

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
社会文化環境学専攻

2019 年度  
修 士 論 文

地震による非構造部材の損傷の評価に関する研究

—乾式間仕切り壁と ALC 外壁を対象とした  
実大載荷実験を通して—

Study on Damage of Non-Structural Element Caused by Earthquake

-Through Actual Loading Test of Dry Partition Wall and ALC Exterior Wall-

2020 年 1 月 20 日提出  
指導教員 清家 剛 教授

47-186777  
八木 尚太郎  
Yagi, Shotaro







# 目次

---

1 章	序論	
1.1.	研究背景	2
1.2.	研究目的と方法	6
1.3.	研究の構成	8
1.4.	既往研究と研究の立ち位置	10
1.5.	用語の定義	13
2 章	乾式間仕切り壁と ALC 外壁の既往研究の整理	
2.1.	乾式間仕切り壁の既往研究の整理	24
2.2	ALC 外壁の既往研究の整理	28
2.3	小結	31
3 章	乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験	
3.1	実験の概要	33
3.1.1	試験体の概要	33
3.1.2	加力方法の概要	36
3.1.3	観察、計測方法の概要	37
3.2	実験結果	39
3.2.1	実験で観察された損傷	39
3.2.2	実験で観察された損傷のまとめ	76
3.3	小結	84

4 章	ALC 外壁を対象とした実大載荷実験	
4.1	実験の概要	87
4.1.1	試験体の概要	87
4.1.2	加力方法の概要	90
4.1.3	観察、計測方法の概要	91
4.2	実験結果	95
4.2.1	実験で観察された損傷	95
4.2.2	窓の開閉機能の確認結果	113
4.2.3	扉の開閉機能の確認結果	117
4.2.4	実験で観察された損傷のまとめ	121
4.4	小結	127
5 章	実験で観察された損傷の評価	
5.1	「対応の必要性」に着目した損傷の評価	132
5.1.1	建物に与える影響に基づく実験で観察された損傷の分類	132
5.1.2	損傷が建物に与える影響に基づく「対応の必要性」の評価	154
5.2	「診断の難易度」に着目した損傷の評価	158
5.2.1	生じた場所と規模に基づく実験で観察された損傷の分類	159
5.2.2	損傷が生じた場所と規模に基づく「診断の難易度」の評価	174
5.3	「対応の必要性」と「診断の難易度」に着目した損傷の整理	178
5.4	非構造部材の耐震性を向上させる方法	190
5.5	小結	199
6 章	結論	
6.1	本研究の総括	202
6.2	本研究の成果	204
6.3	今後の展望	205

参考文献	210
------	-----

付録	付録について/付録の目次	213
----	--------------	-----

付録 1-1	構造部材の耐震性の現状	214
--------	-------------	-----

付録 1-2	基準類の整理からみる非構造部材の耐震性に関する課題	217
--------	---------------------------	-----

付録 1-3	乾式間仕切り壁の実大載荷実験の結果の分析	223
--------	----------------------	-----

付録 1-4	窓の開閉機能の確認結果（詳細版）	261
--------	------------------	-----

付録 1-5	扉の開閉機能の確認結果（詳細版）	273
--------	------------------	-----

付録 1-6	ALC 外壁の実大載荷実験の結果の分析	285
--------	---------------------	-----

付録 2-1	乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート	313
--------	------------------------------	-----

付録 2-2	ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート	417
--------	-----------------------------	-----

# 1章 序論

---

1.1.	研究背景 .....	2
1.2.	研究の目的と方法 .....	6
1.3.	研究の構成 .....	8
1.4.	既往研究と研究の立ち位置 .....	10
1.5.	用語の定義 .....	13

### 1.1. 研究背景

---

#### 非構造部材について

---

建築物を構成する部材は構造部材と非構造部材の2つに大別できる。構造部材は、自重を支えるだけでなく、地震動、風圧といった外力に対して建物を支えるフレームの役割も持つ。構造部材の主な部材として、基礎、柱、梁などがある。その主な材料としては、木、鉄、そして鉄筋コンクリートのどれかが使われることが多い。

これに対して非構造部材は、構造部材に取り付けられるその他の部材のことを指す。地震動や風圧といった外力に対して、構造部材は建物全体を支える必要があるが、非構造部材は各部材ごとの自重のみ支えられれば良い。ただし非構造部材は、防犯性、音響性、空調効率性、水密性、意匠性、空間の区分けといった、住環境の快適性を向上させる役割を持つ。

非構造部材の主な部材として、間仕切り壁、外壁（いずれも非耐力壁に限る）、開口部（窓や扉）、天井などがある。一つの部材に対して、木、金属、樹脂、ガラスなど、複数種類の材料が使われることが多い。更に同様の部材であっても、メーカーや付加機能によって使用する材料には複数のパターンが存在する。結果として、非構造部材は多種多様な製品が存在する。

地震により構造部材と非構造部材に生じる損傷には、いずれも人的被害を及ぼすものが存在する。そのため両分野において、耐震性の研究が進められてきた。

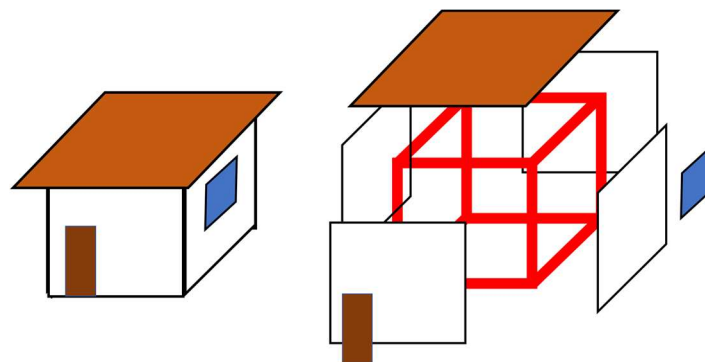


図 1-1 構造部材（赤線）と非構造部材（それ以外）のイメージ図

---

## 構造部材の耐震性の現状

---

地震により構造部材に被害が生じると、建築物の全壊に直結することが最悪の場合として考えられる。これは安全上最も避けなくてはならないことである。

そのため、構造部材の耐震性についてはこれまでに多くの研究がなされてきてきた。その結果、構造部材の耐震性は向上している。(詳しくは付録 1-1 で述べる)。

---

## 非構造部材の耐震性の現状

---

非構造部材の地震による被害の中には、高所からの部材の落下など人命に関わるものがある。そのため、非構造部材の耐震性について考えることも、地震時の利用者の安全性を確保する上で重要である。2011 年の東北地方太平洋沖地震では、天井や外壁の落下が原因で亡くなった人がいた<sup>1</sup>。また、体育館等の天井が落ちたため、避難所として使用することができず、屋外で長時間の待機を余儀なくされた人々も大勢いた<sup>2</sup>。

さらに近年では、「BCP」に言われるように、地震後に建物の通常利用が短時間で再開できるようになっていることが重要視されてきている。つまり住環境の向上のために設置される非構造部材に対する耐震性能の要求が高まっているといえる。

しかしながら、構造部材の耐震性の方が優先されたため、非構造部材の耐震性に関する研究は遅れているという現状がある。

---

## 対策が急がれる非構造部材

---

非構造部材の中でも、天井、カーテンウォール、乾式間仕切り壁、ALC 外壁などは、実際の地震の被害調査で、高所からの部材の落下が確認されている。その中でも、天井とカーテンウォールは対策が急がれた。そのため、設計基準等の整備が進んでいる。しかし、乾式間仕切り壁は、明確な耐震性に関する明確な設計基準が現状では不十分となっている。また、ALC 外壁は、開口部を含めた耐震性の明確な基準が現状では無い(詳しくは付録 1-2 で述べる)。

---

<sup>1</sup> 清家剛 他 (2012)「非構造部材の耐震性を設計・施工する」,『建築技術』2012 年 6 月号, p.89-167, 株式会社建築技術.

<sup>2</sup> 清家剛 他 (2018)「非構造部材の再確認」,『建築技術』2018 年 9 月号, pp67-165, 株式会社建築技術.

### 損傷の地震後の対応に関する検討の不足

---

実際の地震により非構造部材に生じる損傷には、軽微な場合と、人命に関わるため地震後に補修等の対応が必要な場合がある。これは実際の地震の被害調査で判明している<sup>3</sup>。ここで人命に関わる損傷とは、接合部の保持力を致命的に低下させるもの、耐火性を致命的に低下させるもの、避難経路を妨げるものなどを指すとする。

また、非構造部材の損傷の診断（損傷を発見し、その深刻具合を確認すること）は、目視で行われている。しかし、構造部材や非構造部材の一部は、仕上げ材など他の非構造部材によって覆い隠されている。そのため、実際の地震では、即座に目視で診断できる損傷から、解体工事を経て目視で診断可能になる損傷が生じていると考えられる<sup>4</sup>。

つまり、地震後に補修等の対応が必要だが、短時間で診断することが難しい損傷の存在が推測される。

安全確認が短時間で迅速に行われる避難所では、このような損傷は大きなリスクになる。例えば、間仕切り壁の接合部の保持力が低下している状態で余震が起きた場合、部材の高所からの脱落が考えられる。これが人の密集する避難所で生じた場合、その被害は甚大になると想定される。

しかし、これまで地震により生じる損傷について、「対応の必要性」や、「診断の難易度」に関する検証は十分に実施されてこなかった。

この結果として、乾式間仕切り壁と ALC 外壁は、地震後に補修等の対応が必要だが短時間で診断することが難しい損傷の把握ができていない状況にある。そして、その対策も十分に取られていない現状にある。

---

<sup>3</sup> 金子美香 他（2003）「1995 年兵庫県南部地震の被害調査に基づく非構造部材の耐震性評価」，『日本建築学会技術報告集第 17 号』pp563-566, 日本建築学会

<sup>4</sup> 八木尚太郎 （2017）「非構造部材のモニタリングに関する検討 -カメラ画像による天井の地震被害に着目して-」，東京大学工学部建築学科 2017 年度 卒業論文





### 1.2. 研究の目的と方法

---

#### 研究の目的

1.1 で述べた研究背景を踏まえ本研究では、乾式間仕切り壁と ALC 外壁を対象とし、地震後に補修等の対応が必要だが短時間で診断が難しい損傷などを把握することを目的とした。更に、その対策方法について考察することも目的とした。

---

#### 研究の方法

研究の方法としてまず、乾式間仕切り壁と ALC 外壁を対象とし、その特殊な部位の損傷と躯体の大変形時の損傷を考慮できるような実大載荷実験を行い、損傷の観察を行った。

次に、実験で観察された損傷について、補修や区画を必要とするかという「対応の必要性」の評価と、診断にどれだけの手間と時間がかかるかという「診断の難易度」の評価を行った。

最後に評価結果の分析から、乾式間仕切り壁と ALC 外壁について、地震後に補修等の対応が必要だが短時間で診断できない損傷などを整理した。また、整理結果から、損傷の対策方法について考察した。

以下に本研究で行った実験の概要について記す。

#### 乾式間仕切り壁を対象とした実験

平坦な壁、梁からの持ち出し部分、開口部、鉛直壁を持つ乾式間仕切り壁を、鉄骨フレームに取り付け、1/50 を超える大変形を含む層間変形を繰り返し与えた。生じた損傷について概要、位置、進行状況を載荷中も含め、合計 96 回観察し、詳細まで記録した。

実験実施日：2019 年 2 月～3 月

実験実地場所：国立研究開発法人建築研究所（茨城県つくば市立原 1 番地）：強度試験棟（東京工業大学 山田研究室、吉敷研究室、東京大学 伊山研究室との合同実験）

#### ALC 外壁を対象とした実験

平坦な壁、窓と扉を含む壁を持つ ALC 外壁を、鉄骨フレームに取り付け、1/50 を超える大変形を含む層間変形を繰り返し与えた。生じた損傷について概要、位置、進行状況を、合計 83 回観察し、詳細まで記録した。また、窓と扉の開閉機能の確認も行った。

実験実施日：2019 年 5 月～6 月

実験実地場所：国立研究開発法人建築研究所（茨城県つくば市立原 1 番地）：強度試験棟（東京工業大学 山田研究室、東京大学 伊山研究室との合同実験）

実大載荷実験およびデータの分析に際して、非構造部材のメーカーや協会にご協力いただいた。以下にご協力いただいた企業の一覧を示す。

表 1-1 協力いただいた企業・協会の一覧

企業名	業種
K 社	軽量鉄骨下地メーカー
Y 社	石膏ボードメーカー
C 社	石膏ボードメーカー
L 社	窓サッシメーカー
協会 A	ALC 業界の協会
協会 I	ガラス業界の協会

また、「非構造部材の耐震設計施工指針改定小委員会」、「建築研究開発コンソーシアム「間仕切り研究会」」でもたびたびこの研究について意見交換をさせて頂いた。以下に参加した会の日程を示す。

#### 非構造部材の耐震設計施工指針改定小委員会

2019 年 09 月 18 日 2019 年 06 月 27 日 2018 年 12 月 12 日 2018 年 11 月 05 日 2018 年 08 月 01 日 2018 年 06 月 27 日 2018 年 05 月 07 日

#### 建築研究開発コンソーシアム「間仕切り研究会」

全体会 2018 年 05 月 24 日、2018 年 08 月 02 日、2019 年 10 月 05 日、2018 年 12 月 07 日、2019 年 02 月 14 日、2019 年 04 月 17 日、2019 年 06 月 07 日、2019 年 08 月 20 日

実験 WG 2018 年 06 月 28 日、2018 年 11 月 02 日、2019 年 03 月 28 日

基準整備 WG 2018 年 06 月 01 日、2018 年 07 月 20 日、2018 年 09 月 25 日、2018 年 11 月 09 日、2019 年 01 月 25 日、2019 年 04 月 12 日、2019 年 05 月 23 日、2019 年 07 月 08 日、2019 年 09 月 17 日

### 1.3. 研究の構成

---

#### 研究の構成

---

1.2 で述べた研究方法に基づき、本論文は次のような構成をとっている。

2 章では、既往研究を整理した結果について述べる。

2.1 では、乾式間仕切り壁の既往研究を整理した結果について述べる。

2.2 では、ALC 外壁の既往研究を整理した結果について述べる。

3 章では、乾式間仕切り壁の実大載荷実験を行った結果について述べる。

3.1 では、本実験の概要について述べる。

3.2 では、層間変形角ごとに本実験で観察された損傷について述べる。

4 章では、ALC 外壁の実大載荷実験を行った結果について述べる。

4.1 では、本実験の概要について述べる。

4.2 では、層間変形角ごとに本実験で観察された損傷について述べる。

5 章では、実験で観察された損傷の評価をした結果を述べる

5.1 では、「対応の必要性」について実験で観察された損傷を評価した結果を述べる。

5.2 では、「診断の難易度」について実験で観察された損傷を評価した結果を述べる。

5.3 では、評価結果に基づいて、層間変形角ごとに損傷を整理した結果を述べる。

5.4 では、補修等の対応が必要であるが、短時間で診断できない損傷の特定と、その対策方法について考察した結果を述べる。

以上、本研究の章構成とそれらの関係性を図 1-2 にまとめた。

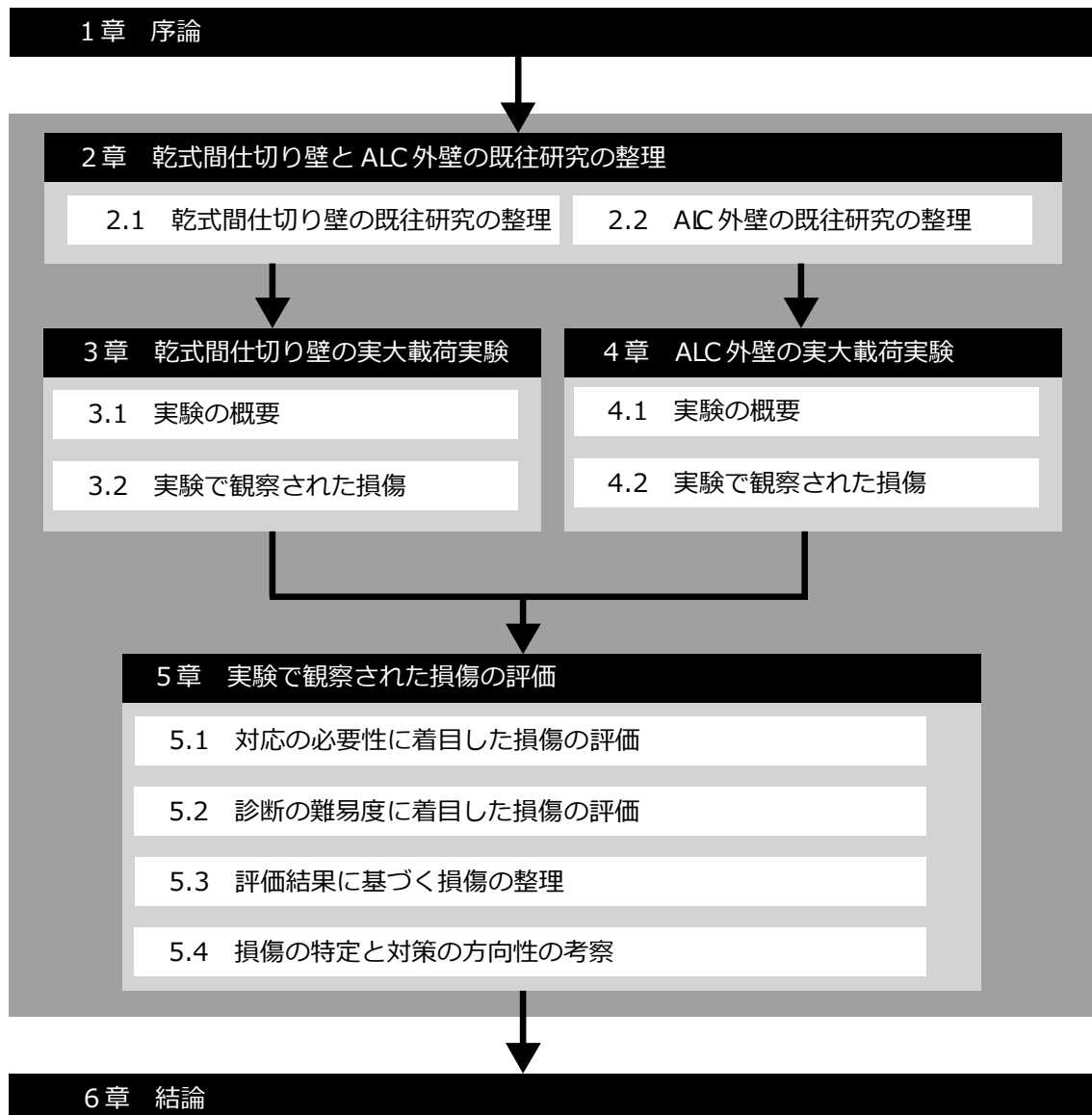


図 1-2 本研究の構成

## 1.4. 既往研究と研究の立ち位置

本節では、非構造部材の地震後の対応について検討した既往研究について述べる。その上で、本研究の立ち位置について説明する。

非構造部材の地震後の対応について検討した既往研究は、実際の地震で生じた損傷の深刻さを分類するものと、地震で生じた損傷を診断する目視に代わる方法について検討したものがあつた。

### 実際の地震で生じた損傷の深刻さを分類した既往研究

地震による実際の被害の規模を、補修・復旧に必要な作業の規模の目安に着目して、分類する研究が、外壁を対象として行われている。

#### 金子美香他、「1995 年兵庫県南部地震の被害調査に基づく非構造部材の耐震性評価」（日本建築学会技術報告集）

2003 年の金子らの研究<sup>3</sup>では、非構造部材の耐震性能を大まかに把握することを目的としている。1995 年兵庫県南部地震での非構造部材の被害の大きさと、構造被害との関係を整理するために、乾式間仕切り壁や ALC 外壁等の損傷の被災度を、以下の 3 つに分類している。

被災度 1	簡単な補修で使用可能
被災度 2	部分的補修・取り換えで使用可能
被災度 3	大規模な修復・取り換えが必要

2002 年の金子らの研究<sup>5</sup>では上記の 3 つに加えて、

被災度 0	補修の必要なし（ほぼ無被害）
-------	----------------

の 카테고리についても言及している。

#### 寺本隆幸他、「ALC 間仕切り壁の地震被害と今後の対策 その 1 東日本大震災における ALC 帳壁の地震被害と課題」（日本建築学会大会学術梗概集）

2013 年の寺本らによる研究<sup>6</sup>では、東北地方太平洋沖地震及びその一連の地震により生じた ALC パネルの被害の概要を分析するために、以下の 6 つに分類している。

<sup>5</sup> 金子美香他，“非構造部材の耐震性に関する一考察”，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp.79-80, 2002

<sup>6</sup> 寺本隆幸他，“ALC 間仕切り壁の地震被害と今後の対策 その 1 東日本大震災における ALC 帳壁の地震被害と課題”，日本建築学会大会学術梗概集（北海道），2013

A1	無傷のもの
A2	パネルの一部に軽微な欠けまたは亀裂が発生しているが、補修を行えば継続使用が可能なもの
B1	パネルの数か所に欠けまたは亀裂が発生しているが、補修を行えば継続使用が可能なもの
B2	パネルの一部が破損しているが、取り付け部の補強および補修を行えば継続使用が可能なもの
C1	パネルの取り付け部分が大破し、修理補修による取付強度の復旧が困難なもの、あるいはパネルの曲げ強度の復旧が困難なほど破損し、パネルの交換が必要なもの
C2	パネルが脱落したもの

#### 地震で生じた損傷を診断する目視に代わる方法について検討した既往研究

構造部材や非構造部材の一部は、仕上げ材など他の非構造部材によって覆い隠されていることもある。そのため、解体工事を経てのみ目視で診断可能になる損傷が存在する。このことにより、損傷の診断に時間がかかる、もしくは損傷が見過ごされ放置されてしまうなどの問題が現状として存在する。

このことを受け、非構造部材の中でも、天井を対象とした、損傷の診断時にカメラを用いて目視の範囲を拡張させる研究が行われている。

#### 仁田佳宏他「ワイヤレスカメラを用いた天井ふところ内の損傷目視検査」(計測自動制御学会)

2013年の仁田らの研究<sup>7</sup>では、カメラを搭載したドローンにより天井の裏の損傷を診断することの可能性について説明している

#### 八木尚太朗他「天井の地震被害のモニタリング方法に関する研究 カメラ画像を用いた方法に着目して」(日本建築学会大会学術講演梗概集)

2018年の八木らの研究<sup>8</sup>では、天井裏の損傷は目視で確認が難しいことに触れ、その上で防犯カメラを天井裏に設置し損傷を診断することの可能性について説明している。

<sup>7</sup> 仁田佳宏他, "ワイヤレスカメラを用いた天井ふところ内の損傷目視検査", 計測自動制御学会論文集, 計測自動制御学会, pp.733-735, 2013

<sup>8</sup> 八木尚太朗 清家剛 金容善 (2018) 「天井の地震被害のモニタリング方法に関する研究 カメラ画像を用いた方法に着目して」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.349-340, 日本建築学会

### 本研究の立ち位置

---

金子ら、寺本らの研究では、生じた損傷の被災度/被害度を補修・復旧に必要な作業の規模の目安に基づいて分類している。これは、建物の再利用には生じた被害は（ほぼ無被害のものを除き）、全て完全に元に戻す必要があるという前提のもとに成り立っている。

しかし、避難所、災害対策拠点、医療施設といった建物は、多少住環境が悪くとも、建物の利用再開が急がれる。つまり、このような建物では、損傷の対応は必要最低限に留めることが望ましい。

そのため、生じた様々な損傷に対して、どれだけ補修や区画といった対応が必要であるかという、「対応の必要性」が事前に分かっていることが重要である。

そこで本研究は、乾式間仕切り壁と ALC 外壁を対象に、この損傷の「対応の必要性」について検討するものである。

仁田ら、八木らの研究は、天井に生じる損傷のうち、目視による診断が困難であるものが明確にされていた。そのため、カメラという方法について検討できたといえる。

しかし、乾式間仕切り壁と ALC 外壁は、目視による診断が困難なものがまだ明確になっていない。その結果として、診断に応用できる技術の検討ができていない。

そのため、生じた損傷に対して、診断にどの程度の手間がかかるかを示す、「診断の難易度」に関する知見が事前に分かっていることが重要である。

そこで本研究は、乾式間仕切り壁と ALC 外壁を対象に、この損傷の「診断の難易度」について検討するものである。



## 1.5. 用語の定義

本研究で頻繁に使用する用語のうち、研究論文や文献によって意味が若干異なる用語について、本研究における定義を述べ、解説する。

---

### 非構造部材

建物を構成する要素のうち、防犯性、音響性、空調効率性、水密性、意匠性、空間の小分けといった住環境の向上のために構造部材に取り付けられるもの。部材の主な種類としては天井、間仕切り壁、外壁、床、開口部（窓や扉）などがある。

---

### 層間変形角

建築物において、地震動などの外力により生じる水平方向への歪みのこと。床スラブに対して上階の床スラブの水平移動量を、階高で割った値を指す。

---

### 大変形

層間変形角が 1/50 以上になる場合を指す。

---

### 非構造部材の損傷

層間変形といった外力に起因する、建物を構成する部材の新築時からの物理的な変化のことを指す。

---

### 非構造部材の被害

非構造部材の損傷によって生じる現象のうち、部材の落下や開閉機能の不全など、安全性や機能継続性に影響を及ぼすものを指す。

---

### 損傷の「対応の必要性」

非構造部材の損傷に対して、地震後に補修や使用禁止にするとといった対応の必要性のことを指す。“耐震性を下げる”、“耐火性を下げる”など損傷が建物に与える影響に関係する。

---

### 損傷の診断

非構造部材の損傷に対して、地震後に、その発見および進行具合を確認できることを指す。

---

### 損傷の「診断の難易度」

診断にどの程度の時間と手間が必要かということ指す。損傷が生じる場所と、その規模の大きさに影響する。

### 乾式間仕切り壁

---

軽量鉄骨を下地として構成される間仕切り壁のことを指す。本研究では石膏ボードを張り付けるものにのみ着目する。

図 1-3 に乾式間仕切り壁の下地側と上張り側のイラストを示す（図は片面 2 重張りの乾式間仕切り壁のイラストとなっている）。

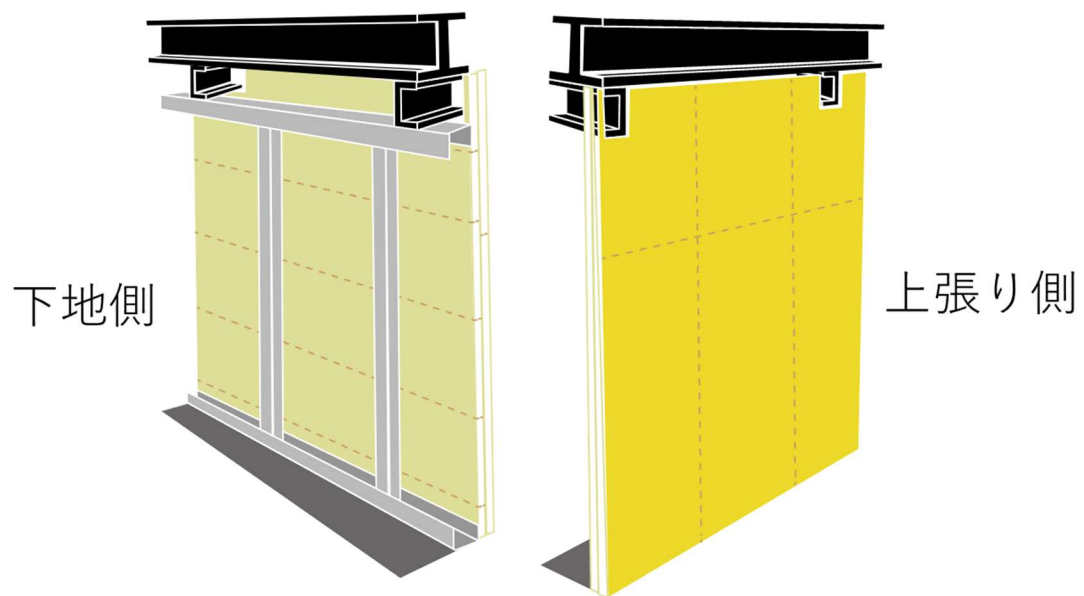


図 1-3 鉄骨に取り付けられた乾式間仕切り壁の例

鉄骨梁と床スラブの間に乾式間仕切り壁を施工する際の手順について、図 1-4 図 1-5 と共に説明する。

まず、鉄骨梁の下に先付金物とよばれるコの字の鉄材が一定間隔で溶接される。次に、先付金物および床スラブにランナーと呼ばれる軽量鉄骨でできたコの字の長い部材がピンで取り付けられる。この上下のランナーの間に、スタッドと呼ばれるコの字型の長い部材がはめ込まれる。なお、このスタッドにはスペーサーが一定間隔でつけられており、ボードをビスで留める際に、スタッドが変形しないようになっている。

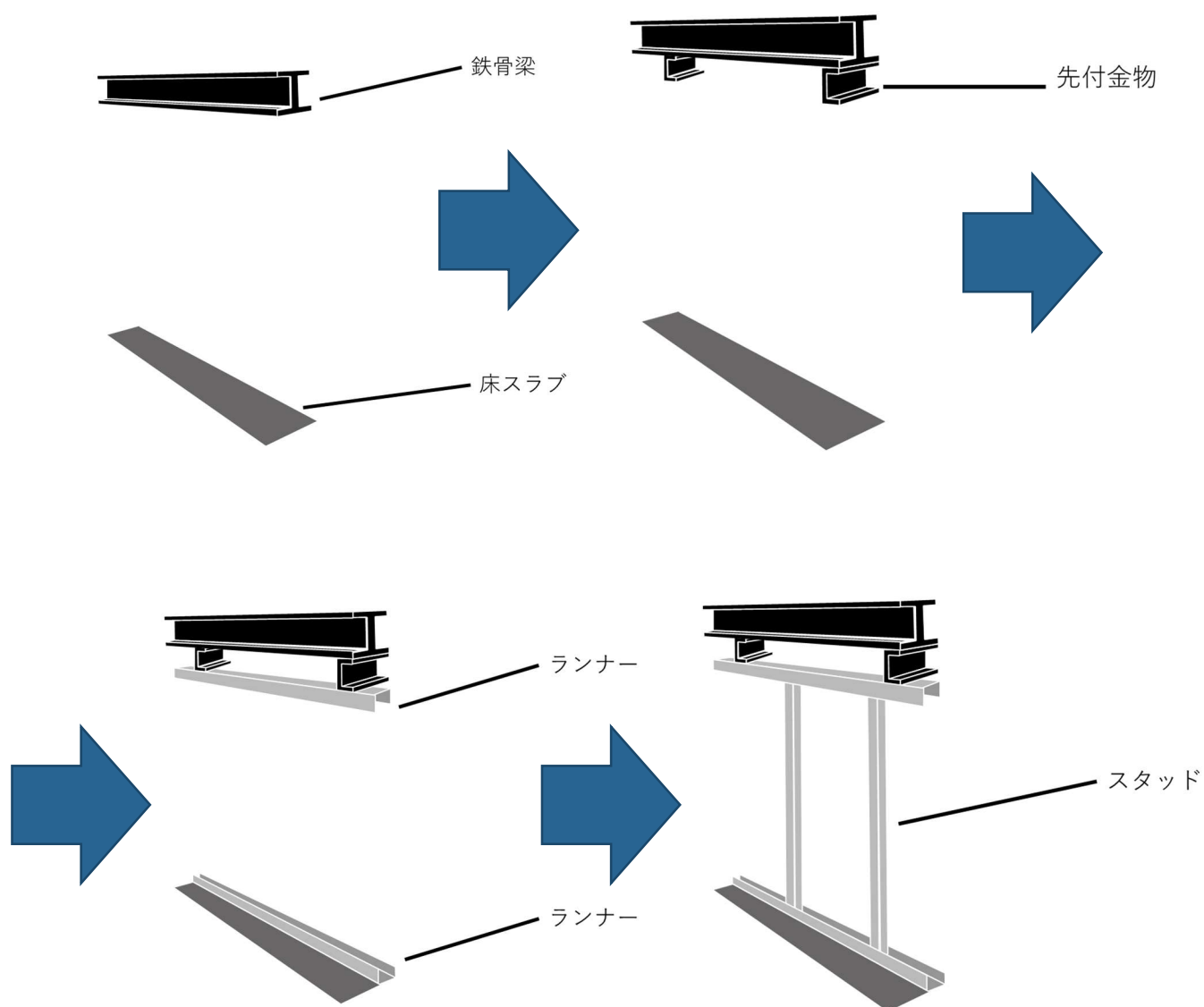


図 1-4 乾式間仕切り壁の下地の施工手順

このスタッドに対して、石膏ボードをビスでとめていく。なお、スタッドの裏にボードの目地がくるように割り付けされる。

1重張りの場合はこれで終わりだが、2重張りの場合、上張りボードと呼ばれるボードをさらに貼り付ける。貼り付けるのには接着剤とステープルを用いる（図 1-5）。

なお、鉄骨やスラブとボードが接触する部分には伸縮目地としてシーリング材などが充填される。

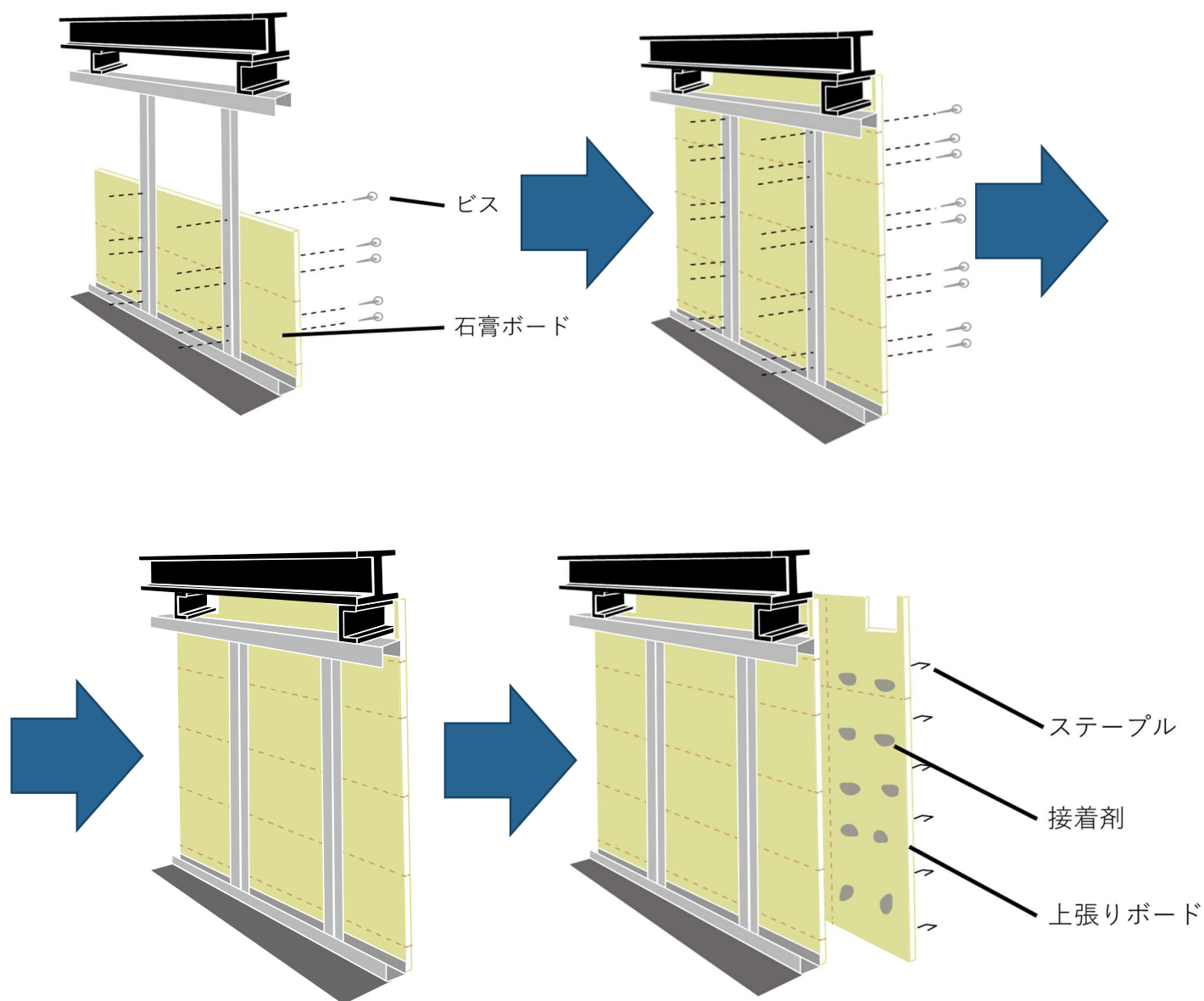


図 1-5 乾式間仕切り壁のボードの施工手順

## ALC 外壁

ALC（Autoclaved Lightweight aerated Concrete の略）という、セメント、石灰質原料およびケイ酸質原料を主原料とし、高温高圧、蒸気養生された軽量気泡コンクリートを適切な補強材で補強し、成形したパネルを用いた外壁のことを指す。本研究では特にロッキング構法で取り付けられているものを指すこととする。

図 1-6 に鉄骨骨組みに取り付けられた ALC 外壁のイラストを示す。

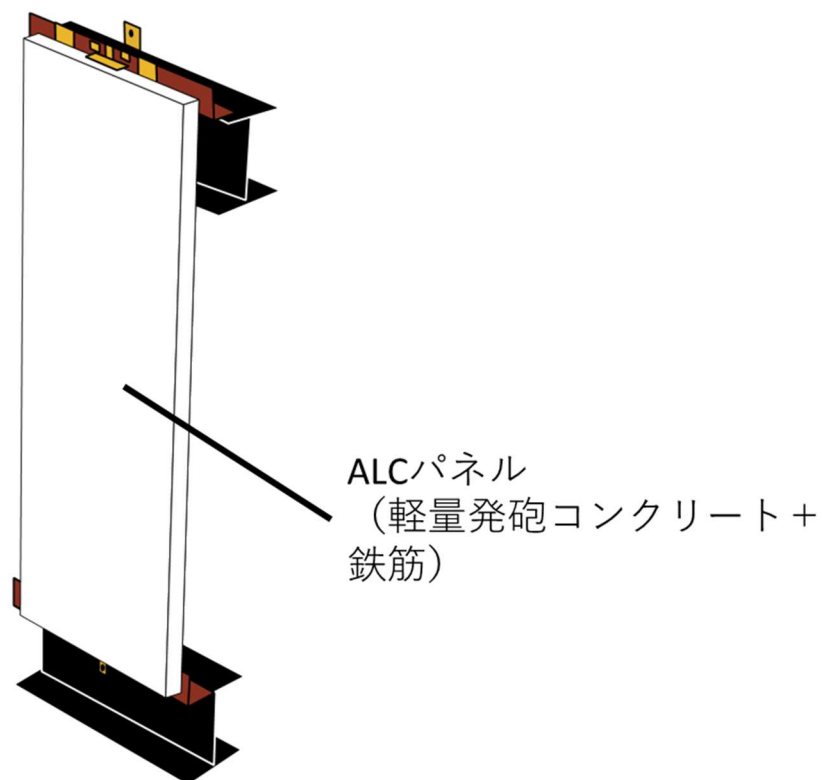


図 1-6 鉄骨に取り付けられた ALC 外壁

ALC 外壁が鉄骨に取り付けられる場合は、鉄骨の下に定規アングルと呼ばれる L 字断面の薄肉が溶接され、さらにその定規アングルに平プレートと呼ばれる金属部材が溶接で取り付けられる。下のフロアの梁にも同様に定規アングルが取り付けられており、イナズマプレートと呼ばれる金属部材が取り付けられている（図 1-7）。

平プレートとイナズマプレートには穴が空いている。この穴と ALC パネルに事前に開けられた上下 2 ヶ所の穴とをボルトで接合することでパネルを取付ける。この接合方法を採用した構法のことをロッキング構法と呼ぶ。このロッキング構法ではパネルが微小回転（ロッキング）できる仕組みになっている。パネルはロッキングすることで、上下の梁の水平移動に対して追従することができる（図 1-8 図 1-9）。

なお、パネル間には 10~20mm 程度の伸縮目地が設けられている。

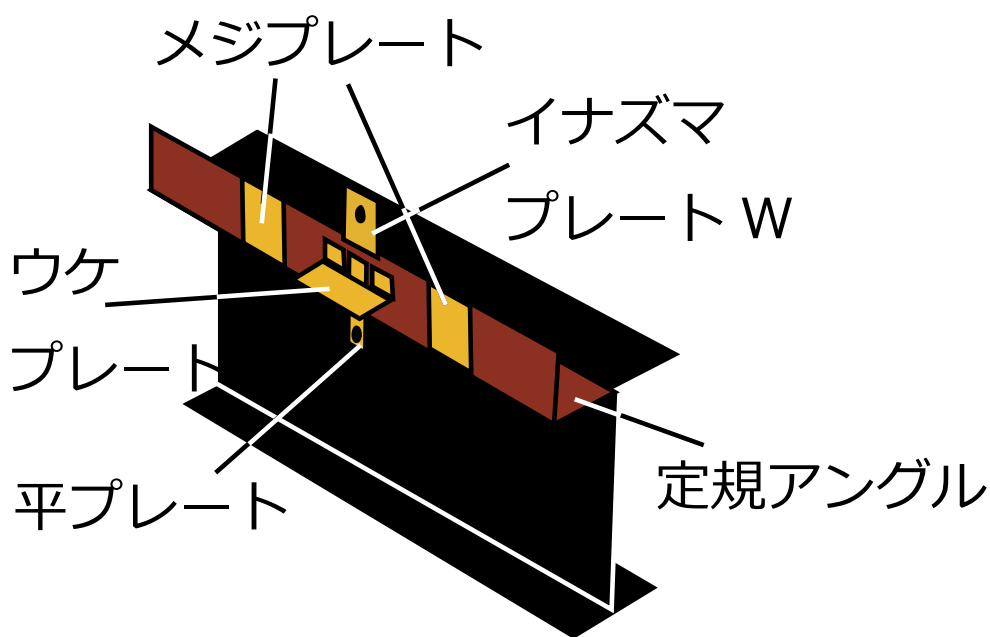


図 1-7 鉄骨に取り付いた金物の名称

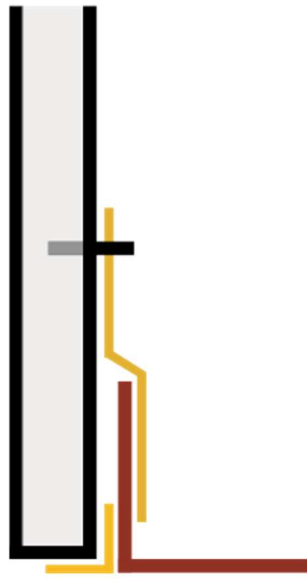


図 1-8 金物とパネルの取付け部分の断面図

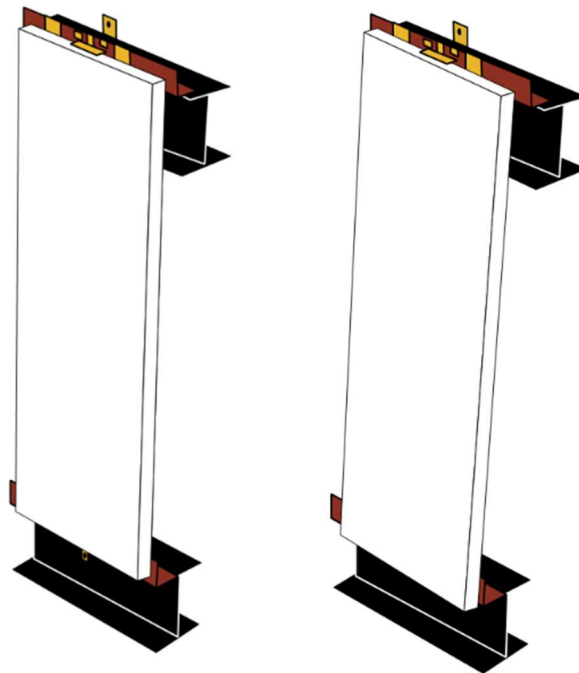


図 1-9 ALC 外壁がロックする様子





## 2章 乾式間仕切り壁と ALC 外壁の既往研究の整理

---

2.1.	乾式間仕切り壁の地震による損傷に関する既往研究の整理 .....	23
2.2.	ALC 外壁の地震による損傷に関する既往研究の整理 .....	27
2.3.	小結 .....	30

2 章では、損傷について記述のある既往研究を整理した結果について述べる。

乾式間仕切り壁と ALC 外壁について、地震後に補修等の対応が必要だが短時間で診断できない損傷などを把握するためには、損傷の「対応の必要性」と「診断の難易度」について検討する必要がある。

その方法としてまず、乾式間仕切り壁と ALC 外壁の地震被害調査報告書で報告されている損傷の評価をすることが考えられた。しかしこれは本研究では行わなかった。その理由として、写真に限られること、損傷の正確な位置が記載されていないこと、建物の構造などの条件が分かっていないことがある。また地震により生じる損傷は、建物の変形や加速度によって生じるものだけでなく、家具が部材に衝突することで生じるものもある。しかし、地震後の被害調査では、その区別が明確にはできないことがある。また、そもそも診断が困難である損傷は、被害調査時の記録に残りにくいと考えられる。

そこで次に、乾式間仕切り壁と ALC 外壁の既往の実験で生じた損傷の評価をすることが考えられた。実験で生じた損傷であれば、損傷の写真や、生じた正確な位置、生じた時の層間変形角といった情報が分かっていると考えられた。そこで乾式間仕切り壁と ALC 外壁の既往研究で、実験で生じた損傷について記述があるものを収集し、整理した。

2.1 では、乾式間仕切り壁の既往研究を整理した結果について述べる。

2.2 では、ALC 外壁の既往研究を整理した結果について述べる。

2.3 では、2 章の内容をまとめ、本研究で新たに実大載荷実験を行った理由について述べる。

### 2.1. 乾式間仕切り壁の地震による損傷に関する既往研究の整理

乾式間仕切り壁の耐震性に関する既往研究について、1999 年の古賀らによるものに始まり、2018 年までに 26 の論文や実験報告が出されている。

2012 年までは層間変形を与える面内方向の載荷実験が多く為されていた。面内方向の載荷実験は、外力に対する部材の挙動を把握することを目的とした実験が多かった。そのため、載荷状態ごとの損傷記録が記されている。

2013 年以降は、多くの研究が試験体中央に線荷重を与える面外方向への載荷実験となっている。面外方向への載荷実験は、変形と外力の関係性を数値的にとらえることを目的とした実験が多い。そのため、損傷に関する記録は少なかった。このことから、2013 年以降の研究は、本研究における整理の対象としなかった。

乾式間仕切り壁を対象とした研究で、実験で生じた損傷に関する記述があったものについて表にまとめた（表 2-1）。

## 2 章 乾式間仕切り壁と ALC 外壁の既往研究の整理

表 2-1 乾式間仕切り壁を対象としたこれまでの載荷実験および観察された損傷

文献 年代	加力 方法	試験 区分	試験体概 要			~1/300	1/200~1/120	1/100	1/75~1/50	1/40~
2006	静的	面内	平面	9.5 両面1面張り	2800× 2200	端部に皺 (1/300)		シワ多数 端部はらみ	目地開き はらみ大(1/75)	
			平面	12.5, 9.5 両面2枚張り	2800× 2200		端部にシワ (1/150)	シワ多数・端部は らみ	端部破損(1/50)	
			平面 ドア付き	12.5, 9.5 両面2枚張り	2800× 2200	開閉困難 (1/300)	開閉不能(1/200) 開口部隅シワ (1/150)	開口部隅シワ	ビス抜け・はらみ大 (1/50)	端部破損(1/40)
2007	動的 ／静的	面内	一般壁試 験体	9.5, 9.5 両面2枚張り	3950× 2800	ランナー内 の滑り (1/400)	鉄骨とボード接触 (1/200)	鉄骨とボード接触	端部はらみ(1/66) 端 部はらみ進行・縦目 地にヒビ(1/50)	はらみ進行・面外変形・ヒビ増加 (1/25) 面外変形大・割れ(1/16) ス タッドの外れ(1/12) 脱落(1/10)
			扉付き壁 試験体	9.5, 9.5 両面2枚張り	3950× 2800	ランナー内 の滑り (1/400)	開口付近で膨れ (1/200)	膨れの進行・増加 (1/100)	開口付近で割れ、ズ レ(1/66) 面外変形大 (1/50)	ヒビ進行、ボード圧壊、扉枠破断 (1/25) 圧壊進行・スタッドの外れ・ 接合金物外れ(1/16) 損傷の進展 (1/12) 脱落・枠、蝶番の破断(1/10)
			L字型壁 試験体	9.5, 9.5 両面2枚張り	2975, 1750× 2800	コーナー部 が面外変形 (1/400)	面外変形進行・横 目地ヒビ(1/200)	コーナー部膨れ・ 除荷時も隙間	膨れ増加・ボードの 折れ(1/66) 膨れ増 加・ボードの折れ (1/50)	ボードの圧壊・ビスの脱落(1/25) 全 縦目地にヒビ・スタッド捻じれ外れ (1/16) ボードの面外変形・脱落 (1/12) ボードの脱落の進行(1/10)
2008	動的	面内 ／面外	天井付	9.5, 9.5 両面2枚張り	925~3 950× 2220			コーナー部圧壊・ 扉上部変形	ボードの剥がれ (1/66)	ビスの緩み(1/35) ボード脱落(1/28)
2009	静的	面内	平面	21, 21 片面2枚張り	2990× 2720		目地部バテ亀裂 (1/150)	ボード毎ロックン グ		
			平面	21, 21 片面2枚張り	2990× 2720				追加ステーブルから 亀裂(1/60) 終始ボー ド毎ロックング無	
			平面	9.5, 12.5 両 面2枚横張り	2990× 2720		隅のビス周りボー ドの崩れ(1/120)		面外変形(1/75) 目地 部バテ亀裂・ビス突 出(1/60)	
			平面	9.5, 12.5 両 面2枚縦張り	2990× 2720		目地部バテ亀裂・ ロックングの兆候 (1/150)	ボード端部に隙間	損傷が顕著にな (1/60) ボード毎 ロックング・角部損 傷(1/50)	
			平面	9.5, 12.5 両 面2枚横張り	2990× 2720		しわ発生(1/200)		角部損傷・亀裂・ビ スによる挟り(1/50)	
2010	静的	面内	平面扉付 天井付	9.5, 12.5 両面2枚張り	3300× 5300					
			天井付	9.5, 12.5 両面2枚張り	2500× 5300					殆ど損傷は生じなかった(1/34)
			袖壁付き 直線型	9.5 両面1面張り	2700× 2500				入隅部分に損傷集 中・袖壁部分のス タッド損傷(1/50)	
2011	静的	面内	クランク 型	9.5 両面1面張り	2700× 2500				直線壁端部のスタ ッド変形・クランク 部分に損傷集中(1/50)	
			直交型	9.5 両面1面張り	2700× 2500	壁上端の ボード破断 (1/400)	スタッドの変形・ コーナー部分が損 傷(1/200)			
			開口付直 行型	9.5 両面1面張り	2700× 2500	開口上部の クロスにシ ワ(1/400)	建具枠足元が浮 く・開口上のクロ ス破断(1/200)	加力時は一部開閉 不可・蝶番脱落		
2012	静的	面内	平面	9.5, 21 両面2枚張り	2920× 2720			シール材の剥離 (1/100)		

### 乾式間仕切り壁に関する既往研究の不十分性

非構造部材を対象とした加力実験は、構造分野の専門家が行っている場合が多い。そのため、力学的な観点から計測・考察したことについての記述が殆どを占めていた。損傷について触れている論文もあるが、その記載内容は統一されておらず、不足する情報も多くあった。

例えば、生じた損傷の正確な位置、その時の層間変形角及びその後の進行具合、周囲の状態などについて、写真と共に記述のある論文はあったが、いずれも様々な種類の損傷の評価ができるほどの情報量はなかった。以上から、既往研究で記述された損傷の評価はできないと判断した。

また、乾式間仕切り壁の既往研究の整理する中で、実際の地震では損傷を生じさせている要因と考えられるが、実験による検証が不足していることについて把握することができた。

### 特殊な部位を対象とした実験の不足

乾式間仕切り壁では、梁からの持ち出し部分、コーナー部や開口部といった特殊な部位に損傷が集中すること、建物の構造躯体の大変形時は損傷が激しくなるといったことが地震の被害調査等で分かっている。

しかし乾式間仕切り壁を対象とした実験では、試験体の平面プランは単純な壁面を模したものが多く、開口部やコーナー部といった特殊な部位を含む試験体を対象とした実験は少なく、2007 年に L 字型の試験体、2011 年にクランク型、直行型の試験体を対象にした実験が行われているのみであった。また、梁からの持ち出し部分を再現した試験体を扱った既往研究は行われていなかった。

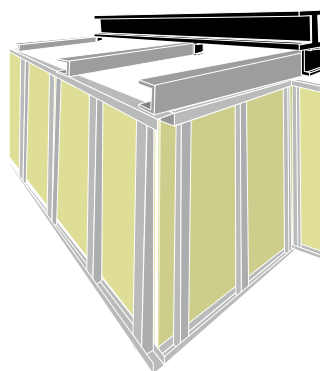


図 2-1 梁からの持ち出し部分のイメージ図

### 躯体の大変形時を再現した実験の不足

非構造部材では、カーテンウォールなど一部を除くと、明確な耐震設計を行っているものは少なく、高い性能を求めることが難しい場合が多い。多くの非構造部材は、最大 1/100 程度の層間変形角にしか追従できないと言われている。しかし、実際の鉄骨造の設計においては、時刻歴応答解析を行うと、ごく稀に発生する地震に対して最大 1/50 程度の層間変形角になることも多い。

乾式間仕切り壁を対象とした実験において与えた層間変形角に注目すると、2006 年の実験では 1/40 まで、2007 年の実験では 1/10 まで、2008 年の実験では 1/28 まで、2010 年の実験では 1/34 まで与えているが、その他の実験は全て 1/50 までの載荷で終わっている。

つまり、実際の地震時には起きていることにも関わらず、乾式間仕切り壁に 1/50 を越える層間変形角を与えた時の挙動を再現し、生じる損傷について報告する研究は十分に無い。

## 2.2. ALC 外壁の地震による損傷に関する既往研究の整理

ロッキング構法で取り付けられた ALC 外壁の耐震性に関する既往研究には、1987 年の坂本らによるものに始まり、2018 年までに 20 の論文や実験報告が出されている。

これまでの研究は、外力等に対して部材の挙動を把握することを目的とした実験が多く行われていたため、載荷状態ごとの損傷記録が記されているものが多い。

ALC 外壁を対象とした研究で、実験で生じた損傷に関する表記があったものについて表にまとめた（表 2-2）。

表 2-2 ALC 外壁を対象としたこれまでの載荷実験および観察された損傷

文献年代	加力方法	試験区分	開口	寸法	1/500~1/300	1/200~1/120	1/100	1/75~1/50	1/33
1987	静的	面内 面外	○ 建具無し					一般部：きわめてスムーズに追従した 最下階壁面：パネル下端部にごく微小なひび割れ(1/60)	一般部：上階側パネルの下端部の一部と下階側のパネルの下端部金物廻りに微小なひび割れが生じた 隅角部壁面：ここまで全く異常なく追従した(1/33)
1997	静的 動的	面内		995×3695、 1995×3695		脚部のボルトがわずかに回転(1/200)			
1998	静的 動的	面内	○	600×2990、			真央下パネル上部ぐう角部角欠け1か所		
1998	静的	小屋 ぐみ	○	600×3520		パネル左上角部ひびわれ発生・ドア・開不能・引き違いクレセント閉不能(1/150) パネル左上角部ひび割れ伸張・ドアノブ回転不能・引き違いクレセント同左・滑り出し障子閉不能(1/120)	左上角部ひび割れ裏面に貫通・ドア同左・引き違い同左・滑り出し同左		
2002	静的	面内	○	500×2990、 500×299	開口部右上にひび割れ発生		パネル左上の母材にひび割れ発生		
2002	静的 動的	面内		600×3080	1/800で脚部金物付近で発音	パネルの相互ズレ・頂部・脚部金物付近ではく離(1/200)	頂部で割れ		
2009	静的	面内	○	要素実験： 2560、 650、 860×600 振動台 実験： 3270~				ALCパネル下端角部にひび割れ(1/50)	ALC下部取付金物廻りにひび割れ(1/25) ALCパネル上部取付金物廻りにひび割れ(1/13) 剥離多数、アンカー鋼棒露出(1/10)
	動的	面内 面外	○				開口部上部のALCパネルにひび割れ 開口部上部のALCパネルにひび割れ	開口部上部のALCパネルにひび割れ(1/66) ALCパネル下端角部にひび割れ(1/50)	ALCパネル下部取付金物廻りにひび割れ、水平開口補強材端部の溶接破断(1/25) 鉛直開口補強材端部の溶接破断(1/17) ALCパネル上部取付金物廻りにひび割れ(1/13) 剥離多数、アンカー鋼棒露出(1/10) 開口部及び開口部下部のALCパネルが開口補強材とも面外へ脱落(1/7)
2016	静的 動的	面内	○	610×2870	開口補強材とALC間のスペーサーにズレ(1/400)	モルタルと開口補強材間に隙間(1/200)	モルタルにクラック	ALCパネル間の縦目地シーリング破断 一部のボルト緩み、ワッシャーズレ、下部ALCパネルにひび割れ(1/50)	

### 既往研究の不十分性

---

ALC 外壁についても、構造分野の専門家が実験を行っている場合が多かった。損傷に関する表記がある論文であっても、全て力学的な観点から計測・考察したことについての記述が殆どを占めていた。そのため既往研究で記述された損傷の評価はできないと判断した。

また、ALC 外壁についても、実際の地震では損傷を生じさせている要因であるにもかかわらず、実験による検証が不足しているものがあることが分かった。

### 開口部の開閉機能を確認した実験の不足

ALC 外壁では、開口部といった特殊な部位に損傷が集中すること、建物の構造躯体の大変形時は損傷が激しくなるといったことが実際の地震の被害調査等で分かっている。

そこで、既往実験の試験体を確認すると、開口部が取り付けられた試験体を取り扱っている実験が多いことがわかる。2009 年の松岡らの実験では、ALC パネルだけの試験体と、引き違い窓が取り付けられた試験体を対象としており、引き違い窓が取り付けられた試験体の損傷が激しいことが確認されている。

しかし、開口部の開閉機能の確認までした実験は限られることが分かった。1998 年の伊藤らによる研究<sup>1</sup>では、ドア、引き違い窓、滑り出し窓が取り付けられた躯体を 1/50 まで載荷し、開口部の開閉実験が行われているが、載荷ピーク時のみの検証となっている。

ALC 外壁では、開口部が取り付けられた試験体の検証は行われているが、開口部の開閉機能については検証が十分でないといえる。特に、既往実験ではピーク時のみの確認にとどまっているため、繰り返し載荷や、残留変形による影響については検証ができていないといえる。

---

<sup>1</sup> 伊藤弘他, “ALC ロッキング構法実大変形追従性試験 その 5 建具・シーリング材の状況”, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), pp115-116, 1998



### 躯体の大変形時を再現した実験の不足

乾式間仕切り壁と同様に、実際の地震時には起きていることにも関わらず、ALC 外壁に 1/50 を越える層間変形角を与えた時の挙動を再現し、生じる損傷について報告する研究は十分に無かった。

開口部が取り付けられた ALC 外壁を対象とした実験において与えた層間変形角に注目すると、1987 年の実験では 1/33、2009 年の実験では 1/7 まで与えたときの損傷が報告されている。しかし、それ以外の実験は殆どが 1/100 までの載荷で終わっている。なお、2009 年の松岡らの実験により、ALC パネルだけであれば 1/66 までは損傷が起きないことが確認されている。

### 2.3. 小結

2 章では、実験で観察された損傷について記述のある既往研究を整理した結果について述べた。

2.1 では、実験で観察された損傷について記述のある乾式間仕切り壁の既往研究を整理した結果について述べた。

乾式間仕切り壁の損傷に関する記述がある既往研究を収集したが、情報不足であったことから損傷の評価は行わなかった。また、実際の地震では、特殊な部位に損傷が集中すること、躯体が大変形することが分かっているが、これを検証した実験は十分に無いことが分かった。

2.2 では、実験で観察された損傷について記述のある ALC 外壁の損傷に関する既往研究とその課題について説明した。

ALC 外壁の損傷に関する記述がある既往研究を収集したが、情報不足であったことから損傷の評価は行わなかった。また、開口部の開閉機能、躯体が大変形することについて検証した実験は十分に無いことが分かった。

以上を受け、本研究では、乾式間仕切り壁と ALC 外壁の実大載荷実験を行い、そこで観察された損傷を評価することとした。

実際の地震で生じる損傷を十分考慮できるように、乾式間仕切り壁の実験では、平坦な壁と、梁からの持ち出し部分など特殊な部位を取付けた壁の両方を鉄骨骨組みに取り付けたものを試験体とした。ALC 外壁の実験では、平坦な壁と、窓と扉が取り付け付いた壁を鉄骨骨組みに取り付け、開閉機能の確認ができるようにした。加力方法は、躯体の大変形時を再現できるように、層間変形角  $1/33$  まで達するように、一方向から静的に載荷した。

更に、損傷の評価が十分できるように、実験中の損傷観察では、損傷が生じた損傷の正確な位置、その時の層間変形角及びその後の進行具合、周囲の状態などについて、写真と共に、細かく記録した。

それぞれの実験については、3 章と 4 章で詳しく述べる。

### 3章 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験

---

3.1. 実験の概要 .....	33
3.1.1. 試験体の概要.....	33
3.1.2. 載荷方法の概要.....	36
3.1.3. 観察・計測方法の概要.....	37
3.2. 実験結果 .....	39
3.2.1. 実験で観察された損傷.....	39
3.2.2. 実験で観察された損傷のまとめ.....	76
3.3. 小結 .....	84

3 章では、乾式間仕切り壁の実大載荷実験を行った結果について述べる。

3.1 では、本実験の概要について述べる。

3.2 では、損傷が生じた正確な位置、損傷が生じた時の層間変形角、層間変形角の増加に伴う損傷の進行具合、損傷の周囲の状態などについて、図と共に述べる。

3.3 では、3 章で述べた内容をまとめる。

なお本実験では、実際の地震では発生が確認されているが、既往研究で検証があまりされていない、乾式間仕切り壁の特殊な部位や、構造躯体の大変形についても検証した。

実験において観察された損傷について、その原因の分析を行った。また、それに基づいて対策方法の考察と、既往研究の実験結果との比較も行った。ただし、いずれも損傷を評価するという本研究の目的に関係しない事項も多かったため、上記については付録 1-3 に記載した。また、実験で撮った写真等は付録 2-1 のデータシートに記載した。



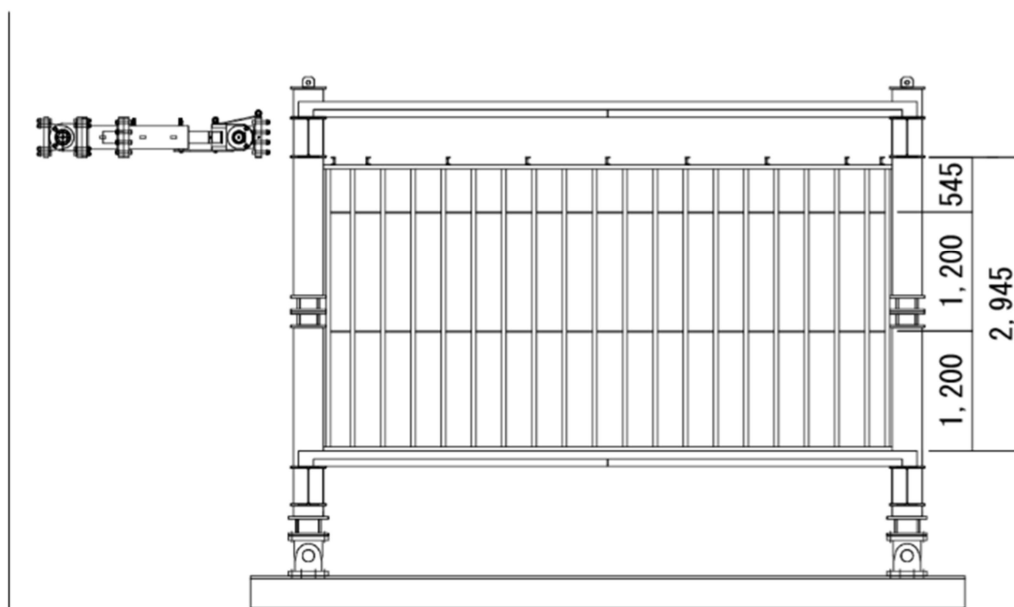


図 3-2 試験体立面図（北面長手方向・平坦壁）

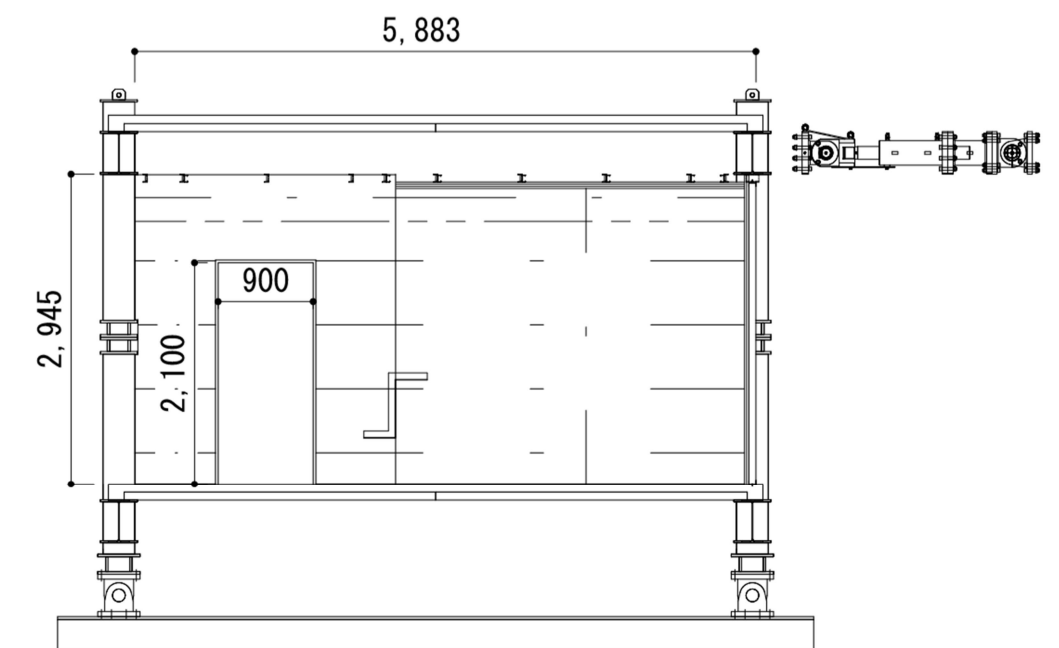


図 3-3 試験体立面図（南面長手方向・偏心壁）

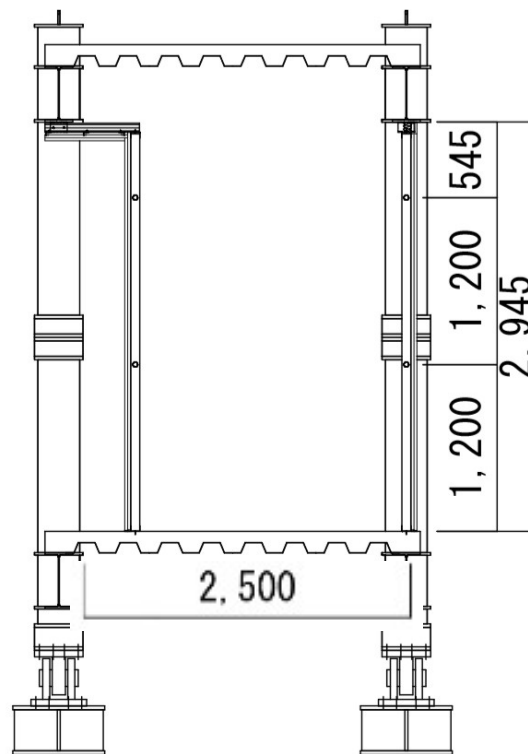


図 3-4 断面図（短手方向）



写真 3-1 南側試験体外観

### 3.1.2. 載荷方法の概要

載荷は、事前に設定しておいた最大層間変形角（以降  $\theta_{\max}$  と呼ぶ）に対して、正負両方向に 0.4、0.6、0.8、1.0 倍させながら徐々に変形角を大きくし、同様に除荷するまでを 1 セットと定義した(図 3-5)。

$\theta_{\max}$  の値は、乾式間仕切り壁を対象とした実験では 1/400 から、増減させながら最終的に 1/33 のセットまで、計 9 セットの載荷を行った（表 3-1）。この載荷スケジュールは、実際の地震動を想定したものとなっている<sup>1</sup>。

なお、本実験においてはジャッキが押す方向を正、引く方向を負とみなした。

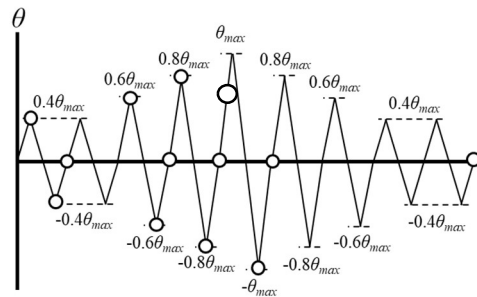


図 3-5 1 セットの載荷履歴

表 3-1 各セットの  $\theta_{\max}$

乾式間仕切り壁の実験	
セット番号	$\theta_{\max}$
1	1/400
2	1/200
3	1/100
4	1/200
5	1/75
6	1/100
7	1/50
8	1/75
9	1/33

<sup>1</sup> Yamada, S., Kohtaki, K., Ishida, T., Tenderan, R., Seike, T., Kishiki, S., 12) Hasegawa, T., Iyama, J., Yagi, S., and Sakurada, S. : Experimental Study on Full Scale Steel Frame Considering Multiple Strong Earthquakes Part1,2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1187-1190, 2019. 10



## 3.1.3. 観察・計測方法の概要

生じた損傷について把握するため、載荷の各セット当たり最大 13 回、目視による内外の観察を行った。図 5 にある載荷履歴中の白丸が各観察のタイミングを示す。損傷発生タイミングを正確に把握するため、壁面の写真撮影も観察ごとに行った。

繰り返し載荷による層間変形と乾式間仕切り壁の損傷の関係性を把握するため、載荷 1 セットにつき、最大 13 回、総計 96 回、試験体の観察を行った。以下、便宜上、試験体のボード側を A～F 面、そしてこれに対応するよう下地側を a～f 面と呼ぶこととする（図 1）。

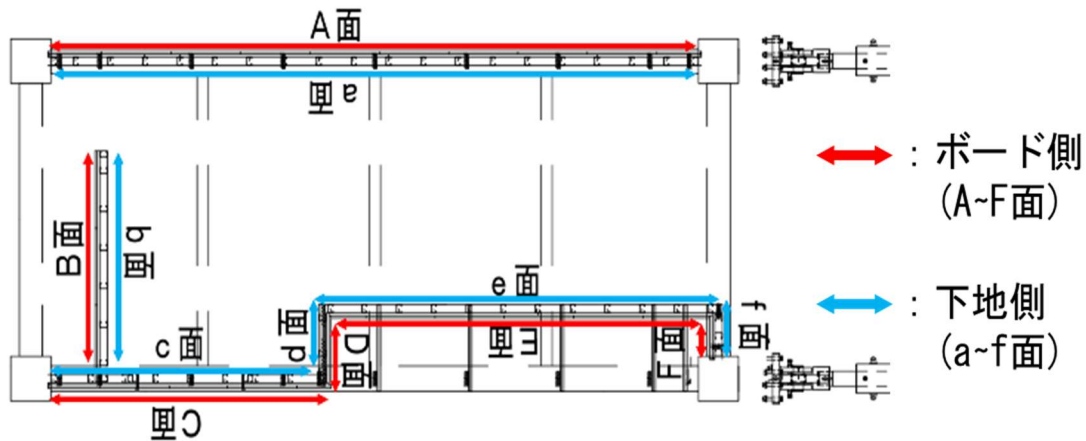


図 3-6 面の名称

各観察時にはボード面、下地面両方の目視による観察を、複数人で行った。新しい損傷、もしくは損傷の進行が見られた場合は、メモと写真撮影によって記録した。また損傷が起こり得ると想定される箇所は、損傷の有無にかかわらず毎回撮影した。特に、B(b)～F(f)面は、どこから壊れるか事前に予測がつかなかったため、ほぼ全体を撮影した。損傷が目視で確認された場合に、これまで撮影した同箇所の写真を見返すことで、損傷が生じた正確なタイミングを把握することができた。

ボードの表面のひび割れは、軽微なものについても情報を得ることができた。しかし、スタッド内のひずみなど、写真に映りにくいものは、損傷が生じた正確なタイミングを把握することはできなかった。



## 3.2. 実験結果

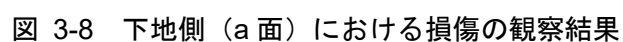
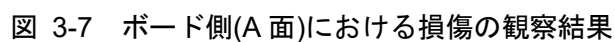
3.2.1 では、実験で観察された損傷について、生じた場所と層間変形角ごとに説明する。

3.2.2 では、生じた場所と生じた時の層間変形角に着目し、損傷を整理する。その上で、損傷の傾向について述べる。

### 3.2.1. 実験で観察された損傷

生じた場所と層間変形角 ( $\theta_{\max}$  のセット) ごとに、実験で観察された損傷の説明をする。

上部の角部において、載荷時に壁と鉄骨の間のシールが局所的に切れた。また下地側では上部のランナー端部が鉄骨に押し付けられて歪が生じていた。



### ・開口部周辺 (Cc 面) に生じた損傷

上張りボードは、縦目地に沿った塗装にヒビが生じた。開口部の左上角部では、斜め方向に塗装にヒビが生じ、載荷時にはわずかに周りのボードが浮くことが確認された。

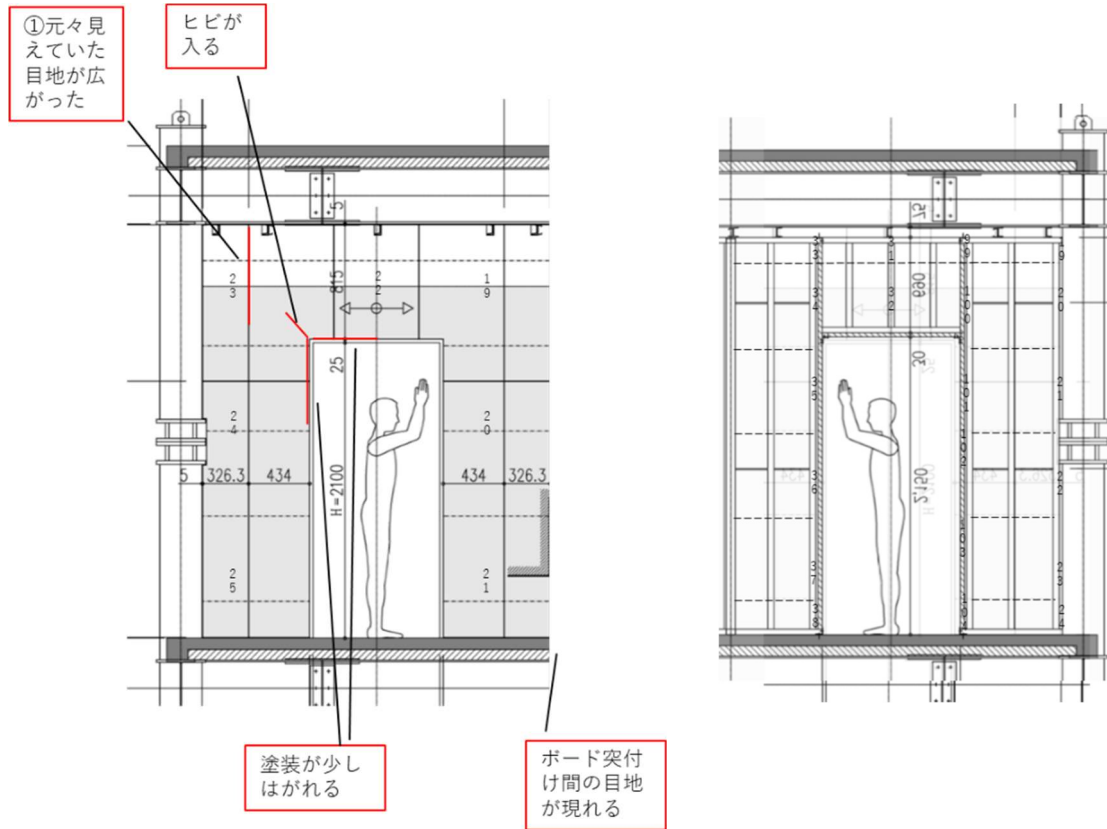


図 3-9 ボード側(Cc 面)における損傷の観察結果

図 3-10 下地側(c 面)における損傷の観察結果

・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

D 面と C 面の突付け間の下半分において、載荷時に目地が表に現れた。また、E 面の底面左端部のスラブとのシールが載荷時に局所的に切れていた。

下地側では、d 面の下張りボードの断面にヒビが生じた。これは天井の高さとはほぼ同じ高さにある位置であった。

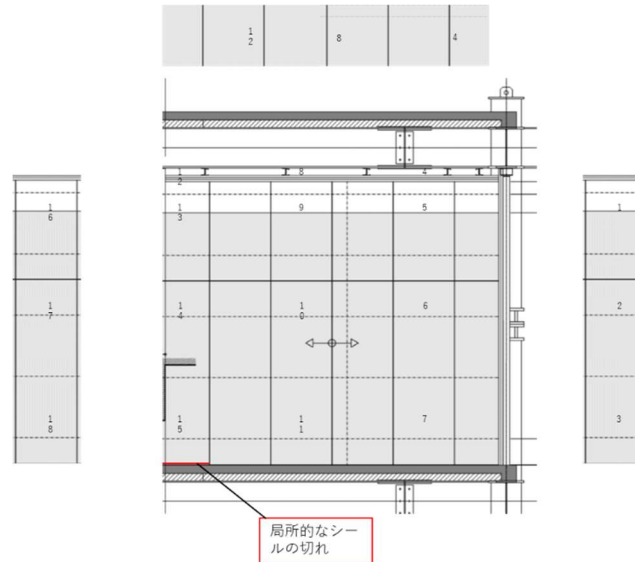


図 3-11 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

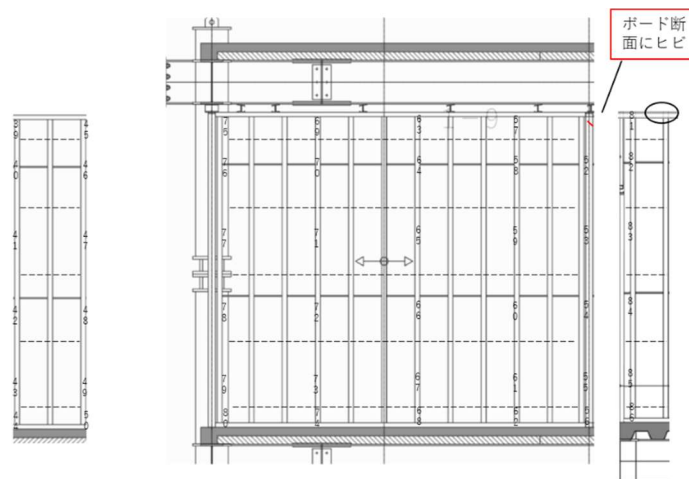


図 3-12 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

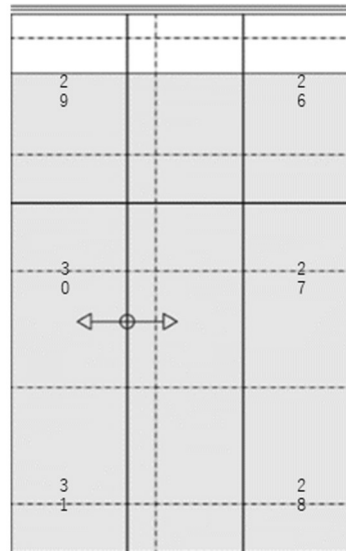


図 3-13 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

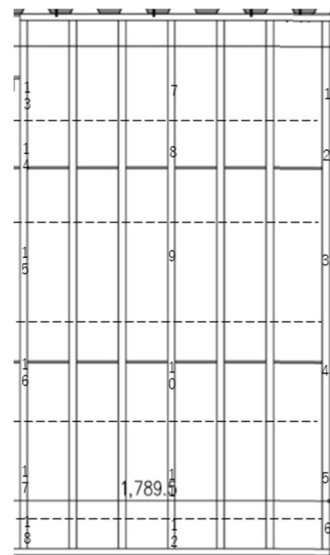


図 3-14 下地側(b 面)における損傷の観察結果

連続的なシールの切れが上下の角部で見られるようになった。また、ボード上部の先付金物を通すための切り欠け部分にヒビが入っていることが確認された。

下地側では載荷時にスタッドがランナー内を水平移動していることが、ランナーに付いた傷から確認できた。また載荷時に金属音がしており、スタッドとランナーが擦れることによるものだと考えられた。

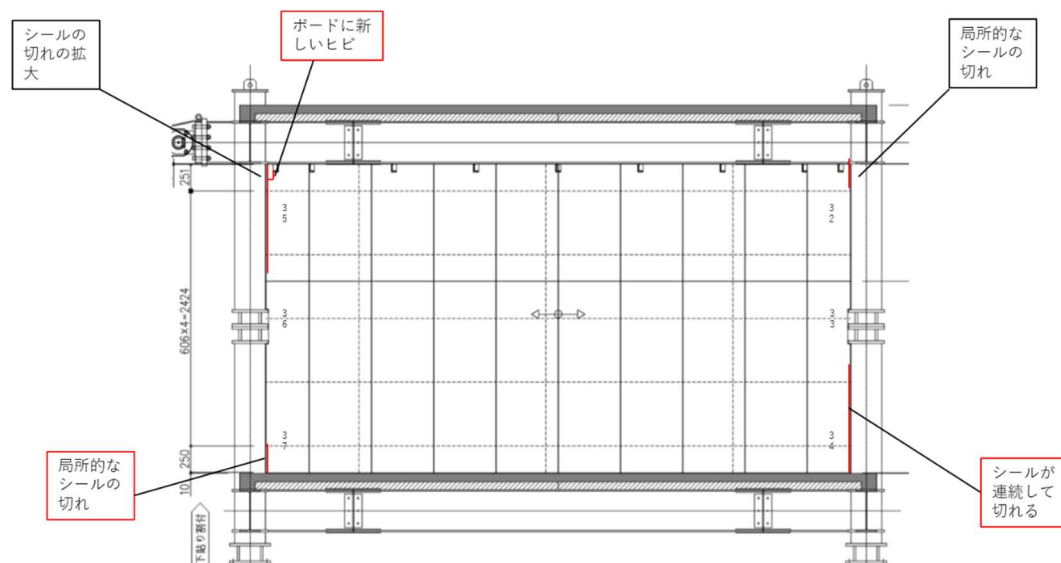


図 3-15 ボード側(A 面)における損傷の観察結果

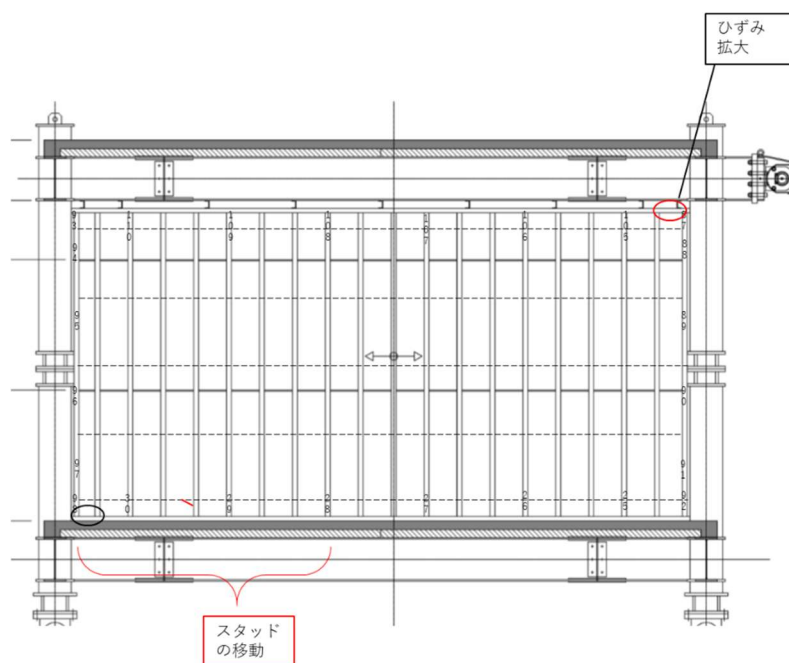


図 3-16 下地側（a 面）における損傷の観察結果



### ・開口部周辺 (Cc 面) に生じた損傷

上張りボードでは 1/400 で生じたヒビが伸び、幅も広がった。開口部の上と右側において、ボードの目地にそった塗装のヒビが確認された。

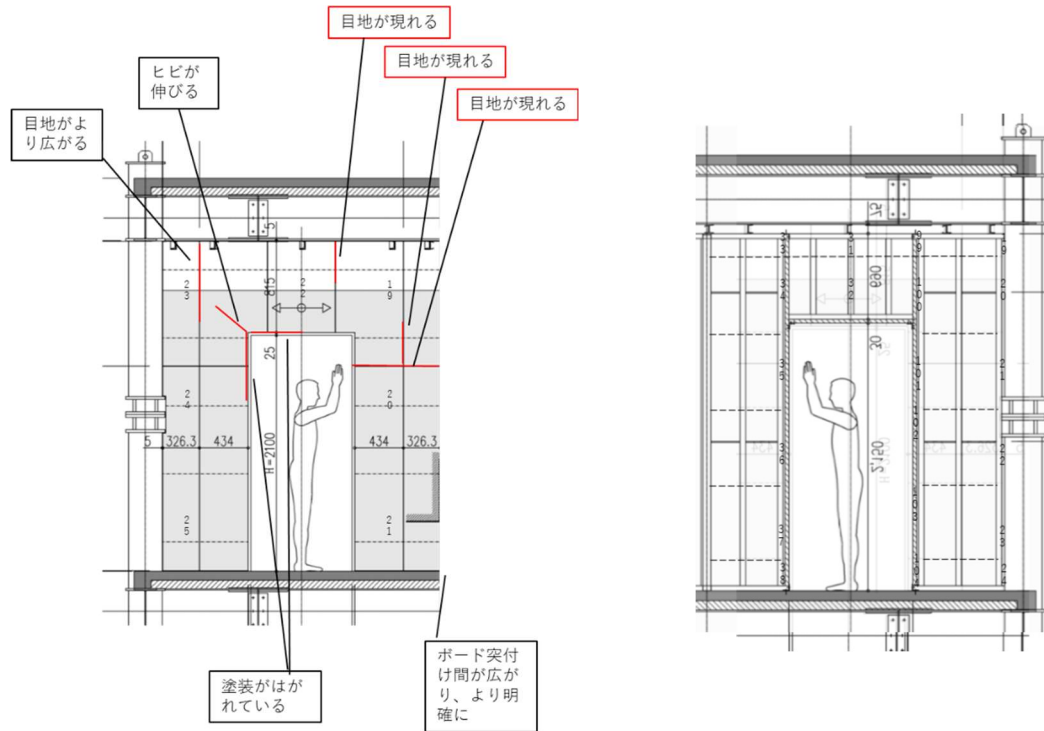


図 3-17 ボード側(Cc 面)における損傷の観察結果

図 3-18 下地側(c 面)における損傷の観察結果

### ・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

D 面と C 面の突付け間の目地が全域に渡って明確になった。また、D 面と E 面の間のシールも下部で連続した切れが生じ、F 面と E 面の間のシールも上部で連続した切れが生じた。

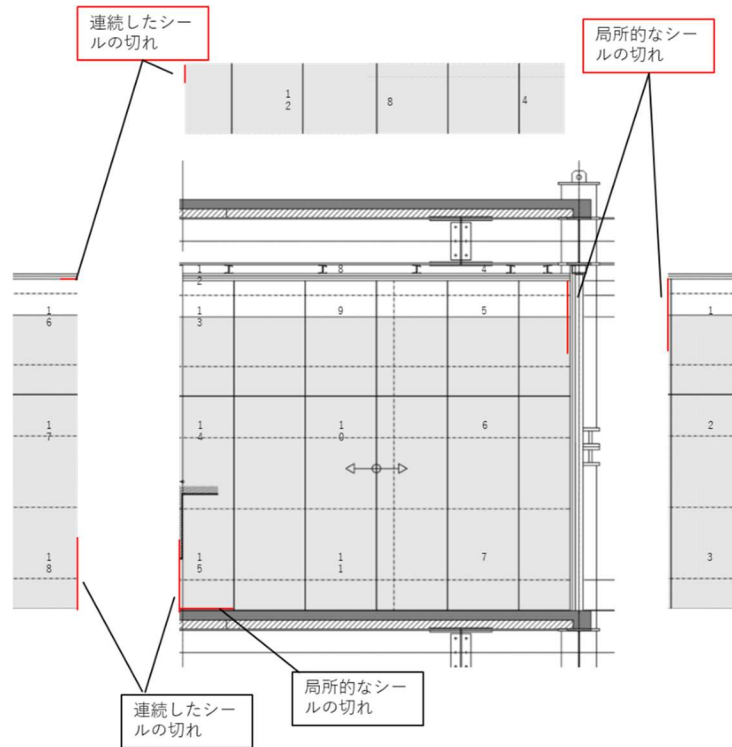


図 3-19 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

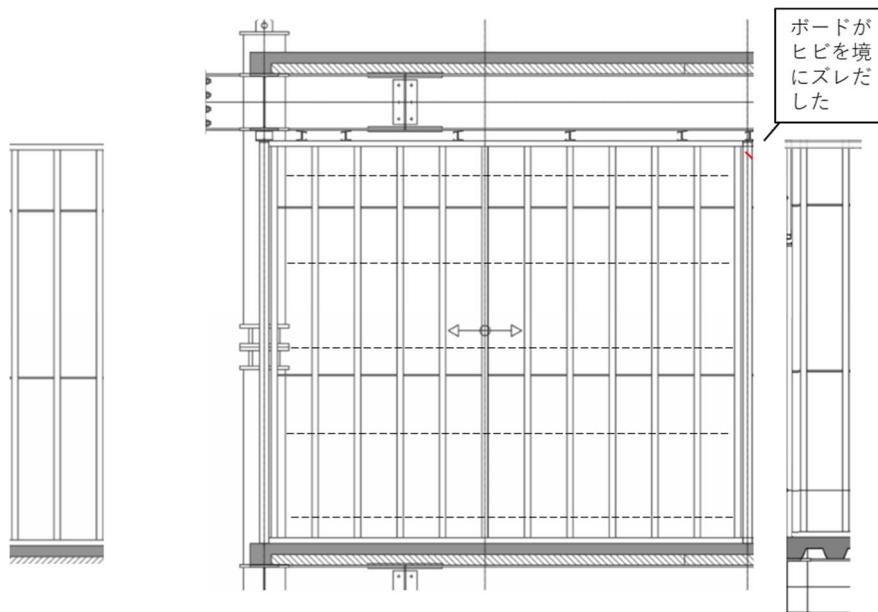


図 3-20 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

### ・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

ボード側では水平目地が塗装上に浮き出ていることが確認された。

下地側では端に位置するスタッドにわずかな歪が確認された。

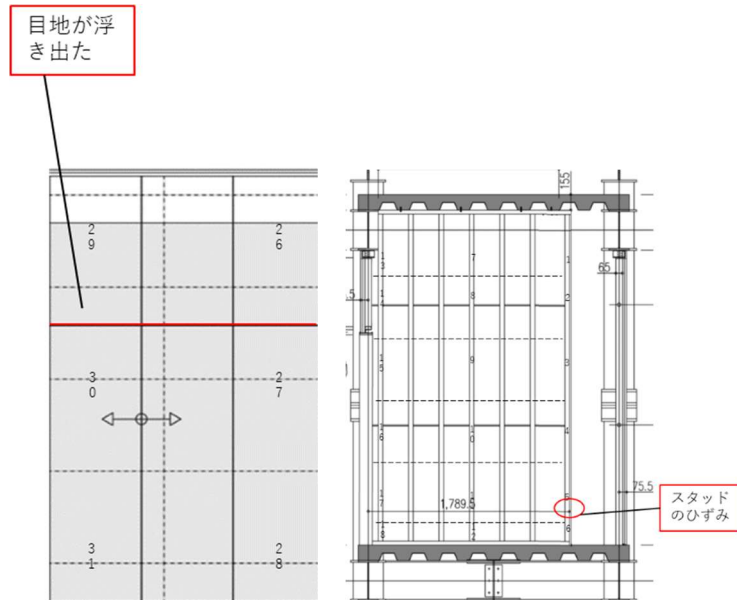


図 3-21 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

図 3-22 下地側(b 面)における損傷の観察結果

$\theta_{\max} = 1/100$  における損傷の観察結果

## ・平坦部 (Aa 面) に生じた損傷

載荷時に上張りボードが、ボードごとにロッキングしていることが確認できた。またシールの切れが進行した。下部の両角部では、ボードが鉄骨に押し付けられることにより、斜めにシワが入った。

下地側では中央部のスペーサーのツメが片方スタッドから外れていた。試験体内に設置したカメラから、スタッドは振れながらランナー内を水平移動していることが確認された。また、このために載荷時ではランナーが開く方向に変形していることが分かった。

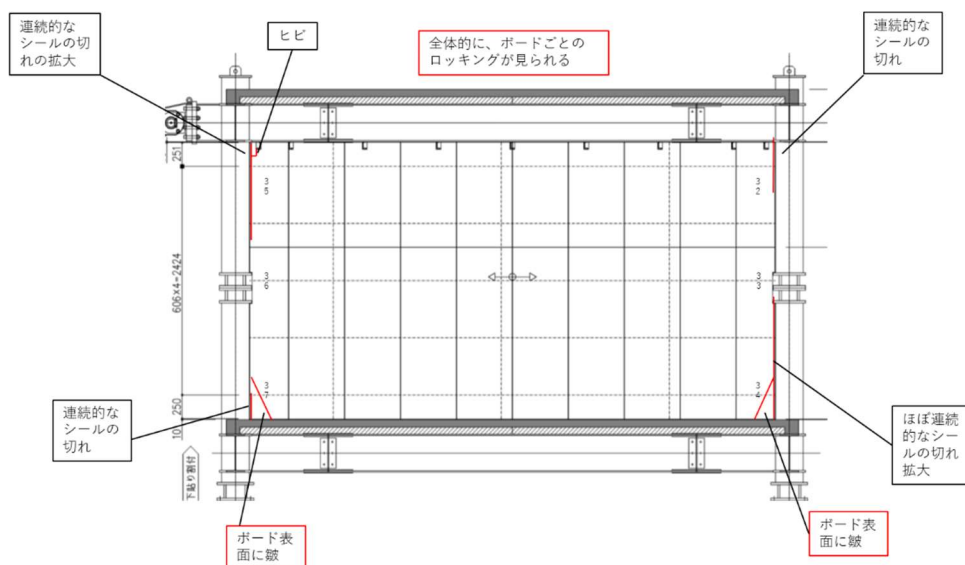


図 3-23 ボード側(A 面)における損傷の観察結果

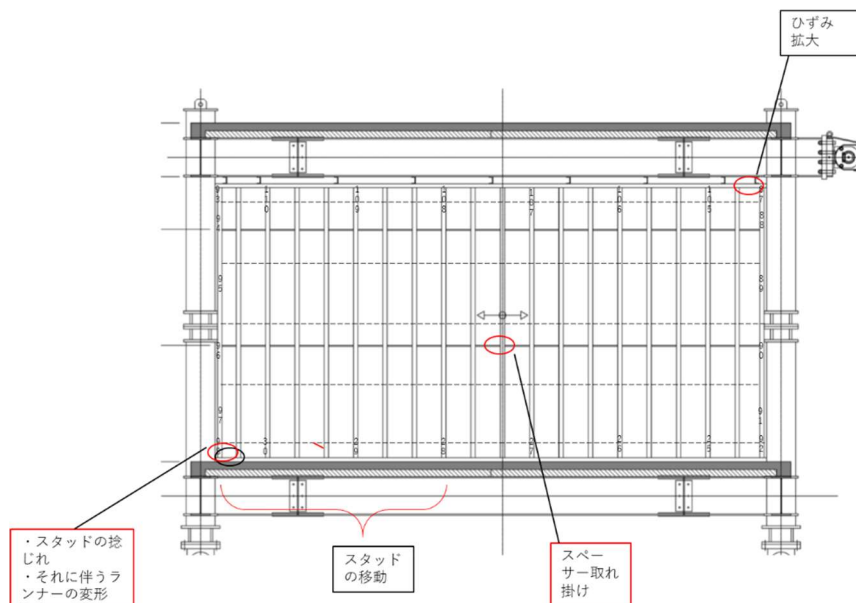


図 3-24 下地側 (a 面) における損傷の観察結果

・開口部周辺（Cc 面）に生じた損傷

上張りボードでは目地にそったヒビが新たに確認された。これに加え、これまでに生じたヒビが一体化した。また、開口部の左側と上側のボードは殆ど全て、右側のボードも一部、載荷時に浮くことが確認された。

下張りボードにもランナー裏およびスタッド裏からヒビが生じた。スタッド裏から生じたヒビは、上張りの目地部分とほぼ同位置にあった。またランナーの端部が鉄骨に押し付けられることにより歪が生じた。

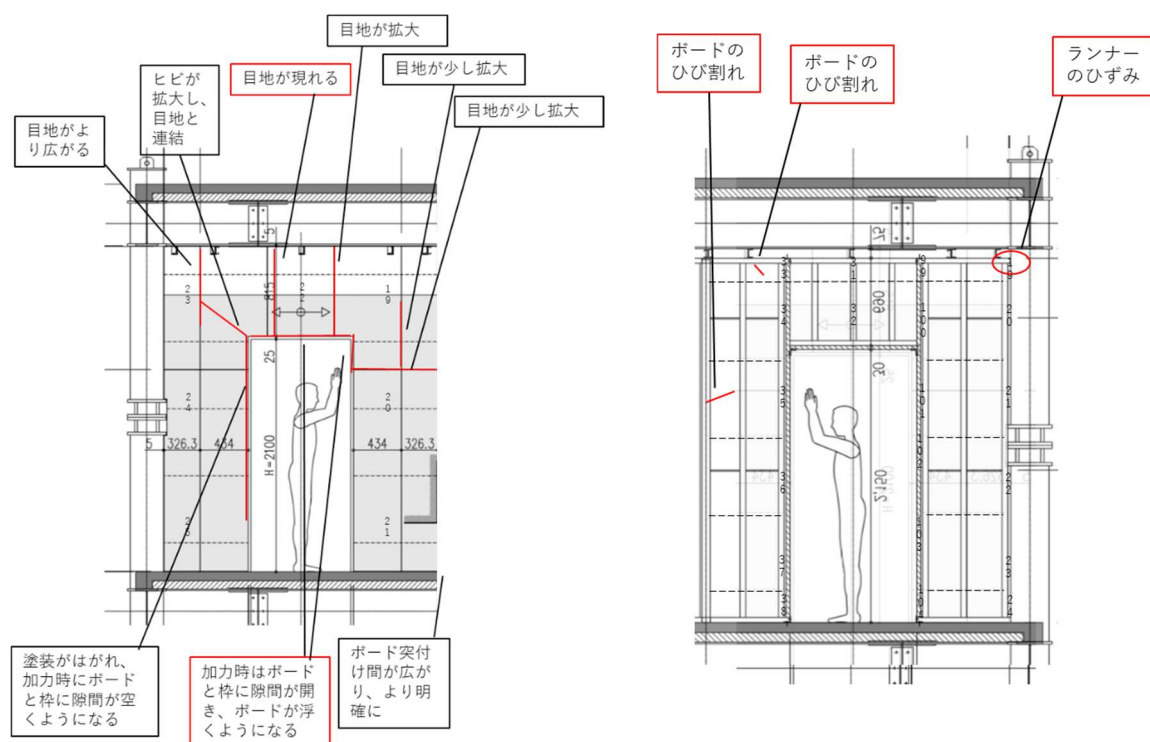


図 3-25 ボード側(C 面)における損傷の観察結果

図 3-26 下地側(c面)における損傷の観察結果

### ・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

D 面と E 面の間のシールは全域で連続的に切れた。D 面は天井との間のシールが奥から、またスラブとの間のシールが中央から、連続的に切れた。F 面と E 面の間のシールも、上部だけでなく、下部においても連続的に切れ始めた。E 面とスラブとの間のシールはほぼ全域にわたって切れ、載荷時には隙間が開くようになった。E 面は面としてのロッキングの挙動を見せるようになった。

d 面の下張りボードのヒビが広がった。また、E 面のスタッドが載荷時に水平移動することが確認された。特に左側端部のスタッドはねじれながら移動することから、ランナーを開く方向に変形させていた。

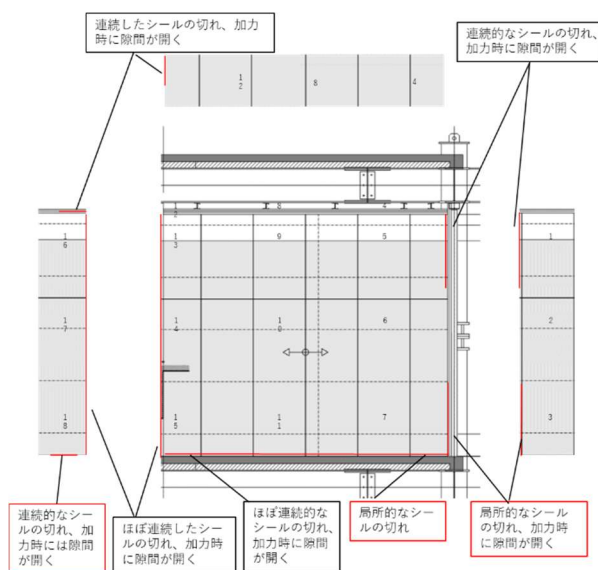


図 3-27 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

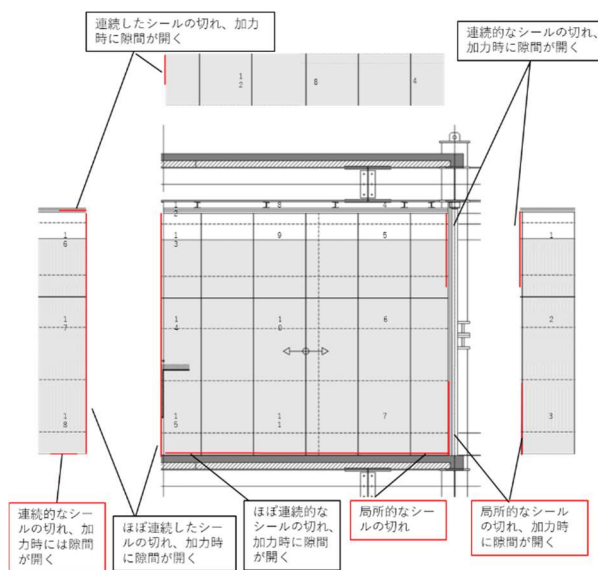


図 3-28 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

損傷の発生、進行は特に見られなかった。

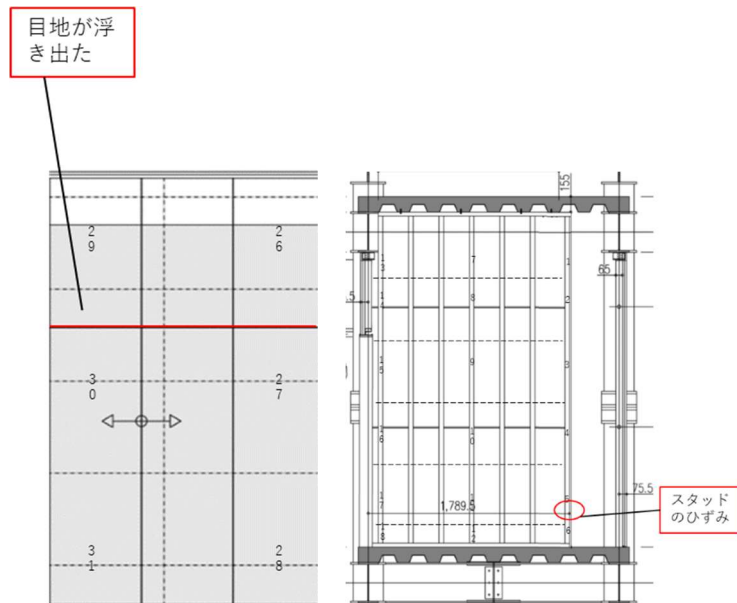


図 3-29 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

図 3-30 下地側(b 面)における損傷の観察結果

$\theta_{\max} = 1/200$ （2 回目）における損傷の観察結果

・平坦部（Aa 面）に生じた損傷

下地側で、別のスパーサーにおいて、片方のツメがスタッドから取れているのが確認された。

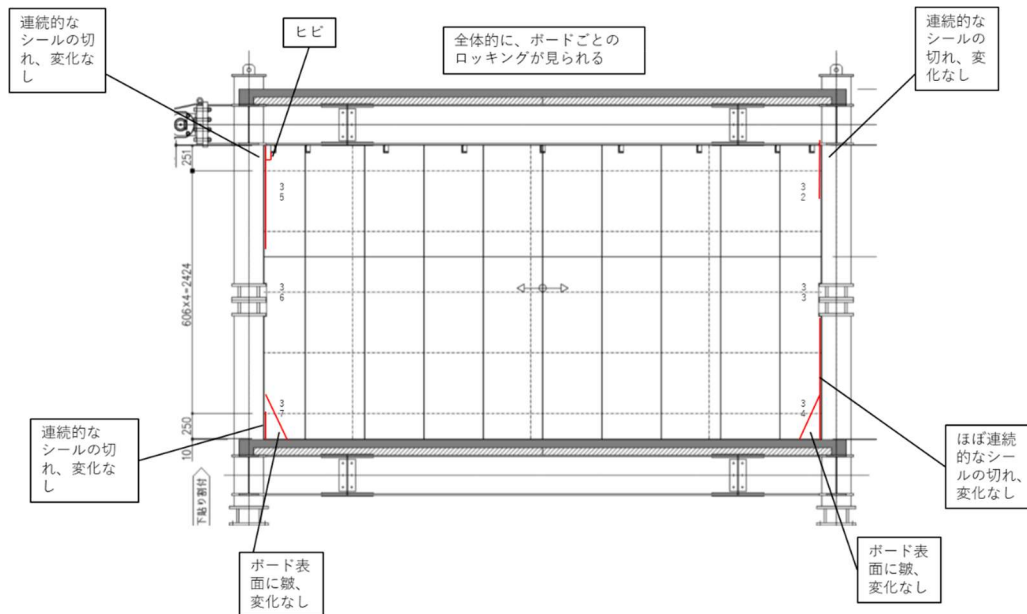


図 3-31 ボード側(A 面)における損傷の観察結果

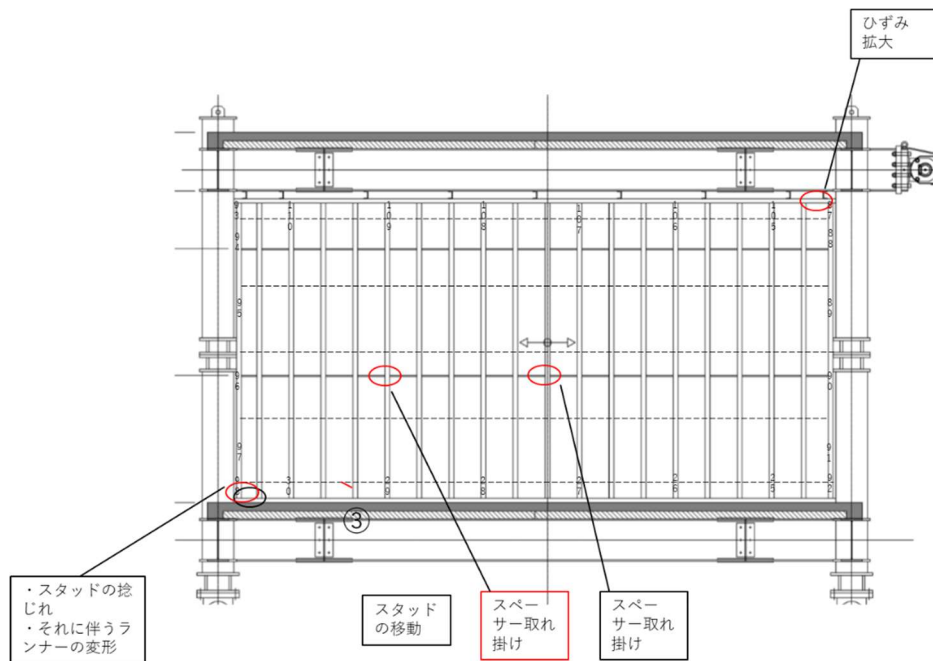


図 3-32 下地側（a 面）における損傷の観察結果



・ 開口部周辺 (Cc 面) に生じた損傷

上張りボードは目地にそったヒビの一部で幅が広がった。開口部からのボードの浮きは、1/100 に比べて小さくなった。

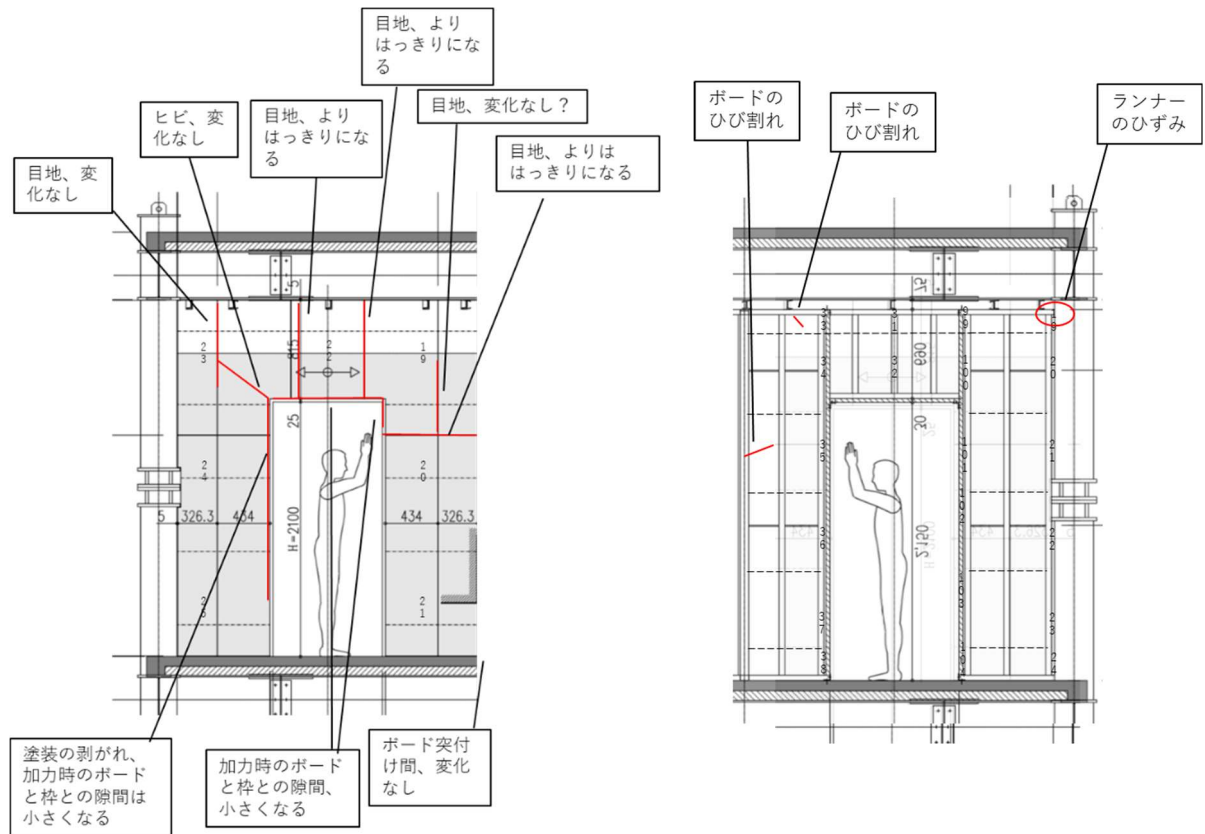


図 3-33 ボード側(C 面)における損傷の観察結果

図 3-34 下地側(c面)における損傷の観察結果

・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

シールの切れが進行した。

Dd 面が載荷時に面外方向に面として、ズレが生じるようになり、その影響で上部のランナーが開く方向に歪み始めた。

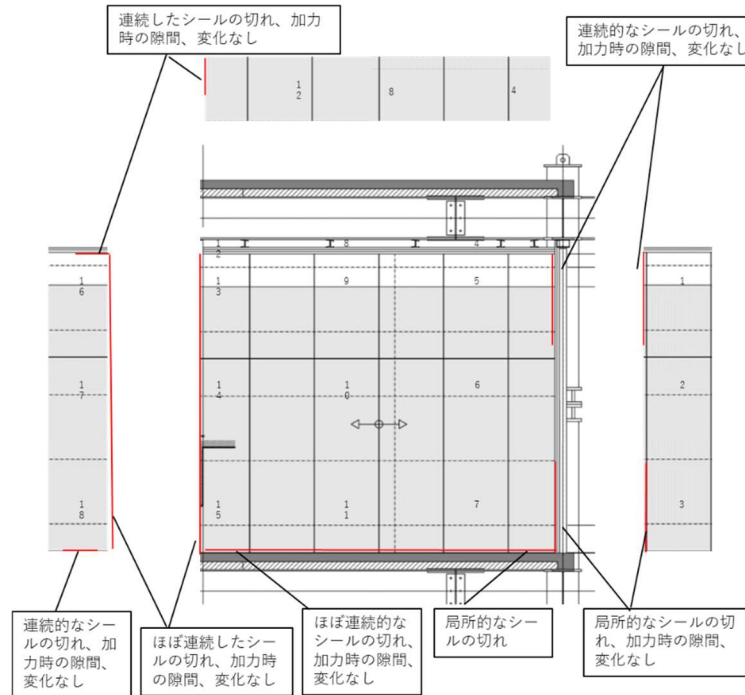


図 3-35 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

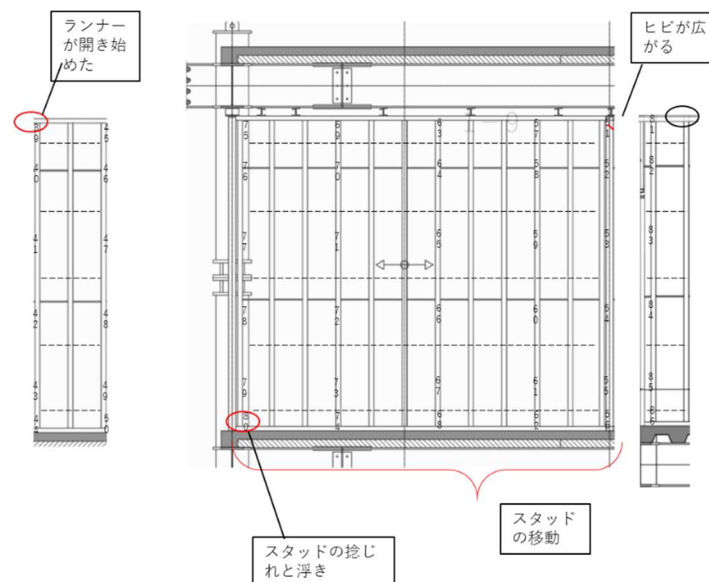


図 3-36 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

損傷の発生、進行は特に見られなかった。

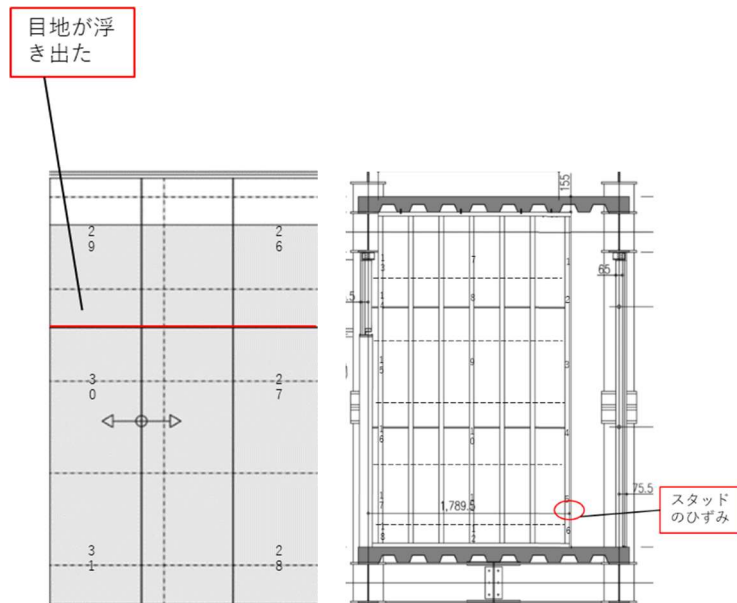


図 3-37 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

図 3-38 下地側(b 面)における損傷の観察結果

$\theta_{max} = 1/75$  における損傷の観察結果

・平坦部 (Aa 面) に生じた損傷

ボードごとのロッキングがより顕著になる。ボードと鉄骨の間のシールの切れは進行し、除荷時も少し隙間が残るようになった。

下地側ではボード上部の先付金物を通すための切り欠け部分が圧壊していることが確認できた。

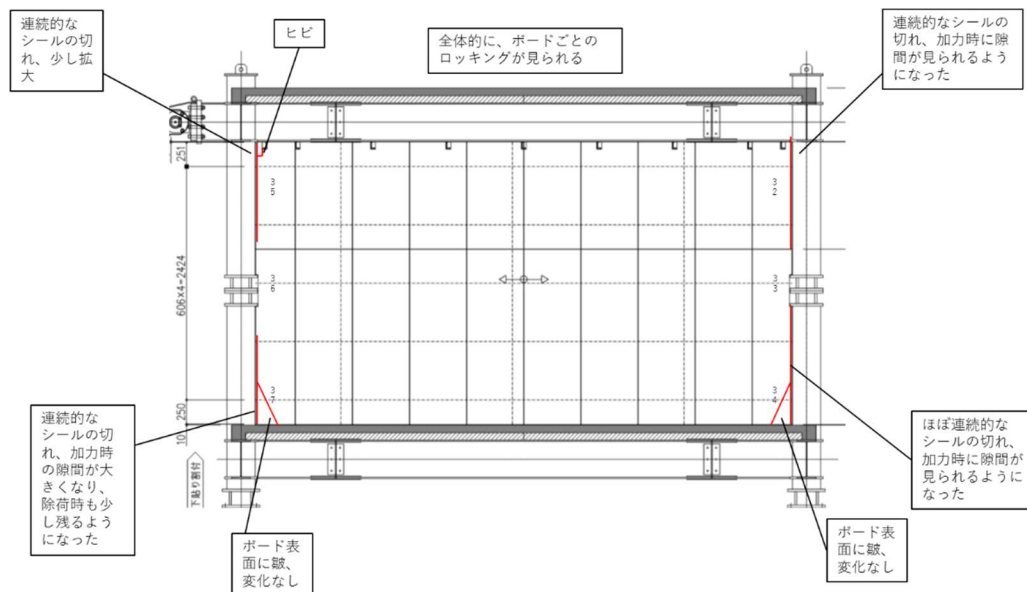


図 3-39 ボード側(A 面)における損傷の観察結果

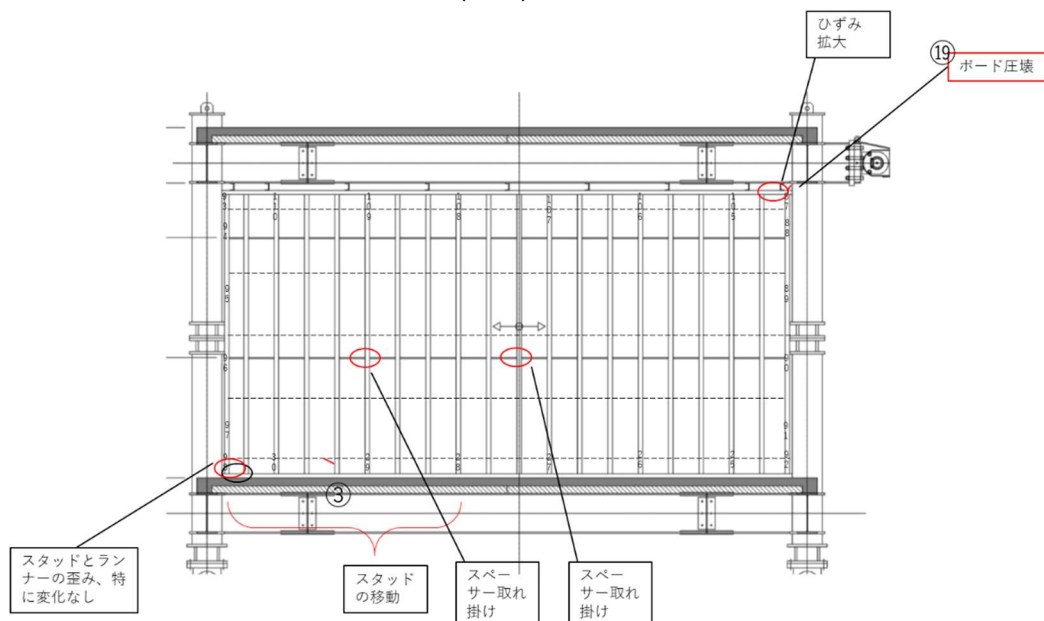


図 3-40 下地側 (a 面) における損傷の観察結果

### ・開口部周辺 (Cc 面) に生じた損傷

上張りボードには新たなヒビは見られなかったが、既存のヒビは伸び、幅も広がった。面の右下角において、角がスラブに押し付けられることにより斜め方向に、ボードのシワが寄った。

裏張りボードでは、既存のヒビは幅が広がり、開口補強の裏からまた新しいヒビが生じた。なお、該当箇所は上張りボードの目地の位置にあった。また載荷時には、スタッド裏のビスが水平方向にボードを抉っていることが確認できるほどボードとスタッドのずれが生じた。

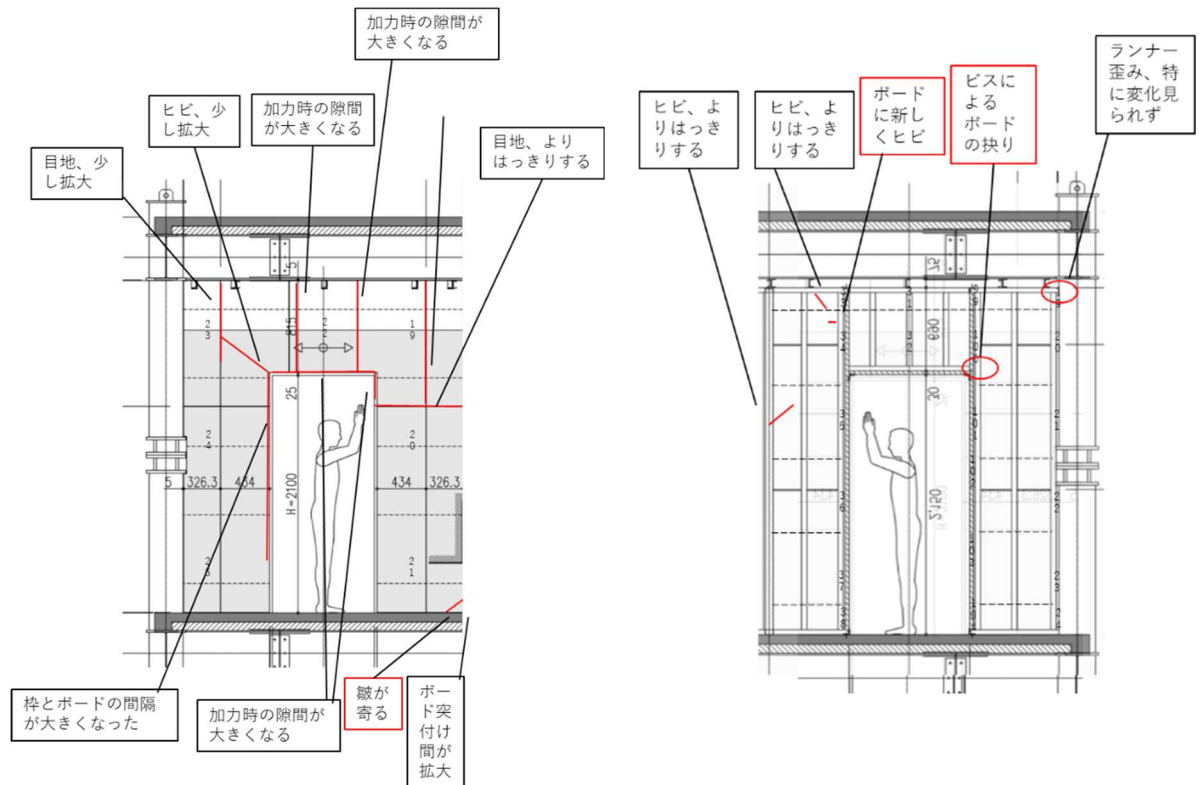


図 3-41 ボード側(Cc 面)における損傷の観察結果

図 3-42 下地側(c 面)における損傷の観察結果

### ・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

D 面とスラブとの間のシールは全域で切れた。D 面は面外方向へのずれが除荷時でも残るようになった。D 面と天井との間のシールの切れ、F 面と E 面との間のシールの切れも拡大し、除荷時でも隙間が残るようになった。

d 面は上部ランナーの歪みがより大きくなった。下部ランナーではスラブに留めるピンが埋まってしまっていることが確認された。

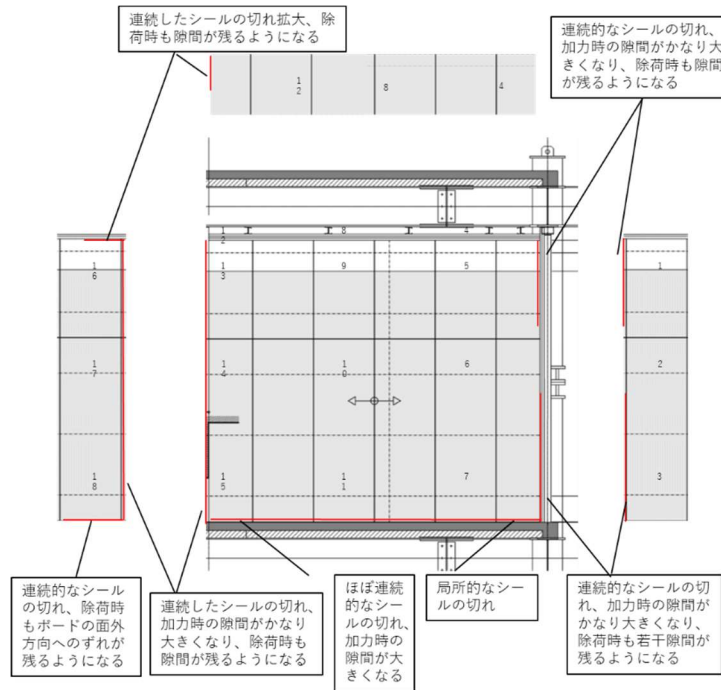


図 3-43 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

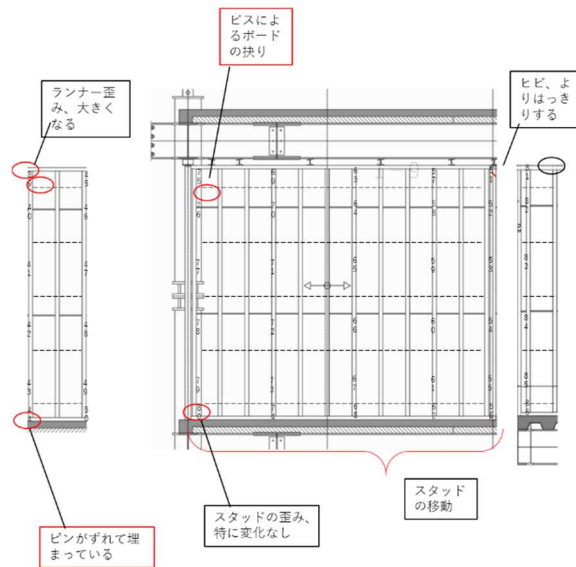


図 3-44 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

損傷の発生、進行は特に見られなかった。

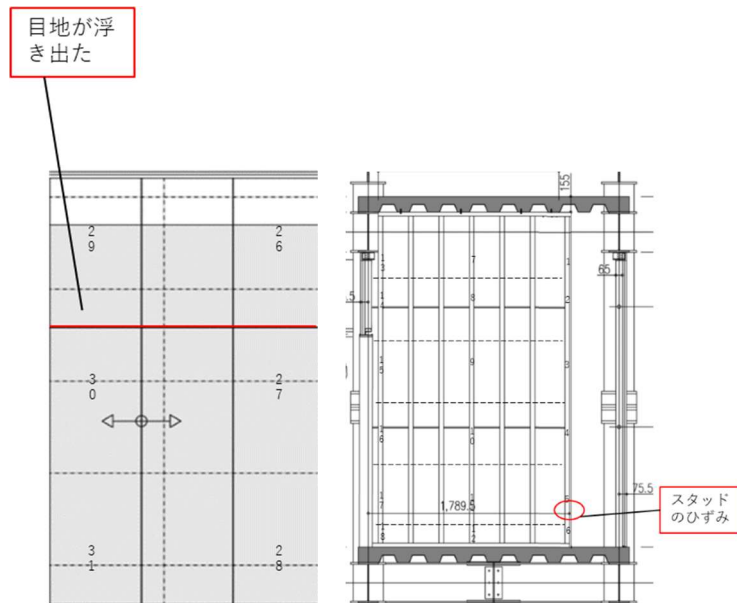
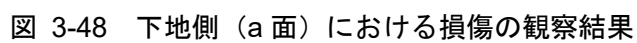
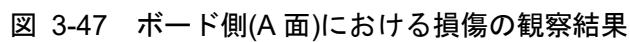


図 3-45 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

図 3-46 下地側(b 面)における損傷の観察結果

特に変化は無かった。





・開口部周辺（Cc 面）に生じた損傷

上張りボードに生じたヒビの幅が少し広がるのみで、特に大きな変化は見られなかった。

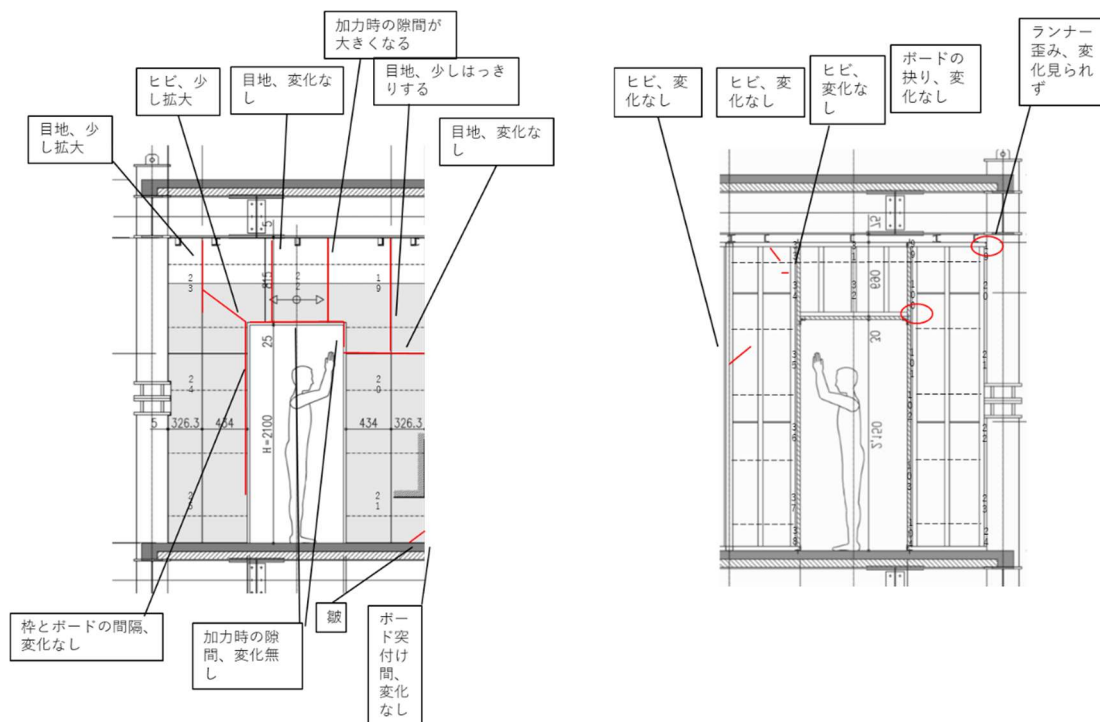


図 3-49 ボード側(C 面)における損傷の観察結果

図 3-50 下地側(c 面)における損傷の観察結果

### ・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

D 面は除荷時も面外方向へのズレが残るようになる。また、D 面は天井との間のシールの切れが拡大した。F 面と E 面の間のシールも切れの隙間が拡大し、除荷時も少し残るようになった。

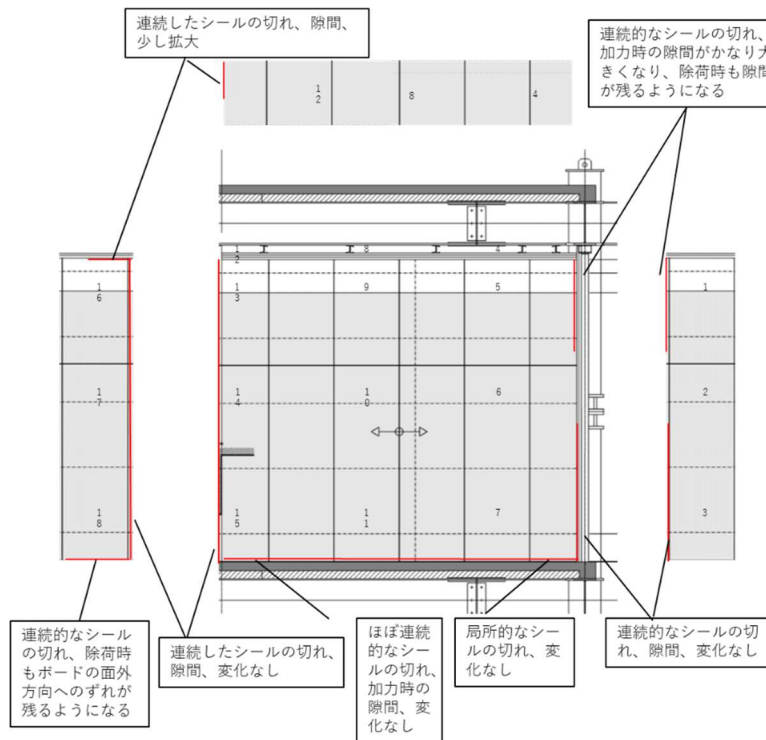


図 3-51 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

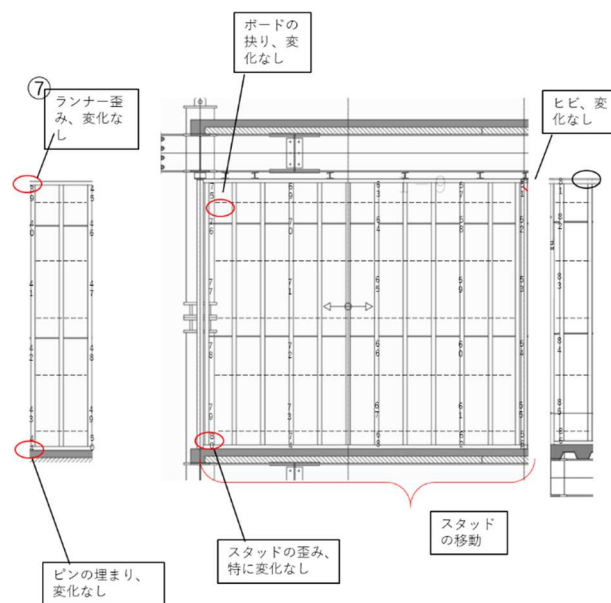


図 3-52 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

損傷の発生、進行は特に見られなかった。

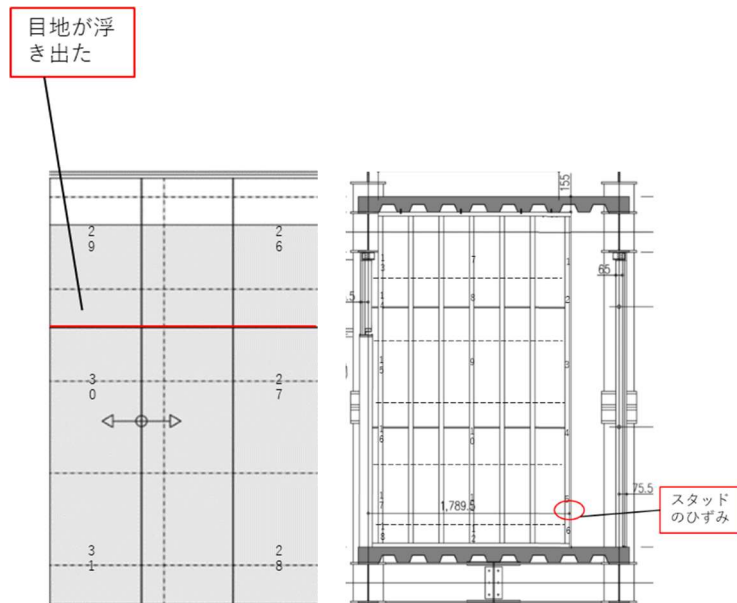


図 3-53 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

図 3-54 下地側(b 面)における損傷の観察結果

## $\theta_{max} = 1/50$ における損傷の観察結果

### • 平坦部 (Aa 面) に生じた損傷

載荷時に中央部分の上張りが面外にせり出し、除荷しても戻らないことが確認できた。シールの切れが進行し、除荷時に生じる隙間も広がった。

下地側では、下張りボード上部の先付金物を通すための別な切り欠け部分にヒビが入った。また載荷時には、スタッド裏のビスが水平方向にボードを挟んでいることが確認できるほどボードとスタッドのずれが生じた。

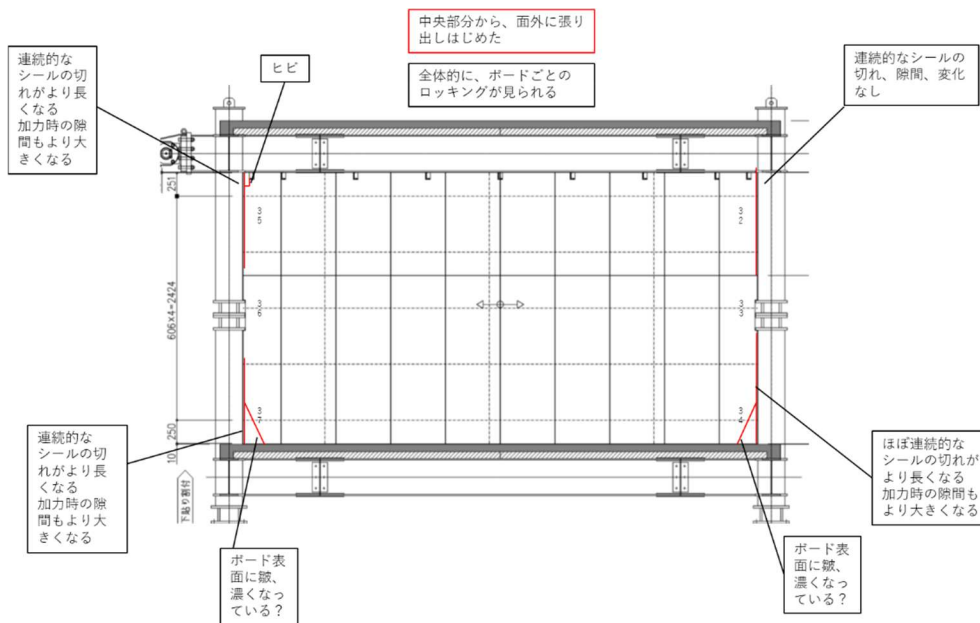


図 3-55 ボード側(A 面)における損傷の観察結果

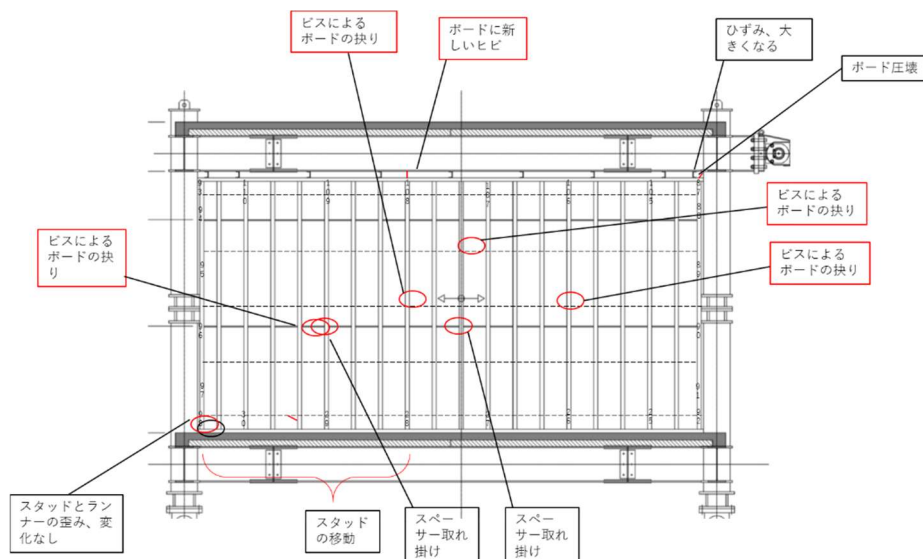


図 3-56 下地側 (a 面) における損傷の観察結果

- ・開口部周辺 (Cc 面) に生じた損傷

開口部の右上角部から、水平目地に向けて、放物線上にヒビが生じた。それ以外に新しいヒビはなく、既存のヒビが伸び、幅が広がった。これにより、下張りボードのヒビ割れと箇所が一致する所では、スタッドが貫通して見えるようになった。

下地側では鉄骨側端部のスタッド裏からヒビが 2 ヲ所生じた。開口部周りでは既存のヒビの拡大のみで、新しいヒビは生じなかった。

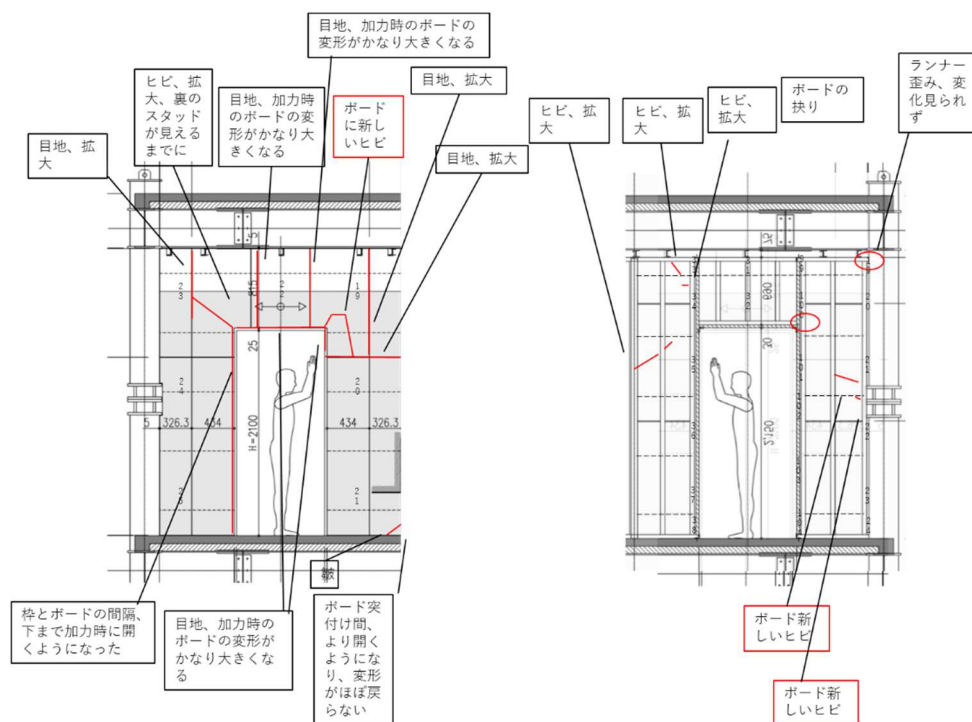


図 3-57 ボード側(C 面)における損傷の観察結果

図 3-58 下地側(c面)における損傷の観察結果

### ・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

D 面の上部の、C 面と接する角にヒビが入った。また E 面が天井と D 面 F 面の変形に追従しなくなったことが確認された。目視では確認できなかったが、E 面と天井のシールも全域で切れていることが推測された。

d 面では上部でボードが圧壊、ランナーが大きく歪みスタッドが外れかけた。また、d 面のスタッドと c 面のスタッドを繋ぐピンの最下部にあるものが抜けかけていることが確認できた。

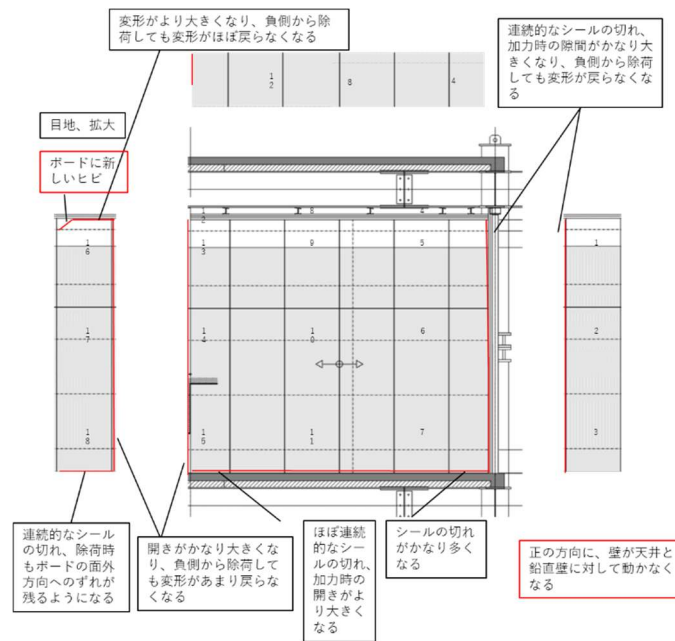


図 3-59 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

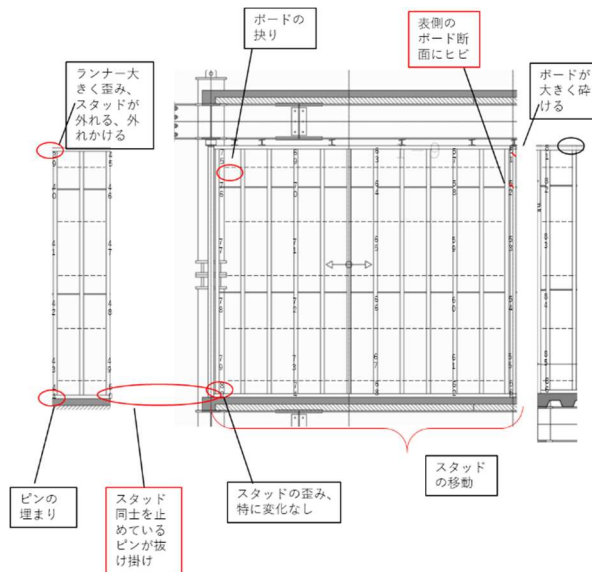


図 3-60 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

損傷の発生、進行は特に見られなかった。

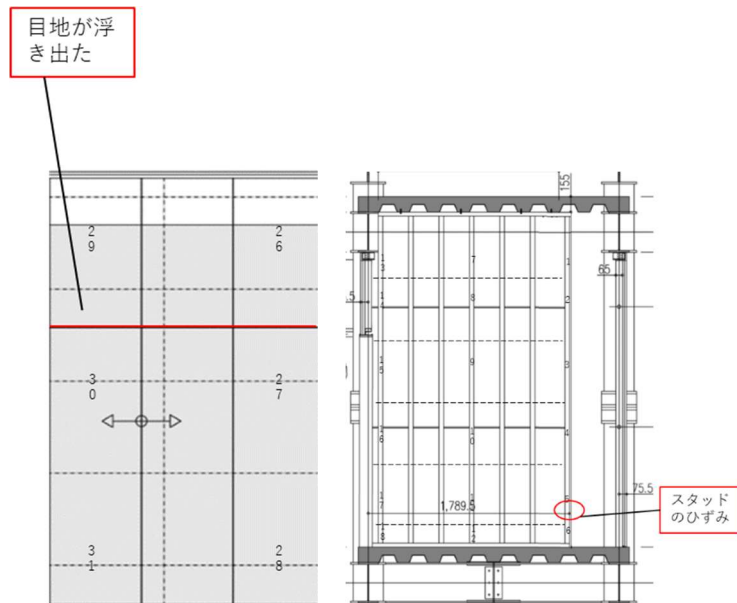


図 3-61 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

図 3-62 下地側(b 面)における損傷の観察結果

$\theta_{\max} = 1/75$  (2 回目) における損傷の観察結果

・平坦部 (Aa 面) に生じた損傷

シールの切れが進行した。

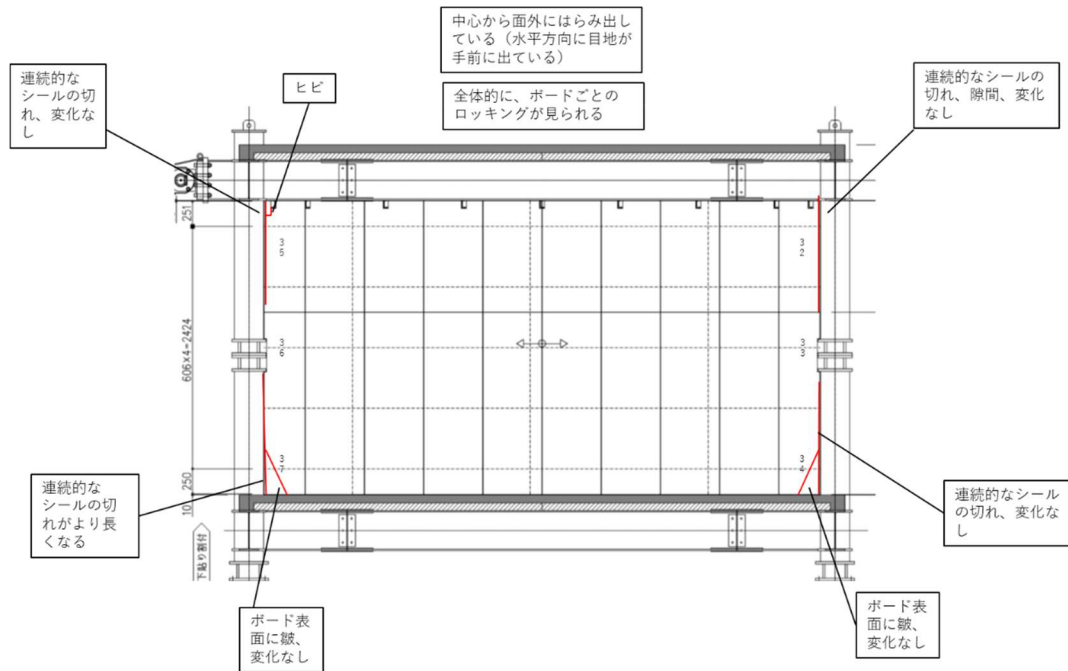


図 3-63 ボード側(A 面)における損傷の観察結果

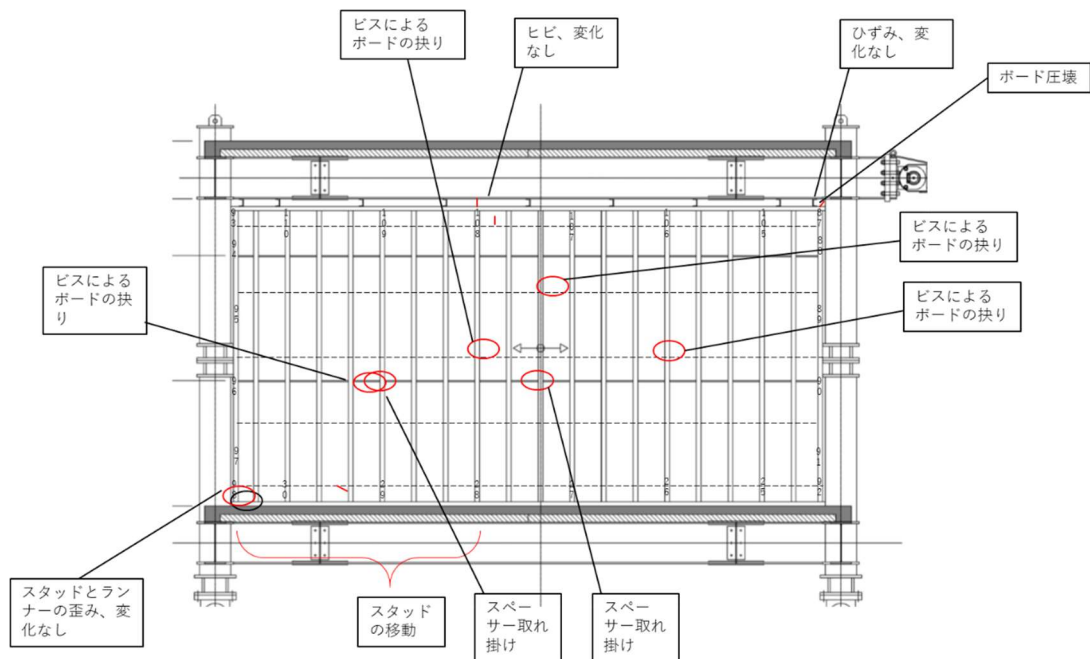


図 3-64 下地側 (a 面) における損傷の観察結果



・開口部周辺（Cc 面）に生じた損傷

開口部の上部にある上張りボードが、載荷時に面外に少しせり出すことが確認された。下張りボードには、開口補強材の裏から新しいヒビが生じた。位置は上張りボードの目地とほぼ同位置であった。

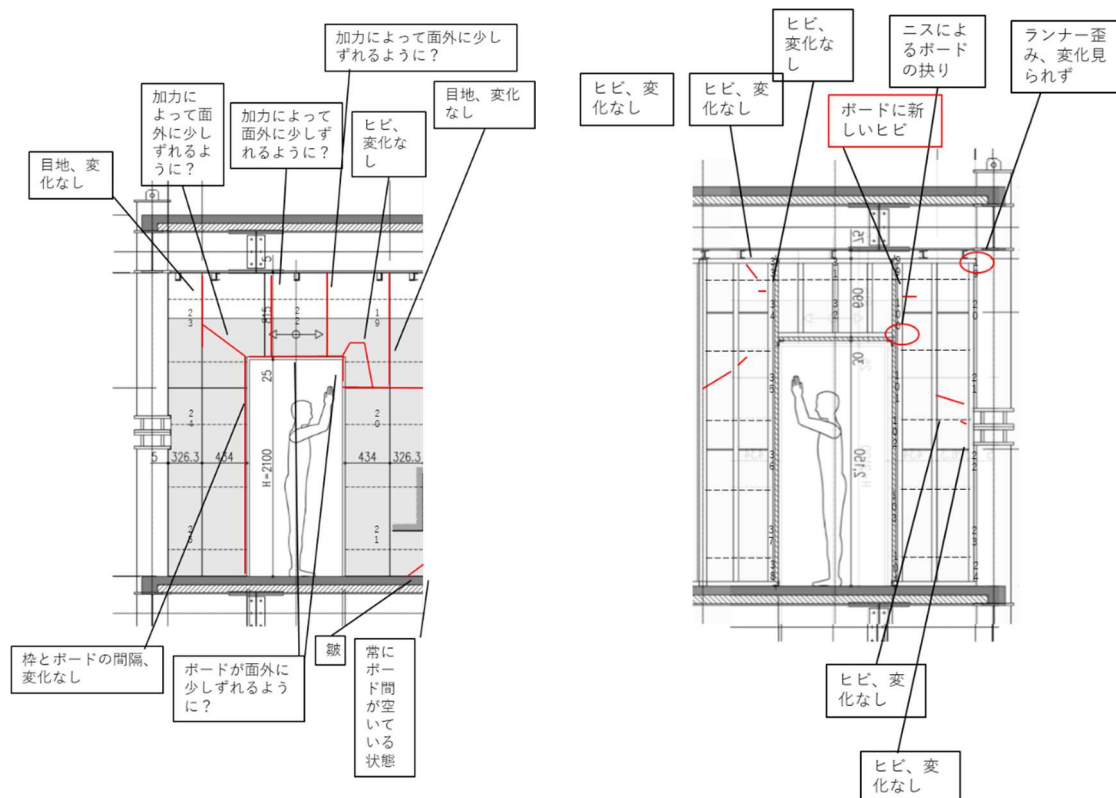


図 3-65 ボード側(C 面)における損傷の観察結果

図 3-66 下地側(c面)における損傷の観察結果

・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

E 面と D 面、E 面と F 面の間は、除荷時も常に隙間が開くようになった。

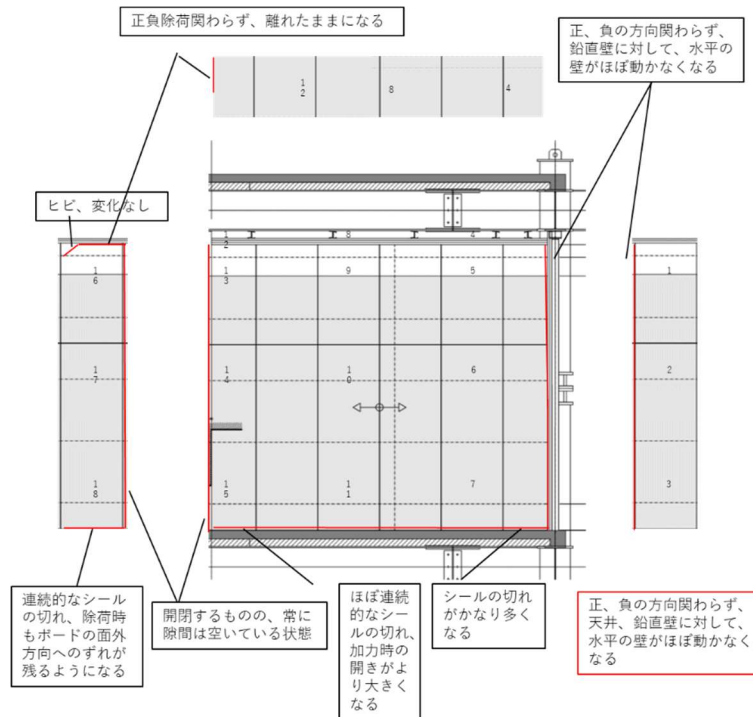


図 3-67 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

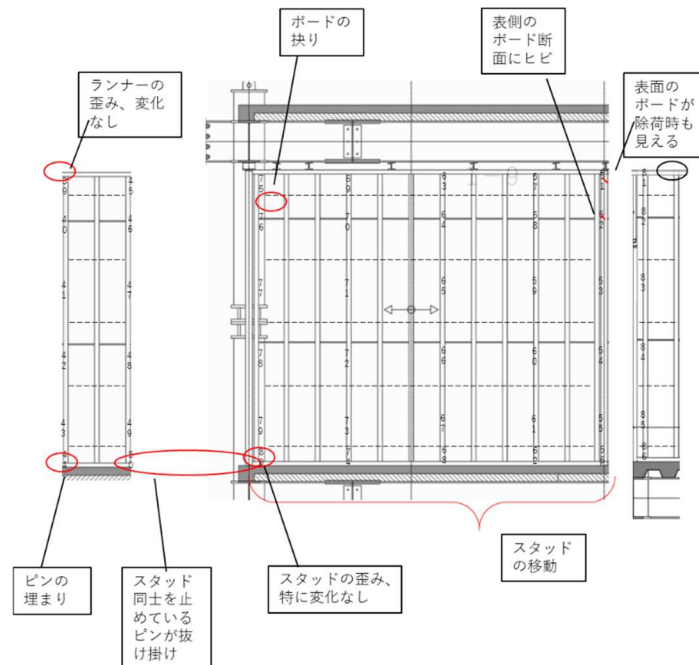


図 3-68 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

損傷の発生、進行は特に見られなかった。

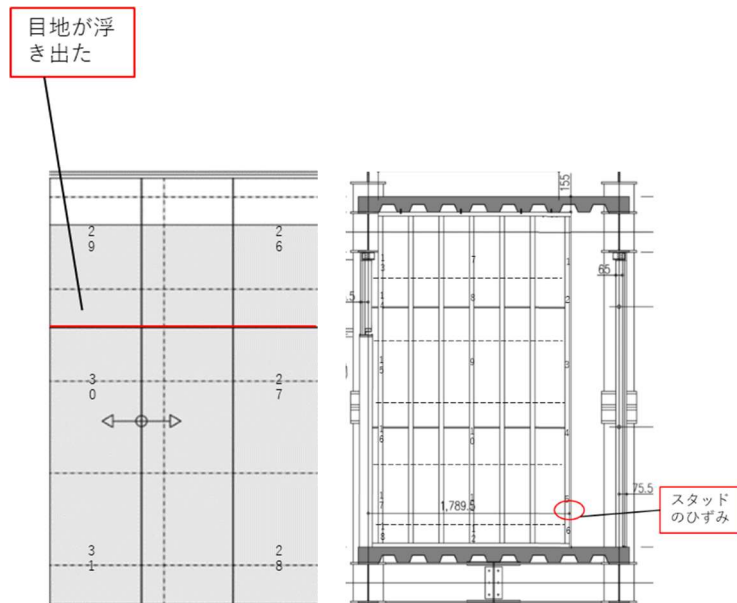


図 3-69 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

図 3-70 下地側(b 面)における損傷の観察結果

$\theta_{\max} 1/33$  における損傷の観察結果

## ・平坦部 (Aa 面) に生じた損傷

下部の両角部が鉄骨により押し付けられ、1/100 で入った斜めのシワを境に面外にはらみ出している。ボード毎のロッキングは 1/33 の載荷時に 12mm、そして面外への変形は 1/33 の載荷時に 70mm にも達した。この状態から除荷しているときに、中央の 5 枚のボードが脱落した。

下地側では、下張りボードの先付金物を通すための切り欠け部からのヒビ、スタッド裏からのヒビが生じた。

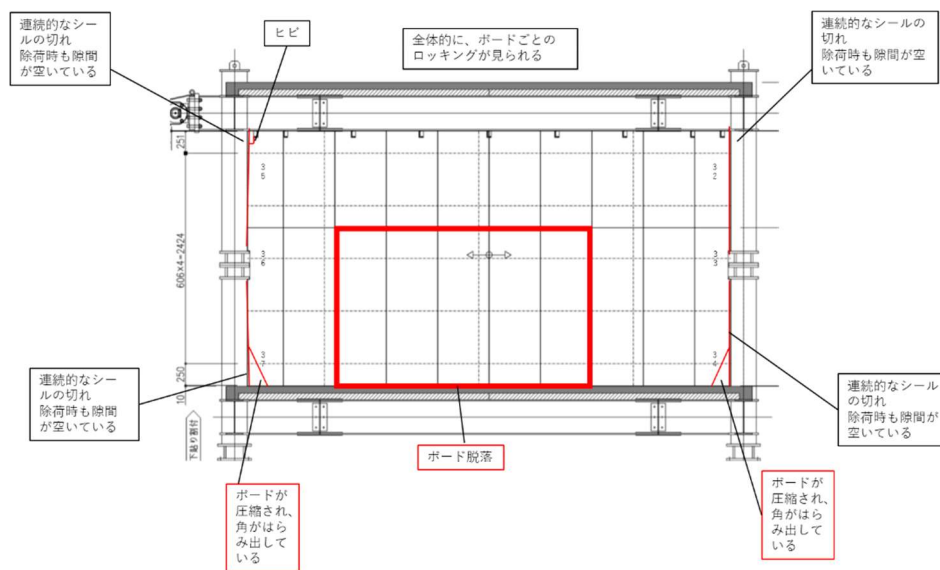


図 3-71 ボード側(A 面)における損傷の観察結果

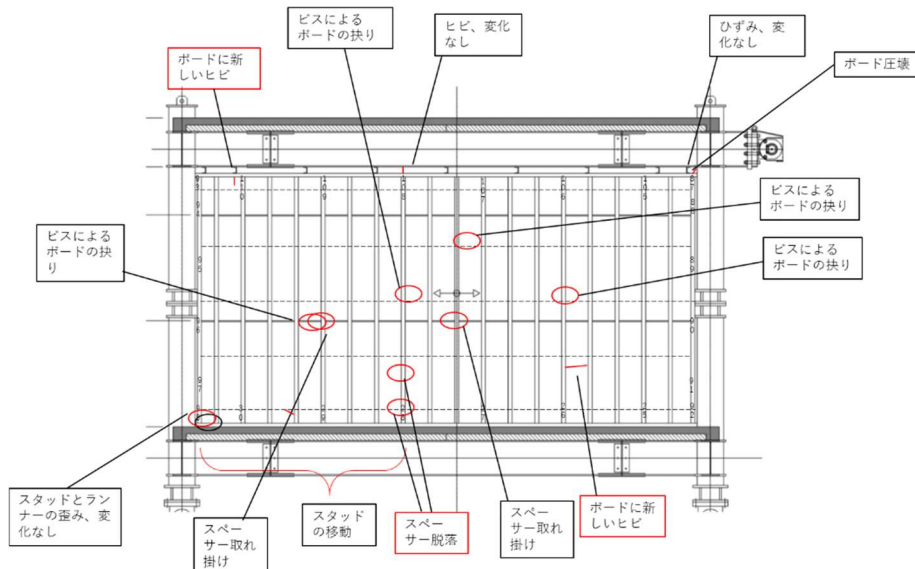


図 3-72 下地側 (a 面) における損傷の観察結果

### ・開口部周辺 (Cc 面) に生じた損傷

上張りボードでは、先付金物を通すための切り欠け部から新しいヒビが生じた。開口部の上部にあるボードは載荷時に面外にせり出し、そのまま除荷された。また載荷時には、開口部と接する全てのボードとの間に隙間が生じるようになり、一部下地が見えるほど広がった。

下地側には新しい損傷は無かったが、既存のヒビが伸び、幅が広がった。

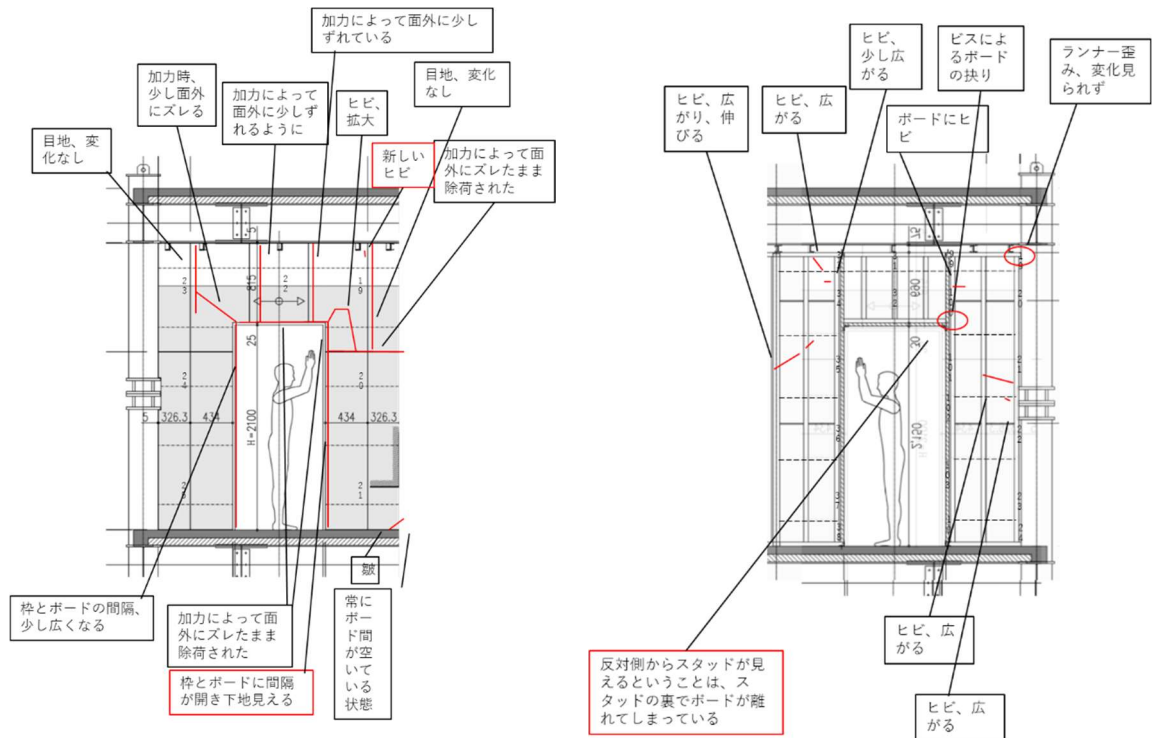


図 3-73 ボード側(Cc 面)における損傷の観察結果

図 3-74 下地側(c 面)における損傷の観察結果

### ・梁からの持ち出し部分 (Dd 面、Ee 面、Ff 面) に生じた損傷

D 面の左上で、1/50 で入ったヒビを境にボードが折れた。折れた破片は天井とシールでつながったままになっていた。面外方向へのズレが大きくなったため、D 面の断面も目視で確認することができたが、天井の位置で折れていた。また、天井と先付金物を留めている先行ピースが破断していることが確認できた。

d 面は手前から 2 つのスタッドがランナーから外れ、下張りボードの圧壊はより進行していた。

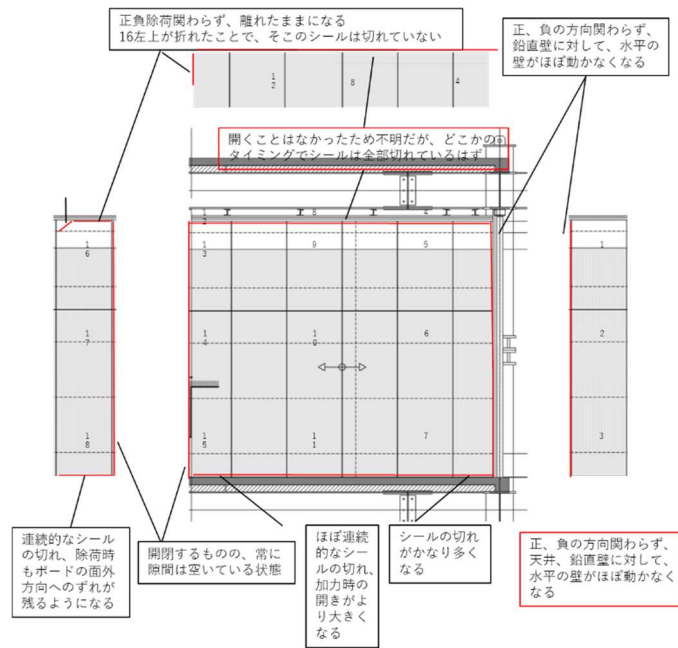


図 3-75 ボード側(D,E,F 面)における損傷の観察結果

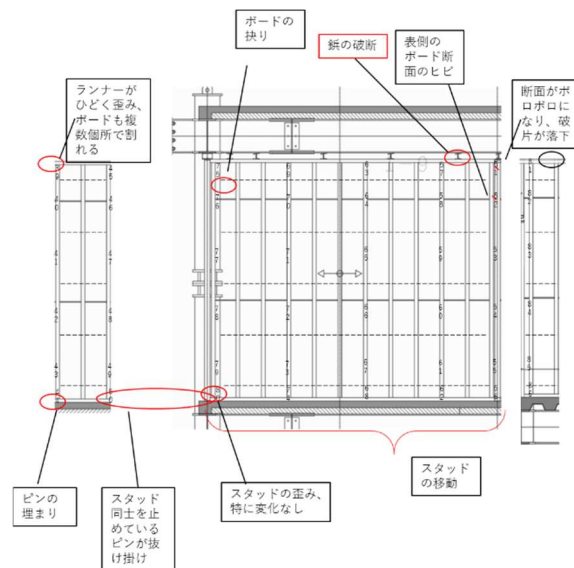


図 3-76 下地側(d,e,f 面)における損傷の観察結果

・鉛直壁（Bb 面）に生じた損傷

損傷の発生、進行は特に見られなかった。

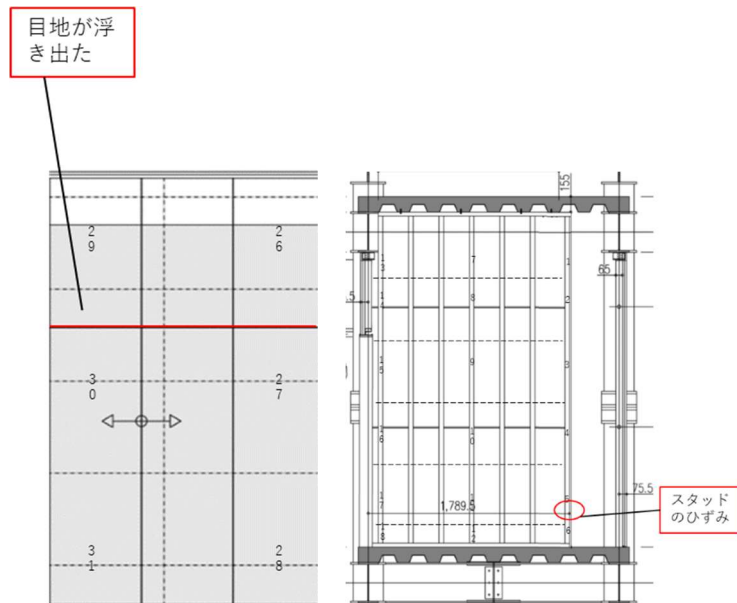


図 3-77 ボード側(B 面)における損傷の観察結果

図 3-78 下地側(b 面)における損傷の観察結果

#### 3.2.2. 実験で観察された損傷のまとめ

一般的な壁、特殊な部位を含む壁を持つ試験体に対して、1/33 という大変形時まで再現するような力を与えた結果、既往実験で確認・報告がされていない損傷についても情報を得ることができた。

具体的には、持ち出し部のランナーの開き、天井下地の接合部の破断、ランナー端部の歪、スペーサーの外れ、スタッドとスラブを留めるビスの変形、スタッド同士を留めるビスの変形といった損傷は、既往研究では報告されておらず、本実験で細かく観察、記録することができた損傷だと考えられる。

表 3-2 に、実験で観察された損傷の概要についてまとめた。

「場所」の列には損傷が観察された面の名称を記載した。

「層間変形角」の列には、損傷が観察されたセットの最大層間変形角と、断定できた場合のみ、損傷が生じた時の変形角を記載した。ただし、目視による観察で見つけられた際のタイミングであるため、実際に損傷が生じたのは、記載した時よりも早い段階の可能性もある。なお、観察時には損傷の有無に関わらず、全体の写真撮影を細かく行った。損傷が確認されたときは写真をさかのぼることで、損傷が生じたタイミングをなるべく正確に把握できるようにした。

損傷番号の列に記載した数字は、付録 2-1 の損傷データシートと対応するものである。損傷データシートは、各損傷一つ一つに対し、観察結果と原因の考察について写真と共に記録したものである。



表 3-2 乾式間仕切り壁の実験で観察された損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
持ち出し部のランナーの開き	d 面	1/75	#001, #008
天井下地の接合部の破断	天井	1/33 100%	#035
上張りボードの面外への変形	A 面	1/50	#038
	C 面	1/100	#040~#049
上張りボードの面外への脱落	A 面	1/33	#038
上張りボードのロッキング	A 面	1/100	#038
	C 面	1/100	#040~#049
壁間の隙間の開き	E 面	1/75	#050~#053
ランナー端部の歪	a 面	1/400	#002
	c 面	1/200 -80%	#007
	a 面	1/100	#006
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	c 面	1/75 -80%	#020
	e 面	1/75 -100%	#018
	a 面	1/50	#027~#030
上張りボードのヒビ、折れ	C 面	1/400	#041, #046, #048
	A 面	1/200	#036
	A 面	1/100	#036, #037
	C 面	1/75	#049
	C 面	1/33	#047
	D 面	1/33	#050
	D 面	1/33 100%	#025
シールの切れ	A 面	1/400	#036, #037
	C 面	1/400	#040~#049
	D~F 面	1/100	#051~#053
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/400 100%	#003
	d 面	1/400 -80%	#001, #008
	c 面	1/200	#010
	c 面	1/100 -100%	#013
	c 面	1/75 100%	#019
	a 面	1/75 80%	#021
	c 面	1/50 80%	#022
	c 面	1/50 -80%	#031
	a 面	1/33 100%	#032
	a 面	1/33 -100%	#033
ボードの目地の浮き	B 面	1/200	
スタッドの水平移動	a 面	1/200 80%	#005
	e 面	1/100	#009, #011
スペーサーの外れ	a 面	1/100	#015
	a 面	1/200(2 回目)	#016
ランナーの軽微な開き	e 面	1/100 -60%	#-011
	a 面	1/100 80%	#014
スタッドの軽微な歪	b 面	1/200 40%	#004
下部ランナーを留めるビスの抜け	d 面	1/75 -100%	#017
スタッド同士を留めるビスの抜け	d,c 面	1/50 -100%	#024

#### 生じた場所に着目した時の損傷の傾向

---

本実験では、乾式間仕切り壁の一般的な部位として「平坦な壁」と、特殊な部位として「梁からの持ち出し部分」、「開口部」、「鉛直壁」を試験体を含めた。生じた場所に着目した時の損傷の傾向について簡単に述べる。

平坦な壁（A 面、a 面）では、層間変形角  $1/400$  の時点で損傷が生じた。しかし、ボードの目立つひび割れなどは、層間変形角  $1/50$  まで生じなかった。そして、層間変形角  $1/33$  に達した際に、上張りボードが面外に変形したのちに脱落に至った。下地の損傷も生じた。

開口部が取り付けいた面（C 面、c 面）では、層間変形角  $1/400$  の時点で、上張りボード目地に沿ったヒビと、開口部の角から斜め方向に延びるヒビが生じた。以降層間変形角  $1/100$  に至るまで、ボードの目地にそったヒビが増え続けた。ただし層間変形角  $1/100$  以降は特に増えることは無かった。層間変形角  $1/50$  の時に、開口部の反対側の角からもヒビが生じた。繰り返し載荷及び、層間変形角  $1/33$  まで与えた時には、幅が広がるなど、ヒビが進行した下地の損傷は特に観察されなかった。

梁からの持ち出し部分（D,E,F 面、d,e,f 面）では、層間変形角  $1/400$  という小さい層間変形角の時から、梁下に無い鉛直壁の下張りボード（d 面のボード）の断面にヒビがはいった。このヒビは層間変形角に応じて進行していき、層間変形角  $1/50$  の時に同箇所でもボードが圧壊した。また、層間変形角  $1/75$  の時に、同面の上部ランナーが開き、スタッドが外れた。他にも、天井の接合部の破損や、壁間の開きなど、多くの損傷が梁からの持ち出し部分では観察できた。

Dd 面は、Aa 面、Cc 面と異なり、上張りボードの損傷は少なく、下張りボードと下地の損傷が多く生じた。

また、梁からの持ち出し部分であっても、梁下にある鉛直壁（F 面,f 面）ではシールの切れ以外損傷が観察されなかった。梁下にある水平壁（E 面,e 面）では、隣の壁との間の開き（及びそれに伴うシールの切れ）以外、特に損傷が観察されなかった。

鉛直壁が取り付けいた面（B 面,b 面）では、層間変形角  $1/200$  の時にスタッドに軽微な歪と、塗装上にボード目地の浮きが観察されたが、それ以降特に損傷が生じることは無かった。

表 3-3 乾式間仕切り壁の損傷（生じた場所別）

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
シールの切れ	A 面	1/400	#036, #037
上張りボードのヒビ、折れ	A 面	1/200	#036
上張りボードのヒビ、折れ	A 面	1/100	#036, #037
上張りボードのロッキング	A 面	1/100	#038
上張りボードの面外への変形	A 面	1/50	#038
上張りボードの面外への脱落	A 面	1/33	#038
ランナー端部の歪	a 面	1/400	#002
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/400 100%	#003
スタッドの水平移動	a 面	1/200 80%	#005
ランナー端部の歪	a 面	1/100	#006
ランナーの軽微な開き	a 面	1/100 80%	#014
スペーサーの外れ	a 面	1/100	#015
スペーサーの外れ	a 面	1/200(2 回目)	#016
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/75 80%	#021
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	a 面	1/50	#027~#030
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/33 100%	#032
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/33 -100%	#033
シールの切れ	C 面	1/400	#040~#049
上張りボードのヒビ、折れ	C 面	1/400	#041, #046, #048
上張りボードのロッキング	C 面	1/100	#040~#049
上張りボードの面外への変形	C 面	1/100	#040~#049
上張りボードのヒビ、折れ	C 面	1/75	#049
上張りボードのヒビ、折れ	C 面	1/33	#047
ランナー端部の歪	c 面	1/200 -80%	#007
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/200	#010
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/100 -100%	#013
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/75 100%	#019
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	c 面	1/75 -80%	#020
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/50 80%	#022
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/50 -80%	#031
シールの切れ	D~F 面	1/100	#051~#053
壁間の隙間の開き	E 面	1/75	#050~#053
上張りボードのヒビ、折れ	D 面	1/33 100%	#025
天井下地の接合部の破断	天井	1/33 100%	#035
上張りボードのヒビ、折れ	D 面	1/33	#050
下張りボードのヒビ、折れ	d 面	1/400 -80%	#001, #008
スタッドの水平移動	e 面	1/100	#009, #011
ランナーの軽微な開き	e 面	1/100 -60%	#-011
持ち出し部のランナーの開き	d 面	1/75	#001, #008
下部ランナーを留めるビスの抜け	d 面	1/75 -100%	#017
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	e 面	1/75 -100%	#018
スタッド同士を留めるビスの抜け	d,c 面	1/50 -100%	#024
ボードの目地の浮き	B 面	1/200	
スタッドの軽微な歪	b 面	1/200 40%	#004

---

#### 生じた層間変形角に着目した時の損傷の傾向

---

本実験では、躯体の大変形時まで再現するため、層間変形角  $1/33$  まで与えた。生じた層間変形角に着目した時の損傷の傾向について簡単に述べる。

層間変形角  $1/400$  では、小さい変形角にも関わらず、梁からの持ち出し部分や開口周りでボード（若しくは塗装）のヒビが観察された。

層間変形角  $1/200$  では、開口部周辺で上張りボード目地にそったひび割れが多く生じた。

層間変形角  $1/100$  では、開口部周辺で上張りボード目地にそったひび割れが増え、下張りボードのひび割れも複数生じた。また、梁からの持ち出し部分ではランナーが開き始めた。

層間変形角  $1/75$  では、ビスによるボードの挟りが各所で確認されはじめた。しかし、それ以外では、特に新しい損傷は生じず、すでに生じていた損傷が進行する傾向にあった。この時に梁からの持ち出し部分のランナーからスタッドは脱落していた。

層間変形角  $1/50$  では、上張りボード、下張りボード、下地に新しい損傷が生じた。

層間変形角  $1/33$  では、平坦な面のボードが脱落し、各所で新しい損傷も生じた。

総じて、層間変形角が上がると、新しい損傷が生じた。

また、本実験では実際の地震波を模して、層間変形角  $1/200$ 、 $1/100$ 、 $1/75$  のセットは2回行った。各セットの2回目の時は新しい損傷は殆ど生じなかった。しかし、上張りボードのヒビ、シールの切れの進行といったことは確認された。

表 3-4 乾式間仕切り壁の損傷（生じた層間変形角別）

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下張りボードのヒビ、折れ	d 面	1/400 -80%	#001, #008
ランナー端部の歪	a 面	1/400	#002
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/400 100%	#003
シールの切れ	A 面	1/400	#036, #037
シールの切れ	C 面	1/400	#040~#049
上張りボードのヒビ、折れ	C 面	1/400	#041, #046, #048
スタッドの軽微な歪	b 面	1/200 40%	#004
スタッドの水平移動	a 面	1/200 80%	#005
ランナー端部の歪	c 面	1/200 -80%	#007
ボードの目地の浮き	B 面	1/200	
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/200	#010
上張りボードのヒビ、折れ	A 面	1/200	#036
ランナー端部の歪	a 面	1/100	#006
スタッドの水平移動	e 面	1/100	#009, #011
ランナーの軽微な開き	e 面	1/100 -60%	#-011
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/100 -100%	#013
ランナーの軽微な開き	a 面	1/100 80%	#014
スペーサーの外れ	a 面	1/100	#015
上張りボードのヒビ、折れ	A 面	1/100	#036, #037
上張りボードのロッキング	A 面	1/100	#038
上張りボードの面外への変形	C 面	1/100	#040~#049
上張りボードのロッキング	C 面	1/400	#040~#049
シールの切れ	D~F 面	1/100	#051~#053
スペーサーの外れ	a 面	1/200(2 回目)	#016
持ち出し部のランナーの開き	d 面	1/75	#001, #008
下部ランナーを留めるビスの抜け	d 面	1/75 -100%	#017
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	e 面	1/75 -100%	#018
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/75 100%	#019
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	c 面	1/75 -80%	#020
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/75 80%	#021
上張りボードのヒビ、折れ	C 面	1/75	#049
壁間の隙間の開き	E 面	1/75	#050~#053
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/50 80%	#022
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/50 -80%	#031
スタッド同士を留めるビスの抜け	d,c 面	1/50 -100%	#024
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	a 面	1/50	#027~#030
上張りボードの面外への変形、脱落	A 面	1/50	#038
上張りボードのヒビ、折れ	D 面	1/33 100%	#025
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/33 100%	#032
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/33 -100%	#033
天井下地の接合部の破断	天井	1/33 100%	#035
上張りボードのヒビ、折れ	C 面	1/33	#047
上張りボードのヒビ、折れ	D 面	1/33	#050
上張りボードの面外への脱落	A 面	1/33	#038

#### 損傷が生じた原因

本実験では、梁からの持ち出し部分に損傷が顕著に見られた。この原因について考察した結果、およびそこから推測された損傷を軽減化する方法について簡単に述べる。

層間変形角が負方向に  $1/400$  程度のときより、d 面の上部のランナーが開くような挙動をすることが確認された。層間変形角が  $1/75$  の時にランナーからスタッドが外れかけ、 $1/50$  の時にランナーがスタッドから 2 つ外れ、除荷時でもそのまま変形が残った。

考えうる原因としては、壁が梁下に無いことによる層間変位への追従性の低さが上げられる。

いずれの面も正載荷時は基本的に構造躯体の変形に追従する。しかし、負方向の載荷時は、追従しない Ee 面と追従する Cc 面によって、Dd 面は上からみて反時計回りの方向に回転するような力を受ける。ただしランナーは先行ピースと接合されているため回転に追従できず、結果としてランナーが開くような力が生じたのだと考えられる（図 3-79、図 3-80）。

この損傷を軽減化させるためには、先行ピースや上部ランナーの剛性を高めることで、持ち出し部分の躯体への追従性を高めることが挙げられる。これは部材の厚みを増すことや、接合部のピンの量を増やすことなどで実現できる。また、持ち出し部分の長さを短くすることで、回転量を抑えることができると考えられる。

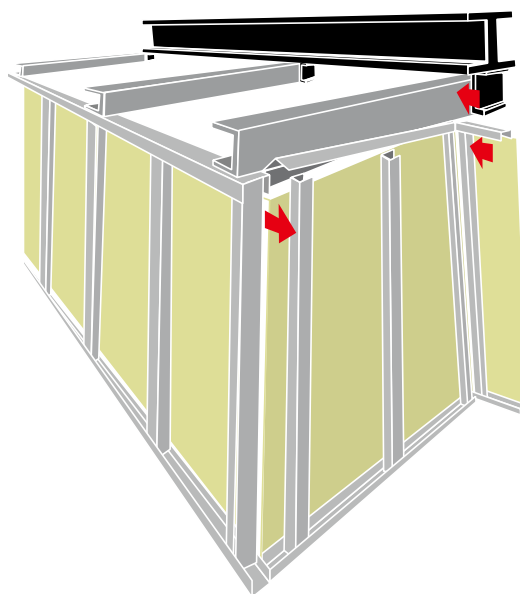


図 3-79 持ち出し部のランナーが開く様子

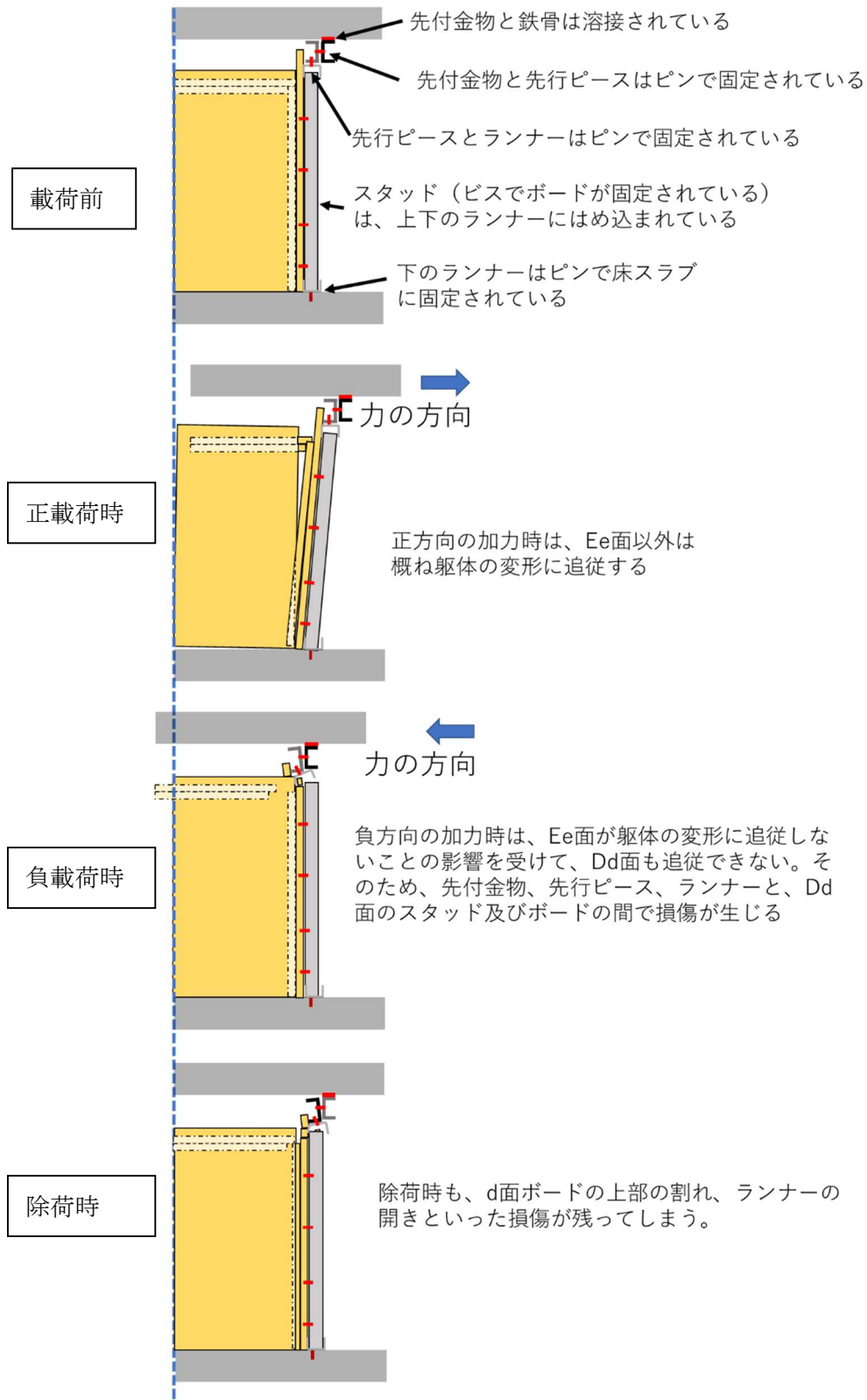


図 3-80 層間変形を与えた時の Dd 面の挙動

#### 3.3. 小結

3 章では、乾式間仕切り壁の実大載荷実験を行った結果について述べた。

3.1 では、本実験の概要について述べた。

3.2 では、損傷が生じた正確な位置、その時の層間変形角及びその後の進行具合、周囲の状態について、図と共に述べた。

平坦な壁では変形角  $1/50$  まで目立った損傷は生じなかったが、変形角  $1/33$  で石膏ボードが面外に変形したのち、脱落した。

開口部が取り付いた壁では、ボードのひび割れが多く観察されたが、脱落に至ったものは無かった。

梁からの持ち出し部分では、変形角  $1/75$  で、ランナーが開き、スタッドが脱落した。これは鉛直方向の壁が、2 方向の力を受け、回転したことが原因だと考えられる（図 2）。同箇所では壁間が開く等の損傷も生じた。

鉛直壁には殆ど損傷が観察されなかった。

5 章では観察された損傷の「対応の必要性」と「診断の難易度」について評価した。

繰り返しになるが、本研究では、観察された損傷について分析し、その原因と対策方法の考察と、既往研究の実験結果との比較も行った。また、観察ごとに、損傷の撮影を行った。ただし、本研究の目的に関係しない事項も多かったため、分析結果は付録 1-3 に、写真等は付録 2-1 のデータシートに記載した（5 章で損傷の評価をした際は、分析結果と写真を適宜、参考にした）。



## 4章 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験

---

4.1.	実験の概要 .....	87
4.1.1.	試験体の概要.....	87
4.1.2.	載荷方法の概要.....	90
4.1.3.	観察・計測方法の概要.....	91
4.2.	実験結果 .....	95
4.2.1.	実験で観察された損傷.....	95
4.2.2.	窓の開閉機能の確認結果.....	113
4.2.3.	扉の開閉機能の確認結果.....	117
4.2.4.	実験で観察された損傷のまとめ.....	122
4.3.	小結 .....	128

4 章では、ALC 外壁の実大載荷実験を行った結果について述べる。

4.1 では、本実験の概要について述べる。

4.2 では、損傷が生じた正確な位置、損傷が生じた時の層間変形角、層間変形角の増加に伴う損傷の進行具合、損傷の周囲の状況などについて、図と共に述べる。

4.3 では、4 章で述べた内容をまとめる。

なお本実験では、実際の地震では発生が確認されているが、既往研究で検証があまりされていない、ALC 外壁の開口部の開閉機能や、構造躯体の大変形についても検証した。

開閉機能の詳細な確認結果は、興味深いものであったが、本研究の目的に関係しない事項が多かった。そのため、その内容は付録 1-4 および 1-5 に記載した。

実験において観察された損傷について、その原因の分析を行った。また、それに基づいて対策方法の考察と、既往研究の実験結果との比較も行った。ただし、いずれも損傷を評価するという本研究の目的に関係しない事項も多かったため、上記については付録 1-6 に記載した。また、実験で撮った写真等は付録 2-2 のデータシートに記載した。

#### 4.1. 実験の概要

実験の概要として、試験体、載荷方法、観察・計測方法について説明をする。

##### 4.1.1. 試験体の概要

試験体は階高 3,500mm、長辺 6,000mm、短辺 2,500mm のスラブ付き鉄骨骨組みとし、その中に 2 面 ALC パネルをロッキング構法で取り付けけた外壁を設置した。北面は梁下に全面無開口の平坦壁で ALC パネルを 10 枚、反対の南面は梁下の窓開口（引き違い窓、 $W=1,800\text{mm}$ ,  $H=1,240\text{mm}$ ）と扉開口（鋼製片開き扉、 $W=920\text{mm}$ ,  $H=2,065\text{mm}$ ）および L 字アングルを用いた開口補強材の付いた面で構成され、一般的な ALC 外壁の設置状況を再現することを目的としている。窓はこれらに対して長辺方向に繰り返し載荷を行う。

ALC パネルの仕様は、高さ 3,490mm×幅 600mm×厚み 100mm のスタッド 65 形を北面は 10 枚配置し、南面は基本的には北面と同じ割付で開口廻りのみ寸法が異なるパネルを配置している。パネル間およびパネルと開口部間には、ウレタン系のシーリング材を充填した。試験体内部には内装材は張らず、パネルの裏面や、開口補強材の挙動を計測・観察できるようにした。（図 4-1～4、写真 4-1）

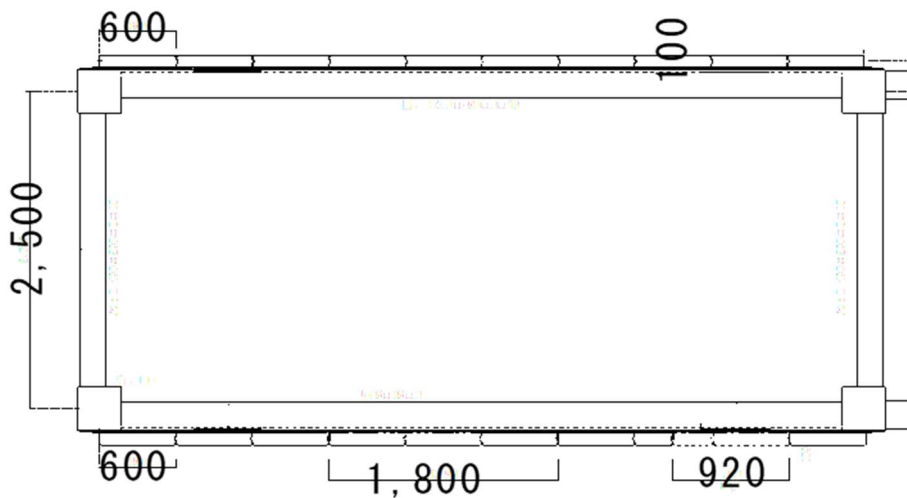


図 4-1 平面図

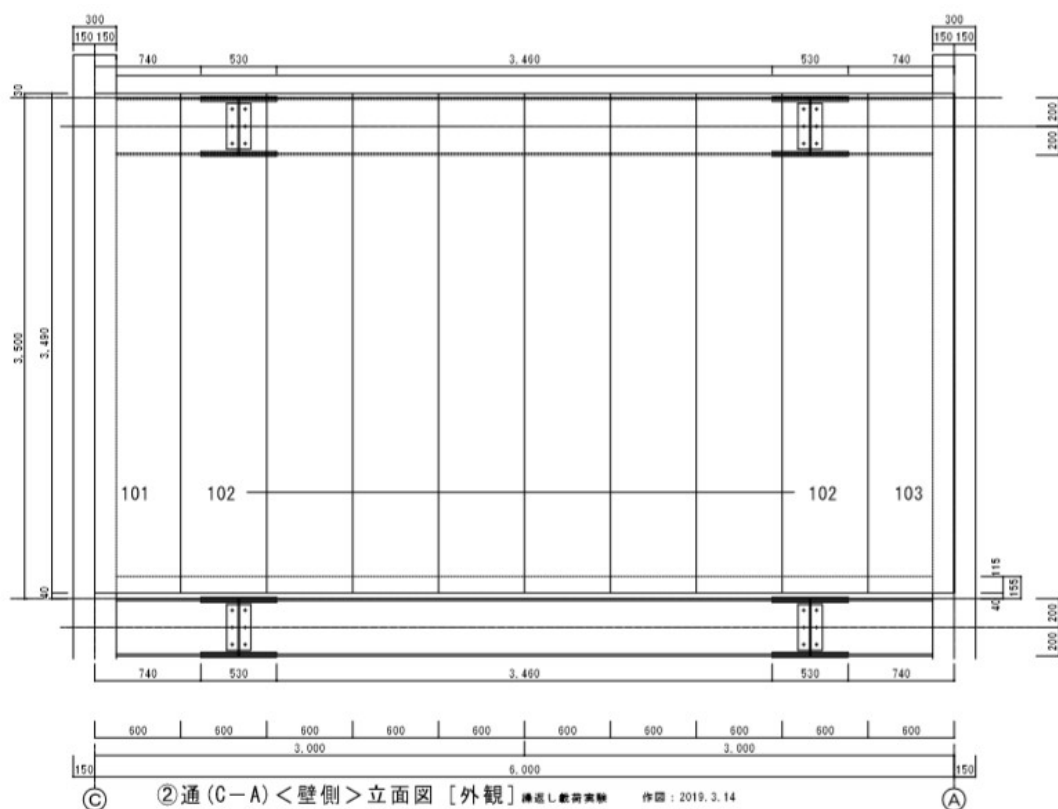


図 4-2 北面 立面図

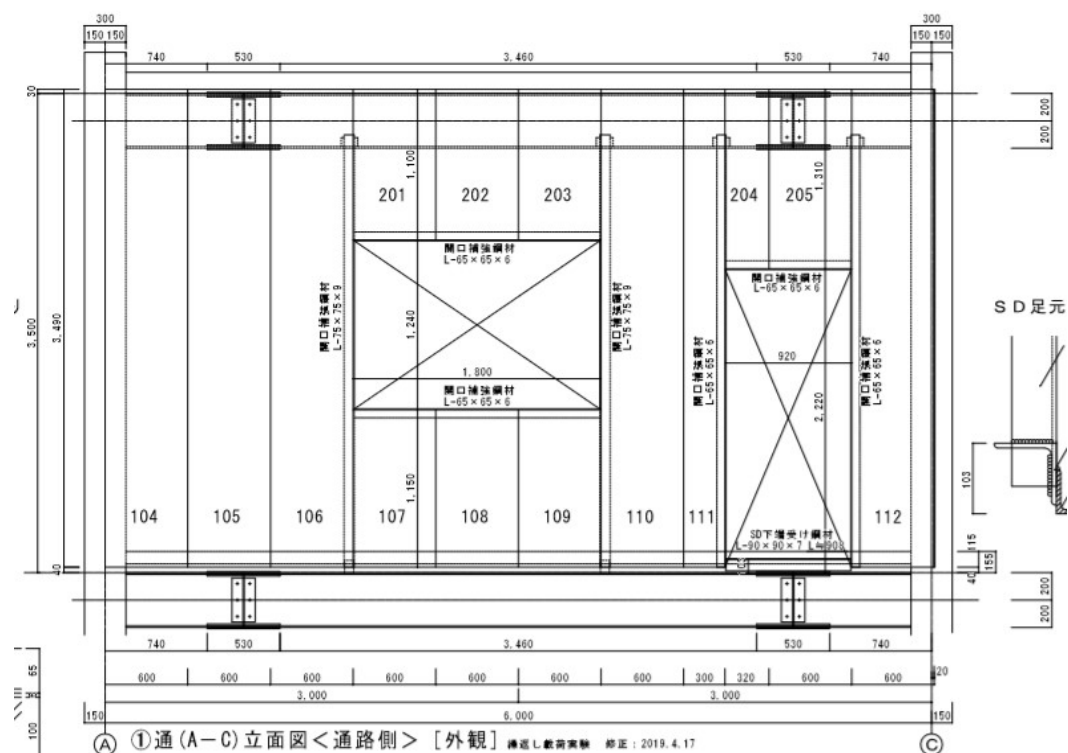


図 4-3 南面 立面図

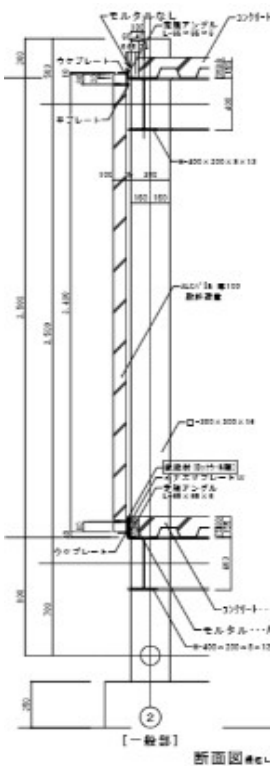


图 4-4 断面图



写真 4-1 試験体外観

## 4.1.2. 載荷方法の概要

載荷は、事前に設定しておいた最大層間変形角（以降  $\theta_{max}$  と呼ぶ）に対して、正負両方向に 0.4、0.6、0.8、1.0 倍させながら徐々に変形角を大きくし、同様に除荷するまでを 1 セットと定義した(図 5)。

$\theta_{max}$  の値は、乾式間仕切り壁を対象とした実験では 1/400 から、ALC 外壁を対象とした実験では 1/200 始め、増減させながら最終的に 1/33 のセットまで、計 9 セットの載荷を行った（表 1）。この載荷スケジュールは、実際の地震動を想定したものとなっている<sup>1</sup>。

なお、本実験においてはジャッキが押す方向を正、引く方向を負とみなした。

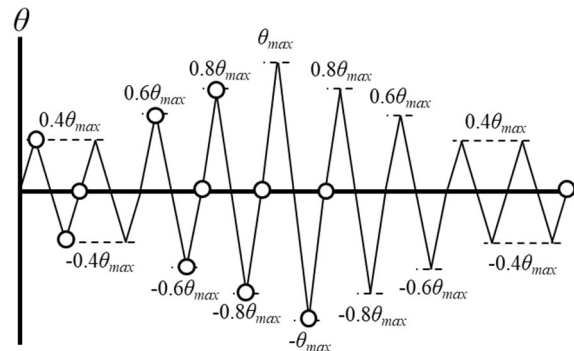


図 4-5 1 セットの載荷履歴

表 4-1 各セットの  $\theta_{max}$ 

ALC 外壁の実験	
セット番号	$\theta_{max}$
1	1/200
2	1/100
3	1/200
4	1/75
5	1/100
6	1/50
7	1/75
8	1/33

<sup>1</sup> Yamada, S., Kohtaki, K., Ishida, T., Tenderan, R., Seike, T., Kishiki, S., 12) Hasegawa, T., Iyama, J., Yagi, S., and Sakurada, S. : Experimental Study on Full Scale Steel Frame Considering Multiple Strong Earthquakes Part1,2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1187-1190, 2019. 10

## 4.1.3. 観察・計測方法の概要

生じた損傷について把握するため、载荷の各セット当たり最大 13 回、目視による無開口側と開口側の室外側、室内側の観察を行った。図 5 にある载荷履歴中の白丸が各観察のタイミングを示す。損傷発生のタイミングを正確に把握するため、壁面の写真撮影も観察ごとに行った。

また、パネルのロッキングと目地ズレを計測するために、変位計を取付けた。以下の図に、設置箇所を示す。

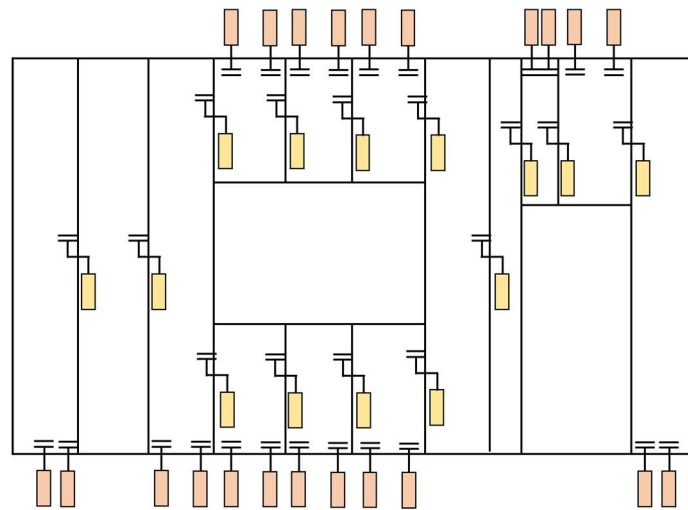


図 4-6 開口側の室外面に取り付けた変位計の配置

(黄色：パネル間の目地ズレ量の計測用、橙色：パネルのロッキング量計測用)

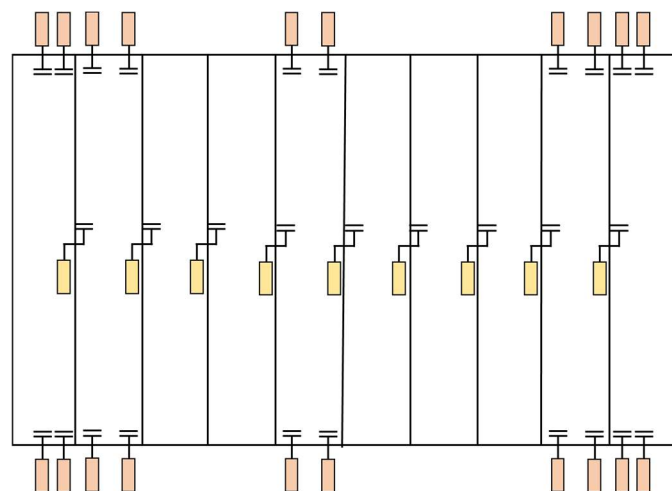


図 4-7 開口側の室外面に取り付けた変位計の配置

(黄色：パネル間の目地ズレ量の計測用、橙色：パネルのロッキング量計測用)

また、パネルの開口補強鋼材の変形量を計測するために、ひずみゲージとワイヤー変位計を開口補強鋼材に取付けた。以下の図に設置箇所を示す。

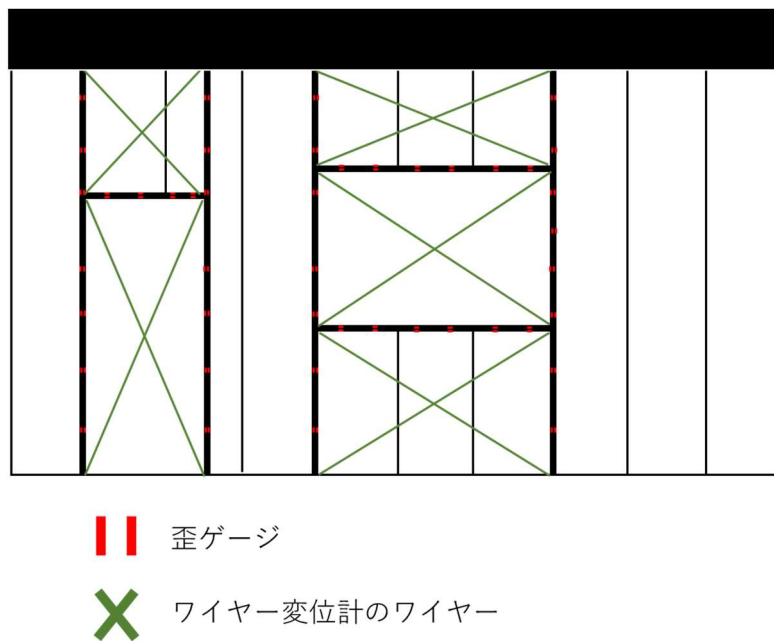


図 4-8 開口部周辺の計測器の配置



写真 4-2 室内側から見た開口部の様子（写真左：鋼製扉、写真右：引き違い窓）



窓と扉の開閉機能を把握するため、载荷の各セット当たり最大 17 回確認した。下の図にある各セットの载荷履歴中の灰色の丸のタイミングが開閉機能の確認をしたタイミングを示す。各確認時に、「簡単に開けることができる」、「力を入れれば充分に開けることができる」、「力を入れても充分に開けることができない」の指標で評価した。

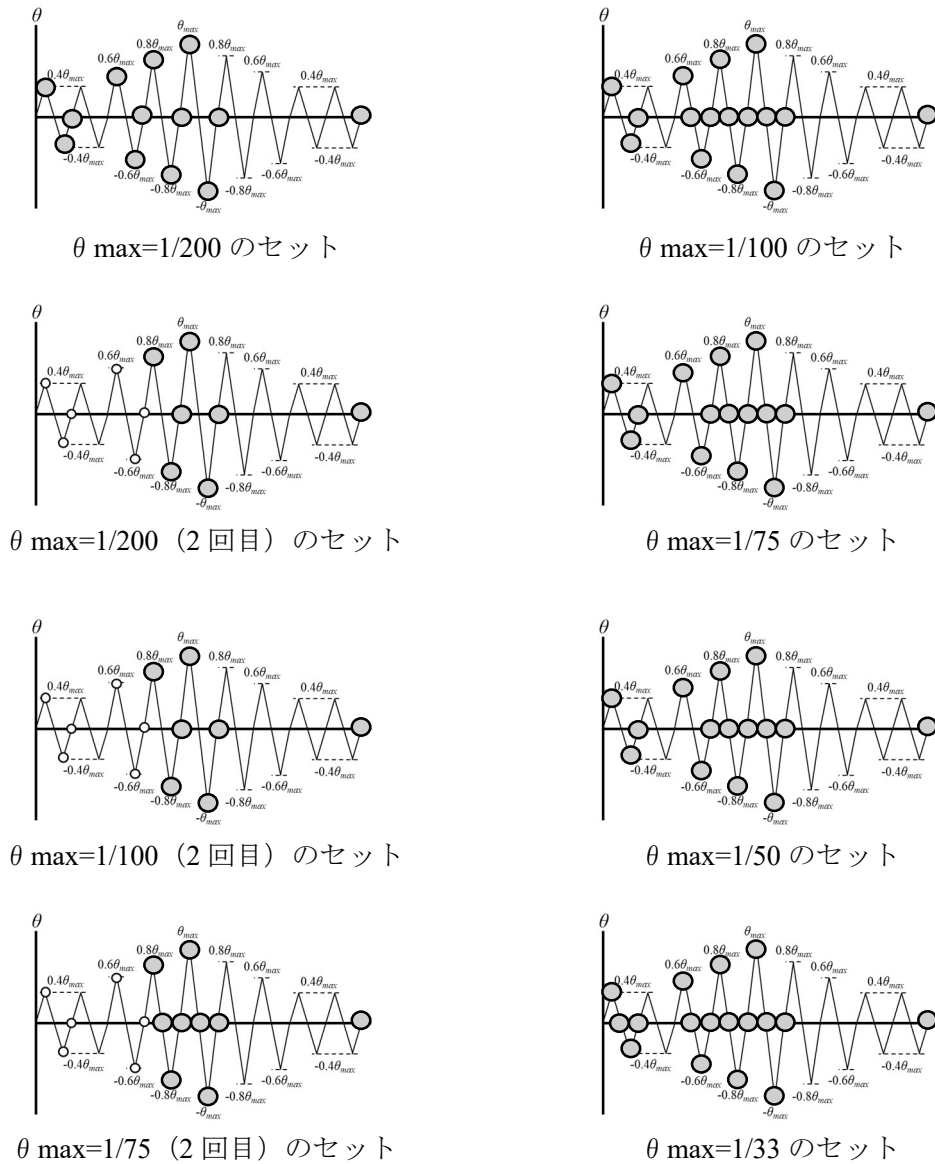


図 4-9 各セットにおいて開閉機能の確認をしたタイミング



## 4.2. 実験結果

4.2.1 では、実験で観察された損傷について、生じた場所と層間変形角ごとに説明する。

4.2.2 では、窓の開閉機能を確認した結果について説明する。

4.2.3 では、扉の開閉機能を確認した結果について説明する。

4.2.4 では、生じた場所と損傷が生じた時の層間変形角に着目し、損傷を整理する。整理した結果について述べる。

### 4.2.1. 実験で観察された損傷

生じた場所と層間変形角 ( $\theta_{\max}$  のセット) ごとに、実験で観察された損傷の説明をする。  
なお、損傷の横の数字は、付録 2-2 の損傷データシートの番号と一致する。

$\theta_{\max}=1/200$  における損傷の観察結果

・開口側（室外側）に生じた損傷

ドア枠の左側の縦材の上部でシールの剥がれが生じた。

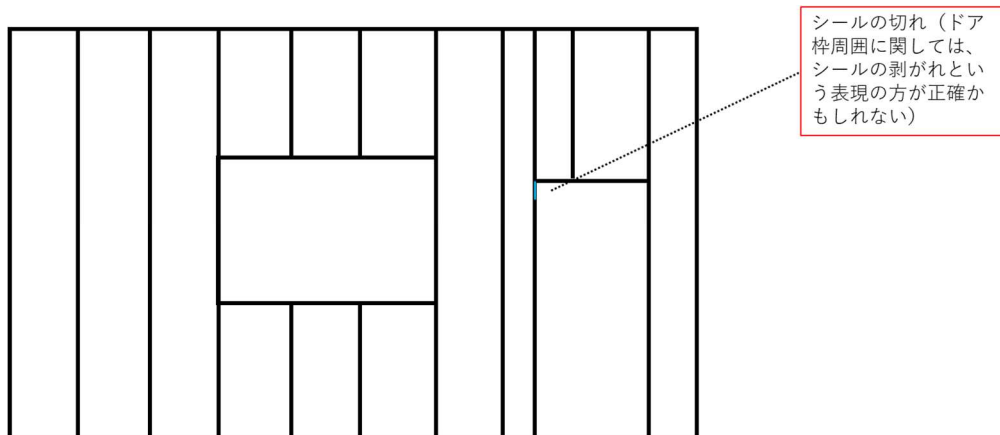


図 4-10 室外側における損傷の観察結果

・開口側（室内側）に生じた損傷

窓枠と扉枠廻りのモルタルにヒビが生じた。

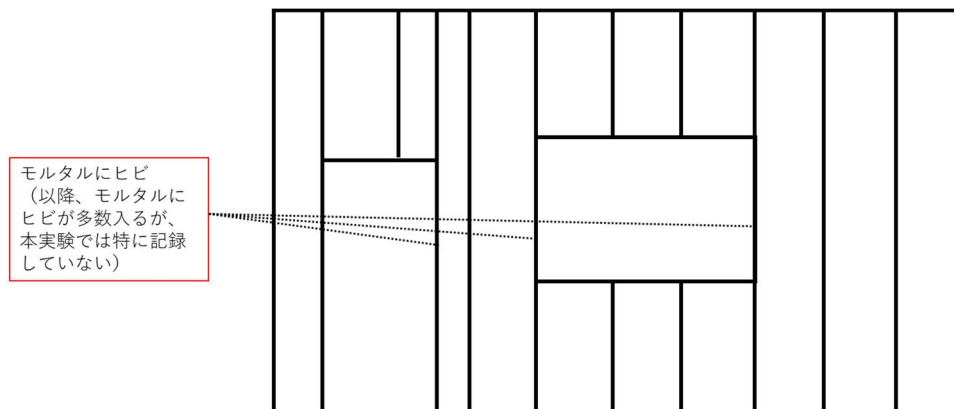


図 4-11 室内側における損傷の観察結果

・無開口側（室外側）に生じた損傷

左から 2 枚目のパネル底面で表面の剥がれが生じた。

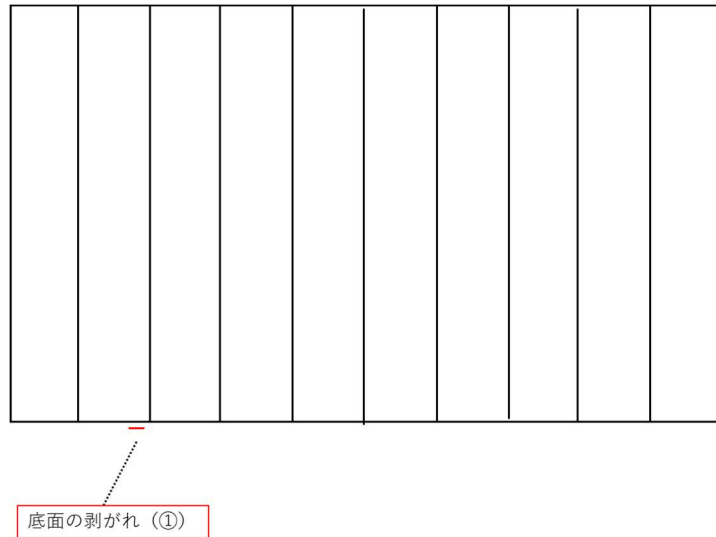


図 4-12 室外側における損傷の観察結果

・無開口側（室内側）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

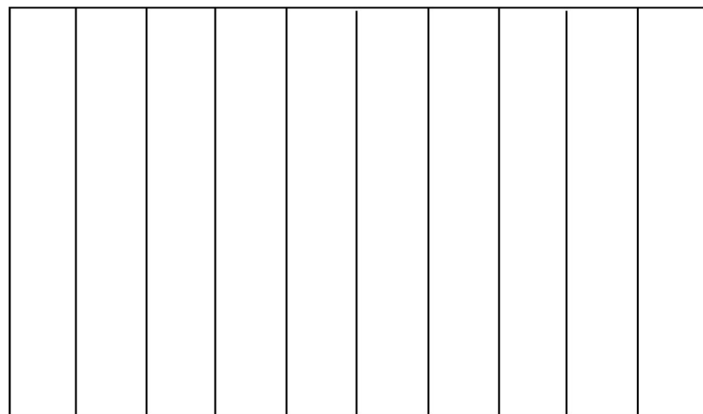


図 4-13 室内側における損傷の観察結果

$\theta_{\max}=1/100$  における損傷の観察結果

・開口側（室外側）に生じた損傷

ドア枠のシールの剥がれが進行した。また、左から 2 枚目、3 枚目のパネルの底面で表面の剥がれが生じた（いずれも 30mm 角、厚み 5mm 程）。

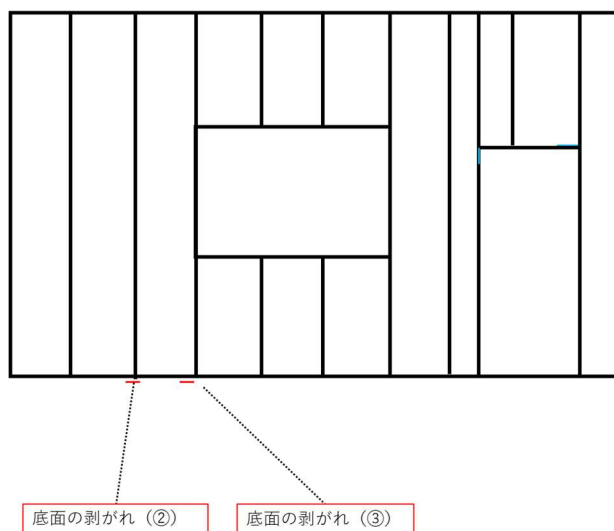


図 4-14 室外側における損傷の観察結果

・開口側（室内側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

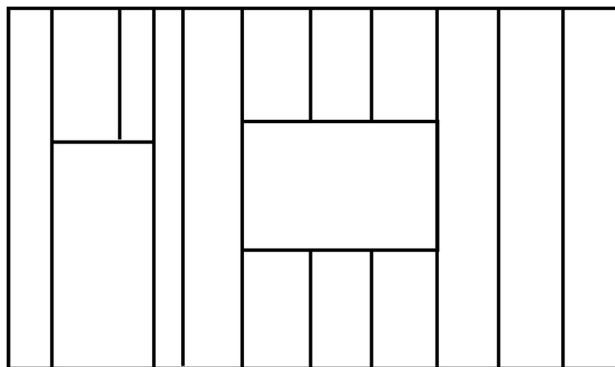


図 4-15 室内側における損傷の観察結果

・無開口側（室外側）に生じた損傷

パネル底面の剥がれが進行した。

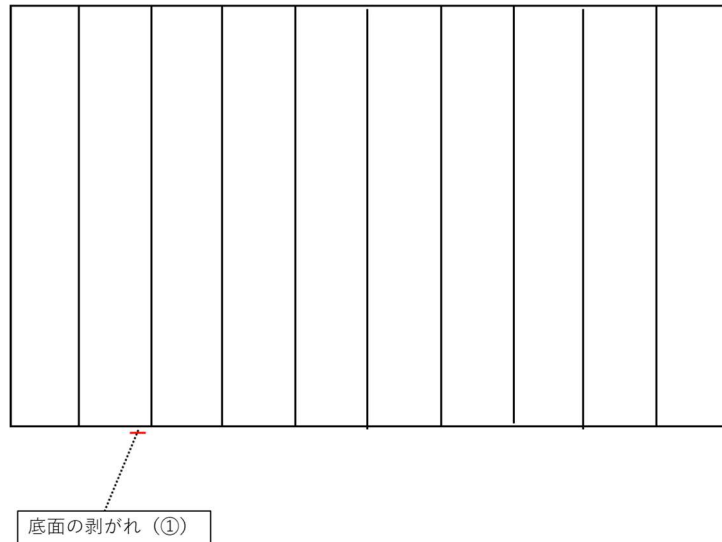


図 4-16 室外側における損傷の観察結果

・無開口側（室内側）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

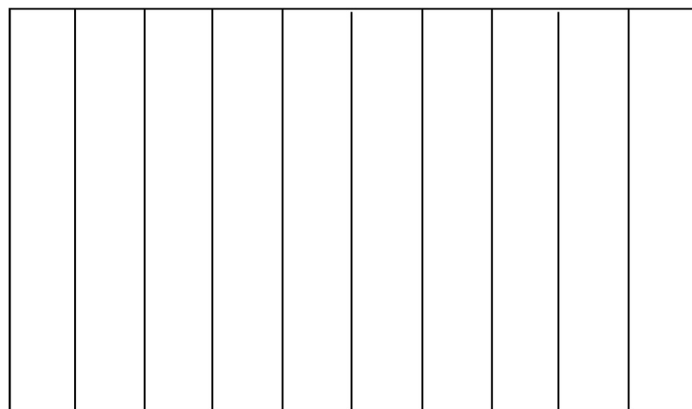


図 4-17 室内側における損傷の観察結果

$\theta_{\max}=1/200$ （2 回目）における損傷の観察結果

---

・開口側（室外側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

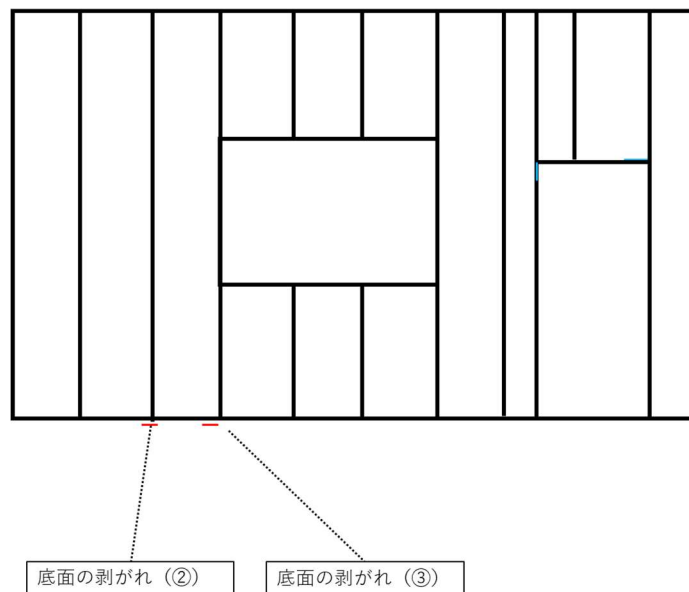


図 4-18 室外側における損傷の観察結果

・開口側（室内側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

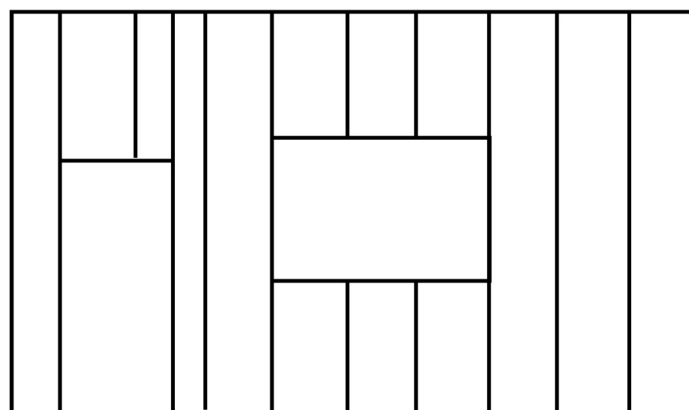


図 4-19 室内側における損傷の観察結果



・無開口側（室外側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

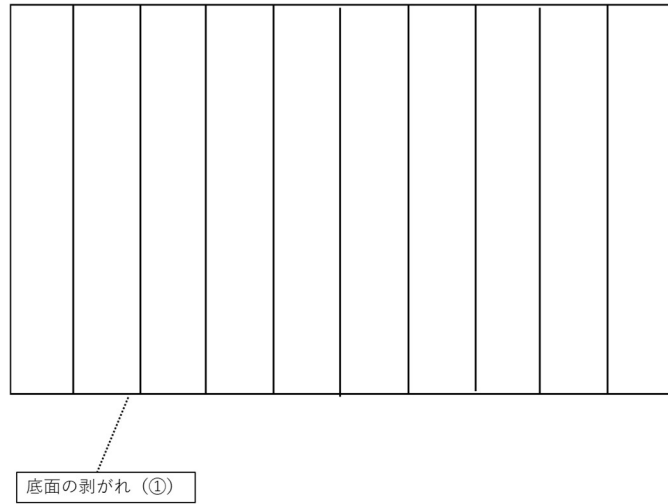


図 4-20 室外側における損傷の観察結果

・無開口側（室内側）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

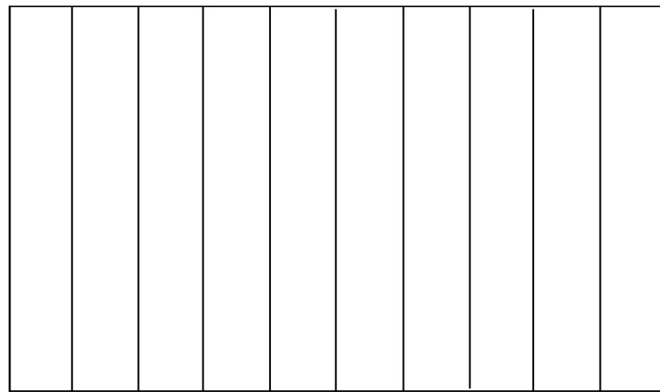


図 4-21 室内側における損傷の観察結果

$\theta_{\max}=1/75$  における損傷の観察結果

## ・開口側（室外側）に生じた損傷

ドア枠のシールの剥がれが進行した。左から 4 枚目、右から 3 枚目でパネル底面の数mm程度の凹みが生じた。

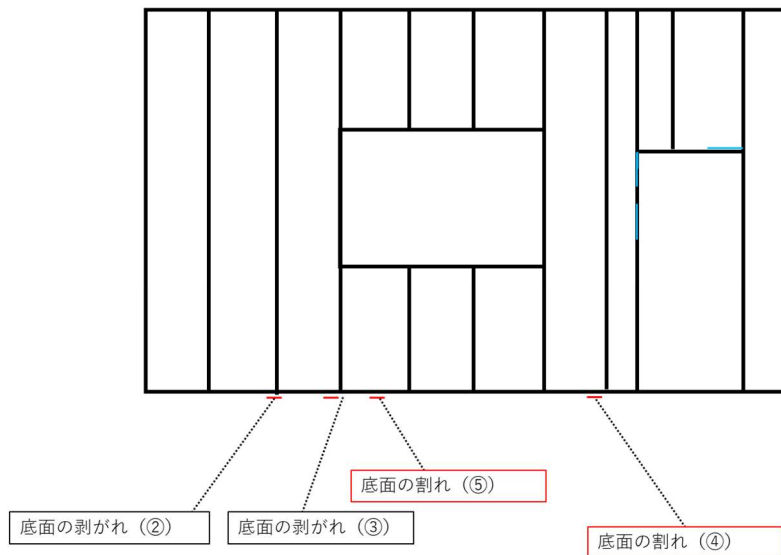


図 4-22 室外側における損傷の観察結果

## ・開口側（室内側）に生じた損傷

窓の上側にある水平方向の開口補強材の中央部分の裏で、パネルにひび(10mm ほど)が生じた。同様に、扉の上側にある水平方向の開口補強鋼材の中央部分の裏で、パネルにひび(10mm ほど)が生じた。いずれも目地部分の斜めに切り取られた部分に生じた。

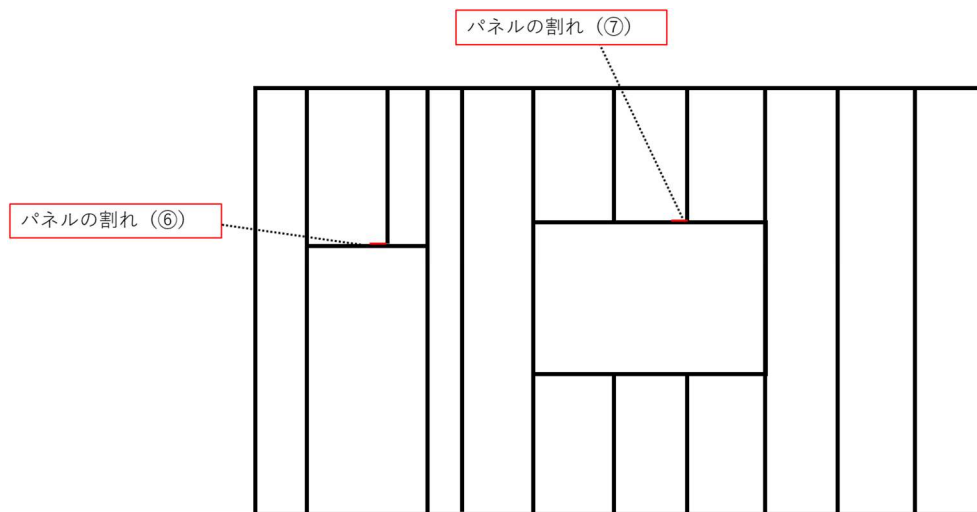


図 4-23 室内側における損傷の観察結果

・無開口側（室外側）に生じた損傷

右から3枚目と4枚目でパネル底面の表面の凹み（いずれも数 mm 程度）が確認された。

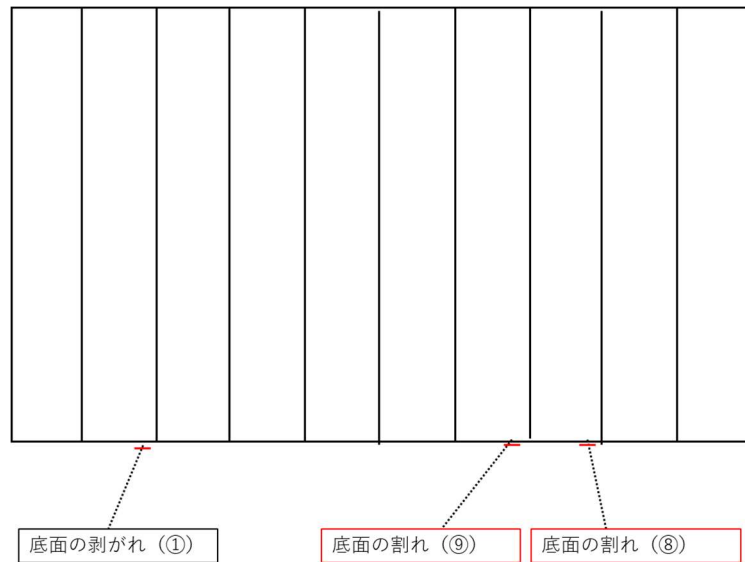


図 4-24 室外側における損傷の観察結果

・無開口側（室内側）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

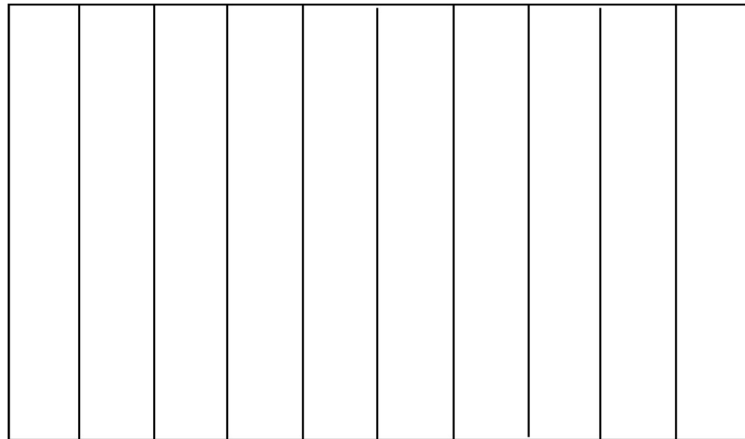


図 4-25 室内側における損傷の観察結果

$\theta_{\max}=1/100$  (2 回目) における損傷の観察結果

・開口側（室外側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

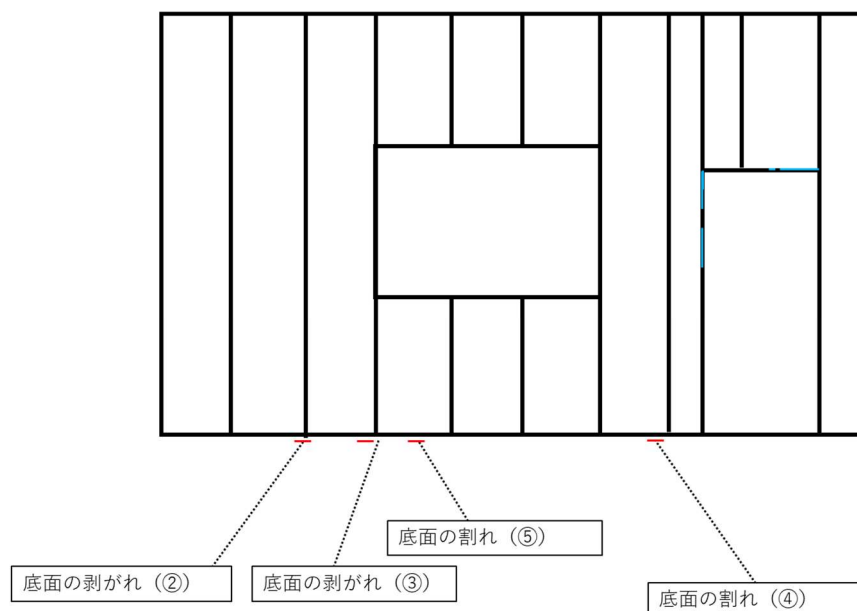


図 4-26 室外側における損傷の観察結果

・開口側（室内側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

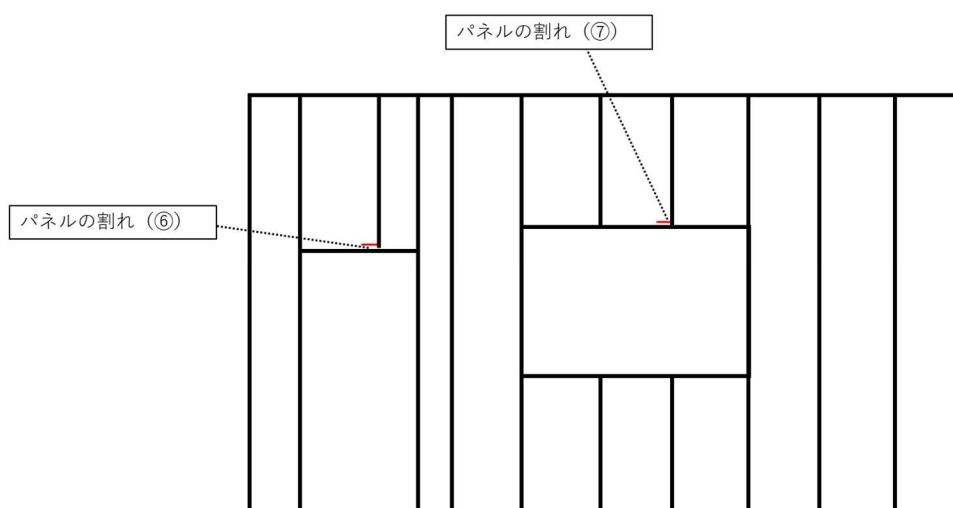


図 4-27 室内側における損傷の観察結果

・無開口側（室外側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった

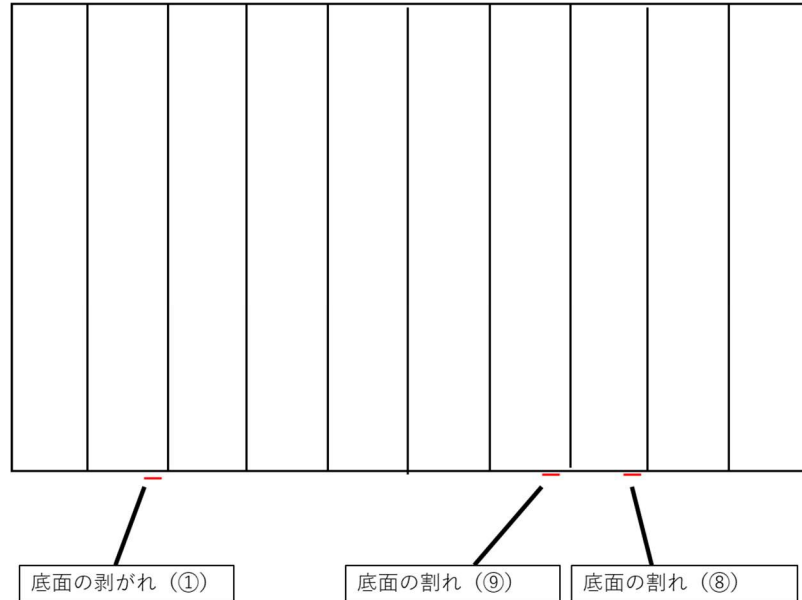


図 4-28 室外側における損傷の観察結果

・無開口側（室内側）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

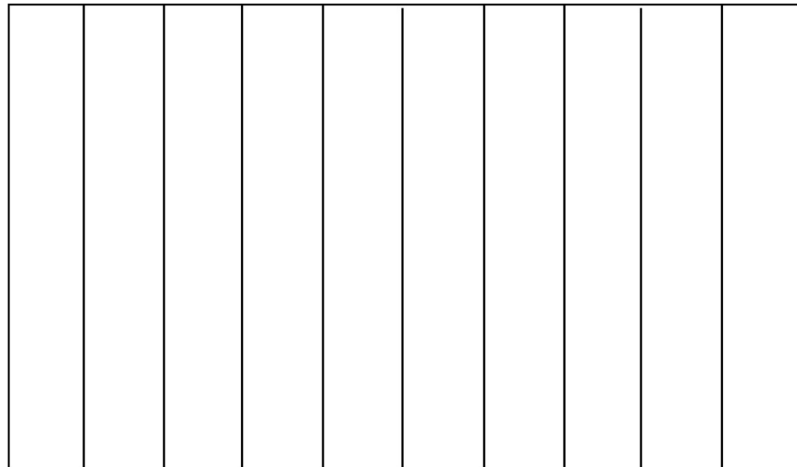


図 4-29 室内側における損傷の観察結果

### $\theta_{\max}=1/50$ における損傷の観察結果

#### ・開口側（室外側）に生じた損傷

右から 3 枚目、左から 3 枚目のパネルの底面の表面に新たな数 mm 程度の凹み（一部砕けていた）が生じた。ドア枠廻りのシールの剥がれも進行が見られ、右側の上部にまで達していた。窓の上にある中央のパネルに、水平方向に横断するヒビが生じた。特に右下コーナー部のヒビは幅 10mm 程までに開いた。窓の下にある左側のパネルのコーナー部分に L 字型のヒビが生じた。まだ、窓ガラスの右下部コーナーより長さ 100mm 程のヒビが生じた。右下端部のモルタル止めの溶接が切れた。

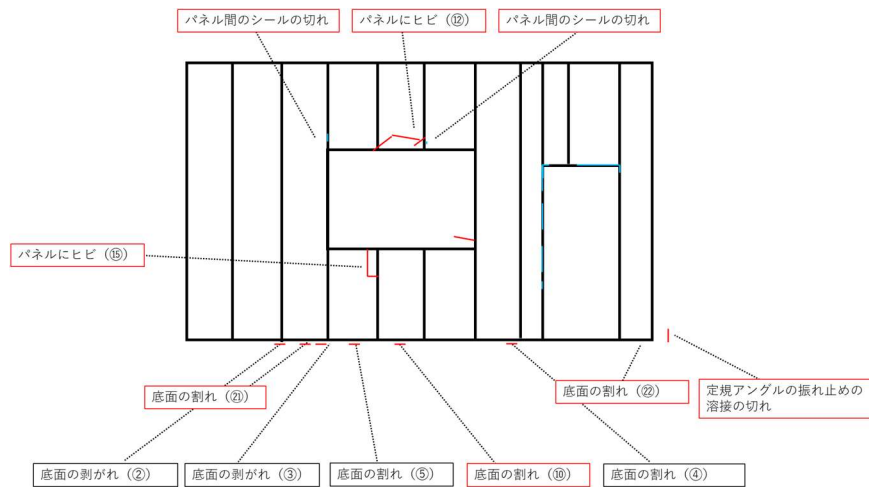


図 4-30 室外側における損傷の観察結果

#### ・開口側（室内側）に生じた損傷

窓の上部にある水平方向の開口補強材の左端部の裏で、パネルにヒビ (300mm ほど) が生じた。また、窓の上下それぞれにある中央のパネルにヒビが生じた。いずれも取付金物から生じていた。開口補強材自体も、窓の左上、右上および左下で、水平材と鉛直材を留めていた溶接に切れが確認された。

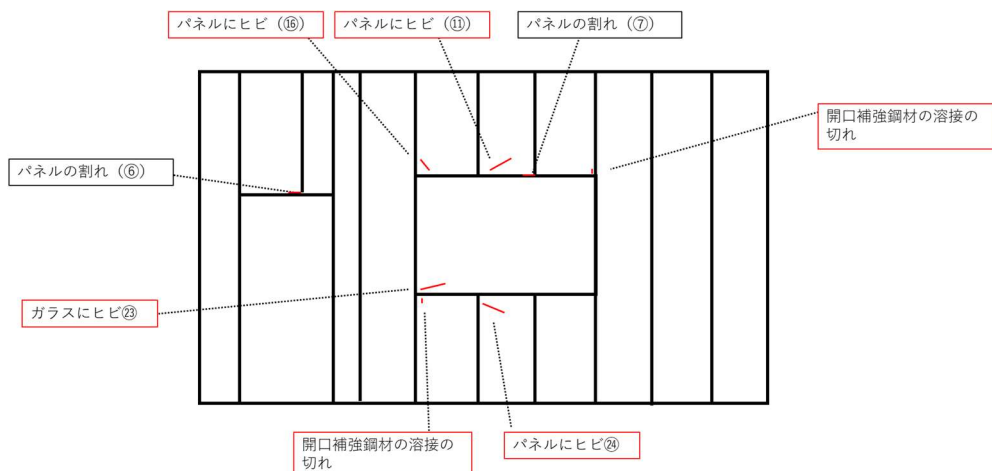


図 4-31 室内側における損傷の観察結果

#### ・無開口側（室外側）に生じた損傷

左から 4 枚目、右から 2 枚目と 3 枚目のパネルの底面の表面に数mm程度の凹み（一部碎けていた）が生じた。また、上下左右端部にあるモルタル止めの溶接が切れた。

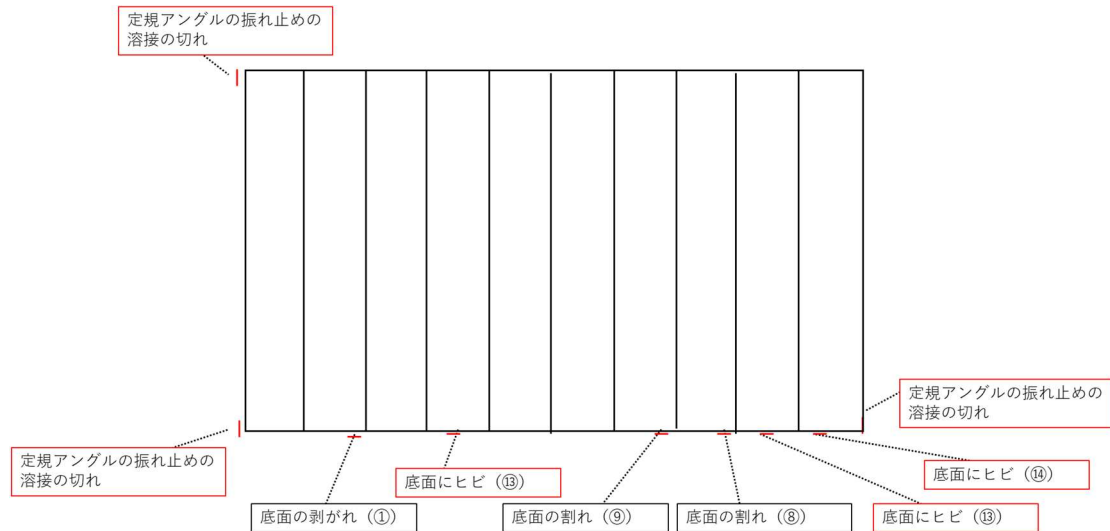


図 4-32 室外側における損傷の観察結果

#### ・無開口側（室内側）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

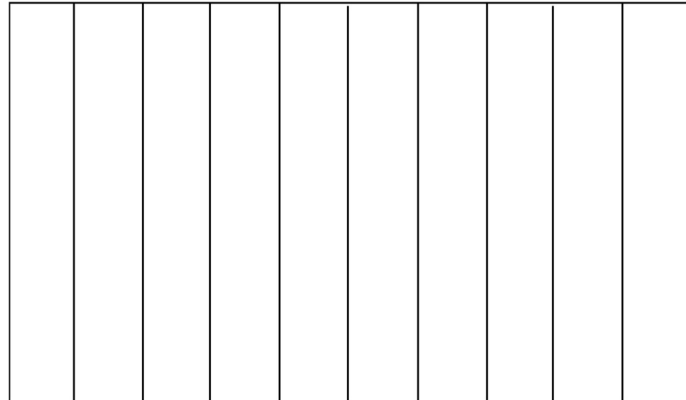


図 4-33 室内側における損傷の観察結果

$\theta_{\max}=1/75$ （2 回目）における損傷の観察結果

・開口側（室外側）に生じた損傷

右から 5 枚目のパネル底面の表面に剥がれが生じた。

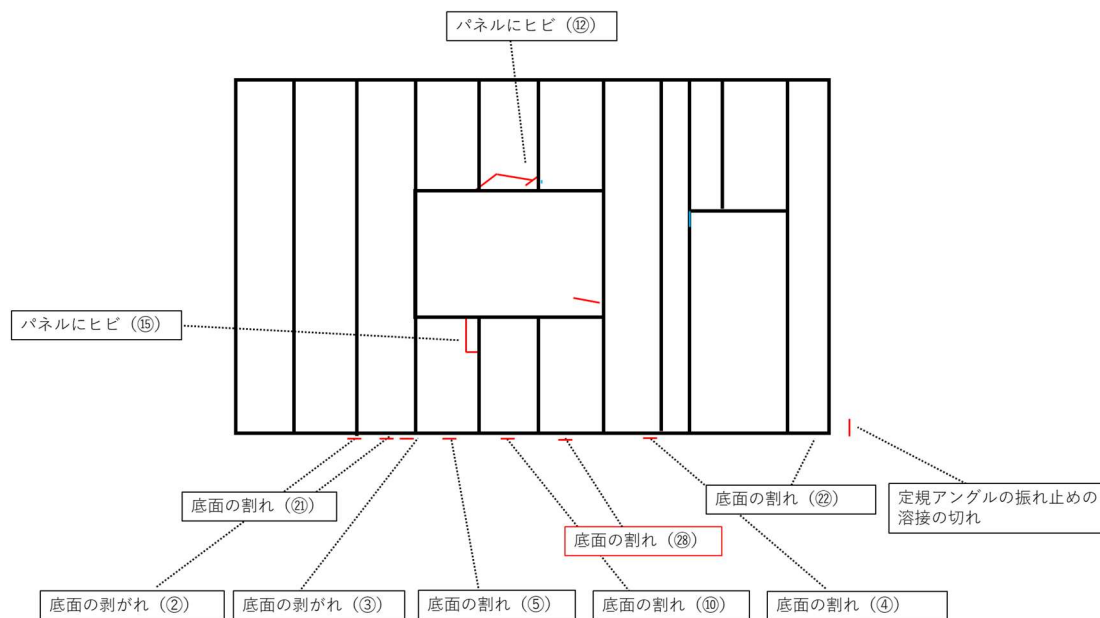


図 4-34 室外側における損傷の観察結果

・開口側（室内側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

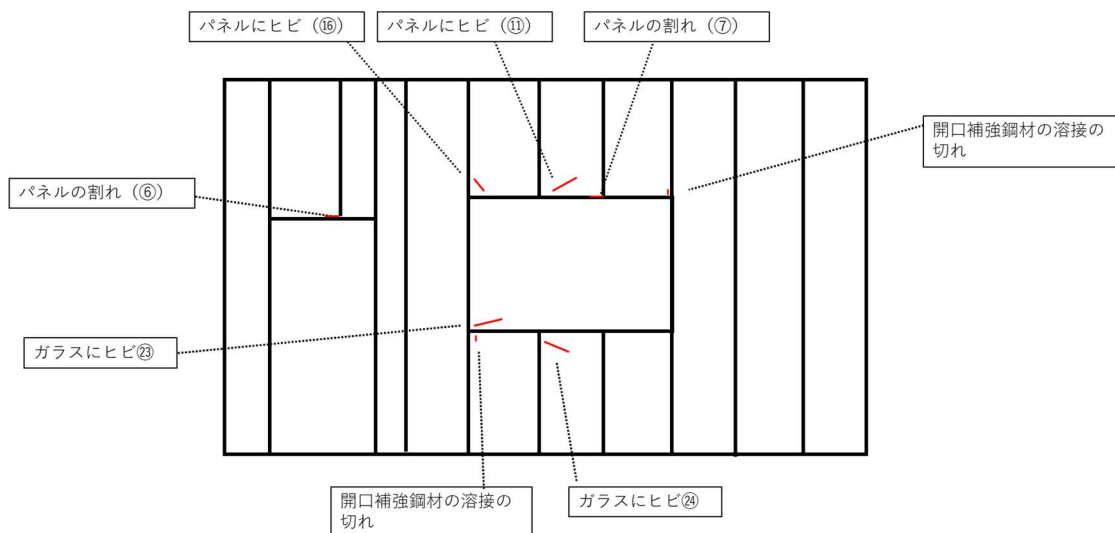


図 4-35 室内側における損傷の観察結果



・無開口側（室外側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

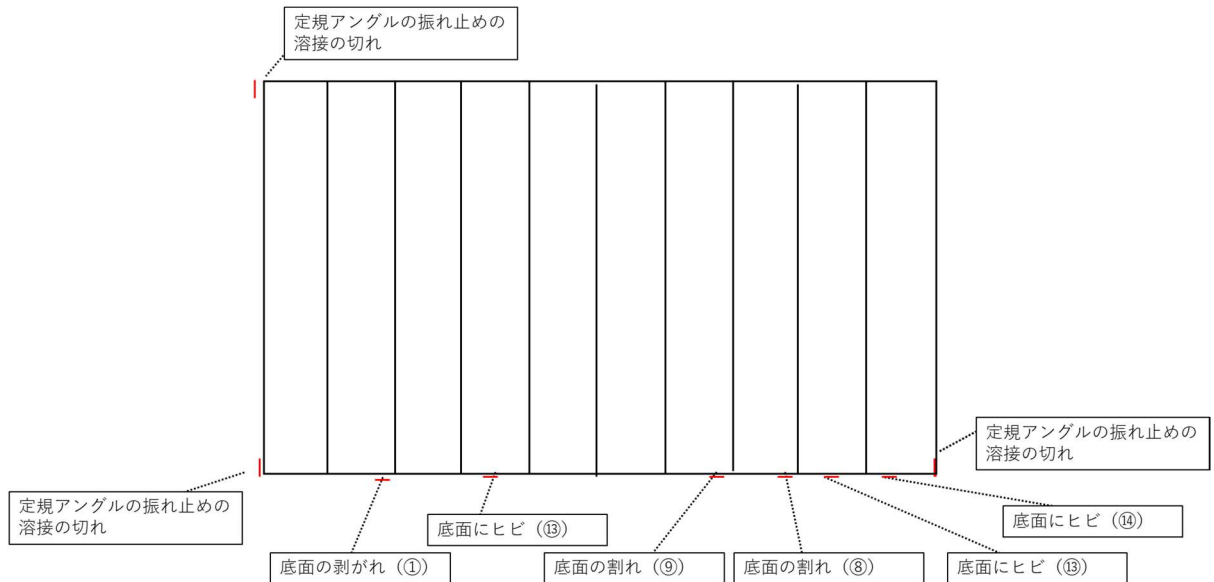


図 4-36 室外側における損傷の観察結果

・無開口側（室内側）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

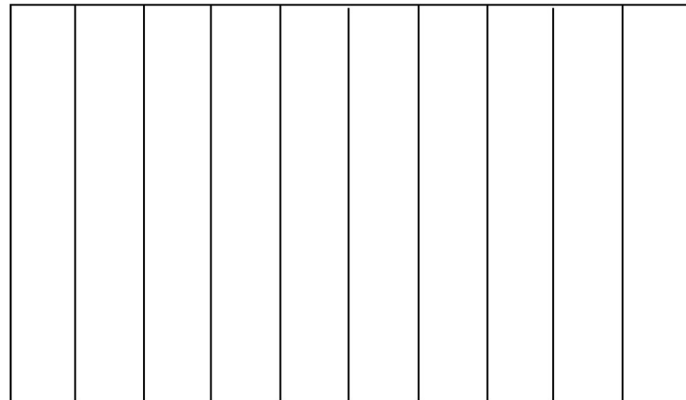


図 4-37 室内側における損傷の観察結果

$\theta_{\max}=1/33$  における損傷の観察結果

## ・開口側（室外側）に生じた損傷

窓の上下にあるパネル 6 枚全てにヒビが生じた。ほぼすべてのヒビが窓周りから生じていたが、右上のパネルのみ頂部において水平方向に生じていた。右隣のパネルにも同様のひび割れが生じ、長さ 200mm ほどの破片がシール材で躯体に取り付いている状態になった。扉の左側にあるパネルの左下コーナーには斜めに横断するようなヒビが生じ、扉の上側にあるパネルの左下コーナー部にも斜め方向にヒビが生じた。また、扉と窓の間にあるパネルの中央部分にも、目地部分よりヒビが入っているのが近距離から観察した際に確認できた。また、扉の枠のうち、左上コーナーで、水平材と鉛直材の接合部分に破断が見られ、数mm程度ずれが生じていた。左下のモルタル止めでは、他のモルタル止めの切れ方とは違って、2カ所で切れが生じていた。

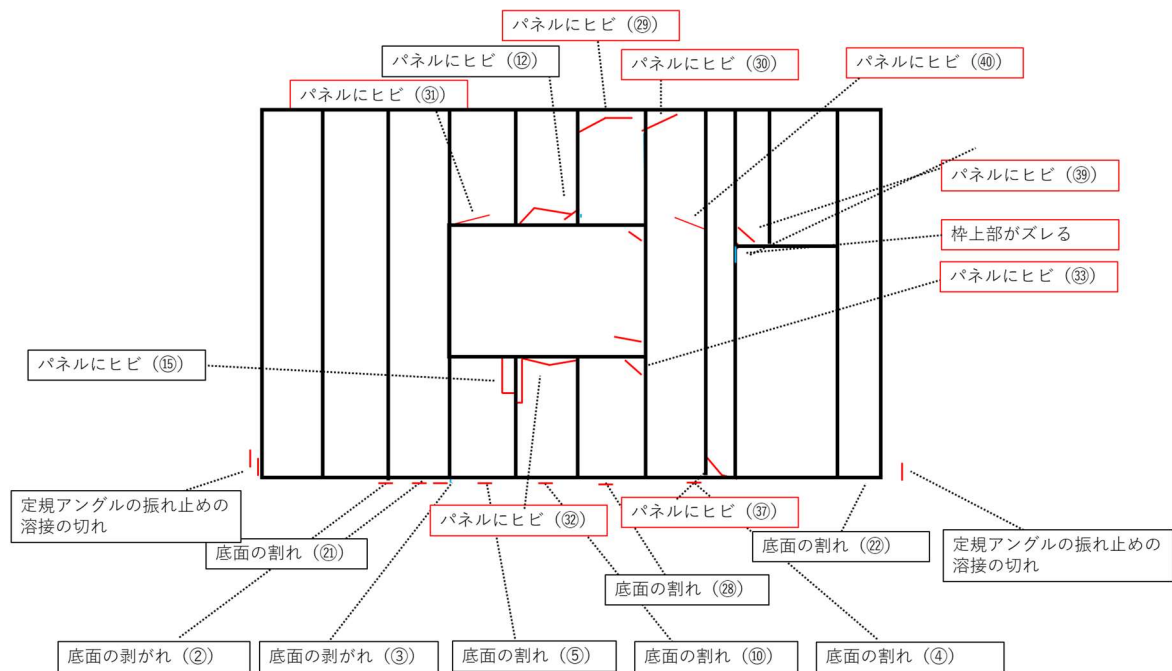


図 4-38 室外側における損傷の観察結果

### ・開口側（室内側）に生じた損傷

窓の右上および下の 3 枚のパネルにヒビの進行および新しいヒビの発生が確認された。中央のパネルは取付金物から生じていたが、端部のパネルは外側のコーナー部に生じていた。ガラスに左上コーナーに 20 mm 程の新しいヒビが生じていた。窓の中央下部分ではガラスを固定するシールに 50mm 程の切れが生じていた。また、窓枠の右上部分の水平材と鉛直材を固定している箇所では、水平材の端部が折れ曲がる損傷が生じていた。窓枠の他のコーナー部でも、水平材と鉛直材の間に数 mm 程度の隙間が生じていた。

扉のほうでも、右側にある開口補強鋼材において、鉛直材と水平材の接合部分の溶接の切れが生じており、同箇所ではパネルのひび割れも生じていた。また、同じ開口補強材の頂部で、鉄骨との接合部分で溶接の切れが確認された。

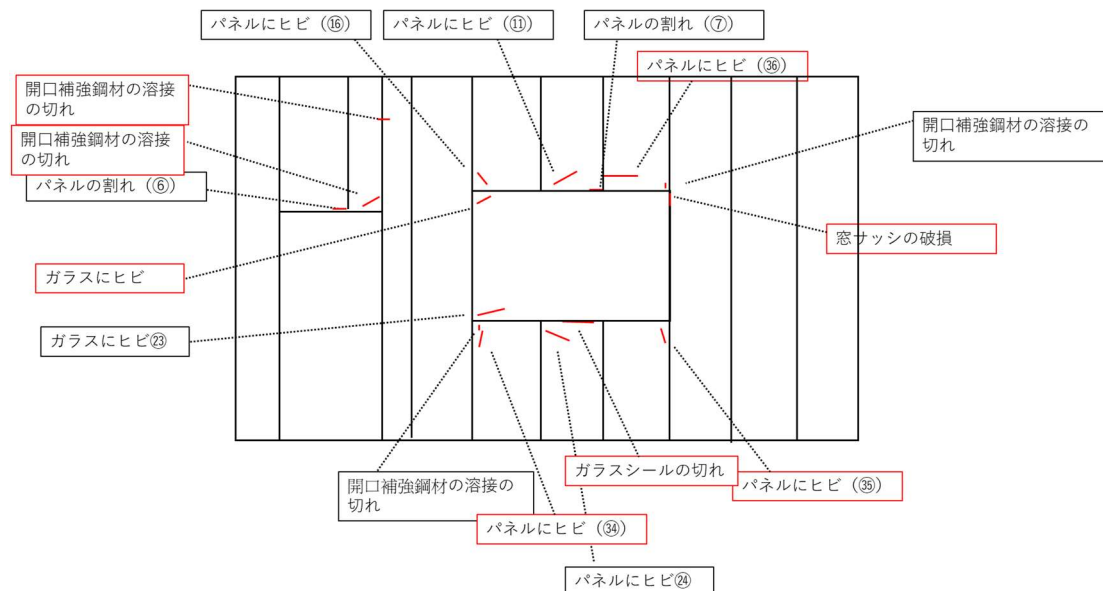


図 4-39 室内側における損傷の観察結果

・無開口側（室外側）に生じた損傷

特に変化は見られなかった。

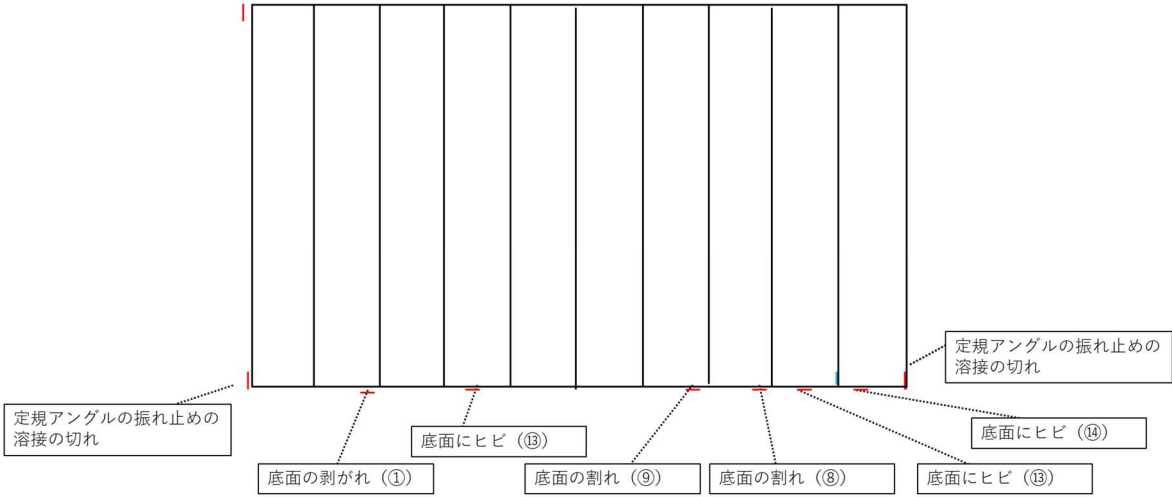


図 4-40 室外側における損傷の観察結果

・無開口側（室内側）に生じた損傷

特に損傷は見られなかった。

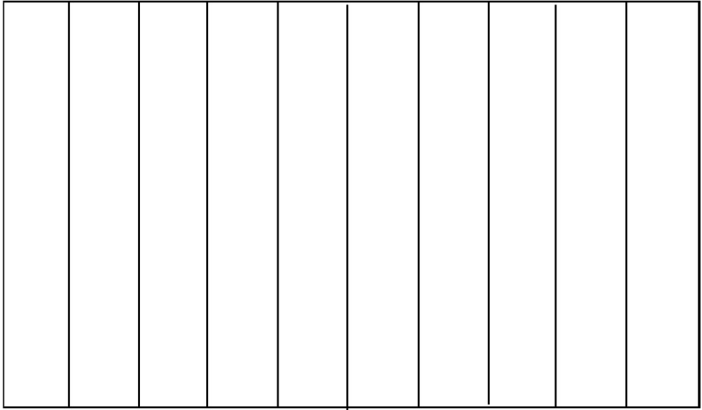
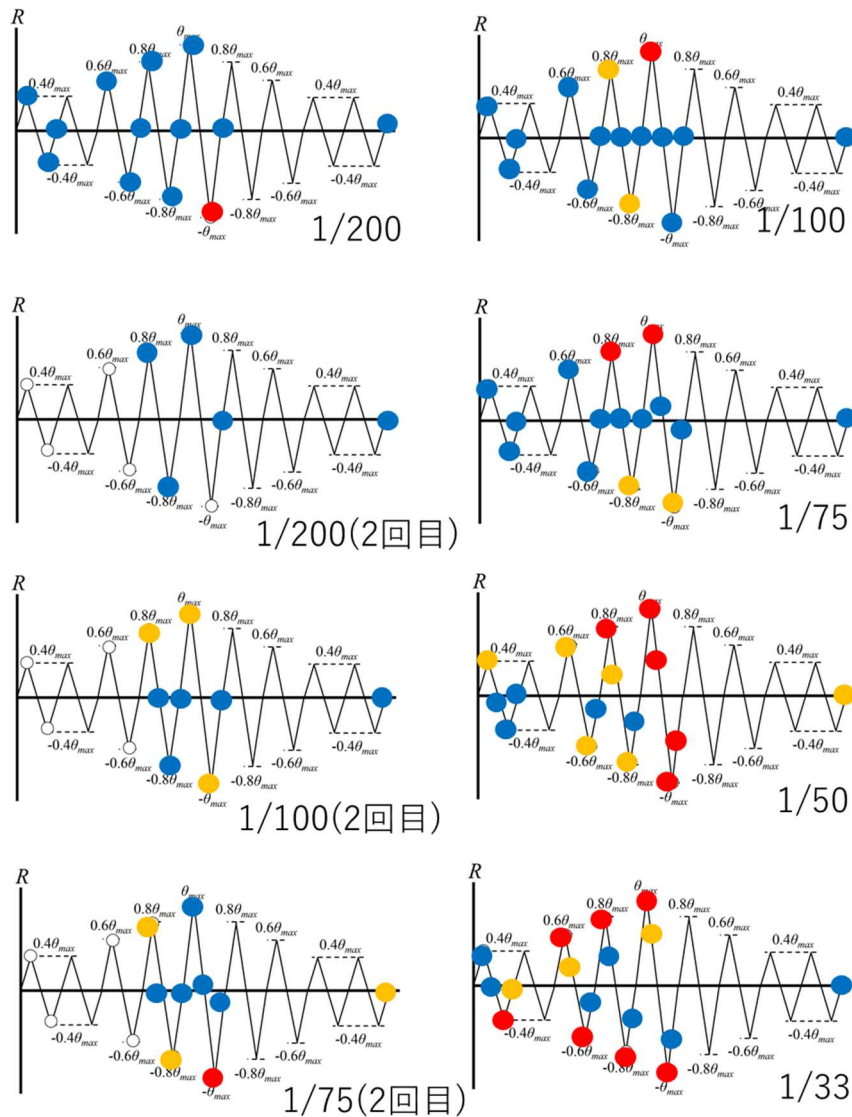


図 4-41 室内側における損傷の観察結果

## 4.2.2. 窓の開閉機能の確認結果

窓の開閉機能を把握するため、载荷の各セット当たり最大 17 回により確認した。各確認時に実際に開閉してみることで、開閉機能について「簡単に開けることができる」、「力を入れれば充分に開けることができる」、「力を入れても充分に開けることができない」の指標で評価した。

図 4-42 に確認結果を示す。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 4-42 窓の開閉機能の確認結果

またに図 4-43 確認結果を躯体の荷重変形曲線状にプロットしたもの、  
図 4-44 に確認結果を開口補強鋼材の荷重変形曲線状にプロットしたものを示す。

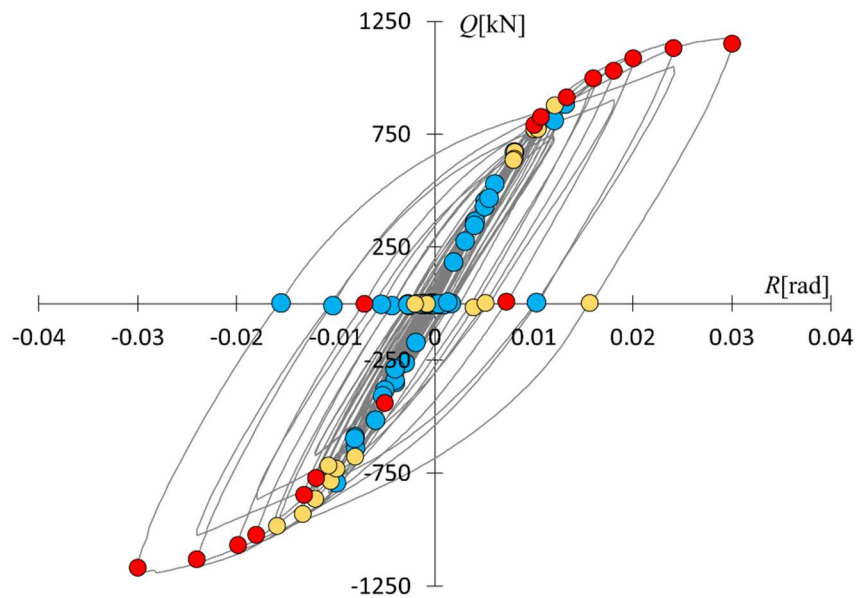
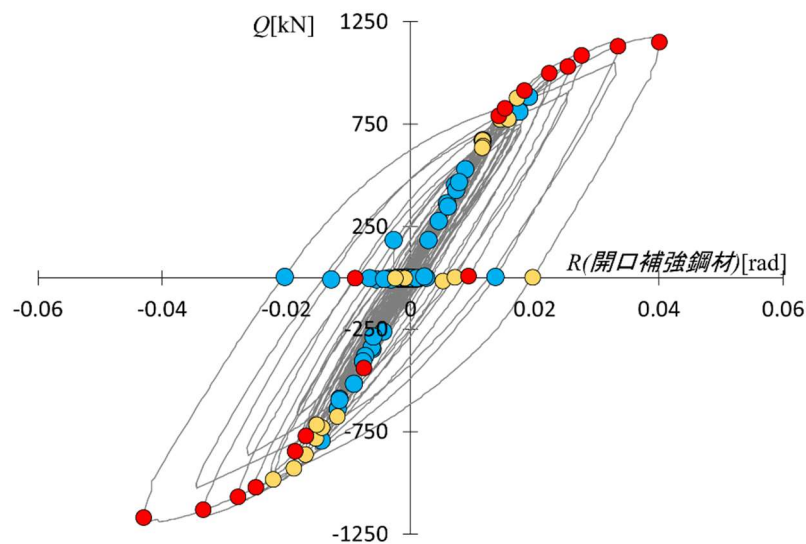


図 4-43 躯体の荷重変形曲線状にプロットした窓の開閉機能の確認結果



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 4-44 開口補強鋼材の荷重変形曲線状にプロットした窓の開閉機能の確認結果

---

窓の開閉機能の低下に関する考察

---

層間変形角-1/200 時に、初めて窓が開かなくなった。以降、より大きい層間変形角を与えた時には開閉機能が低下することが確認できた。躯体の層間変形が 1/100 以上になると、殆どの場合で開閉機能の低下が確認された。図 4-44 より開口補強鋼材も躯体と概ね同じ挙動を示し、やはり変形が 1/100 以上になると開閉機能が低下することが分かった。

層間変形により、窓の開口補強鋼材が変形し、結果として窓枠が歪んだことが、窓の開閉機能を低下させた原因であると考えられる。窓枠が歪んだことにより、障子がずれてクレセント錠が開かなくなったこと、障子が十分に水平移動できなくなったことが確認時に観察された。また、障子の面外への脱落を防止するために取り付けられたストッパーが、水平移動の不可を大きく左右させたと考えられた。ストッパーが中央にある時は、層間変形 1/200 であっても開閉が困難となったが、ストッパーが端によっていれば、層間変形が 1/75 であっても開閉可能であった。

なお、本研究では以降、クレセント錠の機能不良やストッパーによる影響を全て含め、以上の損傷を総じて、「窓の開閉機能の低下」として扱う。

層間変形角を繰り返し与えると、同じ層間変形角に対し、開閉機能が上がる事が分かった。これは、また、窓枠に残留変形もしくは損傷が生じたことが影響している可能性がある。(層間変形角 1/33 のセットで 60% 載荷後の除荷時、100% 載荷後の除荷時には力を入れなければ開けられなかったが、枠の歪みが目視で観察された 80% 載荷後の除荷時には問題なく開いた。)

また、図 4-44 に示すよう開口補強鋼材に残留変形が生じたことも原因と考えられる。ただし、開口補強鋼材に残留変形が生じたことにより、躯体の変形を強制的に 0 に戻しても、開閉機能が低下したままの場合もあった。

実際に避難するときは、地震が収まった後であり、実験でいう荷重が 0 の時に相当する。このときに残留変形が 1/100 以上残っている場合、窓の開閉機能が低下していることが考えられる。図 4-45 の曲線を見ると、荷重が 0 の時に残留変形が 1/100 以上残っているのは、層間変形角 1/33 の±80% (約 1/41) 以上の層間変形角を与えた後であることがわかる。実際、該当する除荷時において開閉不良が生じていた。

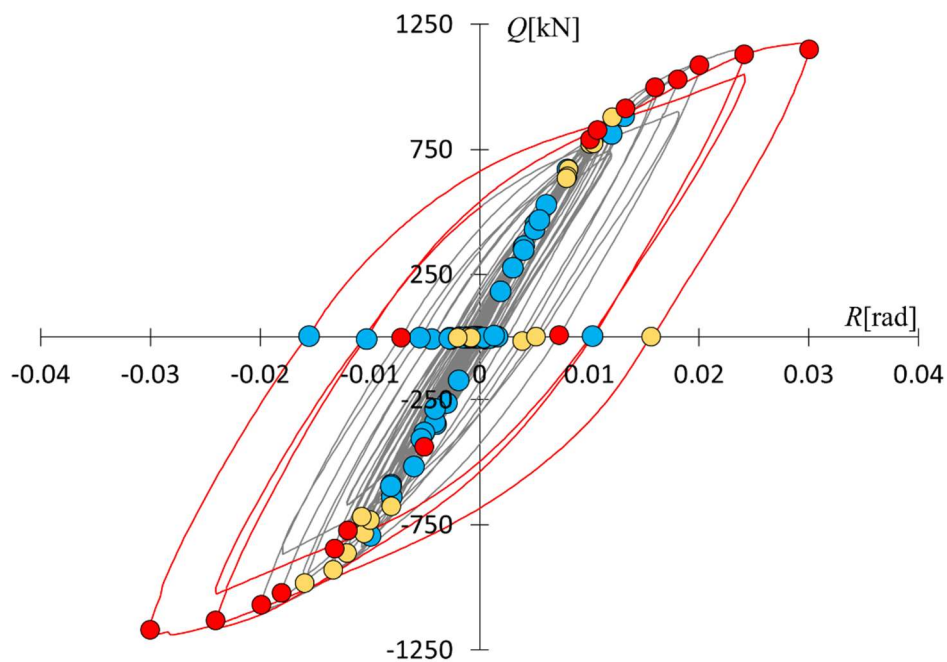


図 4-45 躯体の荷重変形曲線状にプロットした窓の開閉機能の確認結果  
(赤線は層間変形角  $1/33$  の  $\pm 80\%$  載荷、 $\pm 100\%$  載荷時を示す)



## 4.2.3. 扉の開閉機能の確認結果

扉の開閉機能を把握するため、载荷の各セット当たり最大 17 回、人力により確認した。各確認時に、開閉機能について、「簡単に開けることができる」、「力を入れれば充分に開けることができる」、「力を入れても充分に開けることができない」の指標で評価した。図 4-46 に確認結果をついて示す。

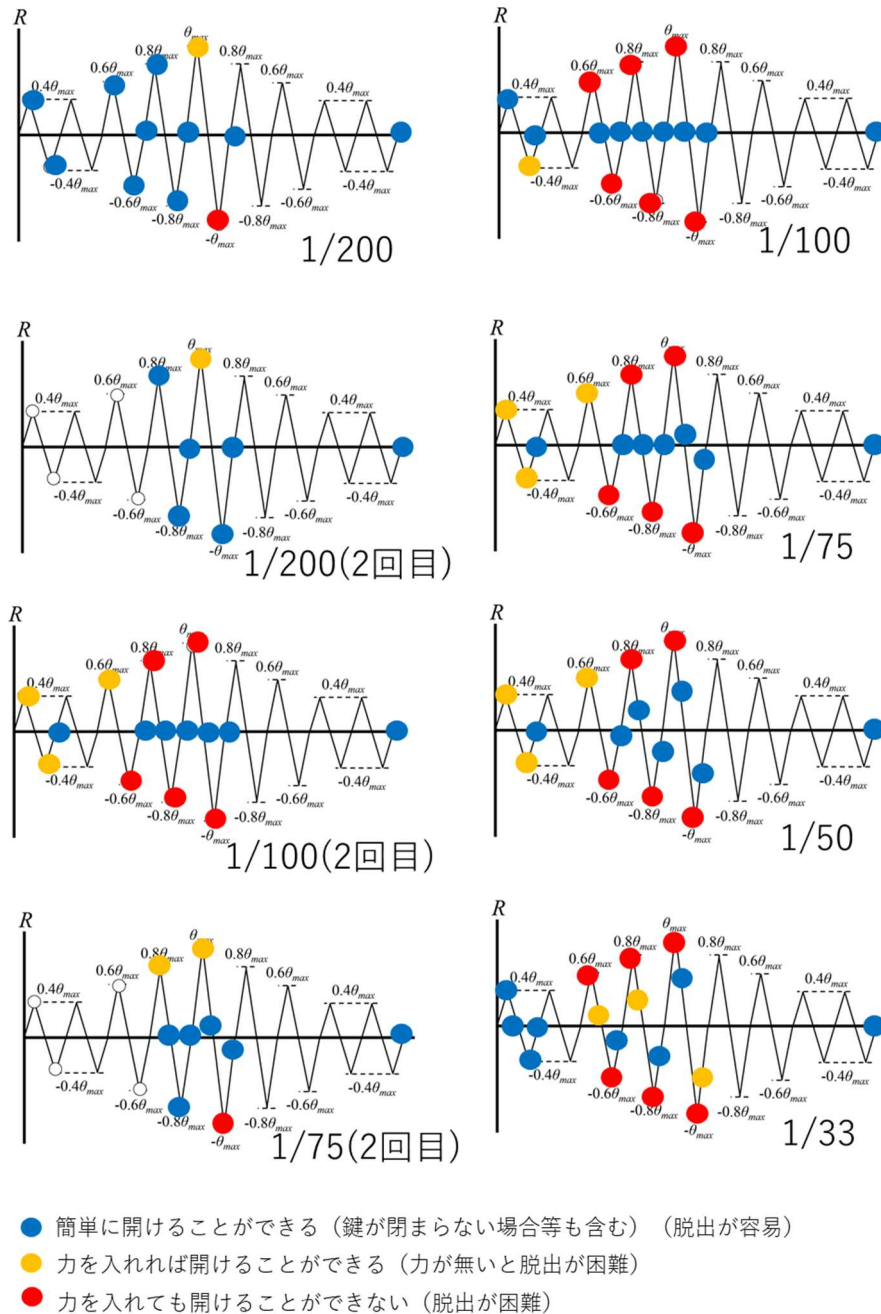


図 4-46 扉の開閉機能の確認結果

また、図 4-47 に確認結果を躯体の荷重変形曲線状にプロットしたもの、  
図 4-48 に確認結果を開口補強鋼材の荷重変形曲線状にプロットしたものを示す。

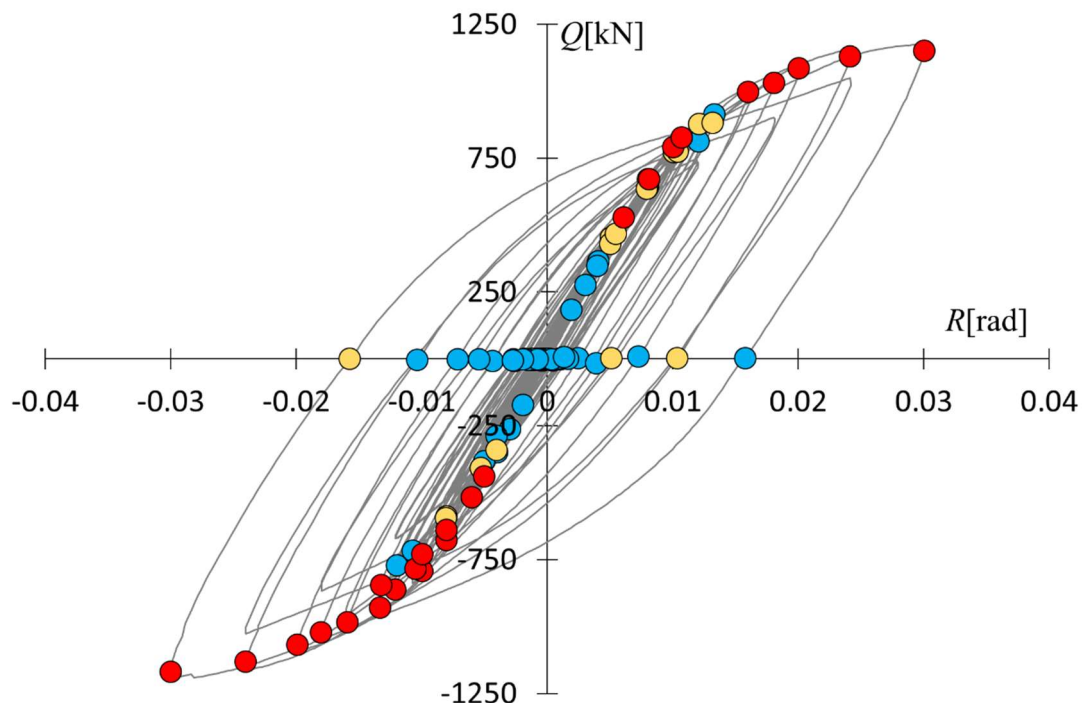
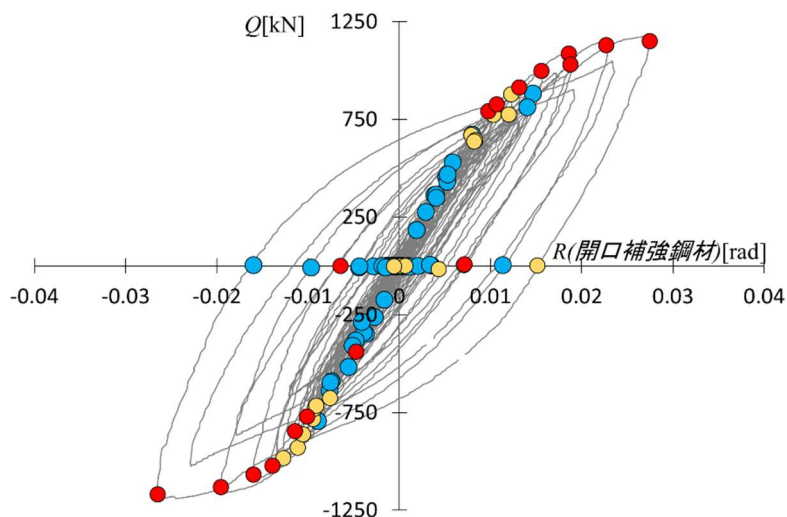


図 4-47 躯体の荷重変形曲線状にプロットした扉の開閉機能の結果



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 4-48 開口補強鋼材の荷重変形曲線状にプロットした扉の開閉機能の結果

---

### 扉の開閉機能の低下に関する考察

---

層間変形角-1/200 時に、初めて窓が開かなくなった。以降、より大きい層間変形角を与えた時には開閉機能が低下することが確認できた。躯体の層間変形が 1/200 以上になると、殆どの場合で開閉機能の低下が確認された。

層間変形により、扉の開口補強鋼材が変形し、結果として扉枠が歪んだことが、窓の開閉機能を低下させた原因であると考えられる。扉枠が歪んだことにより、扉が枠に押し付けられ開けられなくなったこと、ノブのツメが穴の底面に押し付けられノブが回らなくなったこと、鍵のツメが穴の底面に押し付けられ鍵が回らなくなったことが確認時に観察された。ただし、ノブや鍵が機能しなかったことで扉の開閉ができなかった事態も生じたが、もし機能していたとしても、扉が枠に強く押し付けられており、開閉はできなかったということが、全体の傾向から考察される（詳しくは付録の 1-4 参照）。

なお、本研究では以降、ノブや鍵の機能不良による影響などを全て含め、以上の損傷を総じて、「扉の開閉機能の低下」として扱う。

層間変形角を繰り返し与えると、同じ層間変形角に対し、開閉機能が上がるということが分かった。これは、図 4-48 に示されるように、開口補強鋼材に残留変形が生じたことが原因と考えられる。

また、扉枠に残留変形もしくは損傷が生じたことも寄与している可能性がある。（層間変形角 1/33 のセットで 60% 載荷後の除荷時、80% 載荷後の除荷時には力を入れなければ開けられなかったが、枠の破断が観察された 100% 載荷後の除荷時には問題なく開いた。）

実際に避難するときは、地震が収まった後であり、実験でいう荷重が 0 の時に相当する。このときに残留変形が 1/200 以上残っている場合、窓の開閉機能が低下していることが考えられる。図 4-49 の曲線を見ると、荷重が 0 の時に残留変形が 1/200 以上残っているのは、層間変形角 1/50 の±80%（約 1/63）以上の変形を与えた後であることがわかる。実際、該当する除荷時で開閉不良が生じている。

これは稀に起きる地震に対して、この扉が開かなくなる可能性があることを意味する。忠、参考までに、JIS A 4702 で、扉の面内変形追従性は、等級ごとに 1/300, 1/150, 1/120 の面内変形角まで扉が開かなければならないと定められている。つまり本実験で観察した扉のように層間変形角 1/200 で開かなくなることは、不適格であるわけではないことを述べておく。

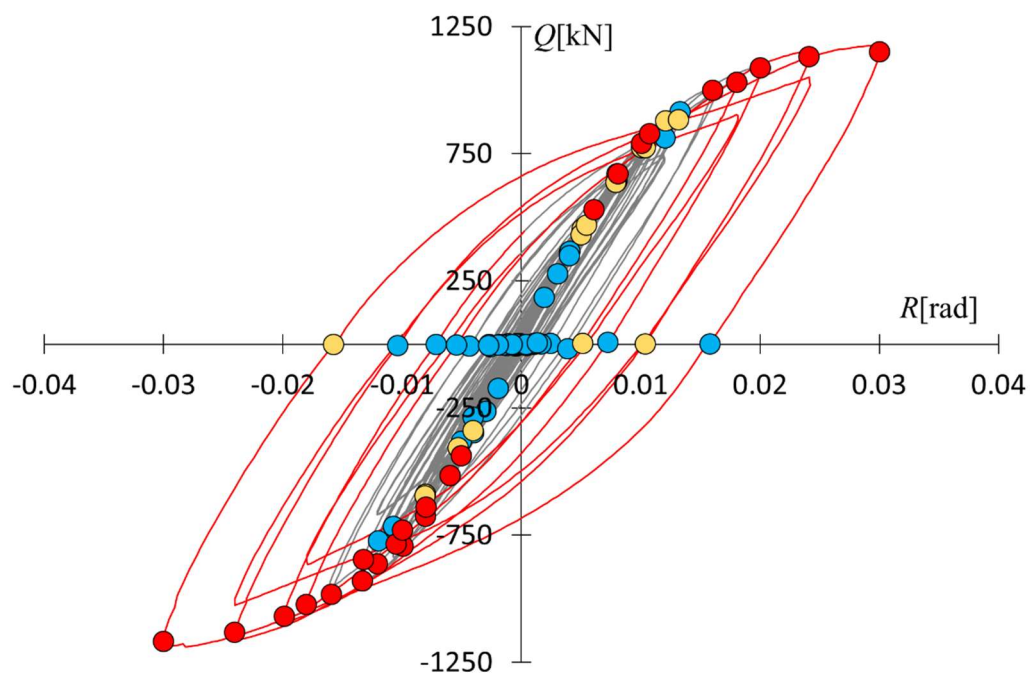


図 4-49 開口補強鋼材の荷重変形曲線状にプロットした扉の開閉機能の結果  
(赤線は層間変形角 1/50 の±80%載荷, ±100%載荷と 1/33 の±80%載荷, ±100%載荷を示す)



### 4.2.4. 実験で観察された損傷のまとめ

一般的な壁、特殊な部位を含む壁を持つ試験体に対して、1/33 という大変形時まで再現するような力を与えた結果、既往実験で確認・報告がされていない損傷についても情報を得ることができた。

具体的には、定規アングルの振れ止めの溶接の切れ、窓枠、扉枠の破断、パネル底面の損傷といった損傷を初めて細かく観察、記録することができた。

「場所」の列には損傷が観察された面の名称を記載した。

「層間変形角」の列には、損傷が観察されたセットの最大層間変形角と、断定できた場合のみ、損傷が生じた時の変形角を記載した。ただし、目視による観察で見つけられた際のタイミングであるため、実際に損傷が生じたのは、記載した時よりも早い段階の可能性もある。なお、観察時には損傷の有無に関わらず、全体の写真撮影を細かく行った。損傷が確認されたときは写真をさかのぼることで、損傷が生じたタイミングをなるべく正確に把握できるようにした。

損傷番号の列に記載した数字は、付録 2-2 の損傷データシートと対応するものである。損傷データシートは、各損傷一つ一つに対し、観察結果と原因の考察について写真と共に記録したものである。

表 4-2 ALC 外壁の実験で観察された損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
ガラスのヒビ	開口面 室内側	1/50 -100%	#023
	開口面 室内側	1/33 -60%	#043
窓と扉の開閉機能の低下	開口面 室内側		#056,
	開口面 室内側		#057
開口補強鋼材の溶接の切れ（複数個所）	開口面 室内側	1/50	#025
	開口面 室内側	1/33 100%	#045
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	両面 室外側	1/50 -100%	#017~#020
	開口面 室外側	1/33	#041
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/75 -100%	#006, #007
	開口面 室内側	1/50 80%	#011
	開口面 室内側	1/50 -100%	#024
	開口面 室内側	1/50 100%	#016
	開口面 室内側	1/33 -80%	#034
	開口面 室内側	1/33 100%	#035
	開口面 室内側	1/33 100%	#036
	開口面 室内側	1/33 -100%	#038
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/50 80%	#012
	開口面 室外側	1/50 100%	#015
	開口面 室外側	1/33 80%	#029, #030
	開口面 室外側	1/33 80%	#031
	開口面 室外側	1/33 80%	#032
	開口面 室外側	1/33 -80%	#033
	開口面 室外側	1/33 -100%	#037
	開口面 室外側	1/33 -100%	#039
パネル目地のシールの切れ	開口面 室外側	1/50	#049
	開口面 室外側	1/33	#050~#055
ガラスのシールの切れ	開口面 室内側	1/33 100%	#044
窓枠の破断	開口面 室内側	1/33	#046
扉枠の破断	開口面 室内側	1/33 -100%	#042
モルタルのヒビ	開口面 室内側	1/200	#000
パネル底面の損傷	無開口面 室外側	1/200	#001
	開口面 室外側	1/200 -100%	#002
	開口面 室外側	1/100 -80%	#003
	開口面 室外側	1/75 -100%	#004, #005
	無開口面 室外側	1/75 -100%	#008, #009
	開口面 室外側	1/50 80%	#010
	無開口面 室外側	1/50 100%	#013, #014
	開口面 室外側	1/50 -100%	#021, #022
	開口面 室外側	1/75(2 回目)	#028

---

##### 生じた場所に着目した時の損傷の傾向

---

本実験では、ALC 外壁の一般的な部位として、平坦な壁（無開口面）と、窓と扉を取付けた壁（開口面）を試験体を含めた。生じた場所に着目した時の損傷の傾向について簡単に述べる。

表 4-3 に、実験で観察された損傷を生じた場所別に分けて示した（無開口面、開口面室外側、開口面室内側、開口部および開口部下地、下地）。

平坦な壁（無開口面）では、パネル底面の損傷と、定規アングルの振れ止めの溶接の切れ以外、損傷は生じなかった。

窓と扉を取付けた壁（開口面）では、パネル底面の損傷と、定規アングルの振れ止めの溶接の切れに加え、パネルのヒビ、シールの切れ、開口補強鋼材の溶接の切れ、ガラスのひび割れ、ガラスのシールの切れ、窓サッシの破断、扉枠の破断といった損傷が生じた。

パネルとシールは、両壁に共通する要素であるが、損傷は窓と扉を取付けた壁でのみ生じた。



表 4-3 ALC 外壁の実験で観察された損傷)

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネル底面の損傷	無開口面 室外側	1/200	#001
パネル底面の損傷	無開口面 室外側	1/75 -100%	#008, #009
パネル底面の損傷	無開口面 室外側	1/50 100%	#013, #014
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/200 -100%	#002
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/100 -80%	#003
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/75 -100%	#004, #005
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/50 80%	#010
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/50 80%	#012
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/50 100%	#015
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/50 -100%	#021, #022
パネル目地のシールの切れ	開口面 室外側	1/50	#049
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/75(2 回目)	#028
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 80%	#029, #030
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 80%	#031
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 80%	#032
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -80%	#033
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -100%	#037
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -100%	#039
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -100%	#040
パネル目地のシールの切れ	開口面 室外側	1/33	#050~#055
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/75 -100%	#006, #007
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/50 80%	#011
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/50 -100%	#024
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/50 100%	#016
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/33 -80%	#034
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/33 100%	#035
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/33 100%	#036
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/33 -100%	#038
モルタルのヒビ	開口面 室内側	1/200	#000
開口補強鋼材の溶接の切れ (複数個所)	開口面 室内側	1/50	#025
ガラスのヒビ	開口面 室内側	1/50 -100%	#023
ガラスのヒビ	開口面 室内側	1/33 -60%	#043
開口補強鋼材の溶接の切れ	開口面 室内側	1/33 100%	#045
ガラスのシールの切れ	開口面 室内側	1/33 100%	#044
窓枠の破断	開口面 室内側	1/33	#046
扉枠の破断	開口面 室内側	1/33 -100%	#042
窓の開閉機能の低下	開口面 室内側		#056,
扉の開閉機能の低下	開口面 室内側		#057
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	両面 室外側	1/50 -100%	#017~#020
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	開口面 室外側	1/33	#041

---

##### 生じた層間変形角に着目した時の損傷の傾向

---

本実験では、躯体の大変形時まで再現するため、層間変形角 1/33 まで与えた。生じた層間変形角に着目した時の損傷の傾向について簡単に述べる。

層間変形角 1/200 では、底面の損傷が 1 か所で観察されただけであった。

層間変形角 1/100 では、底面の損傷がもう 2 か所で観察されただけであった。

層間変形角 1/75 では、底面の損傷が増えた他に、開口補強鋼材の裏で、パネルの角にヒビが生じていることが観察された。

層間変形角 1/50 では、パネルのヒビ、シールの切れ、ガラスのヒビ、溶接の切れといった損傷が急増した。

層間変形角 1/33 では、パネルのヒビが引き続き増えたほか、窓サッシ、扉枠に損傷が生じた。

層間変形角 1/50 までは損傷が殆ど生じなかったが、1/50 に至ったときに急増した。1/33 に至ったときも急増した。

また、本実験では実際の地震波を模して、層間変形角 1/200、1/100、1/75 のセットは 2 回行った。各セットの 2 回目の時は新しい損傷は殆ど生じなかった。

表 4-4 ALC 外壁の実験で観察された損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
モルタルのヒビ	開口面 室内側	1/200	#000
パネル底面の損傷	無開口面 室外側	1/200	#001
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/200 -100%	#002
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/100 -80%	#003
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/75 -100%	#004, #005
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/75 -100%	#006, #007
パネル底面の損傷	無開口面 室外側	1/75 -100%	#008, #009
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/50 80%	#010
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/50 80%	#011
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/50 80%	#012
パネル底面の損傷	無開口面 室外側	1/50 100%	#013, #014
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/50 100%	#015
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/50 100%	#016
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	両面 室外側	1/50 -100%	#017~#020
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/50 -100%	#021, #022
ガラスのヒビ	開口面 室内側	1/50 -100%	#023
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/50 -100%	#024
開口補強鋼材の溶接の切れ（複数個所）	開口面 室内側	1/50	#025
パネル目地のシールの切れ	開口面 室外側	1/50	#049
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/75(2 回目)	#028
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 80%	#029, #030
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 80%	#031
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 80%	#032
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -80%	#033
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/33 -80%	#034
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/33 100%	#035
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/33 100%	#036
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -100%	#037
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/33 -100%	#038
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -100%	#039
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -100%	#040
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	開口面 室外側	1/33	#041
扉枠の破断	開口面 室内側	1/33 -100%	#042
ガラスのヒビ	開口面 室内側	1/33 -60%	#043
ガラスのシールの切れ	開口面 室内側	1/33 100%	#044
開口補強鋼材の溶接の切れ	開口面 室内側	1/33 100%	#045
窓枠の破断	開口面 室内側	1/33	#046
パネル目地のシールの切れ	開口面 室外側	1/33	#050~#055
窓の開閉機能の低下	開口面 室内側		#056,
扉の開閉機能の低下	開口面 室内側		#057

### 4.3. 小結

4 章では、ALC 外壁の実大載荷実験を行った結果について述べた。

4.1 では、本実験の概要について述べた。

4.2 では、損傷が生じた正確な位置、その時の層間変形角及びその後の進行具合、周囲の状態について、図と共に述べた。

平坦な壁では変形角  $1/33$  に達した際も目立った損傷は生じなかった。

窓と扉が取り付けいた壁では、変形角  $1/50$  以降に、開口部周辺のパネルにヒビが多数生じた。これはパネルが開口補強鋼材により拘束された結果、パネル間でロッキングの差や、ボルトからの応力が発生したことが原因と考えられる。

本実験では、窓と扉の開閉機能の確認も行った。結果を試験体の荷重変形曲線上にプロットしたものを、図 3 に示す。窓は変形角  $1/100$  以上、扉は変形角  $1/200$  以上で、開閉不良が生じやすいことが分かった。

5 章では観察された損傷の「対応の必要性」と「診断の難易度」について評価した。

繰り返しになるが、本研究では、開閉機能の確認を細かく行った。その詳細については付録 1-4 及び 1-5 に記載した。また、観察された損傷について分析し、その原因と対策方法の考察と、既往研究の実験結果との比較も行った。観察ごとに、損傷の撮影も行った。ただし、本研究の目的に関係しない事項も多かったため、分析結果は付録 1-6 に、写真等は付録 2-2 のデータシートに記載した（5 章で損傷の評価をした際は、分析結果と写真を適宜、参考にした）。

## 5章 実験で観察された損傷の評価

---

5.1.	「対応の必要性」に着目した損傷の評価.....	132
5.1.1.	建物に与える影響に基づく実験で観察された損傷の分類.....	132
5.1.2.	損傷が建物に与える影響ごとの「対応の必要性」の評価.....	154
5.2.	「診断性の難易度」に着目した損傷の評価.....	158
5.2.1.	生じた場所と規模に基づく実験で観察された損傷の分類.....	159
5.2.2.	損傷が生じた場所と規模に基づく「診断の難易度」の評価.....	174
5.3.	「対応の必要性」と「診断の難易度」に着目した損傷の整理.....	178
5.4.	非構造部材の耐震性を向上させる方法.....	190
5.5.	小結 .....	199



5 章では、実験で観察された損傷の評価をした結果を述べる。

5.1 では、「対応の必要性」について実験で観察された損傷を評価した結果を述べる。

5.2 では、「診断の難易度」について実験で観察された損傷を評価した結果を述べる。

5.3 では、評価結果に基づいて、層間変形角ごとに損傷を整理した結果を述べる。

5.4 では、補修等の対応が必要であるが、短時間で診断できない損傷の特定と、その対策方法について考察した結果を述べる。

5.5 では、5 章で述べた内容についてまとめる。

### 5.1. 「対応の必要性」に着目した損傷の評価

5.1 では、「対応の必要性」について実験で観察された損傷を評価した結果を述べる。

#### 5.1.1. 建物に与える影響に基づく実験で観察された損傷の分類

5.1.1 では、実験で用いた試験体が実際の建物だと仮定し、各セットが終了した段階で、建物に対してそれぞれの損傷がどういった影響を与えるかということについて、考察した結果について述べる。なお、考察は実験で与えた層間変形角ごとに分けて行った（層間変形角の増加に伴い、その考察結果が変わるものがあるため）。

なお、表の赤字は、新しく観察された損傷、もしくは考察結果が変化した損傷を指す。

考察に際しては、実験の記録データとその分析（3 章、4 章及び付録 1-3~1-6、付録 2-1、2-2 の内容）を参考にした。



---

 **$\theta_{\max}=1/400$  における損傷が建物に与える影響**


---

$\theta_{\max}=1/400$  における乾式間仕切り壁の損傷：

**ランナー端部の歪**

a 面の上部ランナーの端部において、層間変形角  $1/400$  を与えた後の除荷時も、歪が残っているが、微小であるため、特に下地の耐震性、耐火性、密閉性といった性能に影響は及ぼさないと考えられる。

**上張りボードのヒビ、折れ**

c 面において縦目地に沿ってヒビが入り、開口部の角部から斜めにヒビが入った。既往研究との比較から、塗装上のひび割れだと考えられるため、間仕切り壁としての耐震性、耐火性、密閉性といった性能に影響は及ぼさないと考えられる。しかし、ひび割れが建物の利用者の目に付く箇所にあるため、意匠性を低下させる損傷であると考えられる。

**シールの切れ**

シールの切れが載荷時には見られるが、除荷時には元に戻るため、特に性能に影響は及ぼさないと考えられる。

**下張りボードのヒビ、折れ**

下張りボードのヒビ割れは、ビス穴から生じたものについては、前述の通り、耐震性を下げることが考えられる。ビス穴から生じていないものについては、層間変形に追従しようとしてひび割れた結果であり、追従性がむしろ上がっているとも考えることもできる。しかし、ひび割れたということは、ボードに隙間が開いたということである。そのため、密閉性は低下していることが考えられる。

**表 5-1 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果**

(**損傷の概要の赤字**→新しく観察された損傷)

(**建物に与える影響の赤字**→新しい損傷または考察結果が変化した損傷)

損傷の概要	建物に与える影響
ランナー端部の歪	特に性能を低下させない
上張りボードのヒビ、折れ	意匠性を低下させる
シールの切れ	特に性能を低下させない
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる

※層間変形角  $1/400$  のセットは、ALC 外壁の実験では行っていない。

### $\theta_{\max}=1/200$ における損傷が建物に与える影響

$\theta_{\max}=1/200$  における乾式間仕切り壁の損傷：

#### 上張りボードのヒビ、折れ

層間変形角  $1/200$  の時点ではいずれのヒビもボードまで達していると考えられる。上張りボードのヒビ割れは、層間変形に追従しようとしてひび割れた結果であり、追従性がむしろ上がっているとも考えることもできる。しかし、ひび割れたということは、ボードに隙間が開いたということである。そのため、耐震性および密閉性は低下していることが考えられる。

#### ボードの目地の浮き

ボードの目地が塗装に浮くことは、耐震性、密閉性には影響しないと考えられる。ただし、利用者の目に留まる箇所の損傷であるため、意匠性には支障がでる可能性がある。

#### スタッドの水平移動

スタッドの水平移動は層間変形に追従した結果生じた損傷であり、さらに除荷時は元の位置に概ね戻ることがわかった。そのため、特に性能を低下させないと考えられる。

#### スタッドの軽微な歪

この損傷はb面で観察されたスタッドの歪を指す。この程度の歪であれば、特に性能を低下させないと考えられる。

#### ランナー端部の歪、シールの切れ、下張りボードのヒビ、折れ

変化無し。

表 5-2 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
ランナー端部の歪	特に性能を低下させない
上張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
シールの切れ	特に性能を低下させない
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
ボードの目地の浮き	意匠性を低下させる。
スタッドの水平移動	特に性能を低下させない
スタッドの軽微な歪	特に性能を低下させない

$\theta_{\max}=1/200$  における ALC 外壁の損傷：

#### モルタルのヒビ

層間変形角  $1/200$  程度以降、開口補強鋼材と窓枠および扉枠の間に充填されたモルタルにヒビが確認された。このモルタルは密封性を担保するものであるが、貫通するようなひび割れは本実験では生じていないため、特に損傷には影響ないと考えられる。

#### パネル底面の損傷

層間変形角  $1/200$  以降、パネル底面の損傷は場合によっては破片が脱落することもあるが、いずれも  $1\text{cm}$  角未満の破片であるため、特に人的被害にはつながらないと考えられる。更に、底面の損傷であるため、耐震性、密封性にも影響ないと考えられる。

表 5-3 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
モルタルのヒビ	特に性能を低下させない
パネル底面の損傷	特に性能を低下させない

---

### $\theta_{\max}=1/100$ における損傷が建物に与える影響

---

$\theta_{\max}=1/100$  における乾式間仕切り壁の損傷：

#### 上張りボードのロッキング

層間変形角  $1/100$  の層間変形角では数 mm 程度のロッキングであったため、特に性能を低下させるほどの損傷ではないと考えられる。

#### シールの切れ

層間変形角  $1/100$  を与えた後は、除荷時であってもシールの切れが残るようになった。これは密閉性の低下につながる事が考えられる。

#### スペーサーの外れ

スペーサーは施工時の効率を上げるために取り付けられる部品である（詳細は付録のデータシートを参照）。そのためツメが外れたとしても、特に耐震性や耐火性といった性能を低下させるとは考えられない。

#### ランナーの軽微な開き

この損傷はスタッドが水平移動する際にねじれながら動いたため、ランナーが少し開く挙動を見せたことを指す。いずれも除荷時にはほとんど元に戻ったため、とくに耐震性や耐火性を下げるとは考えられない。

上記以外は変化無し。

表 5-4 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
上張りボードのロッキング	特に性能を低下させない
ランナー端部の歪	特に性能を低下させない
上張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
シールの切れ	密閉性を低下させる
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
ボードの目地の浮き	意匠性を低下させる
スタッドの水平移動	特に性能を低下させない
スペーサーの外れ	特に性能を低下させない
ランナーの軽微な開き	特に性能を低下させない
スタッドの軽微な歪	特に性能を低下させない

$\theta_{\max}=1/100$  における ALC 外壁の損傷：

モルタルのヒビ

パネル底面の損傷

変化無し。

表 5-5 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
モルタルのヒビ	特に性能を低下させない
パネル底面の損傷	特に性能を低下させない

$\theta_{\max}=1/200$ （2 回目）における損傷が建物に与える影響

$\theta_{\max}=1/200$ （2 回目）における乾式間仕切り壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-6 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
上張りボードのロッキング	特に性能を低下させない
ランナー端部の歪	特に性能を低下させない
上張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
シールの切れ	密閉性を低下させる
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
ボードの目地の浮き	意匠性を低下させる。
スタッドの水平移動	特に性能を低下させない
スペーサーの外れ	特に性能を低下させない
ランナーの軽微な開き	特に性能を低下させない
スタッドの軽微な歪	特に性能を低下させない

$\theta_{\max}=1/200$ （2 回目）における ALC 外壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-7 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
モルタルのヒビ	特に性能を低下させない
パネル底面の損傷	特に性能を低下させない

---

### $\theta_{\max}=1/75$ における損傷が建物に与える影響

---

$\theta_{\max}=1/75$  における乾式間仕切り壁の損傷：

#### 持ち出し部のランナーの開き

層間変形角  $1/75$  を与えた後は、除荷時でもスタッドがランナーから外れかけていた。仮にこの状態で強い余震が来た場合には、Dd 面が脱落することが考えられる。そのためこの損傷は、この時点では耐震性を著しく低下させる損傷であると考えられる。

#### 上張りボードのロッキング

層間変形角  $1/75$  では 10mm 程度のロッキングであったため、上張りボードと下張りボードを留める接着剤およびステーブルの機能が低下していることが考えられる。よって、耐震性を低下させていると考えられる。

#### 壁間の隙間の開き

Ee 面には、Dd 面および Ff 面との間に層間変形角  $1/100$  以降は除荷時であっても数 cm ほどの隙間が残った。本来は耐火性能をもつ乾式間仕切り壁ということで、火事の場合も一定時間は火を隣の部屋に通さないように設計されている。しかし、隙間が開いていると、そこから火が回ってしまうため、本来の耐火性能は殆ど期待できない状態となると考えられる。

#### ランナー端部の歪み

そもそもこの損傷は、端のスタッドが鉄骨柱のジョイント部分によって一方向への移動を拘束されたことにより生じたものだと考察されている。その前提の元、層間変形角  $1/75$  を与えた後の状況について説明する。a 面のランナー端部の歪（損傷#002）は、そもそも負載荷時に生じた歪である。しかし、層間変形角  $1/75$  のセットでは、正載荷時であっても歪が残るようになっている。この歪は、端のスタッドが反対方向への移動をも拘束することが考えられる。この状態で仮に余震が来た場合、端のスタッドは、両方向への移動が拘束されているため、ボードから受ける力に対して、大きく振れることで追従することが考えられる。この振れる動きは、ランナーを開くような動きに繋がるのが他の損傷の観察からわかっている。そして、スタッドが大きく振れることで、スタッドが脱落しやすくなる程度までランナーが開いてしまう可能性が考えられる。

以上から、このランナー端部の歪は層間変形角  $1/75$  を与えた後は、直接的ではないものの、部材の脱落に寄与する可能性があると考えられる。

#### ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり

主に a 面で観察されたビス穴からのヒビ、ビス穴からの広がりであるが、これはビスの拘

束力を下げるような損傷であると考えられる。すべてのビス穴に対して生じているわけではないため即座にボードが落ちることは考えにくい。しかし本来の耐震性からは性能が落ちていることが考えられる。

#### 「下部ランナーを留めるビスの抜け（下部ランナーの移動）」について

Dd 面が Ee 面に正載荷時に押されたことにより、Dd 面の下部ランナーが移動した。これにより、ランナーと床スラブを留めていたビスが抜けた。これは、ランナーがより動きやすくなることを意味する。ランナーが動くと、Dd 面は除荷時であっても上部ランナーとの位置がずれることとなってしまう。これは、面としての脱落のしやすさや、隣の壁との隙間の開きに寄与すると考えられる。

以上のことから、この損傷は、耐震性、密閉性を下げると考えられる。

上記以外は変化無し。

表 5-8 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
持ち出し部のランナーの開き	耐震性を著しく低下させる
上張りボードのロッキング	耐震性を低下させる
壁間の隙間の開き	密閉性を著しく低下させる
ランナー端部の歪	耐震性を低下させる
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	耐震性を低下させる
上張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
シールの切れ	密閉性を低下させる
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
ボードの目地の浮き	意匠性を低下させる
スタッドの水平移動	特に性能を低下させない
スペーサーの外れ	特に性能を低下させない
ランナーの軽微な開き	特に性能を低下させない
スタッドの軽微な歪	特に性能を低下させない
下部ランナーを留めるビスの抜け	耐震性と密閉性を低下させる



$\theta_{\max}=1/75$  における ALC 外壁の損傷：

#### パネルの室内側のヒビ

層間変形角  $1/75$  の時、パネルの室内側の角部が、開口補強鋼材の裏で欠けた。これは層間変形に追従した結果生じた損傷である。そのため、むしろ損傷後の方が、追従性が高くなっているため耐震性が高いと考えることができる。落下してくる破片も  $1\text{cm}$  角ほどと小さいものであり、高所から落下した場合も人的被害には影響を与えないと考えられる。

上記以外は変化無し。

表 5-9 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
パネルの室内側のヒビ	特に性能を低下させない
モルタルのヒビ	特に性能を低下させない
パネル底面の損傷	特に性能を低下させない

$\theta_{\max}=1/100$ （2 回目）における損傷が建物に与える影響

$\theta_{\max}=1/100$ （2 回目）における乾式間仕切り壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-10 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
持ち出し部のランナーの開き	耐震性を著しく低下させる
上張りボードのロッキング	耐震性を低下させる
壁間の隙間の開き	密閉性を著しく低下させる
ランナー端部の歪	耐震性を低下させる
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	耐震性を低下させる
上張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
シールの切れ	密閉性を低下させる
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
ボードの目地の浮き	意匠性を低下させる
スタッドの水平移動	特に性能を低下させない
スペーサーの外れ	特に性能を低下させない
ランナーの軽微な開き	特に性能を低下させない
スタッドの軽微な歪	特に性能を低下させない
下部ランナーを留めるビスの抜け	耐震性と密閉性を低下させる

$\Theta_{\max}=1/100$ （2 回目）における ALC 外壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-11 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
パネルの室内側のヒビ	特に性能を低下させない
モルタルのヒビ	特に性能を低下させない
パネル底面の損傷	特に性能を低下させない

---

$\theta_{\max}=1/50$  における損傷が建物に与える影響

---

$\theta_{\max}=1/50$  における乾式間仕切り壁の損傷：

持ち出し部のランナーの開き

層間変形角  $1/50$  を与えた後は、除荷時でもスタッドがランナーから外れている。仮にこの状態で強い余震が来た場合には、Dd 面が脱落することが考えられる。そのためこの損傷は、層間変形角  $1/50$  を与えた後は余震で部材が脱落する損傷であると考えられる。

上張りボードの面外への変形

上張りボードが面外方向へ変形しているということは、下張りボードとの接着剤が殆ど機能していないことを意味する。ただし層間変形角  $1/50$  の層間変形角を与えた後では 5mm 程度しか面外へ変形していないため、まだ接着剤が残っていると考えられる。そのため余震がきても即座に上張りボードが脱落するとは考えにくい。よってこの損傷は耐震性を低下させる損傷であると考えられる。

上張りボードのロッキング

層間変形角  $1/50$  では 20mm 程度のロッキングであったため、上張りボードと下張りボードを留める接着剤およびステーブルの機能が低下していることが考えられる。よって、耐震性が低下させているといえる。

スタッド同士を留めるビスの抜け

Dd 面が回転した結果、Dd 面のスタッドと Cc 面のスタッドを留めていたスタッドを挟りながら変形した。これは Dd 面がより回転しやすくなることを意味する。Dd 面が回転すると、面としての脱落のしやすさや、隣の壁との隙間の開きがより進行する。

以上のことから、この損傷は、耐震性、密閉性を下げると考えられる

上記以外は変化無し。

表 5-12 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
持ち出し部のランナーの開き	余震で部材を脱落させる
上張りボードの面外への変形	耐震性を低下させる
上張りボードのロッキング	耐震性を低下させる
壁間の隙間の開き	密閉性を著しく低下させる
ランナー端部の歪	耐震性を低下させる
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	耐震性を低下させる
上張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
シールの切れ	密閉性を低下させる
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
ボードの目地の浮き	意匠性を低下させる
スタッドの水平移動	特に性能を低下させない
スペーサーの外れ	特に性能を低下させない
ランナーの軽微な開き	特に性能を低下させない
スタッドの軽微な歪	特に性能を低下させない
下部ランナーを留めるビスの抜け	耐震性と密閉性を低下させる
スタッド同士を留めるビスの抜け	耐震性と密閉性を低下させる

$\theta_{\max}=1/50$  における ALC 外壁の損傷：

#### ガラスのヒビ

層間変形角  $1/50$  の時にガラスにヒビが入った。数 cm ほどのヒビであるため、この損傷が、余震が来た場合にガラスの脱落に寄与することは考えにくい。しかし、不用意に触れると怪我をする恐れがあるため、建物の安全性を低下させている損傷であるといえる。

#### 扉の開閉機能の低下

層間変形角  $1/83$  程度、 $1/63$  程度および  $1/50$  の時に扉が開閉できなかった。更に、実際の地震後と同じ状態である、除荷時の躯体の残留変形が、開閉機能を低下させると考えられる範囲にある。つまり、この状態で余震が来た場合、損傷を妨げることになると考えられる。

#### 開口補強鋼材の溶接の切れ

層間変形角  $1/50$  の時に開口補強鋼材の溶接が一部切れた。この状態で余震がきても、即開口部の部材が脱落するとは考えにくい。しかし、接続部の面積は減っているため耐震性は低下していると考えられる。

#### 定規アングルの振れ止めの溶接の切れ

層間変形角  $1/50$  の時に定規アングルの振れ止めの溶接が一部切れた。この状態で余震が来ても即定規アングルが脱落するとは考えにくい。しかし、定規アングルの端部が振れやす

くなっている。そのため、定規アングルの耐震性は低下していると考えられる。

#### パネルの室内側のヒビ

層間変形角 1/50 の時には、ボルトから応力を受けたことによると考察されるヒビがパネルに生じた。この損傷はパネルと躯体の接合部分から生じているひび割れである。更に該当するパネルの反対側の面では、同箇所にはひび割れが生じている。よって、このひび割れはパネルを貫通している可能性が高い。

この損傷により、該当する接続部分は、パネルの面外方向への保持力が低下していると考えられる。

#### パネルの室外側のヒビ

層間変形角 1/50 のときにパネルの室外側でもヒビが生じた。室内側と同じく、角部からのひび割れとボルト部分からのひび割れに分類できる。

角部からのひび割れは、室内側に比べて、室外側の方が長かった。また、室外側のパネルのひび割れは、ひび割れ部分から水が目地部分に直接入り込む恐れがある。そのため、密閉性を低下させる損傷だといえる。

ボルト部分からのひび割れは、室内側のヒビと同様耐震性を低下させるような損傷である。

#### パネル目地のシールの切れ

層間変形角 1/50 のときにシールの切れが観察されているが、除荷時には元に戻っていた。そのため、とくに建物には影響を与えないと考えられる。

上記以外は変化無し。

表 5-13 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
ガラスのヒビ	安全性を低下させる
扉の開閉機能の低下	避難を妨げる
開口補強鋼材の溶接の切れ	耐震性を低下させる
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	耐震性を低下させる
パネルの室内側のヒビ	耐震性を低下させる
	特に性能を低下させない
パネルの室外側のヒビ	耐震性を低下させる
	密閉性を低下させる
パネル目地のシールの切れ	特に性能を低下させない
モルタルのヒビ	特に性能を低下させない
パネル底面の損傷	特に性能を低下させない

---

Θ<sub>max</sub>=1/75（2 回目）における損傷が建物に与える影響

---

Θ<sub>max</sub>=1/75（2 回目）における乾式間仕切り壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-14 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
持ち出し部のランナーの開き	余震で部材を脱落させる
上張りボードの面外への変形	耐震性を低下させる
上張りボードのロッキング	耐震性を低下させる
壁間の隙間の開き	密閉性を著しく低下させる
ランナー端部の歪	耐震性を低下させる
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	耐震性を低下させる
上張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
シールの切れ	密閉性を低下させる
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
ボードの目地の浮き	意匠性を低下させる
スタッドの水平移動	特に性能を低下させない
スパーサーの外れ	特に性能を低下させない
ランナーの軽微な開き	特に性能を低下させない
スタッドの軽微な歪	特に性能を低下させない
下部ランナーを留めるビスの抜け	耐震性と密閉性を低下させる
スタッド同士を留めるビスの抜け	耐震性と密閉性を低下させる

$\theta_{\max}=1/75$ （2 回目）における ALC 外壁の損傷：

#### 扉の開閉機能の低下

層間変形角  $1/75$  の時に扉を開けることができなかった。他にも開けることに力が必要ながことが複数回あった。ただし、実際の地震後と同じ状態である、除荷時の躯体の残留変形は、開閉機能を低下させると考えられる範囲にない。

上記以外は変化無し。

表 5-15 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
ガラスのヒビ	安全性を低下させる
扉の開閉機能の低下	避難を妨げる
開口補強鋼材の溶接の切れ	耐震性を低下させる
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	耐震性を低下させる
パネルの室内側のヒビ	耐震性を低下させる
	特に性能を低下させない
パネルの室外側のヒビ	耐震性を低下させる
	密閉性を低下させる
パネル目地のシールの切れ	特に性能を低下させない
モルタルのヒビ	特に性能を低下させない
パネル底面の損傷	特に性能を低下させない

---

### $\theta_{\max}=1/33$ における損傷が建物に与える影響

---

$\theta_{\max}=1/33$  における乾式間仕切り壁の損傷：

#### 「天井下地の接合部の破断」について

この損傷は天井および Ee 面を支えている部材と鉄骨の接合部の損傷である。しかし、6 つあるうち 1 つが破断しただけである。そのため、仮にこの状態で余震が来ても即座に天井が落ちることにはならないと考えられる。しかし耐力は確実に落ちているため、この損傷は耐震性を下げるものだと考えられる。

#### 「上張りボードの面外への変形」について

上張りボードが面外方向へ変形しているということは、下張りボードとの接着剤が殆ど機能していないことを意味する。ただし層間変形角  $1/33$  を与えた後では最大 70mm 程度面外へ変形している。これは下張りボードとの接着剤が殆ど機能していないことを意味する。そのため、余震が来た場合には上張りボードが脱落することが考えられる。そのためこの損傷は余震で部材が脱落する損傷であると考えられる。

#### 「上張りボードの脱落」について

上張りボードが脱落した場合、本来二重張りであったところが一重張りになっている。これは、本来期待される耐震性能を低下していることを意味する。そのため、仮に余震が来た場合には一重張りの部分に変形が集中し、下張りボードの脱落が考えられる。

また、耐火性も低下していることが考えられる。

#### 「上張りボードのロッキング」について

層間変形角  $1/33$  では 30mm 程度のロッキングであった。この時点ではボードが面外へ変形していることから、すでに接着剤は殆ど機能していないことが確実にわかる。そのため、余震が来た場合には上張りボードが脱落することが考えられる。そのためこの損傷は余震で部材が脱落する損傷であると考えられる。

上記以外は変化無し。



表 5-16 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
持ち出し部のランナーの開き	余震で部材を脱落させる
天井下地の接合部の破断	耐震性を低下させる
上張りボードの面外への変形	余震で部材を脱落させる
上張りボードの脱落	余震で部材を脱落させる、密閉性を著しく低下させる
上張りボードのロッキング	余震で部材を脱落させる
壁間の隙間の開き	密閉性を著しく低下させる
ランナー端部の歪	耐震性を低下させる
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	耐震性を低下させる
上張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
シールの切れ	密閉性を低下させる
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる
ボードの目地の浮き	意匠性を低下させる
スタッドの水平移動	特に性能を低下させない
スパーサーの外れ	特に性能を低下させない
ランナーの軽微な開き	特に性能を低下させない
スタッドの軽微な歪	特に性能を低下させない
下部ランナーを留めるビスの抜け	耐震性と密閉性を低下させる
スタッド同士を留めるビスの抜け	耐震性と密閉性を低下させる

$\theta_{\max}=1/33$  における ALC 外壁の損傷：

### 窓の開閉機能の低下

層間変形角 1/83 程度、1/55、1/41 程度、1/33 の時に窓を開けることができなかった。他にも、除荷時を含め、開けることに力が必要なことが複数回あった。更に、実際の地震後と同じ状態である、除荷時の躯体の残留変形が、開閉機能を低下させると考えられる範囲にある。つまり、この状態で余震が来た場合、損傷を妨げることになると考えられる。

### 扉の開閉機能の低下

層間変形角 1/55、1/41 程度、1/33 の時に扉を開けることができなかった。他にも、除荷時を含め、開けることに力が必要なことが複数回あった。更に、実際の地震後と同じ状態である、除荷時の躯体の残留変形が、開閉機能を低下させると考えられる範囲にある。つまり、この状態で余震が来た場合、損傷を妨げることになると考えられる。

### パネルの室外側のヒビ

パネルの角部のヒビは密閉性を低下させ、パネルのボルト部分からのひび割れは耐震性を低下させるといえる。更に、層間変形角 1/41 程度の時に、開口部の上のパネルの上部に生じたひび割れは、破片が一部面外に飛び出していた。この状態で仮に余震が来た場合、破片が周囲に衝突し、さらに割れ、比較的大きく、人にぶつかった場合、怪我をする可能性が高い破片が脱落することが考えられる。

### パネル目地のシールの切れ

層間変形角 1/33 を与えた後は、除荷時であってもシーリング材が一部切れたままであった。このままだとパネル目地から室内へと水が入り込む可能性がある。

### ガラスのシールの切れ

層間変形角 1/33 の時にガラスのシーลが切れた。ガラスのシールは本来ガラスを固定すると同時に密閉性を担保するものである。切れがガラスの直下で止まっていることから、密閉性に特に影響はないと考ええるが、ガラスの保持力は低下していると考えられる。

### 窓枠の破断

層間変形角が負方向に 1/33 の時に、窓枠において、室内側から見て右上の角部、そして左上の角部に部材の変形が確認された。

窓枠が破断しても耐震上は特に影響がないが、密閉性は低下すると考えられる。

**扉枠の破断**

層間変形角が  $1/33$  の-100%の時、扉の枠の外側から見て左上部分が鉛直方向に破断していることが確認された。

窓枠が破断しても耐震上は特に影響がないが、密閉性は低下すると考えられる。

上記以外は変化無し。

表 5-17 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	建物に与える影響
ガラスのヒビ	安全性を低下させる
窓の開閉機能の低下	避難を妨げる
扉の開閉機能の低下	避難を妨げる
開口補強鋼材の溶接の切れ	耐震性を低下させる
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	耐震性を低下させる
パネルの室内側のヒビ	耐震性を低下させる
	特に性能を低下させない
パネルの室外側のヒビ	余震で部材を脱落させる
	耐震性を低下させる
	密閉性を低下させる
パネル目地のシールの切れ	密閉性を低下させる
ガラスのシールの切れ	耐震性を低下させる
窓枠の破断	密閉性を低下させる
扉枠の破断	密閉性を低下させる
モルタルのヒビ	特に性能を低下させない
パネル底面の損傷	特に性能を低下させない

## 考察結果のまとめ

損傷それぞれについて、試験体が実際の建物だと仮定し、各セットが終了した段階で、建物に対して損傷それぞれがどういった影響を与えるかということに基づいて考察した結果について、表 5-18 と表 5-19 にまとめた。

表 5-18 乾式間仕切り壁の損傷が建物に与える影響の考察結果

	1/400	1/200	1/100	1/75	1/50	1/33
持ち出し部のランナーの開き				部材を脱落させる	同左	同左
上張りボードのロッキング			特に性能を低下させない	耐震性を低下させる	同左	部材を脱落させる
上張りボードの面外への変形					耐震性を低下させる	部材を脱落させる
上張りボードの脱落						部材を脱落させる
壁間の隙間の開き				密閉性を著しく低下させる	同左	同左
下張りボードのヒビ、折れ	耐震性および密閉性を低下させる	同左	同左	同左	同左	同左
下部ランナーを留めるビスの抜け				耐震性と密閉性を低下させる	同左	同左
スタッド同士を留めるビスの抜け					耐震性と密閉性を低下させる	同左
上張りボードのヒビ、折れ	特に性能を低下させない	耐震性を低下させる	同左	同左	同左	同左
ランナー端部の歪	特に性能を低下させない	同左	同左	耐震性を低下させる	同左	同左
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり				耐震性を低下させる	同左	同左
天井下地の接合部の破断						耐震性を低下させる
シールの切れ	特に性能を低下させない	同左	密閉性を低下させる	同左	同左	同左
ボードの目地の浮き		意匠性を低下させる	同左	同左	同左	同左
スタッドの水平移動		特に性能を低下させない	同左	同左	同左	同左
スタッドの軽微な歪		特に性能を低下させない	同左	同左	同左	同左
スペーサーの外れ		特に性能を低下させない	同左	同左	同左	同左
ランナーの軽微な開き			特に性能を低下させない	同左	同左	同左

表 5-19 ALC 外壁の損傷が建物に与える影響の考察結果

		1/200	1/100	1/75	1/50	1/33
ガラスのヒビ					安全性を低下させる	同左
扉の開閉機能の低下					避難の妨げになる	同左
窓の開閉機能の低下						避難の妨げになる
パネル室外側のヒビ					耐震性を低下させる	部材を脱落させる
						同左
					特に性能を低下させない	密閉性を低下させる
パネルの室内側のヒビ				耐震性を低下させる	同左	同左
				特に性能を低下させない	同左	同左
開口補強鋼材の溶接の切れ					耐震性を低下させる	同左
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ					耐震性を低下させる	同左
ガラスのシールの切れ						耐震性を低下させる
パネル目地のシールの切れ					特に性能を低下させない	密閉性を低下させる
窓枠の破断						密閉性を低下させる
扉枠の破断						密閉性を低下させる
パネル底面の損傷		特に性能を低下させない	同左	同左	同左	同左
モルタルのヒビ		特に性能を低下させない	同左	同左	同左	同左

※ 同じ層間変形角を繰り返したセットは、変化が見られなかったため省略した

### 5.1.2. 損傷が建物に与える影響ごとの「対応の必要性」の評価

5.1.1 では、乾式間仕切り壁および ALC 外壁を対象とした実験で観察された損傷を、それぞれが与える影響について考察した。その結果、両実験で観察された損傷を、「余震で部材が脱落する損傷」、「密閉性を著しく低下させる損傷」、「避難の妨げになる損傷」、「安全性を低下させる損傷」、「耐震性を低下させる損傷」、「密閉性を低下させる損傷」、「意匠性を低下させる損傷」、「特に性能を低下させない損傷」に損傷を分類することができた。

5.1.2 では、5.1.1 の考察結果を踏まえ、実験で観察された損傷の、地震後にどれだけ補修や区画（周囲を立ち入り禁止にすること）を必要とするかという「対応の必要性」の評価をした結果を述べる。

---

#### 余震で部材が脱落する損傷

---

地震時に、外力受けたことで生じる部材のひび割れや接合部分の破損が原因となり、部材の一部もしくは全体が脱落することが実際の地震で確認されている。更に、脱落した部材が人に衝突し、被害を及ぼした事例も多数存在する。

このことから、部材の危険な脱落や、それに直接寄与するような損傷は、避難所のような利用が急がれる建物であったとしても、補修もしくは区画（付近を立ち入り禁止にするなど）といった対応が必要だと考えられる。

---

#### 密閉性を著しく低下させる損傷

---

密閉性とは、耐火性、空調性、音響性を含む性能である。建築物は特に耐火性の基準が厳しく定められており、火事が起きたとしても一定の時間は全焼せず、避難できる時間が確保されている。しかし、地震によって耐火性が低下することが考えられる。その場合、最悪の状況として、火事が起きた時に人命に関わる想定外の状況の発生が考えられる。

このことから、密閉性を著しく低下させる損傷は、避難所のような利用が急がれる建物であったとしても、補修もしくは区画といった対応が必要だと考えられる。

---

### 避難を妨げる損傷

---

地震時には、部材の脱落や、最悪の場合建物の倒壊が起きることが可能性として考えられるために、屋外への迅速に避難することが要求される。そこで、避難が遅れてしまうと、余震でさらなる被害にさらされることが考えられる。また、火事の場合などには、逃げ遅れたことに起因する人的被害が生じることが考えられる。

このことから、避難を妨げる損傷は、避難所のような利用が急がれる建物であったとしても、補修もしくは区画といった対応が必要だと考えられる。

---

### 安全性を低下させる損傷

---

建物の安全性を低下させる損傷には、ALC 外壁に取り付けた窓ガラスのひび割れのみ該当する。この損傷を特に対応しないまま放置すると、利用者が不用意に触れて怪我をする恐れがある。

このことから、安全性を低下させる損傷は、避難所のような利用が急がれる建物であったとしても、補修もしくは区画といった対応が必要だと考えられる。

---

### 耐震性を低下させる損傷

---

余震で部材が即脱落することは考えられないが、施工時に比べたら耐震性が落ちていることが想定される損傷である。

このことから、避難所のような利用が急がれる建物であれば補修もしくは区画といった対応を特にする必要はない。しかし、通常利用する前は補修もしくは専門家による点検といった対応が望ましいと考えられる。

---

### 密閉性を低下させる損傷

---

これは、火事が起きた際に火をすぐ通してしまうといった、耐火法違反になるような著しい性能の低下は生じさせないが、施工時と比較すると密閉性を低下させていることが想定される損傷である。

このことから、避難所のような利用が急がれる建物であれば補修もしくは区画といった対応を特にする必要は無い。しかし、空調性および音響性といった性能を元に戻すためには補修が必要な損傷だと考えられる。

---

### 耐震性または密閉性を低下させる損傷

---

上記の通り、避難所のような利用が急がれる建物であれば特に対応は必要ないと考えられる。しかし、各性能を地震前に戻すためには補修などの対応が必要であると考えられる。

---

### 意匠性を低下させる損傷

---

耐火性、密閉性といった安全面では一切問題が無いが、普段の建物の利用で目にする部分の損傷である。

避難所のような利用が急がれる建物であれば対応は必要ないが、意匠性を元に戻すためには補修が必要である。

---

### 特に性能を低下させない損傷

---

耐震性、密閉性、意匠性といった性能を低下させない損傷のことである。避難所のような利用が急がれる建物でなくとも、補修の必要性は無いと考えられる。



以上、損傷が与える影響別に、補修や区画といった「対応の必要性」に基づいて評価した結果について述べた。まとめると以下の表のようになる。

表 5-20 損傷の対応の必要性

建物に与える影響別に分けた損傷	「対応の必要性」
■ 余震で部材が脱落する損傷	避難所であっても補修・区画等の対応が必要
■ 避難の妨げになる損傷	
■ 密閉性を著しく低下させる損傷	
■ 安全性を低下させる損傷	
■ 耐震性を低下させる損傷	急がれないが元の性能に戻すには対応が必要
■ 密閉性を低下させる損傷	
■ ■ 耐震性および密閉性を低下させる損傷	
■ 特に性能を低下させない損傷	特に補修の必要性が無い

便宜上、以降は

「避難所であっても補修・区画等の対応が必要」→「対応の必要性」が「高」

「急がれないが元の性能に戻すには対応が必要」→「対応の必要性」が「中」

「補修の必要がない」→「対応の必要性」が「低」

と表記する。

### 5.2. 「診断性の難易度」に着目した損傷の評価

5.2 では、「診断の難易度」について実験で観察された損傷を評価した結果を述べる。

5.2.1 では、乾式間仕切り壁および ALC 外壁を対象とした実験で観察された損傷を、生じた場所と規模について考察した結果（表 5-21～表 5-37）について述べる。なお、考察は実験で与えた層間変形角ごとに分けて行った（層間変形角の増加に伴い、その考察結果が変わるものがあるため）。

なお、表の赤字は、新しく観察された損傷、もしくは考察結果が変化した損傷を指す。

考察に際しては、実験の記録データとその分析（3 章、4 章及び付録 1-1～1-5、付録 2-1、2-2 の内容）を参考にした。

## 5.2.1. 生じた場所と規模に基づく実験で観察された損傷の分類

 $\theta_{\max}=1/400$  における損傷が生じた場所とその規模

$\theta_{\max}=1/400$  における乾式間仕切り壁の損傷：

ランナー端部の歪

この損傷は下地の損傷である。

上張りボードのヒビ、折れ

この損傷は上張りボードの損傷である。しかし、それぞれはボードの部分的な損傷（現象）である。

シールの切れ

この損傷は上張りボード側から見える損傷であるため、上張りボードの損傷と分類した。しかし、それぞれはボードの部分的な損傷（現象）である。

下張りボードのヒビ、折れ

この損傷は下張りボードの損傷である。

表 5-21 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

（損傷の概要の赤字→新しく観察された損傷）

（生じた場所とその規模の赤字→新しくもしくは考察結果が変化した損傷を指す。）

損傷の概要	生じた場所とその規模
ランナー端部の歪	下地の一部分の一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分

※ALC 外壁の実験では層間変形角 1/400 のセットは行っていない。

---

 $\theta_{\max}=1/200$  における損傷が生じた場所とその規模

---

$\theta_{\max}=1/200$  における乾式間仕切り壁の損傷：

ボードの目地の浮き

この損傷は上張りボードの損傷である。しかし、それぞれはボードの部分的な損傷（現象）である。

スタッドの水平移動

この損傷は下地の損傷である。

スタッドの軽微な歪

この損傷は下地の損傷である。

上記以外は変化無し。

表 5-22 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所とその規模
ランナー端部の歪	下地の一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分
ボードの目地の浮き	上張りボードの一部分
スタッドの水平移動	下地の一部分
スタッドの軽微な歪	下地の一部分

$\theta_{\max}=1/200$  における ALC 外壁の損傷

#### 窓と扉の開閉機能の低下

いずれも開口部の損傷である。

#### モルタルのヒビ

モルタルは内装材に隠される部材であるため、これは下地の損傷と分類する。

#### パネル底面の損傷

これはパネルの底面の損傷である。

表 5-23 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所
窓と扉の開閉機能の低下	開口部の一部分
モルタルのヒビ	下地の一部分
パネル底面の損傷	パネルの底面の一部分

---

 $\theta_{\max}=1/100$  における損傷が生じた場所とその規模

---

$\theta_{\max}=1/100$  における乾式間仕切り壁の損傷：

上張りボードのロッキング

層間変形角  $1/100$  では数 mm 程度のロッキングであったため、上張りボードの一部分の損傷だといえる。

スペーサーの外れ

この損傷は下地の損傷である。

ランナーの軽微な開き

この損傷は下地の損傷である。

上記以外は変化無し。

表 5-24 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所とその規模
上張りボードのロッキング	上張りボードの一部分
ランナー端部の歪	下地の一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分
ボードの目地の浮き	上張りボードの一部分
スタッドの水平移動	下地の一部分
スペーサーの外れ	下地の一部分
ランナーの軽微な開き	下地の一部分
スタッドの軽微な歪	下地の一部分

---

 $\theta_{\max}=1/100$  における損傷が生じた場所とその規模

---

$\theta_{\max}=1/100$  における ALC 外壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-25 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所
窓と扉の開閉機能の低下	開口部の一部分
モルタルのヒビ	下地の一部分
パネル底面の損傷	パネルの底面の一部分

---

 $\theta_{\max}=1/200$ （2 回目）における損傷が生じた場所とその規模

---

$\theta_{\max}=1/200$ （2 回目）における乾式間仕切り壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-26 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所とその規模
上張りボードのロッキング	上張りボードの一部分
壁間の隙間の開き	下地の一部分
ランナー端部の歪	上張りボードの一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分
ボードの目地の浮き	下地の一部分
スタッドの水平移動	下地の一部分
スペーサーの外れ	下地の一部分
ランナーの軽微な開き	下地の一部分
スタッドの軽微な歪	上張りボードの一部分

$\Theta_{\max}=1/200$ （2 回目）における ALC 外壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-27 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所
窓と扉の開閉機能の低下	開口部の一部分
モルタルのヒビ	下地の一部分
パネル底面の損傷	パネルの底面の一部分

### $\theta_{\max}=1/75$ における損傷が生じた場所とその規模

$\theta_{\max}=1/75$  における乾式間仕切り壁の損傷：

#### 持ち出し部のランナーの開き

この損傷は下地の損傷である。

#### 壁間の隙間の開き

この損傷は上張り側から見える損傷であるということで、上張りボードの損傷と分類した。ただし、層間変形角  $1/75$  の時点では一部分の損傷であるといえる。

#### ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり

この損傷は下地の損傷である。

#### 下部ランナーを留めるビスの抜け（下部ランナーの移動）

この損傷は下地の損傷である。

表 5-28 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所とその規模
持ち出し部のランナーの開き	下地の一部分
上張りボードのロッキング	上張りボードの一部分
壁間の隙間の開き	上張りボードの一部分
ランナー端部の歪	下地の一部分
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	下張りボードの一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分
ボードの目地の浮き	上張りボードの一部分
スタッドの水平移動	下地の一部分
スペーサーの外れ	下地の一部分
ランナーの軽微な開き	下地の一部分
スタッドの軽微な歪	下地の一部分
下部ランナーを留めるビスの抜け	下地の一部分



$\theta_{\max}=1/75$  における ALC 外壁の損傷：

パネルの室内側のヒビ

これはパネルの室内側に生じたヒビである。

上記以外は変化無し。

表 5-29 該当する ALC 外壁の損傷

損傷の概要	生じた場所
窓と扉の開閉機能の低下	開口部の一部分
パネルの室内側のヒビ	パネルの室内側の一部分
モルタルのヒビ	下地の一部分
パネル底面の損傷	パネルの底面の一部分

$\theta_{\max}=1/100$ （2 回目）における損傷が生じた場所とその規模

$\theta_{\max}=1/100$ （2 回目）における乾式間仕切り壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-30 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所とその規模
持ち出し部のランナーの開き	下地の一部分
上張りボードのロッキング	上張りボードの一部分
壁間の隙間の開き	上張りボードの一部分
ランナー端部の歪	下地の一部分
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	下張りボードの一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分
ボードの目地の浮き	上張りボードの一部分
スタッドの水平移動	下地の一部分
スペーサーの外れ	下地の一部分
ランナーの軽微な開き	下地の一部分
スタッドの軽微な歪	下地の一部分
下部ランナーを留めるビスの抜け	下地の一部分

$\theta_{\max}=1/100$ （2 回目）における ALC 外壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-31 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所
窓と扉の開閉機能の低下	開口部の一部分
パネルの室内側のヒビ	パネルの室内側の一部分
モルタルのヒビ	下地の一部分
パネル底面の損傷	パネルの底面の一部分

---

### $\theta_{\max}=1/50$ における損傷が生じた場所とその規模

---

$\theta_{\max}=1/50$  における乾式間仕切り壁の損傷：

#### 上張りボードの面外への変形

この損傷は上張りボードの損傷であるが、層間変形角  $1/50$  の時点では一部分の損傷であるといえる。

#### 壁間の隙間の開き

この損傷は上張りボードの損傷であるが、層間変形角  $1/50$  の時点では壁間のほぼ全域にわたって隙間が開いているため、これは全体の損傷であるといえる。

#### スタッド同士を留めるビスの抜け

この損傷は下地の損傷である。

表 5-32 該当する乾式間仕切り壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所とその規模
持ち出し部のランナーの開き	下地の一部分
上張りボードの面外への変形	上張りボードの一部分
上張りボードのロッキング	上張りボードの一部分
壁間の隙間の開き	上張りボードの全体
ランナー端部の歪	下地の一部分
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	下張りボードの一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分
ボードの目地の浮き	上張りボードの一部分
スタッドの水平移動	下地の一部分
スペーサーの外れ	下地の一部分
ランナーの軽微な開き	下地の一部分
スタッドの軽微な歪	下地の一部分
下部ランナーを留めるビスの抜け	下地の一部分
スタッド同士を留めるビスの抜け	下地の一部分

$\theta_{\max}=1/50$  における ALC 外壁の損傷：

#### ガラスのヒビ

これは開口部の生じた損傷である。

#### 開口補強鋼材の溶接の切れ

開口補強鋼材は内装材に隠される部材であるため、これは下地の損傷と分類する。

#### 定規アングルの振れ止めの溶接の切れ

定規アングルの振れ止めは外装材に隠される部材であるため、これは下地の損傷と分類する。

#### パネルの室外側のヒビ

これはパネルの室外側の損傷である。

#### パネル目地のシールの切れ

これは室外側から確認できるため、パネルの室外側の損傷と分類する。

上記以外は変化無し。

表 5-33 該当する ALC 外壁の損傷の考察結果

損傷の概要	生じた場所
ガラスのヒビ	開口部の一部分
窓と扉の開閉機能の低下	開口部の一部分
開口補強鋼材の溶接の切れ	下地の一部分
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	下地の一部分
パネルの室内側のヒビ	パネルの室内側一部分
パネルの室外側のヒビ	パネルの室外側の一部分
パネル目地のシールの切れ	パネルの室外側の一部分
モルタルのヒビ	下地の一部分
パネル底面の損傷	パネルの底面の一部分

$\theta_{\max}=1/75$ （2 回目）における損傷が生じた場所とその規模

$\theta_{\max}=1/75$ （2 回目）における乾式間仕切り壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-34 該当する乾式間仕切り壁の損傷

損傷の概要	生じた場所とその規模
持ち出し部のランナーの開き	下地の一部分
上張りボードの面外への変形	上張りボードの一部分
上張りボードのロッキング	上張りボードの一部分
壁間の隙間の開き	上張りボードの全体
ランナー端部の歪	下地の一部分
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	下張りボードの一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分
ボードの目地の浮き	上張りボードの一部分
スタッドの水平移動	下地の一部分
スペーサーの外れ	下地の一部分
ランナーの軽微な開き	下地の一部分
スタッドの軽微な歪	下地の一部分
下部ランナーを留めるビスの抜け	下地の一部分
スタッド同士を留めるビスの抜け	下地の一部分

$\theta_{\max}=1/75$ （2 回目）における ALC 外壁の損傷：

全て変化無し。

表 5-35 該当する ALC 外壁の損傷

損傷の概要	生じた場所
ガラスのヒビ	開口部の一部分
窓と扉の開閉機能の低下	開口部の一部分
開口補強鋼材の溶接の切れ	下地の一部分
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	下地の一部分
パネルの室内側のヒビ	パネルの室内側一部分
パネルの室外側のヒビ	パネルの室外側の一部分
パネル目地のシールの切れ	パネルの室外側の一部分
モルタルのヒビ	下地の一部分
パネル底面の損傷	パネルの底面の一部分

---

 $\theta_{\max}=1/33$  における損傷が生じた場所とその規模

---

$\theta_{\max}=1/33$  における乾式間仕切り壁の損傷：

天井下地の接合部の破断

これは下地の損傷である。

上張りボードの面外への変形

この損傷は上張りボードの損傷であるが、層間変形角  $1/33$  の時点では全体の損傷であるといえる。

上張りボードの脱落

この損傷は上張りボードの全体の損傷であるといえる。

上記以外は変化無し。

表 5-36 該当する乾式間仕切り壁の損傷

損傷の概要	生じた場所とその規模
持ち出し部のランナーの開き	下地の一部分
天井下地の接合部の破断	下地の一部分
上張りボードの面外への変形	上張りボード全体
上張りボードの脱落	上張りボード全体
上張りボードのロッキング	上張りボードの一部分
壁間の隙間の開き	上張りボードの全体
ランナー端部の歪	下地の一部分
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	下張りボードの一部分
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部分
シールの切れ	上張りボードの一部分
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部分
ボードの目地の浮き	上張りボードの一部分
スタッドの水平移動	下地の一部分
スペーサーの外れ	下地の一部分
ランナーの軽微な開き	下地の一部分
スタッドの軽微な歪	下地の一部分
下部ランナーを留めるビスの抜け	下地の一部分
スタッド同士を留めるビスの抜け	下地の一部分

$\theta_{\max}=1/33$  における ALC 外壁の損傷：

#### ガラスのシールの切れ

これは開口部の損傷である。

#### 窓枠の破断

これは開口部の損傷である。

#### 扉枠の破断

これは開口部の損傷である。

上記以外は変化無し。

表 5-37 該当する ALC 外壁の損傷

損傷の概要	生じた場所
ガラスのヒビ	開口部の一部分
窓と扉の開閉機能の低下	開口部の一部分
開口補強鋼材の溶接の切れ	下地の一部分
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	下地の一部分
パネルの室内側のヒビ	パネルの室内側の一部分
パネルの室外側のヒビ	パネルの室外側の一部分
パネル目地のシールの切れ	パネルの室外側の一部分
ガラスのシールの切れ	開口部の一部分
窓枠の破断	開口部の一部分
扉枠の破断	開口部の一部分
モルタルのヒビ	下地の一部分
パネル底面の損傷	パネルの底面の一部分

## 観察された損傷の場所と規模

損傷それぞれに対し、実験で観察された損傷の生じた場所と規模について考察した結果を、表 5-38 乾式間仕切り壁の損傷の場所と規模表 5-38 と表 5-39 にまとめた

表 5-38 乾式間仕切り壁の損傷の場所と規模の考察結果

	1/400	1/200	1/100	1/75	1/50	1/33
シールの切れ	上張りボードの一部	同左	同左	同左	同左	同左
上張りボードのヒビ、折れ	上張りボードの一部	同左	同左	同左	同左	同左
ボードの目地の浮き		上張りボードの一部	同左	同左	同左	同左
上張りボードのロッキング			上張りボードの一部	同左	同左	同左
壁間の隙間の開き				上張りボードの一部	上張りボードの全体	同左
上張りボードの面外への変形					上張りボードの一部	上張りボードの全体
上張りボードの脱落						上張りボードの全体
下張りボードのヒビ、折れ	下張りボードの一部	同左	同左	同左	同左	同左
ランナー端部の歪	下地の一部	同左	同左	同左	同左	同左
スタッドの水平移動		下地の一部	同左	同左	同左	同左
スタッドの軽微な歪		下地の一部	同左	同左	同左	同左
ランナーの軽微な開き			下地の一部	同左	同左	同左
スペーサーの外れ				下地の一部	同左	同左
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり				下地の一部	同左	同左
下部ランナーを留めるビスの抜け				下地の一部	同左	同左
持ち出し部のランナーの開き				下地の一部	同左	同左
スタッド同士を留めるビスの抜け					下地の一部	同左
天井下地の接合部の破断						下地の一部



表 5-39 ALC 外壁の損傷の場所と規模の考察結果

		1/200	1/100	1/75	1/50	1/33
ガラスのヒビ					開口部の一部分	同左
扉の開閉機能の低下					開口部の一部分	同左
窓の開閉機能の低下						開口部の一部分
ガラスのシールの切れ						開口部の一部分
窓枠の破断						開口部の一部分
扉枠の破断						開口部の一部分
パネル室外側のヒビ					パネルの室外側の一部分	同左
パネル目地のシールの切れ					パネルの室外側の一部分	同左
パネルの室内側のヒビ				パネルの室内側の一部分	同左	同左
パネル底面の損傷		パネルの底面の一部分	同左	同左	同左	同左
モルタルのヒビ		下地の一部分	同左	同左	同左	同左
開口補強鋼材の溶接の切れ					下地の一部分	同左
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ					下地の一部分	同左

※ 同じ層間変形角を繰り返したセットは、変化が見られなかったため省略した

### 5.2.2. 損傷が生じた場所と規模に基づく「診断の難易度」の評価

5.2.1 では、乾式間仕切りおよび ALC 外壁を対象とした実験で観察された損傷を、生じた場所と規模に基づいて、「下地の一部分に生じた損傷」、「下張りボードの一部分に生じた損傷」、「上張りボードの一部分に生じた損傷」、「上張りボードの全体に生じた損傷」、「開口部の一部分に生じた損傷」、「パネルの室内側の一部分に生じた損傷」、「パネル底面の一部分に生じた損傷」、「パネルの室外側の一部分に生じた損傷」に分類した。

5.2.2 では、5.2.1 の考察結果を踏まえ、実験で観察された損傷について、診断にどの程度の手間と時間が必要かという「診断の難易度」の評価をした結果を述べる。

評価の条件として、乾式間仕切り壁は、試験体の上張りボード側からのみ目視で診断するという前提で行った。また、ALC 外壁は、室内側に内装材が施されており、パネルおよび下地は解体を伴わないと目視で診断できないという前提で行った。

---

#### 下地の一部分に生じた損傷

---

下地の一部分の損傷は、仕上げ材の解体を伴わない限り目視では診断できない。

---

#### 下張りボードの一部分に生じた損傷

---

下張りボードの一部分の損傷は、仕上げ材の解体を伴わない限り目視では診断できない。

---

#### 上張りボードの一部分に生じた損傷

---

上張りボードの一部分の損傷は解体工事を伴わずとも目視で診断することが可能だが、損傷の近くで丁寧に観察することが必要である。つまり、短時間で部屋の全体の安全確認を行う応急危険度判定では診断できず、専門家などによる時間をかけた詳細な調査でないと診断できないと考えられる。

---

#### 上張りボード全体に生じた損傷

---

上張りボード全体の損傷は解体工事を伴わずとも目視で診断することが可能である。更に、ボード全体の損傷であるため、遠目からでも確認可能である。つまり、応急危険度判定でも診断できると考えられる。

---

#### パネルの室内側の一部分に生じた損傷

---

パネルの室内側に生じた損傷は、仕上げ材の解体を伴わない限り目視では診断できないと考えられる。

---

### パネルの室外側の一部分に生じた損傷

---

パネルの室外側に生じた損傷は、解体工事を伴わずとも目視で診断することが可能である。しかし、例えば本試験体が高所に設置された壁であった場合を考えると、地上から外観全体の安全確認を行う応急危険度判定では診断できず、専門家などによる時間をかけた、足場や高所作業車を使った調査でないと診断できないと考えられる。

---

### パネル底面の一部分に生じた損傷

---

パネル底面に生じた損傷は、パネルを取り外さないと本来は確認できない。そのため、解体工事を伴わないと診断できない。

---

### 開口部の一部分に生じた損傷

---

開口部に生じた損傷は、解体工事を伴わずとも目視で診断することが可能である。室内側から簡単に診断でき、開口部の箇所は絞られるため、応急危険度判定であっても診断できると考えられる。

以上、損傷の生じた場所と規模に基づいて、「診断の難易度」を評価した結果について述べた。まとめると以下の表のようになる。

表 5-40 損傷の診断の難易度

生じた場所と規模別に分類した損傷	診断の難易度
■ 下地の一部分に生じた損傷	解体工事を経てのみ目視で診断できる
■ 下張りボードの一部分に生じた損傷	
■ パネル底面の一部分に生じた損傷	
■ パネルの室内側の一部分に生じた損傷	
■ 上張りボードの一部分に生じた損傷	専門家などによる時間をかけた調査でのみ目視で診断できる
■ パネルの室外側の一部分に生じた損傷	
■ 上張りボード全体に生じた損傷	応急危険度判定時でも目視で診断できる
■ 開口部に生じた損傷	

便宜上、以降は

「解体工事を経てのみ目視で診断できる」 → 「診断の難易度」が「難」  
「専門家などによる時間をかけた調査でのみ目視で診断できる」 → 「診断の難易度」が「中」  
「応急危険度判定時でも目視で診断できる」 → 「診断の難易度」が「易」

と表記する



### 5.3. 「対応の必要性」と「診断の難易度」に着目した損傷の整理

本研究では、損傷が建物に与える影響ごとに、その損傷の「対応の必要性」の評価を行った。更に、損傷が生じた場所と規模ごとに、その損傷の「診断の難易度」の評価を行った。

そこで、5.3 では、2 つの評価結果に基づき、実験で観察された損傷を整理した結果について述べる。

実験で観察された損傷は、それぞれ「対応の必要性」と「診断の難易度」の評価結果ごとに、9 つのカテゴリーのどれかに整理することができた。

実験で与えた層間変形角ごとに、その時観察された損傷の評価結果を整理したものを、次ページより示す。

また、試験体が実際の建物であり、損傷が実際の地震によるものだった場合、その地震後に起こり得る状況について、適宜考察したことを述べる。

$\theta_{\max}=1/400$  における損傷の整理結果

乾式間仕切り壁に、「対応の必要性」が「中」と「低」、「診断の難易度」が「難」と「中」の損傷が生じた。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-41  $\theta_{\max}=1/400$  における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		・下張りボードのヒビ、折れ	・ランナー端部の歪
	中		・上張りボードのヒビ、折れ	・シールの切れ
	易			

(赤字は、新しく観察された損傷、または、評価結果が変わった損傷を指す)

※  $\theta_{\max}=1/400$  のセットは ALC 外壁を対象とした実験では行っていない

$\theta_{\max} = 1/200$  における損傷の整理結果

1/400 と比較し、乾式間仕切り壁の損傷が増加した。ただし、「対応の必要性」「高」の損傷は生じなかった。

ALC パネルでは「対応の必要性」「低」、「診断の難易度」「難」のカテゴリーの損傷が生じた。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-42  $\theta_{\max}=1/200$  における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		・ 下張りボードのヒビ、折れ	・ ランナー端部の歪 ・ スタッダの水平移動 ・ スタッダの軽微な歪
	中		・ 上張りボードのヒビ、折れ ・ ボードの目地の浮き	・ シールの切れ
	易			

表 5-43  $\theta_{\max}=1/200$  における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難			・ モルタルのヒビ ・ パネル底面の損傷
	中			
	易			



### $\theta_{\max} = 1/100$ における損傷の整理結果

乾式間仕切り壁では「対応の必要性」「低」、「診断の難易度」「難」のカテゴリーの損傷が増加した。これらは、下地の軽微な損傷である。また、この時点でも「対応の必要性」「高」に属する損傷は生じなかった。

これは、多くの非構造部材が、層間変形角  $1/100$  には充分耐えられるように製品設計されていることを反映していると考えられる。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-44  $\theta_{\max} = 1/100$  における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		・下張りボードのヒビ、折れ	・ランナー端部の歪 ・スタッドの水平移動 ・スタッドの軽微な歪 ・ランナーの軽微な開き ・スペーサーの外れ
	中		・上張りボードのヒビ、折れ ・ボードの目地の浮き ・シールの切れ	・上張りボードのロッキング
	易			

表 5-45  $\theta_{\max} = 1/100$  における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難			・モルタルのヒビ ・パネル底面の損傷
	中			
	易			

---

 $\theta_{\max} = 1/200$  (2 回目) における損傷の整理結果

---

特に変化は見られなかった。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-46  $\theta_{\max} = 1/200$  (2 回目) における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		・下張りボードのヒビ、折れ	・ランナー端部の歪 ・スタッドの水平移動 ・スタッドの軽微な歪 ・ランナーの軽微な開き ・スペーサーの外れ
	中		・上張りボードのヒビ、折れ ・ボードの目地の浮き ・シールの切れ	・上張りボードのロッキング
	易			

表 5-47  $\theta_{\max} = 1/200$  (2 回目) における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難			・モルタルのヒビ ・パネル底面の損傷
	中			
	易			

$\theta_{\max} = 1/75$  における損傷の整理結果

乾式間仕切り壁では、「対応の必要性」「高」に属する損傷が生じた。また、「対応の必要性」「中」、「診断の難易度」「難」に属する損傷が急増した。更に、上張りボードのロックキングが「対応の必要性」「低」から「中」に移動した。このように、乾式間仕切り壁では、地震直後の補修等を含め、対応が必要な損傷が多く生じた。しかし、「診断の難易度」「易」の損傷は生じていない。

ALC 外壁では対応の必要性「低」に属する損傷しか生じていない。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-48  $\theta_{\max} = 1/75$  における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難	・持ち出し部分のランナーの開き(↑持ち出し部分のランナーの開き)	・下張りボードのヒビ、折れ ・下部ランナーを留めるビスの抜け ・ランナー端部の歪 ・ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	・スタッドの水平移動 ・スタッドの軽微な歪 ・ランナーの軽微な開き ・スペーサーの外れ
	中	・壁間の隙間の開き	・上張りボードのヒビ、折れ ・ボードの目地の浮き ・シールの切れ ・上張りボードのロックキング	
	易			

表 5-49  $\theta_{\max} = 1/75$  における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難			・モルタルのヒビ ・パネル底面の損傷 ・パネル室内側のヒビ
	中			
	易			

$\theta_{\max} = 1/100$ （2 回目）における損傷の整理結果

特に変化は見られなかった。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-50  $\theta_{\max} = 1/100$ （2 回目）における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難	・ 持ち出し部分のランナーの開き	・ 下張りボードのヒビ、折れ ・ 下部ランナーを留めるビスの抜け ・ ランナー端部の歪 ・ ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	・ スタッ드의水平移動 ・ スタッ드의軽微な歪 ・ ランナーの軽微な開き ・ スペーサーの外れ
	中	・ 壁間の隙間の開き	・ 上張りボードのロッキング ・ 上張りボードのヒビ、折れ ・ ボードの目地の浮き ・ シールの切れ	
	易			

表 5-51  $\theta_{\max} = 1/100$ （2 回目）における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難			・ モルタルのヒビ ・ パネル底面の損傷 ・ パネル室内側のヒビ
	中			
	易			

$\theta_{\max} = 1/50$  における損傷の整理結果

乾式間仕切り壁のランナー端部の歪が「対応の必要性」「低」から「中」に移動した。これまでと比較し、新しい損傷は比較的発生しなかった（ただし、既存の損傷が進行している）。

ALC 外壁では「対応の必要性」の全カテゴリーで、損傷が急増した。パネルのヒビには室外側、室内側の両方で「対応の必要性」「中」と「低」に属するものが生じた。

なお、この段階で、両部材とも、「診断の難易度」「易」の損傷が生じているため、応急危険度判定でも、部材に損傷が生じていることがわかると考えられる。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-52  $\theta_{\max}=1/50$  における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難	・ 持ち出し部分のランナーの開き	・ 下張りボードのヒビ、折れ ・ 下部ランナーを留めるビスの抜け ・ ランナー端部の歪 ・ ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり ・ スタッド同士を留めるビスの抜け	・ スタッドの水平移動 ・ スタッドの軽微な歪 ・ ランナーの軽微な開き ・ スペースの外れ
	中		・ 上張りボードのロッキング ・ 上張りボードのヒビ、折れ ・ ボードの目地の浮き ・ シールの切れ ・ 上張りボードの面外変形	
	易	・ 壁間の隙間の開き		

表 5-53  $\theta_{\max}=1/200$  における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		・ 開口補強鋼材の溶接の切れ ・ 定規アングルの振れ止めの溶接の切れ ・ パネル室内側のヒビ	・ モルタルのヒビ ・ パネル底面の損傷 ・ パネル室内側のヒビ
	中		・ パネル室外側のヒビ	・ パネル目地のシールの切れ ・ パネル室外側のヒビ
	易	・ ガラスのヒビ ・ 扉の開閉機能の低下		

$\theta_{\max} = 1/75$ （2 回目）における損傷の整理結果

特に変化は見られなかった。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-54  $\theta_{\max} = 1/75$ （2 回目）における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難	・ 持ち出し部分のランナーの開き	・ 下張りボードのヒビ、折れ ・ 下部ランナーを留めるビスの抜け ・ ランナー端部の歪 ・ ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり ・ スタッド同士を留めるビスの抜け	・ スタッドの水平移動 ・ スタッドの軽微な歪 ・ ランナーの軽微な開き ・ スペーサーの外れ
	中		・ 上張りボードのロックキング ・ 上張りボードの面外変形 ・ 上張りボードのヒビ、折れ ・ ボードの目地の浮き ・ シールの切れ	
	易	・ 壁間の隙間の開き		

表 5-55  $\theta_{\max} = 1/75$ （2 回目）における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		・ 開口補強鋼材の溶接の切れ ・ 定規アングルの振れ止めの溶接の切れ ・ パネル室内側のヒビ	・ モルタルのヒビ ・ パネル底面の損傷 ・ パネル室内側のヒビ
	中		・ パネル室外側のヒビ	・ パネル目地のシールの切れ
	易	・ ガラスのヒビ ・ 扉の開閉機能の低下		

### $\theta_{\max}=1/33$ における損傷の整理結果

乾式間仕切り壁の上張りボードの損傷が、「対応の必要性」「中」「診断の難易度」「中」から、「対応の必要性」「高」「診断の難易度」「易」に移動した。損傷の数、種類は層間変形角  $1/75$  の時から大きく変わっていない。

ALC パネルは、「診断の難易度」「中」「易」の損傷が多く生じた。これは、目視で確認できる範囲の損傷が多く生じたことを意味する。「対応の必要性」「高」、「診断の難易度」「高」の損傷は生じなかった。

以下の表に、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

表 5-56  $\theta_{\max}=1/33$  における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難	・持ち出し部分のランナーの開き	・下張りボードのヒビ、折れ ・下部ランナーを留めるビスの抜け ・ランナー端部の歪 ・ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり ・スタッド同士を留めるビスの抜け ・天井下地の接合部の破断	・スタッドの水平移動 ・スタッドの軽微な歪 ・ランナーの軽微な開き ・スパーサーの外れ
	中	・上張りボードのロッキング	・上張りボードのヒビ、折れ ・ボードの目地の浮き ・シールの切れ	
	易	・壁間の隙間の開き ・上張りボードの面外変形 ・上張りボードの脱落		

表 5-57  $\theta_{\max}=1/33$  における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		・開口補強鋼材の溶接の切れ ・定規アングルの振れ止めの溶接の切れ ・パネル室内側のヒビ	・モルタルのヒビ ・パネル底面の損傷 ・パネル室内側のヒビ
	中	・パネル室外側のヒビ	・パネル室外側のヒビ ・パネル目地のシールの切れ	
	易	・ガラスのヒビ ・扉の開閉機能の低下 ・窓の開閉機能の低下	・ガラスのシールの切れ ・窓枠の破断 ・扉枠の破断	

### 損傷の評価結果のまとめと考察

---

次ページの表に、 $\theta_{\max}=100$ ,  $1/75$ ,  $1/50$ ,  $1/33$  における、「対応の必要性」と「診断の難易度」を評価した結果をまとめた。

乾式間仕切り壁と ALC 外壁の両部材において、層間変形角  $1/100$  まで「対応の必要性」が「高」の損傷は生じなかった。特に ALC 外壁は「中」の損傷も生じなかった。

その後、乾式間仕切り壁では層間変形角  $1/75$  で「対応の必要性」「高」かつ「診断の難易度」「難」に属するものを含め、損傷が急増した。しかし、「診断の難易度」「易」の損傷は生じていない。そのため、短時間で行われる応急危険度判定では、生じている損傷について気付くことができない可能性が高い。避難所や病院、災害拠点などに同様の損傷が生じた場合、利用開始が急がれる建物では、補修や一部立ち入り禁止にするなど、損傷に対して必要な対応が何も取られないまま、大勢の人が入ってきてしまうことが想定される。この状態で、余震や、火事などの災害が再度生じた場合、その被害は甚大になる。

通常の建物の場合、損傷の診断を行うのは専門家ではなく、建物の所有者である場合が多いと考えられる。この場合、「診断の難易度」が「易」、良くて「中」の損傷のみに気付くことができる想定される。しかし、「診断の難易度」が「高」の損傷にも、「対応の必要性」が「高」や「中」の損傷が多く生じている。こうした損傷は、修復されずに放置され、将来の地震で人的被害を起こすということも考えられる。

乾式間仕切り壁では、層間変形角  $1/50$ 、 $1/33$  では新しい損傷は多くは生じなかった。しかし、「対応の必要性」が「高」の損傷が生じた。特に、ボードの脱落は、それ自体が人的被害を起こし得るものである。

ALC 外壁では、層間変形角  $1/50$  の時に「対応の必要性」「中」「低」の損傷が急増した。ただし、「対応の必要性」「中」とされる損傷は、「診断の難易度」「難」のものが多く、「中」「易」のものは少なかった。つまり、この段階では、目に見える損傷は少ないが、目に見えない部分で損傷が多く生じている状況にある。目で見える範囲の損傷を対応するだけでは、建物が低下したまま終わってしまう。

層間変形角  $1/33$  は、「対応の必要性」「高」「中」の損傷が急増した。ただし、どちらも「高」の損傷は生じなかった。

以上は、本実験で観察された損傷と評価の結果から考察されたことである。しかし、本実験は、実際の建物で使われていると同様の部材を用いているため、上記の考察内容は、実際の地震でも起こり得ることである。そこで、5.4 では、将来の被害を軽減化させるために取るべき対策について、評価結果のカテゴリーごとに考察した結果を述べる。



表 5-58  $\theta_{\max}=100, 1/75, 1/50, 1/33$  における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難	・持ち出し部分のランナーの開き	<ul style="list-style-type: none"> <li>下張りボードのヒビ、折れ</li> <li>下部ランナーを留めるビスの抜け</li> <li>ランナー端部の歪</li> <li>ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり</li> <li>○スタッド同士を留めるビスの抜け</li> <li>●天井下地の接合部の破断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スタッドの水平移動</li> <li>スタッドの軽微な歪</li> <li>ランナーの軽微な開き</li> <li>スペーサーの外れ</li> </ul>
	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>壁間の隙間の開き</li> <li>●上張りボードのロッキング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボードの目地の浮き</li> <li>シールの切れ</li> <li>上張りボードのロッキング</li> <li>上張りボードのヒビ、折れ</li> <li>○上張りボードの面外への変形</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上張りボードのロッキング</li> </ul>
	易	<ul style="list-style-type: none"> <li>○壁間の隙間の開き</li> <li>●上張りボードの面外変形</li> <li>●上張りボードの脱落</li> </ul>		

表 5-59  $\theta_{\max}=100, 1/75, 1/50, 1/33$  における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		<ul style="list-style-type: none"> <li>○開口補強鋼材の溶接の切れ</li> <li>○定規アングルの振れ止めの溶接の切れ</li> <li>○パネル室内側のヒビ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○パネル室内側のヒビ</li> <li>○モルタルのヒビ</li> <li>・パネル底面の損傷</li> </ul>
	中	●パネル室外側のヒビ	<ul style="list-style-type: none"> <li>○パネル室外側のヒビ</li> <li>●パネル目地のシールの切れ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○パネル室外側のヒビ</li> <li>○パネル目地のシールの切れ</li> </ul>
	易	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ガラスのヒビ</li> <li>○扉の開閉機能の低下</li> <li>●窓の開閉機能の低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ガラスのシールの切れ</li> <li>●窓枠の破断</li> <li>●扉枠の破断</li> </ul>	

凡例	○	変形角 1/100 までに観察された損傷
	・	変形角 1/75 で観察された損傷
	○	変形角 1/50 で観察された損傷
	●	変形角 1/33 で観察された損傷

#### 5.4. 非構造部材の耐震性を向上させる方法

5.4 では、「対応の必要性」と「診断の難易度」の評価結果の整理によって分けられた 9 つの 카테고리ごとに、その意味について考察した結果を述べる。考察結果から、そのカテゴリに該当する損傷の被害を軽減化するための対策について述べる。

**「対応の必要性」：「高」、「診断の難易度」：「難」、の 카테고리に属する損傷について**

**카테고리의意味：**

これに該当する損傷は、避難所などであっても、補修する、区画するといった対応が必要であるのにも関わらず、解体を伴わないと診断できないと考えられる損傷である。

**対策方法：**

これから建てられる建物においては、これに該当する損傷が生じないように、設計方法を定めることが急務である。また、既存の建物の改修方法についても検討が必要である。また、地震が来てしまったときのために、これに該当する損傷を診断できる、目視以外の方法を確立させることも急務である。

$\theta_{\max}=1/100$  の時

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

$\theta_{\max}=1/50$  の時

該当する乾式間仕切り壁の損傷：「持ち出し部分のランナーの開き」

該当する ALC 外壁の損傷：無し

$\theta_{\max}=1/33$  の時

該当する乾式間仕切り壁の損傷：「持ち出し部分のランナーの開き」

該当する ALC 外壁の損傷：無し

**「対応の必要性」：「高」、「診断の難易度」：「中」、のカテゴリーに属する損傷について**

**カテゴリーの意味：**

これに該当する損傷は、避難所などであっても補修か区画等の対応が必要であるのにも関わらず、専門家による詳細な調査でないと診断できないと考えられる損傷である。

**対策方法：**

これに該当する損傷についても、損傷がなるべく生じないような設計方法の確立が急務である。また、利用者の安全を考えると、応急危険度判定であっても、これに該当する損傷を可能な限り発見できるようにしておくことが必要である。地震が来る前に、これに該当する損傷が起ころうな箇所を事前にチェックしておくことや、補修等の方法について、応急危険度判定のマニュアルに記載するなどの対策が望ましい。

**$\theta_{\max}=1/100$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

**$\theta_{\max}=1/50$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

**$\theta_{\max}=1/33$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：「上張りボードのロッキング」

該当する ALC 外壁の損傷：「パネル室外側のヒビ」

**「対応の必要性」：「高」、「診断の難易度」：「易」、のカテゴリーに属する損傷について**

**カテゴリーの意味：**

これに該当する損傷は、避難所であっても補修か区画等の対応が必要であり、応急危険度判定で診断可能な損傷である。

**対策方法：**

これに該当する損傷についても、損傷がなるべく生じないような設計方法の確立が急務である。また利用者の安全を考えると、応急危険度判定の段階で、これに該当する損傷を見逃すことがないようにする必要がある。地震が来る前に、これに該当する損傷が起こりそうな箇所を事前にチェックしておくことや、補修等の方法について、応急危険度判定のマニュアルに記載するなどの対策が望ましい。

**$\theta_{\max}=1/100$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

**$\theta_{\max}=1/50$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：「壁間の隙間の開き」

該当する ALC 外壁の損傷：「ガラスのヒビ」、「扉の開閉機能の低下」

**$\theta_{\max}=1/33$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：「上張りボードの面外変形」、「上張りボードの脱落」、「壁間の隙間の開き」

該当する ALC 外壁の損傷：「ガラスのヒビ」、「窓の開閉機能の低下」、「扉の開閉機能の低下」

**「対応の必要性」：「中」、「診断の難易度」：「難」、のカテゴリーに属する損傷について**

**カテゴリーの意味：**

これに該当する損傷は、対応が急がれないが元の性能に戻すためには補修が必要であり、解体を伴わないと診断できない損傷である。

**対策方法：**

これに該当する損傷を地震後に放置しておく、例えば、空調性が明らかに悪化しているのにも関わらず、建物の所有者（又は利用者）では原因が断定できず手が打てないといったことが起こり得る。それでも性能を元に戻したい場合は、地震による損傷に詳しい専門業者が調査を行うと考えられる。しかし、解体を伴わないと目視では診断できない損傷であるため、効率的な修復のためには、目視に代わる非破壊の診断方法が確立されていることが望ましいと考えられる。

**$\theta_{\max}=1/100$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「下張りボードのヒビ、折れ」

**該当する ALC 外壁の損傷：**無し

**$\theta_{\max}=1/50$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「下張りボードのヒビ、折れ」、「下部ランナーを留めるビスの抜け」、「ランナー端部の歪」、「ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり」、「スタッド同士を留めるビスの抜け」

**該当する ALC 外壁の損傷：**「開口補強鋼材の溶接の切れ」、「定規アングルの振れ止めの溶接の切れ」、「パネル室内側のヒビ」

**$\theta_{\max}=1/33$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「下張りボードのヒビ、折れ」、「下部ランナーを留めるビスの抜け」、「ランナー端部の歪」、「ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり」、「スタッド同士を留めるビスの抜け」、「天井下地の接合部の破断」

**該当する ALC 外壁の損傷：**「開口補強鋼材の溶接の切れ」、「定規アングルの振れ止めの溶接の切れ」、「パネル室内側のヒビ」

**「対応の必要性」：「中」、「診断の難易度」：「中」、のカテゴリーに属する損傷について**

**カテゴリーの意味：**

これに該当する損傷は、対応が急がれないが元の性能に戻すためには補修が必要であり、専門家が丁寧に観察しないと診断できない損傷である。

**対策方法：**

これに該当する損傷を地震後に放置しておく、例えば、空調性が明らかに悪化しているのにも関わらず、建物の所有者（又は利用者）では原因を突き止めることができず、手が打てないといったことが起こり得る。しかし、時間をかければ目視で確認できる損傷である。そこで、地震後の自主点検時のマニュアルなどに、これらの損傷について記載することが望ましい。また、損傷を発見していた場合は、所有者（又は利用者）が自分達で修復しようとするのが考えられるため、正しい修復方法などを周知することが望ましい。

**$\theta_{\max}=1/100$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「上張りボードのヒビ、折れ」、「ボードの目地の浮き」、「シールの切れ」

**該当する ALC 外壁の損傷：**無し

**$\theta_{\max}=1/50$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「上張りボードのロッキング」、「上張りボードの面外変形」、「上張りボードのヒビ、折れ」、「ボードの目地の浮き」、「シールの切れ」

**該当する ALC 外壁の損傷：**「パネル室外側のヒビ」

**$\theta_{\max}=1/33$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「上張りボードのヒビ、折れ」、「ボードの目地の浮き」、「シールの切れ」

**該当する ALC 外壁の損傷：**「パネル室外側のヒビ」、「パネル目地のシールの切れ」

「対応の必要性」:「中」、「診断の難易度」:「易」、のカテゴリーに属する損傷について

**カテゴリーの意味：**

これに該当する損傷は、対応が急がれないが元の性能に戻すには補修が必要であり、また応急危険度判定でも診断できる損傷である。つまり、建物の所有者（又は利用者）が自分で簡単に見つけられる損傷である。

**対策方法：**

これに該当する損傷は、建物の所有者（又は利用者）が自分達で修復しようとするのが考えられるため、正しい修復方法などを周知することが望ましい。

$\theta_{\max}=1/100$  の時

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

$\theta_{\max}=1/50$  の時

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

$\theta_{\max}=1/33$  の時

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：「ガラスのシールの切れ」、「窓枠の破断」、「扉枠の破断」

---

「対応の必要性」：「低」、「診断の難易度」：「難」、のカテゴリーに属する損傷について

---

**カテゴリーの意味：**

これに該当する損傷は、特に補修の必要はないが、解体を伴わないと診断できないものである。ただし、そもそも補修の必要がないため、診断する必要もない。

**対策方法：**

特に対策する必要はない。

**$\theta_{\max}=1/100$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「ランナー端部の歪」、「スタッドの水平移動」、「スタッドの軽微な歪」、「ランナーの軽微な開き」、「スパーサーの外れ」

**該当する ALC 外壁の損傷：**「モルタルのヒビ」、「パネル底面の損傷」

**$\theta_{\max}=1/50$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「スタッドの水平移動」、「スタッドの軽微な歪」、「ランナーの軽微な開き」、「スパーサーの外れ」

**該当する ALC 外壁の損傷：**「モルタルのヒビ」、「パネル底面の損傷」、「パネル室内側のヒビ」、「パネル室外側のヒビ」

**$\theta_{\max}=1/33$  の時**

**該当する乾式間仕切り壁の損傷：**「スタッドの水平移動」、「スタッドの軽微な歪」、「ランナーの軽微な開き」、「スパーサーの外れ」

**該当する ALC 外壁の損傷：**「モルタルのヒビ」、「パネル底面の損傷」、「パネル室内側のヒビ」、「パネル室外側のヒビ」



---

「対応の必要性：低」、「診断の難易度：中」、の категория に属する損傷について

---

**カテゴリーの意味：**

これに該当する損傷は、特に補修の必要はないが専門家が丁寧に調査しないと診断できない損傷である。ただし、そもそも補修の必要がないため、診断する必要もない。

**対策の方向：**

特に対策する必要はない。

**$\theta_{\max}=1/100$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：「上張りボードのロッキング」

該当する ALC 外壁の損傷：無し

**$\theta_{\max}=1/50$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：「パネル目地のシールの切れ」

**$\theta_{\max}=1/33$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

---

「対応の必要性」:「低」、「診断の難易度」:「易」のカテゴリーに属する損傷について

---

**カテゴリーの意味：**

これに該当する損傷は、特に補修の必要はなく、応急危険度判定で診断可能な損傷である。ただし、そもそも補修の必要がないため、診断する必要もない。

**対策の方向：**

特に対策する必要はない。

なお、本実験では、全実験を通して、これに該当する損傷は無かった。「診断の難易度」が「易」である損傷は、本評価では「対応の必要性」を最低でも「中」（意匠性を低下させるなど）に該当するため、これは当然の結果である。

**$\theta_{\max}=1/100$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

**$\theta_{\max}=1/50$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

**$\theta_{\max}=1/33$  の時**

該当する乾式間仕切り壁の損傷：無し

該当する ALC 外壁の損傷：無し

### 5.5. 小結

5 章では、実験で観察された損傷の評価をした結果を述べた。

5.1 では、「対応の必要性」について実験で観察された損傷を評価した結果を述べた。

5.2 では、「診断の難易度」について実験で観察された損傷を評価した結果を述べた。

5.3 では、評価結果に基づいて、層間変形角ごとに損傷を整理した結果を述べた。

5.4 では、補修等の対応が必要であるが、短時間で診断できない損傷の特定と、その対策方法について考察した結果を述べた。

損傷の「対応の必要性」と「診断の難易度」の評価をすることで、層間変形角ごとに乾式間仕切り壁と ALC 外壁に生じる損傷と、その特性について把握することができた。これにより、仮に試験体の実建物で、実際の地震により損傷が生じたと考えた場合に起こり得る状況について考察することができた。

乾式間仕切り壁の実験で、層間変形角 1/75 で生じた、梁からの持ち出し部分のランナーの開きは、地震後に補修等の対応が必要であるが、短時間で診断できない損傷と評価された。

これから建てられる建物においては、このような損傷が生じないように、設計方法を定めることが急務である。また、既存の建物の改修方法についても検討が必要である。また、地震が来てしまったときのために、これに該当する損傷を診断できる、目視以外の方法を確立させることも急務である。

また乾式間仕切り壁のボードや、ALC パネルに生じたヒビには、高所からの破片が落下する可能性があるものや、耐震性、密閉性といった性能を低下させるものがある。しかし、高所での詳細な調査や、解体工事といったことが診断に必要であるため、即座に診断することはできない。

これに該当する損傷についても、損傷がなるべく生じないような設計方法の確立が急務である。また地震が来る前に、これに該当する損傷が起こりそうな箇所を事前にチェックしておくことや、補修等の必要な対応について、応急危険度判定のマニュアルに記載するなどの対策が望ましい。



# 6章 結論

---

6.1.	本研究の総括.....	202
6.2.	本研究の成果.....	204
6.3.	今後の課題 .....	205

### 6.1. 本研究の総括

---

#### 2 章 非構造部材の耐震性の課題

---

実験で観察された損傷について、記述のある既往研究を整理した結果について述べた。既往研究の整理から、既往研究は損傷に関する記述が少ないことがわかった。また、乾式間仕切り壁は特殊な部位の損傷と躯体の大変形時の損傷を十分に検証できていないこと、ALC 外壁は開口部の開閉機能と躯体の大変形時の損傷を十分に検証できていないことが分かった。

---

#### 3 章 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験

---

乾式間仕切り壁の平坦な壁と、梁からの持ち出し部分など特殊な部位を含む壁を鉄骨骨組みに取り付け、躯体の大変形時まで再現した実大載荷実験で観察された損傷について述べた。

平坦な壁では変形角  $1/50$  まで目立った損傷は生じなかったが、変形角  $1/33$  で石膏ボードが面外に変形したのち、脱落した。梁からの持ち出し部分では、変形角  $1/75$  で、ランナーが開き、スタッドが脱落した。

---

#### 3 章 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験

---

ALC 外壁の平坦な壁と、開口部を含む壁を鉄骨骨組みに取り付け、躯体の大変形時まで再現した実大載荷実験で観察された損傷について述べた。

窓と扉が取り付けられた壁では、変形角  $1/50$  以降に、開口部周辺のパネルにヒビが多数生じた。これはパネルが開口補強鋼材により拘束された結果、パネル間でロッキングの差や、ボルトからの応力が発生したことが原因と考えられる。

窓と扉の開閉機能の確認も行った。その結果、窓は変形角  $1/100$  以上、扉は変形角  $1/200$  以上で、開閉不良が生じやすいことが分かった。

---

#### 5 章 実験で観察された損傷の評価

---

3 章と 4 章で行った実験で観察された損傷の「対応の必要性」と、「診断の難易度」を評価した。評価結果の整理から、層間変形角ごとに乾式間仕切り壁と ALC 外壁に生じる損傷と、その特性について把握することができた。これにより、仮に試験体を実建物で、実際の地震により損傷が生じたと考えた場合に起こり得る状況について考察することができた。

層間変形角  $1/75$  の時に、乾式間仕切り壁の梁からの持ち出し部分のランナーの開きは、地震後に補修等の対応が必要だが、短時間で診断できない損傷であることが分かった。

図 6-1 に評価結果をまとめたものを示す。「対応の必要性」が、「高」のカテゴリーには、避難所等でも補修や区画し使用禁止にする等の対応が必要な損傷、「中」のカテゴリーには、建物の性能を元に戻すために修復等の対応が必要な損傷、「低」は特に補修等する必要のな

い損傷が該当する。「診断性」が、「難」の 카테고리には、解体工事を経て目視で診断ができる損傷、「中」の 카테고리には、専門家などによる時間をかけた調査であれば目視で診断ができる損傷、「易」の 카테고리には、即座に目視で診断ができる損傷が該当する。

表 6-1  $\theta_{\max}=100, 1/75, 1/50, 1/33$  における乾式間仕切り壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難	・持ち出し部分のランナーの開き	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦下張りボードのヒビ、折れ</li> <li>・下部ランナーを留めるビスの抜け</li> <li>・ランナー端部の歪</li> <li>・ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり</li> <li>○スタッド同士を留めるビスの抜け</li> <li>●天井下地の接合部の破断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦スタッドの水平移動</li> <li>◦スタッドの軽微な歪</li> <li>◦ランナーの軽微な開き</li> <li>◦スペーサーの外れ</li> </ul>
	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>・壁間の隙間の開き</li> <li>●上張りボードのロッキング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ボードの目地の浮き</li> <li>◦シールの切れ</li> <li>・上張りボードのロッキング</li> <li>・上張りボードのヒビ、折れ</li> <li>○上張りボードの面外への変形</li> </ul>	◦上張りボードのロッキング
	易	<ul style="list-style-type: none"> <li>○壁間の隙間の開き</li> <li>●上張りボードの面外変形</li> <li>●上張りボードの脱落</li> </ul>		

表 6-2  $\theta_{\max}=100, 1/75, 1/50, 1/33$  における ALC 外壁の損傷の評価結果

		「対応の必要性」		
		高	中	低
「診断の難易度」	難		<ul style="list-style-type: none"> <li>○開口補強鋼材の溶接の切れ</li> <li>○定規アングルの振れ止めの溶接の切れ</li> <li>○パネル室内側のヒビ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦パネル室内側のヒビ</li> <li>◦モルタルのヒビ</li> <li>・パネル底面の損傷</li> </ul>
	中	●パネル室外側のヒビ	<ul style="list-style-type: none"> <li>○パネル室外側のヒビ</li> <li>●パネル目地のシールの切れ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○パネル室外側のヒビ</li> <li>○パネル目地のシールの切れ</li> </ul>
	易	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ガラスのヒビ</li> <li>○扉の開閉機能の低下</li> <li>●窓の開閉機能の低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ガラスのシールの切れ</li> <li>●窓枠の破断</li> <li>●扉枠の破断</li> </ul>	

凡例	◦	変形角 1/100 までに観察された損傷
	・	変形角 1/75 で観察された損傷
	○	変形角 1/50 で観察された損傷
	●	変形角 1/33 で観察された損傷

## 6.2. 本研究の成果

本研究では、これまで耐震上重要であるにも関わらず、実験による検証が不十分であった、乾式間仕切り壁の特殊な部位、躯体の大変形、及び、ALC 外壁の開口部の開閉機能、躯体の大変形を含め再現した実大載荷実験を行うことで、様々な損傷について知見を得ることができた。

損傷について実験時に詳細な観察を行ったことで、与えた層間変形角ごとに損傷の「対応の必要性」と「診断の難易度」について、評価することができた。その結果、地震後に補修等の対応が必要だが、短時間で診断が難しい損傷などの把握と、その対策方法の考察をすることができた。

研究目的と対応させると、以下のようになる。

---

### 地震後に補修等の対応が必要だが、短時間で診断が難しい損傷などの把握

---

乾式間仕切り壁では層間変形角 1/75 のときに、ALC 外壁では層間変形角 1/50 の時に、短時間で診断できない損傷が急増した。発生した損傷の中には、部材の耐震性や防火性を下げるため、地震後に補修等の対応が必要なものもあった。

層間変形角 1/75 の時に生じた、乾式間仕切り壁の持ち出し部分のランナーの開きが、地震後に補修等の対応が必要だが、短時間で診断できない損傷だとわかった。

---

### 損傷の対策方法の考察

---

対応が必要とされる損傷については、まず損傷が生じないための設計方法を定めることが急務である。また、既存の建物の改修方法についても検討が必要である。更に、地震が来てしまったときのために、これに該当する損傷を診断できる、目視以外の方法を確認させることも急務である。

また、目視で診断できる損傷は、可能な限り発見できるよう対策しておくことが必要である。その方法として、地震が来る前に、これに該当する損傷が起こりそうな箇所を事前にチェックしておくことや、補修等の方法について、応急危険度判定のマニュアルに記載するなどが考えられる。

乾式間仕切り壁の梁からの持ち出し部分に生じた損傷の対策としては、先行ピースや上部ランナーの剛性を高めることで、持ち出し部分の躯体への追従性を高めることが挙げられる。これは部材の厚みを増すことや、接合部のピンの量を増やすことなどで実現できる。また、持ち出し部分の長さを短くすることで、回転量を抑えることができると考えられる。

目視以外の診断方法としては、ランナーの開き、もしくは、その原因となった壁の回転を検出できる技術の開発が必要だと考えられる。



### 6.3. 今後の課題

本実験を踏まえて、今後の展望について述べる。

---

#### ・実験方法の改善

---

本研究で行った実験では、毎観察時に試験体の写真をなるべく満遍なく撮影し、損傷が観察されたときに撮影した写真をさかのぼることで、損傷が発生したタイミングを正確に突き止めるということを行った。しかし、乾式間仕切り壁における天井の接合部や、ALC 外壁の定規アングルの振れ止めの溶接箇所といった場所は損傷が生じると想定していなかったため、写真の撮影を行っていなかった。そのため、損傷が生じた時の正確なタイミングが不明となってしまった。今後実験する際は、今回の実験結果を踏まえ、記録方法を工夫することが必要である。

また、今回は実験後、試験体の解体時に特に分析することなく試験体を壊した。今後実験する際には、試験体の解体時に立ち会い、スタッドに隠れていた部分のボードの状態や、上張りボードに隠されていた下張りボードの状態、ボルトを外したときの ALC パネルの状態などを把握することも重要だと考えられる。

---

#### 追加実験によるより詳細な損傷の分類・評価

---

本研究では、実験で観察された損傷について、建物に与える影響について考察した。その結果、「避難所等の地震後の利用開始が急がれる建物であっても、補修等の対応をするべき損傷」と、「避難所等では対応をしなくても良いが、建物の性能を低下させるため、性能を元に戻すには補修が必要な損傷」と、「特に建物の性能を低下させない損傷」に分類できた。

この「避難所等では対応をしなくても良いが、建物の性能を低下させるため、性能を元に戻すには補修が必要な損傷」は、石膏ボードのヒビなどが該当していた。しかし、実験で生じたヒビは複数あり、その長さや幅はそれぞれ異なっていた。そのため、実際には建物の密閉性（耐火性、音響性、空調性、水密性など）の性能を低下させる程度は異なると考えられる。

しかし、本研究で行った実験と観察では、その差異を考慮できないと判断したため、一つの分類にまとめた。客観性を失わずにその差異を考慮し、更に細かく分類するためには、対象を絞った実験を行い、損傷を定量的に評価する必要がある（ヒビの長さや密閉性の低下率の関係性の評価など）。

### 構造部材の損傷との照合

---

2 章でも述べた通り、構造部材に著しい損傷が生じた場合、非構造部材の損傷の程度に関わらず建物を使用することはできない。

本研究で行った実大載荷実験では、鉄骨骨組みの挙動の計測・観察も行っていた。今後は、その結果との比較をすることが必要である。

### 他の切り口からの損傷の評価

---

本研究では、損傷の対応の必要性和診断の難易度に着目し、実験で観察された損傷を評価した。これにより、実際の地震時に避難所であっても対応が必要であるが、現状では充分迅速に診断することができない損傷があるという耐震性の課題を明らかにできた。

今後は、損傷の修復に必要なコスト、損傷の修復に必要な時間という、更に別の切り口からの損傷の評価を行うことで、新たな耐震性の課題を明らかにすることが望まれる。

修復に必要なコストに着目し損傷を評価した結果と、本研究の対応の必要性に着目した評価結果を合わせると、地震後の復旧に必要なコストの最低額（対応の必要性「高」の損傷のみ修復する）や、完全な復旧に必要なコスト（対応の必要性「中」の損傷まで修復する）について明らかにできると考えられる。

修復に必要な時間に着目し損傷を評価した結果と、本研究の対応の必要性に着目した評価結果を合わせると、地震後に最低限の復旧（対応の必要性「高」の損傷のみ修復する）にかかる時間の算出が容易にできることが考えられる。

また、修復に必要な時間に着目し損傷を評価した結果と、本研究の診断の難易度に着目した評価結果を合わせると、地震後に損傷の対応をするのに必要な時間が、より正確に算出できるようになると考えられる。

2003 年の金子らの研究や、2013 年の寺本らの実験では、損傷の補修・復旧に必要な作業の規模に着目しているが、本研究との照合が今後、求められる。

### 評価結果の一般化

---

本研究では 1 つの試験体に対して生じる様々な損傷を丁寧に確認するという目的のもと実験したため、乾式間仕切り壁と ALC 外壁について、1 回ずつしか実験を行っていない。そのため、本研究で行った実験で観察された損傷で確認された新しい損傷は、今回の実験の試験体固有の損傷である可能性がある。そのため、本研究の分析結果を実社会に反映させるためには、まず一般化させることが必要である。

本研究の分析結果を一般化させる単純な方法として、実験の数を増やし、評価する損傷の数を増やすことが挙げられる。

そのため、乾式間仕切り壁やALC外壁を対象とした実大載荷実験を行う際には、実験の目的が損傷観察でなくとも、生じた損傷について、正確な位置、発生時の層間変形角、進行具合、周囲の状況、詳細まで観察してもらい、知見を共有してもらうことが望ましい。

### 要素実験などによる対策方法の具体的な検討

本研究では、損傷の分析を通して考察した損傷の発生原因から、設計上の対策方法についても述べた（詳細は付録 1-3 および 1-6）。

しかし、設計上の具体的な対策方法を確立し、設計基準等に反映するためには、実験対象を絞った要素実験などを通して、対策方法の定量的な検討が必要である。

### 損傷を診断する目視以外の方法の確立

本研究では、損傷の「診断の難易度」の評価した結果、これにより、実際の地震時に、避難所であっても対応が必要であるが、現状のままだと充分迅速に診断することができない損傷があることがわかった。

該当する損傷について、今後、目視以外の診断方法の確立が望まれる。その方法としては、①本研究で作成した表の活用、②加速度センサの活用、③3D スキャナの活用 ④変位計の活用、⑤赤外線サーモグラフィカメラの活用、などが挙げられる。以下にそれぞれについて説明する。

#### ① 本研究で作成した表の活用

本研究では、対応の必要性和診断の難易度について損傷を整理した表を作成した（5 章）。この表における、診断の難易度が「中」、「低」とされる損傷と、診断の難易度が「難」とされる損傷（特に対応の必要性が「高」とされるもの）の間に関係性があることが検証できれば、実際の地震時には目視で観察される損傷から、目視で観察できない損傷についても推察できると考えられる。

ただし、この方法の実現には、表の内容が十分に一般化されていることが必要である。このためには、上記で述べたように、実験の数と、評価する損傷の数を増やす必要がある。

#### ② 加速度センサの活用

非構造部材に損傷が生じると、固有振動数が変化することが既往研究<sup>1</sup>でわかっている。今後、診断の難易度が「難」とされる損傷と固有振動数の変化が明確になれば、実際の地震

<sup>1</sup> 福田知宏 他（2018）「乾式間仕切り壁付き鉄骨骨組みの繰り返し載荷実験 その5 加速度センサによる傾斜および面外振動性状計測」，『日本建築学会大会学術梗概集』日本建築学会

時の損傷診断で活用が考えられる。

### ③ 3D スキャナの活用

目視で確認できない部材に生じた損傷であっても、目視で確認できる部分に多少の影響は及ぼしている可能性がある（表面の膨れなど）。もし、実際に影響を及ぼしているのであれば、目視では判別不可能であっても、mm 単位以下の計測が可能な 3D スキャナであれば判別できると考えられる。

### ④ 変位計の活用

金属の変形をセンシングできる器具を、対応の必要性が高く、診断の難易度が高い損傷が生じやすい箇所（乾式間仕切り壁の梁からの持ち出し部分など）に、あらかじめ取り付けておけば、損傷を簡単に診断できると考えられる。ただし、場所が限られること、工事に手間がかかることなどが問題点として考えられる。

### ⑤ 赤外線サーモグラフィーカメラの活用

乾式間仕切り壁の下地は石膏ボードに覆われているため診断が難しいとされた。赤外線サーモグラフィーカメラであれば、石膏ボードを透過して下地の金属部分の様子を観察できる可能性がある。なお、本実験も試みたが、温度変化の激しい朝方に、スタッドの位置が確認できた程度であった。

---

## 参考文献

---

### 1 章および付録

- (1)清家剛 他 (2012)「非構造部材の耐震性を設計・施工する」,『建築技術』2012 年 6 月号, p.89-167, 株式会社建築技術.
- (2)清家剛 他 (2018)「非構造部材の再確認」,『建築技術』2018 年 9 月号, pp67-165, 株式会社建築技術.
- (3)金子美香 神原浩 田村和夫 (2003)「1995 年兵庫県南部地震の被害調査に基づく非構造部材の耐震性評価」,『日本建築学会技術報告集第 17 号』 pp.563-566, 日本建築学会
- (4) 八木尚太朗 (2017)「非構造部材のモニタリングに関する検討 -カメラ画像による天井の地震被害に着目して-」, 東京大学工学部建築学科 2017 年度 卒業論文
- (5) 金子美香 神原浩 田村和夫 (2002)「非構造部材の耐震性に関する一考察」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.79-80, 日本建築学会
- (6) 寺本隆幸 清家剛 大迫勝彦 渡壁守正 鈴木正裕 他 (2013)「ALC 間仕切壁の地震被害と今後の対策その 1～9」,『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp1421-1438, 日本建築学会
- (7) 仁田佳宏 西谷章 渡壁守正「他」 稲井慎介 岩崎充実 (2013)「ワイヤレスカメラを用いた天井ふところ内の損傷目視検査」,『計測自動制御学会論文集』 pp.733-735, 計測自動制御学会
- (8) 八木尚太朗 清家剛 金容善 (2018)「天井の地震被害のモニタリング方法に関する研究 カメラ画像を用いた方法に着目して」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.349-340, 日本建築学会
- (9)日本建築学会 (2000)「阪神・淡路大震災調査報告 建築編-5 非構造部材 材料施工」
- (10)日本建築学会 (2016)「熊本地震災害調査報告」
- (11)日本建築学会 (2019)「東日本大震災合同調査報告 建築編 6 非構造部材」
- (12)仙台市危機管理室防災計画課 (2016)「1978 年宮城県沖地震」,<  
<http://www.city.sendai.jp/kekaku/kurashi/anzen/saigaitaisaku/kanren/1978nen.html>>2019 年 01 月 02 日アクセス.)
- (13)清家剛 他 (2016)「見上げれば安全な天井設計」,『建築技術』2016 年 7 月号, pp89-179, 株式会社建築技術.
- (14)石膏ボード工業会 (2016)「石膏ボードハンドブック」
- (15)ALC 協会 (2013)「ALC パネル構造設計指針・同解説」
- (16)日本建築学会 (2018)「建築工事標準仕様書・同解説 JASS21ALC パネル工事」
- (17) 文部科学省大臣官房文教施設企画部 (2014)「被災文教施設応急危険度判定方法について」

---

## 2 章および付録

- (1) 伊藤弘 西田和生 浜崎仁 水谷吉克 相子恒夫 廣波純二 高橋光雄 富田和男  
他 (1998)「ALC ロッキング構法実大変形追従性試験 その 1~7」,『日本建築学会大会学術  
講演梗概集』 pp.107-120, 日本建築学会
- (2) 坂本功 他 (1987)「ALC パネル外壁の耐震性に関する実験的研究 その 1~3」,『日本  
建築学会大会学術講演梗概集』 pp.201-206, 日本建築学会
- (3) 古賀誠一 山崎 之典他 (1999)「乾式間仕切り壁の動的層間変形能の調査」,『日本建築  
学会大会学術講演梗概集』 pp.1121-1122, 日本建築学会.
- (4) 金子美香 他 (2005)「軽量鉄骨下地間仕切り壁の耐震性能確認実験」,『日本建築学会  
関東支部研究報告集』 pp.77-80, 日本建築学会
- (5) 加登美喜子 他 (2007)「軽量鉄骨下地間仕切り壁の耐震性能と修復性の検証」,『日本建  
築学会構造系論文集第 614 号』 pp.139-146, 日本建築学会
- (6) 松岡祐一 他 (2008)「軽量鉄骨間仕切壁とそれに囲まれた鋼製下地天井の耐震性能」,  
『日本建築学会構造系論文集第 632 号』 pp.1857-1864, 日本建築学会
- (7) 小寺賢 他 (2009)「地震により損傷を受けた乾式間仕切壁の耐火性能 その 1~2」,『日  
本建築学会関東支部研究報告集』 pp.549-552, 日本建築学会
- (8) 隈沢文敏 他 (2010)「地震による RC 造建築物の損傷状況 機能維持に着目した実大試  
験体実験 その 9 間仕切り壁および扉の挙動」,『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.87-  
88, 日本建築学会
- (9) 三谷一房 他 (2011)「集合住宅における内装間仕切壁の面内加力実験 その 1~2」,『日  
本建築学会大会学術梗概集』 pp.751-752, 日本建築学会
- (10) 福田一夫 他 (2012)「集合住宅の乾式耐火遮音戸境壁における地震履歴後の耐火性お  
よび遮音性 その 1~2」,『日本建築学会大会学術梗概集』 pp.1275-1276, 日本建築学会
- (11) 桑野和彦 他 (1997)「大型 ALC 外壁パネルのロッキング構法に関する実験的研究 工  
法概要と層間変位追従性能試験結果」,『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.429-430, 日  
本建築学会
- (12) 永井昌志 他 (1998)「現場タイル張り ALC パネル縦壁ロッキング構法の層間変形追従  
性能に関する実験的研究 その 1~2」,『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.121-124,  
日本建築学会
- (13) 萩原達也 他 (2002)「現場タイル張り ALC パネルの層間変形追従性能に関する実験  
的研究 その 1~2」,『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.353-356, 日本建築学会
- (14) 高橋大裕 他 (2002)「内装仕上げを施した ALC 二次壁の動的変形能試験 その 1~2」,  
『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.359-362, 日本建築学会
- (15) 松岡祐一 他 (2009)「実大 4 層鉄骨造建物の振動台実験における外装材の耐震性能評  
価」,『日本建築学会構造系論文集』 pp.1353-1361, 日本建築学会
- (16) 長江拓也 他 (2009)「超高層建物の地震応答を受ける ALC 版外壁の耐震性能 -E-ディ

- 
- フェンス振動台実験-」, 『日本建築学会技術報告集』 pp.667-672, 日本建築学会
- (17)法身祐治 他 (2016)「集合住宅の雨掛かり非構造壁への乾式工法採用検討 その1~3」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.1135-1140, 日本建築学会
- (18)篠澤朋宏 他 (2009)「木造軸組構法住宅の窓ガラス入りサッシュ付壁と階段の正加力実験」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.337-378, 日本建築学会
- (19)隈澤文俊 他 (2010)「地震による RC 造建築物の損傷状況・機能維持に着目した実大試験体実験 その9 間仕切り壁および扉の挙動」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.87-88, 日本建築学会
- (20)北代尚稔 他 (2010)「地震による建築物の損傷状況、機能維持に着目した実大試験体実験 その8 非構造 RC 外壁の係争概要と損傷状態」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.85-85, 日本建築学会
- (21)鈴木英之 他 (2016)「損傷低減のために袖壁を活用した実大5層鉄筋コンクリート造建築物の静的載荷実験 その8 躯体の残留変位と窓開閉の支障」, 『日本建築学会大会学術講演梗概集』 pp.403-404, 日本建築学会

---

## 謝辞

本論文を執筆するにあたっては、様々な方の助けをお借りしました。この場を借りて感謝申し上げます。

指導教員の清家先生には、論文の方向性、論文の構成について悩んでいる私に、様々なアドバイスをしてくださいました。清家先生の一言によって、論文の道筋が見えることが沢山ありました。本当にありがとうございます。

清家研究室研究員の金さんには、論文の添削など多岐にわたってサポートしていただき、私のために多くの時間を割いていただきました。

構法系研究室の松村先生、藤田先生、佐藤先生、権藤先生には、構法系のミーティングで、多くのアドバイスを頂きました。特に佐藤先生は、私の副指導をしていただき、研究の方向性や可能性について多くの助言をしてくださいました。

化学システム工学科の大島先生には、専門外にも関わらず、私の研究の可能性について多くの助言をしてくださいました。

先輩の竹村さん、後輩の芝村君、中川君、渡邊さん、本田君、都築さん、武さん、吉田さんには、自分の研究の合間を縫って、論文の添削のサポートをしていただきました。日本語の問題が多く、非常に苦労をおかけしました。

東京工業大学の山田先生、吉敷先生、石田先生、巽先生、上瀧君、櫻田君、東京大学の伊山先生、福島さん、福田さんには、共同でやらせていただいた実験の中で、私の研究のため、様々なサポートをしていただきました。また清家研究室研究員の金さん、先輩の藤村さん、魚見さん、同期の宮本、高柳、網中、佐伯、後輩の芝村君、中川君、吉田さんには、実験の観察に際して、寒い中、暑い中、手伝っていただきました。

企業の方々には、業務の合間を縫ってヒアリングに快く協力していただき、知識不足の私に一から丁寧に説明していただきました。特に、間仕切り研究会の荻原様、大内様、ALC 協会の宮内様、三浦様、窓メーカーの小林様には、実験の準備、資材の提供を含め、非常にお世話になりました。

最後に、学生生活を支えてくれた親に感謝します。

無事、修士での研究を形にすることができました。本当にありがとうございました



# 付録について

本論文では、乾式間仕切り壁と ALC 外壁の載荷実験を通して、損傷の評価を行い、地震後に補修等の対応が必要だが、即座に診断できない損傷の特定と、対策の方向について考察した事について述べた。

付録には、本論に含めなかった本研究で行った実大載荷実験の結果の分析結果(1-3~1-6)と、写真を含む実験データ(2-1~2-2)が記載されている。特に実験で観察された損傷の原因と対策方法の考察結果、および写真データは、乾式間仕切り壁と ALC 外壁を対象とした実験を今後行うにあたり、非常に参考になると考えられる。

## 付録の目次

付録 1-1	構造部材の耐震性の現状	214
付録 1-2	基準類の整理からみる非構造部材の耐震性に関する課題	217
付録 1-3	乾式間仕切り壁の実大載荷実験の結果の分析	223
	1-3-1 実験で観察された損傷の原因と対策方法の考察	223
	1-3-2 本実験の結果と既往研究の結果の比較	247
付録 1-4	窓の開閉機能の確認結果(詳細版)	261
付録 1-5	扉の開閉機能の確認結果(詳細版)	273
付録 1-6	ALC 外壁の実大載荷実験の結果の分析	285
	1-3-1 実験で観察された損傷の原因と対策方法の考察	285
	1-3-2 本実験の結果と既往研究の結果の比較	304
付録 2-1	乾式間仕切り壁の実大載荷実験 損傷データシート	313
付録 2-2	ALC 外壁の実大載荷実験 損傷データシート	415

# 付録 1 — 1

## 構造部材の耐震性の現状

構造部材の耐震性の現状について、過去の地震とその被害の数の表と共に説明する。

地震により構造部材に被害が生じると、最悪の場合、建築物の全壊に直結する。これは安全上最も避けなくてはならないことである。そのため、これまでに構造部材の耐震性については多くの研究がなされてきている。特に 1978 年の宮城県沖地震が大きな起点であったと言われている。

1978 年の宮城県沖地震では住宅の全半壊が 4,385 戸、一部損壊が 86,010 戸という多大な被害が生じた<sup>1</sup>。これを受けて 1981 年には建築基準法が改正された。これが一般的に言われる新耐震と言われるものである。この中では、建物は震度 5 で微小な損傷のみにとどめ、震度 6,7 でも倒壊しないことを目標としている。

1995 年の兵庫県南部地震は震度 7 であり、全壊した建物は 104,906 戸、半壊が 144,274 戸といった甚大な被害が生じた。ただし、被害が生じた建物は建築基準法が改正される前の基準で建てられたものが多く、新耐震以降に建てられた建物で被害が生じたものは 3 割以下であったと言われている。このことを受け、耐震改修の努力義務を規定する耐震改修促進法の制定が為された。

2011 年の東北地方太平洋沖地震では津波の被害、原発事故、液状化による被害は問題視されたが、建築物の構造の被害は比較的大きな問題となっていない<sup>2</sup>。これは、改正された基準法に即して建てられた建築物の数が多くなっていることが現れたのだと考えられる。

このように、構造部材については研究および基準類の整備が長年されてきており、その結果として、地震の規模に対する構造部材の損傷が減ってきている。

表 1 に、過去に起きた主な地震とその規模を年代順に示す。

---

<sup>1</sup> <http://www.city.sendai.jp/kekaku/kurashi/anzen/saigaitaisaku/kanren/1978nen.html>

<sup>2</sup> 清家剛他, "非構造部材の耐震性を設計・施工する", 建築技術六月号, 株式会社建築技術, pp89-167, 2012.

表 1 過去に起きた主な地震とその規模

年	主な地震	マグニチュード	震度	全壊した建物数	半壊した建物数	一部破損した建物数
1964	新潟地震	M7.5	5	1,960	6,640	15,298
1967						
1968	十勝沖地震	M7.9	5	673	3,004	15,697
1971						
1975						
1977						
1978	伊豆大島近海地震 (1/14)	M7	5	89	554	3,167
	宮城県沖地震 (2/20) (6/12)	M7.4	5	合わせて 7400	合わせて 7400	
1979						
1981						
1982						
1983	日本海中部地震 (5/26)	7.7	5	924	1616	
1985						
1986						
1987	千葉県東方沖地震	6.7	5	16	102	63,692
1990						
1992						
1993	釧路沖地震	M7.5	6	53	254	5311
	北海道南西沖地震	M7.8	6	601	408	5,490
1994	北海道東方沖地震	M8.2	6	61	348	7,095
	三陸はるか沖地震	M7.6	6	72	424	9,021
1995	兵庫県南部地震	M7.3	7	104,004	136,952	297,811
1996						
1997						
1998						
1999						
2000	鳥取西部地震	M7.3	6 強	435	3,101	
2001	芸予地震	M6.7	6 弱	70	774	
2002						
2003	十勝沖地震	M8.0	6 弱	116	368	
2004	新潟県中越地震	M6.8	7	3,175	13,810	
2005	福岡県西方沖地震 (3/20)	M7.2	6 弱	1		984
	宮城県沖地震 (8/16)	M7.0	6 弱	144	353	
2006						
2007	能登半島地震 (3/25)	M6.8	6 強	1,331	5,710	37,633
	新潟県中越沖地震 (7/16)	M6.9	6 強	686	1,740	
2008	岩手・宮城内陸地震	M7.2	6 強	30	146	
2009						
2010						
2011	東北地方太平洋沖地震	M9.0	7	121,783	280,965	745,162
2016	熊本地震	M7.3	7	8,668	34,720	162,562
2018	大阪北部地震	M6.1	6 弱	21	454	56,873
2018	北海道胆振東部地震	M6.7	7	462	1,570	12,600
2019	山形県沖	M6.7	6 強			149

また、損傷の修復・診断といった地震後の対応ができることも重要である。構造部材はこの点においても研究が多く為されている。

従来は専門家が建築物に立ち入り、検査を行って目視で診断をしていたが、近年では自動で、構造部材に生じた損傷を遠隔から診断することや、即座に診断できることについて、研究が進んでいる。具体的には、建物に加速度センサーを設置し、建物の振動数の変化を読み取って損傷の推測をすることなどが行われている。



# 付録 1－2

## 基準類の整理からみる

## 非構造部材の耐震性に関する課題

付録 1-2 では、まず、非構造部材の耐震性に関する基準類の整理をしたことについて述べる。次に、整理された結果から、非構造部材の中でも基準類の整備が進んでいるものと、進んでいないものについて検討したことについて述べる。最後に、基準類の整備が進んでいない非構造部材について、その理由を考察したことについて述べる。

### 1-2-1 非構造部材の耐震性に関する基準類の整理

新耐震の施行のきっかけとなった 1978 年の宮城県沖地震は、非構造部材の地震による損傷が着目され始めた地震でもあった。この時はプレキャストコンクリートパネルが落下し、多くのはめ殺しガラスが割れ、ALC パネルやラスシートといった鉄骨造に主に取り付けられる被害が生じた。これを受けて 1979 年に日本建築センターは『帳壁耐震構法マニュアル』を発行し、非構造部材の耐震設計について基準を改めるとともに、具体的な方法を示した。

1995 年の兵庫県南部地震では、構造部材の被害が中心に問題視されたとはいえ、非構造部材にもプレキャストコンクリートのカーテンウォールの落下、ガラスの割れ、天井の落下などの被害が生じていた。これを踏まえて 1996 年には公共建築協会が『官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説』を発行し、これには構造部材と共に非構造部材と設備の耐震性の要求条件について示した。

その後、2001 の芸予地震では体育館などで天井が落下するなどの被害が生じ、「芸予地震被害調査報告の送付について（技術的助言）」（国住指定第 357 号）が送付されることとなった。ここでは、構造体と天井材の間にクリアランスをとること、そして吊りボルトにブレースを設けることの重要性が示された。

2003 年の十勝沖地震では空港ターミナルビルなどの天井が落下する被害が生じ、「大規模空間をもつ建築物の天井の崩落対策について（技術的助言）」（国住指定第 2402 号）が送付されることとなった。ここでは、天井面において剛性の異なる部分の間にもクリアランスを取るなどの処置の重要性などが示された。

2005 年の福岡県西方地震ではビルのガラスが大量に割れて落下するという被害が生じた。また同年の宮城県沖地震ではスポーツ施設の天井が落下し、負傷者が出るといった被害が生じた。これらを踏まえ「大規模空間を持つ建築物の天井崩落対策について（技術的助言）」（国住指定第 1337 号）、「地震時における天井の崩落対策の徹底について（技術的助言）」（国住指定第 1427 号）が送付され、天井崩落防止対策の確実な実施の重要性についてなどが示された。

2011 年の東北地方太平洋沖地震では、天井の落下、ガラスの落下、外壁の落下、間仕切り壁の落下など、非構造部材の被害が多数生じ、構造部材の被害が大きな問題とならなかった半面、非構造部材の被害が大きく問題視されることとなった。これにより、「特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件」(平成 25 年国土校中傷告示第 771 号)が公布され、「屋内プールなどの大規模空間を持つ建築物の吊り天井の脱落対策について（技術的助言）」（国住指第 1852、1853 号）が送付された。これ以降も、建設省、官公庁からは天井に関する告示や技術的助言が為されている。

各境界や団体からも様々な基準類が出されている。1964 年には「カーテンウォール性能基準」（日本カーテンウォール工業会）、1979 年には「帳壁耐震構法マニュアル ラスモルタル、金属・ガラス帳壁、RC 帳壁、ALC 帳壁」（日本建築センター）、1982 年には「地震に対する窓ガラスの安全設計」（板硝子協会）、1985 年には「外壁タイル張りの耐震診断と安全対策指針・同解説」（日本建築防災協会、外壁耐震改修委員会）、1993 年には「カーテンウォールの性能基準」（改定）（JCMA）、1996 年には「官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説平成 8 年版」（公共建築協会）、1998 年には「外装構法耐震マニュアル-中層ビル用-」（日本建築センター）、2002 年には「体育館などの天井の耐震設計ガイドライン」（日本建築センター）、2011 年には「安全・安心ガラス設計施工指針」（日本建築防災協会）などが主なものである。表 2 非構造部材の基準類の変遷表 2 に非構造部材の基準類の変遷についてまとめる。

付録 1-2 基準類の整理からみる非構造部材の耐震性に関する課題

表 2 非構造部材の基準類の変遷

年	主な地震	非構造部材		
		建設省・官公庁	日本建築学会	協会・団体
1964	新潟地震		高層建築技術指針	
1967		ALC 構造設計基準（建設省）		カーテンウォール性能基準 (日本カーテンウォール工業会)
1968	十勝沖地震			
1971		昭和 46 年建設省告示第 159 号 「屋根ふき材、外装材及び屋根 に面する帳壁の基準を定める 件」		
1975		建築二次部材の耐震安全性 (建設省建築研究所)	建築物荷重指針・同解 説	
1977			高層建築技術指針（改 定）	既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断 基準改修設計指針付解説（日本特殊建築安 全センター、現在日本建築防災協会）
1978	伊豆大島近海地 震（1/14） 宮城県沖地震 （2/20） （6/12）	昭和 46 年建設省告示第 109 号 「屋根ふき材、外装材及び屋根 に面する帳壁の基準を定める 件」の改正（10/20）		既存鉄骨造建築物の耐震基準改修設計指 針・同解説（日本特殊建築安全センター、 現在日本建築防災協会）
1979		通達「帳壁耐震構法マニユア ル」について（7/12） 帳壁耐震構法マニユアル(金属・ ガラス帳壁・PC 帳壁・ALC 帳 壁、ラスモルタル壁)（日本建築 センター）		1979 年版帳壁耐震構法マニユアル ラスモルタル壁、金属・ガラス帳壁、RC 帳 壁、ALC 帳壁（日本建築センター）
1981		建築基準法施行令の改正の施工 （いわゆる新耐震設計法） 建築物とその周辺の防災対策調 査（地震時における外装材の落 下対策調査）（建設省住宅局）		
1982				地震に対する窓ガラスの安全設計（板ガラ ス協会）
1983	日本海中部地震 （5/26）	建築非構造部材の耐震設計指針 (建設大臣官房官庁営繕部) ALC 構造設計基準・同解説（建 設省）		既存 SRC 造建築物の耐震診断基準（日本特 殊建築安全センター）
1985			非構造部材の耐震設計 指針・同解説および耐 震設計・施工要領	外壁タイル張りの耐震診断と安全対策指 針・同解説（日本建築防災協会、外壁耐震 改修委員会）
1986		官庁施設の総合耐震設計基準 官庁施設の耐震点検・改修要領 （営繕協会） 建築物の耐久性向上技術の開発 （建設省総プロ）		
1987	千葉県東方沖地 震	官庁施設の総合耐震計画標準 官庁施設の耐震点検・改修要領 建築非構造部材の耐震設計指針 （営繕部）		穴あき PC 板設計施工指針・同解説（PC コ ンクリート技術協会）
1990				既存 RC 造、S 造建築物の耐震基準及び耐震 改修設計指針（改定） （日本特殊建築安全センター） 建築仕上診断技術者制度（建築設備維持保 全推進協会）
1992		外装材の補修・改修技術の開発 （建設省官民連帯共同研究）		
1993	釧路沖地震		建築物荷重指針・同解	カーテンウォールの性能基準（改定）

付録 1-2 基準類の整理からみる非構造部材の耐震性に関する課題

	北海道南西沖地震		説（改定）	(JCMA)
1994	北海道東方沖地震 三陸はるか沖地震			
1995	兵庫県南部地震			
1996		官庁施設の総合耐震計画標準 官庁施設の耐震点検・改修要領 建築非構造部材の耐震設計指針 (改定) (営繕部)		官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説、 平成 8 年版 (公共建築協会)
1997				
1998		官庁施設の総合耐震設計基準 官庁施設の耐震点検・改修要領 (改定) (営繕協会)		外装構法耐震マニュアルー中層ビル用ー (日本建築センター)
1999				
2000				
2001	芸予地震	国住指定第 357 号「芸予地震被害調査報告の送付について (技術的助言)」		
2002				体育館等の天井の耐震設計ガイドライン (日本建築センター)
2003	十勝沖地震	国住指第 2402 号「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について (技術的助言)」	非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工要領 (改定)	
2004	新潟県中越地震		建築物荷重指針・同解説 (改定)	
2005	福岡県西方沖地震 (3/20) 宮城県沖地震 (8/16)	国住指 1427 号「地震時における天井の崩落対策の徹底について (技術的助言)」		
2006				
2007	能登半島地震 (3/25) 新潟県中越沖地震 (7/16)			
2008	岩手・宮城内陸地震			
2009				
2010				
2011	東北地方太平洋沖地震			安全・安心ガラス設計施工指針 (日本建築防災協会)
		国土交通省告示第 771 号「特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件」  国住指題 1852 号,1853 号「屋内プール等の大規模空間を持つ建築物の吊り天井の脱落対策について (技術的助言)」		
2016	熊本地震			
2018	大阪北部地震			
2018	北海道胆振東部地震			
2019	山形県沖地震			



## 1-2-2 基準類の整備が進んでいる非構造部材

天井に関する基準類の整備が、長年行われていることが表 2 からわかる。また、カーテンウォール等の外壁についても整備がされている。

天井や外壁は地震により、高所からの脱落が起こり得る。そして実際、人的被害や物損被害を過去の地震で起こしてきた。技術的助言などは、実際の地震で報告された被害に対して、設計上の対策方法を示しているものが多い。

また、表には載せていないが、JIS A 4702 で、扉の面内変形追従性は、等級ごとに 1/300, 1/150, 1/120 の面内変形角まで扉が開かなければならないと定められている。

## 1-2-3 基準類の整備が進んでいない非構造部材

表 2 からは、乾式間仕切り壁の基準類の整備が特に行われていないことがわかる。しかし、乾式間仕切り壁は工場の内壁や大型施設の吹き抜け部分の内壁として用いられる場合など、6m を越えた高所に設置されることがある。また、高所に設置されていない場合でも、脱落した部材が避難経路を塞いでしまった事例などが、過去の地震では報告されている。

また、ALC 外壁も、耐風圧等の外力については開口部を含めた基準等の検討がされているが、耐震性については開口部を含めた基準等の検討は十分にされていない。また、窓単体についても、面内変形追従性については特に定められていない現状がある。

以上のことから、乾式間仕切り壁と ALC 外壁（と開口部）の耐震性に関しては表 3 の③まで到達していない要素があると考えられる。実際の地震で損傷が生じていることは把握できているため、①の段階までは来ている。つまり、②の段階で留まっている要素が残っている。

表 3 耐震性を上げるためのステップ

①	実際の地震での被害調査等で危険だと考えられる部材の地震時の挙動を明らかにする。
②	実大載荷実験等で①で危険だと考えられた部材の地震時の挙動の再現をすることで、生じる損傷およびその発生原因等を明らかにする。
③	細かくパラメーターを設定した要素実験などを行うことで、危険な部材の地震時の挙動や、損傷の発生を防ぐための設計基準等について検討する。

以上より本研究では、非構造部材の中でも、乾式間仕切り壁と ALC 外壁は、地震による損傷に人的被害を及ぼすものがあるにも関わらず、耐震性が低いと考え、研究対象とした。

付録 1-2 基準類の整理からみる非構造部材の耐震性に関する課題

# 付録 1 – 3

## 乾式間仕切り壁の実大載荷実験の結果の分析

1-3-1 では、生じた損傷の原因と、損傷を生じさせないための対策の方法について考察した結果を説明する。

1-3-2 では、既往研究で報告されている損傷と比較し、本実験の結果の妥当性ならびに新規性について述べる。

### 1-3-1 実験で観察された損傷の原因と対策方法の考察

#### 持ち出し部のランナーの開き

層間変形角が負方向に  $1/400$  程度のときより、d 面の上部のランナーが開くような挙動をすることが確認された。層間変形角が  $1/75$  の時にランナーからスタッドが外れかけ、 $1/50$  の時にランナーがスタッドから 2 つ外れ、除荷時そのまま変形が残った。

考えうる原因としては、壁が梁下に無いことによる層間変位への追従性の低さが上げられる。

いずれの面も正載荷時は基本的に構造躯体の変形に追従する。しかし、負方向の載荷時は、追従しない Ee 面と追従する Cc 面によって、Dd 面は上からみて反時計回りの方向に回転するような力を受ける。ただしランナーは先行ピースと接合されているため回転に追従できず、結果としてランナーが開くような力が生じたのだと考えられる。

対策方法としては、先行ピースや上部ランナーの剛性を高めることで、持ち出し部分の躯体への追従性を高めることが挙げられる。これは部材の厚みを増すことや、接合部のピンの量を増やすことなどで実現できる。また、持ち出し部分の長さを短くすることで、回転量を抑えることができると思われる。

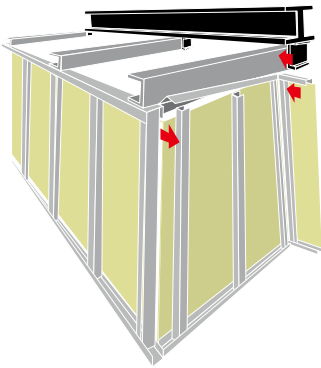


図 1 持ち出し部のランナーが開く様子

表 4 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
持ち出し部のランナーの開き	d 面	$1/75$	#001, #008

### 天井下地の接合部の破断

層間変形角が 1/33 の時に、先行ピースと先付金物を取付けるピンが破断していることが確認された。

考えうる原因として、先行ピースが先付金物に対して回転したことが挙げられる。

負方向（左）に鉄骨を変形させると、先付金物を介して先行ピースは左方向への力を受ける。しかし、先行ピースは Ee 面の上部ランナーから反対方向への抵抗力を受ける。その結果、先行ピースは断面が反時計回り方向に回転するような力を受けると考えられる（図 2）。さらに、回転した結果、先行ピースは先付金物に対して離れるような変形を見せ、最終的に 2 つを接続していたピンが破断したのだと考えられる（図 3）。

対策方法としては、ピンの数を増やすこと、力がかかる方向に強くなるようにピンを打つ位置を改良することなどが考えられる。また、先行ピースの回転を抑えるため、先行ピースの部材の厚みを上げるといったことも対策として考えられる。

表 5 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
天井下地の接合部の破断	天井	1/33 100%	#035

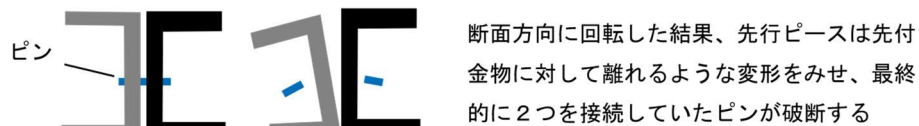


図 2 ピンが破断する理由

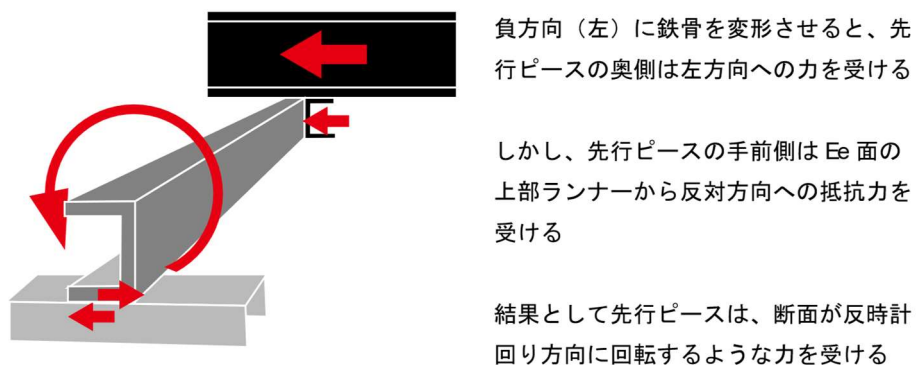


図 3 先行ピースが振れる理由

## 上張りボードの面外への変形、脱落

A 面および C 面では、上張りボードが面外に変形することが観察された。更に A 面では層間変形角  $1/33$  からの除荷時にボードが脱落した。

考えうる原因として、層間変形による鉛直方向の圧縮力が働いたことが挙げられる。

ボードの脱落には面外方向への変形の影響が最も寄与したと考えられる。層間変形を与えた結果小さくなる層間距離に追従しようとし、上張りボードは面外方向へとせり出るような挙動をする。その結果、下張りボードと上張りボードを留めていた接着剤とステープルが剥がれる。そして  $1/33$  という層間変形角を与えた時に、残った接着剤がボードの自重に耐えられず、脱落したのだと考えられる。

対策方法としては、ボードの上下と、鉄骨梁もしくはスラブとの間にクリアランスをよりとること（シールの厚みを上げること）が挙げられる。

表 6 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
上張りボードの面外への変形、脱落	A 面	$1/50$	#038
	C 面	$1/400$	#040~#049

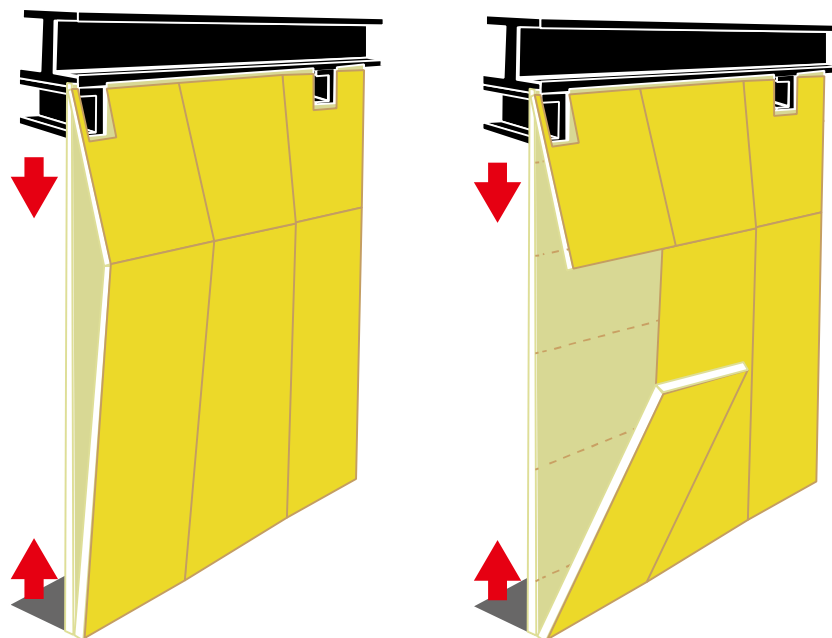


図 4 上張りボードの面外への変形（左）と脱落（右）のイメージ図

## 上張りボードのロッキング

A 面および C 面では、載荷時に上張りボードが、ボードごとのロッキングをすることが観察された。

これは、層間変形に追従するために起きた現象だと考えられる。乾式間仕切り壁は、ランナーとスタッドの間にクリアランスを設けるなど、面としてのロッキングが可能となる作りをしている。実際、E 面では面としてのロッキングすることが観察された。

A 面と C 面では面としてのロッキングが起きなかった理由として、まず静的載荷であったことがあげられる。

対策方法としては、ボードと、鉄骨柱との間にクリアランスをよりとること（シールの厚みを上げること）が挙げられる。なお、この方法の有効性は、後述の既往研究との比較からも示された。

表 7 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
上張りボードのロッキング	A 面	1/100	#038
	C 面	1/400	#040~#049

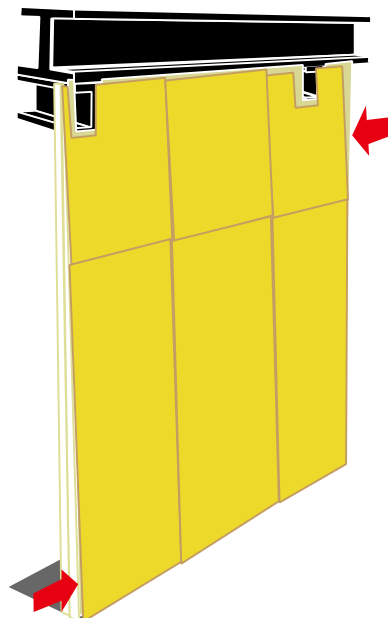


図 5 上張りボードのロッキングのイメージ図

壁間の隙間の開き

E 面は、層間変形角が 1/75 を越えたあたりから、除荷時であっても両隣の D 面および F 面との間に隙間が残ることが観察された。

原因として、F 面は鉄骨の下に位置するため層間変形角に追従しやすいが、D 面は鉄骨の下に位置しないため層間変形角に追従しにくいという違いが挙げられる。つまり、正載荷時に F 面は E 面を押す力を持つが、負載荷時に D 面は E 面を途中までしか押し返せないため、除荷時に E 面 F 面、E 面 D 面の両方に隙間が開いてしまう。

対策方法として、Dd 面の躯体への追従性を高めることで、E 面が押し返されるようにすることが挙げられる。この方法については後述する。別な方法として、先行ピースの部材の厚みを増すことで、Ee 面自体の追従性を高めるということも挙げられる。

表 8 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
壁間の隙間の開き	E 面	1/75	#050~#053

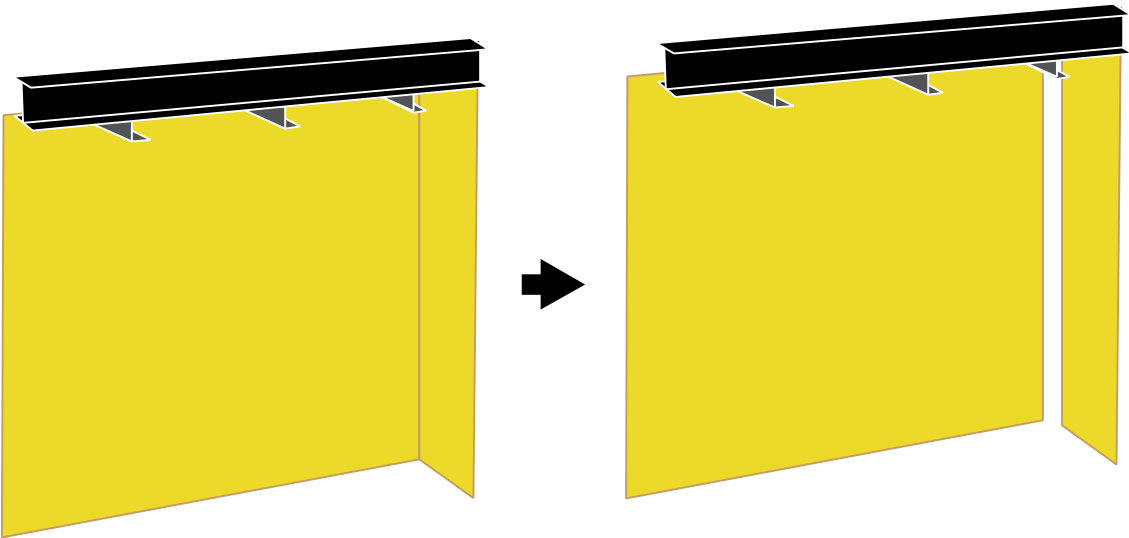


図 6 Ee 面と Ff 面の間に生じた隙間のイメージ図

## ランナー端部の歪

上部ランナーの端部の一部が、載荷時に歪むことが観察された。

原因として、スタッドが水平方向の動きを拘束された結果、ランナーとの間に応力が生じたことが挙げられる。

先付金物を通して、ランナーは鉄骨に剛接合されているため、載荷時に上部ランナーは、構造躯体の層間変位に追従して水平移動をする。ボードも、鉄骨フレームに押されることによって水平方向に移動する。そしてボードにビスで取り付けられたスタッドも水平方向に移動する。そのため、下部ランナー内をスタッドは水平移動するが、その際に発生する音や、傷のつき方からスタッドとランナー間には摩擦力が働いていることがわかる。逆にスタッドが水平移動できないように拘束されている場合は、逆にランナーの水平移動を阻害する方向に摩擦力が働くと考えられる。

歪の隣にあるスタッドの中央部は、鉄骨のジョイント部分に接していた。そのため、片方の方向には水平移動できないようになっている。このため、負載荷時にスタッドが水平移動できず、逆にランナーに水平移動を阻害する方向に摩擦力が働いた結果、歪が生じたのだと考えられる。

対策方法としては、ランナー端部と鉄骨の間にクリアランスを設けることが挙げられる（実際の建物では、この方法が採用されているものがある）。

表 9 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
ランナー端部の歪	a 面	1/400	#002
	c 面	1/200 -80%	#007
	a 面	1/100	#006

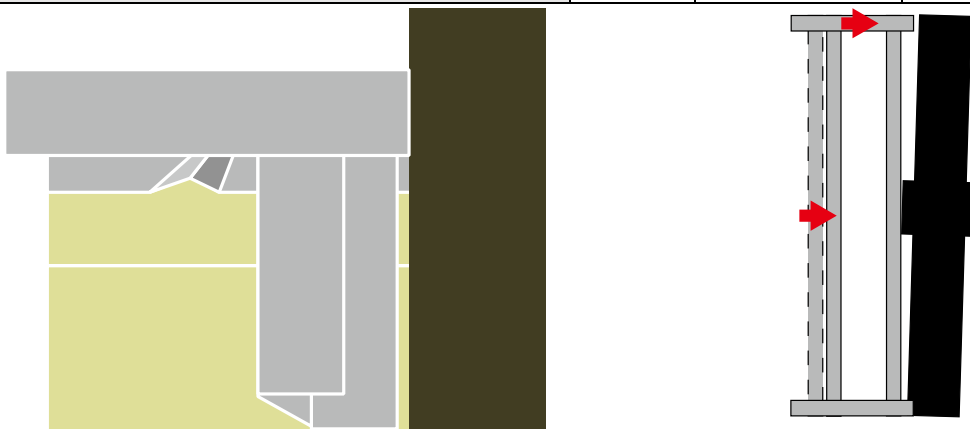


図 7 (左) ランナー端部に生じた歪のイメージ図

図 8 (右) 鉄骨柱のジョイント部分により移動を拘束されるスタッドのイメージ図



ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり

層間変形角が 1/75 のときより、一部のスタッドの裏からビス穴が見える、ひび割れが生じる、といったことが観察された。

原因として、スタッドとボードを留めるビスによりボードが挟られたこと、ビス部分に応力が集中したことがそれぞれ考えられる。

そしていずれにせよ、その背景には、ボードの移動に対してスタッドが追従できなかったことが影響していると考えられる。

この対策方法として、ボードの変形を抑えること、もしくはスタッドの追従性を上げることが挙げられる。前者は、ボードと鉄骨の間にクリアランスをより設けることなどが方法としてある。後者は、スタッドとランナーの摩擦を低下させることなどが考えられるが、これは、壁の剛性を下げることになると考えられ、現実的な方法とは言えない。

表 10 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり	c 面	1/75 -80%	#020
	e 面	1/75 -100%	#018
	a 面	1/50	#027~#030

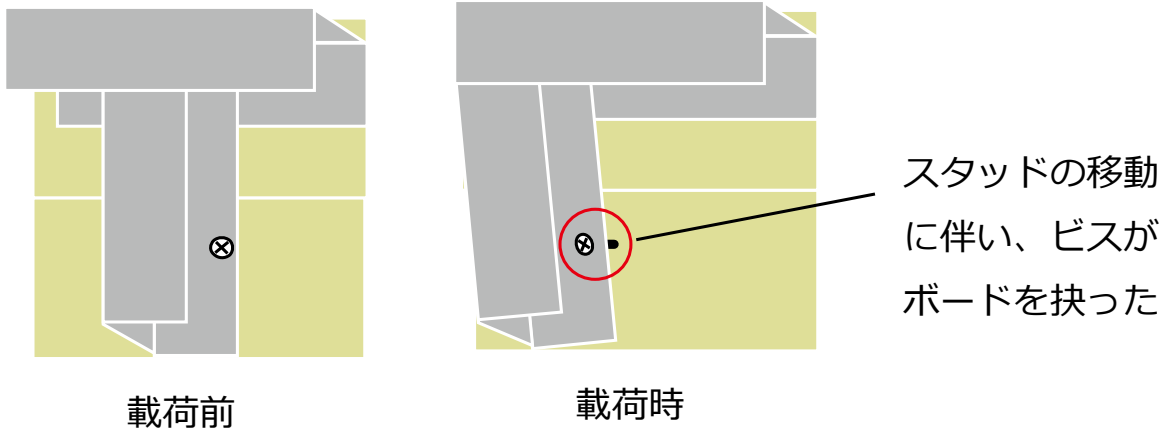


図 9 ビスによるボードの挟りのイメージ図

---

**上張りボードのヒビ、折れ**


---

上張りボードにもひび割れが層間変形角 1/400 の時から観察された。多くが C 面に集中していた。生じた原因は複数考えられる。それぞれについて以下で説明する。

**原因① ボードごとにロックングした結果**

C 面のボードはボード毎にロックングをした結果、塗装上にひび割れが確認された。なお、A 面のボードもボード毎のロックングをしていたが、塗装はされていなかったため該当する損傷には含めなかった。

対策方法は、ボードのロックングを抑える方法と同様である。

**表 11 該当する損傷**

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
上張りボードのヒビ	C 面	1/400	#041, #046, #048
	C 面	1/75	#049
	C 面	1/33	#047

**原因② L 字型のボードが異なる 2 方向の力を受けた結果**

開口部の角部には、L 字型のボードが割り当てられている。層間変形により、ドア枠の垂直材は変形するが、ドア枠および鉄骨の水平材は変形しない。これにより L 字型のボードには、図 5 のオレンジ色の矢印方向の 2 方向に力がかかる。これらの力によりボードはヒビ割れたと考えられる。

対策方法としては、L 字型のボードを 2 つに分け、透かし目地を入れることが挙げられる（実際の建物では一部この方法が採用されている）。

**表 12 該当する損傷**

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
上張りボードのヒビ	C 面	1/400	#041, #046, #048

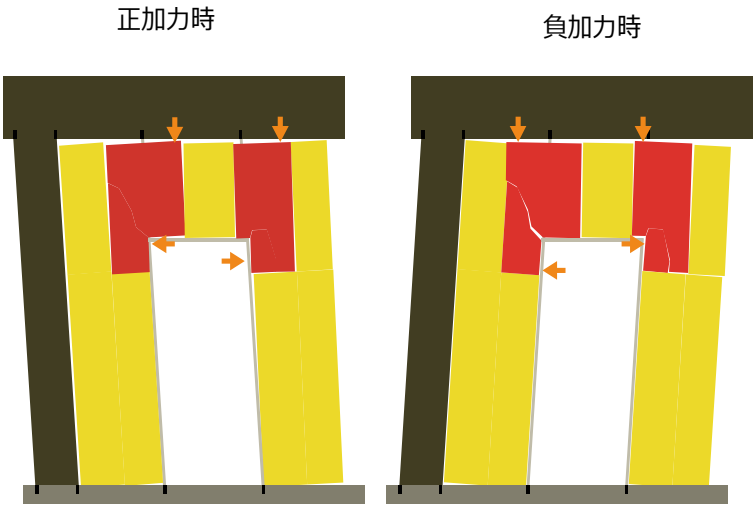


図 10 C 面に生じた上張りボードのひび割れのイメージ図

原因③ 鉄骨に端部が押し付けられた結果

A 面の角部は層間変形角により、鉄骨に押し付けられることになる。その結果、上部の先付金物のために開けられた切り欠け部分がまずひび割れたと考えられる。そしてその後、下部の両角部で、ボードがにしわが入り、折れたと考えられる。

対策方法として、ボード端部に先付金物を設けないこと（縁端距離が小さいほど、剛性は低くなるため）、鉄骨柱との間のクリアランスをよりとることが挙げられる。

表 13 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
上張りボードの折れ	A 面	1/200	#036
	A 面	1/100	#036, #037

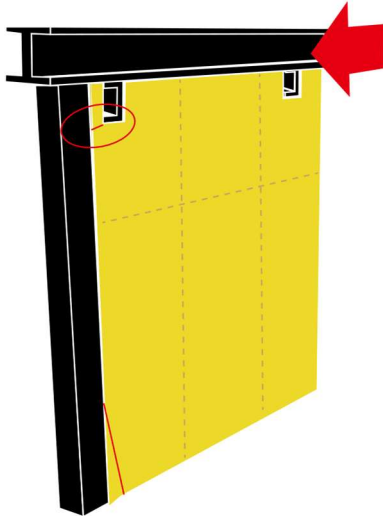


図 11 上張りボード上角部に生じるひび割れ、下角部に生じるしわ・折れのイメージ図

#### 原因④ 天井と接触した結果

D 面の上部は、C 面と E 面により、上から見た時に反時計回り方向の回転をするような挙動をみせる。この挙動により残留変形が残った結果、正載荷時に天井と衝突し、ひび割れたと考えられる。

対策方法としては、同面の上部ランナーの開きを抑える方法と同様の方法が挙げられる。

表 14 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
上張りボードのヒビ	D 面	1/33	#050

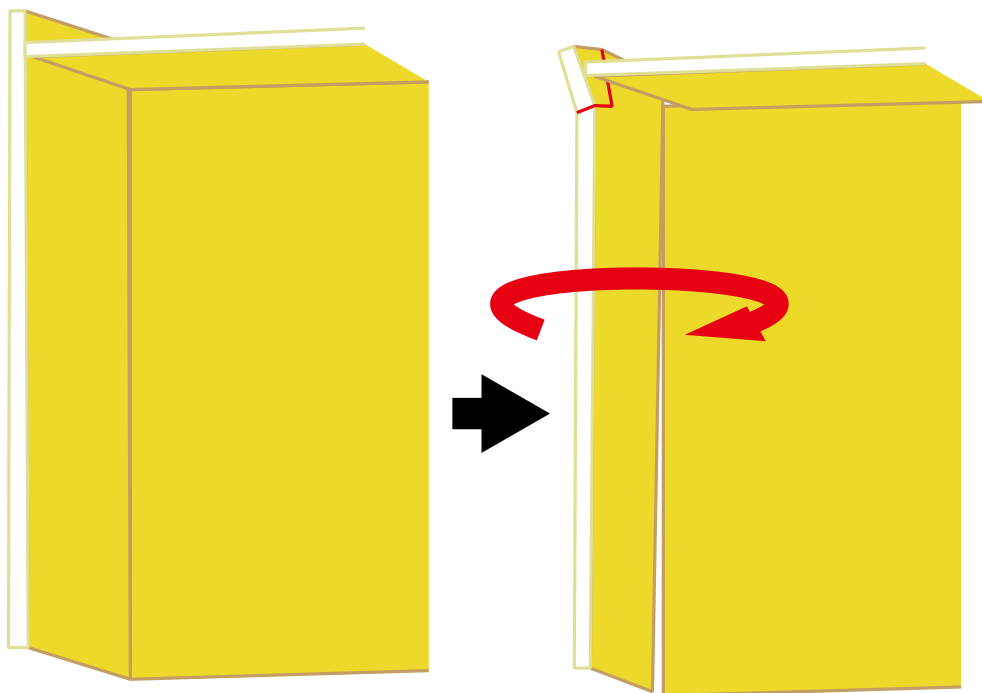


図 12 Dd 面が回転したことにより天井と接触し生じたヒビのイメージ図

#### 原因⑤ 梁下に壁が無いことによる層間変形への追従性の低さ

D 面は梁下に無いため、層間変形への追従性が低いと考えられる。その結果、負載荷時に E 面に押し付けられたことでひび割れたのだと考えられる。

対策方法としては、同面の上部ランナーの開きを抑える方法と同様の方法が挙げられる。

表 15 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
上張りボードの断面のヒビ	D 面	1/33 100%	#025

シールの切れ

各面において、鉄骨とボード、開口部とボード、天井とボードの間には伸縮目地とするためシールがうたれている。層間変形角が 1/400 のときより部分的に切れ、載荷の増加に伴って進行していった。

原因としてはいずれも、層間変形によるボードの変形（水平方向、鉛直方向両方）がシールの限界を超えたことが挙げられる。

対策方法としては、ボードと鉄骨の間のシールの厚みを増すことが挙げられる。

表 16 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
シールの切れ	A 面	1/400	#036, #037
	C 面	1/400	#040~#049
	D~F 面	1/100	#051~#053

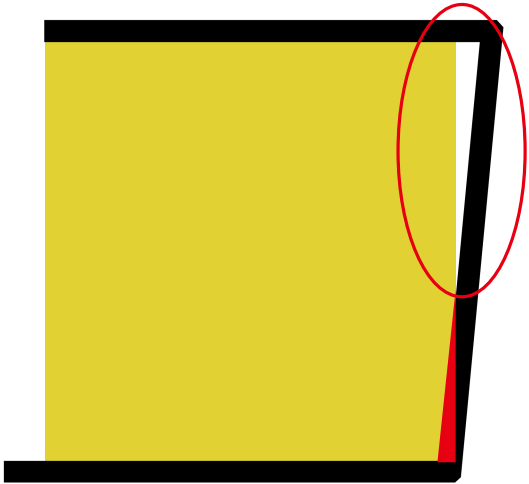


図 13 A 面に生じるシールの切れのイメージ図

## 下張りボードのヒビ、折れ

下張りボードには各所でひび割れが観察されたが、場所によって原因が異なると考えられた。それぞれについて、以下で説明する。

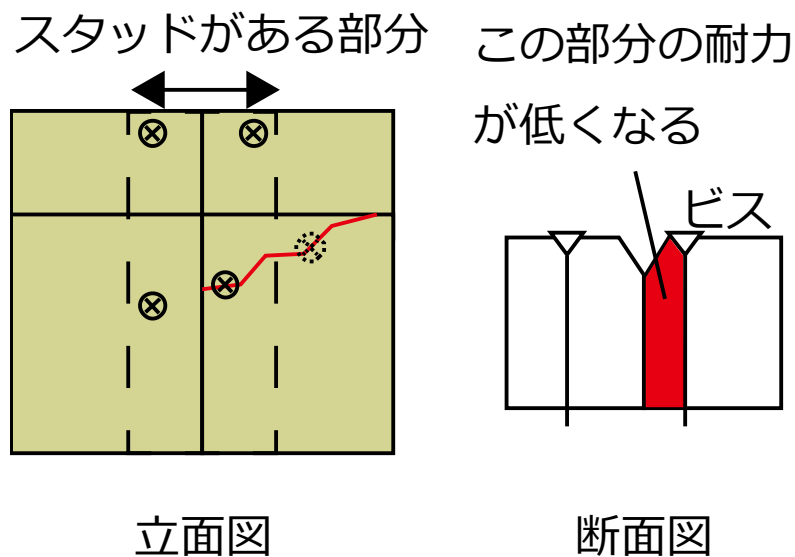
### 原因① ボード端部からの距離が小さすぎる位置にビスを打ったことによる影響

a 面に、層間変形角  $1/400$  という極めて小さい層間変形角でヒビが生じた。この理由として、ボードの端部に近すぎる箇所にビスを打ってしまったということが考えられる。ビスを打つ箇所がボードの端部に近すぎると、ボードの耐力が著しく低くなることが考えられる。他にも、ビスを二度打ちしてしまった場合、その周辺のボードの耐力は落ちることが考えられる。理由を断定することはできないが、可能性としては上記のようなことが挙げられる（図 14）。

対策方法として、壁の端部からなるべく離れた位置にビスを打つことが挙げられる。

表 17 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下張りボードのひび	a 面	$1/400$ 100%	#003



図

図 14 ビスを打った位置が原因で生じるヒビのイメージ図

原因② 梁下に壁が無いことによる層間変形への追従性の低さ

d 面は梁下に無いため、層間変形への追従性が低いと考えられる。その結果、負荷荷時に直交する e 面に押し付けられたことでひび割れたのだと考えられる。

対策方法としては、同面の上部ランナーの開きを抑える方法と同様の方法が挙げられる。

表 18 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下張りボードのヒビ	d 面	1/400 -80%	#001, #008

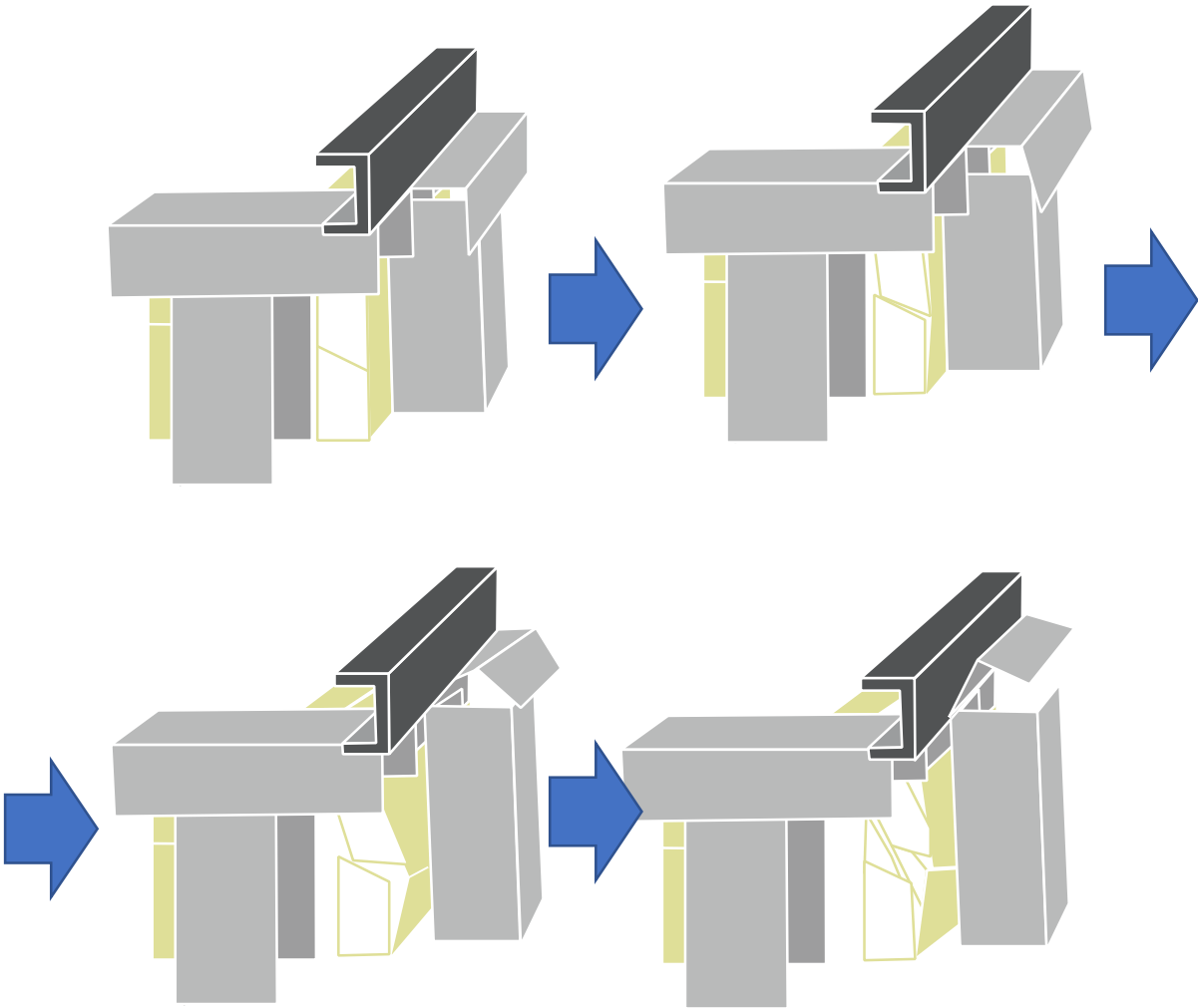


図 15 直交する壁に押し付けられた結果生じたヒビ、圧壊のイメージ図

## 原因③ 上張りボードの挙動の違い

一部の下張りボードのひび割れは、上張りの目地と箇所が大体一致していた。そして、同目地は、負荷荷時に面ごとのロッキングにより開くことが他の損傷より考えられた（詳しくは損傷#040-049 参照）。つまり、該当する下張りボードのひび割れは、異なる動きをする上張りボードに接着されていることが原因で生じたヒビ割れだと考えられる。

対策方法として、上張りボードのロッキングを抑えることが挙げられる。また、接着方向を工夫し（一部のボードにのみ接着するなど）、上張りボードのロッキングの影響を下張りボードが受けないようにすることも挙げられる。しかし、これは壁の耐力を低下させるため、現実的な方法とは言えない。

表 19 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下張りボードのヒビ	c 面	1/200	#010

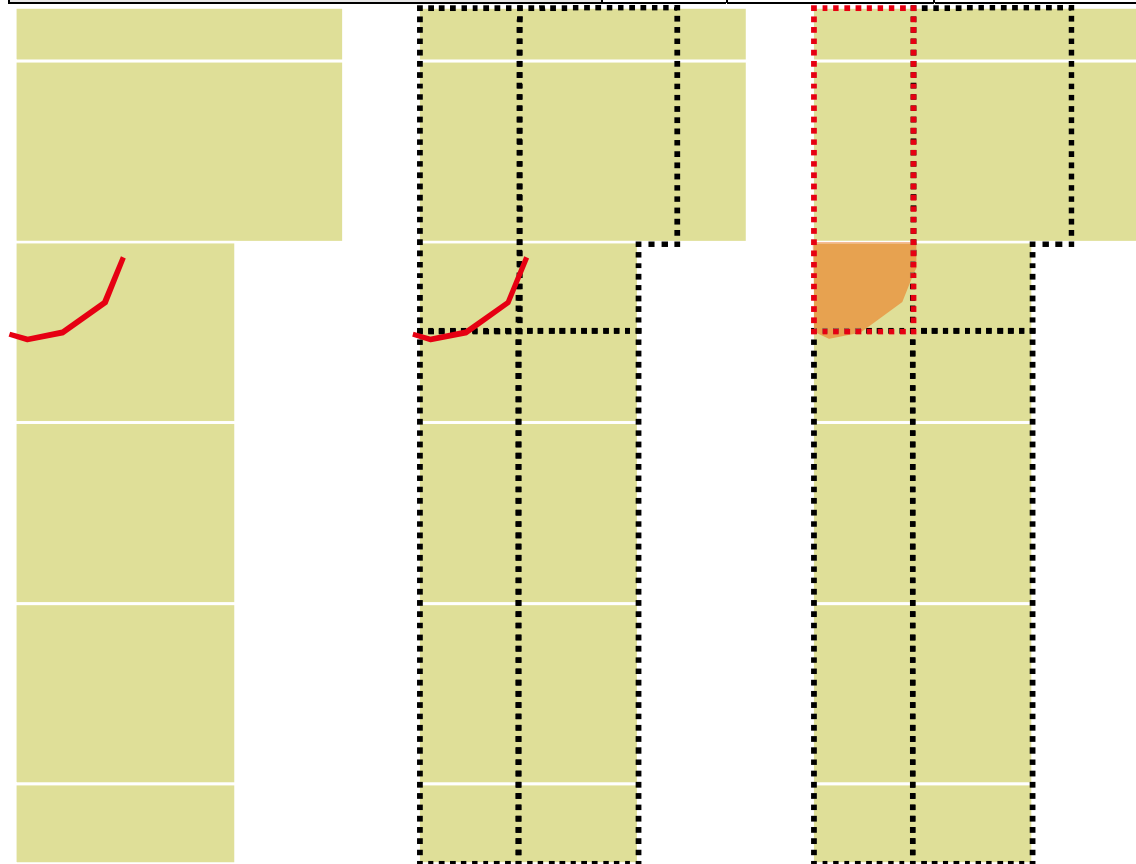


図 16（左） 下張りボードに生じたひび割れの様子

図 17（中央） 上張りボードの目地と照らし合わせた様子

図 18（右） ヒビが生じた原因を示すイメージ図

→赤点線で表された上張りボードが周囲と異なる動きをしたことで、これに接着されていたオレンジ色の下張りボードの部分がひび割れたと考えられる



原因④ 開口補強材によるボードのロッキングの阻害

開口部の付近に生じた下張りボードのひび割れは、開口補強材が原因だと考えられた。

層間変形時は、層間の距離が小さくなるため、一般的にランナーとスタッドは下方向の力を受ける。スタッドは斜め方向に倒れることによりこの力に追従する。そしてこのスタッドに取り付くボードも、ビスを介して下方向の力を受ける。これがボードのロッキングをまねいていると考えられる。

しかし開口補強材（および開口枠）は斜め方向に倒れることができないため、この力に対して追従しない。その結果、付近のランナーも斜めになる必要が無くなり、ボードもロッキングする必要がなくなる。

すると、水平方向に長手がくる下張りボードは、面内でロッキングしようとする箇所と、ロッキングする必要がない（ロッキングできない）箇所が生まれる。これにより、ボード内にせん断力が生じた結果、ひび割れたと考えられる。

この対策方法として、開口補強鋼材とランナーの間にクリアランスを設けることが挙げられる。

表 20 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下張りボードのヒビ	c 面	1/100 -100%	#013

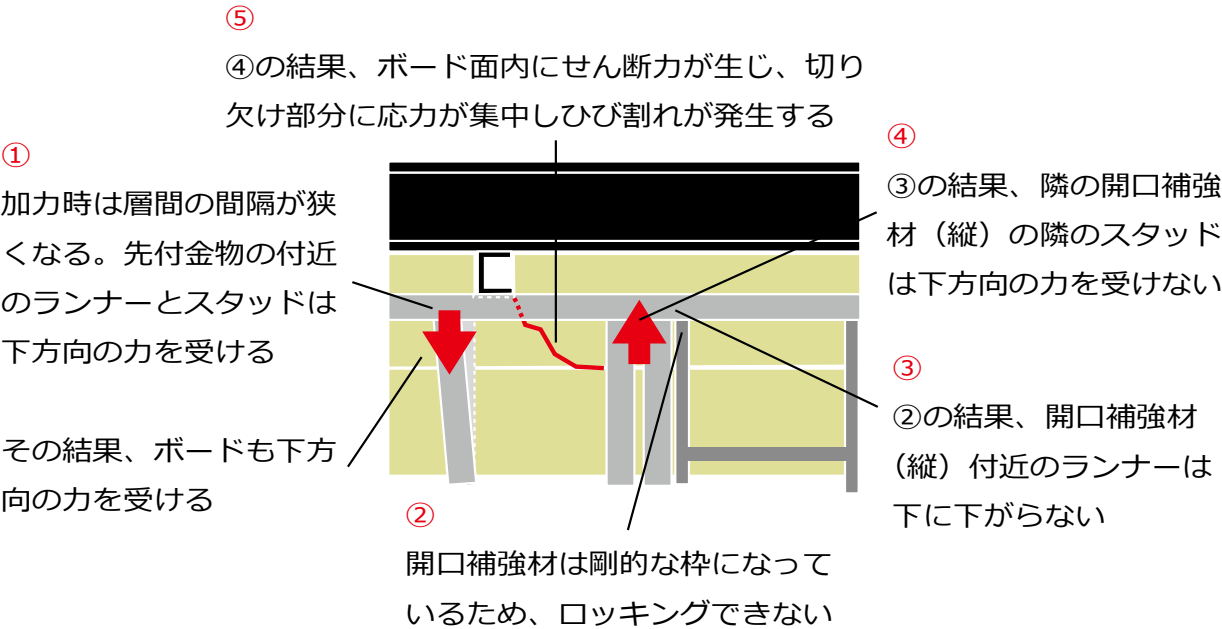


図 19 開口補強鋼材の影響で生じたヒビのイメージ図

#### 原因⑤ 層間変形による鉛直方向の圧縮力

原因④でも触れたが、層間変形時は層間の距離が小さくなるため、乾式間仕切り壁には鉛直方向の圧縮力がかかる。これが直接的な原因となり生じたと考えられるひび割れもあった。

ただし、ひびの入り方は 2 つあると考えられる。一つはボードに面外方向に曲げるような力が生じたことによる水平方向のヒビ。もう一つは、圧縮力がより直接的に効いたことによる鉛直方向のヒビである。

対策の方法として、ボードと鉄骨梁の間のクリアランスをよりとること（シールの厚みを増すこと）が挙げられる。

表 21 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下張りボードのヒビ	c 面	1/75 100%	#019
	c 面	1/50 -80%	#031
	a 面	1/33 100%	#032
	a 面	1/33 -100%	#033

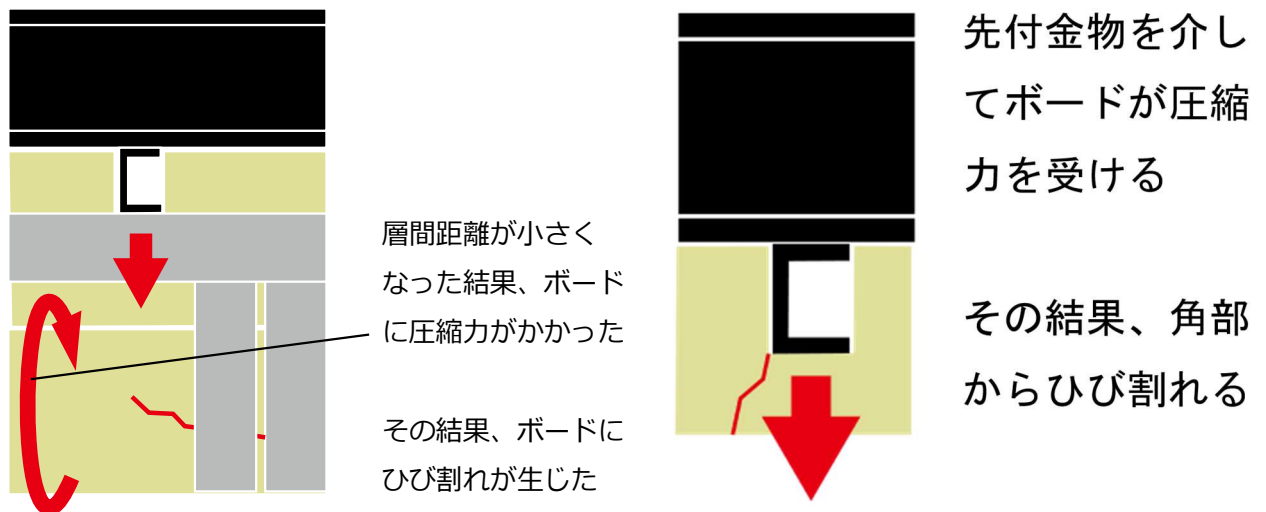


図 20（左） 層間変形により面内方向の曲げ応力が生じた結果生じたヒビのイメージ図

図 21（右） 層間変形により圧縮力がかかった結果生じたヒビのイメージ図

原因⑥ 鉄骨に端部が押し付けられた結果

A 面の角部で、先付金物のために開けられた切り欠け部分からヒビ割れが生じた。これは、層間変形により壁が鉄骨に押し付けられた結果、応力が切り欠け部分に集中したことが原因だと考えられる。

対策方法として、ボード端部に先付金物を設けないこと（縁端距離が小さいほど、剛性は低くなるため）、鉄骨柱との間のクリアランスをよりとることが挙げられる。

表 22 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下張りボードのヒビ、折れ	a 面	1/75 80%	#021

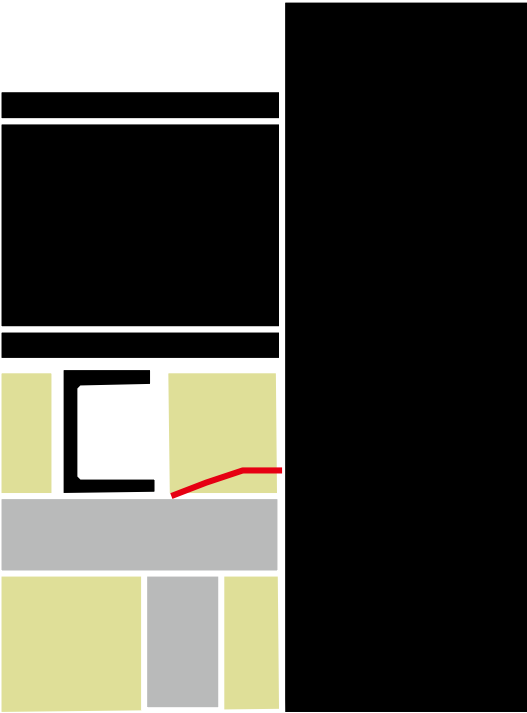


図 22 壁の端部が鉄骨柱に押し付けられた結果生じたヒビのイメージ図

原因⑦ 鉄骨柱のジョイントと開口部との間に圧縮された結果

C 面において開口部と鉄骨柱に挟まれた部分にひび割れが生じた。

鉄骨柱にはジョイント部があり、通常部分と比べ、飛び出している。また、先述のとおり、通常のスタッドと異なり開口補強材（および開口枠）は斜めにならない。このため、負荷荷時には鉄骨柱のジョイント部と開口部の間には特に強い圧縮力が生じることが考えられる。そしてこれがひび割れの原因となったと考えられる。

対策方法として、下張りボードと、開口部と鉄骨中の間にクリアランスをより取ることが挙げられる。

表 23 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下張りボードのヒビ、折れ	c 面	1/50 80%	#022
	c 面	1/50 80%	#023

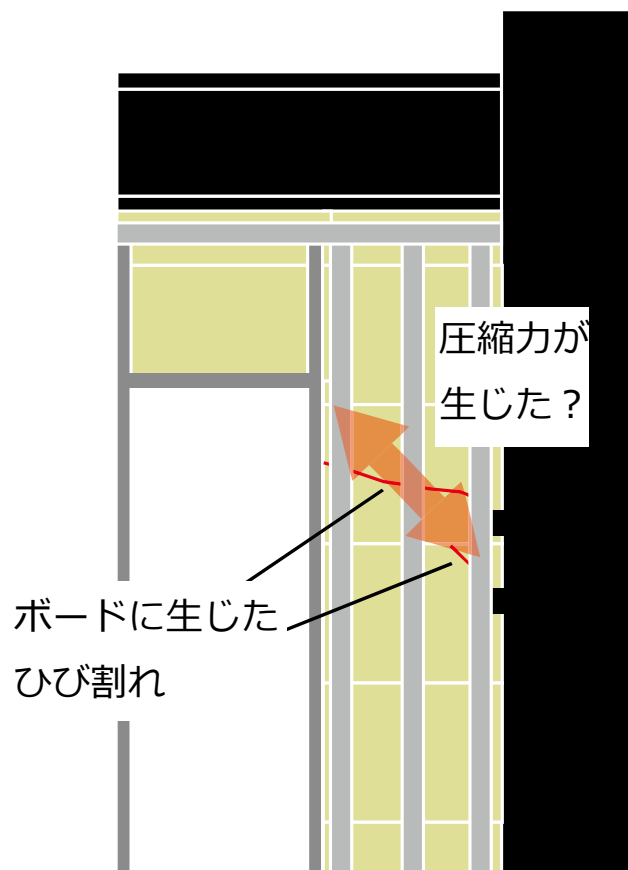


図 23 開口部と鉄骨柱の間に生じた圧縮力により生じたひび割れのイメージ図

ボードの目地の浮き

層間変形角が 1/200 のとき、B 面の塗装上に水平目地が浮き出た。しかし、その後、損傷が進行することは無かった。

層間変形により上張りボードが下張りボードから少しめくれたことが原因だと考えられる。しかし、損傷が進行しなかった理由等については不明である。

対策としては、ボードの面外方向への耐力を上げることが挙げられる。具体的には、縦方向に割り付けた下張りボードの厚みを増すことや、スタッドの強度を上げることが挙げられる。

表 24 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
ボードの目地の浮き	B 面	1/200	



図 24 B 面に生じたボード目地の浮きのイメージ図

### スタッドの水平移動

ランナーに付いた傷から載荷に応じてスタッドが水平移動していることが分かった。これは、鉄骨に押されてボードが変形する際に、ビスを介してスタッドに力が伝わったことが原因だと考えられる。

なお e 面では水平移動だけでなく、スタッドが浮き上がることも観察されている。これは、端部のスタッドにおいて、水平移動させようとする力がランナーとの摩擦力に負けた結果、Ee 面が面としてロックしたことが原因だと考えられる。

表 25 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
スタッドの水平移動	a 面	1/200 80%	#005
	e 面	1/100	#009, #011

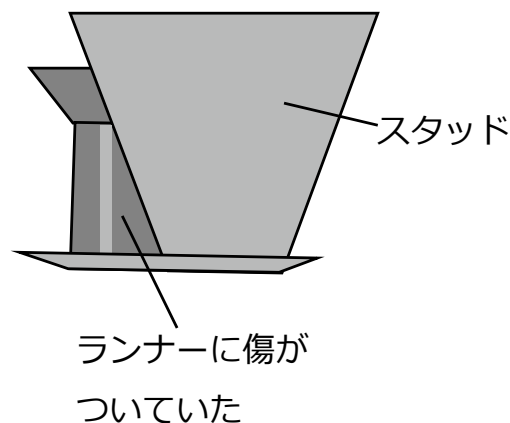


図 25 スタッドが水平移動していることが推測されるランナーの傷のイメージ図

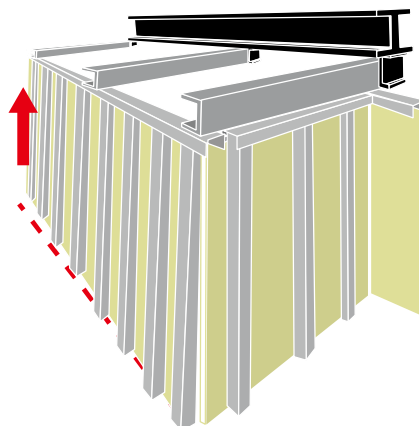


図 26 載荷時に持ち上がる挙動をみせる E 面のイメージ図

スペーサーの外れ

スタッドにはめられていたスペーサーのツメが片方脱落していることが確認された。

これは、スタッドが捩れた結果、コの字が開いたことが原因だと考えられる。スタッドが捩れる理由として、ボードがスタッドを引っ張るのに対し、ランナーとスタッドの間に摩擦力が生じスムーズに水平移動させないことが挙げられる。

表 26 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
スペーサーの外れ	a 面	1/100	#015
	a 面	1/200(2 回目)	#016

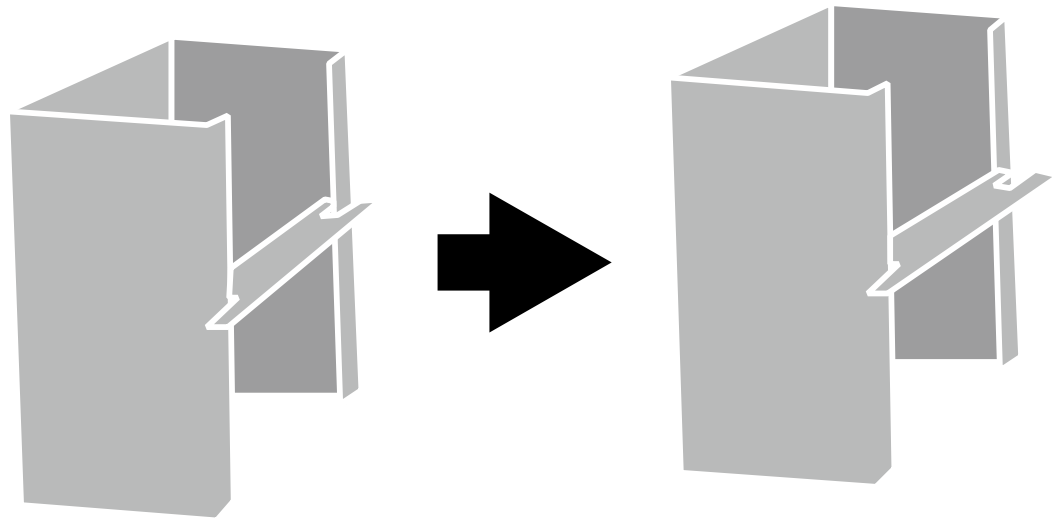


図 27 スペーサーの外れのイメージ図

## ランナーの軽微な開き

載荷時に、下部ランナーが載荷時に開くことが観察された。  
これは、ランナーが水平移動する際に、振れることが原因であると考えられる。振れる理由として、ボードがスタッドを引っ張るのに対し、ランナーとスタッドの間に摩擦力が生じスムーズに水平移動させないことが挙げられる。

対策方法として、スタッドとランナーの部材の厚みを増し、スタッドが振れないで水平移動することが挙げられる。

表 27 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
ランナーの軽微な開き	d 面	1/75 -100%	#017
	a 面	1/100 80%	#014

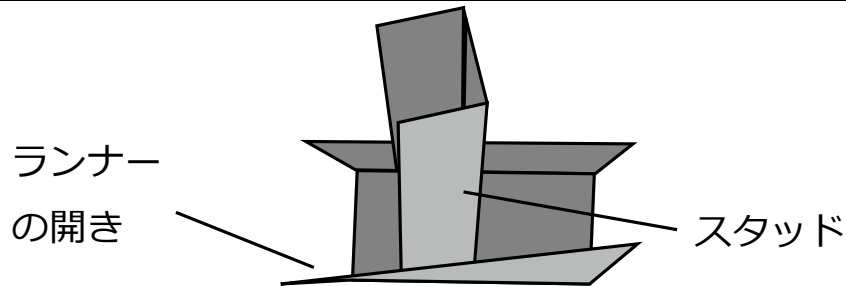


図 28 スタッドの捻じれにより生じるランナーの軽微な開き

## スタッドの軽微な歪

層間変形角が正方向に 1/200 の 40%、つまり 1/500 程度の時に、b 面のスタッド内部に歪が生じていることが確認された。その後、特に損傷の進行は見られなかった。

層間変形時には層間距離が小さくなることが原因だと考えられるが、なぜ 1 つのスタッドにのみ生じたのか、なぜ損傷が進行しなかったのかについては不明である。

表 28 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
スタッドの軽微な歪	b 面	1/200 40%	#004

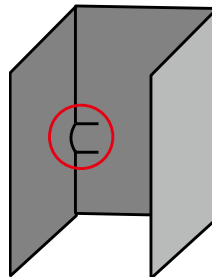


図 29 b面のスタッドに生じた軽微な歪のイメージ図



下部ランナーを留めるビスの抜け

層間変形角が 1/75 の時、d 面の下部のランナーとスラブを繋ぐビスがズレて埋まっていることが確認された。

これは直交する Ee 面に正載荷時に押されたことが原因だと考えられる。

対策方法として、直行する面とランナーの間に隙間を設けることが挙げられる。

表 29 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
下部ランナーを留めるビスの抜け	d 面	1/75 -100%	#017

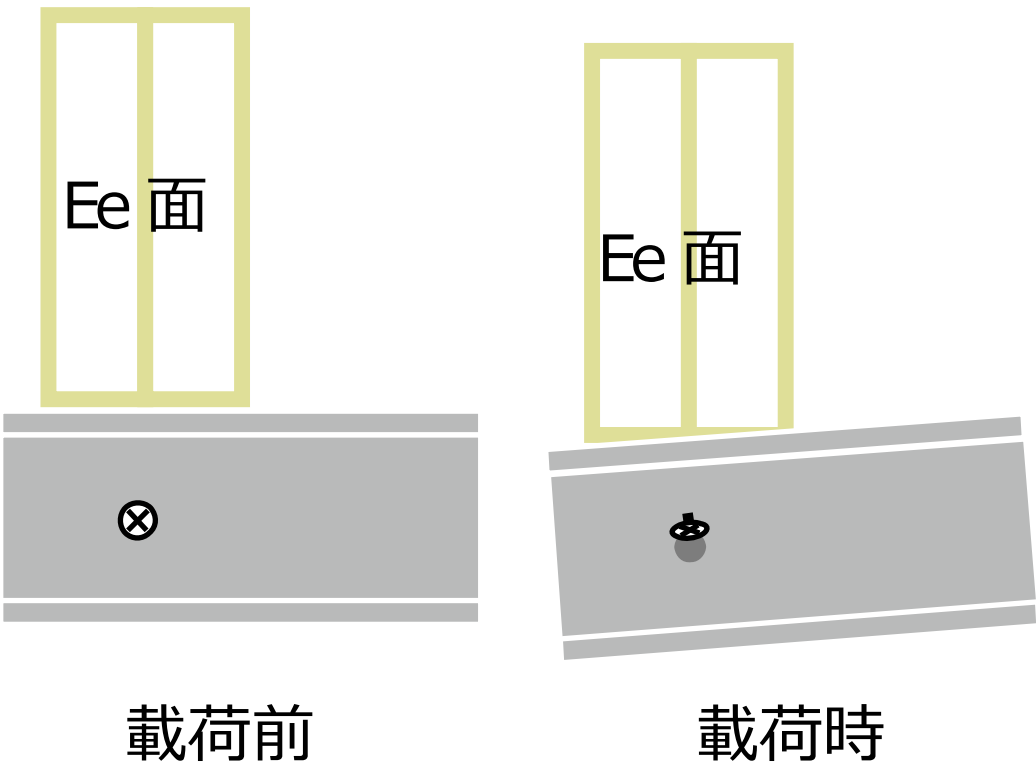


図 30 下部ランナーを止めるビスの抜けのイメージ図

## スタッド同士を留めるビスの抜け

d 面のスタッドと c 面のスタッドを留めるビスが層間変形角  $1/50$  の時に変形していることが観察された。

これは、正方向への載荷時に Ee 面の移動により Dd 面の下部ランナーが押されることが原因で生じたと考えられる。押された結果 Dd 面の下部ランナーは上から見て反時計周り方向に回転する。その結果、Cc 面との間に角度が変化する。その結果、二つの壁のスタッドを接続するビスが片方を挟んだのだと考えられる（図 31）。

対策方法として、同面の上部ランナーの開きを抑える方法（面の回転を抑える方法）と同様のことが挙げられる。

表 30 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
スタッド同士を留めるビスの変形	d,c 面	$1/50$ -100%	#024

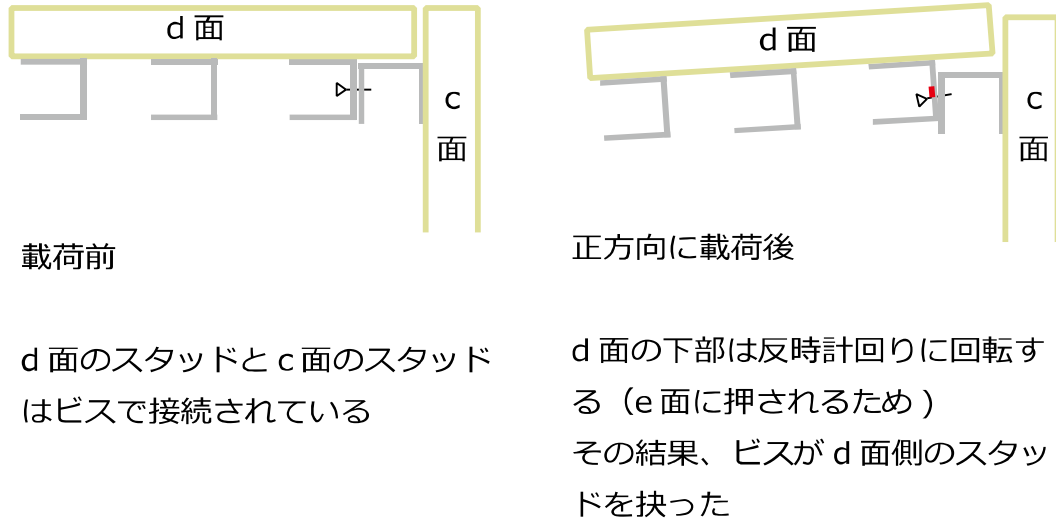


図 31 スタッド同士を留めるビスの変形のイメージ図

## 1-3-2 本実験の結果と既往研究の結果の比較

1-3-2 では本実験で観察された損傷と、2 章で紹介した乾式間仕切り壁の載荷実験に関する既往研究で報告されている内容との比較をした結果について、損傷ごとに（一部原因別に）述べる。

---

### 「持ち出し部のランナーの開き」について

---

本実験では d 面上部のランナーが開いた結果、層間変形角が 1/50 の時点でスタッドが載荷時にほぼ外れていた。これは梁から持ち出した部分のコーナー部の損傷であった。

既往研究でも同様にコーナー部を再現した試験体を用いた実験を行っている。2011 年の三谷らの研究<sup>3</sup>では袖壁付直線型の間仕切り壁、クランク型の間仕切り壁、直行型の間仕切り壁の試験体を対象としている。1/50 まで層間変形角を与えた結果、袖壁付直線型とクランク型では入隅側に損傷が集中したと報告されており、具体的にはスタッドの変形が報告されている。直行型では 1/200 で直交壁と直線壁との接合部分の損傷が報告されている。

梁からの持ち出し部分を検証した実験は本実験が初であるが、梁下に無いコーナー部では、損傷が集中するという現象は既往研究と矛盾しないものであった。

---

### 「天井下地の接合部の破断」について

---

本実験では 1/33 に確認されたが、既往研究で同様の報告はされていない。これは非吊り天井について実験を行ったのは今回が最初であるためであると考えられる。

2008 年の松岡らの実験<sup>3</sup>では天井を含めた間仕切り壁の実験が行われているが、間仕切り壁と独立した吊り天井であるため、本実験の天井の損傷とは比較できない。

---

<sup>3</sup> 三谷一房 他（2011）「集合住宅における内装間仕切壁の面内加力実験 その 1~2」,『日本建築学会大会学術梗概集』 pp.751-752, 日本建築学会

---

「上張りボードの面外への変形」について

---



---

「上張りボードの脱落」について

---

本実験では層間変形角が 1/50 のときに A 面で、1/75(2 回目)の時に C 面で、上張りボードが面外に変形していることが観察された。特に A 面では面外への変形が、層間変形角が 1/50 の時に 5mm 程度であった面外への変形が、1/33 では正載荷時に 10mm、負載荷時には 70mm と進行していった。その後、層間変形角が 1/33 のときに（厳密には 1/33 からの除荷時に）A 面の上張りボードが脱落した。

2005 年の金子らの実験<sup>4</sup>では一重張りの試験体では層間変形角 1/100 のときに面外方向への変形が生じ、1/75 で大きくなり、二重張りの試験体（本実験と同様）では層間変形角 1/100 でボード端部に面外方向の変形が生じ 1/50 で大きくなったと報告されている。いずれの試験体も、一部のビスが抜けたことで面外方向の変形が大きくなったと報告されている。ただし、金子らの実験では施工性を考慮して上張りボードもビス留としている。本実験に比べ、比較的小さい層間変形で面外方向の変形が生じた理由として、まず金子らの実験では、鉄骨と間仕切り壁の間にクリアランスが無かったことに対し、本実験ではシーリング材により 5mm 程度のクリアランスが存在することが考えられる。上張りボードの固定方法の違いも、関係していると考えられるが、ビス留とステーブル+接着剤の性能の差についてこれらの実験だけでは断定することはできない。

2007 年の加登らの実験<sup>5</sup>では平面を模した試験体において層間変形角が 1/16 程度の時に上張りボードの一部が面外に変形し始めたと報告がある。その後、1/13 程度の時に同ボードが下張りボードが外れかけ（下張りボードとはステーブルと接着剤で留まっていた）、1/10 で同ボードが脱落したと報告がある。本実験と比べ、比較的大きい層間変形角まで損傷が観察されなかった原因として、加藤らの実験では鉄骨と間仕切り壁の間のクリアランスが 15mm 程度あったのに対し、本実験ではクリアランスが 5mm 程度しかなかったことが考えられる。クリアランスが大きかった結果、本実験よりボード毎のロッキングが生じるのが遅かった。そのことにより接着剤の剥がれるのが遅れた結果、鉛直方向の圧縮力に対して本実験より耐えることができたと考えられる。

---

<sup>4</sup> 金子美香 他（2005）「軽量鉄骨下地間仕切り壁の耐震性能確認実験」、『日本建築学会関東支部研究報告集』pp77-80, 日本建築学会

<sup>5</sup> 加登美喜子 他（2007）「軽量鉄骨下地間仕切り壁の耐震性能と修復性の検証」、『日本建築学会構造系論文集第 614 号』pp.139-146, 日本建築学会

### 付録 1-3 乾式間仕切り壁の実大載荷実験の結果の分析

2008 年の松岡らの実験<sup>6</sup>では 1/28 で上張りボードのみの脱落および上張りボードと下張りボードが一体となって脱落が報告されている。前者はボード毎のロックングにより下張りボードとの接着剤が剥がれたこと、後者はスタッドと下張りボードを留めるビス周りの損傷が激しくなりビスの保持力が失われたことが原因だと報告されている。なお 1/35 の時には脱落していないことが報告されている。

以上のことから、ボードの面外への変形および脱落には、下張りボードとの接着剤の剥がれが大きく影響することがわかる。この接着剤の剥がれは上張りボードのロックングが大きく影響することがわかり、更にこの上張りボードのロックングは、ボードと鉄骨柱のクリアランスの大きさが影響すると考えられる。

---

<sup>6</sup> 松岡祐一 他 (2008)「軽量鉄骨間仕切壁とそれに囲まれた鋼製下地天井の耐震性能」,『日本建築学会構造系論文集第 632 号』pp.1857-1864, 日本建築学会

---

**「上張りボードのロッキング」について**

---

本実験では上張りボードがロッキングすることが A 面、および C 面の一部で層間変形角 1/100 から確認された。

2007 年の加藤らの実験<sup>2</sup>では平面を模した試験体において 1/50 で縦目地のひび割れが報告されている（目地部はパテで埋めていた）。これはボード毎のロッキングにより生じたと考えられる。本実験より比較的大きい層間変形角で生じた原因として、鉄骨と間仕切り壁の間のクリアランスが加藤らの実験では 15mm 程度であったのに対し本実験では 5mm 程度であったことが考えられる。

2008 年の松岡らの実験<sup>3</sup>では天井を取り囲むコの字型の間仕切り壁の試験体（鋼製扉付き）において、1/100 からボードごとのロッキングによるボードの損傷が観察されたことを報告している。松岡らは、これは壁の両端がコの字型であったため、ランナー内のスタッドの移動が拘束された結果生じたものだと考察している。また、特に開口部周辺に損傷が集中していたこと、1/66 で上張りボードと下張りボードの剥がれが確認されたことを報告している。しかし、ランナー内のスタッドの移動が拘束されていない本実験でロッキングが生じた変形角と概ね同じであるため、他の要因があった可能性も考えられる。

2009 年の小寺らの実験<sup>7</sup>では、片面二重張りの通常数のステーブルを用いた試験体では、1/150 を超えたあたりから目地部のパテに亀裂が生じ、1/100 程度から上張りボードのロッキングが確認されたと報告している。片面二重張りの通常より多いステーブルを用いた試験体では 1/60 程度からボード対角線上に、追加したステーブルを起点に亀裂が生じたものの、1/45 程度までの終局状態まで上張りボードのロッキングは生じなかったと報告している。前者は本実験と概ね同じ結果である。

上張りボードの面外への変形のときの考察の通り、ボードのロッキングには鉄骨とのクリアランスの量が大きく関係すると考えられる。しかし、松岡らの論文の通り、間仕切り壁の平面プランによっては、鉛直壁の存在も関係する可能性がある。

---

<sup>7</sup> 小寺賢 他（2009）「地震により損傷を受けた乾式間仕切り壁の耐火性能 その 1~2」、『日本建築学会関東支部研究報告集』 pp.549-552, 日本建築学会

---

「壁間の隙間の開き」について

---

本実験では層間変形角が  $1/100$  の時に Ee 面において、Dd 面および Ff 面との間に除荷時にも隙間が残ることが観察された。

2007 年の加登らの実験<sup>2</sup>では L 字型壁の試験体において、 $1/100$  で除荷時もコーナー部に隙間が生じていることが報告されている。

---

「ランナー端部の歪」について

---

本実験では層間変形角  $1/400$  および  $1/100$  で a 面の端部、 $1/200$  で c 面の上部ランナーの端部に歪が生じることが観察された。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が損傷の観察を丁寧に行った結果観察できたもので、既往の実験では見過ごされていた、もしくは取り立てて記述する必要がないと判断されたからであると考えられる。

---

### ビス穴からのボードのヒビ、ビス穴の広がり

---

本実験では層間変形角が  $1/75$  のときに e 面および a 面で初めて確認され、その後増えていった。ただし、スタッドに対するボードの変位が激しくなったため初めて確認できただけで、実際はより小さい層間変形角の時に生じていたと考えられる。既往研究では  $1/120$  でビス周りの下張り石膏ボードがくずれているのが確認されていることから、本実験でもビスによるボードの挟り自体はもっと前の層間変位から生じていた可能性が高いと考えられる。

2005 年の金子らの実験<sup>1</sup>では、層間変形角を大きくすると、石膏ボードを留めているビスの周辺でボードが削られて孔が大きくなり、ビスの頭が徐々に沈んだ結果、最終的にビスが外れ、それがボードの面外方向への変形に繋がったとしている。ただし、金子らの実験では施工性のため上張りボードもビス留としている。

2008 年の松岡らの実験<sup>3</sup>では、 $1/35$  のときに下張りボードをスタッドと留めているビス周りの損傷が激しくなり、ビスの保持力が失われていることが報告されている。同実験では  $1/28$  で下張りボードごと脱落した場合があったことが報告されている。

以上から、スタッドとボードを留めるビスによるボードの損傷は過去にも報告されており、 $1/33$  を超える大変形時ではボードの脱落に寄与することがわかる。



---

「上張りボードのヒビ、折れ」について

---

- ① ボード毎ロックした結果生じたヒビ
- ② L字型のボードが異なる2方向の力を受けた結果生じたヒビについて  
(本実験ではいずれも開口部周辺のひび割れ)

本実験では開口部周りの上張りボードにヒビが、層間変形角が  $1/400$  のときに初めて生じ、その後  $1/50$  まで進行および数が増えていった。中でも上張りボードの目地に沿ったひび割れは、ボード毎のロックにより生じたもの、開口部端部から斜め方向に生じたひび割れは、L字型のボードが異なる2方向の力を受けた結果生じたヒビであることを 3.2.2.8 で考察した。いずれのパターンも層間変形角が  $1/400$  のときから観察されていた。ただし  $1/400$  では塗装上のヒビに過ぎなかった可能性がある。

2005 年の金子らの実験<sup>1</sup>では、鋼製扉付きの二重張りの試験体において、層間変形角  $1/150$  で開口部端部にシワが生じ、 $1/100$  で進行したと報告されている。本実験に比べ比較的大きい層間変形角まで損傷が観察されなかった理由として、金子らの実験では上張りボード上に仕上げが施されなかったことに対し、本実験では塗装がされていたことが挙げられる。また、塗装がされていなかったため、金子らの実験ではボード毎のロックがヒビという形で表に現れてこない。そのため、本実験では損傷として扱った「ボード毎ロックした結果生じたヒビ」を金子らは特に損傷として報告はしていないのだと考えられる。

2007 年の加登らの実験<sup>2</sup>では鋼製扉付きの二重張りの試験体において、層間変形角  $1/200$  で開口部上部から斜め  $45$  度方向へ膨れが生じ、 $1/100$  で進行したことが報告されている。また、 $1/100$  では扉の上のボードの鉄骨梁付近で膨れが生じていることが報告されている。同箇所は、 $1/50$  でひび割れが貫通したと報告されているが、これは下張りボードの目地部分と位置が一致しているため、目地が貫通したことだと考えられる。これ以外にも  $1/100$  から  $1/25$  にかけて扉周辺も上張りボードの目地がひび割れ、 $1/10$  で開口部周辺のボードが脱落したことが報告されている。

本実験と既往研究の結果を統合すると、原因に関係なく開口部周辺の上張りボードには、塗装やクロスといった仕上げ上には  $1/400$  から損傷が見られるが、実際にボードの割れなどが生じるのは  $1/200 \sim 1/100$  の範囲であると考察することができる。

### ③ 鉄骨に端部が押し付けられた結果生じたヒビについて

本実験では層間変形角が  $1/200$  のときに a 面の上角部で先付金物のための切り欠け部からヒビがはいっていることが観察された。また、 $1/100$  のときに a 面の両方の下角部でボードが折れていることが観察された。

2005 年の金子らの実験<sup>1</sup>では、一重張りの試験体では層間変形角  $1/300$  でボード端部に微小なシワがより、 $1/100$  でその数が増えた、二重張りの試験体（本実験と同様）では層間変形角  $1/200$  でボード端部に微小なシワ、 $1/100$  でボード端部のはらみが生じ、 $1/40$  でボードの端部が破損したと報告されている。概ね本研究と一致する内容であるが、 $1/40$  までひび割れの報告が無い。これは、本実験では先付金物のための切り欠け部まで再現してあったのに対し、金子らの実験では再現されていなかったことが原因だと考えられる。本実験では、この切り欠けが弱点となりヒビが入ったと考察される。

### ④ 天井と接触した結果生じたヒビについて

本実験では層間変形角が  $1/33$  のときに D 面の上部でヒビが生じた。これは天井と接触したため生じたヒビだと考察された。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が非吊り天井を再現した最初の実験であるからと考えられる。

### ⑤ 梁下に壁が無いことによる層間変形への追従の低さの結果生じたヒビについて (梁からの持ち出し部分のボードに生じたヒビ)

本実験では層間変形角が  $1/33$  のときに D 面の断面にヒビが生じていることが観察された。これは、梁からの持ち出し部分であったため、層間変形への追従性が低かった結果、直行する面から力を受けた結果生じたものだと考察された。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が梁からの持ち出し部分を再現した最初の実験であるからと考えられる。

---

「シールの切れ」について

---

本実験では層間変形角が  $1/400$  から、ボードと鉄骨の間でシールの切れが局所的に確認されていた。

2012 年の福田らの実験<sup>8</sup>では、層間変形角  $1/200$  まではシーリング材の伸縮挙動はあったものの損傷は確認されず、 $1/100$  のときに部分的な剥離を確認したと報告されている。本実験と比較し比較的大きい層間変形角まで剥離が生じなかった原因として、本実験ではシールを 5mm の厚みで充填したのに対し、福田らの実験では 10mm の厚みで充填したことが考えられる。

以上より、シールの切れは、その厚みが大きく関係すると考えられる。

---

<sup>8</sup> 福田一夫 他 (2012)「集合住宅の乾式耐火遮音戸境壁における地震履歴後の耐火性および遮音性 その 1~2」,『日本建築学会大会学術梗概集』pp.1275-1276, 日本建築学会

---

「下張りボードのヒビ、折れ」について

---

① ボード端部からの距離が小さすぎる位置にビスを打ったことによる影響で生じたヒビ

本実験では層間変形角が  $1/400$  のときに a 面でボードのヒビが観察された。 $1/400$  という極めて小さい層間変形角でひび割れた原因として、ビスを打った位置が端部に近すぎたことが考察された。

既往の実験では、同様の現象だと考えられる損傷については報告が無かった。これは、既往の研究ではひび割れの要因を一つ一つ丁寧に考察することはしなかったからだと考えられる。

② 梁下に壁が無いことによる層間変形への追従の低さの結果生じたヒビについて

(本実験では梁からの持ち出し部分のボードに生じたヒビ)

本実験では d 面の断面が、層間変形角が  $1/400$  の時に割れた。その後、 $1/33$  の時に断面が折れていることが確認されている。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が梁からの持ち出し部分を再現した最初の実験であるからと考えられる。

③ 上張りボードの挙動の違いにより生じたヒビについて

(本実験では開口部周辺に生じたヒビ)

本実験では層間変形角が  $1/200$  のときに c 面(下張りボード)に、上張りボードの挙動の違いにより生じたと考察されたひび割れが生じた(下張りボードのヒビの位置が上張りボードの縦目地と一致していた)。

2007 年の加登らの実験<sup>2</sup>ではこの逆で、下張りボードの挙動の差により上張りボードがひび割れたと考えられるような現象が起きている(上張りボードのヒビの位置が下張りボードの縦目地と一致していた)。本実験と違いが出た原因として、加藤らの実験では下張りボードと上張りボードの両方が縦方向の割付であったのに対し、本実験では下張りボードは横方向で上張りボードは縦方向の割付であったことが考えられる(縦方向の方が、縦目地が開く量が多い)。

既往の実験では、同様の現象だと考えられる損傷については報告が無かった。これは、既往の研究ではひび割れの要因を一つ一つ丁寧に考察することはしなかったからだと考えられる。

#### ④ 開口補強鋼材によるボードのロッキングの阻害

本実験では層間変形角が  $1/100$  の時に c 面にて、開口補強鋼材が原因と考察されたヒビが生じた。

既往の実験では、同様の現象だと考えられる損傷については報告が無かった。これは、既往の研究ではひび割れの要因を一つ一つ丁寧に考察することはしなかったからだと考えられる。

#### ⑤ 層間変形による鉛直方向の圧縮力により生じたヒビ

本実験では層間変形角が  $1/75$  と  $1/70$  程度のときに c 面で、 $1/33$  のときに a 面で、層間変形による鉛直方向の圧縮力が原因だと考えられるヒビが生じた。

既往の実験では、同様の現象だと考えられる損傷については報告が無かった。これは、既往の研究ではひび割れの要因を一つ一つ丁寧に考察することはしなかったからだと考えられる。

#### ⑥ 鉄骨に端部が押し付けられた結果生じたヒビ

本実験では層間変形角が  $1/90$  程度のときに a 面の角部で、鉄骨に端部が押し付けられた結果生じたと考えられるヒビが、先付金物のための切り欠け部から生じた。

既往の実験では、同様の現象だと考えられる損傷については報告が無かった。これは、既往の実験は先付金物まで再現したものが少なかったことと、既往の研究ではひび割れの要因を一つ一つ丁寧に考察することはしなかったことが原因だと考えられる。

### ⑦ 鉄骨柱とのジョイントと開口部との間に圧縮された結果

本実験では層間変形角が  $1/70$  程度の時に、開口補強鋼材および枠と、鉄骨柱とのジョイントの間の圧縮力により生じたと考察されるヒビが観察された。

既往の実験では、同様の現象だと考えられる損傷については報告が無かった。これは、既往の実験は鉄骨にジョイント部が無いものが多かったことと、既往の研究ではひび割れの要因を一つ一つ丁寧に考察することはしなかったことが原因だと考えられる。

---

#### 「ボードの目地の浮き」について

---

本実験では層間変形角が  $1/200$  のときに B 面においてボードの目地が浮くことが観察された。B 面は載荷方向に対して鉛直方向に設置された壁であるが、特に目立った損傷は生じなかった。

2007 年の加登らの実験<sup>2</sup>では L 字型壁の試験体において、 $1/400$  で直交壁の角部が面外へ変形したのち、 $1/200$  で水平目地がひび割れている（目地はパテで埋めていた）。その後も鉛直壁は角部が折れるなどの損傷が観察されたものの、 $1/10$  まで上張りボードの面外方向への変形といった目立つ損傷は報告されていない。これに対し、鉛直壁に接続されていた水平方向の壁は  $1/100$  でボードの膨れ、 $1/50$  でボードのビスからの剥落、 $1/10$  では全ボードが脱落するなど目立つ損傷が非常に多く報告されている。

以上から、載荷方向に対して鉛直な壁は損傷が生じにくいと考えられる。しかし、これはスラブや鉄骨といった構造材に上下が接続されている場合に限る。

---

#### 「スタッドの水平移動」について

---

本実験では層間変形角が  $1/200$  の時に確認された。

2007 年の加登らの実験<sup>2</sup>では、平面な壁を模した試験体において、 $1/400$  から石膏ボードが上下ランナー内を滑ることが報告されている。本実験でも、移動した距離が小さかったため観察で確認することができなただけで、層間変形角が  $1/400$  のときから移動は始まっていた可能性がある。

---

#### 「スペーサーの外れ」について

---

本実験では 1/100 で初めて確認された。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が損傷の観察を丁寧に行った結果観察できたもので、既往の実験では見過ごされていた、もしくは取り立てて記述する必要がないと判断されたからであると考えられる。

---

#### 「ランナーの軽微な開き」について

---

本実験では層間変形角が 1/160 程度の時より、a 面および e 面でスタッドの捻じれに伴ってランナーが開くことが観察された。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が損傷の観察を丁寧に行った結果観察できたもので、既往の実験では見過ごされていた、もしくは取り立てて記述する必要がないと判断されたからであると考えられる。

---

#### 「スタッドの軽微な歪」について

---

本実験では層間変形角が 1/500 のときに b 面のスタッドに軽微な歪が生じていることが観察された。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が損傷の観察を丁寧に行った結果観察できたもので、既往の実験では見過ごされていた、もしくは取り立てて記述する必要がないと判断されたからであると考えられる。

---

#### 「下部ランナーを留めるビスの抜け（下部ランナーの移動）」について

---

本実験では層間変形角が 1/75 の時に、d 面の下部ランナーで確認された。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が梁からの持ち出し部分を再現した最初の実験であるからと考えられる。

---

#### 「スタッド同士を留めるビスの抜け」について

---

本実験では層間変形角が 1/33 の時に、d 面と c 面のスタッド同士を留めるビスにて確認された。既往研究で同様の現象の報告はされていない。これは本実験が梁からの持ち出し部分を再現した初めての実験であるためと考えられる。

既往の実験では同様の損傷について特に報告はない。これは本研究が梁からの持ち出し部分を再現した最初の実験であるからと考えられる。

---

#### 比較結果のまとめ

---

本実験で初めて検証した梁からの持ち出し部分では、非吊り天井の接合部の損傷を含め、既往研究でこれまで報告されなかった損傷が生じた。

しかし、梁からの持ち出し部分以外でも、既往研究でこれまで報告されてこなかった損傷について知見を得ることができた。この理由として、既往実験に比べ本実験ではかなり丁寧に観察したこと、観察された全ての損傷について報告したことが挙げられる。また、鉄骨のジョイント部など、想定外ではあるが、既往実験には無かった要素も本研究では入っていたことも挙げられる。

上張りボードのロッキング、面外変形、及び脱落については、既往研究で生じた層間変形角に差があった。これは、ボードと鉄骨の間のクリアランスの量が大きく左右することが理由として考えられた。

上張りボードのヒビは、既往研究の結果と比較した結果、クロス等の仕上げ有無による損傷が表にでてくる層間変形角について考察することができた。

また、ビス穴の損傷や、壁間の開きなどは、既往研究と本実験の結果に概ね差は生じなかった。



# 付録 1 — 4

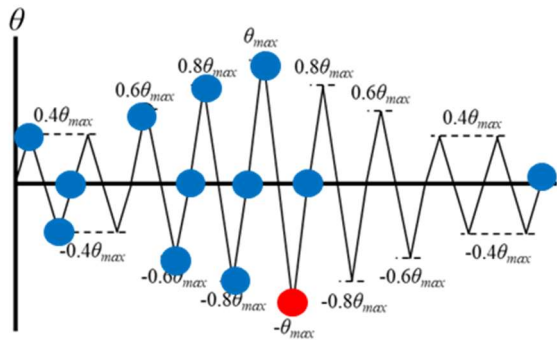
## 窓の開閉機能の結果（詳細版）

窓の開閉機能を把握するため、載荷の各セット当たり最大 17 回、人力により確認した。各確認時に、開閉機能について、「簡単に開けることができる」、「力を入れれば十分に開けることができる」、「力を入れても十分に開けることができない」の指標で評価した。

層間変形角ごとに、窓の開閉機能の確認結果について記す。

$\theta_{\max}=1/200$  における窓の開閉機能の確認結果

-1.0  $\theta_{\max}$  で鍵が開かなかったが除荷時に正常に戻った。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

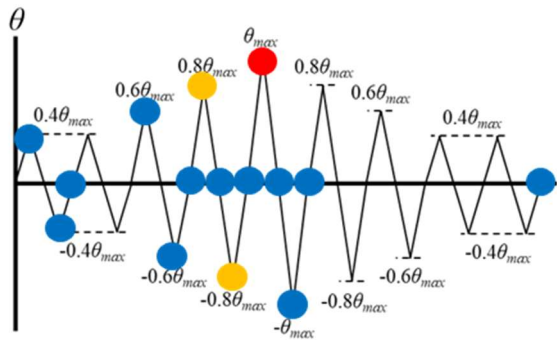
図 32 開閉機能の確認結果

表 31 確認時の様子

$\theta_{\max}$	加力度	確認時の様子
1/200	40%	
	-40%	
	0	
	60%	
	-60%	
	0	
	80%	・ 鍵が閉まらなくなる
	-80%	・ 鍵が閉まらないまま
	0	・ 鍵が閉まるようになる
	100%	
	-100%	・ 開錠できず窓が開けられない
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	0	

Θ max=1/100 における窓の開閉機能の確認結果

0.6 θ max で鍵が閉めにくくなった。0.8 θ max で開閉には、障子を持ち上げるといった工夫が必要となった。1.0 θ max では片方の障子が 10cm くらいしか開かなくなり、もう片方は一切開かなかったが、いずれも除荷時には正常に戻った。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

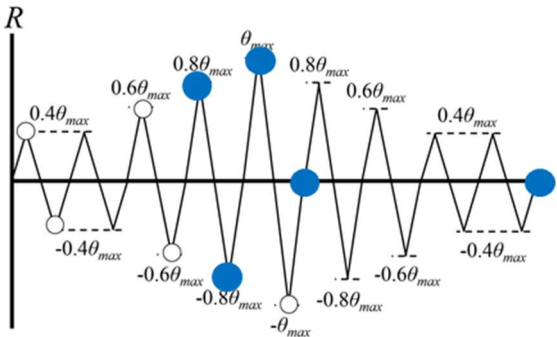
図 33 開閉機能の確認結果

表 32 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/100	40%	
	-40%	
	0	
	60%	・ 鍵閉めにくい
	-60%	
	0	
	80%	・ 開閉に力と工夫が必要 ⇒ 障子を持ち上げるようにすると開く
	-80%	
	0	
	100%	・ 北側の障子は10cmくらいしか開かない ⇒ 除荷時は開閉に問題なし
	-100%	・ 鍵はかけられない ・ 開閉は可能
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	0	・ 鍵、開閉に問題なし

Θ max=1/200（2 回目）における窓の開閉機能の確認結果

ピーク時も含め、常に正常を保った。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

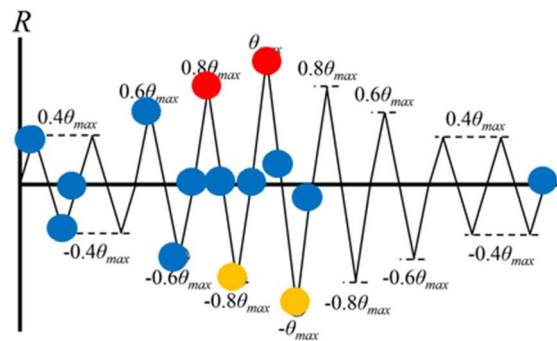
図 34 開閉機能の確認結果

表 33 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/200 2回目	80%	・ 鍵、開閉に問題なし
	-80%	・ 鍵、開閉に問題なし
	100%	・ 鍵、開閉に問題なし
	-100%	・ 鍵、開閉に問題なし
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	0	・ 鍵、開閉に問題なし

Θ max=1/75 における窓の開閉機能の確認結果

0.8 θ max では障子がストッパーに引っかかり 10cm しか開かなくなったが、-0.8 θ max では力を入れれば、ストッパーごと障子を動かすことができた。1.0 θ max、-1.0 θ max 時も同様の現象が起き、除荷時には正常に戻った。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

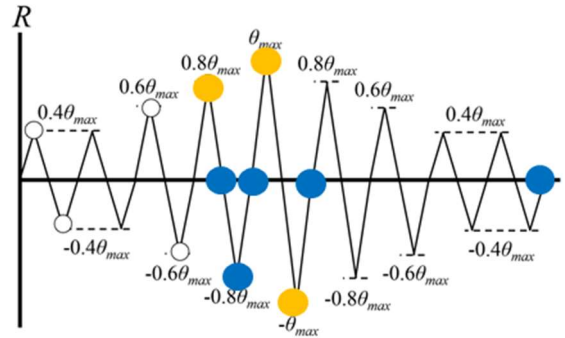
図 35 開閉機能の確認結果

表 34 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/75	40%	・ 鍵、開閉に問題なし
	-40%	・ 鍵、開閉に問題なし
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	60%	・ 鍵、開閉に問題なし
	-60%	・ 鍵、開閉に問題なし ・ サムターンの部品が取れそう
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	80%	・ 北側の障子は10cmくらいしか開かない、黒いストッパーに引っ掛かっている ・ 枠の接合部に隙間ができていて潰れている部分がある ⇒ 除荷時は問題なし
	-80%	・ ストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーごと動く
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	100%	・ 鍵に問題なし ・ ストッパーとサッシ自体にも引っかかる ・ 片方の障子が途中までしか開かない ⇒ 除荷時は問題なし
	-100%	・ 鍵が勝手に半開きになる ・ ストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーごと動く
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	0	・ 鍵、開閉に問題なし

Θ max=1/100（2 回目）における窓の開閉機能の確認結果

-1.0 θ max ではサムターンが歪み、鍵を開くのに力が必要であったが、いずれの状態でも、力を入れればストッパーごと障子を動かすことはできた。除荷時には正常に戻った



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

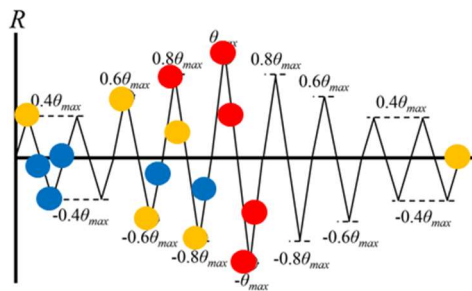
図 36 開閉機能の確認結果

表 35 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/100 2回目	80%	・ 鍵を閉めることができない ・ ストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーごと動く ⇒ 除荷時は問題なし
	-80%	・ 鍵を閉めることができない ・ 開閉に問題なし ⇒ 除荷時は問題なし
	100%	・ 鍵を閉めることができない ・ 開閉に力が必要
	-100%	・ 鍵が歪んでいて、開錠に力が必要 ・ ストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーごと動く
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	0	・ 鍵、開閉に問題なし

Θ max=1/50 における窓の開閉機能の確認結果

0.8 θ max では両方の障子共に 30cm ほどしか開かずその後の除荷時は、スパーサーに引っ掛かり力を入れないと開かなかった。このとき、枠の接合部に歪みが生じていることが確認された。1.0 θ max と -1.0 θ max では鍵が開かなくなったため開閉不可となり、いずれの除荷時も鍵は開くものの、障子は 30cm しか動かなかった。終局状態では入れれば完全に開くようになっていた



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

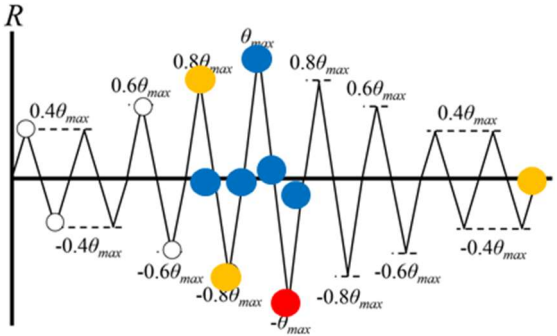
図 37 開閉機能の確認結果

表 36 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/50	40%	・ 鍵が閉まらない ⇒ 除荷時は問題なし ・ ストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーごと動く
	-40%	・ 鍵が閉まらない ⇒ 除荷時は問題なし ・ 開閉に問題なし
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	60%	・ 鍵が閉まらない ・ ストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーごと動く
	-60%	・ 鍵が閉まらない（以後加力時は鍵が閉まらない） ・ ストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーごと動く
	0	・ 鍵、開閉に問題なし
	80%	・ 両方の障子共に30cmほどが限界 ⇒ 除荷時はストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーごと動く ・ サッシ右上接合部に歪み
	-80%	・ ストッパーに引っ掛かるが力を入れればストッパーを越えて動く
	0	・ 少し引っ掛かるが開閉可能
	100%	・ 開錠できず窓が開けられない ⇒ 除荷時には鍵が開くが閉めづらくなる、さらに南側の障子が途中でしか開かない
	-100%	・ 開錠できず窓が開けられない
	0	・ 鍵が閉まらない ・ 南側の障子が30cmくらいしか開かない
	0	・ 鍵に問題なし ・ 開閉に力が必要
	0	

Θ max=1/75（2 回目）における窓の開閉機能の確認結果

1.0 θ max では開閉に問題がなかったが、-1.0 θ max では鍵が開かなかったため、開けることができなかった。終局状態ではサムターンの部品が外れかけていた。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 38 開閉機能の確認結果

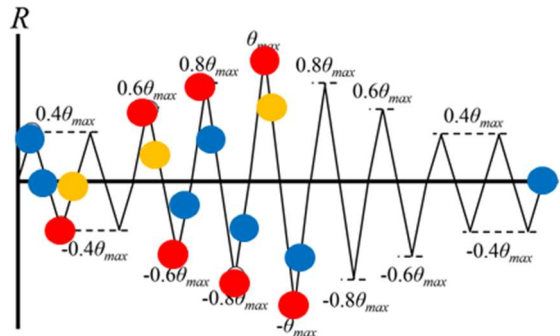
表 37 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/75 2回目	80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鍵が閉まらない</li> <li>・ 開閉に力が必要、一度開閉するとその後はスムーズ</li> <li>⇒ 除荷時は問題なし</li> </ul>
	-80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開錠に力が必要</li> <li>⇒ 除荷時は問題なし</li> <li>・ 開閉に問題なし</li> </ul>
	100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開閉に問題なし（ストッパーがかなり右に移動している）</li> <li>⇒ 除荷時も問題なし</li> </ul>
	-100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開錠できず窓が開けられない</li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鍵、開閉に問題なし</li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鍵の黒いパーツがガバガバになって外れかけている</li> <li>・ 開閉に力が必要</li> </ul>



Θ max=1/33 における窓の開閉機能の確認結果

-0.4 θ max、-0.6 θ max、0.8 θ max、-0.8 θ max では鍵が開かなかった。0.8 θ max 時には、枠の縦材が歪んでいることが確認された。-0.8 θ max 载荷後の除荷時に、鍵が閉まらなくなったため、以降の鍵の開閉確認ができなくなったが、1.0 θ max、-1.0 θ max では単純に障子が動かなかった。終局時は、鍵が閉まるようになるが、かなり緩く、実質機能していなかった。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 39 開閉機能の確認結果

表 38 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/33	40%	・ 鍵が閉まらない ⇒ 除荷時は問題なし ・ 開閉には問題なし（ストッパーが端にあるから？）
	-40%	・ 開錠できず窓が開けられない
	0	・ 鍵に問題なし ・ 開閉に力が必要
	60%	・ 開錠できず窓が開けられない ⇒ 除荷で鍵に問題無いが、開閉に力が必要 ・ ガラスのヒビの幅が広がる ⇒ 除荷でガラスの南上コーナーに新しいヒビ
	-60%	・ 開錠できず窓が開けられない
	0	・ 鍵に問題なし ・ 開閉時に少し擦る感触
	80%	・ 障子の枠の中央縦材が歪む 室内側が右に凸、外側が左に凸 ・ 開錠できず窓が開けられない ⇒ 除荷時は鍵が開くが、閉まらない → 黒い部品が取れたら閉まるようになった、開閉時に少し引っかかる
	-80%	・ 開錠できず窓が開けられない
	0	・ 鍵が閉まらない ・ 開閉に問題なし
	100%	・ 開閉できない → 除荷時は開閉に力が必要、鍵は閉まらない
	-100%	・ 殆ど動かない
	0	・ 開閉はほぼ可能（閉まり切らない） ・ 鍵が閉まらない
	0	・ 鍵のビス穴（？）にゆとりがあるからか、鍵がかかるようになるが、実質機能していない ・ 抵抗なく開く

グラフ集

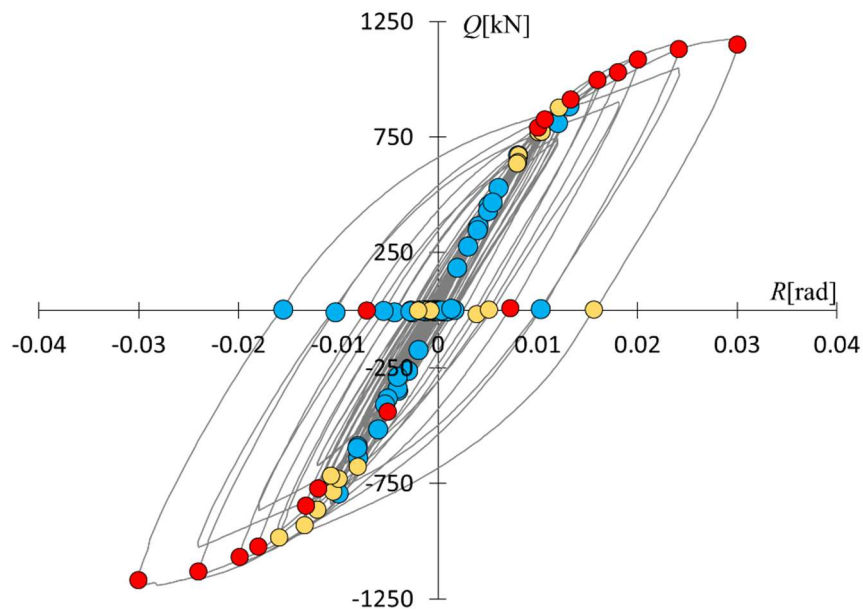


図 40 躯体の荷重変形曲線にプロットした窓の開閉機能の確認結果

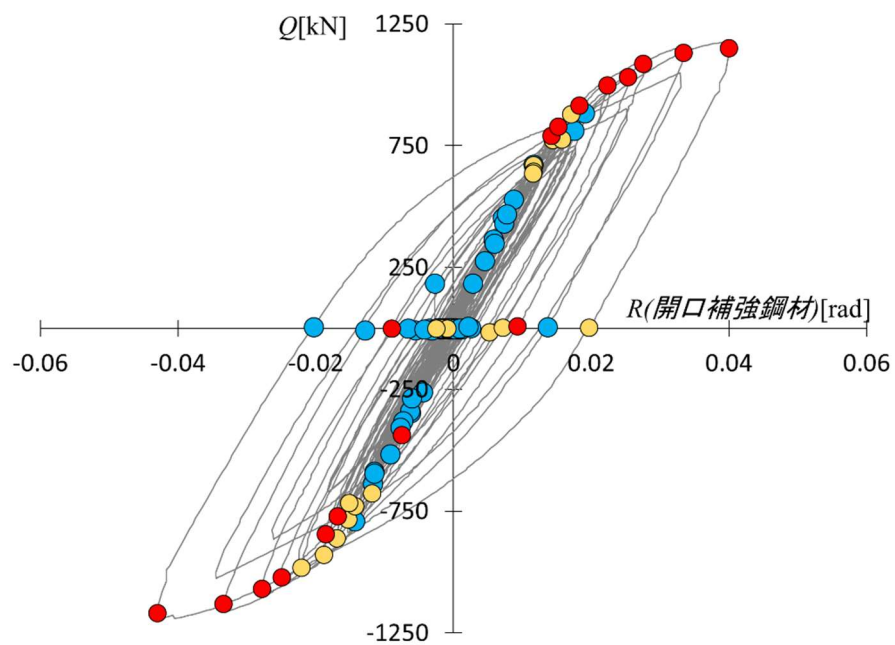


図 41 開口補強鋼材の荷重変形曲線にプロットした窓の開閉機能の確認結果

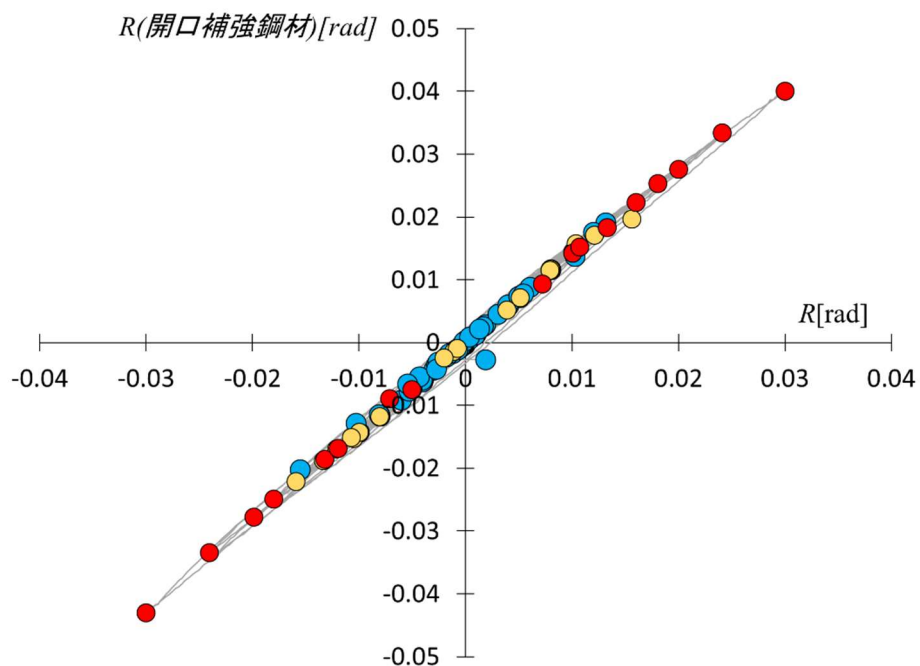


図 42 躯体と窓の開口補強鋼材の層間変形の関係を示す曲線に  
プロットした窓の開閉機能の確認結果

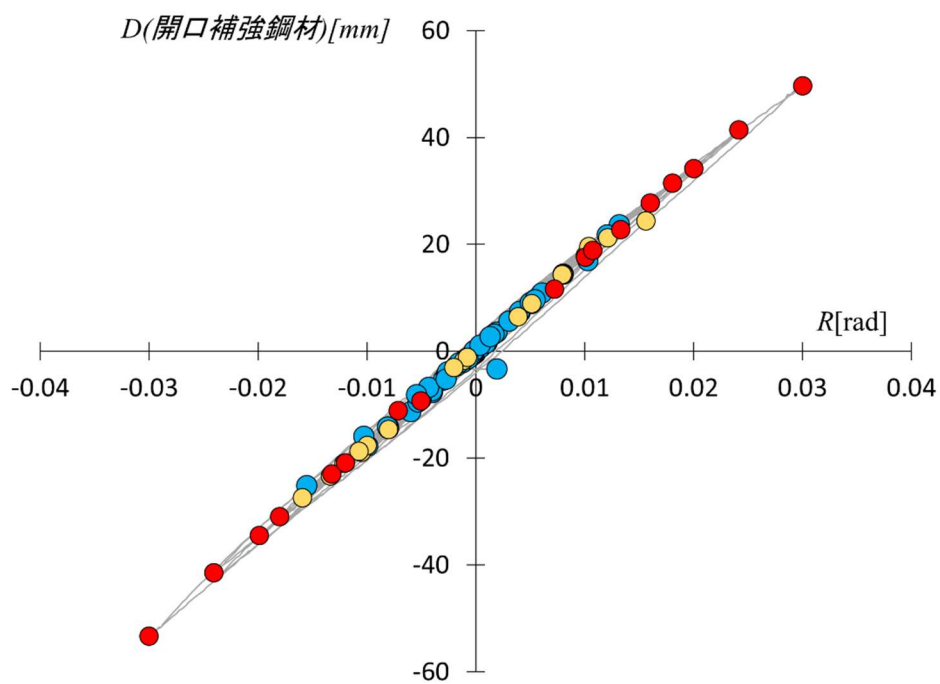


図 43 躯体の層間変形と窓の開口補強鋼材の層間変位の関係を示す曲線に  
プロットした窓の開閉機能の確認結果

付録 1-4 窓の開閉機能の結果（詳細版）

# 付録 1－5

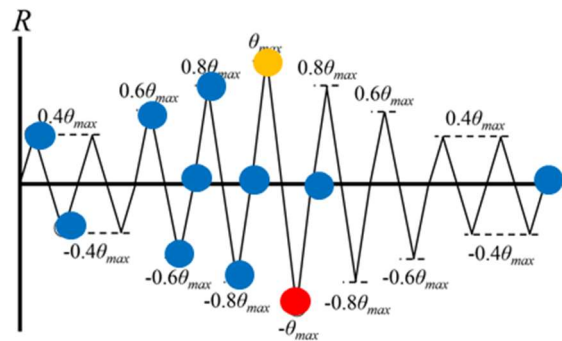
## 扉の開閉機能の確認結果（詳細版）

扉の開閉機能を把握するため、載荷の各セット当たり最大 17 回、人力により確認した。各確認時に、開閉機能について、「簡単に開けることができる」、「力を入れれば十分に開けることができる」、「力を入れても十分に開けることができない」の指標で評価した。

層間変形角ごとに、扉の開閉機能の確認結果について記す。

Θ max=1/200 における扉の開閉機能の確認結果

-0.8 θ max で、開閉時にドアの上部が枠に引っ掛かるようになり、逆に 1.0 θ max では扉の下部が枠に引っ掛かり、開閉がしにくくなったが、いずれも除荷時には正常に戻った。-1.0 θ max では開かなくなった（ただし力を入れれば開いたかも）。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

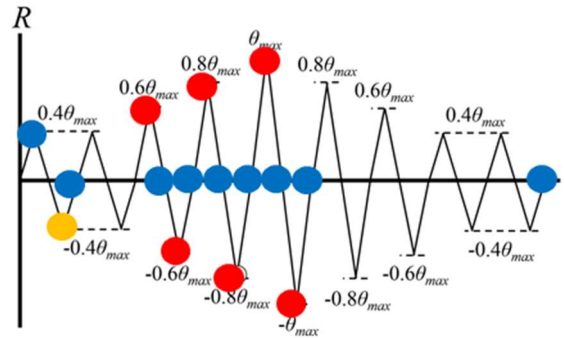
図 44 開閉機能の確認結果

表 39 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/200	40%	
	-40%	
	0	
	60%	
	-60%	
	0	
	80%	
	-80%	・開けるときに扉の上部が枠に引っ掛かるようになる ・同箇所が閉めるときにも引っ掛かる ・引っかった箇所で塗装の剥がれが見られる
	0	・鍵、ノブ、開閉に問題無し
	100%	・開けるときに枠に引っ掛かり開けるのに力が必要
	-100%	・枠に引っ掛かり扉が開けられない（本気では試していない？）
	0	
	0	
	0	

Θ max=1/100 における扉の開閉機能の確認結果

0.6 θ max でノブが回らなくなり、-0.6 θ max ではノブは回るが開くことはできなかった。  
以降の载荷時には開閉することができなかったが、いずれも除荷時には正常に戻った



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

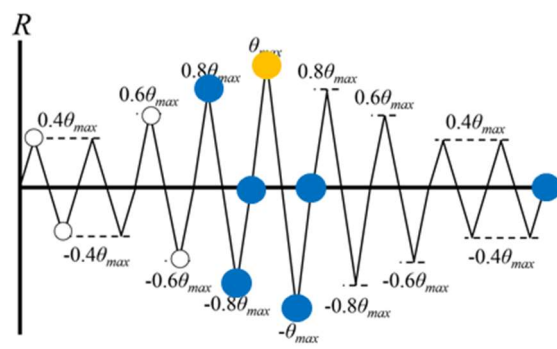
図 45 開閉機能の確認結果

表 40 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/100	40%	
	-40%	・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要
	0	
	60%	・ 鍵に問題無し ・ ノブを回せず扉が開けられない ⇒ 除荷時は開閉に問題なし
	-60%	・ 鍵、ノブに問題無し ・ 枠に引っ掛かり扉が開けられない
	0	
	80%	・ ノブを回すのに力が必要 ・ 枠に引っ掛かり扉が開けられない ⇒ 除荷時は鍵、ノブ、開閉に問題なし
	-80%	・ 鍵、ノブに問題無し ・ 枠に引っ掛かり扉が開けられない
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題なし
	100%	・ 鍵のツメが少し引っかかる ・ ノブに問題無し ・ 枠に引っ掛かり扉が開けられない ⇒ 除荷時は開閉に問題なし
	-100%	・ 鍵がより引っかかる、ノブも引っ掛かるようになる ・ 枠に引っ掛かり扉が開けられない
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し

Θ max=1/200（2 回目）における扉の開閉機能の確認結果

1.0 θ max でノブが回しづらくなっていたが、一度力を入れて回した後は、スムーズになった。それ以外で開けにくいことはなかった。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 46 開閉機能の確認結果

表 41 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/200 2回目	80%	・ 枠内側左上に黒い跡がみられる
	-80%	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し
	100%	・ ノブを回すのに力が必要 ⇒一度回してしまえばスムーズに回ようになる
	-100%	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し



Θ max=1/75 における扉の開閉機能の確認結果

0.4 θ max から力を入れないと開かなくなった。-0.6 θ max ではノブは回るも開かなかった。  
また、0.8 θ max では扉の底面の下部が枠に押し付けられ、蝶番が歪んでいることが確認できた。  
1.0 θ max では開閉に問題はなかったが鍵は閉まらなくなっていた。除荷時も蝶番は歪んだままであったが、機能的には正常に戻った。

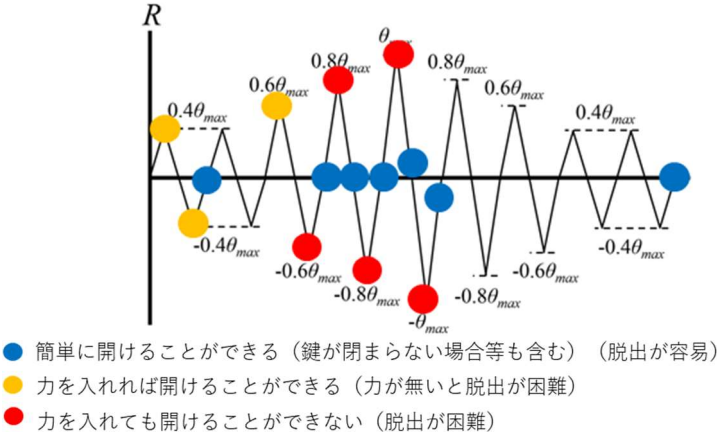


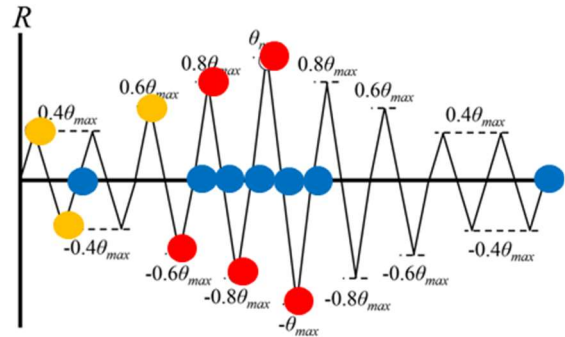
図 47 開閉機能の確認結果

表 42 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/75	40%	・枠に引っ掛かり開けるのに力が必要 ・枠内左下の保護シールが剥がれた
	-40%	・枠に引っ掛かり開けるのに力が必要 ・閉めるときにも力が必要
	0	・鍵、ノブ、開閉に問題無し
	60%	・鍵、ノブに問題無し ・枠に引っ掛かり開けるのに力が必要 ・力を入れれば開くが閉まらない
	-60%	・鍵、ノブに問題無し ・枠に引っ掛かり扉が開けられない
	0	・鍵、ノブ、開閉に問題無し
	80%	・鍵に問題無し ・ノブを回せず扉が開けられない ・底面左部が押し付けられ、ドアが上に突き上げられている、蝶番に隙間ができています ⇒除荷時は問題なし
	-80%	・鍵、ノブに問題なし ・枠に引っ掛かり扉が開けられない ・蝶番の歪みがはっきりわかる
	0	・鍵、ノブ、開閉に問題無し
	100%	・ノブに問題なし ・鍵は開くが閉まらなくなった ・開閉に問題なし ⇒除荷時は問題なし
	-100%	・鍵は開くが閉まらない ・ノブに問題なし ・枠に引っ掛かり扉が開けられない ・蝶番が歪んでいる
	0	・鍵、ノブ、開閉に問題無し ・蝶番が歪んだまま
	0	・鍵、ノブ、開閉に問題無し ・ドアの左辺上部と上辺右部のシールの切れが伸びている

θ max=1/100（2 回目）における扉の開閉機能の確認結果

-1.0 θ max でのみ開けることができなかった。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 48 開閉機能の確認結果

表 43 確認時の様子

θ max	加力度	確認時の様子
1/100 2回目	80%	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 鍵に問題なし</li><li>・ ノブを回すのに力が必要</li><li>・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要</li><li>・ 閉め切ることができない</li></ul> ⇒ 除荷時は問題なし
	-80%	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 鍵は問題なし</li><li>・ ノブを回すのに力が必要</li><li>・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要</li><li>・ 閉め切ることができない</li></ul> ⇒ 除荷時は問題なし
	100%	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 鍵に問題なし</li><li>・ ノブに問題なし</li><li>・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要</li><li>・ 扉を試しに持ち上げてみたら閉まりきった</li></ul> ⇒ 除荷時にはスムーズに開閉できる
	-100%	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 鍵に問題なし</li><li>・ ノブに問題なし</li><li>・ 枠に引っ掛かり扉が開けられない</li></ul>
	0	・ ドア左辺のシールの切れが伸びた？
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し

$\theta_{\max}=1/50$ における扉の開図 49 表 44 閉機能の確認結果

$0.6\theta_{\max}$  で初めて鍵が開かなくなることにより、扉の開閉ができなくなった。 $0.8\theta_{\max}$ 、 $-0.8\theta_{\max}$  では、鍵は開くようになったが、扉が枠に押し付けられていたため開閉できなかった。 $1.0\theta_{\max}$  では鍵は機能したが、ノブが回らないため開閉できなかった。 $-1.0\theta_{\max}$  では再び鍵が開かなかったため開閉できなかった。除荷時には全て正常に機能するようになった。

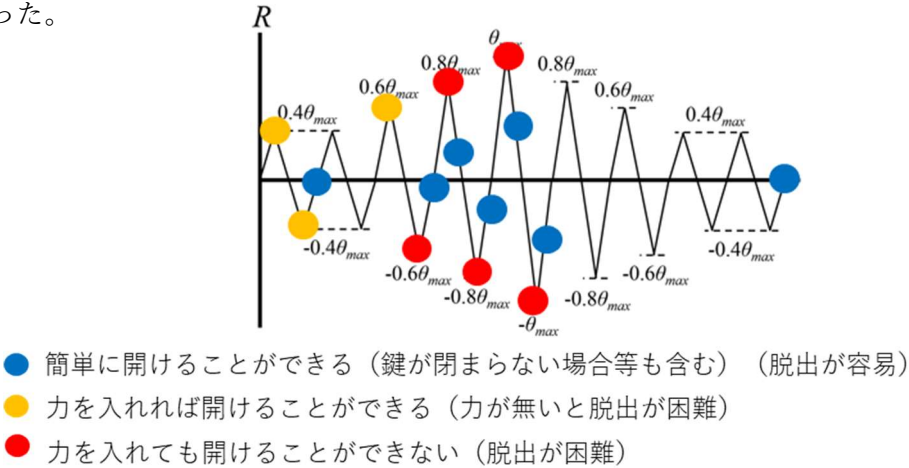


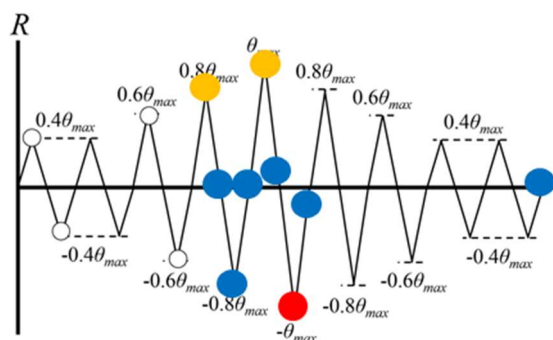
図 50 開閉機能の確認結果

表 45 確認時の様子

$\theta_{\max}$	加力度	確認時の様子
1/50	40%	・ 鍵に問題なし ・ ノブに問題なし ・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要 ・ 扉を持ち上げれば閉まりきる
	-40%	・ 鍵に問題なし ・ ノブに問題なし ・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要 ・ ドアを下に押し付けてみたが、力が足りなかったか閉まりきらなかった
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し
	60%	・ 鍵に問題なし ・ ノブは力をいれれば回る ・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要 ・ 押し上げれば閉まる
	-60%	・ 開錠できず扉が開けられない ・ ノブに問題無し
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し
	80%	・ 開錠できず扉が開けられない ⇒ 除荷時は、鍵、ノブ、開閉に問題無し
	-80%	・ 鍵は開くが閉まらない ・ ノブに問題無し ・ 枠に引っ掛かり扉が開けられない
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題なし
	100%	・ 鍵に問題無し ・ ノブを回せず扉が開けられない ⇒ 除荷時に鍵、ノブに問題無し、扉も開くことについては問題無し、扉を押し上げれば閉められる
	-100%	・ 開錠できず扉が開けられない
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し
	0	・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し

### $\theta_{\max}=1/75$ （2 回目）における扉の開閉機能の確認結果

1.0  $\theta_{\max}$  以降、実験終了までドアに蝶番を取付けているビスに緩みが確認できた。-1.0  $\theta_{\max}$  ではノブも鍵も機能したが、開くことはできなかった。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

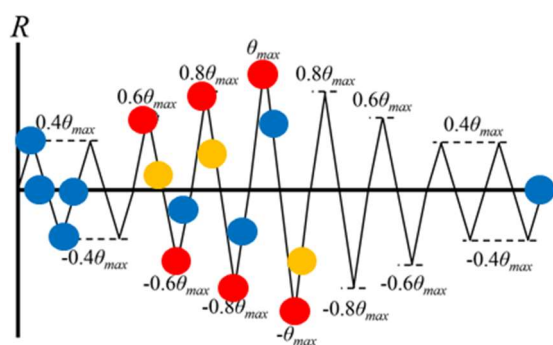
図 51 開閉機能の確認結果

表 46 確認時の様子

$\theta_{\max}$	加力度	確認時の様子
1/75 2回目	80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鍵に問題無し</li> <li>・ ノブに問題無し</li> <li>・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要</li> </ul> ⇒ 除荷時は鍵、ノブ、開閉に問題無し
	-80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドア側のビス 上：左上緩い 中：左上緩い</li> <li>・ 鍵に問題無し</li> <li>・ ノブに問題無し</li> <li>・ 開閉は80%加力時と比較して力が必要を必要としない</li> </ul> ⇒ 除荷時は鍵、ノブ、開閉に問題無し
	100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鍵に問題無し</li> <li>・ ノブに問題無し</li> <li>・ 枠に引っ掛かり開けるのに力が必要</li> <li>・ 閉め切ることはできない</li> </ul> ⇒ 除荷時は鍵、ノブ、開閉に問題無し <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドア側のビス 上：左上緩い 中：左下緩い（左上固い）</li> </ul>
	-100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鍵に問題無し</li> <li>・ ノブに問題無し</li> <li>・ 枠に引っ掛かり扉が開けられない</li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し</li> <li>・ ドア側のビス 上：左上緩い 中：左下緩い</li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鍵、ノブ、開閉に問題無し</li> <li>・ ドア側のビス 上：左上緩い 中：左下緩い</li> </ul>

### Θ max=1/33 における扉の開閉機能の確認結果

0.6  $\theta_{max}$  ではノブが回らないことで開閉ができなくなった。除荷時であっても、扉が枠に押し付けられることにより、開けづらくなっていた。 $-0.6 \theta_{max}$  ではノブは回ったが、扉が枠に押し付けられていたため開閉できなかった。0.8  $\theta_{max}$  ではノブも鍵も機能せず、開閉できなかった。除荷時には機能し、扉を開けることができたものの、一度閉めたところ、鍵もノブもツメを引っ込めたまま、再び動かなくなった。このまま载荷を行ったが、载荷時には扉が枠に押し付けられ開閉できなかった。また、終局時にノブは機能するように戻ったものの、鍵は戻らなかった。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 52 開閉機能の確認結果

表 47 確認時の様子

$\theta$ max	加力度	確認時の様子
1/33	40%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鍵に問題無し</li> <li>・ノブを回すのに少し力が必要</li> <li>・開閉に問題無し</li> <li>・ドア側のビス 上：左上緩い 中：左上のみ緩い</li> <li>⇒除荷時 鍵、ノブ、開閉に問題無し 上：左上緩い 中：左上と左下両方緩い</li> </ul>
	-40%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鍵、ノブ、開閉に問題無し</li> <li>・ドア側のビス 上：左上緩い 中：左上のみかなり緩い</li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鍵、ノブ、開閉に問題無し</li> <li>・ドア側のビス 上：左上緩い 中：左上と左下両方緩い</li> </ul>
	60%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鍵に問題なし</li> <li>・<b>ノブを回せず扉が開けられない</b></li> <li>⇒除荷時には鍵、ノブに問題無いが、<b>枠に引っ掛かり開けるのに力が必要、閉めるのに工夫が必要</b>（残留変形1/200程度）</li> <li>・ドア側のビス 上：左上緩い 中：左上緩い（除荷時も）</li> </ul>
	-60%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鍵は開くが、<b>閉められない</b></li> <li>・<b>ノブを回すのに力が必要</b></li> <li>・<b>枠に引っ掛かり扉が開けられない</b></li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鍵、ノブ、開閉に問題無し</li> <li>・ドア側ビス 上：左上緩い 中：左上と左下両方緩い（左上のほうが比較的緩い）</li> </ul>
	80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鍵の金具が歪んだ</li> <li>・<b>開錠できず扉が開けられない</b></li> <li>⇒除荷時には鍵、ノブに問題無いが、<b>枠に引っ掛かり開けるのに力が必要</b></li> <li>・ドア側ビス 上：左上緩い 中：左上と左下両方緩い（左上のほうが比較的緩い）</li> <li>⇒除荷時にドアは閉まるものの、<b>鍵閉められない、ノブ回らない</b></li> </ul>
	-80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドア枠外から見て左上コーナーに、水平に割れ、反対側まで達している</li> <li>・下半分が手前にせり出ている（鍵はかかっている状態）</li> <li>・<b>枠に引っ掛かり扉が開けられない</b></li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドアのセリ足は収まった</li> <li>・<b>鍵もノブも閉まらない（元々開いていた）</b></li> <li>・開閉に問題はない</li> <li>・ドア側ビス 上：左上緩い 中：左上緩い</li> </ul>
	100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>枠に引っ掛かり扉が開けられない</b></li> <li>⇒除荷時に<b>鍵もノブも回らない</b>、扉は押せば開く</li> <li>・ドア側ビス 上：左上緩い 中：左上緩い</li> </ul>
	-100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>枠に引っ掛かり扉が開けられない</b></li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>枠に引っ掛かり開けるのに力が必要</b></li> <li>・<b>閉め切ることができない</b></li> <li>・ドア側ビス 上：左上緩い 中：左上緩い</li> </ul>
	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ノブのツメが出るようになった</li> <li>・抵抗なく開閉可能</li> <li>・ドア側のビス 上：左上緩い 中：左上緩い</li> </ul>

グラフ集

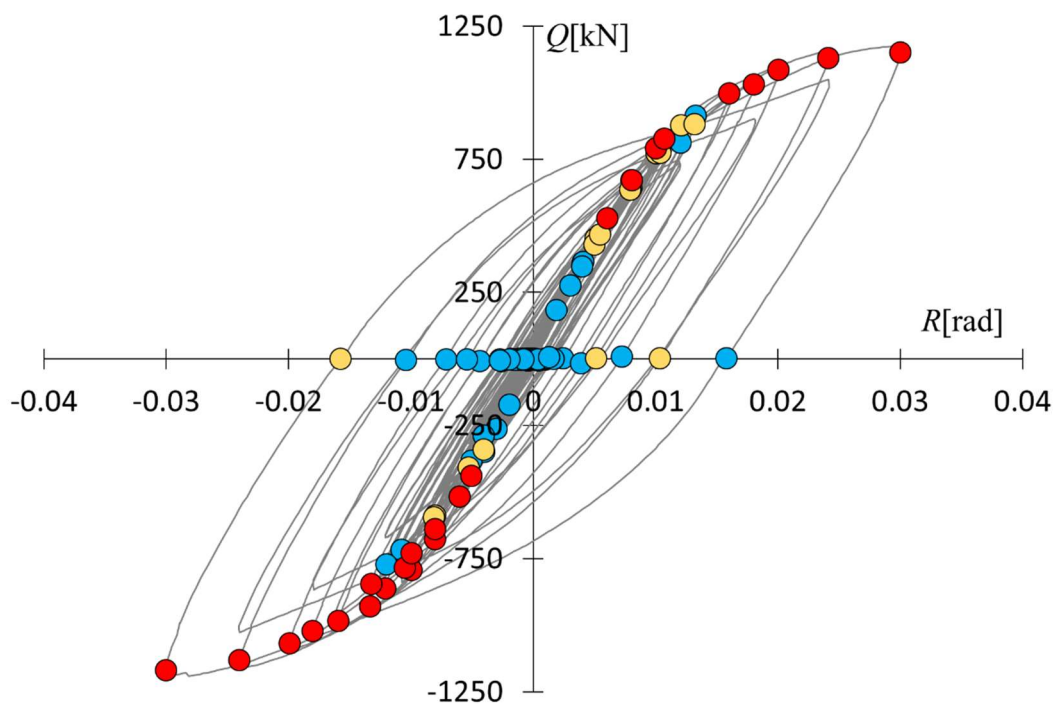


図 53 躯体の荷重変形曲線にプロットした扉の開閉機能の確認結果

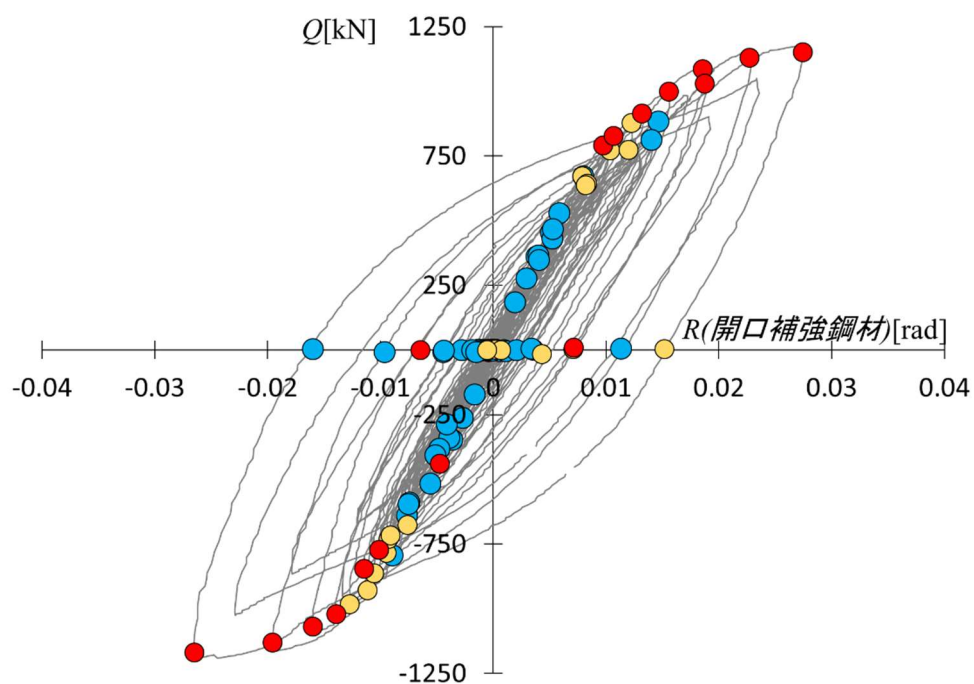


図 54 開口補強鋼材の荷重変形曲線にプロットした扉の開閉機能の確認結果

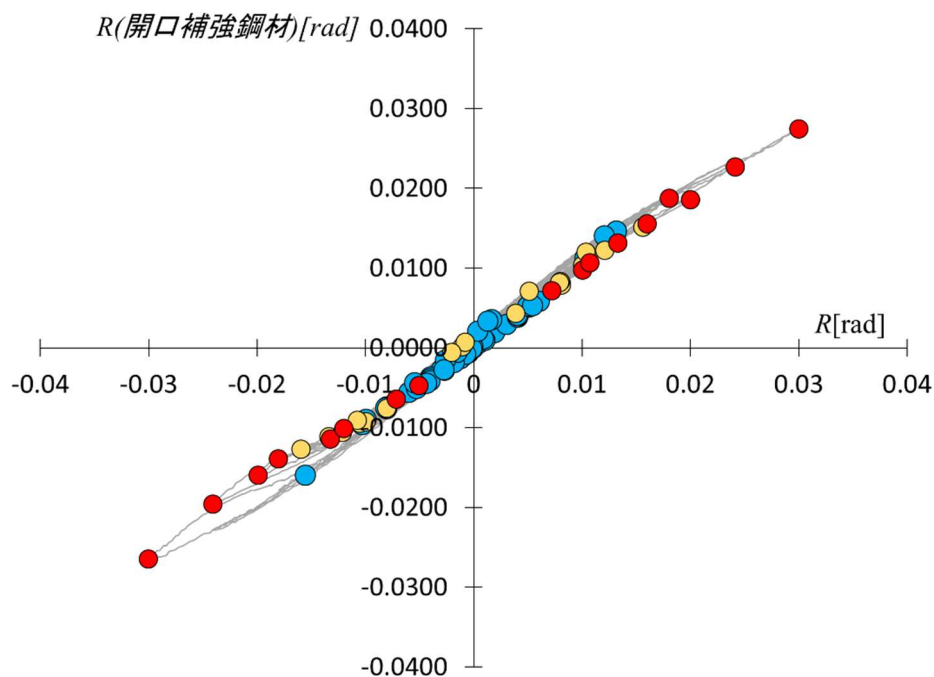


図 55 躯体と扉の開口補強鋼材の層間変形の関係を示す曲線に  
プロットした扉の開閉機能の確認結果

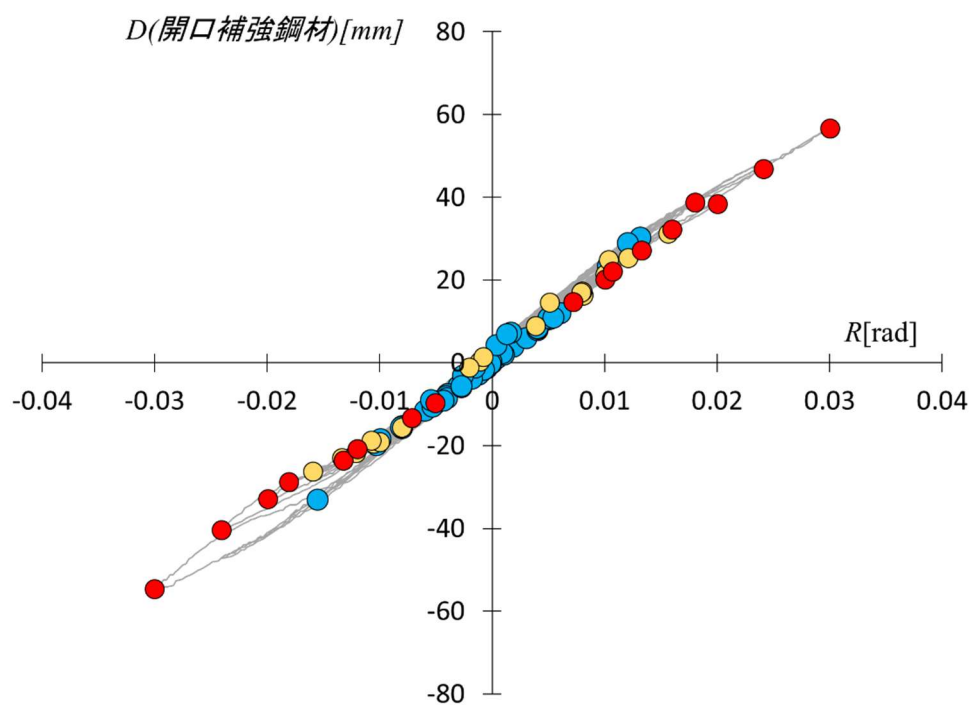


図 56 躯体の層間変形と扉の開口補強鋼材の層間変位の関係を示す曲線に  
プロットした扉の開閉機能の確認結果



# 付録 1－6

## ALC 外壁の実大載荷実験の結果の分析

1-6-1 では、生じた損傷の原因と、損傷を生じさせないための対策の方法について考察した結果を説明する。

1-6-2 では、既往研究で報告されている損傷と比較し、本実験の結果の妥当性ならびに新規性について述べる。

### 1-6-1 実験で観察された損傷の原因の考察

#### ガラスのヒビ

構造躯体の層間変形が 1/50、-100%の時に、室内側から見て、左側の窓ガラスの、左下にヒビが生じた。その後、変形角が 1/33 の-60%の時に、室内側からみて窓ガラスの左上側に新たなひび割れが生じた。

観察結果および計測した値から、窓サッシは載荷時に平行四辺形状に変形することがわっている。しかし、ガラスの面内方向への追従性は低い。そのため、ガラス及びガラス周りのサッシは変形に追従しない。結果として、ガラスには窓枠からの応力が生じる（図 57）。この応力によりガラスにひび割れが生じたと考えられる。

ただし 1/33 のときに生じたひび割れは応力がかかる場所の損傷ではない。この箇所にひび割れが生じた理由として、施工時にガラス端部に既に微小なひび割れが入っていたことなどが考えられる。ただし、明確な理由は不明である。

対策の方法として、開口補強鋼材や窓枠の剛性を高めること、または障子と窓枠との間のクリアランスをより設けることなどが挙げられる。

表 48 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
ガラスのヒビ	開口面 室内側	1/50 -100%	#023
	開口面 室内側	1/33 -60%	#043

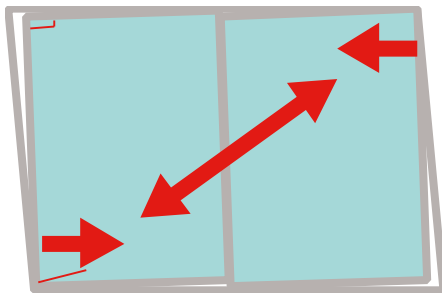


図 57 負載荷時に窓にかかると考えられる応力と生じたヒビのイメージ図

## 窓と扉の開閉機能の低下

本実験では載荷時も含め、窓と扉の開閉機能の検証を行った。

また、各観察時に、窓の開閉機能を「簡単に開けることができる（脱出が容易）」、「力を入れれば充分に開けることができる（力がないと脱出が困難）」、「力を入れても開けることができない（脱出が困難）」の3段階で評価した。その結果、1/200 を超える変形時には開閉機能が低下することがあることが分かった。

窓の開閉機能を低下させる要因の大本は、開口補強鋼材の変形を受けて、窓枠が変形したことであったと考えられる。枠が変形したことにより、窓の面外への脱落防止用のスペーサーに開閉時に引っ掛かる、クレセント錠が開かない、といったことが生じた。

扉の開閉機能を低下させる要因の大本は、窓と同じく、開口補強鋼材の変形を受けて、扉枠が変形したことであったと考えられる。扉枠が変形したことにより、扉との摩擦力が大きくなり開かなくなったことが、開かなくなる原因としては最も多かった。その他にも、ツメに生じる摩擦力が大きくなった結果、ノブが回らなくなる、サムターン鍵を開けられなくなる、といったことも生じた。

対策の方法として、窓は障子と枠のクリアランスをより設けることや、スペーサーの工夫（設置位置を端に寄せるなど）が挙げられる。扉は、枠と扉のクリアランスをより設けることや、鍵のツメの穴やノブのツメの穴を大きくすることなどが挙げられる（JIS に規定される面内変形追従性の高い扉は上記の対策を採用している）。

表 49 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
窓の開閉機能の低下	開口面 室内側		#056,
扉の開閉機能の低下	開口面 室内側		#057



図 58 スペーサー（左上の黒）に引っ掛かる窓のイメージ図

開口補強鋼材の溶接の切れ

窓の開口補強鋼材の縦材と横材の溶接部分のうち、2 ヵ所が構造躯体の層間変形が 1/50 の 100%のとき、残り 2 か所が-100%のときに破断していることが確認された。

開口補強鋼材（縦）は、両端を鉄骨梁に溶接されているため、構造躯体の層間変形に追従し、載荷時には斜めになる（図 59）。それに応じて開口補強鋼材（横）も水平方向に移動する。しかし、縦材と横材は垂直になるように溶接されているため、実際には接合部分のみ直角を保ったまま、上記のような変形をしようとする。そのため、縦材、横材ともに S 字に若干たわむことが層間変形 1/75 の時に確認されている。モルタルにひび割れが生じたことで開口補強鋼材がたわみやすくなったことも考えられる。

対策方法として、溶接の量を増やす、2 方向の溶接をする、等が挙げられる。

表 50 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
開口補強鋼材の溶接の切れ	開口面 室内側	1/50	#025
	開口面 室内側	1/33 100%	#045

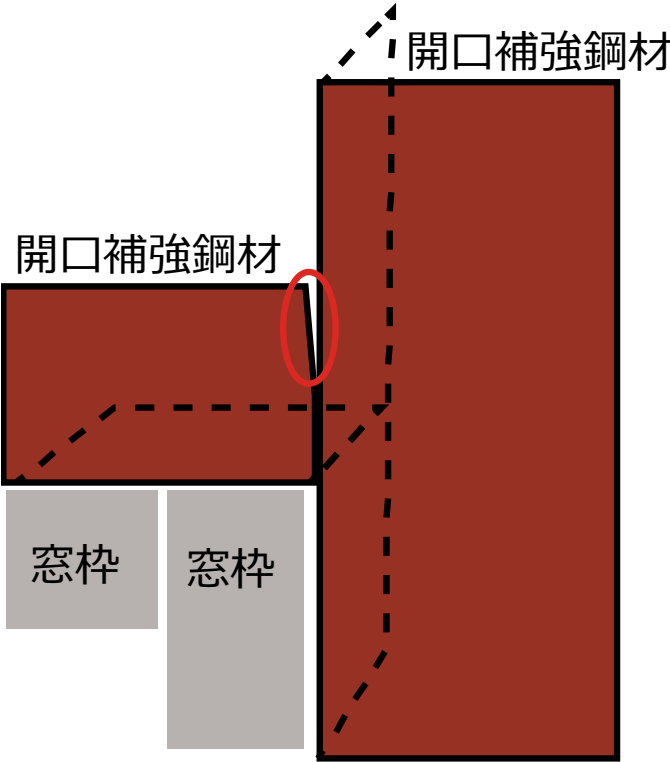


図 59 開口補強鋼材同士の溶接の切れのイメージ図（赤丸部分が切れた箇所）

## 定規アングルの振れ止めの溶接の切れ

層間変形角が 1/50 の時に、定規アングルとその振れ止めの溶接が切れていることが確認された。

定規アングルが鉄骨梁に溶接されているのに対し、振れ止めは柱に溶接されているため、構造躯体に層間変形を与えると、接合部に力がかかってしまう。そして、ある一定の層間変形を超える、もしくは疲労が重なると、接合部の溶接が破断するのだと考えられる（図 1）。

対策方法として、溶接の量を増やす、2 方向の溶接をする、等が挙げられる。

表 51 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
定規アングルの振れ止めの溶接の切れ	両面 室外側	1/50 -100%	#017~#020
	開口面 室外側	1/33	#041

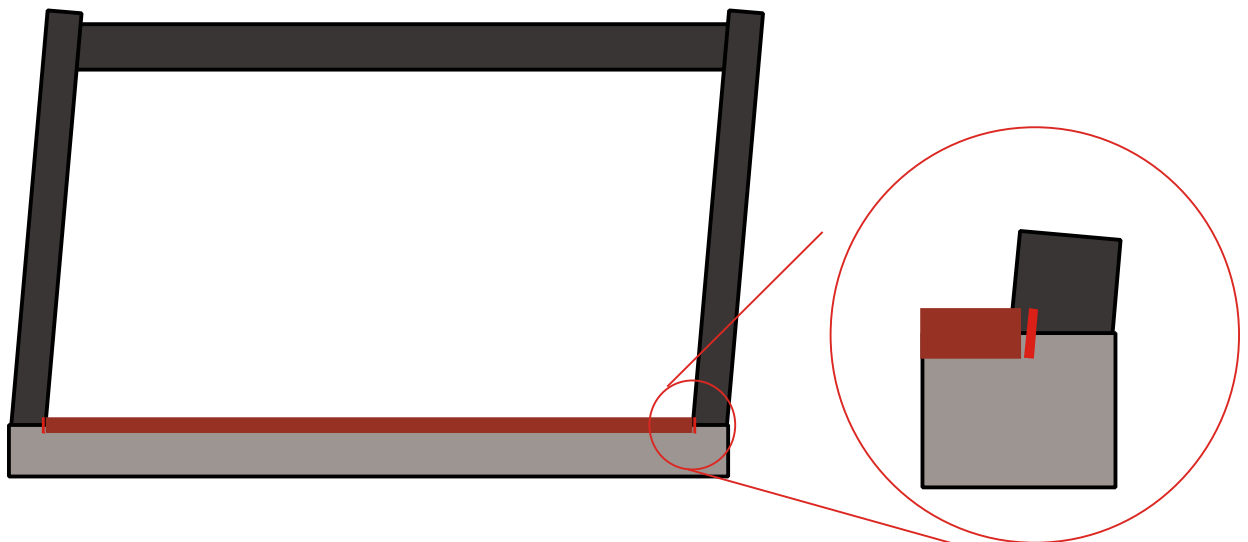


図 60 定規アングルの振れ止めの溶接の切れのイメージ図

パネルの室内側のヒビ

パネルの室内側のヒビは、原因別に大きく分けて 3 つに分けられると考えられる。それぞれについて以下で説明する。

原因① ロッキングの程度の差異により生じた隣のパネルとの間の応力

パネルの角部が欠けていることが窓開口部および扉開口部の上部のパネルで層間変形角が 1/75 の時に確認された。

並ぶパネルのロッキングの程度が異なる場合、それはパネルの端部において、片方がもう片方に押し付けられているという状況にあることが考えられる。この時に生じる応力によって角部が欠けたということが考えられる。

ロッキングの量に差が生じる理由として、2 枚のパネルの寸法や開口補強鋼材に接しているか否かの違いが考えられる。2 枚のパネルは幅が倍程度異なる。同じ層間変形角を与えたときに、ロッキングにより左右に飛び出す長さは、パネルの幅に応じて長くなる。また開口補強鋼材に接している場合、一定量以上の層間変形角は拘束されることが考えられる。

対策方法として、開口補強鋼材にパネルを直接設置させず、小型のブロック等を挟むことが挙げられる。これにより、ブロックが一般部のウケプレートのように働き、開口補強鋼材にロッキングを阻害されることが無くなると考えられる（ALC 外壁に取り付けられる開口部の一部には、同方法が採用されている）（パネルの寸法を統一することは現実的ではないと考えられる）。

表 52 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/75 -100%	#006, #007

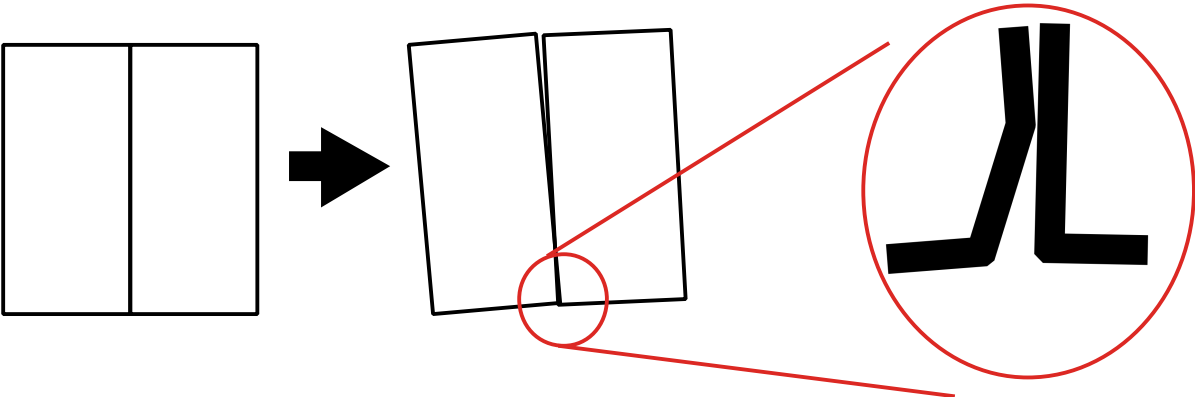


図 61 ロッキングの程度の差異により角部が書けたパネルのイメージ図

## 原因② ロッキングにより開口補強鋼材との衝突により生じた応力

パネルの角部が欠けていることが窓開口部および扉開口部の周辺のパネルで観察された。

これは、パネルがロッキングした際に開口補強鋼材と衝突し、押し付けられた結果、応力がパネルの耐力を上回った結果生じたひび割れだと考えられる。

この対策方法として、パネルと開口補強鋼材の間のクリアランスをより取ることが挙げられる。

表 53 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/50 100%	#016
	開口面 室内側	1/33 -80%	#034
	開口面 室内側	1/33 100%	#035
	開口面 室内側	1/33 -100%	#038

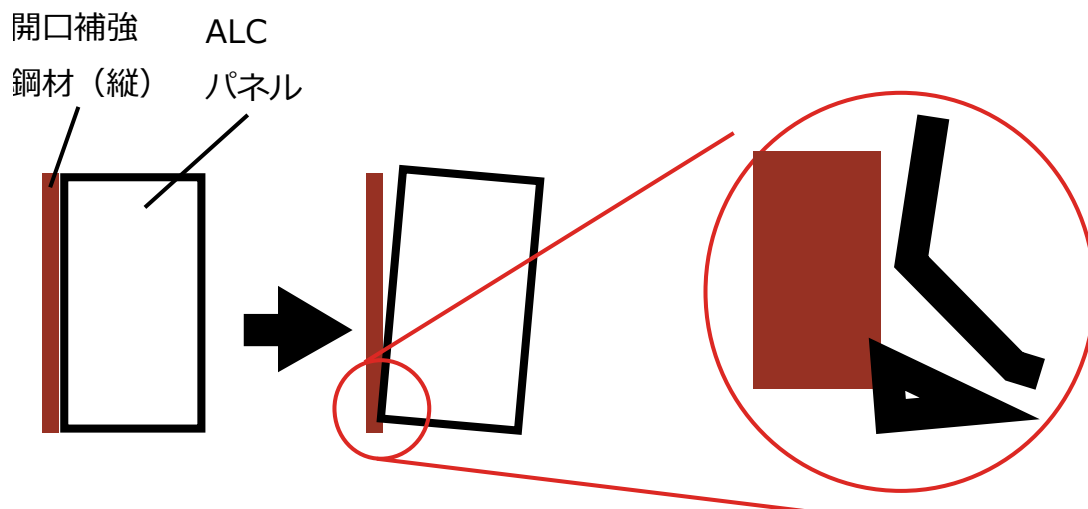


図 62 ロッキングにより開口補強鋼材との衝突により角部が書けたパネルのイメージ

原因③ ロッキングが阻害されたことによるボルトからの応力

窓開口の上下にあるパネルにおいて、ロッキング用ボルトが取り付けられた箇所からヒビが生じていることが確認された。

損傷を生じさせた原因として、開口補強鋼材（横）がパネルの回転を阻害し、結果としてボルト部分に力が集中したことが考えられる。窓の上部のパネル正載荷の方向に一定量以上のロッキングをすると、開口補強鋼材（横）に角部が衝突する。その結果、開口補強鋼材もしくはパネル角が圧壊しない場合、この原理で衝突した部分を支点として、パネルは持ち上がるような力を受ける（図 63）。実際に上に持ち上がることはボルトが阻害するが、同時にボルト部分には力がかかってしまう。その結果としてヒビが生じたと考えられる。

対策方法として、開口補強鋼材にパネルを直接設置させず、小型のブロック等を挟むことが挙げられる。これにより、ブロックが一般部のウケプレートのように働き、開口補強鋼材にロッキングを阻害されることが無くなると考えられる（ALC 外壁に取り付けられる開口部の一部には、同方法が採用されている）。

表 54 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネルの室内側のヒビ	開口面 室内側	1/50 80%	#011
	開口面 室内側	1/50 -100%	#024
	開口面 室内側	1/33 100%	#036

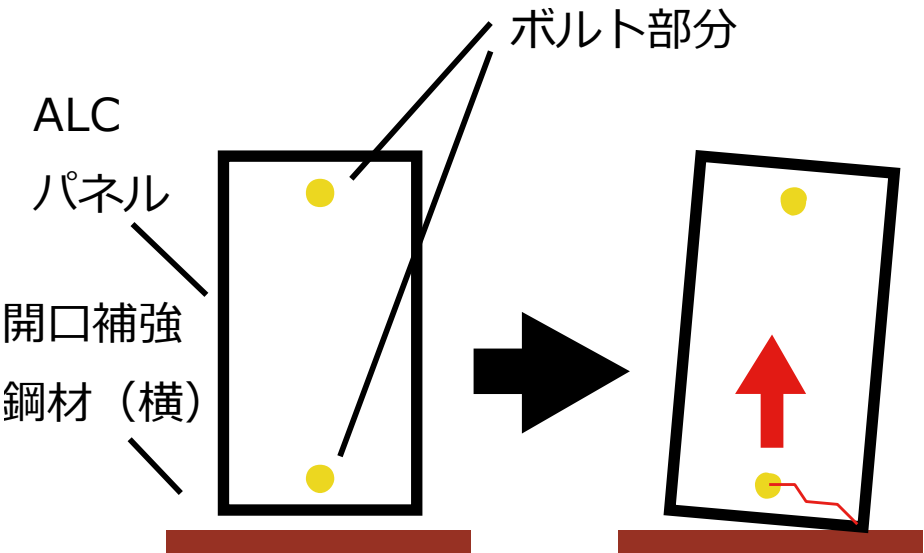


図 63 ボルト部分から生じるひび割れのイメージ図（赤矢印は応力を表す）

## パネルの室外側のヒビ

パネルの室外側のヒビは、原因別に大きく分けて 3 つに分けられると考えられる。それぞれについて以下で説明する。

### 原因① ロッキングの程度の差異により生じた隣のパネルとの間の応力

並ぶパネルのロッキングの程度が異なる場合、それはパネルの端部において、片方がもう片方に押し付けられているという状況にあることが考えられる。この時に生じる応力によって角部が欠けたということが考えられる。

ロッキングの量に差が生じる理由として、2 枚のパネルの寸法や開口補強鋼材に接しているか否かの違いが考えられる。2 枚のパネルは幅が倍程度異なる。同じ層間変形角を与えたときに、ロッキングにより左右に飛び出す長さは、パネルの幅に応じて長くなる。また開口補強鋼材に接している場合、一定量以上の層間変形角は拘束されることが考えられる。

対策方法として、原因②と同じことが挙げられる（パネルの寸法を統一することは現実的ではないと考えられる）。

表 55 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/50 80%	#012
	開口面 室外側	1/33 80%	#029, #030
	開口面 室外側	1/33 -100%	#037

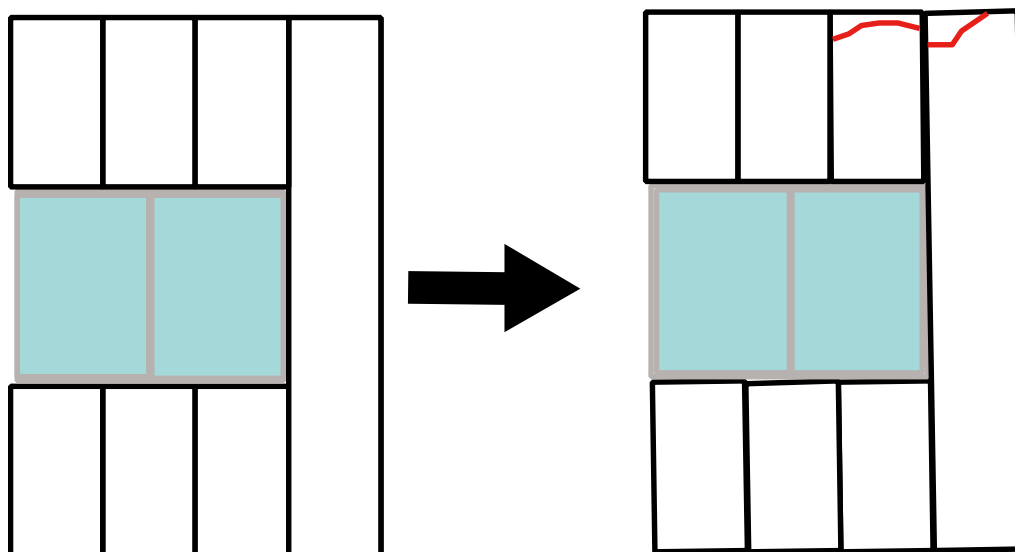


図 64 ロッキングの程度の差異により生じたヒビのイメージ図



原因② ロッキングにより開口補強鋼材との衝突により生じた応力

パネルの角部にひび割れが生じていることが窓開口部および扉開口部の周辺のパネルで観察された。

これは、パネルがロッキングした際に開口補強鋼材と衝突し、押し付けられた結果、応力がパネルの耐力を上回った結果生じたひび割れだと考えられる。

この対策方法として、パネルと開口補強鋼材の間にクリアランスをより取ることが挙げられる。

表 56 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/50 100%	#015
	開口面 室外側	1/33 80%	#032
	開口面 室外側	1/33 -80%	#033
	開口面 室外側	1/33 -100%	#039

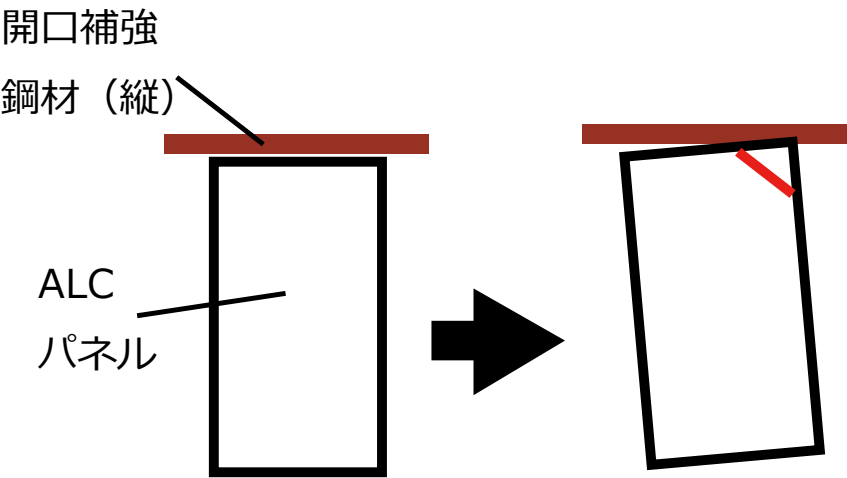


図 65 開口補強鋼材との衝突により生じた応力

## 原因③ ロッキングが阻害されたことによるボルトからの応力

窓開口の上下にあるパネルにおいて、ロッキング用ボルトが取り付けられた箇所からヒビが生じていることが確認された。

損傷を生じさせた原因として、開口補強鋼材（横）がパネルの回転を阻害し、結果としてボルト部分に力が集中したことが考えられる。窓の上部のパネル正載荷の方向に一定量以上のロッキングをすると、開口補強鋼材（横）に角部が衝突する。その結果、開口補強鋼材もしくはパネル角が圧壊しない場合、この原理で衝突した部分を支点として、パネルは持ち上がるような力を受ける（図 66）。実際に上に持ち上がることはボルトが阻害するが、同時にボルト部分には力がかかってしまう。その結果としてヒビが生じたと考えられる。

対策方法としては、室内側の同損傷の対策方法と同様のことが挙げられる。

表 57 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/50 80%	#012
	開口面 室外側	1/33 80%	#031
	開口面 室外側	1/33 80%	#032

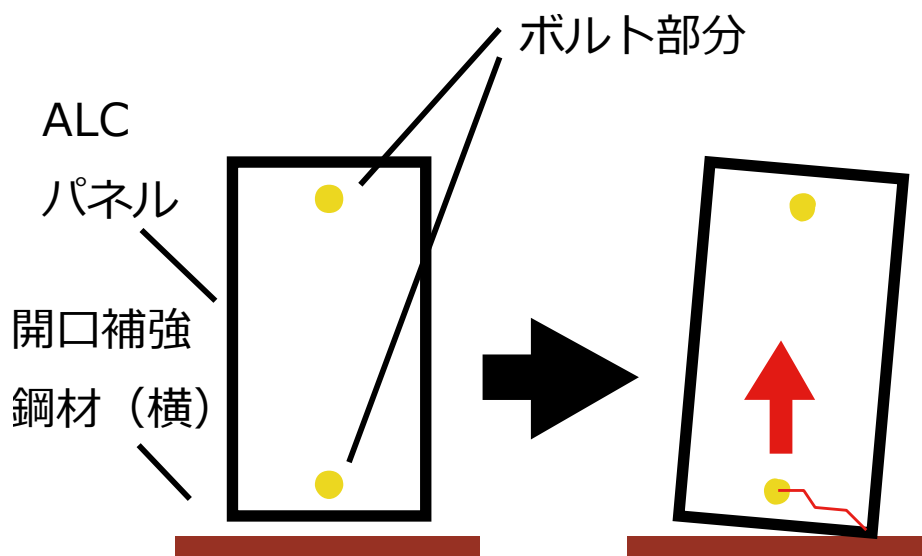


図 66 ボルト部分から生じるひび割れのイメージ図（赤矢印は応力を表す）

原因が不明なひび割れ

窓と扉の間に位置するパネルの中央部分において、層間変形角が 1/33 の-100%時にひび割れが入っていることが確認された。非常に幅の小さいひび割れであり、生じた正確な層間変形角は不明である。ひび割れの箇所から推測するに、正方向に載荷しているときに生じたひび割れである。

損傷が生じた理由としては、図 67 のようにせん断力がかかったことが考えられる。つまりひび割れが生じたパネルの隣のパネルが相対的にロッキングの程度が大きく、パネル上部に左方向の応力が生じた（図 67 の上の赤矢印）。さらに隣に位置する開口補強材がいびつな曲がり方をしたため、そこに右方向の応力が生じた（図 67 の下の赤矢印）。その結果、図 1 の赤丸部分にひび割れが生じたのではないかと考えることができる。

ただし、該当するパネルのロッキングの程度、目地ズレは計測していない。更に開口補強の曲がり方の歪み方は図では強調している。そのため、損傷が生じた正確な原因については現段階では不明であり、今後、考察の必要がある。

表 58 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネルの室外側のヒビ	開口面 室外側	1/33 -100%	#040

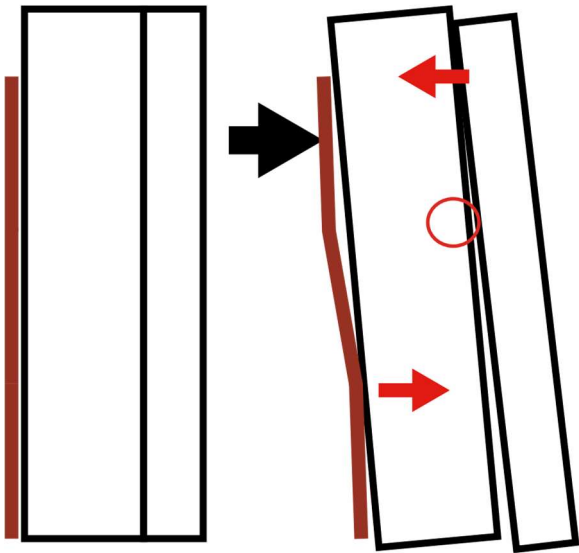


図 67 ひび（赤丸部分）が生じた原因の考察  
赤矢印はパネルが両側の部材から受ける応力を示す

### パネル目地のシールの切れ

実験を通して、開口部がある側の壁では、シーリング材の切れが各所で確認された。パネル表面に生じたひび割れも含め、その位置を図 1 に示す。パネル間、またはパネルと開口部間にある線はシーリング材に切れを示し、パネル表面にある線はひび割れを示す。赤線は正載荷時に生じ、進行していった損傷を示し、青線は負載荷時に生じ、進行していった損傷を示す。両方で進行が確認された損傷は赤と青の点線で示す。なお、生じた層間変形角が不明な損傷は図に載せていない。

無開口側にシーリング材の切れがないことと、目地ズレの計測結果とから、目地ズレの程度はシーリング材の切れに  $1/33$  程度の層間変形では寄与しないということが考察される。シーリング材の切れはいずれも開口部周辺で生じていることから、開口補強鋼材の存在が損傷の原因でないかと考えられる。つまり、開口補強鋼材によってパネルのロッキングの程度が異なり、その結果シーリング材の切れが生じたのだと考えられる。

対策方法として、シーリング材の厚みを増すことなどが考えられる。

表 59 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネル目地のシールの切れ	開口面 室外側	1/50	#049
	開口面 室外側	1/33	#050~#055

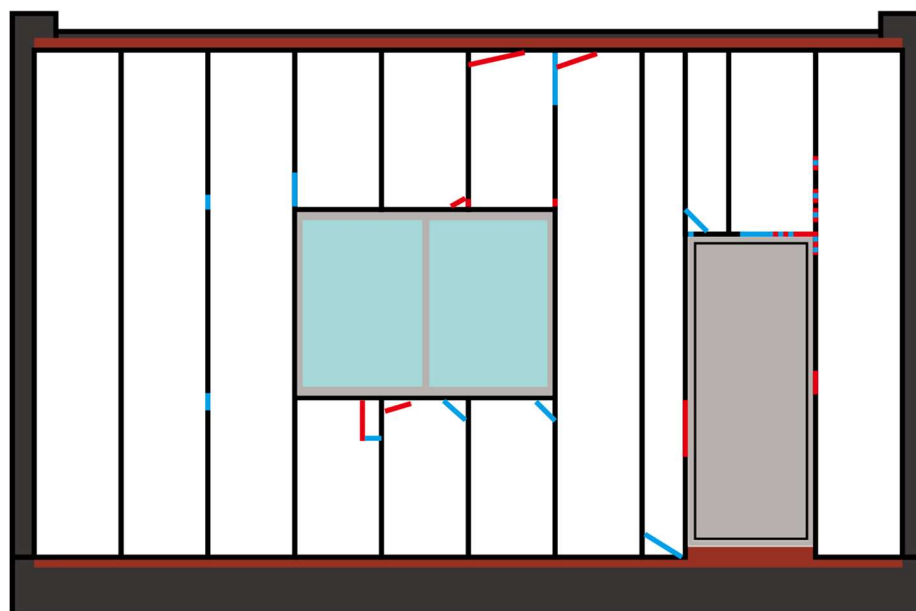


図 68 開口部側に生じたシーリング材の切れとパネル表面のひび割れ

赤：正載荷時に生じた/進行したもの

青：負載荷時に生じた/進行したもの

ガラスのシールの切れ

層間変形角が負方向に 1/33 の時に、室内側からみて右側にある窓の下部のシールが一部切れていることが確認された。

層間変形に追従して、アルミサッシは平行四辺形上に変形するが、ガラスは変形しにくい。この様子を強調すると 4-75 のようになる。ガラスとアルミサッシの剥離が生じる箇所があることがわかる。しかし、端部で最も差がでるにも関わらず、実際には少し内側に生じた(図 70 の赤丸部分)。

ガラスのセッティングブロックの上はシーリング材が薄くなる可能性があることが分かっている。今回、端部より少し内側にシールの切れが生じたのはこのことが原因と考えることができる。

もし、原因がセッティングブロックで合った場合、対策方法として、セッティングブロックの厚みを下げ、シーリング材の厚みを上げることが挙げられる。

表 60 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
ガラスのシールの切れ	開口面 室内側	1/33 100%	#044

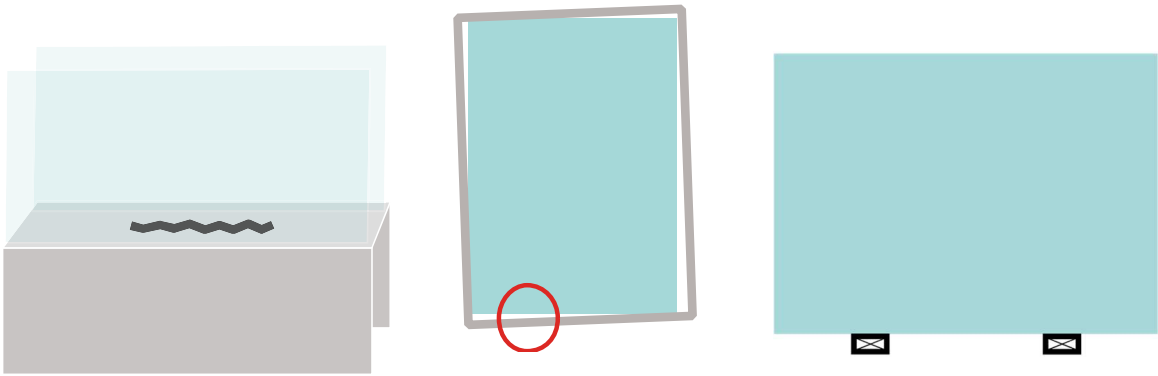


図 69 (左) ガラスのシールの切れのイメージ図

図 70 (中央) ガラスと窓サッシの挙動の差のイメージ図

図 71 (右) ガラスのセッティングブロックの位置

## 窓枠の破断

層間変形角が負方向に 1/33 の時に、窓枠において、室内側から見て右上の角部、そして左上の角部に部材の変形が確認された。

窓枠は、構造躯体の層間変形を受けて開口補強鋼材が変形することにより、平行四辺形状に変形する。その結果、窓枠の縦材と横材の接合部に力が生じる。負方向の載荷時には右上と左下の角部の接合部に引張力、左上と右下の角部の接合部には圧縮力がかかる。特に右上と左上の損傷は顕著であった。除荷時に確認したところ、残りの角部でも、比較的小さいが、同様の損傷が確認できた。

対策方法として、接合部の強度を高める、もしくは面内変形追従性を高めることが挙げられる。

表 61 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
窓枠の破断	開口面 室内側	1/33	#046

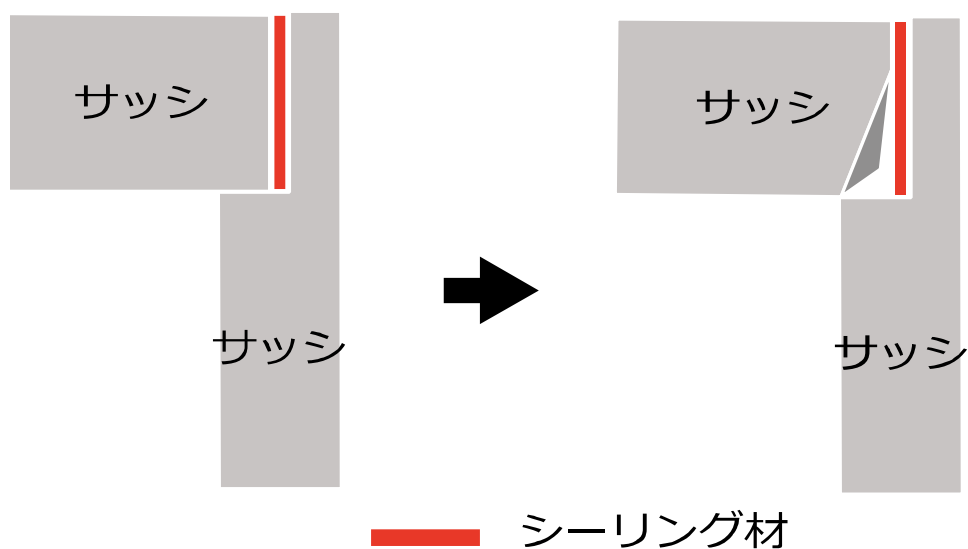


図 72 サッシの損傷状況のイメージ図

扉枠の破断

層間変形角が 1/33 の-100%の時、扉の枠の外側から見て左上部分が鉛直方向に破断していることが確認された。

これは、正載荷時に、開口補強部が変形し、それに伴い扉枠も変形するが、これらより比較的変形のしにくい扉が右下の扉枠と接触している部分を軸に、時計回りに回転するような動きを見せた結果、枠と扉が衝突し、応力が生じた結果だと考えられる（図 73）。

対策方法として、接合部の強度を高める、もしくは面内変形追従性を高めることが挙げられる。

表 62 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
扉枠の破断	開口面 室内側	1/33 -100%	#042

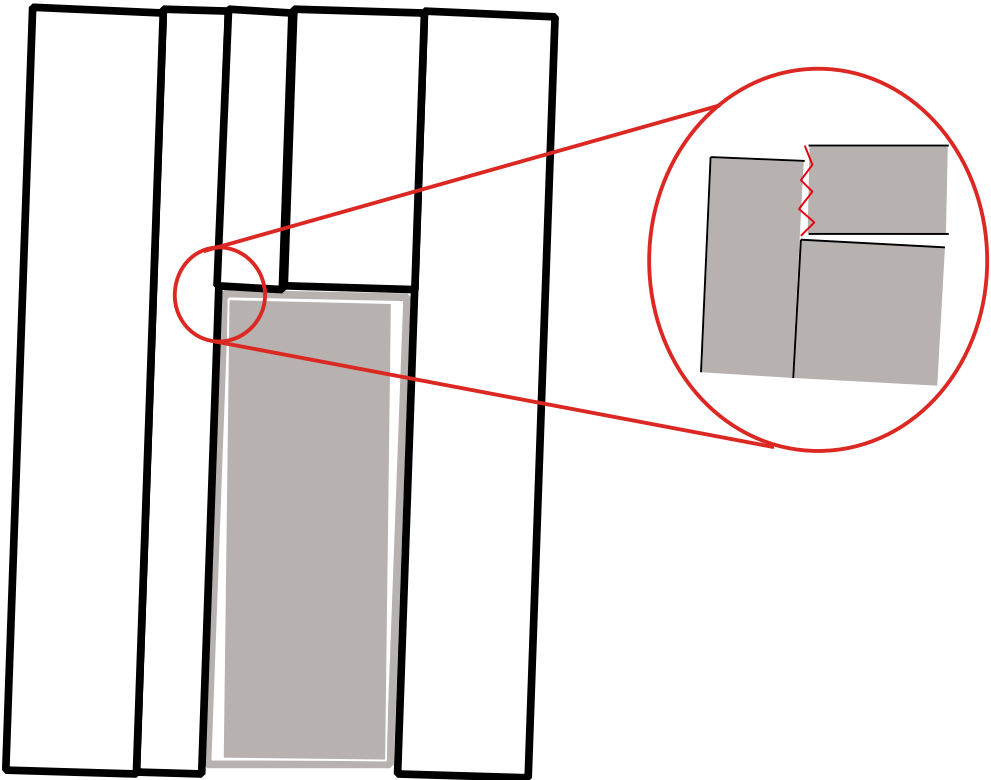


図 73 扉枠の破断のイメージ図

## モルタルのヒビ

層間変形角が  $1/200$  のときに、開口補強鋼材と開口部の隙間に打設されたモルタルのひび割れが確認された。以降、層間変形角が大きくなるにつれて、ひび割れは長さ、数が進行していった。

考えうる原因としては、ひび割れが生じた理由として、開口補強鋼材の変形にモルタルが追従できなかったことが考えられる。層間変形角  $1/50$  付近では、開口補強鋼材の接合部における溶接の切れが確認されたが、それまでは構造躯体の層間変形に追従するように動いていたと考えられる。つまり、載荷時には、図 4 のように開口補強材は平行四辺形になるように変形する。この開口補強鋼材の変形への追従性がモルタルは低かったため、 $1/200$  という層間変形角でひび割れが生じたのだと考えられる。

対策方法として、開口補強鋼材の剛性を高めることが挙げられる。しかし、パネルに悪影響を及ぼさないためには、パネルと開口補強鋼材の間のクリアランスが十分とれていることが必要である。

表 63 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
モルタルのヒビ	開口面 室内側	$1/200$	#000

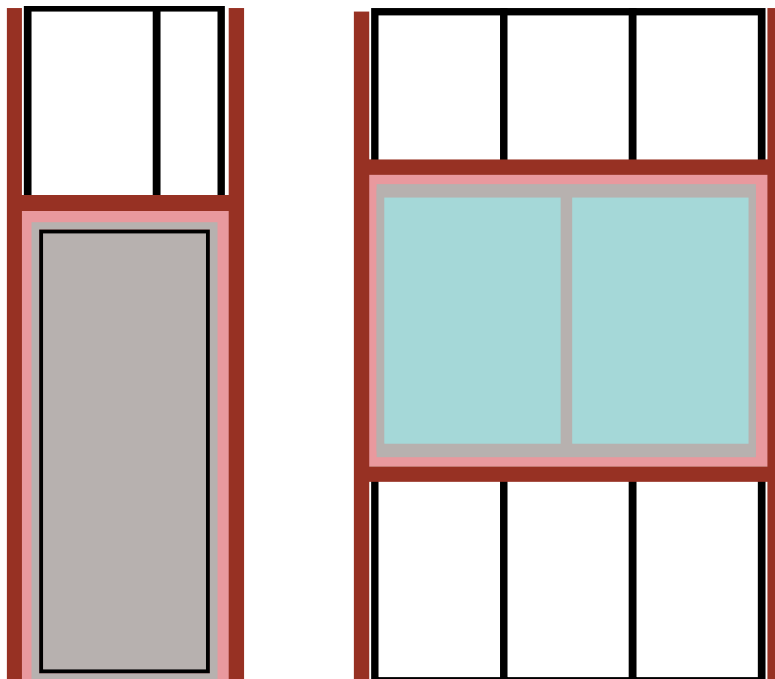


図 74 窓と扉の周辺の薄赤の部分がモルタル



パネル底面の損傷

パネル底面に、表面の剥がれといった損傷があることが層間変形角 1/200 の時に始まり、その後随時観察された。

考えられる原因は複数ある。下記でそれぞれについて説明する。

原因① 目地のシーリング材の影響

ロッキング構法では、構造躯体の層間変形への追従性のために、ALC パネル間目地は全てワーキングジョイント（ムーブメントの大きい目地）となっている。そこで、目地部へのバックアップ材の充填あるいは、目地底へのボンドブレイカーの設置し、シーリング材を充填するということにより、面内方向の動きに追従できる 2 面接着とするように指定されている。

本損傷は、シーリング材を充填する際に、底面で溢れてしまったシーリング材が表面に付着してしまったことが原因だと考えられる。つまり、目地部分で ALC パネルの縦方向のズレが生じた際に、シーリング材に引っ張られる形で接着されてしまっていた ALC パネルの表面が剥がれたと考えられる。

対策方法として、パネル底面にシーリング材が飛び出ないように施工することが挙げられる。

表 64 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネル底面の損傷	無開口面 室外側	1/200	#001
	開口面 室外側	1/200 100%	#002

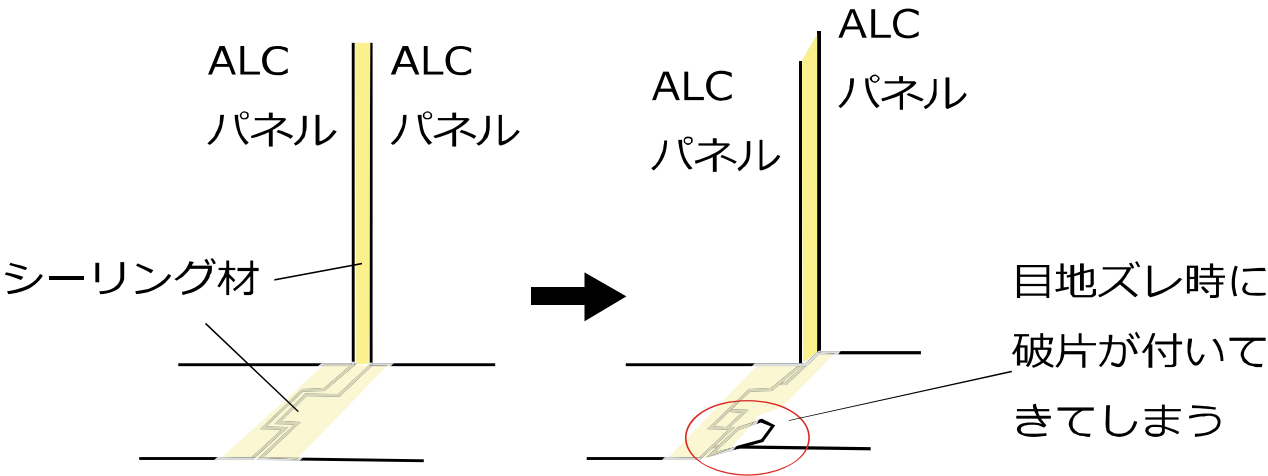


図 75 目地のシーリング材によるパネル底面の損傷のイメージ図

## 原因② メジプレートとの接触

ALC パネルがロッキングした際、メジプレートにパネルの奥の面が衝突し、表面が削れたと考えられる損傷があった。

対策方法として、パネルの奥の形状の工夫（多くのパネルで直角が切り落とされている）等が挙げられる。

表 65 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/100 -80%	#003
	開口面 室外側	1/50 80%	#010

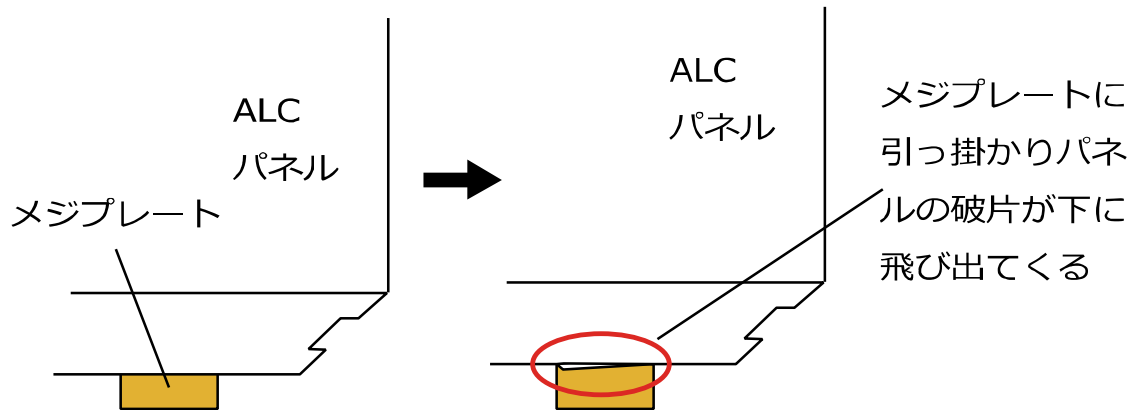


図 76 メジプレートとの接触によるパネル底面の損傷のイメージ図

原因② ウケプレートとの接触

ALC パネルがロッキングした際、ウケプレートにパネルの奥の面が衝突し、表面が削れたと考えられる損傷があった。ウケプレートを溶接した際に生じた膨らみとの接触によるものとも考えられる。

対策の方法として、ウケプレートの幅を小さくすることなどが挙げられる。

表 66 該当する損傷

損傷の概要	場所	層間変形角	損傷番号
パネル底面の損傷	開口面 室外側	1/75 -100%	#004, #005
	無開口面 室外側	1/75 -100%	#008, #009
	無開口面 室外側	1/50 100%	#013, #014
	開口面 室外側	1/50 -100%	#021, #022
	開口面 室外側	1/75(2 回目)	#028

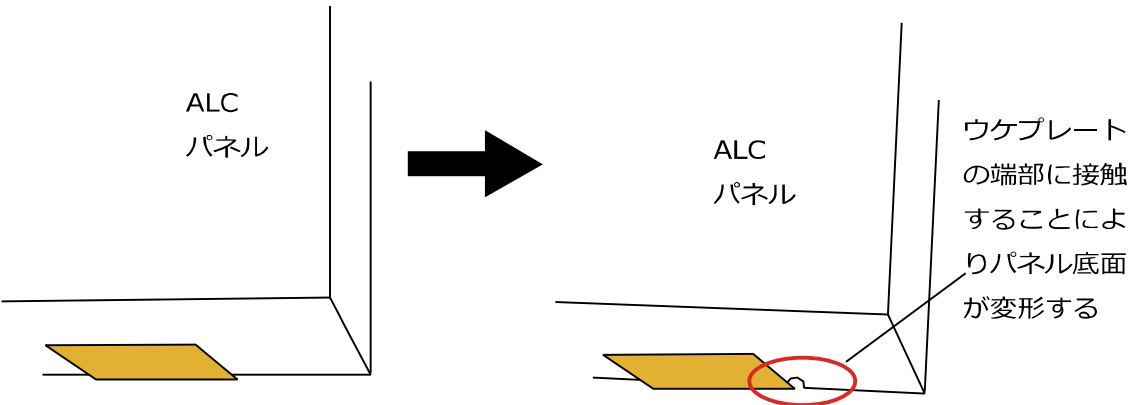


図 77 ウケプレートとの接触によるパネル底面の損傷のイメージ図

## 1-6-2 本実験の結果と既往研究の結果の比較

1-6-2 では本実験で観察された損傷と、2 章で紹介した ALC 外壁の載荷実験に関する既往研究で報告されている内容との比較をした結果について、損傷ごとに（一部原因別に）述べる。

---

### 「ガラスのヒビ」について

---

本実験では構造躯体の層間変形が  $1/50$ 、 $-100\%$ の時に、室内側から見て、左側の窓ガラスの、左下にヒビが生じた。その後、変形角が  $1/33$  の $-60\%$ の時に、室内側からみて窓ガラスの左上側に新たなひび割れが生じた。

---

### 「ガラスのシールの切れ」について

---

本実験では層間変形角が  $1/33$  の時に、室内側からみて右側にある窓の下部のシールが一部切れていることが確認された。

---

### 「窓枠の破断」について

---

本実験では層間変形角が  $1/33$  の時に、窓枠において、室内側から見て右上の角部、そして左上の角部に部材の変形が確認された。

2009 年の松岡らが行った動的試験では、引き違い窓の割れ、サッシのせん断変形、鉛直座いと水平材の接合部の破壊などが見られたと報告があるが、具体的な層間変形の数値などについては触れられていない。

窓建具に関する損傷については、ALC 外壁の載荷実験を対象とした既往研究では殆ど触れられていなかった。

---

### 「扉枠の破断」について

---

本実験では層間変形角が  $1/33$  の時、扉の枠の外側から見て左上部分が鉛直方向に破断していることが確認された。

扉建具に関する損傷については、ALC 外壁の載荷実験を対象とした既往研究では殆ど触れられていなかった。

---

### 「モルタルのヒビ」について

---

本実験では層間変形角が  $1/200$  のときに、開口補強鋼材と開口部の隙間に打設されたモルタルのひび割れが確認された。

2015 年の法身らの実験では、層間変形角  $1/200$  で開口補強鋼材と枠埋めモルタルの間に隙間が見られたものの、除荷後には確認できなかったと報告されている。同実験では  $1/100$  までの載荷でモルタルにクラックが生じたことも確認されている。

---

### 「窓の開閉機能の低下」について

---

本実験では載荷時も含め、窓の開閉機能の検証を行った。構造躯体の変形が  $1/100$  を超えると開閉が困難、もしくは開閉不可となることがわかる。稀に変形が元に戻ったときにも開閉が困難、もしくは開閉不可である場合があった。これは開口部周りの変形が部分的に残留したことが考えられる。

また、1998 年の伊藤らによる既往研究では層間変形角が  $1/120$  を超えると開閉不可になることが方向されている。

$1/120$  を超えると開閉機能に障害がでることが多いことは、本実験の結果とも矛盾しない。しかし本実験では  $1/120$  より小さい変形角であっても開閉機能に障害がでる場合があることも分かった。本実験では  $1/200$ （負方向）でクレセントが開不能となった。これは、伊藤らの実験では  $1/200$  でクレセントが閉不能になり、その後は鍵を考慮せずに開閉機能の確認を行ったのに対し、本実験では  $1/200$  の 80%でクレセントが閉不能になったのち除荷時に再び施錠をした結果、鍵を考慮して開閉機能の確認を行えたからである。

伊藤らの実験では各変形角のピーク時のみ開閉確認をしており、計 6 回となっている（ただし内装材取付前の試験体）。これに対して、本実験では 99 回開閉確認を行っている。

## 「扉の開閉機能の低下」について

本実験では載荷時も含め、扉の開閉機能の検証を行った。構造躯体の変形が 1/200 を超えると、殆どの場合で開閉が困難、もしくは開閉不可となることがわかる。稀に変形が元に戻ったときにも開閉が困難である場合があった。これは開口部周りの変形が部分的に残留したことが考えられる。

また、1998 年の伊藤らによる既往研究では層間変形角が 1/200 を超えると開閉不可になることが方向されている。

1/200 を超えると開閉機能に障害がでることが多いことは本実験の結果とも矛盾しない。ただし、本実験では一部、1/200 を越えても問題無く開く場合があることがわかった。また、伊藤らの実験では 1/200 で扉本体が開不能になり、その後は 1/150 でノブが回転不能で開閉できなくなったと報告されている。本実験では 1/150 以降であってもノブが回転することは多々あった。しかし、多くの場合で扉本体が開不能であった。伊藤らの実験では各変形角のピーク時のみ開閉確認をしており、計 6 回となっている（ただし内装材取付前の試験体）。これに対して、本実験では 99 回開閉確認を行っている。

表 67 1998 年の実験で行われた ALC 外壁に取り付けられた開口部の開閉実験結果

実験 1：内装材取付前			変形角	実験 2：内装材取付後		
鋼製片開扉	引き違い窓	下部滑り出し窓		鋼製片開扉	引き違い窓	下部滑り出し窓
異常なし	異常なし	異常なし	±1/500	異常なし	異常なし	異常なし
同上	同上	同上	±1/300	同上	同上	同上
(+) 本体開不能	クレセント閉不能	同上	±1/200	同上	同上	同上
(-) ノブ回転不能	同上	障子閉不能	±1/150	(+) 本体開不能	クレセント閉不能	障子閉不能
同上	障子開不能	同上	±1/120	同上	同上	同上
同上	同上	同上	±1/100	同上	同上	同上
			±1/75	同上	同上	同上
			±1/50	同上	クレセント変形	同上

試験体は 7500×3500×100600 (3 階建て) の鉄骨造に ALC 壁を取付けたもの。

鋼製片開扉：W=800, H=2000 1 階西面に計 1 か所

引き違い窓：W=1700, H=1200 各階西面東面に計 6 か所

下部滑り出し窓：W=500, H=800 各階北面に計 3 か所

なお、ALC 外壁以外では、2005 年の金子らの研究<sup>9</sup>、2007 年の加藤らの研究<sup>10</sup>で乾式間仕切り壁に取り付けられた扉の開閉実験、2009 年の篠沢らの研究<sup>11</sup>で木造軸組構法に取り付けられた窓の開閉実験、2010 年の熊沢らの研究<sup>12</sup>、2010 年の北代らによる研究<sup>13</sup>、2016 年の鈴木らによる研究<sup>14</sup>で RC 造に取り付けられた扉と窓の開閉実験が行われている。

---

#### 「開口補強鋼材の溶接の切れ」について

---

本実験では 窓の開口補強鋼材の縦材と横材の溶接部分のうち、2 ヲ所が構造躯体の層間変形が 1/50 の 100%のとき、残り 2 ヲ所が-100%のときに破断していることが確認された。

2009 年の松岡らが行った静的載荷実験では、開口部が取り付けいた試験体に対し 1/6 まで変形させている。1/25 で開口補強の水平材と鉛直材を繋ぐ溶接接合部が破断し、1/16 で鉛直材と受けアングルを繋ぐ溶接板プレートの溶接部が破断したことが報告されている。

溶接接合部の破断が、松岡らの実験に比べて本実験で小さい層間変形角で生じた原因としては、溶接の方法や開口補強鋼材の寸法の差などが考えられるが、正確には不明である。

---

#### 「定規アングルの振れ止めの溶接の切れ」について

---

本実験では層間変形角が 1/50 の時に、定規アングルとその振れ止めの溶接が切れていることが確認された。

定規アングルの振れ止めに関する損傷については、ALC 外壁の載荷実験を対象とした既往研究では殆ど触れられていなかった。そもそも定規アングルの振れ止めまで再現した実験が少ないこと、また実験対象ともしないことが理由だと考えられる。

---

<sup>9</sup> 金子美香 他 (2005)「軽量鉄骨下地間仕切り壁の耐震性能確認実験」,『日本建築学会関東支部研究報告集』 pp77-80, 日本建築学会

<sup>10</sup> 加登美喜子 他 (2007)「軽量鉄骨下地間仕切り壁の耐震性能と修復性の検証」,『日本建築学会構造系論文集第 614 号』 pp.139-146, 日本建築学会

<sup>11</sup> 篠澤朋宏他,“木造軸組構法住宅の窓ガラス入りサッシュ付壁と階段の正加力実験”,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp337-378,2009

<sup>12</sup> 隈澤文俊他“地震による RC 造建築物の損傷状況・機能維持に着目した実大試験体実験 その 9 間仕切り壁および扉の挙動”,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp87-88,2010

<sup>13</sup> 北代尚稔他,“地震による建築物の損傷状況・機能維持に着目した実大試験体実験 その 8 非構造 RC 外壁の係争概要と損傷状態”,日本建築学会大会学術講演梗概,pp85-85,2010

<sup>14</sup> 鈴木英之他,“損傷低減のために袖壁を活用した実大 5 層鉄筋コンクリート造建築物の静的載荷実験その 8 : 躯体の残留変位と窓開閉の支障”,日本建築学会大会学術講演梗概,pp403-404,2016

---

「パネルの室内側のヒビ」について

---

---

「パネルの室外側のヒビ」について

---

本実験でパネルの室内外に生じたヒビは、以下の 3 つに原因別に分けられると前節で考察した。

① ロッキングの程度に差異が出たことにより生じたヒビ

本実験ではロッキングの程度の差異により生じた隣のパネルとの間の応力が原因であると考えられるヒビが、層間変形角  $1/75$  の時に観察された。

② ロッキングにより開口補強鋼材と衝突したことにより生じたヒビ

本実験ではパネルがロッキングした際に窓および扉の開口補強鋼材と衝突し、押し付けられた結果応力がパネル強度を上回ったことで生じたと考えられるヒビが層間変形角  $1/50$  および  $1/33$  の時に観察された。

③ ロッキングが阻害されたことによるボルトからの応力により生じたヒビ

本実験では、ロッキングが阻害された結果、てこの原理でボルト部分から応力を受けた結果生じたと考えられるヒビが層間変形角  $1/50$  および  $1/33$  の時に観察された。

既往の実験ではいずれもパネルの室内と室外を特に分けて報告していない。さらにパネルに生じたひび割れの具体的な原因について考察しているものもほとんど無かった。

以下では、パネルのヒビに関する既往の実験での報告をまとめる。生じた層間変形角などについて、本研究の結果と照らし合わせる。また、報告にあるヒビが、上記の 3 パターンに適合するか検証することを行う。



## 付録 1-6 ALC 外壁の実大載荷実験の結果の分析

1998 年の永井らの実験によると静的試験で層間変形角 1/100 で窓下の ALC パネルの上部隅角部に角欠けが一か所発生したと報告されている。

この欠けは、発生した位置から推測するに、パネルのロックキングの程度に際が出たことによるヒビ、もしくはパネルが開口部材と衝突したことによるヒビだと考えられる。

1998 年の伊藤らの実験によると層間変形角 1/150 の時に窓の下のパネルの上部隅角部で室外側にひび割れが発生し、その後 1/120 でヒビが進行し、1/100 で室内側に貫通したと報告されている。

発生した位置から推測するに、パネルのロックキングの程度に際が出たことによるヒビ、もしくはパネルが開口部材と衝突したことによるヒビだと考えられるが、伊藤らは特に具体的な原因については論じていない。

なお同実験では、ALC パネルに内装ボードと防水を取付けた試験体も載荷している。これにおいては、層間変形角 1/300 で窓の上のパネルの上部で水平方向のひび、1/150 で窓の下の上部隅角部のひび、1/150 で窓の隣のパネルの下部で水平方向のヒビ、1/120 で窓の下のパネルの下部隅角部で欠け、1/75 で同箇所反対側の下部隅角部で欠け、その後 1/50 でアンカー付近のひび割れ、パネルの角部 14 箇所ではひび割れが発生している。

発生した箇所から推測すると、開口部に接する位置で生じたヒビは開口部との接触によるもの、パネルの上部および下部のヒビはパネルのロックキングの程度の差によるもの、アンカー付近のヒビはボルトからの応力によるものと、本実験で観察されたヒビと同じ理由で説明することができる。なお、本実験が窓と扉 1 つずつであったのに対し、伊藤らの実験は窓 9 つ、扉 1 つを持つ試験体であったため、損傷の数が多いのは、開口部周辺に損傷が集中するという考察と矛盾しない。

2007 年の萩原らの実験でも 1/200~1/150 で窓の上のパネル下部隅角部でヒビが生じたことが報告されている。

発生した位置から推測するに、パネルのロックキングの程度に際が出たことによるヒビ、もしくはパネルが開口部材と衝突したことによるヒビだと考えられる。

同実験では 1/100~1/60 で窓から 4 枚ほど離れたパネルの上部でひび割れが発生していると報告がある。

これは本研究で観察されたヒビのどれとも特に一致しない。

2009 年の松岡らが行った静的載荷実験では、平面な壁を模した試験体を 1/10 まで、開口部が取り付けいた試験体に対し 1/6 まで変形させている。平面な壁を模した試験体では、1/50 でパネル下端角部にひび割れが生じ、1/25 および 1/13 で取付金物周りにひび割れが生じ、1/10 ではパネルの部分的な剥落が多数、アンカー鋼棒露出といった損傷が報告されている。

本実験では平面な壁を模した壁では 1/33 まで底面の損傷以外特に観察されなかった。これは、松岡らの実験では 1/66 を超えるとパネルが受けアンクルという長金物に衝突するつくりになっており、1/50 およびそれ以降に生じたひび割れはこの衝突が原因だと考えられる。

松岡らの実験で開口部が取り付けいた試験体では、1/100 で開口部上部のパネルにひび割れ、1/66 で開口部下部のパネルにひび割れ、1/50 でパネル下端角部にひび割れ、1/25, 1/13 でパネル下部取付金物周りにひび割れ、1/10 ではパネルの部分的な剥落が多数、アンカー鋼棒露出、そして 1/6 ではパネルの面外への脱落が報告されている。

平面な壁を模した壁と同様に、1/50 で生じたひび割れは、パネルが受けアンクルという長金物に衝突した結果生じたと考えられる。その他のひび割れは、いずれも本実験で観察された損傷と同様に、パネルのロックングの程度によるヒビ、開口部材と衝突したことによるヒビ、ボルトから応力を受けたことによるヒビであると考えられる。また、本実験でも 1/6 まで層間変形角を与えていた場合、パネルの脱落が生じたと考えられる。

開口部が取り付けいた ALC 外壁（内装材無し）に対して、既往の実験では 1/200~1/100 でパネルに最初のひび割れが生じていることがわかる。本実験では 1/75 で初めてパネルにひび割れが観察されている。本実験で比較的大きい層間変形角になるまでひび割れが生じなかった理由としては、パネル間の距離（シール材の厚み）、開口補強鋼材とのクリアランスの量が本実験の方が多かったことが推察されるが、実際のところは不明である。

また、既往実験で報告のあるヒビは、概ね本実験で観察されたヒビ割れの 3 パターンで説明できた。

---

「パネル目地のシールの切れ」について

---

本実験では層間変形角  $1/50$  および  $1/33$  のとき（ただし殆ど  $1/33$  のとき）に、開口部周辺のパネル間に充填されたシーリング材（ウレタン系）の切れが観察された。

1998 年の伊藤らの実験では、ポリウレタン系のシーリング材は、内装材が取り付けられているにも関わらず、 $1/50$  の載荷でも異常無しであった。本実験では内装材が取り付けしていないが、ウレタン系のシーリング材は  $1/50$  で 1 か所シーリング材の切れが生じた。

これは伊藤らの実験に対して本実験は、繰り返し載荷量が多かったことが影響していると考えられる。

なお、伊藤らの実験ではアクリル系と変性シリコン系も試験体の異なる面に使われていた。アクリル系は  $1/150$  で各階にシワ、変性シリコン系は  $1/150$  で開口周りの接着が破壊、 $1/120$  で基礎周りの接着の破壊が報告されている。

2016 年の法身らの実験では、 $1/50$  で縦目地のシール（アクリル系）の破断が報告されている。

既往の実験との比較から、ウレタン系は比較的損傷が生じにくいシーリング材であるが、本実験のように繰り返し載荷すると層間変形角  $1/50$  から切れると考察できる。

---

「パネル底面の損傷」について

---

本実験ではパネル底面に、表面の剥がれといった損傷があることが層間変形角  $1/200$  の時に始まり、その後  $1/33$  まで随時観察された。

1987 年の坂本らの実験によると、外壁一般部分を模した試験体において、層間変形角  $1/30$  に至って上階側パネルの下端部の一部と下階側パネルの下端部金物周りに微小なひび割れが生じたとある。そして載荷階壁面では、 $1/60$  に至ってパネル下端部にごく微小なひび割れが生じたとある。おそらくこれらは、パネル底面の損傷を指しているものと考えられる。なお、坂本らは具体的な要因を明らかにすることはなく、安全性に影響するようなひび割れではないとしている。

特に既往の実験でパネル底面の損傷について報告しているものは他になかった。特に安全性に影響するような損傷でないこと、確認が容易でないことなどが理由として考えられる。

---

### 比較結果のまとめ

---

本実験では、非常に丁寧に損傷観察を行った。その結果、開口部の損傷、定規アングルの損傷、パネル底面の損傷など、既往研究でこれまで報告されてこなかった損傷について知見を得ることができた。

窓と扉の開閉機能の低下については、既往研究と概ね矛盾する結果はなかった。しかし、既往研究の結果と矛盾する例外があることも本実験では確認できた。

開口補強鋼材の溶接の切れや、パネルのヒビについては、本実験と既往研究で生じた層間変形角が異なることが見受けられた。ただしパネルのヒビについては、本実験で観察されたヒビと原因は同じだと考えられた。

## 付録 2 - 1

### 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験

#### 損傷データシート

##### ◆実験の概要

###### ・実験の目的

本研究では、開口部、鉛直壁、コの字型のコーナー部を含む乾式間仕切り壁に対して、1/50 を超える大変形を含む層間変形を繰り返し与えたときの状況を明らかにするため、生じた損傷を細かく観察し、記録していった。

###### ・試験体について

試験体は階高 3,500mm、長辺 6,000mm、短辺 2,500mm のスラブ付き鉄骨骨組みとし、その中に 2 面軽量鉄骨下地乾式間仕切り壁を設置した。一面は梁下に全面無開口の平坦壁で高さ 2,945mm×長さ 5,700mm、反対の面は梁下の開口部付きの偏心壁、梁と平行な面外壁の計 5 面で構成され、一般的な間仕切り壁の設置状況を再現することを目指している。これらに対して長辺方向に繰り返し載荷を行う。

乾式間仕切り壁の仕様は、スタッド 65 形を間隔 303mm に配置し、ランナー 65 形の標準的な取り付け構法としている。試験体外部の面に 21mm の石膏ボード 2 枚貼り（内側横張、外側縦張）の耐火仕様とした。試験体内部の面にはボードを貼らず、スタッドやランナーの挙動を計測・観察できるようにした。（図 1～4、写真 1）

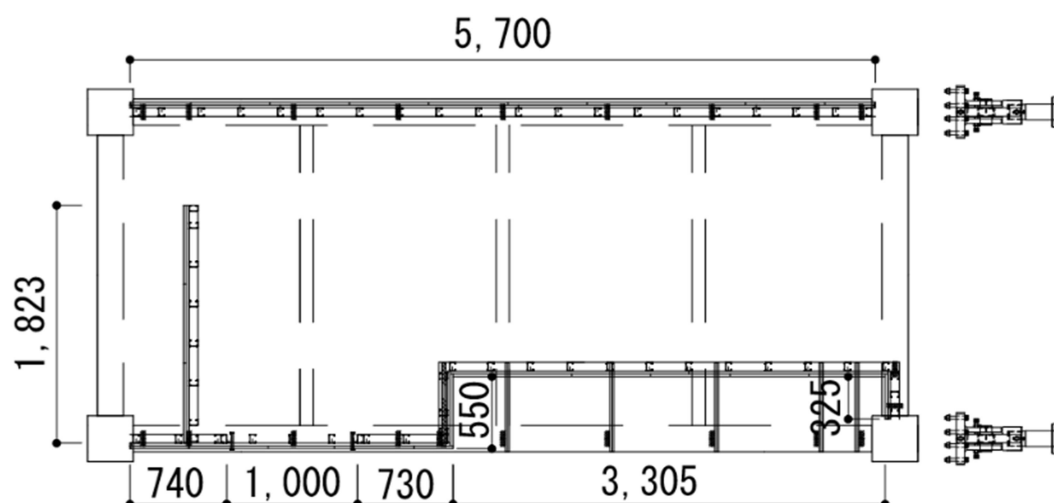


図 1 試験体平面図

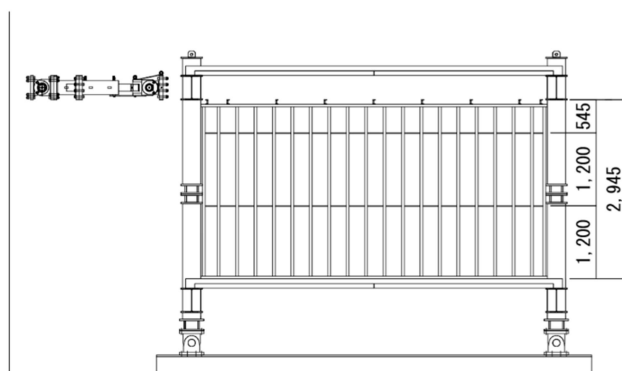


図2 試験体立面図（北面長手方向・無開口側）

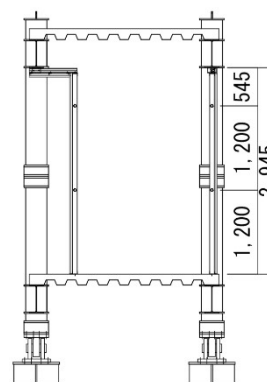


図4 試験体断面図（短手方向）

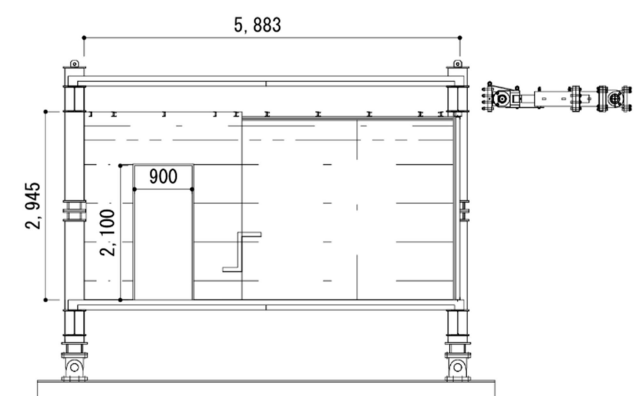


図3 試験体立面図（南面長手方向・開口側）



写真1 試験体南側外観

#### ・ 載荷スケジュール

載荷は、事前に設定しておいた最大層間変形角（以降 $\theta_{max}$ と呼ぶ）に対して、正負両方向に 0.4、0.6、0.8、1.0 倍させながら徐々に変形角を大きくし、同様に除荷するまでを 1 セットと定義した(図 5)。 $\theta_{max}$  の値は 1/400 から始め、増減させながら最終的に 1/33 のセットまで、計 9 セットの載荷を行った（表 1）。この載荷スケジュールは、実際の地震動を想定したものとなっている。なお、本実験においてはジャッキが押す方向を正、引く方向を負とみなした。

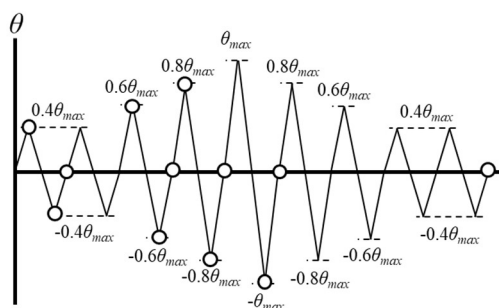


図5 1 セットの載荷履歴

表 1 各セットの  $\theta_{max}$

セット番号	$\theta_{max}$
1	1/400
2	1/200
3	1/100
4	1/200
5	1/75
6	1/100
7	1/50
8	1/75
9	1/33

・計測と観察の方法

本研究ではボード、軽量鉄骨下地の挙動を正確に把握することを目的とし計測と観察方法を立案した。

実際の損傷を把握するため、載荷の各セット当たり最大 13 回、目視による内外の観察を行った。図 5 にある載荷履歴中の白丸が各観察のタイミングを示す。損傷発生タイミングを把握するため、壁面の写真撮影も観察ごとに行った。

繰り返し載荷による層間変形と乾式間仕切り壁の損傷の関係性を把握するため、載荷 1 セットにつき、最大 13 回、総計 96 回、試験体の観察を行った。以下、便宜上、試験体のボード側を A～F 面、そしてこれに対応するよう下地側を a～f 面と呼ぶこととする（図 1）

各観察時にはボード面、下地面両方の目視による観察を、複数人を行い、新しい損傷、もしくは進行が見られた場合は、メモと写真撮影によって記録した。壊れると想定される箇所に関して、損傷が発生した段階を正確に把握するために、損傷の有無にかかわらず毎回、機械的に撮影した。特に、B(b)～F(f)面は、どこから壊れるか事前に予測がつかなかったため、ほぼ全体を撮影した。

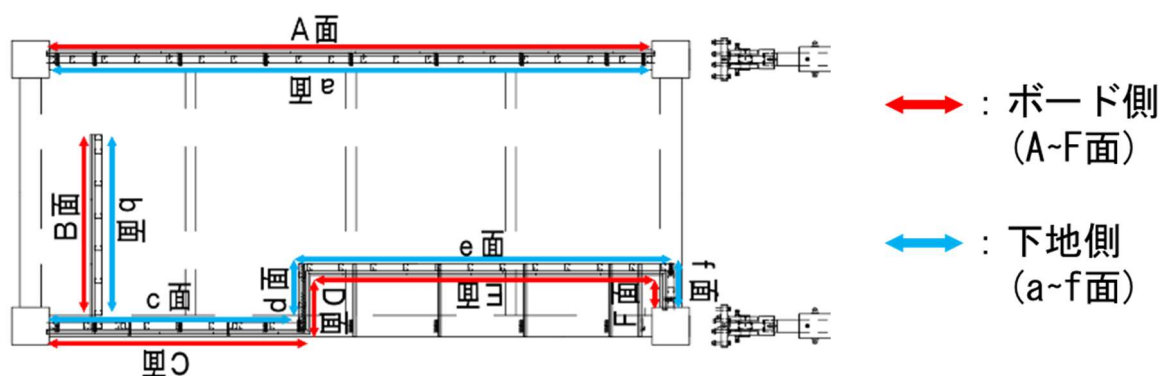
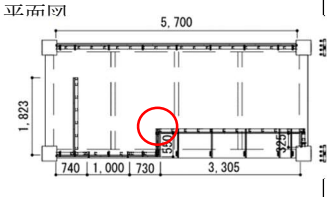
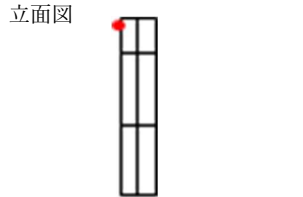
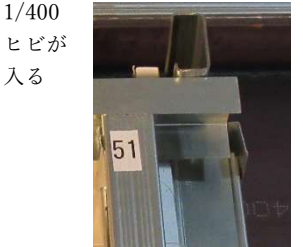
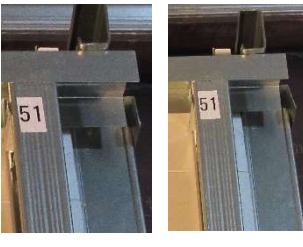


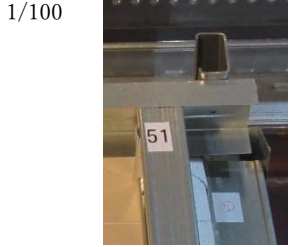
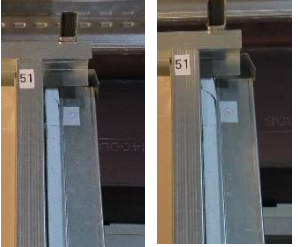
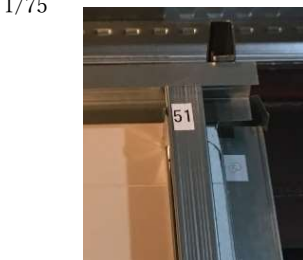
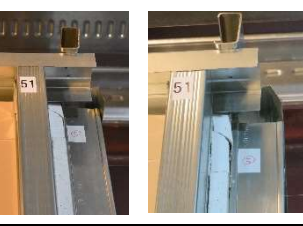






図 6 各面の名称

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #001			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付け乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面2重張り)		
部品名：	石膏ボード (下張り、21mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ピース (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	断面方向のヒビ ⇒ 圧壊		
損傷の発生箇所：	<p>平面図</p>  <p>立面図</p> 	その他	
発生時の状況：	層間変形角：1/400(0.8~-0.8))	加速度：無し	その他
損傷の様子：	<p>1/400 ヒビが入る</p>  <p>左 100%      右-100%</p> 	<p>1/200 ヒビを境にボードがズレる</p>  <p>左：100%      右：-100% ランナーが開く</p> 	<p>1/100</p>  <p>左:100%      右：-100%</p> 
	<p>1/75</p>  <p>左：100%      右：-100%</p> 	<p>1/50 ボード圧壊、紙が破れる</p>  <p>右：100%      左-100%</p> 	<p>1/33 圧壊の進行</p>  <p>左：100%      右:-100%</p> 
他の実験等で確認された例：	同様の損傷が報告された例は見つけれなかった。(非吊り天井の実験がないためと考えられる)		



付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/400 の 80%、つまり 1/500 の時に、d 面の断面にヒビが入っていることが確認された。天井の高さとほぼ同じ高さに位置していた。その後、載荷時にひび割れを境界として断面がズレることが確認された。その後、層間変形が 1/50 の時にはボードが圧壊し、ボード表面の紙が破れるまでいた。なお、この時には天井と先行ピースの間で d 面のボードが完全に折れてしまっていることが写真 1 よりわかる。</p> <p>この d(D)面は、他にも、同箇所の圧壊、ランナーの開きを伴う面外方向への変形、スタッドの脱落、ランナーの開きを伴う面外方向への変形、スタッドの脱落、中心の折れ、画外側角部の割れなど損傷が多く生じた面であった（写真 2、3、4）。これは、以下に記すようにボードが挙動したと考えれば説明することができる（図 1、2）。</p> <p>乾式間仕切り壁は、鉄骨に（先付け金物を介して）先行ピースが取り付け、先行ピースにランナーが取り付け、そのランナーに壁（スタッド）がはまっているような作りになっている（図 1、2）。また天井は、天井下地（コの字型の棒材）を介して先行ピースに固定されている。</p> <p>Ff 面（のランナー）および真上の先行ピース（使用している鋼材は先付金物と同じもの）は、鉄骨に連続的に固定されているため、層間変形への追従性は、他の先行ピースに比べて高い。そのため、正載荷時には Ee 面を押し出すほどの力を持つと考えられる。D d 面（のランナー）および真上の先行ピースは鉄骨に局所的に固定されているだけのため、層間変形への追従性は Ff 面に比べて低い。そのため負載荷時に、天井と先行ピースに引っ張られ d 面は室内からみて左側に倒れ掛かるような挙動を見せるが、Ee 面を押し出すほどの力は、正載荷時の Ff 面と比べて弱い。</p> <p>その結果、d 面上部の Ee 面に接している部分では、負載荷時に先行ピースと Ee 面に挟まれてせん断力がかかると考えられる。その結果、1/400 という小さい変形角でひび割れが生じ、その後も変形角の進行に応じて損傷が進行していったのだと考えられる。</p> <p>また Cc 面は、鉄骨に連続的に固定されているため層間変形への追従性が比較的高い。負載荷時には、この Cc 面にも押されることにより、Dd 面の室外側は層間変形に追従するような動きを見せる。しかし、上述の通り、Dd 面は Ee 面を押し出すほどの力を持たないため、逆に Ee 面に押し返されるような力を受ける。その結果、Dd 面は上から見て反時計回り方向に回転するような挙動を見せる。この挙動が損傷#008 を生じさせたと考えられる。</p> <p>なお、負方向に載荷した後の除荷時には層間変形への追従性の高い Ff 面、天井、Cc 面は元の位置に戻る。Dd 面、Ee 面も除荷に応じて、変形は緩和されるものの、回転した挙動は完全には元に戻らない。</p> <div data-bbox="411 1518 1367 1765">A series of six photographs showing the progression of damage to a dry partition wall under increasing negative lateral displacement. The images are labeled with displacement ratios: 1/400, 1/200, 1/100, 1/75, 1/50, and 1/33. As the displacement increases, the wall panels (labeled '51') show increasing deformation, including visible cracks and buckling. The final image at 1/33 shows significant structural failure and rotation of the wall panels.</div> <p>写真 1 各セット後の様子（左から 1/400,1/200, 1/100, 1/75, 1/50, 1/33）</p>
---------------	--



写真2 1/33 載荷後の様子



写真3 1/33 載荷後の室外側の様子



写真4 載荷時の天井下地の様子

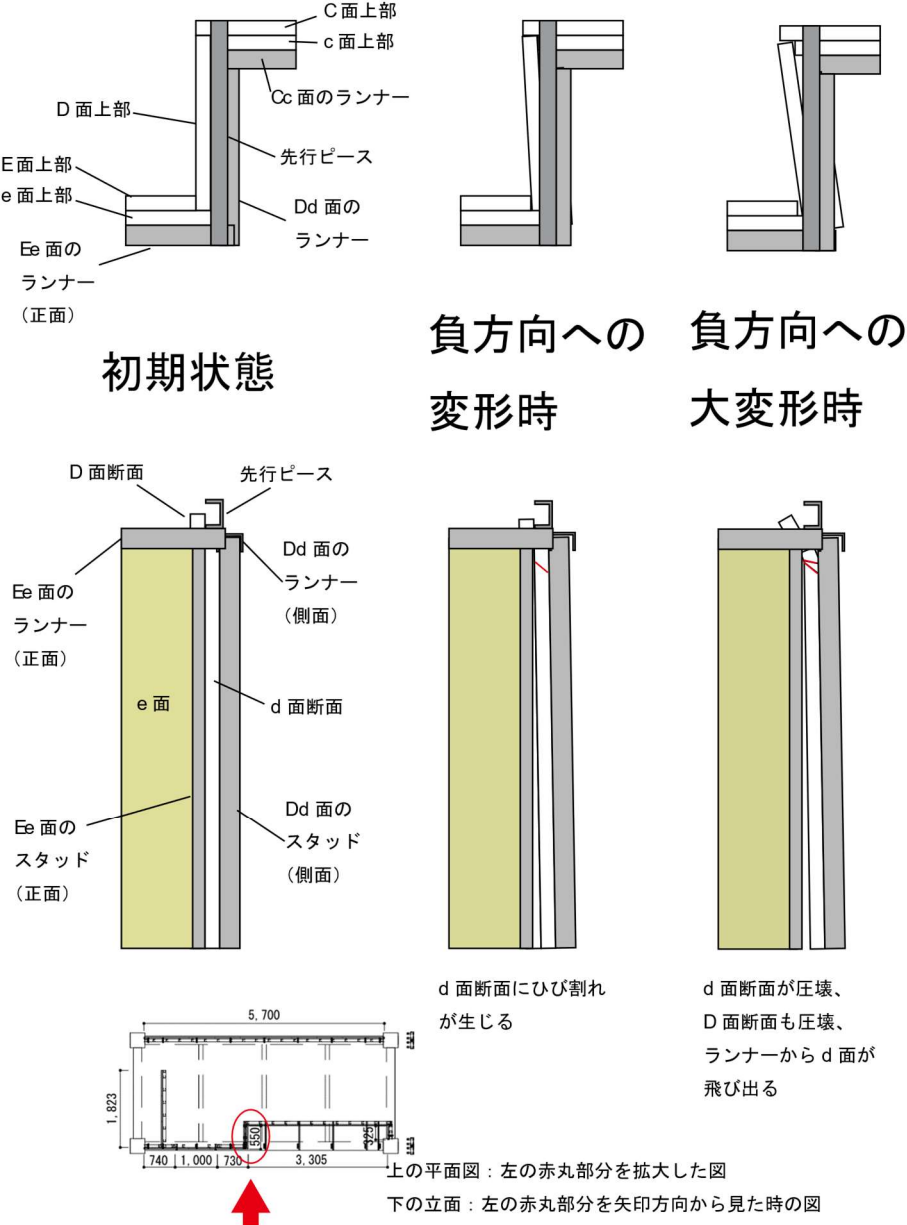
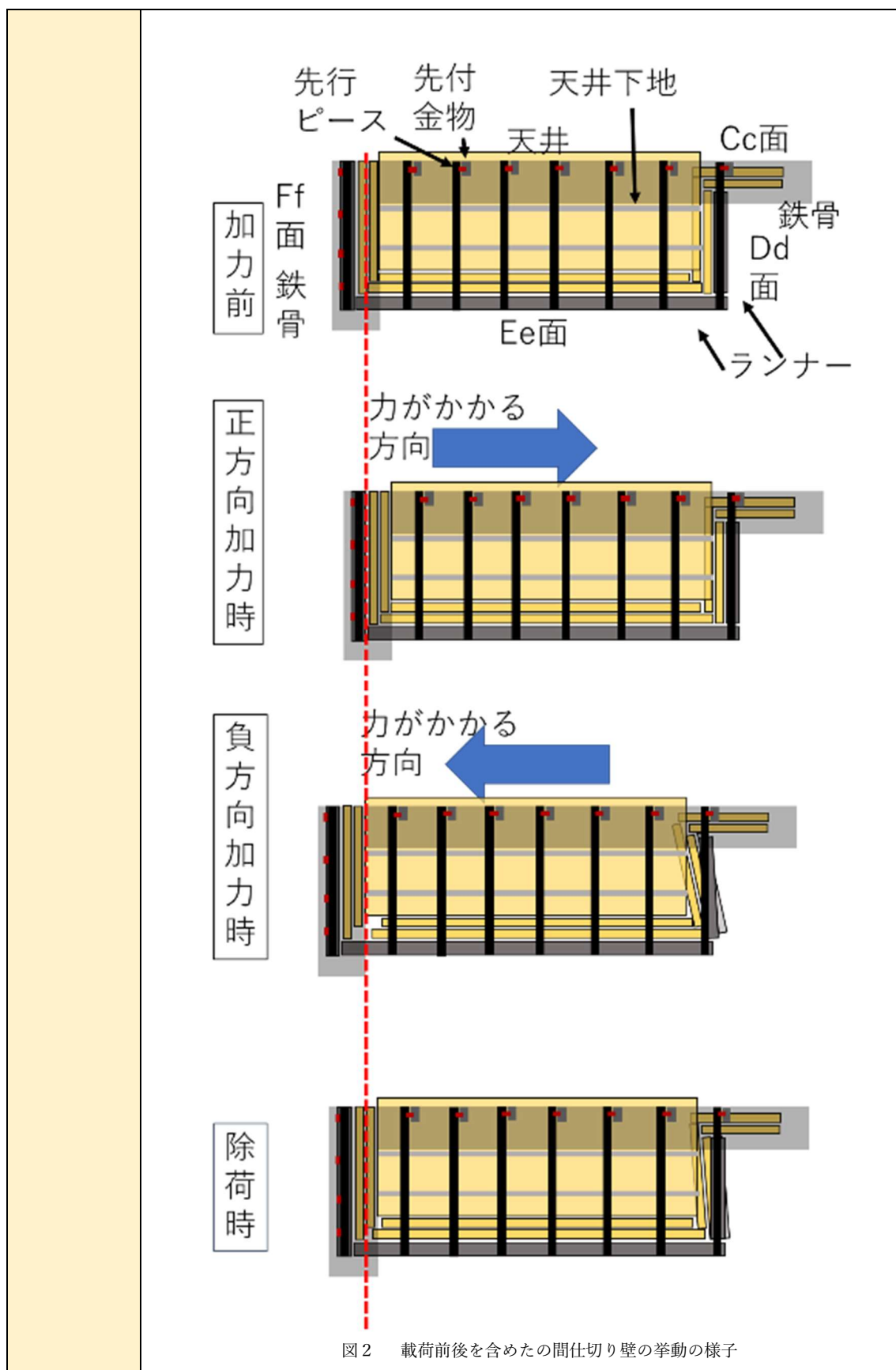


図1 負方向への変形時のd面周辺の挙動と損傷



ひび割れがボードに生じたとしても、除荷時に閉じていれば、耐火性、密閉性（遮音性）に問題はなく、特に補修の必要はない。ただし、意匠上の理由で補修が行われる場合がある。

層間変形角 1/100 の時のように、ボードがズレてしまうと、ボードの紙が平面状態を保てず、ボードの壁としての強度は落ちてしまう。そのため、将来の地震に備えて、ボードの取り換えをすることが望ましいと考えられる。

今回は Ee 面のボードが片面張りであったため、Dd 面のボードの断面のひび割れを発見することができた。しかし、これらが両面張りであった場合、ひび割れに気付くことはできなかったと考えられる。

上張り側（実際の建物においては室内側）からは、大変形に至るまで表張り側からは突付け間が開くのみで、下地側の損傷ほど激しい損傷が生じることはなかった。つまり、上張り側から下地側の損傷を正確に診断することは、今回の損傷の場合、できない。

ひび割れが生じた原因としては、以下のようなことも考えられる。

天井は複数の先行ピースにより鉄骨梁に接続されているため、Dd 面より層間変形への追従性が高い。よって、正載荷時には天井面の端部は Dd 面に押し付けられることになる。その結果、Dd 面にひび割れが生じたと考えられることができる。更に、天井は上から見た時に 1 つの角部が鉄骨にあたるため、切り欠けられている。載荷時に、天井はこの鉄骨に接触していた可能性がある。Dd 面が天井に比べ層間変形への追従性が低い場合、天井は鉄骨と Dd 面に挟まれる状況となる。すると、図 3 のような応力が生じると考えられる。その結果、Dd 面の断面にひび割れが生じた、と考えることもできる。

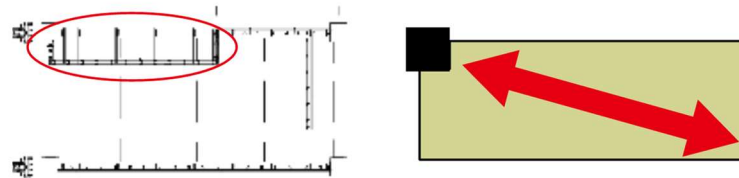
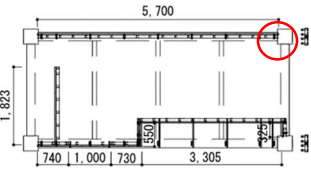
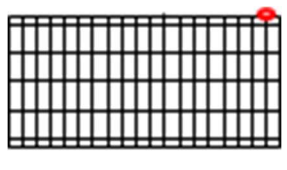
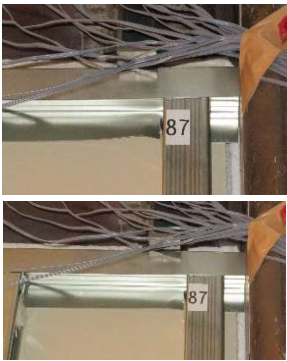


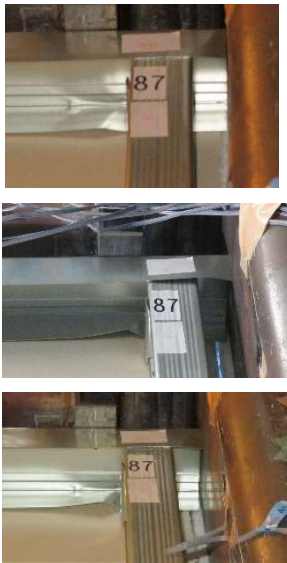
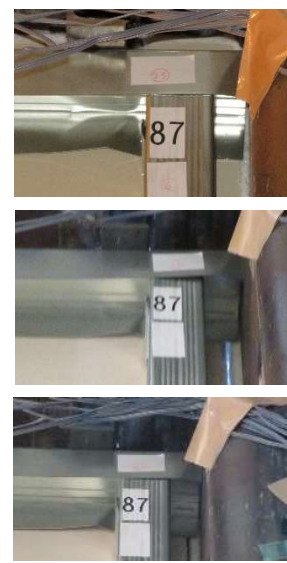



図 3 天井に生じる応力

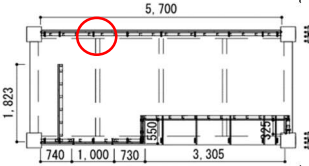
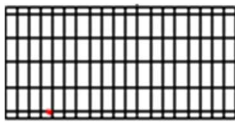

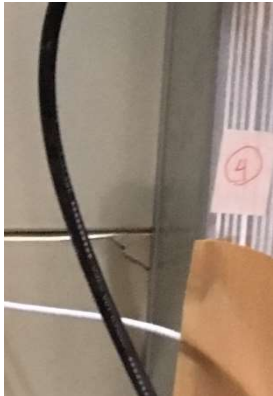


付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

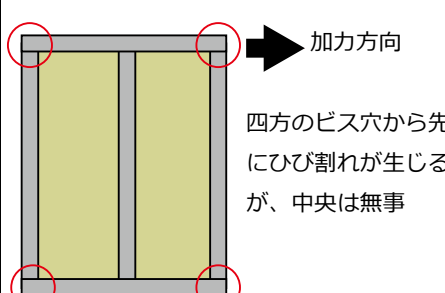
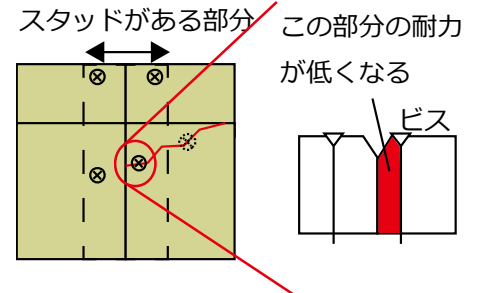


損傷データシート #002			
実験/調査の日	2019/03 (建築研究所)		
付と名称:	鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	ランナー65 型 (上部)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビース (ピン) ⇒ランナー (ビス)		
損傷の概要:	端部の歪み		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/400(0.6~ -0.6)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400 100%,-100%,載荷後 	1/200 100%,-100%,載荷後 	1/100 100%,-100%,載荷後 
	1/75 100%,-100%,載荷後 	1/50 100%,-100%,載荷後 	1/33 100%,-100%,載荷後 
他の実験等で確認された例:	同様の損傷が報告された例は見つけれなかった。		

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/400 の 60%、つまり 1/666 程度の時、a 面の上部ランナーの室内側からみて右端部に歪が生じていることが確認された。この歪は層間変形の程度に応じて、特に負荷荷時に進行していった。写真 1 に層間変形 1/75 を与えた後の損傷の様子を示す。</p> <p>先付金物を通して、ランナーは鉄骨に剛接合されているため、載荷時に上部ランナーは、構造躯体の層間変位に追従して水平移動をする。ボードも、鉄骨フレームに押されることによって水平方向に移動する。そしてボードにビスで取り付けられたスタッドも水平方向に移動する。そのため、下部ランナー内をスタッドは水平移動するが、その際に発生する音や、傷のつき方からスタッドとランナー間には摩擦力が働いていることがわかる。逆にスタッドが水平移動できないように拘束されている場合は、逆にランナーの水平移動を阻害する方向に摩擦力が働くと考えられる。</p> <p>歪の隣にあるスタッド（写真 1 で 87 とラベルが貼られているもの）の中央部は、鉄骨のジョイント部分に接しているため、写真右方向に水平移動できないようになっている（写真 2-2）。このため、負荷荷時にスタッドが水平移動できず、逆にランナーに水平移動を阻害する方向に摩擦力が働いた結果、歪が生じたのだと考えられる（図 1）。</p> <p>反対方向へ載荷した時に、この歪は伸びることで元に戻るということが分かっているが、層間変形角 1/100 あたりからは、除荷時に残留変形が残った。ランナーが歪むと、スタッドは右にも左にも傾けなくなる。その結果、ボードから受ける力は、スタッドが振れることしか受ける方法がなくなる。スタッドが振れことで、ランナーは開く。この挙動が何回も繰り返し行われると、残留変形が残り、スタッドがランナーから外れるということが考えられる。</p> <div data-bbox="416 931 1323 1458"></div> <p>写真 1 層間変形 1/75 を与えた後の損傷の様子</p> <div data-bbox="451 1512 632 1908"></div> <p>図 1 損傷が生じた原因の考察</p> <div data-bbox="904 1500 1347 1895"></div> <p>写真 2 スタッド中央部の写真</p>
---------------	--

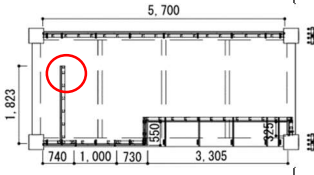
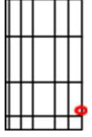


付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

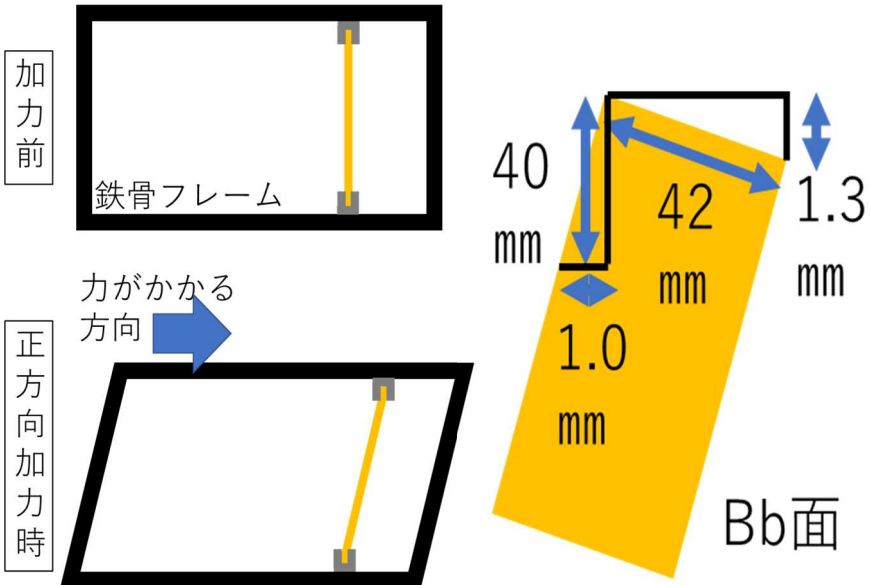
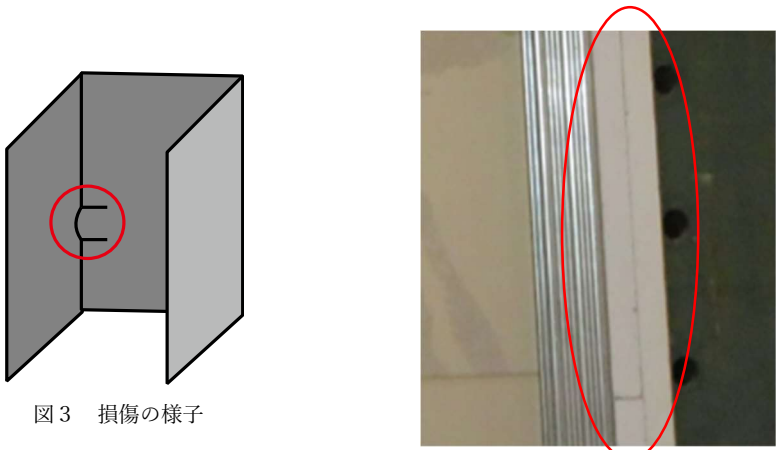
損傷データシート #003			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	下張りボード (21mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめこみ) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	端部の歪み		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/400(0~1)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400 	1/200	1/100
	1/75 	1/50	1/33
他の実験等での報告：	1/400 でボードの上端からヒビが入ったという報告はされているが、目地から入ったという報告はない。ただし、1/400 の載荷をした実験は数が限られる。		



	<p>層間変形角が 1/400 の 100%時に、a 面のスタッド裏のボード目地よりヒビが生じていることが確認された（写真 1）。ヒビが生じた箇所は、下張りボードの目地であることが分かっている。1/33 載荷後に上張りボードをはがしたときの同箇所の部分を写真 2 に示す（赤丸部分）。写真より、ボードの裏側までヒビが貫通していたことが分かる。さらに、ヒビはビス穴から生じていることがわかる。</p> <p>スタッドの水平移動、ねじれといった挙動に対してボードが追従せず、ビス部分に応力が集中してしまい、その結果としてひび割れが生じたのだと考えられる。本試験体には強化石膏ボードを用いた。強化石膏ボードは、通常の石膏ボードに比べ、割れやすい。</p> <p>また、石膏ボードメーカーの耐力壁の既往実験では、ボードの四周を留めるビスはボードにめり込みボードが外れるといった損傷が生じたが、ボード中央の下地とボードを留めるビスは最後まで性能を保った（図 1）。</p> <p>本実験でも、層間変形角が 1/75 のころより、ボード端部からのひび割れが生じることが確認されている。しかし、このひび割れは、層間変形角 1/400 という極めて小さい層間変形角でヒビが生じた。この理由として、ボードの端部に近すぎる箇所にビスを打ってしまったということが考えられる。ビスを打つ箇所がボードの端部に近すぎると、ボードの耐力が著しく低くなることが考えられる（縁端距離と支持強度低下の関係）。他にも、ビスを二度打ちしてしまった場合、その周辺のボードの耐力は落ちることが考えられる。理由を断定することはできないが、可能性としては上記のようなことが挙げられる（図 2）。</p> <p>ビス穴からのひび割れは、ボードのスタッドからの保持力を低下させてしまう。しかし、既往実験の通り、ボードの中間を留めているビス穴からは損傷がなかったため、即ボードが脱落するといったことは考えにくい。</p> <p>ただし保持力を元に戻すためには補修が必要である。また、この損傷は上張り側から発見、診断するは非常に困難である。特に 2 重張りであった場合は解体を伴わない限り不可能である</p> <p>原因の分析：</p> <div data-bbox="399 1142 1367 1523"><p>図 1 既往実験における損傷の様子</p><p>図 2 端部にビスを打つこと、 2 度打ちすることが与える影響</p></div> <div data-bbox="399 1590 1367 1971"><p>写真 1 室内側から見た終局状態の様子</p><p>写真 2 室外側からみた終局状態の様子</p></div>
--	--

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #004			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面2重張り)		
部品名：	スタッド 65 型		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめこみ)		
損傷の概要：	スタッドの歪		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/200(0~0.4)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400 	1/200	1/100
	1/75 	1/50	1/33
他の実験等での記載：	1/200 でスタッドの変形が生じたという報告 (2011) がある。		

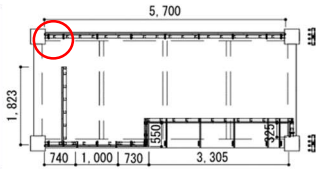
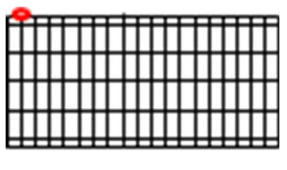


















<p>原因の 分析：</p>	<p>層間変形角が正方向に 1/200 の 40%、つまり 1/500 程度の時に、b 面のスタッド内部に歪が生じていることが確認された。ただし、この損傷は微小なものであり、施工時から存在するものである可能性がある。</p> <p>総じて、Bb 面には損傷が殆ど生じなかった。これは、Bb 面のスタッドは上下ともスラブに複数個所で固定されており、鉄骨の変形に追従しやすいからだと考えられる（図 1）。層間変形によりスタッドが傾くことでランナーが開くことや、スタッドがランナーから脱落してしまうことが考えられる。しかし、計算すると、1/33 時であっても面外への変形はわずか 1 mm、ランナーからの浮きは 1.3mm であることがわかる。よって塑性範囲までランナーが開くことや、スタッドが脱落するといった深刻な損傷は起こりにくいと考えられる（図 2）。</p> <p>歪が生じた原因は不明である。側面に貼ったボードが、鉄骨への追従性をわずかに下げ、その結果スタッドに負荷がかかったということが可能性としては考えられる。（写真 4）。</p> <p>また、本損傷は非常に軽微であり、特に修復の必要性は無いと考えられる。</p> <div data-bbox="427 761 1300 1344"></div> <p>図 1 鉛直壁の挙動</p> <p>図 2 鉛直壁によりランナーが開く大きさ</p> <div data-bbox="542 1422 1321 1870"></div> <p>図 3 損傷の様子</p> <p>写真 1 側面に貼ったボード</p>
--------------------	---

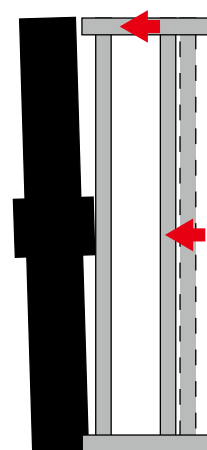
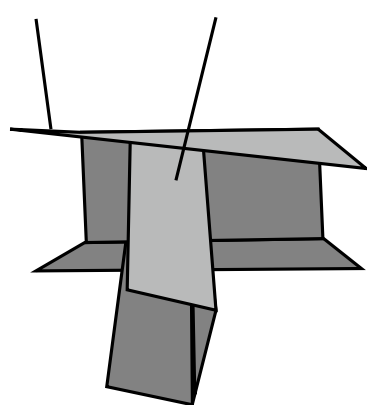

## 付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #005			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験(静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁(片面2重張り)		
部品名:	スタッド65型		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物(溶接)⇒ランナー(ビス)⇒スタッド(はめこみ)		
損傷の概要:	スタッドの移動(およびランナーの開き)		
損傷の発生箇所:			その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/200(0.8~-0.8)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400 	1/200	1/100
	1/75 	1/50	1/33 
他の実験等での記載:	1/400でスタッドの滑りが生じたと報告している既往研究2007.がある。ただし、フレームと壁の間にクリアランスのある試験体であった。		

<p>原因の 分析：</p>	<p>層間変形角が 1/100 の時に、ランナーの底面に傷がついているのが確認された。これはスタッドの水平移動によるものだと考えられ、1/100 の 100% 載荷から -100% 載荷する際に、動画撮影してみたところ、実際に移動していることが確認された。その後、室内側からみて左側から 4 本目のスタッドに対して、定規を付近に設置することでスタッドの移動距離を計測した（図 1）。</p> <p>1/100 の 100% から -100% の層間変形を与えた時、全体では負方向に 20mm 移動した。しかし、連続的に移動するのではなく、まず 8mm 程移動し、しばらく静止したのち、12mm 移動する（同時に少し上に持ち上がる）動き方をすることが観察された。このスタッドの移動の仕方および、載荷時に、A 面のボードの下角部が折れ曲がるという損傷が生じることからも、ボードおよびスタッドは図 5-2 のような動きをされると考えられる。</p> <p>a 面のボードが一体として動くとは仮定すると、鉄骨の層間変位から、両側にある鉄骨とボード間のシール材合わせて 10mm 分を引いた値の分、a 面およびスタッドは移動しているはずである（1/400:0mm, 1/200:5mm, 1/100:20mm, 1/75:30mm, 1/50:50mm, 1/33:80mm）。しかし、図 1 に示すように、実際はその半分以下しか移動していない。このことから a 面のボードは一体として動いていないことがわかる。実際には Aa 面に、図 3 に示すように、スタッド + ボードの水平移動（本損傷）、ボードの圧縮 + 折れ（損傷 #036, 037）、ボードのロッキング + 面外への変形（損傷 #038, 039）、ビスによるボードのひび割れ、抉り（損傷 #027 他多数）といった損傷が生じている。これらのバランスで、層間変形に追従しているのだと考えられる。</p> <p>なお、この損傷の診断は解体を伴わないと困難である。石膏ボードメーカーによると、石膏ボードの耐震方法としては、変形した時に耐えられるようにするのではなく、そもそも変形させないようにする方向で行っているとのことである。</p> <div data-bbox="399 913 1098 1254"><p>平坦側、北から 4 本目のスタッドの移動距離</p><p>図 5-1 スタッドの移動距離</p></div> <div data-bbox="383 1276 1340 1904"><p>写真 1、図 2 スタッドの移動により傷ついたランナー</p><p>スタッド</p><p>ランナーに傷がついていた</p><p>② ボードのロッキング + 面外への変形</p><p>③ ビスによるボードの抉り、ひび割れ</p><p>① スタッドごとのボードの水平移動</p><p>② ボードの圧縮 + 折れ</p></div>
--------------------	--

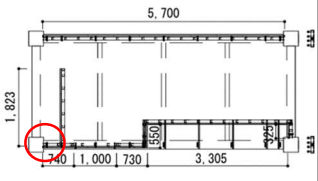
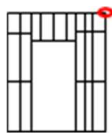

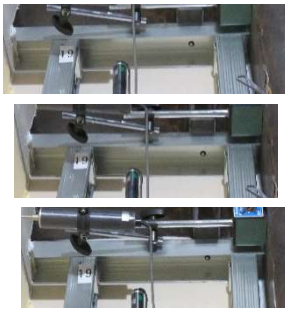
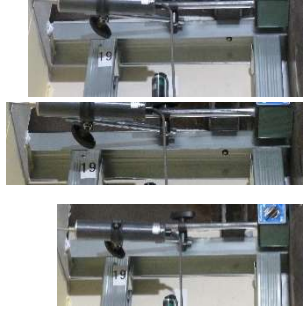
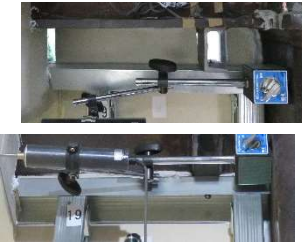


付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #006			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面2重張り)		
部品名:	ランナー65型 (上部)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス)		
損傷の概要:	端部の歪み、スタッドの開き		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/100 ただし、除荷時にも歪が残ることはなかった	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400 100%,-100%,載荷後	1/200 100%,-100%,載荷後	1/100 100%,-100%,載荷後
			
			
			
	1/75 100%,-100%,載荷後	1/50 100%,-100%,載荷後	1/33 100%,-100%,載荷後
			
			
			
他の実験等での報告:	同様の損傷が報告された例は見つけられなかった。		

<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#002 と同様に、上部ランナーの端部に歪が生じた。層間変形角が 1/100 頃から正載荷時に徐々に損傷が進行していった。</p> <p>損傷#002 と同様に、端部のスタッド付近で損傷が生じている。原因は損傷#002 と同じく、スタッドが鉄骨のジョイントによって拘束された結果、ランナーと間に摩擦力が生じたことだと考えられる（図 1）。損傷#002 に比べてひずみが小さいのは、スタッドが回転する挙動をみせたことが原因と考えられる。</p> <p>また、同箇所では、正方向の載荷時にランナーの手前側のフランジが開くことが確認された。これは、スタッドの回転する挙動によるものだと考えられる（図 2）。</p> <p>この挙動が何回も繰り返し行われると、残留変形が残り、スタッドがランナーから外れるということが考えられる。</p> <div data-bbox="399 739 1292 1299"><div><p>左端部のランナーは鉄骨のジョイントに拘束されて左方向へ水平移動ができない。そのため、このスタッドと上部ランナー間には摩擦力が生じる。この結果、上部ランナーに歪が生じたのだと考えられる。</p></div><div><p>ランナー の開き</p><p>スタッド</p></div></div> <p>図 1 損傷が生じた原因の考察</p> <p>図 2 スタッドの回転によりランナーが開く様子</p> <div data-bbox="399 1388 1324 1814"></div> <p>写真 1 1/33 100%載荷時の様子</p>
---------------	--



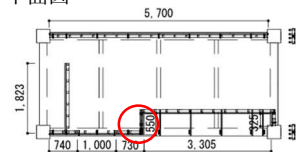
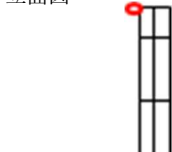


















付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート




損傷データシート #007			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ランナー65 型 (上部)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス)		
損傷の概要：	端部の歪み		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/200(0.8⇒-0.8)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告：	同様の損傷が報告された例は見つけられなかった。		



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/200 の 80%のときに上部ランナーの端部で歪が確認された。他のランナー端部で確認された同様の損傷との違いは、正負両方の載荷時に歪が確認されたことである（写真 1）。損傷 #002、006 と同様に、端部のスタッドが鉄骨のジョイントで動きが拘束されていることが、ひずみが生じた原因だと考えられる（図 1）。</p> <p>反対方向に載荷したときも損傷が残った理由は不明である。しいて言えば、ランナーが Bb 面をまたぐ際にフランジが切り取られていること（写真 2）、もしくは、付近にスタッドより剛性の高い開口補強材および扉枠が取り付けられていることが関係している可能性がある</p> <p>この程度の歪であれば、スタッドが拘束されること、ランナーが開くことは生じないと考えられる。よって、特に補修の必要性はないといえる。</p> <div data-bbox="435 678 1313 1279"></div> <p>写真 7-1 上：層間変形が 1/33 100%載荷時の様子 下：層間変形が 1/33 -100%載荷時の様子</p> <div data-bbox="448 1391 632 1789"></div> <p>右端部のランナーは鉄骨のジョイントに拘束されて右方向へ水平移動ができない。そのため、このスタッドと上部ランナー間には摩擦力が生じる。この結果、上部ランナーに歪が生じたのだと考えられる。</p> <div data-bbox="868 1382 1326 1762"></div> <p>写真 2 Bb 面を貫通するランナー</p> <p>図 1 損傷が生じた原因の考察</p>
---------------	--

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #008			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面2重張り)		
部品名:	ランナー65型 (上部)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス)		
損傷の概要:	ランナーの開き		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生状況:	層間変形角: 1/400	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
			
			
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
			
			
他の実験等での報告:	同様の損傷が報告された例は見つけられなかった。(非吊り天井の実験がないためと考えられる) クランク部の既往実験でも、ボード脱落に関してのみ報告がされていた。		

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/400 程度するときより、d 面の上部のランナーが開くような挙動をすることが確認された。層間変形角が 1/75 の時にランナーからスタッドが外れかけ（写真 1）、1/50 の時にランナーがスタッドから 2 つ外れ、除荷時そのまま変形が残った（写真 2）。1/33 載荷後は、1/50 載荷後から特に変化ない（写真 3）。</p> <p>図 2 に d 面の構成、図 3 に載荷時のそれぞれの挙動について示す。正載荷時は基本的に構造躯体の変形に追従する。しかし、負方向の載荷時は、追従しない Ee 面と追従する Cc 面によって、Dd 面は上からみて反時計回りの方向に回転するような力を受ける。ただしランナーは先行ピースと接合されているため回転に追従できず、結果としてランナーが開くような力が生じたのだと考えられる。（いずれも損傷 #001 で説明したことと同内容）</p> <div data-bbox="445 645 1318 1079">A photograph showing the internal structure of a dry partition wall after a 1/75 load. Two vertical metal runners are visible, labeled with white tags '39' and '45'. The runners are slightly separated from the wall panels.</div> <p>写真 1 1/75 載荷後の様子</p> <div data-bbox="448 1135 1305 1534">A photograph showing the internal structure of a dry partition wall after a 1/50 load. The runners labeled '39' and '45' are more visibly detached from the wall panels compared to the previous load stage.</div> <p>写真 2 1/50 載荷後の様子</p> <div data-bbox="448 1603 1305 1924">A photograph showing the internal structure of a dry partition wall after a 1/33 load. The runners labeled '39' and '45' remain in their original positions, showing no significant change from the 1/50 load stage.</div> <p>写真 3 1/33 載荷後の様子</p>
---------------	---

ランナーからスタッドが外れることは壁の脱落に直結するため、早急に修復もしくは人が近寄らないように処置する必要がある。Dd 面の下張りボードおよびスタッドが、ランナーに対して回転するような動きをしたため生じた損傷である。この損傷を防ぐためには、①壁が回転しないようする、②回転にランナーが追従できるような作りにする、といった方法が挙げられる。

①壁が回転しないようにすることについて

これを実現する方法として、まず、梁下から壁を持ち出さないということがある。そもそも、持ち出し部分を作らなければ、今回のような損傷が生じることはない。しかし、ホテルやオフィスなどでどうしても部屋割りの都合上、間仕切り壁を構造の梁とは違う位置に持ってくる必要がある場合がある。それでも、持ち出す長さを短くすればするほど、回転はしにくくなる。

次に、先附金物、先行ピースといった金物の強度を上げる（厚みを増すなど）、接合部を強くする（ピンの数を増やす、溶接する）ことが方法としてあげられる。

②回転にランナーが追従できるようにすることについて

例えば、ランナーと先行ピースの接合部を鉄骨の真下の一か所の身にすれば、ランナーが根本を軸に水平方向に回転できるような作りになる。このようなつくりになればスタッドがランナーから脱落することは無いと考えられる。しかしこの場合、ランナーは根本でしか接合されていないカンチレバーになる。壁から受ける応力が1点に集中してしまい、地震時にも無事でいられるとは考えにくい。

以上のことから、鉄骨梁から乾式間仕切り壁を持ち出すようなプランにはなるべくしない、どうしても必要がある場合は持ち出し長さを短くすることが、この損傷を防ぐうえでは重要であるといえる。

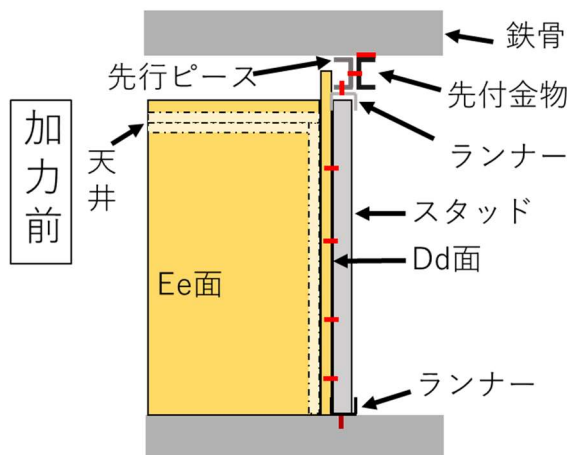


図2 Dd面周辺の構成

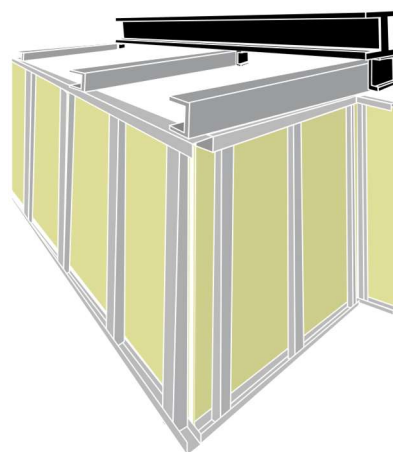
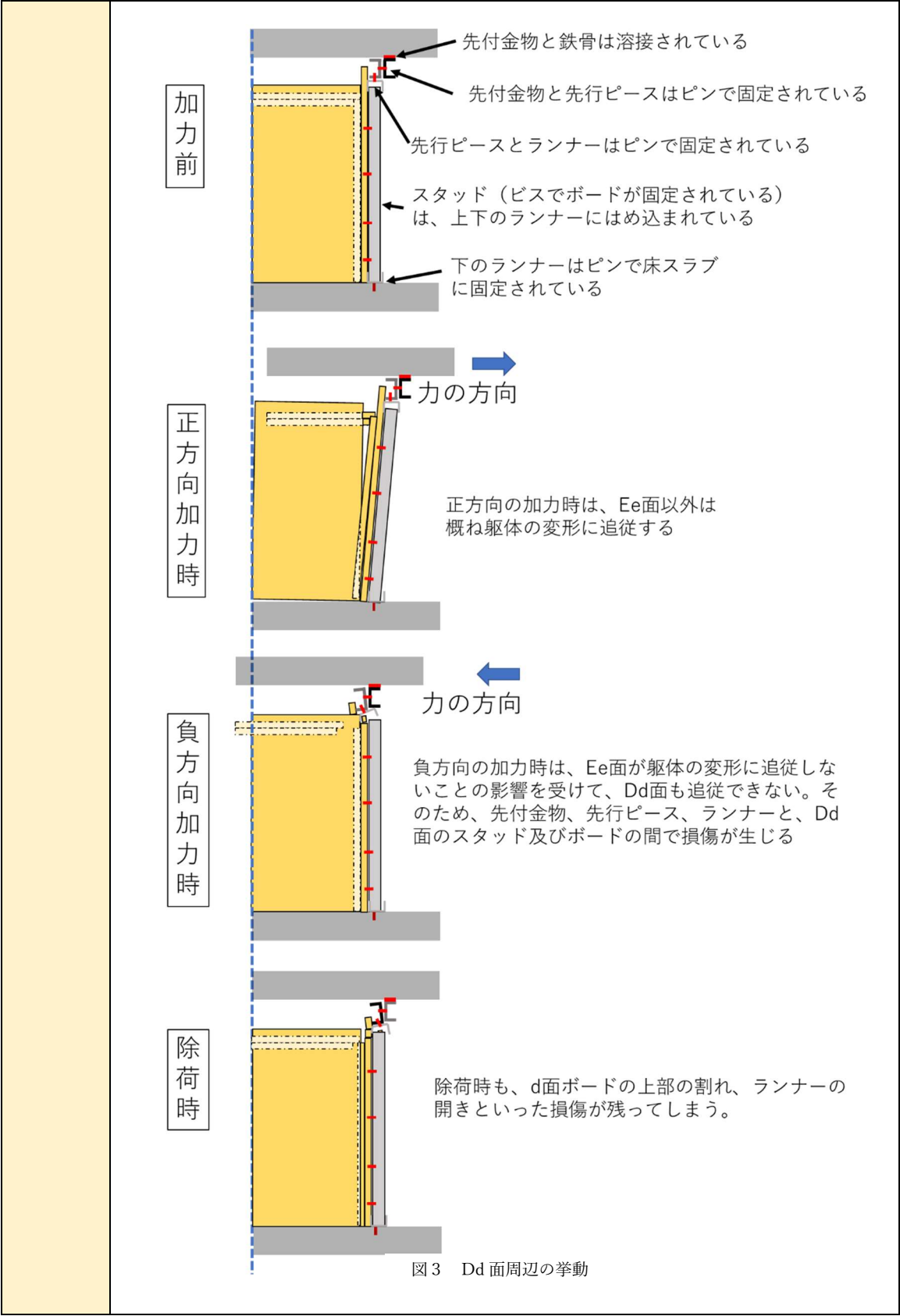
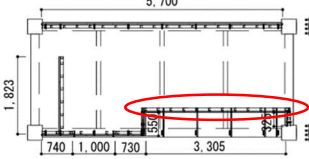
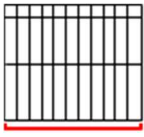


図4 Dd,Ee,Cc面の様子





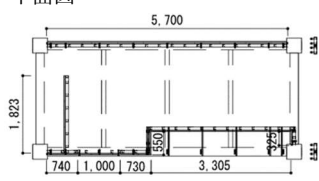
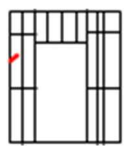

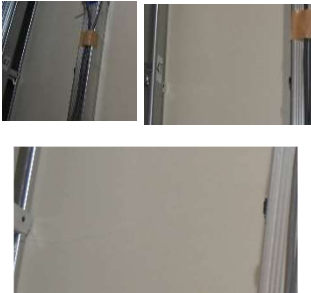


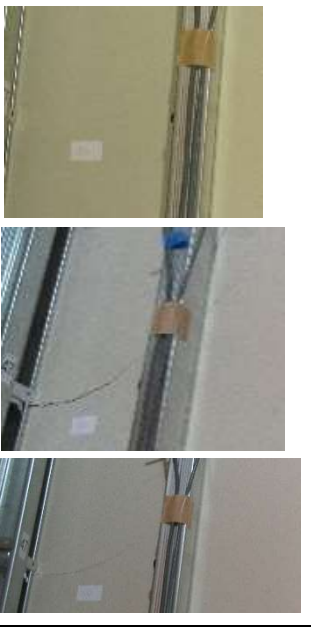
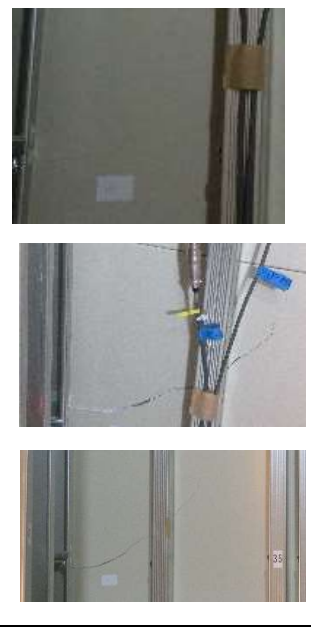
付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #009			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験（静的載荷）		
部材名：	乾式間仕切り壁（片面2重張り）		
部品名：	スタッド		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物（溶接）⇒先行ビース（ピン）⇒ランナー（ビス）⇒スタッド（はめ込み）⇒下張りボード（ビス）⇒上張りボード（接着剤＋ステープル）⇒塗装		
損傷の概要：	スタッドの移動		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/100(0.4⇒-0.4) 1/400(100%,-100%, 除荷時)	加速度：無し 1/200(100%,-100%, 除荷時)	その他 1/100(100%,-100%, 除荷時)
損傷の様子：	1/75(-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時)
他の実験等での報告：			

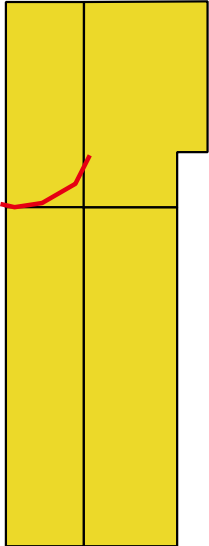




<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#005 同様、ランナーについた傷により、スタッドが水平移動していることが、層間変形角 1/100 の-40%の時に確認された。更に載荷時に、端部周辺のスタッドが浮くことも確認された（写真1）。</p> <p>Ee 面ではスタッドの浮き上がりが確認され、Aa 面では確認されなかった理由について考察する。まず、Aa 面は真上に鉄骨梁があり、Ee 面は鉄骨から持ち出されていたことが挙げられる。つまり、長い先行ピースにより持ち出されていると、上から押さえつける力が比較的弱くなると考えられるため、Ee 面はスタッドが浮き上がったといえる（図1）。</p> <p>しかし、Aa 面も上部スタッドとランナーの間（鉛直方向）にはクリアランスがあるため、物理的には Aa 面でスタッドの持ち上がりが起きる可能性はある。実際、ランナーに付いた傷は連続的でないことから、移動時は多少浮いていることが考えられる。それでも、Ee 面に比べて顕著でなかった理由として、Aa 面に比べて、Ee 面は面積が小さく、重量も半分ほどであったことが考えられる。また、本実験は静的載荷実験であったため、ランナーとスタッドの摩擦力が実際の地震時以上に効いてしまった可能性も考えられる。</p> <div data-bbox="523 757 1257 1305"></div> <p>写真1 1/100 の 80%載荷時、スタッドが浮く様子</p> <div data-bbox="523 1373 1289 1877"></div> <p>Ee 面は鉄骨梁から持ちだされているため、他の面と比べて面としてロッキングしやすい。</p> <p>図1 Ee 面がロッキングしスタッドが浮く様子</p>
---------------	--

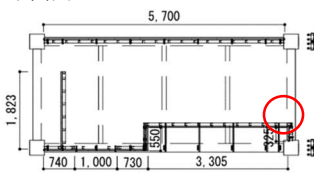
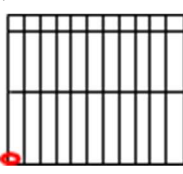
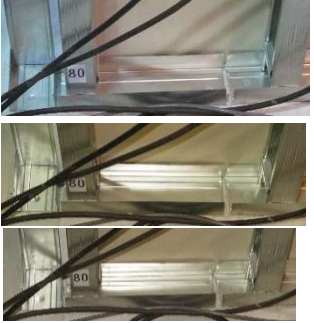

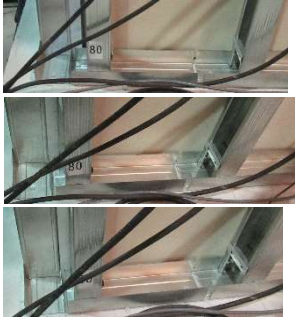



付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #010			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付け乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21 mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ボードのひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/200	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%, -100%, 除荷時) 
	1/75(100%, -100%, 除荷時) 	1/50 (100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告：			



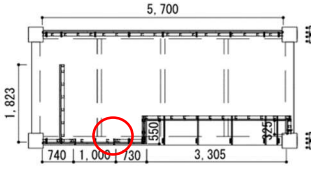
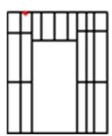

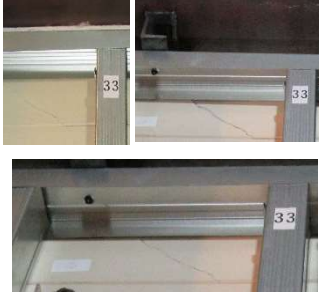
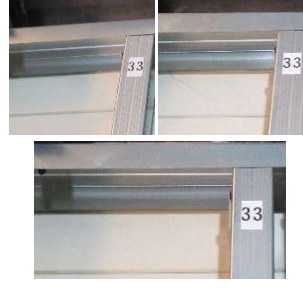

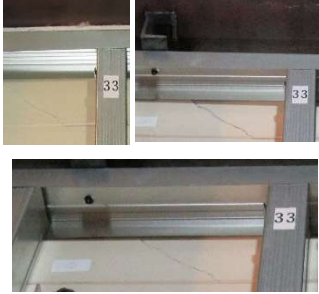
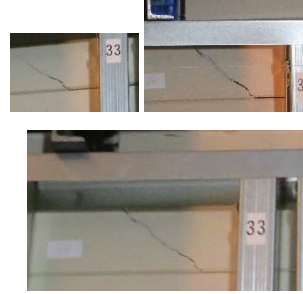
<p>原因の分析：</p>	<div data-bbox="400 264 813 840"><p>層間変形角が 1/200 の時に、c 面において d 面との境付近にてボードのひび割れが生じた。その後、負方向の載荷時にひび割れが進行していった（写真 1、2）。</p><p>ひび割れの箇所は上張りの目地と大体一致している（図 1）。そして、同目地は、負載荷時に面ごとのロッキングにより開くことが他の損傷より考えられる（詳しくは損傷#040-049 参照）。つまり、異なる動きをするボードに接着されていることが原因で生じたヒビ割れだと考えられる。</p><p>なお、ひび割れが下張りボードに生じたとしても、上張りボードも含め、隙間が除荷時に貫通していなければ耐火性、密封性に致命的な損傷はない。</p></div> <div data-bbox="1002 297 1211 840"></div> <div data-bbox="831 860 1345 889"><p>図 1 ひび割れを上張りボードの割目に投影した様子</p></div> <div data-bbox="485 927 1303 1364"></div> <div data-bbox="708 1379 1114 1408"><p>写真 1 1/200 の層間変形を与えた後の様子</p></div> <div data-bbox="461 1431 1324 1886"></div> <div data-bbox="722 1899 1118 1928"><p>写真 2 1/33 の層間変形を与えた後の様子</p></div>
---------------	--

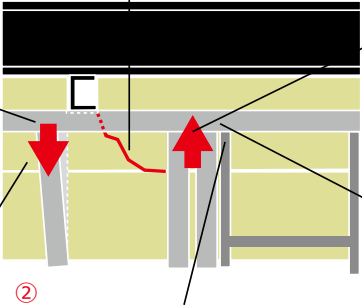
付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #011			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	スタッド(56 型)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要:	スタッド下部の捻じれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/100(0.6⇒-0.6)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告:			

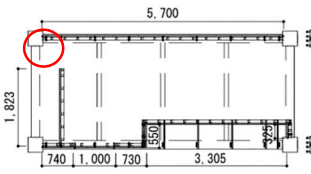
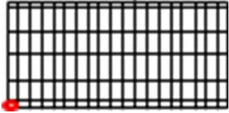
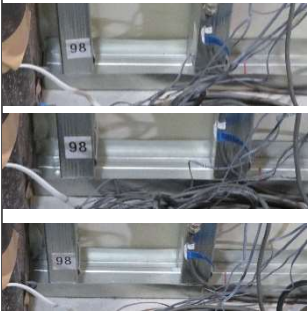

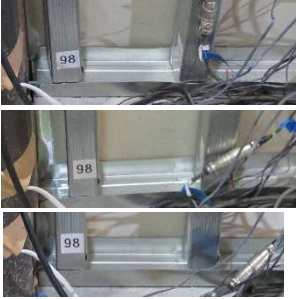

<p>原因の分析：</p>	<p>e 面のスタッドで、載荷時に水平移動することが確認されたもの（損傷#009）について、さらに移動時にスタッドが振れながら移動するということが分かった（写真 1、2）。</p> <p>振れる理由として、ボードがスタッドを引っ張るのに対し、ランナーとスタッドの間に摩擦力が生じスムーズに水平移動させないことが原因だと考えられる（図 1）。</p> <p>1/100 以降は正載荷時には右方向、負載荷時には左方向に移動していることがはっきりとわかる 1/50 の各写真を見ると、正載荷時の変形量のほうが、負載荷時の変形量より大きい傾向にあることがわかる。このことは、損傷 # 001、損傷#008 で考察したものと合致する。</p> <div data-bbox="489 584 1259 864"></div> <p>写真 1 1/100 100%載荷時の様子</p> <div data-bbox="483 994 1254 1305"></div> <p>写真 2 1/100 -100%載荷時の様子</p> <div data-bbox="448 1451 1289 1733"></div> <p>図 1 ランナーが開く様子</p>
---------------	--

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #013			
実験/調査の日	2019/03 (建築研究所)		
付と名称:	鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	ボード (下張り、21 mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要:	ボードのヒビ割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/100(1⇒-1)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/100 の-100%の時に、開口部の上付近に生じた下張りボードのひび割れ。各載荷時の写真から、負載荷時にヒビが広がることがわかる。</p> <p>また、写真 1 より、先付金物を取付けるための切り欠け部分のコーナーからひび割れが生じたと考えられる。(上張りの目地位置とも一致しない)。</p> <p>写真を見ると、ひび割れの左側のボードは、左下方向にわずかに傾くように動いているが、ひび割れの右側のボードは下のボードに対して水平を保っていることがわかる(写真青丸の部分)。また、開口補強材(縦)とランナーが接触している部分を見ると、ランナーの上面がやや膨らんでいることがわかる(写真赤丸の部分)。このことから、図 1 に示すように部材が挙動した結果、ボード面内にせん断力が生じ、切り欠け部分に応力が集中しひび割れが発生したのだと考えられる。</p> <div data-bbox="411 656 1356 1176"><p>⑤ ④の結果、ボード面内にせん断力が生じ、切り欠け部分に応力が集中しひび割れが発生する</p><p>① 加力時は層間の間隔が狭くなる。先付金物の付近のランナーとスタッドは下方向の力を受ける</p><p>② その結果、ボードも下方向の力を受ける</p><p>③ ②の結果、開口補強材(縦)付近のランナーは下に下がらない</p><p>④ ③の結果、隣の開口補強材(縦)の隣のスタッドは下方向の力を受けない</p><p>② 開口補強材は剛的な枠になっているため、ロッキングできない</p></div> <p>図 1 ひび割れ付近の部材の挙動</p>
	<div data-bbox="434 1276 1359 1863"></div> <p>写真 1 1/33 -100%載荷時の様子</p>

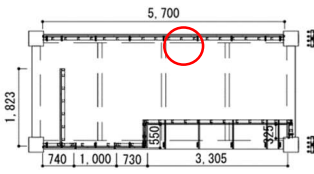
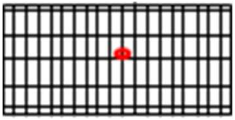

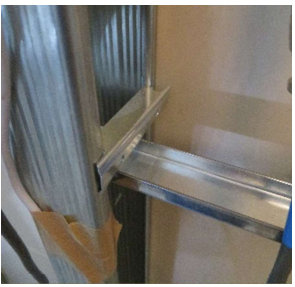


付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #014			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	スタッド(65 型)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み)		
損傷の概要:	スタッドの捻じれ、ランナーの開き		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/100(0⇒0.8)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告:			



<p>原因の分析：</p>	<p>a 面のスタッドで、載荷時に水平移動することが確認されたもの（損傷#005）について、さらに移動時にスタッドが振れながら移動することが分かった（写真 1、2）。</p> <p>振れる理由として、ボードがスタッドを引っ張るのに対し、ランナーとスタッドの間に摩擦力が生じスムーズに水平移動させないことが原因だと考えられる（図 1）。</p> <p>なお、負載荷時に鉄骨とボードの間に隙間がみられるが、これは損傷#005 の分析と合致している。</p> <div data-bbox="416 611 1323 956"></div> <div data-bbox="740 969 999 996"><p>写真 1 1/33 100 時の様子</p></div> <div data-bbox="419 1104 1342 1433"></div> <div data-bbox="732 1449 999 1476"><p>写真 2 1/33 -100 時の様子</p></div> <div data-bbox="454 1579 1294 1863"></div> <div data-bbox="764 1897 1023 1924"><p>図 1 ランナーが開く様子</p></div>
---------------	---

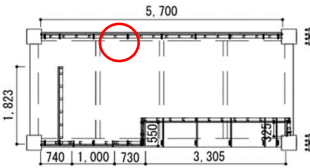




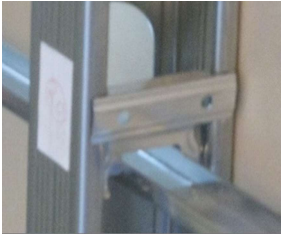
付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

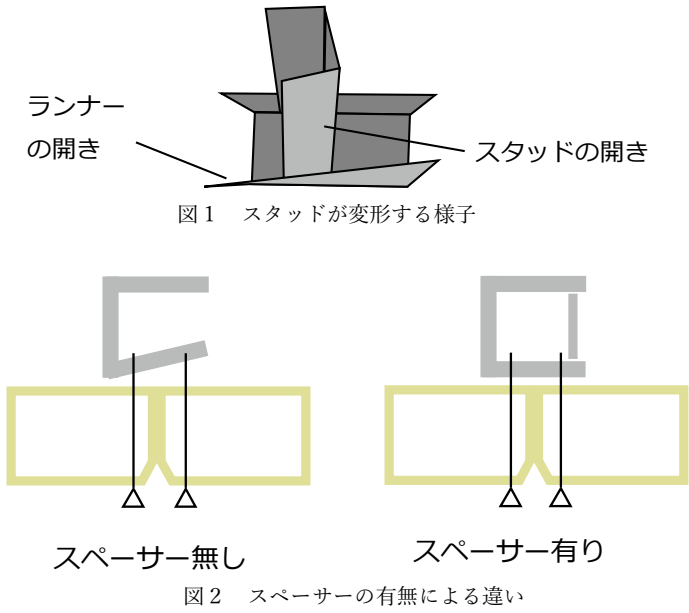

損傷データシート #015			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	スタッドのスペーサー		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒スペーサー (はめ込み)		
損傷の概要:	ツメが片方外れる		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/100(0⇒0)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33 (繰返し載荷 12 回、除荷時) 
他の実験等での報告:			



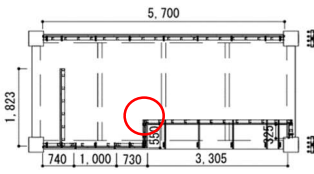

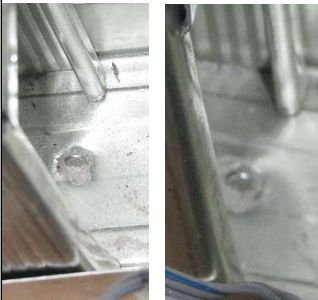
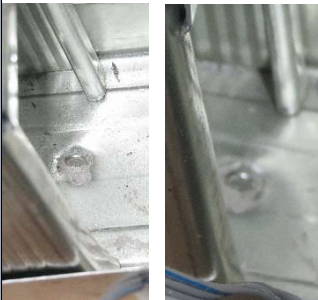

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/100 の時に、a 面中央のスタッドにはめられていたスペーサーのツメが片方脱落していることが確認された（写真 1）。損傷#014 と同様にスタッドが振れ、その結果ツメが片方外れたのだと考えられる（図 1）。</p> <p>スペーサーは施工の効率を上げるために設置しているだけである。ボードとスタッドをビスで接合するとき、スペーサーが無いとスタッドが変形しビスが充分に入らない（図 2）。</p> <p>スペーサーのツメが外れることや、脱落は、耐震性には特に寄与しない。よって、補修は特に必要ない。なお、スペーサーが脱落すると、ちょっとした振動で金属音がするようになる。これは損 傷 診断に用いることができる可能性がある。</p> <div data-bbox="550 627 1204 817"></div> <p>図 1 スタッドが変形する様子</p> <div data-bbox="550 896 1236 1198"></div> <p>図 2 スペーサーの有無による違い</p> <div data-bbox="558 1265 1260 1848"></div> <p>写真 1 1/100 を与えた後の様子</p>
---------------	---


## 付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #016			
実験/調査の日付と名称：		2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)	
部材名：		乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)	
部品名：		スタッドのスペーサー	
取付け方法：		鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒スペーサー (はめ込み)	
損傷の概要：		ツメが片方外れる	
損傷の発生箇所：	平面図	立面図	その他
			
発生時の状況：	層間変形角：1/200(2 回目)(0.4⇒-0.4)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	<div></div>	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33 (繰返し載荷 12 回目、除荷時) 
他の実験等での報告：			




<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/100 の時に、a 面中央のスタッドにはめられていたスペーサーのツメが片方脱落していることが確認された（写真 1）。損傷#014 と同様にスタッドが捩れ、その結果ツメが片方外れたのだと考えられる（図 1）。</p> <p>スペーサーは施工の効率を上げるために設置しているだけである。ボードとスタッドをビスで接合するとき、スペーサーが無いとスタッドが変形しビスが充分に入らない（図 2）。</p> <p>スペーサーのツメが外れることや、脱落は、耐震性には特に寄与しない。よって、補修は特に必要ない。なお、スペーサーが脱落すると、ちょっとした振動で金属音がするようになる。これは損 傷診断に用いることができる可能性がある。</p> <div data-bbox="555 622 1246 1232"><p>図 1 スタッドが変形する様子</p><p>図 2 スペーサーの有無による違い</p></div> <div data-bbox="507 1283 1310 1883"></div> <p>写真 1 1/200（2 回目）-40% 載荷時の様子</p>
---------------	--

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #017			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ランナー (下部、65 型)		
取付け方法：	スラブ⇒ランナー (ビス)		
損傷の概要：	スラブと留めるビスがズレて埋まっている		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/75 (0⇒1)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%) 	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33 (繰返し載荷 12 回目、除荷時) 
他の実験等での報告：			

	<p>層間変形角が 1/75 の時、d 面の下部のランナーとスラブを繋ぐビスがズレて埋まっていることが確認された（写真 1、写真 2）。</p> <p>ビスの倒れ方、ビス穴の広がり方から、ランナーは写真における手前方向に変形したと考えられる。これは Ee 面に正載荷時に押されたことが原因だと考えられる。損傷#001、005 で説明したように、正載荷時には Ff 面の上部が Ee 面を押し出すことがわかっている。その結果、損傷#009 でした通りスタッドごとボードが水平移動することが分かっている。そして押し出された Ee 面が、Dd 面の下部のランナーに接触したのち、圧迫したことでランナーが変形したのだと考えられる（図 1）。</p> <p>なお、1/33 を繰り返し与えた結果、ピンが抜けた</p> <div><div><p>載荷前</p></div><div><p>載荷時</p></div></div> <p>図 1 載荷時のランナーの挙動</p>
原因の分析：	<div><p>写真 1 1/75 100%時の様子</p></div> <div><p>写真 2 1/75 -100%時の様子</p></div>

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #018			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21mm)、スタッド (65 型)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ビスによるボードの抉り		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/75(1⇒-1)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告：			

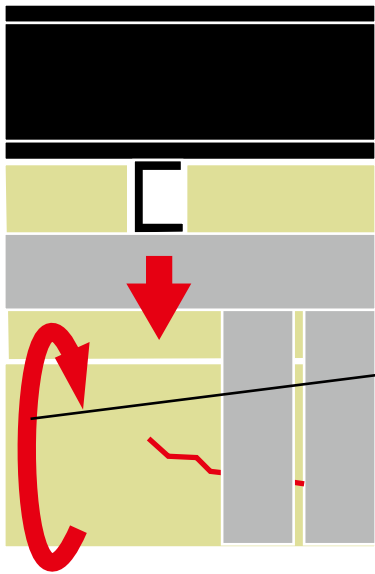



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/75 の-100%の時にスタッドと下張りボードを留めているビスにより、ボードが挟られていることが確認できた。負荷荷時に写真のような挟ったあとがみられる。構造躯体の変形にスタッドは追従したが、ボードは追従しなかったことから生じたものだと考えられる。</p> <p>写真から断定することは難しいが、1/50 以降は挟ったあとが確認できなくなっているように見える。これは、天井とのシーリングが完全に切れたこと、Dd 面、Ff 面との間に除荷時も隙間が残るようになったことで、周囲の変形にもボードも追従しなくなったためと考えられる。</p> <p>本損傷やビスからのひび割れといったビス穴を広げる損傷は、ボードのスタッドからの脱落に寄与する点で、耐震性を下げるといえる。しかし、他のビスが無事であるため、致命的な損傷とはならない。また、下張りボードに空いた穴は、上張りボードが覆っていれば遮音性、耐火性に深刻な影響は与えないと考えられる。ただし、各性能を元に戻すためには補修が必要である。なお、下地側の微小な損傷であるため、通常の建物であっては診断が非常に困難である。</p> <div data-bbox="507 813 1356 1149"><p>図 1 ビスによるボードの挟り</p></div> <div data-bbox="644 1240 1027 1872"></div> <p>写真 1 1/75 -100 時の様子</p>
---------------	--

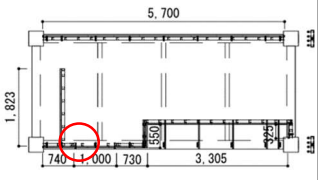
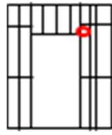
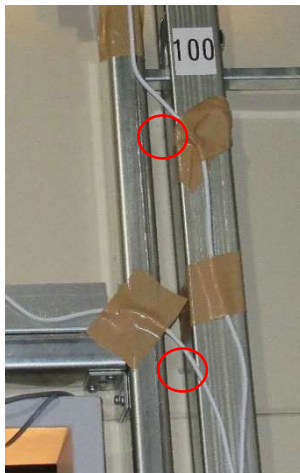
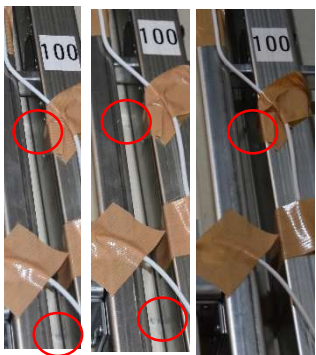
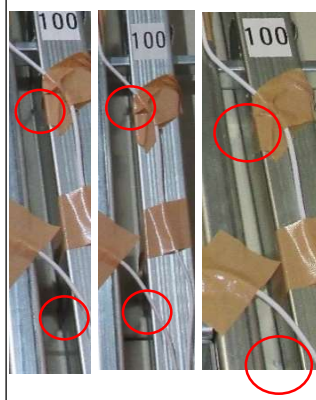
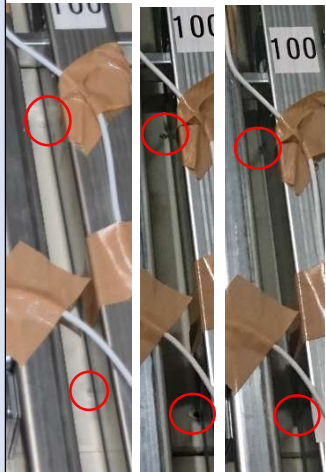
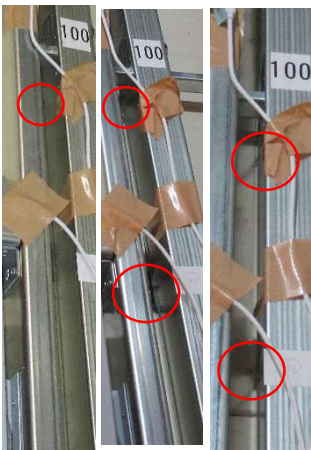

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #019			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	ボード (下張り、21mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要:	ボードひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/75(0⇒1)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時)
			
			
他の実験等での報告:			



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/100 の 100%の時に、開口部の上部で下張りボードにひび割れが確認された。各載荷時の写真から、負載荷時にヒビが広がる事がわかる。</p> <p>石膏ボードメーカーによると、面外方向にボードが変形した結果生じたひび割れに見えるとのことであった。つまり、載荷時に鉄骨から下方向の力を受けた結果、ボードに、面外方向に折るような力がかかったと考えられるとのことであった（図1）。ひび割れが生じた位置としては、ビス穴である可能性が高い。</p> <p>なお、耐震性、耐火性、密閉性に致命的な影響を与える損傷ではない。</p> <div data-bbox="518 600 1244 1171"><p>層間距離が小さく なった結果、ボード に圧縮力がかかった</p><p>その結果、ボードに ひび割れが生じた</p></div> <p>図1 ボードのひび割れの原因</p> <div data-bbox="411 1303 1339 1632"></div> <p>写真1 1/75 100%時の様子</p>
---------------	---

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #020			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21mm) スタッド (65 型)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ビスによるボードの抉り		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/75(0.8⇒-0.8) ?	加速度：無し	その他
損傷の様子：	載荷前 	1/200(100%,-100%,除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-80%, 除荷時) 
他の実験等での報告：			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/75 の 80%の時に、開口部付近で、ビスによるボードの挟りが 2 ヲ所で同時に確認された。</p> <p>載荷前（施工時）よりビス穴のようなものがスタッドの付近の 2 ヲ所で確認することができる(写真 1)。しかし、1/75 の負載荷時には、明らかにより大きい穴がスタッド裏から見えている（写真 2 赤丸）。更に同写真の下の方の赤丸部分をよく見ると、ビスによる挟りと考えられる穴の左上に、小さい穴のような傷があることがわかる。これが施工時にスタッドの付近で確認されたビス穴であり、施工時のビスの打ち直しの時に生じたものだと考えられる。</p> <p>1/33 の載荷後（写真 3）をみると、下方ではビスがボードを破りちぎったことが確認できる。更には、右下角が押しつぶされているように見える。</p> <p>なお、同箇所は上張りボードにひび割れが生じた箇所である。そのため、層間変形角 1/50 を与えた後は、上張り側から下地側が貫通してみえた。これは耐火性、密閉性を低下させる損傷である。</p> <div data-bbox="429 750 963 1836"></div> <p>写真 1 実験前の様子 ビス穴が見えている（赤丸部分）</p> <div data-bbox="994 750 1366 1836"></div> <p>写真 2 層間変形角-1/75 時の様子</p>
---------------	--

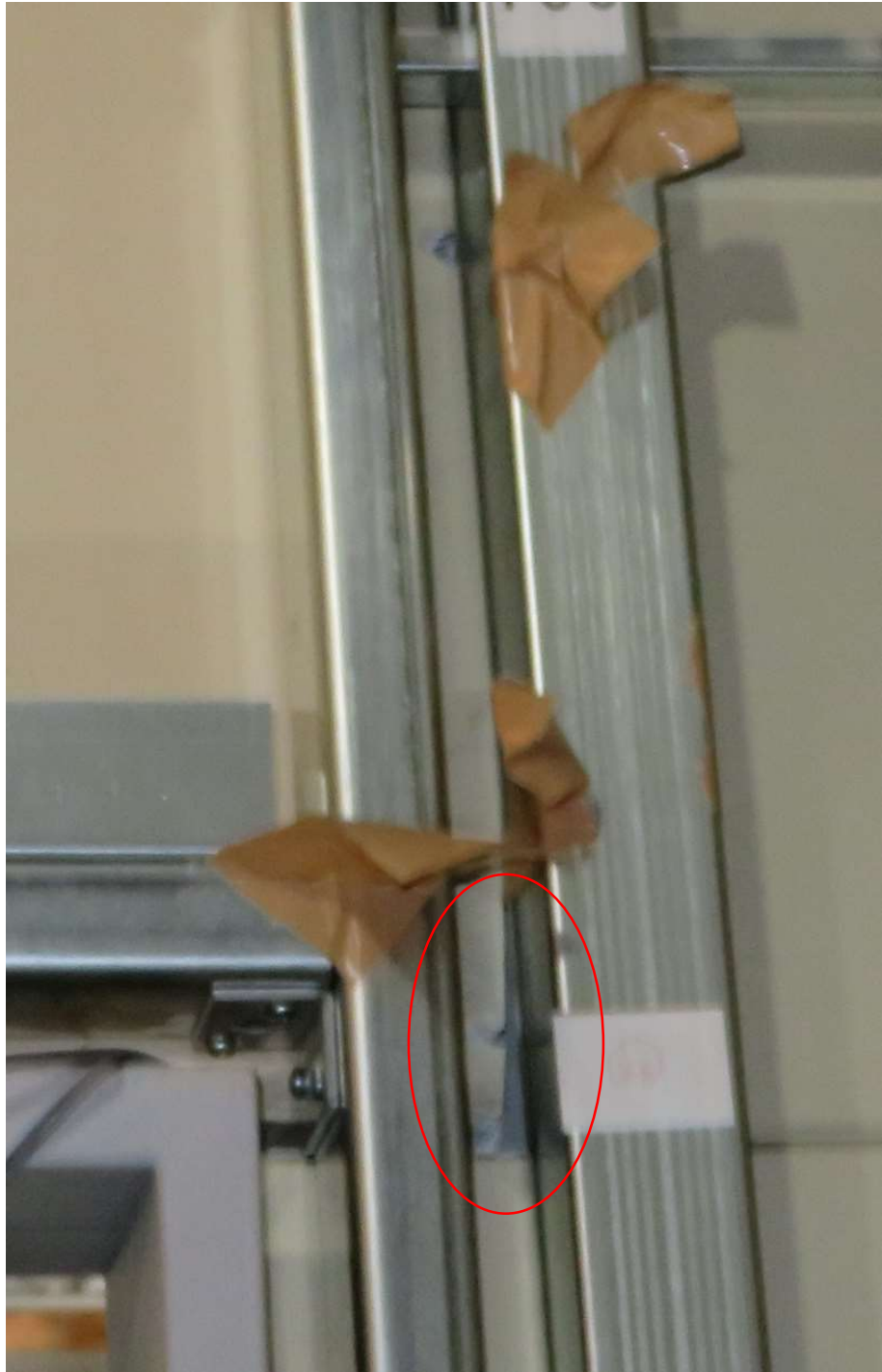


写真 3 1/33 の層間変形を与えた後の様子

このような激しい損傷が生じた理由は2つあると考えられる(図1)。

まず開口部周辺のボードはそれぞれ異なるロッキングの程度を示すことが挙げられる。層間変形を与えると、スタッドが斜めになり、ボードはロッキングする挙動を基本的に示す。しかし、開口補強材は枠として固定されているため、横材が常に水平を保つ。その結果、開口補強材の上にあるボードはロッキングする挙動が拘束される。この2つの異なる挙動を隣り合うボードがするため、ボード間に衝突が生じたことが第一の理由として考えられる。

もう一つの理由は、スタッドとボードの挙動に差により、ビスがボードを挟んだことが挙げられる。これは損傷#018と同様の現象である。

以上の現象が起きた結果、ボードが変形する、ビスがボードから脱落するといった損傷が生じたと考えられる。

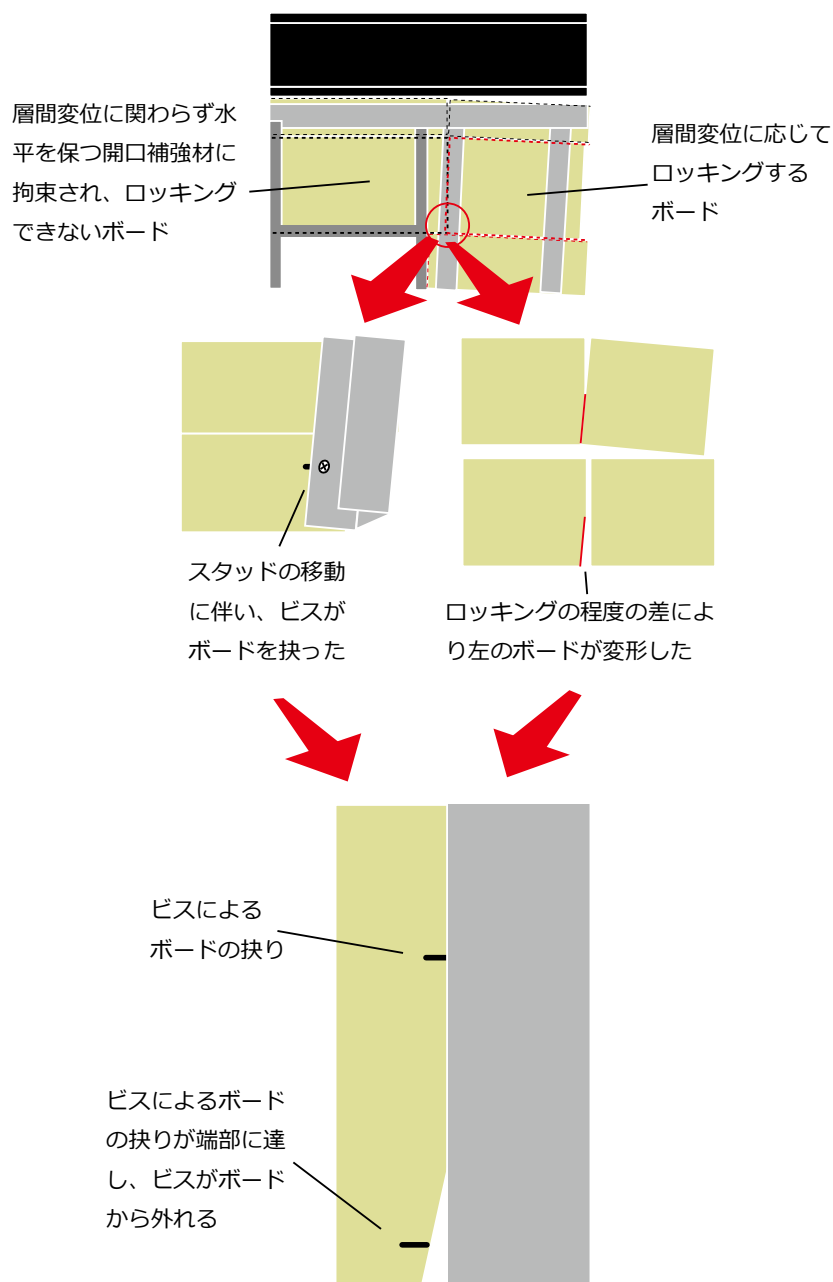
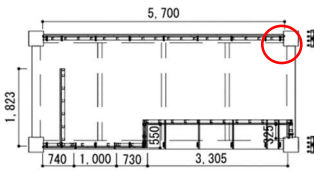
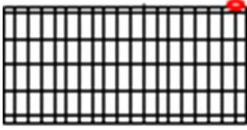


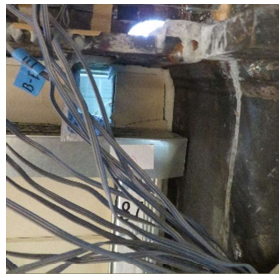


図1 損傷が生じたメカニズム



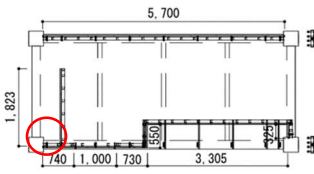
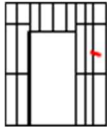
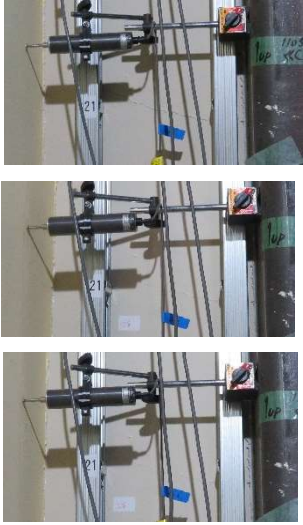

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート # 021			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	ボード (下張り 21 mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要:	ボード罅割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/75(0⇒0.8)?	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%) 	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(12 回の繰り返し載荷後) 
他の実験等での報告:			

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/75 の 80%、つまり 1/94 程度の時に、a 面の室内側からみて右上角部にてひび割れが確認された。図 1、写真 1 に、損傷の様子を示す。</p> <p>正載荷時に角が鉄骨に押し付けられ、先附金物用の切り欠け部分に応力が集中した結果ひび割れが生じたと考えられる。なお、A 面においては 1/200 の時点で、同箇所でもヒビが生じている。</p> <p>実際の建物では、鉄骨および先付金物には耐火被覆を施す。試験体では先付金物のコの字で囲まれた部分は空洞になっているが、実際の建物では耐火被覆で覆われてしまう。つまり、耐火被覆が施された建物においては、上部ランナーより上の損傷は、実験結果と変わってくる可能性がある。</p> <div data-bbox="774 633 1048 999"></div> <p>図 1 損傷の様子</p> <div data-bbox="454 1095 1369 1874"></div> <p>写真 1 1/75(80%)時の様子</p>
---------------	---

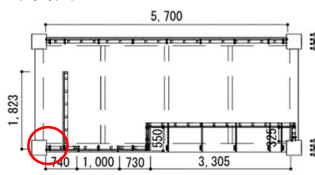
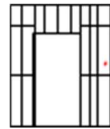
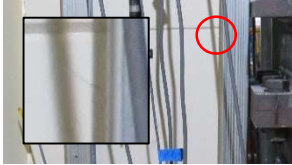
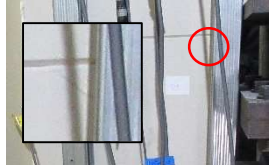

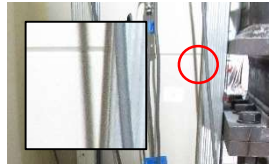
付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #022			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ボードひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/50(0⇒0.8)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告：			



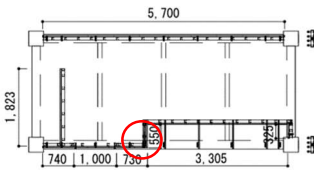



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/50 の 80%、つまり 1/63 程度の時に c 面の室内側からみて右側にて、下張りボードにひび割れが生じた。以降、正載荷時にヒビが開くことが確認されている(写真 1、2)。</p> <p>上張りボードの目地と位置が概ね一致しており、上張りボードの面ごとの変形によってヒビが生じたものとも考えられるが、該当する上張りボードの目地間に塗装のヒビは生じていない。</p> <p>ひび割れが生じた理由として、鉄骨柱のジョイントと開口補強材に挟まれたボードに圧縮力が生じたことが考えられる(損傷#023 の図 1)。鉄骨柱のジョイント部分は柱の他の部分に比べて飛び出たつくりになっている。そして開口補強材は層間変形を与えたときであってもスラブに対して鉛直を保ち続ける。その 2 つに挟まれたボードには圧縮力（もしくはせん断力）が生じると考えられる。そしてひび割れが生じた箇所は、圧縮力が生じると考えられる箇所と一致する。</p> <div data-bbox="429 772 1323 1317"></div> <p>写真 1 層間変形角 1/50 を与えた後の様子</p> <div data-bbox="437 1408 1324 1892"></div> <p>写真 2 層間変形角 1/33 を与えた後の様子</p>
---------------	--

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #023			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ボードひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況：	層間変形角：1/50(0⇒0.8)	加速度：無し
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時)
			
			
他の実験等での報告：			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/50 の 80%、つまり 1/63 程度の時に c 面の室内側からみて右側にて、下張りボードにひび割れが確認された。損傷#022 のすぐ下に位置し、同タイミングで生じている。その後、少しずつではあるが、正載荷時にヒビが進行していることが写真からわかる。</p> <p>下張りボードの目地部分にあることから、ヒビが生じている箇所にはビスが打たれていることが推測される。このことから、ボードに斜め下方向に力がかかったときに、ビスを起点としてヒビが生じたものとも考えられる。</p> <p>ひび割れが生じた別な理由として、損傷 #022 と同様のことが考えられる。つまり、鉄骨柱のジョイントと開口補強材に挟まれたボードに圧縮力が生じたことが考えられる (図 1)。鉄骨柱のジョイント部分は柱の他の部分に比べて飛び出たつくりになっている。そして開口補強材は層間変形を与えたときであってもスラブに対して鉛直を保ち続ける。その 2 つに挟まれたボードには圧縮力 (もしくはせん断力) が生じると考えられる。そしてひび割れが生じた箇所は、圧縮力が生じると考えられる箇所と一致する。</p> <div data-bbox="906 488 1385 1126"></div> <p>図 1 損傷が生じた原因</p> <div data-bbox="488 1227 1246 1861"></div> <p>写真 1 1/33 の 100%時の様子</p>
---------------	--

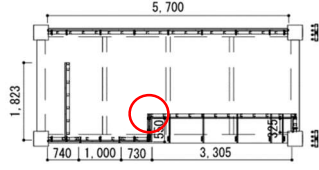
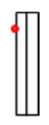

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #024			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	スタッド		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ピース (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み)		
損傷の概要:	スタッド同士を留めるビスが抜け掛ける		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/50(1⇒-1)?	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(-100%) 	1/33(12 回繰り返し載荷後) 
他の実験等での報告:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/50 の時に、d 面と c 面のスタッド同士を接続するビスのうち、最下部にあるものが抜け掛けていることが確認された。</p> <p>これは、正方向への載荷時に Ee 面の移動により Dd 面の下部ランナーが押されることが原因で生じたと考えられる（損傷#017 と同様）。押された結果 Dd 面の下部ランナーは上から見て反時計周り方向に回転する。その結果、Cc 面との間に角度が変化する。その結果、二つの壁のスタッドを接続するビスが片方を挟んだのだと考えられる（図 1）。</p> <div data-bbox="435 584 1318 1025"><div><p>載荷前</p><p>d 面のスタッドと c 面のスタッドはビスで接続されている</p></div><div><p>正方向に載荷後</p><p>d 面の下部は反時計回りに回転する（e 面に押されるため） その結果、ビスが d 面側のスタッドを挟った</p></div></div> <p>図 1 損傷が発生した要因</p> <div data-bbox="486 1144 1287 1852"></div> <p>写真 1 1/50 の-100 時の様子</p>
---------------	---



付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート # 025			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	ボード (上張り、21mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要:	ボード断面のひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33 100%?	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/50(100%,-100%, 除荷時)		
	1/33(100%,-100%, 除荷時)		
損傷の様子:			
			
他の実験等での報告:			

## 付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

原因の分析：

1/50 の正載荷時に、D 面の断面を確認することができ、断面にひび割れが生じているが確認された（写真 1）。つまり、実際にはもっと小さい層間変形角の時に生じていた可能性がある。

また、損傷が生じたメカニズムは損傷 # 001 と # 007 で考察した通りだと考えられる。負方向の載荷時に、Dd 面の上部は Ee 面に倒れ掛かるように変形する。しかし、Ee 面を押し出すほどの力を持たず、Ee 面と Dd 面の間には圧縮力が生じる。その結果、Dd 面の断面にヒビが入ったのだと考えられる。

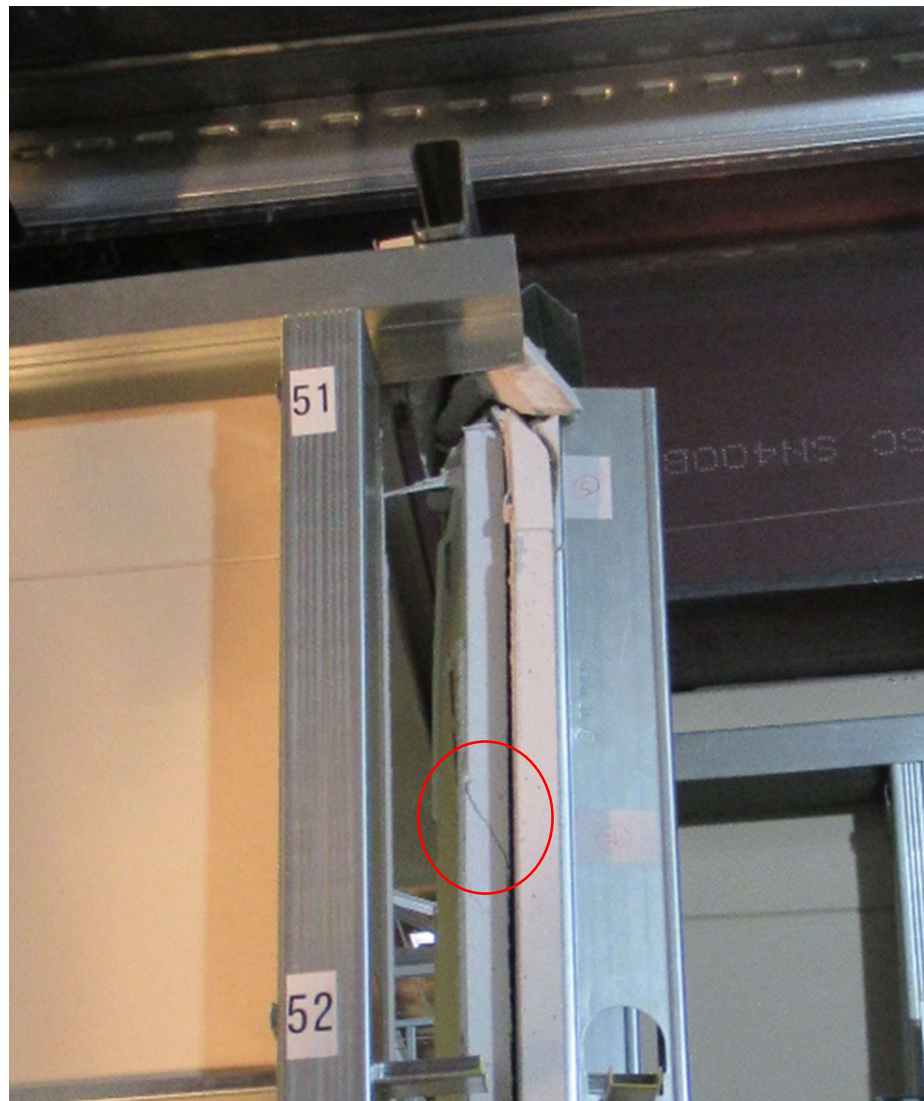


写真 1 1/33 100%時の様子

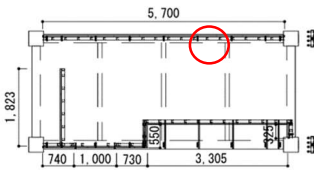
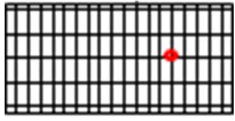



付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #027			
実験/調査の日	2019/03 (建築研究所)		
付と名称:	鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	ボード (下張り、21mm) スタッド (65 型)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要:	ビスによるボードの抉り、下張りボードのヒビ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/50(1⇒-1)?	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(-100%)	1/33(100%,-100%, 除荷時)
			
他の実験等での報告:			



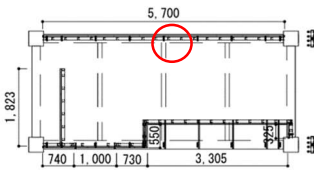
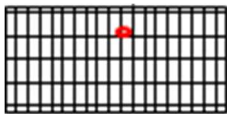

<p>原因の分析：</p>	<p>構造躯体の層間変形角が負方向に 1/50 の時に、a 面にてスタッドとボードを繋ぐビスにより、ボードが挟られていることが確認された（写真 1）。</p> <p>この損傷が確認できるということは、ボードが鉄骨に押されて動いているのに対し、スタッドが十分に追従できていないということがいえる。また、確認できたタイミング以前から損傷は生じ始めていたと考えられる。</p> <p>1/33 の 100% 載荷時にはスタッドの反対側からヒビが生じているのが確認された。なお、ビスの数と図面から、このスタッドの裏にはボードの目地があることがわかっている。よってボードの挟りとヒビは繋がっていない。</p> <p>石膏ボードメーカーによると、ビスが元の位置に対してボードの中央方向に移動するときにはボードが挟られ、ボード端部に向かって移動するときにはひび割れが生じる可能性が高いという。つまり、本損傷は、下張り側からみて、ボードがスタッドに対して左方向に移動した結果生じた損傷であると考察される（図 1）。また、ボードがスタッドに対して右方向には移動しなかったとも考察される。</p> <div data-bbox="496 777 1362 1368"></div> <p>写真 1 1/33 の層間変形を与えた後の様子</p> <div data-bbox="443 1435 1278 1877"><p>ボード    ビスの位置    スタッドの位置</p><p>ボードが移動する前</p><p>ボードがスタッドに対して左方向に移動したとき</p><p>右側のビスがボードを挟り 左側のビス穴からひび割れ</p><p>ボードがスタッドに対して元の位置に戻ったとき</p><p>ボードを挟った後がスタッド裏から見えるようになる</p></div> <p>図 1 損傷の発生メカニズム</p>
---------------	---

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #028			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21mm) スタッド (65 型)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ビスによるボードの抉り、下張りボードのヒビ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/50(0⇒0)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)  写真無し	1/33(100%,-100%, 除荷時)    
他の実験等での報告：			

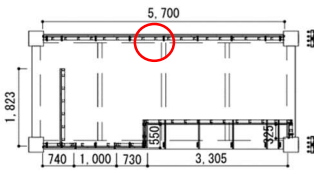
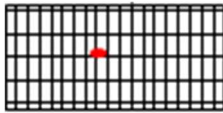

<p>原因の分析：</p>	<p>紙の記録では層間変形角が 1/50 を与えた後に確認できたとあるが、写真の記録はない。1/33 の 100% 載荷時にはスタッドの反対側からヒビが生じているのが確認された（写真 1）。なお、ビスの数と図面から、このスタッドの裏にはボードの目地があることがわかっている。よってボードの挟りとヒビは繋がっていない。</p> <p>この損傷が確認できるということは、ボードが鉄骨に押されて動いているのに対し、スタッドが十分に追従できていないということがいえる。また、確認できたタイミング以前から損傷は生じ始めていたと考えられる。</p> <p>石膏ボードメーカーによると、ビスが元の位置に対してボードの中央方向に移動するときにはボードが挟られ、ボード端部に向かって移動するときにはひび割れが生じる可能性が高いという。つまり、本損傷は、下張り側からみて、ボードがスタッドに対して右方向に移動した結果生じた損傷であると考察される（図 1）。また、ボードがスタッドに対して左方向には移動しなかったとも考察される。</p> <div data-bbox="501 728 1278 1247"></div> <p>写真 1 1/33 の 100% 時の様子</p> <div data-bbox="427 1310 1356 1780"><p>ボード    ビスの位置    スタッドの位置</p><p>ボードが移動する前</p><p>ボードがスタッドに対して右方向に移動したとき</p><p>ボードがスタッドに対して元の位置に戻ったとき</p><p>左側のビスがボードを挟り 右側のビス穴からひび割れる</p><p>ボードを挟った後がスタッド裏から見えるようになる</p></div> <p>図 1 損傷の発生メカニズム</p>
---------------	---

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #029			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21mm) スタッド (65 型)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ビスによるボードの抉り、下張りボードのヒビ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/50(0⇒0)?	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告：			

<p>原因の分析：</p>	<p>損傷 # 028 と同様、紙の記録では層間変形角が 1/50 を与えた後に確認できたとあるが、写真の記録はない。1/33 の 100% 載荷時にはスタッドの反対側からヒビが生じているのが確認された（写真 1）。なお、ビスの数と図面から、このスタッドの裏にはボードの目地があることがわかっている。よってボードの挟りとヒビは繋がっていない。</p> <p>この損傷が確認できるということは、ボードが鉄骨に押されて動いているのに対し、スタッドが十分に追従できていないということがいえる。また、確認できたタイミング以前から損傷は生じ始めていたと考えられる。</p> <p>石膏ボードメーカーによると、ビスが元の位置に対してボードの中央方向に移動するときにはボードが挟られ、ボード端部に向かって移動するときにはひび割れが生じる可能性が高いという。つまり、本損傷は、下張り側からみて、ボードがスタッドに対して右方向に移動した結果生じた損傷であると考察される（図 1）。また、ボードがスタッドに対して左方向には移動しなかったとも考察される。</p> <div data-bbox="491 745 1268 1238"></div> <p>写真 1 1/33 の層間変形を与えた後の様子</p> <div data-bbox="437 1292 1364 1751"><table><tr><th></th><th>ボード</th><th>ビスの位置</th><th>スタッドの位置</th></tr><tr><td>ボードが移動する前</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>ボードがスタッドに対して右方向に移動したとき</td><td></td><td></td><td>左側のビスがボードを挟り 右側のビス穴からひび割れる</td></tr><tr><td>ボードがスタッドに対して元の位置に戻ったとき</td><td></td><td></td><td>ボードを挟んだ後がスタッド裏から見えるようになる</td></tr></table></div> <p>図 1 損傷の発生メカニズム</p>		ボード	ビスの位置	スタッドの位置	ボードが移動する前				ボードがスタッドに対して右方向に移動したとき			左側のビスがボードを挟り 右側のビス穴からひび割れる	ボードがスタッドに対して元の位置に戻ったとき			ボードを挟んだ後がスタッド裏から見えるようになる
	ボード	ビスの位置	スタッドの位置														
ボードが移動する前																	
ボードがスタッドに対して右方向に移動したとき			左側のビスがボードを挟り 右側のビス穴からひび割れる														
ボードがスタッドに対して元の位置に戻ったとき			ボードを挟んだ後がスタッド裏から見えるようになる														

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #030			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21mm) スタッド (65 型)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ビスによるボードの抉り、下張りボードのヒビ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/50(0⇒0)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告：			

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

<p>原因の分析：</p>	<p>損傷 # 028 と同様、層間変形角が 1/50 の載荷時には生じていたという記録があるが、写真は 1/33 のみ。今回はスタッドの右側にビスによる抉りおよびそこから生じたヒビ、左側にビスによる抉りがある。これまでの同様の損傷と同じく、ボードの変形にスタッドが追従していないことが原因だと考えられる。</p> <p>この損傷が確認できるということは、ボードが鉄骨に押されて動いているのに対し、スタッドが十分に追従できていないということがいえる。また、確認できたタイミング以前から損傷は生じ始めていたと考えられる。</p> <p>石膏ボードメーカーによると、ビスが元の位置に対してボードの中央方向に移動するときにはボードが抉られ、ボード端部に向かって移動するときにはひび割れが生じる可能性が高いという。つまり、本損傷は、下張り側からみて、ボードがスタッドに対して右方向、及び左方向に移動した結果生じた損傷であると考察される（図 1）。</p> <div data-bbox="580 779 1152 1140">A photograph showing a vertical section of a drywall partition wall. A white rectangular label with a red circle and the number '2' is attached to the wall. The wall is composed of vertical studs and horizontal joints. The lighting is somewhat dim, and the focus is on the label and the wall texture.</div> <p>写真 1 1/33 100%時の様子</p> <div data-bbox="577 1256 1187 1688">A photograph showing a similar section of the drywall partition wall. A white rectangular label with a red circle and the number '2' is attached. The wall structure and the label are similar to the previous image, but the background and lighting are slightly different, showing more of the surrounding environment.</div> <p>写真 2 1/33 -100%時の様子</p>
---------------	--

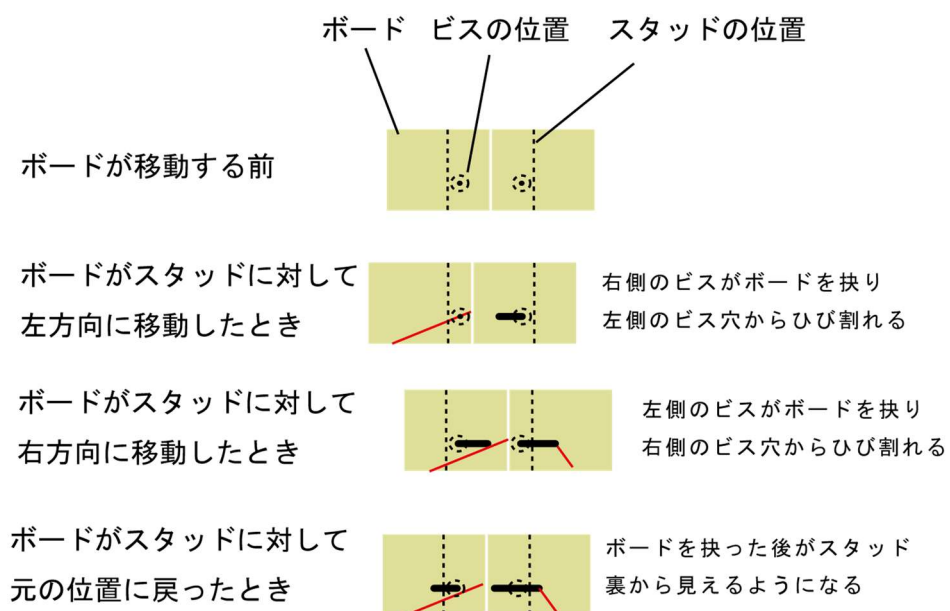


図1 損傷の発生メカニズム



a 面に生じた主な損傷を図 2 に示す。

ビスによるボードの挟り（およびひび割れ）は、全部で 4 ヶ所確認された（ただし、生じている数としてはもっとあると考えられる）。傾向として、a 面に向かって左側ではボードがスタッドに対して左側に移動し、右側ではボードがスタッドに対して右側に移動すると考察される。言い方を変えると、a 面に向かって左側では正載荷時にスタッドがボードに追従せず、右側では負載荷時にスタッドがボードに追従しないと考察される。実際に計測した値が矛盾しないかどうか、今後検証する必要がある。

また、ビスによるボードの挟りと、ひび割れの 2 種類損傷が見られたことの原因として、ボードの移動方向だけでなく、下張りボードがロッキングする方向の影響も考えられる。a 面に向かって左側では、正載荷時にスタッドに対して左側のボードが持ち上がるような挙動を示し、向かって右側では、負載荷時にスタッドに対して右側のボードが持ち上がるような挙動を示すことが分かっている。

また、試験体は、a 面に向かって右上から載荷されていることの影響もある可能性がある。

なお、ビスによるボードの挟りも、ひび割れも、ビス穴を広げるような損傷であるため、ボードのスタッドからの脱落に多少は寄与してしまう。しかし、全てのビスに対して生じているわけではないため（ボードの端部のスタッドにのみ生じていると考えられる）、ボードが即脱落することは可能性として非常に低いと考えられる。

また、上張りボードに損傷が無ければ、下張りボードに穴があいても、耐火性と密閉性が致命的に下がることはないと考えられる。

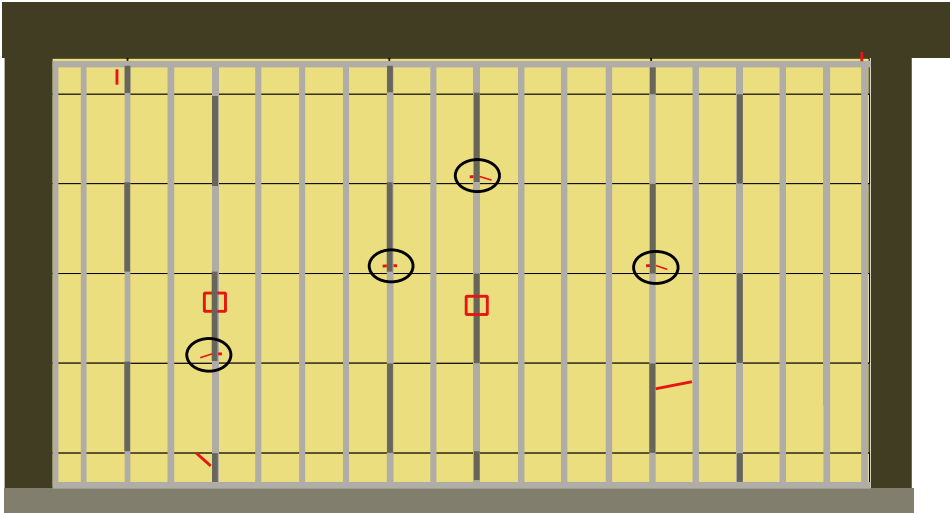
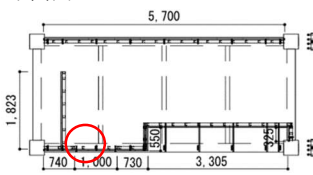
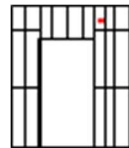








図 2 a 面に生じた主な損傷とその位置

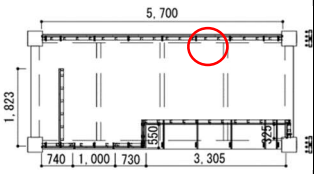
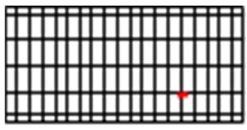
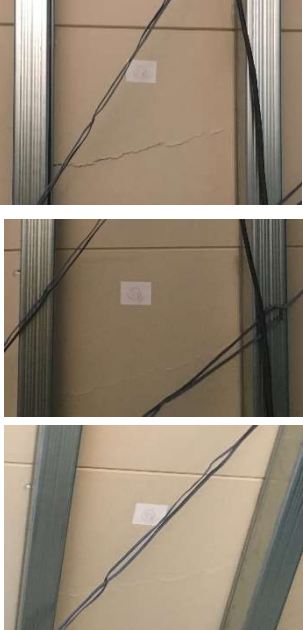
（赤線：ひび割れ、黒丸：ビスによるボードの挟り、  
□：スペーサーのツメが外れた位置、黒太線：下張りボード目地）


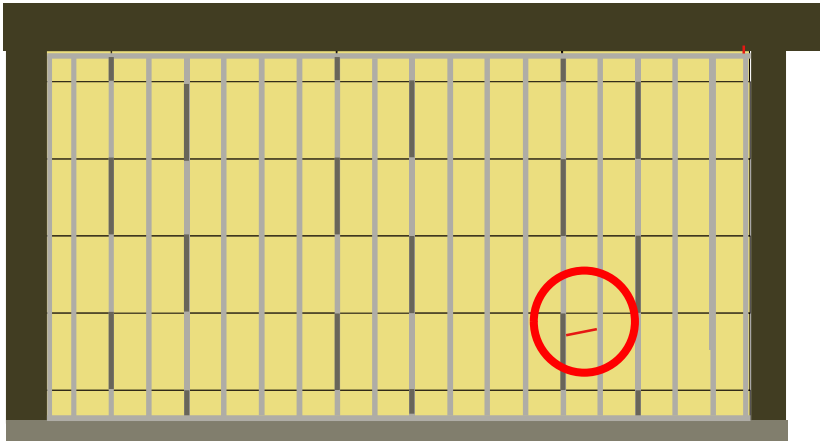
付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #031			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	ボード (下張り、21mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要：	ボードのひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況：	層間変形角：1/50(-0.8⇒0)?	加速度：無し
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-1 00%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(80%,-80%, 除荷時) 
			
			
他の実験等での報告：			

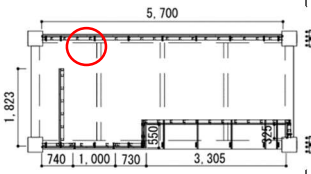
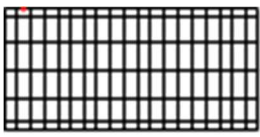


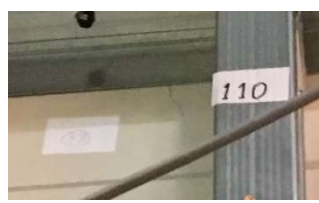
<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/50 の 80%を与えた後の除荷時に、c 面開口部付近で下張りボードのひび割れが確認された。</p> <p>写真で確認した結果、1/50 の 80%,-80%載荷時には特に何もわからないが、除荷時の写真をみるとヒビが左側のスタッドから伸びていることがわかる。その後の 100%,-100%の載荷時にもヒビは確認しづらいが、除荷時にはくっきりとわかる（写真 1）。また 1/33 の 100%,-100%載荷時に特にヒビの開き具合の違いが判らない。</p> <p>このひび割れの位置は、上張りボードにおいて開口角部から生じた斜め方向のひび割れの裏に当たる。つまり、上張りボードにひび割れが生じたものの、接着剤によって下張りボードとは接合されたままであった結果、下張りボードに引き裂くような応力が生じ、このひび割れが生じたのだと考えられる。</p> <p>また、損傷#019 と同じく、層間距離が小さくなった結果生じたボードの圧縮力がひび割れの原因と考えることもできる（図 1）。</p> <div data-bbox="429 795 1339 1301"></div> <p>写真 1 1/33 100%時の様子</p> <div data-bbox="692 1406 1246 1848"><p>層間距離が小さく なった結果、ボード に圧縮力が加かった</p><p>その結果、ボードに ひび割れが生じた</p></div> <p>図 1 ボードのひび割れの原因</p>
---------------	--

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #032			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験（静的載荷）		
部材名：	乾式間仕切り壁（片面 2 重張り）		
部品名：	ボード（下張り、21mm）		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物（溶接）⇒ランナー（ビス）⇒スタッド（はめ込み）⇒下張りボード（ビス）		
損傷の概要：	ボードひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/33(0⇒1)?	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告：			

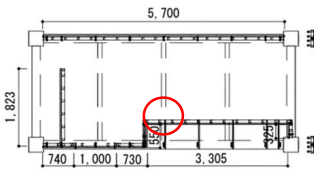
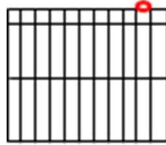

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/33 の時に、a 面の下張りボードにひび割れが生じた（写真 1）（図 1）。</p> <p>左側のスタッド裏は下張りボードの目地部分になっており、ビスに力が集中してヒビが入ったものだと考えられる。しかし、この箇所に比較的長いひび割れが入った理由とははっきりとは分からない。可能性としては、ひびの入り方が平行に近いため、上下方向の圧縮力がかかったことがあげられる。</p> <div data-bbox="461 611 1294 1173"></div> <p>写真 32-1 1/33 100%時の様子</p> <div data-bbox="483 1312 1305 1751"></div> <p>図 1 損傷の生じた位置（黒線は下張りボードの端部）</p>
---------------	--

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

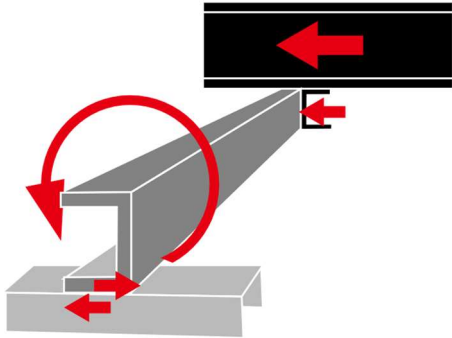


損傷データシート #033			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	ボード (下張り、21mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス)		
損傷の概要:	ボードひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33(1⇒-1)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時)   
他の実験等での報告:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/33 の時に、a 面の内側から見て左上にひび割れが生じた（写真 1）。</p> <p>位置関係から考えて、先付金物のための切り欠き部分から生じていると考えられる。生じた理由としては、層間距離が小さくなったことで先付金物の底面がボードに接触し、ボードが圧縮されたことが可能性としてあげられる（図 1）。</p> <div data-bbox="485 562 1321 1261"></div> <p>写真 1 1/33 -100%時の様子</p> <div data-bbox="604 1413 809 1830"></div> <p>先付金物を介してボードが圧縮力を受ける</p> <p>その結果、角部からひび割れる</p> <p>図 1 損傷の発生メカニズム</p>
---------------	--

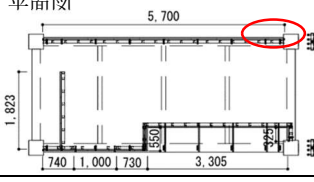
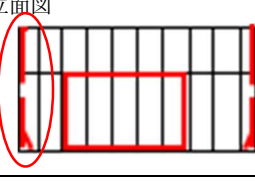
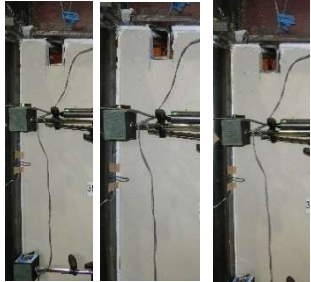
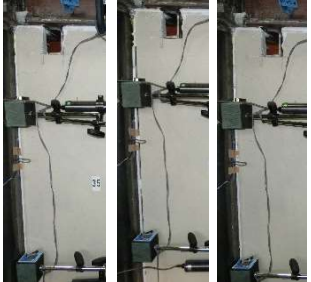
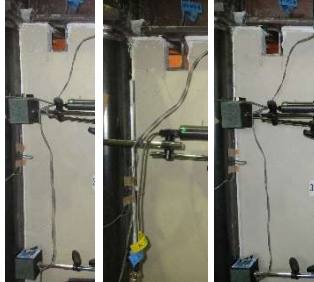
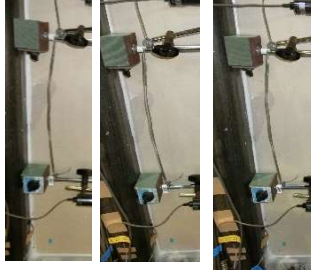
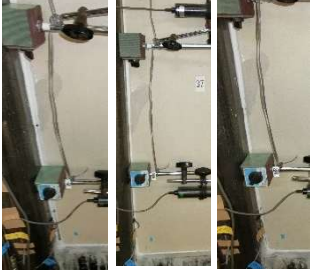
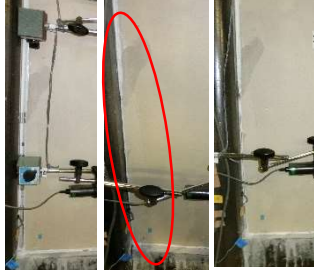
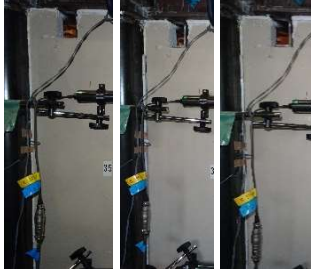

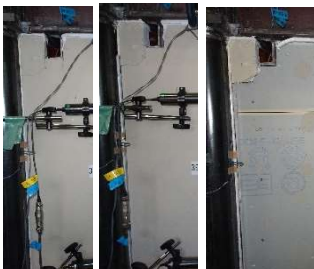


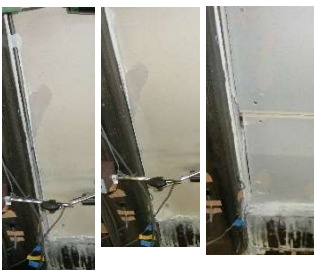
付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #035			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：	先行ピース、先付金物		
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ピース (ピン)		
損傷の概要：	ピンの破断		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/33(0⇒1)	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%) 
他の実験等での報告：			

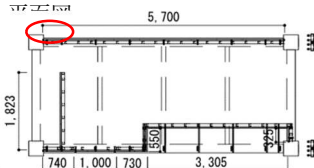
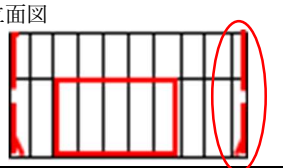





























<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/33 の時に、先行ピースと先付金物を取付けるピンが破断していることが確認された（写真 1）。</p> <p>負方向（左）に鉄骨を変形させると、先付金物を介して先行ピースは左方向への力を受ける。しかし、先行ピースは Ee 面の上部ランナーから反対方向への抵抗力を受ける。その結果、先行ピースは断面が反時計回り方向に回転するような力を受けると考えられる（図 1）。さらに、回転した結果、先行ピースは先付金物に対して離れるような変形を見せ、最終的に 2 つを接続していたピンが破断したのだと考えられる（図 2）。</p> <div data-bbox="443 542 1356 900"><p>負方向（左）に鉄骨を変形させると、先行ピースの奥側は左方向への力を受ける</p><p>しかし、先行ピースの手前側は Ee 面の上部ランナーから反対方向への抵抗力を受ける</p><p>結果として先行ピースは、断面が反時計回り方向に回転するような力を受ける</p></div> <p>図 1 先行ピースが振れる理由</p> <div data-bbox="443 1008 1356 1142"><p>断面方向に回転した結果、先行ピースは先付金物に対して離れるような変形をみせ、最終的に 2 つを接続していたピンが破断する</p></div> <p>図 2 ピンが破断する理由</p> <div data-bbox="633 1191 1141 1886"></div> <p>写真 1 1/33 100%時の様子</p>
---------------	--

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

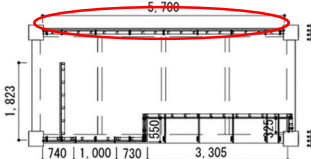

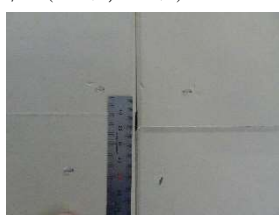





損傷データシート #036			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	ボード (上張り、21mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステープル)		
損傷の概要:	シールの剥がれ、ボードのヒビ、ボードの折れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/400, 200, 100	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
			
			
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時)
			
			

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

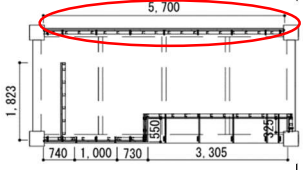
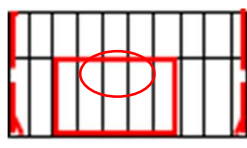
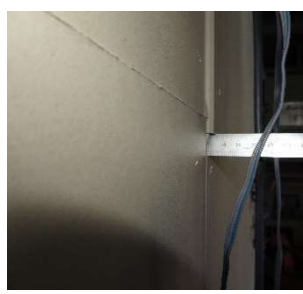
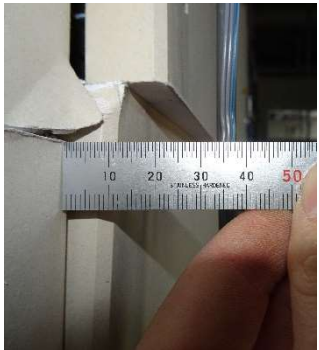

損傷データシート #037			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:	上張りボード (21mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル)		
損傷の概要:	シールの剥がれ、ボードの折れ		
損傷の発生箇所:		<p>立面図</p> 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/200(0.6⇒-0.6)?	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	  	  	  
	  	  	  
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時)
	  	  	  



付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #038			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面2重張り)		
部品名:	上張り石膏ボード (21mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステープル)		
損傷の概要:	ボード毎のロッキング		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角:	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%) 
	1/75(100%,-100%) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%) 
他の実験等での報告:			

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #039			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面2重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：	面外への変形、脱落		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時)
			 
他の実験等での報告：			

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

<p>原因の分析：</p>	<p>A(a)面で確認された損傷について、セットごとに以下にまとめる。</p> <p>① <math>\theta_{\max}=1/400</math>（1 回目）における損傷：  上部の角部において、載荷時に壁と鉄骨の間のシールが局所的に切れた。また下地側では上部のランナー端部が鉄骨に押し付けられて歪が生じていた。</p> <p>② <math>\theta_{\max}=1/200</math>（1 回目）における損傷：  連続的なシールの切れが上下の角部で見られるようになった。また、ボード上部の先付金物を通すための切り欠け部分にヒビが入っていることが確認された。  下地側では載荷時にスタッドがランナー内を水平移動していることが、ランナーに付いた傷および載荷時の音から確認できた。</p> <p>③ <math>\theta_{\max}=1/100</math>（1 回目）における損傷：  載荷時に上張りボードが、ボードごとにロックングしていることが確認できた。シールの切れが進行し、下部の両角部では、鉄骨に押し付けられることによるボードに斜めにシワが入った。  下地側では中央部のスペーサーのツメが片方スタッドから外れていた。試験体内に設置したカメラから、スタッドは振れながらランナー内を水平移動していることが確認され、そのためランナーが開く方向に変形していることが分かった。</p> <p>④ <math>\theta_{\max}=1/200</math>（2 回目）における損傷：  下地側で別のスペーサーが同様に、片方のツメがスタッドから取れているのが確認された。</p> <p>⑤ <math>\theta_{\max}=1/75</math>（1 回目）における損傷：  ボードごとのロックングがより顕著になる。ボードと鉄骨の間のシールの切れは進行し、除荷時も少し隙間が残るようになった。  下地側ではボード上部の先付金物を通すための切り欠け部分が圧壊していることが確認できた。</p> <p>⑥ <math>\theta_{\max}=1/100</math>（2 回目）における損傷：  特に変化はなかった。</p> <p>⑦ <math>\theta_{\max}=1/50</math>（1 回目）における損傷：  載荷時に中央部分の上張りが面外にせり出し、除荷しても戻らないことが確認できた。シールの切れが進行し、除荷時に生じる隙間も広がった。  下地側では、下張りボード上部の先付金物を通すための別な切り欠け部分にヒビが入った。また載荷時には、スタッド裏のビスが水平方向にボードを抉っていることが確認できるほどボードとスタッドのずれが生じた。</p> <p>⑧ <math>\theta_{\max}=1/75</math>（2 回目）における損傷：  シールの切れが進行した。</p> <p>⑨ <math>\theta_{\max}=1/33</math>（1 回目）における損傷：  下部の両角部が鉄骨により押し付けられ、<math>1/100</math> で入った斜めのシワを境に面外にはらみ出している。ボード毎のロックングは <math>1/33</math> の載荷時に 12mm、そして面外への変形は <math>1/33</math> の載荷時に 70mm にも達した。ここから除荷している最中に、中央の 5 枚のボードが脱落した。  下地側では、下張りボードの先付金物を通すための切り欠け部からのヒビ、スタッド裏からのヒビが生じた。また、中央部で 2 つスペーサーが脱落していることが確認できた。</p>
---------------	--

下張りボードの損傷と上張りボードの損傷の位置を重ね合わせた様子を図 1 にしめす。ツメの片方外れたスタッド、ビスによるボードの挟り、ボードのひび割れは、脱落もしくは脱落しかけた上張りボードの裏に位置していたことがわかる。つまり、上張りボード、下張りボード、下地も主な損傷は Aa 面の中央部に集中した。

シーリング材の切れは、除荷時には概ね閉じることが確認されている。この状態であれば耐火性、密閉性（遮音性）に問題は無いとされる。既往実験では光が透過する、しないがシーリング材の切れの深刻度を判定する上で用いられている。

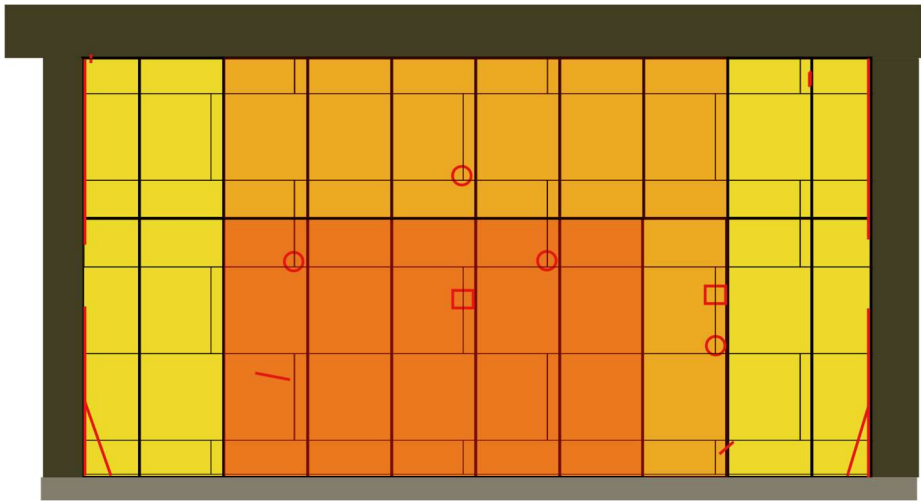


図1 Aa面の損傷

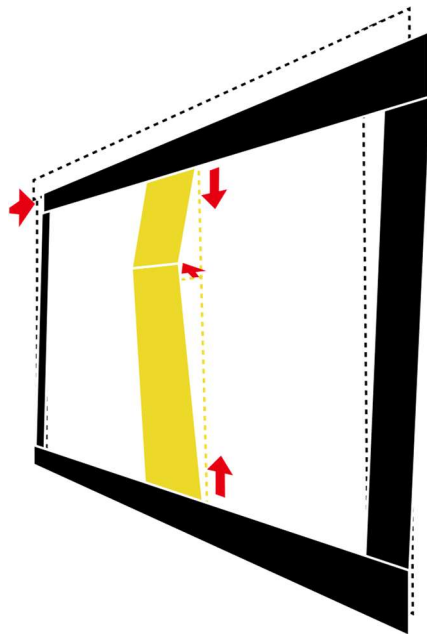
黒太線：上張りボードの目地、黒細線：下張りボードの目地

濃いオレンジの上張りボード：最終的に脱落したボード  
薄いオレンジの部上張りボード：面外に変形し、脱落の恐れがあったボード

鉄骨と上張りボード間の赤線：シールの剥がれ  
両下端部にある赤線：上張りボードの折れ

それ以外の赤線：下張りボードのヒビ  
赤丸：ビスによるボードの挟りが確認された位置  
赤四角：スペーサーのツメの外れが確認された位置

また、ボードの脱落には面外方向への変形の影響が最も寄与したと考えられる。層間変形を与えた結果小さくなる層間距離に追従しようとし、上張りボードは面外方向へとせり出るような挙動をする。その結果、下張りボードと上張りボードを留めていた接着剤とステープルが剥がれる。そして 1/33 という層間変形角を与えた時に、残った接着剤がボードの自重に耐えられず、脱落したのだと考えられる(図2)。



層間変形を与えると、層間距離は小さくなる。

その結果 A 面は上下の圧縮力がかかる。

これに追従しようとして、上張りボードは面外へとせり出す。

下張りボードと上張りボードを留めていた接着剤、ステープルが剥がれ、上張りボードの脱落に至る。

図2 上張りボードが脱落した原因の考察



写真1 層間変形角-1/33 時の様子（ボードが脱落する直前）



写真2は、層間変形角 1/33 を与えたあとに上張りボードを全て剥がした時の様子である。接着剤とステープルの跡がみてとれる。位置に気を付けて良く見ると図3のようにステープルと接着剤の位置がズれていることがわかる。ステープルは接着剤が硬化するまでの仮止めとして使われる。

上張りボードと下張りボードの接着力を高めるためには、接着剤を満遍なく広げる必要がある。このためには、接着剤の塊を付けた位置に直接ステープルを打ち付け、接着剤の塊がある位置に最も圧力がかかるようにすることが好ましいと考えられる。



写真2 層間変形角 1/33 を与えた後に上張りボードを剥がしたときの様子

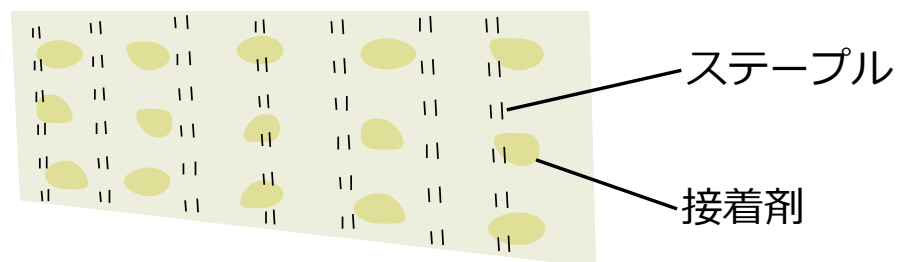
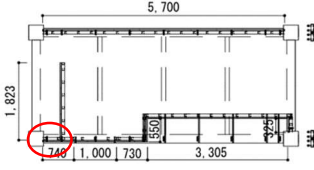
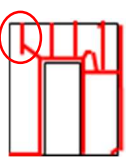
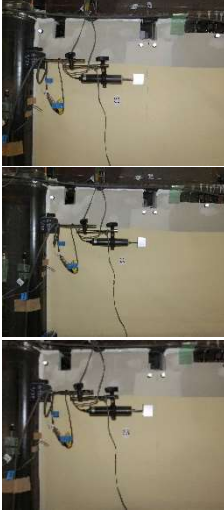
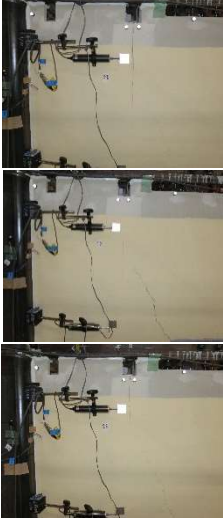
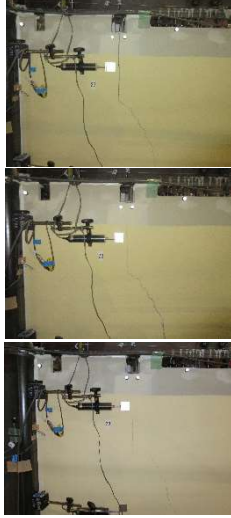
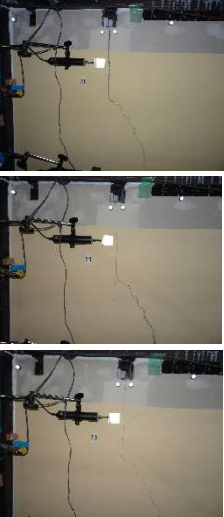
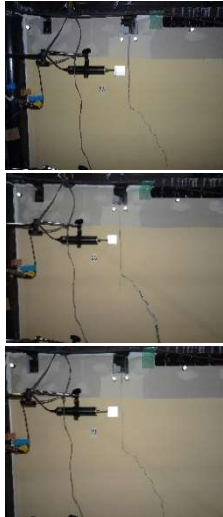

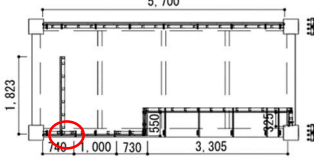



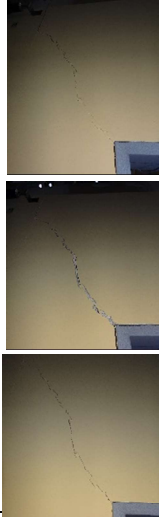

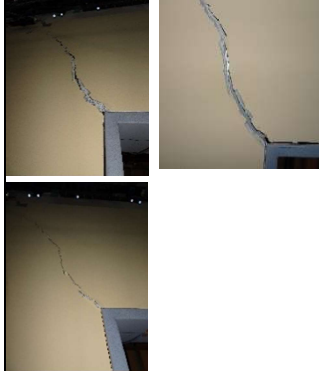
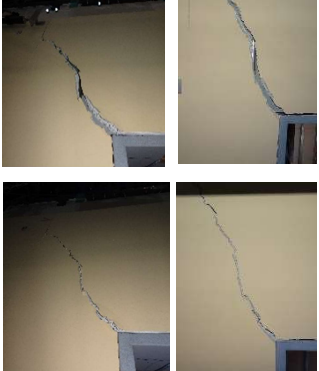


図3 下張りボードと上張りボードの接合方法

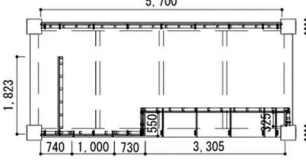
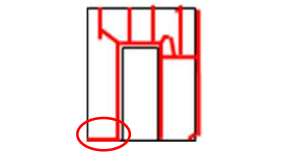








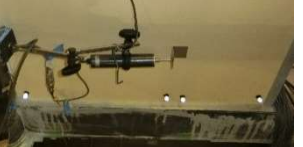









付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #040			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

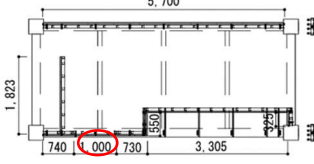
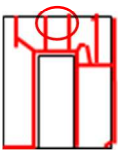
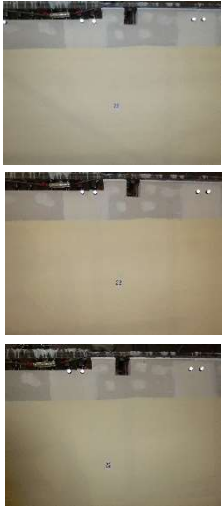


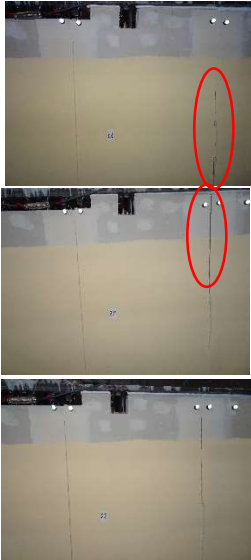


損傷データシート #041			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

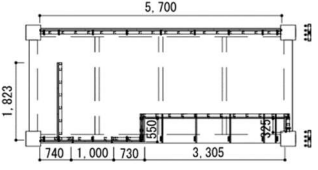
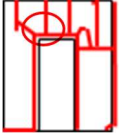





損傷データシート #042			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付け乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:			
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要:			
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角:	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
			
			
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(%, -100%, 除荷時) 
			
			



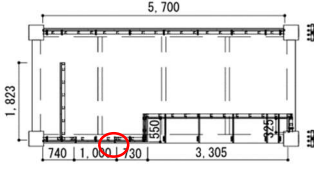
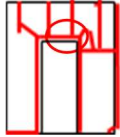
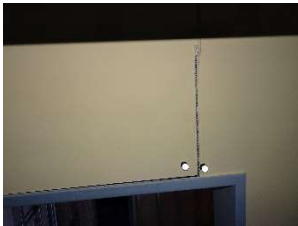




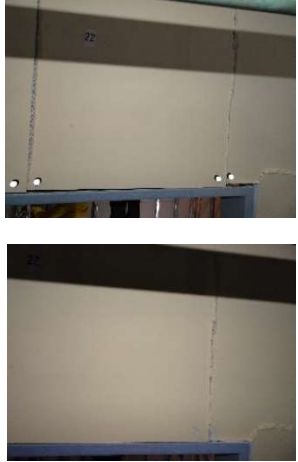
付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #043			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビース (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #044			
実験/調査の日付と名称:	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名:	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名:			
取付け方法:	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要:			
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角:	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時)   

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

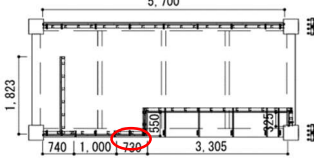
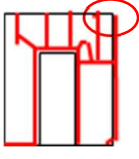

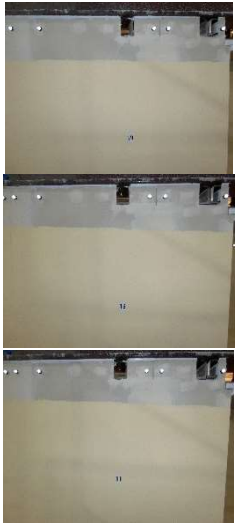

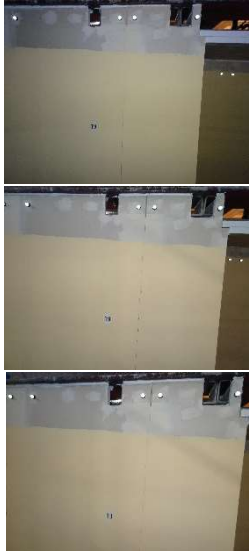


損傷データシート #045			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%,除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

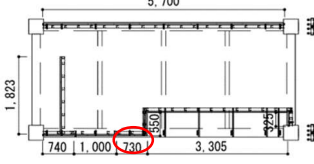
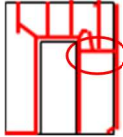


















損傷データシート #046			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 



付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #47			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステープル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #048			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)   	1/200(100%,-100%, 除荷時)   	1/100(100%,-100%, 除荷時)   
	1/75(100%,-100%, 除荷時)   	1/50(100%,-100%, 除荷時)   	1/33(100%,-100%, 除荷時)   

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

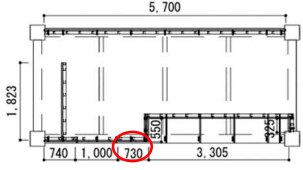
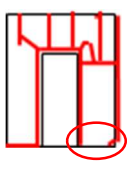


















損傷データシート # 049			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時)	1/200(100%,-100%, 除荷時)	1/100(100%,-100%, 除荷時)
			
			
			
	1/75(100%,-100%, 除荷時)	1/50(100%,-100%, 除荷時)	1/33(100%,-100%, 除荷時)
			
			
			
他の実験等での報告：			

図 1 に C 面のボードの割付を示す。図のように開口部の上部コーナーには L 字型のボードが付いている。これに対して、1/33 の載荷後までに、図 2 のように損傷が生じた。図 2 では正方向の載荷時に生じた、もしくは進行した損傷を赤線で、負方向の載荷時に生じた、もしくは進行した損傷を青線で示した。開口部の上部コーナーから斜めに伸びるものはヒビである。開口部周りにある垂直もしくは水平方向に線が引かれた箇所は、ボードごとのロッキングによる目地の開きである。さらに下部の角部では、ボードの折れが確認された。

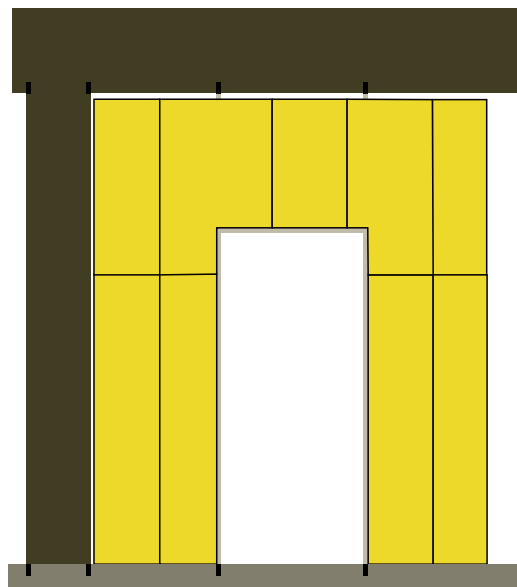


図 1 ボードの割付

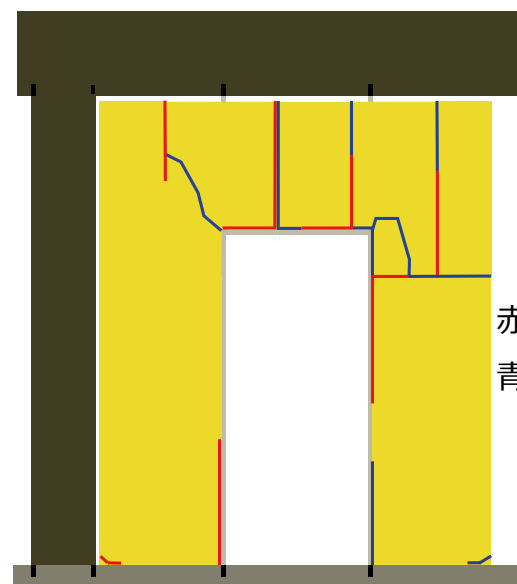


図 2 損傷の発生箇所

損傷の発生箇所  
(ヒビ、目地の開き、折れ)  
赤線：正加力時に発生・進行  
青線：負加力時に発生・進行

原因の分析：

特に目地の開く箇所が正方向の載荷時と負方向の載荷時でかなりはっきりと分かれることが確認できた。このことからボード毎のロックングの程度が推測できる。便宜上、ドア枠の鉛直材（ランナーにビスで留められている開口補強材に接合されているため構造躯体の層間変位にほぼ追従していると考えられる）の変形角が $4^{\circ}$ 、 $-4^{\circ}$ だと仮定した場合の、各ボードの回転角について考察した結果を図3および図4に示す。このように各ボードがロックングしたと考えれば、生じた損傷の説明が付く。

C面の、つまり上張りボードは、下張りボードに接着剤により固定されている。下張りボードは横方向にボードが貼られており、目地もずらされて取り付けられている（図5）。そのため、構造躯体⇒先行金物⇒ランナー⇒スタッド⇒下張りボード⇒上張りボードと力が伝わる場合、C面は面としてロックングの挙動を示すはずである。しかし、実際にはボード毎にロックングをしている。このことから、C面（上張りボード）はc面（下張りボードおよび下地）から力を受けていないことがわかる。

C面の力の受け先として、鉄骨、ドア枠、および床スラブから直接力を受けることが考えられる。これは、c面のクリアランスよりC面と構造躯体とのクリアランスのほうが小さいことと矛盾しない。c面のクリアランスはスタッドとランナーの間に10mm設けられている、スタッドがランナー内を滑ることで変形が吸収されることに対して、C面は鉄骨および開口枠との間にある5mmのシーリング材でのみ変形を吸収できる。

鉄骨、ドア枠、床スラブから直接力を受けたと考えると、C面においてドア枠の左側にあるボードは、構造躯体とドア枠の鉛直材に挟まれているため、双方と同程度の変形をすると考えられる。ドア枠の右側にあるボードも、特に下側にあるものは、ドア枠に押されることで、同程度の変形をすると考えられる。しかし、鉄骨に押し付けられることがないため、左側にあるものと比べ、追従性は低いと考えられる。これに対し、ドア枠の上部にあるボードは、水平を保つ鉄骨とドア枠の水平材に挟まれているため、回転しにくいようになっていると考えられる。以上の条件は、損傷の発生状況から考えたボードの回転度合い（図3、4）と矛盾しない。

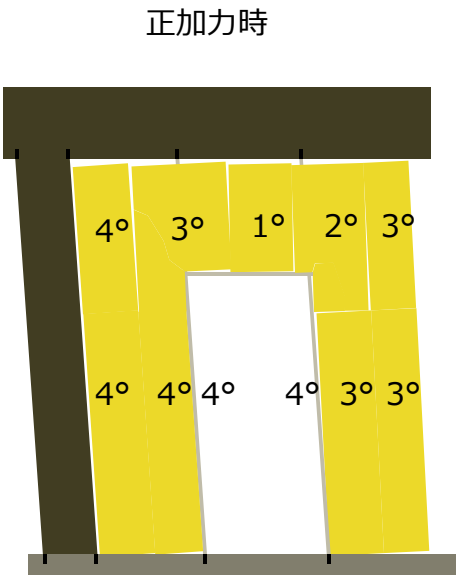


図3 正載荷時のボードの回転

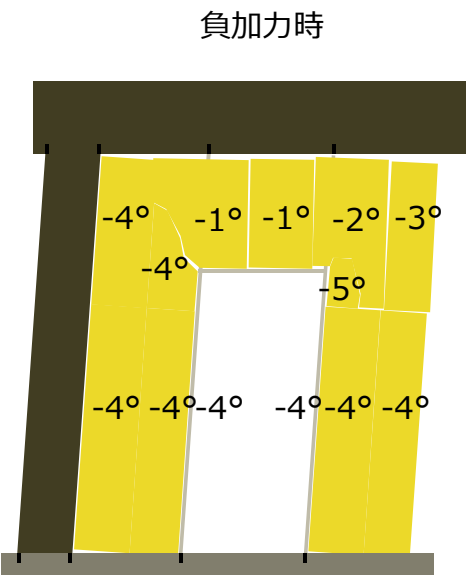


図4 負載荷時のボードの回転

上記の条件によって、C 面に生じた L 字型のボードのひび割れについて説明することが可能である。ドア枠の垂直材は変形するが、ドア枠および鉄骨の水平材は変形しないことにより、L 字型のボードには、図 5 のオレンジ色の矢印方向に力がかかる。これらの力によりボードはヒビ割れたと考えられる。正載荷時に耐えたが負載荷時には耐えられなかった理由については、右側に鉄骨柱が無いこと、上部のクリアランスの差、ボードの寸法の差などが考えられる。緩い回転が許されることによりかかる力が軽減されると考えると、鉄骨柱の有無の影響が最も高いと考えられる。

実際の地震で生じた損傷でも、開口部の角からひび割れが生じることは多いという。そのため、石膏ボードメーカーによると、図 6 のようにコーナー部に目透かしをいれる施工をすることもあるという。石膏ボードの目地を増やすだけでは、日常の震動で塗装やクロス上にひび割れやしわが入ってしまうため、目透かし目地にする必要があるとのことである。

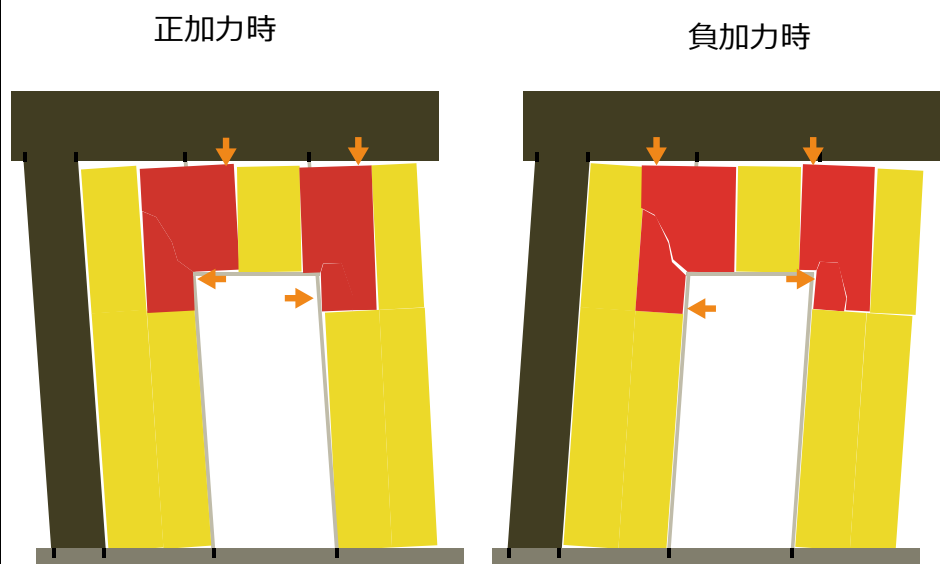


図 5 ボードのひび割れのメカニズム

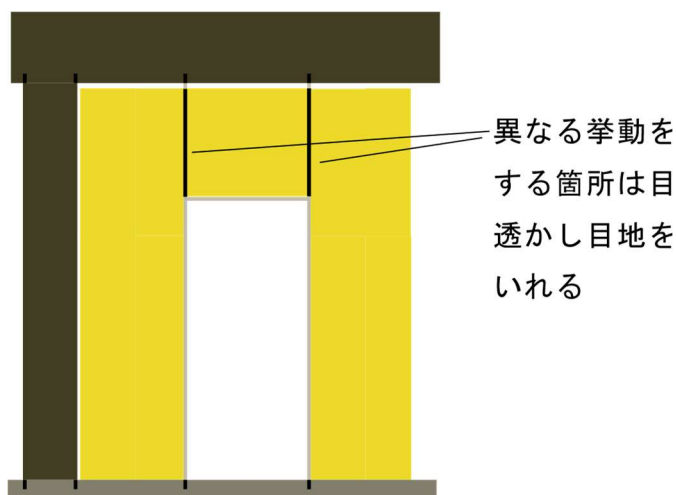


図 6 開口部上の目透かし目地

図 7 に下張りボードの損傷、図 8 に下張りボードの損傷を上張りボードの損傷に投影したものを示す。図 7 に示した下張りボードの損傷のうち、向かって左側にあるヒビは、上張りボードの目地位置、それも挙動が異なるボードの境の真裏に位置している。表張りの目地の開きのほうが先に発生しているため、表張りの損傷が裏張りの損傷を生じさせたと考察できる。

損傷の発生箇所

(ヒビ、目地の開き、折れ)

赤線：正加力時に発生・進行

青線：負加力時に発生・進行

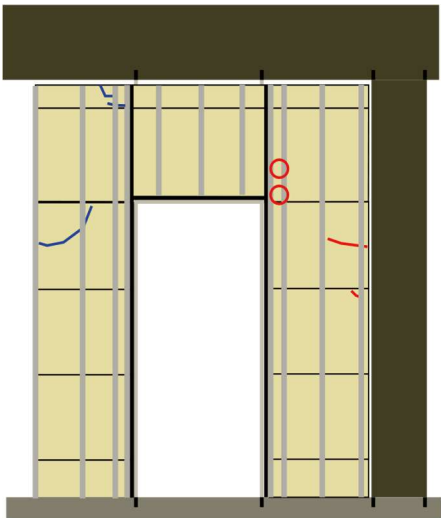


図 7 下張りボードの割付と損傷

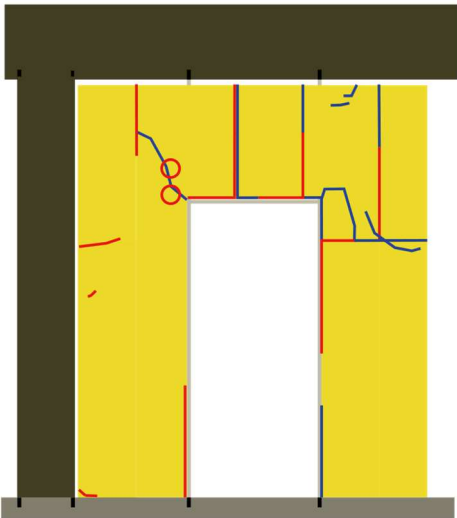


図 8 下張りボードの損傷を上張りボードの損傷に投影した結果

開口部から伸びるひび割れなどは層間変形角が 1/50 のときに、下地が見えるほど開くことが確認されている。石膏ボードメーカーによると、下地が見えるということは火事の際に石膏ボードを火が貫通してしまうことに相当するという。

本来、開口補強材（縦）は上下端部を構造材に直接繋げ、ランナーは開口補強材（縦）で一度切るように施工する。しかし、本実験ではランナーに開口補強材（縦）を差し込み、開口枠を取付けた。

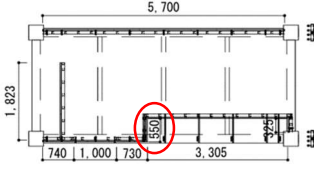
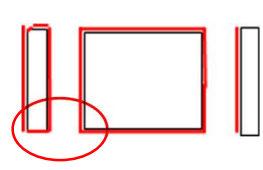

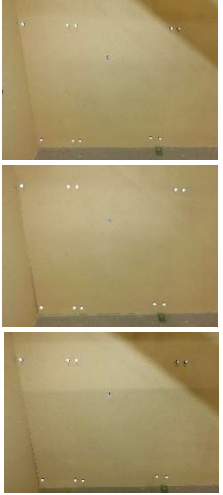






付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

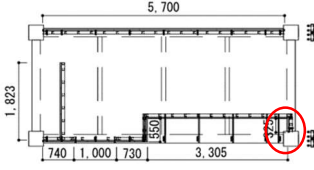
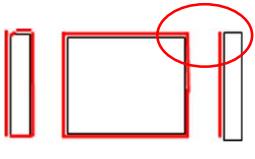






損傷データシート # 050			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	<p>平面図</p>	<p>立面図</p>	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	<p>1/400(100%,-100%, 除荷時)</p>	<p>1/200(100%,-100%, 除荷時)</p>	<p>1/100(100%,-100%, 除荷時)</p>
	<p>1/75(100%,-100%, 除荷時)</p>	<p>1/50(100%,-100%, 除荷時)</p>	<p>1/33(100%,-100%, 除荷時)</p>



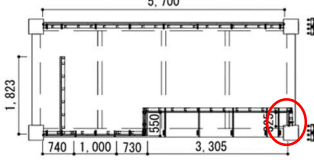
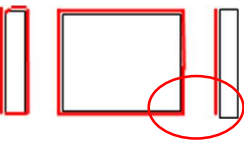






付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

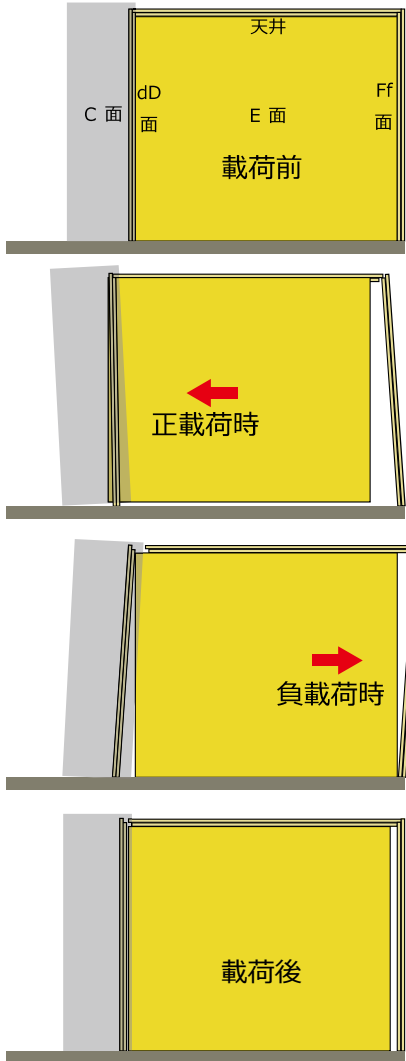
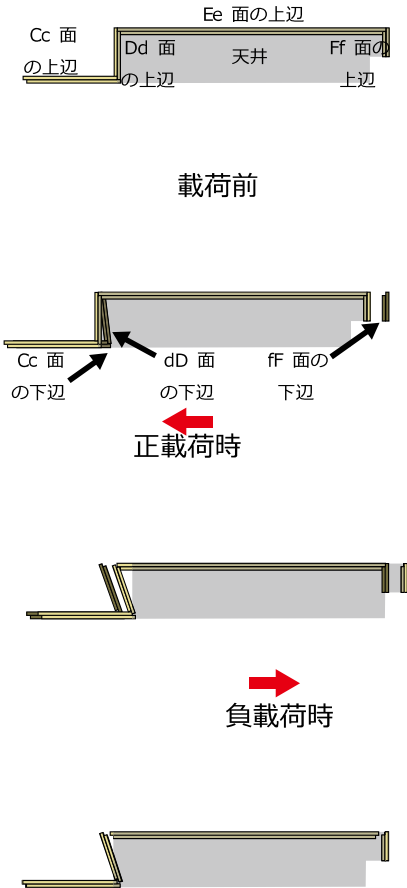
損傷データシート #051			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	<p>平面図</p> 	<p>立面図</p> 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	<p>1/400(100%,-100%, 除荷時)</p> 	<p>1/200(100%,-100%, 除荷時)</p> 	<p>1/100(100%,-100%, 除荷時)</p> 
	<p>1/75(100%,-100%, 除荷時)</p> 	<p>1/50(100%,-100%, 荷時)</p> 	<p>1/33(100%,-100%, 除荷時)</p> 

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #052			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステープル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	<p>平面図</p> 	<p>立面図</p> 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	<p>1/400(100%,-100%, 除荷時)</p> 	<p>1/200(100%,-100%, 除荷時)</p> 	<p>1/100(100%,-100%, 除荷時)</p> 
	<p>1/75(100%,-100%, 除荷時)</p> 	<p>1/50(100%,-100%, 除荷時)</p> 	<p>1/33(100%,-100%, 除荷時)</p> 

付録 2-1 乾式間仕切り壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #053			
実験/調査の日付と名称：	2019/03 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた乾式間仕切り壁の繰り返し載荷実験 (静的載荷)		
部材名：	乾式間仕切り壁 (片面 2 重張り)		
部品名：			
取付け方法：	鉄骨⇒先付金物 (溶接) ⇒先行ビス (ピン) ⇒ランナー (ビス) ⇒スタッド (はめ込み) ⇒下張りボード (ビス) ⇒上張りボード (接着剤+ステーブル) ⇒塗装		
損傷の概要：			
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/400(100%,-100%, 除荷時) 	1/200(100%,-100%, 除荷時) 	1/100(100%,-100%, 除荷時) 
	1/75(100%,-100%, 除荷時) 	1/50(100%,-100%, 除荷時) 	1/33(100%,-100%, 除荷時) 
他の実験等での報告：			

<p>原因の分析：</p>	<p>D 面は向かって左上が天井によって折り曲げられた。また、同じく D 面および d 面の上部は Ee 面に押し付けられることで圧壊していることが分かっている。Ee 面は最終的に、除荷時であっても Dd 面と Ff 面の両方との間に隙間が開いたままになった。Ff 面は特に損傷は確認できなかった。</p> <p>試験体の条件として、Dd 面、Ee 面は鉄骨から持ち出されているため層間変形への追従性が比較的低い。Ff 面は鉄骨の真下にあるため層間変形への追従性が比較的高い。これを踏まえ、図 1 に Dd 面、Ee 面、Ff 面の各方向の載荷時の動きを示す。正載荷時に Ff 面が Ee 面、Dd 面を押し出す。負載荷時に Dd 面は Ee 面を押し返そうとするが、十分な力を持たないため逆に押し返されるような力を受ける。同時に Dd 面は Cc 面からも力を受け、結果的に上から見て反時計方向に回転するような挙動を見せる。除荷しても Dd 面、Ee 面の変形は元には戻らない。その結果、Dd 面は少し回転したような状態で、Ee 面は両隣の壁と隙間が開いた状態となる。</p> <p>なお、壁間に隙間が開いたままになることは、耐火上致命的である。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>立面図</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>上から見た図</p>  </div> </div> <p style="text-align: center;">図 1 Dd 面、Ee 面、Ff 面の挙動</p>

# 付録 2 - 2

## ALC 外壁を対象とした実大載荷実験

### 損傷データシート

#### ◆実験の概要

##### ・実験の目的

本研究では、窓と扉を含む ALC 外壁に対して 1/50 を超える大変形を含む層間変形を繰り返し与えたときの状況を明らかにするため、生じた損傷を細かく観察し、記録していった。また、窓と扉の開閉、施錠の機能確認も行った。

##### ・試験体について

試験体は階高 3,500mm、長辺 6,000mm、短辺 2,500mm のスラブ付き鉄骨骨組みとし、その中に 2 面 ALC パネルをロッキング構法で取り付けした外壁を設置した。一面は梁下に全面無開口の平坦壁で ALC パネルを 10 枚、反対の面は梁下の窓開口（引き違い窓、W=1,800mm,H=1,240mm）と扉開口（鋼製片開き扉、W=920mm,H=2,065mm）および L 字アンクルを用いた開口補強材の付いた面で構成され、一般的な ALC 外壁の設置状況を再現することを目指している。

ALC パネルの仕様は、高さ 3,490mm×幅 600mm×厚さ 100mm とした。無開口面には 10 枚配置し、開口面には開口廻りのみ寸法が異なるパネルを配置している。パネル間およびパネルと開口部間には、ウレタン系のシーリング材を充填した。試験体内部には内装材は張らず、パネルの裏面や、開口補強材の挙動を計測・観察できるようにした。

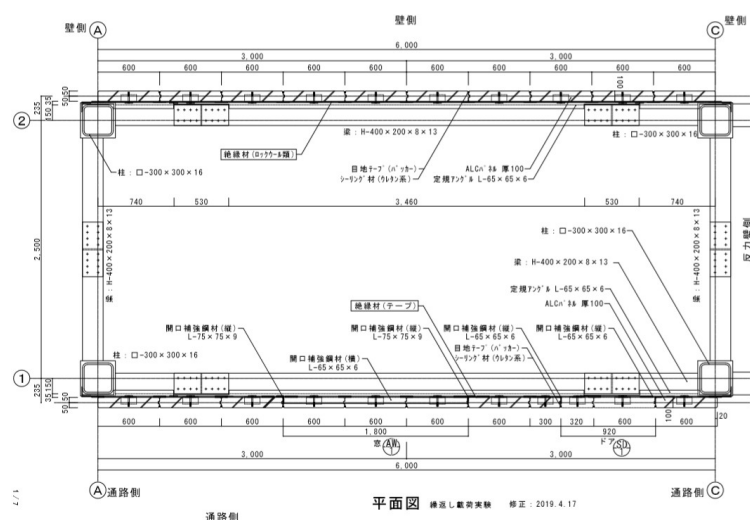


図 1 試験体平面図

## 付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

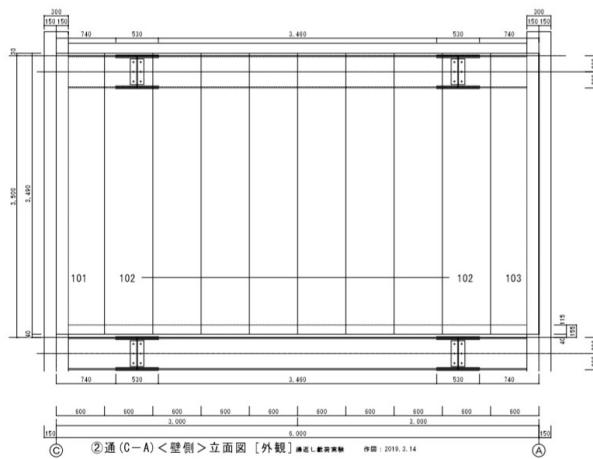


図2 試験体立面図（北面長手方向・無開口側）

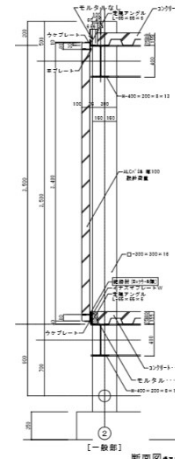


図4 試験体断面図（短手方向）

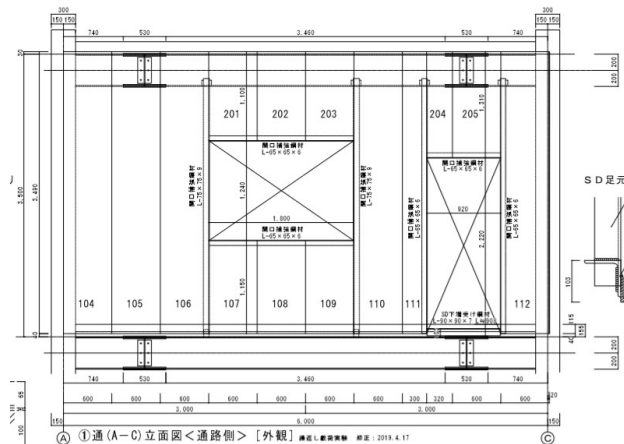


図3 試験体立面図（南面長手方向・開口側）



写真1 試験体南側外観

・ 載荷スケジュール

載荷は、事前に設定しておいた最大層間変形角（以降  $\theta_{max}$  と呼ぶ）に対して、正負両方向に 0.4、0.6、0.8、1.0 倍させながら徐々に変形角を大きくし、同様に除荷するまでを 1 セットと定義した(図 5)。  $\theta_{max}$  の値は 1/200 から始め、増減させながら最終的に 1/33 のセットまで、計 9 セットの載荷を行った（表 1）。この載荷スケジュールは、実際の地震動を想定したものとなっている。なお、本実験においてはジャッキが押す方向を正、引く方向を負とみなした。

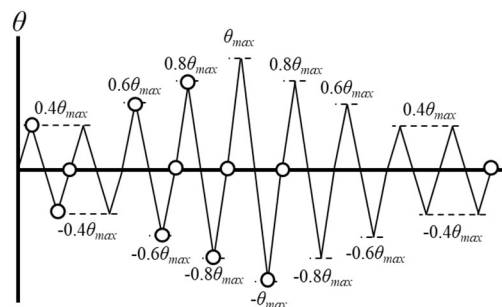


図 5 1 セットの載荷履歴

セット番号	$\theta_{max}$
1	1/200
2	1/100
3	1/200
4	1/75
5	1/100
6	1/50
7	1/75
8	1/33

表 1 各セットの  $\theta_{max}$

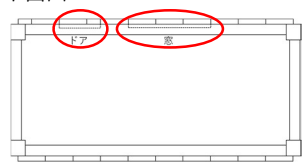
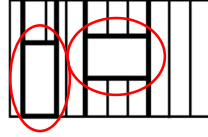
・ 計測と観察の方法

実際の損傷を把握するため、載荷の各セット当たり最大 13 回、目視による北面と南面の室外側、室内側（以降、外側、内側とする）の観察を行った。図 5 にある載荷履歴中の白丸が各観察のタイミングを示す。損傷発生 of タイミングを把握するため、壁面の写真撮影も観察ごとに行った。結果を表 2 にまとめた。

窓と扉の開閉機能を把握するため、載荷の各セット当たり最大 17 回、人力により確認した。図 5 にある載荷履歴中の白丸のタイミングが各観察のタイミングを示す（一部のセットでは白丸がついていない除荷時でも確認した）。各確認時に、開閉機能について、「簡単に開けることができる」、「力を入れれば充分に開けることができる」、「力を入れても充分に開けることができない」の指標で評価した。



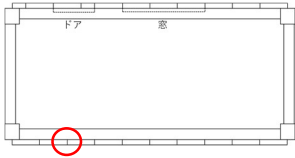







付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #000			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	モルタル		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒窓枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要：	ドア周り、窓周りのモルタルにヒビ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/200	加速度：無し	その他
損傷の様子：		1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/50 100%, -100%, 除荷時	1/33 100%, -100%, 除荷時
他の実験等で確認された例：			



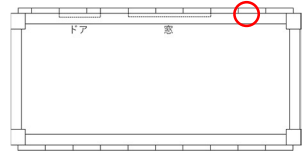
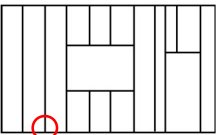

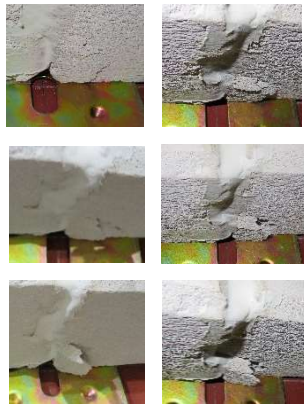




<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/200 のときに、開口補強鋼材と開口部の隙間に打設されたモルタルのひび割れが確認された。以降、層間変形角が大きくなるにつれて、ひび割れは長さ、数が進行していった。</p> <p>扉および窓の枠の周囲には、小壁（腰壁、垂壁）の ALC パネルを支持するとともに、開口部を支持する開口補強鋼材が設けられている。開口補強鋼材と開口部は、それぞれから飛び出た金属片同士を溶接することで、両者は接合されている（図 1、2）。この溶接によって耐力が保持される。モルタルは密閉性の確保の理由から充填される。つまり、モルタルにひび割れが生じても特に耐力上問題は無い。</p> <p>また、開口補強鋼材は上下の鉄骨梁に溶接されている。図 3 に除荷時の試験体内部の様子、図 4 に正載荷時の試験体内部の様子（層間変形は強調されている）のイメージ図を示す。</p> <p>ひび割れが生じた理由として、開口補強鋼材の変形にモルタルが追従できなかったことが考えられる。層間変形角 1/50 付近では、開口補強鋼材の接合部における溶接の切れが確認されたが、それまでは構造躯体の層間変形に追従するように動いていたと考えられる。つまり、加力時には、図 4 のように開口補強材は平行四辺形になるように変形する。この開口補強鋼材の変形への追従性がモルタルは低かったため、1/200 という層間変形角でひび割れが生じたのだと考えられる。</p> <div data-bbox="483 851 837 1124"></div> <div data-bbox="541 1155 756 1182"><p>図 1 接合部の断面図</p></div> <div data-bbox="962 851 1268 1124"></div> <div data-bbox="885 1155 1339 1182"><p>図 2 接合部を強調した開口部の正面からの図</p></div> <div data-bbox="422 1214 829 1485"></div> <div data-bbox="467 1494 791 1520"><p>図 3 除荷時の試験体内部の様子</p></div> <div data-bbox="904 1214 1331 1485"></div> <div data-bbox="927 1494 1270 1520"><p>図 4 正載荷時の試験体内部の様子</p></div> <div data-bbox="518 1552 758 1850"></div> <div data-bbox="502 1856 783 1883"><p>写真 1 扉枠周囲のモルタル</p></div> <div data-bbox="882 1552 1272 1850"></div> <div data-bbox="940 1856 1220 1883"><p>写真 2 窓枠周囲のモルタル</p></div>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #001			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面 目地間における剥がれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/200~	加速度: 無し
損傷の様子:	載荷前 	1/200 100%, -100%, 除荷時 	1/100 100%, -100%, 除荷時 
	1/75 100%, -100%, 除荷時 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100 除荷時 
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/200 のときに、ALC パネルの目地部の底面において、パネル表面が剥がれていることが確認された。1/100 の時点では、剥がれた部分が、シーリング材によってぶら下がっていることが確認された。その後、剥がれた表面は、載荷を大きくするうちに脱落に至った。</p> <p>ロッキング構法では、構造躯体の層間変形への追従性のために、ALC パネル間目地は全てワーキングジョイント（ムーブメントの大きい目地）となっている。そのため目地部にはシーリング材が充填され、面内方向の動きに追従できるようになっている。</p> <p>本損傷は、シーリング材を充填する際に、底面で溢れてしまったシーリング材が表面に付着してしまったことが原因だと考えられる。つまり、目地部分で ALC パネルの縦方向のズレが生じた際に、シーリング材に引っ張られる形で接着されてしまっていた ALC パネルの表面が剥がれたと考えられる。</p> <p>ただし、本来 ALC パネルの底面までシーリング材が付着することは少ないと考えられる。施工の手順として、ALC パネルが壁の全面に取り付け終わった後にシーリング材が充填される（別の業者が手掛けることが多い、開口部の充填剤も同様）。このとき、ALC パネルの底面は上下のパネルによって隠されてしまうため、シーリング材が付着する可能性は低い。このことから、実際は ALC パネルの底面までシーリング材が付着することは少ないと考えられる。</p> <p>図 1 に該当部分のパネル間の相対的なズレを、構造躯体の層間変形と対応させたものを示す。挙動の急激な変化は見られない。</p> <div data-bbox="574 1276 1149 1724"></div> <p>図 1 層間変形と対応させたパネル間のズレ</p>
---------------	---

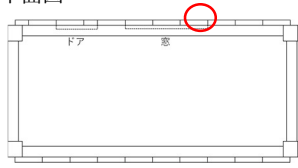
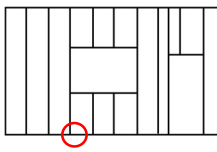





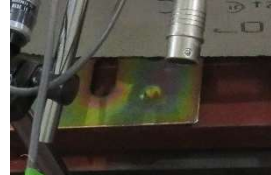




付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #002			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面の目地間における剥がれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/200 -100%?~	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/200 100%, -100%, 除荷時 	1/100 40%, -40% 60%, -60% 80%, -80% 	1/100 100%, -100%, 除荷時 
損傷の様子:	1/75 100%, -100%, 除荷時 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#002 も損傷 # 001 と同様の現象だと考えられる。(以下同文)</p> <p>層間変形角が 1/200 のときに、ALC パネルの目地部の底面において、パネル表面が剥がれていることが確認された。1/100 の時点では、剥がれた部分が、シーリング材によってぶら下がっていることが確認された。その後、剥がれた表面は、載荷を大きくするうちに脱落に至った。</p> <p>ロッキング構法では、構造躯体の層間変形への追従性のために、ALC パネル目地は全てワーキングジョイント（ムーブメントの大きい目地）となっている。そのため目地部にはシーリング材が充填され、面内方向の動きに追従できるようになっている。</p> <p>本損傷は、シーリング材を充填する際に、底面で溢れてしまったシーリング材が表面に付着してしまったことが原因だと考えられる。つまり、目地部分で ALC パネルの縦方向のズレが生じた際に、シーリング材に引っ張られる形で接着されてしまっていた ALC パネルの表面が剥がれたと考えられる。</p> <p>ただし、本来 ALC パネルの底面までシーリング材が付着することは少ないと考えられる。施工の手順として、ALC パネルが壁の全面に取り付け終わった後にシーリング材が充填される（別の業者が手掛けることが多い、開口部の充填剤も同様）。このとき、ALC パネルの底面は上下のパネルによって隠されてしまうため、シーリング材が付着する可能性は低い。このことから、実際は ALC パネルの底面までシーリング材が付着することは少ないと考えられる。</p> <p>図 1 に該当部分のパネル間の相対的なズレを、構造躯体の層間変形と対応させたものを示す。挙動の急激な変化は見られない。</p> <div data-bbox="558 1276 1165 1814"></div> <p>図 1 層間変形と対応させたパネル間のズレ</p>
---------------	---

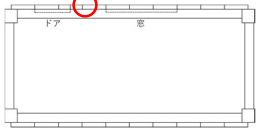
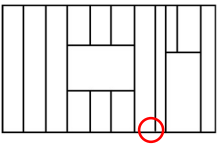
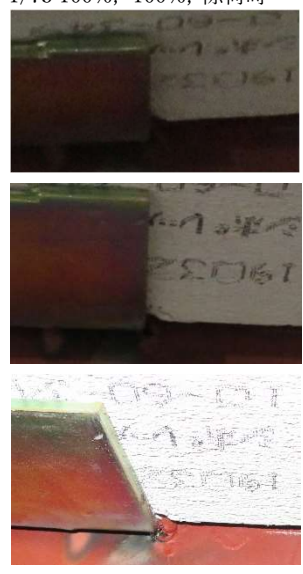

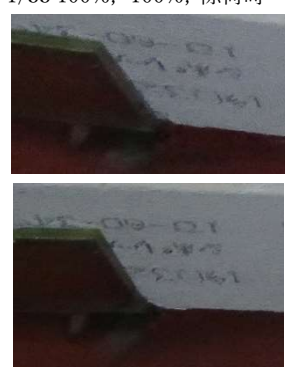


付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #003			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のメジプレートとの接触による剥がれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/100 -80%~	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/100 -80% 	1/100 100%, -100%, 除荷時   
	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/50 100%, -100%, 除荷時   	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/100 の-80%の時に ALC パネルの底面に一部損傷が生じていることが確認された（写真 1）。これは、このメジプレートと ALC パネルの表面が接触したことによるパネルの欠けではないかと考えられる。ただし、明らかな損傷でないため、元々パネルに生じていた欠けである可能性もある。</p> <p>縦壁ロックンク構法で取り付けられる ALC パネルはボルトを介して構造躯体に取り付けられる。具体的に説明すると、構造躯体にまず定規アングルという L 字型の金物を取り付けられ、そこにイナズマプレート W と平プレートという金属部品が取り付けられる。ALC パネルとつなぐボルトのうち、下側のボルトはイナズマプレートに、上側のボルトは平プレートに取り付けられる。また、定規アングルにはウケプレートという、パネルの自重を支える役割を持つ金属部品も取り付けられている（図 1）。また、イナズマプレート、平プレートそしてボルトを介して定規アングルに取り付けられる ALC パネルであるが、これだけだと金物が存在する部分以外では ALC パネルと定規アングルの間に空間が生じ、面外方向の変形がしやすい状態になってしまう。そこで、定規アングルの各所にはメジプレートと呼ばれる金属板が差し込まれている（図 1）。</p> <p>また、1/33 の 100% 載荷時には、ウケプレート下から ALC パネルの破片が覗いていることが確認できる。これは ALC パネル表面とウケプレートもしくはイナズマプレートが接触したことにより表面が削れ、破片が重力によって落ちてきたものだと考えられる。本来ならばウケプレート中央の裏には平プレートが溶接される。しかし、本実験では一層分しか ALC パネルと取り付けしていないため、平プレートが存在せず、ウケプレートの中央は空洞になっている。層間変形角 1/33 のときに現れた ALC パネルの破片はこの空洞を通して落ちてきたものだと考えられる。（図 2 参照）。</p> <div data-bbox="477 949 1114 1321"></div> <p>写真 1 1/100 を与えた後の除荷時の様子</p> <div data-bbox="395 1391 903 1769"></div> <p>図 1 ALC パネルを取付けるための金物</p> <div data-bbox="954 1431 1343 1792"></div> <p>図 2 ALC パネルを取付けるための金物</p>
---------------	---

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #004			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要：	パネル底面のウケプレートとの接触による欠け (施工時から?)		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/75 -100%?~	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/75 100%, -100%, 除荷時 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例：			



## 付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

原因の分析：

層間変形角が 1/75 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。しかし、損傷が微小なことから、元から ALC パネルに存在していた欠けである可能性もある。写真を見ると、ウケプレートを溶接した際に生じた膨らみとの接触によるものとも考えられる。

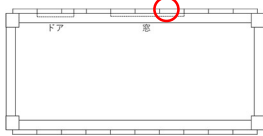
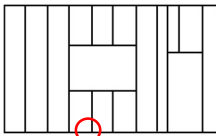
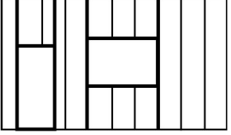
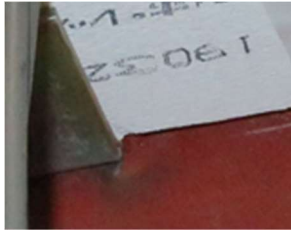




ALC パネルがロッキングすることで、必然的にウケプレートの端部のどちらかに ALC パネルの底面は押し付けられることになる。その際、ALC パネルの底面に凹み、ヒビといった損傷が生じることが考えられる。しかし、その現象と層間変形の程度の関係性についてはわかっていない。本損傷では 1/75 の負方向の載荷時に生じたが、金物の施工精度は一定ではないため、必ずしも全てのパネルでこの変形角で同様の損傷が生じるとは言い切れない。

また、ウケプレートの幅を狭くすれば、ロッキングしやすくなり力の掛かり方が小さくなると考えられる。ALC パネルの自重を支えるためだけならば計算上可能であるが、ウケプレートの中央には平プレートを通すための空間が必要であるため、現状より狭くすることは容易ではない。



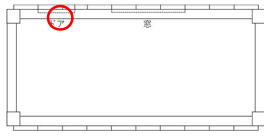
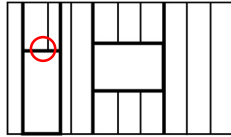


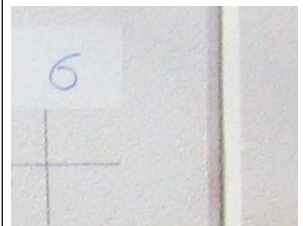



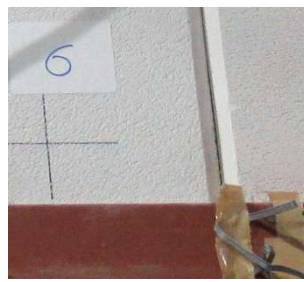

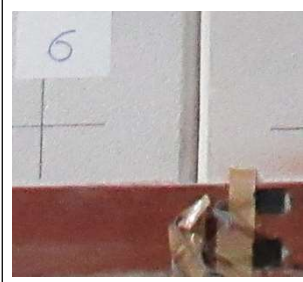
写真 1 1/75 載荷後のボード底面の様子

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #005			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けられた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のウケプレートとの接触による変形 (施工時から?)		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他 
	発生時の状況: 層間変形角: 1/75 -100%?~	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/75 100%, -100%, 除荷時 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#005 は、損傷#004 と同様の現象だと考えられる。層間変形角が 1/75 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。層間変形角が 1/75 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。しかし、損傷が微小なことから、元から ALC パネルに存在していた欠けである可能性もある。写真を見ると、ウケプレートを溶接した際に生じた膨らみとの接触によるものとも考えられる。</p> <p>ただし、構造躯体の変形とパネルのロッキングの関係（図 1）を見ると、該当するパネルのロッキング量（黒線）は骨組みの変形と比べて大きいため、ウケプレートによりパネル底面が損傷している可能性は十分考えられる。</p> <p>なお、ウケプレート裏から見える破片は-80%加力した後の除荷に初めて確認されたものである。これは損傷#003 で確認されたものと同じ現象だと考えられる。つまり、ウケプレートもしくはインサズマプレートとパネルの裏面が接触し剥がれ、本来ならば平プレートが溶接されているべき空間から落ちてきたと考えられる。</p> <div data-bbox="590 806 1165 1305"></div> <p>写真 1 1/75 載荷後のボード底面の様子</p> <div data-bbox="582 1384 1173 1814"></div> <p>図 1 構造躯体の変形とパネルのロッキングの関係 （上側のパネルがグレー、下側のパネルが黒の線）</p>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #006			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのドア開口補強 (横) 裏での欠け		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生状況:	層間変形角: 1/75 -100%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	1/50 100%, -100%, 除荷時	1/33 100%, -100%, 除荷時	
損傷の様子:			
			
			
他の実験等で確認された例:			

原因の分析：

層間変形角が  $1/75$  の時に、扉の上にあるパネルの右下端部が、開口補強鋼材の裏で欠けていることが負荷荷時に確認された。これは隣り合うパネルのロッキング量の差により生じた損傷だと考えられる。

扉の窓の上部にはパネルが2つ並んでいるが、負荷荷時に左側のパネルが右側のパネルに比べてロッキング量が多い場合、右下の角部が衝突する（図1）。この際に、図2に示すようなひび割れが生じたのではないかと考えられる。

ロッキングの量に差が生じる理由として、2枚のパネルの寸法が異なることが考えられる。2枚のパネルは幅が倍程度異なる。同じ層間変形角を与えたときに、ロッキングにより左右に飛び出す長さは、パネルの幅に応じて長くなる。

ひび割れが生じたパネルのロッキング量を図3、4に示す。層間変形角  $1/33$  まで構造躯体の層間変形に対して特に問題なく追従している。パネル間のロッキングの程度の差はこのグラフから読み取れないため、 $1/75$  までの範囲で作直す。

また、この損傷はパネルと開口補強鋼材の衝突による損傷だと考えることもできる。パネルのロッキングによりパネルの角部は元々の位置から飛び出す挙動を見せるが、開口補強鋼材（横）の位置は変わらない。この差分によって、パネルが開口補強鋼材に衝突し、その結果損傷が生じた可能性もある。しかし、ひび割れの入り方からして、前述のパネル間の衝突のほうが可能性としては高いと考えられる。

なお、生じたひび割れが室内側であり、室外に貫通するものでなければ耐火性や密封性に特に影響はないと考えられる。

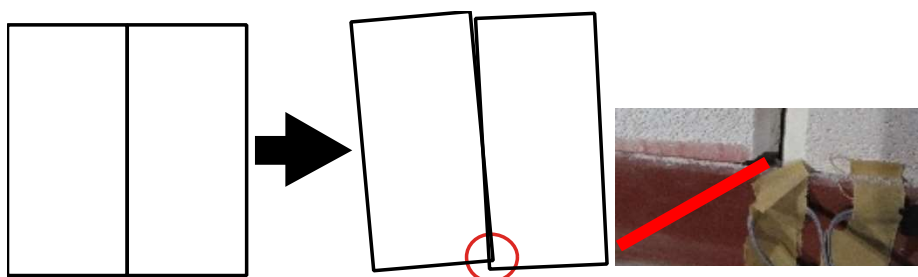


図1 パネルのロッキング量が異なると衝突が生じる（室内側から見た図）

図2 生じたひび割れの予想図

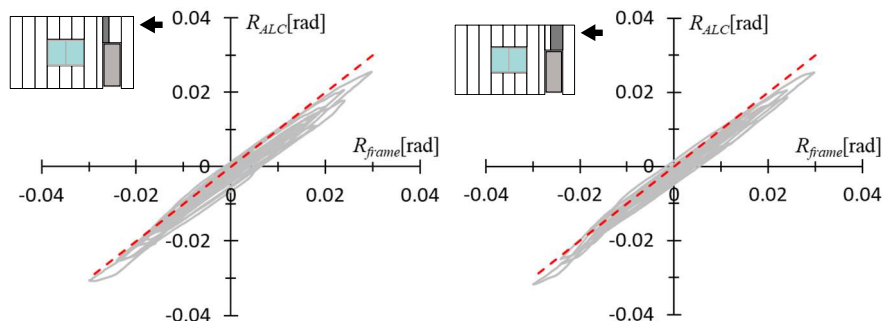
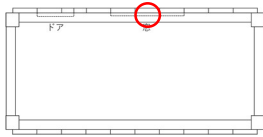
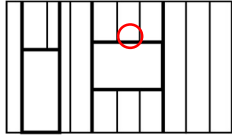




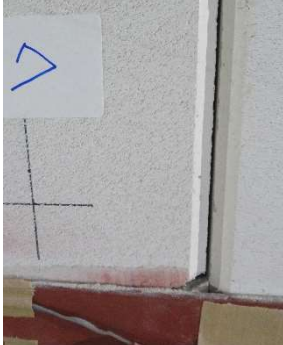

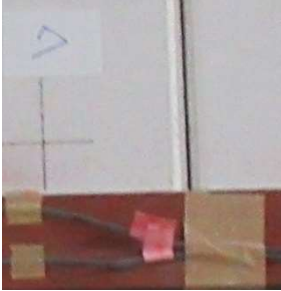




図3 パネルのロッキング量

図4 パネルのロッキング量

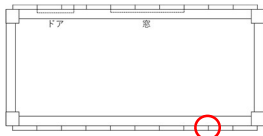
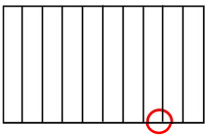




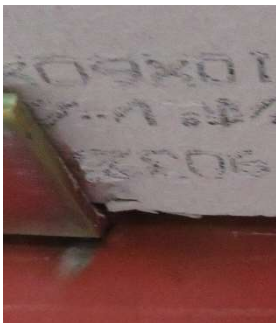

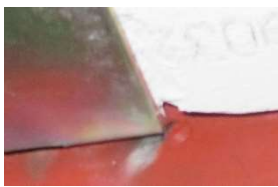
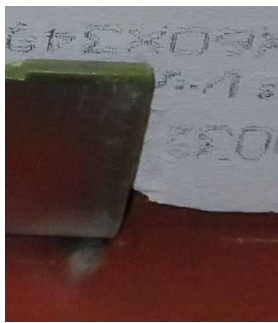



付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #007			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルの窓開口補強 (横) 裏でのヒビ割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/75 -100%~	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
			
			
			
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/75 の時に、窓の上にあるパネルの右下端部が、開口補強鋼材の裏で欠けていることが負荷荷時に確認された。この損傷は損傷 # 006 と同様の現象だと考えられる。</p> <p>窓の上にはパネルが 3 つ並んでいるが、負荷荷時に中央のパネルが右側のパネルに比べてロッキング量が多い場合、右下の角部が衝突する (図 1)。このことにより生じた損傷と考えることもできる。</p> <p>図 2、図 3 にそれぞれのパネルのロッキング量を示した。1/75 以上の層間変形では、中央のパネルのほうが、ロッキングの程度が大きいことが多いことがわかる。このことから、前述の通り、パネル間にロッキング量に差があったため、パネル同士が衝突し、片方にひび割れが生じることになったのだと考えられる。</p> <p>ロッキング量に差が生じる理由として、開口補強鋼材の影響が考えられる。隣に開口補強鋼材 (縦) が存在するパネルがロッキングする場合の状況について考える。開口補強鋼材はロッキングしないため、パネルの角部はまず開口補強鋼材に衝突する。するとパネルの角部にひび割れが生じない限り、パネルのロッキングは拘束されてしまう。結果、中央のパネルとの差が生じたと考えられる。</p> <p>また、この損傷はパネルと開口補強鋼材の衝突による損傷だと考えることもできる。パネルのロッキングによりパネルの角部は元々の位置から飛び出す挙動を見せるが、開口補強鋼材 (横) の位置は変わらない。この差分によって、パネルが開口補強鋼材に衝突し、その結果損傷が生じた可能性もある。しかし、ひび割れの入り方からして、前述のパネル間の衝突のほうが可能性としては高いと考えられる。</p> <div data-bbox="544 1048 1182 1323"></div> <p>図 1 パネルのロッキング量が異なると衝突が生じる (室内側から見た図)</p> <div data-bbox="411 1496 842 1816"></div> <p>図 2 窓の上側中央のパネルのロッキング量 (グレーの線) (室外側から見て)</p> <div data-bbox="874 1496 1310 1816"></div> <p>図 3 窓の上側左側のパネルのロッキング量 (グレーの線) (室外側から見て)</p>
---------------	---

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #008			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のウケプレートとの接触による変形		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/75 -100%~	加速度: 無し
損傷の様子:	1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時	その他
	1/75 100%, -100%, 除荷時   	1/50 100%, -100%, 除荷時   	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			



## 付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

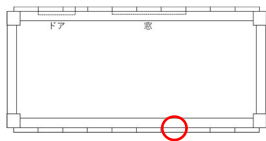
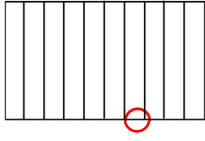








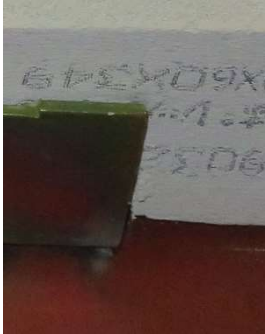

損傷#008 は、損傷#004,005 と同様の現象だと考えられる。層間変形角が  $1/75$  のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。層間変形角が  $1/75$  のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。載荷が大きくなるにつれて損傷が進行していく様子がわかるため、パネルに元から生じていた欠けではなく、考察通り、ウケプレート端部に押し付けられたことによる変形だと考えられる。

原因の分析：



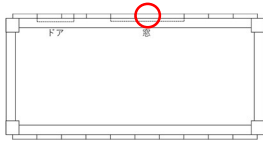
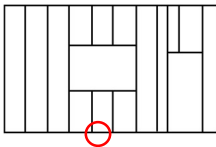



写真 1 1/50 載荷後のボード底面の様子

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #009			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロック工法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のウケプレートとの接触による欠け		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/75 -100%~	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	   	  	  
他の実験等で確認された例:			

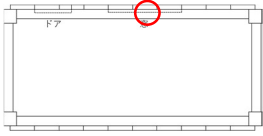
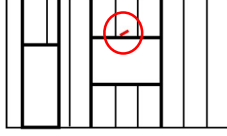

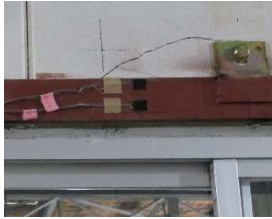




<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#009 は、損傷#004,005,008 と同様の現象だと考えられる。層間変形角が 1/75 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。層間変形角が 1/75 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。載荷が大きくなるにつれて損傷が進行していく様子がわかるため、パネルに元から生じていた欠けではなく、考察通り、ウケプレート端部に押し付けられたことによる変形だと考えられる。</p> <div data-bbox="604 992 1200 1664"></div> <p>写真 1 1/50 載荷後のボード底面の様子</p>
---------------	---

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #010			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のメジプレートとの接触による剥がれ(施工時から?)		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50 80%?~	加速度: 無し
損傷の様子:			
	1/50 80% 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が1/100の-80%の時にALCパネルの底面に一部損傷が生じていることが確認された（写真1）。これは、損傷#003と同様の現象だと考えられる。つまりメジプレートとALCパネルの表面が接触したことによるパネルの欠けではないかと考えられる。ただし、明らかな損傷でないため、元々パネルに生じていた欠けである可能性もある。</p> <p>以下損傷#003と同文</p> <p>縦壁ロックンク構法で取り付けられるALCパネルはボルトを介して構造躯体に取り付けられる。具体的に説明すると、構造躯体にまず定規アングルというL字型の金物に取り付けられ、そこにイナズマプレートWと平プレートという金属部品が取り付けられる。ALCパネルとつなぐボルトのうち、下側のボルトはイナズマプレートに、上側のボルトは平プレートに取り付けられる。また、定規アングルにはウケプレートという、パネルの荷重を支える役割を持つ金属部品も取り付けられている（図1）。また、イナズマプレート、平プレートそしてボルトを介して定規アングルに取り付けられるALCパネルであるが、これだけだと金物が存在する部分以外ではALCパネルと定規アングルの間に空間が生じ、面外方向の変形がしやすい状態になってしまう。そこで、定規アングルの各所にはメジプレートと呼ばれる金属板が溶接されている（図2）。</p> <div data-bbox="399 1008 893 1388"></div> <div data-bbox="475 1444 869 1473"><p>図1 ALCパネルを取付けるための金物</p></div> <div data-bbox="925 1052 1340 1411"></div> <div data-bbox="925 1444 1319 1473"><p>図2 ALCパネルを取付けるための金物</p></div>
---------------	--

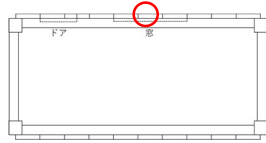
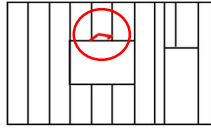


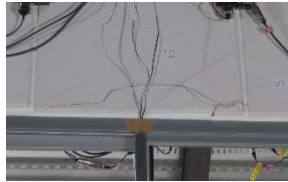
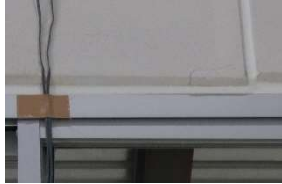

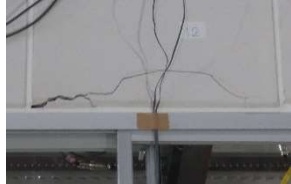


付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #011			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロッキング構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのボルトからのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/50 80%~	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	1/50 80%, -80%	1/50 100%, -100%, 除荷時	1/33 100%, -100%, 除荷時
			
			
他の実験等で確認された例:			



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形が 1/50 の 80%、つまり約 1/60 の層間変形を正方向に与えた時に、窓の上部中央のパネルにおいて、下側のロッキング用ボルトが取り付けられた箇所からヒビが生じていることが確認された。以降、正載荷時に進行する傾向を見せた。</p> <p>損傷を生じさせた原因として、開口補強鋼材（横）がパネルの回転を阻害し、結果としてボルト部分に力が集中したことが考えられる。窓の上部のパネル正載荷の方向に一定量以上のロッキングをすると、開口補強鋼材（横）に角部が衝突する。その結果、開口補強鋼材もしくはパネル角が圧壊しない場合、てこの原理で衝突した部分を支点として、パネルは持ち上がるような力を受ける（図 1）。実際に上に持ち上がることはボルトが阻害するが、同時にボルト部分には力がかかってしまう。その結果として、写真 1 のようなヒビが生じたと考えられる。</p> <p>また同パネルのロッキングの程度をみると、正載荷時、負載荷時共に 1/50 の層間変形付近以上はパネルがロッキングしていないことがわかる（図 2）。このことから、パネルが 1/50 の層間変形付近で開口補強鋼材（横）と実際に衝突していることがわかる。</p> <p>この損傷はパネルと躯体の接合部分から生じているひび割れである。更に該当するパネルの反対側の面では、同箇所にひび割れが生じている（損傷#012）。よって、このひび割れはパネルを貫通している可能性が高い。</p> <p>この損傷により、該当する接続部分は、パネルの面外方向への保持力が低下していると考えられる。このため、損傷の対処方法としては、パネルの取り換えが望ましい。</p> <p>ただし、パネルの接合部は上部にもう一点あるため、即脱落とはならない。</p> <div data-bbox="539 1041 1173 1411"></div> <p>図 1 ボルト部分に力がかかる原理</p> <div data-bbox="403 1500 858 1859"></div> <p>写真 1 実際に生じたひび割れ 1/50 の 100% 載荷時</p> <div data-bbox="869 1512 1340 1870"></div> <p>図 2 窓の上側中央のパネルのロッキング量 （グレーの線）（室外側から見て）</p>
---------------	--


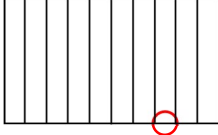






付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #012			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けられた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	断面方向のヒビ ⇒ 圧壊		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50 80%~	加速度: 無し
損傷の様子:	1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時	1/75 100%, -100%, 除荷時
	1/50 80%, -80% 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例:			
			



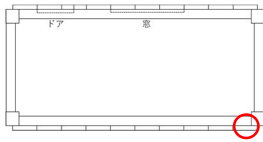
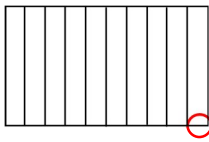






<p>原因の分析：</p>	<p>窓上部、中央のパネルにおいて、1/50 の 80%（つまり約 1/60）の層間変形角の時に外側からみて右下コーナーに割れ、ならびにそこからロッキング用ボルトが差し込まれた箇所までヒビが生じたことが確認された。</p> <p>右下コーナーに生じた比較的是っきりとした割れは、損傷#007 と同様の現象だと考えられる。つまり、窓上部のパネルのうち、外側から見て中央のパネルが右側のパネルよりロッキングしたため、衝突した端部が割れたのだと考えられる（図 1）。</p> <p>コーナー部に掛かった力は 1/50 の 80%加力の時点で、ロッキング用ボルトが差し込まれた箇所までヒビを生じさせた。これはコーナー部分の割れだけでは発散されず、強度的に弱いロッキング用ボルト用を差し込む穴までヒビが伸びたのだと考えられる。</p> <p>その後、1/50 の 100%載荷時にパネルの反対側付近までヒビが伸び、-100%載荷時には反対側からヒビが生じ、既存のヒビと繋がった。この時反対側からヒビが生じたことも、損傷#007 と同様の現象がパネルの外側でも生じたと考えられる。</p> <p>なお、右下コーナーのヒビ割れは、パネルに埋め込まれた鉄筋の端部から生じていることが写真 1 よりわかる。このことから、鉄筋の端部には力が集中しやすいということが考えられる。</p> <p>また、損傷#011 よりもわかる通り、パネルの屋外側で生じた損傷は屋内側では生じていない。この原因として、パネルを取付けるときの、各方向の角度の差などが考えられる。</p> <p>損傷#011 で説明した通り、パネルが即座に脱落する可能性は少ない損傷である。しかし接合部の保持力を低下させるひび割れであるため、対処方法としてはパネルの取り換えが望ましい。更に、端部のひび割れは、パネル目地から生じた室外側のひび割れであるため、水密性の観点からも補修等の処置が必要である。</p> <p>なお、1/50 の層間変位あたりからパネルが十分にロッキングできていないことは計測結果よりわかっている（図 2）。</p> <div data-bbox="434 1189 863 1370"></div> <p>図 1 パネルのロッキング量が異なると衝突が生じる（室外側から見た図）</p> <div data-bbox="411 1541 839 1845"></div> <p>図 2 窓の上側中央のパネルのロッキング量（グレーの線）（室外側から見て）</p> <div data-bbox="890 1516 1351 1854"></div> <p>写真 1 1/50 100%加力時のヒビのアップ写真</p>
---------------	---

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート


損傷データシート #013			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けられた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のウケプレートとの接触による砕け (施工時から?)		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50 100%?~	加速度: 無し
損傷の様子:		1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/50 100%, -100%, 除荷時   	1/33 100 %, - 100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#013 は、損傷#004,005,008,009 と同様の現象だと考えられる。層間変形角が 1/50 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。層間変形角が 1/50 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。しかし、損傷が微小なことから、元から ALC パネルに存在していた欠けである可能性もある。写真を見ると、ウケプレートを溶接した際に生じた膨らみとの接触によるものとも考えられる。</p> <div data-bbox="459 1052 1303 1680"></div> <p>写真 1 1/50 載荷後のボード底面の様子</p>
---------------	--

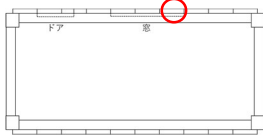
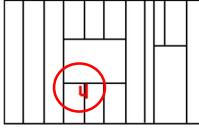






付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #014			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のウケプレートとの接触による砕け		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50 100%?~	加速度: 無し
損傷の様子:		1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例:			
			

## 付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

<p data-bbox="240 1099 368 1128">原因の分析：</p>	<p data-bbox="411 271 1356 488">損傷#014 は、損傷#004,005,008,009,013 と同様の現象だと考えられる。層間変形角が 1/50 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。層間変形角が 1/50 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。しかし、損傷が微小なことから、元から ALC パネルに存在していた欠けである可能性もある。写真を見ると、ウケプレートを溶接した際に生じた膨らみとの接触によるものとも考えられる。</p> <div data-bbox="533 1317 1240 1675"></div> <p data-bbox="699 1697 1093 1727">写真 1 1/33 載荷後のボード底面の様子</p>
---	--


付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #015			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要：	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況：	層間変形角：1/50 100%~	加速度：無し
損傷の様子：		1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/50 100%, -100%, 除荷時   	1/33 100 %, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例：			



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/50 の時に、窓の下、外側から見て左側のパネルの右上の角に鉛直方向のヒビが生じた（写真 1）。その後、負荷荷時にヒビが水平方向に延びた（写真 2）。これは構造躯体の層間変形に追従しようと窓の開口補強鋼材が変形し、それに追従するためにパネルがロッキングした結果、窓の開口補強鋼材（横）に角が衝突したことにより生じた損傷だと考えられる（図 1）。</p> <p>図 1 に示すように、パネルの右上のコーナーが衝突した結果、写真 1 の赤丸で囲んだ箇所に鉛直方向のヒビが生じた。その後、負方向の載荷時には逆方向にロッキングするよう力がかかるが、この際に、パネルの強度よりも写真 2 の青丸で囲った部分のシーリング材の粘着力が上回ったため、写真 2 の赤丸で囲った部分に水平方向のヒビが生じ、結果としてパネルが部分的に剥がれるといった損傷が生じたのだと考えられる。その後、1/33 ではこの剥がれた破片がパネルの残りの部分と擦れ合うことでヒビの幅が広がっていったのだと考えられる。</p> <p>このため、正載荷時に鉛直方向のヒビが生じた時には、写真 1 の赤丸で囲った部分の表面が既にパネルから剥がれかけていた可能性がある。</p> <p>また、同パネルのロッキングの程をみると（図 2、黒線が該当するパネル）、構造躯体に 1/50、1/33 の層間変形を与えたときもロッキングが阻害されている様子は特に問題は確認できない。これはヒビが生じた分、パネルが自由にロッキングできたからと考えることもできる。</p> <p>ひび割れによってパネル本体から切り離された破片は、シーリング材で付いていることから即座に脱落するとは考えにくい。しかし、水密性の観点から補修が必要である。補修する場合、シーリング材でひび割れ部分を埋めることが方法として考えられる。</p> <div data-bbox="427 1055 858 1496"></div> <div data-bbox="502 1512 782 1541"><p>写真 1 1/50 100%時の様子</p></div> <div data-bbox="903 1055 1313 1496"></div> <div data-bbox="970 1512 1249 1541"><p>写真 2 1/50 -100%時の様子</p></div> <div data-bbox="414 1668 906 1861"></div> <div data-bbox="470 1888 857 1917"><p>図 1 角が開口補強鋼材に衝突する様子</p></div> <div data-bbox="946 1592 1331 1868"></div> <div data-bbox="970 1888 1308 1944"><p>図 2 構造躯体の層間変位に対する同パネルのロッキングの程度</p></div>
---------------	---

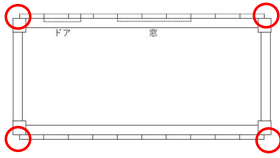
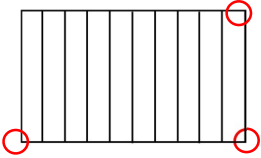
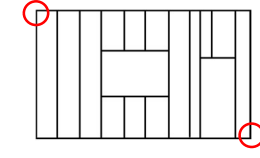





付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

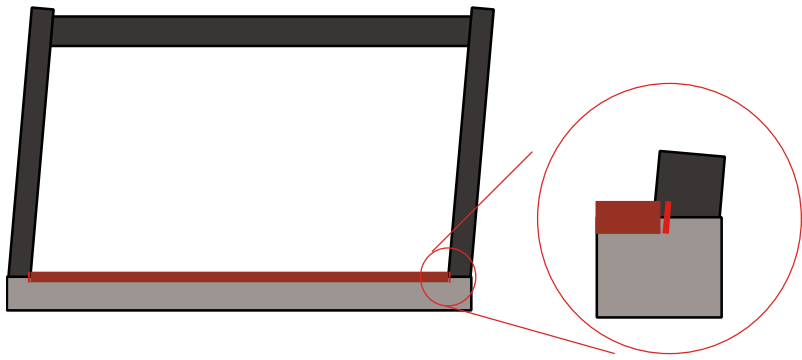
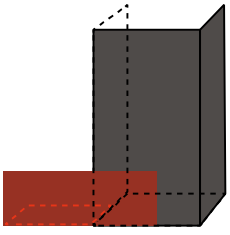
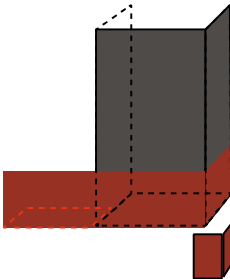

損傷データシート #016			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けられた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要：	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/50 100%~	加速度：無し	その他
損傷の様子：		1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/50 100%, -100%, 除荷時    	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例：			



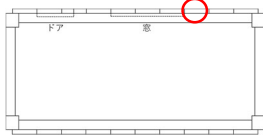
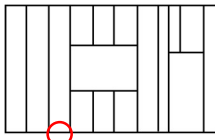


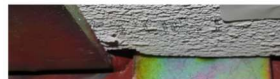




<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/50 の時に、室内側から見て窓の左上にある開口補強鋼材（横と縦の接合部）の裏で、パネルの左下角部が割れていることが確認された。</p> <p>損傷#016 は、損傷#006#007 と似たような現象である可能性がある（損傷#006 も似た現象である可能性が高い）。ただし、損傷#006#007 はパネル間同士であったが、損傷#016 はパネルと開口補強鋼材（縦）間での現象である。パネルのロッキングにより角部が飛び出し、開口補強鋼材（縦）に衝突したことによるものだと考えられる。</p> <p>パネルのロッキングによりパネルの角部は元々の位置から飛び出す挙動を見せる（図 1）。すると開口補強鋼材（縦）に接触することになり、パネルのロッキングが多少抑えられることが考えられる。そしてその結果、フリーである中央のパネルとロッキング量の差が生じ、それが#006#007 を生じさせたのだと考えられる。これは層間変形角が 1/75 の時に生じた。</p> <p>層間変形角が 1/50 まで達すると、パネルのロッキングを生じさせる力がより大きくなるため、開口補強鋼材（縦）に接触しているパネルが耐え切れず、角がヒビ割れたのだと考えられる。</p> <p>図 2 にパネルのロッキングの程度と構造躯体の層間変形の関係性を示した。層間変形が 1/50 に近くなるところで、上限に達していることが多いことがわかる。</p> <div data-bbox="587 1032 1110 1272"></div> <p>図 1 パネルのロッキング量が異なると衝突が生じる (室内側から見た図)</p> <div data-bbox="636 1408 1074 1729"></div> <p>図 2 窓の上側右側のパネルのロッキングの 程度（グレーの線）（室外側から見て）</p>
安全性への影響	
機能継続性への影響：	
損傷の診断性：	

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #017, 018, 019, 020			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接)、振れ止め (溶接)		
損傷の概要:	定規アングルと定規アングル振れ止めの溶接の切れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	立面図 
発生時の状況:	層間変形角: 1/50 -100%~	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/50 -100%   	1/50 -100%  
他の実験等で確認された例:			

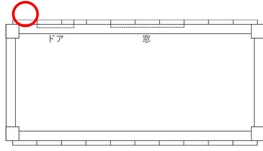
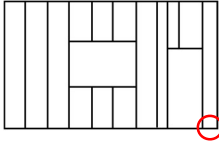







原因の分析：	<p>層間変形角が 1/50 の時に、定規アングルとその振れ止めの溶接が切れていることが確認された。定規アングルが鉄骨梁に溶接されているのに対し、振れ止めは柱に溶接されているため、構造躯体に層間変形を与えると、接合部に力がかかってしまう。そして、ある一定の層間変形を超える、もしくは疲労が重なると、接合部の溶接が破断するのだと考えられる（図 1）。</p> <p>損傷を確認できたのは 1/50 の-100%の載荷時であるが、この時に定規アングルの両端で振れ止めの溶接が切れていることが確認されている。最初に損傷が確認できる前は振れ止めの写真は撮っていなかったため、1/50 の-100%の載荷時より前に溶接は切れていたが、気付くことができなかったという可能性もある。</p> <p>なお、この振れ止めは、本試験体に特有の仕様である。そもそも定規アングルは、鉄骨に被っている部分においては底面を切り取る必要があるため、端部が面外方向にフリーになる（図 2）。このため、地震や風によって力が加わると、端部が振動、変形することが考えられる。例えば地震後にパネルが面外方向に変形している場合、定規アングルの変形が原因である可能性がある。</p> <p>実際の建物においてはコーナーをまたいで ALC パネルを取付けることが多く、この場合は反対側の定規アングルと、アングル材を介して溶接することで振動や変形を抑えることができる（図 2）。本試験体のように一面にのみ ALC パネルが取り付けられる場合、振れ止めを新たに設ける必要がある（図 3）。この場合であっても、本来は 2 方向の溶接を行うべきであるが、本試験体では一方向の溶接に留まっている（図 4）。</p> <p>上記の通り、本来は別な方法で接合されている定規アングルの端部であるが、これらの方法も 1/50 の層間変形角に耐えられるか否かは不明である。</p> <p>本来の建物では ALC パネルがコーナー部分まで設置されていることや、他の仕上げ材によって下地部分は隠されてしまう。そのため、定規アングルの損傷はパネルを取り外さない限り気付くことができない。</p>
	
	<p>図 1 定規アングルと振れ止めの溶接が切れるときの様子</p>
	
	
	
<p>図 2 端部が面外変形に対してフリーの定規アングル</p> <p>図 3 通常の収まり</p> <p>図 4 左：一方向の溶接（弱い） 右：二方向の溶接（強い）</p>	
安全性への影響	
機能継続性への影響：	
損傷の診断性：	

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #021			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のウケプレートとの接触による欠け		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50 -100%	加速度: 無し
損傷の様子:			
		1/50 100%, - 100%, 除荷時    	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#021 は、損傷#004,005,008,009,013,014 と同様の現象だと考えられる。層間変形角が 1/50 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。層間変形角が 1/50 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。しかし、損傷が微小なことから、元から ALC パネルに存在していた欠けである可能性もある。写真を見ると、ウケプレートを溶接した際に生じた膨らみとの接触によるものとも考えられる。</p> <p>ただし、構造躯体の変形とパネルのロッキングの関係（図 1）を見ると、該当するパネルのロッキング量（黒線）は骨組みの変形と比べて大きいため、ウケプレートによりパネル底面が損傷している可能性は十分考えられる。</p> <div data-bbox="470 840 1243 1332"></div> <p>写真 1 1/50 -100% 載荷時のボード底面の様子</p> <div data-bbox="542 1444 1141 1892"></div> <p>図 1 該当するパネルのロッキングの程度の様子（黒線が下部で計測された値）</p>
---------------	---

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #022			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のウケプレートとの接触による欠け		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/50 -100%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/50 100%, -100%, 除荷時    	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			



<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#021 は、損傷#004,005,008,009,013,014 と同様の現象だと考えられる。層間変形角が 1/50 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。層間変形角が 1/50 のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる（写真 1）。しかし、損傷が微小なことから、元から ALC パネルに存在していた欠けである可能性もある。写真を見ると、ウケプレートを溶接した際に生じた膨らみとの接触によるものとも考えられる。</p> <p>ただし、構造躯体の変形とパネルのロッキングの関係（図 1）を見ると、該当するパネルのロッキング量（黒線）は骨組みの変形と比べて大きいため、ウケプレートによりパネル底面が損傷している可能性は十分考えられる。</p> <div data-bbox="488 685 1260 1178"></div> <p>写真 1 1/50 -100% 載荷時のボード底面の様子</p> <div data-bbox="595 1272 1176 1704"></div> <p>図 1 該当するパネルのロッキングの程度の様子（黒線が下部で計測された値）</p> <table><tr><td data-bbox="228 1865 474 1899">安全性への影響</td><td data-bbox="474 1865 1367 1899"></td></tr><tr><td data-bbox="228 1899 474 1933">機能継続性への影響：</td><td data-bbox="474 1899 1367 1933"></td></tr><tr><td data-bbox="228 1933 474 1966">損傷の診断性：</td><td data-bbox="474 1933 1367 1966"></td></tr></table>	安全性への影響		機能継続性への影響：		損傷の診断性：	
安全性への影響							
機能継続性への影響：							
損傷の診断性：							

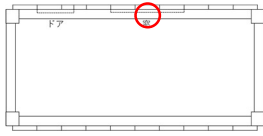
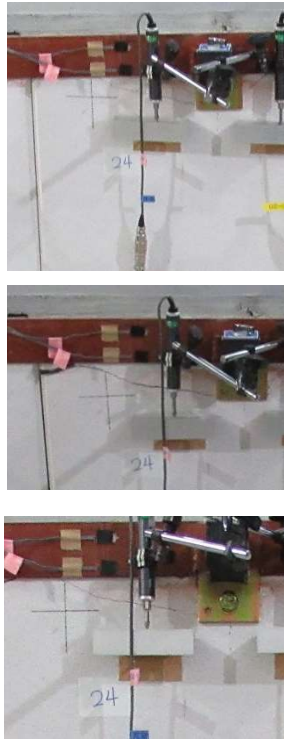
付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #023			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒窓枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要：	ガラスにヒビが入る		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/50 -100%	加速度：無し	その他
損傷の様子：			
		1/50 100%, -100%, 除荷時    	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例：			



<p>原因の分析：</p>	<p>構造躯体の層間変形が 1/50、-100%の時に、室内側から見て、左側の窓ガラスの、左下にヒビが生じた（写真1）。</p> <p>開口補強鋼材（縦）の変形量をみると、特に窓サッシが取り付けられている部分の変形が大きいことがわかる（図1）。これは、窓は平行四辺形状に変形することで、パネルより高い追従性を持つことに起因すると考えられる（写真1）。</p> <p>しかし、ガラスの面内方向への追従性は低い。そのため、ガラス及びガラス周りのサッシは変形に追従しない。結果として、ガラスには窓枠からの応力が生じる（図2）。この応力によりガラスにひび割れが生じたと考えられる。写真2、3に示すように 1/33 の-80%の載荷時にヒビが伸びた。</p> <div data-bbox="477 573 1326 831"></div> <div data-bbox="738 851 1064 878"><p>写真1 1/50 -100%載荷時の様子</p></div> <div data-bbox="410 889 944 1588"></div> <div data-bbox="520 1608 837 1635"><p>写真1 1/33 -80%載荷時の様子</p></div> <div data-bbox="994 909 1339 1169"></div> <div data-bbox="981 1196 1347 1223"><p>図1 窓の開口補強鋼材の変形の程度</p></div> <div data-bbox="975 1352 1326 1592"></div> <div data-bbox="981 1606 1347 1632"><p>図2 窓に係る力の方向とヒビの箇所</p></div> <div data-bbox="434 1650 836 1899"></div> <div data-bbox="477 1917 785 1944"><p>写真2 1/33 80%載荷時の様子</p></div> <div data-bbox="956 1646 1351 1895"></div> <div data-bbox="1003 1912 1302 1939"><p>写真3 1/33 -80%載荷時の様子</p></div>
---------------	---

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

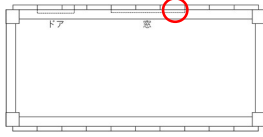
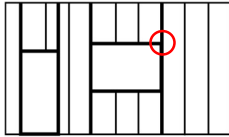
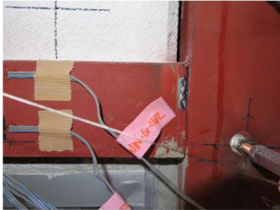



損傷データシート #024			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのボルトからのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50 -100%	加速度: 無し
損傷の様子:			
		1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/50 の-100%の時に、室内側から見て、窓開口の下中央のパネルにおいて上部のロッキング用ボルトが取り付けいた部分からパネル左上角までのヒビが生じた。その後、1/33 の負荷荷時にヒビの幅が広がった。これは、損傷#011 と同様の現象だと考えられる。</p> <p>損傷を生じさせた原因として、開口補強鋼材（横）がパネルの回転を阻害し、結果としてボルト部分に力が集中したことが考えられる。窓の下部にあるパネルが負方向の載荷時に一定量以上のロッキングをすると、開口補強鋼材（横）に角部が衝突する。その結果、開口補強鋼材もしくはパネル角が圧壊しない場合、てこの原理で衝突した部分を支点として、パネルは下に押されるような力を受ける（図 1）。実際に上に持ち上がることはボルトが阻害するが、同時にボルト部分には力がかかってしまう。その結果として、写真 1 のようなヒビが生じたと考えられる。</p> <p>この損傷はパネルと躯体の接合部分から生じているひび割れである。更に該当するパネルの反対側の面では、同箇所にひび割れが生じている（損傷#032）。よって、このひび割れはパネルを貫通している可能性が高い。この損傷により、該当する接続部分は、パネルの面外方向への保持力が低下していると考えられる。このため、損傷の対処方法としては、パネルの取り換えが望ましい。ただし、パネルの接合部は上部にもう一点あるため、即脱落とはならない。</p> <p>ただし同パネルのロッキングの程度をみると、正載荷時、負載荷時共に 1/50 の層間変形付近であってもロッキングが拘束されている様子はない（図 2）。</p> <div data-bbox="422 884 853 1243"></div> <p>図 1 ボルト部分に力がかかる原理</p> <div data-bbox="877 873 1348 1220"></div> <p>図 2 窓の上側中央のパネルのロッキング量 (黒線) (室外側から見て)</p> <div data-bbox="550 1332 1220 1892"></div> <p>写真 1 実際に生じたひび割れ 1/50 の-100%載荷時</p>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

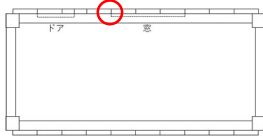
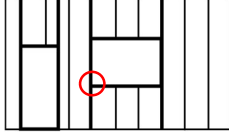



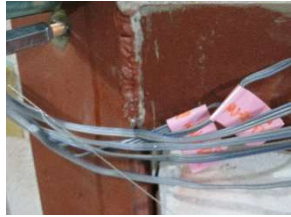

損傷データシート #025			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けられた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接)		
損傷の概要:	開口補強 (横) と (縦) の溶接の切れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50 正確には不明	加速度: 無し
損傷の様子:			
		1/50 100%, -100%, 除荷時  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

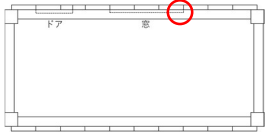
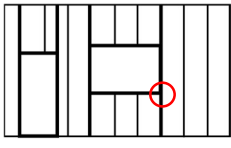




損傷データシート #025			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接)		
損傷の概要:	開口補強 (横) と (縦) の溶接の切れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50 正確には不明	加速度: 無し
損傷の様子:			
		1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			



付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #025			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接)		
損傷の概要:	開口補強 (横) と (縦) の溶接の切れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/50 正確には不明	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/50 100%, -100%, 除荷時  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例			

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #025			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接)		
損傷の概要:	開口補強 (横) と (縦) の溶接の切れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角:1/50 正確には不明	加速度:無し	その他
損傷の様子:		1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例			

窓の開口補強鋼材の縦材と横材の溶接部分のうち、2 ヲ所が構造躯体の層間変形が 1/50 の 100% のとき、残り 2 ヲ所が-100%のときに破断していることが確認された。(写真 1~4)。開口補強鋼材(縦)は、両端を鉄骨梁に溶接されているため、構造躯体の層間変形に追従し、加力時には斜めになる(図 1)。それに応じて開口補強鋼材(横)も水平方向に移動する(図 1)。しかし、縦材と横材は垂直になるように溶接されているため、実際には接合部分のみ直角を保ったまま、上記のような変形をしようとする。そのため、縦材、横材ともに S 字に若干たわむことが層間変形 1/75 の時に確認されている。モルタルにひび割れが生じたことで開口補強鋼材がたわみやすくなったことも考えられる。

実際の施工現場では、開口補強鋼材の溶接は建物の外側から行い、高さ方向と奥行き方向の 2 方向を溶接することが多い。しかし、本試験体では溶接は建物の内側から行った。そのため、溶接箇所は高さ方向のみの溶接であった可能性が高い。計算上は高さ方向のみの溶接で問題ないが、2 方向、もしくは 2 線溶接するほうが強度は高くなる。また、今回は縦材と横材の寸法が異なったため、突付け部分に段差が生じている。これにより、一般的に接合部に添える平鋼材を介さずして溶接が可能となっていた。

原因の分析：



写真 1 1/50 の -100% 載荷時

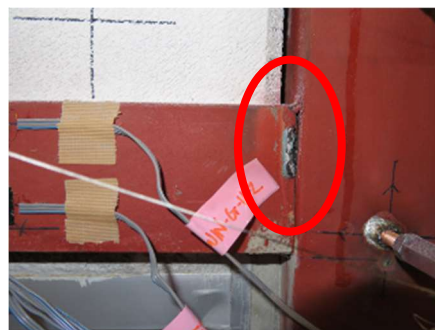


写真 2 1/50 の 100% 載荷時

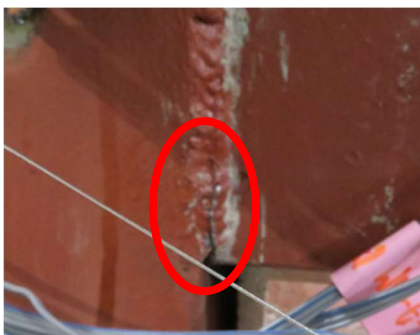


写真 2 1/50 の 100% 載荷時



写真 2 1/50 の -100% 載荷時

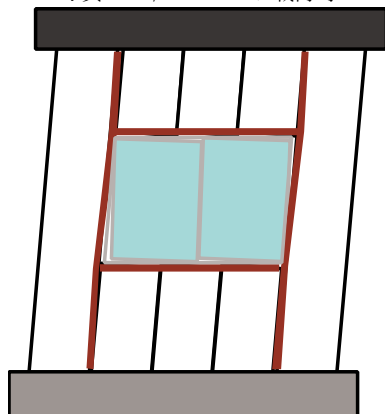


図 1 開口補強鋼材の変形時

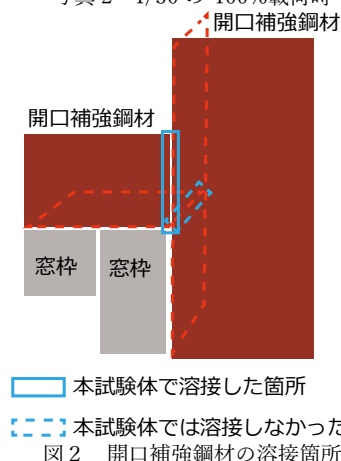


図 2 開口補強鋼材の溶接箇所



材が完全に水平を保ったままだと仮定した場合の縦材の変形の程度を図 3 に示す。図 2 は、中央の青線から順に 1/200, 1/100, 1/75, 1/50, 1/33 の正負方向の層間変形を与えた時の開口補強鋼材（縦）の下の端部を起点に、横材との接合部および上の端部の変形の具合を示すものである。1/200 の線を見ると、窓と隣接する部分の変形がそれ以外と比べて小さいことがわかる。これは横材との水平を保つために変形の差がでたものだと考えられる。しかしそれ以降は、窓に隣接する部分の変形がそれ以外と比べて大きくなっていることがわかる。これは、1/100 以降の加力時に ALC パネルが衝突するようになり、パネルより耐力の低い窓に隣接する部分がより変形するようになったのだと考えられる。

また、窓の開口補強鋼材のモーメント分布を図 4 に示す。層間変形 1/50 までは変形角の増加と共に水平材の端部のモーメントが増加しているが、1/33 では 0 に近づいている箇所がある。これは、開口補強鋼材の接合部に亀裂が生じ、剛接合からピン接合に境界条件が変わっていることが原因であると考えられる。ただし、開口補強鋼材は元よりピン接合で構造計算している。

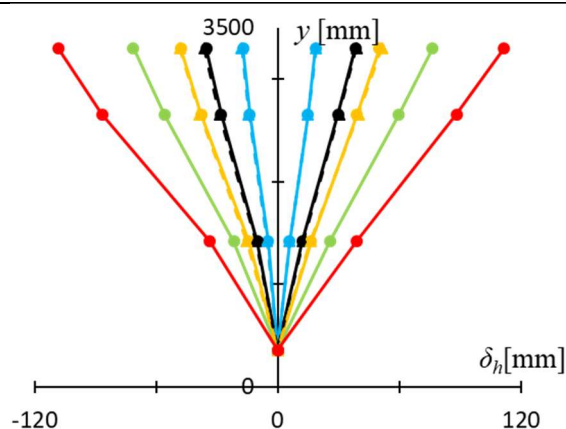


図 3 窓の開口補強鋼材の変形の程度

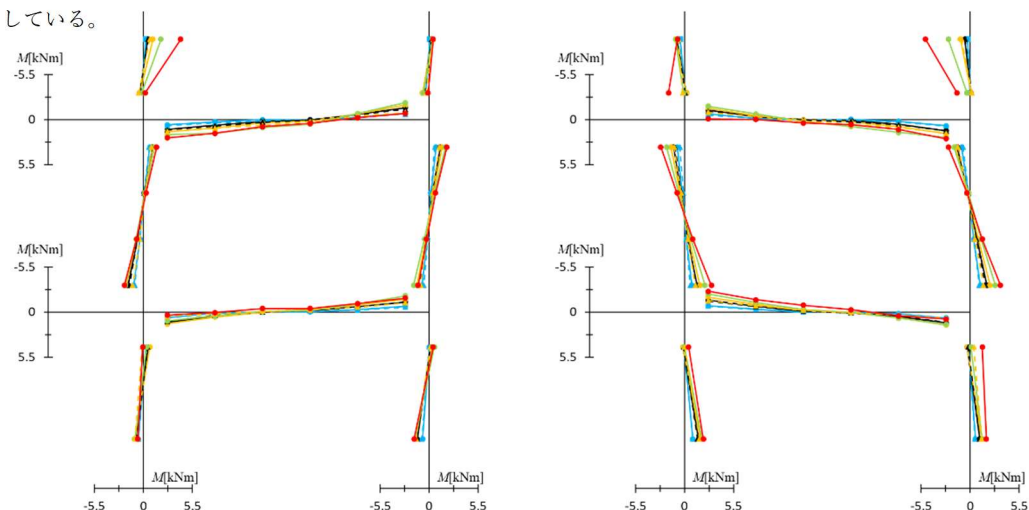


図 4 開口補強鋼材のモーメント分布

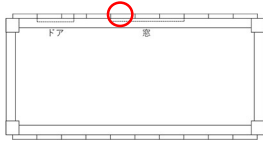


写真 5 1/50 の 100% 載荷



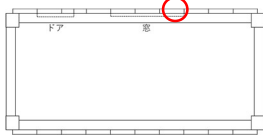
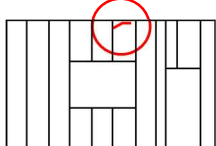
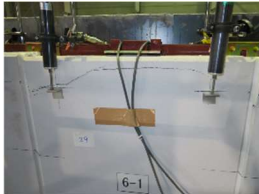




写真 6 1/50 の -100% 載荷時

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #028			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル底面のウケプレートによる欠け		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/75 (2 回目) (以前から?)	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/75 2 回目 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例:			

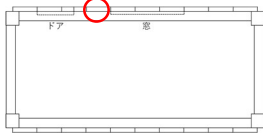
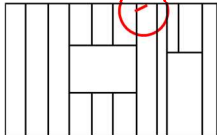





<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#028 は、損傷#004,005,008,009,013,014,021 と同様の現象だと考えられる。層間変形角が 1/75 (2 回目) のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる (写真 1)。層間変形角が 1/75 (2 回目) のときに ALC パネル端部において、部分的に欠けが生じていることが確認された。これは、ウケプレートとの接触によるものだと考えられる (写真 1)。しかし、損傷が微小なことから、元から ALC パネルに存在していた欠けである可能性もある。写真を見ると、ウケプレートを溶接した際に生じた膨らみとの接触によるものとも考えられる。</p> <p>ただし、構造躯体の変形とパネルのロッキングの関係 (図 1) を見ると、該当するパネルのロッキング量 (黒線) は骨組みの変形と比べて大きいため、ウケプレートによりパネル底面が損傷している可能性は十分考えられる。</p> <div data-bbox="588 707 1155 1245"></div> <p>写真 1 1/50 - 100% 載荷時のボード底面の様子</p> <div data-bbox="571 1352 1165 1787"></div> <p>図 1 該当するパネルのロッキングの程度の様子 (黒線が下部で計測された値)</p>
---------------	---

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #029			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/33 80%	加速度: 無し
損傷の様子:			
		1/30 80%, -80%  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が、1/33 の 80% (約 1/40) 載荷時に、開口部の上にあるパネルのうち外側から見て右にあるパネルの上部にヒビ割れが生じた (写真 1)。</p> <p>図 2 にヒビが生じたパネルのロッキングの程度、図 1 に外側から見て左側にあるパネルのロッキングの程度を示した。ヒビが生じた 1/33 の 80%、つまり約 1/40 (<math>R_{frame}=0.24rad</math>) の時点を確認すると、ひび割れが生じた右側のパネルは 1/50 を少し超えるロッキングを示しているのに対し、左側のパネルはそれを下回る量のロッキングをしている。つまり、右側のパネルが左のパネルに押し付けられた状態になっており、この結果、パネルの上部にヒビ割れが生じたのだと考えられる。</p> <p>また、図 3 にヒビが生じたパネルとその左隣のパネルとの目地ズレの程度を示す。構造躯体の層間変形が 1/40 (<math>R_{frame}=0.24rad</math>) 付近より、目地ズレが増加していない。このことから、同層間変形でパネル同士が衝突し、間に応力が発生していることが推測できる。</p> <p>ひび割れが生じた箇所は鉄筋が埋設されている位置に概ね一致する (図 4)。配筋が埋設された箇所に応力が集中した可能性がある。また、シーリング材の弾性限界を超えて圧縮力がかかると、隙間が全くないものと同じ状態になる。そのため、シーリング材が充填された箇所は、シーリングされていない箇所よりもパネル間の有効な隙間は小さくなると考えられる。</p> <div data-bbox="430 761 1324 1097"></div> <p>図 1 ヒビが生じたパネルの左にあるパネルのロッキングの程度 (グレーの線が上部で計測された値)</p> <p>図 2 ヒビが生じたパネルのロッキングの程度 (グレーの線が上部で計測された値)</p> <div data-bbox="510 1187 893 1523"></div> <p>図 3 ヒビが生じたパネルと左隣のパネルとの目地ズレ</p> <div data-bbox="925 1276 1356 1478"></div> <p>図 4 鉄筋 (縦) の配置図</p> <div data-bbox="399 1590 1356 1904"></div> <p>写真 1 ヒビが生じた 1/33 の 80% 載荷時の正面および上から見た様子</p>
---------------	---

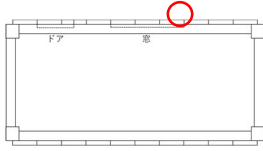
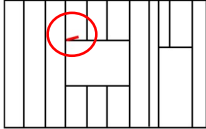




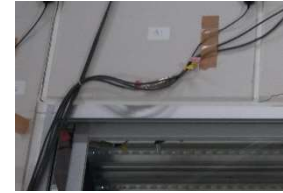
付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #030			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要：	断面方向のヒビ ⇒ 圧壊		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況：	層間変形角：1/33 80%	加速度：無し
損傷の様子：			
		1/33, 80% -80%  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例：			



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/33 の 80% (約 1/40) の時に、外側からみて窓開口部の右側にあるパネルの左上にヒビ割れが生じ、表面が剥離し、破片が脱落しかけていることが確認された。これは、損傷#029と同様の現象だと考えられる。つまり、隣り合うパネル間で、ロックキングの程度の差が生じてしまった結果、端部のパネル間に応力が生じ、一方がひび割れるという損傷であると考えられる。</p> <p>損傷#011,#016 でも説明した通り、開口部の上にあるパネルはロックキング時、開口補強鋼材に角部が衝突し、構造躯体の層間変位に対してロックキングが十分にできないと考えられる。この損傷は、開口補強鋼材の影響を受けないパネルが、開口補強鋼材の影響を受ける（ロックキングがある程度拘束される）パネルに押し付けられた結果、生じたものだと考えられる。</p> <p>ひび割れが生じたパネルのロックキングの程度は計測していないため不明であるが、同パネルとその左にあるパネルの目地ズレの程度を図 1 に示す。層間変形角が 1/50 付近より、目地ズレが小さくなっている傾向にあることがわかる。このことから、同層間変形でパネル同士が衝突し、間に応力が発生していることが推測できる。</p> <p>また写真 2 にひび割れの断面の詳細な様子を示す。表面が剥離した部分は鉄筋の埋め込み位置が境界となっていることがわかる（ヒビの断面から見えている鉄筋の端部を赤丸で囲った）。なお、ひび割れによって生じた破片はシーリング材で固定されているため脱落の恐れは少ない。しかし、破片が振動によって別の部材に衝突し、折れた場合、その破片が脱落することは考えられる。</p> <p>ただし、実際の施工では横目地（笠木とパネル間含む）にもシーリング材が充填されているため、同様の損傷が生じるとは限らない。</p> <div data-bbox="424 965 1323 1433"></div> <p>写真 1 ヒビが生じた 1/33 の 80% 載荷時の正面および上から見た様子</p> <div data-bbox="427 1552 818 1895"></div> <p>写真 2 ヒビの詳細</p> <div data-bbox="876 1520 1302 1895"></div> <p>図 1 ヒビが生じたパネルと左隣のパネルとの目地ずれ</p>
---------------	--

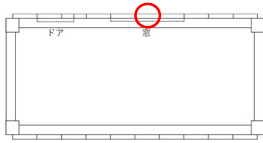
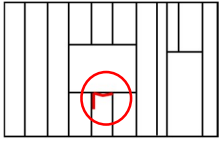
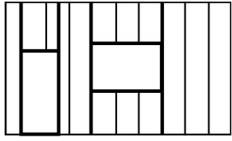
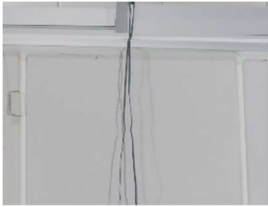


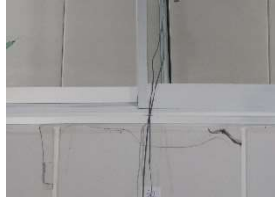

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #031			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33 80%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/33 80%, 80%  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			



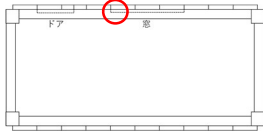
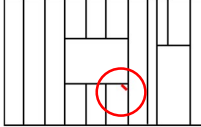





<p>原因の分析：</p>	<p>外側からみて窓の上部、左側のパネルにおいて、層間変形角が 1/33 の 80%、つまり約 1/40 の時に確認されたヒビ割れ。非常に幅の狭いヒビ割れであり、近くで確認しないとヒビの存在する見つけることが困難であった（写真 1）。</p> <p>損傷を生じさせた原因として、開口補強鋼材（横）がパネルの回転を阻害し、結果としてボルト部分に力が集中したことが考えられる。窓の下部にあるパネルが負方向の載荷時に一定量以上のロッキングをすると、開口補強鋼材（横）に角部が衝突する。その結果、開口補強鋼材もしくはパネル角が圧壊しない場合、てこの原理で衝突した部分を支点として、パネルは下に押されるような力を受ける（図 1）。実際に上に持ち上がることはボルトが阻害するが、同時にボルト部分には力がかかってしまう。内部のひび割れが外面まで達した結果、写真 1 のようになったと考えられる。</p> <p>図 1 に同パネルのロッキングの程度を示す（グレーの線）。このグラフから、同パネルは躯体の層間変位が 1/40 のころから構造躯体と比較してロッキングの量が少ない傾向にあることがわかる。</p> <div data-bbox="456 779 1355 1346"></div> <p>写真 1 1/33 100% 載荷時のひび割れの様子</p> <div data-bbox="646 1422 1120 1769"></div> <p>図 1 ひび割れが生じたパネルのロッキングの程度</p>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #032			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要：	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他 
発生時の状況：	層間変形角：1/33 80%	加速度：無し	その他
損傷の様子：		1/33 80%  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例：			

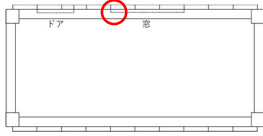
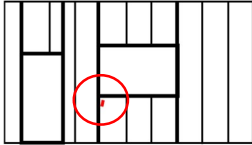




<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/33 の 80%、つまり約 1/40 の時に、窓の下、中央のパネルの上部、中央から側にかけてひび割れが生じた。-80%の載荷時にはひび割れが右側に進行した。1/33 の層間変形でひび割れの幅が広がり、左側端部では鉛直方向のヒビが生じた。損傷#032 は、損傷#024 と似た現象が生じたのちに、損傷#015 と似た現象が生じた結果であると考えられる。</p> <p>まず 1/33 の 80%載荷時に、損傷#024（同ボードの反対側、同位置における損傷）と同様に、パネルのロッキングにより外側からみてパネルの左上角が上部の開口補強鋼材（横）（写真では見えない）と衝突し、押し付けられている状態にあると考えられる。その結果、てこの原理によりロッキング用のボルト付近に応力が集中し、結果として写真 1 のようなヒビ割れが生じたのだと考えられる。</p> <p>また、-80%載荷時に生じたヒビの形状を考えると、80%載荷時に、パネルが上の開口補強鋼材（横）に押し付けられたことによってコーナー部に微小なヒビが生じていた可能性がある。これは、-80%載荷時に生じたヒビが、中央から右端に延びるにつれて上方向に向かうが、端部付近で下方向に延びる形をしているからである。これは損傷#015 と同様の現象が 80%載荷時に生じており、このときの微小なひび割れに-80%載荷時に生じたひび割れが繋がったのではないかと考えられる。</p> <p>更に 1/33 の-100%載荷時には右端部に鉛直法王に延びるヒビが生じており、これは高い確率で損傷#015 と同様にパネルの端部が開口補強鋼材（横）に押し付けられることによって生じたひび割れだと言える。</p> <p>また、同パネルのロッキングの程度をみると（図 2、黒線が該当するパネル）、構造躯体に 1/50、1/33 の層間変形を与えたときもロッキングに特に問題は確認できない。これはヒビが生じた分、パネルが自由にロッキングできたからだと考えられる。</p> <div data-bbox="949 705 1348 996"></div> <p>写真 2 パネルのロッキングの程度(黒線)</p> <div data-bbox="450 1137 1324 1518"></div> <p>写真 2 1/33 80%載荷時の様子</p> <div data-bbox="450 1585 1324 1899"></div> <p>写真 1 1/33 80%載荷時の様子</p>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #033			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33 -80%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/33 80%, -80%  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/33 の-80%、つまり負方向に約 1/40 の層間変位が生じているとき、外側から見て窓の下、右側のパネルの右上コーナーにヒビ割れが生じた（写真1）。</p> <p>図1のようにパネルがロッキングすることにより角部が開口補強材に衝突することが考えられる。その後、層間変位に応じて応力が生じるが、層間変位 1/40 でパネルの耐力が負け、ひび割れに至ったのだと考えられる。この点で、損傷#016と同様の現象だと考えることができる。</p> <p>開口補強鋼材の内、横材と縦材のどちらに衝突して生じた損傷なのか断定することはできない。</p> <p>なお、同パネルのロッキングの程度を図2に示す（黒線）。ひび割れが生じた影響か、1/33の層間変形を与えたときも含め、ロッキングの程度に急激な変化は見られない。</p> <p>また、外壁側の損傷であるため、水密性の観点から補修が必要であると考えられる。</p> <div data-bbox="520 828 1276 1391"></div> <p>写真1 1/33 -80% 載荷時の様子</p> <div data-bbox="424 1485 817 1895"></div> <p>図1 ロッキングにより角部が衝突する</p> <div data-bbox="831 1485 1353 1868"></div> <p>図2 パネルのロッキングの程度</p>
---------------	--

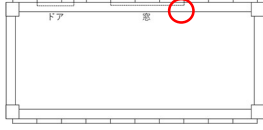
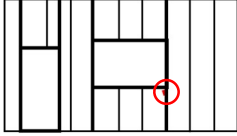
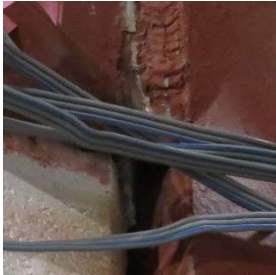
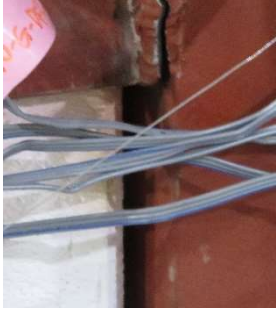

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #034			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33 -80%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		1/33 -80% 	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が <math>1/33</math> の-80%、つまり負方向に約 <math>1/40</math> のときに、室内側からみて窓の下の左側にあるパネルに置いて、左上角部が確認された。(写真1)。損傷#034 は損傷#016,#033 と同様の現象だと考えられる。</p> <p>これは図1のようにパネルがロッキングすることにより角部が開口補強材の衝突することが考えられる。その後、層間変位に応じて応力が生じるが、層間変位 <math>1/40</math> でパネルの耐力が負け、ひび割れに至ったのだと考えられる。この点で、損傷#016 と同様の現象だと考えることができる。開口補強鋼材の内、横材と縦材のどちらに衝突して生じた損傷なのか断定することはできない。</p> <p>なお、同パネルのロッキングの程度を図2に示す(黒線)。ひび割れが生じた影響か、<math>1/33</math> の層間変形を与えたときも含め、ロッキングの程度に急激な変化は見られない</p> <div data-bbox="493 743 1275 1305"></div> <p>写真1 <math>1/33</math> 80% 載荷時の様子</p> <div data-bbox="443 1384 786 1771"></div> <p>図1 ロッキングにより角部が衝突する</p> <div data-bbox="815 1384 1342 1765"></div> <p>図2 パネルのロッキングの程度</p>
---------------	--



付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #035			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33 100%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:			1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/33 のときに、室内側からみて窓の下側の左側にあるパネルに置いて、左上角部が確認された。(写真 1)。損傷#034 は損傷#016,#033#034 と同様の現象だと考えられる。</p> <p>これは図 1 のようにパネルがロッキングすることにより角部が開口補強材の衝突することが考えられる。その後、層間変位に応じて応力が生じるが、層間変位 1/40 でパネルの耐力が負け、ひび割れに至ったのだと考えられる。この点で、損傷#016 と同様の現象だと考えることができる。開口補強鋼材の内、横材と縦材のどちらに衝突して生じた損傷なのか断定することはできない。</p> <p>なお、同パネルのロッキングの程度を図 2 に示す(黒線)。ひび割れが生じた影響か、1/33 の層間変形を与えたときも含め、ロッキングの程度に急激な変化は見られない</p> <p>除荷時には破片が脱落した(写真 2)。</p> <div data-bbox="464 817 858 1232"></div> <p>図 1 ロッキングにより角部が衝突する</p> <div data-bbox="405 1339 991 1771"></div> <p>図 2 窓の下側左側のパネルのロッキングの程度(黒線)(室外側から見て)</p> <div data-bbox="978 790 1351 1361"></div> <p>写真 1 1/33 100% 載荷時の様子</p> <div data-bbox="991 1433 1351 1789"></div> <p>写真 2 1/33 除荷時の様子</p>
---------------	---

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #036			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/33 100%	加速度: 無し
損傷の様子:			その他
			1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

原因の分析：

損傷#036 は、損傷#011,#024 と同様の損傷だと考えられる。層間変形角が 1/33 の 100%の時に、室内側から見て、窓開口の下中央のパネルにおいて上部のロック用ボルトが取り付けいた部分からパネル左上角までのヒビが生じた。その後、1/33 の負荷荷時にヒビの幅が広がった。これは、損傷#011 と同様の現象だと考えられる。

損傷を生じさせた原因として、開口補強鋼材（横）がパネルの回転を阻害し、結果としてボルト部分に力が集中したことが考えられる。窓の下部にあるパネルが正方向の載荷時に一定量以上のロック用ボルトを回すと、開口補強鋼材（横）にパネルの左下の角部が衝突する。その結果、開口補強鋼材もしくはパネル角が圧壊しない場合、てこの原理で衝突した部分を支点として、パネルは上に押されるような力を受ける（図 1）。実際に上に持ち上がることはボルトが阻害するが、同時にボルト部分には力がかかってしまう。その結果として、写真 1 のようなヒビが生じたと考えられる。

また、写真 1 を見ると、パネルに開けられた穴に対してボルトが左側にズレていることがわかる。これも上記と同様の現象だと考えられる。つまりロック用ボルトによりパネルの右上の角部が開口補強鋼材（縦）に衝突する。その結果、開口補強鋼材もしくはパネル角が圧壊しない場合、てこの原理で衝突した部分を視点として、パネル、特にボルトには左方向に力が働く（図 1）。

図 2 に同パネルのロック用ボルトの程度の推移を示す。1/33 の層間変形の少し手前より、ロック用ボルトの程度が小さくなっていることがわかる。このことから、パネルの角部が開口補強鋼材に衝突していることが考察できる。

なお、パネルには直径 19~23mm の穴が空いているのに対し、ボルトの直径は 12mm である。つまり、穴に対してボルトが 10mm 以上動いた場合、応力が生じひび割れが生じる可能性がある。

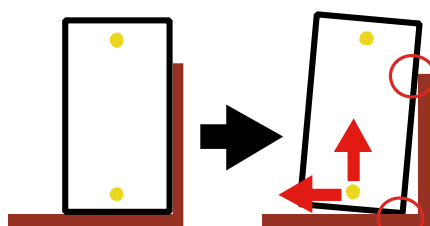


図 1 ボルト部分に力がかかる原理

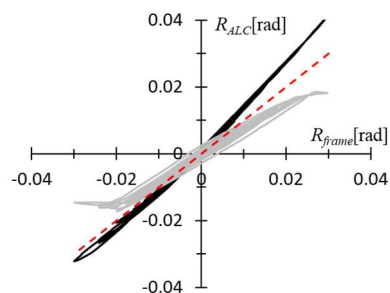


図 2 窓の上、右側のパネルのロック用ボルトの量  
(グレーの線) (室外側から見て)

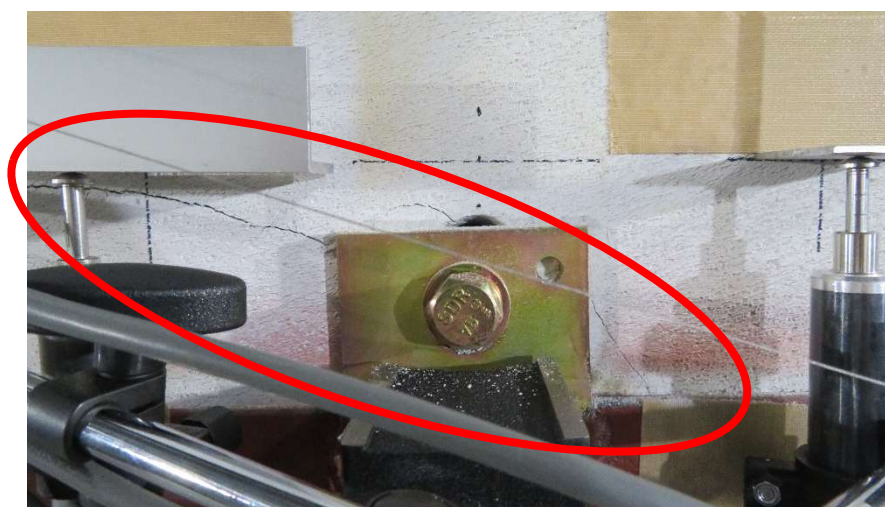
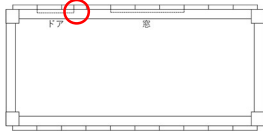
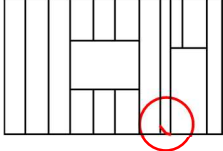





写真 1 実際に生じたひび割れ 1/33 の 100% 載荷時

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #037			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33 -100%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:			1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			

<p>原因の分析：</p>	<p>外側からみて扉開口部の左側にあるパネルの左下にヒビ割れが生じ、表面が剥離し、破片が脱落しかけるといった損傷が、層間変形角 1/33 の-100%載荷時に生じた（写真 1）。また、幅が非常に狭いが、同ひび割れの途中から、底面に向けてひび割れも生じていることが確認できる（写真 1）。その後、正負方向に漸減的に加力していき、載荷終了後にはパネル底面のひび割れは幅が広がり、はっきり確認できるほどまで伸びていた（写真 2）。</p> <p>まず-100%載荷時に生じたひび割れは、損傷#029,030 と同様に隣のパネルとのロッキングの程度の差による生じたものだと考えられる。ロッキングの程度に差が生じると、パネル同士が押し付けられるようになり、間に応力が生じる。その結果、ひび割れが生じたのだと考えられる。</p> <p>もしくはロッキングにより目地の間隔が完全に詰まってしまい、ロッキングの程度に差がないにもかかわらず応力が生じ、ヒビが生じたとも考えることもできる。ひび割れが生じたパネルと外側からみて左側のパネルとの目地ズレの程度を図 1 に示す。構造躯体の層間変形が負方向に 1/33 に達しても特に目地ズレの程度の推移に急激な変化は見られない。よって、目地の間隔が完全に詰まってしまったことによりヒビが生じた可能性が高いと考えられる。</p> <p>また、パネル底面のひび割れは正確に生じたタイミングが不明であるが、生じた位置から推測するに、正加力時にウケプレートに底面が押し付けられたことにより生じたものだと考えられる。その後、-100%加力時にパネル表面に比較的大きいひび割れが生じたこともあり、写真赤丸で囲んだ部分が少しずれる形で、セット終了後は幅が広がっていたのだと考えられる。</p> <div data-bbox="1066 667 1367 929"></div> <p>写真 1 目地ズレの程度</p> <div data-bbox="470 1023 1316 1438"></div> <p>写真 1 1/33 の-100%載荷時の様子</p> <div data-bbox="470 1500 1316 1899"></div> <p>写真 1 1/33 の載荷後の様子</p>
---------------	---

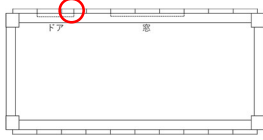
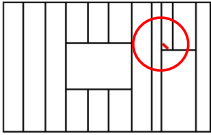
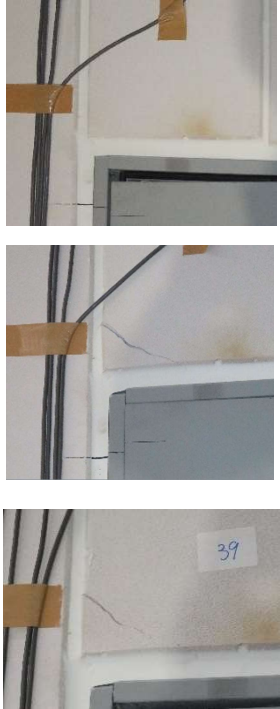
付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #038			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要：	パネルの開口補強 (横) 裏でのひび割れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/33 -100%	加速度：無し	その他
損傷の様子：			1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例：			



<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#038 は、損傷#007,#016,#035 と似たような現象である可能性がある（損傷#006 も似た現象である可能性が高い）。室内側から見て扉の右上にある開口補強鋼材（横と縦の接合部）の裏で、パネルの右下角部が割れているのが、層間変形角 1/33 の-100%載荷時に確認された（写真1）。これは、パネルのロッキングによって、角部が開口補強鋼材に衝突し、生じた応力によってひび割れが発生したのだと考えられる。</p> <p>パネルのロッキングによりパネルの角部は元々の位置から飛び出し、開口補強材と衝突する（図1）。これによりパネルのロッキングが抑えられることになり応力が生じる。そしてそれ以上に加力した結果、コーナー部分にヒビが生じたのだと考えられる。</p> <p>図2にパネルのロッキングの程度と構造躯体の層間変形の関係性を示した。1/33 の時点でも負方向に加力した時のロッキングの程度に大きな変化は見られない。これは、パネルにひび割れが生じたことでパネルが自由に動けるようになったからであると考えられる（写真2）。</p> <div data-bbox="454 1041 949 1299"></div> <div data-bbox="483 1310 906 1339"><p>図1 パネルの角部は開口補強材に衝突する</p></div> <div data-bbox="997 745 1327 1299"></div> <div data-bbox="997 1310 1327 1339"><p>写真1 1/33 -100%載荷時の様子</p></div> <div data-bbox="571 1422 1165 1854"></div> <div data-bbox="724 1865 1040 1895"><p>図2 パネルのロッキングの程度</p></div>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #039			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/30 -100%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:			1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例:			



外側からみて扉開口部の上部にあるパネルのうち、左側にあるほうの左下にひび割れが、層間変形角  $1/33$  の  $-100\%$  の時に生じた（写真 1）。この損傷#039 は、損傷#033 と同様の現象だと考えられる。つまり、パネルの角部がロッキングにより開口補強鋼材（縦）に衝突し、押し付けられ、生じた応力によってひび割れが生じたのだと考えられる。

図 1 にパネルの角部がロッキングによって開口補強鋼材（縦）に衝突する際のイメージ図を示す。このときに生じた応力によってひび割れが生じたのだと考えられる。図 2 に同パネルのロッキングの程度の推移を示す。負方向のロッキングの程度は構造躯体の層間変形が  $1/33$  のときでも急な変化は見られない。これは、ひび割れが生じたことによりパネルが自由に動けるようになったからだと考えられる。

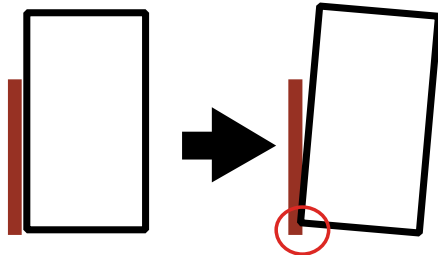


図 1 パネルの角部は開口補強材に衝突する

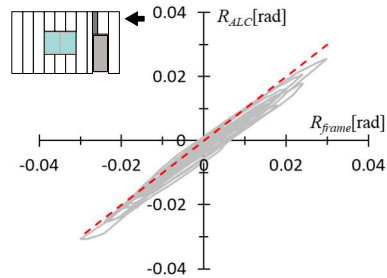


図 2 ロッキングの程度

原因の分析：

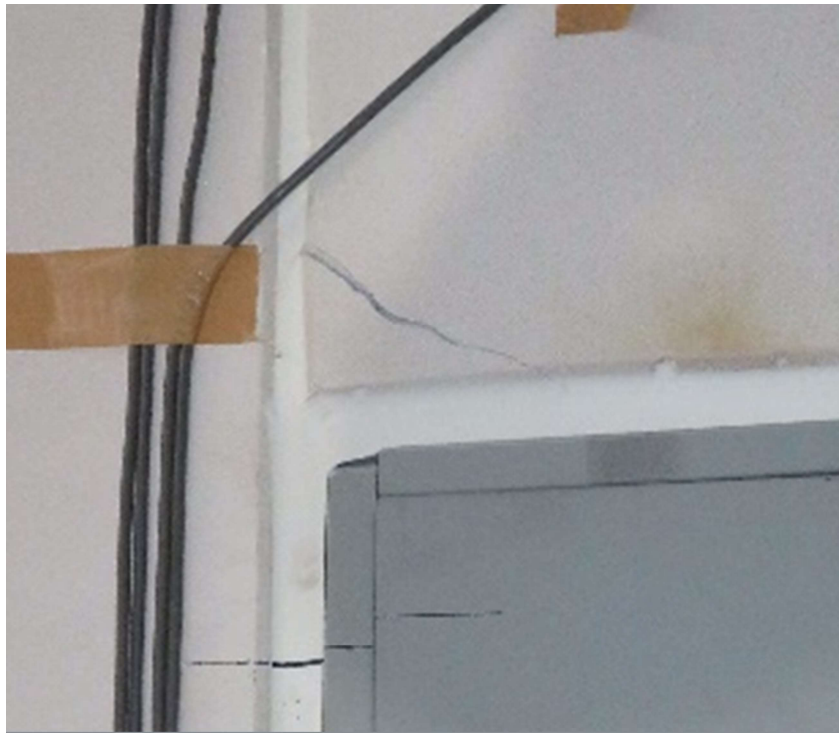
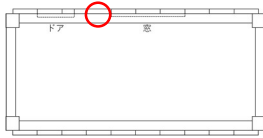
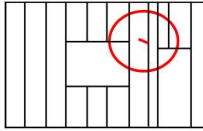



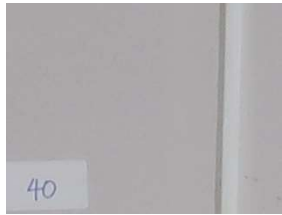
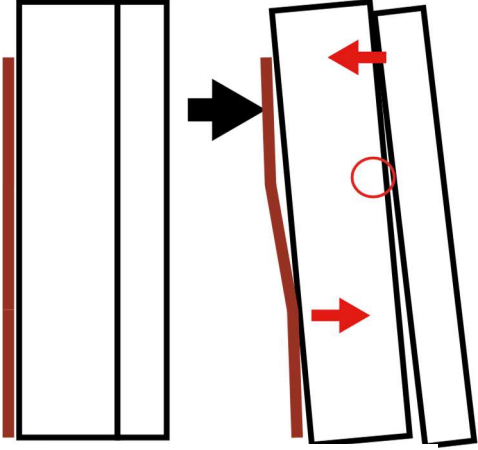




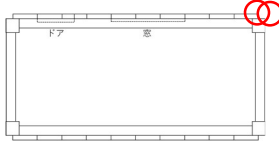
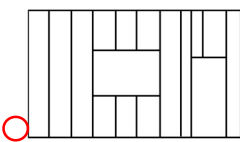





写真 1  $1/33$   $-100\%$  の載荷時の様子

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #040			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネルのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33 -100%??	加速度: 無し	その他
損傷の様子:		 	1/33 100%, -100%, 除荷時  
他の実験等で確認された例:			

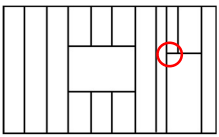
<p>原因の分析：</p>	<p>窓と扉の間に位置するパネルの中央部分において、層間変形角が 1/33 の-100%時にひび割れが入っていることが確認された（写真 1、2）。非常に幅の小さいひび割れであり、生じた正確なタイミングは不明である。ひび割れの箇所から推測するに、正方向に加力しているときに生じたひび割れである。</p> <p>損傷が生じた理由としては、図 1 のようにせん断力がかかったことが考えられる。つまりひび割れが生じたパネルの隣のパネルが相対的にロッキングの程度が大きく、パネル上部に左方向の応力が生じた（図 1 の上の赤矢印）。さらに隣に位置する開口補強材がいびつな曲がり方をしたため、そこに右方向の応力が生じた（図 1 の下の赤矢印）。その結果、図 1 の赤丸部分にひび割れが生じたのではないかと考えることができる。</p> <p>ただし、該当するパネルのロッキングの程度、目地ズレは計測していない。更に開口補強の曲がり方の歪み方は図では強調している。そのため、損傷が生じた正確な原因については現段階では不明であり、今後、考察の必要がある。</p>  <p>図 1 ひび割れが生じたメカニズム</p>  <p>写真 1 1/33 -100%の載荷時の様子</p>  <p>写真 2 1/33 -100%の載荷時の様子</p>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #041			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接)、振れ止め (溶接)		
損傷の概要：	定規アングルと振れ止めの溶接の切れ、振れ止めと鉄骨の溶接の切れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/33 正確には不明	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/33 60%, -60%  	1/33 80%, -80% 	1/33 100%, -100%, 除荷時  
他の実験等で確認された例：			

<p>原因の分析：</p>	<p>損傷#041 は、損傷#017,018,019,020 と同様の現象だと考えられる。つまり構造躯体の層間変形によって振れ止めの溶接が破断したと考えられる。層間変形角が 1/33 の-80%時に、開口部が付いている側の面、外側から見て左下に位置するモルタル止めの溶接が切れていることが確認された（写真 1,2）。ただし確認されたタイミングよりも前から損傷が生じていた可能性はある。</p> <p>なお、この振れ止めは、本試験体に特有の仕様である。そもそも定規アングルは、鉄骨に被っている部分においては底面を切り取る必要があるため、端部が面外方向にフリーになる（図 2）。このため、地震や風によって力が加わると、端部が振動、変形することが考えられる。例えば地震後にパネルが面外方向に変形している場合、定規アングルの変形が原因である可能性がある。</p> <p>実際の建物においてはコーナーをまたいで ALC パネルを取付けることが多く、この場合は反対側の定規アングルと、アングル材を介して溶接することで振動や変形を抑えることができる。本試験体のように一面にのみ ALC パネルが取り付けられる場合、振れ止めに新たに設ける必要がある。この場合であっても、本来は 2 方向の溶接を行うべきであるが、本試験体では一方向の溶接に留まっている。上記の通り、本来は別な方法で接合されている定規アングルの端部であるが、これらの方法も 1/50 の層間変形角に耐えられるか否かは不明である。</p> <p>本来の建物では ALC パネルがコーナー部分まで設置されていることや、他の仕上げ材によって下地部分は隠されてしまう。そのため、定規アングルの損傷はパネルを取り外さない限り気付くことができない。</p> <div data-bbox="443 907 885 1489"></div> <div data-bbox="518 1512 805 1541"><p>図 1 1/33 60% 載荷時の様子</p></div> <div data-bbox="938 907 1343 1489"></div> <div data-bbox="992 1512 1289 1541"><p>図 2 1/33 100% 載荷時の様子</p></div> <div data-bbox="491 1579 1295 1892"></div> <div data-bbox="630 1904 1232 1933"><p>図 1 定規アングルとモルタル止めの溶接が切れるときの様子</p></div>
---------------	---

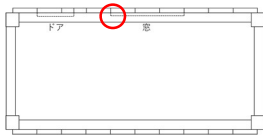
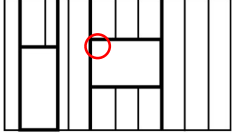






付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #042			
実験/調査の日付と名称：		2019/05-06 （建築研究所） 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験（静的加力）	
部材名：		ALC 外壁、（縦壁ロックンク構法）	
部品名：		ALC パネル（100mm）	
取付け方法：		鉄骨⇒アングルピース（溶接）⇒開口補強材（縦）（溶接）⇒開口補強材（横）（溶接）⇒扉枠（溶接）⇒扉（蝶番）	
損傷の概要：		扉枠の破断、ズレ	
損傷の発生箇所：	平面図	立面図	その他
			
発生時の状況：	層間変形角：1/33 - 100%	加速度：無し	その他
損傷の様子：			
			1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例：			



<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が 1/33 の-100%の時、扉の枠の外側から見て左上部分が鉛直方向に破断していることが確認された(写真1)。これは、正加力時に、開口補強部が変形し、それに伴い扉枠も変形するが、これらより比較的変形のしにくい扉が右下の扉枠と接触している部分を軸に、時計回りに回転するような動きを見せた結果、枠と扉が衝突し、応力が生じた結果だと考えられる(図1)。写真2、3から子の様子うかがえる。</p> <div data-bbox="427 461 786 768"></div> <div data-bbox="437 786 759 815"><p>写真1 1/33-100%載荷時の様子</p></div> <div data-bbox="422 869 821 1317"></div> <div data-bbox="430 1335 772 1364"><p>図1 損傷が生じた原因のイメージ</p></div> <div data-bbox="847 456 1345 1314"></div> <div data-bbox="932 1335 1254 1364"><p>写真1 1/33-100%載荷時の様子</p></div> <div data-bbox="499 1451 1257 1845"></div> <div data-bbox="722 1863 1038 1892"><p>写真1 1/33-100%載荷時の様子</p></div>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #43			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒窓枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要:	ガラスのひび割れ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況:	層間変形角: 1/33 -60%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/33 -60% 	1/33 80%, -80%  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例:			



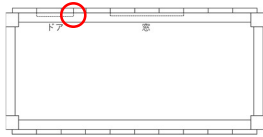
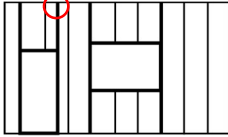

<p>原因の分析：</p>	<p>変形角が 1/33 の-60%の時に、室内側からみて窓ガラスの左上側に新たなひび割れが生じた。(写真1)。</p> <p>層間変形に追従して、窓枠は平行四辺形上に変形するが、ガラスは変形しにくいいため窓自体はロッキングのような挙動を示す(図1)。その結果、図1の赤矢印の方向に応力が生じると考えられる。しかし、実際にひび割れが生じたのは図1の赤丸部分である。これは、枠とサッシが触れていない箇所である。図2に障子単体の傾きと力が加わる箇所を示す。これを見ても、ひび割れが生じた箇所と一致しない。</p> <p>この箇所にひび割れが生じた理由として、施工時にガラス端部に既に微小なひび割れが入っていたことなどが考えられる。ただし、明確な理由は不明である。</p> <div data-bbox="411 645 769 896"></div> <p>図1 室内側からみたひび割れ発生時の窓の挙動</p> <div data-bbox="786 689 1353 1115"></div> <p>写真1 室内側からみたひび割れ発生時の窓の様子</p> <div data-bbox="523 958 699 1187"></div> <p>図2 室内側から見た障子の挙動</p> <div data-bbox="406 1258 1337 1854"></div> <p>写真1 室内側からみた発生時のひび割れ</p>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #044			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けられた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒窓枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要：	シーリング材の切れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/33 100%	加速度：無し	その他
損傷の様子：			1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例：			

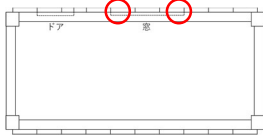
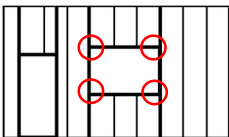


<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が負方向に 1/33 の時に、室内側からみて右側にある窓の下部のシールが一部切れていることが確認された。</p> <p>層間変形に追従して、アルミサッシは平行四辺形上に変形するが、ガラスは変形しにくい。この様子を強調すると図 1 のようになる。ガラスとアルミサッシの剥離が生じる箇所があることがわかる。しかし、端部で最も差がでるにも関わらず、実際には少し内側に生じた（図 1 の赤丸部分）。ガラスのセッティングブロックの上はシーリング材が薄くなる可能性があることが分かっている。今回、端部より少し内側にシールの切れが生じたのはこのことが原因と考えることができる。図 2 にガラスのセッティングブロックの位置、図 3 にセッティングブロックの有無によるシールの厚さの違いを示す。</p> <div data-bbox="547 629 721 875"></div> <div data-bbox="445 900 831 925"><p>図 1 アルミサッシとガラスの挙動の差</p></div> <div data-bbox="954 611 1284 869"></div> <div data-bbox="946 900 1284 925"><p>図 2 セッティングブロックの位置</p></div> <div data-bbox="446 969 1308 1288"></div> <div data-bbox="557 1321 1179 1346"><p>図 3 セッティングブロックの有無とシーリング材の厚さの関係</p></div> <div data-bbox="437 1599 869 1874"></div> <div data-bbox="434 1895 860 1919"><p>写真 1 室内側からみた損傷の発生時の様子</p></div> <div data-bbox="890 1599 1342 1874"></div> <div data-bbox="893 1895 1319 1919"><p>写真 2 室内側からみた損傷の発生時の様子</p></div>
---------------	--

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #045			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けられた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒窓枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要：	鉄骨とアングルピースの溶接の亀裂		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/33 100%	加速度：無し	その他
損傷の様子：			1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例：			

<p>原因の分析：</p>	<p>層間変形角が正方向に 1/33 の時、扉開口補強鋼材（縦）と鉄骨を繋ぐアングルピースにおいて、鉄骨との溶接に亀裂が生じた、(写真 1、2、3)。</p> <p>図 1 に正方向の加力時に扉周りを室内側からみたときのイメージ図を示す。開口補強鋼材（縦）は鉄骨骨組みの層間変形に追従し、傾く挙動をみせる。しかし図 1 の赤丸部分のように鉄骨に水平材に溶接されている部分は直角を保とうとするため、開口補強鋼材の変形に応じて応力が生じていると考えられる。その結果、1/33 という大変形を受けた結果、亀裂という損傷が生じたのだと考えられる。</p> <div data-bbox="399 846 989 1279"></div> <div data-bbox="560 1305 839 1337"><p>写真 1 加力時の損傷の様子</p></div> <div data-bbox="1043 853 1321 1279"></div> <div data-bbox="994 1305 1337 1337"><p>図 1 室内側から見た加力時の様子</p></div> <div data-bbox="399 1379 849 1771"></div> <div data-bbox="496 1794 770 1825"><p>写真 2 加力時の損傷の様子</p></div> <div data-bbox="890 1379 1340 1771"></div> <div data-bbox="983 1794 1257 1825"><p>写真 3 加力時の損傷の様子</p></div>
---------------	---

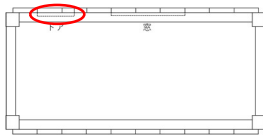
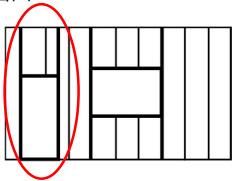



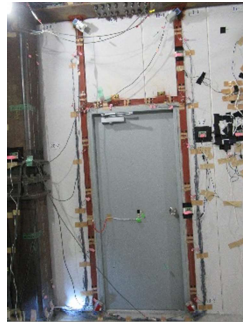
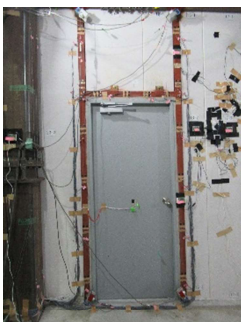




付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #046			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒窓枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要：	窓サッシの枠の破断		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/33?	加速度：無し	その他
損傷の様子：		1/33 -100%	1/33 除荷時
		 <p>残りの角部の写真は撮っていない</p>	
他の実験等で確認された例：			

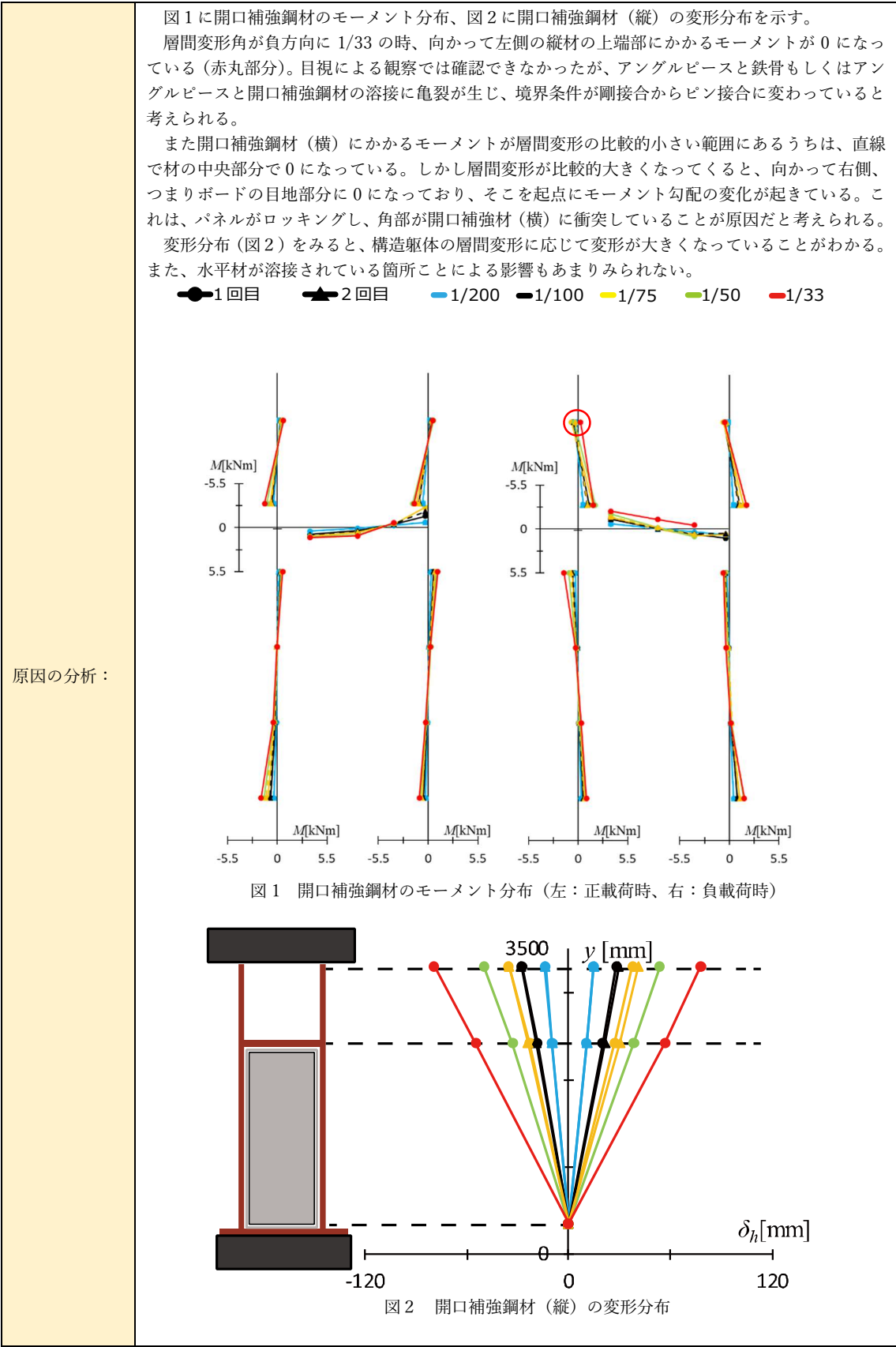


<p>原因の分析：</p>	<div data-bbox="399 264 1037 716"><p>層間変形角が負方向に 1/33 の時に、窓枠において、室内側から見て右上の角部、そして左上の角部に部材の変形が確認された。</p><p>窓枠は、構造躯体の層間変形を受けて開口補強鋼材が変形することにより、平行四辺形状に変形する（写真 1）。その結果、窓枠の縦材と横材の接合部に力が生じる。負方向の加力時には右上と左下の角部の接合部に引張力、左上と右下の角部の接合部には圧縮力がかかる。特に右上と左上の損傷は顕著であった（写真 2、3）。除荷時に確認したところ、残りの角部でも、比較的小さいが、同様の損傷が確認できた。</p><p>なお、縦材と横材の間にはシーリング材が挟まっている。サッシの端部が変形しても、このシーリング材に損傷が無ければ水密性に問題はない。ただし、シーリング材の剥離といった損傷が生じた場合、部材を取り換える必要がある。</p></div> <div data-bbox="1053 264 1367 560"><p>サッシ</p><p>サッシ</p><p>シーリング材</p></div> <div data-bbox="430 761 1356 1411"></div> <div data-bbox="542 1433 1244 1467"><p>写真 1 負方向に 1/33 の層間変形を与えた時の室内側から見た窓の様子</p></div> <div data-bbox="414 1467 861 1881"></div> <div data-bbox="526 1904 766 1937"><p>写真 2 左上角部の様子</p></div> <div data-bbox="877 1467 1324 1881"></div> <div data-bbox="973 1904 1212 1937"><p>写真 3 左上角部の様子</p></div>
---------------	--

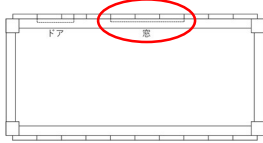
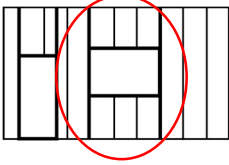









付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

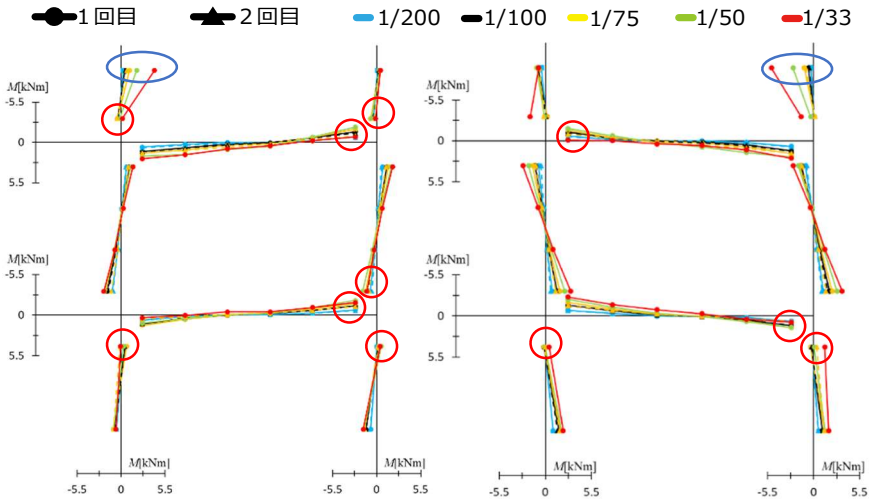
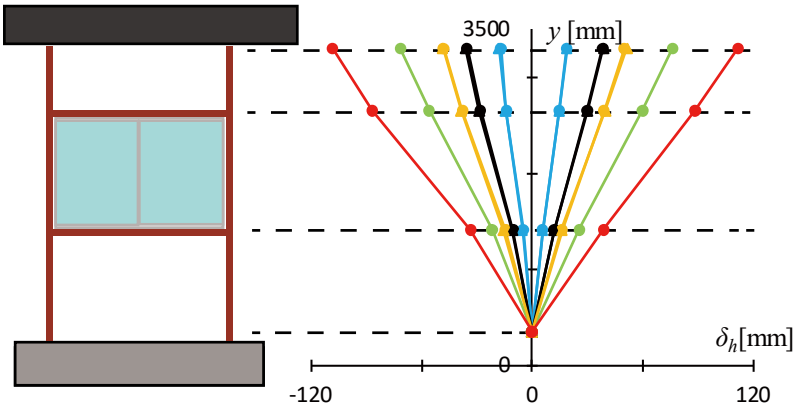
損傷データシート #047			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒扉枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要：	扉の開口補強の歪み		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し
損傷の様子：	1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時	その他
	1/75 100%, -100%, 除荷時 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
			
			
他の実験等で確認された例：			



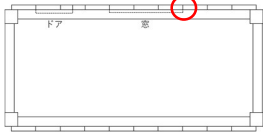
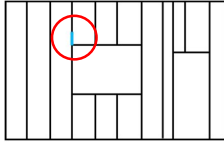



付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

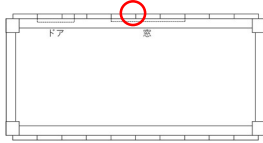
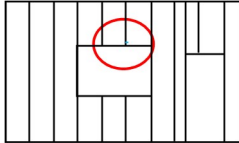





損傷データシート #048			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒窓枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要：	窓の開口補強の歪み		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：	1/75 100%, -100%, 除荷時 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/100 100%, -100%, 除荷時 
			
			
他の実験等で確認された例：			

原因の分析：	<p>図 1 に開口補強鋼材のモーメント分布、図 2 に開口補強鋼材（縦）の変形分布を示す。</p> <p>扉の開口補強鋼材とことなり、1/33 の層間変形を与えた時に、かかるモーメントが 0 の部分水平材のすべての端部付近で確認できる（図 1 の赤丸）。これは、開口補強鋼材の横材と縦材の溶接 4ヶ所全てにおいて亀裂が生じ、剛接合からピン接合に境界条件が変わっていることが原因だと考えられる。</p> <p>また、正載荷時には左側の縦材、負載荷時には右側の縦材の上部に、特に大きいモーメントがかかっていることがわかる。</p> <p>また開口補強鋼材（横）にかかるモーメントが層間変形の比較的小さい範囲にあるうちから、パネルの目地部分でモーメント勾配の変化が起きている。ただし扉の開口補強鋼材ほどはっきりした変化ではない。</p> <p>縦材の変形分布をみると、水平材との溶接部分を起点に勾配の変化が起きていることがわかる。層間変形が比較的小さい範囲にあるうちは、若干ではあるがパネルに接する部分のほうが、変形量が多い。しかし、層間変形が大きくなると、特に負載荷時は、窓に接する部分のほうが、変形量が大きくなる。これは、パネルと開口補強鋼材との距離に関係していると考えられる。パネルが開口補強鋼材に衝突する前は、パネルに接する開口補強鋼材の方が変形しやすいが、パネルの角部が衝突すると逆に変形しにくくなると考えられる。</p>
	<p>● 1回目    ● 2回目    1/200    1/100    1/75    1/50    1/33</p>  <p>図 1 開口補強鋼材（縦）のモーメント分布（左：正載荷時、右：負載荷時）</p>
	 <p>図 2 開口補強鋼材（縦）の変形分布</p>
安全性への影響	
機能継続性への影響：	
損傷の診断性：	

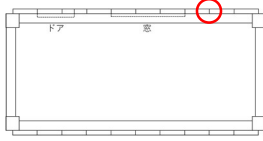
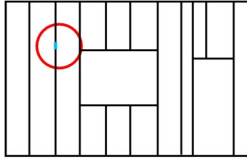



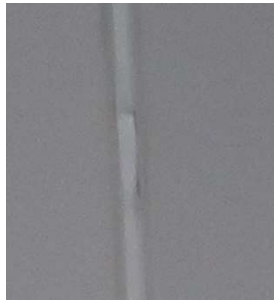

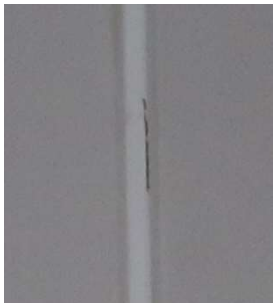
付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #049			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル間のシーリング材の剥がれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/50	加速度: 無し
損傷の様子:		1/200 100%, -100%, 除荷時	1/100 100%, -100%, 除荷時
	1/75 100%, -100%, 除荷時	1/50 100%, -100%, 除荷時	1/33 100%, -100%, 除荷時
			
他の実験等で確認された例:			

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

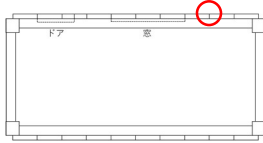
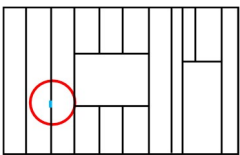





損傷データシート #050			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要：	パネル間のシーリング材の剥がれ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：1/33	加速度：無し	その他
損傷の様子：			
		1/33 80%, -80%  	1/33 100%, -100%, 除荷時   
他の実験等で確認された例：			

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

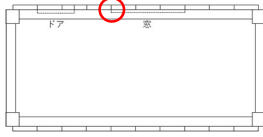
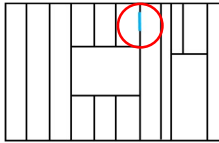





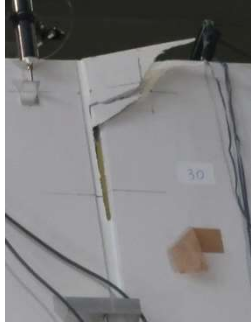

損傷データシート #051			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル間のシーリング材の剥がれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況: 層間変形角: 1/33	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/33 60%, -60%	1/33 80%, -80%	1/33 100%, -100%, 除荷時
		 	  
他の実験等で確認された例:			



付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

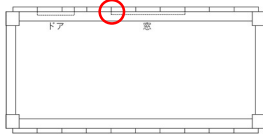
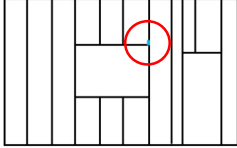
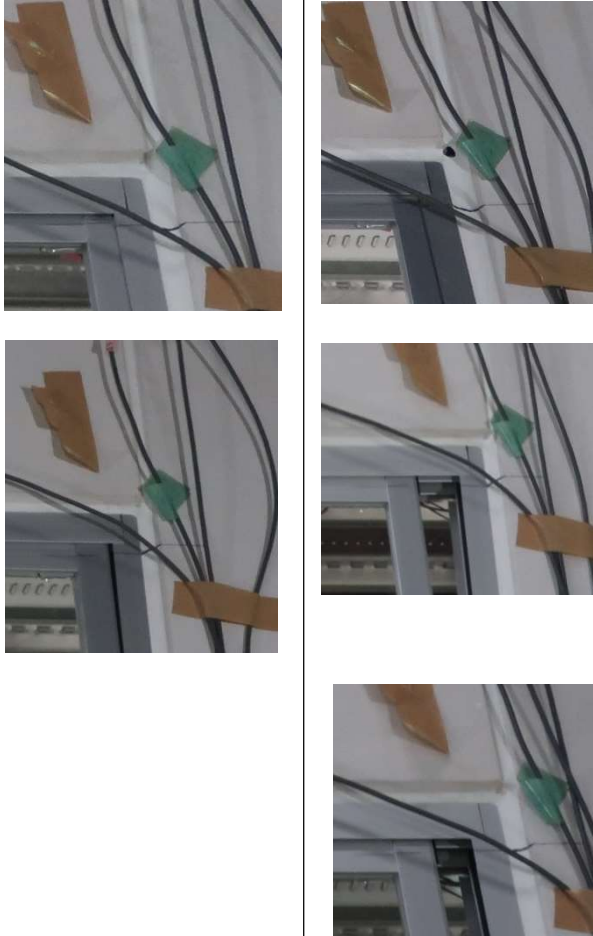
損傷データシート #052			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル間のシーリング材の剥がれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況: 層間変形角: 1/33 -80%	加速度: 無し	その他
損傷の様子:	1/33 80%, -80%, 	1/33 100%, -100%, 	1/33, 除荷時 
			
他の実験等で確認された例:			

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート



損傷データシート #053			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル間のシーリング材の剥がれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/33 -100%	加速度: 無し
損傷の様子:	1/33 60%, -60%	1/33 80%, -80%	1/33 100%, -100%, 除荷時
	 	 	  
他の実験等で確認された例:			

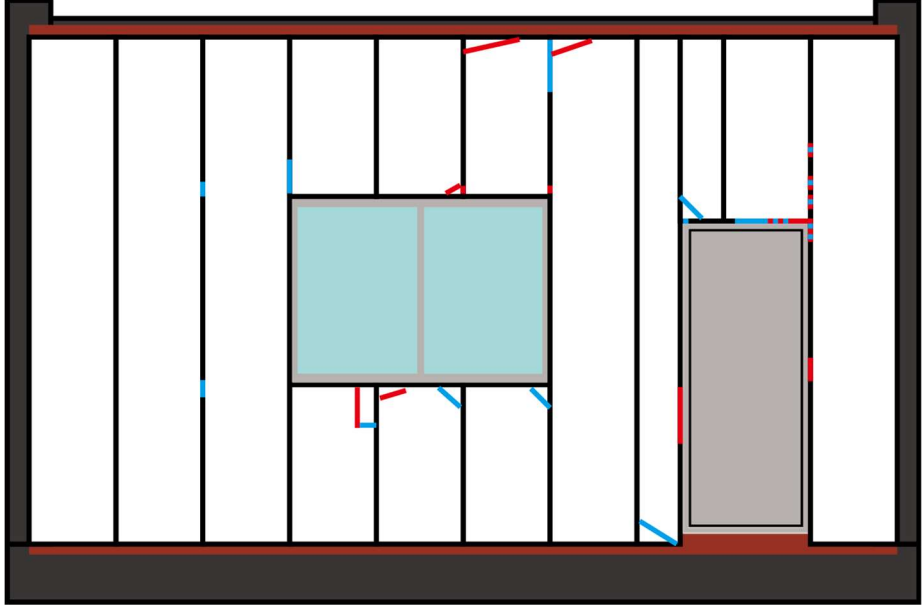


付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #054			
実験/調査の日付と名称:	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰り返し載荷実験 (静的加力)		
部材名:	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名:	ALC パネル (100mm)		
取付け方法:	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要:	パネル間のシーリング材の剥がれ		
損傷の発生箇所:	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況:	層間変形角: 1/33 100%	加速度: 無し
損傷の様子:			その他
			1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例:			

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #055			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒定規アングル (溶接) ⇒平プレート (溶接) ⇒ALC パネル (ボルト)		
損傷の概要：	パネル間のシーリング材の切れ、ドア枠とパネル間のシーリング材の切れ		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況：	層間変形角：1/33~	加速度：無し
損傷の様子：			
	1/33 100% 	1/33 -100% 	1/33 除荷時 
他の実験等で確認された例：			

<p>原因の分析：</p>	<p>実験を通して、開口部がある側の壁では、シーリング材の切れが各所で確認された。パネル表面に生じたひび割れも含め、その位置を図 1 に示す。パネル間、またはパネルと開口部間にある線はシーリング材に切れを示し、パネル表面にある線はひび割れを示す。赤線は正載荷時に生じ、進行していった損傷を示し、青線は負載荷時に生じ、進行していった損傷を示す。両方で進行が確認された損傷は赤と青の点線で示す。なお、生じたタイミングが不明な損傷は図に載せていない。</p> <p>無開口側にシーリング材の切れがないことと、目地ズレの計測結果とから、目地ズレの程度はシーリング材の切れに 1/33 程度の層間変形では寄与しないということが考察される。シーリング材の切れはいずれも開口部周辺で生じていることから、開口補強鋼材の存在が損傷の原因でないかと考えられる。つまり、開口補強鋼材によってパネルのロッキングの程度が異なり、その結果シーリング材の切れが生じたのだと考えられる。</p> <p>窓の周辺にあるシーリング材の切れはいずれも負載荷時に生じ、進行している。いずれの切れも、窓（開口補強鋼材）と異なる辺で接しているパネルとの間（損傷#049,053）、もしくは窓（開口補強鋼材）と接しているパネルと接していないパネルとの間(損傷#051,052)に生じている。特に前者の 2 ヲ所のシーリング材の切れは長く、幅も広いものであった。</p> <p>窓の左隣にあるパネルのロッキングの程度を図 2 に、窓の上部にあるパネルのうち左側にあるもののロッキングの程度を図 3 に示す。窓の左にあるパネルは構造躯体の層間変形に応じてロッキングの程度が大きくなっている。窓の左上のパネルは、構造躯体の層間変形が 1/50 のときより負載荷時にロッキングの程度が増加していないことがわかる。つまりこの 2 枚のパネルは 1/50 以降、ロッキングの程度に差が生じ始め、1/33 でシーリング材が耐え切れずに端部から切れたのだと考えられる。</p> <p>図 4 に窓の右上のパネルのロッキングの程度を示す。図 3 に示した窓の左上のパネルのように、構造躯体の層間変形が 1/50 のときより増加していないことがわかる。窓の右隣にあるパネルのロッキングの程度は計測していないため、断定はできないが、おそらく構造躯体の層間変形に応じてロッキングの程度が大きくなっているのだと考えられる。そしてその結果、パネル間でロッキングの程度の差が大きくなり、1/33 でシーリング材が切れたのだと考えられる。</p> <p>また、除荷時にシーリング材の切れが確認されない限り、補修は行わないでも性能に問題は無い。</p>  <p>図 1 生じたシーリング材の切れとパネル表面のひび割れ</p> <p>赤線：正載荷時に開くもの 青線：負載荷時に開くもの</p>
---------------	---

正載荷時の扉周辺のシーリング材が切れている箇所を写真 1 の赤丸で示す。また、負載荷時の扉周辺のシーリング材が切れている箇所を写真 2 の青丸で示す。また図 5 に扉の左上のパネルのロックの程度、図 6 に扉の右上のパネルのロックの程度、図 7 に扉の右隣のパネルのロックの程度を示す。

窓の上部にあるパネルに比べ、扉の上部にあるパネルは構造躯体の層間変形において、1/33 のときまで増加傾向にあった。その結果、扉の右上にあるパネルと扉枠との間のシーリング材に切れが生じたのだと考えられる。

とはいえ、扉の上部にあるパネルは、扉の隣にあるパネルと比較するとロックの程度は小さい。その結果、扉の右側にあるシーリング材の切れが生じたのだと考えられる。また計測していないため断定できないが、扉の左隣にあるパネルに関しても同様だと考えられる。



写真 1 正載荷時の扉周辺の様子

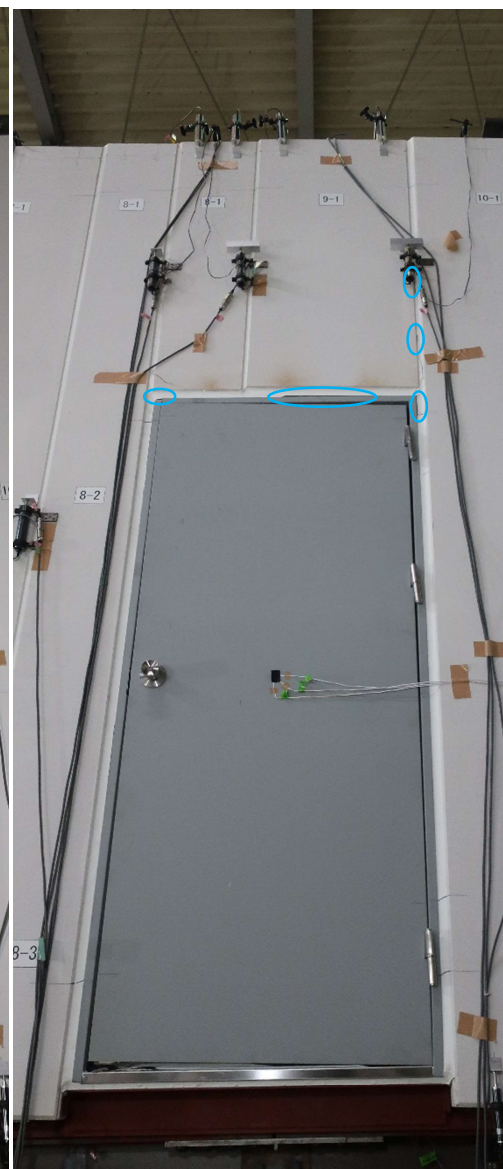
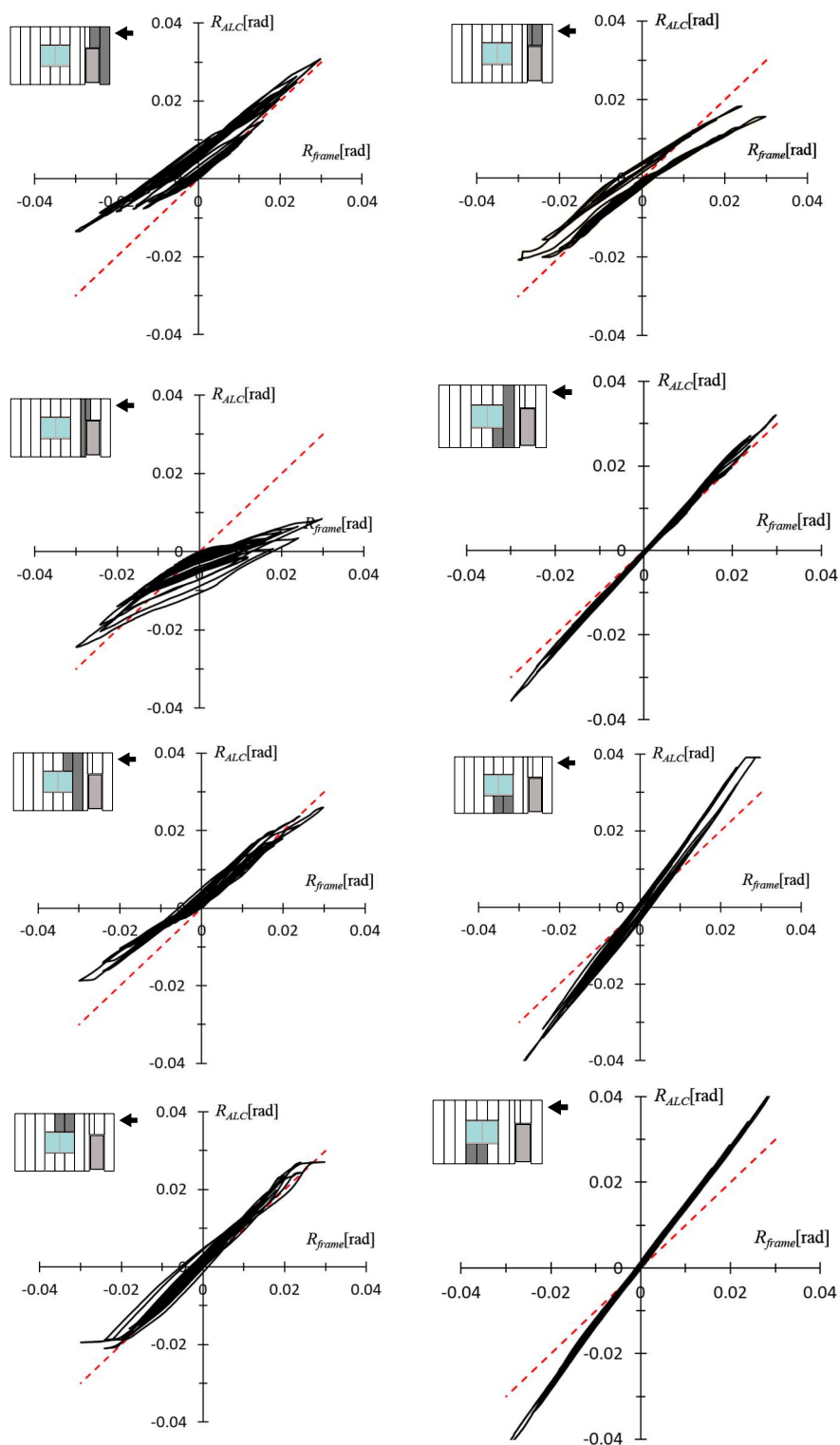
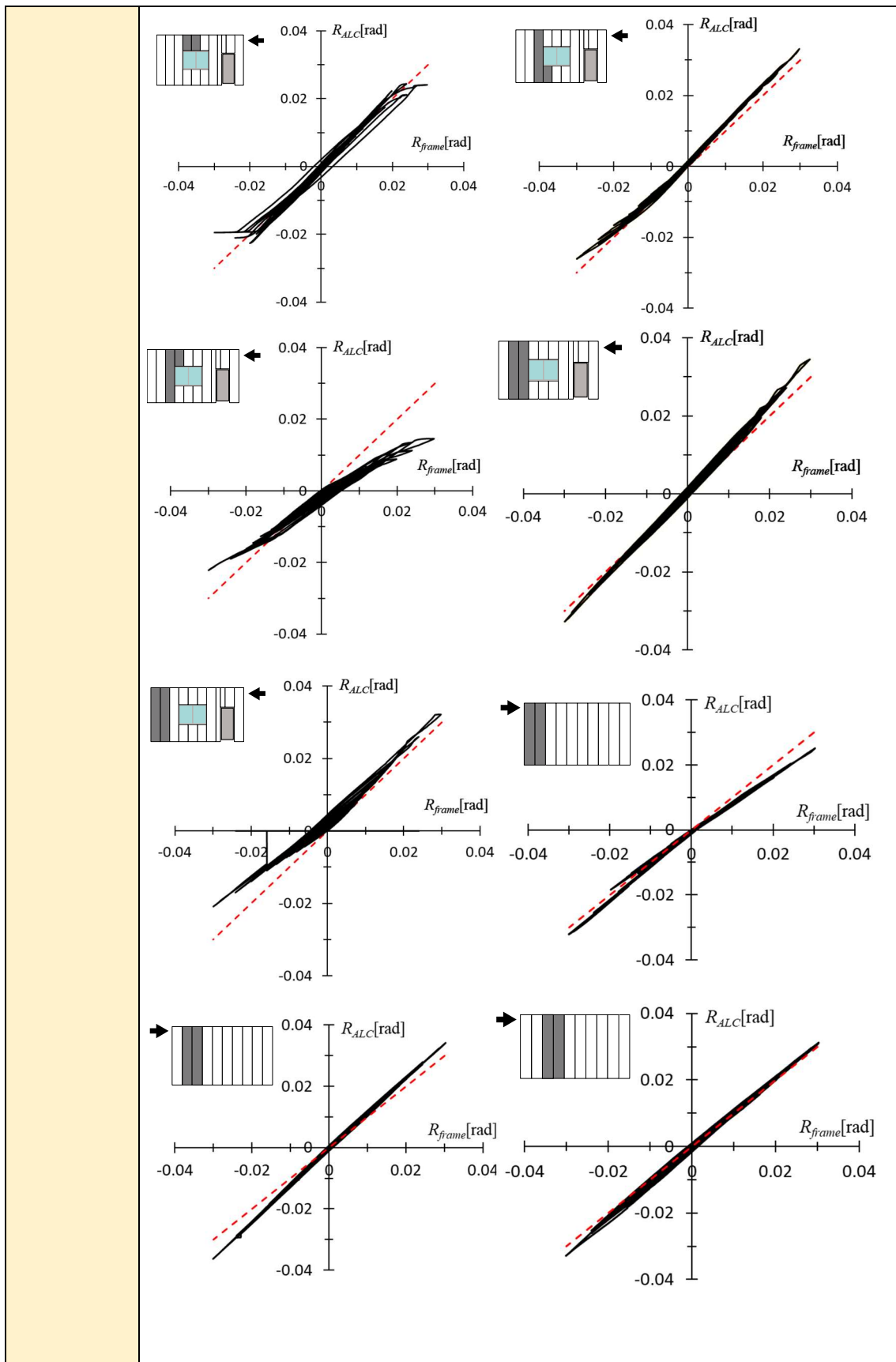


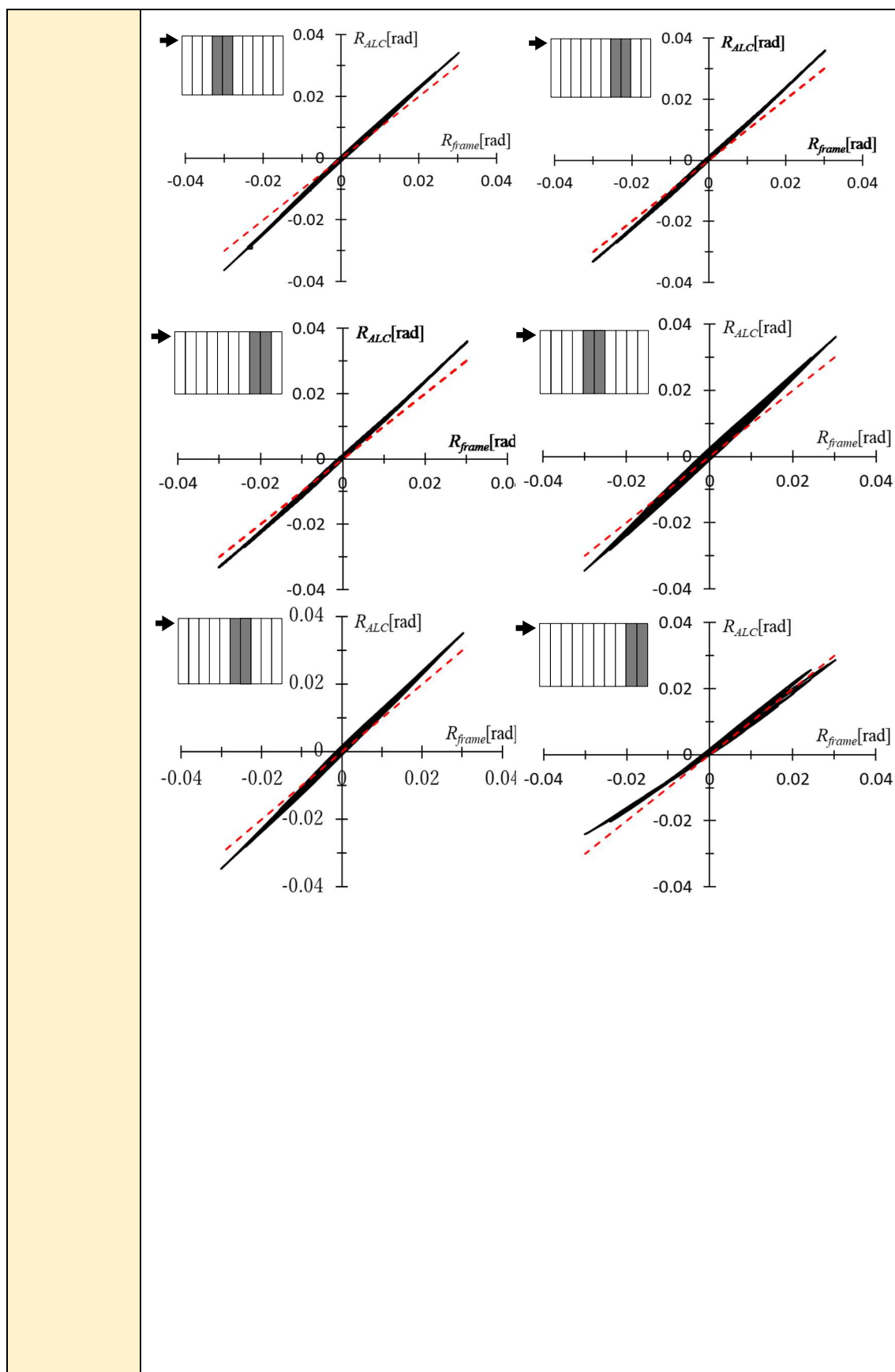
写真 2 負載荷時の扉周辺の様子

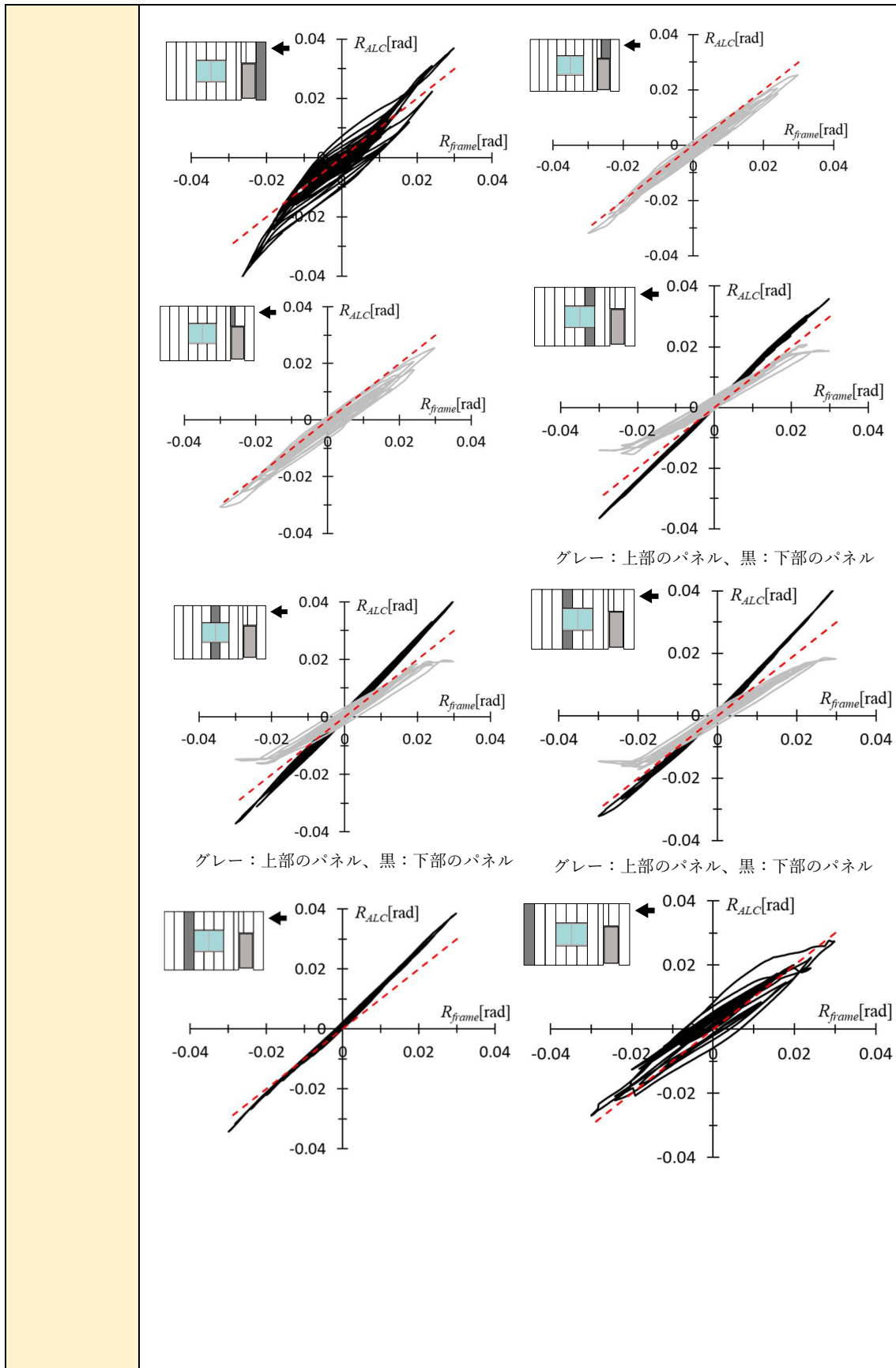
パネルの目地ズレの計測結果



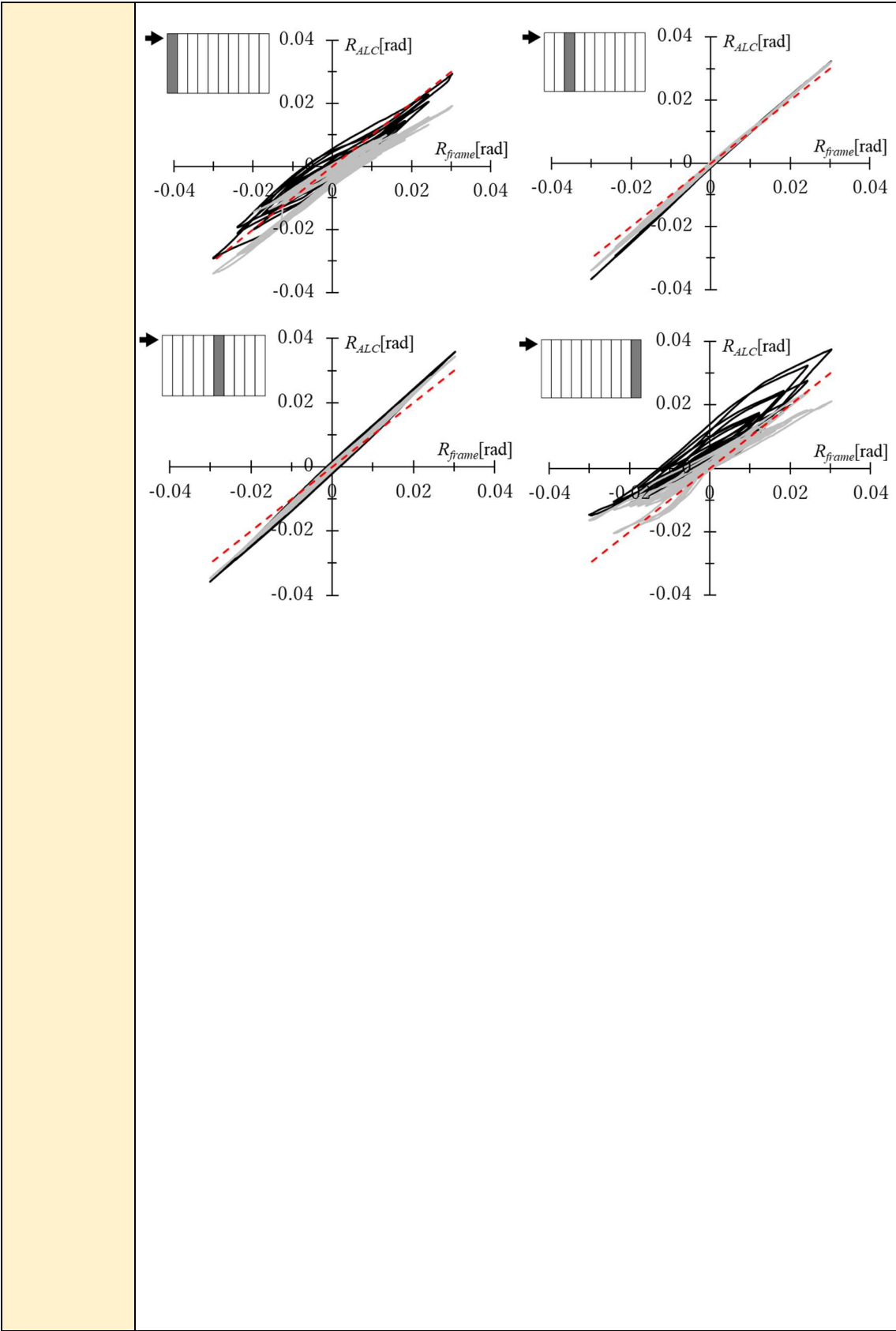




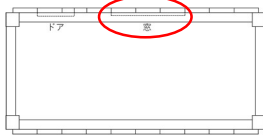
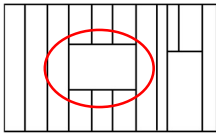


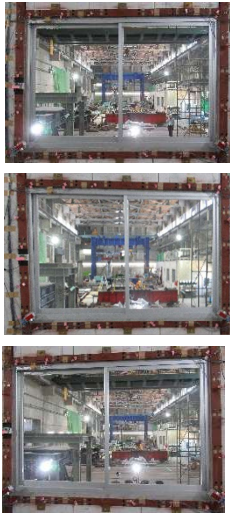










付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

損傷データシート #056			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒窓枠 (溶接) ⇒窓サッシ (はめ込み) ⇒ガラス (シーリング材)		
損傷の概要：	窓の開閉ができない		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
	発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し
損傷の様子：		1/200 100%, -100%, 除荷時 	1/100 10 0%, -100%, 除荷時 
	1/75 100%, -100%, 除荷時 	1/50 1 00%, -100%, 除荷時 	1/3 3 10 0%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例：			

## 付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

<p>原因の分析：</p>	<p>加力中に実際に窓を開け閉めすることで、その開閉機能の確認を行った。以下に、各ステップにおける開閉機能の確認結果について述べる。</p> <p>①1/200 (1 回目)：-1.0 <math>\theta</math> max で鍵が開かなかったが除荷時に正常に戻った。</p> <p>②1/100 (1 回目)：0.6 <math>\theta</math> max で鍵が閉めにくくなった。0.8 <math>\theta</math> max で開閉には、障子を持ち上げるといった工夫が必要となった。1.0 <math>\theta</math> max では片方の障子が 10cm くらいしか開かなくなり、もう片方は一切開かなかったが、いずれも除荷時には正常に戻った。</p> <p>③1/200 (2 回目)：ピーク時も含め、常に正常を保った。</p> <p>④1/75 (1 回目)：0.8 <math>\theta</math> max では障子がストッパーに引っかかり 10cm しか開かなくなったが、-0.8 <math>\theta</math> max では力を入れれば、ストッパーごと障子を動かすことができた。1.0 <math>\theta</math> max、-1.0 <math>\theta</math> max 時も同様の現象が起き、除荷時には正常に戻った。</p> <p>⑤1/100 (2 回目)：-1.0 <math>\theta</math> max ではサムターンが歪み、鍵を開くのに力が必要であったが、いずれの状態でも、力を入れればストッパーごと障子を動かすことはできた。除荷時には正常に戻った。</p> <p>⑥1/50 (1 回目)：0.8 <math>\theta</math> max では両方の障子共に 30cm ほどしか開かずその後の除荷時は、スベサーに引っ掛かり力を入れないと開かなかった。このとき、枠の接合部に歪みが生じていることが確認された。1.0 <math>\theta</math> max と-1.0 <math>\theta</math> max では鍵が開かなくなったため開閉不可となり、いずれの除荷時も鍵は開くものの、障子は 30cm しか動かなかった。終局状態では力を入れれば完全に開くようになっていた。</p> <p>⑦1/75 (2 回目)：1.0 <math>\theta</math> max では開閉に問題がなかったが、-1.0 <math>\theta</math> max では鍵が開かなかったため、開けることができなかった。終局状態ではサムターンの部品が外れかけていた。</p> <p>⑧1/33 (1 回目)：-0.4 <math>\theta</math> max、-0.6 <math>\theta</math> max、0.8 <math>\theta</math> max、-0.8 <math>\theta</math> max では鍵が開かなかった。0.8 <math>\theta</math> max 時には、枠の縦材が歪んでいることが確認された。-0.8 <math>\theta</math> max 加力後の除荷時に、鍵が閉まらなくなったため、以降の鍵の開閉確認ができなくなったが、1.0 <math>\theta</math> max、-1.0 <math>\theta</math> max では単純に障子が動かなかった。終局時は、鍵が閉まるようになるが、かなり緩く、実質機能していなかった。</p> <p>層間変形により、窓の開口補強鋼材が変形し、結果として窓枠が歪んだことが、窓の開閉機能を低下させた原因であると考えられる。窓枠が歪んだことにより、障子がずれ、クレセント錠が開かなくなったこと、障子が十分に水平移動できなくなったことが確認時に観察された。また、障子の面外への脱落を防止するために取り付けられたストッパーが、水平移動の可不可を大きく左右させたと考えられた。ストッパーが中央にある時は、層間変形 1/200 であっても開閉が困難となったが、ストッパーが端によっていれば、層間変形が 1/75 であっても開閉可能であった。</p> <p>層間変形角を繰り返し与えると、同じ層間変形角に対し、開閉機能が上がることが分かった。これは図 3 に示すよう開口補強鋼材に残留変形が生じたことが原因と考えられる。</p> <p>また、窓枠に残留変形もしくは損傷が生じたことも寄与している可能性がある。(層間変形角 1/33 のセットで 60% 載荷後の除荷時、100% 載荷後の除荷時には力を入れなければ開けられなかったが、枠の歪みが目視で観察された 80% 載荷後の除荷時には問題なく開いた。)</p> <p>実際に避難するときは、地震が収まった後であり、実験でいう荷重が 0 の時に相当する。このときに残留変形が 1/100 以上残っている場合、窓の開閉機能が低下していることが考えられる。図 2 の曲線を見ると、荷重が 0 の時に残留変形が 1/100 以上残っているのは、層間変形角 1/33 の <math>\pm 80\%</math> (約 1/41)、<math>\pm 100\%</math> を与えた後であることがわかる。</p>
---------------	---

また、各観察時に、窓の開閉機能を「簡単に開けることができる（脱出が容易）」、「力を入れれば充分に開けることができる（力が無いと脱出が困難）」、「力を入れても開けることができない（脱出が困難）」の3段階で評価した。その結果を図1に示す。

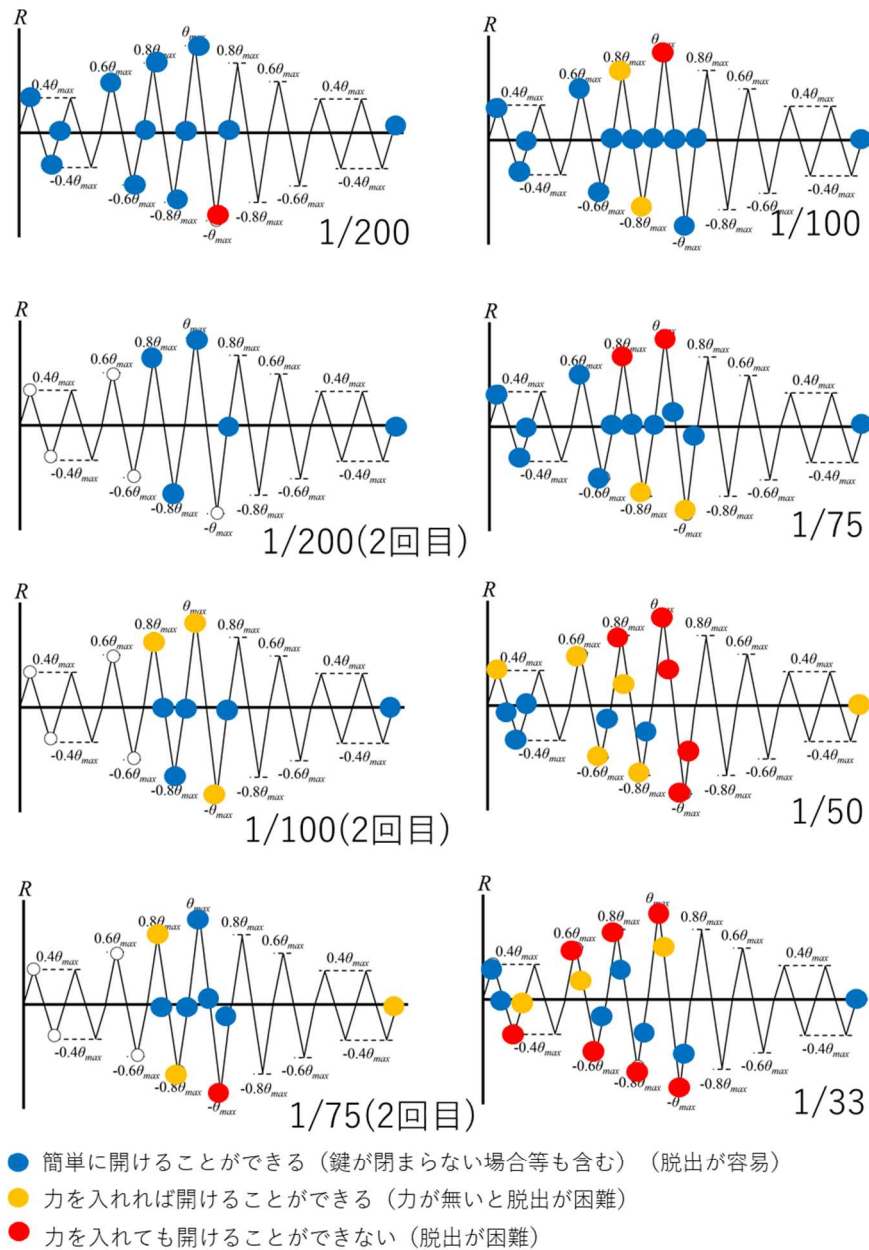


図1 開口機能の評価結果

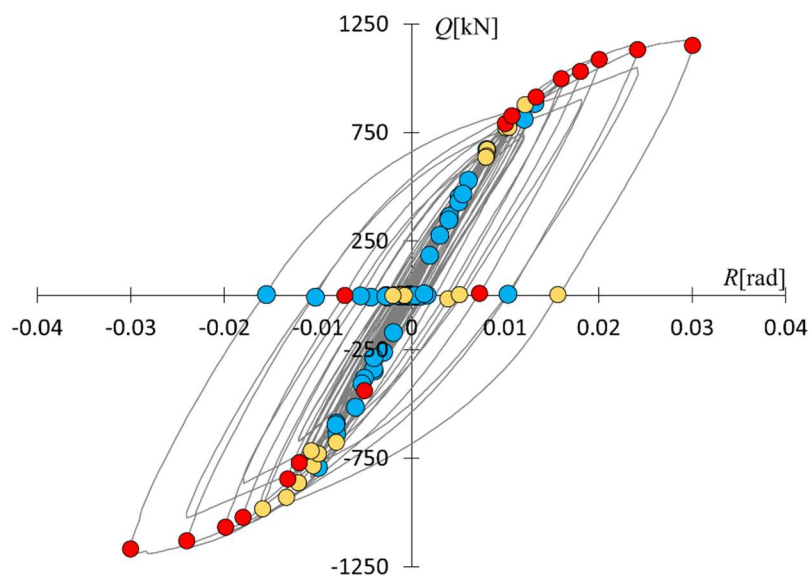


図2 構造躯体の層間変形と荷重と開口機能の評価結果

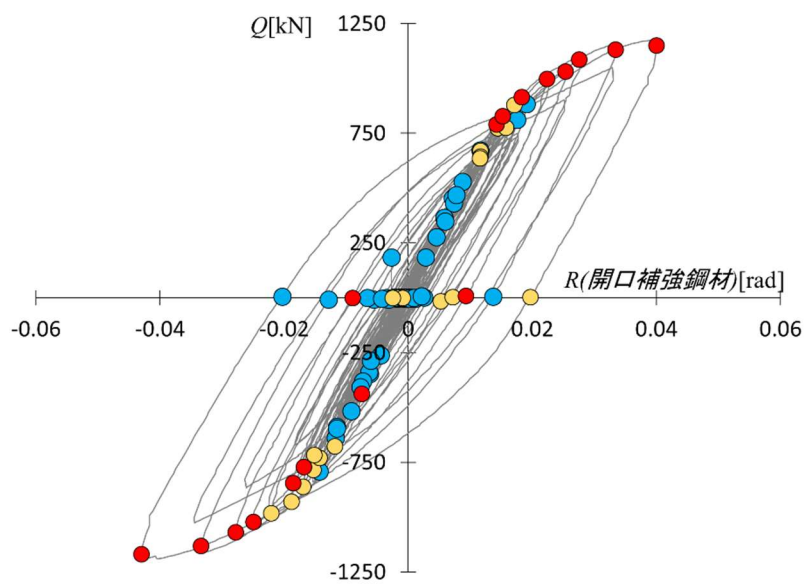
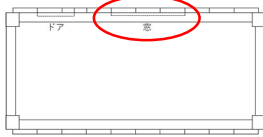
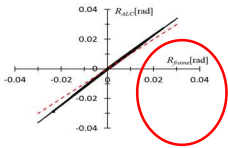







図3 構造躯体の層間変形と開口補強鋼材の変形と開口機能の評価結果



付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

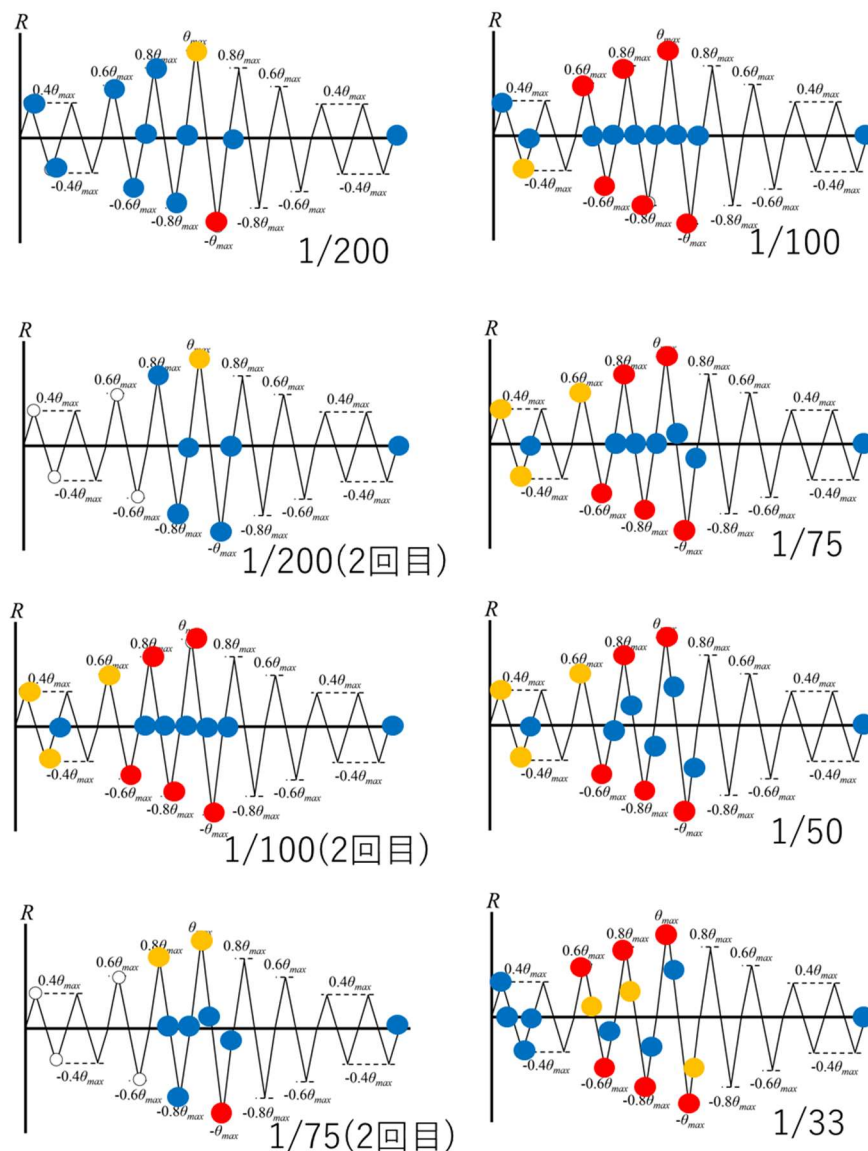
損傷データシート #057			
実験/調査の日付と名称：	2019/05-06 (建築研究所) 鉄骨骨組みに取り付けた ALC 外壁の繰返し載荷実験 (静的加力)		
部材名：	ALC 外壁、(縦壁ロックンク構法)		
部品名：	ALC パネル (100mm)		
取付け方法：	鉄骨⇒アングルピース (溶接) ⇒開口補強材 (縦) (溶接) ⇒開口補強材 (横) (溶接) ⇒ドア枠 (溶接) ⇒ドア (蝶番)		
損傷の概要：	ドアの開閉ができない		
損傷の発生箇所：	平面図 	立面図 	その他
発生時の状況：	層間変形角：	加速度：無し	その他
損傷の様子：		1/200 100%, -100%, 除荷時 	1/100 100%, -100%, 除荷時 
	1/75 100%, -100%, 除荷時 	1/50 100%, -100%, 除荷時 	1/33 100%, -100%, 除荷時 
他の実験等で確認された例：			

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート

<p>原因の分析：</p>	<p>加力中に実際に扉を開け閉めすることで、その開閉機能の確認を行った。以下に、各ステップにおける開閉機能の確認結果について述べる。</p> <p>①1/200(1 回目)：-0.8 <math>\theta</math> max で、開閉時にドアの上部が枠に引っ掛かるようになり、逆に 1.0 <math>\theta</math> max では扉の下部が枠に引っ掛かり、開閉がしにくくなったが、いずれも除荷時には正常に戻った。-1.0 <math>\theta</math> max では開かなくなった（ただし力を入れれば開いたかも）。</p> <p>②1/100 (1 回目)：0.6 <math>\theta</math> max でノブが回らなくなり、-0.6 <math>\theta</math> max ではノブは回るが開くことはできなかった。以降の加力時には開閉することができなかったが、いずれも除荷時には正常に戻った</p> <p>③1/200 (2 回目)：1.0 <math>\theta</math> max でノブが回しづらくなっていたが、一度力を入れて回した後は、スムーズになった。それ以外で開けにくいことはなかった。</p> <p>④1/75 (1 回目)：0.4 <math>\theta</math> max から力を入れないと開かなくなった。-0.6 <math>\theta</math> max ではノブは回るも開かなかった。また、0.8 <math>\theta</math> max では扉の底面の下部が枠に押し付けられ、蝶番が歪んでいることが確認できた。1.0 <math>\theta</math> max では開閉に問題はなかったが鍵は閉まらなくなっていた。除荷時も蝶番は歪んだままであったが、機能的には正常に戻った。</p> <p>⑤1/100 (2 回目)：-1.0 <math>\theta</math> max でのみ開けることができなかった。</p> <p>⑥1/50 (1 回目)：-0.6 <math>\theta</math> max で初めて鍵が開かなくなることにより、扉の開閉ができなくなった。0.8 <math>\theta</math> max、-0.8 <math>\theta</math> max では、鍵は開くようになったが、扉が枠に押し付けられていたため開閉できなかった。1.0 <math>\theta</math> max では鍵は機能したが、ノブが回らないため開閉ができなかった。-1.0 <math>\theta</math> max では再び鍵が開かなかったため開閉できなかった。除荷時には全て正常に機能するように戻った。</p> <p>⑦1/75 (2 回目)：1.0 <math>\theta</math> max 以降、実験終了までドアに蝶番を取付けているビスに緩みが確認できた。-1.0 <math>\theta</math> max ではノブも鍵も機能したが、開くことはできなかった。</p> <p>⑧1/33 (1 回目)：0.6 <math>\theta</math> max ではノブが回らないことで開閉ができなくなった。除荷時であっても、扉が枠に押し付けられることにより、開けづらくなっていた。-0.6 <math>\theta</math> max ではノブは回ったが、扉が枠に押し付けられていたため開閉できなかった。0.8 <math>\theta</math> max ではノブも鍵も機能せず、開閉できなかった。除荷時には機能し、扉を開けることができたものの、一度閉めたところ、鍵もノブもツメを引っ込めたまま、再び動かなくなった。このまま載荷を行ったが、載荷時には扉が枠に押し付けられ開閉できなかった。また、終局時にノブは機能するように戻ったものの、鍵は戻らなかった。</p> <p>層間変形角-1/200 時に、初めて窓が開かなくなった。以降、より大きい層間変形角を与えた時には開閉機能が低下することが確認できた。躯体の層間変形が 1/200 以上になると、殆どの場合で開閉機能の低下が確認された。</p> <p>層間変形により、扉の開口補強鋼材が変形し、結果として扉枠が歪んだことが、窓の開閉機能を低下させた原因であると考えられる。扉枠が歪んだことにより、扉が枠に押し付けられ開けられなくなったこと、ノブのツメが穴の底面に押し付けられノブが回らなくなったこと、鍵のツメが穴の底面に押し付けられ鍵が回らなくなったことが確認時に観察された。ただし、ノブや鍵が機能しなかったことで扉の開閉ができなかった事態も生じたが、もし機能していたとしても、扉が枠に強く押し付けられており、開閉はできなかったということが、全体の傾向から考察される（詳しくは付録の 1-4 参照）。</p> <p>層間変形角を繰り返し与えると、同じ層間変形角に対し、開閉機能が上がることが分かった。これは、図 3 に示されるように、開口補強鋼材に残留変形が生じたことが原因と考えられる。</p> <p>また、扉枠に残留変形もしくは損傷が生じたことも寄与している可能性がある。(層間変形角 1/33 のセットで 60%載荷後の除荷時、80%載荷後の除荷時には力を入れなければ開けられなかったが、枠の破断が観察された 100%載荷後の除荷時には問題なく開いた。)</p>
---------------	--

実際に避難するときは、地震が収まった後であり、実験でいう荷重が 0 の時に相当する。このときに残留変形が 1/200 以上残っている場合、窓の開閉機能が低下していることが考えられる。図 2 の曲線を見ると、荷重が 0 のときに残留変形が 1/200 以上残っているのは、層間変形角 1/50 以上の変形を与えた後であることがわかる。

これは稀に起きる地震に対して、この扉が開かなくなる可能性があることを意味する。忠、参考までに、JIS A 4702 で、扉の面内変形追従性は、等級ごとに 1/300, 1/150, 1/120 の面内変形角まで扉が開かなければならないと定められている。つまり本実験で観察した扉のように層間変形角 1/200 で開かなくなることは、不適格であるわけではないことを述べておく。



- 簡単に開けることができる（鍵が閉まらない場合等も含む）（脱出が容易）
- 力を入れれば開けることができる（力が無いと脱出が困難）
- 力を入れても開けることができない（脱出が困難）

図 1 開口機能の評価結果



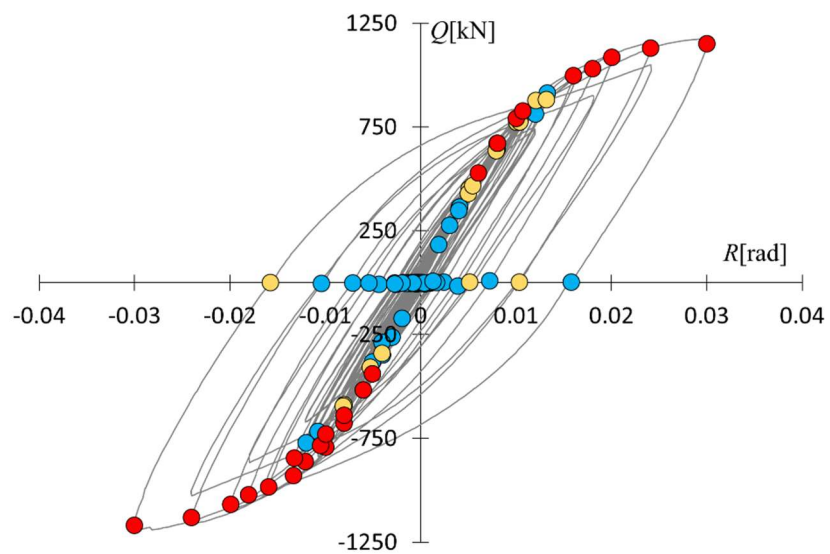


図2 構造躯体の層間変形と荷重と開口機能の評価結果

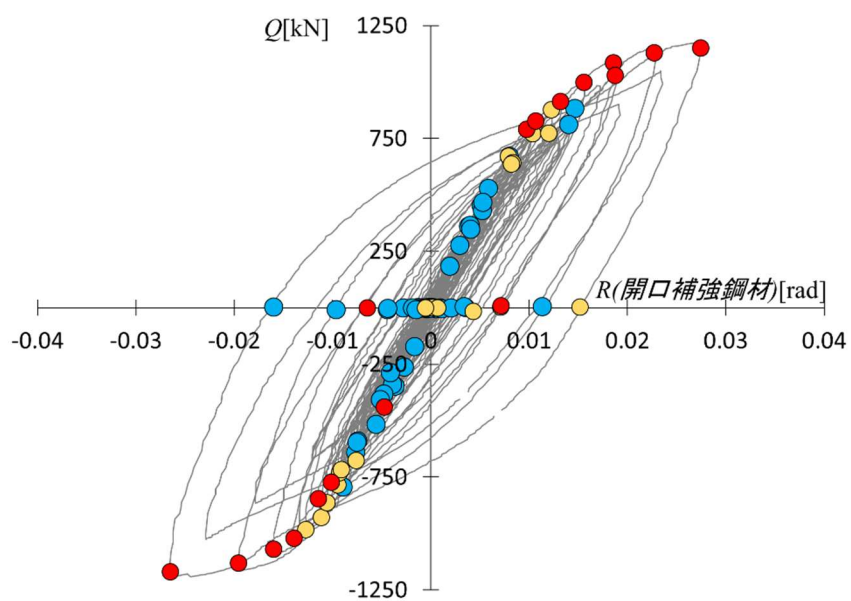


図3 構造躯体の層間変形と開口補強鋼材の変形と開口機能の評価結果

付録 2-2 ALC 外壁を対象とした実大載荷実験 損傷データシート