012 ( $\text{kN/mm}^2$ )であった．PS4 以外は，初期剛性は比較的一致している．また，最大耐力記録後の剛性低下は，漆喰試験体のつぶれの影響などにより，ばらつきが大きい．

表 5-9 試験結果 最大せん断力  $P_{max}$ , 最大せん断応力度  $\tau_{max}$

|      | $P_{max}$ | せん断面積           | $\tau_{max}$       | $P_{max}$ 時 変位 | $P_{max}$ せん断ひずみ角 |
|------|-----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
| unit | kN        | mm <sup>2</sup> | kN/mm <sup>2</sup> | mm             | rad.              |
| PS1  | 0.421     | 600             | 7.0.E-04           | 0.64           | 0.32              |
| PS2  | 0.486     | 600             | 8.1.E-04           | 1.00           | 0.50              |
| PS3  | 0.435     | 522             | 8.3.E-04           | 0.88           | 0.44              |
| PS4  | 0.460     | 600             | 7.7.E-04           | 1.60           | 0.80              |
| PS5  | 0.454     | 580             | 7.8.E-04           | 1.54           | 0.77              |
| PS6  | 0.669     | 570             | 1.2.E-03           | 0.80           | 0.40              |
| PS7  | 0.698     | 608             | 1.1.E-03           | 1.52           | 0.76              |
| 平均値  | 0.518     | 583             | 8.9.E-04           | 1.14           | 0.57              |

5.7.4.1.1. 加力終了後

|   |   |  |
|---|---|--|
|   |   |   |
| PS1 加力終了後   | PS2 加力終了後   | PS3 加力終了後  |
|  |  |  |
| PS4 加力終了後   | PS5 加力終了後   | PS6 加力終了後  |
|  |   |  |
| PS7 加力終了後   |   |  |

図 5-86 加力終了後試験体

### 5.7.5. 実験結果の考察

本節で実施した一面せん断試験結果により，最大せん断応力度が把握できたと考えられるが，実験時のひずみ量は，ひずみゲージ等による直接計測が困難であったため，以下の2つの仮定によってひずみ量を検討した．第6章の解析モデルにおいて，この違いによる影響について考察を行うものとする．

#### 5.7.5.1. せん断ひずみ $\gamma$ による評価

本節の一面せん断試験は JIS 規定の実験方法に準拠している．試験体を押さえ込む鉄製のブロック台は，漆喰せん断面から 2mm の空きを取っている．この試験では，この部分がせん断変形を受けたものと考えられるため，せん断ひずみは，計測された変位量を  $d$  とすれば， $d/2$  で表される．次頁にこのせん断ひずみ $\gamma$ を横軸に取った応力度—ひずみ関係のグラフを示した．

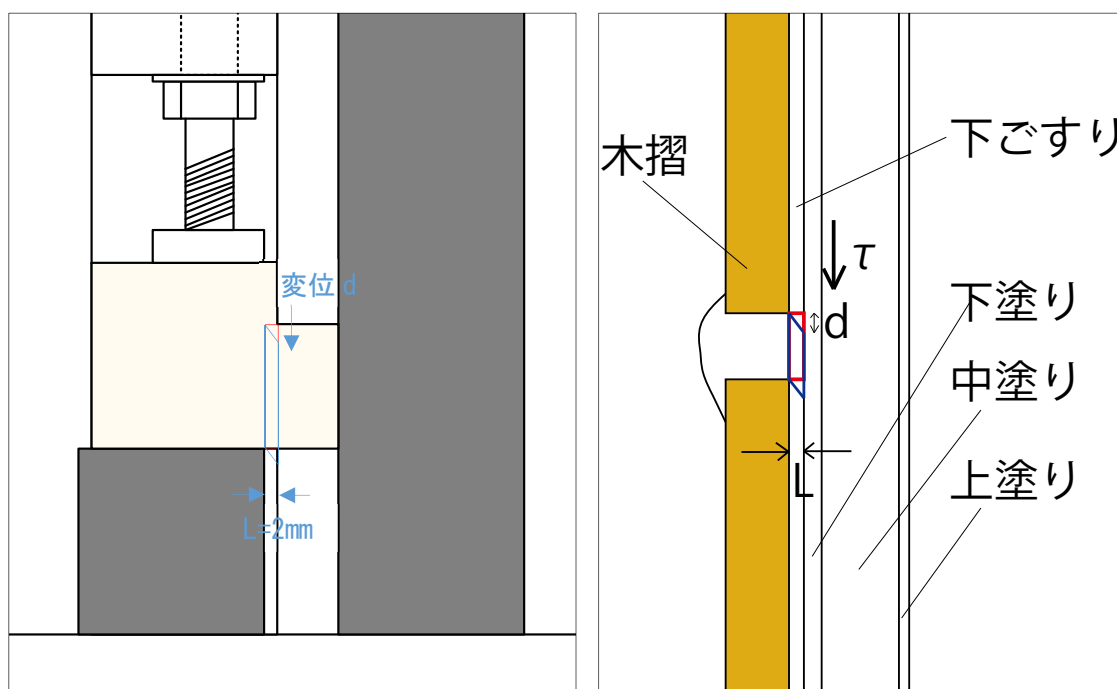


図 5-87 一面せん断試験結果の評価 せん断ひずみ $\gamma=d/L$

実際の木摺漆喰壁面内におけるせん断は木摺の表面に近い箇所で発生していると推定される．加えて下塗りと木摺空きへの食い込みの漆喰は一体となっているため，木摺空き部分の漆喰の固定度が十分であれば，この部分（塗り厚  $L$ ）がせん断変形を受けているものと推定される（上右図）．

この場合，木摺空きの大小は，せん断力の最大値に影響を与えるが，破壊に至る変位には影響が小さいと考えられる．

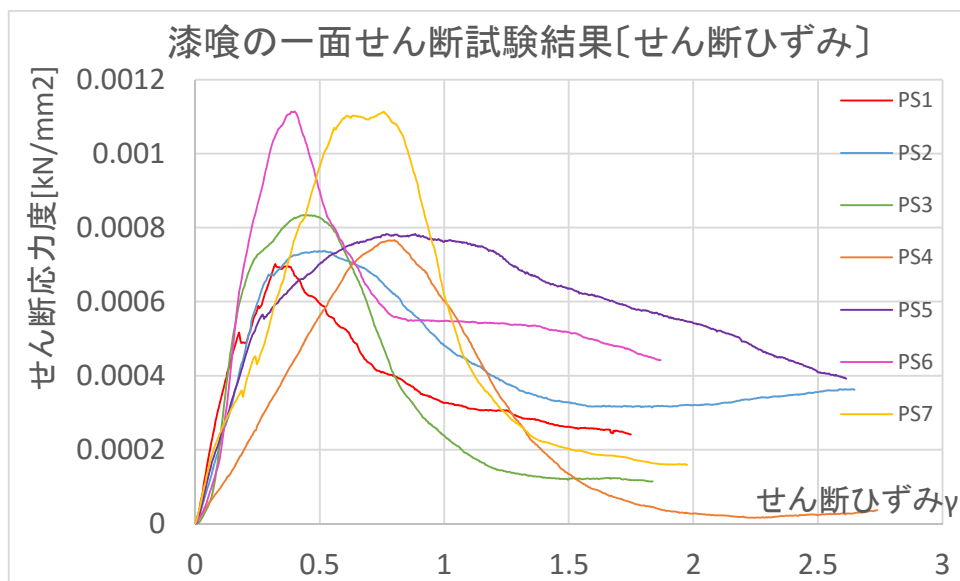


図 5-88 試験結果〔せん断ひずみ  $\gamma$  に対する〕

この方法でみると，最大応力度に達するせん断ひずみは約 0.4~0.75 である．

#### 5.7.5.2. せん断部分の長さ $H'$ に比例するとした場合

下図は，ひずみ量を，変位/せん断部分長さ ( $\delta/H'$ ) とした場合の結果である．この場合，0.04-0.075 のひずみ量で最大応力度に達する．木摺空きにおける漆喰のせん断挙動に関しては不明な点があるため，この方法による変位量の評価も併せて第6章の解析で検討することとする．

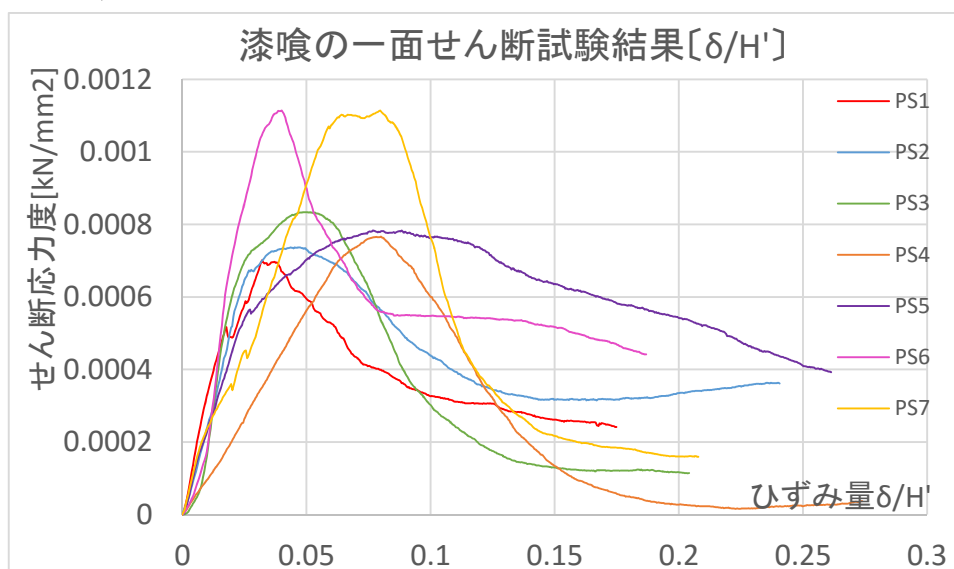


図 5-89 試験結果〔せん断部分長さに比例とした場合〕



### 5.7.5.3. 漆喰のせん断性能に関する既往研究との比較

漆喰のせん断性能に関する近年の研究として、岡らによる研究<sup>4</sup>が挙げられる（下図）。岡らは、気温 20° 湿度 60%状態における材齢 24 日の漆喰のせん断試験を実施している。試験体は断面 40\*40mm すさ、砂の含有量を変化させ、調合は①水/消石灰の質量比(75%,90%), ②すさ/体積（わらすさ, 0,2,4,7%），③砂/体積（0,20,40,13,26,39%）としている。

まず、養生中の CO<sub>2</sub> 濃度を変化させた場合に関して検討を加えており（下右図）、14 日間の 5%濃度 CO<sub>2</sub> 環境下での促進養生（大気中約 4.8 年に相当）により、せん断応力度にして約 7 倍（筆者グラフ読み取りによる）の強度上昇が見られることを報告している。

次に、上述の調合比を変化させた漆喰のせん断試験を実施した結果（下左図）として、すさの含有量に関しては、すさの増加に伴ってせん断応力度、破壊エネルギー共に上昇が確認されている。ただし、同一の調合であっても砂を含有させた場合は最大応力、破壊エネルギーが低下しており、脆性的な性質を示す傾向が指摘されている。

すさ含有率の検証試験では、各仕様の平均値（推定）として 0.14, 0.18, 0.21[N/mm<sup>2</sup>], 砂含有率の検証試験では 0.15,0.18,0.22, 0.26[N/mm<sup>2</sup>]の最大応力度が記録されている（筆者グラフ読み取り）。

すさ含有率試験体（砂を含有しない）の結果（試験体の下 2 桁 00 のもの）と本節の試験結果を比較すると、本節では 0.7~1.2N/mm<sup>2</sup>を記録しており、少なくとも 5 倍以上の値となっている。現時点では、試験体の違い（石灰・水・すさ調合比、ツノマタ糊の含有の有無、養生条件・期間）に加えて、加力条件の違い（いす型せん断試験における応力集中の影響）に関しても検討する必要があると推定される。

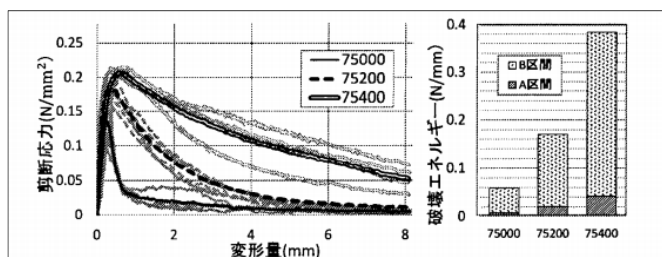


図5 すさ含有率と剪断強度の関係

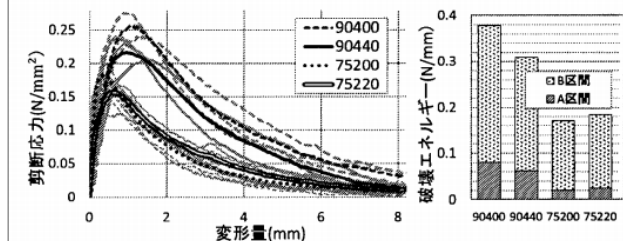


図6 砂含有率と剪断強度の関係(すさ有)

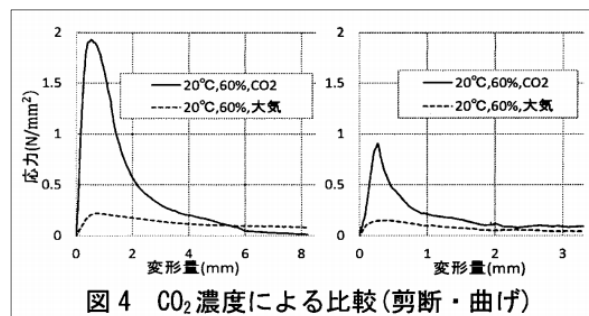
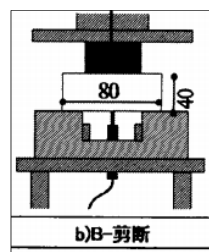


図4 CO<sub>2</sub> 濃度による比較(剪断・曲げ)

図 5-90 岡ら（2015）による漆喰のせん断強度試験結果，試験体寸法と試験装置（文 4）

<sup>4</sup>岡健太郎，田村雅紀，後藤治，「漆喰系材料の観点から考察した遺産的建築物の維持保全に関する実験的検討 その1 木摺漆喰工法を用いた天井板の非破壊・破壊試験による性能評価」，日本建築仕上学会大会，2015

5.7.6. 漆喰の密度に関する考察

Sr5 実験の試験体の漆喰試験体の密度（試験前乾燥重量/体積）は、上述の通り平均して  $0.93\text{g/cm}^3$  であった。

第4章の水平木摺実大試験体の下塗り漆喰の密度を試験終了後の漆喰を採集して計測した結果、平均した密度は約  $1.02\text{g/cm}^3$  となった。

表 5-10 真壁水平木摺壁（第4章）下塗り漆喰の密度 左：水平木摺試験体（実大）、右：一面せん断試験体

| No. | 体積<br>$\text{cm}^3$ | 重量<br>g | 密度<br>$\text{g/cm}^3$ |
|-----|---------------------|---------|-----------------------|
| 1   | 5.40                | 5.59    | 1.04                  |
| 2   | 5.62                | 5.87    | 1.05                  |
| 3   | 4.20                | 4.19    | 1.00                  |
| 4   | 4.78                | 4.73    | 0.99                  |
| 平均  | 5.00                | 5.10    | 1.02                  |

| unit | W<br>mm | B<br>mm | H<br>mm | H'<br>mm | せん断面積<br>$\text{mm}^2$ | 体積<br>$\text{cm}^3$ | 重量<br>g | 比重<br>— |
|------|---------|---------|---------|----------|------------------------|---------------------|---------|---------|
| PS1  | 40      | 30      | 27      | 20       | 600                    | 30.3                | 28.4    | 0.94    |
| PS2  | 39      | 30      | 28      | 20       | 600                    | 30.4                | 27.6    | 0.91    |
| PS3  | 40      | 29      | 26      | 18       | 522                    | 28.3                | 26.7    | 0.94    |
| PS4  | 40      | 30      | 29      | 20       | 600                    | 32.1                | 30.7    | 0.96    |
| PS5  | 39      | 29      | 30      | 20       | 580                    | 31.0                | 28.1    | 0.91    |
| PS6  | 38      | 30      | 28      | 19       | 570                    | 29.0                | 27.6    | 0.95    |
| PS7  | 38      | 32      | 29      | 19       | 608                    | 32.7                | 30.7    | 0.94    |
| 平均値  | 39.1    | 30.0    | 28.1    | 19.4     | 583                    | 30.5                | 28.5    | 0.93    |

本節での一面せん断試験体の平均値  $0.93$  と比較すると約  $10\%$  程度高い値となっている。体積当たりの漆喰の密度は、せん断・圧縮等の材料強度に影響すると推定されるため、実大試験体におけるせん断力は、一面せん断試験体よりも高いせん断強度を発揮していた可能性がある。

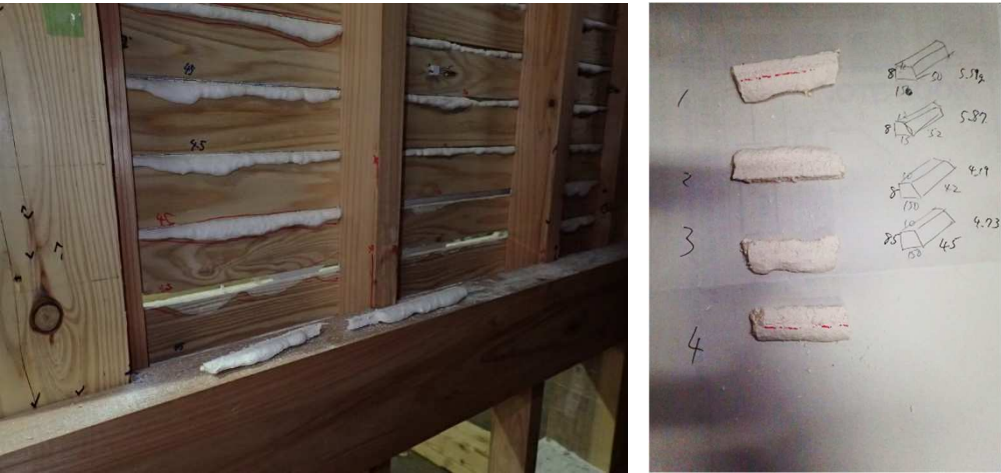


図 5-91 実大試験体の漆喰サンプル（木摺 No35,36 下部より採取）

### 5.7.7. Sr5 試験による下ごすり漆喰の一面せん断剛性のモデル

本節の実験により，木摺漆喰壁の木摺空きに存在する漆喰の一面せん断性能を得た．

- ・一面せん断試験の結果，平均して最大せん断応力度は平均して約  $8.9 \times 10^{-4} \text{ kN/mm}^2$ ，せん断歪  $\gamma$  は  $0.57 \text{ rad}$  であった．
- ・この結果は，既往研究と比較すると，最大せん断応力度では約 4 倍以上の値となっていたが，水/漆喰比の違い，漆喰の密度，養生期間等が影響している可能性が推定された．
- ・本節の結果をもとに，漆喰の一面せん断のモデル化を以下のように行った．
- ・実験からは，最大耐力経過後の挙動はかなりばらつきが大きかったが，破壊の進行から妥当な試験が実施できたと推定された PS1 を元に以下のようにモデル化を行った．

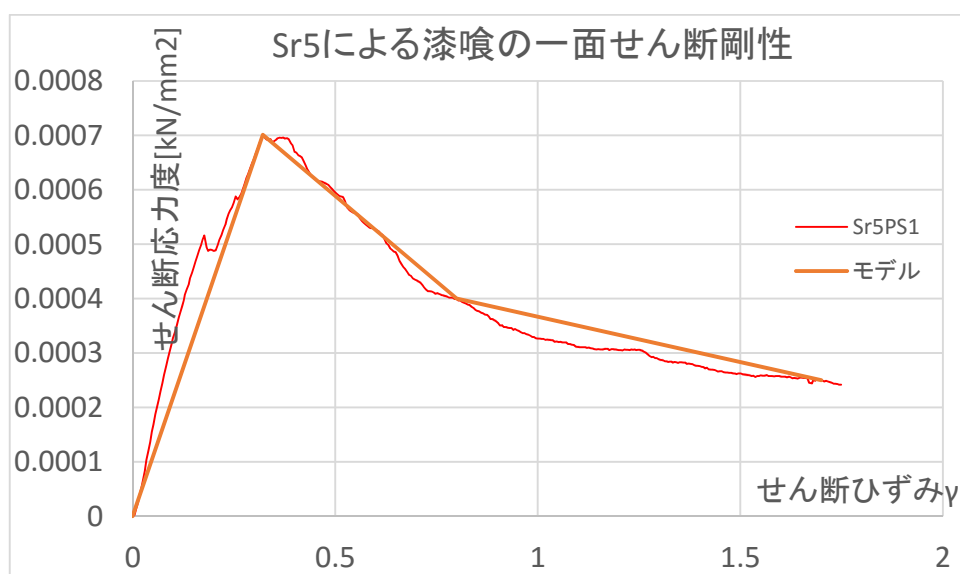


図 5-92 力学モデルに適用する漆喰の一面せん断 応力度－ひずみ関係

5.8. Sr6 漆喰の一軸圧縮試験 2（第 4 章真壁水平木摺漆喰壁の漆喰）

5.8.1. 実験概要

本実験は, Sr5 の一面せん断試験に実施したものと同仕様同時作成の漆喰試験体の圧縮試験であり, 圧縮強度の把握, および最大せん断応力度を推定することを目的とする. また, Sr5 によるせん断応力度との比較により, 試験結果の妥当性を検討する.

5.8.2. 試験体

- ・試験体は, 30\*30\*60mm の直方体形状とし, Sr5 と同様の 40\*40 断面の漆喰材料から 2 体切り出した.
- ・試験体乾燥期間は, 2015.9/14-2016.3/10 の 178 日間, 下図の箱内で自然乾燥させ, 脱型後 37 日後の 4/22 に加力試験を実施した.

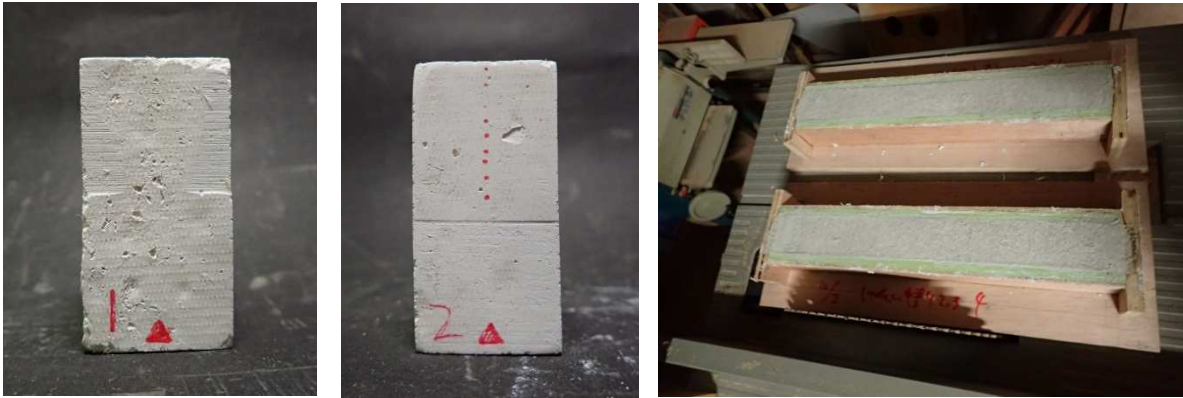


図 5-93 試験体 1, 2（試験実施前）, および試験体製作容器

表 5-11 試験体寸法および重量

|     | 重量    | 高さ | 幅  | 奥行 | 密度                |
|-----|-------|----|----|----|-------------------|
| 名称  | g     | mm | mm | mm | g/cm <sup>3</sup> |
| PS1 | 49.46 | 59 | 29 | 29 | 1.00              |
| PS2 | 50.98 | 58 | 29 | 29 | 1.05              |

### 5.8.3. 計測計画

試験装置は、Sr4 の圧縮試験と同様である。TCLP-50kNA（東京測器）により圧縮荷重を、CDP-50（東京測器）2台により変位を測定し、実験結果の検討には平均値を用いた。

#### Sr6\_PS 計測計画（下ごすり漆喰（2015水平木摺壁）一軸圧縮試験）

- ・ 200t万能試験機による単調載荷（圧縮加力）
- ・ 加力速度：0.5mm/min
- ・ CH0：荷重 [ロードセルTCLM-50kNB]
- ・ CH1, 2：変位 [変位計CDP-50]
- ・ 試験体寸法：30\*30\*60mm 2体

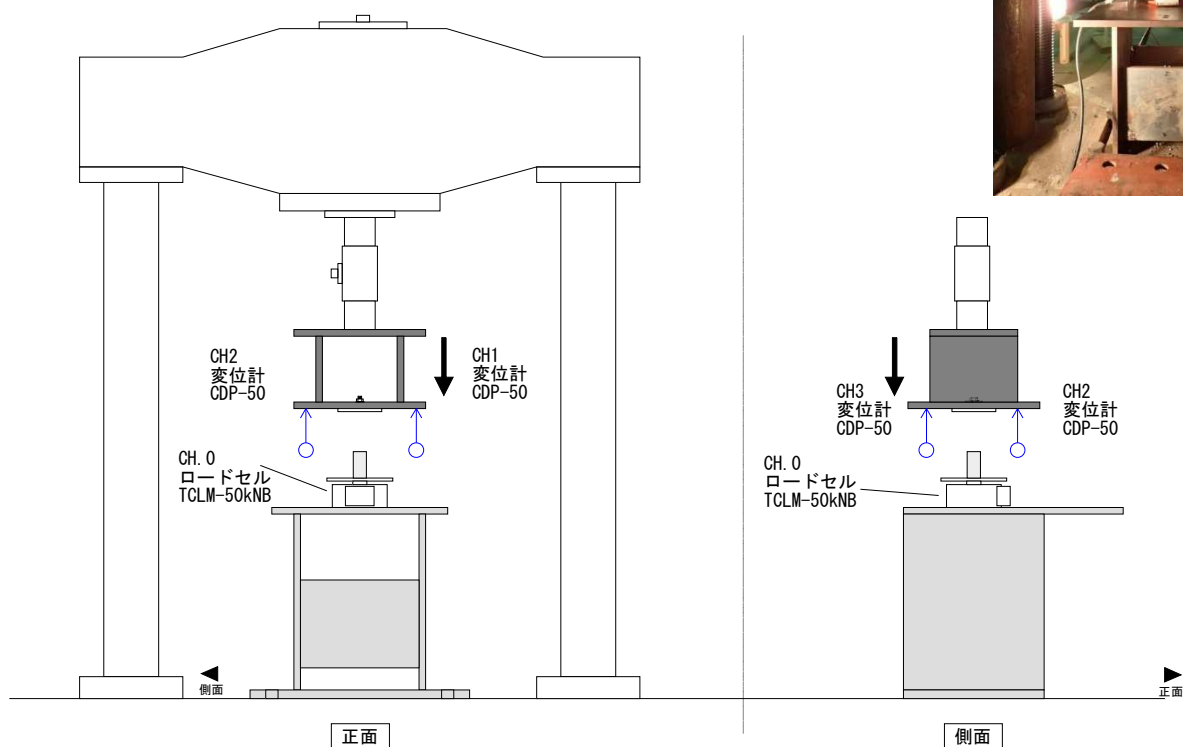


図 5-94 Sr6 PS 計測計画 および試験器写真



#### 5.8.4. 実験結果

##### 5.8.4.1. 荷重変形関係

荷重変形関係を下記に示す．なお，初期の滑り部分は除去している．

最大値を記録した個所は変位にして 0.5mm 程度ずれがあるが，PS1 は 0.7mm 前後で剛性が低下しているため，事実上 0.6-0.7mm 程度で最大荷重 1.8-1.9kN に達した．

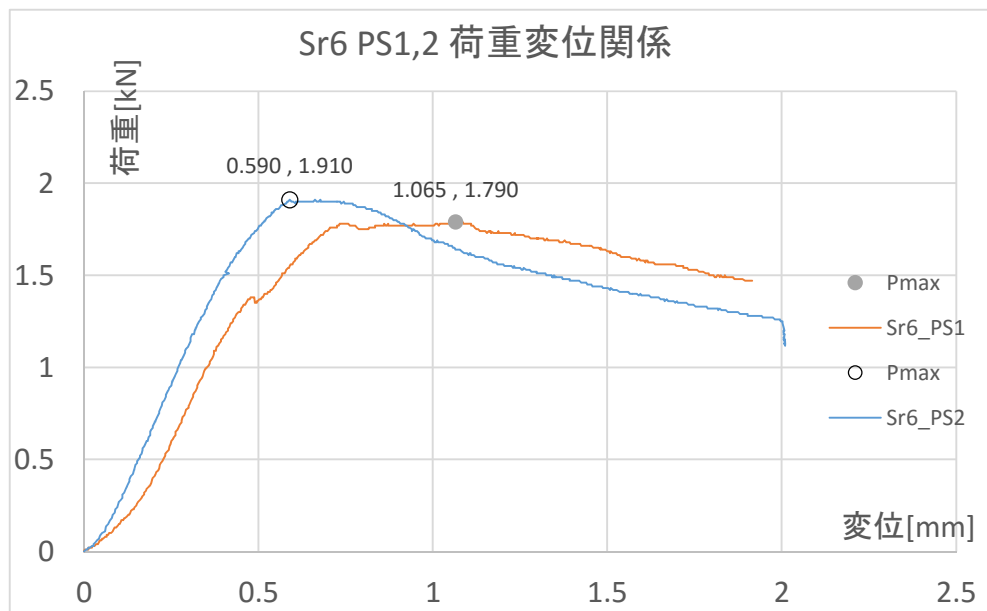


図 5-95 Sr6 荷重変位関係

圧縮応力度－ひずみ関係を下図に示す．

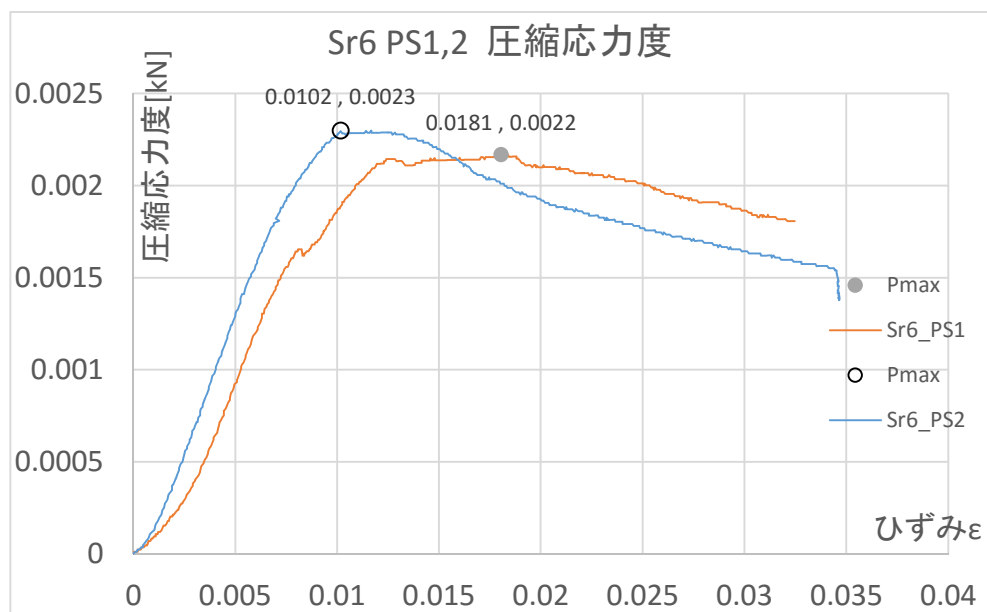


図 5-96 Sr6 圧縮応力度－ひずみ関係

上記の圧縮応力度の 1/2 をせん断応力度とみなすことが可能であると仮定し、圧縮応力度の 1/2 と圧縮ひずみの関係を下図に示した。

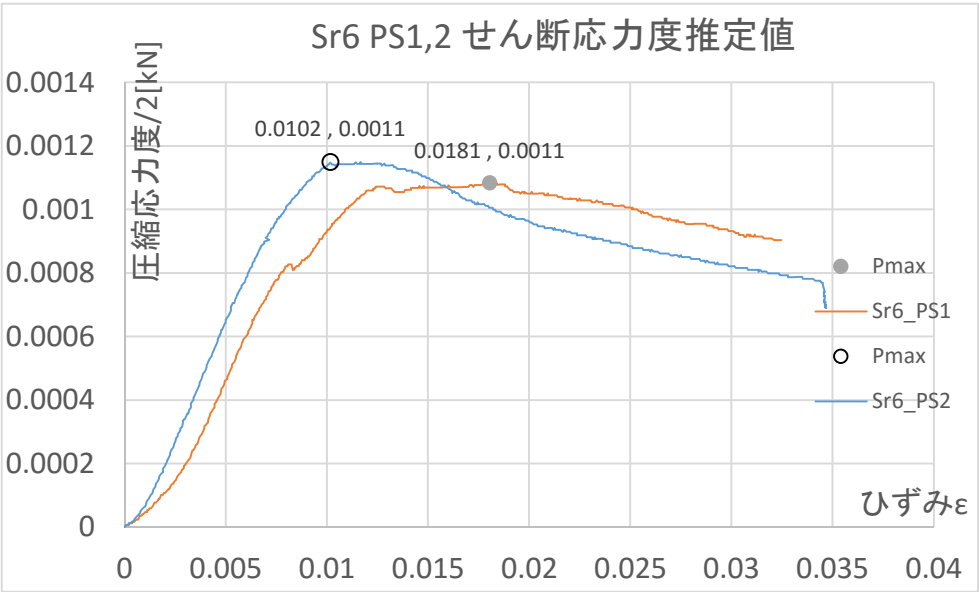


図 5-97 圧縮応力度の 1/2 と圧縮ひずみの関係

後述の、一面せん断試験との比較のため、せん断応力度—変位関係としたものが下図である。

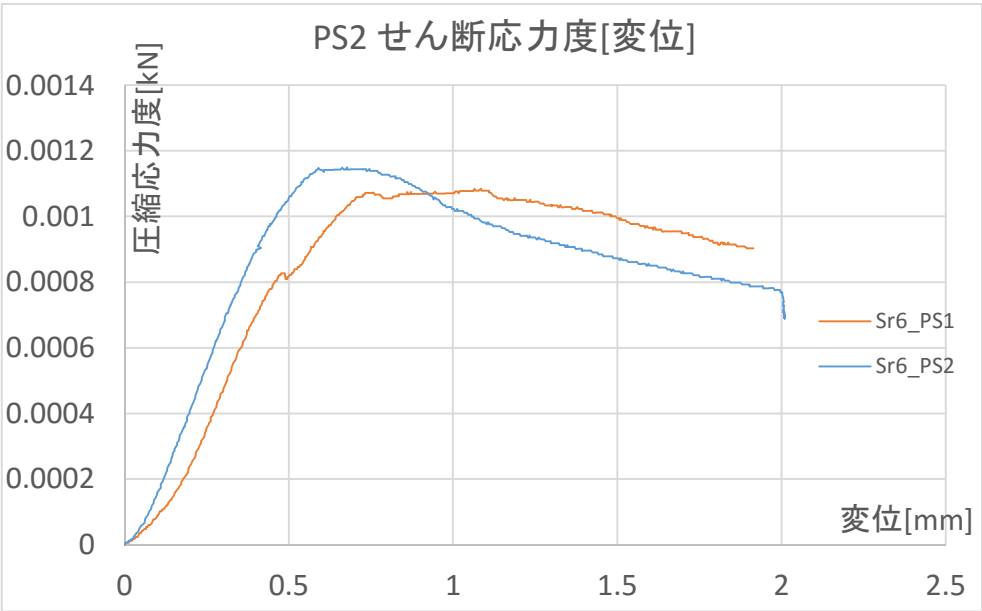


図 5-98 圧縮応力度—変位関係

#### 5.8.5. 破壊の進行

各試験体の試験終了後の様子を下图に示す.

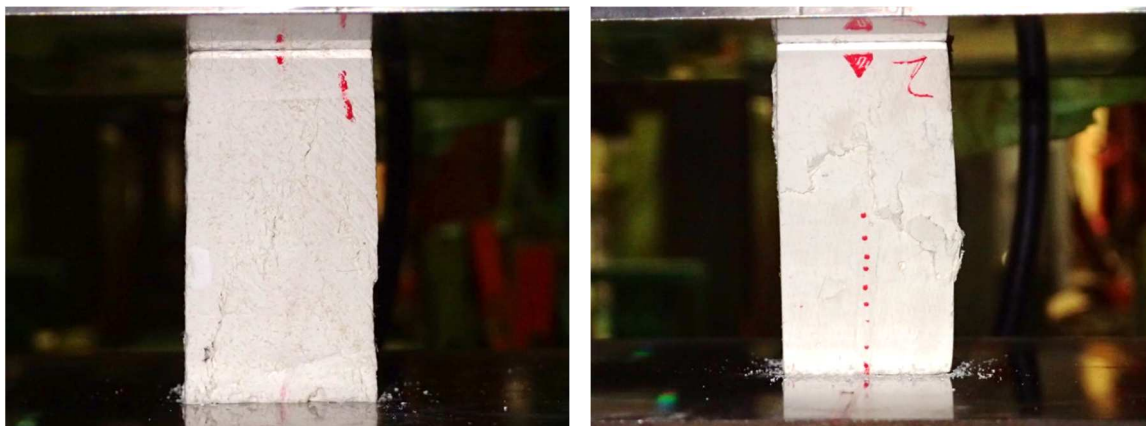


図 5-99 試験終了後 試験体 1, 試験体 2

共に最大耐力経過後, 中央部からの亀裂によって破壊した.

### 5.8.6. Sr5 一面せん断試験との比較

本試験で得られた最大圧縮応力度の 1/2 を最大せん断応力度と仮定し、荷重－変位関係、および荷重－圧縮ひずみ関係とした場合に、Sr5 の同一の漆喰による一面せん断試験結果との比較を行い、試験結果の妥当性を検討した。

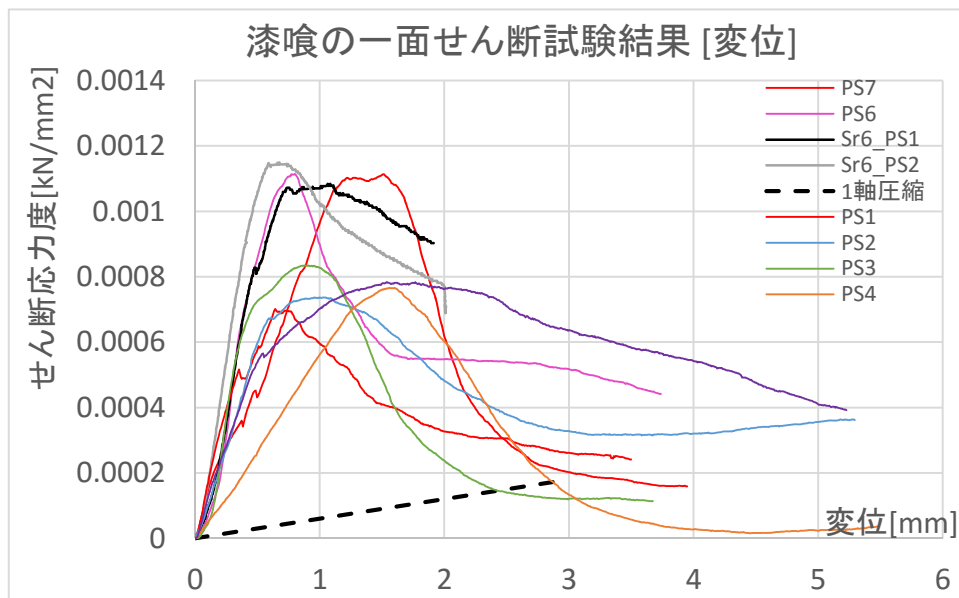


図 5-100 Sr6 によるせん断応力度推定値と Sr5 試験結果の比較（変位）

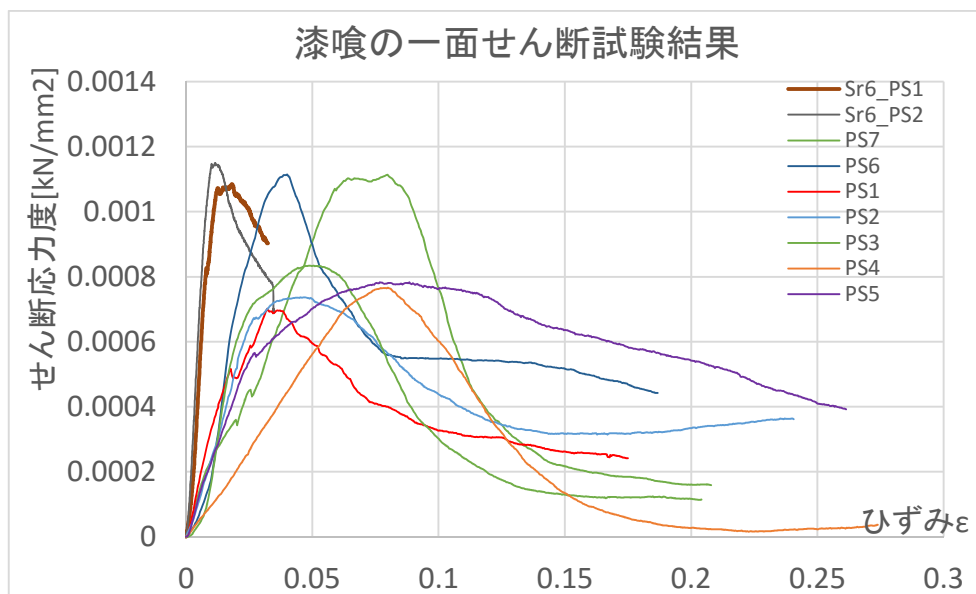


図 5-101 Sr6 によるせん断応力度推定値と Sr5 試験結果の比較（ひずみ）

結果として、一面せん断試験結果自体にばらつきはあるが（最大値で 1-1.5 倍）、Sr6 によって得られた最大圧縮応力度と、Sr5 による最大せん断応力度の関係には矛盾はないと推定された。

## 5.9. 第5章 まとめ

本章では、木摺漆喰壁の主要な水平抵抗要素であると推定した、木摺漆喰壁の釘接合部、木摺空きの漆喰のせん断抵抗、木摺空き漆喰の圧縮、漆喰層のせん断剛性に関して要素実験を実施し、各抵抗要素のモデル化を行った。得られた結果を以下にまとめる。

### Sr1：柱2本のせん断試験による釘接合部の回転モーメント抵抗→釘接合部回転剛性モデル

- ・大壁水平木摺 OHN：

大壁 N32 2本打ち接合部の回転剛性を求めた。釘は 0-0.05rad.の範囲で降伏し、荷重で最大値約 0.5kN (約 0.15rad.) を記録したが、大変形領域ではせん断抵抗の影響により荷重が増加すると推定された。解析に用いる釘の回転ばねモデルを作成した。

- ・真壁水平木摺試験体 SHN：

0.04rad.時荷重 0.5-0.8kN を記録した。

柱と木摺が接触し、木摺の柱へのめり込みおよび受け木の引き抜けが始まると荷重の上昇と断続的な荷重低下が発生した。木摺の端と柱の距離によってめり込みの開始する変形角とめり込み角度が異なるため、3体の試験結果は①1/25rad.付近からめり込み発生、②変形当初からめり込みが発生、の2種に分かれた。木摺の端空きは受け材の寸法に影響されるため短く（今回は 10 mm）、終局状態は釘の端抜けで決定された。

- ・斜め木摺圧縮試験体 ODC：

最大耐力 9.2kN, (0.15rad.) を記録し、釘の引き抜けにより試験体は破壊した。釘の木摺へのめり込み方向を見ると、釘は木摺の長軸方向への変形の影響が大きく、回転を伴った一面せん断試験となった。一面せん断試験と比較のためのモデルとした。

### Sr2：580 角試験体によるせん断試験→釘接合部回転剛性モデル、漆喰層対角圧縮モデル

- ・OHN：大壁試験体；

接合部 1 個所当たりのモーメント：0.05rad., 10kNmm

- ・SHN：真壁試験体

接合部 1 個所当たりモーメント：Sr1 と比較的一致したものでは 8kNmm(0.045rad.[SH3])。めり込みによる剛性の増加は明確には把握できなかった。

- ・SHNP：真壁漆喰あり試験体

- ・真壁木摺のみの試験体の 3-4 倍の荷重（平均 11kN）に達した。
- ・破壊は上下端の壁の割れ、壁中央部の引張亀裂による破壊が見られた。
- ・ここから、真壁軸組試験体の、漆喰層の対角の圧縮、木摺空きのせん断も含んだ等価なせん断バネの剛性を算出した。
- ・等価な弾性剛性  $G_y$ ：0.035-0.06kN/mm<sup>2</sup>



Sr3 試験体：斜め木摺の一面せん断試験 →斜め木摺の接合部一面せん断モデル

- ・木摺部材の長短では、圧縮載荷時の荷重はほぼ変わらず、釘接合部の降伏が起こるまで面外変形は小さかった。そのため、今回の検討では座屈の影響は考慮しないものとした。
- ・座屈荷重を試算した結果、初期は固定に近い条件であったものが、釘の降伏に伴って両端ピン支持の荷重になっていた可能性が指摘された。
- ・Sr1 試験体（斜め木摺の回転せん断）と比較すると、最大荷重は約 0.7 倍、初期剛性は約 2 倍となっていた。

Sr4 試験体：漆喰の一軸圧縮試験 →斜め木摺の引張時圧縮モデル

- ・第4章の斜め木摺実験の各層の漆喰の圧縮強度試験
- ・平均値：生漆喰； $0.4\text{N/mm}^2$ 、木摺伏； $1.35\text{N/mm}^2$ 、下塗； $1.25\text{N/mm}^2$ 、中塗り； $0.8\text{N/mm}^2$
- ・漆喰の強度は、砂なしの生漆喰でも荒壁土の標準調合よりも強い圧縮強度となった
- ・最大せん断応力度を圧縮強度の 1/2 とすると、既往研究と比較的近い結果となった

Sr5 試験体：漆喰の一面せん断試験 →木摺空きの漆喰のせん断剛性モデル

- ・真壁水平木摺の木摺伏漆喰の一面せん断応力度
- ・せん断歪角 0.3-0.7 でせん断応力度は約  $0.0007\text{-}0.0011\text{kN/mm}^2$
- ・既往研究の 4-5 倍の強度を発現したが、水/漆喰比、漆喰密度の影響がある。

Sr6 試験体：Sr5 と同材量の一軸圧縮試験

- ・最大圧縮応力度  $0.0023\text{kN/mm}^2$
- ・Sr5 のせん断応力度の妥当性を確認した

次章では、第4章の力学モデルに本章で得た抵抗要素のモデルを適用した静的解析を実施し、初期剛性と最大荷重の推定を試み、モデルの検証と課題を明らかにする。

6. 第6章 木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の力学モデル

### 6.1. 概要 解析モデルの目的

本章では、第4章の実験および仮定した力学モデルに第5章の要素実験結果を適用し、真壁水平木摺漆喰壁および大壁斜め木摺壁の初期剛性及び最大荷重（以降）を推定する解析モデルを検証することを目的とする。初期剛性と最大荷重は、基礎的な性能であるとともに、脆性的な破壊となる可能性のある漆喰材料の構造性能評価において、全体の抵抗機構の変化を把握する意味でも、最大荷重とその要因の特定が重要であると考えられるためである。

前章までで、木摺漆喰部分の主要な抵抗要素であることを推定した、木摺一釘接合部の回転およびせん断による抵抗要素、および木摺の空きに塗り込められた漆喰のせん断抵抗、漆喰層のせん断剛性、木摺空きの漆喰の圧縮剛性、の各抵抗要素を、第4章の実験結果から推定した力学モデルに適用し、解析と実験結果の比較を行い、解析の仮定条件を踏まえた検討を加えた。また、以上の解析的検討における木摺漆喰壁の構造性能に影響を与える材料・構法の要件について、今回の解析の適用範囲の観点から考察を加えた。

最後に、本章で整理した木摺漆喰壁の水平力抵抗要素の観点から、地震被害調査に基づく壁の破壊状況と構法の関係、壁構法の構成要素分析・寸法分析にみられた木摺寸法・仕様の変化について考察を加えた。

## 6.2. 解析の対象とする木摺壁とその力学メカニズムの仮定, 適用範囲

### 6.2.1. 真壁水平木摺漆喰壁の力学メカニズムの仮定と適用範囲

解析の対象とした木摺壁は、柱面内の受け木に木摺を釘打ちする種類である真壁の木摺漆喰壁の内、木摺の方向が水平であるものである。また、釘打ちに関しては、第3章で調査を行った、幕末から戦前における近代木造建築においては、和釘の1本打ちから洋釘3本打ちまでが確認されたが、最も使用率の高かった洋釘2本打ちの木摺である。木摺寸法も概ね平均値である幅50、厚8、空き8mmの木摺である。釘はモデルとした建物に合わせN32を想定している。なお、漆喰塗りに関しても、下塗り・中塗り・上塗りの合計厚さ16mmの標準的な塗り厚としている。また下塗りは砂を入れない生漆喰である。

さらに、真壁木摺漆喰壁の内でも、今回の壁では中塗り以降に付鴨居(40\*30mm)および幅木(50\*20mm)を取り付けており、鴨居の上下の壁はここで接合している。付鴨居および幅木の柱との端部接合は左端部が斜め釘打ち、右端部が胴付け柄差し(10mm)である。

また、試験体の縦横比は1:3(910:2730)とし、下部600mmは開口部とした。開口部に関しては、真壁の主に用いられる和風建築の外周壁構法として一般的な床下の塗りのない仕様を再現するものとしている。また貫4本通、根太掛けも壁体の軸組として再現している。

事項で解析の仮定と適用範囲について述べる。



図 6-1 解析モデルの仕様を持つ真壁木摺漆喰壁（漆喰施工後，施工前）

第4章で述べたように、実大試験の結果を踏まえ、真壁木摺漆喰壁の初期剛性及び最大荷重時の水平抵抗力に影響する要素は以下の要素から成り立つものと仮定した。

### ■真壁水平木摺漆喰壁の仮定と適用範囲について

#### 真壁水平木摺壁の水平力抵抗要素：

##### 軸組による抵抗

- ① 柱頭・柱脚接合部：柄のめり込み抵抗，D ボルトによる引張抵抗
- ② 柱一貫接合部：貫のめり込み抵抗
- ③ 柱一根太掛け接合部：柱の根太掛けへのめり込み抵抗

##### 木摺一釘等による抵抗

- ④ 木摺一釘 - 木摺受け・間柱接合部：釘2本打→釘のせん断（偶力による回転）抵抗
- ⑤ 木摺 - 柱側面の接触（大変形時）：柱のめり込み抵抗
- ⑥ 木摺受け一釘 - 柱接合部：@150mm で釘打ち→釘のせん断抵抗・引張抵抗
- ⑦ 貫と間柱の接合部（接触）：貫のめり込み抵抗

##### 漆喰との接触部における抵抗

- ⑧ 鴨居 - 柱接合部：右端部柄接合，左端部斜め釘打ち→引張・圧縮抵抗
- ⑨ 幅木 - 柱接合部：右端部柄接合，左端部斜め釘打ち→引張抵抗・圧縮抵抗
- ⑩ 漆喰層 - 木摺空き漆喰の接合部：漆喰による接合部と見なす→漆喰のせん断抵抗
- ⑪ 漆喰層 - 柱の接触部：漆喰層の拘束
- ⑫ 漆喰層 - 幅木の接触部：漆喰層の拘束，幅木端部への圧縮抵抗
- ⑬ 漆喰層 - 鴨居の接触部：漆喰層の拘束，鴨居端部への圧縮抵抗
- ⑭ 漆喰層 - 梁の接触部：漆喰層の拘束
- ⑮ 木摺 - 木摺空き漆喰の接触部：（木摺空きの縮みによる）木摺・漆喰の圧縮抵抗
- ⑯ 木摺 - 漆喰層の接触部：漆喰の付着抵抗
- ⑰ 木摺 - 漆喰一柱側面の接触部：漆喰の圧縮抵抗
- ⑱ 漆喰層のせん断抵抗・圧縮抵抗：せん断変形に伴う対角の圧縮抵抗

本解析では以上について、

- ・軸組による抵抗：①～③をまとめ、軸組による抵抗として差分を取る
- ・木摺一釘による抵抗：④を評価し、⑤～⑦は無視できるものとする。
- ・漆喰との接触部の抵抗：⑧～⑱は、変形初期においては対角圧縮バネ，最大荷重時には木摺空きの漆喰のせん断

として扱うが、接合部の仮定，部材の変形等を含めた仮定，適用条件は以下の通りである。

#### 解析の仮定：

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし，また軸組部分と木摺漆喰部分の耐



力は足し合わせ可能であると仮定する.

- ・木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする.
- ・柱脚の浮き上がりは無視できるものとする.
- ・間柱と貫のめり込みは無視できるものとする.
- ・鴨居と柱の接合部, 幅木と柱の接合部はピン接合で圧縮・引張軸力を負担しうる. ただし, 幅木と柱の接合部は最大荷重時には端部の損傷によって端部の拘束がなくなる (部材なし) とする. 鴨居と柱の接合部はピン接合で引張と圧縮を負担すると仮定した.
- ・木摺 - 釘 - 木摺受け接合部は, 半剛接の回転ばねと仮定し, その回転剛性は要素実験による釘2本打ちの回転剛性を適用する. また, 間柱は両端ピン接合の剛体と見なし, 柱, 間柱での釘の回転ばねの剛性は同様とする.
- ・木摺端部と柱側面の接触によるめり込み抵抗, および木摺端部と柱側面の間に入った漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する.
- ・木摺空きの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する.

さらに初期:  $1/120\text{rad}$ . (見かけの変形角) まで, 最大荷重時以降:  $1/60\text{rad}$ . (見かけの変形角) に対して, 以下の仮定を行う.

- ・鴨居と梁の間の漆喰層は, せん断変形に伴う対角圧縮が初期から実験終了時まで支配的であるとする.
- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は,
  - ①変形初期は漆喰層の対角圧縮が支配的で,
  - ②その後, 幅木の損傷に伴って, 漆喰層の上下拘束が減少するため, 回転変形量が増加することで, 木摺空きのせん断が支配的な抵抗機構に移行し, 最大荷重時では木摺空きのせん断のみが作用したと仮定する.
- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は剛体と仮定する.
- ・木摺空きの漆喰は木摺と一体となって挙動する.
- ・木摺空きの漆喰のせん断は, 剛体と仮定した漆喰層と木摺空きの漆喰間の漆喰せん断ばねの拘束によって抵抗する.

### 適用範囲:

- ・柱の曲げ変形が無視でき, 軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの.
- ・柱脚の浮き上がり, 間柱と貫のめり込みが無視できる場合.
- ・鴨居と柱の接合部, 幅木と柱の接合部は圧縮・引張を負担しうる仕様であり, また, 漆喰層下部の拘束部材 (幅木) は最大荷重までに接合部が損傷し, 拘束が失われる.
- ・木摺 - 釘 - 木摺受け接合部では釘が偶力によって回転する釘配列
- ・間柱の接合部は回転剛性, 抜け出しが無視でき, また曲げ変形が無視できる
- ・木摺端部と柱側面, および木摺端部と漆喰と柱側面には間隔があり接触しない

- ・木摺の上下面と木摺空きの漆喰の接触が無視できる場合（木摺空きの上下縮み量が小さい、木摺空きの漆喰と木摺の間に間隙があるなど）
- ・初期剛性時：漆喰層の四周がピン接合で四周拘束されていると見なせる場合
- ・最大荷重時：漆喰層は左右の柱による拘束と、木摺空きの漆喰とのせん断抵抗で拘束されている場合
- ・漆喰層は幅木 - 柱接合部の破壊より前にせん断破壊せず、幅木の破壊後は剛体として回転変形する（木摺空きの配置が対称）.

以上の仮定によって、本解析において考慮する水平抵抗要素は、釘接合部の回転剛性、鴨居から梁の間の壁の漆喰層の対角圧縮と木摺空きのせん断剛性、鴨居から幅木の間の壁の漆喰層の対角圧縮と木摺空きのせん断剛性、であるが、これら 3 つは軸組に対して独立に作用するものと仮定する.

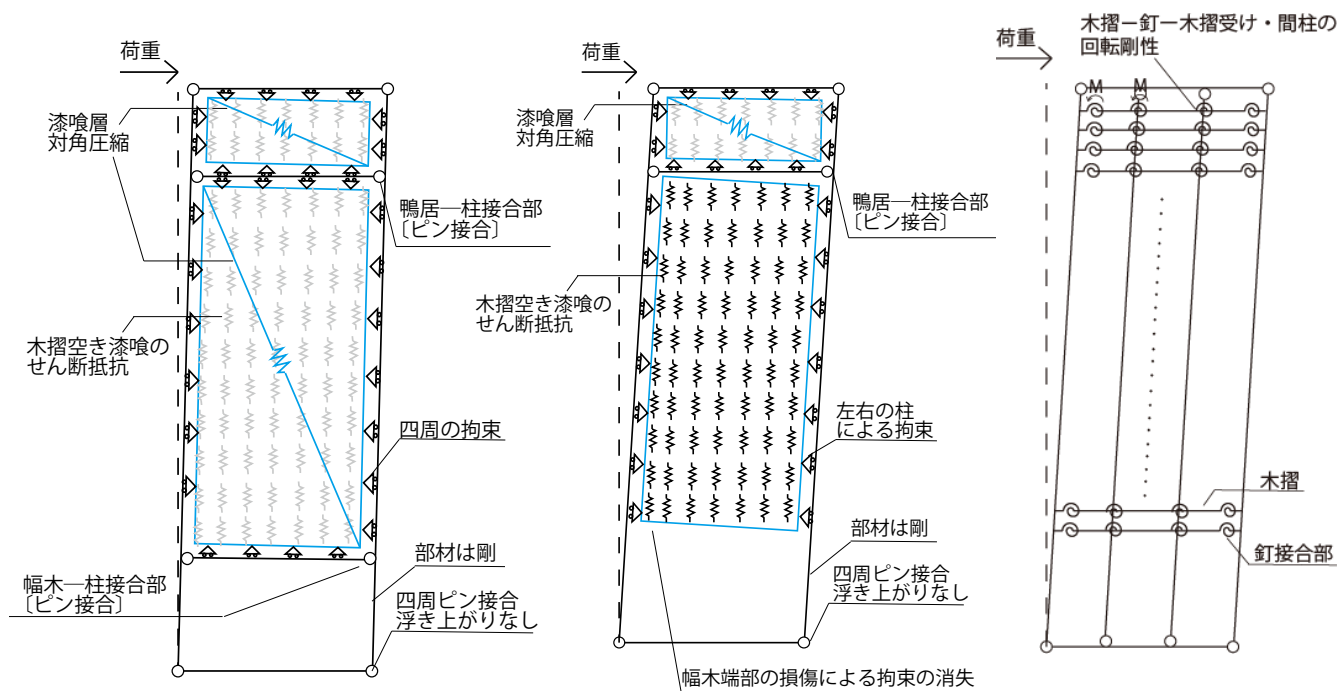


図 6-2 真壁水平木摺漆喰の力学モデル〔水平力抵抗機構を詳細に示したもの. 解析は次ページのモデル図による〕

(木摺漆喰部分の初期剛性時，最大荷重以降，および釘)

上記の抵抗機構図を解析モデルとして表現したのが以下である。

※木摺および間柱は下図では省略し、漆喰部分の抵抗について記載した。

①変形の初期：対角圧縮が支配的である（初期剛性時）モデル

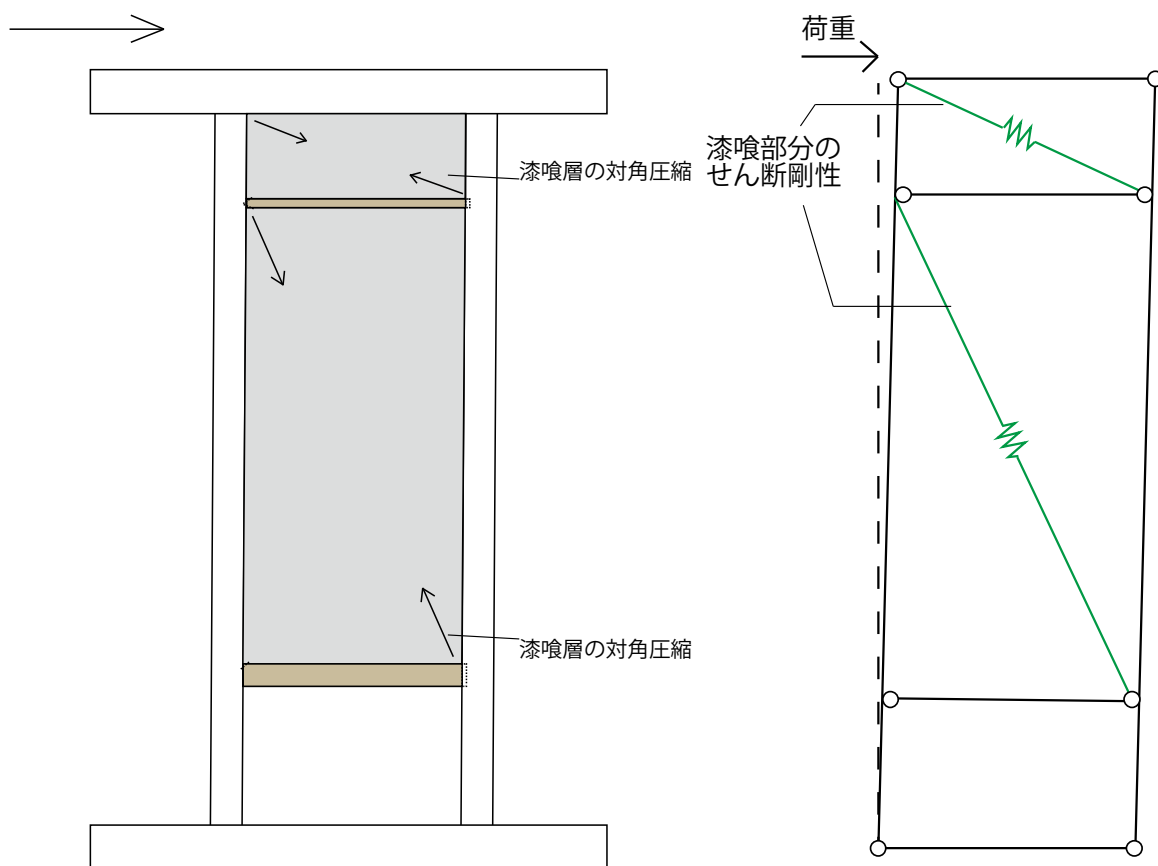


図 6-3 初期（0~1/120rad）の抵抗機構の模式図と力学モデル

- ・変形の初期には、四周を拘束されており、木摺漆喰のせん断変形に伴って漆喰層は対角方向の圧縮を受けているものと推定された。
- ・ただし、漆喰層の変形に伴って木摺空きに埋まっている漆喰も連動して変形している。漆喰層のみのせん断変形挙動は計測していない。そのため、漆喰層のせん断変形・圧縮とそれに伴う木摺空きの漆喰の抵抗を含めた対角バネとして評価するものと仮定する。
- ・漆喰を塗った真壁の要素実験結果から、対角圧縮を伴うせん断変形の剛性を算出し、これを適用した。適用に当たっては、左右の柱は均等に変形し、鴨居の上下の壁は同様のせん断変形を発生するものとし、垂れ壁付き独立柱の算定法を参照し、逆剪断による壁のせん断耐力の低下を考慮したものとした。

②最大荷重時：木摺空きの漆喰のせん断が支配的である（最大荷重時モデル）.

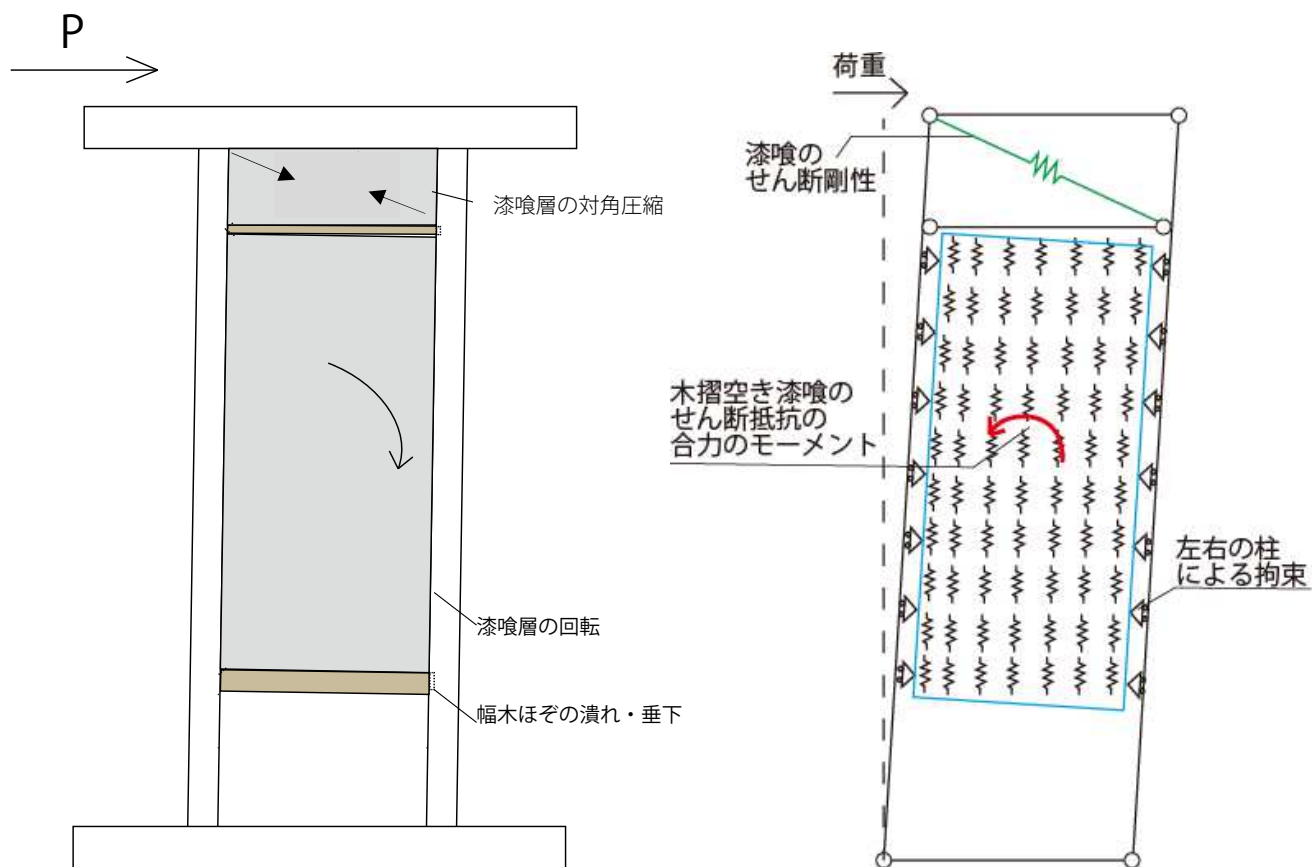


図 6-4 最大荷重 (+1/60rad.) 時の抵抗機構の模式図と力学モデル

・幅木の破壊に伴い，対角圧縮の効果が減少し，最大荷重時には木摺空きの漆喰のせん断抵抗が支配的であったと推定される．その場合は最大時には上記のような抵抗機構となっていたと推定される．

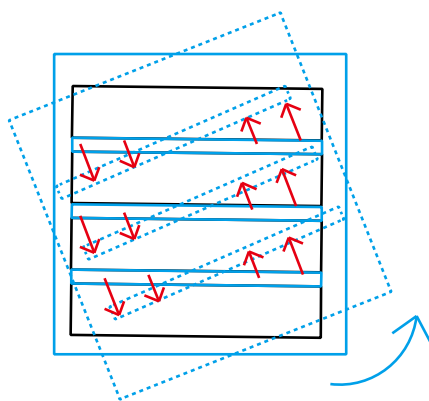


図 6-5 木摺空き漆喰の回転に伴うせん断抵抗発生の模式図（青線：漆喰，黒線：木摺）

### 6.2.2. 大壁斜め木摺漆喰壁の力学モデルの仮定と適用範囲

解析の対象とした木摺壁は、柱表面に直接木摺を釘打ちする大壁の木摺漆喰壁のうち、木摺の方向が斜め張りであるものである。モデルとした実験試験体の仕様については、釘打ちは一般的な仕様であった洋釘2本打ちである。木摺寸法は、斜め木摺の平均値に近い幅 60, 厚 12, であるが、空きは 5mm とやや狭い。木摺である。釘はモデルとした建物に合わせ N50 を想定している。柱は 180\*164 の短柄 HD25 による固定である。

試験体の縦横比は 2 : 3 (1820 : 2730) とし、間柱は短柄釘打ちの 60\*167 2 本である。

本試験体は指定文化財においては明治 20 年代までに多く用いられた斜め木摺漆喰壁のうち、貫、筋違等を用いない仕様である。ただし、裏面には下見板 (210\*18) を張っている。

柱が比較的太く、また間柱が前後で下見板、木摺に固定されていることが特徴として挙げられる。但、斜め木摺壁の試験では軸組のみの試験体による比較実験を行っていないため、後述のように解析上は、軸組と下見板による効果は既往研究の結果をもとに算出した。

次項で解析の仮定と適用範囲について述べる。

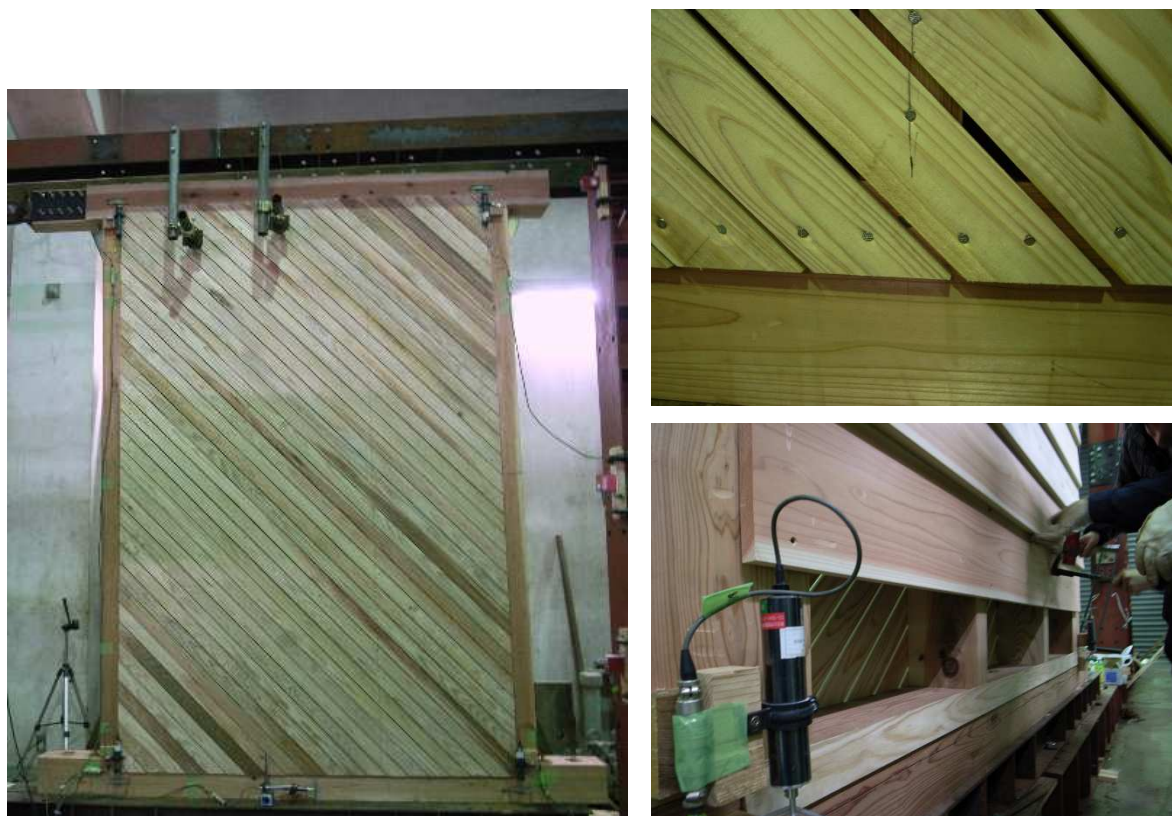


図 6-6 モデル化を行った斜め木摺壁の試験体 全景, 接合部詳細, 内部仕様(下見撤去時)



第4章で述べたように、実大試験の結果を踏まえ、大壁斜め木摺漆喰壁の初期剛性及び最大荷重時の水平抵抗力に影響する要素は以下の要素から成り立つものと仮定した。

・軸組部分の抵抗部位とその抵抗機構

- ①：柱および間柱の柱頭・柱脚接合部のモーメント抵抗
- ②：下見板－釘－柱接合部，下見板－柱－間柱の回転抵抗
- ③：柱および間柱の変形による抵抗

・木摺漆喰部分による抵抗部位とその抵抗機構

- ④：木摺－釘－柱，木摺－釘－間柱接合部の釘の回転・せん断による抵抗
- ⑤：漆喰層の回転変形に伴う木摺空きの漆喰のせん断抵抗
- ⑥：漆喰層のせん断剛性
- ⑦：木摺空きの縮みによる漆喰の圧縮抵抗
- ⑧：木摺空きに漆喰が塗り込められ一体化することによる剛性増加
- ⑨：木摺と漆喰の付着

これらの要素に対して，以下の仮定と適用条件によって解析モデルを提示した。

**解析の仮定：**

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし，また軸組および下見板の部分と，付加される木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する。
- ・木摺漆喰部分のみについては四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする。
- ・柱脚の浮き上がり，間柱の曲げ変形が無視できるとする。
- ・木摺－釘－柱・横架材接合部は，半剛接の圧縮・引張方向同性状のせん断ばねと仮定し，そのせん断剛性は要素実験による一面せん断剛性を適用する。また，間柱は両端ピン接合の剛体と見なす。
- ・下見板による補剛により，圧縮方向における座屈による荷重低下は無視でき，圧縮，引張方向で同様の変形状を示すと仮定する。
- ・木摺空きの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は変形の初期から発現しているものと仮定する。
- ・木摺の上の漆喰層は剛体と見なし，また木摺空きに漆喰が入ることによる初期剛性の増加や漆喰層との連動は無視できるものとする。初期剛性は木摺空きの漆喰のせん断剛性によって定まるものと仮定した〔この仮定を用いた漆喰の解析の結果は付録に所収〕。

**適用条件：**

- ・柱の曲げ変形が無視でき，軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの。
- ・柱脚の浮きあがり，間柱の曲げ変形が無視できる場合。今回は間柱は下見板により曲げ変形が拘束されているものとみなす。

- ・木摺 - 釘 - 柱・横架材接合部では釘は回転せん断挙動を示すが，軸方向の変形が顕著．
- ・端空きは十分にあり，端抜けによる破壊は起こらず，釘の引き抜けにより破壊する．
- ・間柱の接合部は回転剛性，抜け出しが無視でき，また下見板等の釘打ちによる拘束があり曲げ変形が無視できる場合
- ・木摺は下見板等の材によって間柱を通じて座屈補剛されており，面外座屈の影響が小さい場合．
- ・漆喰層が十分なせん断剛性を持つ場合は剛体と見なせる．漆喰によるせん断剛性の推定において木摺空きに入った漆喰の影響を無視する点については，実際の適用範囲の確定は困難であるため，参考として付録に加えるにとどめている．

・上記の抵抗要素の内，解析に考慮するとしたものは

軸組・下見板の耐力，釘のせん断抵抗，木摺空きの漆喰のせん断，木摺空きの縮みによる圧縮荷重である．このうち，軸組・下見板と釘は足し合わせによって，木摺のみの場合の荷重変形関係を推定するが，木摺空きの漆喰のせん断，木摺空きの縮みの影響に関しては，それらと漆喰層の連動による効果が不明であるため，斜め木摺漆喰と斜め木摺の実験結果の差分に対してそれぞれの検討を加えたものを付録に採録するにとどめた．

以上の仮定のもと，斜め木摺壁に関する力学モデルとして，木摺のみを用いた場合（漆喰なし）を以下に提示した．（本解析では，実験から下見板の補剛により圧縮・引張の性能は同等と仮定しているため圧縮時の図を掲載する）

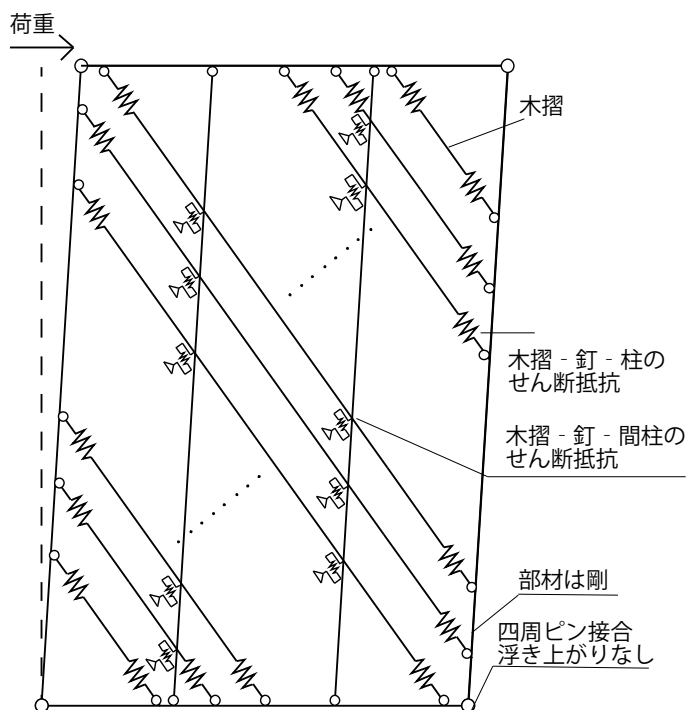


図 6-7 斜め木摺壁の力学モデル

### 6.3. 各水平抵抗要素と要素実験の関係

本節では，第5章の要素実験によって得られた接合部や材料特性のモデルと解析における構造要素の対応と仮定について述べる．

#### 6.3.1. 釘の回転剛性およびせん断剛性による抵抗

木摺釘接合部は釘によって，柱（大壁），間柱，または受け材（真壁）に固定される．壁がせん断変形を受けた際，釘接合部の抵抗を以下のようにモデル化した．

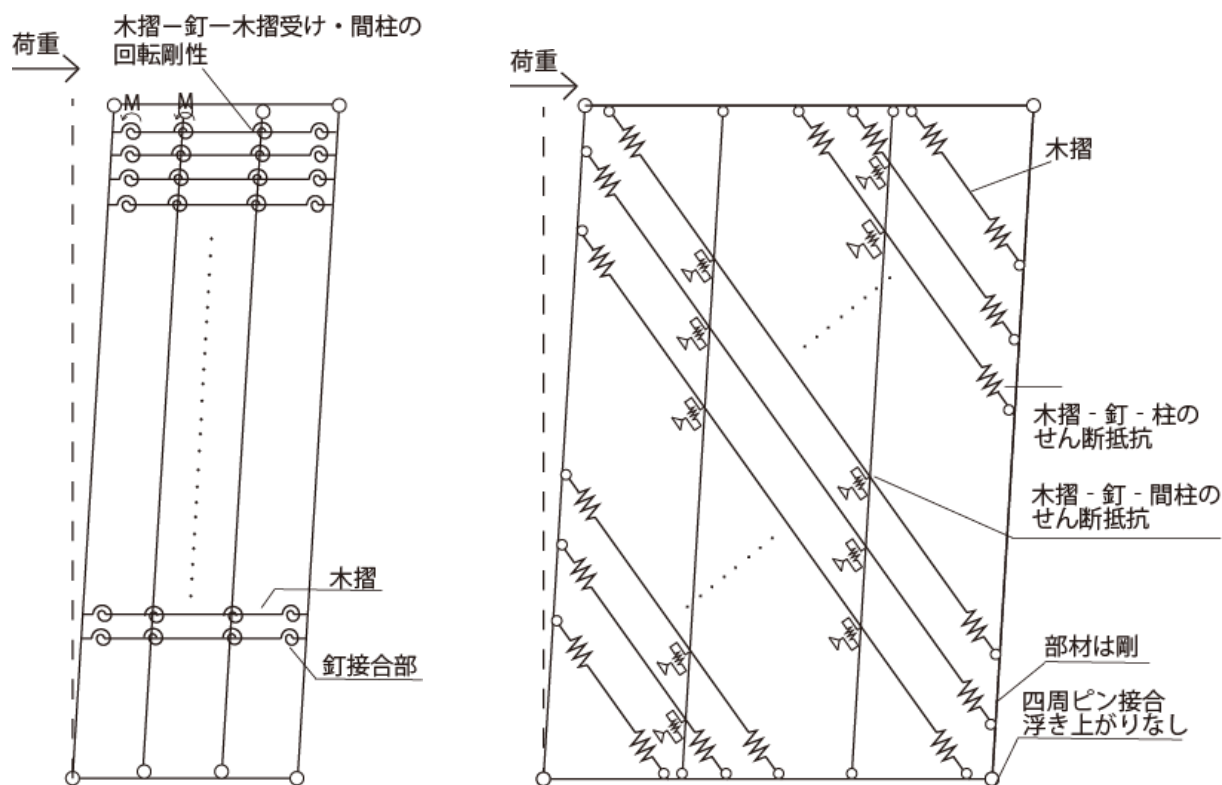


図 6-8 釘接合部による抵抗機構

#### ■木摺の張り方に対応した仮定 水平と斜め

フレームの変形に伴い木摺に作用するせん断力によって，釘接合部は偶力を持ち回転抵抗を発生する．水平木摺の場合は，図のようにフレームと共に平行四辺形に変形すると仮定すれば，木摺長軸方向に長さは変化せず，回転モーメントによって抵抗するとみなせるとした．一方で斜め木摺の場合は，図のように初期から $\pi/4\text{rad.}$ の角度を有しており，壁の変形に伴う軸方向の変形が卓越しているものと想定した．解析上は，軸方向力のみで抵抗するとして，設定するばねに要素実験上で回転を与えた Sr1ODC と，一面せん断試験とした Sr3ODC を比較することでその影響について考察するものとした．この仮定の下に，柱2本のせん断試験による回転剛性の把握 Sr1，580 角フレームによるせん断試験 Sr2，一面せん断試験 Sr3 を実施した．

各抵抗要素からの全体の荷重の算出は，水平の場合は，モーメントは間柱も含めた全接合部に均等にモーメントが分配されるとみなし，一接合部当たりのモーメント回転角関係

から壁一面当たりのモーメントを算出し、壁体に作用するモーメント  $P \cdot H$  とのつり合いとして水平荷重を算出した。斜め木摺の場合は、載荷方向によらず変型角に対して筋違状に部材が縮む量を幾何学的に算出し、これを木摺内部でのエネルギーが最小になるように分配されるものと仮定して各接合部の荷重を算出し、その水平成分として水平荷重を求めた。詳細は斜め木摺壁の解析の項で述べる。なお、木摺圧縮時の座屈は、Sr3 で考察した通り、釘接合部の影響の方が大きいと考えられるため、考慮しないものとする。

### ■木摺の柱との位置関係に関する仮定 大壁と真壁

第3章でみたように、木摺下地の張り方には、水平、斜めの方向性の違いと共に、真壁として柱の面内に存在するか、柱の面外に張られるかの違いがある。真壁にした場合は、柱の面内に受け材を見込み側から釘打ちで取り付け、見付け側に木摺を釘打ちする仕様となる。そのためせん断変形が進むと、柱内側と木摺端部が接触する。この際、想定されるのは、木摺による柱へのめり込み抵抗と、それに伴う受け材釘の引き抜き挙動である。第5章の真壁仕様の試験ではこの再現を試みた。結果として、柱と木摺の空きの設定によって接触の位置が異なること、めり込みの発生後、特定の荷重までは、引き抜きが起こらず荷重が増加することが確認された。しかし、めり込みの発生が木摺の端部の空きの設定に依存するため、この挙動の発生は施工に大きく影響される。また、1mm 程度の空きを設定した場合でも 1/30rad. (剛性上昇は 1/20rad., Sr1SHN1) まではめり込まないため、解析条件からは除外し、大壁と同等に扱うものとした。

■第5章から算出した一接合部当たりの抵抗要素

第5章の実験から算出したモデルを以下に再掲する。

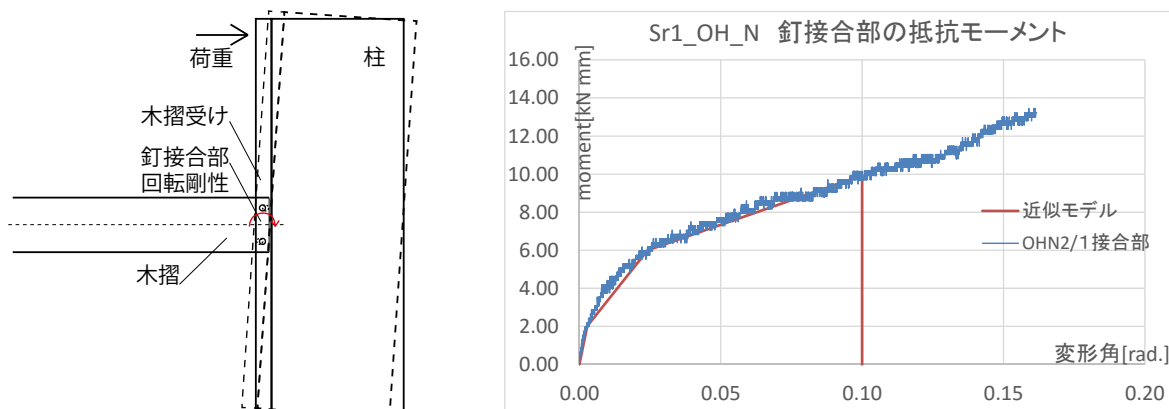


図 6-9 Sr1 による水平木摺（大壁，真壁）の釘接合部の回転剛性

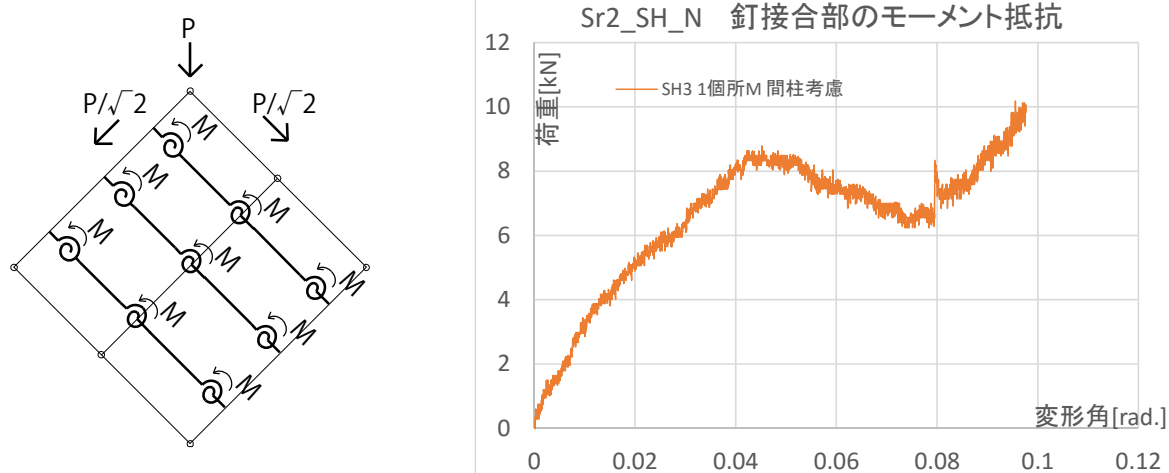


図 6-10 Sr2 に基づく水平木摺（同）の釘接合部の回転剛性

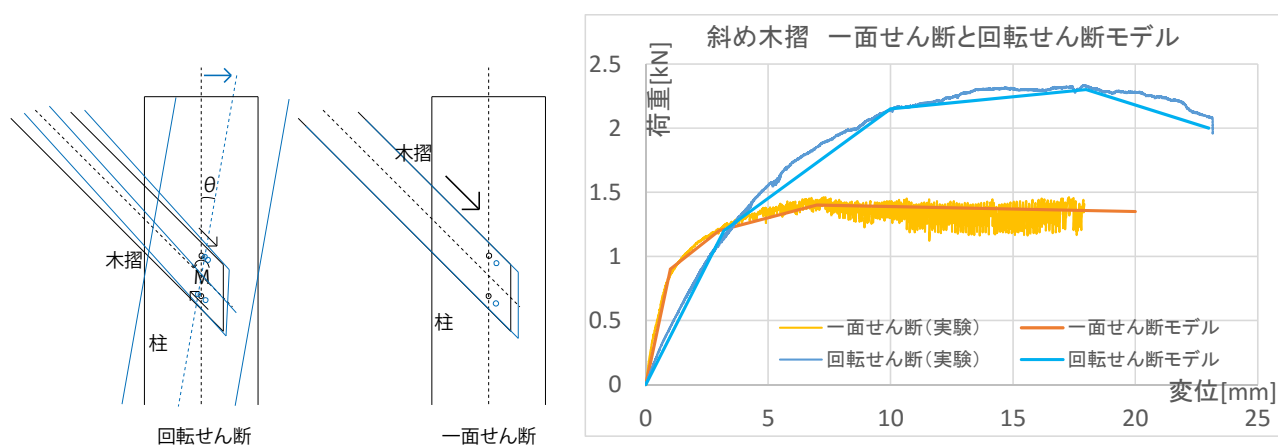


図 6-11 要素実験 Sr1, 3 による斜め木摺のせん断ばねモデル



### 6.3.2. 木摺空きの漆喰のせん断抵抗機構

第4章の実験結果において、木摺空きの漆喰は水平木摺試験体における漆喰の最大荷重時に支配的であると推定されること、木摺空きの漆喰は同心円状に外側から破壊する傾向があること、また斜め木摺試験体における初期剛性への影響と木摺引張時の水平荷重への寄与があることを確認した。これを踏まえ第5章の要素実験では、漆喰材料のうち、木摺に直接塗りこまれる「木摺伏」(下ごすり)の漆喰の一面せん断実験を実施した。

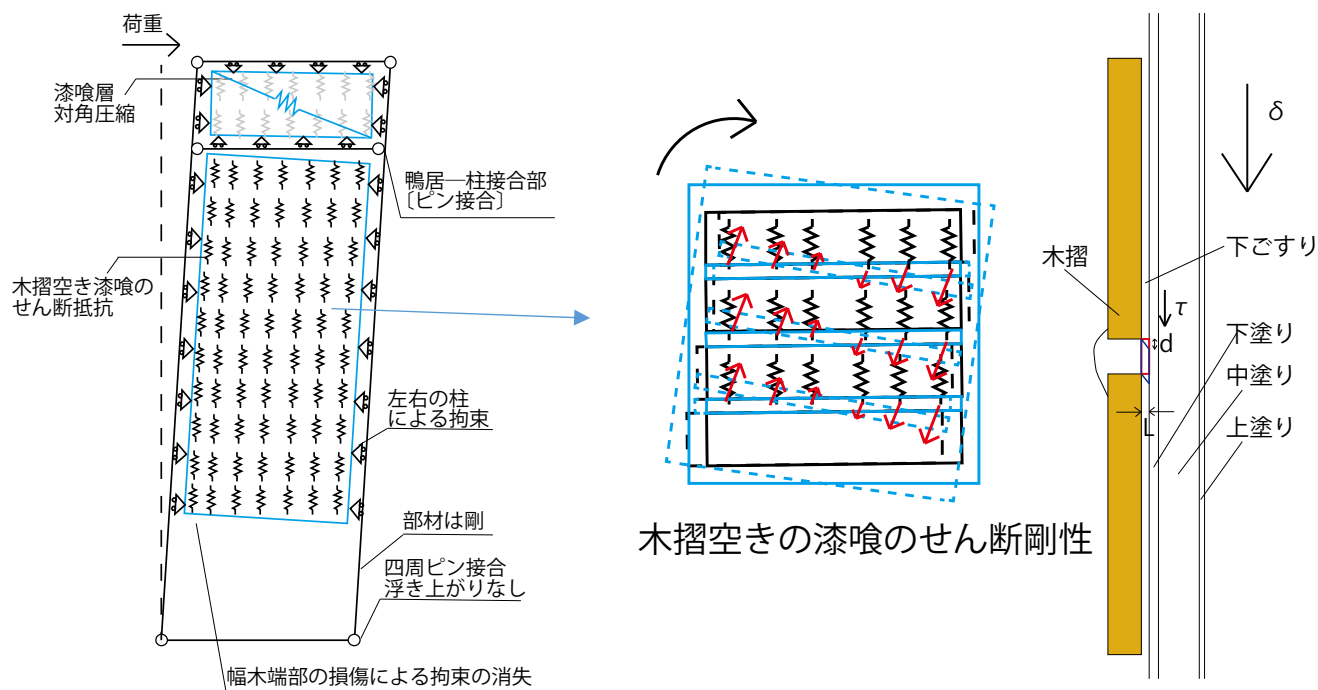


図 6-12 木摺空きの漆喰のせん断 想定部位と要素実験内容

この結果を用いて、木摺空きの漆喰のせん断剛性を解析的に検討するため、本節では、漆喰層（木摺より上の層）と、木摺空きの漆喰の表面部分は、木摺の空きに分布するせん断ばねで結合されていると仮定し、軸組のせん断変形による木摺側の接合点の移動量と、漆喰層の回転変形による漆喰側の接合点の移動量の差を、幾何学的変形の仮定と漆喰層のせん断ばねの合力によるモーメント抵抗のつり合いから求める手法によって検討した。本解析方法は、モルタル壁のせん断抵抗をファスナーのモーメント抵抗のつり合いによって算出する既往研究の手法を漆喰壁に適用したものである<sup>1</sup>。

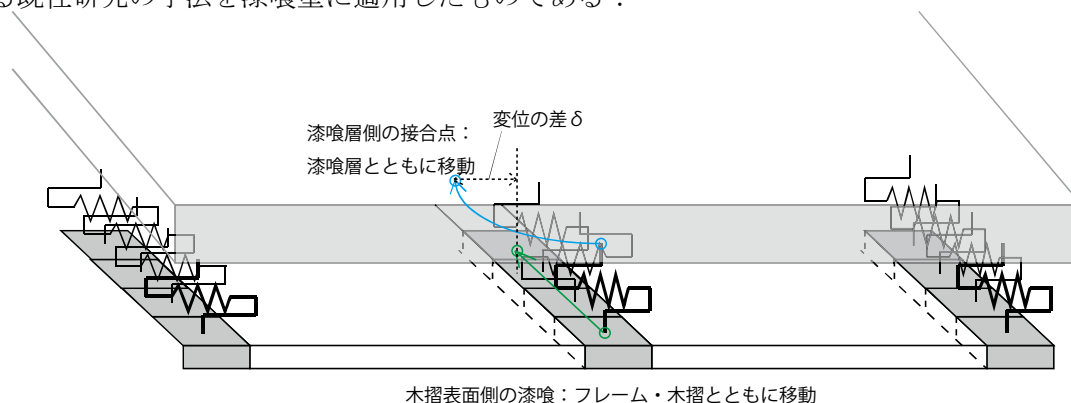


図 6-13 木摺空きの漆喰のせん断ばねの仮定

#### ■漆喰層の回転変形と軸組のせん断変形の差による変位量の推定手法

漆喰層が自由回転となる場合の解析の仮定を以下のように定めた。

- ①微小面積  $dx, dy$  (1mm 角) 毎に微小なせん断ばねが並列に鉛直・水平方向に存在する。
- ②漆喰層（木摺より上の漆喰塗り層）は剛体であると仮定すると、軸組及び木摺が平行四辺形にせん断変形する際に、漆喰層は中心を一致させたまま、回転変形をする。
- ③また、フレームと漆喰層の接合部分は、木摺の空きの部分に埋め込まれた漆喰の木摺表面附近でせん断変形をすると仮定する。すなわち、木摺空き部分では角度、移動方向を変化させながら漆喰のせん断が発生していると想定する。
- ④漆喰は等方性材料であると仮定し、木摺空きで発生するせん断性状は要素実験のせん断試験と同様の応力度－歪関係であるとする。また、各変形角時のせん断剛性は、鉛直・水平方向に分解して計算可能であると仮定する。
- ⑤また、フレームと漆喰層は、木摺空きの部分の漆喰のみにより接合していると仮定し、木摺表面と漆喰の付着の効果については考慮しないものとする。

以上の仮定より、軸組と木摺が、せん断変形角  $\theta$  変形した際の、漆喰層とフレームの変形の差が、木摺空きの漆喰（接合部分）のせん断耐力として発揮され、接合点の配置（木摺空きの配置）が壁の中心に対して対象であれば、上下左右の力は釣り合っているため、漆喰層の回転中心周りのモーメントのつり合いが定まるように、 $\theta$  に対する漆喰層の回転角を定める。以上は大壁を前提とした四周拘束がない場合である。本論文では自由回転の検討も行ったが、6.4 には左右を拘束し、モーメントの和が軸組与えられるとした場合を掲載した。

<sup>1</sup> 大橋好光，非耐力部分を考慮した在来木造住宅の耐震性に関する研究，1985，東京大学博士論文

# 漆喰層の四周拘束条件とせん断抵抗力の解析方法の対応

漆喰層が四周を拘束されず自由回転する場合：せん断力による中心周りのモーメントの和が0となることより，収束計算によって各変形角の全点のモーメントの和が0となるように回転角比を求める．この際に接合点に発生しているX方向の荷重の和が水平抵抗力となる．本研究の斜め木摺大壁に対応する．

漆喰層が一部固定されている場合：本研究の真壁では左右を柱に拘束されているものとした．この場合は，変形角比は1に定まる．各変形角で全点のモーメントの和として得られる値は，その分がフレームに外力で水平力として加えられていると想定し，水平荷重を算出した．

# 木摺空きの漆喰のせん断変形量の算出法と解析方法

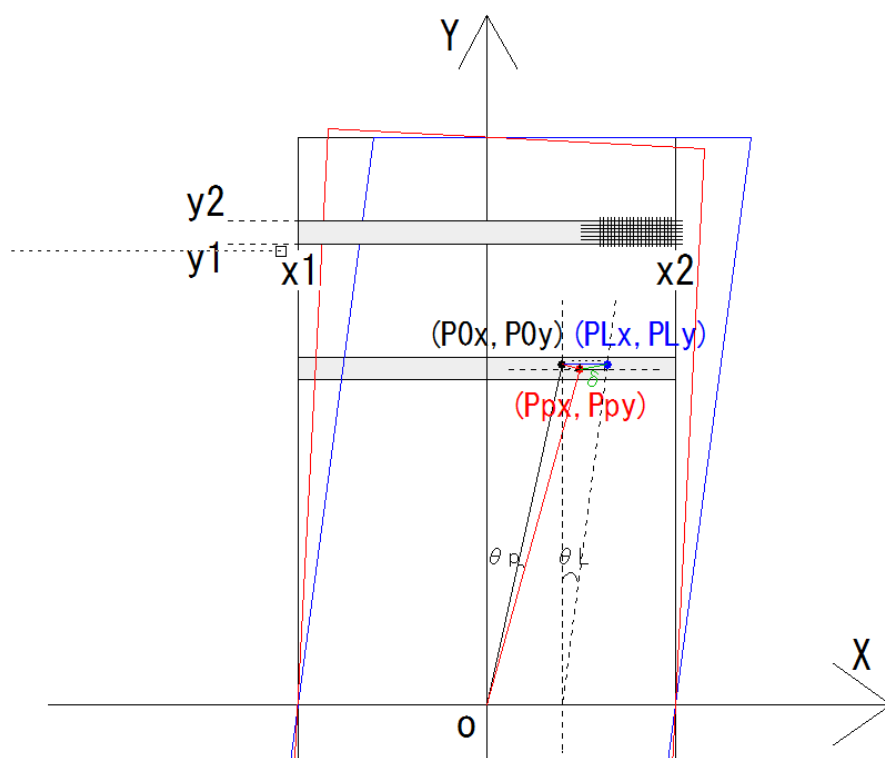


図 6-14 漆喰接合点の移動量の幾何学的関係〔赤：回転する漆喰層，青：せん断変形する軸組〕

上図のように，任意の接合点〔木摺空きの漆喰の微小部分とする〕 $P_0$  から，漆喰層が  $P_p$ ，木摺表面部分が  $P_L$  へ移動したと仮定する． $P_L$  は軸部と一体に水平移動のみを受けるとし，また  $P_p$  は漆喰面の中心を軸として回転すると仮定する．この移動後の変位量の差  $\delta_{PL}$  に応じたせん断応力が発生すると考えられる．

ここに，軸部のせん断変形量  $\theta_L$  と漆喰層の回転量  $\theta_P$  の比  $\theta_P/\theta_L$  を  $r$  とすると， $\delta$  は以下の式で表される．

$$\delta_{LP} = \sqrt{(P_{0x} + P_{0y} \cdot \theta_L - P_{Px})^2 + (P_{0y} - P_{Py})^2}$$

$r$  は、上述の  $\delta_{LP}$  と対応する応力度  $F$  により、発生する各接合点によるモーメントに関するつり合い式を満たすように定められるが、各接合点の降伏状況により、モーメントの分担が異なり、 $r$  の値も変化すると考えられる。そのため、収束計算を行い、各変形ステップにおける  $r$  を算出する。各  $r$  と対応する  $F$  の水平成分の和  $\Sigma F_x$  を算出し、これを漆喰層によって発生するせん断力であるとする。

具体的な解析は以下の流れで行った。

$\delta$  : 漆喰層、フレームの接合点の変形後の距離

$\theta_L$  : フレーム（壁全体）の変形角[rad.]

$\theta_P$  : 漆喰層の変形角[rad.]

$r = \theta_P / \theta_L$  : 回転角比

$P_{0x}, P_{0y}$  : 変形前の初期位置の座標

$P_{Lx}, P_{Ly}$  : 接合点のフレーム側の変形後の座標

$P_{Px}, P_{Py}$  : 接合点の漆喰層側の変形後の座標

$F$  : 各接合点に発生する応力

$M_x, M_y$  : 各接合点に発生する、回転中心周りの  $x, y$  各方向の回転モーメント

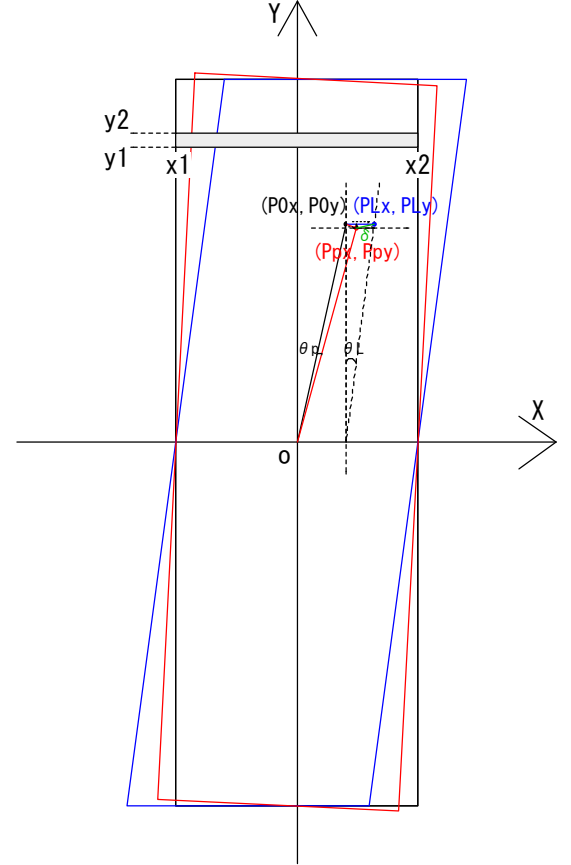


図 6-15 接合点の移動

ある変形角  $\theta_L$  における、漆喰接合点の変位量  $\delta$  は以下の式によって求められる。

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{(P_{Lx} - P_{Px})^2 + (P_{Ly} - P_{Py})^2} \\ &= \sqrt{\left( P_{0x} + P_{0y} \cdot \theta_L - \sqrt{P_{0x}^2 + P_{0y}^2} \cdot \cos(\arctan(P_{0x}, P_{0y}) - \theta_L \cdot \theta_{P/L}) \right)^2 + \left( P_{0y} - \sqrt{P_{0x}^2 + P_{0y}^2} \cdot \sin(\arctan(P_{0x}, P_{0y}) - \theta_L \cdot \theta_{P/L}) \right)^2} \end{aligned}$$

また、漆喰接合点のせん断耐力に関する実験式  $F(\delta)$  を用いて、発生する応力の  $x, y$  成分は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} F_x &= F \cdot (P_{Lx} - P_{Px}) / \sqrt{(P_{Lx} - P_{Px})^2 + (P_{Ly} - P_{Py})^2} \\ F_y &= F \cdot (P_{Ly} - P_{Py}) / \sqrt{(P_{Lx} - P_{Px})^2 + (P_{Ly} - P_{Py})^2} \end{aligned}$$

よって、ある接合点  $dx, dy$  のある変形角  $\theta_L$  における、回転中心  $o$  まわりの回転モーメント  $M$  は以下の式で表される。

$$M = F_x \cdot P_{Py} - F_y \cdot P_{Px}$$

$M$  は漆喰層全体では合計 0 となっていると想定し,  $r$  を変化させた収束計算を行い, 各変形角での  $F_x, F_y$  を算出する [自由回転の場合]. 左右の拘束を考慮した解析の場合は,  $M$  がフレームに与えられる荷重であると仮定して, 頂部での水平荷重を算出する [左右拘束の場合].

■木摺空きの漆喰によるせん断剛性の解析フロー

漆喰層が自由回転によってモーメントが釣り合う場合の解析の流れは以下のとおりである. 本章で扱う解析では大壁斜め木摺 [註付録参照] がこの場合にあたる. 真壁において左右の拘束があると仮定した本研究の真壁のような場合は, 同様の解析を  $r=1$  を固定条件としてモーメントの合力を算出することで漆喰の負担荷重を算出する.

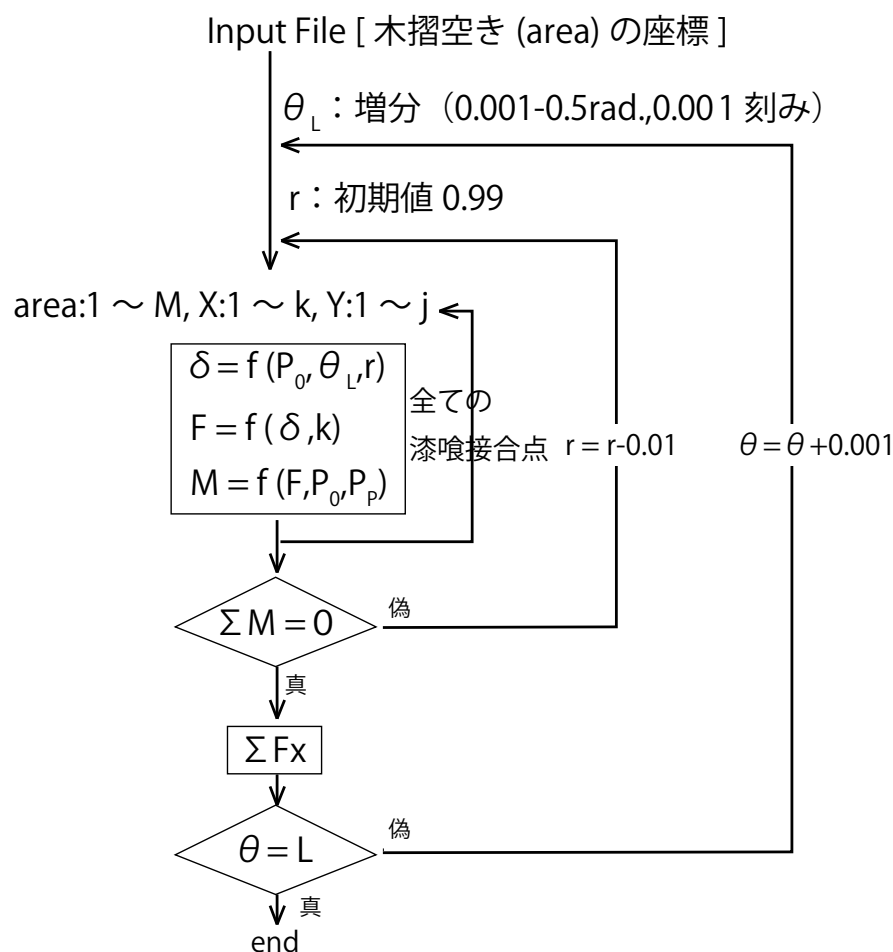


図 6-16 木摺空き漆喰接合部のせん断剛性解析フロー



■解析プログラム (Matlab上で作成)

```

clc
clear all

%% ===== INPUT FILE ===== %%
AREA = load(uigetfile);
[M,N] = size(AREA);

%% ===== FACTOR ===== %%
int = 0.0001; % interval of angle 変形角刻み
Fin = 0.02 ; % end of angle 解析終了変形角
Theta = int:int:Fin;
L = length(Theta);
%% ===== ANALYSIS ===== %%
for x = 1:L; % theta
    R(x) = 1; % R initial value : rの初期値
    AB = 10; % AB initial any value
    limit = 0; % R minimum value : rの最小値

    while AB>=5 % 収束条件
        if R(x) >= limit
            R(x) = R(x) - 0.0001;
            for i = 1:M;
                dx = 10; % X-length of micro area
                dy = 10; % Y-length of micro area
                NumX(i) = (AREA(i,3)-AREA(i,2))/dx;
                NumY(i) = (AREA(i,5)-AREA(i,4))/dy;

                for j = 1:NumY(i);
                    for k = 1:NumX(i);
                        IP = [AREA(i,2)+(k-0.5)*dx, AREA(i,4)+(j-0.5)*dy];
                        Int_L = sqrt(IP(1,1)^2+IP(1,2)^2);
                        AT = atan2(IP(1,2), IP(1,1));
                        LP(1,1) = IP(1,1) + IP(1,2)*Theta(x);
                        LP(1,2) = IP(1,2);
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

```

PP(1, 1) = Int_L*cos(AT-Theta(x)*R(x));
PP(1, 2) = Int_L*sin(AT-Theta(x)*R(x))
D(x) = sqrt((LP(1, 1) - PP(1, 1))^2 + (LP(1, 2) - PP(1, 2))^2);
f(x, i, k, j) = 100*1.09e-3*D(x);
    if f(x, i, k, j) > 100*7.01e-4
        f(x, i, k, j) = 0;
    else
        f(x, i, k, j) = 100*1.09e-3*D(x);
    end
    fx(x, i, k, j) = f(x, i, k, j) * (LP(1, 1)-PP(1, 1)) /
sqrt((LP(1, 1)-PP(1, 1))^2+(LP(1, 2)-PP(1, 2))^2);
    fy(x, i, k, j) = f(x, i, k, j) * (LP(1, 2)-PP(1, 2)) /
sqrt((LP(1, 1)-PP(1, 1))^2+(LP(1, 2)-PP(1, 2))^2);
    m(x, i, k, j) = fx(x, i, k, j)*PP(1, 2) - fy(x, i, k, j)*PP(1, 1);
end
end
end

RL = [x, R(x)];
Fxi = sum(sum(f, 4), 3);           % force per area [theta, area]
Mxi = sum(sum(m, 4), 3);           % moment per area [theta, area]
Fx = sum(Fxi, 2);                   % force per theta [all area]
Mx = sum(Mxi, 2);                   % moment theta [all area]
Mo = Mx(x, 1);
AB = abs(Mo);

else
    break
end
end
end

%% ===== RESULT ===== %%
Fxxi = sum(sum(fx, 4), 3);
Fxx = sum(Fxxi, 2);

```

■木摺空きの漆喰のせん断応力度－ひずみ関係の解析への適用

木摺空きの漆喰接合部の荷重変形関係に関しては，前述の通り，漆喰のせん断応力度－ひずみ関係が適用可能であると仮定する．また，木摺壁内部における漆喰のせん断状態に関しては，以下の仮定を行った．

漆喰のせん断が発生する部位は，木摺表面附近であるが，木摺は下ごすり漆喰（第1層目，木摺空きと一体）でせん断する．本試験体の場合，せん断変形を受ける箇所は下ごすりの塗り厚 2mm の部分である．すなわち，変位量/2mm をせん断ひずみ量（せん断変形角） $\gamma$  とみなせるとする．

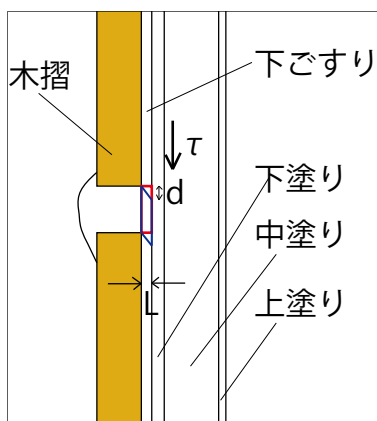


図 6-17 せん断ひずみ角  $\gamma$  の推定

第5章 Sr5 より，せん断変形角  $\gamma$  に比例すると仮定した場合の微小接合点の応力度変位（＝塗り厚・ $\gamma$ ）関係は以下となる．

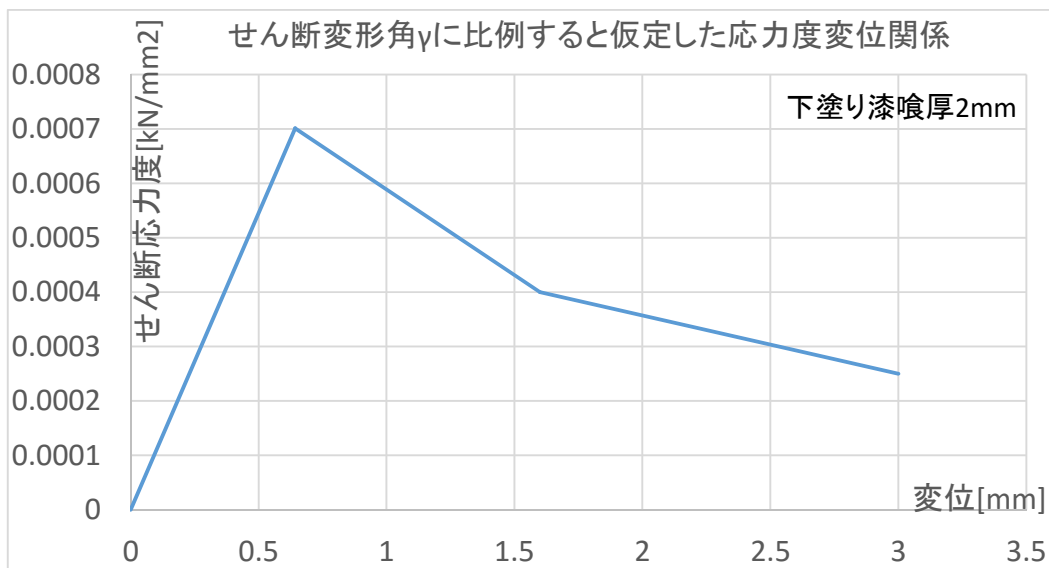


図 6-18 せん断変形角  $\gamma$  に比例すると仮定した場合の応力度-変位関係

### 6.3.3. 四周拘束された木摺漆喰部分のせん断剛性

四周を柱，横架材に囲まれている真壁においては，漆喰層はせん断変形に伴って対角方向に圧縮を受ける．本研究で対象とした真壁水平木摺壁では，前節の仮定で述べたように，鴨居と梁の間の壁が（鴨居による左右の柱への荷重の分配が行われ，壁体がせん断変形する範囲で）この，漆喰層の対角圧縮が支配的な状態が継続していたとしている．また鴨居下の部分に関しても，最大荷重時では幅木端部が損傷し，漆喰層の回転による変形性状を示していたと考えられるが，初期には四周の拘束によるせん断変形，対角圧縮を受けていたと考えられる．適用した要素剛性としては，第5章の木摺漆喰真壁の純せん断要素試験から算出したせん断剛性  $G_y$  を適用した．解析モデルへの適用に当たっては，柱が剛で鴨居による応力の伝達が可能であると仮定しているため，垂れ壁付き独立柱の算定手法で用いられるせん断変形に伴う壁体への逆せん断を考慮し，壁の接合位置に対して壁体の耐力を低減できるものとしている．

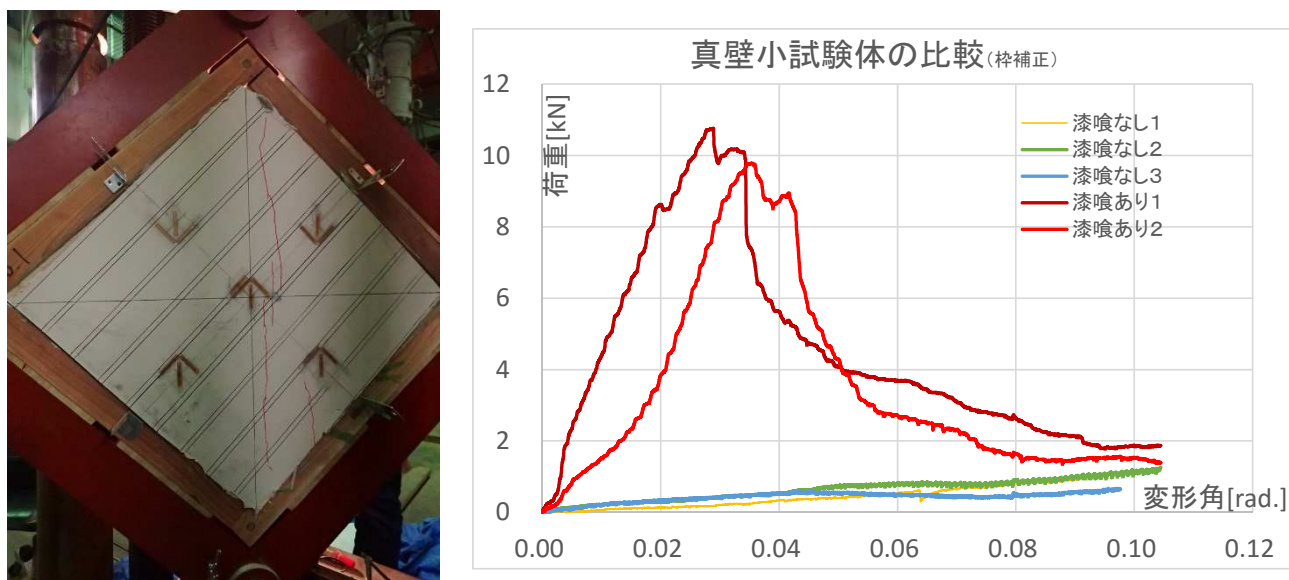


図 6-19 要素実験の破壊性状と荷重変形関係

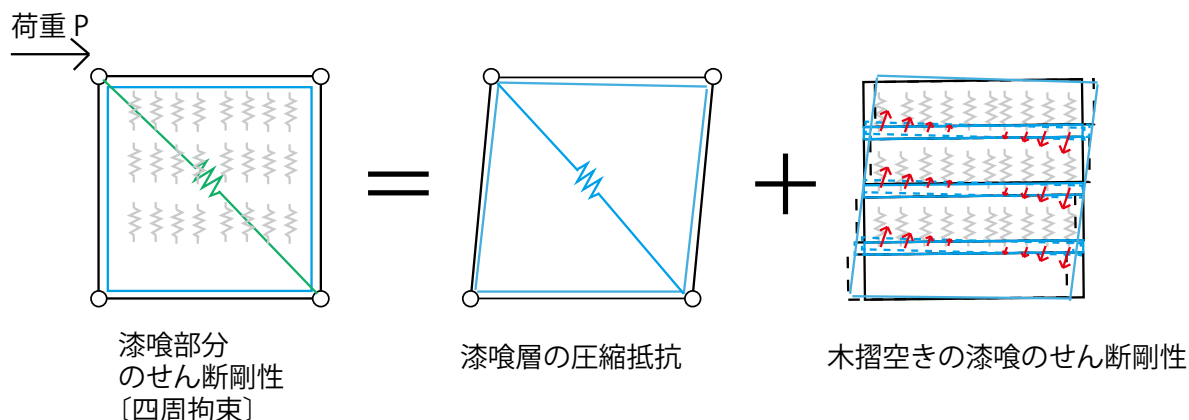


図 6-20 四周拘束の場合のせん断剛性の模式図

## 6.4. 解析結果

以上のモデルおよび抵抗要素の仮定に基づく真壁水平木摺の初期剛性推定モデル，最大荷重推定モデル，および斜め木摺下見板張壁の荷重変形推定モデルの解析結果について述べる．

### 6.4.1. 真壁水平木摺漆喰壁の解析

#### 6.4.1.1. 解析の仮定と適用条件

解析の仮定：

##### ■初期と最大荷重時での共通の仮定

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとする．
- ・軸組部分と木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する．
- ・木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする．
- ・柱脚の浮き上がり，間柱と貫のめり込みは無視できるものとする．
- ・鴨居と柱の接合部，幅木と柱の接合部はピン接合で圧縮・引張軸力を負担しうる．ただし，幅木と柱の接合部は最大荷重時には端部の損傷によって端部の拘束がなくなる（部材なし）とする．
- ・木摺 - 釘 - 木摺受け接合部は，半剛接の回転ばね．また，間柱は両端ピン接合の剛体と見なし，柱，間柱での釘の回転ばねの剛性は同じとする．
- ・木摺端部と柱側面の接触によるめり込み抵抗，および木摺端部と柱側面の間に入った漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する．
- ・木摺空きの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は無視できるものと仮定する．

初期： $1/120\text{rad}$ .（見かけの変形角）まで，最大荷重時以降： $1/60\text{rad}$ .（見かけの変形角）の状態の再現を狙ったモデル．

##### ■初期剛性モデル

- ・鴨居と梁の間の漆喰層は，せん断変形に伴う対角圧縮が初期から実験終了時まで支配的であるとする．

##### ■最大荷重時以降モデル

- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は，
  - ①変形初期は漆喰層の対角圧縮が支配的で，
  - ②その後，幅木の損傷に伴って，漆喰層の上下拘束が減少するため，回転変形量が増加することで，木摺空きのせん断が支配的な抵抗機構に移行し，最大荷重時には木摺空きのせん断のみが作用したと仮定する．
- ・鴨居と幅木の間の漆喰層は剛体と仮定する．
- ・木摺空きの漆喰は木摺と一体となって挙動する．
- ・木摺空きの漆喰のせん断は，剛体と仮定した漆喰層と木摺空きの漆喰間の漆喰せん断ばねの拘束によって抵抗する．



# ■各解析モデルにおける荷重の算出方法

## ①木摺 - 釘 - 木摺受け, 木摺 - 釘 - 間柱の回転抵抗 (共通)

解析モデルにおいて, 木摺 39 枚, 各間柱 2 本両端の受け木の計 4 か所の 156 か所に N32 各 2 本打ちであった. 要素実験結果による一接合部当たりの回転抵抗を接合箇所倍し, 水平荷重によるモーメントとのつり合い (試験体高さ 2783mm) から水平荷重を算定した.

## ②木摺空きの漆喰によるせん断抵抗 (最大荷重モデル)

前項で記述したように, 最大荷重時には漆喰層は柱によって左右を拘束された回転変形によって, 木摺空きがせん断抵抗していると仮定している. この場合, 回転変形角は全体のせん断変形角と同様となる. 移動量に応じた各微小領域 (1mm\*1mm) のせん断剛性の総和が軸組に与えるモーメント抵抗であるという仮定によって, 頂部からの水平荷重とのつり合いによって水平荷重を算出した.

## ③漆喰層によるせん断・対角圧縮効果 (共通)

四周を拘束されていると仮定できる鴨居と梁の間の木摺漆喰部分に関しては, 漆喰層が対角圧縮効果を含んだせん断変形を行うと仮定している. 負担せん断力は, せん断剛性及び軸材の変形性状の仮定に基づき壁高さに応じた逆せん断を考慮し水平荷重を算出した.

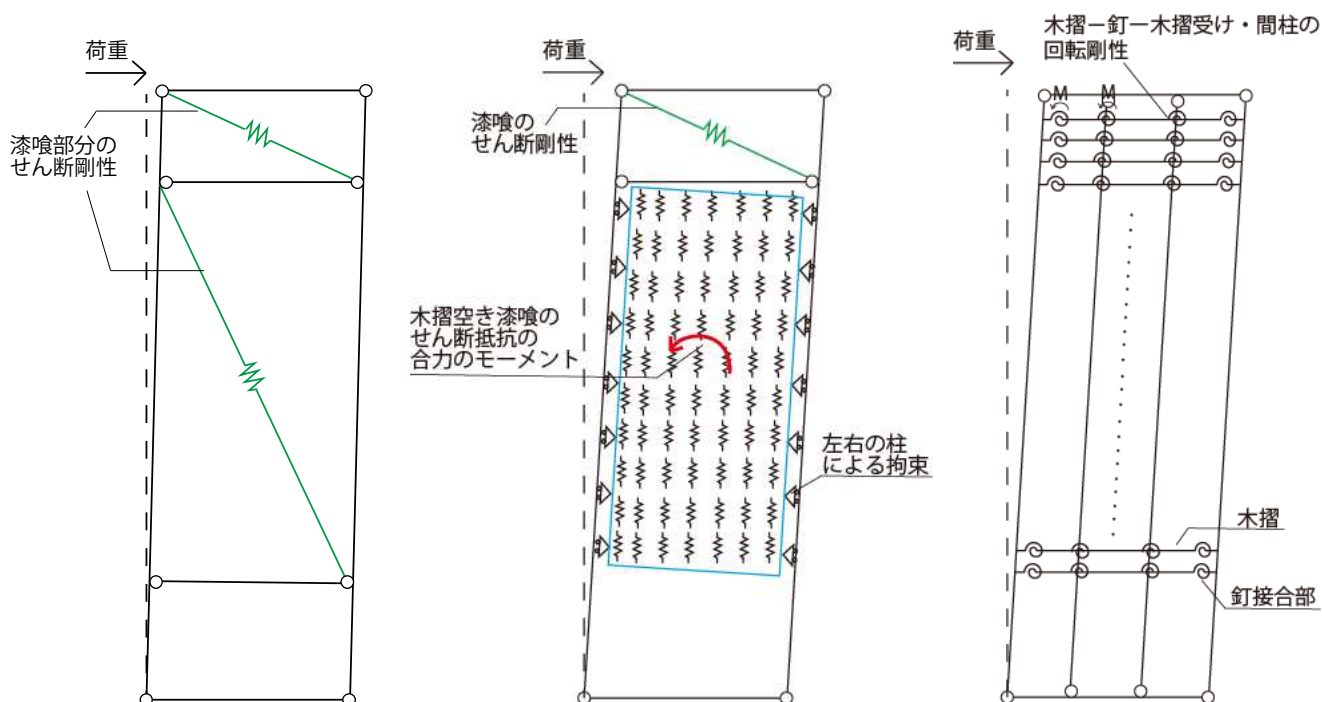


図 6-21 真壁水平木摺漆喰の解析モデル (木摺漆喰: 初期剛性時, 最大荷重以降, 釘)

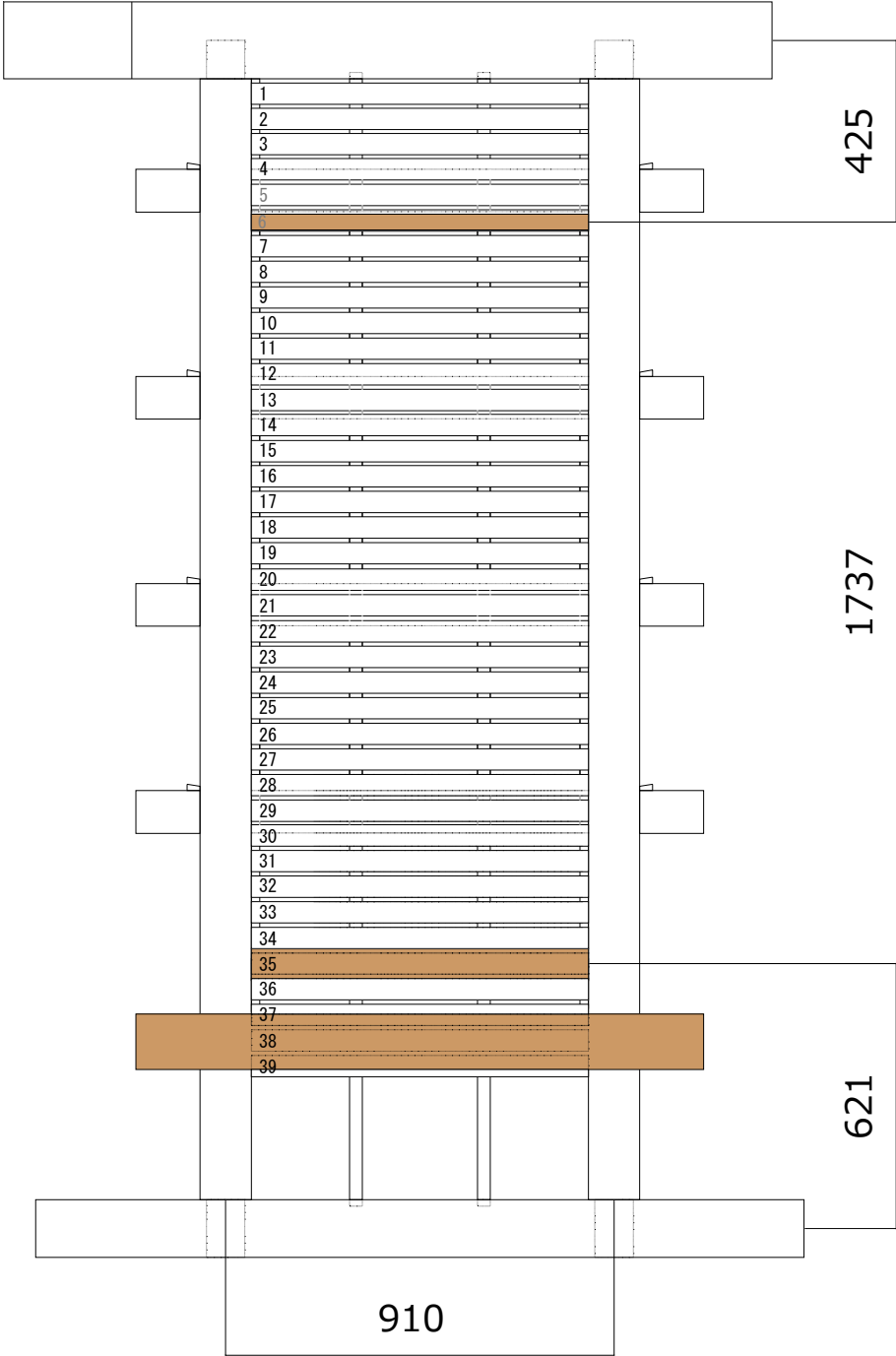


図 6-22 真壁水平木摺壁〔真々910\*2783〕 解析対象図

#### 6.4.1.2. 真壁水平木摺漆喰壁の解析結果

##### 解析1：初期剛性推定モデル

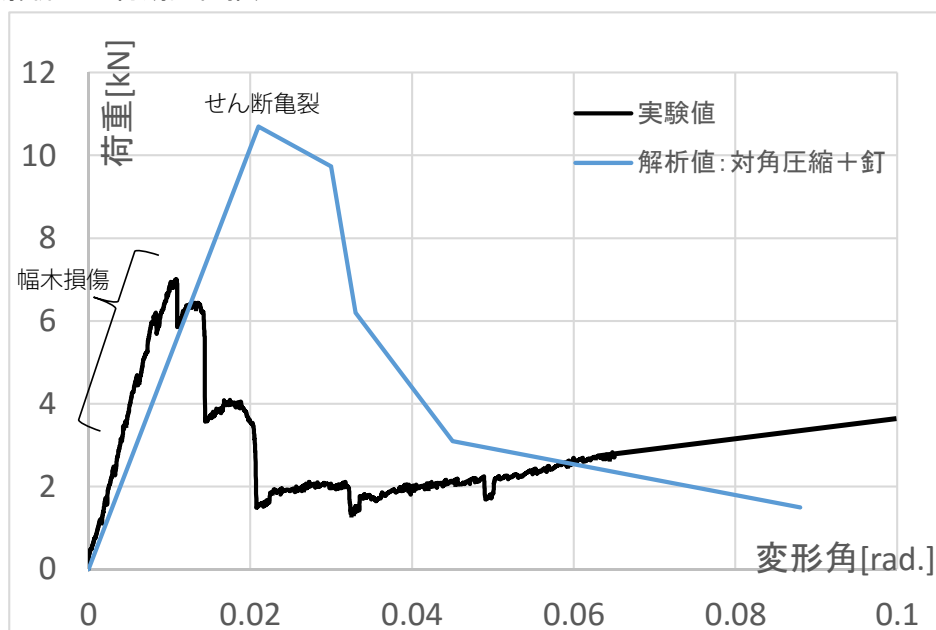


図 6-23 初期剛性推定モデルの解析結果

幅木、鴨居の端部接合部が損傷しておらず、ピン接合で引張圧縮力を負担でき、柱が剛接合である、すなわち鴨居と梁の間の壁と鴨居と幅木の間の壁がそれぞれせん断変形に伴う対角圧縮を受けると仮定した場合が本解析の結果である。

実験での破壊性状からは、1/120rad.付近からは幅木が損傷し始めているため、実現象との対応関係は 1/120rad.付近までであるが、最大値も算出し、実験での破壊条件との比較を行った。

初期剛性：

実験値 610kN/rad. (1/600rad.割線剛性)

解析値 510kN/rad. で約8割の結果であった。

最大荷重：

実験値平均 7kN, 解析値

本解析のモデルは、漆喰層の四周の拘束条件が変化せず、漆喰層のせん断破壊によって最大耐力に達することを仮定している。実験では幅木端部の損傷に伴って対角圧縮の影響は減少しているため、漆喰層は破壊せず、木摺空きの漆喰のせん断が切れて破壊した。

解析結果の考察：

解析の仮定で省略した要素の影響：

①柱の曲げ変形： 左右の柱の曲げ変形状の違い。柱2本によるせん断性状ではなかった場合、壁のせん断剛性はより低く発現した可能性がある。

②間柱と貫のめり込み抵抗：貫幅が細いため影響は限定的であったと想定していたが、実験値の剛性の上昇に寄与した可能性がある。

③部材間の空き・滑り

④幅木の損傷による剛性の変化：木摺空きの影響が大きくなった際の連動の効果に関しては今回は考慮していない。それぞれの影響の独立な測定と連動効果の検証が必要である。

最大荷重：解析では、要素実験結果（真壁水平漆喰あり試験体：Sr2SHNO2）を適用しており、その場合は四周拘束が外れず、せん断変形の進行に伴い漆喰層の圧縮による破壊が起こる。一方、実験では、上述のように幅木端部の損傷の進行に伴い、支配的な抵抗要素は対角圧縮から木摺空きのせん断へ移行したため、解析より早期に木摺空きのせん断破壊による荷重低下に至ったと推定される。

## 解析2：最大荷重推定モデル

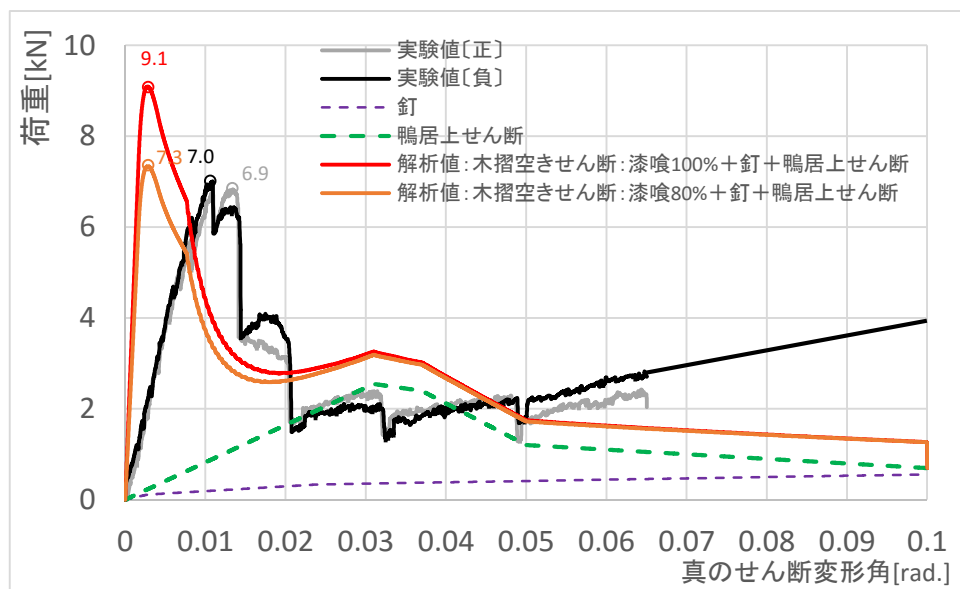


図 6-24 最大荷重推定モデルの解析結果

実大試験の最大荷重時，すなわち鴨居から幅木の間抵抗機構として木摺空きの漆喰のせん断が支配的であった場合の解析結果を示す．点線は釘の回転抵抗および鴨居と梁の間の壁のせん断抵抗である．実線が解析の合計値を示す．なお後述する漆喰の炭酸化に伴う強度変化に関するパラメータスタディの結果も併せて示した．

最大荷重：

9.1kN [1/300rad.] で実験値約 7kN の約 1.3 倍

初期剛性：

4460kN/rad. で実験値約 700kN/rad. の約 6 倍

漆喰以外の要素の寄与：

釘接合部は 1/15rad. を超えても荷重が増加した傾向は実挙動と類似しているが，荷重としては全体の 1/8 程度の寄与にとどまる．鴨居と梁の間の壁の対角圧縮による荷重は，1/30rad. で最大 2.5kN を記録し，その後漸減した．

解析結果の考察：

初期剛性について：

実験値（約 700kN/rad.）と比較して，解析値の初期剛性は約 4500kN/rad. と大幅に大きい結果となっている．理由は解析の仮定にあり，本解析は最大荷重時（実験値正で見かけのせん断変形角 1/60rad.，真のせん断変形角 1/80rad.）には幅木の損傷によって漆喰層の対角圧縮効果が減少しており，漆喰層の回転量が増加することで，木摺空きの漆喰のせん断抵抗が支配的になると仮定している．ただし，実際には幅木の破壊は徐々に進むが，最大荷重ま



での間の、対角圧縮と木摺のせん断での荷重の分担率を推定することは困難である。そのため、ここでは漆喰部分による荷重は、初期から木摺空きのせん断のみ（最大荷重時の状態）であったと仮定している。実際は、対角圧縮による幅木の変形の進行に従って漆喰層の回転変形量が増加しているため、剛性、荷重は最大荷重時まで徐々に増加しているものと推定される。

解析の仮定で省略した要素の影響：

解析の結果、最大荷重は比較的近い結果となったが、本解析モデルでは省略した要素として、上記の初期の変形性状の他には、柱の曲げ変形、木摺空きの縮みによる漆喰および木摺の圧縮による剛性、鴨居による漆喰層の上部の拘束、間柱と貫のめり込み抵抗、木摺端部による柱側面のめり込み抵抗、木摺端部と柱側面の間の漆喰と柱による圧縮抵抗、鴨居の損傷による接合部剛性の変化、木摺空きの漆喰の養生期間中の炭酸化による剛性増加、などが挙げられる。

本解析モデルでは、柱の曲げ変形、鴨居の右端部接合部が引張力を十分に負担しない可能性（圧縮バネのみの可能性）、木摺空きの縮みによる圧縮荷重等は無視している。3者とも実験からは影響が大きくなかったものと仮定しているが、柱の曲げは全体の剛性の低下や鴨居と梁の間の壁体のせん断変形量の減少、後者は大変形時における荷重の増加に影響した可能性が考えられる。

適用した材料特性の影響：

第5章の漆喰せん断試験の評価の項で述べたように、漆喰は炭酸化によるせん断剛性・荷重の増加があることが報告されている。今回の養生期間は実大試験体が約30日、せん断試験用材料試験体が約6か月であったため、実試験体の解析においてはせん断強度を低減する必要があった可能性がある。その影響に関して、例えば実大試験時には材料試験の8割の強度（全変形角において）であったと仮定した場合の結果をグラフ中に「漆喰80%」として示した。現時点では漆喰材料の炭酸化に関する定量的な知見は希少であるが、約5年分（125倍の二酸化炭素濃度中の2週間養生）の養生により、せん断荷重は10倍程度まで増加するという結果が報告されていることから、漆喰を考慮した解析においては漆喰強度の評価は重要であると考えられる。

#### 6.4.2. 大壁斜め木摺漆喰壁の解析

第4章で述べた旧伊達郡役所をモデルとした斜め木摺実験(2P\*3P)を対象として、第5章の要素実験結果を適用した解析を行った。

##### 6.4.2.1. 解析の仮定と適用条件

・軸組部分の抵抗部位とその抵抗機構

- ①：柱および間柱の柱頭・柱脚接合部のモーメント抵抗
- ②：下見板－釘－柱接合部，下見板－柱－間柱の回転抵抗
- ③：柱および間柱の変形による抵抗

・木摺漆喰部分による抵抗部位とその抵抗機構

- ④：木摺－釘－柱，木摺－釘－間柱接合部の釘の回転・せん断による抵抗
- ⑤：漆喰層の回転変形に伴う木摺空きの漆喰のせん断抵抗
- ⑥：漆喰層のせん断剛性
- ⑦：木摺空きの縮みによる漆喰の圧縮抵抗
- ⑧：木摺空きに漆喰が塗り込められ一体化することによる剛性増加
- ⑨：木摺と漆喰の付着

これらの要素に対して、以下の仮定と適用条件によって解析モデルを提示した。

##### 解析の仮定：

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし、また軸組および下見板の部分と、付加される木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する。
- ・木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする。
- ・柱脚の浮き上がり，間柱の曲げ変形が無視できるとする。
- ・木摺－釘－柱・横架材接合部は，半剛接の圧縮・引張方向同性状のせん断ばねと仮定し，そのせん断剛性は要素実験による一面せん断剛性を適用する。また，間柱は両端ピン接合の剛体と見なす。
- ・下見板による補剛により，圧縮方向における座屈による荷重低下は無視でき，圧縮，引張方向で同様の変形状を示すと仮定する。
- ・木摺空きの上下の縮みによる漆喰の圧縮による抵抗は変形の初期から発現しているものと仮定する。
- ・木摺上の漆喰層は剛体と見なし，また木摺空きに漆喰が入ることによる初期剛性の増加は無視できるものとする。初期剛性は木摺空きの漆喰のせん断剛性によって定まるものと仮定した。

##### 適用条件：

- ・柱の曲げ変形が無視でき，軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの。

・柱脚の浮きあがり，間柱の曲げ変形が無視できる場合．今回は間柱は下見板により曲げ変形が拘束されているものとみなす．

・木摺 - 釘 - 柱・横架材接合部では釘は回転せん断挙動を示すが，軸方向の変形が顕著．

・端空きは十分にあり，端抜けによる破壊は起こらず，釘の引き抜けにより破壊する．

・間柱の接合部は回転剛性，抜け出しが無視でき，また下見板等の釘打ちによる拘束があり曲げ変形が無視できる場合

・木摺は下見板等の材によって間柱を通じて座屈補剛されており，面外座屈の影響が小さい場合．

・回転変形する際に漆喰層が十分なせん断剛性を持つ場合は剛体と見なせる．また，漆喰によるせん断剛性の推定において木摺空きに入った漆喰の影響は無視できるものとする．

・上記の抵抗要素の内，解析方法を検討したのは

・軸組・下見板の耐力，(①～③)

・釘のせん断抵抗，(④)

このうち，軸組・下見板と釘は足し合わせによって，木摺のみの場合の荷重変形関係を推定する．釘のせん断抵抗に関しては要素実験の結果を口述の方法で適用した．

以上の仮定のもと，斜め木摺壁に関する力学モデルとして，木摺のみを用いた場合の解析を行った．

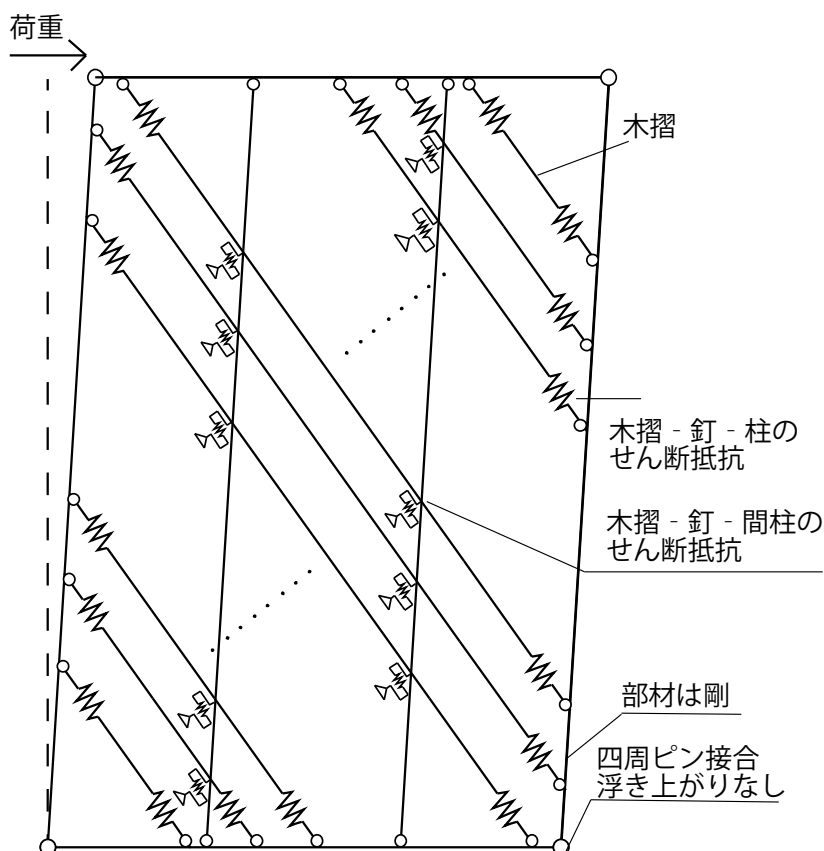


図 6-25 斜め木摺壁の力学モデル〔木摺のみ，圧縮引張は同じとした〕

## 6.4.2.2. 斜め木摺の釘接合部の解析の仮定：間柱の負担荷重を考慮した解析

要素実験では、間柱に関する検討は水平木摺のモーメント抵抗に関してのみ行った。そのため、斜め張でせん断荷重の作用する斜め木摺の釘接合部に関しては以下のような検討を行って解析的に検討を加えた。

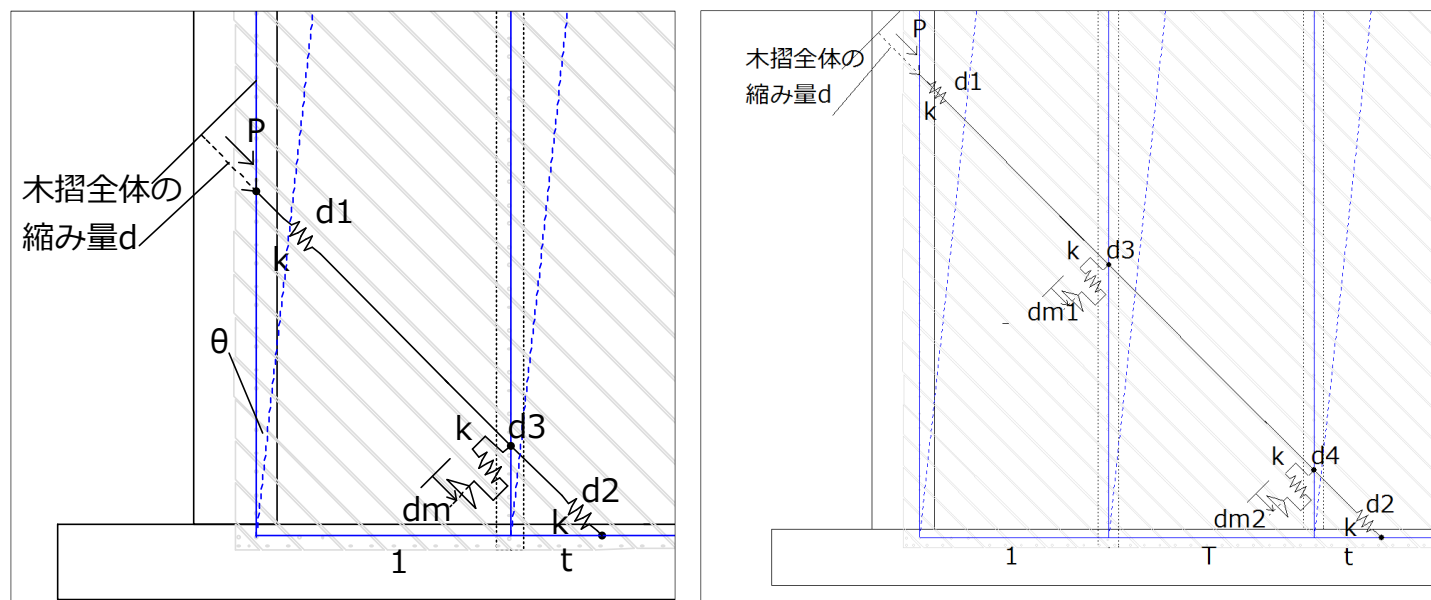


図 6-26 間柱の移動と負担せん断力に関する仮定 左；間柱 1 本，右：間柱 2 本

以下の前提として、試験体の変形角  $\theta$  に対して、木摺全体は筋違と同様に（木摺の回転中心からの距離を  $L$  として） $L \cdot \theta / \sqrt{2}$  の変位を受けるものとする。これを全体変位  $d$  とする。

第5章 Sr3 一面せん断実験より、木摺の長さに拠らず釘接合部による変形が卓越すると想定されたため、釘接合部の位置には、剛性  $k$  を持つせん断ばねが存在するとし、木摺は剛体棒であると仮定する。また、壁のせん断変形角を  $\theta$ 、木摺全体の軸方向変形量を  $d$  とする。このとき、壁に対して変形するのは両端部のみであるとし、 $d = d_1 + d_2$  となる  $d_1, d_2$  を定める。このとき、間柱自体の移動量を  $d_m$  とし、斜め木摺内でのつり合いのために間柱の釘に発生する相対変位量を  $d_3$  とする。柱－間柱の釘距離と間柱－木摺右端部の釘距離の比を  $1:t$  とする。また、柱－間柱の部材に作用する軸力を  $P$  とする。このとき、

$$d_2 = d - d_1$$

$$d_m = \frac{1}{1+t} \cdot d$$

$$d_3 = d_1 - \frac{1}{1+t} \cdot d$$

ここで、バネの変位によるエネルギー量が最小になるように変数  $d_1, d_2$  の比率が定まるとすると、

$$\begin{aligned}
 & k^2 \cdot d_1^2 + k^2 \cdot d_2^2 + k^2 \cdot d_3^2 \\
 &= k \cdot \left\{ d_1^2 + (d - d_1)^2 + \left( d - d_1 - \frac{1}{1+t} \cdot d \right)^2 \right\} \\
 &= k \cdot \left\{ 3d_1^2 - 2\left(1 + \frac{t}{1+t}\right) \cdot d \cdot d_1 + \left(1 + \left(\frac{t}{1+t}\right)^2\right) \cdot d^2 \right\}
 \end{aligned}$$

これを平方完成して解くと,

$$d_1 = \frac{1+2t}{3+3t} \cdot d$$

$$d_2 = \frac{2+t}{3+3t} \cdot d$$

$$d_3 = \frac{2(t-1)}{3+3t} \cdot d$$

これにより, 荷重  $P$  は, バネ  $k$  を  $d_1$  縮めるのに必要な荷重として実験式 (第5章の一面せん断による) から算出される. 同様に, 間柱を2本またぐ場合は, 間柱のばねを  $d_3, d_4$  とし, 同様にエネルギー最小となるように解くと,  $d_1-4$  は以下のように算出される.

$$d_1 = \frac{3t+3}{4(2+t)} \cdot d$$

$$d_2 = \frac{t+5}{4(2+t)} \cdot d$$

$$d_3 = \frac{t+1}{4(2+t)} \cdot d$$

$$d_4 = \frac{t-3}{4(2+t)} \cdot d$$

この式により, 各木摺の  $\theta$  に対する変形量が算出される. 荷重変形関係は以下の一面せん断モデルを適用した.

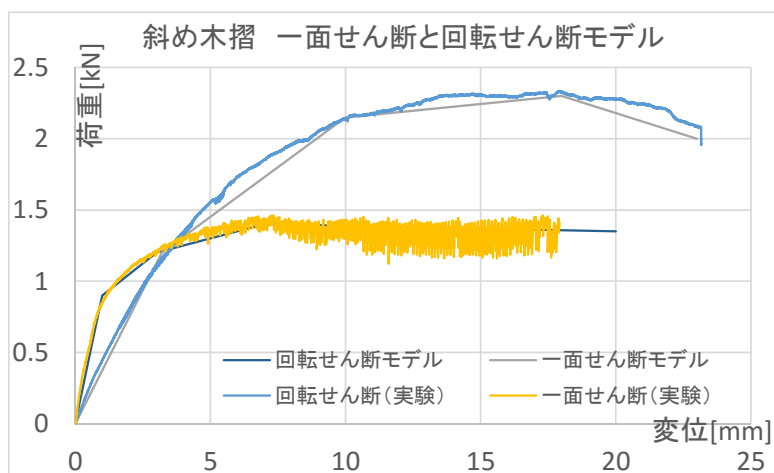


図 6-27 斜め木摺の一面せん断モデル

以上によって算出された木摺端部の変位量に上記モデルの一面せん断剛性を適用し、各変形角での軸方向応力が算出される．この荷重によって壁体に作用するモーメント抵抗を求め、頂部水平荷重に変換した結果を負担荷重とする．接合部一面せん断剛性は、一面せん断試験結果によるものと、回転せん断試験結果を一面せん断とみなしたものを適用して比較した．

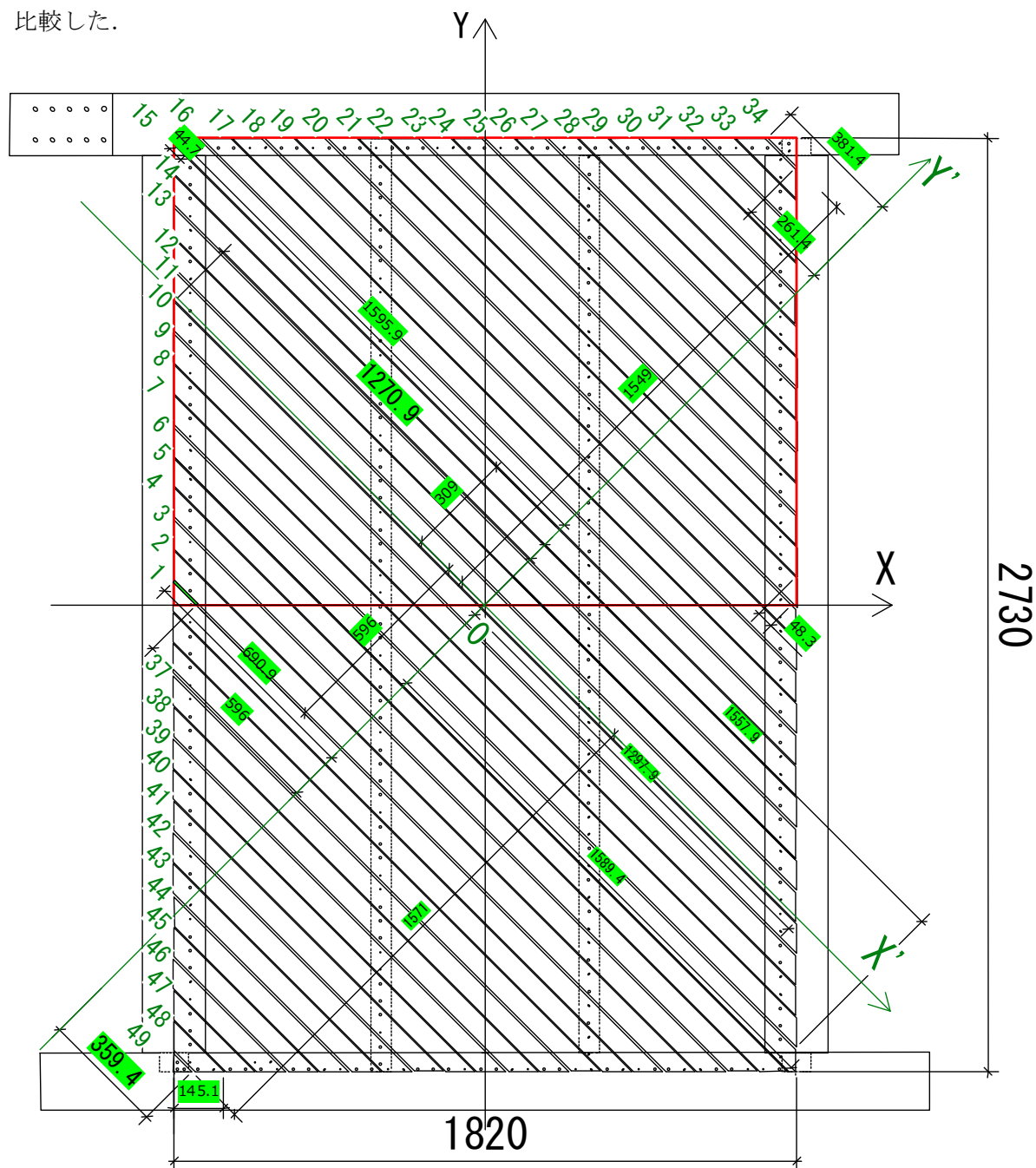


図 6-28 斜め木摺解析試験体 解析座標の設定



### 6.4.2.3. 大壁斜め木摺壁（漆喰なしの場合）の解析結果

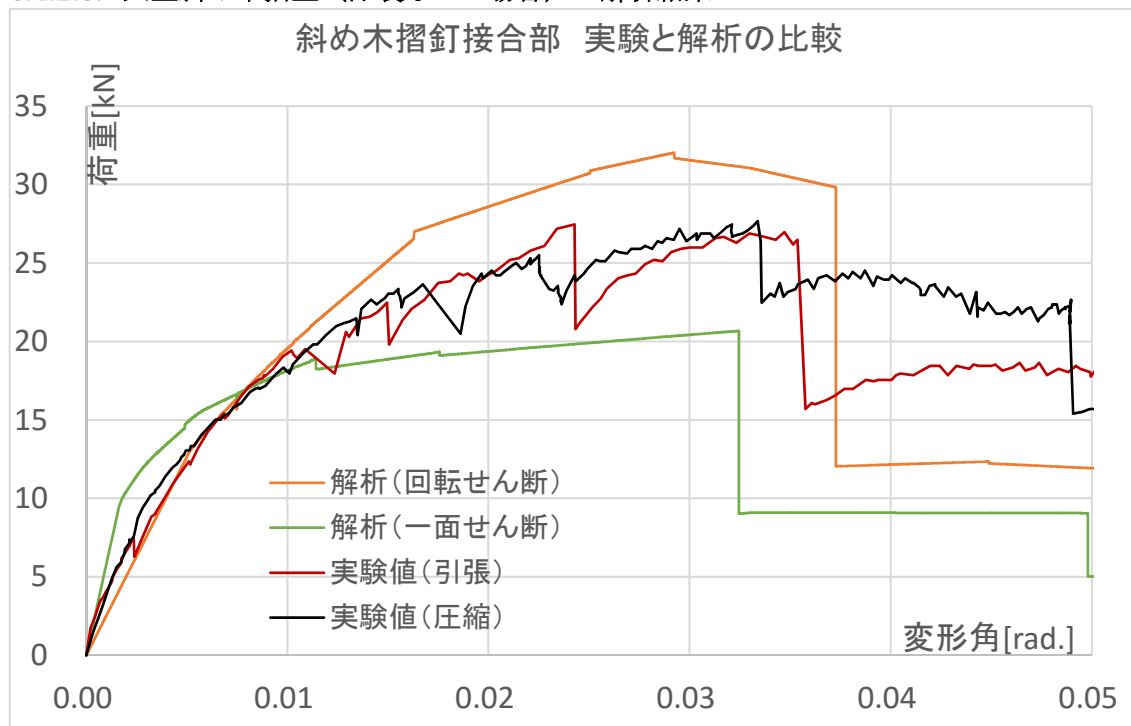


図 6-29 斜め木摺壁の釘解析の結果

初期剛性：

実験値 3300 (正負平均)  $\text{kN/rad.}$ に対して、一面せん断剛性を適用した場合 5800 $\text{kN/rad.}$ 、回転せん断を適用した場合 2500 $\text{kN/rad.}$ 、

一面せん断に対して回転せん断剛性を適用することで剛性は約 60%低減された。

実験値に対して回転せん断で 0.8 倍、一面せん断では約 1.8 倍

最大荷重：

実験値 27 $\text{kN}$  に対して、一面せん断で 21 $\text{kN}$ 、回転せん断で 32 $\text{kN}$ 。

初期剛性、最大荷重共に実験値の上下約 2 割程度の範囲の結果となった。なお最大荷重時の変形角は約 0.03-1/30 $\text{rad.}$ であり、実験結果と概ね一致する結果となっている。急激な荷重低下は適用した要素モデルにおいて、大変形での荷重を 0 としているためである。

解析結果の考察

本解析の仮定の影響：

本解析の仮定では、柱・間柱の曲げ変形、柱・間柱のねじれ、柱脚部の浮き上がり、木摺の座屈は無視できるものとし、四周ピンの剛体のフレームに木摺を固定した条件としている。柱は 164\*182 と十分に大きく曲げ変形の影響は少であると仮定しているが、解析上は剛性は強く発現していると推定される。

また、軸組及び下見板による抵抗は既往の実験結果を参照し (1/30 $\text{rad.}$ で 4 $\text{kN}$  のバイリニアモデル)、これを軸組の荷重変形関係であると仮定し、足し合わせ可能であるものと仮

定している．解析に適用した軸組・下見板の初期剛性への寄与は  $120\text{kN/rad.}$ ，最大荷重への寄与は  $4\text{kN}$  である．下見板壁のみに関する実験結果は希少であるが， $1.82\text{m}$  当たり約  $1.5\sim 4\text{kN}$ ，初期剛性は  $75\sim 120\text{kN/rad.}$  程度であり，足し合わせが可能と仮定した場合，影響の程度は比較的小さかった．

なお，今回の解析では要素実験の結果および実大試験で確認された下見板の付加による座屈補剛効果を元に，座屈による影響は考慮していないが，第4章で触れたように実大試験体では木摺は面外に変形しており，これに関しては実大試験体では裏は下見板張で剛性が大きく異なると考えられ，水平荷重に対して柱がねじれるなどの変形が確認されている．

今後は軸部材の変形を考慮した解析，および座屈補剛の効果等に関して検証すること，また接合部の回転せん断機構の解明，間柱の曲げを考慮した荷重の分担に関する検討などが必要である．

実験結果で見たように，斜め木摺漆喰壁においては，漆喰のもたらす影響は主に初期剛性と引張時の最大過重であった．本研究内では，それ等の抵抗機構の一端を示す，木摺空きのせん断抵抗や，木摺空きの縮みによる圧縮について考察する案を提示するにとどまっている．実態に即した研究を行うには，今後は下塗りのみの試験を実施するなどの方法を実施する必要があると考える．

### 6.5. 考察

#### 本解析方法の適用範囲の木摺漆喰壁構法との関係

今回対象とした真壁水平木摺壁に関する力学モデルの大きな特徴は、開口部、鴨居、幅木といった部材の影響によって、漆喰壁の抵抗機構が変化したという点である。すなわち、漆喰層の対角圧縮によって幅木の端部が損傷することで漆喰層の回転剛性が増加した。

すなわち、今回の解析は、変形初期、最大荷重時、とモデルを故障しているが、実際には全面壁モデル、左右拘束モデルに近いと考えられる。拘束条件の違いは、すなわち漆喰部分の抵抗要素として考えられる対角圧縮、木摺の回転せん断の割合に影響するものと考えられる。ただし、木摺の空きに入った漆喰自体の圧縮、引張等の影響については本研究では扱っていない。これは実験から、漆喰のゆるみが顕著であったため、大変形でも圧縮は作用していないと判断したためであるが、漆喰の入り込み具合、木摺の厚み等によっては大きく影響する可能性も考えられ、今後は漆喰層、木摺空き漆喰のせん断、木摺空き漆喰の圧縮のそれぞれの組み合わせとしての強度評価を検討する必要があると考えられる。

今回の解析方法が適用できる範囲に関しては、変形初期のモデルに関しては全面壁への適用は概ね可能であると考えられるが、要素実験試験体は45度のものを使用しているため、縦横比の影響が実際への適用に当たっては考慮する必要があると考えられる。

最大荷重モデルは、左右拘束の壁というやや特殊な条件であるが、幅木、鴨居等の支持が破損することは和風の仕様では考えられるため、そのような場合の最大荷重については検討できるものと考えられる。また、これは仮定であるが、窓枠間に仕上げた漆喰壁など洋風の大壁の建築でも左右拘束に近い状況の建物はありこの場合の最大耐力の検討もできる可能性がある。また、柱の曲げの無視、鴨居の接合部のピン仮定などの限定もあるため、手法の整備と共に適用する建物の軸部仕様との関係が重要になる。

大壁斜め木摺に関しては、全部材を剛体としている仮定になっている。実験から座屈の影響は微小と考えたが、下見板壁の付加による補剛の機構やそれが成り立つ仕様に関しては不明であり、実際の建物への適用に向けては、今後座屈の検討が必要である。また、曲げ変形の影響に関しても、今回の壁は2P\*3Pと比較的横長であったため、斜め木摺の2端部が柱と梁にそれぞれに結合しているものが全体の2/3以上を占めていたため、比較的曲げの影響は少なかったものと推測される。すなわち、柱と柱の間に斜め木摺が入る部材が多くなった場合、荷重による曲げへの影響については検討の必要が出てくると考えられる。実際には短いスパンに斜め木摺を張る場合もあるため、その場合の適用に当たっては、曲げの検討を行い、柱間の木摺と、梁柱、土台柱間の木摺について別途に検討する必要がある可能性もある。

斜め木摺では、剛性、荷重ともに木摺釘の影響が大きいことが分かったが、詳細なモデル化を検討するには、漆喰を塗布した場合について、今回概略を検討した木摺空きの圧縮、木摺空きの漆喰のせん断だけでなく、木摺空きの漆喰の圧縮や埋め込みが初期剛性に与える影響の検討、漆喰層自体のせん断剛性、破壊メカニズムについても検討する必要がある。

### 木摺空きへの漆喰の食い込みの度合い：漆喰のアンカー量

本研究の解析方法で仮定したせん断が生じる際には、木摺空きに漆喰が十分に食い込み、また木摺による押さえ込みが十分であり、一面せん断状態と同様となることを前提としている。しかし、実際には木摺空きへの漆喰の食い込みは十分でない場合も想定される。解析の比較対象とした実大試験体に関しては、両者ともに不十分な食い込みの程度（木摺の裏側まで漆喰が達していない）の箇所があったことが確認された。

斜め木摺漆喰試験体では、下見板を裏側に張った状態での施工であったため、漆喰の出具合の確認が施工中には困難であった。施工中の観察結果として、約 8mm 前後食い込んでいたこと（木摺厚さ 12mm の 2/3）が確認されている。また、解体後の観察からは、木摺の裏側まで漆喰が突き出していない箇所があったことが確認された。このため、発揮されたせん断耐力は解析上よりも低かった可能性がある。



図 6-30 斜め木摺漆喰壁 試験後解体写真 木摺空きへの漆喰の状態

一方、真壁水平木摺試験体では、漆喰は木摺の裏にある程度出ているが、これも不十分な箇所がある（第4章加力前写真参照）。また、木摺の裏には貫がある場合もあり、この場合も漆喰の食い込みが不十分にとどまった可能性がある。

また、解析における一面せん断は十分な押さえ込みによってせん断力を作用させている。木摺と漆喰が共に動く状態での押さえ込みは（さらに水平垂直方向以外の移動も同条件としている）弱いため、実試験体との対応では、実験値を適用したせん断力のみでの評価は降伏変位を過小評価していたと推測される。

### 漆喰の材料特性の影響

発現する強度の最大値には適用した一面せん断の値の影響が大きいと考えられるが、5章でも考察したように、今回の漆喰の強度は既往研究での実験データの4倍ほどの最大応力度を発現していたが、乾燥期間や水漆喰比（密度）を調整し、解析と実験との対応状況を検討するには同様な乾燥状態の漆喰を用いる必要があったと推測される。

### 試験体のねじれ

特に大壁の斜め木摺実験では、表を斜め木摺、裏を下見板張としていた。そのため、剛性の差が大きく、柱が回転する挙動を示していた。実大実験では木摺の面外変形が確認されていることもあり、一面せん断による推定の精度を上げるためには偏心加力状態での斜め木摺の座屈試験を実施するなど、座屈とその影響について検討する必要があると考えられる。

### 真壁仕様の特徴について

また、真壁仕様の特徴であると考えられる、柱との接触による効果が剛性の上昇に影響するのに加え、端部での破壊性状にも影響している。本解析の目的の一つは、漆喰壁の構造性能において、漆喰は初期に支配的であるが、その後は釘その他の部材によって支配的となるがそれでもある程度の変形性能を有していることを確認することであったが（第4章の事件結果の検討）、釘接合部について、大壁では端空きもとることが可能であり、亀裂破壊は要素試験でも見られなかったが、真壁に関しては、めり込みの発生と釘の引き抜けによる荷重の低下に加えて端部での亀裂が発生した。受け木巾によって空きは決まってくるが、漆喰崩壊後の荷重を評価する際、真壁の場合には端の亀裂に関して検証を行う必要があると推測される。

### 本解析の手法から見た木摺漆喰壁の寸法変遷の構造的影響

本解析では、主に釘の回転剛性と木摺空きの漆喰のせん断剛性、漆喰層の対角圧縮を考慮した解析を行った。この観点から、第3章で行った寸法分析の結果を検討すると、木摺自体の寸法として、巾、厚みの変化がある。

幅が狭くなることについては、回転剛性・せん断が作用する際の割裂、端抜け、釘間隔が短くなりモーメント抵抗が小さくなることにつながる可能性があり、構造部材の変化としてみると、安全性が低下する方向の変化だと考えられる。ただし、一構面に張る枚数が増加する場合は累加性も考えられる。また、厚みの変化については、釘の支圧面積、漆喰の押さえ込み面積に影響するとかんがえられる。

漆喰のせん断剛性に影響を与える要因として空きについて考察する。柱等から木摺へ伝達された力により、木摺はせん断変形をし、木摺間の漆喰もそれに追従すると考えられる。一方で、漆喰層の方は、四周の固定がない場合は、木摺空きの漆喰との接合点とのせん断抵抗とのつり合いにより回転抵抗を発生し、回転移動するものと推測される。ただし、地震被害

で見られたように、各層の定着が十分でない場合は中塗り層で破壊する可能性がある。漆喰層の回転と木摺空きの漆喰の水平移動量の差により、せん断剛性が発現し、その差により漆喰の接合点は（差が大きくなる）外周部から破壊すると考えられる。ただし、これは大壁でかつ四周が拘束されず漆喰層が自由回転する場合である。この場合、壁の剛性は木摺空きのせん断剛性が支配的である。

漆喰層が自由回転すると仮定した場合、ある変形角における木摺空きの漆喰によるせん断剛性の大きさには、試験体の縦横比（回転中心からの距離）と微小点の数（面積）が影響する。縦横比が同じ木摺漆喰部分で木摺空きの面積が大きければ、各微小点合計面積によって合計のせん断力の大きさが決定される。よって、この場合、木摺空きは大きくなるほど壁体の剛性は増加し、壁体の変形量の抑制に寄与するものと考えられるが、施工上の限界やせん断抵抗への木摺のはみ出し部分（アンカー）の影響などが変化する可能性が考えられ、適用範囲に関しては検討の必要がある。

なお、漆喰の破壊条件に関しては、今回は、漆喰接合部分のせん断変形量は相対移動量/下塗りの厚み、と仮定している。そのため、木摺の空きが大きくなっても、破壊に至る変形角はほぼ同様である。

なお、今回の実験及び解析で対象としたのは、真壁水平および大壁斜めであるが、真壁水平の場合は初期には四周拘束であるが、徐々に下部の拘束が緩み、最大荷重時には概ね左右拘束条件になっていたものと推測された。この場合、初期は拘束が機能しているため対角方向の圧縮が支配的であり、その後木摺空きのせん断が支配的となる。

斜め木摺の場合、全体の耐力に対してはほぼ木摺の釘の一面せん断で抵抗しているが、漆喰はごく初期  $1/450\text{rad.}$ までの剛性上昇と、木摺引張側の最大荷重に影響した。この際木摺の空きの大きさは初期剛性、最大荷重時の荷重増加に寄与しうる。



### 6.6. 本章のまとめ

本章では、下部に開口を持ち、鴨居、幅木の緩い接合で壁を仕切られた真壁水平木摺漆喰壁と、斜め木摺漆喰壁を対象として、それらの初期剛性及び最大荷重を推定することを目的とした解析を前章までに提示した力学モデルおよび抵抗要素のモデルを適用し、実施した。

#### ■真壁水平木摺の解析のまとめ

- ・本解析は、木摺漆喰部の寄与に着目し、四週ピンの剛体フレームに木摺が取り付けられており、軸組との足し合わせが可能であるとの仮定のもとに解析を行った。

- ・今回の漆喰壁は、下部の改稿と壁体の分割という特徴があり、そのために変形の初期と、最大荷重時以降の2つの抵抗機構を持つと仮定した。それぞれの解析についてまとめる。

#### ①初期剛性推定モデルの解析結果

幅木、鴨居の端部接合部が損傷しておらず、ピン接合で引張圧縮力を負担でき、柱が剛接合である、すなわち鴨居と梁の間の壁と鴨居と幅木の間の壁がそれぞれせん断変形に伴う対角圧縮を受けると仮定した場合の解析を行った結果、初期剛性にして実験値の約8割の値を得た。最大荷重時には、解析では要素実験と同様のせん断破壊モードとなるが、実験では幅木の破損により、より低い荷重で荷重が低下した。ただし、漆喰の壁体は破壊しておらず、後ろの木摺が破壊することで抵抗力を失っていることが実験からわかっている。

今回の解析では、四周拘束の要素実験結果を適用しており、漆喰層、木摺空きのせん断、木摺の間の漆喰の効果が全て含まれた等価なばねを用いた。今後は、これらそれぞれの影響について検討することが必要である。

また、柱の曲げ変形や横架材の接合部の負担荷重など、今回漆喰層のせん断変形を仮定するに至った部材の影響を加味することが課題である。

#### ②最大荷重モデルの解析結果

本解析は、上述のように真壁の内でも四周の拘束が破損することによって木摺空きの漆喰によって最大荷重に達するという推定に基づく解析である。解析条件は下部の拘束が失われ、対角圧縮による抵抗が減少し、左右拘束状態での回転変形性状になるという点以外は、軸部、接合部に関する仮定などは①と同様である。

解析の結果、最大荷重は実験値の約1.3倍となり、比較的近い値であった。また、剛性は大幅に高い値となっているが、これは、対角の圧縮と木摺空きのせん断の分担が不明瞭である点から、初期から回転せん断をしているとの仮定の下に荷重を算出したため、初期の変位を過大に評価しているためであると推定される。

本研究は、最大荷重以降の抵抗機構として、釘、鴨居上部の漆喰層の対角圧縮の効果を見込んでいるが、大変形時には、実試験体に見られた荷重の漸増を模擬することは困難

であった。本解析モデルでは、柱の曲げ変形、鴨居の右端部接合部が引張力を十分に負担しない可能性（圧縮バネのみの可能性）、木摺空きの縮みによる圧縮荷重等は無視している。それらは実験から、影響は小さいものと仮定しているが、木摺空きの縮みによる圧縮荷重の増加は、再現が困難であった大変形時に関して今後考慮すべきであると考えられる。

また、漆喰の材料特性に関する影響に関しては、漆喰の材料強度を考慮した低減によって実験値に合わせた場合の比率は約 8 割であり、約半年の乾燥期間を考慮すると妥当であった可能性もある。

### ■大壁斜め木摺壁の解析のまとめ

本解析は、大壁の斜め木摺漆喰壁を対象とした解析である。今回の研究範囲の斜め木摺壁においては、木摺と釘によるせん断抵抗が荷重の多くを占め、漆喰の影響は初期剛性と引張時の最大荷重に影響を与えることが推定された。本章では、木摺のみの場合に絞って解析を実施した。

解析は、四周ピン接合の剛体フレームに木摺が釘打ちで留められているものと仮定し、一面せん断試験及び回転せん断試験を一面せん断と見なしたせん断ばねを適用した。

解析の結果は、初期剛性、最大荷重共に実験値の上下約 2 割程度の範囲の結果となっており、回転せん断による剛性を適用することで、剛性は比較的良い一致を見た。

なお、今回の解析では要素実験の結果および実大試験で確認された下見板の付加による座屈補剛効果を元に、座屈による影響は考慮していないが、第4章で触れたように実大試験体では木摺は面外に変形しており、これに関しては実大試験体では裏は下見板張で剛性が大きく異なると考えられ、水平荷重に対して柱がねじれるなどの変形が確認されている。

今後は軸部材の変形を考慮した解析、および座屈補剛の効果等に関して検証すること、また接合部の回転せん断機構の解明、間柱の曲げを考慮した荷重の分担に関する検討などが必要である。

実験結果で見たように、斜め木摺漆喰壁においては、漆喰のもたらす影響は主に初期剛性と引張時の最大過重であった。本研究内では、それ等の抵抗機構の一端を考察し、木摺空きのせん断抵抗や、木摺空きの縮みによる圧縮について考察する案を提示するにとどまっている。実態に即した研究を行うには、今後は下塗りのみの試験を実施するなどの方法を実施する必要があると考える。



## 第 7 章 結論

### 7 第 7 章 結論

### 7.1 本研究のまとめ

#### 研究の背景、目的、方法（第1章）

研究背景として近代木造建築の文化財指定数の増加，地震被災時における評価手法の未整備による問題について述べ，特に現在評価が進んでおらず余力の見込める可能性のある木摺漆喰壁を適切に評価するためには，構法を類型的に把握し，構造性能を明らかにして行くことが必要であることを述べた．研究目的は，近代木造構法に対する実際の被害との関係，構法的な全体像の把握，壁の構造性能の実験的検討に基づく解析モデル（特に初期剛性および最大耐力の評価）を提示することであることを述べた．また，既往研究との関連では，近年行われた構法の分析研究との視角の違い，木摺壁構法に関する研究の近年の動向との関連について述べた．

#### 目的1. 近代木造建築の地震被害と構法の関係：近代木造建築の地震被害調査（第2章）

本章では，平成23年東北地方太平洋沖地震による東北地方の近代木造建築の地震被害調査を実施した結果を，過去の地震被害に関する文献調査と併せ報告した．これにより，近代木造建築の地震被害の傾向および特徴的な構法と被害の関係についてまとめた．

全体的な被害の傾向として，現地調査を実施した16棟中に無被害のもの，また全壊，倒壊に至った建物はなく，半壊が9棟，部分被害が6棟，被害不明が1棟であった．

半壊被害の被害内容としては，軸部の折損（梁，鴨居など含む）（2棟）土壁・漆喰壁の崩落（9棟），外周壁布石積の基礎石のはらみ出し（2棟），その他に床束の折損（1棟）であった．全ての半壊被害建物で壁の剥落が起こっており，今回の調査における主要な被害の一つであった．

#### ■近代的構法部位における特徴的な被害：積石布基礎と漆喰壁

外周のみの積石布基礎におけるはらみ出し，木摺漆喰壁の剥落が多く見られ今回の調査範囲における代表的な被害であった．

#### ■木摺漆喰壁の被害：

木摺壁の被害は，木摺構法を使用していた6棟全てで亀裂，剥落被害が見られた．被害の程度としては，部分的な亀裂から，全面的な剥落までが確認された．被害の形式としては，亀裂は×型のせん断亀裂，開口部周辺の変形の集中によると推定されるクラックに起因する窓間の壁の破壊，が確認された．木摺自体の座屈，折損や釘接合部の破壊事例は見られなかった．

#### ■漆喰の剥落被害と構法の関係：

漆喰の剥落には，下塗りから剥落している場合（木摺空きの漆喰がせん断破壊している場合），中塗りから剥落している場合（漆喰層の中塗り部位で破壊している場合）が確認され，漆喰層の定着，木摺空きの漆喰のせん断性能が剥落の形式に影響していることが推定された．

また、建物内での配置、開口部に隣接していること、下地材と漆喰層の定着に関しても、下苧（漆喰の脱落を防止する藁）の釘が細い真鍮である場合や、塗り材の途中に土塗りが含まれている場合、漆喰と下地の空きに葎小舞が挿入されて定着を妨げている場合、木摺の空きが極端に狭い場合などが要因となって被害を拡大した可能性がある。

### 目的2. 近代木造建築の壁構法の構成要素および木摺下地の仕様・寸法の把握（第3章）

#### ■壁体の構成要素の分布と組み合わせに関する分析

本章前半では、111棟の近代木造建築の壁構法を文献調査から明らかにし、大壁・真壁の区分ごとに下地・仕上げの各層の組み合わせとして把握した。

特に、水平耐力の負担の面から重要な外周壁構法の構成について、外周壁外側、外周壁内側それぞれの構法を整理した。外周壁全体の組み合わせとしては、木摺下地漆喰仕上げが全体の約20%を占め、最も多い構法であった。

以上より、近代木造建築の代表的な壁構法の一つとして、木摺漆喰・間柱下見板壁を抽出した。また、既往の木摺壁に関する構法的な知見を整理し位置づけを確認した。

■木摺壁の種類の構造的な観点での整理（真壁・大壁、水平・斜め・堅）を行い、構造性能への影響について考察した。

■木摺下地の幅、厚さ、張り上げる際の空き間隔、木摺張の方向性、接合具の仕様分析  
主要寸法の傾向と変遷を示した。

また、次章以降で実験的検討、モデル化を試みる木摺漆喰壁を、真壁水平木摺漆喰壁および大壁斜め木摺漆喰壁とし、それらの位置づけを行った。

### 目的3：初期剛性、最大荷重に着目した木摺漆喰壁の水平力抵抗機構と解析モデルの提案 木摺漆喰壁の実大静的加力試験に基づく水平力抵抗機構と解析モデル（第4章）

真壁木摺漆喰壁および大壁斜め木摺漆喰壁の水平力抵抗機構を明らかにすることを目的として実大静的加力試験を実施した。

真壁水平木摺の実験観察及び実験結果から、本仕様における木摺漆喰壁は初期剛性時、最大荷重時以降で異なる抵抗機構を示すことが推定された。また、水平力抵抗機構のうち、木摺漆喰部分の主要な要素であると仮定した、木摺の釘接合部の回転剛性、木摺空きの漆喰のせん断剛性、漆喰層の対角圧縮効果、による初期剛性推定モデル、最大耐力推定モデルを提示した。

大壁斜め木摺壁の実験結果から、木摺漆喰部分の主要な水平力抵抗機構に関して、抵抗要素として釘接合部のせん断抵抗、木摺空きの漆喰のせん断、木摺引張方向加力の際の漆喰の圧縮を指摘した。漆喰の影響の定量的評価に関しては、試験体の漆喰の有無から差分に対して考察するにとどめ（付録）、全体のモデルとしては斜め木摺のみの場合を提示した。



### 木摺壁の水平抵抗要素に関する要素実験（第5章）

木摺漆喰壁の主要な水平力抵抗要素であると推定した，木摺漆喰壁の釘接合部の回転抵抗・せん断抵抗，真壁木摺漆喰壁のせん断剛性（真壁：四周拘束），漆喰の圧縮強度・せん断強度に関する要素実験を実施し，各抵抗要素のモデル化を行った．

### 木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の解析モデルの検証（第6章）

本章では，第4章において提示した解析モデルに第5章の抵抗要素のモデルを適用し，木摺漆喰壁の解析的検討を行った．

#### ■真壁水平木摺壁の解析

・本解析は，木摺漆喰部の寄与に着目し，四周ピン接合の剛体フレームに木摺が取り付けられており，軸組との足し合わせが可能であるとの仮定のもとに解析を行った．

・今回の漆喰壁は，下部の開口部と鴨居・幅木による壁体の分割という特徴があり，そのために変形の初期と，最大荷重時以降の2つの抵抗機構を持つと仮定した．

#### ①初期剛性推定モデルの解析結果

幅木，鴨居の端部接合部が損傷しておらず，ピン接合で引張圧縮力を負担でき，柱が剛接合である，すなわち鴨居と梁の間の壁と鴨居と幅木の間の壁がそれぞれせん断変形に伴う対角圧縮を受けると仮定した場合の解析を行った結果，初期剛性は実験値の約8割の値を得た．最大荷重時には，解析では要素実験と同様のせん断破壊モードとなるが，実験では幅木の破損により，より低い荷重で荷重が低下した．

#### ②最大荷重モデルの解析結果

本解析は，真壁のなかでも四周の拘束が部分的に破損することによって，漆喰層の回転挙動の影響が大きくなることで，木摺空きの漆喰によって最大荷重に達する場合を想定した解析である．解析条件は下部の拘束が失われ，対角圧縮による抵抗が減少し，左右拘束状態での回転変形状態になるという点以外は，軸部，接合部に関する仮定などは①と同様である．

解析の結果，最大荷重は実験値の約1.3倍であった．一方，剛性は大幅に高い値となっていた．これは，対角の圧縮と木摺空きのせん断の分担が不明瞭である点から，初期から回転せん断をしているとの仮定の下に荷重を算出したため，初期の変位を過大に評価しているためであると推定された．

本研究は，最大荷重以降の抵抗機構として，釘，鴨居上部の漆喰層の対角圧縮の効果を見込んでいるが，大変形時には，実試験体に見られた荷重の漸増を模擬することは困難であった．本解析モデルでは，柱の曲げ変形，鴨居の右端部接合部が引張力を十分に負担しない可能性（圧縮バネのみの可能性），木摺空きの縮みによる圧縮荷重等は無視している．それらは実験から，影響は小さいものと仮定しているが，木摺空きの縮みによる圧縮荷重の増加は，再現が困難であった大変形時に関して今後考慮すべきであると考えられる．また，材料特性に関しては，漆喰の材料強度を考慮した低減によって実験値に合わせた場合の比率は約8割であり，約半年の乾燥期間を考慮すると妥当であった可能性が指摘できた．

### ■大壁斜め木摺壁の解析

大壁の斜め木摺壁を対象とした解析を実施した。今回の研究範囲の斜め木摺壁においては、木摺と釘によるせん断抵抗が荷重の多くを占め、漆喰の影響は初期剛性と引張時の最大荷重に影響を与えることが推定された。本章では、木摺のみの場合を対象とした解析を実施した。

解析は、四周ピン接合の剛体フレームに木摺が釘打ちで留められているものと仮定し、斜め木摺の一面せん断試験、及び回転せん断試験結果を一面せん断と見なしたせん断ばねを適用した。また、間柱に打たれた釘に関してもエネルギー最小となるように変位を分配し、その影響を考慮した。

解析の結果は、初期剛性、最大荷重共に実験値の上下約2割程度の範囲の結果となっており、回転せん断による剛性を適用することで剛性は実験値とよく一致した。

今回の解析では要素実験の結果および実大試験で確認された下見板の付加による座屈補剛効果を元に、座屈による影響は考慮していないが、実大試験体では木摺は面外に変形しており、荷重に対して柱がねじれる変形も確認されている。

今後は、斜め木摺壁に関しては軸部材の変形を考慮した解析、および座屈補剛の効果等に関して検証すること、また接合部の回転せん断機構の解明、間柱の曲げを考慮した荷重の分担に関する検討などが必要であることを指摘した。また、今回は部分的検討にとどまった漆喰を塗布した際の初期剛性、最大荷重への影響に関しても今後木摺の空きに入った漆喰の圧縮、漆喰層のせん断剛性、漆喰層と木摺空きのせん断等の要素実験により検証を行う必要がある。

### 7.2 結語

本研究は近代木造建築の壁構法を対象とした地震被害と構法の関係、壁の構成要素分析による全体像の把握を踏まえて、近代の壁の中でも広く用いられた木摺漆喰壁に着目し、これまで評価されてこなかった漆喰を含んだ壁の構造性能評価の基礎的な研究として、その地震被害の特徴、下地寸法の分布、構造性能の実験的検証による初期剛性と最大荷重を推定する力学モデルの提案を試みたものである。

地震被害調査と構法との関係という目的に対しては、東北地方太平洋沖地震における木摺漆喰壁の被災状況とその傾向と構法に関連について、漆喰の剥落の形式には中塗りでの破壊と木摺空きでのせん断が見られることを指摘した。

近代木造建築の壁構法に関する文献調査では、重要文化財の近代木造建築の壁構法の構成要素の分布を明らかにし、木摺構法の仕様の類型を示した。また、木摺下地の寸法の変遷に関する分析を行ない、現行規定よりも大きめの木摺が使用されていた傾向があるが徐々に小型化した傾向があることを示した。

木摺漆喰壁の水平力抵抗機構と力学モデルの提示についてはまず、実験と解析モデル化の対象とした壁は、①主に近代和風建築の外周壁で用いられる真壁で水平木摺を持ち下部に開口があり、鴨居や幅木の弱い接合部で壁が分割されているもの、②明治中期ごろまでを中心に大壁の外周壁で用いられた斜め木摺の全面壁であった。実大試験に基づいて、木摺漆喰部分の水平力抵抗機構と力学モデルを仮定し、要素実験に基づいた解析を行った。

真壁の水平木摺壁については、変形の初期と、最大耐力時以降では抵抗機構が異なることから、2つのモデルの解析を行った。初期剛性は実験値よりもやや低く、最大耐力は実験値よりもやや高く評価する結果となった。モデル化の仮定における柱の変形や鴨居、幅木といった部材の応力伝達の評価などが課題である。

大壁の斜め木摺壁については、主に木摺と釘のせん断抵抗による荷重で抵抗していることを示し、漆喰のない場合について端部の挙動を一面せん断と仮定した解析によって、初期剛性、最大荷重共に約8割の結果を得た。漆喰を塗った場合の抵抗要素としては、木摺空きのせん断、木摺空きへの入り込み、漆喰層のせん断剛性、の初期剛性と木摺引張時への影響が実験から推定されたが、解析的にはそれぞれの部分的な機構を推定するにとどまり、それらの連動による効果は、軸材の変形の評価や、下見板による座屈拘束の影響などと共に今後の課題とした。

本研究の解析的な観点での成果は、これまでは困難であった、漆喰を含めた木摺壁の構造性能評価を、初期剛性と最大耐力について、適用範囲・仕様は限定的であるものの可能とするところがあり、従来よりも木摺壁の性能を高く評価できる可能性がある。今後は、今回考慮していない要素や連動の挙動などの検討に加えて、構法の適用範囲の拡充、実際の建物への適用に向けた実験・解析的研究が必要である。

### 7.3 今後の課題

#### 1. 近代木造建築の壁構法分析に関する課題

壁構法の類型の把握とその種類と寸法の分析を行ったが、今回は構造的な観点からの検討であり、変遷の理由や、建設当時の木摺漆喰構法の施工方法や材料流通や職人の技術などの構法の決定要因に関しては不明である。構造的な観点からの木摺壁の評価を位置づけるためにも、今後聞き取りや文献調査を含めた研究によって明らかにしてゆく必要がある。

#### 2. 木摺漆喰壁の水平力抵抗機構の解明に関する課題

真壁、大壁の木摺漆喰壁に共通する課題として、

- ・木摺漆喰の剛性・耐力における木摺空きの漆喰自体の埋め込みによる影響、
- ・漆喰層と木摺空きの漆喰の連動した挙動と応力の分担
- ・漆喰のせん断挙動における木摺のアンカー部分の影響
- ・柱の曲げ変形の影響に関する検討
- ・柱脚の浮き上がりに関する検討
- ・材齢・調合による漆喰の強度変化
- ・軸組に木摺漆喰を付加した全体の解析モデルによる検証

真壁に関して

- ・鴨居や幅木等の部材の接合部の抵抗・挙動
- ・木摺端部の柱側面へのめり込み抵抗

斜め木摺に関して

- ・回転せん断挙動の理論的検討
- ・斜め木摺の間柱を挟んだ座屈挙動
- ・柱・間柱の曲げ変形挙動の影響

があげられる。

また、一般的な仕様という観点からは、今回は漆喰塗りによる影響が未検討である大壁水平木摺に関する解析方法の検討を進めることも重要であるほか、これらの漆喰壁の実際の建物での境界条件の検討や、今後は動的な解析への適用を視野に入れた、面外の引張挙動や復元力モデルの提案も含めた動的挙動の把握に関しても実験、解析の両面から検討する必要がある。

## 参考文献

### 第1章 研究の背景, 目的, 方法

1. 洋風技術導入期の洋風木造建築における壁構法の変遷に関する研究, 佐久間千恵, 職業能力開発大学校修士論文, 2003 年
2. 『木造軸組構法の近代化』, 源愛日児, 中央公論美術出版, 2009 年
3. 河野輝夫, 木造壁体の剪断抵抗の実験的研究, 建築学会論文集, 第 8 号 24-33, 1938.2
4. 田邊平學, 後藤一雄, 菊田守雄, 交番水平荷重を受くる木造有壁骨組(大壁)の實驗 (耐震、耐風木構造に関する研究 第 7 報), 建築學會論文集, 13 号 210-9, 1939.4
5. 野口弘之, 面材として大貫を斜めに釘打ち張りした耐力壁の面内せん断試験の結果について, 学術講演梗概集, 構造, 50 卷 1337-8, 1975.8
6. 国土交通省, 景観計画区域等における伝統的建築物の耐震性や防耐火性の簡易な評価・設計手法等の検討調査 報告書, 国土交通省住宅局都市・地域整備局 37-112, 2008.3
7. 土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書, (財)日本住宅・木材技術センター, 2004.2

### 第2章 近代木造建築の地震被害に関する文献および現地調査

1. 『2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報』, 日本建築学会, 2011.
2. 「東日本大震災における文化財被災の地理的分布—文化財の地理情報データベースの活用—」, 中谷友樹, 長尾諭, 瀬戸寿一, 板谷直子, 立命館大学歴史都市防災研究センター編『2011 年度東日本大震災に関する研究推進プログラム研究成果報告書』, pp45-62, 2012.3.
3. 「文化財ドクター派遣事業・報告会」発表資料, 2012.3.
4. 「東日本大震災による被害情報について第 208 報」(文部科学省ウェブサイト 2012 年 9 月 14 日公開).
5. 『阪神・淡路大震災と歴史的建造物』, 加藤邦男編, 思文閣出版, 1998.
6. 『重要文化財 旧伊達郡役所保存修理工事報告書』, 桑折町, 1979.
7. 『重要文化財 旧登米高等尋常小学校校舎保存修理工事報告書』, 登米町, 1990.
8. 『重要文化財 旧福島尋常中学校本館修理工事報告書』, 財団法人旧安積高等学校旧本館保存会, 1980.
9. 『旧亀岡家住宅調査および移築保存工事報告書』, 福島県伊達郡保原町教育委員会, 1996.
10. 『旧広瀬座移築保存工事報告書』, 福島市教育委員会, 1996.
11. 『福島県重要文化財 開成館修理工事報告書』, 郡山市教育委員会, 1967.
12. 『福島県の近代和風建築 福島県近代和風建築総合調査報告書』, 福島県教育委員会, 1998.

13. 明治初期洋風としての郡山開成館について，草野和夫，日本建築学会論文報告集第 66 号 pp633-636, 1960.

### 第3章 近代木造建築の壁構法の構成要素および木摺下地の仕様・寸法の分析

1. 重要文化財 旧グラバー住宅修理工事報告書，長崎市，1968
2. 重要文化財 旧オルト住宅修理工事報告書，長崎市，文化財建造物保存技術協会，長崎市，1979
3. 重要文化財 旧鹿児島紡績所技師館修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，鹿児島市，1979
4. 日光田母沢御用邸記念公園 本邸保存改修工事報告書，日本公園緑地協会，栃木県土木部，2003
5. 重要文化財 旧リンガー(弟)住宅修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，長崎市，1973
6. 重要文化財 東山手十二番館主屋・附属屋保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，長崎市，2005
7. 重要文化財 旧新潟税関庁舎修理報告書，新潟市，1971
8. 重要文化財 旧羅典神学校修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，カトリック長崎大司教区，1981
9. 重要文化財 旧睦沢学校校舎(甲府市藤村記念館)移築保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，甲府市，2010
10. 重要文化財 旧中込学校校舎修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，長野県佐久市，1973
11. 国指定史跡 旧見付学校々舎修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，磐田市，1977
12. 重要文化財 旧開智学校本館移転修理工事報告書，重要文化財旧開智学校本館移転修理工事事務所，松本市教育委員会，1965
13. 重要文化財 林家住宅保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，重要文化財林家住宅修理委員会，1983
14. 旧開拓使工業局庁舎復元修理工事報告書，北海道開拓記念館，北海道開拓記念館，1992
15. 重要文化財 旧群馬県衛生所保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，桐生市教育委員会，1986
16. 重要文化財 旧札幌農学校演舞場（時計台）保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，札幌市，1998
17. 重要文化財 山形市立病院済生館本館移築修理工事報告書，山形市，1969
18. 明治村建造物移築工事報告書 第7集：名古屋衛戍病院（愛知県指定有形文化財），博物館明治村，1992



19. 山形県有形文化財 旧西村山郡役所修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 寒河江市教育委員会, 1982
20. 山口県指定文化財 四階楼保存修理工事報告書, 正彦佐藤監修, 上関町教育委員会教育文化課, 上関町教育委員会, 2002
21. 明治村建造物移築工事報告書 第 6 集 (三重県庁舎(重要文化財 旧三重県庁舎)), 博物館明治村, 1990
22. 重要文化財 竜谷大学本館並びに附守衛所保存修理工事報告書, 京都府教育庁指導部文化財保護課, 京都府教育委員会, 1997
23. 重要文化財 豊平館保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 札幌市, 1986
24. 重要文化財 旧岩科学学校校舎修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 松崎町, 1993
25. 重要文化財 旧神戸居留地十五番館保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, ノザワ, 1993
26. 重要文化財 旧西田川郡役所保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 致道博物館, 1972
27. 明治村建造物移築工事報告書 第 1 集 (西郷従道邸(重要文化財 旧西郷従道住宅) 東松家住宅(重要文化財 旧東松家住宅)), 博物館明治村, 1978
28. 重要文化財 宝山寺獅子閣修理工事報告書, 奈良県教育委員会事務局文化財保存事務所, 奈良県教育委員会, 2010
29. 重要文化財 新潟県議会旧議事堂修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 新潟県, 1974
30. 重要文化財 北海道大学農学部植物園・博物館修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 1996
31. 重要文化財 旧伊達郡役所保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 桑折町, 1979
32. 重要文化財 旧出津救助院授産場ほか 1 棟建造物保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 長崎県, 2012
33. 戸定邸(旧徳川昭武松戸別邸)の保存修理に関する調査書, 松戸市教育委員会, 1991
34. 重要文化財 本芳我家住宅主屋ほか三棟保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 芳我大輔, 2006
35. 明治村建造物移築工事報告書 第 3 集 (東山梨郡役所(重要文化財 旧山梨県東山梨郡役所) 札幌電話交換局(重要文化財 旧札幌電話交換局)), 博物館明治村, 1982
36. 山形県有形文化財 旧西村山郡会議事堂修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 寒河江市教育委員会, 1984
37. 旧広瀬座移築保存工事報告書, 福島市教育委員会, 1996
38. 重要文化財 旧三戸部家住宅保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 伊達

- 市，1997
39. 北海道指定有形文化財 旧檜山爾志郡役所庁舎保存修理工事報告書，北海道建築工房，江差町，1998
  40. 旧青木周蔵那須別邸修理工事報告書，栃木県，1998
  41. 重要文化財 旧山形師範学校本館正門 修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，山形県，1980
  42. 重要文化財 旧中村家住宅保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，江差町，1982
  43. 重要文化財 旧福島県尋常中学校本館修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，安積高等学校旧本館保存会，1980
  44. 明治学院旧宣教師館(インブリー館)保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，明治学院，1998
  45. 重要文化財 旧トーマス住宅保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，神戸市，1985
  46. 重要文化財 山口家住宅修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，重要文化財山口家住宅修理委員会，1978
  47. 重要文化財 高良家住宅保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，座間味村，2001
  48. 旧東京音楽学校奏楽堂移築修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，東京都台東区，1987
  49. 重要文化財(建造物) 旧呉服座保存修理工事報告書，博物館明治村，1998
  50. 群馬県指定重要文化財 旧アメリカン・ボード宣教師館保存修理工事報告書，関建世，共愛社共愛学園，1990
  51. 北海道指定有形文化財 旧商家丸一本間家復元工事報告書，増毛町教育委員会，2001
  52. 長崎県指定有形文化財 大野教会保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，カトリック長崎大司教区，2006
  53. 重要文化財 上芳我家住宅主屋ほか九棟保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，内子町，2011
  54. 大分県指定有形文化財 日野病院本館及び病棟保存修理工事報告書，日野病院保存修理委員会，Y・O設計，養父信義，日野病院保存修理委員会，1996
  55. 旧篠原家住宅保存修理工事報告書，文化財保存計画協会，宇都宮市，2000
  56. 新宿御苑旧管理事務所保存修理工事報告書 旧洋館御休所，財団法人建築保全センター，2001
  57. 重要文化財 旧岩崎家住宅<洋館・撞球室・大広間・附煉瓦塀>保存修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，文化庁，2005
  58. 重要文化財 学習院初等科正堂修理工事報告書，文化財建造物保存技術協会，千葉県，

1976

59. 重要文化財 旧山形師範学校本館正門 修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 山形県, 1980
60. 旭川市文化財 旧偕行社復原修理報告書, 旭川市, 1971
61. 重要文化財 旧奈良県物産陳列所保存修理工事報告書, 文化庁, 2000
62. 重要文化財 旧ハッサム住宅修理工事報告書, 神戸市建築局営繕第一課, 神戸市教育委員会事務局社会教育課, 1963
63. 静岡県指定有形文化財 大日本報徳社大講堂保存修復工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 大日本報徳社, 2008
64. 重要文化財 旧善通寺偕行社保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 善通寺市, 2008
65. 重要文化財 小林家住宅修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 重要文化財小林家住宅修理委員会, 1989
66. 重要文化財 旧富山県立農学校本館(富山県立福野高等学校巖浄閣)保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 富山県教育委員会, 2005
67. 史跡出島和蘭商館跡建造物旧内外クラブ保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 長崎市, 2000
68. 重要文化財 旧第五十九銀行本店本館保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 青森銀行, 1985
69. 重要文化財 旧高取家住宅主屋(居室棟・大広間棟)他7棟保存修理工事報告書 本文編, 文化財建造物保存技術協会, 唐津市教育委員会, 2005
70. 重要文化財 花田家番屋修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 小平町, 1975
71. 広島県重要文化財 旧呉鎮守府司令長官官舎修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 呉市, 1996
72. 旧小坂鉦山事務所移築復原工事報告書: 小坂町指定有形文化財, 関・空間設計, 小坂町, 2001
73. 重要文化財 銘苅家住宅修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 銘苅家住宅修理委員会, 1979
74. 重要文化財 弘前学院外人宣教師館移築修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 1980
75. 重要文化財 仁風閣保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 鳥取市, 1976
76. 旧ハンター氏邸移築工事報告書, 兵庫県教育委員会, 1964
77. 明治村建造物移築工事報告書 第5集(聖ヨハネ教会堂(重要文化財 旧日本聖公会京都聖約翰教会堂)), 博物館明治村, 1988
78. 重要文化財 旧長崎英国領事館職員住宅修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 長崎市, 1991

79. 東京都豊島区雑司が谷旧宣教師館保存修理工事報告書, 雑司が谷旧宣教師館保存修理委員会, 豊島区教育委員会, 1986
80. 重要文化財 天鏡閣本館・別館・表門保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 福島県, 1983
81. 重要文化財 旧松本家住宅洋館・日本館・壺号蔵・式号蔵修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 西日本工業倶楽部, 1982
82. 明治村建造物移築工事報告書 第10集 (宇治山田郵便局 (旧伊勢郵便局)), 博物館明治村, 1997
83. 重要文化財 旧函館区公会堂保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 函館市, 1983
84. 重要文化財 旧福岡県公会堂貴賓館保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 福岡県, 1987
85. 重要文化財 八千代座保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 山鹿市, 2001
86. 外交官の家(旧内田家住宅)移築修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 横浜市都市計画局都市デザイン室, 1997
87. 重要文化財 旧米沢高等工業学校本館保存修理工事報告書, 文化庁, 1987
88. 重要文化財 旧中埜家住宅修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 重要文化財旧中埜家住宅修理委員会, 1978
89. 旧諸戸清六邸調査報告書, 歴史的建造物研究会, 桑名市, 1992
90. 重要文化財 岩手大学農学部 (旧盛岡高等農林学校) 旧本館 耐震対策工事報告書, 三四五建築研究所, 岩手大学, 2013
91. 竹富町指定有形文化財(建造物) 旧与那国家住宅主屋修理工事報告書, 竹富町, 2006
92. 佐賀県指定重要文化財 武雄温泉新館保存修理工事報告書, 佐藤正彦監修, エィシーエヌ松尾建築設計事務所, 武雄温泉, 2004
93. 兵庫県指定重要有形文化財 移情閣移築修理工事報告書, 建築研究協会, 兵庫県, 2001
94. 晩香廬保存修理工事報告書, 渋沢栄一記念財団, 清水建設株式会社, 2008
95. 長野県宝 旧松本高等学校本館保存修理工事報告書, 松本市, 2006
96. 重要文化財 旧門司三井倶楽部移築修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 北九州市, 1995
97. 重要文化財 蘆花浅水荘本屋ほか二棟保存修理工事報告書, 滋賀県教育委員会事務局文化財保護課, 滋賀県教育委員会, 2004
98. 重要文化財 自由学園明日館保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術協会, 自由学園, 2002
99. 長野県宝 旧松本高等学校講堂保存修理工事報告書, 松本市, 2001
100. 近代和風建築 智頭の石谷邸, 宮澤智士, 智書房, 2001
101. 重要文化財旧鍋島家住宅長屋門ほか 4 棟保存修理工事報告書, 文化財建造物保存技術

協会，雲仙市，2014

- 102.橋本市指定有形文化財 高野口小学校建築改築・改修報告書，和歌山大学，2012
- 103.八幡浜私立日土小学校保存再生工事報告書，日本建築学会四国支部，2010
- 104.和洋改良大建築学，三橋四郎，大倉書店，1904
- 105.住宅建築要義，武田五一，文献書院，1926
- 106.『日本建築辞彙[新訂]』，太田博太郎・稲垣栄三編，中央公論美術出版，2011 年
- 107.山田幸一，日本の壁，駸々堂，1982
- 108.鈴木光，明治以降を主とする左官構法の変遷に関する研究，工学院大学博士論文，2014
- 109.松本直之，佐藤利昭，藤田香織：近代木造建築における外周壁構法の研究 その1 構成要素分析及び構造性能の実験的検証，『日本建築学会関東支部 2011 年度研究発表会 審査付き研究報告集』，2074，pp49-52，2012 年
- 110.『建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事』，第5版，日本建築学会，2007 年

#### 第4章 木摺漆喰壁の実大静的加力試験

1. 會禰達藏，金屬製の木摺貫，建築雑誌，5 卷 52 号，p98，1891.4
2. 田邊平學，勝田千利，交番水平荷重を受くる木造無壁骨組の實驗（耐震耐風木構造に関する研究 第5報），建築雑誌，51 卷 624 号，pp334-6，1937.3
3. 田邊平學，勝田千利，後藤一雄，交番水平荷重を受くる木造有壁骨組(眞壁)の實驗建築學會論文集，10 号，pp41-2，1938.8
4. 田邊平學，勝田千利，後藤一雄，交番水平荷重を受くる木造有壁骨組(眞壁)の實驗（耐震耐風木構造に関する研究 第6報），建築雑誌，52 卷 636 号，pp308-9，1938.3
5. 田邊平學，勝田千利，後藤一雄，交番水平荷重を受くる木造有壁骨組(眞壁)の實驗（耐震耐風木構造に関する研究 第6報）建築學會論文集，9 号，pp130-9，1938.4
6. 田邊平學，後藤一雄，菊田守雄，交番水平荷重を受くる木造有壁骨組(大壁)の實驗（耐震、耐風木構造に関する研究 第7報），建築學會論文集，13 号，pp210-9，1939.4
7. 久田俊彦，木造壁体の耐力に関する研究，日本建築學會研究報告，10 号，pp69-72，1951.4
8. 久田俊彦，木造壁体の耐力に関する研究，日本建築學會論文集，42 号，pp71-9，1951.2
9. 久田俊彦，木造骨組壁体の耐力と耐震耐風計算，建築技術，8 号，pp17-20，1951.11
10. 久田俊彦，木造軸組壁体の耐力，日本建築學會研究報告，pp133-4，1952.10
11. 久田俊彦，中川恭次，佐藤輝夫，木造住宅の壁体量と振動性(構造)，日本建築学会論文報告集，54 号，pp193-6，1956.10
12. 野口弘行，面材として大貫を斜めに釘打ち張りした耐力壁の面内せん断試験の結果について，學術講演梗概集，構造，50 卷，pp1337-8，1975.8
13. 安藤直人，鈴木秀三，有馬孝礼，胴縁・ラス下地板を用いた壁の面内せん断性状，木材工業，36 卷，1 号，pp14-8，1981.1

14. 上西秀夫, ラス下地板を斜め張りした実大建物の耐力壁の面内剪断試験の結果について, 学術講演梗概集. 構造系, 59 巻, pp2659-60, 1984.9
15. 上西秀夫, 柳沢勝治, 合板ガセットと釘・木ネジを用いて接合した筋かい入り軸組の面内剪断試験結果について, 学術講演梗概集. C. 構造 II., pp1359-60, 1987.8
16. 上西秀夫, 柳沢勝治, ラス下地板を張った雑壁の面内剪断試験結果について, 学術講演梗概集. C. 構造 II., pp1367-8, 1987.8
17. 上西秀夫, 筋かいとラス下地板を併用した耐力壁の面内剪断試験結果について, 学術講演梗概集. C. 構造 II., pp33-4, 1988.9
18. 上西秀夫, 筋かいとラス下地板を併用した実大建物の水平加力試験結果について: 「累加の法則」の確認のために, 学術講演梗概集. C. 構造 II., pp55-6, 1989.9
19. 畠山和歌, 野口弘行, 鈴木秀三, 在来構法有開口耐力壁の面内せん断耐力性状(その 1): 筋かい・木摺・石膏ボード併用耐力壁について, 学術講演梗概集. C-1. 構造 III., pp71-2, 1997.7
20. 鈴木秀三, 野口弘行, 畠山和歌, 在来構法有開口耐力壁の面内せん断耐力性状(その 2): 構造用合板張り耐力壁について, 学術講演梗概集. C-1. 構造 III., pp3-4, 1997.7
21. 大橋好光, 山田文男, 坂本功, 松岡秀尚, 凌克臣, 董玉庫, 乾燥度の違いによる 2 階建て在来軸組の水平加力実験: その 1. 筋交い耐力壁タイプ, 学術講演梗概集. C-1. 構造 III., pp129-30, 1998.7
22. 大橋好光, 凌克臣, 松岡秀尚, 董玉庫, 山田文男, 坂本功, 乾燥度の違いによる 2 階建て在来軸組の水平加力実験: その 2. 筋交い、木摺、石膏ボード併用耐力壁タイプ, 学術講演梗概集. C-1. 構造 III., pp131-2, 1998.7
23. 森田仁彦, 柳澤孝次, 小林美菜子, 山田敏夫, 伝統的木造建築の構造性能評価: その 2: 木摺壁のせん断実験, 学術講演梗概集. C-1. 構造 III., pp171-2, 1999.7
24. 朝倉均, 鈴木秀三, 木摺り両面張り真壁耐力壁の倍率評価に関する一考察, 学術講演梗概集. C-1. 構造 III., pp321-2, 2001.7
25. Ni C, Karacabeyli E. Performance of Shear Walls with Diagonal or Transverse Lumber Sheathing, Journal of Structural Engineering, Vol.133, No.12, pp1832-42, 2007.12
26. 森田仁彦, 松原正安, 稲山正弘, 多様な木構造形式に対応した耐震補強: 日光金谷ホテルの改修, 学術講演梗概集. C-1., pp65-6, 2008.7
27. 仁田佳宏, 木摺板の斜め張りとは水平張りによるせん断壁の性能評価 Chun Ni and Erol Karacabeyli: Performance of Shear Walls with Diagonal or Transverse Lumber Sheathing [Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.133, No.12, 2007. 12, pp.1832~1842](構造,文献抄録), 建築雑誌 123 巻 1570 号, p77, 2008.1
28. 松本直之, 藤田香織, 佐藤利昭, 朝光拓也, 近代木造建築における洋風壁構法の研究: 構成要素分析及び構造性能の実験的検証, 学術講演梗概集. C-1. 構造 III., pp573-4,



2011.7

29. 山辺豊彦, ヤマベの木構造, エクスナレッジ, p210, 2009
30. 日本建築学会, 木質構造設計基準, 同解説—許容応力度・許容耐力設計法—第4版, 日本建築学会, 2006
31. 日本建築防災協会, 木造住宅の耐震診断と補強方法, 木造住宅の耐震精密診断と補強方法 (改訂版), 日本建築防災協会, 初版3刷, pp281-2, 2005
32. 片山知実, カトリック北一条教会の耐力壁に関する研究, 北海道大学農学部森林科学科, 卒業論文, pp15-17, 2012.3
33. 川島謙一, 木造軸組壁の構造耐力, 建築技術 No.251, pp147-61, 1972.7
34. 日本建築防災協会/国土交通大臣指定耐震改修支援センター 2012 年度改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法 例題編・資料編, 日本建築防災協会/国土交通大臣指定耐震改修支援センター, 初版第3刷, pp147-8, 2013
35. 河野輝夫, 木造壁体の剪断抵抗の実験的研究, 建築学会論文集, 第8号, pp24-33, 1938.2
36. 国土交通省, 景観計画区域等における伝統的建築物の耐震性や防耐火性の簡易な評価・設計手法等の検討調査 報告書, 国土交通省住宅局都市・地域整備局, pp37-112, 2008.3
37. 谷口忠, 建造物の振動減衰性に関する研究, 木造の振動減衰性について, 建築学会論文集, 第13号, pp220-229, 1939.4
38. 松本直之, 佐藤利昭, 藤田香織, 近代木造建築における外周壁構法の研究 その1 構成要素分析及び構造性能の実験的検証, 日本建築学会関東支部 2011 年度研究発表会 審査付き研究報告集, pp49-52, 2012
39. 古川洋, 木摺り壁の復元力特性の作成 私家版, 2012
40. 伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会, 平成 24 年度報告書, pp732-759, 2013
41. 伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル 限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計法, 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会, 学芸出版社, 第1版, pp89, 2004
42. 戸田正彦, 岩田昌之, 鈴木律, 補強した下見板張り壁の面内せん断性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp331-332, 22166, 2015.9

## 第5章 木摺漆喰壁の水平抵抗要素に関する要素実験

1. 宮村雅史, 太田正光, 佐藤雅俊, ラス下地モルタル壁の耐力と破壊性状 (第1報), ラス下地板を用いたモルタル壁のせん断変形挙動の解析, 木材学会誌, vol.52, No.5, pp303-311, 2006
2. 宮村雅史, 太田正光, 佐藤雅俊, ラス下地モルタル壁の耐力と破壊性状 (第2報), メ

## 参考文献

- タルラスとステーブルからなる接合部の壁体強度特性への影響, 木材学会誌, vol.54, No.5, pp272-280, 2008
3. 宮村雅史, 太田正光, 佐藤雅俊, ラス下地モルタル壁の耐力と破壊性状 (第3報), 開口部を有する壁体の強度性能と破壊性状, 木材学会誌, vol.59, No.5, pp244-254, 2013
  4. 岡健太郎, 田村雅紀, 後藤治, 漆喰系材料の観点から考察した遺産的建築物の維持保全に関する実験的検討 その1 木摺漆喰工法を用いた天井板の非破壊・破壊試験による性能評価, 日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集, pp203-6, 2015

付録

付録：

### 概要：大壁斜め木摺漆喰における木摺空きの漆喰のせん断と圧縮に関する検討

本付録では、大壁斜め木摺漆喰壁の解析的検討のうち、木摺空きの漆喰のせん断が初期剛性に与えた影響と、木摺空きの漆喰の圧縮が木摺引張側の荷重に与えた影響について行った解析を掲載する。以下の仮定に述べるように、本解析ではこれらと比較する実験データは、斜め木摺漆喰壁の塗りありから塗りなしを引いた結果としている。差分を取ることを含めた解析の仮定と適用条件を以下に示す。内容は、漆喰に関する仮定以外は斜め木摺漆喰なしの場合と同様である。

#### 解析の仮定：

- ・柱の曲げ変形の影響は無視できるものとして剛体とし、また軸組および下見板の部分と、付加される木摺漆喰部分の耐力は足し合わせ可能であると仮定する。
- ・木摺漆喰部分は四周ピンの剛体フレームに取り付けられるものとする。
- ・柱脚の浮き上がり、間柱の曲げ変形が無視できるとする。
- ・木摺 - 釘 - 柱・横架材接合部は、半剛接の圧縮・引張方向同性状のせん断ばねと仮定し、そのせん断剛性は要素実験による一面せん断剛性を適用する。また、間柱は両端ピン接合の剛体と見なす。
- ・下見板による補剛により、圧縮方向における座屈による荷重低下は無視でき、圧縮、引張方向で同様の変形状を示すと仮定する。
- ・木摺の上の漆喰層は剛体と見なし、また木摺空きに漆喰が入ることによる初期剛性の増加は無視できるものとする。初期剛性は木摺空きの漆喰のせん断剛性によって定まるものと仮定した。
- ・漆喰を塗った場合と塗らない場合では応力の分布、他の抵抗要素への影響は無視できるものとする。

#### 適用条件：

- ・柱の曲げ変形が無視でき、軸部の損傷モードが木摺の有無に大きく影響されないもの。
- ・柱脚の浮きあがり、間柱の曲げ変形が無視できる場合。今回は間柱は下見板により曲げ変形が拘束されているものとみなす。
- ・木摺 - 釘 - 柱・横架材接合部では釘は回転せん断挙動を示すが、軸方向の変形が顕著。
- ・端空きは十分にあり、端抜けによる破壊は起こらず、釘の引き抜けにより破壊する。
- ・間柱の接合部は回転剛性、抜け出しが無視でき、また下見板等の釘打ちによる拘束があり曲げ変形が無視できる場合
- ・木摺は下見板等の材によって間柱を通じて座屈補剛されており、面外座屈の影響が小さい場合。
- ・漆喰層が十分なせん断剛性を持つ場合は剛体と見なせる。木摺空きに入った漆喰の影響を無視する点については、実際の適用範囲の確定は困難であるため、参考として付録に加え

るにとどめている。

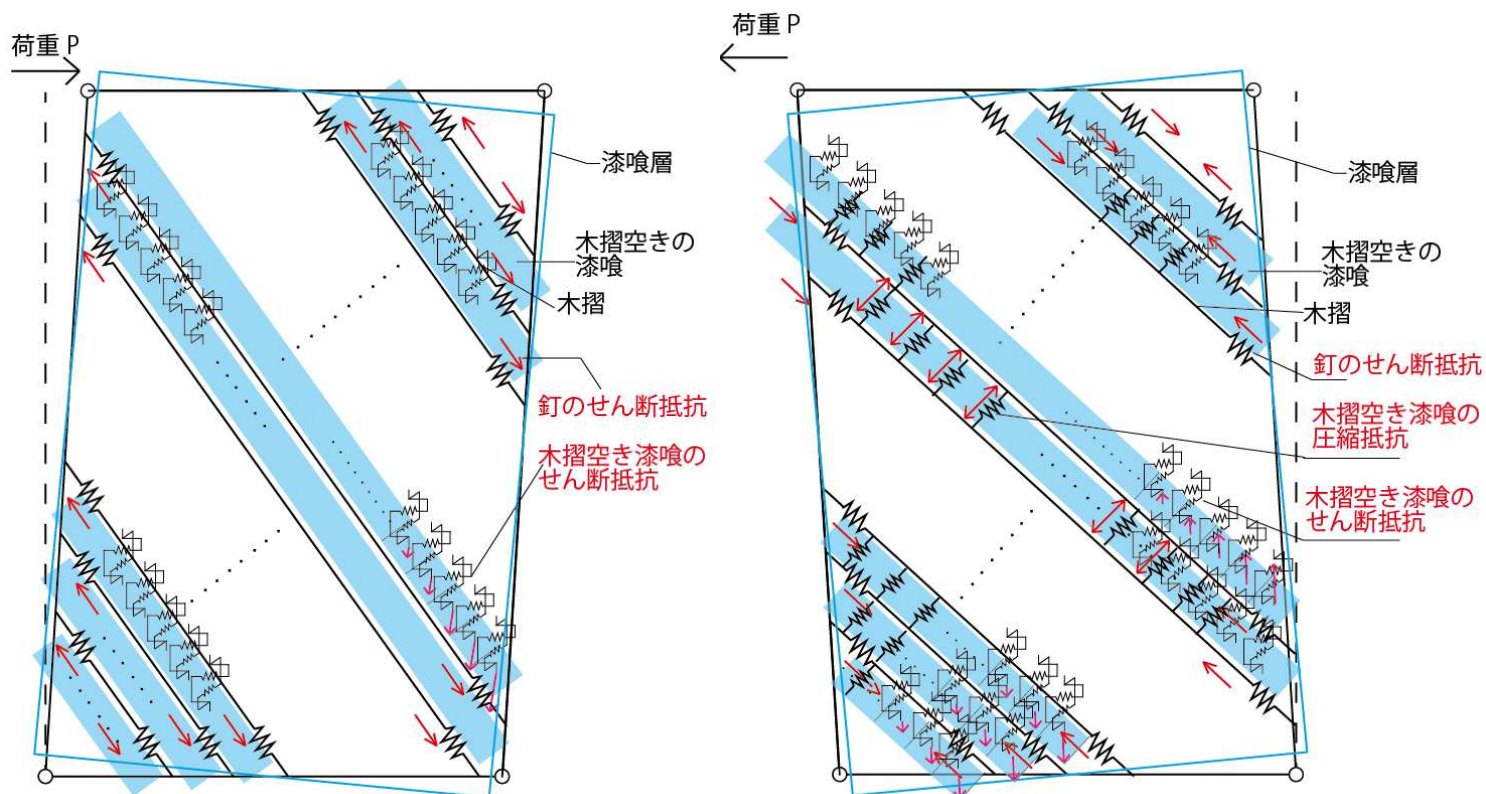


図 1 大壁斜め木摺漆喰壁の水平力抵抗機構モデル

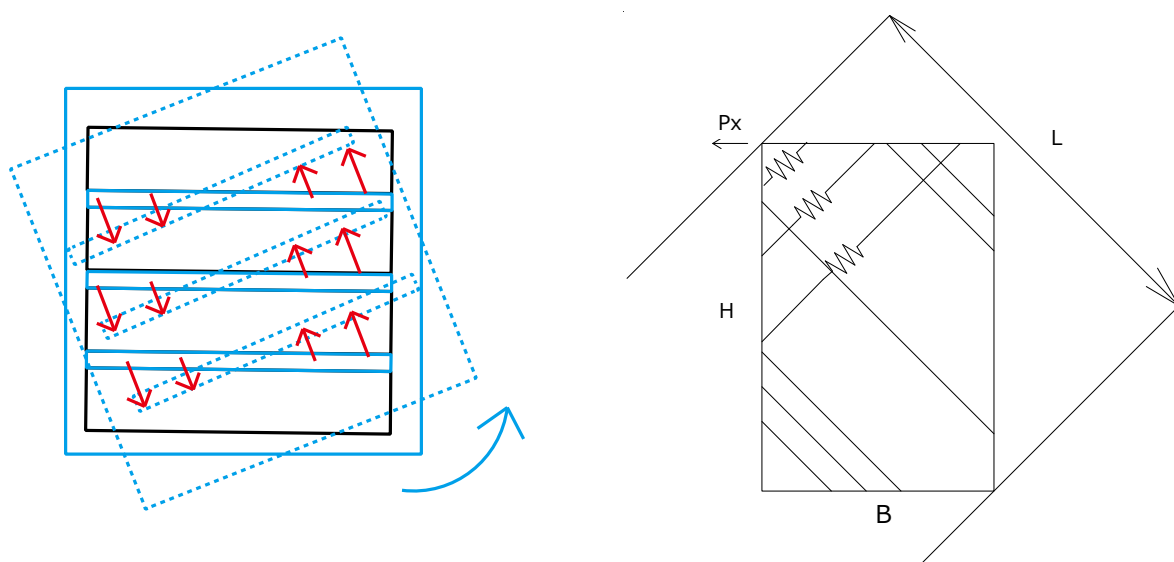


図 2 抵抗要素の概念図 木摺空き漆喰のせん断 木摺空きの縮みによる圧縮

## 解析条件

以下の抵抗要素の検討を行う。下図に解析対象の寸法を示した。

1. 木摺空きの漆喰のせん断剛性
2. 木摺引張加力時の木摺空きの漆喰の圧縮

1. について、水平木摺の解析では上下左右が対象のため、1/4 範囲でもモーメントが釣り合っていると仮定し解析を行ったが、斜めの場合では上半分の (Y 正の部位 1 ~ 34) 解析を実施するものとした (点対象ではあるが、上下線対象ではないため)。

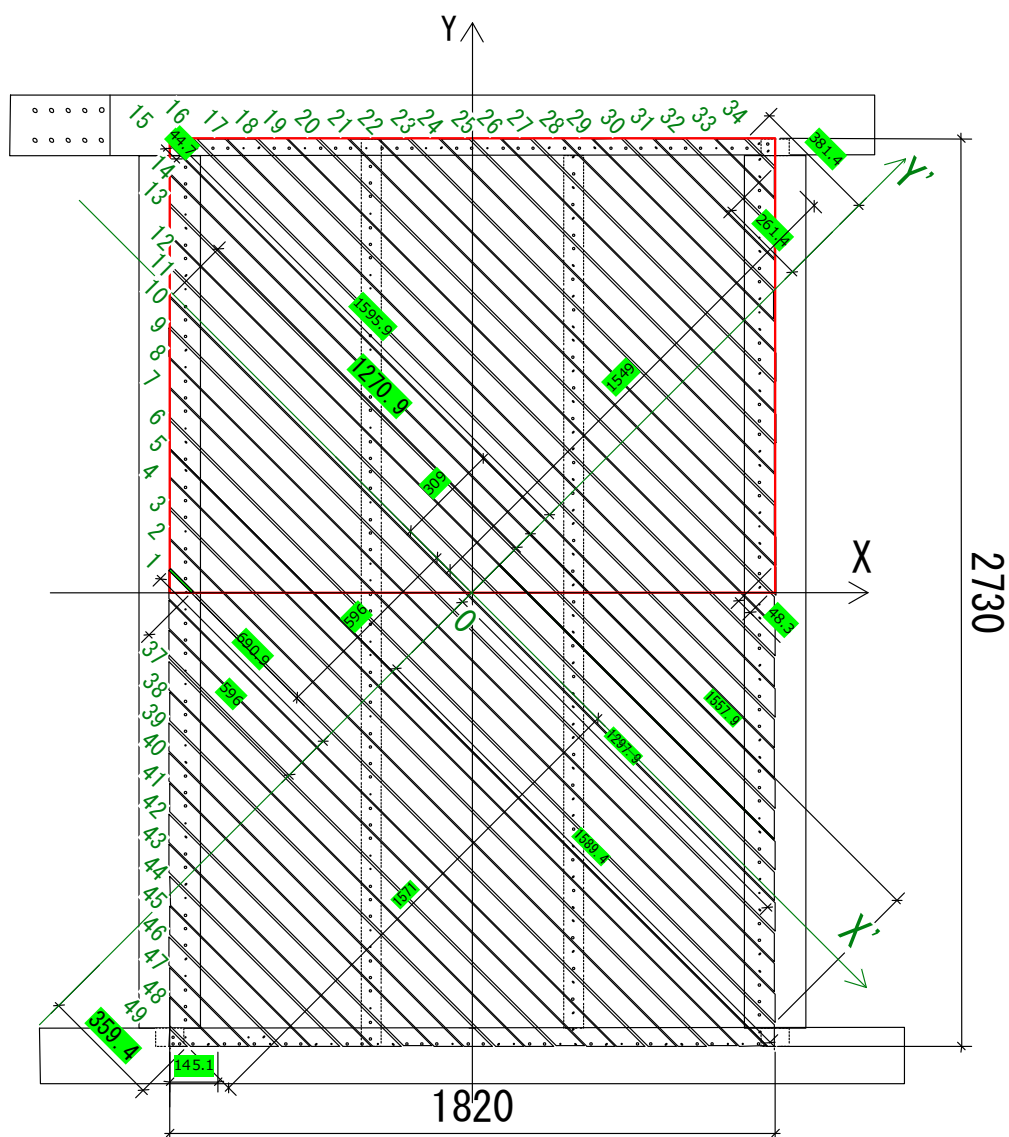


図 3 斜め木摺解析試験体 解析座標の設定



## 1. 木摺空き漆喰のせん断による初期剛性の検討

### 1.1 木摺空き漆喰のせん断抵抗機構の仮定〔6.3 参照〕

- ・最大荷重の推定に用いたせん断抵抗機構について以下に述べる.
- ・本モデルは, 合板やモルタルの解析におけるせん断ばねによる拘束モデルを漆喰のせん断ばねに置き換えたモデルである.
- ・漆喰層は剛体であると仮定している.
- ・漆喰層と, 木摺空きの漆喰は微小な漆喰せん断ばねで結合されているものと仮定する.
- ・漆喰のせん断ばねは X, Y 方向で同一の性状を持つ (一面せん断) と仮定する.

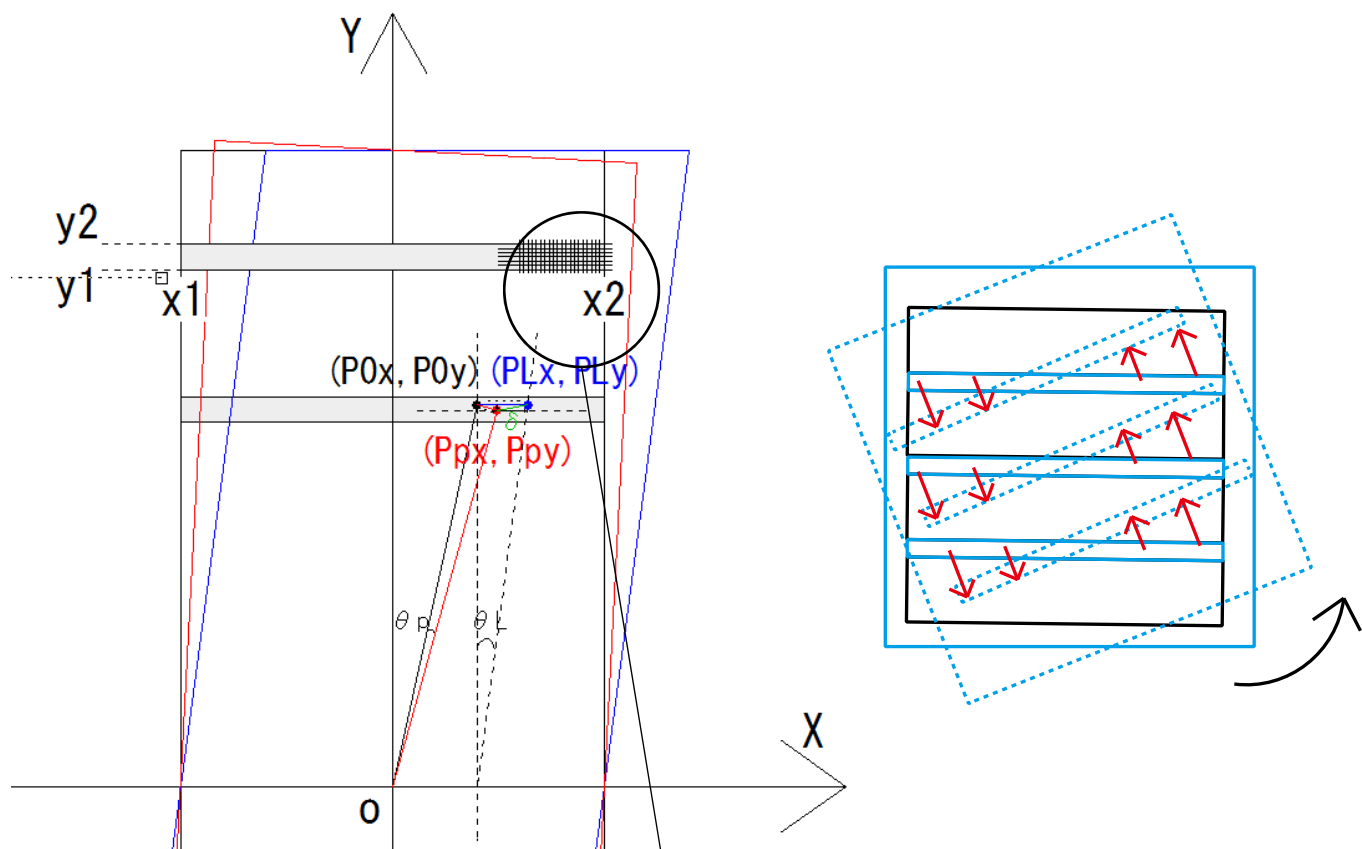


図 4 壁体のせん断変形時の変位発生状況 赤四角：回転した漆喰層，青四角：せん断変形したフレーム，緑線：漆喰接合点の相対移動距離，および発生する応力の模式図

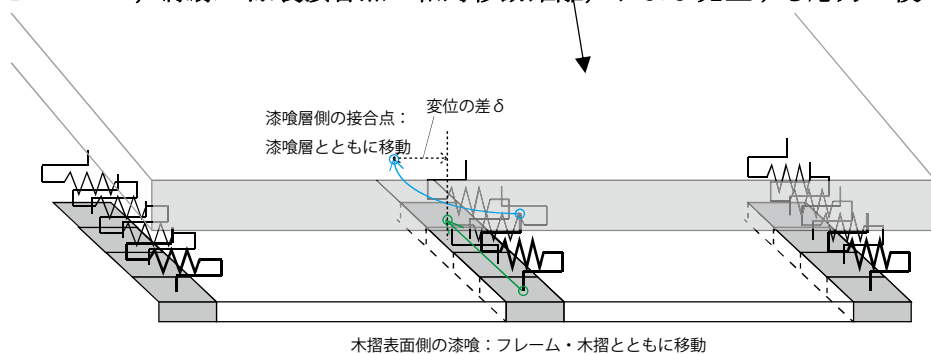


図 5 木摺空きの漆喰拡大図 (図は Y のみばねを描いているが X,Y 両方向にばねがある)

このとき、元々同一の点である ( $P0x, P0y$ ) は漆喰層下部の点は ( $Ppx, Ppy$ ) へ回転移動し、木摺空き上部の点は木摺と一体になって ( $PLx, PLy$ ) へ平行移動する。その相対移動距離  $\delta$  (図 25 中緑線部) が漆喰のせん断ばねがせん断変形を受ける変位であると考えられる。この変位の X, Y 各方向で発生するせん断抵抗力の和がこの変形角でこの接合点に発生するせん断力であるとする。

この状態を決定するには、回転変形角  $\theta_p$  とせん断変形角  $\theta_L$  (全体の変形角) の比を求める必要がある。

①漆喰層が四周を拘束されず自由回転する場合：せん断力による中心周りのモーメントの和が 0 となることより、収束計算によって各変形角の全点のモーメントの和が 0 となるように回転角比を求める。この際に接合点に発生している X 方向の荷重の和が水平抵抗力となる。

②漆喰層が一部固定されている場合：本研究では左右を柱に拘束されているものとした。この場合は、変形角比は 1 に定まる。各変形角で全点のモーメントの和として得られる値は、その分がフレームに外力で水平力として加えられていると想定し、水平荷重を算出した。

斜め木摺壁の場合、大壁であるため、①の条件での解析を行った。

## 1.2 木摺空き漆喰のせん断による初期剛性 解析結果

斜め木摺の空きの漆喰のせん断剛性の算定結果を以下に示す。

比較対象は斜め木摺実験の、漆喰ありの試験体から漆喰なしの試験体を引いたものを漆喰の寄与する耐力として算出した。なお、実験では亀裂による漆喰層の破壊によって荷重が低下しているため、荷重の評価ではなく初期剛性の評価を行うものとする。

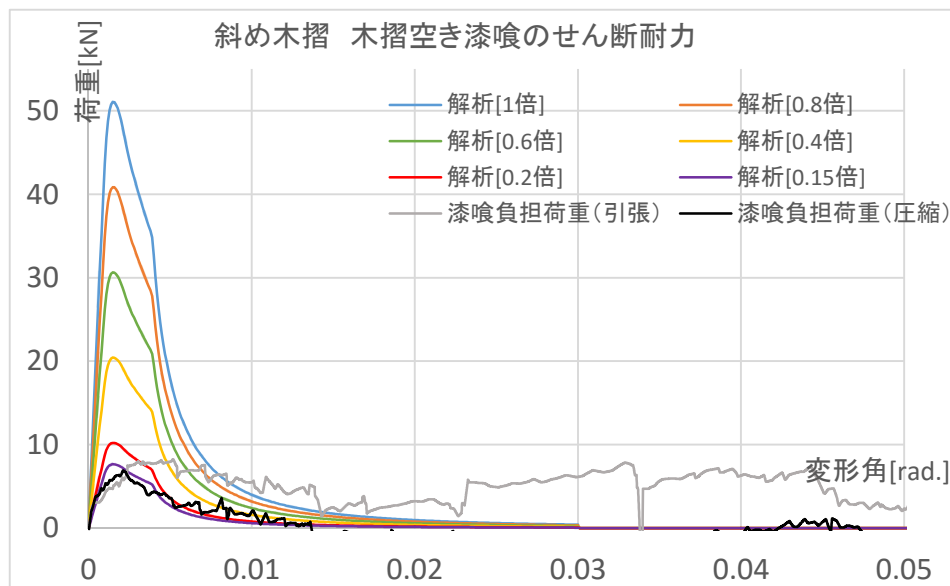


図 6 斜め木摺漆喰 初期剛性に関する解析結果

本文 6.3 節で述べた方法における自由回転時の漆喰層のモーメントのつり合いによる漆喰のせん断剛性の解析の結果、初期剛性[kN/rad.]：実験：3900，解析：32000（図中 1 倍）であり、実験値の約 8 倍の結果となった。

解析モデルにおいて省略した要素の影響：

本モデルでは、漆喰の間に木摺が入っていることによる効果は考慮していないため、①木摺空き漆喰の移動量が実際よりも過大評価になり、せん断ばねの移動量が過大評価となっている、また②木摺空き漆喰と木摺が一体化していることによる剛性、が評価できていない。これに関しては、下塗りのみを行った実験などにより、木摺空きに入った漆喰の効果を検証することが必要である。

また、漆喰の塗布による応力状態の変化に関しても無視して漆喰の寄与分の荷重を算出しており、今後検討を行う必要がある。

材料特性に関する考察：

本解析の対象とした斜め木摺実験の漆喰材料は、実大試験から材料試験まで 2010-2014 年に養生を行っている。そのため、二酸化炭素暴露による炭酸化の進行は十分進んでいるものと推定される。第 5 章 Sr4 の項で考察したように、既往研究によれば約 125 倍の二酸化炭素暴露養生によって、同養生期間でも最大荷重は約 10 倍となることが示されている。本

試験体を養生した地下実験室の平均二酸化炭素濃度は約 400ppm と、ほぼ大気中と同様であったが、養生期間を考慮すると約 100 倍分の炭酸化が進行している可能性がある。

そこで、漆喰の一面せん断性能における最大せん断応力度の低減を試みた。グラフ中に最大せん断応力度 100%－15%の結果を示した。なお、せん断破壊の発生する歪に関しては操作しないものとする。結果としては、低減率 15%時点で初期剛性は実大試験におけるピーク値と概ね近い結果を得た。このときの最大せん断応力度は約 0.11N/mm<sup>2</sup>であり、既往の結果と比較するとやや小さい値となっている。ただし、漆喰の材料強度の増加がどの程度まで進行するか、増加した後低減するかなど、不明な点も多い。

今後の課題としては、木摺空きに入った漆喰の効果を、下塗りのみの試験体を用いる等の方法によって定量的に検証することで、大壁の場合の初期剛性についても検討を可能とすることが考えられる。

## 2. 斜め木摺引張方向の木摺空きの縮みによる圧縮抵抗

### 2.1 計算方法の仮定

第4章の実験結果より、斜め木摺壁の木摺引張方向では、木摺空きの縮みに伴う漆喰の圧縮が発生していると推定された。剛性の推定においては、木摺の短軸方向の圧縮および下ごすり漆喰の圧縮の直列ばねによる抵抗が発生しているものと仮定し、木摺空きの縮み量を剛性比で分担して負担するものと仮定して対角方向の圧縮剛性を検討した。ただし、本解析の結果に関しては木摺や壁体との連動等について不明な点が多いため、付録として論文末尾に掲載するに留めた。

幾何学的変形の仮定としては、斜め木摺壁の木摺引張方向加力では図のように木摺の空きが減少すると仮定する。柱真から、ある木摺と隣り合う木摺までの距離を  $a, b$  とすると、回転角  $\theta$  の時点の木摺空きと当初の木摺空きによる圧縮ひずみ量  $\varepsilon_a$  は以下の式で表される。

$$\varepsilon_a = \frac{(b-a)(\cos \frac{\pi}{4} - \cos(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}))}{(b-a) \cos(\frac{\pi}{4})}$$

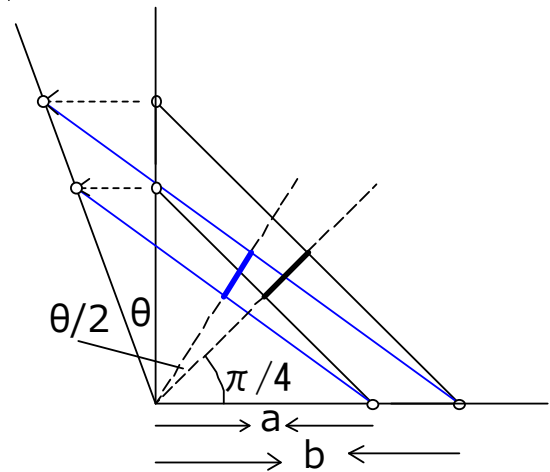
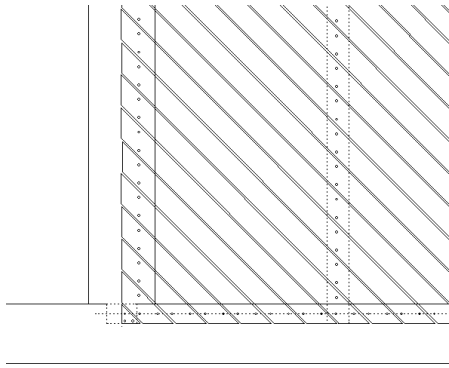


図 7 木摺空きの縮みによるひずみ量のモデル化

ひずみ量に対して発現する圧縮バネの剛性に関しては以下のように仮定した。木摺空きの漆喰は以下のような 45 方向の圧縮ばねが、図の L の長さ分にわたって並列に機能するものと仮定する。すなわち、適用条件としては木摺空きに漆喰が十分に詰まっている状態である。

なお、このばねの一本あたりの剛性に関しては、①木摺伏せ漆喰の圧縮剛性、②木摺伏せ漆喰の剛性と木摺の繊維平行（年輪半径方向）圧縮剛性の直列ばね、とした場合をそれぞれ仮定して検討した。木摺伏せ漆喰の圧縮剛性の応力度－歪関係は第5章要素実験 Sr4-B 試験体の結果からモデル化を行い、木摺の材料特性は文献値（0.26GPa）を採用した。

なお、本仮定による検討の結果は付録に掲載した。

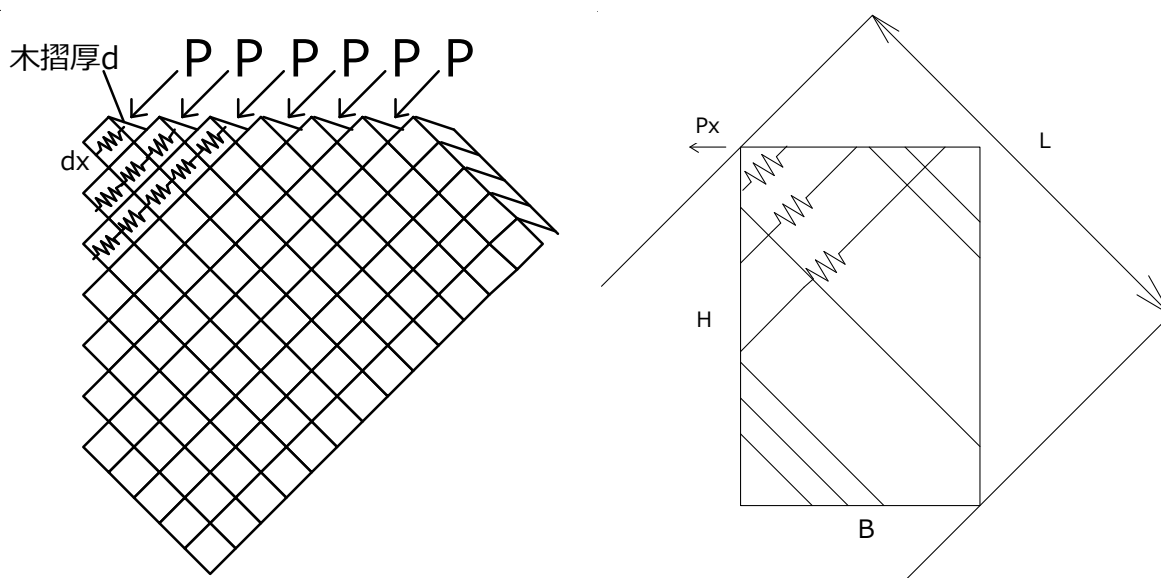


図 8 斜め木摺の木摺空きの漆喰の圧縮による直列ばね

一か所のばねによる荷重は，木摺の厚みを  $d[=12\text{mm}]$  として，

$$p = \sigma \cdot d \cdot dx$$

と表される．また，木摺空きの漆喰の圧縮応力度  $\sigma$  の値は，一軸圧縮試験結果から算出される弾性剛性までを仮定する．

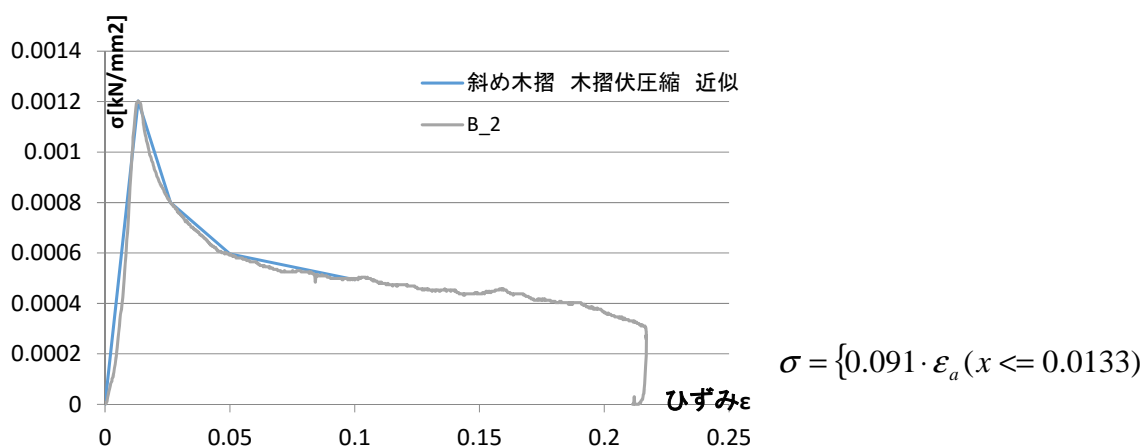


図 9 斜め木摺の木摺伏せ漆喰の応力度-歪曲線[Sr4\_B\_2 実験結果より]と近似式

以上の全てのばねによる応力を合計し，ある変形角時点での水平荷重  $F_x$  が算出される．

$$F_x = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^L \sigma d dx$$

$$\text{ただし, } L = \frac{B+H}{\sqrt{2}} = \frac{1820+2790}{\sqrt{2}}$$



## 2.2 斜め木摺引張方向の木摺空きの縮みによる圧縮抵抗 解析結果

6.3.5 に示した方法（45 度方向の直列ばねの並列結合）によって算出した結果は以下である。解析上、漆喰の剛性は弾性剛性までとした。斜め木摺実験から算出した漆喰の抵抗力の、木摺引張方向の結果と比較を行っている。

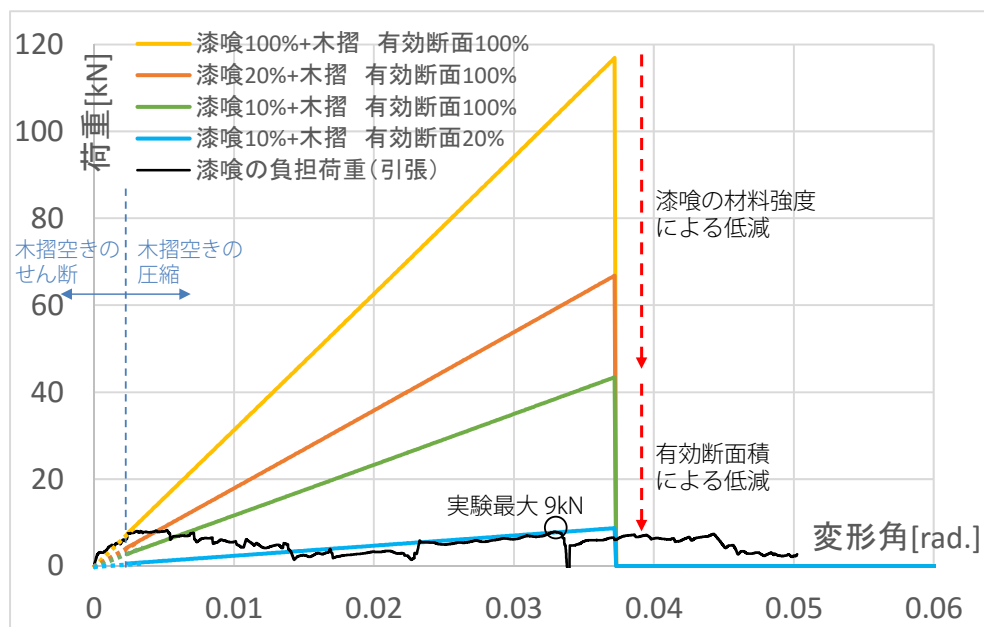


図 10 漆喰圧縮力解析結果

第 4 章の実験で漆喰の寄与率を考えた際、約 1/450rad.付近までに漆喰面は亀裂を生じ、負担荷重が減少するが、その後最大荷重の 1/30rad.付近まで、引き側のみ荷重が上昇する現象が見られた（図中 0.02-0.03rad.）ため、これを圧縮による荷重と想定した。

・木摺の短軸方向軸剛性、および有効断面積を考慮した場合（木摺間 91mm の変形）

斜め木摺引張方向の载荷において、実際は木摺の短軸方向の剛性が寄与している可能性が考えられる。また、漆喰層は破壊の進行につれて面外へ浮き出す挙動を取るほか、木摺は圧縮と引張方向で面外変形を繰り返す。そのため、圧縮荷重の作用しうる面積は、実際には全断面 L よりも小さいと考えられる。この 2 点をパラメータとして、以下に木摺引張時の圧縮剛性の算出を試みる。

木摺の短軸方向は、今回の木摺では木材の年輪半径方向であった。なお、図 6-17 に示したように、漆喰の一軸圧縮によるヤング率は 0.091kN/mm<sup>2</sup>であった。これにより、木摺の短軸方向の圧縮ヤング係数は、0.26GPa[kN/mm<sup>2</sup>]と仮定する。この際に、漆喰は空きが 5mm、木摺は巾 60mm であることから、剛性は以下の式で算定される。また、木摺空きの漆喰のせん断で見たように、漆喰の炭酸化に伴う荷重の増加を考慮し、漆喰の圧縮強度を約 1/10 程度まで低減可能であるとした場合の結果も併せて以下に示した。

$$K = E \cdot A / L \quad (K \text{ 剛性, } E \text{ ヤング率, } A \text{ 部材断面積, } L \text{ 部材長さ})$$

表-1 斜め木摺空きの漆喰の圧縮時の剛性低減

| 斜め木摺       |                      | 木摺 | 圧縮     | 漆喰    | 圧縮     | 漆喰 20% | 木摺+漆喰  | 木摺+漆喰20% |
|------------|----------------------|----|--------|-------|--------|--------|--------|----------|
| ヤング率(応力度歪) | E kN/mm <sup>2</sup> |    | 0.26   | 0.091 | 0.0182 |        | 0.228  | 0.129    |
| 幅          | W mm                 |    | 1      | 1     | 1      |        | 1      | 1        |
| 奥行         | D mm                 |    | 1      | 1     | 1      |        | 1      | 1        |
| 幅×奥行       | A mm <sup>2</sup>    |    | 1      | 1     | 1      |        | 1      | 1        |
| ばね部分の長さ    | L mm                 |    | 60     | 5     | 5      |        | 65     | 65       |
| 剛性(荷重変形)   | K kN/mm              |    | 0.0043 | 0.018 | 0.004  |        | 0.0035 | 0.0020   |
| 1/剛性       | 1/K                  |    | 231    | 55    | 275    |        | 286    | 505      |

解析の結果、木摺による剛性の低減を加味しても、圧縮荷重の水平成分は約 118kN と、実験値と比べて極めて大きな値となった。せん断剛性と同様に、圧縮荷重に関しても炭酸化を考慮した低減が可能であると仮定し、20% (0.13kN/mm<sup>2</sup>) まで低減を行った場合、荷重は約 42kN であり、実験値の約 4.5 倍となった。

この原因としては、①実大試験で見たように、変形の進行に従って、漆喰は浮き上がり、また木摺も座屈挙動を繰り返す。そのため、木摺空きの漆喰は十分に圧縮応力を伝達しなかった可能性がある。また、②施工時の漆喰の食い込み量が不足していた可能性もある。なお試験体施工時の記録では、木摺端部で計測した値として、8/12mm の食い込み量であった。

以上を加味した有効断面積のパラメータスタディを行った。既往研究で確認されている漆喰の強度増加は 10 倍までであったため、これを限界値とした場合、漆喰の食い込み量の不足による有効断面積の低減率は約 20%とした場合で実験値と比較的一致する結果となった。破壊の進行に伴う現象であるため、現状では定量的な指標を示すことは困難であるが、有効断面は 20%以下まで低下していた可能性が指摘される。

斜め木摺の対角圧縮時の圧縮束の形成に関しては、釘の接合部性状の影響、当初の埋め込み量、破壊の進行に伴う漆喰の脱落等が影響することが考えられ、今後の課題であるが、全断面の荷重が等価に働くと仮定した場合の結果を参考に掲載した次第である。