

博士論文

中大規模木造建築物に対応したストレススキンパネル及び
たすき掛け筋かい耐力壁に関する実験的研究

〈住宅用一般流通材を用いた中大規模木造建築物の構造要素に関する研究〉

玉澤 基良

目次

第1章 序論

- 1.1 研究の背景と目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
- 1.2 本論文の構成・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
- 1.3 第1章 参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・2

第2章 住宅用の一般流通材で構成された

ストレススキンパネル（SSP）の曲げ性能の検証・・・・・・・・・・3

第3章 住宅用の一般流通材で構成された

たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能の検証・・・・・・・・・・124

第4章 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・290

謝辞・・・・・・・・・・・・・・・・・・292

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が平成 22 年に施行され、3 階建て以下の低層の公共建築物の木造率（木造の床面積の合計／新築に係る床面積の合計）が、図 1.1 に示すように、平成 22 年度では 17.9%だったのに対し平成 28 年度では 26.4%に上昇した¹⁾。また、平成 30 年の時点において、全ての都道府県と全国の市町村のうち 90%に当たる 1,565 市町村が、同法に基づく「公共建築物における木材の利用の促進に関する方針」を策定していることから、今後も公共建築物をはじめ民間事業においても中大規模木造建築物の増加が予想される。中大規模木造建築物の増加に対応するには、住宅を中心に施工していた工務店が、中大規模木造建築物の施工に参入することのできる環境を整えることが重要である。

中大規模木造建築物の重要な構造要素として、大スパンを架渡すことのできる横架材及び地震などの水平力に抵抗する耐力壁を挙げることができる。本研究では、大スパンに対応した横架材として、平 12 建告 1446 号に規定された木質接着複合パネルであるストレストスキンパネル（SSP）、また水平力に抵抗する耐力要素として、中大規模建築物などの階高の高い建物に対応可能な筋かい耐力壁を研究対象とした。それらの SSP 及び筋かい耐力壁のどちらも住宅用の一般流通材を使い、特殊な加工を必要とすることなく通常のプレカット加工で実現させることを目的としている。それにより、住宅を中心に施工していた工務店の中大規模木造建築物への参入が容易となり、中大規模木造建築物の発展に寄与すると考えられる。

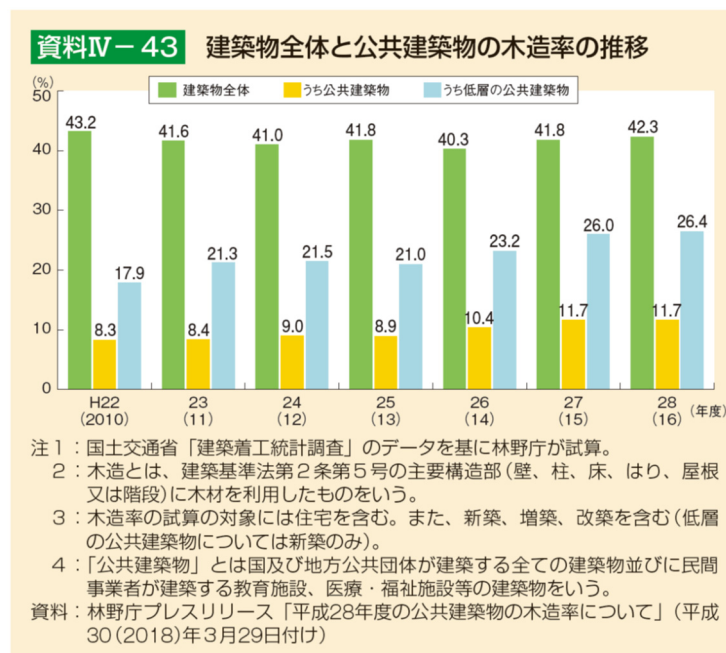


図 1.1 公共建築物の木造率の推移¹⁾

1.2 本論文の構成

本章（第1章）では、序論として本研究に至った背景と目的及び本論文の構成について述べている。

第2章では、住宅用の一般流通材で構成された、大スパンに対応した横架材として、ストレスキンパネル（SSP）の曲げ性能について、要素試験としてフランジに使用する構造用合板の引張試験、SSPの実大曲げ実験及びクリープ試験を行って検証し、その仕様及び設計法の提案を行った。

第3章では、住宅用の一般流通材で構成された、中大規模建築物などの階高の高い建物に対応可能な1段及び2段筋かい耐力壁について、面内せん断試験の結果及び試験体をモデル化しフレーム解析を行った結果より、建築基準法施行令46条に規定された筋かい耐力壁としての性能を担保するために必要な各部の性能を明らかにし、その仕様及び設計法の提案を行った。

第4章では、まとめとして本研究により得られた知見について述べた。

1.3 第1章 参考文献

- 1) 平成29年度森林及び林業の動向 平成30年度森林及び林業施策，林野庁，p.172，2018.6

第2章 住宅用の一般流通材で構成された ストレススキンパネル（SSP）の曲げ性能の検証

第2章 目次

2.1	ストレススキンパネルの研究の背景と目的	6
2.2	ストレススキンパネルに関する既往の研究	7
2.3	Eurocode5におけるストレススキンパネル	10
2.4	本章における論文の構成	11
2.5	研究対象とするストレススキンパネルの概要	12
2.5.1	フランジ-ウェブ接合部に使用した木質構造用ねじの概要	13
2.5.2	フランジの合板どうし及びフランジとウェブの 接合部に使用した1液型ポリウレタン樹脂系接着剤の概要	13
2.6	ストレススキンパネルの施工計画	16
2.7	一般に流通している構造用合板の単板構成に関する調査	17
2.8	要素試験	21
2.8.1	構造用合板の単体引張試験	21
2.8.1 (1)	目的および試験対象	21
2.8.1 (2)	試験体及び試験方法の概要	22
2.8.1 (3)	構造用合板単体の引張試験の結果	24
2.8.1 (4)	構造用合板単体の引張試験の結果と考察	53
2.8.2	構造用合板の3枚接着重ね張り引張試験	55
2.8.2 (1)	目的	55
2.8.2 (2)	3接着重ね張り試験の試験体及び試験方法の概要	55
2.8.2 (3)	構造用合板の3枚接着重ね張り引張試験の結果	58
2.8.2 (4)	構造用合板の3枚接着重ね張り引張試験の結果と考察	75
2.9	ストレススキンパネルの実大曲げ試験	80
2.9.1	ストレススキンパネルの最大荷重および初期剛性の算定	81
2.9.2	試験体及び試験方法の概要	87
2.9.3 (1)	試験体 SSP_BS の試験結果および考察	91
2.9.3 (2)	試験体 SSP_HH の試験結果および考察	94
2.10	ストレススキンパネルのクリープ試験	97
2.10.1	クリープ試験の目的	97
2.10.2	試験体の概要	98
2.10.3	載荷重の設定	101

2.10.4	クリープ試験の方法及び評価方法	102
2.10.5	試験結果および考察	103
2.11	フレーム解析によるフランジとウェブの接合方法の違いによる	
	ストレストスキンパネルの曲げ性能の検証	110
2.11.1	目的	110
2.11.2	モデル化の概要	111
2.11.2 (1)	ねじ接合部の1面せん断剛性の算定	112
	a) フランジ合板とウェブ材	112
	b) フランジ合板どうし	113
2.11.3	検証結果	114
2.12	ストレストスキンパネルの設計法	116
2.13	ストレストスキンパネルの曲げ性能の検証のまとめ	119
2.14	第2章 参考文献	122

2.1 ストレストスキンパネル（SSP）の研究の背景と目的

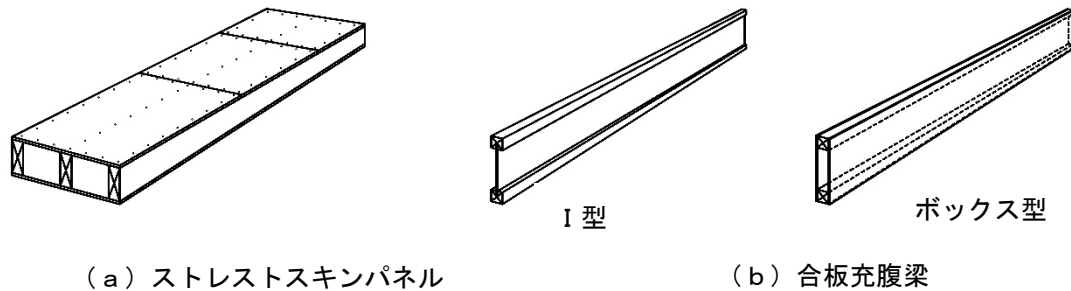


図 2.1 高い曲げ剛性を有する横架材

中大規模木造建築物の場合、一般に集会室や教室などの無柱空間の部屋が存在する。2階建ての建物で無柱空間の部屋が1階の場合、その上部に大スパンの2階床梁を架け渡すことになり、高い曲げ剛性が必要になる。大断面集成材や図 2.1 に示すストレートスキンパネル及び合板充腹梁は比較的高い曲げ剛性を有している。そのうちのストレートスキンパネル（以下 SSP）を研究対象とした。SSP は平 12 建告 1446 号に規定された木質接着複合パネルであり、木材を使用した枠組に構造用合板等の面材を接着剤により複合構成したものをいう。LVL で製作された SSP は既に商品化され市販されているが、本研究で対象とする SSP は、一般に流通している集成材をウェブに使用し、上下フランジにこちらも一般住宅でよく使われる構造用合板を使用したものとした。フランジとウェブの接着に使用する接着剤は、1 液型ポリウレタン系接着剤（ウレタン系接着剤）とし、こちらも一般に流通しているものであり、容易に手に入れることが可能なものである。SSP は上下のフランジが曲げ剛性に大きく寄与するため、単一断面材の集成材に比べて天井懷を抑えることができる。また、フランジの面内せん断剛性を利用して水平構面を形成することができるが、面内せん断性能の検証は本研究の対象外とした。研究対象とした SSP の最大スパンは、一般に流通している集成材の最大長さに合わせて 8m 程度とした。材料は一般流通材を使用し、加工は住宅用プレカット工場加工可能な範囲とすることで高度な技術は不要となる。以上により材料費及び加工費のコストダウンが可能となり、SSP の学校等の公共建築物への積極的な利用が期待される。SSP の組立工程において接着作業に掛かる時間の割合が高く、この作業を簡略化することで組立が容易となり、SSP がより普及しやすいものとなる。しかし、接着接合について明確な規定がなく、検証が乏しいのが現状である。SSP は、フランジとウェブが接着接合されることで一体断面となり高い曲げ剛性が得られるが、接着剤の塗布方法により曲げ剛性に差が生じると考えられる。そのため SSP の実大曲げ試験では、フランジ材とウェブ材を接合する接着剤の塗布方法を変え、各々の曲げ性能を検証した。また、接着剤を使用することによる曲げ剛性向上効果を確認するため、接着剤によりフランジとウェブが剛に接合さ

れた場合と木質構造用ねじのみで接合された場合の2種類のモデルを作成し、フレーム解析を行った。モデル化に用いた木質構造用ねじの1面せん断剛性は、小林らの提案する式⁴⁾により求めた。また、菊池らによるフランジの有効幅の算定式²⁾を用いて、稲山が提案したSSPの断面性能の算定式³⁾による値と実大曲げ試験の結果とを比較することで、算定式の実用性を検証し、それをもとにSSPの設計法の提案をした。

2.2 ストレストスキンパネル（SSP）に関する既往の研究

SSPは、平成12年建設省告示第1446号に規定される木質接着複合パネルであり、1970年代より研究が進められている。

杉山らは、ウェブとフランジ合板をレゾルシノール系接着剤で接着し、その張り方の違いにより曲げ剛性がどのように変化するかを実験的に明らかにし、SSP全体の曲げ剛性はフランジ合板の曲げ剛性とウェブの曲げ剛性の和で表せることを示した⁵⁾。

本研究では、フランジとウェブの接合部に1液型ポリウレタン系接着剤（ウレタン系接着剤）を使用することで一体断面と仮定し、フランジのヤング係数を基準とする全断面の等価断面二次モーメント及び等価断面係数から計算によりSSPの初期剛性を求め、実大曲げ試験の初期剛性とを比較した。

安藤は、SSPを床に使用した場合の曲げ性能及び振動性状、また、壁に使用したときに曲げと圧縮を同時に受けた場合の強度性状について検証した⁶⁾。

床に使用した場合の曲げ性能について、2本の栈木（リブ）に構造用合板を釘打ちしたパネルを対象に曲げ試験を行い、釘間隔とパネルの曲げ性能等について検証し、パネルの曲げ剛性の増大を期待するためには、釘間隔を10cm以下にする必要があることを示した。

曲げと圧縮を同時に受ける壁パネルを想定した1/3の模型実験では、スタッドと合板の接合方法を鉄丸釘N19のみで接合した場合とレゾルシノール系接着剤を用いて接着した場合の2種類について行った。曲げ荷重を一定に保ち圧縮荷重を増大させた場合、釘のみの接合に対し接着接合した場合の最大荷重は10～20%程度大きくなったことを示した。

本研究では、床に使用する横架材としてSSPの曲げ性能の検証を行っており、壁材として曲げと圧縮を同時に受けた場合の検証は対象外とした。また、実大曲げ試験におけるフランジの合板どうし及びフランジとウェブの接合は、木質構造用ねじにウレタン系接着剤を併用することにより行った。

菊池は、接合部のせん断抵抗を釘のスリップ係数 μ で表し、パネル全体の曲げ剛性はスリップ係数 μ が大きいほど高くなり、しかも材軸方向に沿って一定ではないことを Newmark による合成梁の理論を適用して示した⁷⁾。また、菊池らは、曲げに対するフランジ有効幅に及ぼす諸因子の影響を平板弾性理論に基づいて検討し、実験による検証を行って、実用的な有効幅算定式の提案をした²⁾。

菊池は、ウェブに接着接合されたフランジが1枚のときの有効幅を提案しているが、本研究のSSPのフランジは構造用合板を3枚接着重ね張りしたものであり、菊池式²⁾の適用の可否について、計算により求めたSSPの曲げ性能と実験値とを比較し検証した。

小川らは、LVLで構成されたSSPについて実大曲げ試験でその曲げ性能を検証し⁸⁾、商品として既に実用化している。

藤田らは、LVLによるビスと床根太用ウレタン系接着剤を併用して留めつけたSSPのクリープ曲げ試験を行っている。荷重レベルを設計荷重の4倍とし、クリープ変形増大係数は、5週間経過時点で1.44、1年経過時点で2.28という結果を得ている⁹⁾。

LVLで構成されたSSPのフランジは、長いスパンの場合、継手を設けるか又はスパンと同じ長さの長尺のLVLとなり、建築現場への輸送上不利となることがある。本研究では、SSPのフランジは、長さ2.73mの構造用合板3枚を接着重ね張りする際、継目をずらすことでフランジの連続性を確保した。また、藤田らと同じウレタン系接着剤に木質構造用ねじを併用して、合板3枚を接着重ね張りしたフランジに集成材のウェブを接着接合したSSPの実大曲げ試験及びクリープ試験を行った。

海外では、Robert Kliger が、SSPのフランジとウェブの接着接合部を想定し、接着面のクリープせん断試験を8週間実施し、接着剤の違いによるクリープ変形増大係数について述べている¹⁰⁾。イソシアネート系硬化剤入りのポリ酢酸ビニル系接着剤を使用した試験体のクリープ変形係数は2未満であったのに対し、シリコーンゴム系接着剤を使用した試験体は4を超えたという結果を示した。

Christophe D. Gerber もフランジとウェブの接着接合部を想定し、合板とラジアータパインの接着面のせん断試験を行い、ウレタン系接着剤を使用した試験体のせん断強度が6.77MPaであるのに対し、ゴム系接着剤のせん断強度が3.64MPaと、ウレタン系接着剤の方が約1.9倍高い値であったということを示した。また、接着面が破断した後、釘・ねじなどの機械式ファスナーがせ

ん断力を負担することが想定されるため、接着剤と機械式ファスナーの併用が安全な設計につながるということを述べた¹¹⁾。

本研究では、SSPの実大曲げ試験において、試験体のフランジとウェブの接合は、ウレタン系接着剤と木質構造用ねじを併用し、曲げ性能の検証をした。また、フランジとウェブの接合において、木質構造用ねじに接着剤を併用した場合と木質構造用ねじのみで接合した場合をモデル化し、フレーム解析により接着剤による曲げ剛性の向上について検証した。

また、Christophe D. Gerber は、SSPを接着剤によりフランジとウェブが一体化と仮定した格子モデルとして、その剛性マトリクスを作成し荷重を与えて計算した結果と、SSPの実大試験との結果においてよく合致したという報告をしている。また、同じく Christophe D. Gerber は、SSPのフランジをSHELLモデル、ウェブをSOLIDとして有限要素法により解析したところ、こちらもSSPの実大試験との結果においてよく合致したという報告をしている¹¹⁾。

本研究では、ストレススキンプネルについて、フランジを板要素、ウェブを梁要素とし、接着剤と木質構造用ねじを併用して留め付けされたフランジとウェブの接合部は、ねじ位置ごとに剛体連結としたモデルを作成し、有限要素法により解析を行い、実大曲げ試験との比較をした。また、接着剤を併用しない場合を仮定し、小林式⁴⁾により求めたねじの1面せん断剛性を考慮したモデルを作成し有限要素法解析により、接着剤を併用した場合との比較をし、接着剤による曲げ剛性の向上効果を確認した。

2.3 Eurocode5 におけるストレートスキンパネル (SSP)

Eurocode5 の「9.1.2 Glued thin-flanged beam」¹²⁾ では、薄板フランジが接着接合により一体化された梁について規定しており、SSP がそれに該当し、主にフランジの有効幅について述べられており、有効幅を詳細計算で求めない場合は、表 2.1 に示す Shear lag 又は Plate buckling のうち小さい方の値としてよいとされている。

表 2.1- Maximum effective flange widths due to the effects of shear lag and plate buckling

Flange material	Shear lag	Plate buckling
Plywood, with grain direction in the outer plies:		
-Parallel to the webs	0.1L	20h _f
-Perpendicular to the webs	0.1L	25h _f
Oriented strand board	0.15L	25h _f
Particleboard or fibreboard with random fibre orientation	0.2L	30h _f

L : スパン、h_f : フランジの厚さ

本研究では、フランジの有効幅を菊池式²⁾により求め、フランジのヤング係数を基準とする全断面の等価断面二次モーメント及び等価断面係数による SSP の曲げ強度を求めた。菊池式²⁾は、曲げに対するフランジ有効幅に及ぼす諸因子の影響を平板弾性理論に基づいて検討し、実験による検証を行って求められた有効幅算定式であり、Eurocode5 におけるフランジの有効幅の算定方法としては詳細計算の部類であると考えられる。

また、Eurocode5 の「3.6 Adhesives」では、接着剤について規定しており、EN301 で規定された接着剤を使用環境ごとに使用することとされている¹²⁾。本研究における SSP の実大曲げ試験の試験体に使用した接着剤は、1 液型ポリウレタン系接着剤 (1C-PUR) であり、新たに 2008 年に EN15425 として制定された構造用木材接着剤である。1C-PUR は、硬化した状態では樹脂の分子構造は架橋によって 3 次元網目構造をとるため、分子形態の分類上は熱硬化性樹脂とされる。1C-PUR は、架橋構造による強固な構造を持つハードセグメント部分と元々の熱可塑性樹脂に起因するソフトセグメントの部分を内在している。このソフトセグメントの部分が、長期のクリープ性能に対しマイナス因子となるため、EN15425 では曲げ荷重によるクリープ試験 EN15416-3 を課している¹³⁾。Marra らは、PUR の EN15425 規格に基づく試験を行い、すべての試験で基準値を満たしていることを示した^{13, 14)}。

2.4 本章における論文の構成

「2.1」では、ストレススキンパネルの研究の背景と目的について述べた。

「2.2」では、既往研究に対する本研究の位置づけについて述べた。

「2.3」では、Eurocode5におけるストレススキンパネルについて述べた。

本節「2.4」では、本章における論文の構成について述べている。

「2.5」では、研究対象とするストレススキンパネルの概要について述べ、「2.5.1」でフランジ-ウェブ接合部に使用した木質構造用ねじの概要、「2.5.2」でフランジの合板どうし及びフランジとウェブの接合部に使用した1液型ポリウレタン樹脂系接着剤の概要について述べた。

「2.6」では、ストレススキンパネルの施工計画について述べた。

「2.7」では、一般に流通している構造用合板の単板構成に関する調査結果について述べた。

「2.8.1」では、要素試験として行った構造用合板の単体引張試験について述べた。

「2.8.2」では、要素試験として行った構造用合板の3枚接着重ね張り引張試験について述べた。本研究におけるストレススキンパネルのフランジは、構造用合板を3枚接着重ね張りしたものを想定している。

「2.9」では、ストレススキンパネルの実大曲げ試験について述べた。試験は2種類の試験体について行った。一つは、ベイマツとスギからなる構造用合板をフランジとし、ベイマツとスギからなるハイブリッド集成材をウェブとした試験体と、もう一つはヒノキの構造用合板をフランジとし、ヒノキとスギからなるハイブリッド集成材をウェブとした試験体である。

「2.10」では、ストレススキンパネルのクリープ試験を行い、長期間の荷重に対する性状を検証した。

「2.11」では、ストレススキンパネルについて、フランジを板要素、ウェブを梁要素とし、接着剤と木質構造用ねじを併用して留め付けされたフランジとウェブの接合部は、ねじ位置ごとに剛体連結としたモデルを作成し、有限要素法により解析を行い、実大試験との比較をした。また、接着剤を併用しない場合を仮定し、小林式⁴⁾により求めたねじの1面せん断剛性を考慮したモデルを作成し有限要素法解析により、接着剤を併用した場合との比較をした。

「2.12」では、ストレススキンパネルの設計法について述べた。

「2.13」では、ストレススキンパネルの曲げ性能の検証のまとめとして、本研究で得られた知見を述べた。

2.5 研究対象とするストレススキンパネル（SSP）の概要

研究対象とするSSPは、図2.2に示すような木質接着複合パネルである。SSPの構成は、ウェブに対称異等級集成材を使用し、フランジに針葉樹構造用合板を3枚接着重ね張りしたものとした。ウェブは、一般流通材として住宅の梁などによく使用される集成材とすることで、入手しやすく、一般のプレカット工場で加工できるものとした。また、フランジも、一般流通材として住宅の野地板や耐力壁などによく使用される厚さ12mmの構造用合板とした。フランジを面材1枚のみとした場合、スパン方向において継手が必要となり、フランジの応力伝達に不利となる。そこで本研究では、SSPのフランジは3枚の構造用合板を継手をずらして接着接合することで、スパン方向におけるフランジの連続性を確保した。SSPの曲げ剛性を向上させるため、フランジの合板どうし及びフランジとウェブの接合部は木質構造用ねじと1液型ポリウレタン樹脂系接着剤（以下、ウレタン系接着剤）を併用することで一体化を図った。ウレタン系接着剤は、接着剤メーカーから木造の床用または束用として販売されているため入手しやすく、カートリッジガンで使用できるタイプのものもある。1液型ポリウレタン樹脂系接着剤は、2液混合タイプものと違い接着剤を混ぜる必要がなく、カートリッジガンからビード状に射出した状態で接着することも可能であるため、施工性に優れている。「2.5.1」に木質構造用ねじの概要、「2.5.2」に1液型ポリウレタン樹脂系接着剤の概要を示す。

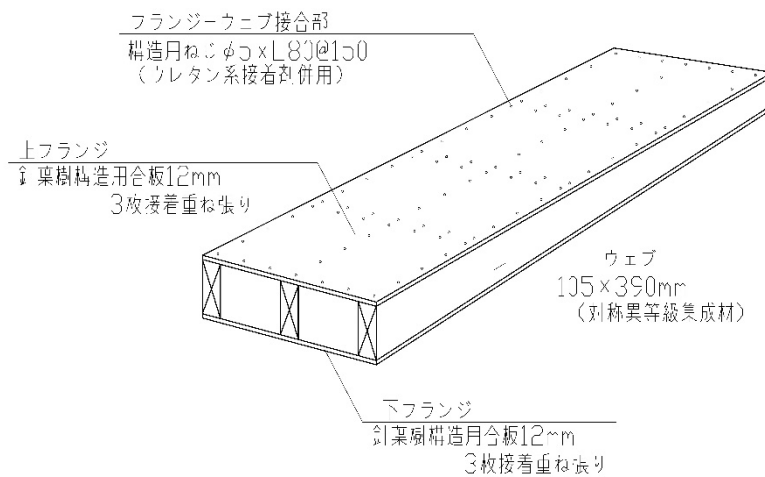


図 2.2 SSP 概略図

2.5.1 フランジ-ウェブ接合部に使用した木質構造用ねじの概要

フランジ-ウェブ接合部に使用した木質構造用ねじの写真を写真 2.1 に、各部の寸法を図 2.3 に示す。ねじの材質は、JIS G3507-2 冷間圧造用炭素鋼線 SWCH22A に相当するもので、表面処理は電気亜鉛めっきとなっている。ねじ部外径は 5mm、胴部径は 3.8mm、頭部径は 10.5mm であり、全長は 80mm である¹⁵⁾。



写真 2.1 木質構造用ねじ

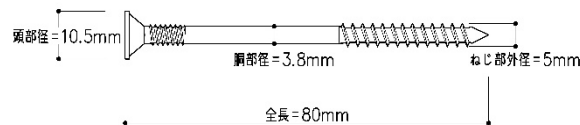


図 2.3 木質構造用ねじ各部の寸法

2.5.2 フランジの合板どうし及びフランジとウェブの接合部に使用した 1 液型ポリウレタン樹脂系接着剤の概要

フランジの合板どうし及びフランジとウェブの接合部に使用した 1 液型ポリウレタン樹脂系接着剤（以下、ウレタン系接着剤）の写真を写真 2.2 に示す。接着剤メーカーの資料¹⁶⁾による接着剤の性状を表 2.2、各種木材への接着性を表 2.3、はり合わせ可能時間を表 2.4 に示す。接着強さの立ち上がりを図 2.4 に示す。表 2.3 の各種木材への接着性では、標準状態（気温 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ ）で試験した常態接着強さにおいて、すべて木部の破断で決まっている。表 2.4 のはり合わせ可能時間では、標準状態におけるオープンタイムが 60 分でも、4 日間養生後の接着強さに大きな低下はないと考えられるが、接着剤メーカーでは、はり合わせ可能時間を夏季は 20 分以内、冬季は 60 分以内としている¹⁶⁾。図 2.4 は接着剤養生時の気温による接着強さの違いを示しているが、 0°C の場合、標準状態の 23°C に比べて、接着強さの発現時間に差があるが、336 時間後（2 週間後）の接着強さに大きな違いはないと考えられる。養生時の気温が 0°C を下回らなければ、接着剤の強度上問題ないと考えられる。ウレタン系接着剤の長期間の接着性能について、欧州規格 EN15425 では曲げ荷重によるクリープ試験 EN15416-3 を課している¹³⁾。Marra らは、PUR（ウレタン系接着剤）の EN15425 規格に基づく試験を行い、すべての試験で基準値を満たしていることを示した^{13, 14)}。以上のことから、SSP の接着にウレタン系接着剤を用いることは、問題ないと考えられる。



写真 2.2 本研究で使用した接着剤

表 2.2 接着剤の性状¹⁶⁾

主成分	湿気硬化型ポリウレタン樹脂
外観	淡黄白色ペースト状
粘度 (Pa・s, [23℃])	90～110
比重 [23℃]	1.58～1.68

表 2.3 各種木材への接着性〔圧縮せん断接着強さ試験〕¹⁶⁾

被着材 試験項目	カバ ／カバ	ベイマツ ／ベイマツ	スプルース ／スプルース	ベイツガ ／ベイツガ
常態接着強さ (N/mm ²) 〔木部破断率〕	16.6 〔100〕	11.3 〔100〕	13.2 〔100〕	10.1 〔100〕
煮沸繰り返し 接着強さ (N/mm ²) 〔木部破断率〕	7.68 〔75〕	5.77 〔85〕	4.78 〔90〕	5.14 〔90〕
加熱暴露 接着強さ (N/mm ²) 〔木部破断率〕	14.6 〔100〕	—	—	7.1 〔100〕

試験条件

常態接着強さ : 標準状態（気温 23±2℃、相対湿度 50±5％）で接着、4 日間養生

煮沸繰り返し接着強さ : 標準状態で接着、4 日間養生、沸騰水中に 4 時間浸してから、60℃
の乾燥機中で 20 時間乾燥し、再び沸騰水中に 4 時間浸す。その後、
室温の水中に冷めるまで浸し、濡れたまま測定

加熱暴露接着強さ : 標準状態で接着、4 日間養生、90℃のオーブンに 30 日間放置

測定条件 : JIS K 6852 に準拠

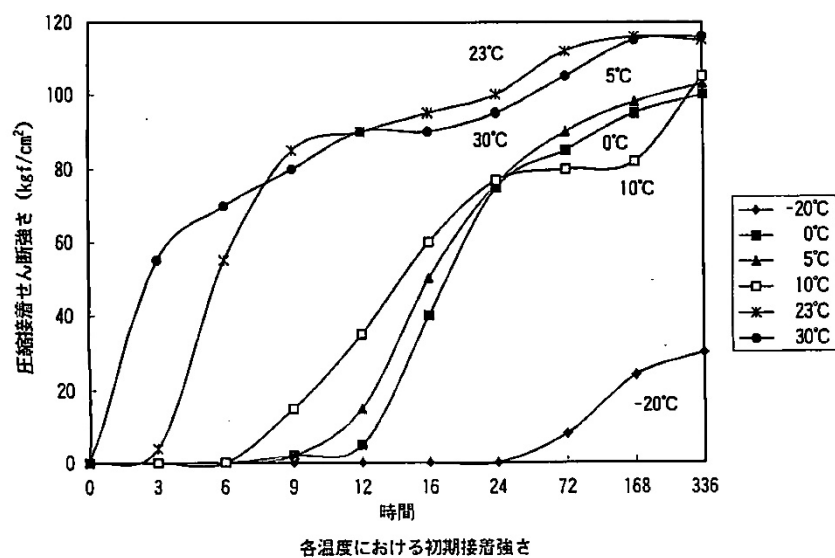
表 2.4 はり合わせ可能時間〔圧縮せん断接着強さ試験〕¹⁶⁾

オープンタイム	0 分	1 0 分	3 0 分	6 0 分
接着強さ (N/mm ²)	9.9	11.4	14.1	10.5
〔木部破断率〕	〔65〕	〔75〕	〔90〕	〔50〕

被着材：スプルス／スプルス（含水率約 1 2 %）

試験条件：標準状態（気温 23±2℃、相対湿度 50±5%）で接着、4 日間養生

測定条件：JIS K 6852 に準拠



*被着材：ベイマツ／ベイマツ（含水率 約 1 1 %）

図 2.4 接着強さの立ち上がり〔圧縮せん断接着強さ試験〕¹⁶⁾

2.6 ストレストスキンパネル（SSP）の施工計画

建築現場を想定したSSPの施工計画を、図2.5に示す。プレカット工場等において、ウェブの上面にウレタン系接着剤を塗布し、そこに1枚目の構造用合板を張り、さらに、その合板の上面に接着剤を塗布し、そこに2枚目の合板を張り、同じように3枚目の合板を張り、それらとウェブとを木質構造用ネジで留めつける。ここまでの工程を工場で行い、ウェブの片面にのみフランジ材を張った状態で建築現場に搬入し、それを上下反転して、大梁に掛ける。そして、工場と同様の方法で上フランジを張り付ける。

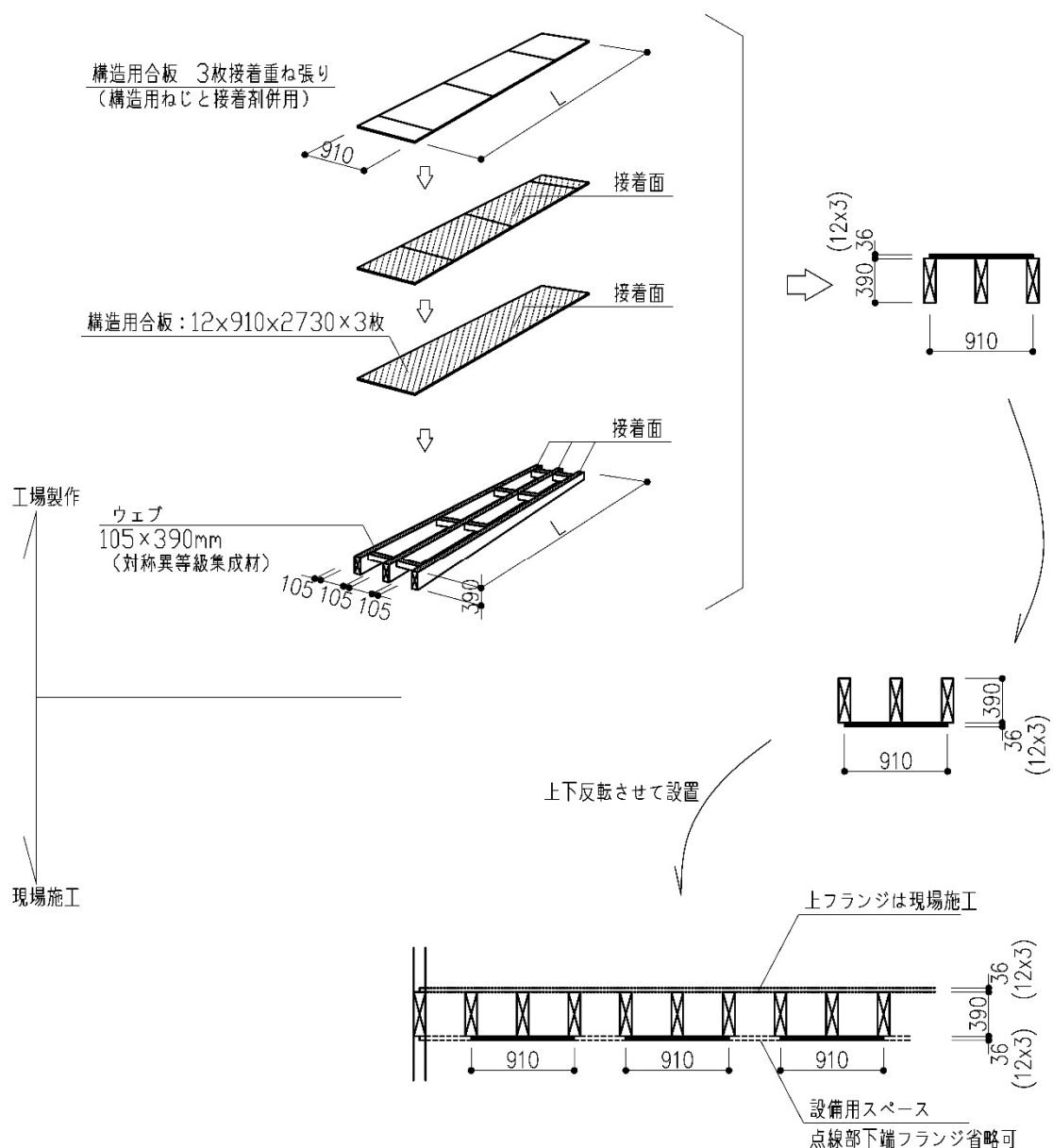


図 2.5 SSP 施工計画図 (単位: mm)




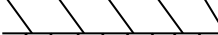
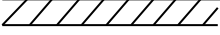
2.7 一般に流通している構造用合板の単板構成に関する調査

S S Pの横架材としての性能は、フランジに使用する構造用合板の引張強度及び引張ヤング係数に大きく関わる。現在、わが国で流通している構造用合板の等級は2級がほとんどであるため、S S Pのフランジは、構造用合板2級を使用することになる。文献17)において、2級の構造用合板については、許容曲げ応力度および曲げヤング係数は規定されているが、許容引張応力度および引張ヤング係数は規定されていない。これらの値は合板の単板に使用される樹種により異なることが予想される。そのため、わが国で一般に流通している合板の単板構成を調査し、それらの中から主要なものを抽出し実大引張試験を行うことで、S S Pに最適な合板を選定する。調査は、12mm厚の構造用合板に関し、電話およびファクシミリなどによる聞き取り調査（平成27年7月実施）という形で行った。その結果、以下のことが判明した。

- ①構造用合板の単板に使用される樹種は、決まったものではなく、その都度入手しやすい丸太材による。
- ②特注する場合を除いて、合板の樹種を指定した購入は、原則としてできない。
- ③一般に流通している合板には、単板に使用されている樹種が明記されていない場合が多い。
- ④樹種は、針葉樹がほとんどで、国産材では、スギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツ等、外国産材ではベイマツ、ダフリカカラマツ等が使用されている。
- ⑤ 合板のサイズは、910×1820mm または 1000×2000mm が広く流通されており、長手方向の大きさが2730mmを超える長尺合板は、特注する場合を除き、ベイマツとスギで構成された合板のみが流通している。

調査結果を表2.5～表2.7に示す。

表 2.5 12mm 厚構造用合板の単板構成 (1)

表板：
 添え心板：
 心板：
 添え心板：
 裏板：

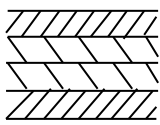
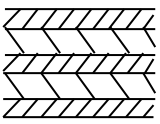
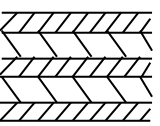
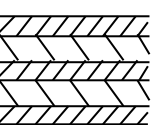
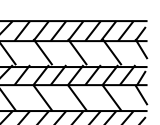
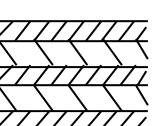
＜製造工場所在地＞	＜単板構成＞	＜使用樹種＞
北海道		
北海道網走郡	 3層 4プライ 表板,裏板(3mm 程度): 添え心板(3mm 程度):	カラマツ、トドマツ カラマツ、トドマツ
東北		
秋田県秋田市	 5層 5プライ 表板,裏板(2mm 程度): 心板(2mm 程度): 添え心板(3mm 程度):	国産カラマツ、北洋カラマツ、SFC スギ又は国産カラマツ、北洋カラマツ スギ
秋田県秋田市	 5層 5プライ 表板,裏板(2mm 程度): 心板(2mm 程度): 添え心板(3mm 程度):	国産カラマツ、北洋カラマツ スギ又は国産カラマツ、北洋カラマツ スギ
岩手県宮古市	 5層 5プライ 表板,裏板(1.8mm 程度): 心板(1.8mm 程度): 添え心板(3.3mm 程度):	国産カラマツ 国産カラマツ スギ
宮城県石巻市	 5層 5プライ 表板,裏板(2mm 程度): 心板(2mm 程度): 添え心板(3mm 程度):	国産カラマツ、ロシアカラマツ、スギ 国産カラマツ、ロシアカラマツ、スギ スギ
宮城県石巻市	 5層 5プライ 表板,裏板(2mm 程度): 心板(2mm 程度): 添え心板(3mm 程度):	国産カラマツ スギ又は国産カラマツ スギ

表 2.6 12mm 厚構造用合板の単板構成 (2)

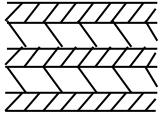
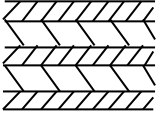
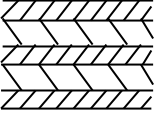
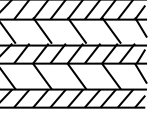
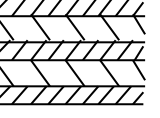
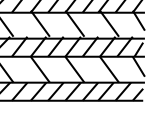
＜製造工場所在地＞		＜単板構成＞	＜使用樹種＞
<u>関東</u>			
千葉県木更津市		5 層 5 プライ 表板,裏板(2.1mm 程度): 心板(2.1mm 程度): 添え心板(3.2mm 程度):	国産アカマツ 国産アカマツ スギ等他樹種又は国産アカマツ
<u>中部</u>			
石川県七尾市 (長野県産材を使用)		5 層 5 プライ 表板,裏板(2mm 程度): 心板(2mm 程度): 添え心板(3mm 程度):	長野県産カラマツ 長野県産カラマツ、スギ、アカマツ 長野県産カラマツ、スギ、アカマツ
<u>近畿</u>			
京都府舞鶴市 (三重県産材を使用)		5 層 5 プライ 表板,裏板(2mm 程度): 心板(2mm 程度): 添え心板(3mm 程度):	三重県産 スギ 三重県産 スギ 三重県産 スギ
京都府舞鶴市 (和歌山県産材を使用)		5 層 5 プライ 表板,裏板(2mm 程度): 心板(2mm 程度): 添え心板(3mm 程度):	和歌山県産 ヒノキ 和歌山県産 ヒノキ 和歌山県産 ヒノキ
<u>中国</u>			
鳥取県境港市		5 層 5 プライ 表板,裏板(2mm 程度): 心板(2mm 程度): 添え心板(3.2mm 程度):	ベイマツ、スギ、ヒノキ ベイマツ、スギ、ヒノキ ベイマツ、スギ、ヒノキ
島根県浜田市		5 層 5 プライ 表板,裏板(1.7mm 程度): 心板(1.7mm 程度): 添え心板(3.7mm 程度):	ヒノキ ヒノキ スギ

表 2.7 12mm 厚構造用合板の単板構成 (3)

<製造工場所在地>		<単板構成>	<使用樹種>
<p>四国</p> <p>徳島県小松島市</p>		<p>5 層 5 プライ</p> <p>表板,裏板(2mm 程度):</p> <p>心板(2mm 程度):</p> <p>添え心板(3mm 程度):</p>	<p>ヒノキ、スギ、国産マツ、ベイマツ</p> <p>ヒノキ、スギ、国産マツ、ベイマツ</p> <p>スギ</p>

2.8 要素試験

2.8.1 構造用合板単体の引張試験

2.8.1 (1) 目的および試験対象

S S Pの横架材としての性能は、フランジに使用する構造用合板の引張強度及び引張ヤング係数に大きく関わる。わが国で流通されている構造用合板の等級は2級がほとんどであるため、S S Pのフランジは、構造用合板2級を使用することになる。文献17) において、2級の構造用合板については、曲げ許容応力度および曲げヤング係数は規定されているが、引張許容応力度および引張ヤング係数は規定されていない。これらの値は合板の単板に使用される樹種により異なることが予想される。そこで、S S Pのフランジとして適当な構造用合板を選定するため、合板を樹種ごとに単体で引張試験を行い、引張許容応力度、引張ヤング係数を明らかにした。

一般に流通している12mm厚構造用合板の単板構成の調査結果に基づき、その中から主要なものとして抽出し、試験対象とした構造用合板を表2.8に示す。

表2.8 試験体一覧（合板の厚さはすべて12mmとする。）

	試験体 記号	単板構成			等級	板面 品質	接着 性能	製造所所在地
		表板, 裏板	心板	添え心板				
1	BSBSB	ベイマツ	ベイマツ	スギ	2級	C-D	特類	宮城県石巻市
2	KSKSK	カラマツ	カラマツ	スギ	2級	C-D	特類	宮城県石巻市
3	KSSSK	カラマツ	スギ	スギ	2級	C-D	特類	宮城県石巻市
4	SSSSS	スギ	スギ	スギ	2級	C-D	特類	宮城県石巻市
5	HSHSH	ヒノキ	ヒノキ	スギ	2級	C-D	特類	岐阜県中津川市
6	HSSSH	ヒノキ	スギ	スギ	2級	C-D	特類	岐阜県中津川市
7	HHHHH	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	2級	C-D	特類	宮城県石巻市

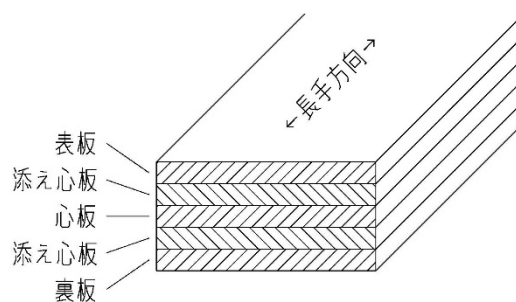


図2.6 構造用合板の単板構成

2.8.1 (2) 試験体及び試験方法の概要

構造用合板単体の引張試験体の概要を図 2.7 に示す。試験は、栃木県林業センターおよび愛知県森林・林業技術センターにおいて行った。栃木県林業センターでは、合板 2 枚の内から 6 体の試験体を取り出し、愛知県森林・林業技術センターでは、合板 3 枚の内から 6 体の試験体を取り出し引張試験を行った。どちらも、引張加力の速度は 1mm/分とし、破壊位置をコントロールするため試験体の中央部にくびれを設けた。

変位計は標点間距離が 500mm となる位置に取り付け、その測定値から式 (2.1) により引張ヤング係数を算定した。変位は、加力側の 2 つの変位計の平均値から加力反対側の 2 つの変位計の平均値を差し引いた相対変位とした。また、試験体の中央部に貼り付けたひずみゲージより計測したひずみ度から式 (2.2) により引張ヤング係数を算定した。変位計から求めた引張ヤング係数と合板の両側面に貼り付けたひずみゲージから求めた引張ヤング係数の内、最小の値をその試験体の引張ヤング係数とした。

変位計による引張ヤング係数

$$Et_1 = \frac{l(F_2 - F_1)}{A(d_2 - d_1)} \quad \dots (2.1)$$

l : 標点距離 (=500mm)

A : 試験体の断面積 (mm²)

F_1 : 最大荷重の約 10% (kN)

d_1 : F_1 時変位量 (mm)

F_2 : 最大荷重の約 40% (kN)

d_2 : F_2 時変位量 (mm)

ひずみゲージによる引張ヤング係数

$$Et_2 = \frac{(F_2 - F_1)}{A(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)} \quad \dots (2.2)$$

A : 試験体の断面積 (mm²)

F_1 : 最大荷重の約 10% (kN)

ε_1 : F_1 時ひずみ度

F_2 : 最大荷重の約 40% (kN)

ε_2 : F_2 時ひずみ度

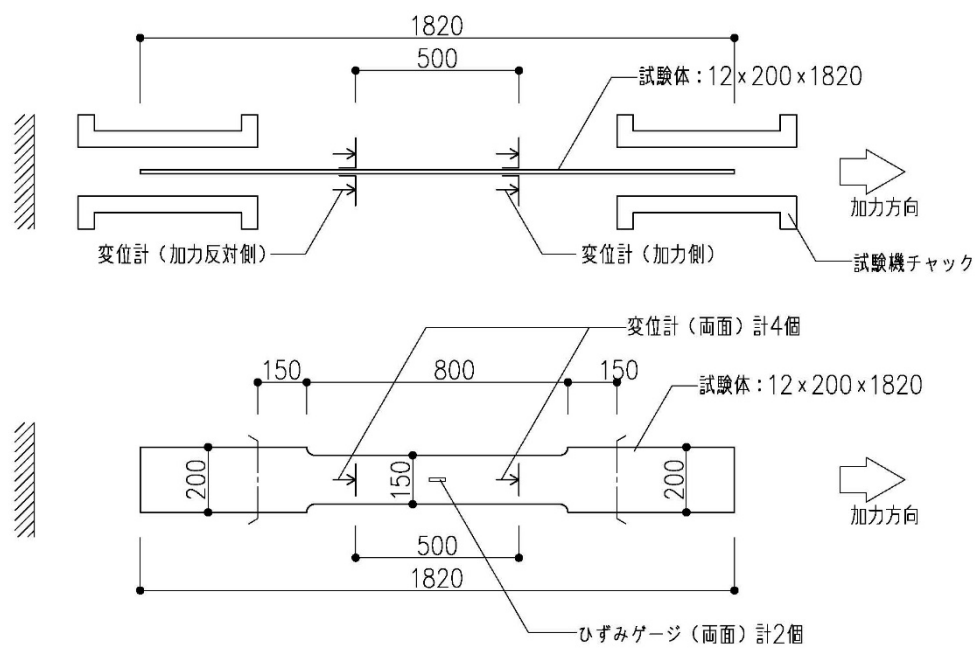


図 2.7 単体引張試験体概要 (単位 : mm)

2. 8. 1 (3) 構造用合板単体の引張試験の結果

各試験体の引張試験の結果より、荷重-変位曲線及び荷重-ひずみ曲線を図 2.8 から図 2.49 に示す。試験体の破壊時の様子を写真 2.3 から写真 2.44 に示す。また、試験結果の一覧を表 2.9 から表 2.15 に示す。2.8.1 (4) において構造用合板単体の引張試験の結果について考察した。

2.8.1 (3) 1 試験体 BSBSB (表板・裏板：ベイマツ、心板：ベイマツ、添え心板：スギ)

試験体名：BSBSB 1-3 最大荷重：33.92kN

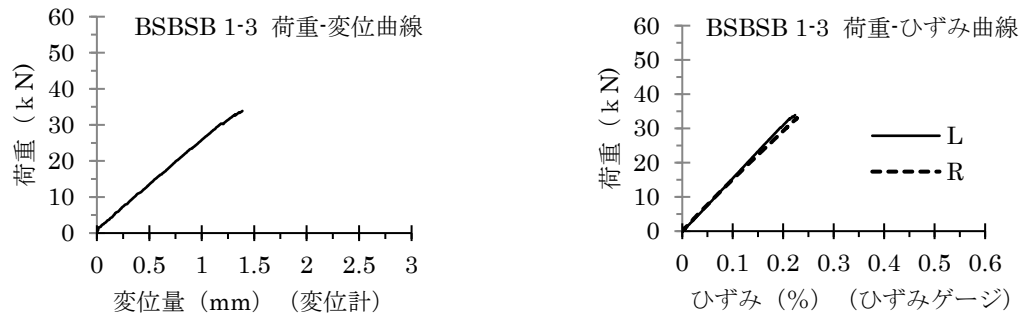


図 2.8 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.3 破壊状況

試験体名：BSBSB 1-4 最大荷重：29.9kN

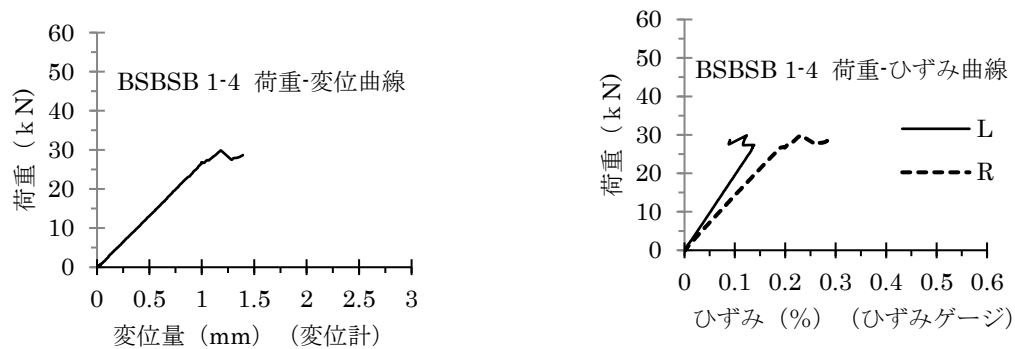


図 2.9 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.4 破壊状況

試験体名：BSBSB 2-3 最大荷重：37.32kN

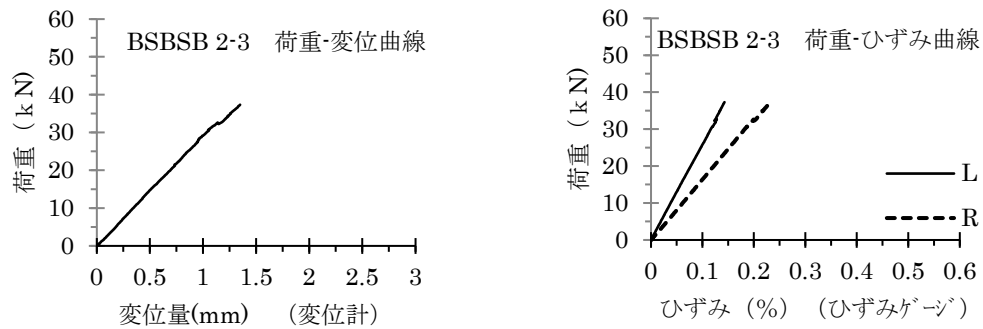


図 2.10 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊

写真 2.5 破壊状況



試験体名：BSBSB 2-4 最大荷重：39.30kN

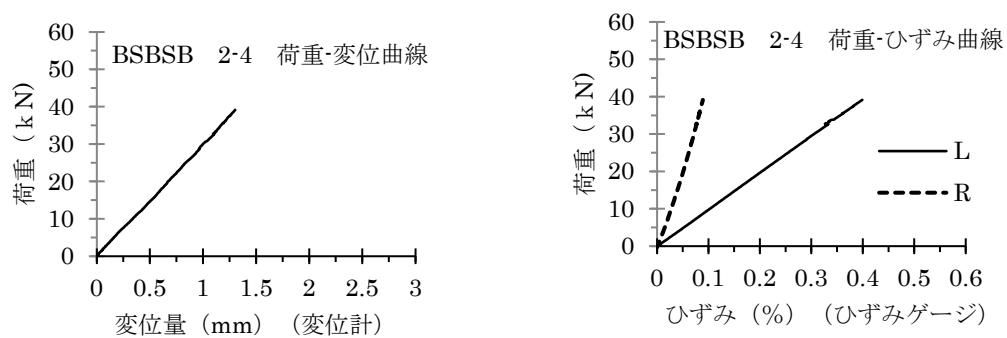


図 2.11 試験結果

破壊性状：

くびれ根元付近の節部を基点に亀裂が進展する引張破壊

写真 2.6 破壊状況



試験体名：BSBSB 3-3 最大荷重：33.40kN

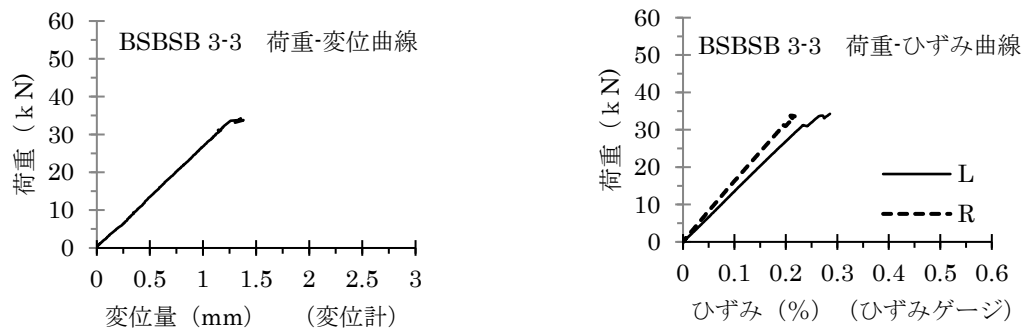


図 2.12 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊

写真 2.7 破壊状況



試験体名：BSBSB 3-4 最大荷重：34.67kN

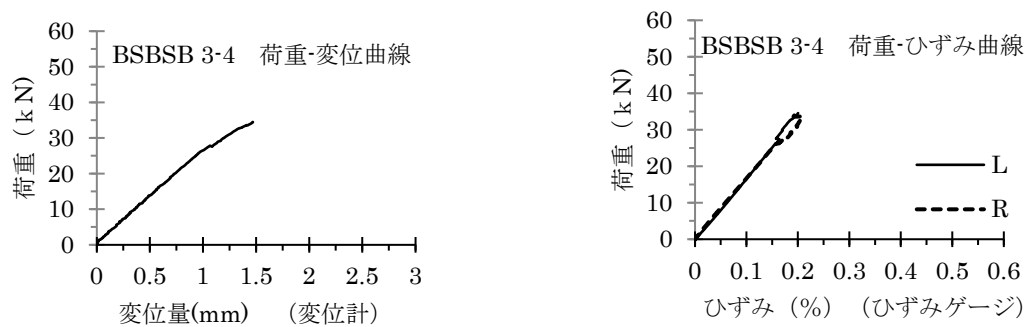


図 2.13 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊

写真 2.8 破壊状況



表 2.9 試験体 BSBSB の試験結果一覧

番号	断面寸法(mm)	断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 (kN/mm ²)	Et2 (kN/mm ²)	密度 (kg/m ³)
1-3	12.2 × 149.5	1827.6	33.92	18.56	6.87	8.20	560.38
1-4	12.4 × 149.5	1857.5	29.90	16.10	7.10	7.68	527.00
2-3	12.0 × 150.0	1803.8	37.32	20.69	8.34	9.17	564.56
2-4	12.0 × 149.5	1797.7	39.30	21.86	7.92	5.51	564.30
3-3	11.6 × 149.5	1736.1	33.40	19.24	7.72	7.90	509.96
3-4	11.7 × 150.0	1747.5	34.67	19.84	7.74	9.41	490.68
	平均値		34.75	19.38	7.61	7.98	536.15
	標準偏差		3.266	1.978	0.539	1.395	
	変動係数		0.094	0.102	0.071	0.175	
	基準値 50%下限値 (5%下限値)		33.78	18.79 (14.76)	7.45	7.56	

2.8.1 (3) 2 試験体 KSKSK (表板・裏板：カラマツ、心板：カラマツ、添え心板：スギ)

試験体名：KSKSK 1-1 最大荷重：18.17kN

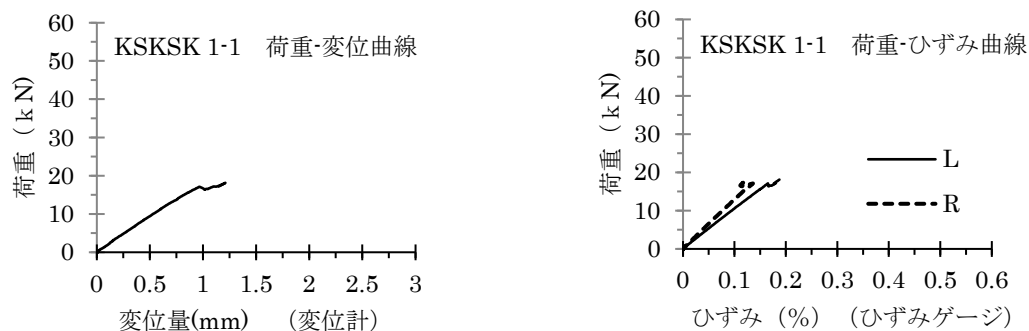


図 2.14 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.9 破壊状況

試験体名：KSKSK 1-2 最大荷重：36.57kN

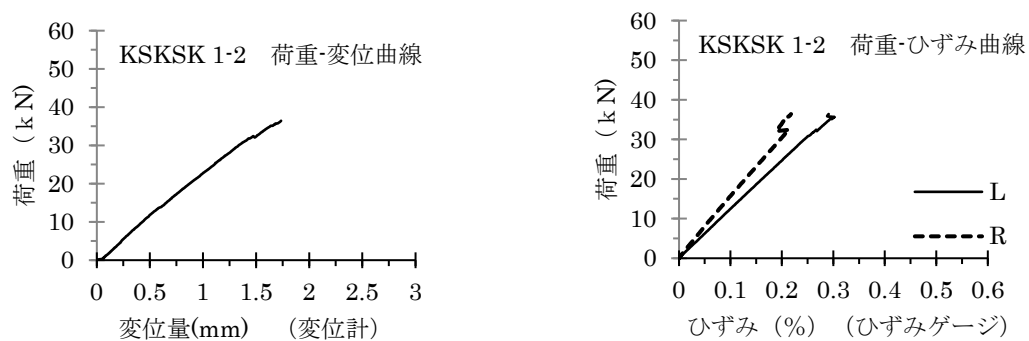


図 2.15 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.10 破壊状

試験体名：KSKSK 2-1 最大荷重：40.82kN

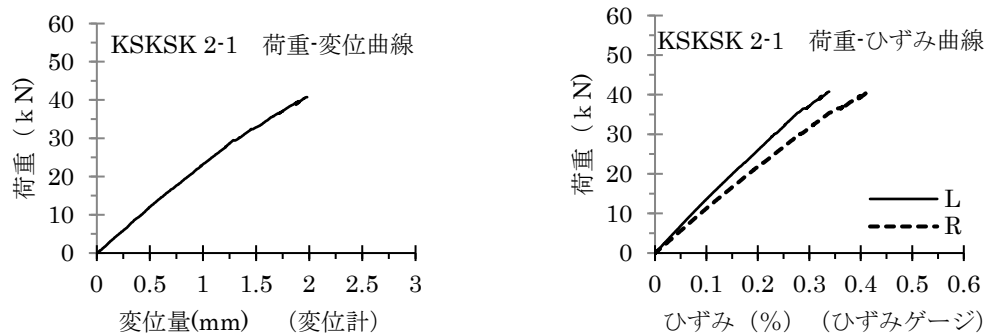


図 2.16 試験結果

破壊性状：

くびれ根元付近の年輪の目切れ部を
基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.11 破壊状

試験体名：KSKSK 2-2 最大荷重：31.92kN

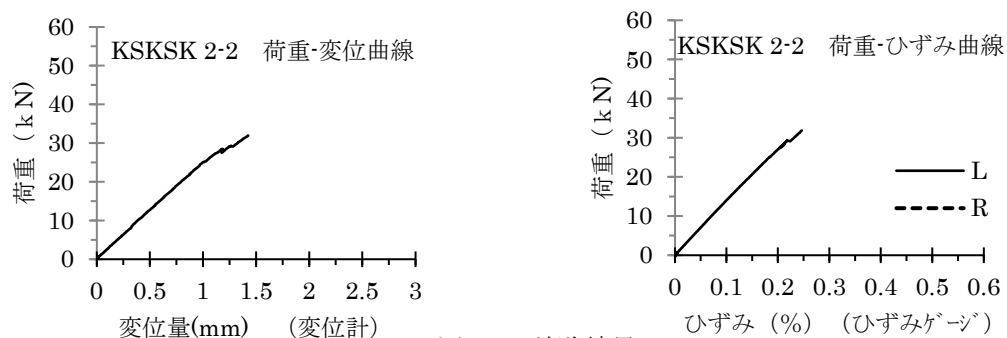


図 2.17 試験結果

破壊性状：

くびれ根元付近の年輪の目切れ部を基点に
亀裂が進展する引張破壊



写真 2.12 破壊状況

試験体名：KSKSK 3-1 最大荷重：28.42kN

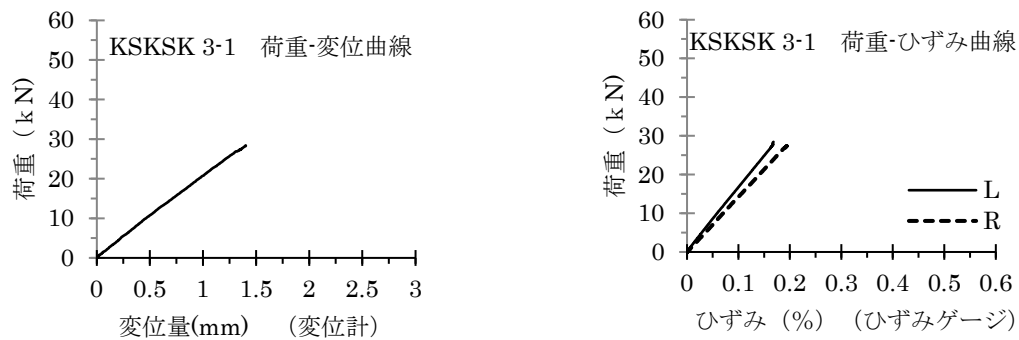


図 2.18 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.13 破壊状況

試験体名：KSKSK 3-2 最大荷重：20.57kN

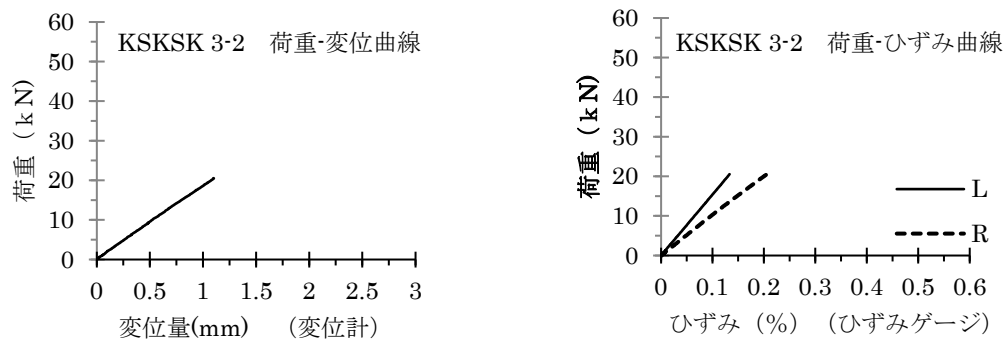


図 2.19 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.14 破壊状況

表 2.10 試験体 KSKSK の試験結果一覧

番号	断面寸法(mm)	断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 (kN/mm ²)	Et2 (kN/mm ²)	密度 (kg/m ³)
1-1	12.4 × 150.5	1866.2	18.17	9.74	5.17	5.66	532.46
1-2	12.4 × 149.5	1853.8	36.57	19.73	6.54	6.69	541.33
2-1	12.4 × 152	1884.8	40.82	21.66	6.24	5.84	505.24
2-2	12.4 × 149.5	1846.3	31.92	17.29	6.79	7.55	513.47
3-1	12.4 × 149	1840.2	28.42	15.44	5.72	7.83	510.70
3-2	12.3 × 149	1836.4	20.57	11.20	5.12	5.61	510.66
平均値			29.41	15.84	5.93	6.53	518.98
標準偏差			8.868	4.690	0.707	0.984	
変動係数			0.302	0.296	0.119	0.151	
基準値 50%下限値 (5%下限値)			26.78	14.45 (4.89)	5.72	6.24	

2.8.1 (3) 3 試験体 KSSSK (表板・裏板：カラマツ、心板：スギ、添え心板：スギ)

試験体名：KSSSK 1-1 最大荷重：32.05kN

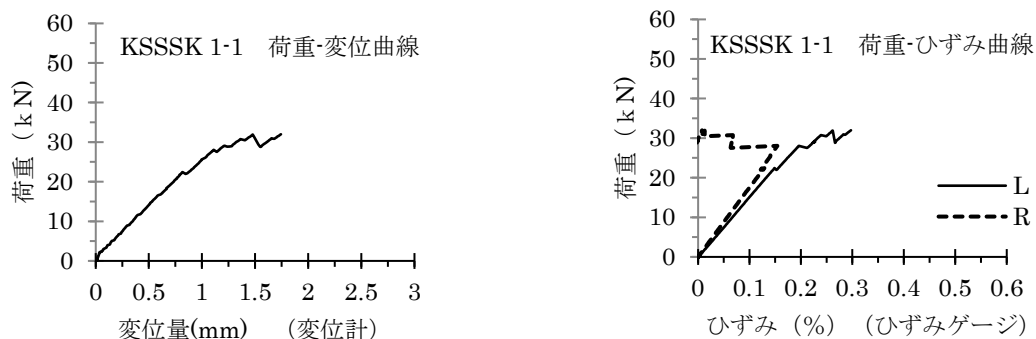


図 2.20 試験結果

破壊性状：

年輪の目切れ部を基点に亀裂が進展する引張

破壊



写真 2.15 破壊状況

試験体名：KSSSK 1-2 最大荷重：46.42kN

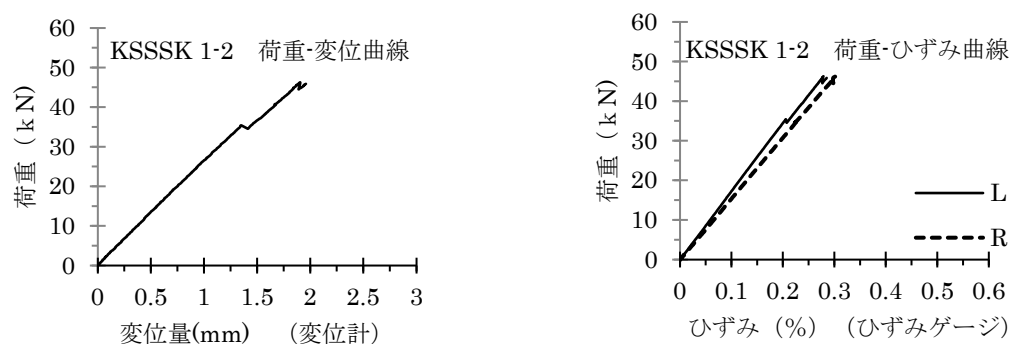


図 2.21 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.16 破壊状況

試験体名：KSSSK 2-1 最大荷重：27.62kN

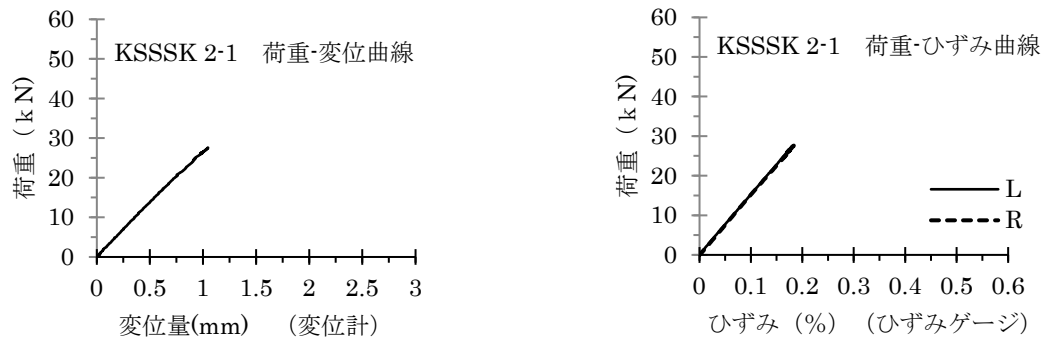


図 2.22 試験結果

破壊性状：

くびれ根元付近の節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.17 破壊状況

試験体名：KSSSK 2-2 最大荷重：26.40kN

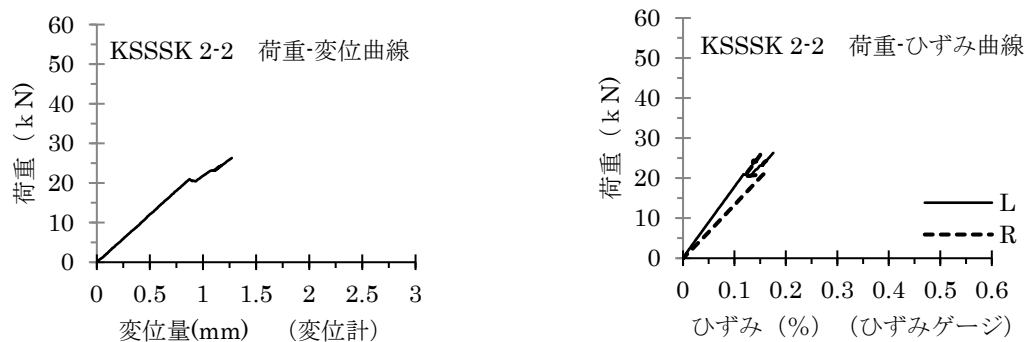


図 2.23 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.18 破壊状況

試験体名：KSSSK 3-1 最大荷重：28.47kN

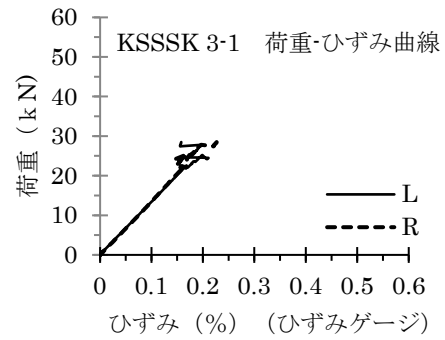
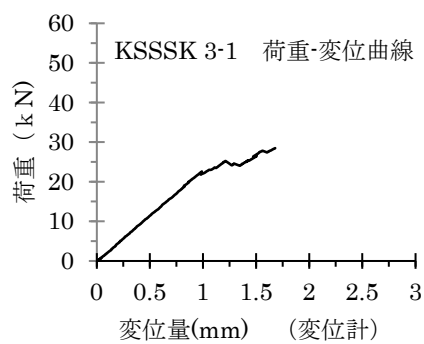


図 2.24 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.19 破壊状況

試験体名：KSSSK 3-2 最大荷重：30.60kN

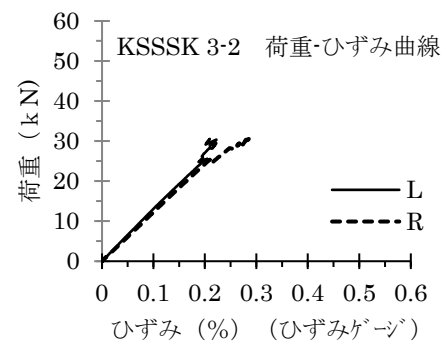
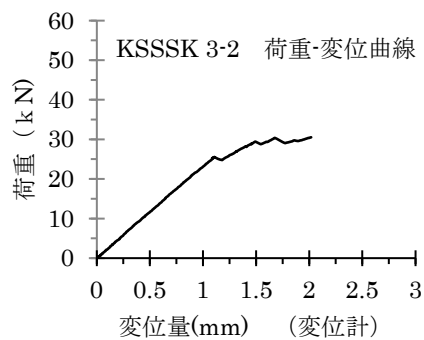


図 2.25 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.20 破壊状況

表 2.11 試験体 KSSSK の試験結果一覧

番号	断面寸法(mm)	断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 (kN/mm ²)	Et2 (kN/mm ²)	密度 (kg/m ³)
1-1	12.3 × 150	1837.5	32.05	17.44	7.19	8.34	502.47
1-2	12.3 × 150	1837.5	46.42	25.26	7.23	8.42	493.60
2-1	12.2 × 150.5	1836.1	27.62	15.04	7.54	8.25	466.32
2-2	12.2 × 150	1830.0	26.40	14.43	6.56	7.30	474.88
3-1	12.3 × 149.5	1838.9	28.47	15.48	6.41	7.21	489.25
3-2	12.2 × 150	1830.0	30.60	16.72	6.35	6.69	490.96
平均値			31.93	17.40	6.88	7.70	486.25
標準偏差			7.387	4.009	0.500	0.728	
変動係数			0.231	0.230	0.073	0.095	
基準値 50%下限値 (5%下限値)			29.73	16.21 (8.03)	6.73	7.49	

2.8.1 (3) 4 試験体 SSSSS (表板・裏板：スギ、心板：スギ、添え心板：スギ)

試験体名：SSSSS 1-1 最大荷重：32.85kN

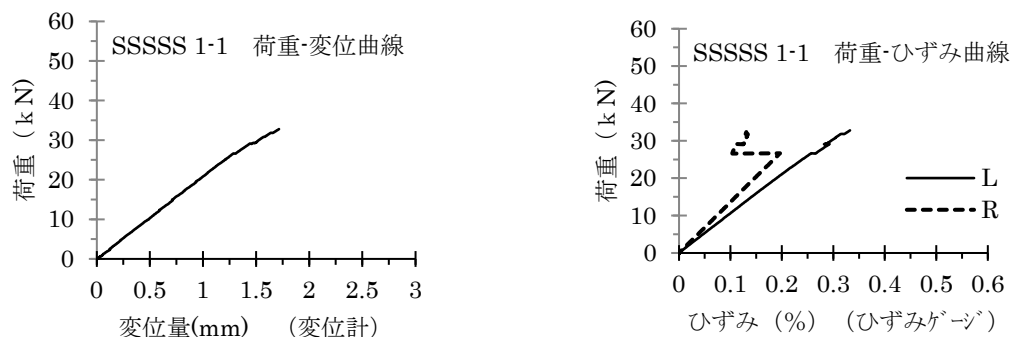


図 2.26 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.21 破壊状況

試験体名：SSSSS 1-2 最大荷重：28.0kN

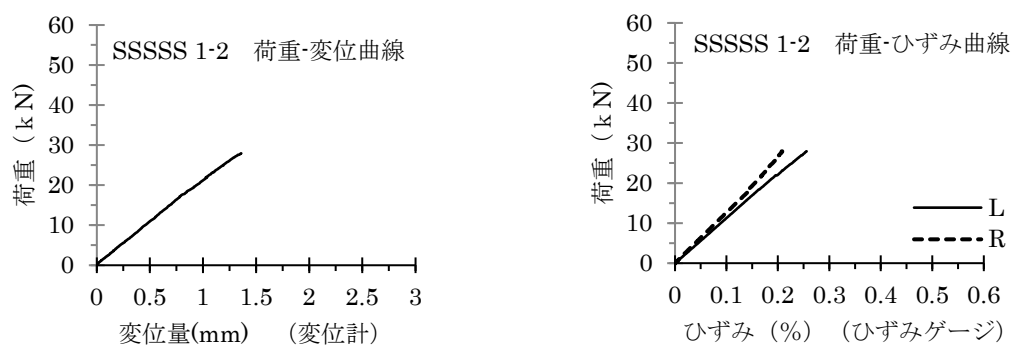


図 2.27 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.22 破壊状況

試験体名：SSSSS 2-1 最大荷重：18.40kN

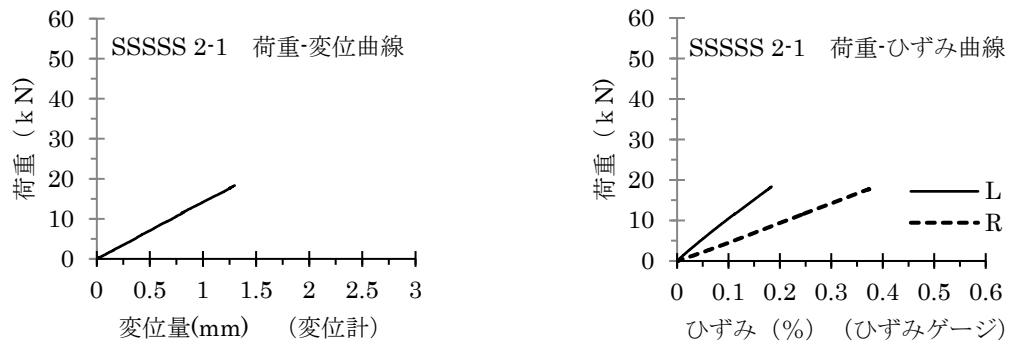


図 2.28 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張
破壊



写真 2.23 破壊状況

試験体名：SSSSS 2-2 最大荷重：23.95kN

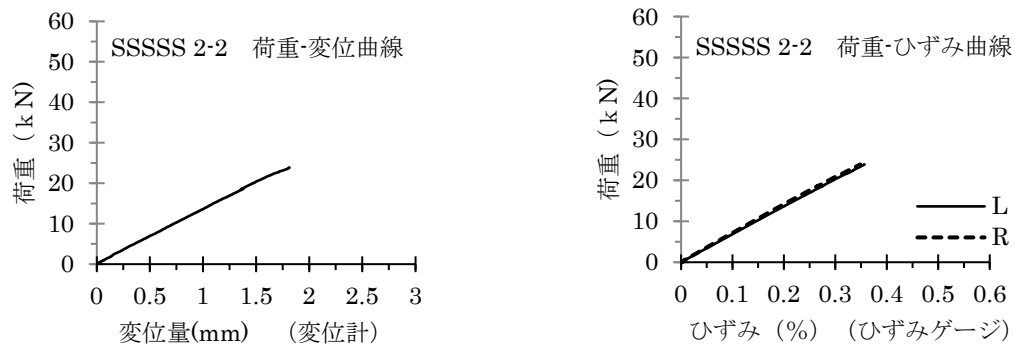


図 2.29 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張
破壊



写真 2.24 破壊状況

試験体名：SSSSS 3-1 最大荷重：33.10kN

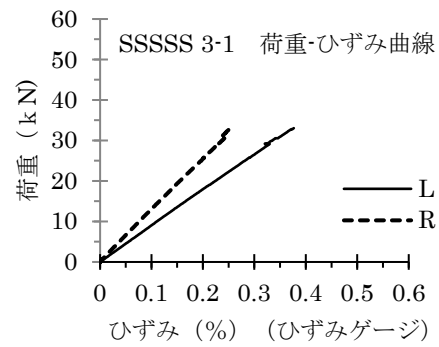
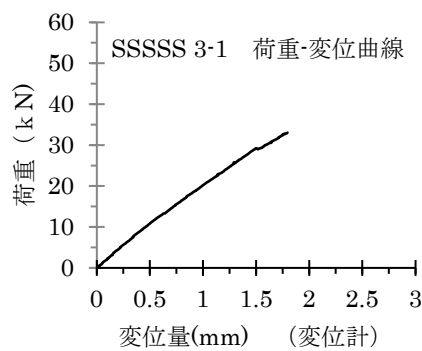


図 2.30 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.25 破壊状況

試験体名：SSSSS 3-2 最大荷重：35.80kN

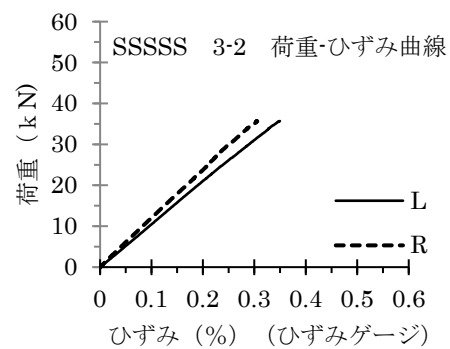
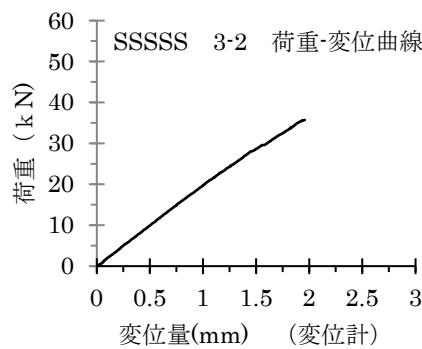


図 2.31 試験結果

破壊性状：

表層、中央層ともに節等の欠点のない箇所
で引張破壊



写真 2.26 破壊状況

表 2.12 試験体 SSSS の試験結果一覧

番号	断面寸法(mm)	断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 (kN/mm ²)	Et2 (kN/mm ²)	密度 (kg/m ³)
1-1	12.5 × 150	1875.0	32.85	17.52	5.52	5.66	426.67
1-2	12.5 × 150	1875.0	28.00	14.93	5.75	6.04	439.34
2-1	12.4 × 150	1852.5	18.40	9.93	3.84	2.58	438.33
2-2	12.3 × 148.5	1822.8	23.95	13.14	3.67	3.77	416.80
3-1	12.4 × 150	1852.5	33.10	17.87	5.63	4.89	428.89
3-2	12.2 × 149.5	1827.6	35.80	19.59	5.48	5.80	422.18
	平均値		28.68	15.50	4.98	4.79	428.70
	標準偏差		6.575	3.558	0.956	1.363	
	変動係数		0.229	0.230	0.192	0.285	
	基準値 50%下限値 (5%下限値)		26.73	14.44 (7.19)	4.70	4.38	

2.8.1 (3) 5 試験体 HSHSH (表板・裏板：ヒノキ、心板：ヒノキ、添え心板：スギ)

試験体名：HSHSH 1-1 最大荷重：49.90kN

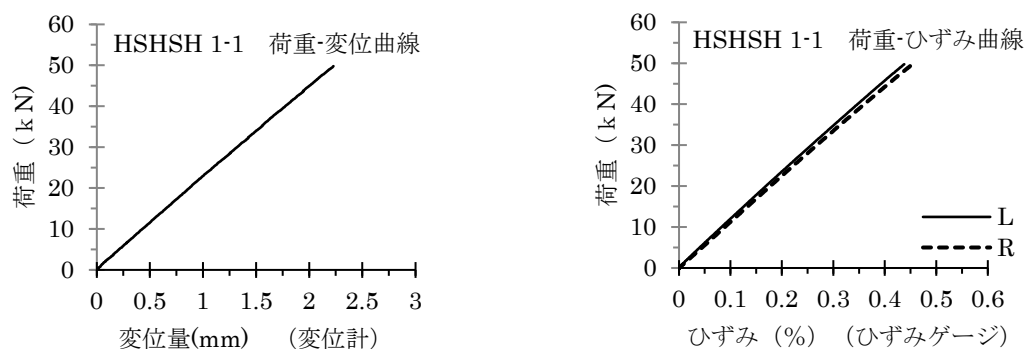


図 2.32 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張
破壊



写真 2.27 破壊状況

試験体名：HSHSH 1-2 最大荷重：38.60kN

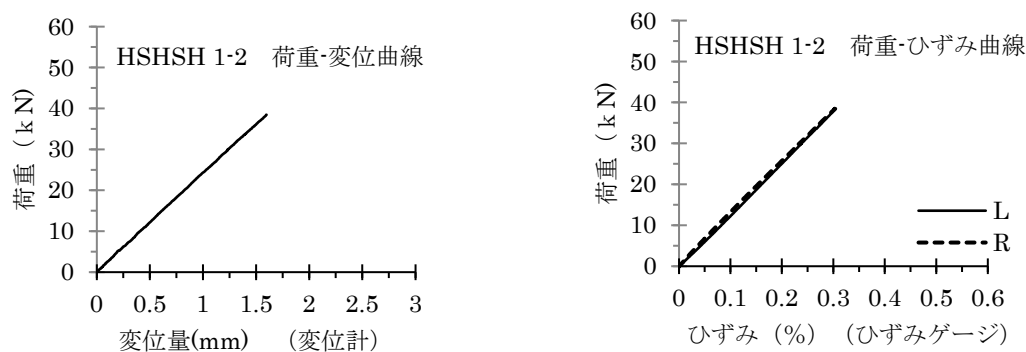


図 2.33 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張
破壊



写真 2.28 破壊状況

試験体名：HSHSH 2-1 最大荷重：37.10kN

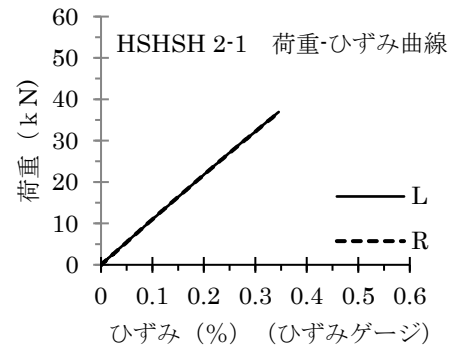
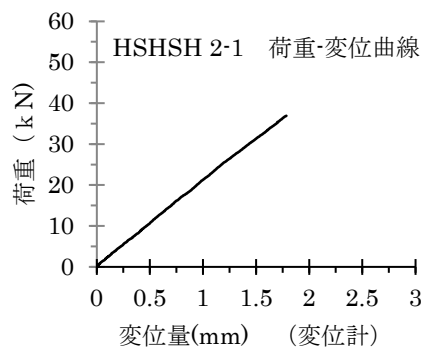


図 2.34 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.29 破壊状況

試験体名：HSHSH 2-2 最大荷重：40.72kN

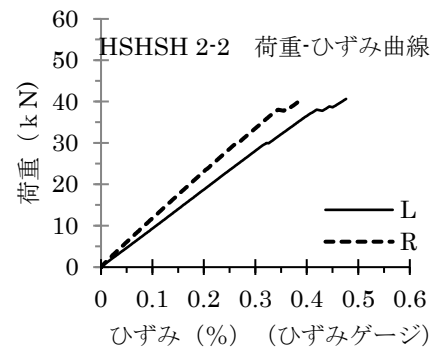
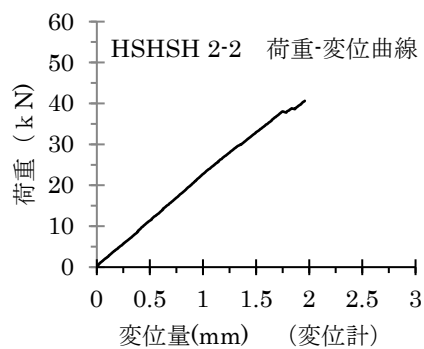


図 2.35 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の年輪の目切れ部に沿って亀裂が
進展する引張破壊



写真 2.30 破壊状況

試験体名：HSHSH 3-1 最大荷重：46.10kN

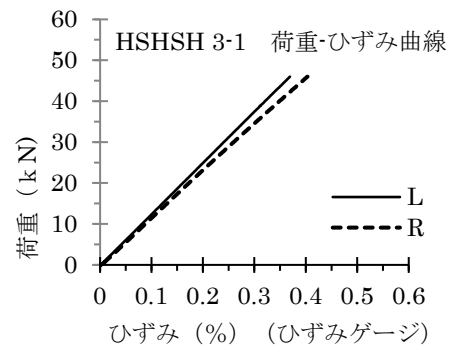
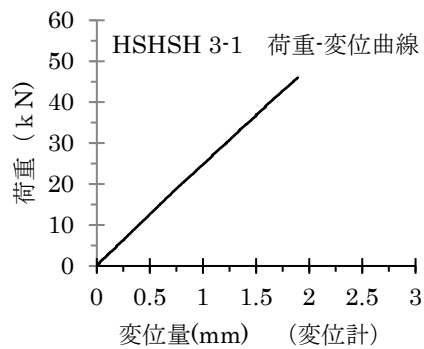


図 2.36 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.31 破壊状況

試験体名：HSHSH 3-2 最大荷重：43.15kN

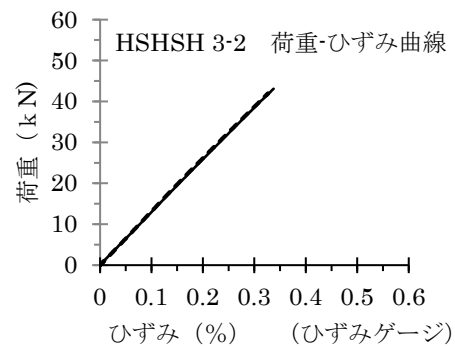
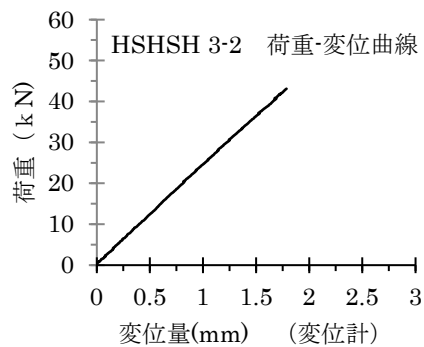


図 2.37 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.32 破壊状況

表 2.13 試験体 HSHSH の試験結果一覧

番号	断面寸法(mm)	断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 (kN/mm ²)	Et2 (kN/mm ²)	密度 (kg/m ³)
1-1	12.0 × 149	1788.0	49.90	27.91	6.34	6.33	481.83
1-2	12.0 × 149	1788.0	38.60	21.59	6.76	6.98	462.13
2-1	12.0 × 149	1788.0	37.10	20.75	5.86	6.09	466.97
2-2	12.1 × 150	1812.0	40.72	22.47	6.14	5.17	486.04
3-1	12.1 × 150	1812.0	46.10	25.44	6.98	6.53	494.29
3-2	12.1 × 150	1815.0	43.15	23.77	6.71	7.16	506.62
平均値			42.60	23.66	6.46	6.38	482.98
標準偏差			4.809	2.661	0.423	0.715	
変動係数			0.113	0.112	0.066	0.112	
基準値 50%下限値 (5%下限値)			41.17	22.87 (17.44)	6.34	6.16	

2.8.1 (3) 6 試験体 HSSSH (表板・裏板：ヒノキ、心板：スギ、添え心板：スギ)

試験体名：HSSSH 1-1 最大荷重：25.90kN

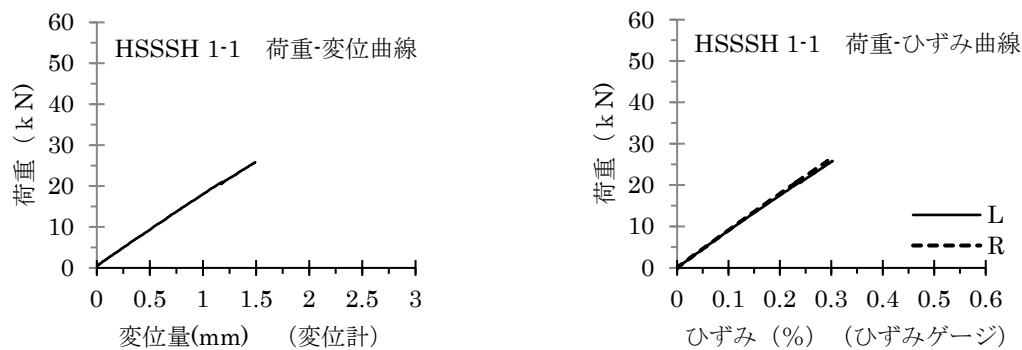


図 2.38 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.33 破壊状況

試験体名：HSSSH 1-2 最大荷重：31.20kN

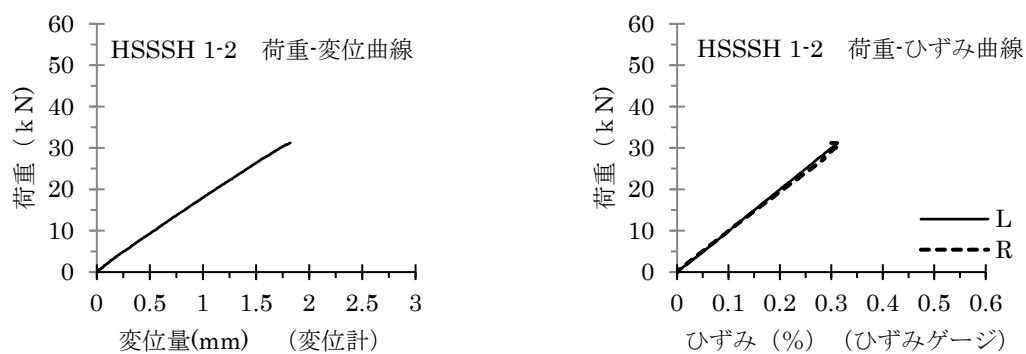


図 2.39 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.34 破壊状況

試験体名 : HSSSH 2-1 最大荷重 : 48.25kN

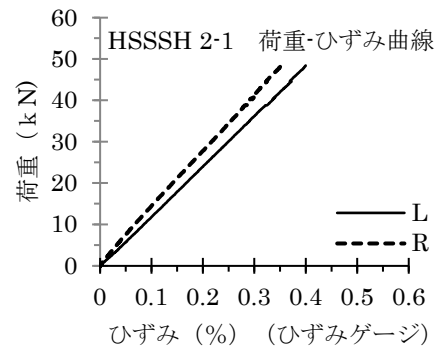
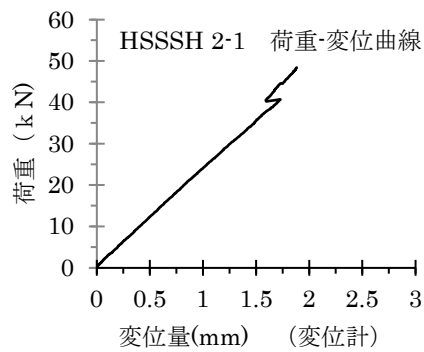


図 2.40 試験結果

破壊性状 :

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.35 破壊状況

試験体名 : HSSSH 2-2 最大荷重 : 33.80kN

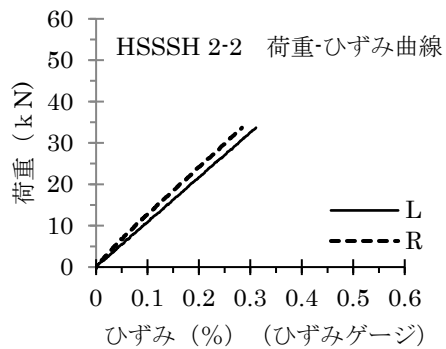
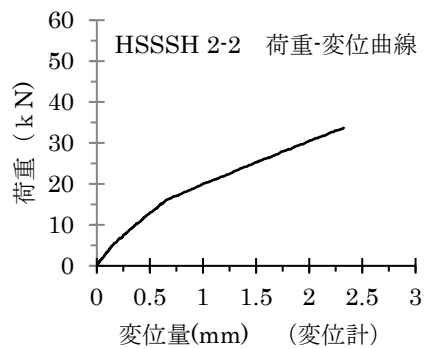


図 2.41 試験結果

破壊性状 :

節部等の欠点のない箇所で引張破壊



写真 2.36 破壊状況

試験体名：HSSSH 3-1 最大荷重：26.14kN

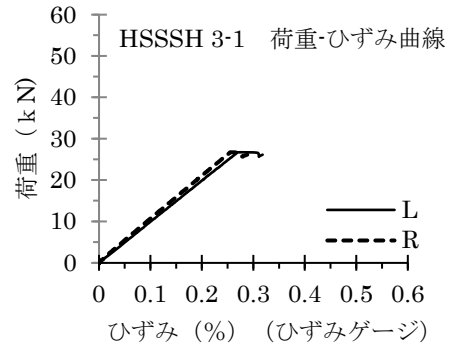
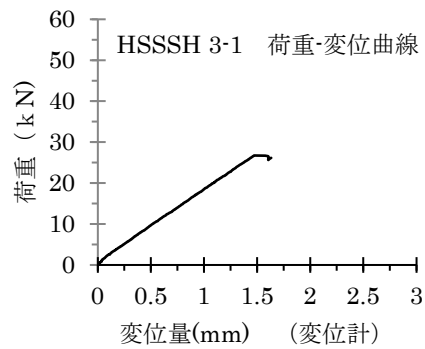


図 2.42 試験結果

破壊性状：

節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.37 破壊状況

試験体名：HSSSH 3-2 最大荷重：35.87kN

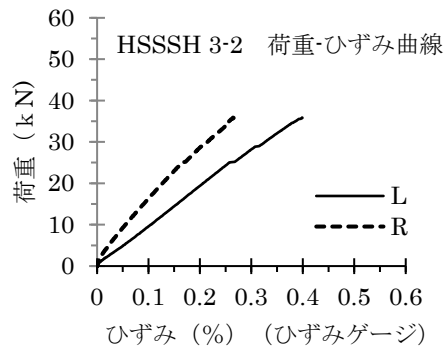
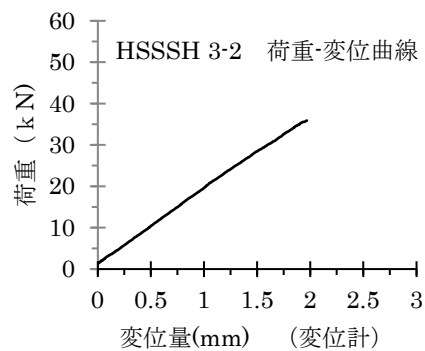


図 2.43 試験結果

破壊性状：

くびれ根元の節部を基点に亀裂が進展する引張破壊



写真 2.38 破壊状況

表 2.14 試験体 HSSSH の試験結果一覧

番号	断面寸法(mm)	断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 (kN/mm ²)	Et2 (kN/mm ²)	密度 (kg/m ³)
1-1	12.2 × 150	1826.3	25.90	14.18	4.89	4.87	453.57
1-2	12.2 × 148.5	1808.0	31.20	17.26	4.91	5.39	457.48
2-1	12.2 × 149	1814.1	48.25	26.60	6.62	6.67	457.49
2-2	12.1 × 150	1815.0	33.80	18.62	6.40	5.92	457.42
3-1	12.1 × 149	1806.6	26.14	14.47	5.04	5.56	476.60
3-2	12.2 × 150	1830.0	35.87	19.60	4.98	5.17	452.92
平均値			33.53	18.45	5.47	5.60	459.25
標準偏差			8.252	4.544	0.808	0.631	
変動係数			0.246	0.246	0.148	0.113	
基準値 50%下限値 (5%下限値)			31.08	17.11 (7.84)	5.23	5.41	

2.8.1 (3) 7 試験体 HHHHH (表板・裏板：ヒノキ、心板：ヒノキ、添え心板：ヒノキ)

試験体名：HHHHH 1 最大荷重：46.52kN

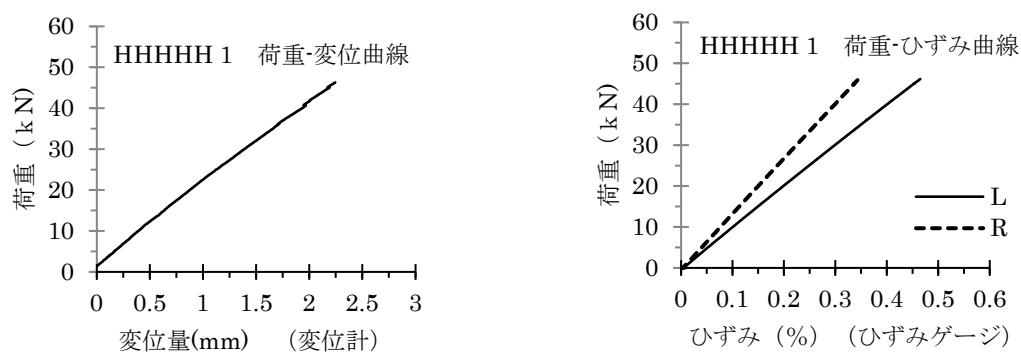


図 2.44 試験結果

破壊性状：

表層に節等の明確な欠点がなく、くびれ根元で引張破壊



写真 2.39 破壊状況

試験体名：HHHHH 2 最大荷重：54.80kN

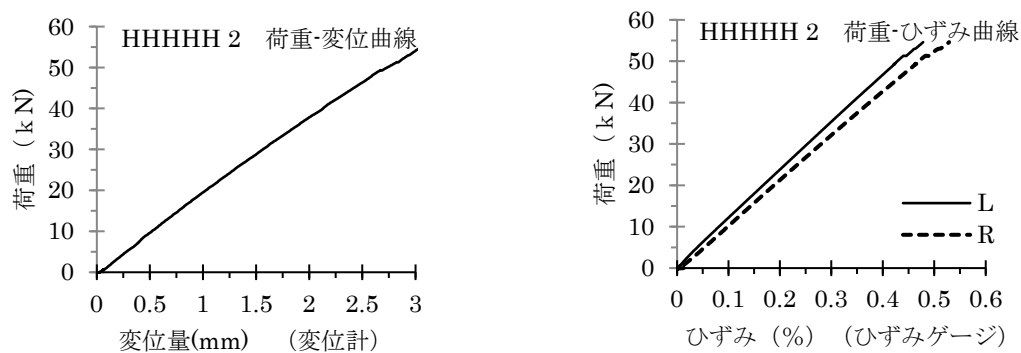


図 2.45 試験結果

破壊性状：

表層に節等の明確な欠点がなく、中央部で引張破壊



写真 2.40 破壊状況

試験体名：HHHHH 3 最大荷重：56.96kN

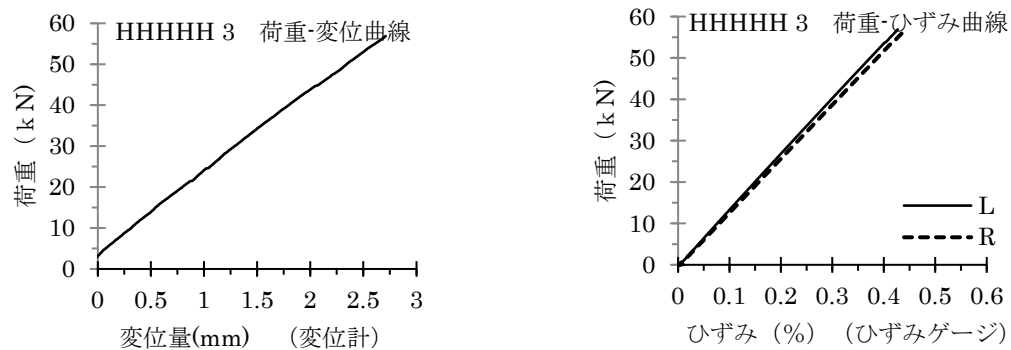


図 2.46 試験結果

破壊性状：

表層に節等の明確な欠点がなく、くびれ根元で引張破壊



写真 2.41 破壊状況

試験体名：HHHHH 4 最大荷重：43.48kN

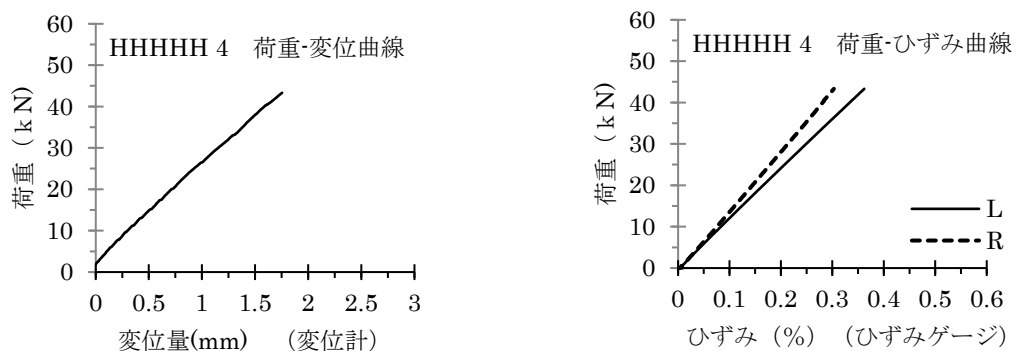


図 2.47 試験結果

破壊性状：

表層に節等の明確な欠点がなく、中央部で引張破壊



写真 2.42 破壊状況

試験体名：HHHHH 5 最大荷重：53.72kN

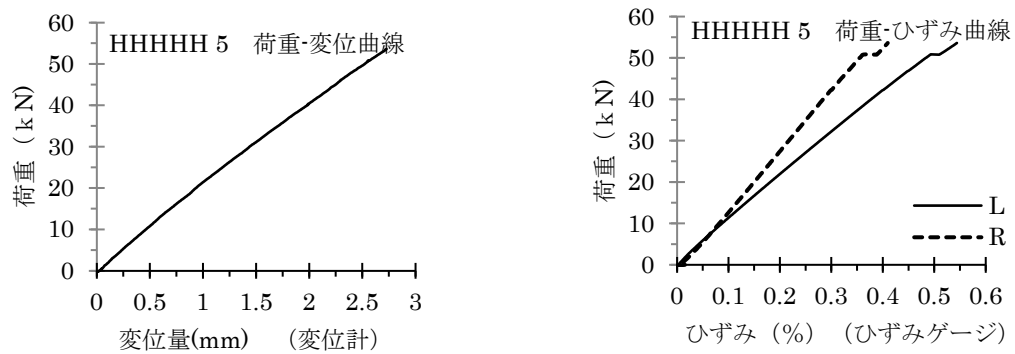


図 2.48 試験結果

破壊性状：

表層に節等の明確な欠点がなく、中央部で引張破壊



写真 2.43 破壊状況

試験体名：HHHHH 6 最大荷重：30.92kN

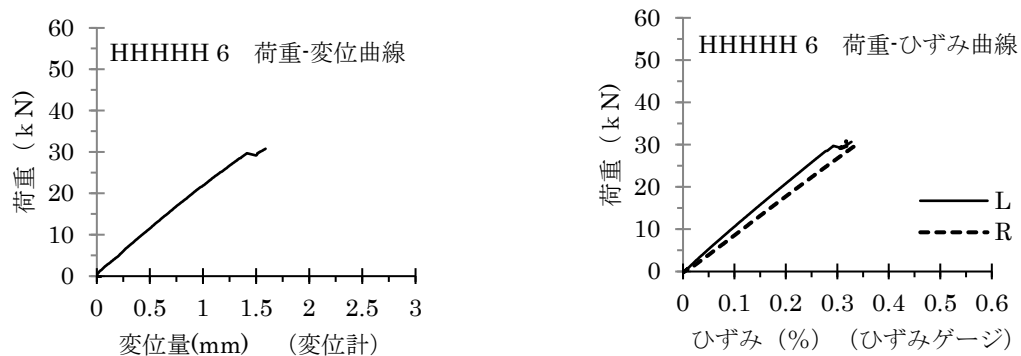


図 2.49 試験結果

破壊性状：

節付近の年輪の目切れ部を基点に亀裂が進展する
引張破壊



写真 2.44 破壊状況

表 2.15 試験体 HHHHH の試験結果一覧

番号	断面寸法(mm)	断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 (kN/mm ²)	Et2 (kN/mm ²)	密度 (kg/m ³)
1	12.1 × 151.5	1833.2	46.52	25.38	5.82	5.60	510.00
2	12.2 × 151	1846.0	54.80	29.69	5.38	6.02	490.00
3	12.2 × 151.5	1840.7	56.96	30.94	5.55	7.12	500.00
4	12.1 × 151.5	1829.4	43.48	23.77	6.85	6.72	510.00
5	12.2 × 150.5	1836.1	53.72	29.26	5.83	5.85	500.00
6	12.1 × 150.5	1821.1	30.92	16.98	6.03	5.06	520.00
	平均値		47.73	26.00	5.91	6.06	505.00
	標準偏差		9.728	5.204	0.514	0.751	
	変動係数		0.204	0.200	0.087	0.124	
	基準値 50%下限値 (5%下限値)		44.84	24.46 (13.85)	5.76	5.84	

2.8.1 (4) 構造用合板単体の引張試験の結果と考察

図 2.50 に各試験体の引張強さの 50%下限値及び平均値を、図 2.51 に各試験体の引張強さの 5%下限値を示す。比較用に引張強さの基準値を併せて示す。引張強さの基準値は、文献 17) に示す基準許容応力度 4.0 N/mm^2 (構造用合板 12mm、強度等級 1 級、板面品質 C-D) に劣化影響係数 (6/7)、安全係数 (2/3)、基準化係数 (1/2) の逆数を乗じることで類推し、 14.0 N/mm^2 とした。

また、図 2.52 に変位計の値より求めた引張ヤング係数を、図 2.53 にひずみゲージの値より求めた引張ヤング係数を示す。比較用に文献 17) による引張ヤング係数を併せて示す。

各試験体に共通した主な破壊性状は、表板の節部を基点に亀裂が進展する引張破壊であった。引張ヤング係数は、変位計およびひずみゲージの両方から算出したが、ひずみゲージから算出したヤング係数のほうが高い値を示す試験体が多かった。これは、ひずみゲージが、合板の表面状態の良い部分に張られたためであると考えられる。一方、変位計から算出した引張ヤング係数の場合、変位計の標点間距離 500mm の間には、節などの欠点が混在しており、それらが変位を増加させる要因となり、その結果、ひずみゲージによるヤング係数よりも低い値となったと考えられる。

引張強さの 50%下限値と比較すると、全ての試験体で引張強さの基準値を上回ったが、5%下限値で比較すると、引張強さの基準値を上回った試験体は、BSBSB (ベイマツ+スギ)、HSHSH (ヒノキ+スギ) の 2 種類である。試験体 HHHHH (ヒノキ) は 6 体のうちの 1 体が最大荷重において平均値を 35%程下回ったため、引張強さの基準値を下回ったが、試験体数を増やせば値は向上し基準値を満足すると考えられる。よって、これらの構造用合板について、強度等級が 2 級であっても、1 級の引張基準許容応力度の値を用いて構造設計することは、差支えないと考えられる。

引張ヤング係数については、SSSSS (スギ) の試験体以外はすべて 1 級の引張ヤング係数を上回っているため、これらについても 1 級の引張ヤング係数の値を用いて構造設計することは、差支えないと考えられる。

構造用合板の引張強さを決定づけるのは、繊維の方向が加力方向と同方向の単板に存在する節や年輪による目切れ等の欠点と、その単板の樹種である。これらの単体引張試験の結果、SSP のフランジ材として適当な構造用合板は、単板構成が 5 層 5 プライの場合、表層および中央層の単板にベイマツまたはヒノキを使用した合板であると考えられる。引張強さの 50%下限値が最も大きい試験体は HHHHH であり、次いで HSHSH、BSBSB であった。引張ヤング係数の 50%下限値が最も大きい樹種は BSBSB であり、次いで KSSSK、HSHSH という順になった。この要素試験の結果から、SSP のフランジ材として、ヤング係数が最も高く、引張強さも十分な BSBSB 及び引張強さの 50%下限値が最も大きい HHHHH を採用することとした。

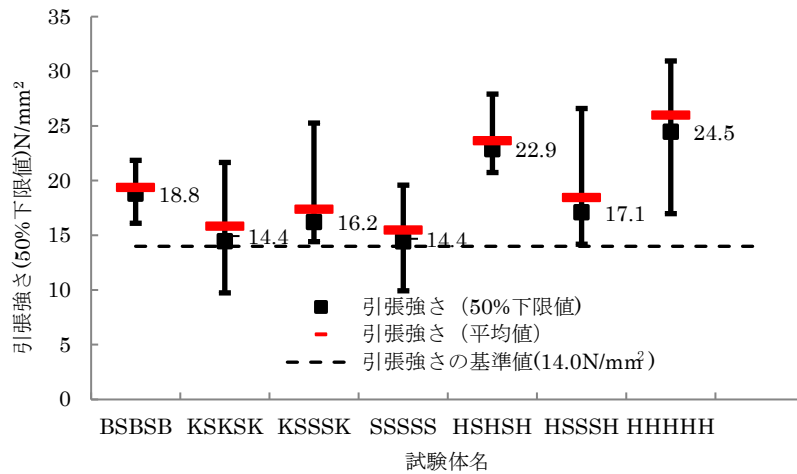


図2.50構造用合板の引張強さ (50%下限値)

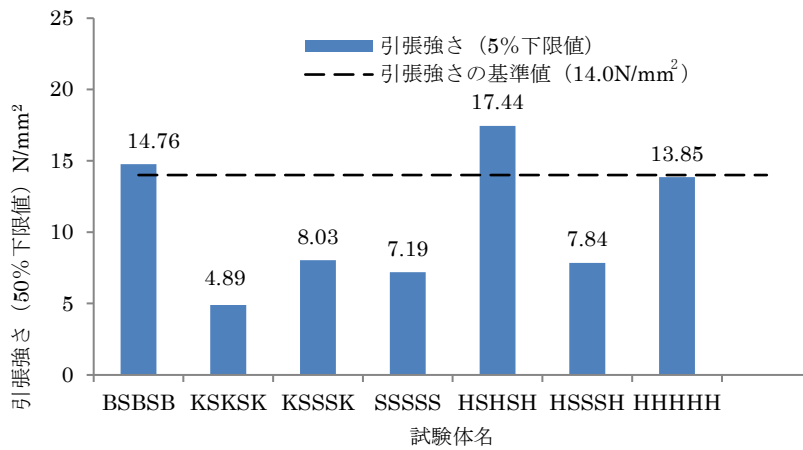


図2.51 構造用合板の引張強さ (5%下限値)

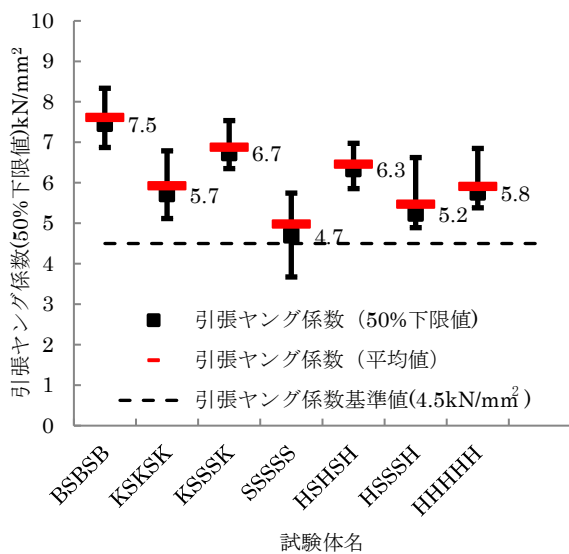


図2.52 構造用合板の引張ヤング係数 (変位計)

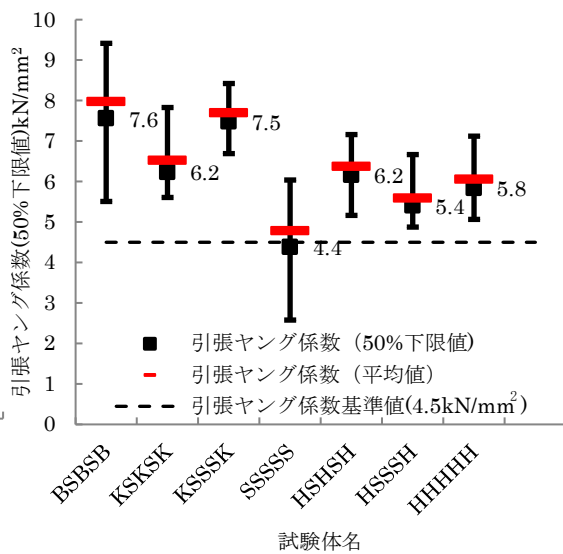


図2.53構造用合板の引張ヤング係数 (ひずみゲージ)

2.8.2 構造用合板の3枚接着重ね張り引張試験

2.8.2 (1) 目的

本研究仕様のSSPのフランジ材は、構造用合板を3枚接着重ね張りしたものとなる。長尺の構造用合板であっても長さは3m程度のものであるため、SSPのフランジ材とするには2枚以上のものを長手方向に並べることになる。そのため、合板を、継目をずらして3枚接着重ね張りしても継目が存在するため実際の有効枚数は2枚となる。そこで、継目を考慮して3枚接着重ね張りした構造用合板の引張試験を行い、単体の引張強さと比較しその性能を明らかにし、SSPを設計する資料とする。

2.8.2 (2) 3接着重ね張り試験の試験体及び試験方法の概要

試験体の概要を図2.54に示す。試験対象とする構造用合板は、表板、裏板及び心板をベイマツで、添え心板をスギで構成された構造用合板(BSBSB)を3枚接着重ね張りしたものと、すべての単板がヒノキで構成された構造用合板(HHHHH)を3枚接着重ね張りしたものの2種類とする。3枚の内1枚は継目を設け、位置は外側と中央の場合の2種類とした。

合板の張り付けに使用する接着剤は、2.5.2に示す1液型ポリウレタン樹脂系接着剤(ウレタン系接着剤)とし、接着剤の量は 500 g/m^2 とした。接着剤の塗布はコテを用いて全面に塗り広げる方法とした。接着剤が硬化するまでの試験体の養生期間について、試験体BSBSBの3枚接着重ね張り試験体は1週間とし、試験体HHHHHの3枚接着重ね張り試験体は40日間程度とした。養生期間の違いは試験場のスケジュールの都合によった。期間中の温度、湿度の推移を図2.55及び図2.56に示す。使用したウレタン系接着剤は、図2.4に示すように 0°C 以上の環境であれば1週間の養生期間で十分な接着強度が得られると考えられるが、養生期間中 0°C を下回ったことはないため、接着剤の強度に問題はないと考えられる。

構造用合板3枚接着重ね張りの引張試験は、加力速度を 1 mm/分 とし、破壊位置をコントロールするため単体の引張試験体と同様に試験体の中央部にくびれを設けた。変位計は標点間距離が 500 mm となる位置に取り付け、その測定値から式(2.1)により引張ヤング係数を算定した。変位は、加力側の両側面に取り付けた2つの変位計の平均値から加力反対側の両側面の2つの変位計の平均値を差し引いた相対変位とした。

変位計による引張ヤング係数

$$Et_l = \frac{l(F_2 - F_1)}{A(d_2 - d_1)} \quad \dots (2.1)$$

l : 標点距離 (=500mm)

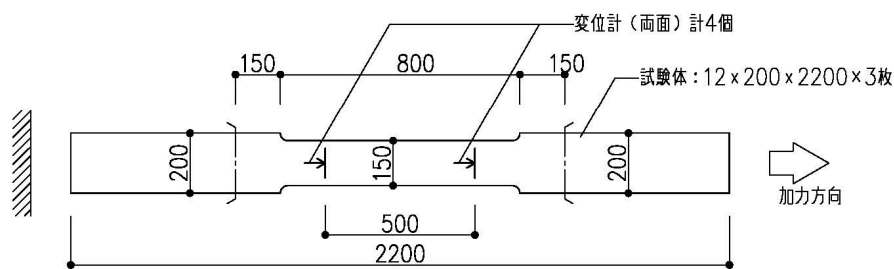
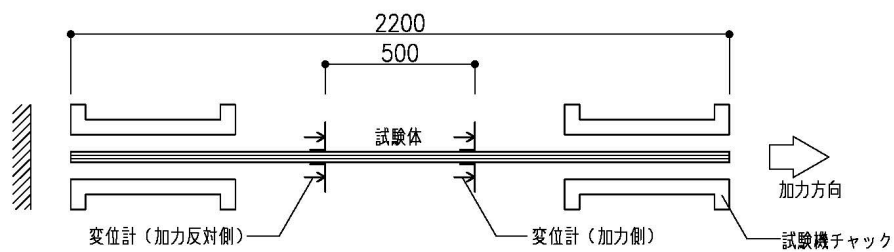
A : 試験体の断面積 (mm²)

F_1 : 最大荷重の約 10% (kN)

d_1 : F_1 時変位量 (mm)

F_2 : 最大荷重の約 40% (kN)

d_2 : F_2 時変位量 (mm)



3枚接着重ね張り

継目：中央



継目：外側

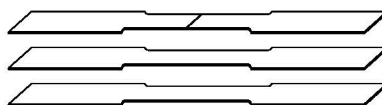


図 2.54 3枚接着重ね張り試験の概要 (単位：mm)

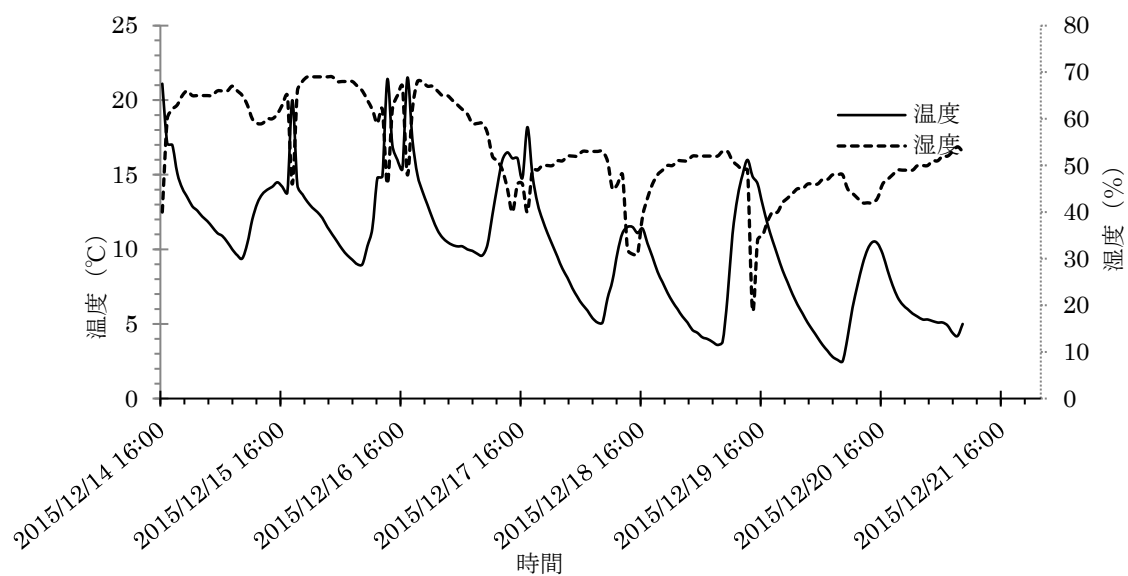


図 2.55 BSBSB×3枚接着重ね張り試験体養生期間における温湿度推移曲線

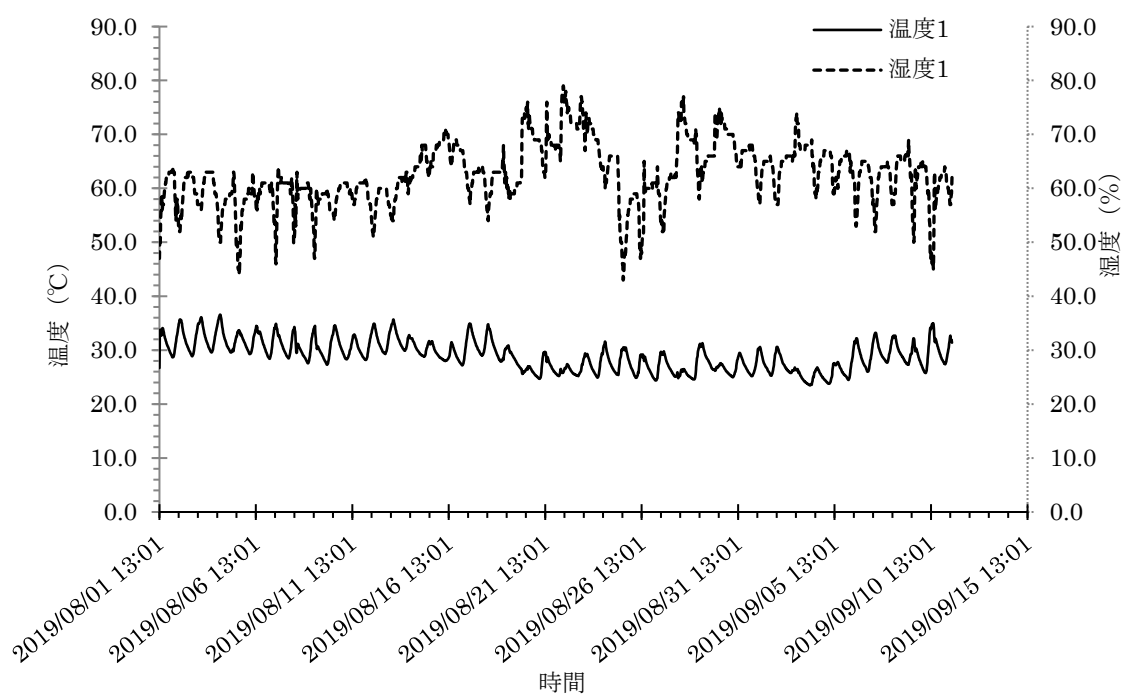


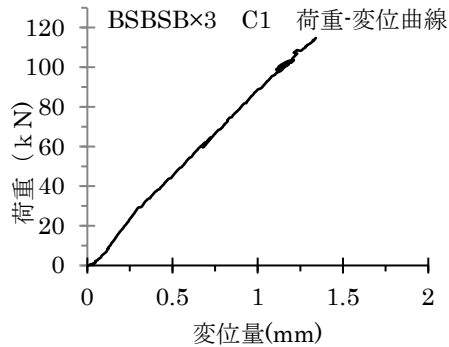
図 2.56 HHHHH×3枚接着重ね張り試験体養生期間における温湿度推移曲線

2. 8. 2 (3) 構造用合板の3枚接着重ね張り引張試験の結果

各試験体の引張試験の結果より、荷重-変位曲線及び荷重-ひずみ曲線を図 2.57 から図 2.80 に示す。試験体の破壊時の様子を写真 2.45 から写真 2.68 に示す。また、試験結果の一覧を表 2.16 から表 2.23 に示す。2.8.2 (4) において構造用合板の3枚接着重ね張りの引張試験の結果について考察した。

2.8.2 (3) 1 試験体 BSBSB×3 枚接着重ね張り__継目：中央

3 枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 C1 最大荷重：115.20kN



破壊性状：

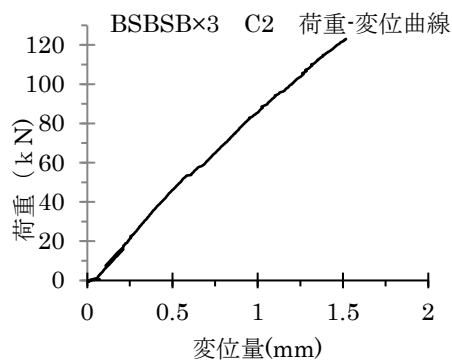
合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

図 2.57 試験結果



写真 2.45 破壊状況

3 枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 C2 最大荷重：123.40kN



破壊性状：

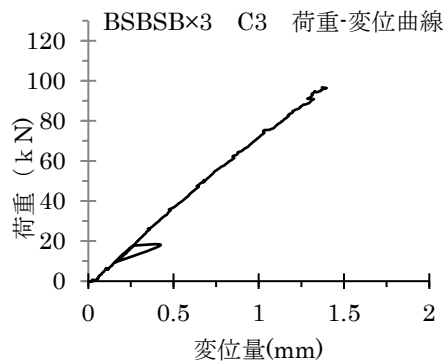
合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

図 2.58 試験結果



写真 2.46 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 C3 最大荷重：96.70kN



破壊性状：

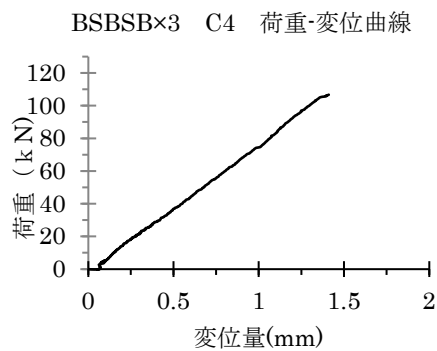
くびれ根元部において、接着層は健全のまま平行層および直交層の単板が引張破壊した。この試験体のみ合板の継目での破壊ではなく、継目の開きが増すこともなかった。

図 2.59 試験結果



写真 2.47 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 C4 最大荷重：106.9kN



破壊性状：

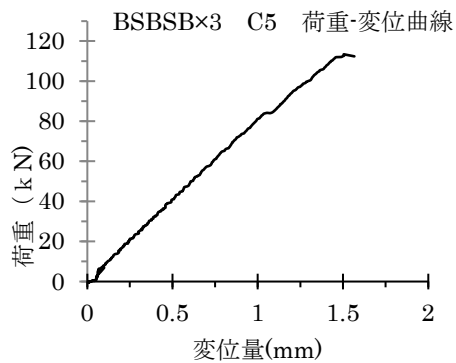
合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

図 2.60 試験結果



写真 2.48 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 C5 最大荷重：113.7kN



破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

図 2.61 試験結果

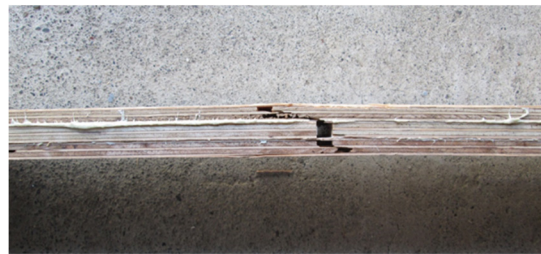
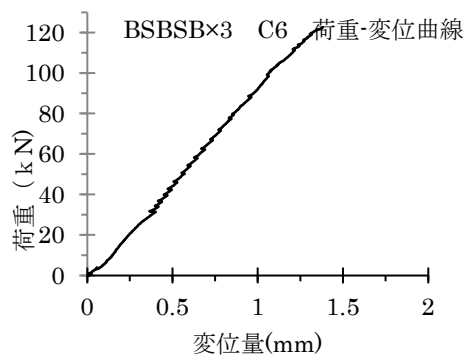


写真 2.49 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 C6 最大荷重：122.80kN



破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

図 2.62 試験結果

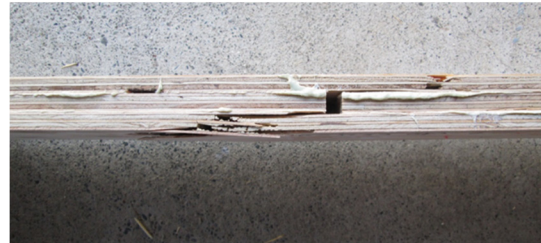


写真 2.50 破壊状況

表 2.16 試験体 BSBSB×3 枚接着重ね張りの試験結果一覧

継目：中央

《全断面有効とした場合》

番号	断面寸法 (mm)			断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 _(3 枚) (kN/mm ²)
C- 1	36.0	×	149.0	5364.00	115.20	21.48	8.84
C- 2	36.4	×	149.0	5423.60	123.40	22.75	9.00
C- 3	37.0	×	149.0	5505.55	96.70	17.56	7.23
C- 4	35.5	×	149.0	5293.23	106.90	20.20	7.07
C- 5	36.2	×	149.0	5386.35	113.70	21.11	7.50
C- 6	36.0	×	149.0	5360.28	122.80	22.91	8.94
平均値					113.12	21.00	8.10
標準偏差					10.123	1.970	0.919
変動係数					0.089	0.094	0.113
基準値 50%下限値 (5%下限値)					110.11	20.42 (16.4)	7.82

表 2.17 試験体 BSBSB×3 枚接着重ね張りの試験結果一覧

継目：中央

《継目を有する部分を除き 2 枚分有効とした場合》

番号	断面寸法 (mm)			断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 _(2 枚) (kN/mm ²)
C- 1	23.8	×	149.0	3546.20	115.20	32.49	13.37
C- 2	24.2	×	149.0	3602.08	123.40	34.26	13.54
C- 3	24.6	×	149.0	3669.13	96.70	26.36	10.86
C- 4	23.7	×	149.0	3531.30	106.90	30.27	10.60
C- 5	24.2	×	149.0	3598.35	113.70	31.60	11.22
C- 6	24.1	×	149.0	3587.18	122.80	34.23	13.37
平均値					113.12	31.53	12.16
標準偏差					10.123	2.967	1.402
変動係数					0.089	0.094	0.115
基準値 50%下限値 (5%下限値)					110.11	30.65 (24.6)	11.74

2.8.2 (3) 2 試験体 BSBSB×3 枚接着重ね張り__継目：外側

3 枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 01 最大荷重：87.20kN

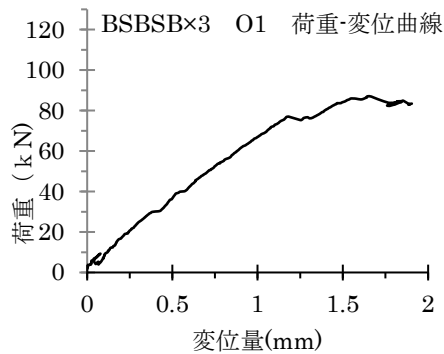


図 2.63 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がり、中央の合板の継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

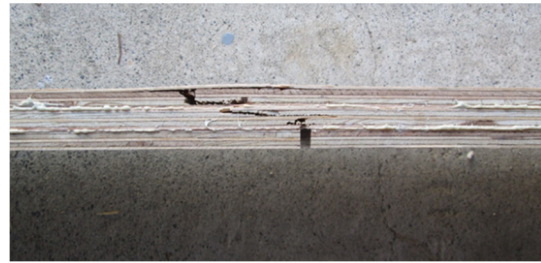


写真 2.51 破壊状況

3 枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 02 最大荷重：72.2kN

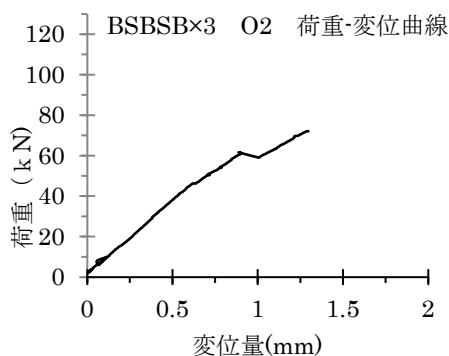


図 2.64 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がるとともに継目を有する合板が接着層ではがれ、少しずれた箇所の中央の合板の継目側の平行層および直交層の単板が引張破壊し、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。



写真 2.52 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 O3

最大荷重：87.10kN

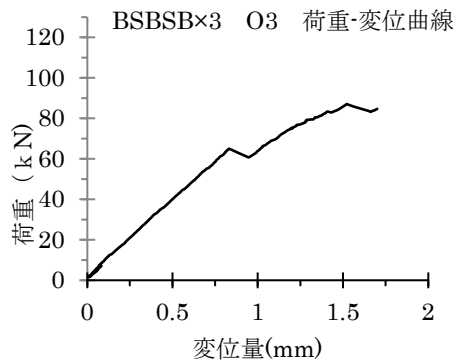


図 2.65 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がり、中央の合板の継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。



写真 2.53 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 O4

最大荷重：80.90kN

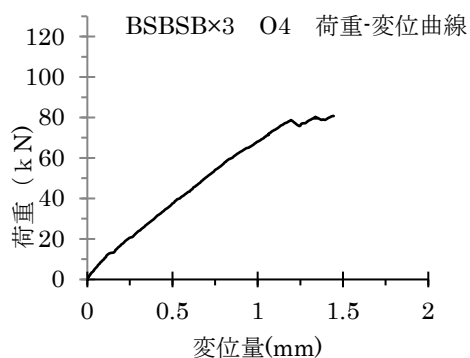


図 2.66 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がるとともに継目を有する合板が接着層ではがれ、少しずれた箇所の中央の合板の継目側の平行層および直交層の単板が引張破壊し、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。



写真 2.54 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 05

最大荷重：85.20kN

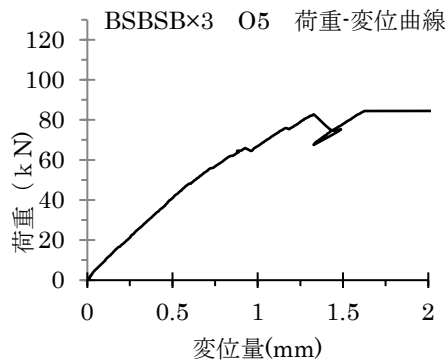


図 2.67 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がるとともに継目を有する合板の直交層ではがれ、少しずれた箇所中央の合板の継目側の平行層が引張破壊し直交層の単板がローリングシヤー破壊、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。



写真 2.55 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：BSBSB×3 06

最大荷重：87.70kN

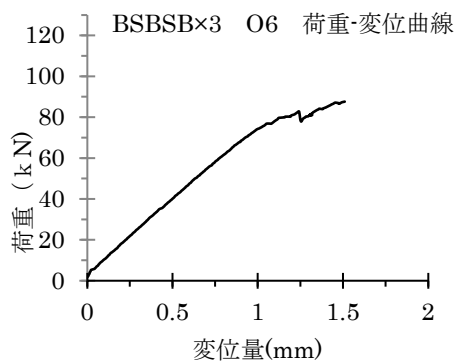


図 2.68 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がるとともに中央の合板の平行層の単板が引張破壊し、直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。



写真 2.56 破壊状況

表 2.18 試験体 BSBSB×3 枚接着重ね張りの試験結果一覧

継目：外側

《全断面有効とした場合》

番号	断面寸法(mm)			断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 _(3枚) (kN/mm ²)
O- 1	36.4	×	149.0	5416.15	87.20	16.10	6.43
O- 2	36.1	×	149.0	5375.18	72.20	13.43	6.86
O- 3	36.3	×	149.0	5404.98	87.10	16.11	7.12
O- 4	36.5	×	149.0	5434.78	80.90	14.89	6.36
O- 5	36.1	×	149.0	5371.45	85.20	15.86	7.36
O- 6	36.3	×	149.0	5408.70	87.70	16.21	6.99
平均値					83.38	15.43	6.85
標準偏差					6.026	1.096	0.394
変動係数					0.072	0.071	0.057
基準値 50%下限値 (5%下限値)					81.59	15.11 (12.87)	6.73

表 2.19 試験体 BSBSB×3 枚接着重ね張りの試験結果一覧

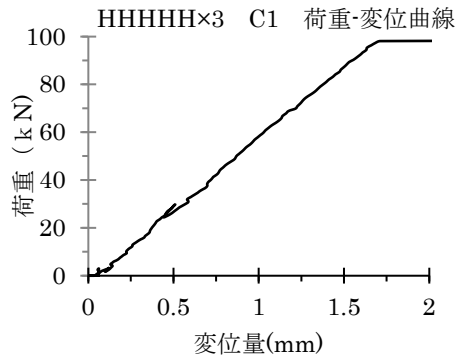
継目：外側

《継目を有する部分を除き 2 枚分有効とした場合》

番号	断面寸法(mm)			断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 _(2枚) (kN/mm ²)
O- 1	24.2	×	149.0	3602.08	87.20	24.21	9.66
O- 2	24.1	×	149.0	3587.18	72.20	20.13	10.28
O- 3	24.0	×	149.0	3572.28	87.10	24.38	10.77
O- 4	24.4	×	149.0	3631.88	80.90	22.27	9.51
O- 5	23.9	×	149.0	3564.83	85.20	23.90	11.09
O- 6	24.1	×	149.0	3594.625	87.70	24.40	10.51
平均値					83.38	23.22	10.31
標準偏差					6.026	1.711	0.620
変動係数					0.072	0.074	0.060
基準値 50%下限値 (5%下限値)					81.59	22.71 (19.22)	10.12

2.8.2 (3) 3 試験体 HHHHH×3 枚接着重ね張り__継目：中央

3 枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_C-1 最大荷重：99.11kN



破壊性状：

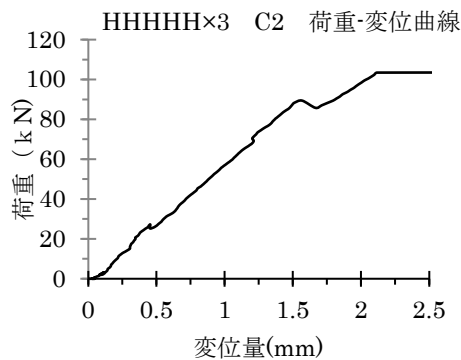
合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目部分で外側の合板が一気に引張破壊した。

図 2.69 試験結果



写真 2.57 破壊状況

3 枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_C-2 最大荷重：104.39kN



破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目部分で外側の合板が一気に引張破壊した。

図 2.70 試験結果

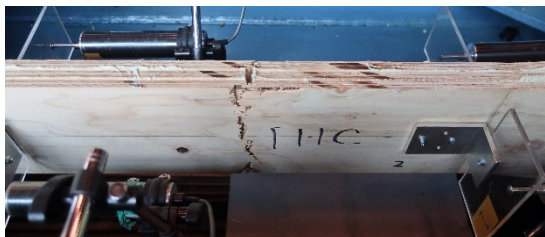


写真 2.58 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_C-3 最大荷重：88.40kN

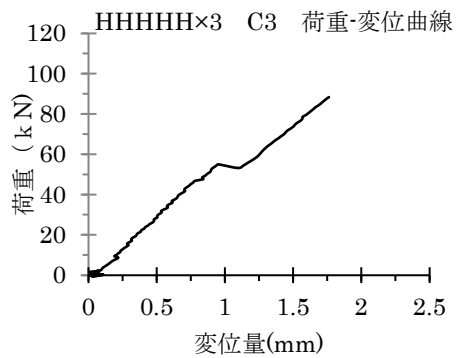


図 2.71 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目部分で外側の合板が一気に引張破壊した。



写真 2.59 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_C-4 最大荷重：82.92kN

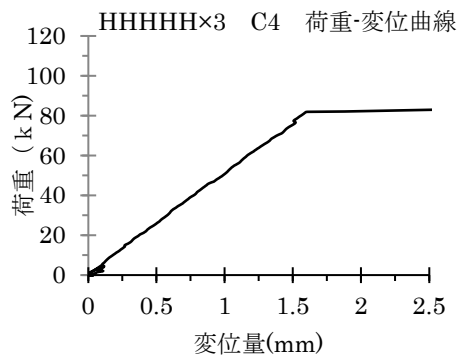


図 2.72 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目部分で外側の合板が一気に引張破壊した。

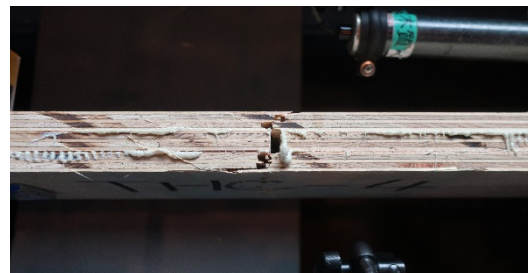
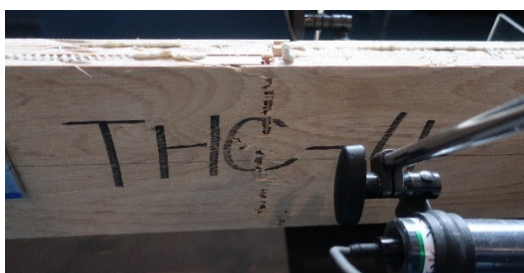
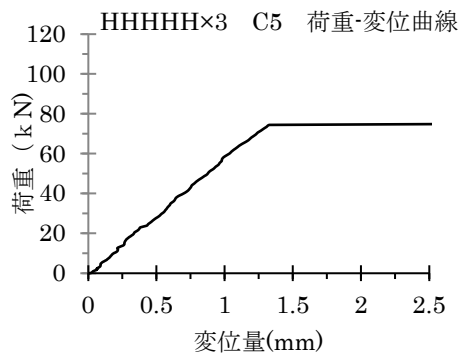


写真 2.60 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_C-5 最大荷重：75.37kN



破壊性状：

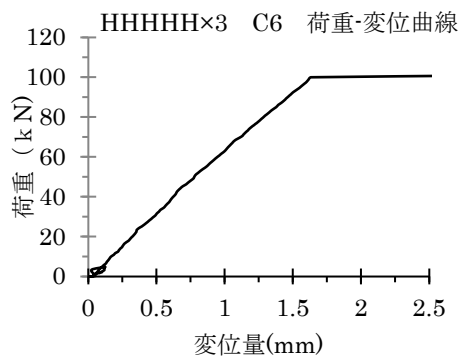
合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目部分で外側の合板が一気に引張破壊した。

図 2.73 試験結果



写真 2.61 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_C-6 最大荷重：101.0kN



破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、接着層は健全のまま継目部分で外側の合板が一気に引張破壊した。

図 2.74 試験結果

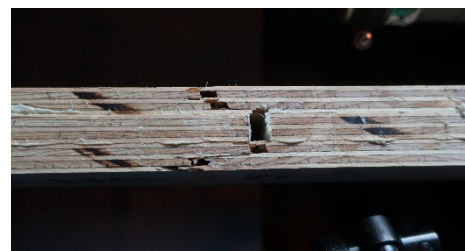


写真 2.62 破壊状況

表 2.20 試験体 HHHHH×3 枚接着重ね張りの試験結果一覧

継目：中央

《全断面有効とした場合》

番号	断面寸法(mm)			断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 _(3枚) (kN/mm ²)
C- 1	36.6	×	150.0	5490.00	99.11	18.05	5.54
C- 2	36.4	×	150.0	5460.00	104.39	19.12	5.42
C- 3	36.7	×	150.0	5505.00	88.40	16.06	6.30
C- 4	36.9	×	150.0	5535.00	82.92	14.98	4.68
C- 5	36.5	×	150.0	5475.00	75.37	13.77	5.24
C- 6	36.5	×	150.0	5475.00	101.00	18.45	6.01
平均値					91.86	16.74	5.53
標準偏差					11.464	2.131	0.575
変動係数					0.125	0.127	0.104
基準値 50%下限値 (5%下限値)					88.46	16.10 (11.76)	5.36

表 2.21 試験体 HHHHH×3 枚接着重ね張りの試験結果一覧

継目：中央

《継目を有する部分を除き 2 枚分有効とした場合》

番号	断面寸法(mm)			断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 _(2枚) (kN/mm ²)
C- 1	24.4	×	150.0	3660.00	99.11	27.08	8.31
C- 2	24.1	×	150.0	3615.00	104.39	28.88	8.19
C- 3	24.7	×	150.0	3705.00	88.40	23.86	9.37
C- 4	24.6	×	150.0	3690.00	82.92	22.47	7.02
C- 5	24.1	×	150.0	3615.00	75.37	20.85	7.93
C- 6	24.5	×	150.0	3675.00	101.00	27.48	8.96
平均値					91.86	25.10	8.30
標準偏差					11.464	3.175	0.819
変動係数					0.125	0.126	0.099
基準値 50%下限値 (5%下限値)					88.46	24.16 (17.69)	8.05

2.8.2 (3) 4 試験体 HHHHH×3 枚接着重ね張り__継目：外側

3 枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_0-1 最大荷重：80.57kN

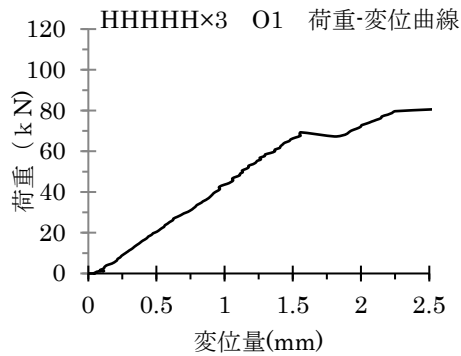


図 2.75 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がり、中央の合板の継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

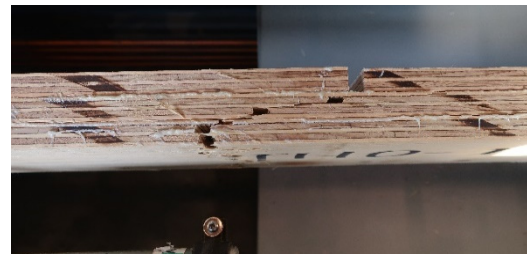


写真 2.63 破壊状況

3 枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_0-2 最大荷重：71.10kN

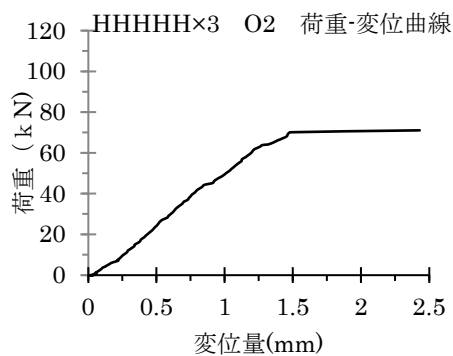


図 2.76 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がり、中央の合板の継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。



写真 2.64 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_0-3 最大荷重：66.37kN

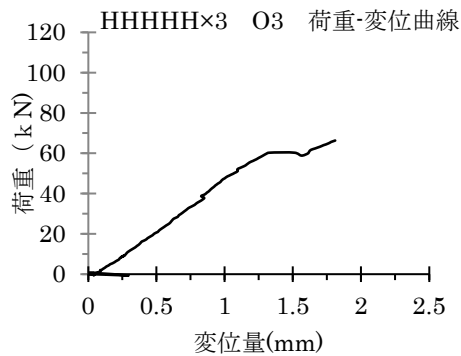


図 2.77 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がり、中央の合板の継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

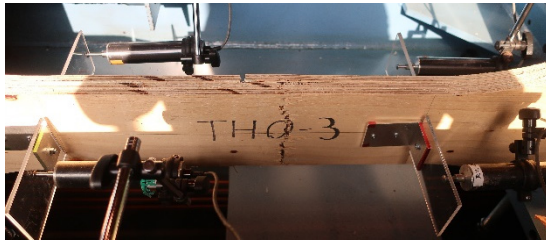


写真 2.65 破壊状況

3枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_0-4 最大荷重：68.96kN

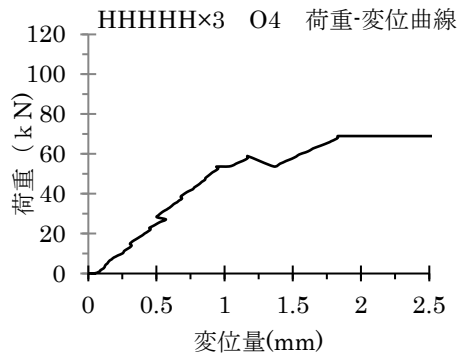


図 2.78 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がり、中央の合板の継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。



写真 2.66 破壊状況

3 枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_0-5 最大荷重：65.06kN

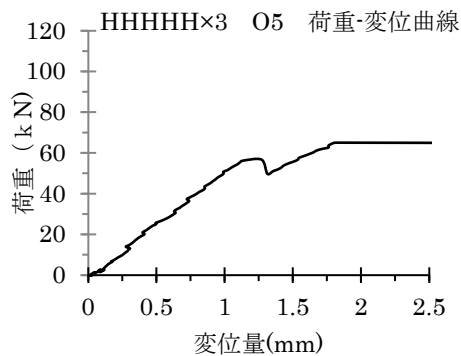


図 2.79 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がり、中央の合板の継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。



写真 2.67 破壊状況

3 枚接着重ね張り試験体名：HHHHH×3_0-6 最大荷重：86.25kN

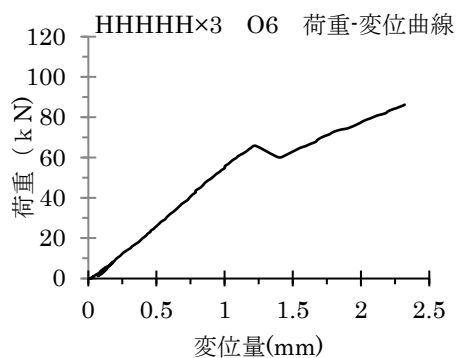


図 2.80 試験結果

破壊性状：

合板継目部において、合板を突付けた状態の継目が加力にしたがって開き、引張加力芯が3枚分の合板の芯から継目の2枚分の芯に変わることによって偏心モーメントが発生し継目側に面外に曲がり、中央の合板の継目側の平行層の単板が引張破壊するとともに直交層の単板がローリングシヤー破壊を起こし、次いで外側の平行層の単板が引張破壊した。

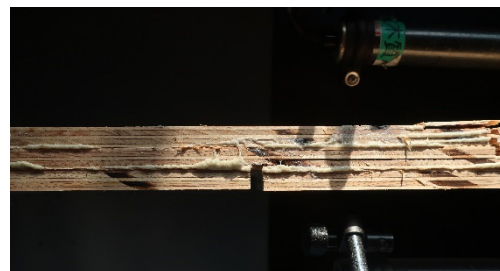
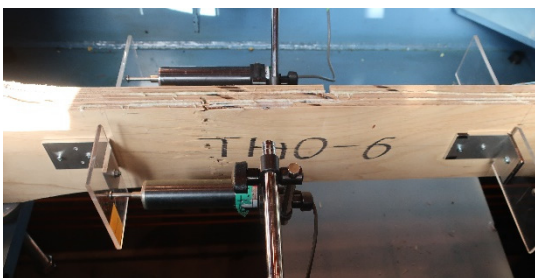


写真 2.68 破壊状況

表 2.22 試験体 HHHHH×3 枚接着重ね張りの試験結果一覧

継目：外側

《全断面有効とした場合》

番号	断面寸法(mm)			断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 _(3枚) (kN/mm ²)
O- 1	36.7	×	150.0	5505.00	80.57	14.64	4.07
O- 2	36.6	×	150.0	5490.00	71.10	12.95	5.36
O- 3	36.8	×	150.0	5520.00	66.37	12.02	4.45
O- 4	36.4	×	150.0	5460.00	68.96	12.63	5.01
O- 5	36.6	×	150.0	5490.00	65.06	11.85	5.31
O- 6	36.6	×	150.0	5490.00	86.25	15.71	5.14
平均値					73.05	13.30	4.89
標準偏差					8.484	1.543	0.516
変動係数					0.116	0.116	0.106
基準値 50%下限値 (5%下限値)					70.53	12.84 (9.7)	4.74

表 2.23 試験体 HHHHH×3 枚接着重ね張りの試験結果一覧

継目：外側

《継目を有する部分を除き 2 枚分有効とした場合》

番号	断面寸法(mm)			断面積 (mm ²)	最大荷重 (kN)	引張強さ (N/mm ²)	Et1 _(2枚) (kN/mm ²)
O- 1	24.5	×	150.0	3675.00	80.57	21.92	6.10
O- 2	24.3	×	150.0	3645.00	71.10	19.51	8.01
O- 3	24.7	×	150.0	3705.00	66.37	17.91	6.72
O- 4	24.2	×	150.0	3630.00	68.96	19.00	7.51
O- 5	24.3	×	150.0	3645.00	65.06	17.85	7.93
O- 6	24.4	×	150.0	3660.00	86.25	23.57	7.74
平均値					73.05	19.96	7.33
標準偏差					8.484	2.308	0.763
変動係数					0.116	0.116	0.104
基準値 50%下限値 (5%下限値)					70.53	19.27 (14.57)	7.11

2.8.2 (4) 構造用合板の3枚接着重ね張り引張試験の結果と考察

図 2.82 に BSBSB 3 枚接着重ね張り試験の引張強さの 50%下限値及び平均値を、図 2.83 に同試験の引張強さの 5%下限値を示す。また、図 2.84 に HHHHH 3 枚接着重ね張り試験の引張強さの 50%下限値及び平均値を、図 2.85 に同試験の引張強さの 5%下限値を示す。それぞれ比較用に引張強さの基準値を併せて示す。引張強さの基準値は、文献 17) に示す基準許容応力度 4.0 N/mm^2 (構造用合板 12mm、強度等級 1 級、板面品質 C-D) に劣化影響係数 (6/7)、安全係数 (2/3)、基準化係数 (1/2) の逆数を乗じることで類推し、 14.0 N/mm^2 とした。

また、図 2.86 に BSBSB 3 枚接着重ね張り試験の引張ヤング係数を、図 2.87 に HHHHH 3 枚接着重ね張り試験の引張ヤング係数を示す。比較用に文献 17) による引張ヤング係数を併せて示す。

各試験体に共通した主な破壊性状は、合板の継目を基点に亀裂が進展する引張破壊であった。すべての試験体において継目外側の試験体よりも継目中央の試験体の方が最大荷重が上回る結果となったが、これは応力集中の状態の違いによるものと考えられる。引張加力時の応力は継目部に集中するが、継目中央の場合、それを挟む 2 枚の合板がそれを負担する。一方、継目外側の場合、それに接する中央の合板にのみ応力が集中する (図 2.81)。また、継目外側の場合、継目位置で応力中心線が 3 枚分の中心から 2 枚分の中心に変わることによって偏心モーメントが発生し、継目側に曲げ変形しながら引張荷重を受けることになる。以上のことから、外側継目の方が、継目部における破壊の進展が早まり、最大荷重が中央継目の試験体よりも低い値になったと考えられる。

図 2.82 に示すように、試験体 BSBSB 3 枚接着重ね張り、継目外側の引張試験において、荷重を 3 枚分の断面積及び 2 枚分の断面積で負担した場合の引張強さの 50%下限値は、いずれも構造用合板 1 級の引張強さの基準値を満たした。しかし、図 2.83 に示すように、同じ継目外側の引張試験において、5%下限値で比較すると、荷重を 3 枚分の断面積で負担した場合の引張強さが基準値を下回ったが、継目を有する合板を無効とし 2 枚分のみ有効とすれば上回る結果となった。

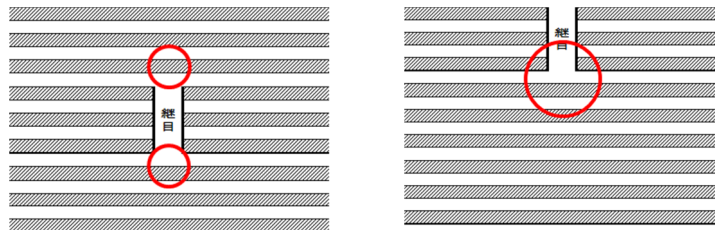
また、図 2.84 に示すように、試験体 HHHHH 3 枚接着重ね張り、継目外側の引張試験において、荷重を 3 枚分の断面積で負担した場合の引張強さの 50%下限値は、構造用合板 1 級の引張強さの基準値を下回った。また、図 2.85 に示すように、同じ継目外側の引張試験において、荷重を 3 枚分の断面積で負担した場合の引張強さの 5%下限値は、継目中央、外側とも基準値を下回る結果となったが、継目を有する合板を無効とし 2 枚分のみ有効とすれば基準値を上回る結果となった。

設計においては、継目を有する合板は無効として、2枚分の合板をSSPのフランジ材として考慮すれば、安全側の設計となる。また、合板をSSPのフランジ材とする場合、外側の合板の継目は、曲げ応力が比較的低い箇所に設ける等の配慮が必要である。

引張試験における引張ヤング係数は、図 2.86 及び図 2.87 に示すように、BSBSB 3枚接着重ね張り及びHHHHH 3枚接着重ね張り引張試験とも、文献 17) による構造用合板 1 級の引張ヤング係数に対して、全ての試験体で上回った。

また、BSBSB3枚接着重ね張り と HHHHH3枚接着重ね張り引張試験の結果の 50% 下限値で比較すると、単体の引張試験の結果は、BSBSB が 18.8 N/mm^2 (図 2.82) であるのに対しヒノキが 24.5 N/mm^2 (図 2.84) と上回っているが、3枚接着重ね張りした引張試験結果では、BSBSB のほうが上回る結果となった。2.8.1 (3) 構造用合板単体の引張試験の結果における写真 2.3～2.8 に示すように BSBSB 単体の引張試験では、主に節部を起点に引張破壊し、引張強さは節の影響を大きく受けたと考えられる。その節部が合板を重ね張りすることで補強された形となり、3枚接着重ね張りの引張強さは、単体のそれを上回ったと考えられる。一方、写真 2.39～2.44 に示すように、ヒノキ合板単体の引張試験では、節部で引張破壊した試験体は少なく、引張強さは節部の影響をあまり受けていないと考えられる。そのため、3枚接着重ね張り引張試験では、引張強さが増大することなく、継目中央の試験体で荷重を2枚分の断面積で負担した場合の引張強さと単体の引張強さがほとんど同じ値になったと考えられる。

図 2.81



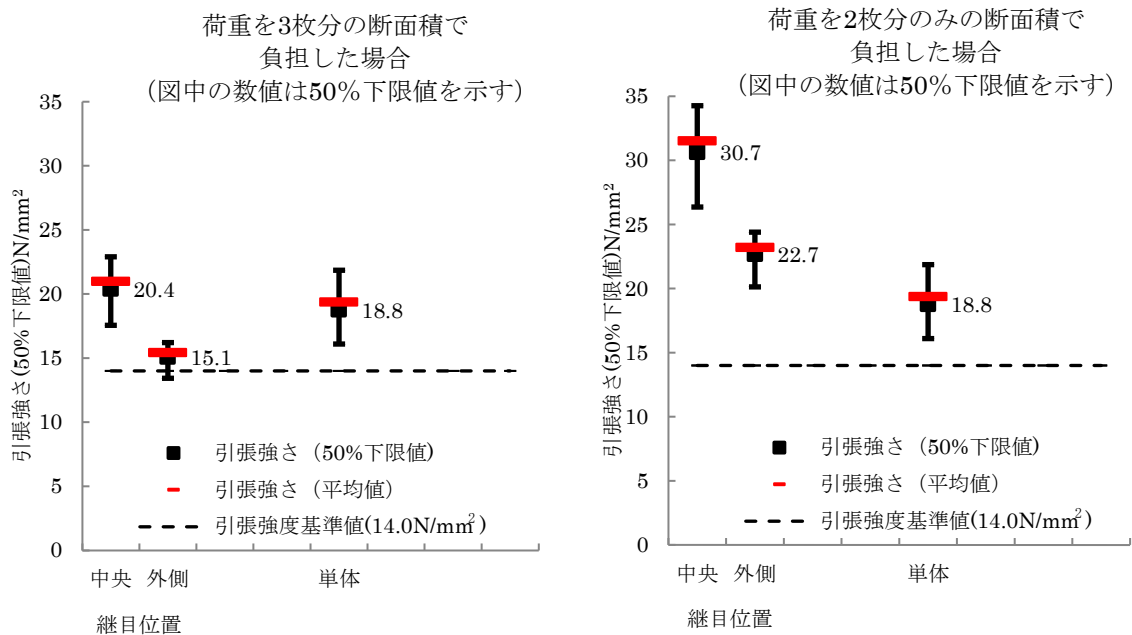


図 2.82 BSBSB3 枚接着重ね張りの引張強さ

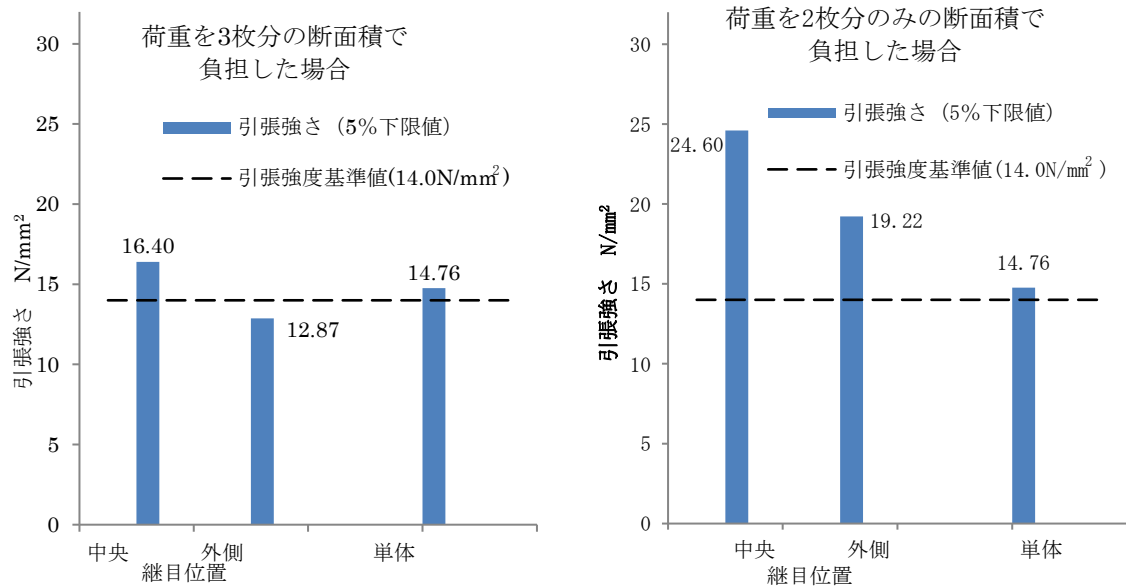


図 2.83 BSBSB3 枚接着重ね張りの引張強さ (5%下限値)

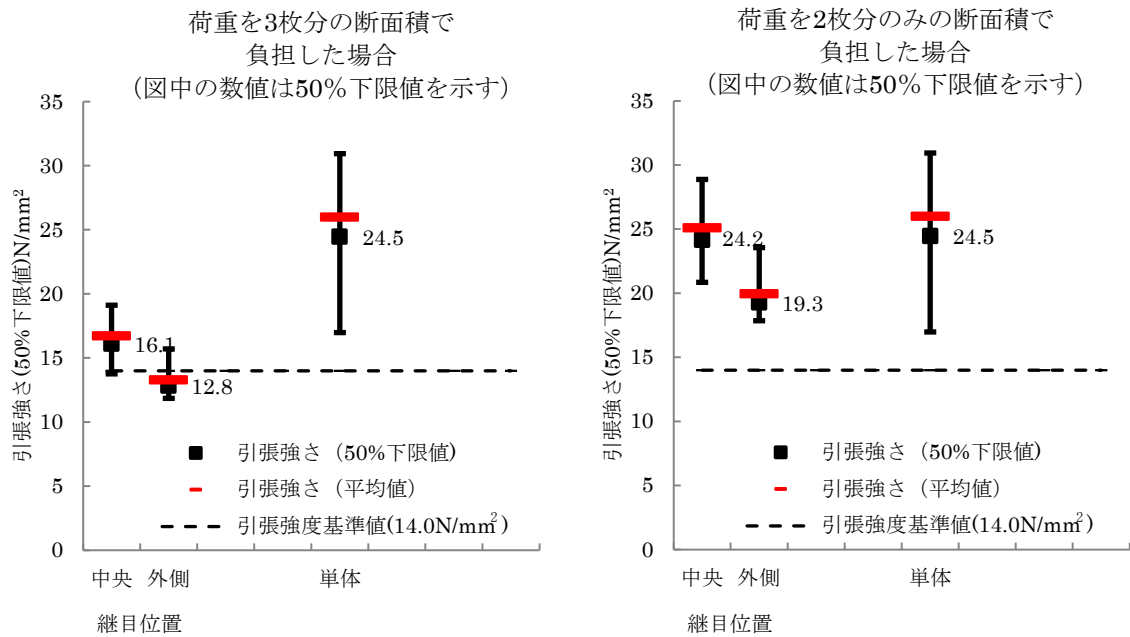


図 2.84 HHHHH3 枚接着重ね張りの引張強さ

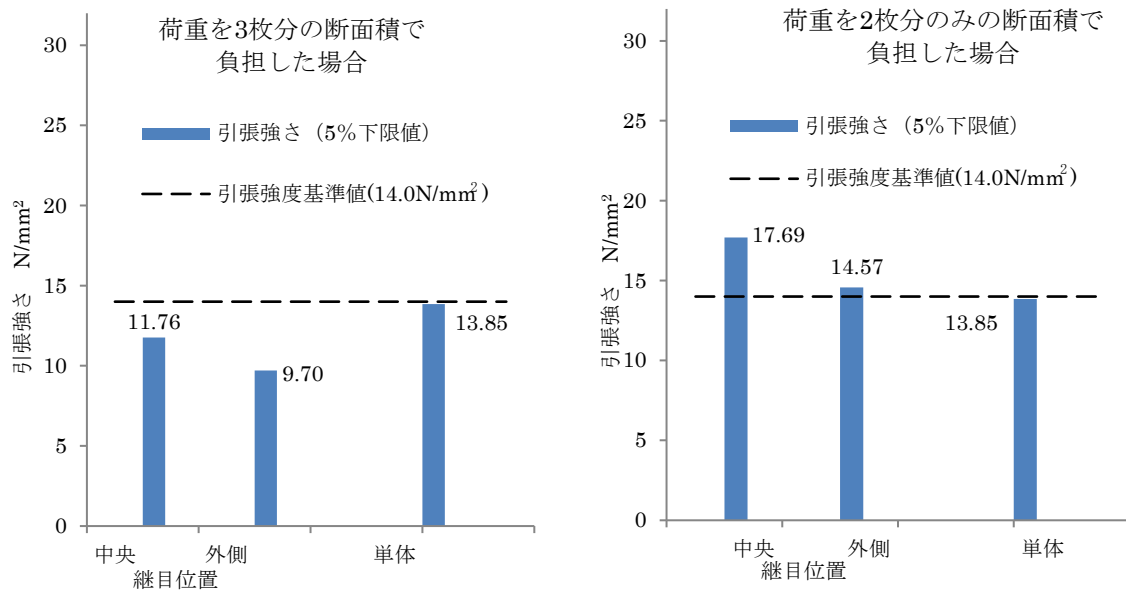


図 2.85 HHHHH3 枚接着重ね張りの引張強さ (5%下限値)

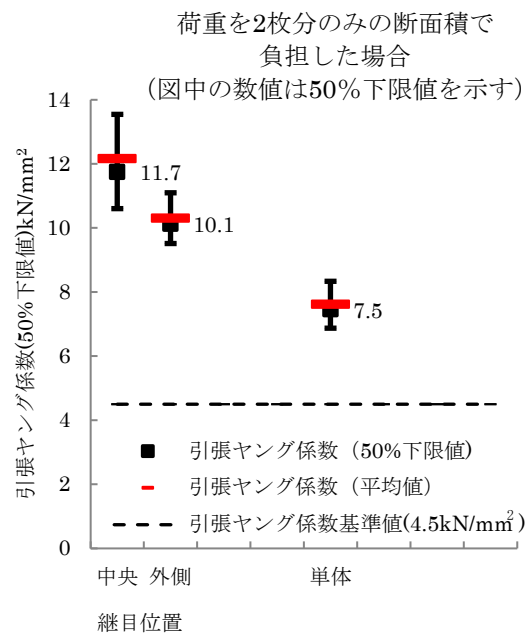
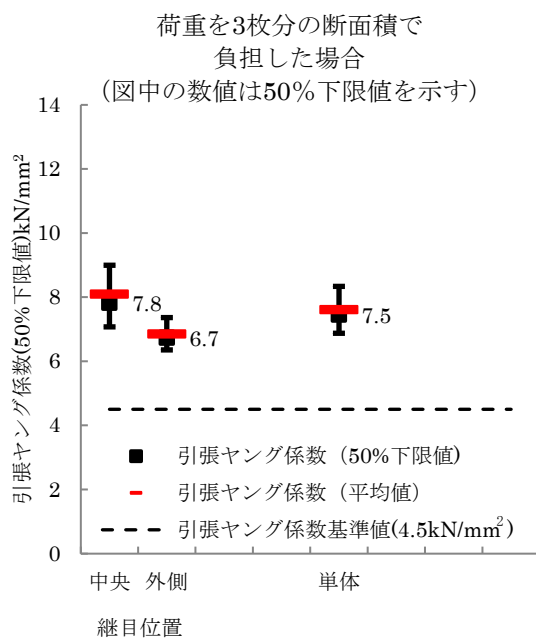


図 2.86 BSBSB3 枚接着重ね張りの引張ヤング係数

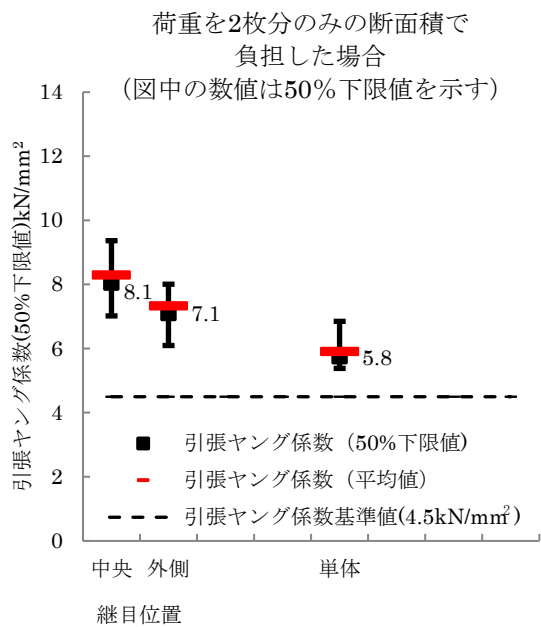
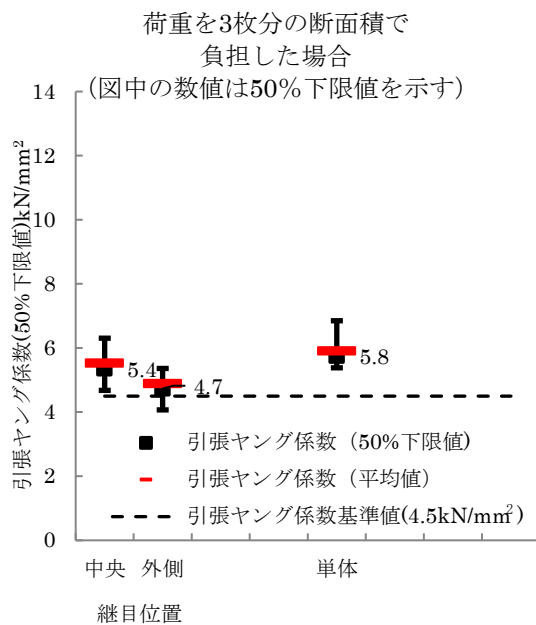


図 2.87 HHHHH3 枚接着重ね張りの引張ヤング係数

2.9 ストレストスキンパネル（SSP）の実大曲げ試験

SSPの設計法を確立するため、フランジを想定して行った「2.8.2 構造用合板の3枚接着重ね張り引張試験」の結果より得られた引張強さをもとに計算したSSPの最大荷重と実大曲げ試験の最大荷重を比較することにより、曲げ性能の計算法の妥当性を検証する。

試験体は、構造用合板の単体引張試験の結果より決定した、ベイマツとスギで構成された合板を3枚接着重ね張りしたものをフランジとし、ベイマツとスギで構成された対称異等級集成材をウェブとした試験体と栃木県産ヒノキで構成された合板を3枚接着重ね張りしたものをフランジとし、栃木県産ヒノキとスギで構成された対称異等級集成材をウェブ材とした試験体の2種類とする。

2.9.1 ストレストスキンパネル（SSP）の最大荷重および初期剛性の算定

本試験に先立ち、稲山によるSSP断面性能の算定式³⁾をもとに、最大荷重と初期剛性及び必要荷重を計算した。なお、フランジの有効幅については菊池らによる算定式²⁾を用いて計算を行った。最大荷重及び初期剛性は(1)に示す4種類のケースを、必要荷重は教室の用途に供することを想定し計算を行った。(2)に算定式の概要を、(3)に算定結果を示す。

(1) 断面性能の算定条件

各ケース及び必要荷重の算定条件の概要は以下のとおりである。

CASE_BS BSBSB×3枚接着重ね張り合板の引張試験における引張強さの50%下限値より算定した最大荷重及び同試験における引張ヤング係数の50%下限値より算定した初期剛性。

CASE_HH HHHHH×3枚接着重ね張り合板の引張試験における引張強さの50%下限値より算定した最大荷重及び同試験における引張ヤング係数の50%下限値より算定した初期剛性。

CASE_E120 文献17)における合板の長期許容引張応力度より算定した最大荷重及び同文献の引張ヤング係数より算定した初期剛性。ウェブは対称異等級集成材E120-F330の値を使用。

CASE_E105 文献17)における合板の長期許容引張応力度より算定した最大荷重及び同文献の引張ヤング係数より算定した初期剛性。ウェブは対称異等級集成材E105-F300の値を使用。

P_{neces} 用途を教室と想定し、SSPの自重を含めた固定荷重を2200N/m²、積載荷重を2300N/m²として求めた3等分点2点集中荷重の和。SSPが負担する荷重として必要と仮定した数値。

各ケースの最大荷重及び初期剛性の算定において採用した数値を表2.24に示す。

合板については、図2.83及び図2.85に示すように、BSBSB3枚接着重ね張り引張試験及びHHHHH3枚接着重ね張り引張試験とも、継目を外側とし2枚分の断面積で荷重を負担した場合の引張強さの5%下限値が、構造用合板1級の基準値以上であることを確認できたので、文献17)の数値を採用する場合は1級(C-D)の値を使用する。

また、各ケースとも最大荷重の算定において、下フランジの外側の合板の継目で破壊すものと想定し、外側の合板を無視し2枚分のみ有効として断面性能を求めた。

表 2.24 各ケースにおいて採用した数値

CASE 名	ウェブの 曲げ強さ (N/mm ²)	ローリングシア に対する層内 せん断強さ (N/mm ²)	フランジ合板の 引張強さ (N/mm ²)	フランジ合板の 引張ヤング係数 (kN/mm ²)
CASE_BS	32.1※ ¹	1.2※ ³	22.7※ ⁵	6.7※ ⁸
CASE_HH	29.1※ ¹	1.2※ ³	19.3※ ⁶	4.7※ ⁹
CASE_E120	11.8※ ²	0.44※ ⁴	4.4※ ⁷	4.5※ ¹⁰
CASE_E105	10.7※ ²	0.44※ ⁴	4.4※ ⁷	4.5※ ¹⁰

- ※1 平成 13 年国土交通省告示第 1024 号の集成材の曲げ基準強度に寸法効果係数を掛けた値。
- ※2 長期曲げ許容応力度として※1 の値に 1.1/3 を掛けた数値。
- ※3 ローリングシアーに対するせん断強さとして、文献 17) の層内せん断基準許容応力度に安全係数 (2/3)、基準化係数 (1/2) の逆数を乗じた数値。
- ※4 ローリングシアーに対する長期許容せん断応力度として、文献 17) の層内せん断基準許容応力度を 1.1 倍した数値。
- ※5 BSBSB 3 枚接着重ね張り合板の継ぎ目外側の引張試験において継目を有する合板を除く 2 枚分の断面積で荷重を負担した場合の引張強さの 50% 下限値 (図 2.82)。
- ※6 HHHHH 3 枚接着重ね張り合板の継ぎ目外側の引張試験において継目を有する合板を除く 2 枚分の断面積で荷重を負担した場合の引張強さの 50% 下限値 (図 2.84)。
- ※7 文献 17) の引張の基準許容応力度を 1.1 倍した数値。
- ※8 BSBSB 3 枚接着重ね張り合板の継ぎ目外側の引張試験において 3 枚分の断面積で荷重を負担した場合の引張ヤング係数の 50% 下限値 (図 2.86)。
- ※9 HHHHH 3 枚接着重ね張り合板の継ぎ目外側の引張試験において 3 枚分の断面積で荷重を負担した場合の引張ヤング係数の 50% 下限値 (図 2.87)。
- ※10 文献 17) の引張ヤング係数。

(2) 断面性能の算定式の概要

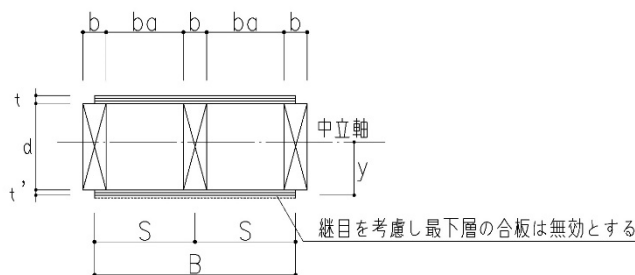


図 2.88 S S P の断面

- 1) 合板の座屈防止のため、図 2.88 に示すウェブの内法間隔 b_a が式 (2.3) を満たすことの確認

$$b_a \leq 36t \sqrt{t / t_0} \quad \cdots \cdots (2.3)$$

t : 合板の厚さ (mm)

t_0 : スパン方向と同じ繊維方向の単板の厚さの和 (mm)

2) シアーラグを考慮したフランジの有効幅²⁾ b_e (mm)

$$b_e = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_0 \cdot S \quad \cdots \cdots (2.4)$$

S : ウェブ間隔 (mm)

K_0 : 基本有効幅比

$$K_0 = \left\{ 1 - \exp \left(-\alpha \left(\frac{L}{S} - \beta \right) \right) \right\} \quad \cdots \cdots (2.4.1)$$

$$\alpha = 0.3838 \quad \beta = 0.4687 \quad L : \text{スパン (mm)}$$

K_1 : ウェブ成による調整係数

$$K_1 = \left(\frac{d_{14}}{d} \right)^{1/\gamma} \quad \cdots \cdots (2.4.2)$$

d_{14} : 基準ウェブせい = 140mm d : ウェブせい (mm)

$$\gamma = 2 \frac{L}{S} + 12.5 \quad \left(\frac{L}{S} < 4 \right)$$

$$\gamma = 11 \frac{L}{S} + 23.5 \quad \left(\frac{L}{S} \geq 4 \right)$$

K_2 : フランジ合板厚による調整係数

$$K_2 = \frac{0.0766}{9} \left(10 - \frac{L}{S} \right) \left(\frac{t}{t_{12}} - 1 \right) + 1 \quad \left(\frac{L}{S} < 10 \right) \quad \cdots \cdots (2.4.3)$$

$$K_2 = 1 \quad \left(\frac{L}{S} \geq 10 \right)$$

t_{12} : 基準フランジ厚 = 12mm t : フランジ厚 (mm)

K_3 : フランジ合板の縦弾性係数 E_y による調整係数

$$K_3 = \frac{1}{9} \left(10 - \frac{L}{S} \right) \left(\sqrt{\frac{E_{y45}}{E_y}} - 1 \right) + 1 \quad \left(\frac{L}{S} < 10 \right) \quad \cdots \cdots (2.4.4)$$

$$K_3 = 1 \quad \left(\frac{L}{S} \geq 10 \right)$$

E_{y45} : フランジ合板の基準縦弾性係数 = 4.41kN/mm²

E_y : フランジ合板の縦弾性係数 (kN/mm²)

K_4 : フランジ合板のせん断弾性係数 G_{xy} による調整係数

$$K_4 = \frac{1.2}{10} \left(10 - \frac{L}{S} \right) \left(\sqrt{\frac{G_{xy}}{G_{xy40}}} - 1 \right) + 1 \quad \left(\frac{L}{S} < 10 \right) \quad \dots (2.4.5)$$

$$K_4 = 1 \quad \left(\frac{L}{S} \geq 10 \right)$$

G_{xy40} : フランジ合板の基準せん断弾性係数 = 0.392kN/mm²

G_{xy} : フランジ合板のせん断弾性係数 (kN/mm²)

K_5 : 荷重形式及び位置による調整係数

$$K_5 = a \left(\frac{L}{S} \right) + b \quad \left(\frac{L}{S} < 10 \right) \quad \dots (2.4.6)$$

a, b : 表 2.25 参照

表 2.25 K_5 : を定めるための係数 a, b の値

位置	係数	4 分点 2 点荷重	等分布荷重	中央集中荷重
0.5L	a	$K_5 = 1$	0.0097	0.0223
	b		0.8554	0.6040
0.35L	a	0.0107	0.0112	0.01
	b	0.8530	0.8350	0.8754

3) ウェブ材のみで負担した場合の最大荷重 P_{max1} (N)

$$P_{max1} = 2P = 2 \frac{3M_{wa}}{L} \quad \dots (2.5)$$

$$M_{wa} = n \cdot Z \cdot F_b \quad \dots (2.5.1)$$

P_{max1} : ウェブ材のみで負担した場合の最大荷重で、3 等分点 2 点集中荷重の 2 点分の荷重の合計 (N)

M_{wa} : ウェブのみで負担した場合の最大曲げ耐力 (N・mm)

n : ウェブ本数 Z : ウェブ材の断面係数 (mm³)

F_b : 曲げ強さ (N/mm²) — 表 2.24 による数値

4) フランジ合板の直交単板のローリングシアーで決まる最大荷重 P_{max2} (N)

$$P_{max2} = 2Q_a = 2 \frac{F_r \cdot \Sigma b_r \cdot I_{等}}{S_f} \quad \dots (2.6)$$

Q_a : フランジ合板の直交単板のローリングシアーに対するせん断耐力 (N)

F_r : ローリングシアーに対する層内せん断強さ (N/mm²) — 表 2.24 による数値

Σb_r : フランジ合板に接するウェブ幅の合計 (mm)

$I_{等}$: フランジのヤング係数を基準とする全断面の等価断面二次モーメント (mm⁴)

S_f : フランジ断面に対する断面一次モーメント (mm^3)

5) 下フランジ合板の引張強さで決まる最大荷重 P_{max3} (N)

$$P_{max3} = 2P = 2 \frac{3M_{fa}}{L} \quad \dots (2.7)$$

$$M_{fa} = \frac{F_{tf} \cdot I_{\text{等}}}{y} \quad \dots (2.7.1)$$

P_{max3} : 下フランジ合板の引張強さで負担した場合の最大荷重で、3等分点2点集中荷重の2点分の荷重の合計 (N)

M_{fa} : 下フランジ合板の引張強さによる曲げ耐力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

F_{tf} : フランジ合板の引張強さ (N/mm^2) — 表 2.24 による数値

$I_{\text{等}}$: フランジのヤング係数を基準とする全断面の等価断面二次モーメント (mm^4)

y : 中立軸から下端フランジ合板の継目を除く2枚目までの距離 (mm)

6) 初期剛性 K (N/mm) の算定

合板 (フランジ) の引張ヤング係数は、表 2.24 によるものとし、集成材 (ウェブ) の曲げヤング係数は、CASE_E120cal の場合、強度等級が E120-F330 であることから $12\text{kN}/\text{mm}^2$ とし、CASE_E105cal の場合、強度等級が E105-F300 であることから $10.5\text{kN}/\text{mm}^2$ として式 (2.8) にて算定。

$$K = \left[\frac{23 \cdot L^3}{1296 \cdot \Sigma EI} + \frac{L_s \cdot S_q}{2G \cdot \Sigma b \cdot I_q} \right]^{-1} \quad \dots (2.8)$$

L : スパン (mm)

ΣEI : ウェブ EI とフランジ EI の合計 ($\text{N} \cdot \text{mm}^2$)

L_s : 荷重位置から支点までの距離 (mm)

S_q : ウェブ E を基準とする等価断面一次モーメント (mm^3)

G : ウェブのせん断弾性係数 (N/mm^2) — 集成材の曲げヤング係数に $1/15$ を乗じた数値

Σb : 等価断面一次モーメントと SSP の成を同じとした場合のウェブ幅の合計 (mm)

I_q : ウェブ E を基準とする等価断面二次モーメント (mm^4)

(3) 断面性能の算定結果

(2) の算定式による各ケースの最大荷重 (P_{max}) 及び用途を教室と想定した場合の荷重 (P_{neces}) を表 2.26 に示す。試験体のウェブ内法間隔: b_a の 350mm に対し、式 (2.3) の右辺の計算結果は CASE_BS 及び CASE_HH とも 1221.9mm となり、式 (2.3) を満たすことを確認した。式 (2.4) については、右辺の計算結果、 K_I : ウェブ成による調整係数が 0.98 となった他、 K_2, K_3, K_4, K_5, K_6 は 1.0 となり、その結果フランジの有効幅: b_e は、891mm となったため、その有効幅で S S P の断面性能を計算した。式 (2.5) のウェブ曲げによる P_{max} は全 CASE ともフランジの引張強さによる値を下回っているが、フランジの引張破壊が起きない限りウェブで曲げ破壊することはないと考えられるので、 P_{max} は式 (2.7) のフランジの引張強さによる値を採用した。式 (2.6) のローリングシアによる P_{max} は、CASE_BS 及び CASE_HH でフランジの引張強さによる値を下回っているが、ローリングシアによる破壊は、せん断力が最大となる支点付近のウェブとフランジの境界部で生じるが、それによって S S P 全体が破壊されることはないと考えられるので、こちらも式 (2.7) のフランジの引張強さによる値を P_{max} として採用した。

表 2.26 各 CASE 毎の最大荷重 (P_{max})

CASE 名	ウェブ曲げによる P_{max1} (kN)	ローリングシアによる P_{max2} (kN)	下フランジの引張強さによる P_{max3} (kN)	採用 P_{max} (kN)	初期剛性 K (kN/mm)
CASE_BSca1	185.7	288.3	369.7	369.7	3.9
CASE_HHca1	168.1	327.9	355.3	355.3	3.1
CASE_E120ca1	64.1	130.1	86.4	86.4	3.2
CASE_E105ca1	57.7	118.9	79.0	79.0	3.0
P_{neces} (kN)	22.0				

2.9.2 試験体及び試験方法の概要

試験体の仕様を表 2.27 に、その構成を図 2.91 に示す。また、接着剤の塗布要領を図 2.90 に示す。試験体 SSP_BS-1～3 について、ウェブ材及びつなぎ梁は、ベイマツとスギからなるハイブリッド対称異等級構成集成材（E120-F330）とし、フランジ材は、2.8.1（4）で採用することとしたベイマツとスギからなる構造用合板、また、試験体 SSP_HH について、ウェブ材及びつなぎ梁は、ヒノキとスギからなるハイブリッド対称異等級構成集成材（E105-F300）とし、フランジ材は、2.8.1（4）で採用することとしたヒノキのみで構成された構造用合板 3 枚を、1 層毎に継目を 910mm ずらして接着重ね張りし、それをウェブ材に接着剤を併用して木質構造用ねじで留め付けた。加力点付近の継目は、一番内側であるウェブ側の層に設けるものとした（図 2.91）。接着剤は、2.5.2 に示す 1 液型ポリウレタン樹脂系接着剤（ウレタン系接着剤）を使用し、接着剤の塗布方法は試験体ごとに以下の 3 種類とした（図 2.90）。試験体番号 SSP_BS-1 は、コテを使用しウェブとつなぎ梁の上面およびフランジ材の合板の上面に接着剤を全面に塗り拡げた状態で合板を張り合わせた。試験体番号 SSP_BS-2 は、ウェブとつなぎ梁の上面およびフランジ材の合板の上面全体に接着剤をカートリッジガンで射出し、ビード状のまま合板を張り合わせた。試験体番号 SSP_BS-3 及び SSP_HH は、ウェブとつなぎ梁の上面に接着剤を射出し、フランジ材の合板も同様の位置のみに接着剤を射出し、ビード状のまま合板を張り合わせた。接着剤の量は、3 種類とも $500\text{g}/\text{m}^2$ とした。塗布後木質構造用ねじによる圧縮を行い、SSP_BS は常温で 1 週間程度、SSP_HH は常温で 40 日間程度静置した。養生期間中の温湿度の推移を図 2.92 及び図 2.93 に示す。使用したウレタン系接着剤は、図 2.4 に示すように 0°C 以上の環境であれば 1 週間の養生期間で十分な接着強度が得られると考えられるが、養生期間中 0°C を下回ったことはないため、接着剤の強度に問題はないと考えられる。木質構造用ねじは、2.5.1 に示す $\phi 5 \times \text{L}80$ を使用し、ウェブ材およびつなぎ梁の上の重なり幅の中央に 150mm 間隔で打ち込んだ。

試験方法は単調加力による 3 等分点 4 点曲げ試験とし、スパンは 8.0m とした（図 2.89）。加力速度は、最大荷重まで 10 分以上となるよう調整し、試験体が破壊するまで加力した。試験体数は各仕様 1 体とした。

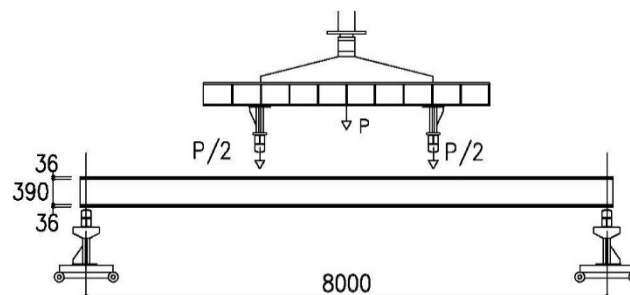


図 2.89 SSP 実大曲げ試験の概略（単位：mm）

表 2. 27 各試験体の仕様

試験体名	フランジ	ウェブ	接合具	ウレタン系接着剤の塗布方法
SSP_BS-1	構造用合板 (BSBSB) 厚 12mm 3 枚 接着積層	ベイマツ・スギ ハイブリッド 対称異等級集成材 105×390mm (E120-F330)	木質構造用 ねじ φ5×L80@150	ウェブ、つなぎ梁、 合板の全面にコテを 用いて塗り拡げ
SSP_BS-2				ウェブ、つなぎ梁、 合板の全面にビード状
SSP_BS-3				ウェブ、つなぎ梁に ビード状 合板上はウェブ・ つなぎ梁の位置 のみにビード状
SSP_HH	構造用合板 (HHHHH) 厚 12mm 3 枚 接着積層	ヒノキ・スギ ハイブリッド 対称異等級集成材 105×390mm (E105-F300)		同上

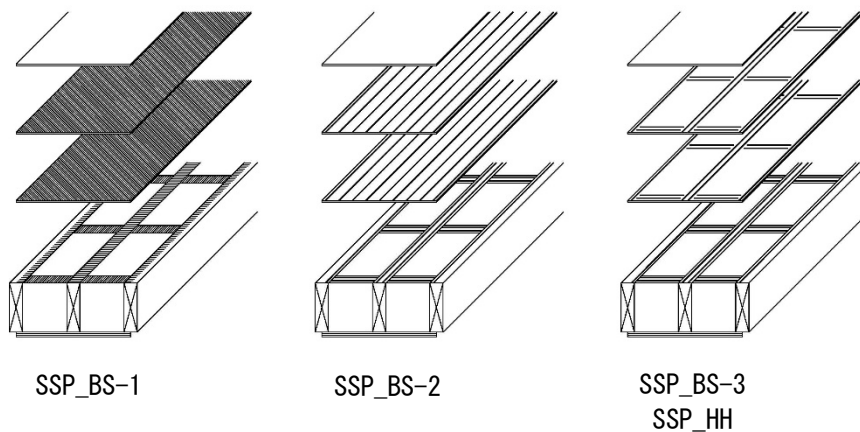


図 2. 90 接着剤の塗布要領

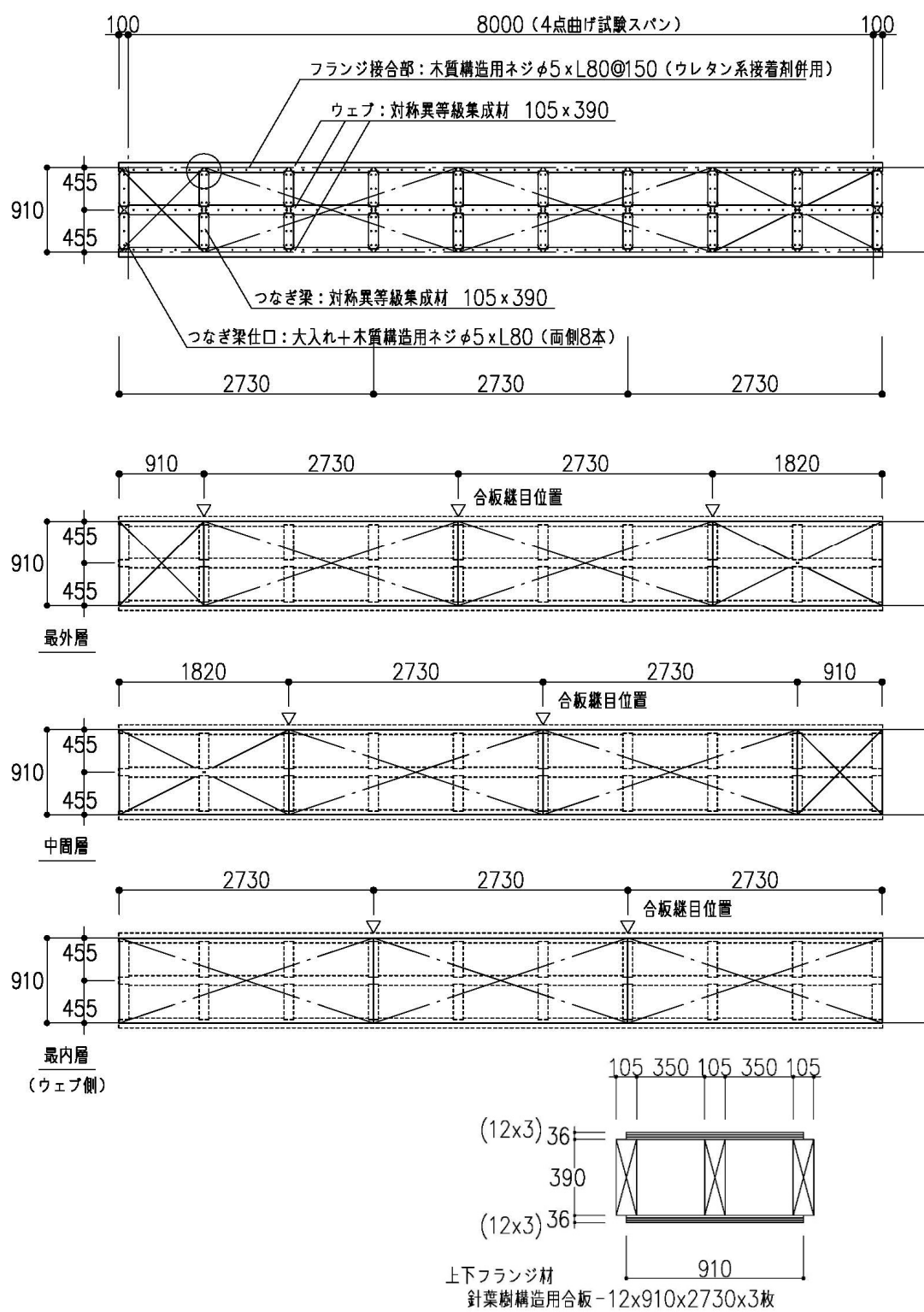


図 2.91 試験体の構成 (単位 : mm)

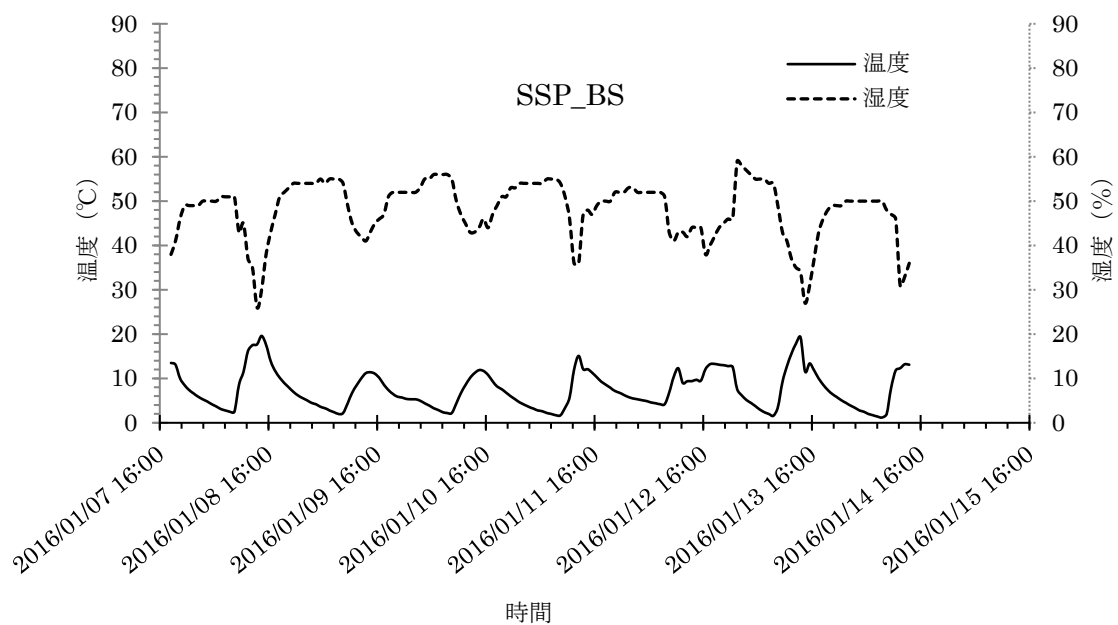


图 2.92 SSP_BS 養生時温湿度推移曲線

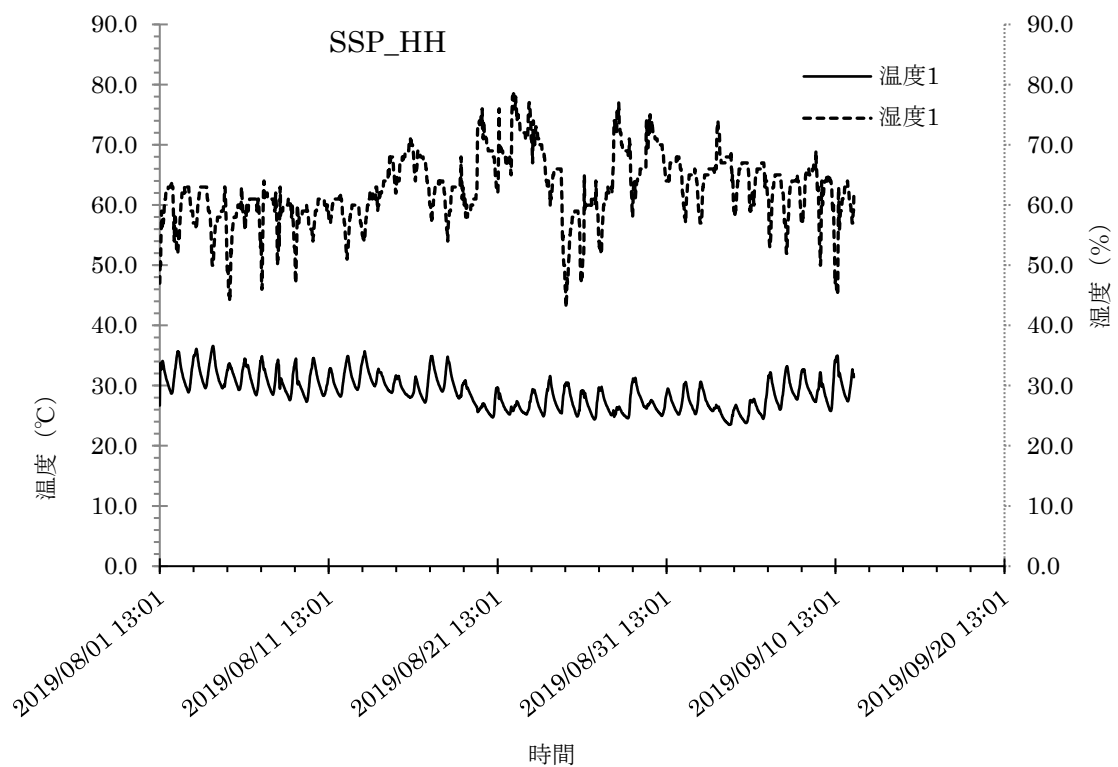


图 2.93 SSP_HH 養生時温湿度推移曲線

2.9.3 (1) 試験体 SSP_BS の試験結果および考察

試験結果及び 2.9.1 (3) による計算値を表 2.28 に示す。荷重-試験体中央部の変位曲線及び 2.9.1 (3) の計算値を図 2.94 に示す。試験体の破壊状況を写真 2.69 に示す。各試験体共、荷重変位曲線は、明確な降伏点を示すことなく最大荷重まではほぼ弾性状態で推移し、破壊に至るといふ脆性的な破壊であった。SSP_BS-1 は、フランジの継目ではなく、スパン中央部の下端フランジが引張破壊するのとほぼ同時にウェブが曲げ破壊した(写真 2.69(1))。SSP_BS-2 及び SSP_BS-3 は、どちらもスパン中央付近のフランジ合板の外側の継目でフランジが引張破壊するのとほぼ同時にウェブが曲げ破壊した(写真 2.69 (5)、(7))。最大荷重及び初期剛性とも最も大きなを示した試験体は、コテを使用しウェブとフランジ材の 3 枚重ねの合板の全面に接着剤を塗布した SSP_BS-1 であった。SSP_BS-2 は、接着剤を SSP_BS-3 のようにウェブやつなぎ梁などの軸材の上だけでなく、合板全体にビード状に射出したにもかかわらず、SSP_BS-3 よりも最大荷重が下回る結果となったが、図 2.94 に示すように初期剛性はほぼ同じ値となった。初期剛性を計算する際のフランジの有効幅は菊池式²⁾によったが、すべての試験体で計算値を上回る結果となった。このことは、合板同士を接着する接着剤は、ビスを施工するウェブの上に接着剤が塗布されていれば、合板どうしが全面に接着されていなくてもフランジの有効幅としてそれぞれが引張力を負担するということを示していると考えられ、3 枚接着重ね張りにおける接着剤の塗布方法を合板の全面又はウェブ上のみとしても、フランジの有効幅の算定において菊池式²⁾を適用できると考えられる。この考えに基づけば SSP_BS-2 と SSP_BS-3 の最大荷重はほぼ同じ値になるはずであるが、SSP_BS-2 の最大荷重が SSP_BS-3 の最大荷重を下回った。BSBSB 3 枚接着重ね張り合板の引張試験で、2 枚分有効とした場合の引張強さの平均値に対する標準偏差が、表 2.17 及び表 2.19 に示すように、継目中央で 2.97N/mm^2 、継目外側で 1.71N/mm^2 であることが示すように、合板の引張強さに多少のバラツキがあり、そのため SSP_BS-2 の最大荷重が SSP_BS-3 を約 10% 下回った結果になったと考えられる。また、合板の引張試験による引張強さの 50% 下限値より算定した最大荷重 (CASE_BSca1) に対し、SSP_BS-1 の実大曲げ試験の最大荷重が近い値を示したが、他の 2 体は計算値を下回る結果となった。SSP_BS-1 は、コテを使用しウェブとフランジ材の 3 枚重ねの合板の全面に接着剤を塗布したが、SSP_BS-2 及び SSP_BS-3 は、コテを使わず接着剤をビード状に射出した状態で合板どうし、また合板とウェブを接着接合したものであった。この接着剤の塗布方法の違いが、合板と集成材による複合材料としての一体化の度合いに影響し、実大曲げ試験における初期剛性及び最大荷重の違いに現れたと考えられる。また、ローリングシアーによる上フランジの破壊時の荷重値は、CASE1 の計算値に近い値となった。これらのことから、稲山の提案式³⁾は SSP の断面性能をよく数値化できていると考えられる。接着剤の塗布方法を最も簡略化した SSP_BS-3 の最大荷重が SSP_BS-2 を上回り、最も低い値を示した SSP_BS-2 であっても文献 17) による合板の長期許容引張応力度より算定した最大荷重 (CASE_E120ca1) の 86.4kN に対し、実験値はその約 3.4 倍の 295.8kN であり、十分な強度を示した。接着剤の塗布方法として、最も簡略化した SSP_BS-3 の仕様でも問題ないと考えられる。

表 2.28 試験結果及び 2.9.1 (3) による計算値

	試験体 又は CASE 名	最大荷重 (kN)	最大荷重時変 位 (mm)	ローリングシアーによる 上フランジ破壊時荷重値 (kN)	初期剛性 (kN/mm)
実験値	SSP_BS-1	394.2	86.0	307.0	4.8
	SSP_BS-2	295.8	65.3	278.0	4.6
	SSP_BS-3	336.0	76.4	※1	4.6
計算値	CASE_BScal	369.7	95.7	288.3	3.9
	CASE_E120cal	86.4	26.7	130.1	3.2

※1 ローリングシアーによる上フランジ端部の破壊は確認したが、計測不良により破壊時の荷重は計測できず

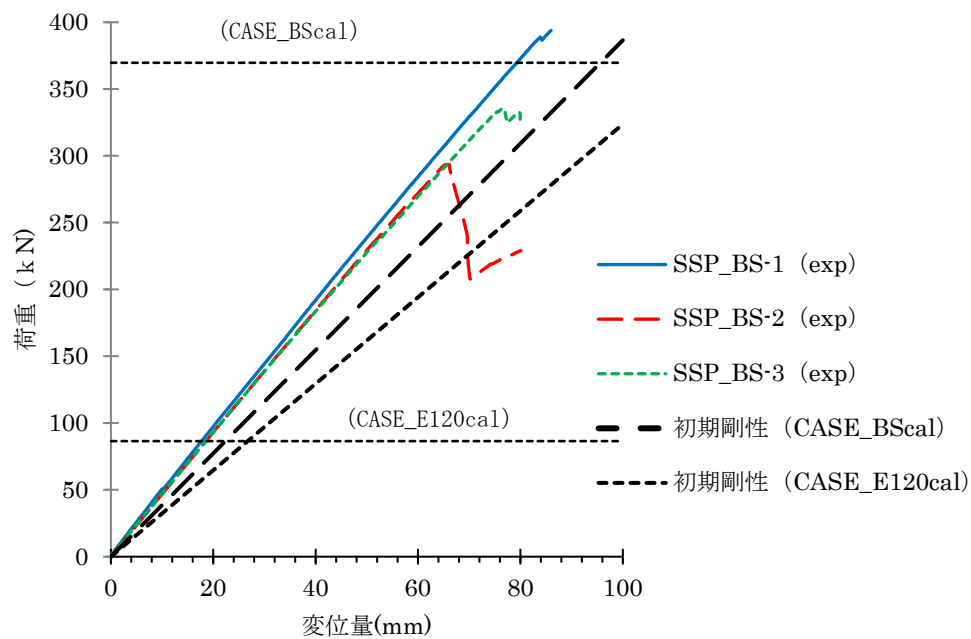


図 2.94 荷重-試験体中央部の変位曲線



(1) SSP_BS-1
フランジの引張曲げ破壊



(2) SSP_BS-1
ウェブの曲げ破壊



(3) SSP_BS-1
フランジのローリングシアー
破壊



(4) SSP_BS-2
フランジの引張曲げ破壊



(5) SSP_BS-2
ウェブの曲げ破壊



(6) SSP_BS-2
フランジのローリングシアー
破壊



(7) SSP_BS-3
フランジの引張曲げ破壊



(8) SSP_BS-3
ウェブの曲げ破壊



(9) SSP_BS-3
フランジのローリングシアー
破壊

写真 2.69 SSP_BS の破壊状況

2.9.3 (2) 試験体 SSP_HH の試験結果および考察

SSP_HH の試験結果及び 2.9.1 (3) による計算値を表 2.29 に示す。荷重-試験体中央部の変位曲線及び 2.9.1 (3) の計算値を図 2.96 に示す。試験体の破壊状況を写真 2.70 に示す。接着剤の塗布方法を同じとした試験体 SSP_BS-3 同様、荷重変位曲線は明確な降伏点を示すことなく最大荷重までほぼ弾性状態で推移し、破壊に至るという脆性的な破壊であった。SSP_HH は、加力点直下の下端フランジの合板が引張破壊（写真 2.70(a), (b)）するのとほぼ同時にウェブが曲げ破壊した（写真 2.70(c)）。

SSP_HH の実大曲げ試験における初期剛性は、図 2.86 及び図 2.87 で示すように、HHHHH 3 枚接着重ね張り引張試験の引張ヤング係数の値が、試験体 SSP_BS-3 で使用した BSBSB 3 枚接着重ね張り試験の値を下回っており、そのため SSP_BS-3 の初期剛性を下回ったと考えられる。

接着剤の塗布方法において、図 2.90 に示すように、SSP_HH は SSP_BS-3 同様、ウェブやつなぎ梁などの軸材の上及び合板の軸材の上のみにビード状に射出するという簡単な方法を採用したが、実大曲げ試験による最大荷重は、347.3kN であり、図 2.96 に示すように、計算による最大荷重 (CASE_HHcal) 355.3kN を少し下回る程度であり、初期剛性においては、実験値の 3.7 kN/mm に対し計算値は 3.1 kN/mm (CASE_HHcal) と約 1.19 倍高い値を示した。また、文献 17) による合板の長期許容引張応力度より算定した最大荷重 (CASE_E105cal) の 79.0kN に対し、実験値はその約 4.4 倍の 347.3kN であり、十分な強度を示した。接着剤の塗布方法は、図 2.90 に示す SSP_BS-3 と同じ簡略化した方法でも問題ないと考えられる。また、表 2.29 に示すように SSP_HH におけるローリングシアーによる上フランジの破壊時（写真 2.70(d)）の荷重値は、303kN であり、計算値 (CASE_HHcal) の値を下回ったが、設計においては、CASE_E105cal で採用した長期許容応力度の値を使えば十分安全と考えられる。

表 2.29 試験結果及び 2.9.1 (3) による計算値

	試験体 又は CASE 名	最大荷重 (kN)	最大荷重時変 位(mm)	ローリングシアアーによる 上フランジ破壊時荷重値(kN)	初期剛性 (kN/mm)
実験 値	SSP_BS-3	336.0	76.4	※1	4.6
	SSP_HH	347.3	102.6	303.0	3.7
計算 値	CASE_HHcal	355.3	116.2	327.9	3.1
	CASE_E105cal	79.0	26.4	118.9	3.0

※1 ローリングシアアーによる上フランジ端部の破壊は確認したが、計測不良により破壊時の荷重は計測できず

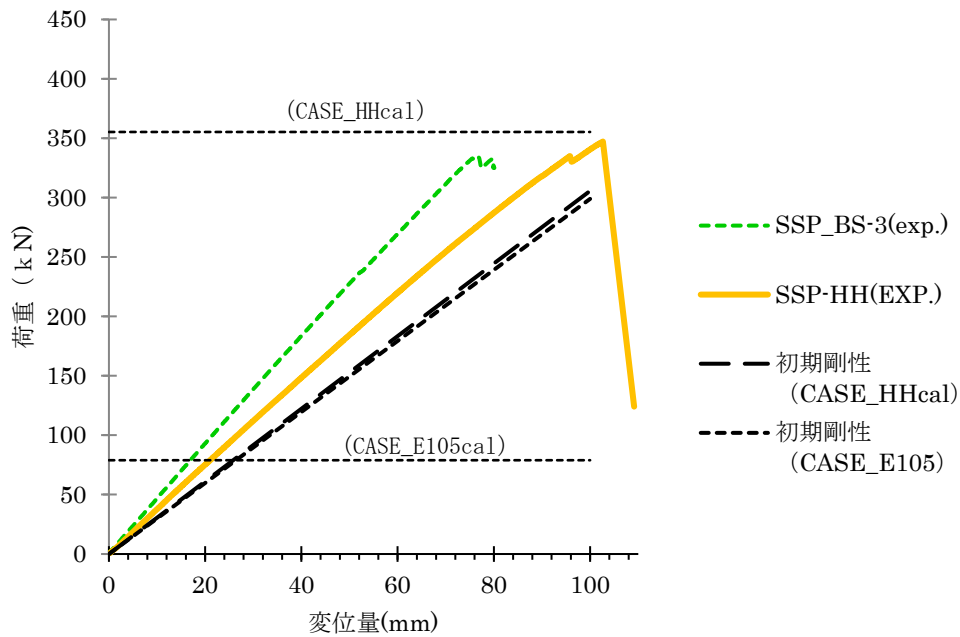


図 2.96 荷重-試験体中央部の変位曲線



(a) 下フランジの引張曲げ破壊 1



(b) 下フランジの引張曲げ破壊 2



(c) ウェブの曲げ破壊



(d) 上フランジのローリングシアー破壊

写真 2.70 SSP-HH の破壊状況

2.10 ストレストスキンパネル（SSP）のクリープ試験

2.10.1 クリープ試験の目的

木材に一定の荷重を加え続けると、時間の経過とともに変形が増大する。このような現象がクリープと呼ばれるものである。木材で構成されたSSPも、このクリープ現象が発生する。SSPのような横架材では、クリープ現象はたわみ変形という形で現れる。SSPのスパンを長大なものとした場合、クリープの影響を受けたたわみ変形は、より大きくなり、実用上の支障が起こる恐れがある。そのため、クリープ試験を行うことでクリープ増大係数を求め、その値をもとにSSPのたわみの検討をすることで、長期間の使用においても実用上の支障が起こらないようにすることを目的とする。

クリープ試験は、栃木県林業センターにて行った。試験設備の外観を写真 2.71 に、内部の様子を写真 2.72 に示す。図 2.97 に示すように試験装置はモーメントアーム方式とし、支点から力点までの水平距離を 2500mm、支点から作用点までの水平距離を 400mm とした。錘は D16 の異形鉄筋を用いた。



写真 2.71 試験設備の外観



写真 2.72 試験設備の内部

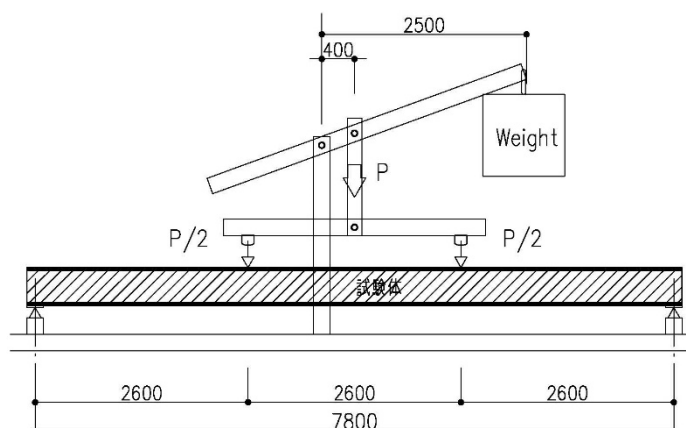


図 2.97 試験装置の概略 (単位: mm)

2.10.2 試験体の概要

試験体の仕様を表 2.30 に、その構成を図 2.98 に、接着剤の塗布要領を図 2.99 に示す。また、試験体養生時の温湿度の推移を図 2.100 に示す。試験体に使用する材料は、実大曲げ試験における試験体 SSP_HH と同じであり、ウェブ材及びつなぎ梁は、ヒノキとスギからなるハイブリッド対称異等級構成集成材（E105-F300）とし、フランジは、ヒノキ単板で構成された構造用合板 3 枚を、1 層毎に継目を 910mm ずらして接着重ね張りし、それをウェブに接着剤を併用したビス留めとした。加力点付近の継目は、一番内側であるウェブ側の層に設けるものとした。接着剤は、1 液型ポリウレタン系接着剤（ウレタン系接着剤）を使用し、接着剤の塗布方法は試験体ごとに以下の 2 種類とし、クリープ変形の違いを検証する。試験体番号 SSP_HH-cre1 は、コテを使用しウェブとつなぎ梁の上面およびフランジの合板の上面に接着剤を全面に塗り拡げた状態で合板を張り合わせた。試験体番号 SSP_HH-cre2 は、ウェブとつなぎ梁の上面に接着剤を射出し、フランジの合板も同様の位置のみに接着剤を射出し、ビード状のまま合板を張り合わせた。接着剤の量は、2 種類とも 500g/m²とした。塗布後木質構造用ねじによる圧縮を行い、常温で 40 日間静置した。木質構造用ねじは $\phi 5 \times L80$ を使用し、ウェブ材およびつなぎ梁の上の重なり幅の中央に 150mm 間隔で打ち込んだ。クリープ試験装置の都合により、試験体の幅を 450mm とし、スパンは 7.8m とし、成は実大曲げ試験同様、462mm とした。

表 2.30 試験体の仕様

試験体名	フランジ	ウェブ	接合具	ウレタン系接着剤の塗布方法
SSP_HH-cre1	構造用合板 (HHHHH) 厚 12mm 3 枚 接着積層	ヒノキ・スギ ハイブリッド 対称異等級集成材 105×390mm (E105-F300)	木質構造用 ねじ $\phi 5 \times L80@150$	ウェブ、つなぎ梁、 合板の全面にコテを 用いて塗り拡げ
SSP_HH-cre2				ウェブ、つなぎ梁に ビード状 合板上はウェブ・ つなぎ梁の位置 のみにビード状

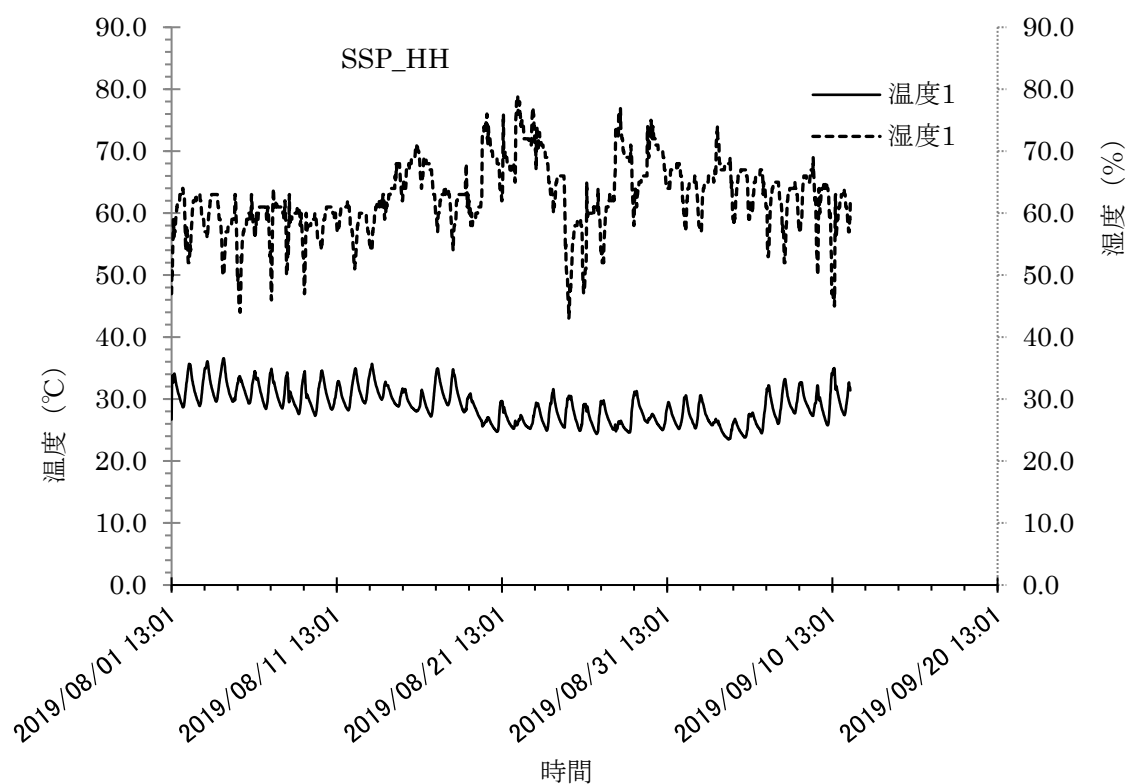


図 2.100 曲げクリープ試験体の養生時温湿度推移曲線

2.10.3 載荷重の設定

クリープ試験に適用する荷重レベルは、文献 18) では、平成 12 年建設省告示第 1452 号に定められた基準強度に 1.1/3 を乗じた値に相当する荷重を超えない範囲、かつ同基準強度に 1/5 を乗じた値に相当する荷重を下回らない範囲とされている。しかし、同告示には構造用合板の基準強度は規定されていないため、文献 17) に記載の構造用合板の基準許容応力度より基準強度を類推し適用する。構造用合板の基準強度は、文献 17) に記載の基準許容応力度に安全係数の逆数 K_f' ($=3/2$) 及び基準化係数の逆数 K_o' ($=2/1$) を乗じて求める。構造用合板の試験の場合は劣化影響係数 K_t を考慮すべきと考えられるが、今回のクリープ試験は、構造用合板自体の試験ではないことから、載荷重の設定に構造用合板の劣化影響係数の逆数 K_t' ($=7/6$) は考慮しないものとした。

下フランジ合板の引張強さの基準強度による曲げ耐力 M_a (N・mm)

$$M_a = \frac{F_{tf} \cdot I_{\text{等}}}{y} \quad \dots \quad (2.9)$$

フランジ合板の引張強さの基準強度 F_{tf} (N/mm²)

$$F_{tf} = \sigma_{tf} \times K_f' \times K_o'$$

σ_{tf} : 文献 17) に記載の構造用合板 1 級の引張強さの基準許容応力度 ($=4.0 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$)

K_f' : 安全係数の逆数 ($=3/2$)

K_o' : 基準化係数の逆数 ($=2/1$)

$I_{\text{等}}$: フランジのヤング係数を基準とする全断面の等価断面二次モーメント

$$(\text{=} 362224 \times 10^8 \text{ mm}^4)$$

y : 中立軸から下端フランジ合板の継目を除く 2 枚目までの距離 ($=230.2 \text{ mm}$)

S S P の曲げ耐力の 1/5 から S S P の自重による曲げモーメントを除いた曲げ耐力 M_{ae}

(N・mm)

$$M_{ae} = 1/5 M_a - M_0 \quad \dots \quad (2.10)$$

M_0 : S S P の自重による曲げモーメント ($=55.18 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$)

M_{ae} より逆算した 3 等分点 4 点曲げモーメント状態における 1 点当たりの集中荷重 P (N)

$$P = 3 \cdot M_{ae} / L \quad \dots \quad (2.11)$$

L : スパン ($=7800 \text{ mm}$)

以上より $P=12.39 \times 10^3 \text{ N}$ と算定される。よってクリープ試験用の 1 点当たりの載荷重は、 $14.0 \times 10^3 \text{ N}$ とする。この荷重レベルは、教室を想定した固定荷重 ($=1000 \text{ N/m}^2$) 及び積載荷重 ($=2300 \text{ N/m}^2$) として、負担幅を 900mm、負担長さをスパンの 1/3 である 2.6m とした場合の 1 点当たりの負担荷重 (7.7kN) の約 1.8 倍となる。3 等分点の 2 点に載荷するため全荷重値は 2 点分の $28.0 \times 10^3 \text{ N}$ とする。荷重は、図 2.97 に示すようにモーメントアーム方式で載荷し、ロードセルで荷重値を確認しながら徐々に錘の量を増やし、錘の重量が 3030N となったところで設定荷重と同等の載荷重である $28.0 \times 10^3 \text{ N}$ となった。

2.10.4 クリープ試験の方法及び評価方法

試験方法及び評価方法は、文献 19) を参考にして行った。2.10.3 で求めた荷重を載荷し、中央の最大となる変位を、1 分、5 分、10 分、100 分及び 500 分後、さらにその後 24 時間ごとに 6 か月週間以上計測する。その結果から、式 (2.12) により回帰直線を求める。式 (2.12) の切片 e 及び傾き f を用いた式 (2.13) よりクリープの剛性調整係数を求める。クリープ増大係数は、クリープの剛性調整係数の逆数とした式 (2.14) により求めた。

回帰直線の式

$$\log_{10} K_{bt} = e + f \log_{10} t \quad \cdots \cdots (2.12)$$

t : 時間(分)

e : 回帰直線の切片

f : 回帰直線の傾き

K_{bt} : クリープの試験剛性低減係数

クリープの剛性調整係数

$$K_b = 10^e t_{50}^f \quad \cdots \cdots (2.13)$$

t_{50} : 50 年間を分に置き換えた値 (26,280,000 分)

クリープの増大係数

$$a_{50y}/a_{1m} = 1/K_b \quad \cdots \cdots (2.14)$$

2.10.5 試験結果および考察

試験経過時間とクリープ変形比の常用対数の関係を、12 か月間と 15 か月間の場合に分けて、試験体 SSP_HH-cre1 の結果を図 2.101 に、試験体 SSP_HH-cre2 の結果を図 2.102 に示す。試験期間中の温湿度推移曲線を図 2.103 に、試験経過時間とクリープ変形量の関係を図 2.104 に示す。試験終了後のフランジ-ウェブ接合部の状態を写真 2.73 及び 2.74 に示す。試験期間は 2019 年 9 月 10 日から 2020 年 12 月 10 日までの 15 か月間とした。SSP_HH-cre1 は、接着剤をコテを用いて全面に塗り広げたものであり、SSP_HH-cre2 は、接着剤をコテを用いずビード状のままウェブ等の軸材上のみに塗布したものである。載荷 1 分後の変形量は SSP_HH-cre1 で 13.28mm、SSP_HH-cre2 で 12.84mm であり、式 (2.15) による計算値の 11mm を少し上回る値となっている。図 2.103 及び図 2.104 で示すように、SSP_HH-cre1 及び SSP_HH-cre2 とも温度及び湿度が高くなる 7 月から 8 月にかけて変形量が増加し、その後 9 月頃に変形が回復したあと 12 月 10 日の試験終了時まで大きな変形もなく安定した状態が続いた。高温多湿な環境ではクリープ変形が進むことが分かった。試験開始から 12 か月間におけるデータによるクリープ変形増大係数は、試験体 SSP_HH-cre1 で 1.56、SSP_HH-cre2 で 1.66 であり、どちらも 2 を下回っている。また、15 か月間におけるデータによるクリープ変形増大係数は、試験体 SSP_HH-cre1 で 1.63、SSP_HH-cre2 で 1.76 であり、どちらも 2 を下回っている。試験期間が長くなればクリープ変形増大係数が増加することが分かった。ただし、設計においてクリープ変形を考慮する際に目安とする増大係数は、12 か月間の試験期間のデータによる値とする。載荷重の設定において、構造用合板の場合の劣化影響係数の逆数 K_t' ($=7/6$) を考慮していなかったが、載荷重とクリープ変形増大係数が比例関係にあると仮定し、12 か月間のクリープ変形増大係数に劣化影響係数の逆数 K_t' ($=7/6$) を乗じた場合、SSP_HH-cre1 で 1.82、SSP_HH-cre2 で 1.94 であり、どちらも 2 を下回っている。よって、設計におけるたわみの計算では、クリープ増大係数を 2 とすれば安全側の計算となる。クリープ増大係数において全面塗布の SSP_HH-cre1 の方が、クリープ変形に対し性能的に優れていることは予想されたが、接着剤の塗布方法を簡略化した SSP_HH-cre2 であってもそれ程劣っておらず、クリープに対する断面性能として両試験体に大きな差はないと判断できる。15 か月間の試験終了時のフランジとウェブを接合した接着剤の状態は、写真 2.73 及び 2.74 に示すように良好な状態を保っていた。クリープ試験の結果、SSP の製作に使用する接着剤について、塗布方法は簡略化した SSP_HH-cre2 の仕様でも問題なく、接着剤の種類はウレタン系接着剤でも問題ないと考えられる。

載荷直後の変位 δ の算定

$$\delta = P \left[\frac{23 \cdot L^3}{1296 \cdot \Sigma EI} + \frac{L_s \cdot S_q}{2G \cdot \Sigma b \cdot I_q} \right] \dots (2.15)$$

$$= 11 \text{ mm}$$

ここで

P : 載荷重 (28000N)

L : スパン (7800mm)

ΣEI : ウェブ EI とフランジ EI の合計 ($229800 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$)

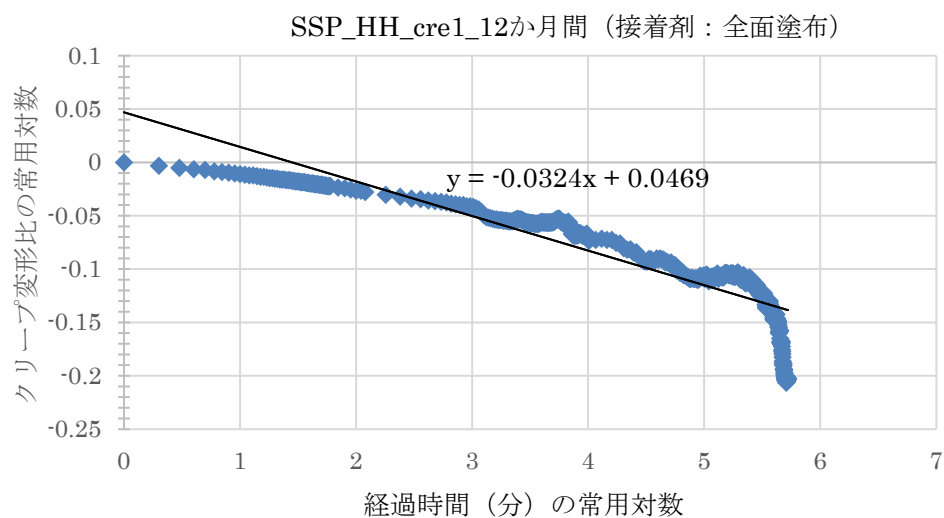
L_s : 荷重位置から支点までの距離 (2600mm)

S_q : ウェブ E を基準とする等価断面一次モーメント ($6679 \times 10^3 \text{ mm}^3$)

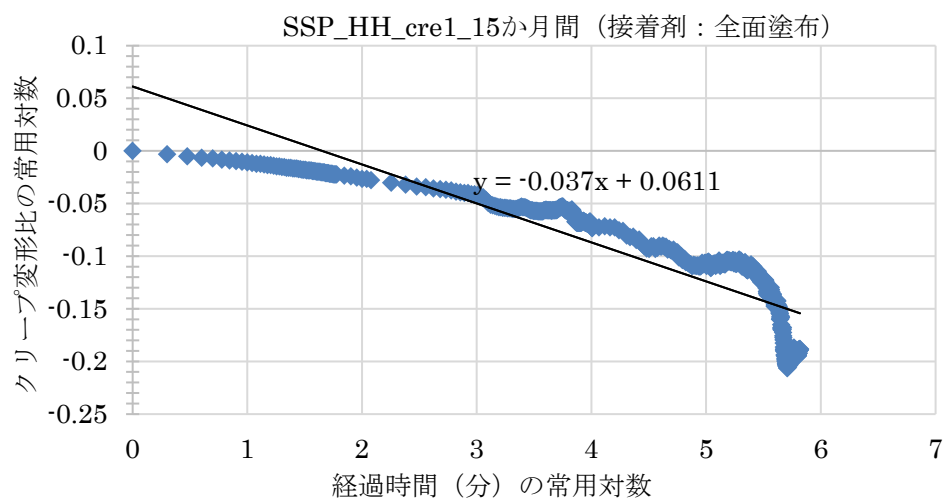
G : 合板のせん断弾性係数 (700 N/mm^2)

Σb : 等価断面一次モーメントと SSP の成を同じとした場合のウェブ幅の合計 (262.5mm)

I_q : ウェブ E を基準とする等価断面二次モーメント ($185181 \times 10^4 \text{ mm}^4$)

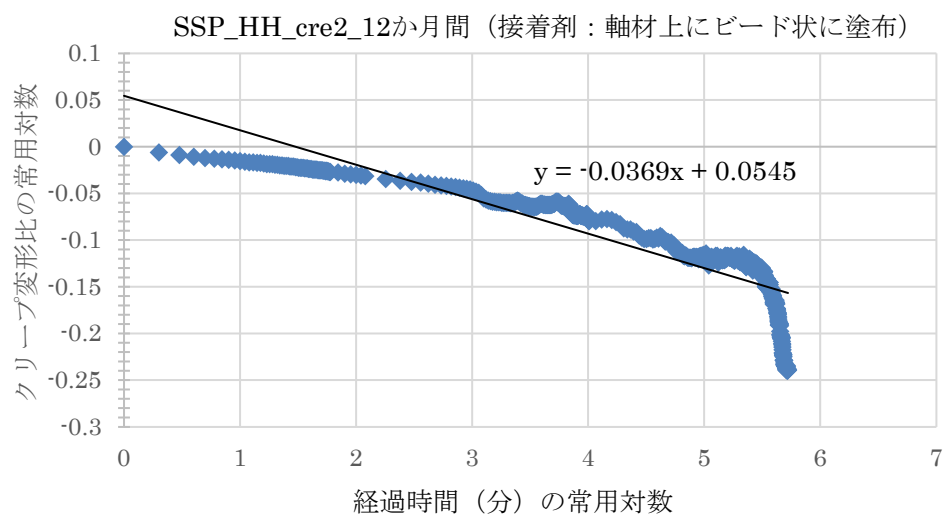


SSP_HH-cre1（12 か月間）の変形増大係数 $a_{50y}/a_{1m}=1.56$

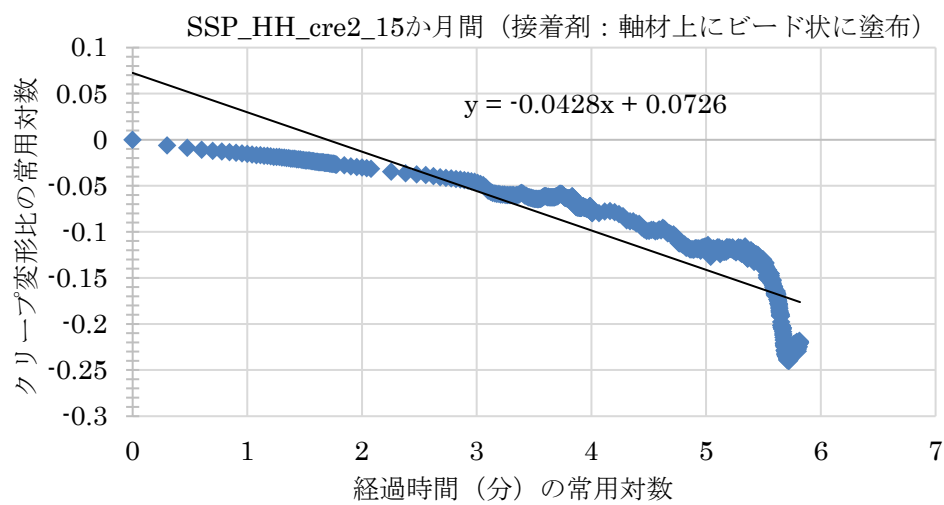


SSP_HH-cre1（15 か月間）の変形増大係数 $a_{50y}/a_{1m}=1.63$

図 2.101 経過時間とクリープ変形比の常用対数の関係（接着剤：全面塗布）



SSP_HH-cre2（12 か月間）の変形増大係数 $a_{50y}/a_{1m}=1.66$



SSP_HH-cre2（15 か月間）の変形増大係数 $a_{50y}/a_{1m}=1.76$

図 2.102 経過時間とクリープ変形比の常用対数の関係
（接着剤：軸材上にビード状に塗布）

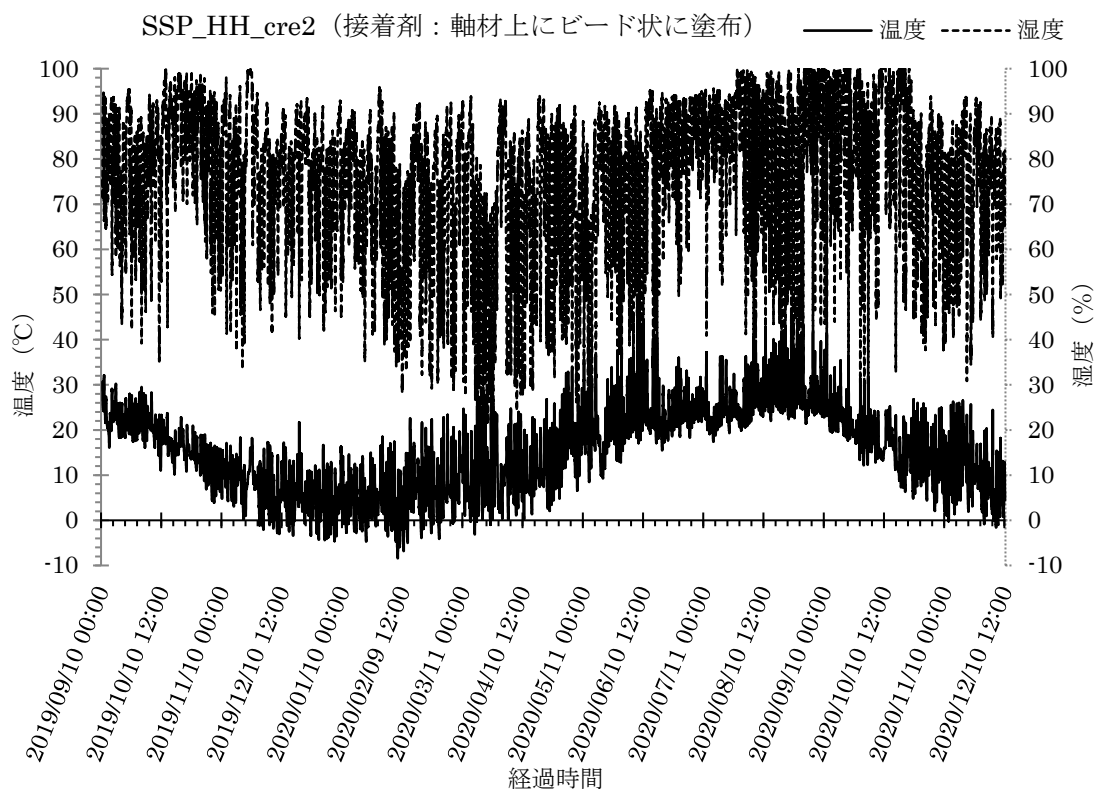
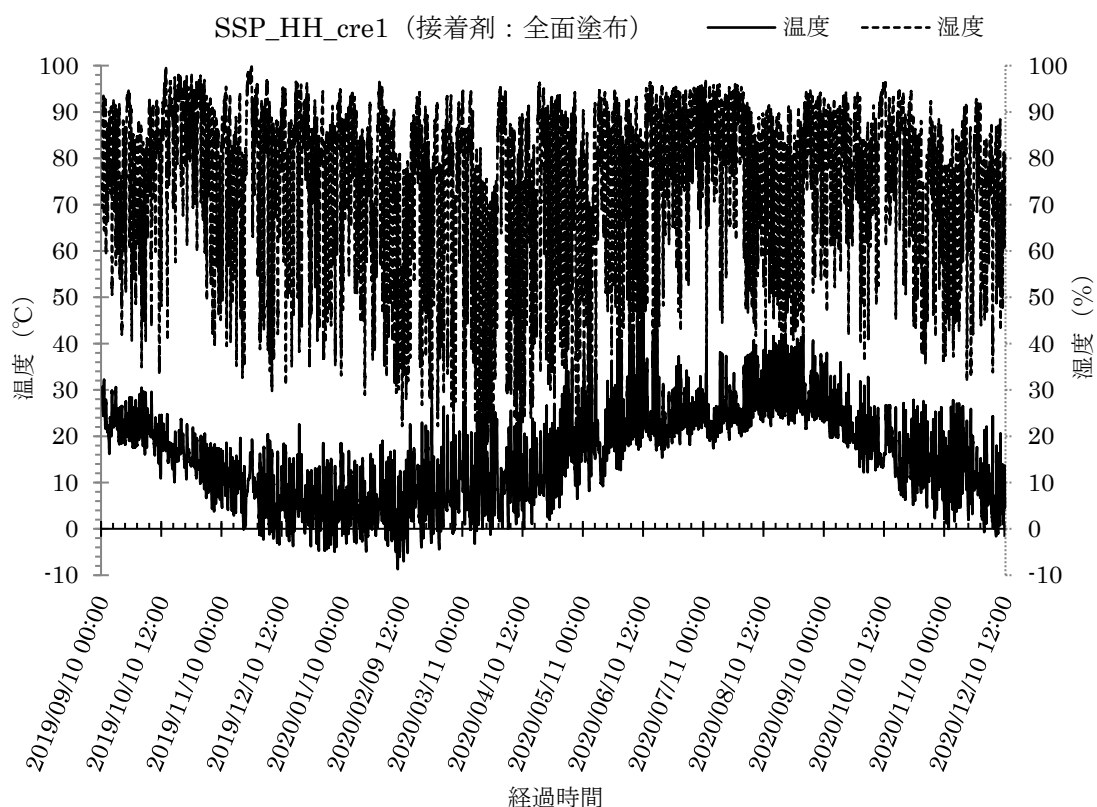


図 2.103 曲げクリープ試験時温湿度推移曲線

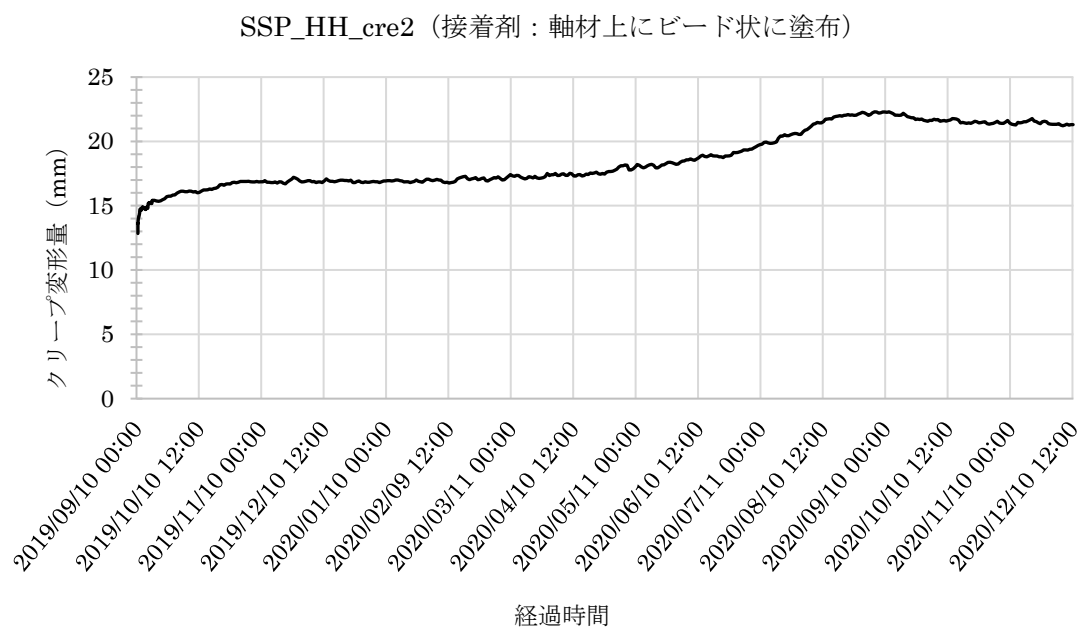
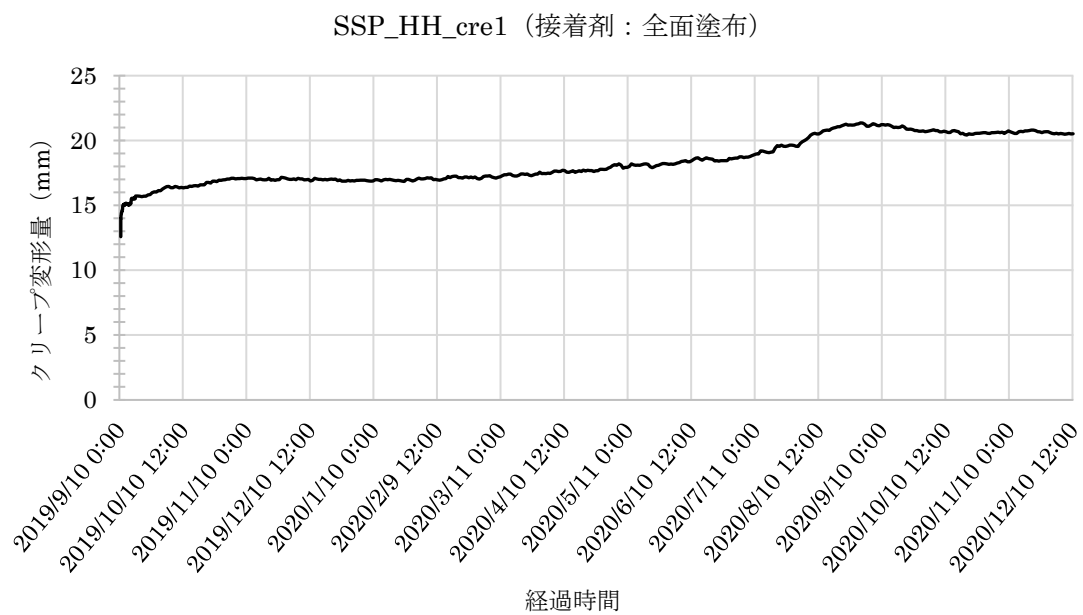


図 2.104 経過時間とクリープ変形量の関係



(a) SSP_HH_cre1 端部上フランジ



(c) SSP_HH_cre1 中央下フランジ



(b) SSP_HH_cre1 端部下フランジ

写真 2.73 クリープ試験期間 15 か月後の接着接合部の状況 (SSP_HH_cre1)
(接着剤：全面塗布)



(a) SSP_HH_cre2 端部上フランジ



(c) SSP_HH_cre2 中央下フランジ



(b) SSP_HH_cre2 端部下フランジ

写真 2.74 クリープ試験期間 15 か月後の接着接合部の状況 (SSP_HH_cre2)
(接着剤：軸材上にビード状に塗布)

2.11 フレーム解析によるフランジとウェブの接合方法の違いによるストレススキンパネル（SSP）の曲げ性能の検証

2.11.1 目的

SSP の実大曲げ試験の試験体 SSP_BS-3 は、図 2.105 に示すように木質構造用ねじにウレタン系接着剤を併用し、150mm 間隔で構造用合板厚 12mm の 3 枚重ねのフランジと集成材のウェブとを接合したものであった。接着剤を併用したことによる剛性向上の効果を確認するため、フランジとウェブの接合を接着剤とねじを併用した試験体 SSP_BS-3 をモデル化したものと、ねじのみでフランジとウェブを接合したもの及びウェブのみとしたものをモデル化し、それぞれフレーム解析を行い曲げ性能の検証を行う。

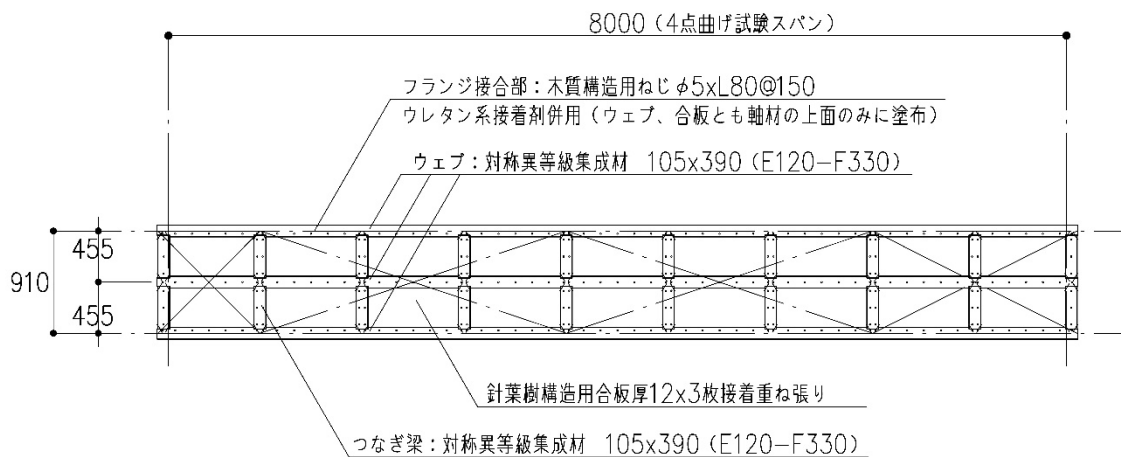


図 2.105 試験体 SSP_BS-3 の概要（単位：mm）

2.11.2 モデル化の概要

モデル化の概要を図 2.106 に示す。ねじと接着剤とを併用した試験体のモデル化について、12mm 厚の合板を 3 枚接着重ね張りしたフランジは 36mm 厚の 1 枚の合板とし、その引張剛性は表 2.18 の平行層ベイマツ、直交層スギの試験体 BSBSB×3 枚接着重ね張りの継目外側の場合の 50% 下限値である 6.73kN/mm^2 とし、フランジとウェブの接合は、接着剤により剛に接合されていると仮定し、ねじ間隔 150mm ごとにフランジとウェブを剛体連結とした。モデル名は SSP_BS-3A(cal) とした。一方、フランジとウェブの接合をねじのみとした場合のモデル化について、12mm 厚の合板の引張剛性は表 2.9 の平行層ベイマツ、直交層スギの試験体 BSBSB 単体の 50% 下限値である 7.45kN/mm^2 とし、フランジの合板どうし及びフランジ合板とウェブの接合部に木質構造用ねじの 1 面せん断剛性を考慮し、ねじ間隔 150mm ごとにその直列バネとした。ねじの 1 面せん断剛性は小林式⁴⁾ によるものとし、計算式及び計算結果を 2.11.2. (1) に示す。モデル名は SSP_BS-3B(cal) とした。両モデルとも、ウェブ材のヤング係数は、集成材の強度等級 E120-F330 より 12.0kN/mm^2 とした。フレーム解析で作用させた荷重値は、試験体 SSP_BS-3 の最大荷重と同じ 336kN とし、その 1/2 をスパンを 3 等分する 2 か所に作用させた。

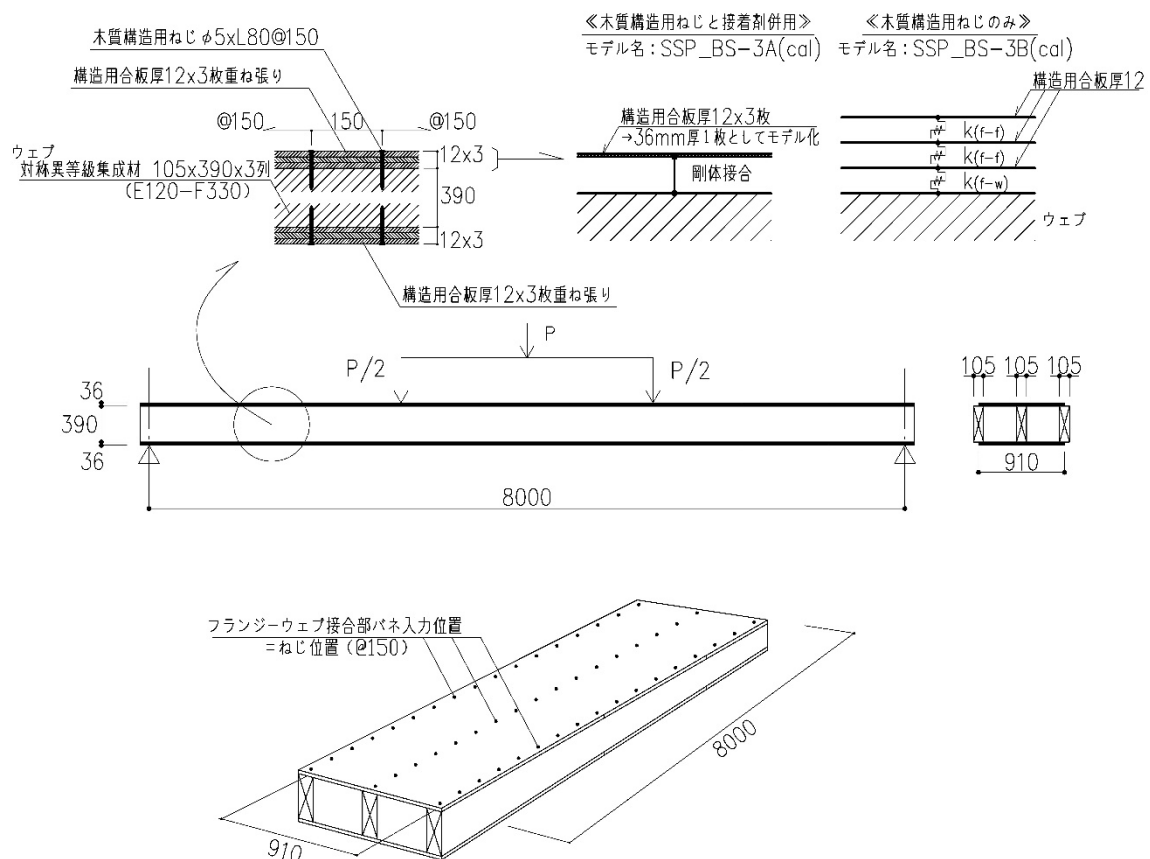


図 2.106 SSP のモデル化の概要 (単位 : mm)

2.11.2 (1) ねじ接合部の1面せん断剛性の算定⁴⁾

a) フランジ合板とウェブ材

$k_{(f-w)}$: ねじ接合部の1面せん断剛性 (フランジ合板 ($t=12\text{mm}$) とウェブ材 ($h=390\text{mm}$))

$$k_{(f-w)} = \frac{dk_1 t_{ef1} \alpha_{ef} \gamma \phi (1 + \alpha_{ef}^3 \gamma \phi)}{1 + 4\alpha_{ef} \gamma \phi + 6\alpha_{ef}^2 \gamma \phi + 4\alpha_{ef}^3 \gamma \phi + \alpha_{ef}^4 \gamma^2 \phi} \times 0.9 \quad \dots (2.16)$$

$$= 1124.0 \text{ N/mm}$$

ここで

主材側のねじ径 $d = d_1 = \min (1.1 \times \text{谷径}, \text{円筒部径}) = 3.8\text{mm}$

側材側のねじ径 $d_2 = \min (1.1 \times \text{谷径}, \text{円筒部径}) = 3.8\text{mm}$

$$\phi = d_2 / d_1 = 1.0$$

k_1 : 主材の面圧定数、文献4) の SPF の値を採用 ($=103.5\text{N/mm}^3$)

k_2 : 側材の面圧定数、文献4) の構造用合板 (ラーチ) の値を採用 ($=186.3\text{N/mm}^3$)

$$t_{ef1} = \min \left(t_1, \left(\frac{64EI_S}{k_1 d} \right)^{\frac{1}{4}} \right) \quad \dots (2.16.1)$$

t_1 : 主材厚 ($=390\text{mm}$)

E : 接合具のヤング係数 ($=205000\text{N/mm}^2$)

$$I_S = \pi d^4 / 64 = 10.24\text{mm}^4$$

$$\left(\frac{64EI_S}{k_1 d} \right)^{\frac{1}{4}} = 24.2\text{mm}$$

$$\therefore t_{ef1} = 24.2\text{mm}$$

$$t_{ef2} = \min \left(t_2, \left(\frac{64EI_S \phi^3}{k_2 d} \right)^{\frac{1}{4}} \right) \quad \dots (2.16.2)$$

t_2 : 側材厚 ($=12\text{mm}$)

$$\left(\frac{64EI_S \phi^3}{k_2 d} \right)^{\frac{1}{4}} = 20.9\text{mm}$$

$$\therefore t_{ef2} = 12\text{mm}$$

$$\alpha_{ef} = t_{ef2} / t_{ef1} = 0.5$$

$$\gamma = k_2 / k_1 = 1.8$$

b) フランジ合板どうし

$K_{(f-f)}$: ねじ接合部の 1 面せん断剛性 (フランジ合板 (t=12mm) とフランジ合板 (t=12mm))

$$K_{(f-f)} = \frac{dk_1 t_{ef1} \alpha_{ef} \gamma \phi (1 + \alpha_{ef}^3 \gamma \phi)}{1 + 4\alpha_{ef} \gamma \phi + 6\alpha_{ef}^2 \gamma \phi + 4\alpha_{ef}^3 \gamma \phi + \alpha_{ef}^4 \gamma^2 \phi} \times 0.9 \quad \dots (2.17)$$

$$= 955.7 \text{ N/mm}$$

ここで

主材側のねじ径 $d = d_1 = \min (1.1 \times \text{谷径}, \text{円筒部径}) = 3.8 \text{ mm}$

側材側のねじ径 $d_2 = \min (1.1 \times \text{谷径}, \text{円筒部径}) = 3.8 \text{ mm}$

$$\phi = d_2 / d_1 = 1.0$$

k_1, k_2 : 側材の面圧定数、文献 4) の構造用合板 (ラーチ) の値を採用 (=186.3N/mm³)

$$t_{ef1} = \min \left(t_1, \left(\frac{64EI_S}{k_1 d} \right)^{\frac{1}{4}} \right) \quad \dots (2.17.1)$$

t_1 : 主材厚 (=12mm)

E : 接合具のヤング係数 (=205000N/mm²)

$$I_S = \pi d^4 / 64 = 10.24 \text{ mm}^4$$

$$\left(\frac{64EI_S}{k_1 d} \right)^{\frac{1}{4}} = 20.9 \text{ mm}$$

$$\therefore t_{ef1} = 12 \text{ mm}$$

$$t_{ef2} = \min \left(t_2, \left(\frac{64EI_S \phi^3}{k_2 d} \right)^{\frac{1}{4}} \right) \quad \dots (2.17.2)$$

t_2 : 側材厚 (=12mm)

$$\left(\frac{64EI_S \phi^3}{k_2 d} \right)^{\frac{1}{4}} = 20.9 \text{ mm}$$

$$\therefore t_{ef2} = 12 \text{ mm}$$

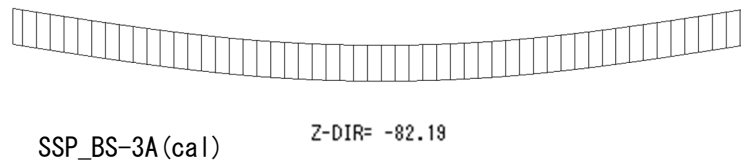
$$\alpha_{ef} = t_{ef2} / t_{ef1} = 1.0$$

$$\gamma = k_2 / k_1 = 1.0$$

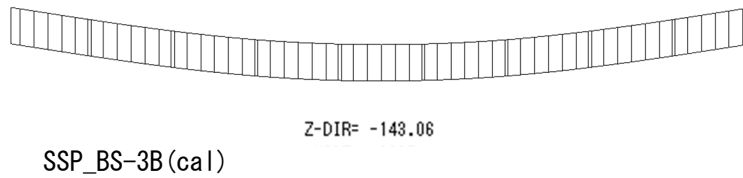
2.11.3 検証結果

図 2.107 にフレーム解析による変位図を示す。表 2.31 にフレーム解析の結果を示す。SSP_BS-3 (exp) は SSP の実大曲げ試験の値とする。SSP_BS-3A (cal) は、実大曲げ試験の試験体 SSP_BS-3 (exp) をモデル化したもので、木質構造用ねじに接着剤を併用してフランジとウェブを接合した箇所は、ねじ間隔 150mm ごとに剛体連結とした。SSP_BS-3B (cal) は、フランジとウェブの接合を接着剤を使用せず、ねじのみと想定してモデル化したもので、ねじの 1 面せん断剛性は小林式⁴⁾により求めた。SSP_web (cal) ウェブのみとした場合の値である。作用させた荷重値は、実大曲げ試験の試験体 SSP_BS-3 (exp) の最大荷重である 336kN とし、その 1/2 をスパンを 3 等分する 2 か所に作用させ、すべてのモデルにおいて同じ荷重値とした。

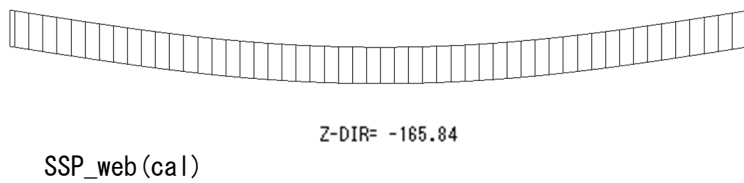
ウェブのみで荷重を負担しフレーム解析を行った SSP_web (cal) の初期剛性に対し、ねじに接着剤を併用した実大曲げ試験 SSP_BS-3 (exp) の初期剛性は約 2.3 倍であった。試験体をモデル化した SSP_BS-3A (cal) は実験値に近い値を示し、ウェブのみの場合の SSP_web (cal) の約 2.05 倍であった。ねじのみの場合の SSP_BS-3B (cal) は、ウェブのみの場合の SSP_web (cal) の約 1.15 倍であった。また、接着剤を併用した試験体をモデル化した SSP_BS-3A (cal) の初期剛性は、ねじのみの場合の SSP_BS-3B (cal) の約 1.78 倍 ($=4.1/2.3$) という高い値を示し、接着剤の併用による剛性の向上を確認できた。



midas iGen	
POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
Z-方向	
X-DIR=	0.00
NODE=	1
Y-DIR=	0.00
NODE=	1
Z-DIR=	-82.19
NODE=	3091
COMB.=	82.19
NODE=	3091



midas iGen	
POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
Z-方向	
X-DIR=	0.00
NODE=	1
Y-DIR=	0.00
NODE=	1
Z-DIR=	-143.06
NODE=	3095
COMB.=	143.07
NODE=	3116



midas iGen	
POST-PROCESSOR	
DEFORMED SHAPE	
Z-方向	
X-DIR=	0.00
NODE=	1
Y-DIR=	0.00
NODE=	1
Z-DIR=	-165.84
NODE=	3091
COMB.=	165.84
NODE=	3091

図 2.107 フレーム解析による変位図

表 2.31 実大曲げ試験及びフレーム解析による変位及び初期剛性

	試験体 又はモデル名	作用荷重 (kN)	変位量 (mm)	初期剛性 (kN/mm)	初期剛性の 比較
実験値	SSP_BS-3 (exp)	336.0	76.4	4.6	2.3
計算値	SSP_BS-3A (cal)		82.2	4.1	2.05
	SSP_BS-3B (cal)		143.1	2.3	1.15
	SSP_web (cal)		165.8	2.0	1.0

2.12 ストレストスキンパネル（SSP）の設計法

本研究で対象とする SSP は、建築基準法第 37 条に規定された指定建築材料のうちの木質接着複合パネルであり、ウェブ材としての集成材にフランジ材としての構造用合板を接着剤により複合構成したパネルである。その適合すべき日本工業規格又は日本農林規格及び品質に関する技術的基準が、平 12 建告 1446 号に示されている。この基準に適合した SSP を横架材として使用する場合、作用する応力に対し全断面有効として SSP を設計することになるが、基準を満足するための品質管理が必要となるため工場製作が基本となる。一方、建築現場で、ウェブ材にフランジ材を接着接合して SSP を製作することを想定した場合、曲げモーメント及びせん断力に対しては、フランジのストレストスキン効果は無視してウェブ材のみで負担するものとしてウェブ材の断面を検討し、たわみに対しては、フランジ材とウェブ材が一体となった複合断面として、フランジのストレストスキン効果を考慮に入れて検討を行うという設計法が考えられる。本研究では、クリープ試験に用いる試験体を、実験施設の現場で接着剤と木質構造用ねじを併用して組み立て、その試験体で 15 か月間のクリープ試験を行い、フランジを構成する合板どうし及びフランジとウェブの接着接合部に損傷はなく健全な状態を保っていたことを確認し、12 か月間におけるクリープ変形増大係数も 2 を下回っていることを確認しているため、たわみの検討においてフランジのストレストスキン効果を考慮に入れることは問題ないと考えられる。以下に、SSP の設計法について、工場製作と現場製作の場合について提案する。設計法は本研究により得られた知見及び文献 3) を参考にした。

(1) フランジ材（工場製作及び現場製作共通）

フランジに使用する面材は、厚さ 12mm の構造用合板とし、1 級又は 2 級の日本農林規格 (JAS) に適合したものとする。その許容引張応力度、引張ヤング係数及びローリングシアアの検討に用いる許容層内せん断応力度は、文献 17) に示された値を使用する。合板を構成する単板の樹種は、繊維方向がスパン方向と同じ向きである表板・裏板及び心板について、要素試験として行った 2 級の構造用合板単体の引張試験で、引張強さの 5% 下限値及び引張ヤング係数の 50% 下限値が文献 17) に示された 1 級の値以上であることが確認できたベイマツ又はヒノキが望ましい。2 級の構造用合板について、文献 17) では許容引張応力度及び引張ヤング係数の値が示されていないが、本研究における要素試験の結果より、表板・裏板及び心板の樹種がベイマツ又はヒノキであれば、文献 17) の 1 級の値を採用してよいと考えられる。

(2) ウェブ材（工場製作及び現場製作共通）

ウェブ材は、強度等級が示された JAS 集成材を使用する。

(3) SSPの組立（工場製作及び現場製作共通）

フランジに使用する面材は、厚さ 12mm の構造用合板 3 枚をスパン方向に 910mm ずつ継目をずらして、木質構造用ねじを併用して接着重ね張りする。そのとき、下フランジの最外装の合板の継目は、曲げ応力の小さい個所に設けるものとする。フランジ材として、構造用合板どうしの接着、またフランジ材とウェブ材の接着は、1 液型ポリウレタン系接着剤を使用する。接着剤に併用する木質構造用ねじは、ねじ部外径 5mm 以上、全長 80mm 以上のものとし、材質は JIS G3507-2 冷間圧造用炭素鋼線 SWCH22A に相当するものとする。図 2.4 の接着剤の接着強さの立ち上がりによると、168 時間（1 週間）で十分な接着強さを発現しており、接着剤の養生期間として 1 週間以上とすれば問題ないと考えられる。ただし、養生期間中の気温が 0℃以下にならない環境に置くものとする。

(4) SSPの等価断面二次モーメントの算定（工場製作及び現場製作共通）

フランジの有効幅は、式 (2.3) 及び式 (2.4) によるものとし、合板を 3 枚接着重ね張りした下フランジは、継目を考慮して最下層の合板を無効とし 2 枚分有効として、フランジとウェブが一体になったものとして断面二次モーメントを算定する。断面二次モーメントは、フランジのヤング係数を基準とする全断面の等価断面二次モーメントとする。

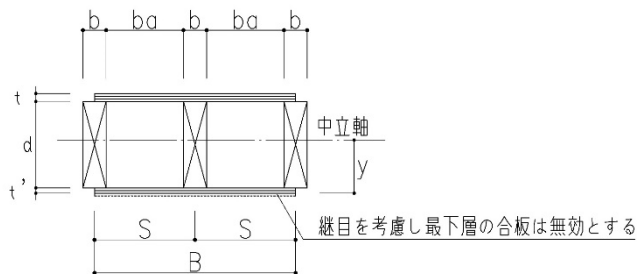


図 2.108 SSPの断面

- i) 合板の座屈防止のため、図 2.108 に示すウェブの内法間隔 ba が式 (2.3) を満たすことを確認

$$b_a \leq 36t \sqrt{t / t_0} \quad \dots (2.3)$$

t : 合板の厚さ (mm)

t_0 : スパン方向と同じ繊維方向の単板の厚さの和 (mm)

- ii) シアーラグを考慮したフランジの有効幅²⁾ b_e (mm)

$$b_e = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_0 \cdot S \quad \dots (2.4)$$

S : ウェブ間隔 (mm)

$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_0$: 各係数は 2.9.1 (2) の 2) による

(5) S S P の断面検討

- i) ウェブ集成材のみによる曲げ耐力 M_{a1} (N・mm) が S S P に作用する最大曲げモーメント M_{max} (N・mm) 以上であることの確認 (現場製作の場合)

$$M_{a1} = n \cdot Z \cdot f_b \quad \dots (2.18)$$

n : ウェブ本数 Z : ウェブ材の断面係数 (mm³)

f_b : ウェブ集成材の許容曲げ応力度 (N/mm²)¹⁷⁾

- ii) ウェブ集成材のみによるせん断耐力 Q_{a1} (N) が S S P に作用する最大せん断力 Q_{max} (N) 以上であることの確認 (工場製作及び現場製作共通)

$$Q_{a1} = \frac{f_s \cdot \Sigma b \cdot D}{1.5} \quad \dots (2.19)$$

f_s : ウェブ集成材の許容せん断応力度 (N/mm²)¹⁷⁾

Σb : ウェブ幅の合計 (mm)

D : ウェブ成 (mm)

- iii) フランジ合板の直交単板のローリングシアアに対するせん断耐力 Q_{a2} (N) が S S P に作用する最大せん断力 Q_{max} (N) 以上であることの確認 (工場製作及び現場製作共通)

$$Q_{a2} = \frac{f_r \cdot \Sigma b_r \cdot I_{\text{等}}}{S_f} \quad \dots (2.20)$$

f_r : ローリングシアアに対する許容層内せん断応力度 (N/mm²)¹⁷⁾

Σb_r : フランジ合板に接するウェブ幅の合計 (mm)

$I_{\text{等}}$: フランジのヤング係数を基準とする全断面の等価断面二次モーメント (mm⁴)

S_f : フランジ断面に対する断面一次モーメント (mm³)

- iv) 下フランジ合板の許容引張応力度による曲げ耐力 M_{a2} (N・mm) が S S P に作用する最大曲げモーメント M_{max} (N・mm) 以上であることの確認 (工場製作の場合)

$$M_a = \frac{f_t \cdot I_{\text{等}}}{y} \quad \dots (2.21)$$

f_t : フランジ合板の許容引張応力度 (N/mm²)¹⁷⁾

$I_{\text{等}}$: フランジのヤング係数を基準とする全断面の等価断面二次モーメント (mm⁴)

y : 中立軸から下端フランジ合板の継目を除く 2 枚目までの距離 (mm)

- v) S S P を一体断面として、フランジの曲げ剛性 (EI_f) とウェブの曲げ剛性 (EI_w) を考慮して求めたたわみ量 (mm) に変形増大係数 2 を乗じた値 (mm) が、スパン L (mm) の 1/300 以下、かつ 20mm 以下であることの確認 (工場製作及び現場製作共通)

2.13 ストレストスキンパネル（SSP）の曲げ性能の検証のまとめ

① 構造用合板単体の引張試験の結果、SSPのフランジ材として適当な構造用合板は、単板構成が5層5プライの場合、表層および中央層の単板にベイマツまたはヒノキを使用した合板であると考えられる。引張強さの50%下限値が最も大きい試験体はHHHHHであり、次いでHSHSH、BSBSBであった。引張ヤング係数の50%下限値が最も大きい樹種はBSBSBであり、次いでKSSSK、HSHSHという順になった。この要素試験の結果から、SSPのフランジ材として、ヤング係数が最も高く、引張強さも十分なBSBSB及び引張強さの50%下限値が最も大きいHHHHHを採用することとした。

② 試験体BSBSB3枚接着重ね張り、継目外側の引張試験において、荷重を3枚分の断面積及び2枚分の断面積で負担した場合の引張強さの50%下限値は、いずれも構造用合板1級の引張強さの規準値を満たしたが、5%下限値で比較すると、荷重を3枚分の断面積で負担した場合の引張強さが規準値を下回ったが、継目を有する合板を無効とし2枚分のみ有効とすれば上回る結果となった。

また、試験体HHHHH3枚接着重ね張り、継目外側の引張試験において、荷重を3枚分の断面積で負担した場合の引張強さの50%下限値は、構造用合板1級の引張強さの規準値を下回った。また、荷重を3枚分の断面積で負担した場合の引張強さの5%下限値は、継目中央、外側とも規準値を下回る結果となったが、継目を有する合板を無効とし2枚分のみ有効とすれば規準値を上回る結果となった。

SSPの設計においては、継目を有する合板は無効として、2枚分の合板をSSPのフランジ材として考慮すれば、安全側の設計となる。また、合板をSSPのフランジ材とする場合、外側の合板の継目は、曲げ応力が比較的低い箇所に設ける等の配慮が必要である。

引張試験における引張ヤング係数は、BSBSB3枚接着重ね張り及びHHHHH3枚接着重ね張り引張試験とも、文献17)による構造用合板1級の引張ヤング係数に対して、全ての試験体で上回った。

③ BSBSB単体の引張試験では、主に節部を起点に引張破壊し、引張強さは節の影響を大きく受けたと考えられる。その節部が合板を重ね張りすることで補強された形となり、3枚接着重ね張りの引張強さは、単体のそれを上回ったと考えられる。一方、ヒノキ合板単体の引張試験では、節部で引張破壊した試験体は少なく、引張強さは節部の影響をあまり受けていないと考えられる。そのため、3枚接着重ね張り引張試験では、引張強さが増大することなく、継目中央の試験体で荷重を2枚分の断面積で負担した場合の引張強さと単体の引張強さがほとんど同じ値になったと考えられる。

④ SSP_BS 及び SSP_HH の実大曲げ試験において、各試験体共、荷重変位曲線は、明確な降伏点を示すことなく最大荷重までほぼ弾性状態で推移し、破壊に至るといった脆性的な破壊であった。SSP_BS のうち、最大荷重及び初期剛性において最も高い値を示したのは、コテを使用しウェブとフランジ材の 3 枚重ねの合板の全面に接着剤を塗布した SSP_BS-1 であった。接着剤の塗布方法を簡略化した SSP_BS-2 及び SSP_BS-3 は、SSP_BS-1 よりも低い値を示した。この接着剤の塗布方法の違いが、合板と集成材による複合材料としての一体化の度合いに影響し、実大曲げ試験における初期剛性及び最大荷重の違いに現れたと考えられる。

⑤ SSP_BS のうち最も低い値を示した試験体 SSP_BS-2 が、文献 17) による構造用合板 1 級の長期許容引張応力度による最大荷重の約 3.4 倍、SSP_HH が、同じく構造用合板 1 級の長期許容引張応力度による最大荷重の約 4.4 倍であり、実用上十分な強度を有していることがわかった。

⑥ 初期剛性を計算する際のフランジの有効幅は菊池式²⁾によったが、SSP_BS 及び SSP_HH ともすべての試験体で計算値を上回る結果となった。このことは、合板同士を接着する接着剤は、ビスを施工するウェブの上に接着剤が塗布されていれば、合板どうしが全面に接着されていなくてもフランジの有効幅としてそれぞれが引張力を負担するということを示していると考えられ、3 枚接着重ね張りにおける接着剤の塗布方法を合板の全面又はウェブ上のみとしても、フランジの有効幅の算定において菊池式²⁾を適用できると考えられる。よって、接着剤の塗布方法として、最も簡略化した SSP_BS-3 の仕様でも問題ないと考えられる。

⑦ クリープ試験の試験体 SSP_HH-cre1 は、接着剤をコテを用いて全面に塗り広げたものであり、SSP_HH-cre2 は、接着剤をコテを用いずビード状のままウェブ等の軸材上のみに塗布したものである。載荷 1 分後の変形量は SSP_HH-cre1 で 13.28mm、SSP_HH-cre2 で 12.84mm であり、式(2.15)による計算値の 11mm を少し上回る値となっている。クリープ試験開始から 12 か月間におけるデータによるクリープ変形増大係数は、試験体 SSP_HH-cre1 で 1.56、SSP_HH-cre2 で 1.66 であった。また、15 か月間におけるデータによるクリープ変形増大係数は、試験体 SSP_HH-cre1 で 1.63、SSP_HH-cre2 で 1.76 であり、すべての期間で 2 を下回っている。SSP_HH-cre1 と SSP_HH-cre2 とではクリープに対する断面性能として大きな差はないと判断できるため、接着剤の塗布方法は簡略化した SSP_HH-cre2 の仕様でも問題ないと考えられる。また、15 か月間の試験終了時のフランジとウェブを接合した接着剤の状態は良好な状態を保っており、ウレタン系接着剤は、SSP の製作に使用する接着剤として、性能的に問題ないと考えられる。

⑧ フランジとウェブの接合部において、接着剤と木質構造用ねじを併用した場合と木質構造用ねじのみの場合をそれぞれモデル化しフレーム解析を行い、初期剛性の比較をした。その結果、接着剤を併用した場合の初期剛性は、ねじのみの場合の約 1.78 倍であり、接着剤の併用による剛性の向上を確認できた。

⑨ 本研究により得られた知見及びフランジの有効幅を菊池らの算定式²⁾を用いた、稲山のSSPの断面性能の算定式³⁾を基に、SSPの設計法を工場製作の場合と現場製作の場合とに分けて提案した。工場製作の場合、曲げモーメント及びせん断力に対し、SSPのフランジ及びウェブが一体となった複合断面として有効に働くものとして断面の検討を行うこととした。現場製作の場合は、フランジのストレススキン効果は無視してウェブ材のみで負担するものとした。たわみに対しては、15 か月間のクリープ試験で接着剤は健全な状態であったこと及びクリープ変形増大係数が2を下回っていたことからフランジとウェブが一体となった複合断面として検討を行うこととした。

2.14 第2章 参考文献

- 2) 菊池重昭, 梶川久光, 三津橋歩: 面外方向曲げを受ける木質接着パネル構法の有効幅に関する研究, 日本建築学会構造系論文集第 614 号, pp. 77-84, 2007. 4
- 3) 稲山正弘: 中大規模木造建築物の構造設計の手引き 改定版, 彰国社, pp. 70-71, 2019. 8
- 4) 小林研治, 稲山正弘, 安藤直人: 構造用面材を側材に用いたビス接合部における一面せん断剛性・耐力推定式の提案, 日本建築学会構造系論文集 622 号, pp. 121-128, 2007. 12
- 5) 杉山英男, 杉沢正通, 鈴木克臣: 合板を接着した木質ストレススキン・パネルの曲げ剛性とその影響因子に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集第 203 号, pp. 13-23, 1973. 1
- 6) 安藤直人: 合板張りストレス・スキン・パネルの強度性状と振動性状, 東京大学学位 (博士) 論文, 1985. 12
- 7) 菊池重昭: 接合面のスリップによる木質ストレス・スキン・パネルの曲げ性状について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp2065-2066, 1982. 10
- 8) 小川佳寛, 稲山正弘, 安藤直人, 川元満夫, 藤田和彦, 成田敏基, 李元羽: L V L で構成されたストレススキンプネルの曲げ性能, 第 15 回木質構造研究会技術発表会 技術報告集, pp. 1-4, 2011. 12
- 9) 藤田和彦, 稲山正弘, 李元羽, 成田敏基: 単板積層材ストレススキンプネルのクリープ特性 その 1 実大部材の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp347-348, 2014. 9
- 10) I. Robert Kliger, Patrick J. Pellicane, Member, ASCE: SHEAR PROPERTIES OF COMPONENTS USED IN STRESSED-SKIN PANELS, JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING, pp. 77-82, 1996. 5
- 11) Christophe Daniel Gerber: WOOD STRESSED-SKIN PANELS: AN INVESTIGATION INTO THEIR BEHAVIOUR, LOAD DISTRIBUTION AND COMPOSITE PROPERTIES, Doctor of Philosophy, University of Technology Sydney, Part1, pp. 103-196, Part2, pp. 8-44, 2007
- 12) BS EN 1995-1-1: 2004-11+A1: Eurocode 5: Design of timber structures, p. 39, pp. 89-90, 2008. 6
- 13) 塔村真一郎: 構造用木質材料に使用される接着剤の性能とその評価法, 木材学会誌 Vol. 62, No. 2, pp. 27-41, 2016
- 14) Marra, M., Negri, M., Guercini, S., Ceccotti, A.: Assessment process of a new structural PUR adhesive, WCTE2012 Vo. 1, Auckland, 2012, pp. 482-486
- 15) パネリード II TECHNICAL DATA SHEET, シネジック (株)
- 16) パネルボンド K U、PRODUCT GUIDE & TECHNICAL DATA, コニシ (株), 1996. 8
- 17) 木質構造設計規準・同解説第 4 版, 日本建築学会, pp. 408-412, 2006. 12

- 18) 構造用木材の強度試験マニュアル, 日本住宅・木材技術センター, pp. 49-58, 2011. 3
- 19) 2018 年枠組壁工法建築物 構造計算指針, 日本ツーバイフォー建築協会, pp. 277-278, 2018. 11
- 20) 玉澤基良, 稲山正弘, 青木謙治, 落合陽, 河原大, 大塚紘平: 一般流通材により構成されたストレススキンパネルの曲げ性能の検証, 日本建築学会技術報告集 第 61 号, pp. 1115-1120, 2019. 10

第3章 住宅用の一般流通材で構成された たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能の検証

第3章 目次

3.1	たすき掛け筋かい耐力壁の研究の背景	128
3.2	既往の研究	129
3.3	本章における論文の構成	131
3.4	研究対象とするたすき掛け筋かい耐力壁の概要及び試験方法	133
3.5	筋かい耐力壁の面内せん断試験に使用した筋かい金物の概要	137
3.6	第1期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験	
3.6.1	試験体の概要	139
3.6.2	試験体LSの面内せん断試験	141
3.6.3	試験体LDの面内せん断試験	146
3.6.4	試験体HSの面内せん断試験	151
3.6.5	試験体HDの面内せん断試験	156
3.6.6	第1期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察	162
3.6.7	第1期面内せん断試験における補強必要個所の検討	163
3.6.8	第1期面内せん断試験における各部の変位による変形の 全体の変形角に対する割合	164
3.6.9	第2期面内せん断試験に向けた補強内容の検討	168
3.7	第2期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験	
3.7.1	試験体の概要	169
3.7.2	試験体NLSの面内せん断試験	172
3.7.3	試験体NHDの面内せん断試験	177
3.7.4	第2期二つ割筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察	182
3.7.5	第2期面内せん断試験における各部の変位による変形の 全体の変形角に及ぼす割合	183
3.7.6	第2期面内せん断試験における補強効果についての考察	184
3.8	第3期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験	
3.8.1	試験体の概要	185
3.8.2	試験体NLS-Rの面内せん断試験	186
3.8.3	第3期面内せん断試験の結果と考察	190

3.9	第4期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験	
3.9.1	試験体の概要	191
3.9.2	試験体 RLS の面内せん断試験	194
3.9.3	試験体 RHD の面内せん断試験	199
3.9.4	第4期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察	204
3.10	柱同寸及び三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験	205
3.10.1	柱同寸たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験	
	試験体の概要	206
3.10.2	試験体 NCLS の面内せん断試験	208
3.10.3	試験体 NCHD の面内せん断試験	213
3.10.4	柱同寸たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察	218
3.11	三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験	
3.11.1	試験体の概要	219
3.11.2	試験体 RCLS の面内せん断試験	223
3.11.3	試験体 RCHD の面内せん断試験	228
3.11.4	三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察	233
3.12	フレーム解析による筋かい耐力壁の性能の検証	234
3.12.1	フレーム解析用水平力の算定	234
3.12.2	筋かい耐力壁試験体のモデル化の概要	235
3.12.3	モデル化における接合部の剛性の概要	238
3.12.4	接合部の剛性の一覧	242
3.12.5	フレーム解析の結果	
3.12.5 (1)	変位図及び荷重-変形角曲線	246
3.12.5 (2)	各部材の軸力	252
3.12.6	筋かい耐力壁の性能を担保するために必要な各部の性能	
3.12.6 (1)	筋かい耐力壁を構成する柱、横架材、筋かいの材料	260
3.12.6 (2)	引張筋かい端部の接合金物の剛性	263
3.12.6 (3)	筋かい軸力の補正	265
3.12.6 (4)	二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの必要断面性能	267
3.12.6 (5)	筋かい耐力壁の性能を担保するためのたすき掛け交点の補強	272
3.12.6 (6)	筋かい耐力壁の性能を担保するための筋かい金物の引張耐力	276
3.12.6 (7)	ホールダウン (HD) 金物の性能	277

3.12.7 (1) ホールダウン (HD) 金物の内付けと外付けの場合の	
面内せん断試験における筋かい耐力壁の面内せん断性能の違い (1)	・ ・ ・ 278
3.12.7 (2) ホールダウン (HD) 金物の内付けと外付けの場合の	
面内せん断試験における筋かい耐力壁の面内せん断性能の違い (2)	・ ・ ・ 280
3.12.8 柱脚の土台へのめり込み低減を考慮して柱脚を改良した場合の	
	初期剛性の検証 ・ ・ ・ 282
3.13 筋かい耐力壁の設計法	・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ 283
3.14 たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能性能の検証のまとめ	・ ・ ・ ・ ・ 286
3.15 第3章 参考文献	・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ 288

3.1 たすき掛け筋かい耐力壁の研究の背景

中大規模木造建築物に筋かい耐力壁が採用される場合、筋かい材に施行令 46 条に規定された二つ割材や三寸角材などより大きい中断面以上の材を使用し、筋かい端部の接合に特注の筋かい金物を使用することがある。施行令 46 条に規定された断面寸法及び既製の筋かい金物では、設計上要求される所定の耐力を確保できないからである。しかし、それが材料のコスト高及び加工と施工の手間につながり、中大規模木造建築物の普及に対する障壁の一つとなっている。本研究では、施行令 46 条に規定され、主に住宅などで使用される二つ割材や三寸角材及び柱同寸材を既製の筋かい金物で軸組に接合した筋かい耐力壁を研究対象とした。これらの筋かい材や筋かい金物は一般流通材であるため材料費が安価であることや施工性の良さから、中大規模木造建築物に採用することができれば、これらの木造建築物が普及すると考えられる。また、特殊な加工や高度な施工技術を必要としないため、高価な特殊加工機を持たない一般のプレカット工場や、主に住宅などを施工している工務店などが、中大規模木造建築物の施工に参入することが可能となる。これにより、木造建築業界において住宅建築から中大規模木造建築物にまでその野を広げることができ、さらには林業の発展にも寄与できると考えられる。

しかしながら、二つ割筋かいの場合、階高が 3m 未満の住宅程度であれば問題ないが、中大規模建築物では階高が 3m 以上となることが多く、その場合、施行令第 46 条に定められた壁倍率相当の性能が得られないことが、守屋らの研究で報告されている²¹⁾。また、三寸角筋かいの場合、階高が 3m 未満であっても、施行令第 46 条に定められた壁倍率の性能が得られないことが、鈴木らの研究で報告されている²²⁾。本研究では、施行令 46 条に規定され、主に住宅などで使用される二つ割材や三寸角材及び柱同寸材を既製の筋かい金物で軸組に接合した筋かい耐力壁の壁倍率を比較対象とし、壁高さが 3m 以上であっても、一般流通材を使用し所定の壁倍率相当の性能を確保するために必要な部材の断面性能及び接合部の性能について検証し、靱性のある筋かい耐力壁の設計法を提案した。

3.2 既往の研究

守屋らは、面内せん断試験により、断面が 45mm×90mm の二つ割筋かい耐力壁の場合、壁高さが 3000mm 以上では施行令 4 6 条の壁倍率を下回ること²¹⁾、また筋かい金物の種類の違いが長尺筋かい耐力壁のせん断性能に影響を及ぼすことを示した。長尺筋かい耐力壁にプレート型の筋かい金物を使用した場合、引張、圧縮いずれの方向においても要求性能を満足したが、ボックス型を同様の長尺筋かい耐力壁に使用した場合は、引張、圧縮いずれの方向においても要求性能を下回ることを明らかにし、要求性能を満足させるためには、引張方向では接合具の補強、圧縮方向については筋かいの座屈補剛の必要性を示した²³⁾。また、鈴木らは、断面が 90 度のたすき掛け筋かいでは、階高 3m 以下であっても施行令第 46 条に定められた壁倍率の性能が得られないことを示した²²⁾。

成田らは筋かいの座屈試験により、筋かいの曲げヤング係数は座屈荷重、破壊荷重及び変形能に、端部接合金物の相違は座屈荷重及び変形能に材料の相違は変形能に影響を及ぼすことを明らかにし、材料によらず筋かいの曲げヤング係数、筋かいの端部接合により筋かい耐力壁のせん断性能を設計できる可能性を示した²⁴⁾。

中川らは、筋かいの品質の差異が耐力壁の性能に影響を及ぼすことを、断面が 45mm×90mm の二つ割筋かいの面内せん断試験により明らかにし、性能の高い順に、ベイマツ KD-E110、おうしゅうあかまつ E95-F315、ベイツガ KD 無等級、スギ KD-E70、LVL ラジアータパイン 90Eであることを示した²⁵⁾。

本研究では、壁高さが 3000mm を超える場合でも施行令 46 条の壁倍率相当のせん断性能を担保するために必要な、筋かい耐力壁を構成する各部材の断面性能及び接合部の剛性について、筋かい耐力壁の面内せん断試験及び試験体をモデル化したフレーム解析により示した。

村上らは、2 面せん断試験により、筋かい端部木口面と横架材または柱側面間の摩擦係数が 0.4 を確保されていることを確認した。また、柱と筋かいのなす角度 β が摩擦係数以下となる場合は、筋かいから柱側面にはせん断力は作用せず、その場合の圧縮筋かい接合部の耐力は、ほぞ金具接合部の引張耐力から力のつり合いのみで決まることを 1P の試験で確認した²⁶⁾。

本研究では筋かい耐力壁の壁長を 1P (910mm から 1000mm まで) に制限することで柱脚及び柱頭のほぞにせん断力を作用させないようにした。

藤澤らは、壁高さが 3000mm を超えた 3042.5mm の圧縮方向の片筋かい（LVL：カラマツ 100E）の面内せん断試験で、面材及び間柱による筋かいの拘束効果を考慮することにより、施行令 46 の壁倍率を満たすことを確認した²⁷⁾。

本研究では、圧縮筋かいの面外変形を引張筋かいが抑制するために必要なたすき掛け筋かいの交点の接合部の性能を示した。

五十田らは、「異なる変形性能を持つ壁が同一構面にある場合の評価について、最大荷重以降急激に荷重が低下しない靱性のある壁は、現行の壁倍率評価法によって、構造用合板の壁と同程度の安全性が確保できる。」ということを示した²⁸⁾。

本研究では、施行令 46 条相当の性能として必要とされる最大荷重に対し、筋かい耐力壁を構成する各部材の断面性能及び靱性に配慮した接合部の設計法を示すことで、構造用合板などの面材耐力壁と併用可能な靱性に配慮した筋かい耐力壁の設計法を提案した。

3.3 本章における論文の構成

「3.1」では、たすき掛け筋かい耐力壁の研究の背景について述べた。

「3.2」では、既往研究に対する本研究の位置づけについて述べた。

本節「3.3」では、本章における論文の構成について述べている。

「3.4」では、研究対象とするたすき掛け筋かい耐力壁の概要及び試験方法について述べた。

「3.5」では、筋かい耐力壁の面内せん断試験に使用した筋かい金物について述べた。

「3.6」では、全4期に分けて実施した二つ割筋かい耐力壁の試験のうち、第1期として、平12 建告 1460 号に則った二つ割筋かい耐力壁の面内せん断性能を確認することを目的として、柱・筋かい・横架材の3点留めのボックス型の筋かい金物を使用して実施した面内せん断試験の結果及び考察について述べた。

「3.6.7」、「3.6.8」では、筋かい耐力壁の効果的な改良箇所を判断するため、第1期の試験結果より全体の変形角に影響を及ぼす各部の変位による変形角のうち主要な部分を求めた。

「3.7」では、第2期として、「3.6.9」による改良を施した二つ割筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果及び考察について述べた。第2期では柱・筋かい・横架材の側面3点留めのフラットプレート型の筋かい金物を使用した。

「3.7.5」、「3.7.6」では、改良を施した二つ割筋かい耐力壁の面内せん断試験において、各部の変位による変形角の全体の変形角に対する割合を確認し、補強効果についての考察を述べた。

「3.8」では、「3.7」で実施した試験のうち所定の性能を得られなかった二つ割たすき掛け1段筋かい試験体NLSについて、第3期としてホールダウン(HD)金物の取り付け位置を柱の内付けから外付けに変更した試験体で実施した面内せん断試験の結果及び考察について述べた。

「3.9」では、第4期の試験として、第2期及び第3期で使用した柱・筋かい・横架材の側面3点留めのフラットプレート型の筋かい金物を柱・筋かいの2点留めのL型の金物に変更して実施した試験の結果及び考察について述べた。

「3.10」では、柱同寸及び三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の背景について述べ、柱同寸筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果及び考察について述べた。柱同寸筋かい耐力壁の試験では、二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の第2期の試験体に使用した筋かい金物と同じ柱・筋かい・横架材の側面3点留めのフラットプレート型の金物を、柱同寸筋かいを挟むようにして2枚使用した。

「3.11」では、三寸角筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果及び考察について述べた。三寸角筋かい耐力壁の試験では、二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の第4期の試験体に使用した筋かい金物と同じ、柱・筋かいの2点留めのL型の金物に加えて、ねじ部の外径が6mm、長さが150mmの木質構造用ねじ2本を併用し筋かいから柱に向けて打ちつけた。

「3.12」では、筋かい耐力壁の試験体をモデル化しフレーム解析を行った。「3.12.2」で、モデル化の概要について述べた。

「3.12.5 (1)」では、筋かい耐力壁の面内せん断試験の初期剛性とフレーム解析による初期剛性を比較した。

「3.12.6 (1)」では、筋かい耐力壁の性能を担保するための柱、横架材、筋かいの材料について述べた。

「3.12.6 (2)」では、筋かい耐力壁の性能を担保するための筋かい端部接合部の筋かい金物の剛性について述べた。

「3.12.5 (2)」、「3.12.6 (3)」では、筋かいに作用する軸力を面内せん断試験の結果とフレーム解析の結果から求め、それを基に、「3.12.6 (4)」で筋かい断面、「3.12.6 (5) ii」で柱同寸・三寸角たすき掛け筋かいの合い欠き部の性能を検証した。

「3.12.6 (5) i」では、二つ割筋かい耐力壁の面内せん断試験において計測した筋かい交点の面外変位より、交点の補強性能について検証した。

「3.12.6 (6)」では、筋かい耐力壁の性能を担保するための筋かい金物の引張耐力について述べた。

「3.12.6 (7)」では、ホールダウン (HD) 金物に作用する軸力を面内せん断試験の結果とフレーム解析の結果から求め、それを基に HD 金物に必要とされる性能について検証した。

「3.12.7 (1)」では、HD 金物を柱の内付けにした NLS と外付けにした NLS-R の場合の面内せん断性能の違いについて試験の結果を基に検証した。

「3.12.7 (2)」では、面内せん断試験の真の変形角から求めた壁のみの回転剛性とめり込み式²⁹⁾から求めた壁脚部の回転剛性とを直列バネとした壁全体の回転剛性を、HD 金物を柱の内付けにした NLS と外付けにした NLS-R のそれぞれについて求め、比較検証した。

「3.12.8」では、柱脚の土台へのめり込み低減を考慮して柱脚を改良した場合の初期剛性について検証した。

「3.13」では、「1. 筋かい耐力壁を構成する柱、横架材、筋かいの材料」、「2. 引張筋かい端部の接合金物の剛性」、「3. 二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの断面寸法」、「4. 二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいのたすき掛け交点の補強性能」、「5. ホールダウン (HD) 金物の性能」、「6. 柱脚部の性能」の検証結果及びその方法に基づいて、靱性を有する筋かい耐力壁の設計法について提案した。

3.4 研究対象とするたすき掛け筋かい耐力壁の概要及び試験方法

研究対象とする筋かい耐力壁は、断面が 45mm×90mm 以上の二つ割材と 90mm 角の三寸角材及び 105mm 角以上の柱同寸材をたすき掛けにしたものとした。二つ割と三寸角及び柱同筋かい耐力壁とも壁高さを 3.0m から 4.5m とし、それぞれ 1 段タイプと 2 段タイプのものとした。壁高さ 3.0m と 3.185m の筋かい耐力壁を 1 段とし、4.4m と 4.5m の筋かい耐力壁を 2 段とした。二つ割筋かい耐力壁の試験は 4 期に分けて行った。各期の試験体の概要を図 3.1 から図 3.4 に示す。またその仕様を表 3.2、表 3.13 及び、表 3.20 及び表 3.24 に示す。第 1 期における試験体の高さは、文献 30) で規定された筋かい耐力壁の幅高さ比の制限 ($H/L \leq 3.5$) より決定される最大高さ $H = 3.185\text{m}$ と施行令 43 条に規定された柱の有効細長比の制限値 ($\lambda = 150$) より決定される柱 105mm 角の場合の最大高さ $H = 4.5\text{m}$ の 2 種類とした。試験体符号は、壁高さ 3.185m の 1 段タイプを LS、同 2 段タイプを LD とした。また、壁高さ 4.5m の 1 段タイプを HS、同 2 段タイプを HD とした。第 1 期では、柱・筋かい・横架材の 3 点留めのボックス型の筋かい金物をすべての試験体に使用した。壁長については、柱頭及び柱脚のほぞに水平方向のせん断力を作用させないように、圧縮筋かいの突き上げによる摩擦力を期待し、柱と筋かいのなす角度 β が小さい 1P (910mm) の長さとした。第 1 期では、平 12 建告 1460 号に則った筋かい耐力壁の面内せん断性能を確認することを目的として試験を行った。試験結果より施行令 46 条の壁倍率に満たなかった試験体について、改良すべき点を見出して改良を施し、2 期目の試験として壁高さ 3.0m の 1 段タイプと壁高さ 4.5m の 2 段タイプの試験を行った。試験体符号は、壁高さ 3.0m の 1 段タイプを NLS とし、壁高さ 4.5m の 2 段タイプを NHD とした。さらに、3 期目の試験として壁高さ 3.0m の 1 段タイプについて、2 期目の試験体で柱の内側に取り付けていたホールダウン金物(以下、HD 金物)を柱の外側に取り付け、面内せん断性能の違いについて検証した。試験体符号は NLS-R とした。第 2 期及び第 3 期では、柱・筋かい・横架材の側面 3 点留めのフラットプレート型の筋かい金物をすべての試験体に使用した。第 4 期の試験として壁高さ 3.0m の 1 段タイプと壁高さ 4.4m の 2 段タイプの試験を行った。試験体名は、壁高さ 3.0m の 1 段タイプを RLS とし、壁高さ 4.4m の 2 段タイプを RHD とした。第 4 期では、筋かい金物を、柱・筋かいの 2 点留めの L 型のものとし、筋かい金物の違いによる、筋かい耐力壁の性能の違いを検証した。

柱同寸筋かい耐力壁は、二つ割筋かい耐力壁の第 2 期で使用した壁倍率 2 倍用の柱梁筋かい 3 点留めの側面取付フラットプレートタイプと同様のものを使用しその金物を柱同寸筋かいの両面に取り付けた。試験体の仕様を表 3.31 に示す。試験体符号は、壁高さ 3.0m の 1 段タイプを NCLS とし、壁高さ 4.5m の 2 段タイプを NCHD とした。三寸角筋かい耐力壁は、二つ割筋かい耐力壁の第 4 期で使用した壁倍率 2 倍用の柱・筋かいの 2 点留めの L 型の筋かい金物と同様のものを使用し、それに加えてねじ部の外径が 6mm、長さが 150mm の木質構造用ねじ 2 本を筋かいから

柱に向けて打ちつけた。試験体の仕様を表 3.36 に示す。試験体符号は、壁高さ 3.0m の 1 段タイプを RCLS とし、壁高さ 4.4m の 2 段タイプを RCHD とした。

試験は文献 30) の試験方法に則り柱脚固定式で行った。試験体数はタイプ毎に 3 体とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が、 $1/450$, $1/300$, $1/200$, $1/150$, $1/100$, $1/75$, $1/50$ の正負変形時とし、繰り返し回数は同一変形段階で 3 回とした。加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80% の荷重に低下するまで加力するかまたは、見かけのせん断変形角が $1/15\text{rad}$ 以上に達するまで行った。

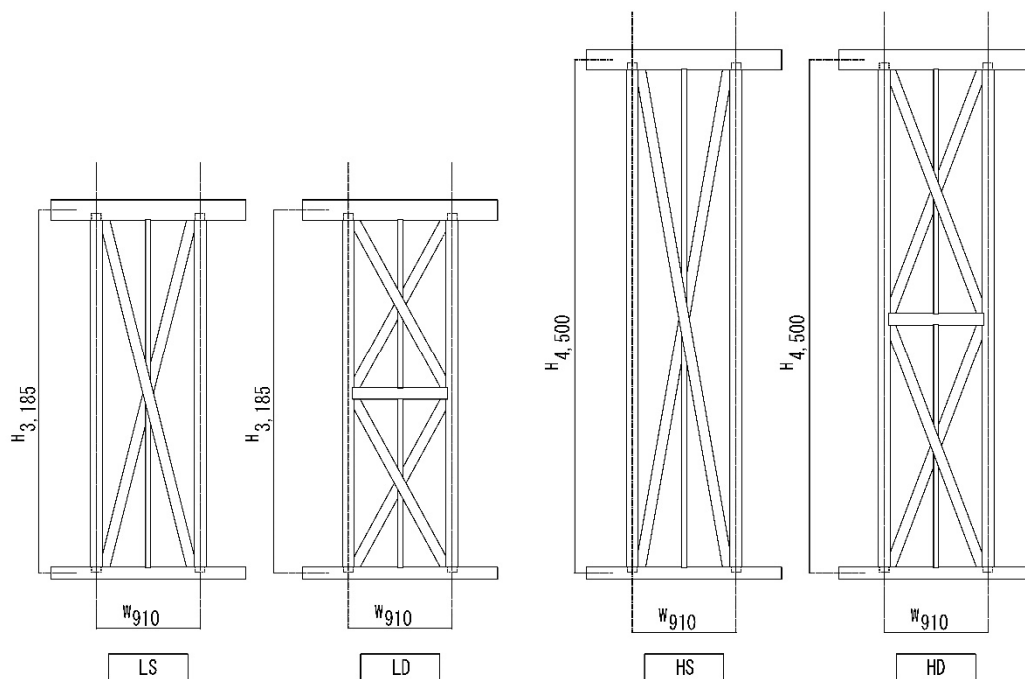


図 3.1 第 1 期試験体 (単位 : mm)

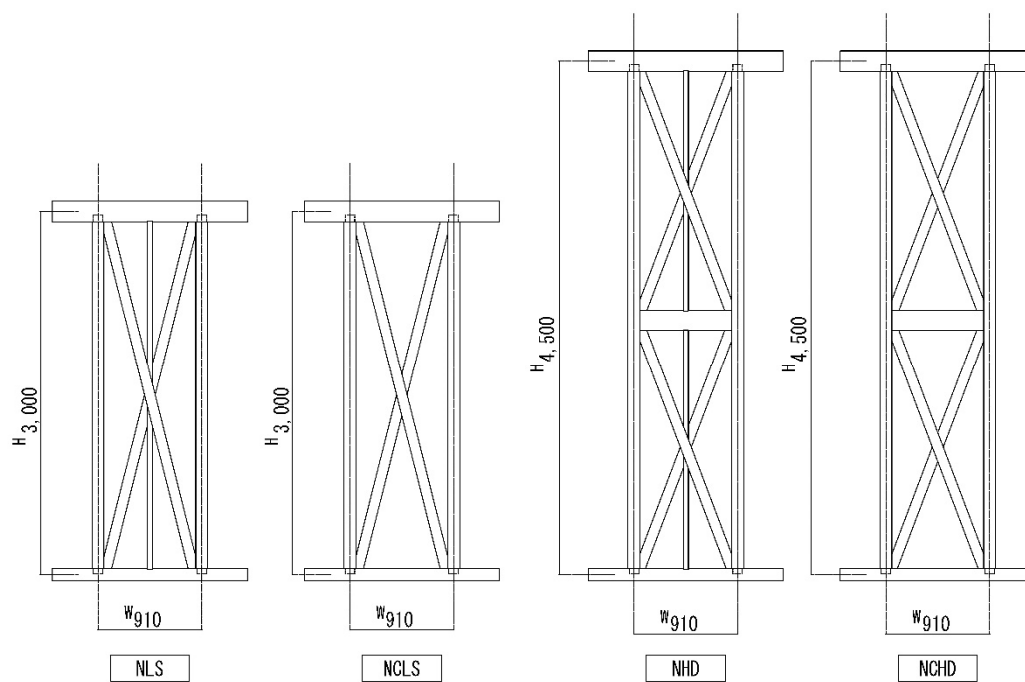


図 3.2 第 2 期試験体 (単位 : mm)

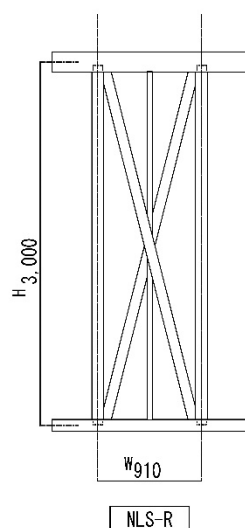


図 3.3 第 3 期試験体 (単位 : mm)

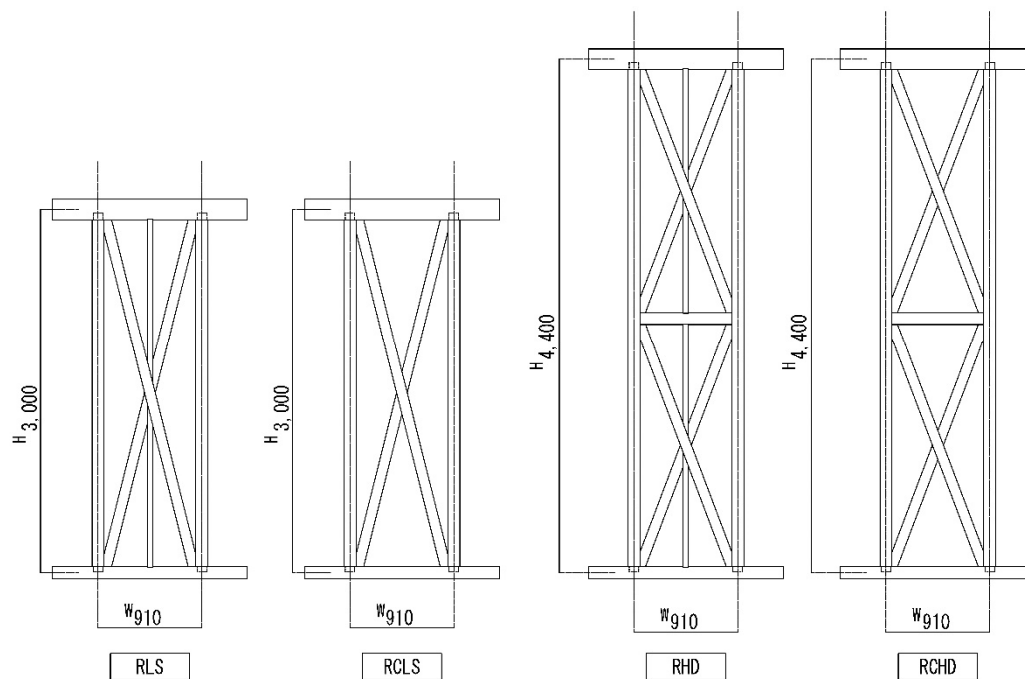


図 3.4 第 4 期試験体（単位：mm）

3.5 筋かい耐力壁の面内せん断試験に使用した筋かい金物の概要

a) 第1期の試験に使用した筋かい金物³⁴⁾

第1期の試験に使用した柱・筋かい・横架材の3点留めのボックス型の筋かい金物を図3.5に示す。板厚2.3mmの亜鉛めっき鋼板を折り曲げ加工したボックス型の筋かい金物を、ねじ部の径が5.4mm・長さが45mmのビスで、柱に5本、筋かいに7本、横架材に3本打ちつけて使用するものとなっている。金物メーカーによる片筋かい耐力壁の面内せん断試験による筋かい金物の試験結果を表3.1に示す。試験の評価は、1991年当時の方法で行なわれているため、「 P_y 」及び「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」での評価はなく、 $2/3P_{max}$ 及び $1/120rad$ 時の荷重のうち最小値である $1/120rad$ 時の荷重 (3.1kN/m) で決定されている。

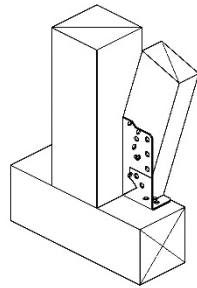


図 3.5 第1期の筋かい金物

b) 第2期及び第3期の試験に使用した筋かい金物³⁵⁾

第2期及び第3期の試験に使用した柱・筋かい・横架材の側面3点留めのフラットプレート型の筋かい金物を図3.6に示す。板厚0.6mmのステンレス鋼板を、ねじ部の径が5.4mm・長さが45mmのビスで、柱に4本、筋かいに7本、横架材に4本打ちつけて使用するものとなっている。金物メーカーによる片筋かい耐力壁の面内せん断試験による筋かい金物の試験結果を表3.1に示す。試験の評価は、「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」 (3.73kN/m) で決定されている。本研究における二つ割筋かい耐力壁の試験では、同金物を片面に取り付け、柱同寸筋かい耐力壁の試験では、同金物で筋かいを挟むように2枚取り付けて行った。

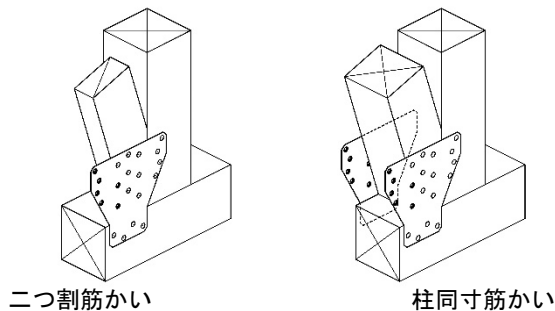


図 3.6 第2期及び第3期の筋かい金物

c) 第4期の試験に使用した筋かい金物³⁶⁾

第4期の試験に使用した柱・筋かいの2点留めのL型の筋かい金物を図3.7に示す。板厚2.3mmの亜鉛めっき鋼板を、L型に折り曲げたものを、ねじ部の径が5.4mm・長さが45mmのビスで、柱に9本、筋かいに5本打ちつけて使用するものとなっている。金物メーカーによる片筋かい耐力壁の面内せん断試験による筋かい金物の試験結果を表3.1に示す。試験の評価は、「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」(3.31kN/m)で決定されている。本研究における二つ割筋かい耐力壁の試験では、同金物を片面に取り付け、三寸角筋かい耐力壁の試験では、同金物に加えて、ねじ部の径が6mm、長さが150mmの木質構造用ねじ2本を筋かいから柱に向けて打ちつけた。

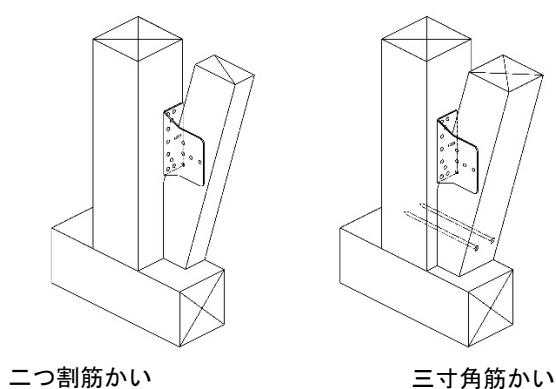


図 3.7 第4期の筋かい金物

表 3.1 筋かい金物データ（金物メーカー提供）単位：kN/m

使用金物タイプ	P_y	$P_u \cdot 0.2/D_s$	$2/3P_{max}$	$P(120)$
第1期：柱・筋かい・横架材の3点留めのボックスタイプ 13)	—	—	3.77	3.10
第2期, 3期：柱・筋かい・横架材の側面3点留めのフラットプレートタイプ 14)	4.83	3.73	5.71	5.49
第4期：柱・筋かいの2点留めのL型 15)	3.92	3.31	4.66	3.87

注 第1, 2, 3期の評価結果は、軸組フレームのせん断耐力も含む値となっており、
第4期の評価結果は、軸組フレームのせん断耐力を除く値となっている。

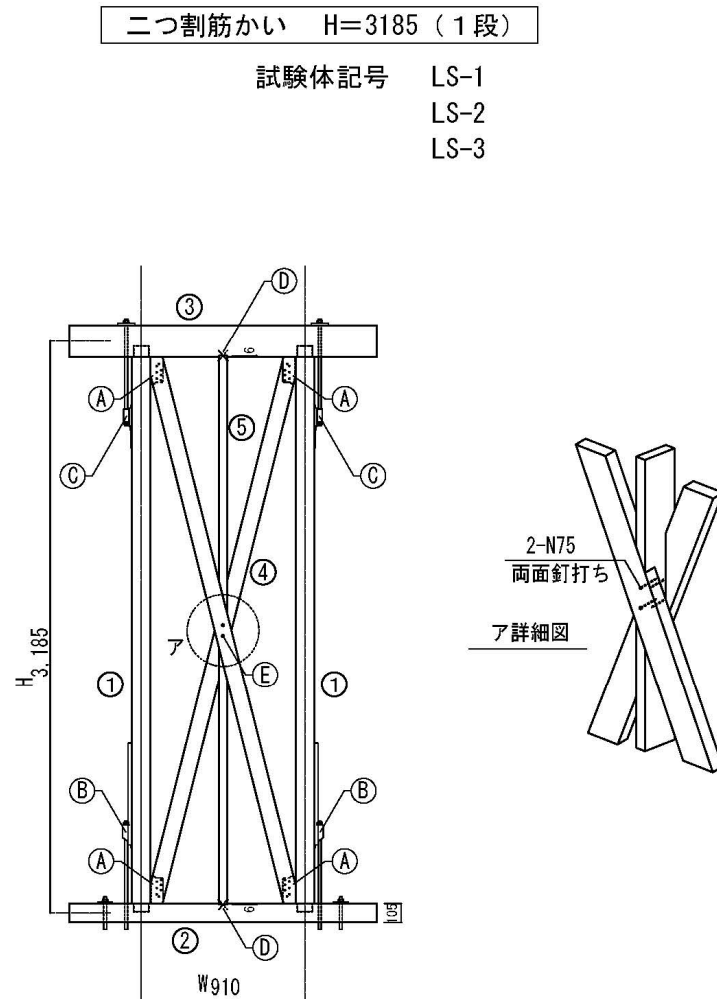
3.6 第1期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験

3.6.1 試験体の概要

第1期は、平12建告1460号に則った筋かい耐力壁の面内せん断性能を確認することを目的として試験を行った。試験体の仕様を表3.2に示す。試験体数は各タイプ3体とした。壁高さ3.185mで筋かいの段数が1段タイプの試験体符号をLSとし、2段タイプの試験体符号をLDとした。壁高さ4.5mで筋かいの段数が1段タイプの試験体符号をHSとし、2段タイプの試験体符号をHDとした。すべての試験体のタイプにおいて、柱の断面寸法は105mm角とし、スギ製材の日本農林規格（JAS）のE70を使用した。土台の断面寸法は105mm角とし、ヒノキ製材のJASのE90を使用した。梁の断面寸法は105mm×180mmとし、ベイマツ製材のJASのE110を使用した。2段筋かいの試験体LD及びHDは、中間横架材として、断面寸法が105mm角のスギ製材のJASのE70を使用した。筋かいは、各タイプ共通で、断面寸法は45mm×90mmとし、ベイマツ製材の無等級材を使用し、柱・筋かい・横架材の3点留めのボックス型の筋かい金物で軸組に取り付けた。柱頭は梁に対し短ほぞ差しとし、40kN用のホールダウン（HD）金物を柱の外側に取り付けて緊結した。柱脚は梁に対し短ほぞ差しとし、60kN用のHD金物を柱の外側に取り付けて緊結した。短ほぞの断面は、柱頭柱脚とも厚さ35mm、幅85mmで、柱頭部の長さを60mmとし、柱脚部の長さを45mmとした。試験体の高さは、文献30)で規定された筋かい耐力壁の幅高さ比の制限（ $H/L \leq 3.5$ ）より決定される最大高さ $H=3.185\text{m}$ と施行令43条に規定された柱の有効細長比の制限値（ $\lambda=150$ ）より決定される柱105mm角の場合の最大高さ $H=4.5\text{m}$ の2種類とした。たすき掛け筋かいの交点について、壁高さ3.185mの1段タイプの試験体LS及び2段タイプの試験体LDの場合、N75釘を片側2本で両面計4本とした。壁高さ4.5mの1段タイプの試験体HSの場合、ねじ部の径6mm長さ100mmの木質構造用ねじを片側2本とした。壁高さ4.5mの2段タイプの試験体HD-1及びHD-2では、ねじ部の径6mm長さ100mmの木質構造用ねじを片側2本とし、HD-3では、ねじ部の径6mm長さ100mmの木質構造用ねじを片側2本、また反対側の面にN75釘を2本とした。

3.6.2 試験体 LS の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.8 に示す。



部材断面

- ① 柱：105x105 (スギ)
- ② 土台：105x105 (ヒノキ)
- ③ 梁：105x180 (ペイマツ)
- ④ 筋かい：45x90 (ペイマツ)
- ⑤ 間柱：45x105 (スギ)

金物仕様

- (A) 筋かい金物：柱梁筋かい3点留めボックスタイプ
- (B) 柱脚HD金物：60kN用HD金物
- (C) 柱頭HD金物：40kN用HD金物
- (D) 間柱端部接合部：2-N75斜め釘打ち
- (E) 筋かい-間柱接合部：2-N75両面 (ア詳細図参照)

図 3.8 試験体 LS の概要 (単位：mm)

3.6.2 (a) 試験体 LS の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.9 に、試験体加力前後の様子を写真 3.1 に、終局時の様子を写真 3.2 に示す。また、特性値の一覧を表 3.3 に示す。含水率及び密度を表 3.4 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

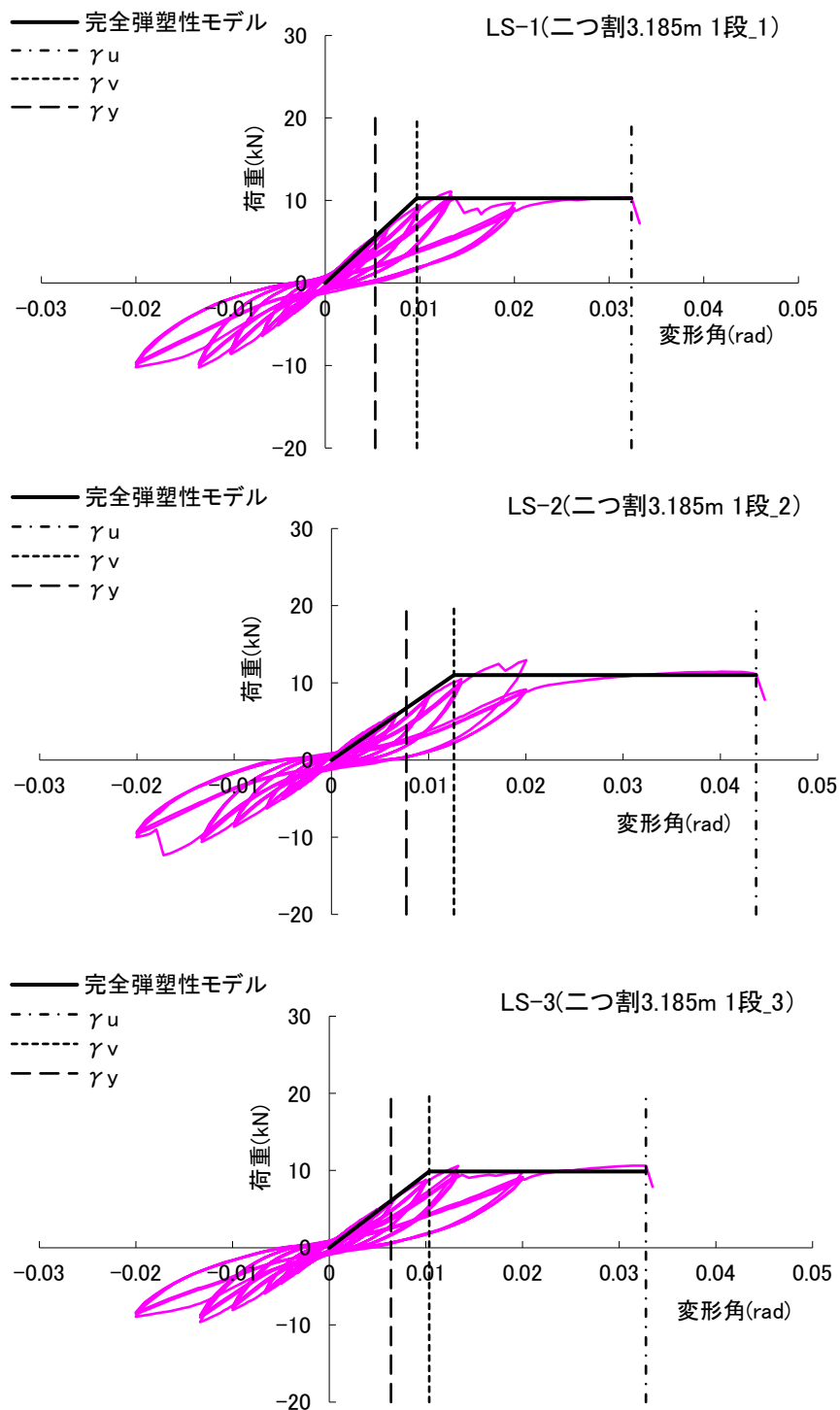


図 3.9 荷重-変形角曲線



(a) LS-2 加力前



(b) LS-2 加力後

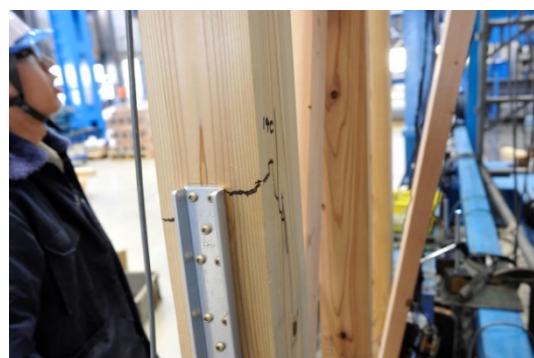
写真 3.1 試験体加力前後の様子



(a) 圧縮側筋かいの座屈破壊 (LS-1)



(b) 圧縮側筋かいの座屈破壊 (LS-2)



(c) 引張側柱HD 金物部の引張曲げ破壊 (LS-2)



(d) 圧縮側筋かいの座屈破壊 (LS-3)

写真 3.2 終局時の様子

表 3.3 特性値の一覧

試験体記号:LS H=3185mm 筋かい:1段

試験体記号: LS-1H=3165mm 筋がC1.1段												
番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	γ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu・0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
LS-1	11.11	0.032	10.28	0.010	0.005	1061.55	3.341	0.42	5.61	4.90	7.41	8.19
LS-2	12.94	0.044	11.02	0.013	0.008	874.50	3.466	0.41	6.74	5.37	8.63	7.22
LS-3	10.63	0.033	9.87	0.010	0.006	954.43	3.167	0.43	6.09	4.56	7.09	7.66
平均値	11.56	0.036	10.39	0.011	0.006	963.49	3.325	0.42	6.14	4.94	7.71	7.69
								標準偏差	0.566	0.405	0.813	0.488
								変動係数	0.092	0.082	0.105	0.063
								ばらつき係数	0.957	0.961	0.950	0.970
								50%下限値	5.88	4.75	7.32	7.46
								壁倍率	3.30	2.66	4.11	4.18

表 3.4 試験体の含水率及び密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい	
				加力機 側	加力機 反対側	圧縮側	引張側
LS-1	含水率 (%)	16.8	10.5	15.8	15.0	18.0	17.2
	密度 (kg/m ³)	630	550	360	420	550	600
LS-2	含水率 (%)	15.4	10.3	14.3	13.0	16.4	15.7
	密度 (kg/m ³)	550	550	410	420	570	500
LS-3	含水率 (%)	16.8	10.1	15.0	16.4	16.0	13.4
	密度 (kg/m ³)	550	530	510	500	550	500

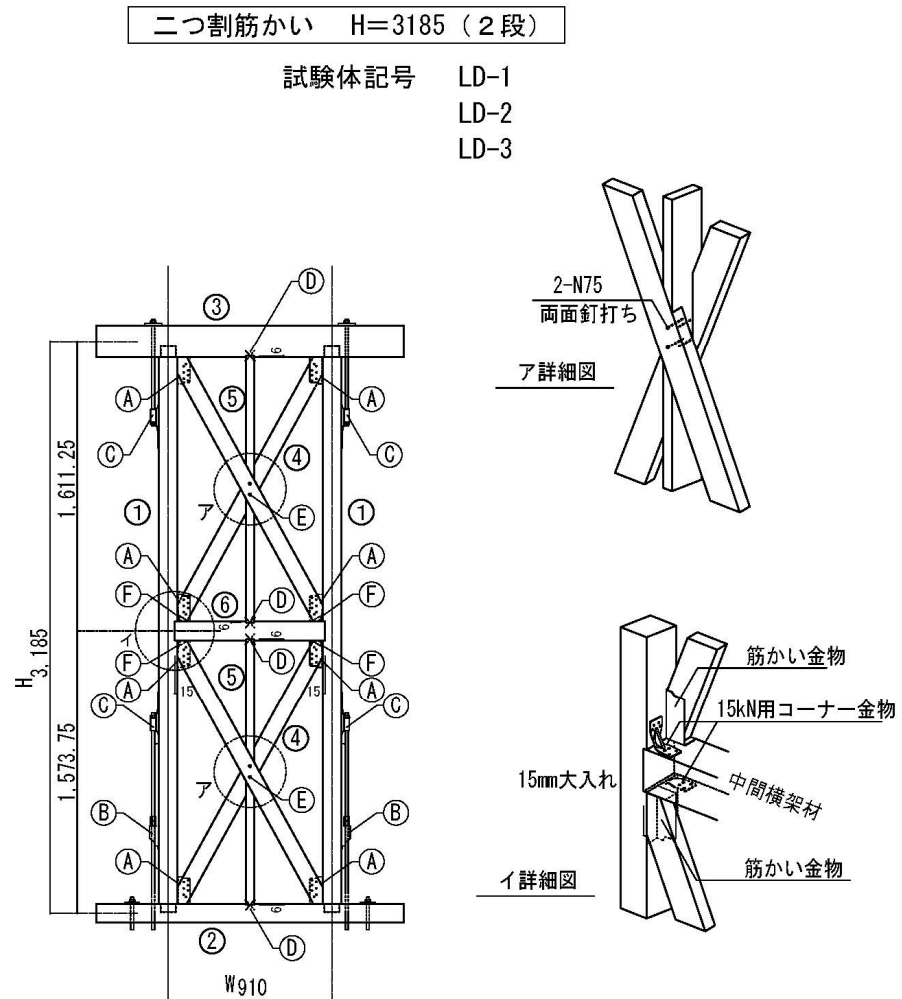
3.6.2 (b) 試験体 LS の試験結果についての考察

試験体 LS の壁倍率の評価は「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、壁倍率換算で 2.66 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満たすことはできなかった。

試験体 LS-1 及び LS-3 の破壊性状は、圧縮側筋かいの面外へのはらみが進行し、筋かい交点の釘が抜け荷重低下、さらに筋かいの座屈が進行し破壊するというものであった(写真 3.2 (a))。試験体 LS-2 の破壊性状は圧縮側筋かいの面外へのはらみが進行し、筋かい交点の釘が抜けることで筋かいの座屈が進行し、さらに圧縮筋かいが座屈破壊する前に、引張側の柱が HD 金物の上端辺りで引張曲げ破壊し荷重低下し(写真 3.2 (c))、その後、圧縮筋かいが座屈破壊するというものであった。筋かい交点の接合を釘ではなく木質構造用ネジで留め付けることにより筋かいどうしの引き抜けが抑制され靱性が向上すると考えられる。

3.6.3 試験体 LD の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.10 に示す。



部材断面

- ① 柱：105x105 (スギ)
- ② 土台：105x105 (ヒノキ)
- ③ 梁：105x180 (ペイマツ)
- ④ 筋かい：45x90 (ペイマツ)
- ⑤ 間柱：45x105 (スギ)
- ⑥ 中間横架材：105x105 (スギ)

金物仕様

- (A) 筋かい金物：柱梁筋かい3点留めボックスタイプ
- (B) 柱脚HD金物：60kN用+40kN用HD金物併用
- (C) 柱頭HD金物：40kN用HD金物
- (D) 間柱端部接合部：2-N75斜め釘打ち
- (E) 筋かい-間柱接合部：2-N75両面 (ア詳細図参照)
- (F) 中間横架材端部接合：大入れ+15kN用コーナー金物 (上下)

図 3.10 試験体 LD の概要 (単位：mm)

3.6.3 (a) 試験体 LD の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.11 に、試験体加力前後の様子を写真 3.3 に、終局時の様子を写真 3.4 に示す。また、特性値の一覧を表 3.5 に示す。含水率及び密度を表 3.6 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

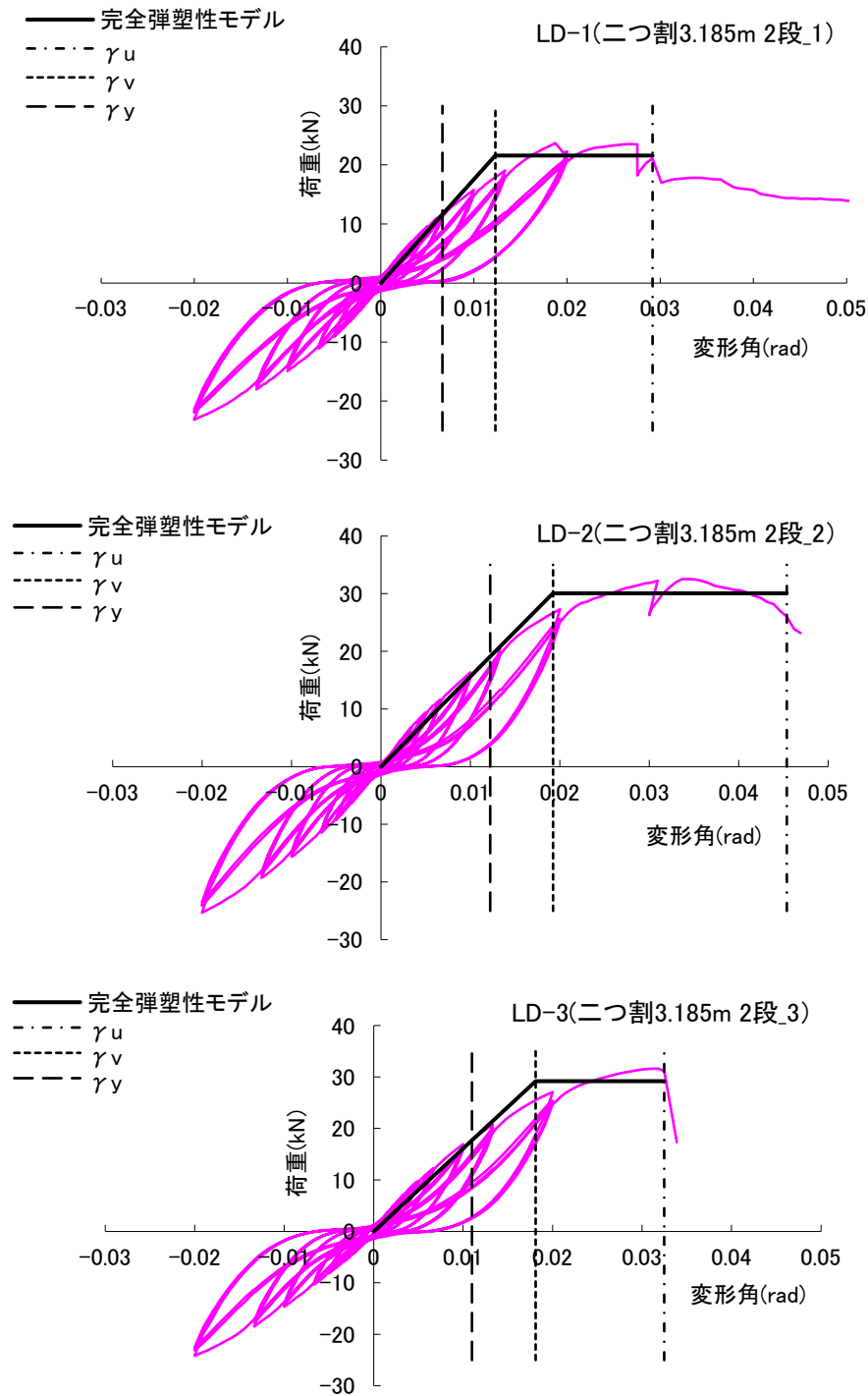


図 3.11 荷重-変形角曲線



(a) LD-1 加力前

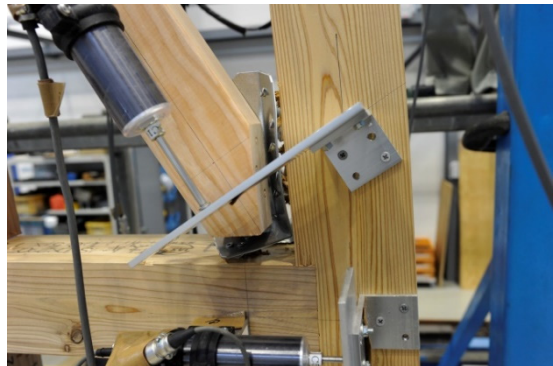


(b) LD-1 加力後

写真 3.3 試験体加力前後の様



(a) 上段圧縮側筋かいの座屈破壊 (LD-1)



(b) 上段引張側筋かい金物接合ビスの抜け (LD-2)



(c) 上段圧縮側筋かいの座屈破壊 (LD-2)



(d) 上段圧縮側筋かいの座屈破壊 (LD-3)

写真 3.4 終局時の様子

表 3.5 特性値の一覧

試験体記号: LD H=3185mm 筋かい: 2段

番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	γ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)	
LD-1	23.70	0.029	21.60	0.012	0.007	1756.28	2.372	0.52	11.63	8.36	15.80	13.76	
LD-2	32.52	0.045	30.08	0.019	0.012	1563.35	2.359	0.52	19.10	11.60	21.68	14.00	
LD-3	31.64	0.032	29.20	0.018	0.011	1612.12	1.793	0.62	17.70	9.39	21.09	14.65	
平均値	29.29	0.036	26.96	0.017	0.010	1643.92	2.175	0.55	16.15	9.78	19.52	14.14	
									標準偏差	3.968	1.655	3.239	0.460
									変動係数	0.246	0.169	0.166	0.033
									ばらつき係数	0.884	0.920	0.922	0.985
									50%下限値	14.28	9.00	18.00	13.92
									壁倍率	8.00	5.05	10.09	7.80

表 3.6 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい				中間 横架材
				加力機 側	加力機 反対側	上段		下段		
						圧縮側	引張側	圧縮側	引張側	
LD-1	含水率 (%)	16.5	12.2	18.3	17.4	17.7	18.0	18.9	17.0	15.3
	密度 (kg/m ³)	570	540	560	540	450	600	660	590	410
LD-2	含水率 (%)	13.8	9.1	14.0	14.3	14.7	16.0	14.1	14.7	14.8
	密度 (kg/m ³)	660	530	510	520	560	580	560	510	440
LD-3	含水率 (%)	15.7	9.2	13.5	15.2	17.3	16.2	14.5	16.3	14.4
	密度 (kg/m ³)	550	560	500	480	550	540	500	610	400

3.6.3 (b) 試験体 LD の試験結果についての考察

試験体 LD の主な破壊性状は、上段筋かいの面外へのはらみが進行し、筋かいと間柱の釘が抜けることで圧縮側筋かいが一気に座屈破壊するというものであった（写真 3.4 (a)）。

評価は「 $P_u \cdot 0.2 / D_s$ 」で決まり、壁倍率換算で 5.05 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満たすことができた。中間横架材を設け、筋かいを 2 段にすることで、筋かいの座屈長さが短くなり、壁倍率 4 倍相当のせん断耐力が確保できたためと考えられる。

3.6.4 試験体 HS の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.12 に示す。

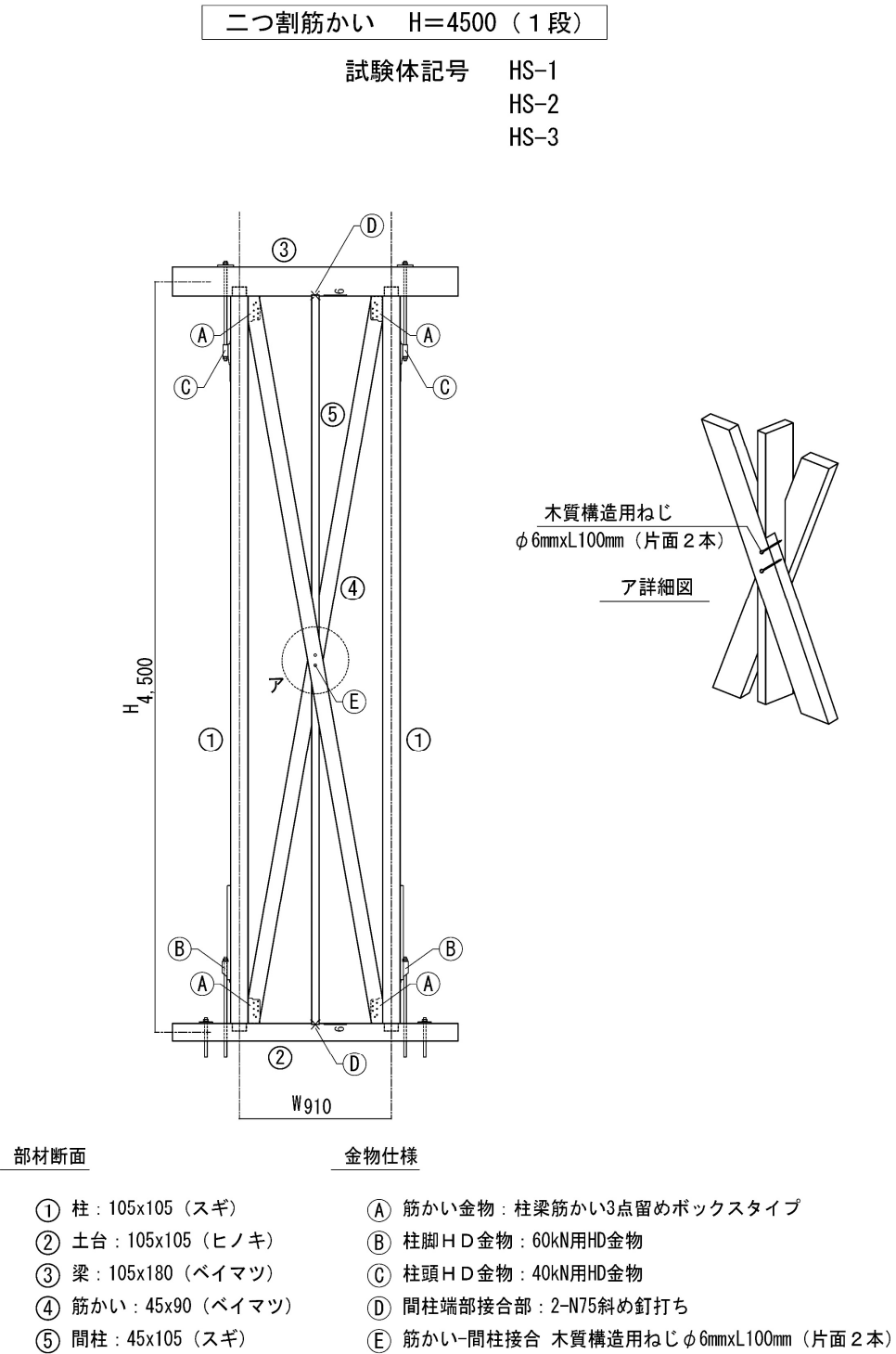


図 3.12 試験体 HS の概要 (単位 : mm)

3.6.4 (a) 試験体 HS の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.13 に、試験体加力前後の様子を写真 3.5 に、終局時の様子を写真 3.6 に示す。また、特性値の一覧を表 3.7 に示す。含水率及び密度を表 3.8 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

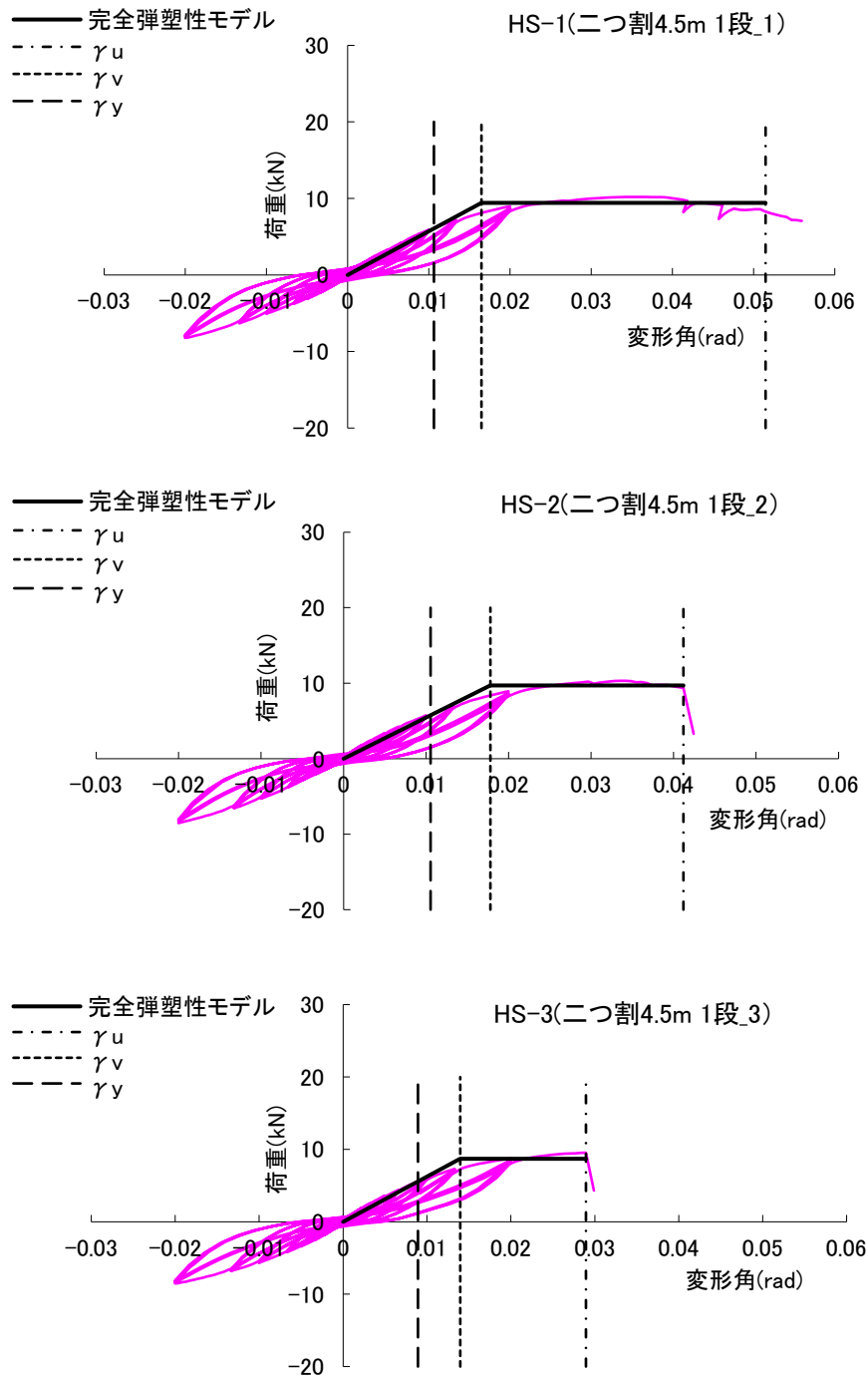


図 3.13 荷重-変形角曲線



(a) HS-2 加力前



(b) HS-2 加力後

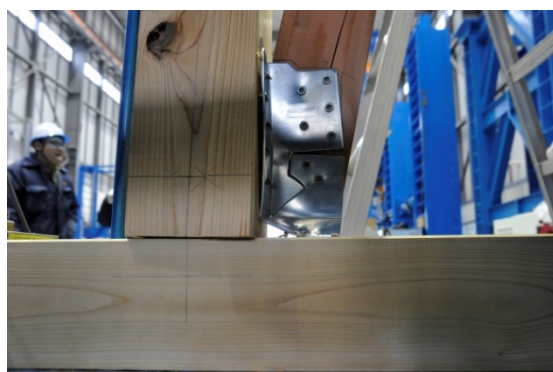
写真 3.5 試験体加力前後の様子



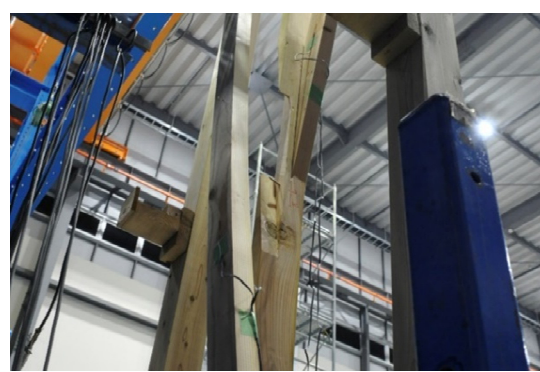
(a) 引張側筋かい金物の破断 (HS-1)



(b) 圧縮側筋かいの座屈変形 (HS-2)



(c) 引張側筋かい金物の変形 (HS-2)



(d) 圧縮側筋かいの座屈変形 (HS-3)

写真 3.6 終局時の様子

表 3.7 試験結果

試験体記号:HS H=4500mm 筋かい:1段

番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	γ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
HS-1	10.19	0.051	9.42	0.016	0.011	571.37	3.123	0.44	6.07	4.31	6.79	5.15
HS-2	10.32	0.041	9.71	0.018	0.011	545.70	2.316	0.52	5.76	3.70	6.88	4.98
HS-3	9.55	0.029	8.69	0.014	0.009	623.03	2.074	0.56	5.56	3.09	6.36	5.28
平均値	10.02	0.041	9.27	0.016	0.010	580.03	2.504	0.51	5.80	3.70	6.68	5.14
標準偏差									0.261	0.615	0.276	0.146
変動係数									0.045	0.166	0.041	0.029
ばらつき係数									0.979	0.922	0.981	0.987
50%下限値									5.67	3.41	6.55	5.07
壁倍率									3.18	1.91	3.67	2.84

表 3.8 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい	
				加力機 側	加力機 反対側	圧縮側	引張側
HS-1	含水率 (%)	15.0	10.1	11.6	13.9	14.0	14.9
	密度 (kg/m ³)	500	560	390	500	570	550
HS-2	含水率 (%)	14.3	11.5	11.5	11.5	16.8	14.8
	密度 (kg/m ³)	490	580	400	440	550	570
HS-3	含水率 (%)	14.3	11.5	11.5	11.5	14.8	16.8
	密度 (kg/m ³)	490	570	490	400	480	560

3.6.4 (b) 試験体 HS の試験結果についての考察

試験体 HS の主な破壊性状は、圧縮筋かいが大きく面外にはらみ、筋かい金物がその変形に追従できず破壊、もしくは筋かいが面外に大きくはらみ最大荷重の 80%以下に荷重が低下し試験終了というものであった。このタイプでは 3 体のうち 2 体の試験体において、圧縮筋かいの面外のはらみに引張筋かいが追従しきれず木質構造用ねじが抜けた。ねじを片側 2 本打ちのみであったためと考えられ、両側から 2 本ずつの計 4 本とすれば改善すると考えられる。

評価は「 $Pu \cdot 0.2/Ds$ 」で決まり、壁倍率換算で 1.91 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満たすことができなかった。壁高さ 4.5m で 1 段筋かいとしたため、座屈長さが長くなり壁倍率 4.0 倍相当の剛性を確保できなかったためと考えられる。

3.6.5 試験体 HD の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.14 及び図 3.15 に示す。

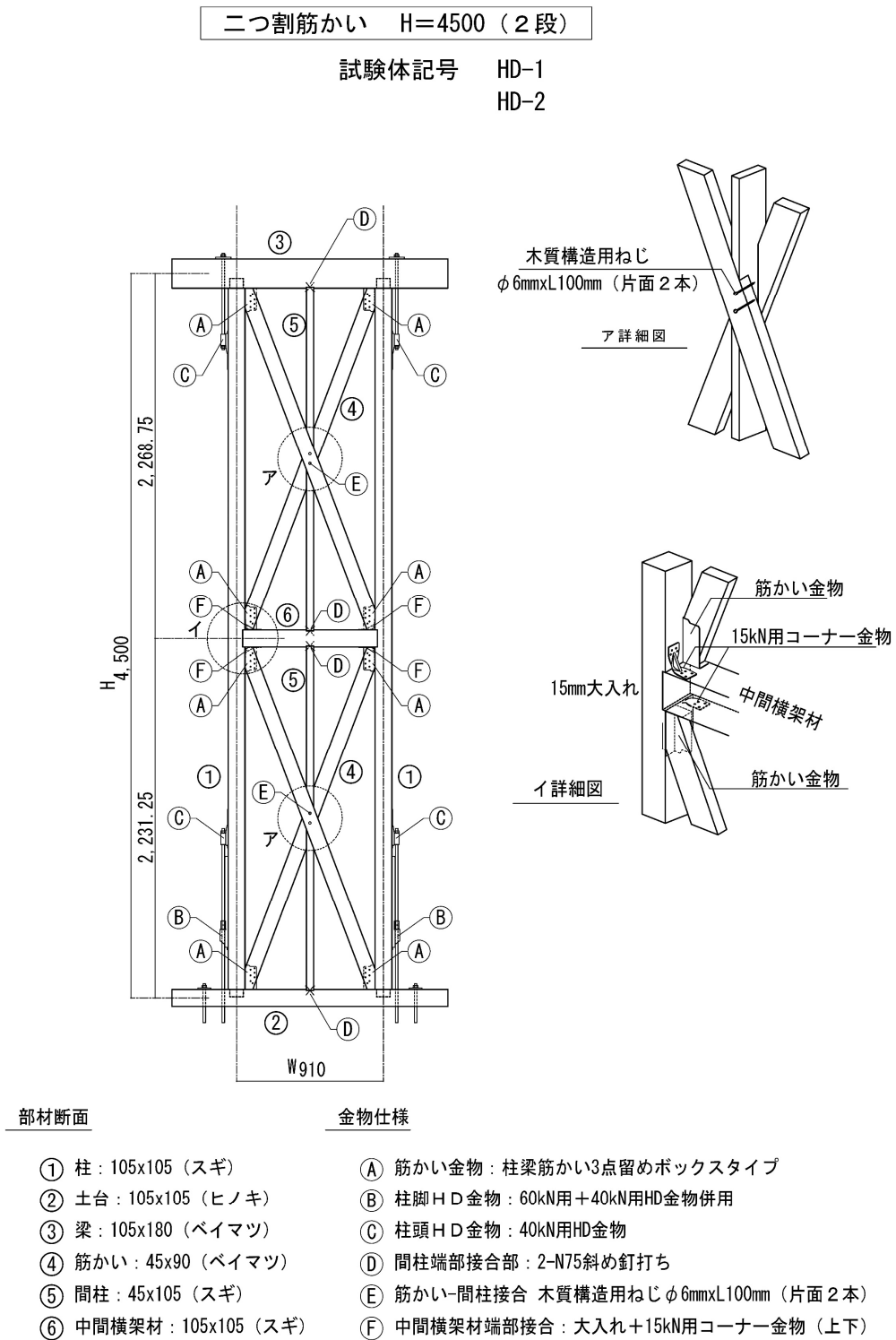
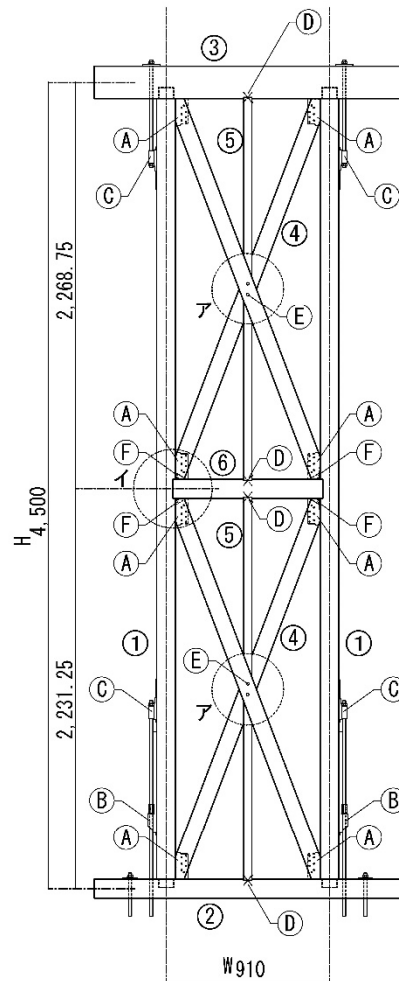


図 3.14 試験体 HD の概要 (1) (単位 : mm)

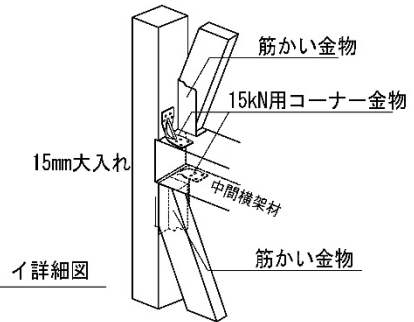
二つ割筋かい H=4500 (2段)

試験体記号 HD-3



木質構造用ねじ
φ6mm×L100mm (片面2本)
+ 2-N75両面釘打ち

ア詳細図



部材断面

金物仕様

- | | |
|----------------------|--|
| ① 柱：105×105 (スギ) | (A) 筋かい金物：柱梁筋かい3点留めボックスタイプ |
| ② 土台：105×105 (ヒノキ) | (B) 柱脚HD金物：60kN用+40kN用HD金物併用 |
| ③ 梁：105×180 (ベイマツ) | (C) 柱頭HD金物：40kN用HD金物 |
| ④ 筋かい：45×90 (ベイマツ) | (D) 間柱端部接合部：2-N75斜め釘打ち |
| ⑤ 間柱：45×105 (スギ) | (E) 筋かい-間柱接合 木質構造用ねじ φ6mm×L100mm (片面2本)
+2-N75両面釘打ち |
| ⑥ 中間横架材：105×105 (スギ) | (F) 中間横架材端部接合：大入れ+15kN用コーナー金物 (上下) |

図 3.15 試験体.HD の概要 (2) (単位：mm)

3.6.5 (a) 試験体 HD の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.16 に、試験体加力前後の様子を写真 3.7 に、終局時の様子を写真 3.8 に示す。また、特性値の一覧を表 3.9 に示す。HD-1、2 と HD-3 とでは、筋かい交点の仕様を変更しているため、別に評価する。含水率及び密度を表 3.10 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

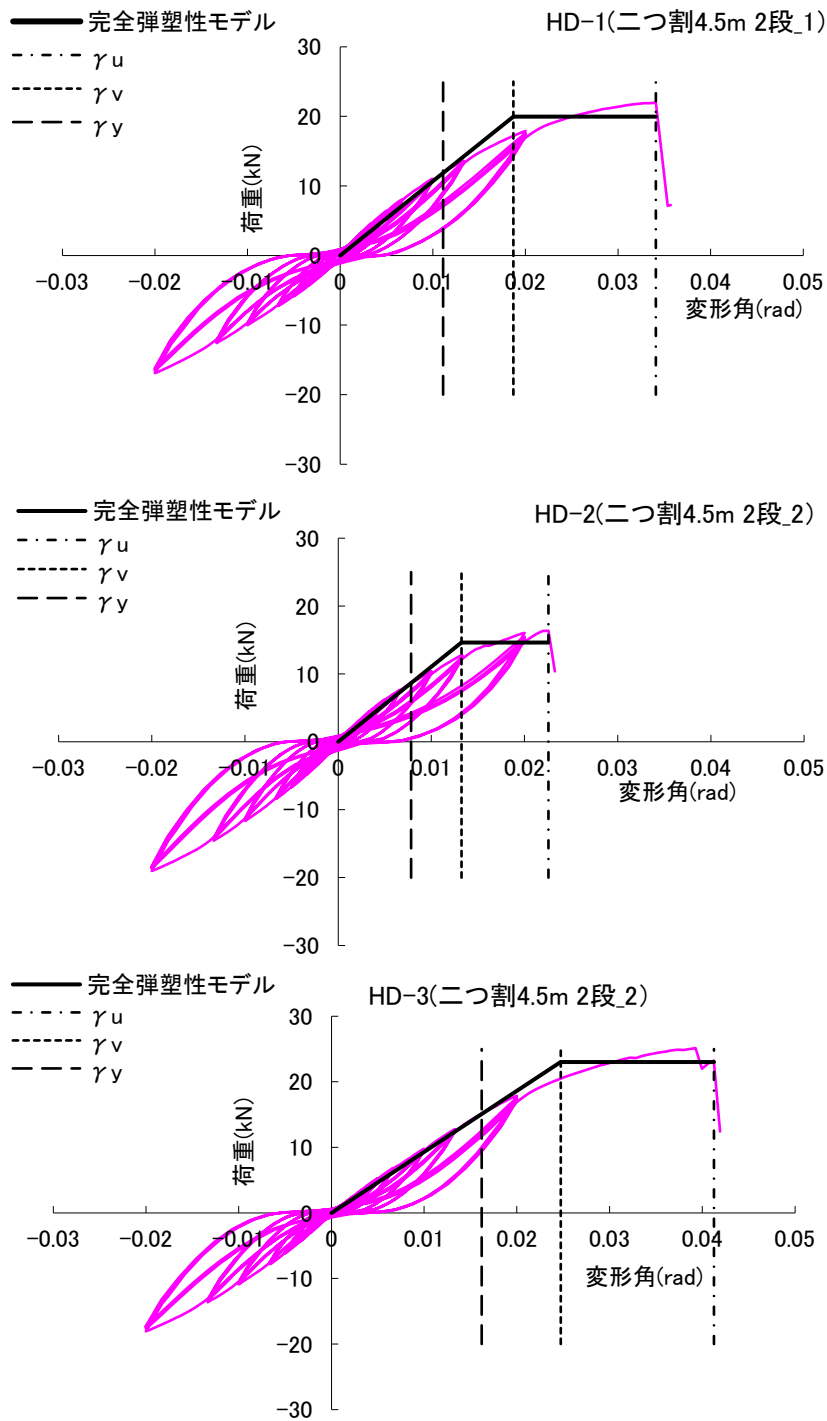


図 3.16 荷重-変形角曲線



(a) HD-1 加力前



(b) HD-1 加力後

写真 3.7 試験体加力前後の様子



(a) 上段圧縮側筋かいの座屈破壊 (HD-1)



(b) 引張側柱 HD 金物部の引張曲げ破壊 (HD-2)



(c) 下段引張側筋かいの引張曲げ破壊 (HD-3)

写真 3.8 終局時の様子

表 3.9 試験結果

試験体記号: HD H=4500mm 筋かい: 2段

番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	γ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
HD-1	22.00	0.034	19.98	0.019	0.011	1068.77	1.823	0.61	11.87	6.50	14.67	9.60
HD-2	16.37	0.023	14.63	0.013	0.008	1106.30	1.706	0.64	8.65	4.55	10.91	9.06
平均値	19.18	0.028	17.31	0.016	0.009	1087.54	1.765	0.63	10.26	5.52	12.79	9.33
壁倍率									5.75	3.10	7.17	5.23

番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	γ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
HD-3	25.13	0.041	23.02	0.025	0.016	931.05	1.668	0.65	15.36	7.04	16.75	8.26
壁倍率									8.61	3.95	9.39	4.63

表 3.10 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい				中間 横架材
				加力機 側	加力機 反対側	上段		下段		
						圧縮側	引張側	圧縮側	引張側	
HD-1	含水率 (%)	14.9	11.5	13.2	11.6	15.6	16.9	14.4	17.3	12.8
	密度 (kg/m ³)	490	570	370	430	540	530	460	550	430
HD-2	含水率 (%)	14.5	9.1	12.4	13.6	15.7	16.2	15.6	17.0	13.7
	密度 (kg/m ³)	520	540	450	460	580	510	530	470	440
HD-3	含水率 (%)	14.5	11.7	11.7	11.8	14.9	14.9	15.5	11.2	13.8
	密度 (kg/m ³)	540	560	440	410	450	460	470	420	410

3.6.5 (b) 試験体 HD の試験結果についての考察

試験体 HD の主な破壊性状は、圧縮筋かいと引張筋かいが間柱を介して木質構造用ねじで接合されているため、圧縮筋かいの面外のはらみに引張筋かいが追従し、最終的に引張筋かいが引張曲げ破壊すると同時に圧縮筋かいが座屈破壊するというものであった（写真 3.8 (c)）。圧縮筋かいの座屈進行を、木質構造用ねじを介して引張筋かいが抑制した形となり N75 釘のみであったなら、もっと早期に圧縮筋かいが座屈破壊したと考えられる。2 段筋かい耐力壁の場合は、試験体 LD と HD とともに上段の筋かいが破壊するものがほとんどであったが、試験体番号 HD-3 のみは下段の引張筋かいが引張曲げ破壊すると同時に圧縮筋かいが座屈破壊するというものであった。また、試験体番号 HD-2 は、写真 3.8 (b) に示すように、筋かいの破壊に先行して引張側柱の HD 金物のビス穴のあたりで縦方向に割裂が進展し最大荷重の 80% 以下に荷重が低下したため試験終了となった。

HD-1 及び HD-2 と HD-3 とでは、たすき掛け筋かい交点の接合仕様を変更しているため、HD-1 及び HD-2 は 2 体の平均値、HD-3 単体の結果について評価する。それぞれの試験体数が少ないため、ばらつきによる低減はしない。試験体 3 体とも評価は「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、HD-1 及び HD-2 は、壁倍率換算で 3.1 倍となり、HD-3 は 3.95 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満たすことができなかった。

3.6.6 第1期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察

第1期は、試験体の高さを文献10)で規定された筋かい耐力壁の幅高さ比の制限 ($H/L \leq 3.5$) より決定される最大高さ $H=3.185\text{m}$ と施行令43条に規定された柱の有効細長比の制限値 ($\lambda=150$) より決定される柱105mm角の場合の最大高さ $H=4.5\text{m}$ の2種類とし、平12建告1460号に則った筋かい耐力壁の面内せん断性能を確認することを目的として試験を行った。

試験の結果、施行令46条の壁倍率を満足できた試験体は、壁高さ3.185mで筋かいを2段にした試験体LDのみであった。2段にしたことで筋かいの座屈長さが短くなり、剛性が向上したためと考えられる。すべての試験体の評価は「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まっている。

試験体LS及びLDの主な破壊性状は、圧縮側筋かいの面外へのはらみが進行し、筋かい交点の釘が抜けることで筋かいが一気に座屈破壊するというものであった(写真3.2(a), 3.4(a))が、試験体LS-2は圧縮筋かいが座屈破壊する前に引張側の柱のHD金物の上端辺りで引張曲げ破壊し荷重低下(写真3.2(c))、その後、圧縮筋かいの座屈破壊というものであった。

試験体HSの主な破壊性状は、圧縮筋かいが大きく面外にはらみ、筋かい金物がその変形に追従できず破壊(写真3.6(c))、あるいは筋かいが面外に大きくはらみ最大荷重の80%以下に荷重が低下し試験終了というものであった(写真3.6(d))。このタイプでは3体のうち2体の試験体において、圧縮筋かいの面外のはらみに引張筋かいが追従しきれず筋かい交点の木質構造用ねじが抜けてしまった。ねじを片側2本打ちのみであったためと考えられ、両側から2本ずつの計4本とすれば改善すると考えられる。

試験体HDの主な破壊性状は、圧縮筋かいと引張筋かいが間柱を介して木質構造用ねじで接合されているため、圧縮筋かいの面外のはらみに引張筋かいが追従し、最終的に引張筋かいが引張曲げ破壊すると同時に圧縮筋かいが座屈破壊するというものであった(写真3.8(c))。圧縮筋かいの座屈進行を、木質構造用ねじを介して引張筋かいが抑制した形となり、N75釘のみであれば、より早期に圧縮筋かいが座屈破壊したと考えられる。2段筋かい耐力壁の場合は、試験体LD, HDともに上段の筋かいが破壊するものがほとんどであったが、試験体番号HD-3のみは下段の引張筋かいが引張曲げ破壊すると同時に圧縮筋かいが座屈破壊するというものであった。また、試験体HD-2は、筋かいの破壊に先行して引張側柱のHD金物のビス部で縦方向に割裂が進展し最大荷重の80%以下に荷重が低下したため試験終了となった(写真3.8(b))。

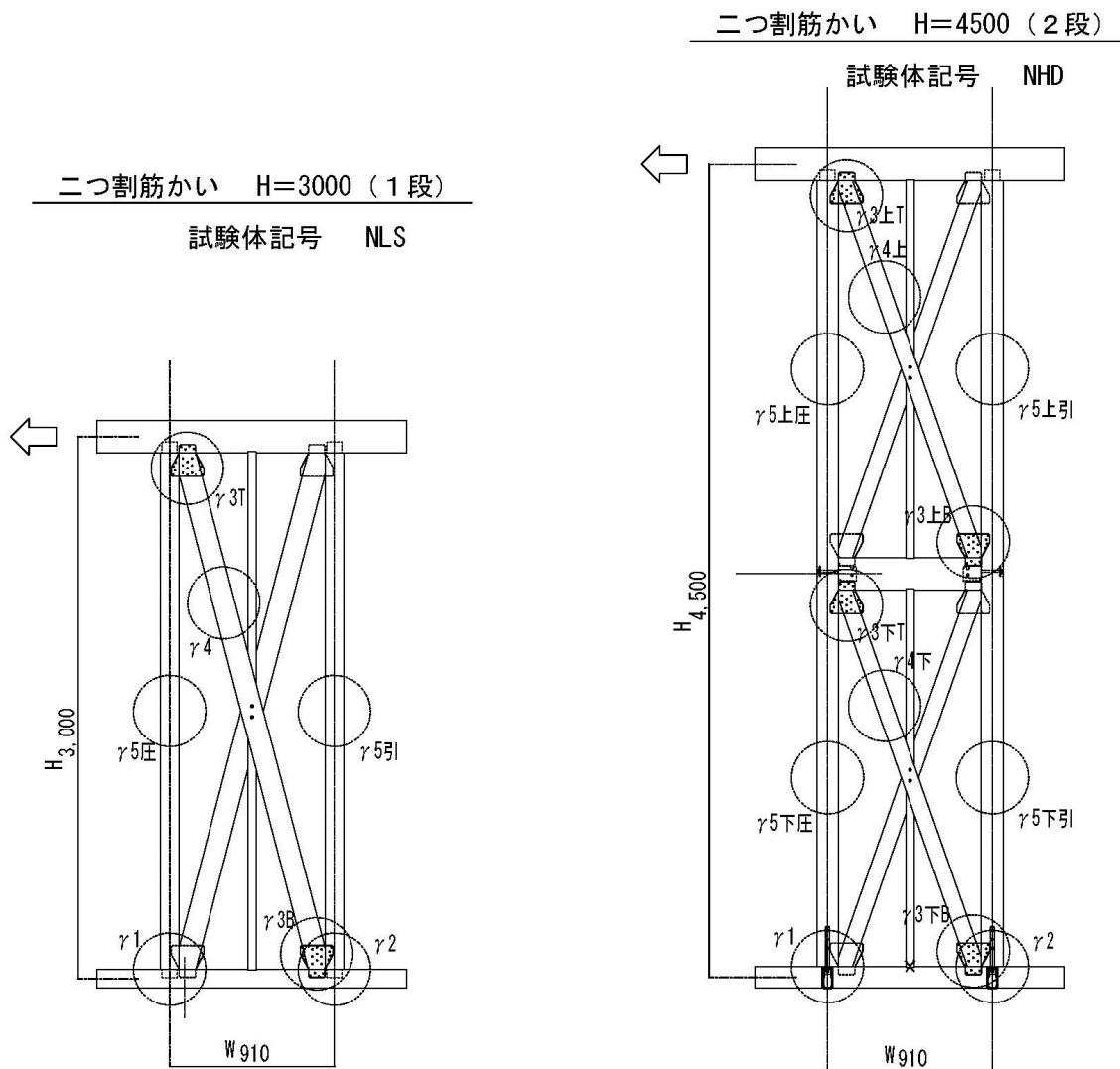
3.6.7 第1期面内せん断試験における補強必要個所の検討

第1期のすべての試験体の評価は「 $Pu \cdot 0.2/Ds$ 」で決まっている。分母の Ds は「 $1/\sqrt{2\mu-1}$ 」で求められることから、塑性率 μ の値を上げることで、壁倍率を向上させることができると考えられる。 μ は終局変形角 γ_u を降伏点変形角 γ_v で割ることで求められる。 μ の値を上げるには、降伏点変形角 γ_v を低く抑えるか、または終局変形角 γ_u を大きくすればよい。降伏点変形角 γ_v を低く抑えるためには、初期剛性を向上させることが有効であり、終局変形角 γ_u を大きくするには、靱性を向上させることが有効である。そこで初期剛性の向上を図るため、第1期の試験における 1/120rad 時の各部の変位の全体の変形角に対する割合を求め、その割合の大きい個所を補強することとした。また、靱性の向上については、試験体 HS 及び HD のたすき掛け筋かい交点に使用した木質構造用ねじを用いて、圧縮筋かいの早期の座屈破壊を防ぐこととした。

試験体 LD は施行令 46 条の壁倍率 4 倍を満足しているため検討から除外する。また、試験体 HS についても、壁高さが 4.5m となる場合は筋かいを 2 段にする試験体 HD の仕様に変更するため、検討から除外し、検討は試験体 LS と HD について行う。

3.6.8 第1期面内せん断試験における各部の変位による変形の全体の変形角に対する割合

図 3.17 及び表 3.11 に示す各部について、 $1/120\text{rad}$ 時の変位による変形角を図 3.18 に示す幾何学的関係より求める。全体の変形角に影響を及ぼす各部の変位による変形角のうち、主要な部分として以下に示す個所について求めた。 $\gamma 1, 2$ は柱脚部のめり込み及び浮き上がり(図 3.18(a))によるロッキング変形角で式 (3.1) 及び式 (3.2) による。 $\gamma 3$ は引張筋かい端部金物接合部における筋かいと柱又は横架材との相対変位による変形角で第1期の場合(図 3.18(b))は式 (3.3)、第2期の場合(図 3.18(c))は式 (3.4) による。 $\gamma 4$ は引張筋かいの伸び(図 3.18(b))による変形角で式 (3.5) による。 $\gamma 5$ は柱の $1/120\text{rad}$ 時の軸力による軸変形で式 (3.6) による。各部の変位の全体の変形角に影響を及ぼす割合は式 (3.7) による。以上の結果を、二つ割1段筋かいは図 3.19 に、二つ割2段筋かいは図 3.20 に示す。



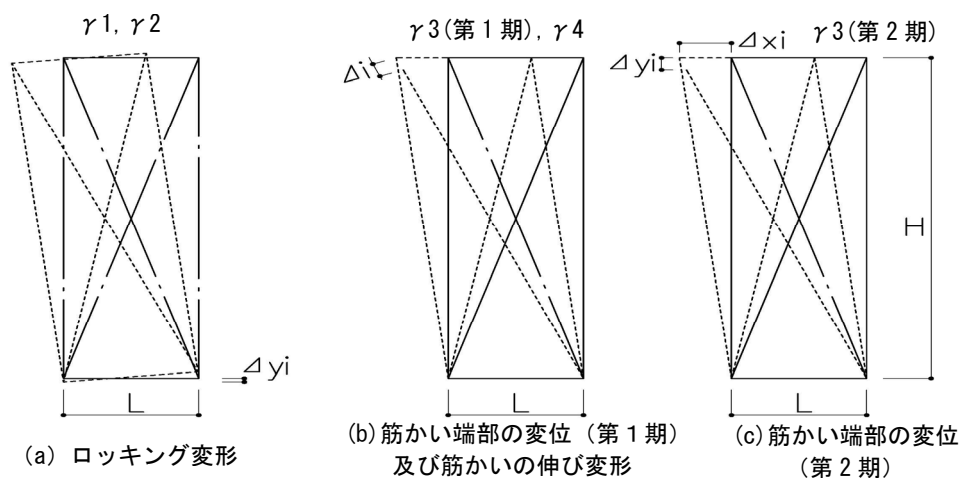


図 3.18 筋かい構面の変形図

表 3.11 各部の変形角

位置	変形の種類	位置	変形の種類
γ1	柱脚めり込み	γ4 上	: 上段引張筋かいの伸び
γ2	柱脚浮き上がり	γ4 下	: 下段引張筋かいの伸び
γ3T	引張筋かい上端金物取付部の変形	γ5 圧	: 柱の軸変形(圧縮)
γ3B	引張筋かい下端金物取付部の変形	γ5 引	: 柱の軸変形(引張)
γ3 上 T	上段引張筋かい上端金物取付部の変形	γ5 上圧	: 上段柱の軸変形(圧縮)
γ3 上 B	上段引張筋かい下端金物取付部の変形	γ5 上引	: 上段柱の軸変形(引張)
γ3 下 T	下段引張筋かい上端金物取付部の変形	γ5 下圧	: 下段柱の軸変形(圧縮)
γ3 下 B	下段引張筋かい下端金物取付部の変形	γ5 下引	: 下段柱の軸変形(引張)
γ4	引張筋かいの伸び		

図 3.18(a) のロッキング変形の場合 (γ1, γ2)

$$\gamma 1 = \Delta y 1 / L \quad \cdots \cdots (3.1)$$

Δy1: 柱脚と土台の相対変位 (めり込み)

$$\gamma 2 = \Delta y 2 / L \quad \cdots \cdots (3.2)$$

Δy2: 柱脚と土台の相対変位 (浮き上がり)

図 3.18(b) 第1期の筋かい端部の相対変位による変形の場合 (γ3(第1期))

$$\gamma 3 = \left(\Delta 3 \cdot \frac{\sqrt{L^2 + h^2}}{L} \right) / H \quad \cdots \cdots (3.3)$$

Δ3: 横架材と筋かい端部の筋かいの軸方向の相対変位

h: 1 段分の筋かい構面の高さ

図 3. 18(c) 第 2 期の筋かい端部の相対変位による変形の場合 ($\gamma 3$ (第 2 期))

$$\gamma 3 = \frac{\Delta x 3}{H} + \frac{\Delta y 3}{L} \quad \cdots \cdots (3. 4)$$

$\Delta x 3$: 横架材と筋かい端部の筋かいの X 方向の相対変位

$\Delta y 3$: 横架材と筋かい端部の筋かいの Y 方向の相対変位

図 3. 18(b) 引張筋かいの伸びによる変形の場合 ($\gamma 4$)

$$\gamma 4 = \left(\Delta 4 \cdot \frac{\sqrt{L^2 + h^2}}{L} \right) / H \quad \cdots \cdots (3. 5)$$

$\Delta 4$: 筋かいに貼ったひずみゲージより求めた筋かいの伸び変形

h : 1 段分の筋かい構面の高さ

柱の 1/120rad 時の軸力による軸変形 ($\gamma 5$)

$$\gamma 5 = \frac{N \cdot H}{E \cdot A \cdot L} \quad \cdots \cdots (3. 6)$$

N : 1/120rad 時の水平力に対し、各接合部をピンと仮定し筋かい構面を静定トラスとして力のつり合い条件より求めた軸力(N)

E : 文献 33) による打撃音法で測定した柱 (スギ E70) のヤング係数 (8010 N/mm²)

各部の変位の全体の変形角に影響を及ぼす割合

$$\alpha = \gamma i / \Sigma \gamma \quad \cdots \cdots (3. 7)$$

γi : 各部の変位による変形角

$\Sigma \gamma$: 各部の変位による変形角を合計した全体の変形角

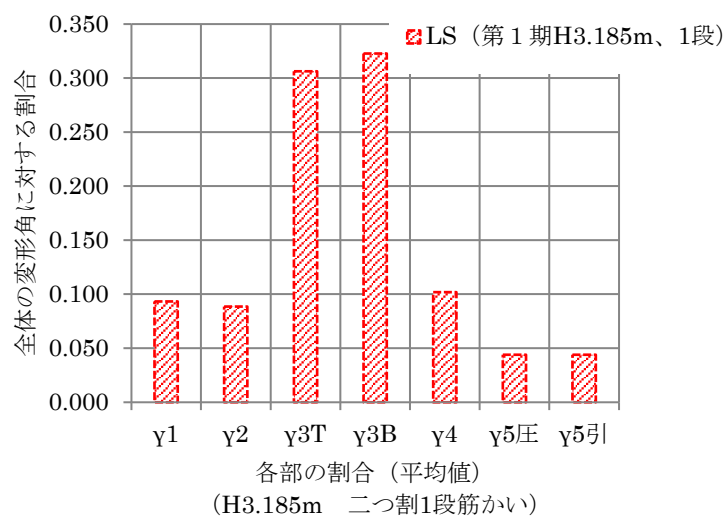


図 3. 19 各部の变形角の全体の变形角に対する割合 (1 段筋かい)

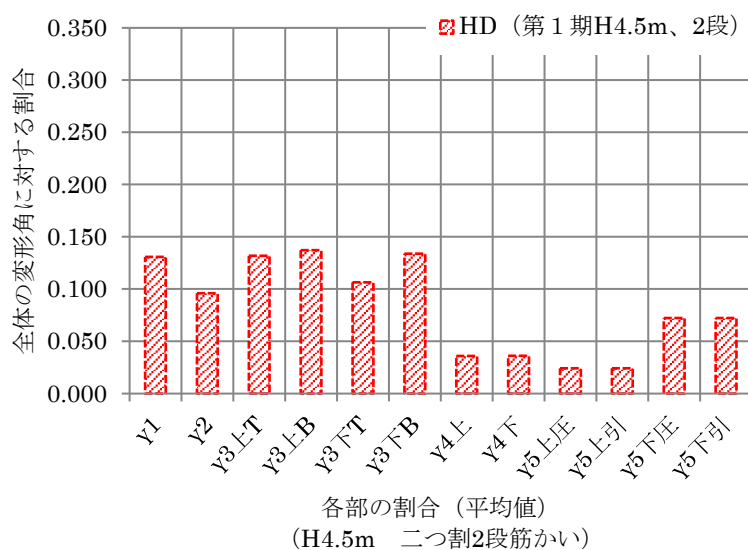


図 3. 20 各部の变形角の全体の变形角に対する割合 (2 段筋かい)

3.6.9 第2期面内せん断試験に向けた補強内容の検討

図 3.19 及び図 3.20 によると各試験体とも筋かい金物の取付部の変位による影響 (γ_3) が大きかった。また、H4.5m の 2 段筋かいタイプでは、柱脚のめり込み及び浮き上がりによる影響 ($\gamma_{1,2}$) が 1 段筋かいに比べて大きかった。そのため、第 2 期の試験では、筋かい金物をボックスタイプからより剛性の高い側面取付フラットタイプのものに変更し (表 3.12)、H=4.5m の 2 段タイプに基礎直結型の柱脚金物 (写真 3.9) を使用し、柱断面を 105mm 角から 120mm 角に変更することで、柱脚のめり込み及び浮き上りを抑え初期剛性の向上を図った。また、たすき掛け筋かいの交点に木質構造用ねじを打ち込むことで、引張筋かいに圧縮筋かいの座屈による面外変位を抑制させ、靱性の向上を図った。その他変更点は表 3.14 及び表 3.15 に示すとおりである。

表 3.12 筋かい金物データ (金物メーカー提供) 単位 : kN/m

使用金物タイプ	P_y	$P_u \cdot 0.2/D_s$	$2/3P_{max}$	$P(120)$
第 1 期 : 柱・筋かい・横架材の 3 点留めの ボックスタイプ 13)	—	—	3.77	<u>3.10</u>
第 2 期 : 柱・筋かい・横架材の側面 3 点留め のフラットプレートタイプ 14)	4.83	<u>3.73</u>	5.71	5.49



写真 3.9 基礎直結型柱脚金

3.7 第2期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験

3.7.1 試験体の概要

試験体の仕様を表 3.13 に示す。「3.6.9 第2期面内せん断試験に向けた補強内容の検討」による第1期からの変更箇所を表 3.14 及び表 3.15 に示す。試験体数は各タイプ3体とした。試験体の高さは、3.0mと4.5mの2種類とした。試験体の高さが3.0mの場合は1段筋かいとし、試験体符号はNLSとした。試験体の高さが4.5mの場合は2段筋かいとし、試験体符号はNHDとした。高さ3.0mの1段筋かいの試験体NLSの柱の断面寸法は105mm角とし、スギ製材の日本農林規格（JAS）のE70を使用した。土台の断面寸法は105mm角とし、ヒノキ製材のJASのE90を使用した。梁の断面寸法は105mm×180mmとし、ベイマツ製材のJASのE110を使用した。高さ4.5mの2段筋かいの試験体NHDの柱の断面寸法は120mm角とし、スギ製材のJASのE70を使用した。土台の断面寸法は120mm角とし、ヒノキ製材のJASのE90を使用した。梁の断面寸法は120mm×180mmとし、ベイマツ製材のJASのE110を使用した。また、中間横架材として、断面寸法が120mm×180mmのスギ製材のJASのE70を使用した。筋かい材について、高さ3.0mの1段筋かいの試験体NLSの場合、断面寸法は45mm×120mmとし、スプルス製材の無等級材を使用した。高さ4.5mの2段筋かいの試験体NHDの場合、断面寸法は45mm×90mmとし、スプルス製材の無等級材を使用した。各試験体とも柱・筋かい・横架材の側面3点留めのフラットプレート型の筋かい金物を使用した。柱頭は、各試験体とも梁に対し短ほぞ差しとし、40kN用のホールダウン（HD）金物を柱の内側に取り付けて緊結した。短ほぞの断面は、厚さ35mm、幅85mm、長さを60mmとした。柱脚は、1段筋かいの試験体NLSと2段筋かいの試験体NHDとで仕様を変えた。1段筋かいの試験体NLSの柱脚は、土台に対し短ほぞ差しとし、60kN用のHD金物を柱の内側に取り付けて緊結した。短ほぞの断面は、厚さ35mm、幅85mm、長さを45mmとした。2段筋かいの試験体NHDの柱脚は、土台へのめり込みを抑制するため、図3.21に示すような基礎直結柱脚金物を併用し、HD金物を柱の内側に取り付け緊結した。各試験体のたすき掛け筋かいの交点は、ねじ部の径6mm長さ100mmの木質構造用ねじを片側2本とした。

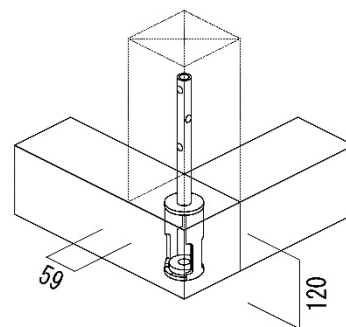


図 3.21 基礎直結型柱脚金物

表 3.13 <二つ割たすき掛け筋かい耐力壁面内せん断試験_第2期>平成30年9月～10月実施

試験体 符号	壁高さ (mm) 段数	壁長 (mm)	軸組	筋かい	主要接合部
NLS	3000 1 段	910	柱： 断面：105mm×105mm 樹種：スギ(E70) 土台： 断面：105mm×105mm 樹種：ヒノキ(E90) 梁： 断面：105mm×180mm 樹種：ベイマツ(E110) 間柱： 断面：45mm×105mm 樹種：スギ KD	断面： 45mm×120mm 樹種： スプルー ス KD	筋かい金物：(共通) 2 倍用柱梁筋かい 3 点留め 側面取付フラットプレートタイプ 柱頭仕口部：(共通) 短ほぞ+40kN 用 HD 金物内付 柱脚仕口部：(NLS) 短ほぞ+60kN 用 HD 金物内付
NHD	4500 2 段		柱： 断面：120mm×120mm 樹種：スギ(E70) 土台： 断面：120mm×120mm 樹種：ヒノキ(E90) 梁： 断面：120mm×180mm 樹種：ベイマツ(E110) 中間横架材： 断面：120mm×180mm 樹種：スギ(E70) 間柱： 断面：45mm×120mm 樹種：スギ KD	断面： 45mm×90mm 樹種： スプルー ス KD	柱脚仕口部：(NHD) 60kN 用 HD 金物外付 + 基礎直結・土台埋め込み型柱脚金物 筋かいと間柱：(共通) 木質構造用ねじ φ6mm×L100mm ×片面 2 本 (両面計 4 本) 中間横架材仕口部：(NHD のみ) 梁成 105mm 用梁受け金物 間柱と横架材：(共通) 釘 2-N75 斜め打ち

表 3.14 第 1 期からの変更箇所（二つ割 1 段筋かい）

変更箇所	第 1 期試験体 type. LS（二つ割 1 段筋かい）	第 2 期試験体 type. NLS（二つ割 1 段筋かい）
筋かい断面	45mm×90mm	45mm× <u>120mm</u>
筋かい樹種	ベイマツ KD	<u>スプルース</u> KD
筋かい金物	2 倍用柱梁筋かい 3 点留め (ボックスタイプ)	2 倍用柱梁筋かい 3 点留め (側面取付フラットプレートタイプ)
筋かい交点	釘 2-N75（両面）	<u>木質構造用ねじ φ 6mm×L100mm×片面 2 本</u> (両面、計 4 本)
柱脚	短ほぞ+60kN 用 HD 金物外付	短ほぞ+60kN 用 HD 金物 <u>内付</u>
壁高さ	3.185m	<u>3.0m</u>

表 3.15 第 1 期からの変更箇所（二つ割 2 段筋かい）

変更箇所	第 1 期試験体 type. HD（二つ割 2 段筋かい）	第 2 期試験体 type. NHD（二つ割 2 段筋かい）
柱断面	105mm×105mm	<u>120mm×120mm</u>
土台断面	105mm×105mm	<u>120mm×120mm</u>
梁断面	105mm×180mm	<u>120mm</u> ×180mm
中間横架材断面	105mm×105mm	<u>120mm</u> ×180mm
中間横架材端部	大入れ+15kN 用コーナー金物 (上下 2 個)	<u>梁成 105mm 用梁受け金物</u>
筋かい樹種	ベイマツ KD	<u>スプルース</u> KD
筋かい金物	2 倍用柱梁筋かい 3 点留め (ボックスタイプ)	2 倍用柱梁筋かい 3 点留め (側面取付フラットプレートタイプ)
筋かい交点	木質構造用ねじ φ 6mm×L100mm×片面 2 本	木質構造用ねじ φ 6mm×L100mm×片面 2 本 (両面、計 4 本)
柱脚	短ほぞ+60kN 用 HD 金物外付	60kN 用 HD 金物外付 <u>+基礎直結・土台埋め込み型柱脚金物</u>

試験体の概要を図 3.22 に示す。



3.7.2 (a) 試験体 NLS の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.23 に、試験体加力前後の様子を写真 3.10 に、終局時の様子を写真 3.11 に示す。また、特性値の一覧を表 3.16 に示す。含水率及び密度を表 3.17 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

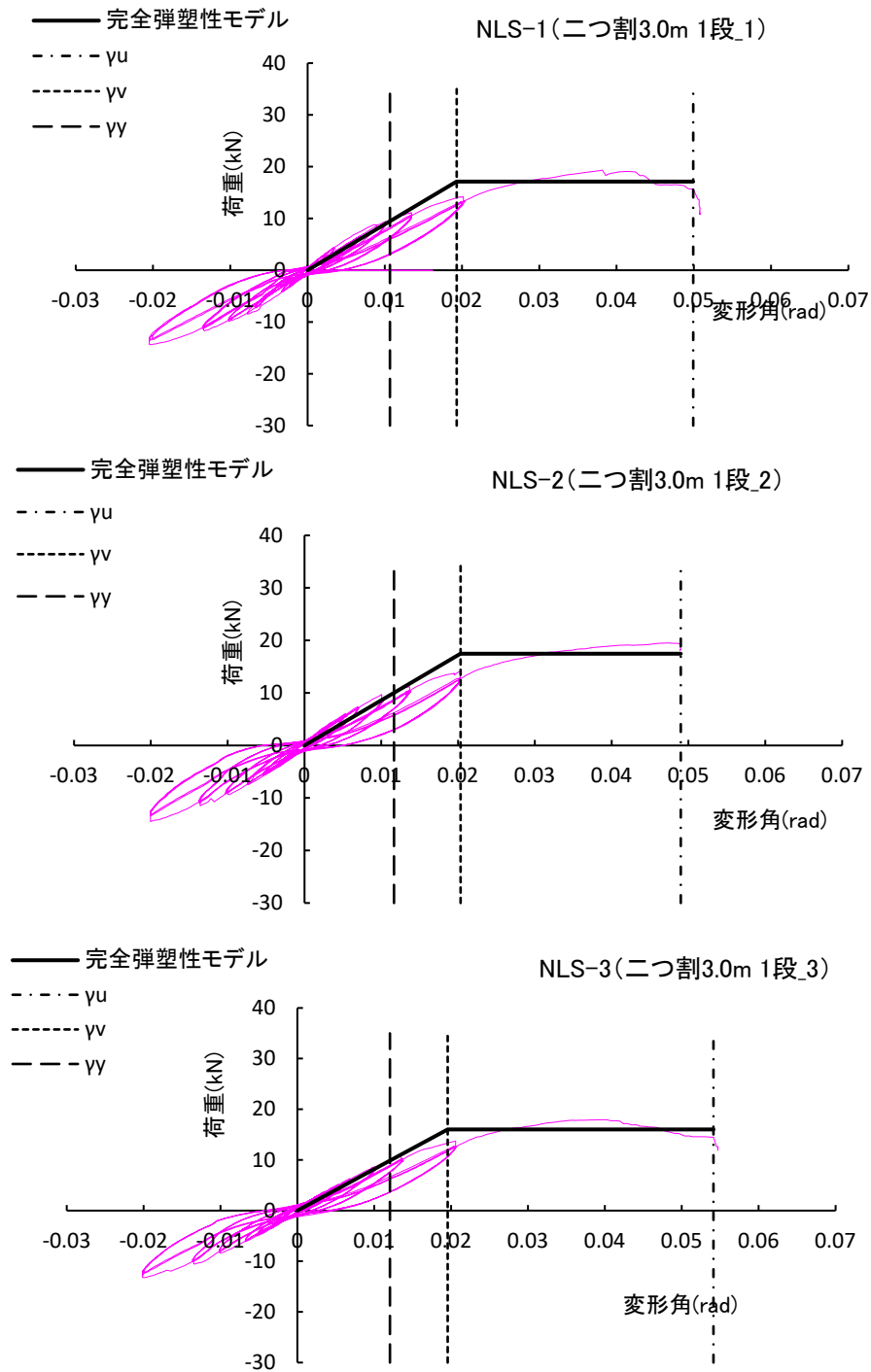


図 3.23 荷重-変形角曲線



(a) NLS-2 加力前



(b) NLS-2 加力後

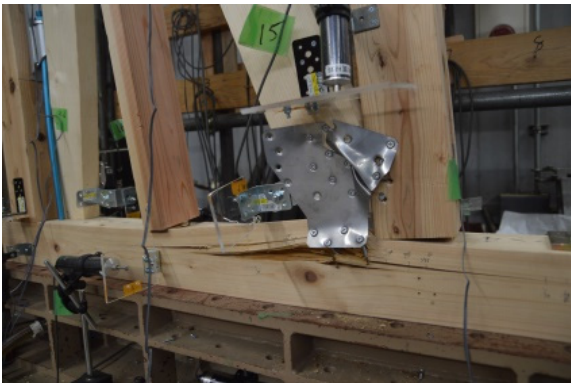
写真 3.10 試験体加力前後の様子



(a) 筋かいの引張り曲げ破壊 (NLS-1)



(b) 圧縮筋かいによる梁のめり込み破壊 (NLS-2)



(c) 土台の割裂破壊 (NLS-3)

写真 3.11 終局時の様子

表 3.16 試験結果

H=3000 ニつ割筋かい、45×120(ホワイトウッド)タスキ 1 段

番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
NLS-1	19.34	0.050	17.11	0.019	0.011	886.59	2.586	0.49	9.45	6.99	12.89	8.61
NLS-2	19.53	0.049	17.46	0.020	0.012	859.09	2.410	0.51	10.01	6.83	13.02	8.31
NLS-3	17.97	0.054	16.02	0.020	0.012	819.29	2.769	0.47	9.86	6.82	11.98	7.37
平均値	18.94	0.051	16.86	0.020	0.011	854.99	2.588	0.49	9.77	6.88	12.63	8.09
標準偏差									0.292	0.096	0.567	0.648
変動係数									0.030	0.014	0.045	0.080
ばらつき係数									0.986	0.993	0.979	0.962
50%下限値									9.63	6.83	12.36	7.79
壁倍率									5.40	3.83	6.93	4.37

表 3.17 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい	
				加力機 側	加力機 反対側	圧縮側	引張側
NLS-1	含水率 (%)	16.8	12.42	20.02	11.07	16.51	16.20
	密度 (kg/m ³)	557.0	533.92	444.45	448.2	511.11	442.62
NLS-2	含水率 (%)	14.0	11.31	11.57	11.0	15.64	16.11
	密度 (kg/m ³)	505	541.48	375.16	479.41	547.89	419.79
NLS-3	含水率 (%)	15.0	10.79	12.30	10.74	16.56	16.35
	密度 (kg/m ³)	511	574.91	453.82	444.45	403.31	455.31

3.7.2 (b) 試験体 NLS の試験結果についての考察

H=3.0m・二つ割筋かい耐力壁に共通する破壊性状は、H=3.0m・柱同寸筋かい耐力壁同様引張り側筋かい金物のビス部を起点とする土台の割裂破壊であった（写真 3.11(c)）。それに加え試験体 NLS-1 では、引張り側筋かいの引張り曲げ破壊も発生した（写真 3.11(a)）。引張り筋かいが圧縮筋かいの面外座屈に伴って曲げを受けながら引っ張られることで破壊したと考えられる。また試験体 NLS-2 では、圧縮筋かいの突き上げにより梁下端のめり込み破壊も発生した（写真 3.11(b)）。節部分で発生しており部分的にめり込み強度が弱かったと考えられる。

評価は「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、壁倍率は 3.83 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を下回る結果となった。

3.7.3 試験体 NHD の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.24 に示す。

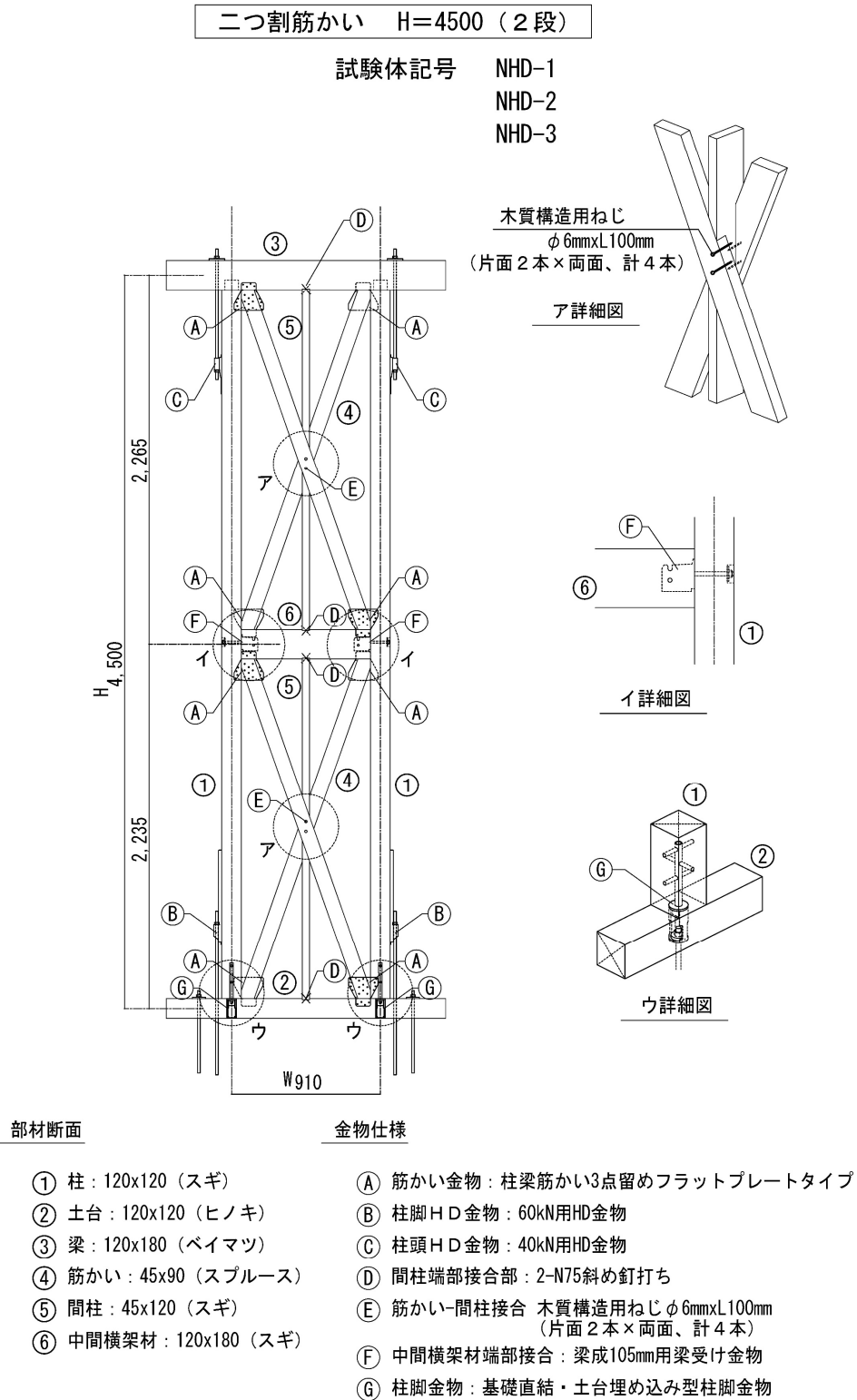


図 3.24 試験体 NHD の概要 (単位：mm)

3.7.3 (a) 試験体 NHD の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.25 に、試験体加力前後の様子を写真 3.12 に、終局時の様子を写真 3.13 に示す。また、特性値の一覧を表 3.18 に示す。含水率及び密度を表 3.19 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

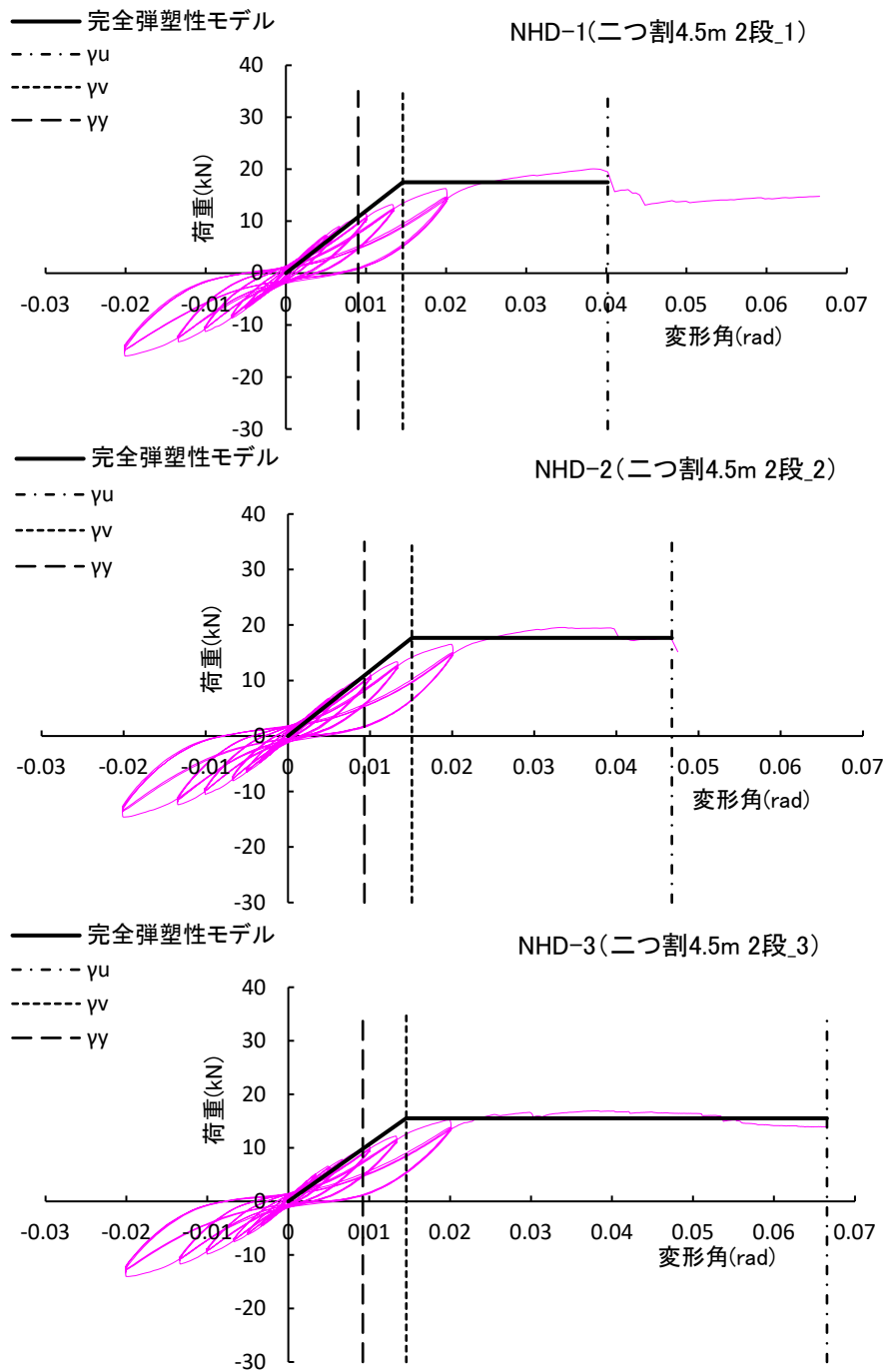
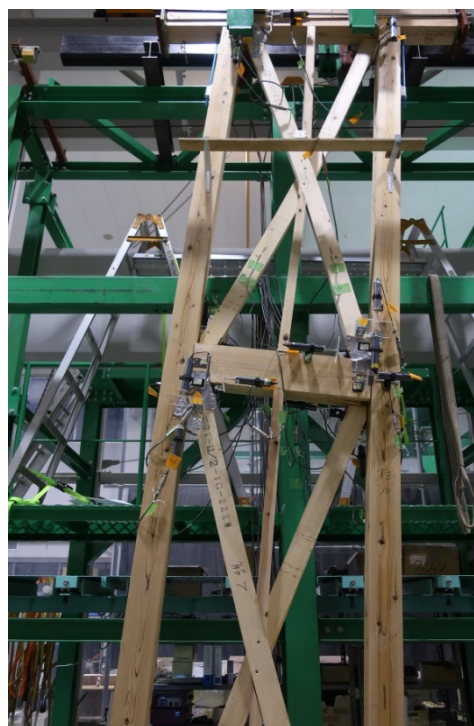


図 3.25 荷重-変形角曲線

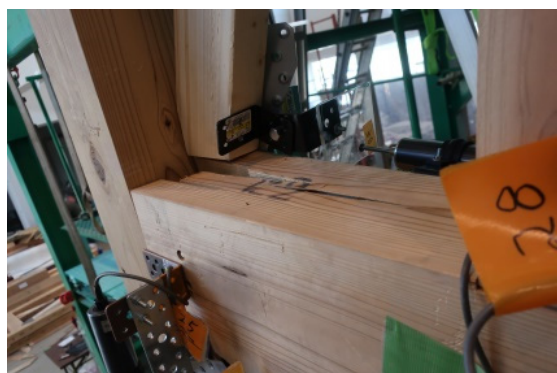


(a) NHD-2 加力前



(b) NHD-2 加力後

写真 3.12 試験体加力前後の様子



(a) 中間横架材接合金物スリット部の引張筋かいによる
タテ割裂破壊 (NHD-1)



(b) 中間横架材接合金物スリット部の圧縮筋かい
によるタテ割裂破壊 (NHD-2)



(c) 柱HD 部の引張り曲げ破壊 (NHD-3)

写真 3.13 終局時の様子

表 3.18 試験結果

H=4500 ニつ割筋かい、45×90(スプルース)タスキ 2 段												
番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
NHD-1	20.08	0.040	17.48	0.015	0.009	1197.98	2.753	0.47	10.82	7.42	13.38	10.26
NHD-2	19.58	0.047	17.68	0.015	0.009	1171.14	3.097	0.44	10.91	8.06	13.05	10.08
NHD-3	16.93	0.067	15.54	0.015	0.009	1066.76	4.567	0.35	9.81	8.87	11.28	9.15
平均値	18.86	0.051	16.90	0.015	0.009	1145.29	3.472	0.42	10.51	8.12	12.57	9.83
									標準偏差	0.608	0.724	1.129
									変動係数	0.058	0.089	0.090
									ばらつき係数	0.973	0.958	0.971
									50%下限値	10.23	7.78	12.04
									壁倍率	5.73	4.36	6.75

表 3.19 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい				中間 横架材
				加力機 側	加力機 反対側	上段		下段		
						圧縮側	引張側	圧縮側	引張側	
NHD-1	含水率 (%)	11.2	12.55	12.52	12.43	15.67	16.58	15.42	16.41	10.42
	密度 (kg/m ³)	547	472.99	437.96	477.77	449.11	449.11	449.11	449.11	389.33
NHD-2	含水率 (%)	14.3	10.73	13.28	15.47	15.56	15.64	15.26	15.72	11.76
	密度 (kg/m ³)	534	431.86	445.92	453.89	392.97	505.25	449.11	449.11	389.33
NHD-3	含水率 (%)	15.8	10.13	19.04	16.78	16.13	15.35	15.73	15.52	11.23
	密度 (kg/m ³)	493	493.56	501.66	390.18	449.11	392.97	449.11	449.11	389.33

3.7.3 (b) 試験体 NHD の試験結果についての考察

H=4.5m・二つ割 2 段筋かい耐力壁に共通する破壊性状は、中間横架材のタテ割裂であった(写真 3.13(a), (b))。中間横架材端部に梁受け金物を使用しているが、そのためのスリットが横架材の成方向に縦に 2 か所開けられ、端部では幅が 3 等分された状態となっており、その 1/3 の部分に筋かいが接合されているため、タテ割裂破壊が発生しやすかったと考えられる。筋かい金物のビス部を起点とした土台の割裂は試験体 NHD-2、NHD-3 で観察されたが、柱脚は基礎直結・土台埋め込み型柱脚金物を使用し、それが柱の浮き上がりを抑えているため、急激に荷重が低下するということとはなかった。試験体 NHD-3 は、1/140rad 時に引張り側柱に引張り破壊が発生したが(写真 3.13(c))、荷重を保持したまま変形が進み、変位が 400mm を超えたところで試験を終了した。

評価は「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、壁倍率は 4.36 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満足した。

3.7.4 第2期二つ割筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察

試験の結果、2段筋かいの試験体 NHD は第1期の成績を上回り、施行令46条の壁倍率4倍の性能を満たすことができた。しかし、試験体 NLS は、第1期の壁倍率を上回りながらも施行令46条の壁倍率を満たすことができなかった。

試験体 NLS に共通する主な破壊性状は、引張り側筋かい金物のビス部を起点とする土台の割裂破壊であった(写真 3.11 (c))。引張筋かいによる柱の浮き上がりに伴い筋かい金物のビスで土台が上方向に持ち上げられることで割裂破壊したと考えられる。また、試験体 NLS-1 では、土台の割裂に加え筋かいの引張曲げ破壊も発生した(写真 3.11 (a))。引張り筋かいが圧縮筋かいの面外座屈に伴って曲げを受けながら引っ張られることで破壊したと考えられる。

試験体 NHD に共通する主な破壊性状は、中間横架材のタテ割裂であった(写真 3.13 (a), (b))。中間横架材端部に梁受け金物を使用しているが、そのためのスリットが横架材の縦方向に2か所開けられ、端部では幅が3等分された状態となっており、その1/3の部分に筋かいが接合されているため、タテ割裂破壊が発生しやすかったと考えられる。2段筋かいタイプで中間横架材端部に割裂破壊等が多く発生したのは、上段引張筋かいの軸力と下段圧縮筋かいの軸力によるせん断力が中間横架材端部に集中したためと考えられる。

3.7.5 第2期面内せん断試験における各部の変位による変形の全体の変形角に及ぼす割合

1/120rad 時の各部の変位による変形角の全体の変形角に対する割合について第1期と第2期と併せて、二つ割1段筋かい図 3.26 に、二つ割2段筋かい図 3.27 に示す。図の凡例は表 3.11 に同じとする。

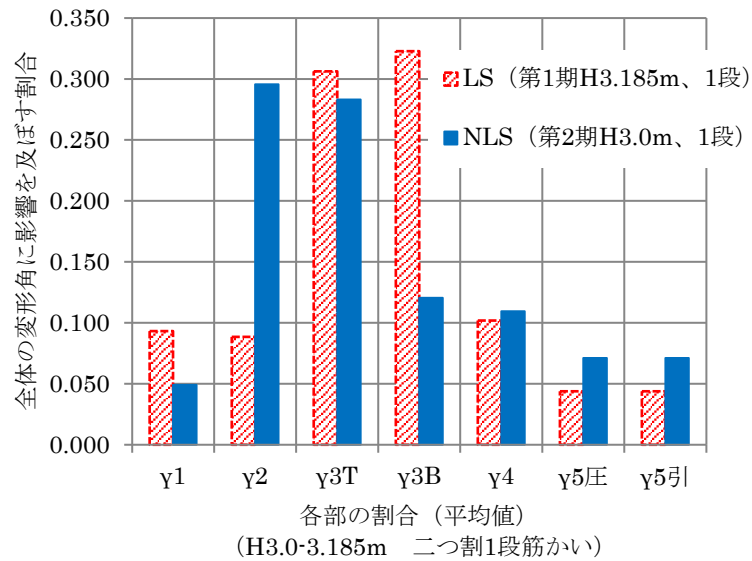


図 3.26 各部の変形角の全体の変形角に対する割合

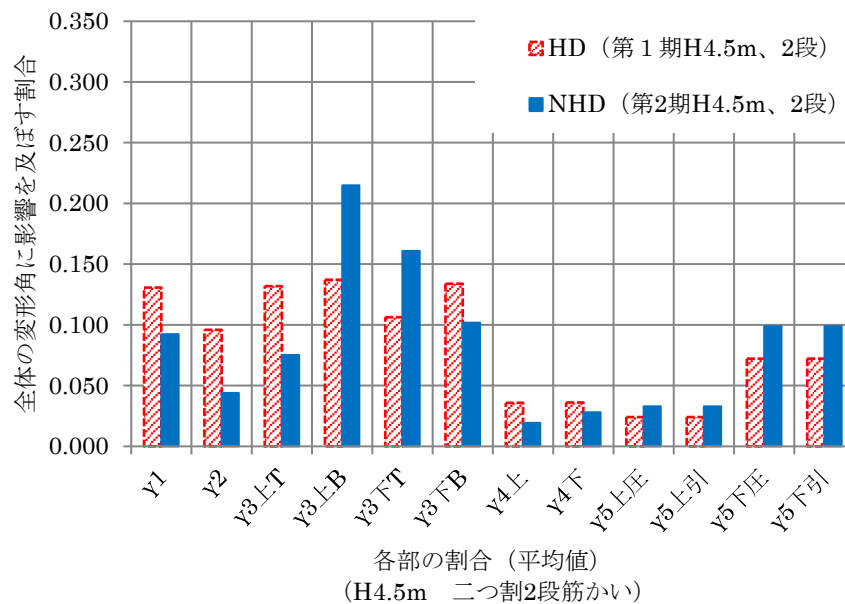


図 3.27 各部の変形角の全体の変形角に対する割合

3.7.6 第2期面内せん断試験における補強効果についての考察

図 3.26 に示すように、試験体 NLS は筋かい金物を剛性の高いものに変更したことによりその影響 (γ_3) は抑えられたが、柱脚の浮き上がりによる影響 (γ_2) が大きかった。変形角 $1/120\text{rad}$ 前後の段階で筋かいプレートのビス部からの土台の割裂が NLS の全ての試験体で見られたが(写真 3.11(c))、これは HD 金物を柱の内側に取り付けたことにより、引張側柱脚と土台間の浮き上がりが大きくなったことが原因であると考えられる。そのため、NLS の初期剛性の平均値が第 1 期試験よりも低くなったが、壁高さを 3.185m から 3.0m に抑えたため、結果的に壁倍率は向上した。

試験体 NHD では、柱脚に基礎直結・土台埋め込み型柱脚金物(写真 3.9)を使用したため、図 3.27 に示すように γ_1 , γ_2 の柱脚のめり込み及び浮き上がりの影響を抑えることができた。 γ_3 の筋かい金物の取付部の変位による影響は全体的に抑えられたが、上段引張筋かいの下端部の変形による影響(γ_3 上 B)) は梁受け金物用の縦スリットによる断面欠損(写真 3.13 (a)) のため第 1 期試験より大きくなった。

3.8 第3期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験

3.8.1 試験体の概要

試験体の仕様を表 3.20 に示す。第2期からの変更箇所を表 3.21 に示す。試験体数は3体とし、試験体符号は NLS-R とした。

第3期の試験は、第2期の試験において施行令 46 条の壁倍率を満足できなかった壁高さ 3.0 m の1段筋かい耐力壁（試験体 NLS）について行った。耐力壁の壁長は構造的には、圧縮側の柱芯から引張側の柱に取り付く HD 金物のボルト芯までの距離であると考えられる。第2期の試験では HD 金物は柱の内側に取り付けていたが、それを外側に取り付ければ構造的な壁長は長くなり、筋かい構面のアスペクト比が低くなることで、水平荷重を受けたときに柱が負担する軸力が小さくなる。その結果、柱脚部のめり込み及び浮き上がり変位が小さくなり、筋かい構面のロッキング変形が抑えられ、壁倍率が向上すると考えられる。そこで、第3期では第2期の壁高さ 3.0m の1段筋かい耐力壁の仕様のまま、HD 金物の取付位置だけ柱の外側に変更して面内せん断試験を行い、第2期の試験と比較することとした。

表 3.20 <二つ割たすき掛け筋かい耐力壁面内せん断試験_第3期>令和元年8月実施

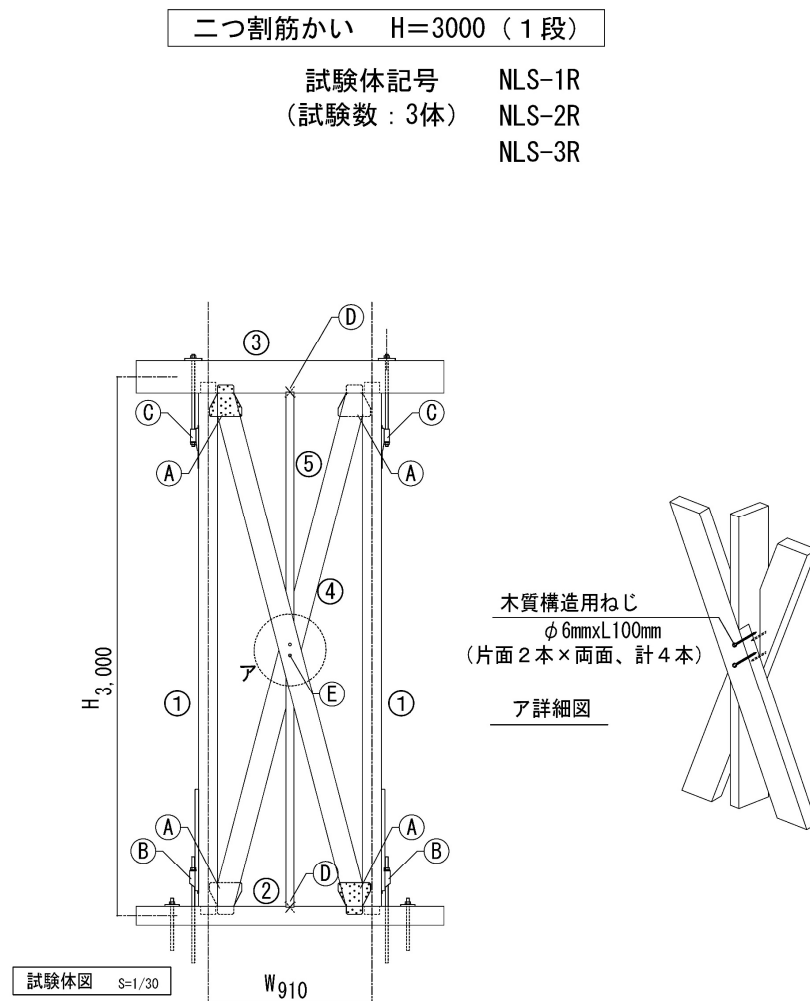
試験体 符号	壁高さ (mm) 段数	壁長 (mm)	軸組	筋かい	主要接合部
NLS-R	3000 1 段	910	柱： 断面：105mm×105mm 樹種：スギ(E70) 土台： 断面：105mm×105mm 樹種：ヒノキ(E90) 梁： 断面：105mm×180mm 樹種：ベイマツ(E110) 間柱： 断面：45mm×105mm 樹種：スギ KD	断面： 45mm×120mm 樹種： スプレース KD	筋かい金物： 2 倍用柱梁筋かい 3 点留め 側面取付フラットプレートタイプ 柱頭仕口部： 短ほぞ+40kN 用 HD 金物外付 柱脚仕口部： 短ほぞ+60kN 用 HD 金物外付 筋かいと間柱： 木質構造用ねじ φ 6mm×L100mm ×片面 2 本（両面計 4 本） 間柱と横架材： 釘 2-N75 斜め打ち

表 3.21 第2期からの変更箇所

変更箇所	第2期試験体 type. NLS（二つ割1段筋かい）	第3期試験体 type. NLS-R（二つ割1段筋かい）
柱脚	短ほぞ+60kN 用 HD 金物内付	短ほぞ+60kN 用 HD 金物 <u>外付</u>

3.8.2 試験体 NLS-R の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.28 に示す。



部材断面

- ① 柱 : 105x105 (スギ)
- ② 土台 : 105x105 (ヒノキ)
- ③ 梁 : 105x180 (ベイマツ)
- ④ 筋かい : 45x120 (スプルース)
- ⑤ 間柱 : 45x105 (スギ)

金物仕様

- Ⓐ 筋かい金物 : 柱梁筋かい3点留めフラットプレートタイプ
- Ⓑ 柱脚HD金物 : 60kN用HD金物
- Ⓒ 柱頭HD金物 : 40kN用HD金物
- Ⓓ 間柱端部接合部 : 2-N75斜め釘打ち
- Ⓔ 筋かい-間柱接合 木質構造用ねじ φ 6mm x L100mm
(片面 2 本 x 両面、計 4 本)

図 3.28 試験体 NLS の概要 (単位 : mm)

3.8.2 (a) 試験体 NLS-R の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.29 に、試験体加力前後の様子を写真 3.14 に、終局時の様子を写真 3.15 に示す。また、特性値の一覧を表 3.22 に示す。含水率及び密度を表 3.23 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

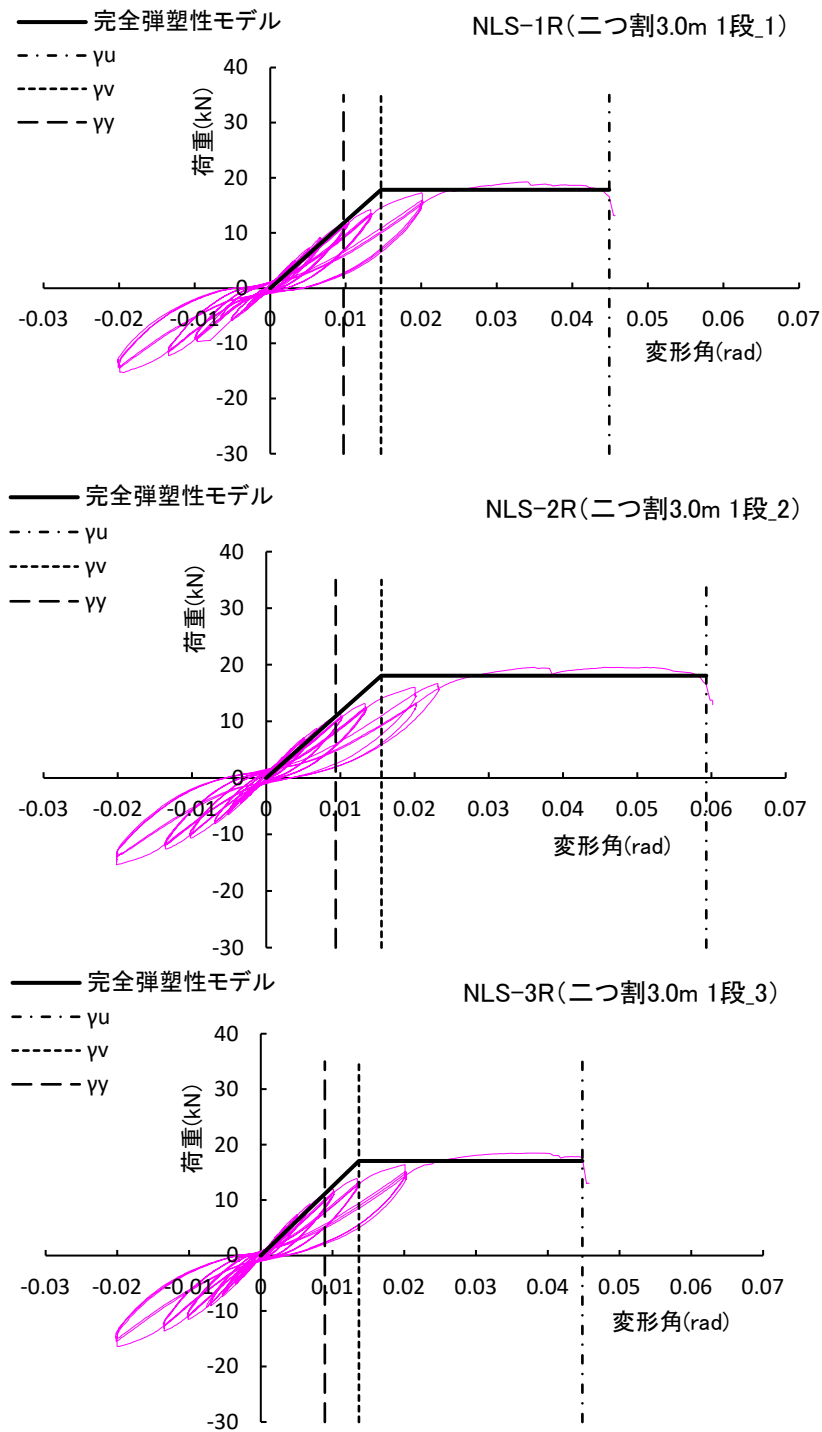


図 3.29 荷重-変形角曲線



(a) NLS-1R 加力前

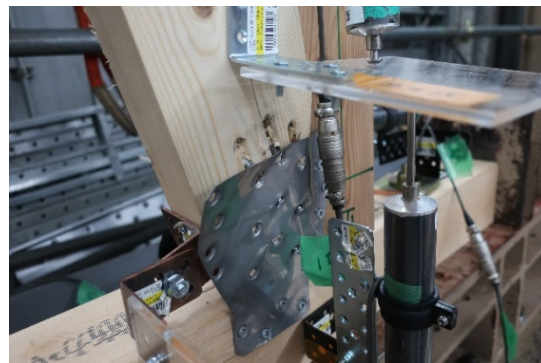


(b) NLS-1R 加力後

写真 3.14 試験体加力前後の様子



(a) 筋かいの座屈破壊 (NLS-1R)



(b) 筋かい金物取付ビス部の割裂 (NLS-2R)



(c) 土台の割裂破壊 (NLS-2R)

写真 3.15 終局時の様子

表 3.22 試験結果

H=3000 二つ割筋かい、45×120(ホワイトウッド)タスキ 1 段

番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu-0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
NLS-1R	19.26	0.045	17.83	0.015	0.010	1215.59	3.059	0.44	11.79	8.07	12.84	10.57
NLS-2R	19.55	0.059	18.07	0.016	0.009	1164.06	3.820	0.39	10.89	9.31	13.03	10.09
NLS-3R	18.48	0.045	17.07	0.014	0.009	1247.88	3.277	0.42	11.12	8.04	12.32	10.64
平均値	19.10	0.050	17.65	0.015	0.009	1209.18	3.385	0.42	11.27	8.47	12.73	10.43
標準偏差									0.470	0.725	0.369	0.302
変動係数									0.042	0.086	0.029	0.029
ばらつき係数									0.980	0.960	0.986	0.986
50%下限値									11.04	8.13	12.56	10.29
壁倍率									6.19	4.56	7.04	5.77

表 3.23 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい	
				加力機 側	加力機 反対側	圧縮側	引張側
NLS-1R	含水率 (%)	14.6	12.18	15.01	14.15	12.82	12.63
	密度 (kg/m ³)	533.81	533.92	440.08	450.69	474.33	467.99
NLS-2R	含水率 (%)	13.44	22.11	14.97	11.52	13.38	12.45
	密度 (kg/m ³)	461.76	611.59	453.19	510.0	507.3	437.55
NLS-3R	含水率 (%)	14.94	13.91	10.37	12.14	13.36	12.47
	密度 (kg/m ³)	535.69	592.17	421.98	460.68	490.82	455.31

3.8.3 第3期面内せん断試験の結果と考察

試験体 NLS-1R の破壊性状は、圧縮側筋かいの節部を起点とする座屈破壊であった(写真 3.15(a))。その他の試験体 NLS-2R 及び NLS-3R においては、ロードセルが最大荷重を示した後、引張側筋かい金物のビス部の割裂(写真 3.15(b))などで金物の変形が進行し、圧縮筋かいと引張筋かいが共に大きく面外に変形することで試験体が負担する荷重が最大荷重の 80%以下に低下したため試験を終了した(写真 3.14(b))。全試験体に共通する性状として、変形が 1/50rad になった辺りで、引張り側筋かい金物のビス部を起点とする土台の割裂が見られたが、第2期の試験体に比べると割裂の度合いは小さいものであった(写真 3.15(c))。

初期剛性の平均値については、試験体 NLS では 855.0kN/rad であったのに対し、試験体 NLS-R では 1209.2kN/rad に向上し、塑性率 μ の平均値についても NLS の 2.59 から NLS-R の 3.39 に向上した。以上のことから HD 金物を柱の外側に取り付けることによる面内せん断性能の向上を確認できた。

評価は「 $Pu \cdot 0.2/Ds$ 」で決まり、壁倍率換算で 4.56 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満足することができた。

3.9 第4期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験

3.9.1 試験体の概要

試験体の仕様を表 3.24 に示す。第3期二つ割1段筋かい試験体からの変更箇所を表 3.25 に示す。また、第2期二つ割2段筋かい試験体からの変更箇所を表 3.26 に示す。試験体数は各タイプ3体とした。

第2期及び第3期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験で使用した筋かい金物は、柱・筋かい・横架材の側面3点に取り付けるフラットタイプのプレートであり、その金物が干渉するため直交壁の配置に制限があった。そこで、令和2年2月、第4期試験として、柱・筋かいの2点に留め付けるL型の筋かい金物を使用して、直交壁対応可能な仕様の筋かい耐力壁として、二つ割1段筋かい耐力壁及び二つ割2段筋かい耐力壁の面内せん断試験を実施し、筋かい金物の違いによる面内せん断性能の違いを検証した。

試験体の概要を図 3.31 及び図 3.33 に示す。二つ割筋かい耐力壁の1段タイプの壁高さは3.0mとし、試験体符号をRLSとした。二つ割筋かい耐力壁の2段タイプの壁高さは4.4mとし、試験体符号をRHDとした。試験場の都合により、試験体RHDの高さは、第2期の2段筋かいの試験体NHDよりも0.1m低い4.4mとした。

高さ3.0mの1段筋かいの試験体RLSの柱の断面寸法は105mm角とし、スギ集成材の日本農林規格(JAS)の等級E65-F255を使用した。土台の断面寸法は105mm角とし、ヒノキ製材のJASのE90を使用した。梁の断面寸法は105mm×180mmとし、ベイマツ製材のJASのE110を使用した。高さ4.4mの2段筋かいの試験体RHDの柱の断面寸法は120mm角とし、スギ集成材のJASの等級E65-F255を使用した。土台の断面寸法は120mm角とし、ヒノキ製材のJASのE90を使用した。梁の断面寸法は120mm×180mmとし、ベイマツ製材のJASのE110を使用した。また、中間横架材として、断面寸法が120mm×120のヒノキ製材のJASのE90を使用した。筋かい材について、高さ3.0mの1段筋かいの試験体RLSの場合、断面寸法は45mm×120mmとし、スプルーエ製材の無等級材を使用した。高さ4.4mの2段筋かいの試験体RHDの場合、断面寸法は45mm×90mmとし、ベイマツ製材の無等級材を使用した。各試験体とも柱・筋かいの2点留めのL型の筋かい金物を使用した。柱頭は、各試験体とも梁に対し短ほぞ差しとし、35kN用のホールダウン(HD)金物を柱の外側に取り付けて緊結した。短ほぞの断面は、厚さ35mm、幅85mm、長さを60mmとした。柱脚は、1段筋かいの試験体RLSと2段筋かいの試験体RHDとで仕様を変えた。1段筋かいの試験体RLSの柱脚は、土台と同じ成の長ほぞ差しとし、ほぞの先端を直接基礎に接するようにすることで、柱脚の土台に対するめり込みを抑制するものとした。筋かいの性能を検証するための実験のため、柱の先行破壊を防ぐ目的でHD金物は60kN用と35kN用のものを直列に使用し、柱の外側に取り付け緊結した。2段筋かいの試験体RHDの柱脚は、土台へのめり込みを抑制するため、

図 3. 30に示すような基礎直結柱脚金物を併用し、1段筋かいの試験体 RLS と同じく HD 金物は 60kN 用と 35kN 用のものを直列に使用し、柱の外側に取り付け緊結した。各試験体のたすき掛け筋かいの交点は、第 2 期及び第 3 期と同じ仕様とし、ねじ部の径 6mm 長さ 100mm の木質構造用ねじを片側 2 本とした。

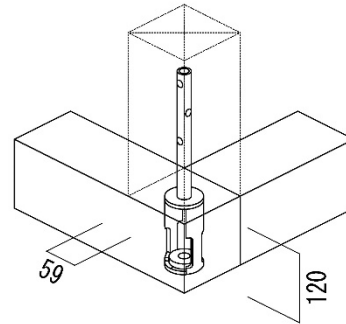


図 3.30 基礎直結型柱脚金物

表 3. 24 <二つ割たすき掛け筋かい耐力壁面内せん断試験__第 4 期>令和 2 年 2 月～3 月実施

試験体 符号	壁高さ (mm) 段数	壁長 (mm)	軸組	筋かい	主要接合部
RLS	3000 1 段	910	柱： 断面：105mm×105mm 樹種：スギ集成材 (E65-F255) 土台： 断面：105mm×105mm 樹種：ヒノキ (E90) 梁： 断面：105mm×180mm 樹種：ベイマツ (E110) 間柱： 断面：45mm×105mm 樹種：スギ KD	断面： 45mm×120mm 樹種： スプルース KD	筋かい金物：(共通) 2 倍用柱筋かい 2 点留め L 型金物 (厚 2.3mm) 柱頭仕口部：(共通) 短ほぞ+35kN 用 HD 金物外付 柱脚仕口部：(RLS) 長ほぞ(h=105)+60kN 用 HD 金物 +35kN 用 HD 金物外付
RHD	4400 2 段		柱： 断面：120mm×120mm 樹種：スギ集成材 (E65-F255) 土台： 断面：120mm×120mm 樹種：ヒノキ (E90) 梁： 断面：120mm×180mm 樹種：ベイマツ (E110) 中間横架材： 断面：120mm×120mm 樹種：ヒノキ (E90) 間柱： 断面：45mm×120mm 樹種：スギ KD	断面： 45mm×90mm 樹種： ベイマツ KD	柱脚仕口部：(RHD) 60kN 用 HD 金物+35kN 用 HD 金物外付 +基礎直結・土台埋め込み型柱脚 金物 筋かいと間柱：(共通) 木質構造用ねじ φ6mm×L100mm ×片面 2 本 (両面計 4 本) 中間横架材仕口部：(RHD のみ) 梁成 105mm 用梁受け金物 間柱と横架材：(共通) 釘 2-N75 斜め打ち

表 3.25 第3期からの変更箇所（二つ割1段筋かい）

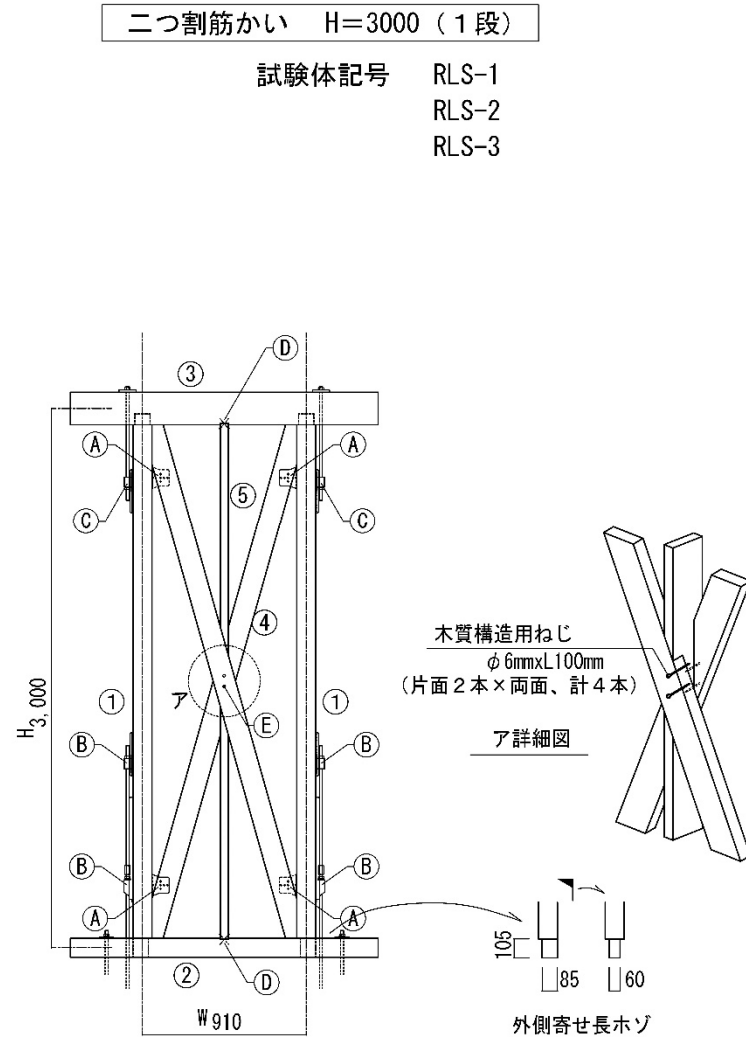
変更箇所	第3期試験体 type. NLS-R（二つ割1段筋かい）	第4期試験体 type. RLS（二つ割1段筋かい）
柱 筋かい金物	スギ製材 (E70) 2倍用柱梁筋かい3点留め 側面取付フラットプレートタイプ	スギ集成材 (E65-F255) 2倍用柱筋かい2点留め L 型金物 (厚 2.3mm)
柱頭	短ほぞ+40kN 用 HD 金物外付	短ほぞ+35kN 用 HD 金物外付
柱脚	短ほぞ+60kN 用 HD 金物外付	長ほぞ(h=105)+60kN 用 HD 金物 +35kN 用 HD 金物外付

表 3.26 第2期からの変更箇所（二つ割2段筋かい）

変更箇所	第2期試験体 type. NHD（二つ割2段筋かい）	第4期試験体 type. RHD（二つ割2段筋かい）
柱 中間横架材 筋かい 筋かい金物	スギ製材 (E70) 120mm×180mm スギ (E70) スプルー ス KD 2倍用柱梁筋かい3点留め 側面取付フラットプレートタイプ	スギ集成材 (E65-F255) 120mm×120mm ヒノキ (E90) ベイマツ KD 2倍用柱筋かい2点留め L 型金物 (厚 2.3mm)
柱頭	短ほぞ+40kN 用 HD 金物外付	短ほぞ+35kN 用 HD 金物外付
柱脚	60kN 用 HD 金物外付 +基礎直結・土台埋め込み型柱脚金物	60kN 用 HD 金物+35kN 用 HD 金物外付 +基礎直結・土台埋め込み型柱脚金物
壁高さ	4.5m	4.4m

3.9.2 試験体 RLS の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.31 に示す。



部材断面

- ① 柱：105x105 (スギ集成材)
(E65-F255)
- ② 土台：105x105 (ヒノキ)
- ③ 梁：105x180 (ペイマツ)
- ④ 筋かい：45x120 (スプルース)
- ⑤ 間柱：45x105 (スギ)

金物仕様

- Ⓐ 筋かい金物：柱筋かい2点留めL型金物 (厚2.3mm)
- Ⓑ 柱脚HD金物：60kN用HD金物+35kN用HD金物 (直列)
- Ⓒ 柱頭HD金物：35kN用HD金物
- Ⓓ 間柱端部接合部：2-N75斜め釘打ち
- Ⓔ 筋かい-間柱接合 木質構造用ねじ φ6mmxL100mm
(片面2本×両面、計4本)

図 3.31 試験体 RLS の概要 (単位：mm)

3.9.2 (a) 試験体 RLS の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.32 に、試験体加力前後の様子を写真 3.16 に、終局時の様子を写真 3.17 に示す。また、特性値の一覧を表 3.27 に示す。含水率及び密度を表 3.28 に示す。含水率は試験後に高周波測定器にて測定した。密度は試験前に測定した。

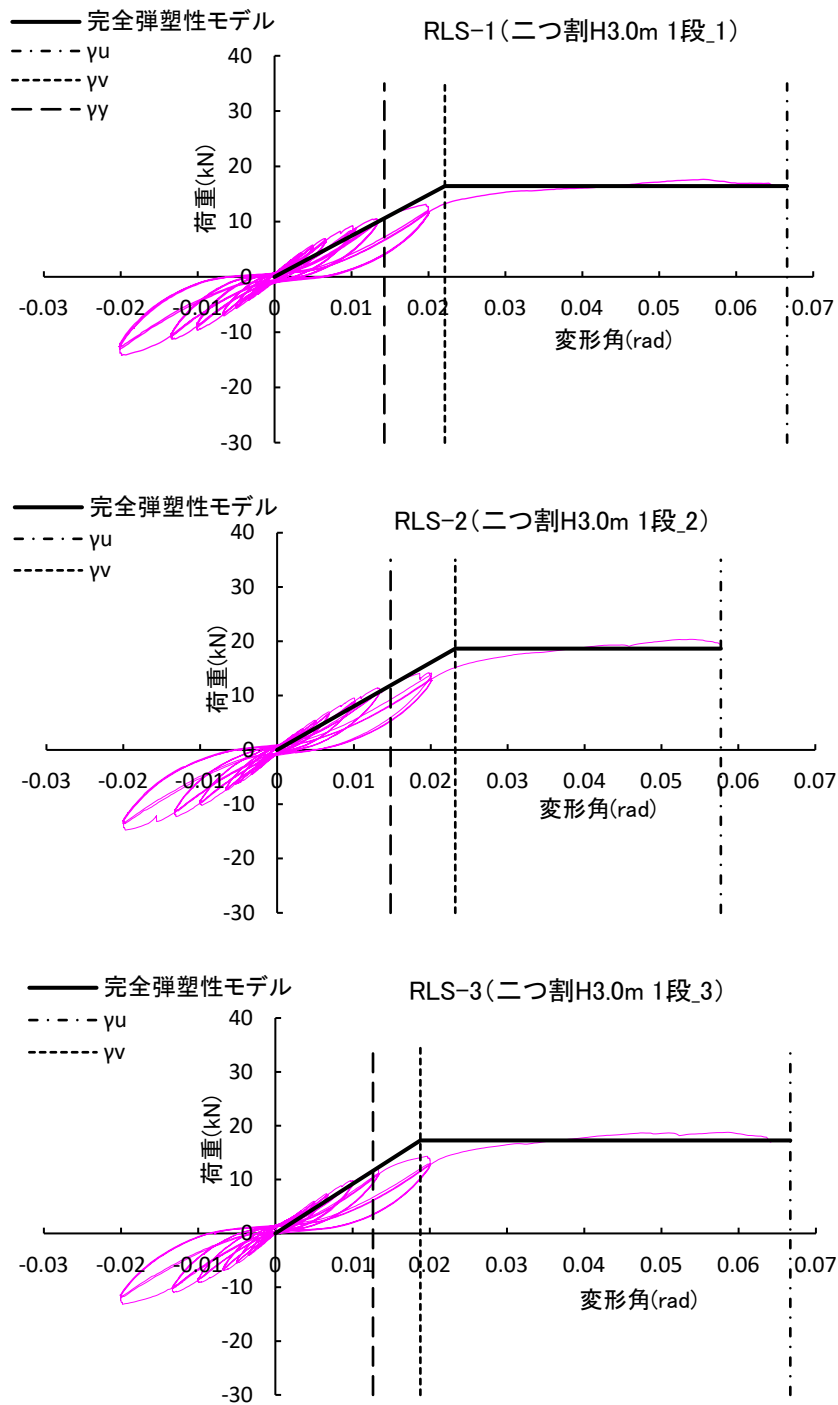


図 3.32 荷重-変形角曲線

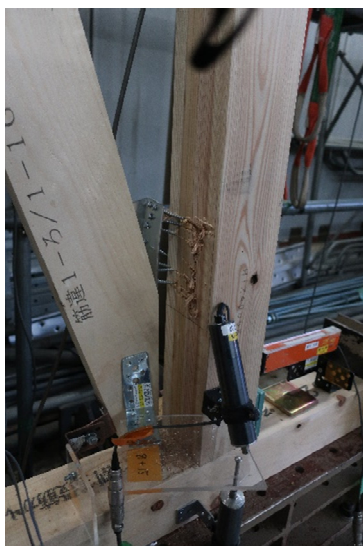


(a) RLS-1 加力前



(b) RLS-1 加力後

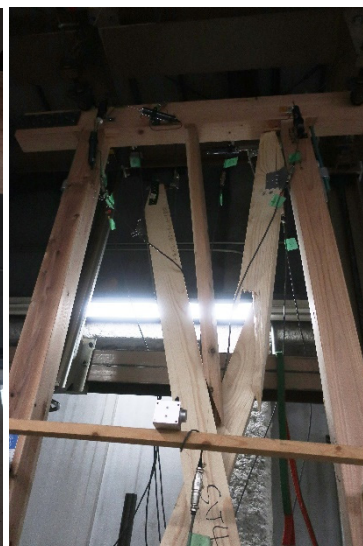
写真 3.16 試験体加力前後の様子



(a) 引張筋側の下端金物
接合ビスの引き抜け (RLS-1)



(b) 圧縮筋側の上端金物
接合ビスの引き抜け (RLS-1)



(c) 圧縮筋側の座屈破壊
(RLS-2)

写真 3.17 終局時の様子

表 3.27 試験結果

H=3000 二つ割筋かい、45×120(スプルース)タスキ 1 段												
番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
RLS-1	17.65	0.067	16.44	0.022	0.014	743.15	3.011	0.45	10.60	7.37	11.77	8.11
RLS-2	20.36	0.058	18.64	0.023	0.015	804.28	2.491	0.50	11.87	7.44	13.57	8.09
RLS-3	18.77	0.067	17.28	0.019	0.013	919.95	3.551	0.40	11.62	8.54	12.51	8.72
平均値	18.93	0.064	17.45	0.021	0.014	822.46	3.017	0.45	11.36	7.78	12.62	8.31
									標準偏差	0.676	0.655	0.362
									変動係数	0.060	0.084	0.044
									ばらつき係数	0.972	0.960	0.979
									50%下限値	11.044	7.473	8.136
									壁倍率	6.19	4.19	4.56

表 3.28 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい	
				加力機 側	加力機 反対側	圧縮側	引張側
RLS-1	含水率 (%)	8.6	15.7	10.8	6.6	14.5	16.7
	密度 (kg/m ³)	467	487	380	383	413	454
RLS-2	含水率 (%)	11.4	15.9	10.6	8.5	13.1	12.3
	密度 (kg/m ³)	462	528	415	409	440	479
RLS-3	含水率 (%)	9.7	12.9	9.7	10.0	10.1	9.2
	密度 (kg/m ³)	476	496	421	421	446	411

3.9.2 (b) 試験体 RLS の試験結果についての考察

H=3.0m・二つ割筋かい耐力壁の主な破壊性状は、引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けであった（写真 3.17(a)）。引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けが生じながらも圧縮側の筋かいが荷重を保持しながら変形が進み、変形角が 1/15rad に到達したため試験終了というものであった。試験体 RLS-2 では、圧縮筋かいが座屈破壊するとともに引張筋かいの上端筋かい金物のビス抜けし試験終了というものであった（写真 3.17(b)）。

壁倍率は、「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、4.19 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満足した。

3.9.3 試験体 RHD の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.33 に示す。

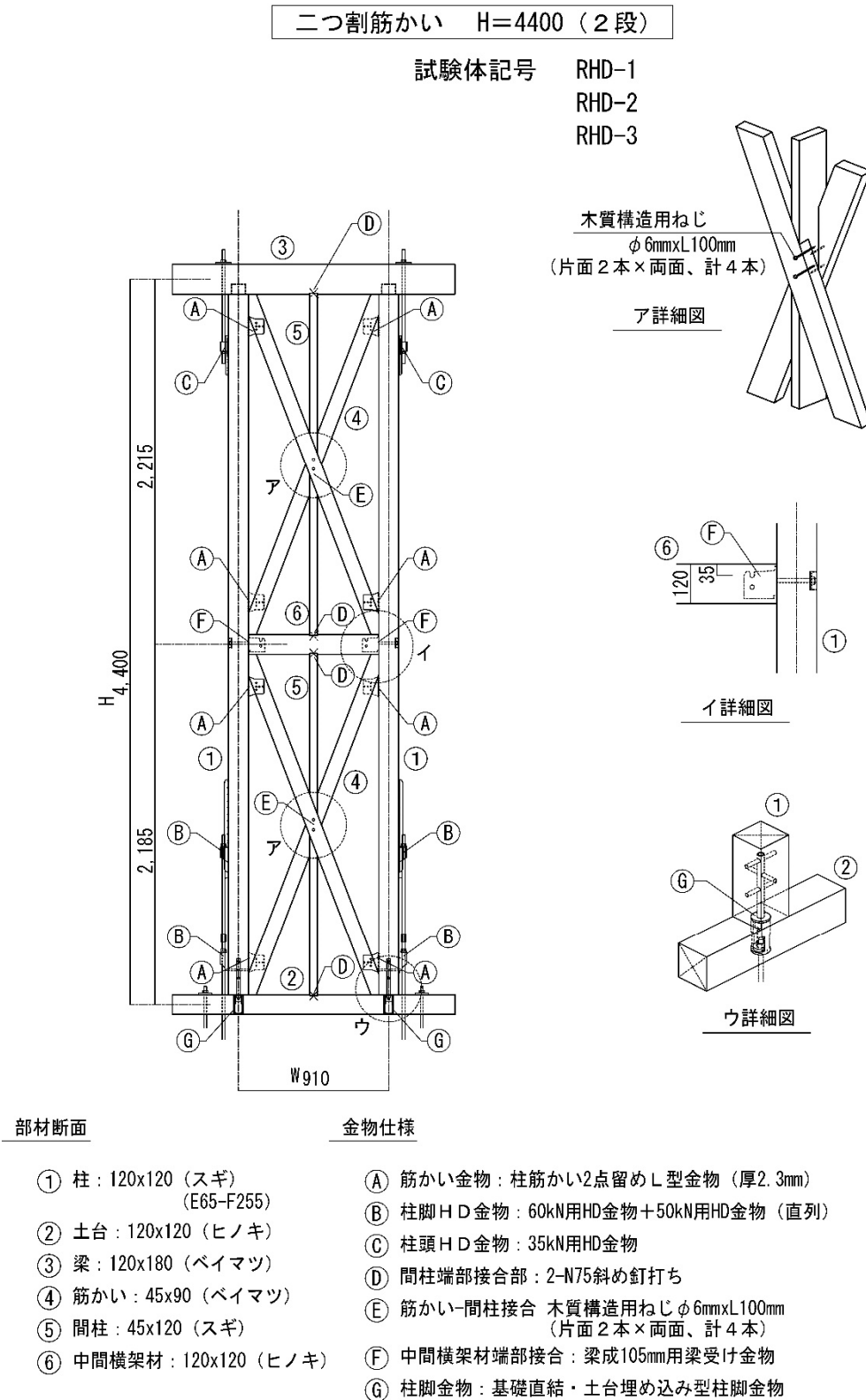


図 3.33 試験体 RHD 概要 (単位：mm)

3.9.3 (a) 試験体 RHD の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.34 に、試験体加力前後の様子を写真 3.18 に、終局時の様子を写真 3.19 に示す。また、特性値の一覧を表 3.29 に示す。含水率及び密度を表 3.30 に示す。含水率は試験後に高周波測定器にて測定した。密度は試験前に測定した。

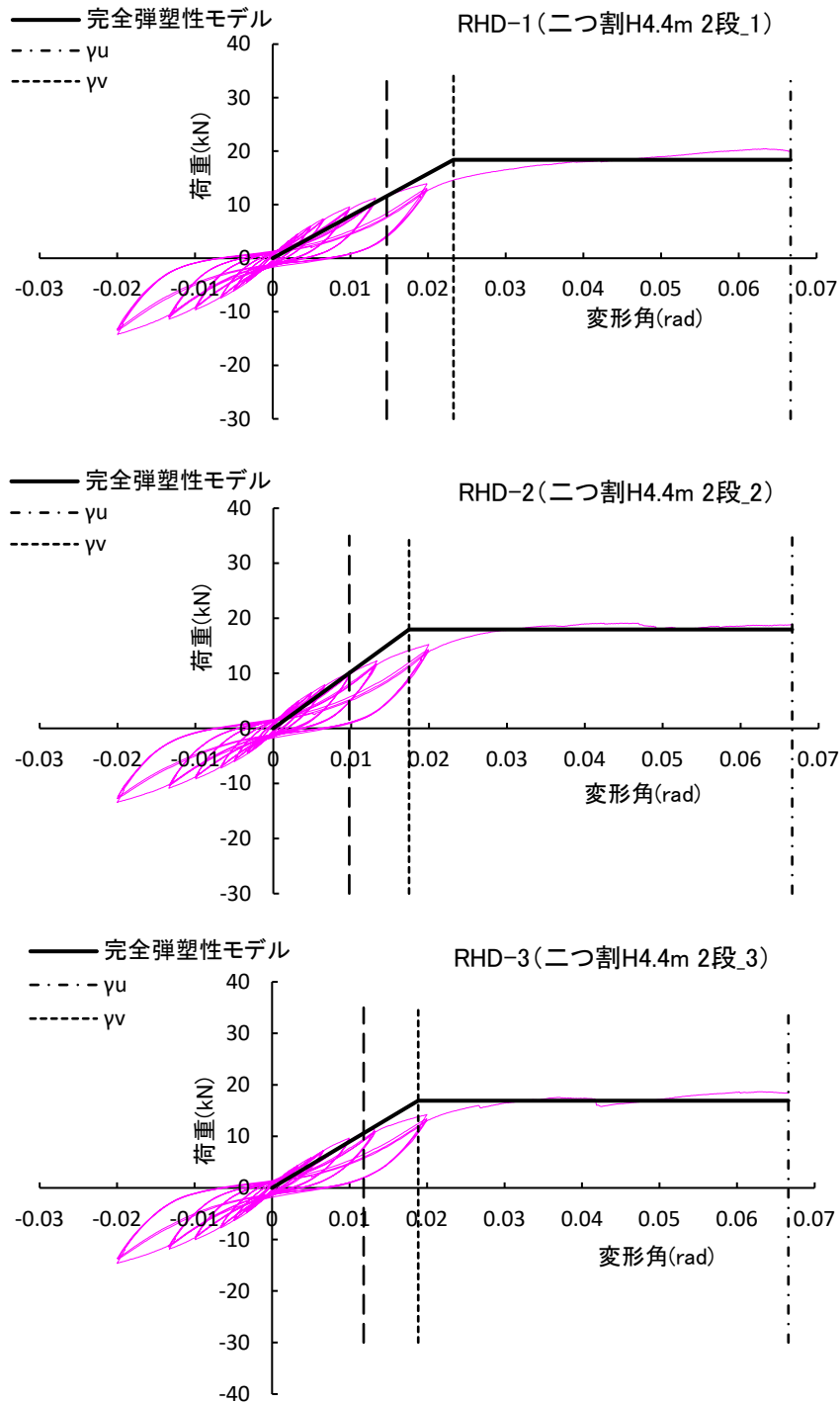


図 3.34 荷重-変形角曲線



(a) RHD-2 加力前

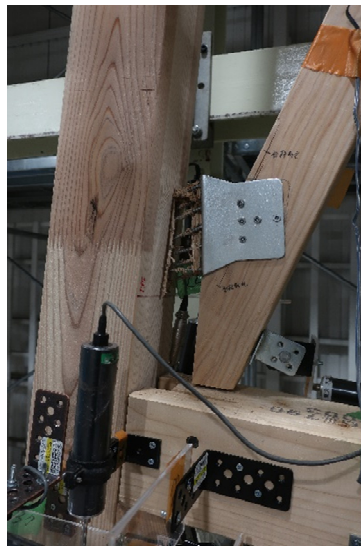


(b) RHD-2 加力後

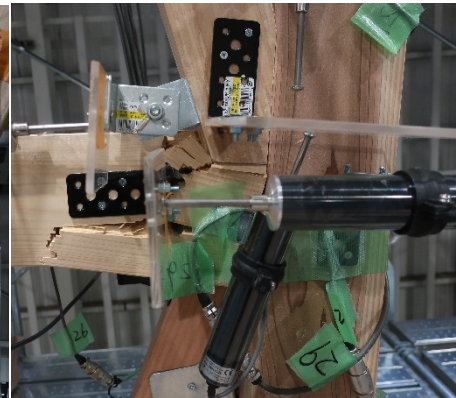
写真 3.18 試験体加力前後の様子



(a) 引張筋かい下端金物の変形
(RHD-2)



(b) 上段引張筋かい下端金物
接合ビスの引き抜け (RHD-2)



(c) 中間横架材端部接合部の
割裂破壊 (RHD-3)

写真 3.19 終局時の様子

表 3.29 試験結果

H=4400 二つ割筋かい、45×90(ペイマツ)タスキ 2 段												
番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
RHD-1	20.44	0.067	18.38	0.023	0.015	789.65	2.864	0.46	11.58	7.99	13.63	8.56
RHD-2	19.13	0.067	17.99	0.017	0.010	1032.02	3.823	0.39	10.06	9.27	12.75	9.14
RHD-3	18.68	0.067	16.93	0.019	0.012	897.95	3.534	0.41	10.61	8.34	12.45	8.60
平均値	19.42	0.067	17.76	0.020	0.012	906.54	3.407	0.42	10.75	8.54	12.95	8.77
									標準偏差	0.772	0.662	0.611
									変動係数	0.072	0.078	0.047
									ばらつき係数	0.966	0.963	0.978
									50%下限値	10.386	8.223	12.658
									壁倍率	5.82	4.61	7.10
											4.83	

表 3.30 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい				中間 横架材
				加力機 側	加力機 反対側	上段		下段		
						圧縮側	引張側	圧縮側	引張側	
RHD-1	含水率 (%)	15.0	14.7	9.3	8.7	12.9	13.3	13.6	14.4	14.5
	密度 (kg/m³)	450	520	350	370	570	680	530	580	530
RHD-2	含水率 (%)	15.0	14.7	9.3	8.7	12.9	13.3	13.2	14.4	14.5
	密度 (kg/m³)	450	520	350	370	570	680	660	560	530
RHD-3	含水率 (%)	15.9	13.1	7.2	9.1	13.7	13.0	13.5	13.9	14.9
	密度 (kg/m³)	500	510	380	380	550	600	600	580	530

3.9.3 (b) 試験体 RHD の試験結果についての考察

H=4.4m・二つ割 2 段筋かい耐力壁の主な破壊性状は、引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けであった（写真 3.19(a), (b)）。引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けが生じながらも圧縮側の筋かいが荷重を保持しながら変形が進み、変形角が 1/15rad に到達したため試験終了というものであった。また、試験体 RHD-3 では、中間横架材の引張側柱端部において、梁受け金物のドリフトピンを起点に割裂破壊が生じた（写真 3.19(c)）。これは、圧縮筋かきの突き上げによる中間横架材端部のせん断力によるものと考えられる。

壁倍率は、「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、4.61 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満足した。

3.9.4 第4期二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察

試験の結果、1 段筋かい耐力壁の試験体 RLS 及び 2 段筋かい耐力壁の試験体 RHD とともに、主な破壊性状は、引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けであった（写真 3.17(a)、写真 3.19(a), (b)）。第 2 期及び第 3 期の試験体に使用した筋かい金物は、柱・筋かい・横架材の側面 3 点に留め付けるフラットプレート型のものであり、その破壊性状は、土台の側面に留め付けた筋かい金物のビスを起点とする割裂であった。一方、第 4 期の試験体に使用した筋かい金物は、柱・筋かいの 2 点に留め付ける L 型のものであり、RLS 及び RHD とともに土台には留め付けていないため土台の割裂はなかったが、柱に留め付けた引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けが生じた。筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けが生じながらも圧縮側の筋かいが荷重を保持しながら変形が進み、変形角が $1/15\text{rad}$ に到達したため試験終了というものであった。第 4 期に使用した柱・筋かいの 2 点に留め付ける L 型の筋かい金物は、その接合形式から筋かいの最端部ではなく、筋かいの材軸方向の少し中央寄りに留め付けられるため、筋かいの座屈長さが短くなり座屈耐力が向上したものと考えられる。柱・筋かいの 2 点に留め付ける L 型の筋かい金物を使用したたすき掛け筋かい耐力壁は、圧縮側の筋かいに期待した耐力壁といえる。そのため、たすき掛け筋かい交点で圧縮筋かいと引張筋かいを接合する木質構造用ねじは、筋かいの座屈長さを短くする効果があるため、その役割は大変重要である。

1 段筋かい及び 2 段筋かいとも、壁倍率は、 $P_u \cdot 0.2/D_s$ で決まり、1 段筋かいの試験体 RLS で 4.19 倍、2 段筋かいの試験体 RHD で 4.61 倍という結果で、どちらも建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 4.0 倍を満足した。

3.10 柱同寸及び三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験

二つ割筋かい耐力壁の場合、階高が3m以上では、施行令第46条に定められた壁倍率相当の性能が得られないが、階高が3m未満の住宅程度であれば問題ないことが、守屋らの研究で報告されている²¹⁾。しかし、三寸角筋かいの場合、階高が3m未満であっても、施行令第46条に定められた5倍の壁倍率相当の性能が得られないことが、鈴木らの研究で報告されている²²⁾。鈴木らの研究では、たすき掛け筋かいの交点は、合い欠きとしZマークの短冊状のひら金物で補強したが、合い欠きによる有効断面積の減少により面外に座屈し、所定の耐力が得られなかった。鈴木らの既往研究で使用したひら金物は、厚さが2.3mm、幅が25mm、長さが400mmのもので、それを12本のため釘ZN65で筋かいに打ちつけた。本研究における、柱同寸及び三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の交点補強金物として使用した短冊金物は、厚さが4.5mm、幅が70mm、長さが400mmのもので、それを、ねじ山径6mm、長さ75mmのビスを18本使用して筋かいに打ちつけた。両者の交点補強金物を面外方向の曲げ剛性(EI)で比較する。

既往研究の金物 : $PL-2.3 \times 25 \times 400 \rightarrow EI = 205000 \times 25 = 5.1 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$

本研究の金物 : $PL-4.5 \times 70 \times 400 \rightarrow EI = 205000 \times 532 = 109.1 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$

本研究の交点補強金物は既往研究で使用された金物の約21倍(=109.1/5.1)の面外方向の曲げ剛性を有していることになる。たすき掛け筋かいの交点の補強に「PL-4.5×70×400」の金物を使用し、面内せん断試験を実施し、所定の壁倍率相当の性能を確保するために必要な部材の断面性能及び接合部の性能について検証した。

3. 10. 1 柱同寸たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験

試験体の概要

試験体の仕様を表 3. 31 に示す。試験体数は各タイプ 3 体とした。試験体の高さは、3. 0m と 4. 5m の 2 種類とした。試験体の高さが 3. 0m の場合は 1 段筋かいとし、試験体符号は NCLS とした。試験体の高さが 4. 5m の場合は 2 段筋かいとし、試験体符号は NCHD とした。高さ 3. 0m の 1 段筋かいの試験体 NCLS の柱の断面寸法は 105mm 角とし、スギ製材の日本農林規格 (JAS) の E70 を使用した。土台の断面寸法は 105mm 角とし、ヒノキ製材の JAS の E90 を使用した。梁の断面寸法は 105mm×180mm とし、ベイマツ製材の JAS の E110 を使用した。高さ 4. 5m の 2 段筋かいの試験体 NCHD の柱の断面寸法は 120mm 角とし、スギ製材の JAS の E70 を使用した。土台の断面寸法は 120mm 角とし、ヒノキ製材の JAS の E90 を使用した。梁の断面寸法は 120mm×180mm とし、ベイマツ製材の JAS の E110 を使用した。また、中間横架材として、断面寸法が 120mm×180 のスギ製材の JAS の E70 を使用した。筋かい材について、高さ 3. 0m の 1 段筋かいの試験体 NLS の場合、断面寸法は柱と同寸の 105mm×105mm とし、スギ製材の JAS の E70 を使用した。高さ 4. 5m の 2 段筋かいの試験体 NCHD の場合、筋かいの断面寸法は柱と同寸の 120mm×120mm とし、スギ製材の JAS の E70 を使用した。各試験体とも柱・筋かい・横架材の側面 3 点留めのフラットプレート型の筋かい金物を 2 枚使用し、筋かいを挟むように両面に取り付けた。柱頭は、各試験体とも梁に対し短ほぞ差しとし、40kN 用のホールダウン (HD) 金物を柱の内側に取り付けて緊結した。短ほぞの断面は、厚さ 35mm、幅 85mm、長さを 60mm とした。柱脚は、1 段筋かいの試験体 NCLS と 2 段筋かいの試験体 NCHD とで仕様を変えた。1 段筋かいの試験体 NCLS の柱脚は、土台に対し短ほぞ差しとし、60kN 用の HD 金物を柱の内側に取り付けて緊結した。短ほぞの断面は、厚さ 35mm、幅 85mm、長さを 45mm とした。2 段筋かいの試験体 NCHD の柱脚は、土台へのめり込みを抑制するため、図 3. 35 に示すような基礎直結柱脚金物を併用し、60kN 用の HD 金物を柱の内側に取り付け緊結した。各試験体のたすき掛け筋かいの交点は、合い欠きの上、板厚 4.5mm の短冊金物を径 6mm の構造用ビスで取り付けることで補強を施した。

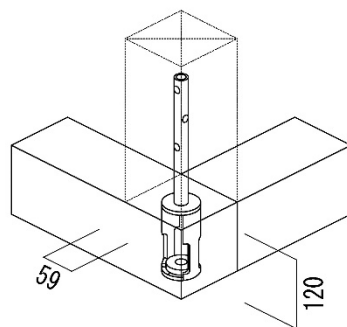


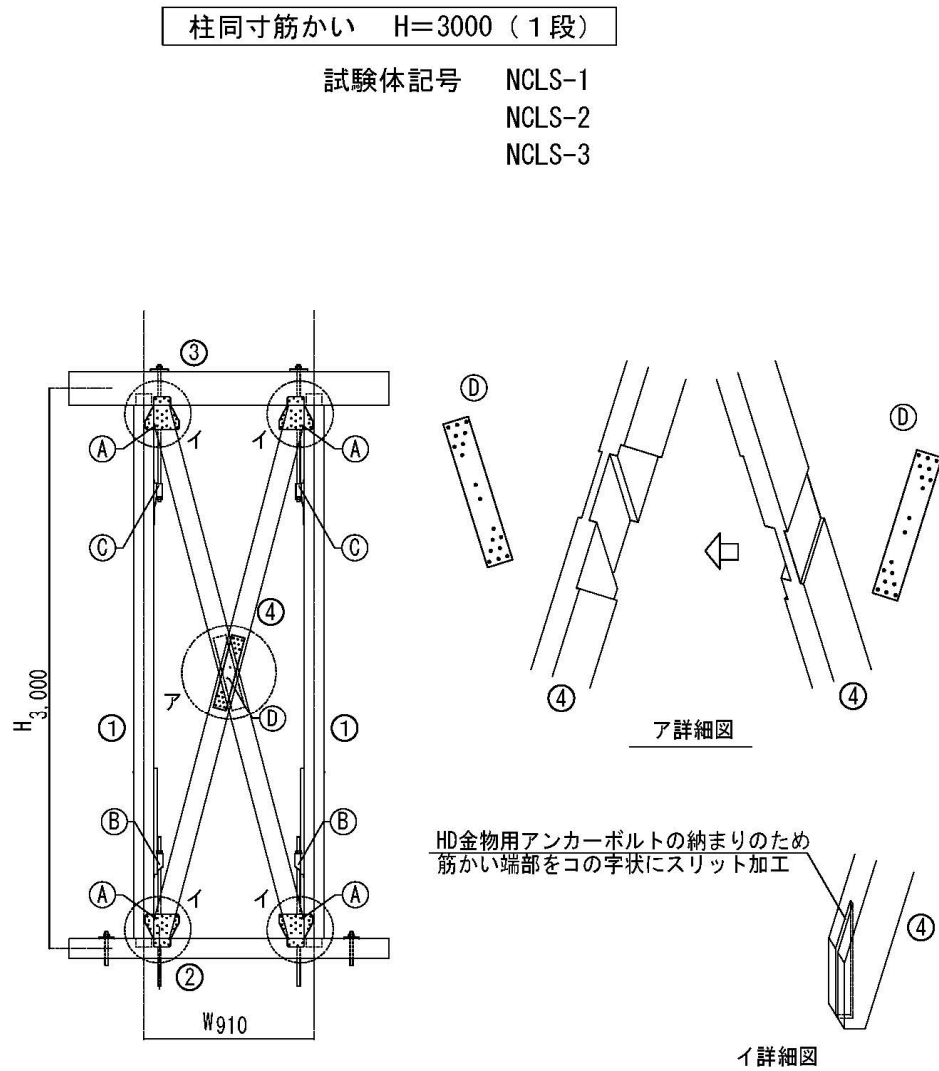
図 3.35 基礎直結型柱脚金物

表 3.31 <柱同寸たすき掛け筋かい耐力壁面内せん断試験>平成 30 年 9 月～10 月実施

試験体 符号	壁高さ (mm) 段数	壁長 (mm)	軸組	筋かい	主要接合部
NCLS	3000 1 段	910	柱： 断面：105mm×105mm 樹種：スギ(E70) 土台： 断面：105mm×105mm 樹種：ヒノキ(E90) 梁： 断面：105mm×180mm 樹種：ベイマツ(E110)	断面： 105mm×105mm 樹種： スギ製材 (E70)	筋かい金物：(共通) 2 倍用柱梁筋かい 3 点留め側面取付 フラットプレートタイプ 2 枚で 筋かいを挟むように取り付け 筋かい交差部：(共通) 交差部は合い欠きの上、交点補強金 物 PL-4.5×70×400 (SS400) を筋か いの両面に構造用ビス(φ6×75-18 本)を用いて取り付け
NCHD	4500 2 段		柱： 断面：120mm×120mm 樹種：スギ(E70) 土台： 断面：120mm×120mm 樹種：ヒノキ(E90) 梁： 断面：120mm×180mm 樹種：ベイマツ(E110) 中間横架材： 断面：120mm×180mm 樹種：スギ(E70)	断面： 120mm×120mm 樹種： スギ製材 (E70)	柱頭仕口部：(共通) 短ほぞ+40kN 用 HD 金物内付 柱脚仕口部：(NCLS) 短ほぞ+60kN 用 HD 金物内付 柱脚仕口部：(NCHD) 60kN 用 HD 金物外付 +基礎直結・土台埋め込み型柱脚金 物 中間横架材仕口部：(NCHD のみ) 梁成 105mm 用梁受け金物

3.10.2 試験体 NCLS の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.36 に示す。



部材断面

- ① 柱 : 105x105 (スギ)
- ② 土台 : 105x105 (ヒノキ)
- ③ 梁 : 105x180 (ペイマツ)
- ④ 筋かい : 105x105 (スギ)

金物仕様

- Ⓐ 筋かい金物 : 柱梁筋かい3点留めフラットプレートタイプ (両面)
- Ⓑ 柱脚HD金物 : 60kN用HD金物
- Ⓒ 柱頭HD金物 : 40kN用HD金物
- Ⓓ 筋かい交差部 : 短冊金物4.5x70x400 ビスφ6x75-18本/枚 (両面)
(交差部は合い欠きの上短冊金物で補強)

図 3.36 試験体 NCLS の概要 (単位 : mm)

3.10.2 (a) 試験体 NCLS の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.37 に、試験体加力前後の様子を写真 3.20 に、終局時の様子を写真 3.21 に示す。また、特性値の一覧を表 3.32 に示す。含水率及び密度を表 3.33 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

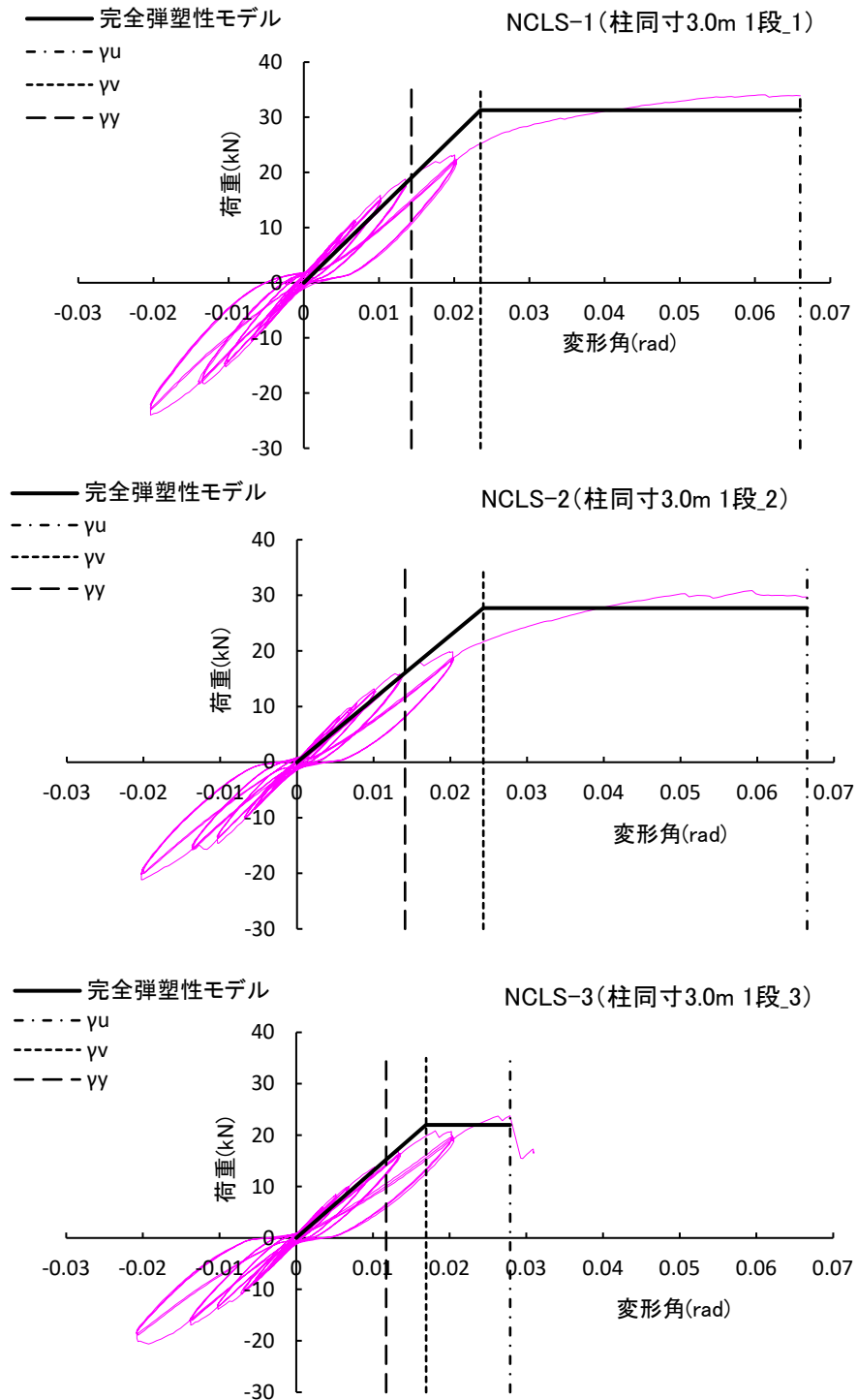


図 3.37 荷重-変形角曲線

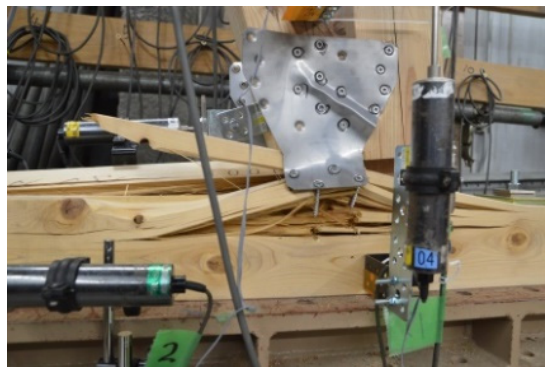


(1) NCLS-1 加力前

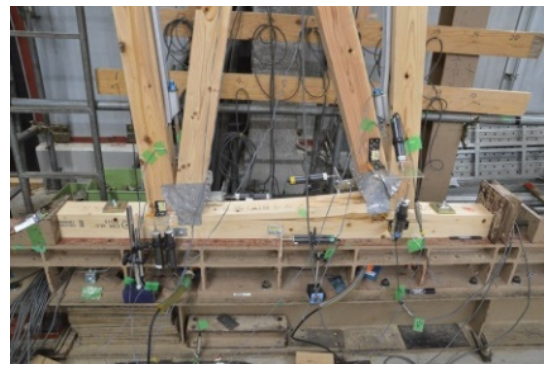


(b) NCLS-1 加力後

写真 3.20 試験体加力前後の様子



(a) 土台の割裂破壊 (NCLS-1)



(b) 土台の割裂破壊 (NCLS-2)



(c) 柱の引張り曲げ破壊 (NCLS-3)

写真 3.21 終局時の様子

表 3.32 試験結果

H=3000 柱同寸筋かい、105×105(スギ)タスキ 1 段

番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
NCLS-1	34.08	0.066	31.28	0.024	0.014	1330.83	2.809	0.47	19.02	13.44	22.72	13.49
NCLS-2	30.85	0.067	27.71	0.024	0.014	1139.88	2.737	0.47	16.07	11.72	20.57	11.42
NCLS-3	23.76	0.028	21.99	0.017	0.012	1298.73	1.647	0.66	15.22	6.66	15.84	11.85
平均値	29.56	0.053	26.99	0.022	0.013	1256.48	2.397	0.53	16.77	10.61	19.71	12.25
標準偏差									1.993	3.525	3.517	1.091
変動係数									0.119	0.332	0.178	0.089
ばらつき係数									0.944	0.843	0.916	0.958
50%下限値									15.83	8.95	18.05	11.74
壁倍率									8.87	5.02	10.12	6.58

表 3.33 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい	
				加力機 側	加力機 反対側	圧縮側	引張側
NCLS-1	含水率 (%)	16.38	12.5 4	9.79	10.57	9.09	14.15
	密度 (kg/m ³)	549.47	606. 19	466.92	456.94	419.78	436.1
NCLS-2	含水率 (%)	15.7	10.8 9	10.47	12.1	10.03	10.81
	密度 (kg/m ³)	483.06	503. 72	432.59	425.1	398.24	428.27
NCLS-3	含水率 (%)	15.11	9.86	10.84	11.32	11.9	10.37
	密度 (kg/m ³)	473.66	504. 8	379.53	426.97	467.44	378.0

3.10.2 (b) 試験体 NCLS の試験結果についての考察

H=3.0m・柱同寸筋かい耐力壁の主な破壊性状は、引張り側筋かい金物のビス部を起点とする土台の割裂破壊であった（写真 3.21(a), (b)）。柱同寸筋かいの場合、筋かい金物を両側から筋かいを挟むように配置しているため、柱の浮き上がりに伴い筋かい金物のビスで土台が上方向に持ち上げられることで割裂破壊したと考えられる。試験体 NCLS-3 は前記の土台の割裂破壊の上、引張り側柱が柱脚 HD 金物の上端部で引張り破壊することで荷重が低下し試験終了というものであった。（写真 3.21(c)）

評価は「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、壁倍率は 5.02 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 5.0 倍を満足した。

3.10.3 試験体 NCHD の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.38 に示す。

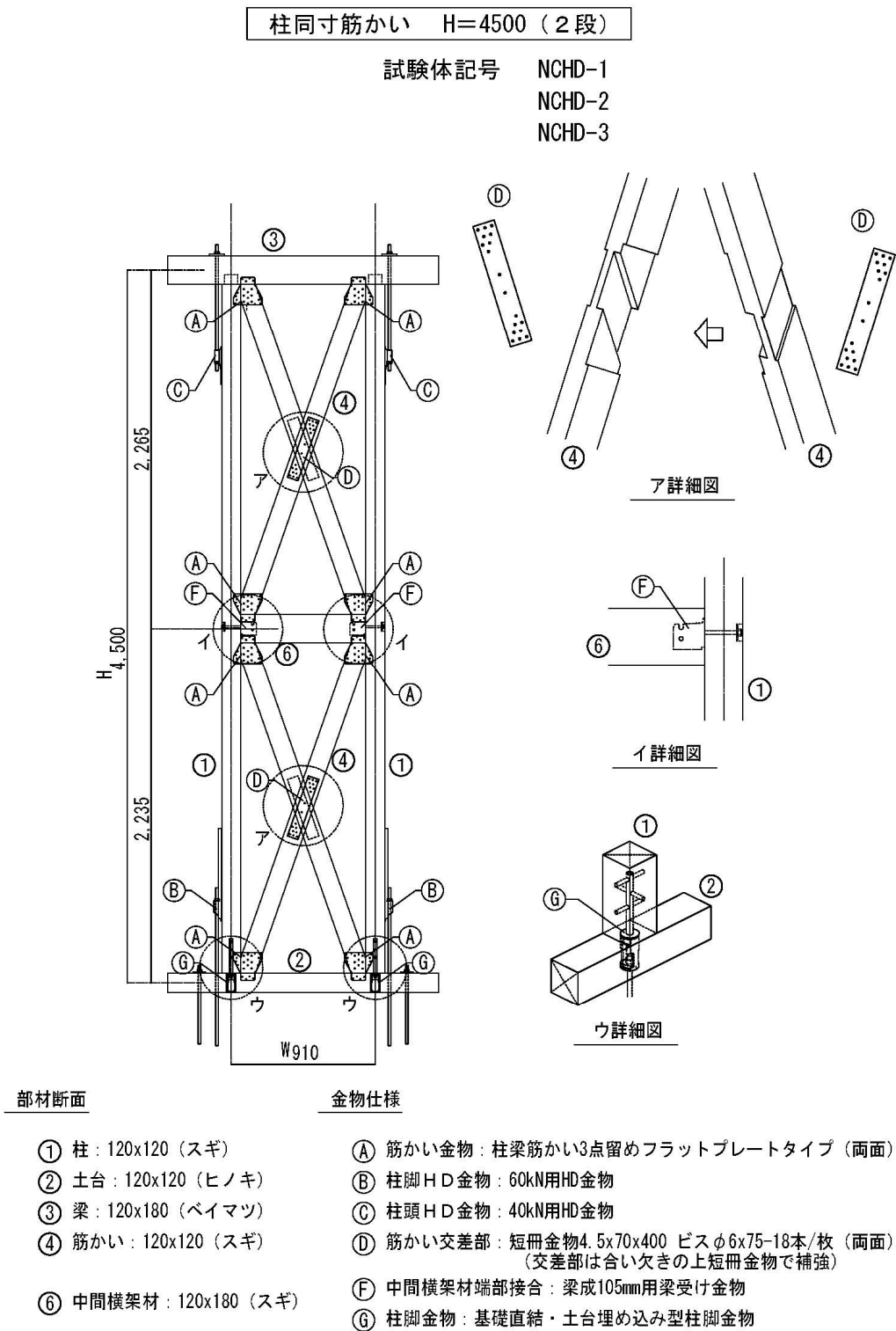


図 3.38 試験体 NCHD の概要 (単位 : mm)

3.10.3 (a) 試験体 NCHD の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.39 に、試験体加力前後の様子を写真 3.22 に、終局時の様子を写真 3.23 に示す。また、特性値の一覧を表 3.34 に示す。含水率及び密度を表 3.35 に示す。含水率は試験後に全乾法にて行った。密度は試験前に測定した。

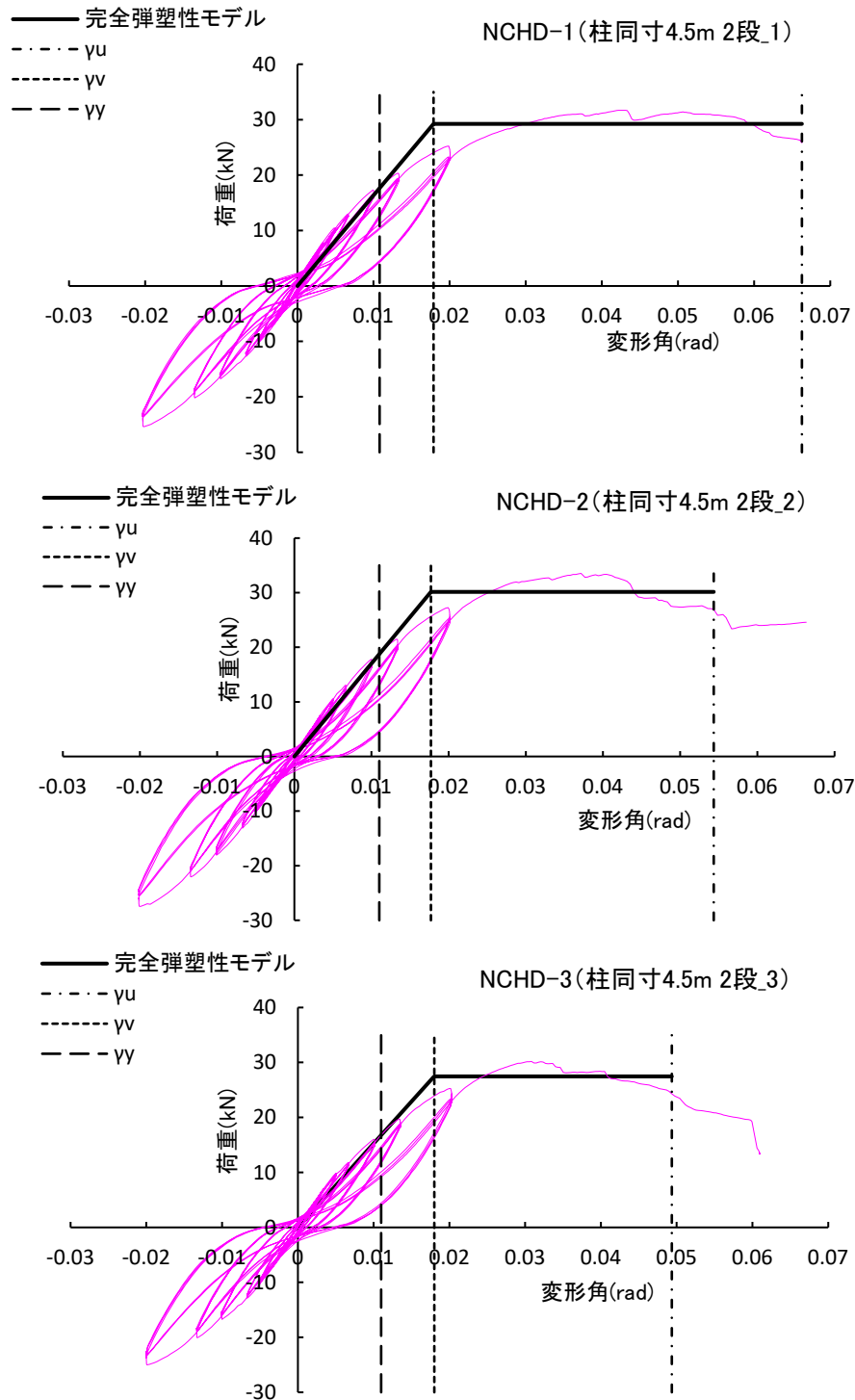


図 3.39 荷重-変形角曲線



1) NCHD-2 加力前



(b) NCHD-2 加力後

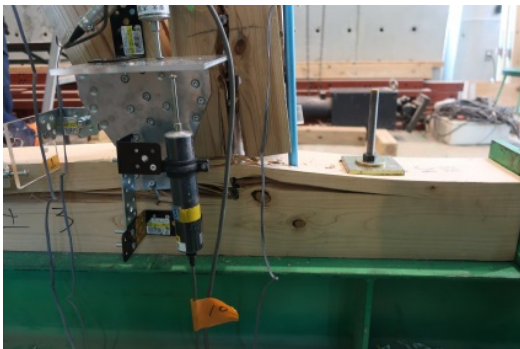
写真 3.22 試験体加力前後の様子



(a) 中間横架材引張筋かい金物の破断 (NCHD-1)



(b) 筋かい交差部の回転変形によるせん断割裂破壊 (NCHD-2)



(c) 柱脚金物ドリフトピン位置の割裂破壊及び土台の割裂破壊 (NCHD-3)

写真 3.23 終局時の様子
215

表 3.34 試験結果

H=4500 柱同寸筋かい、120×120(スギ)タスキ 2 段													
番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu-0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)	
NCHD-1	31.70	0.066	29.26	0.018	0.011	1636.49	3.706	0.39	17.67	14.82	21.13	15.40	
NCHD-2	33.55	0.054	30.17	0.018	0.011	1704.73	3.071	0.44	18.75	13.68	22.37	15.57	
NCHD-3	30.18	0.049	27.47	0.018	0.011	1526.38	2.742	0.47	16.76	11.64	20.12	14.03	
平均値	31.81	0.057	28.97	0.018	0.011	1622.53	3.173	0.44	17.72	13.38	21.21	15.00	
									標準偏差	0.995	1.613	1.127	0.844
									変動係数	0.056	0.121	0.053	0.056
									ばらつき係数	0.974	0.943	0.975	0.973
									50%下限値	17.25	12.62	20.67	14.60
									壁倍率	9.67	7.07	11.59	8.19

表 3.35 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい				中間 横架材
				加力機 側	加力機 反対側	上段		下段		
						圧縮側	引張側	圧縮側	引張側	
NCHD-1	含水率 (%)	15.8	13.75	13.31	18.98	10.34	20.9	19.73	15.8	15.97
	密度 (kg/m ³)	465	493.56	428.94	492.49	489.75	455.97	439.08	439.08	389.33
NCHD-2	含水率 (%)	13.7	8.96	12.88	14.06	11.73	13.99	11.23	17.68	16.3
	密度 (kg/m ³)	465	534.69	468.66	500.43	439.08	455.97	439.08	405.31	389.33
NCHD-3	含水率 (%)	14.7	12.67	10.83	11.8	12.81	13.27	10.09	14.07	13.58
	密度 (kg/m ³)	479	534.69	349.51	381.28	472.86	455.97	388.42	354.64	389.33

3.10.3 (b) 試験体 NCHD の試験結果についての考察

H=4.5m・柱同寸 2 段筋かい耐力壁に共通する破壊性状は、中間横架材に取り付く筋かい金物の破断（写真 3.23(a)）、筋かい金物のビス部を起点とする土台の割裂（写真 3.23(c)）及び筋かい交差部の回転変形によるせん断割裂であった（写真 3.23(b)）。また、試験体 NCHD-3 では、柱脚金物のドリフトピン位置で柱に割裂が生じた（写真 3.23(c)）。これらの破壊が発生しても急激に荷重が低下することはなく、徐々に低下し最大荷重の 80%以下になったところで試験を終了した。H=3.0mの柱同寸、二つ割筋かい耐力壁の主な破壊性状は、引張り側筋かい金物のビス部の土台の割裂破壊であったが、この試験体 NCHD は、柱脚に図 3.35 に示す柱脚金物を使用し柱の浮き上がりを抑えているため、浮き上がりに伴う土台の割裂により急激に荷重が低下するということとはなかった。

評価は「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、壁倍率は 7.07 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 5.0 倍を満足した。

3. 10. 4 柱同寸たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察

試験の結果、1 段筋かい耐力壁の試験体 NCLS 及び 2 段筋かいの NCHD とともに、主な破壊性状は、引張り側筋かい金物のビス部を起点とする土台の割裂破壊であった（写真 3. 21 (a), (b) 、写真 3. 23 (c)）。柱同寸筋かいの場合、筋かい金物を両側から筋かいを挟むように配置しているため、柱の浮き上がりに伴い筋かい金物のビスで土台が上方向に持ち上げられることで割裂破壊したと考えられる。1 段筋かい試験体 NCLS は土台の割裂に伴い荷重が低下したが、2 段筋かい試験体 NCHD は柱脚に図 3. 35 に示す基礎直結型の柱脚金物を使用し柱の浮き上がりを抑えているため、浮き上がりに伴う土台の割裂により急激に荷重が低下するということとはなかった。

1 段筋かい及び 2 段筋かいとも、壁倍率は、「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、1 段筋かいの試験体 NCLS で 5. 02 倍、2 段筋かいの試験体 NCHD で 7. 07 倍という結果で、どちらも建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 5. 0 倍を満足した。

3.11 三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験

3.11.1 試験体の概要

試験体の仕様を表 3.36 に示す。柱同寸たすき掛け 1 段筋かい試験体 NCLS との違いを表 3.37 に示す。また、柱同寸たすき掛け 2 段筋かい試験体 NCHD との違いを表 3.38 に示す。試験体数は各タイプ 3 体とした。

柱同寸たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験で使用した筋かい金物は、柱・筋かい・横架材の側面 3 点に取り付けるフラットタイプのプレートであり、その金物が干渉するため直交壁の配置に制限があった。そこで、令和 2 年 2 月、二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の第 4 期試験として実施したときと同じ柱・筋かいの 2 点に留め付ける L 型の筋かい金物を使用して、直交壁対応可能な仕様の筋かい耐力壁として、三寸角 1 段筋かい耐力壁及び三寸角 2 段筋かい耐力壁の面内せん断試験を実施し、筋かい金物の違いによる面内せん断性能の違いを検証した。

試験体の概要を図 3.41 及び図 3.43 に示す。三寸角筋かい耐力壁の 1 段タイプの壁高さは 3.0 m とし、試験体符号を RCLS とした。三寸角筋かい耐力壁の 2 段タイプの壁高さは 4.4 m とし、試験体符号を RCHD とした。試験場の都合により、試験体 RCHD の高さは、柱同寸 2 段筋かいの試験体 NCHD よりも 0.1 m 低い 4.4 m とした。

高さ 3.0 m の 1 段筋かいの試験体 RCLS の柱の断面寸法は 105 mm 角とし、スギ集成材の日本農林規格 (JAS) の等級 E65-F255 を使用した。土台の断面寸法は 105 mm 角とし、ヒノキ製材の JAS の E90 を使用した。梁の断面寸法は 105 mm × 180 mm とし、ベイマツ製材の JAS の E110 を使用した。高さ 4.4 m の 2 段筋かいの試験体 RCHD の柱の断面寸法は 120 mm 角とし、スギ集成材の JAS の等級 E65-F255 を使用した。土台の断面寸法は 120 mm 角とし、ヒノキ製材の JAS の E90 を使用した。梁の断面寸法は 120 mm × 180 mm とし、ベイマツ製材の JAS の E110 を使用した。また、中間横架材として、断面寸法が 120 mm × 120 のヒノキ製材の JAS の E90 を使用した。筋かい材について、高さ 3.0 m の 1 段筋かいの試験体 RCLS 及び高さ 4.4 m の 2 段筋かいの試験体 RCHD とともに、断面寸法は 90 mm × 90 mm とし、スギ製材の無等級材を使用した。各試験体とも柱・筋かいの 2 点留めの L 型の筋かい金物に加えて、ねじ部の外径が 6 mm、長さが 150 mm の木質構造用ねじ 2 本を筋かいから柱に向けて打ちつけた。柱頭は、各試験体とも梁に対し短ほぞ差しとし、35 kN 用のホールダウン (HD) 金物を柱の外側に取り付けて緊結した。短ほぞの断面は、厚さ 35 mm、幅 85 mm、長さを 60 mm とした。柱脚は、1 段筋かいの試験体 RCLS と 2 段筋かいの試験体 RCHD とで仕様を変えた。1 段筋かいの試験体 RCLS の柱脚は、土台と同じ成の長ほぞ差しとし、ほぞの先端を直接基礎に接するようにすることで、柱脚の土台に対するめり込みを抑制するものとした。筋かいの性能を検証するための実験のため、柱の先行破壊を防ぐ目的で HD 金物は 60 kN 用と 35 kN 用のものを直列に使用し、柱の外側に取り付け緊結した。2 段筋かいの試験体 RCHD の柱脚は、土台への

めり込みを抑制するため、図 3.40 に示すような基礎直結柱脚金物を併用し、1 段筋かいの試験体 RCLS と同じく HD 金物は 60kN 用と 35kN 用のものを直列に使用し、柱の外側に取り付け緊結した。各試験体のたすき掛け筋かいの交点は、柱同寸筋かい耐力壁 NCLS 及び NCHD と同じく、合い欠きの上、板厚 4.5mm の短冊金物を径 6mm の構造用ビスで取り付けることで補強を施した。

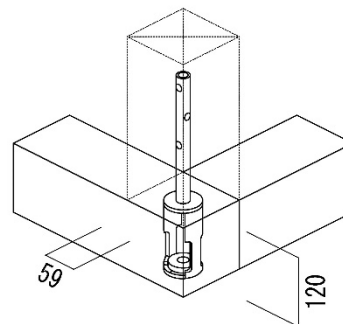


図 3.40 基礎直結型柱脚金物

表 3.36 <二つ割たすき掛け筋かい耐力壁面内せん断試験_第4期>令和2年2月～3月実施

試験体 記号	壁高さ (mm) 段数	壁長 (mm)	軸組	筋かい	主要接合部
RCLS	3000 1 段	910	柱： 断面：105mm×105mm 樹種：スギ集成材 (E65-F255) 土台： 断面：105mm×105mm 樹種：ヒノキ (E90) 梁： 断面：105mm×180mm 樹種：ベイマツ (E110)		筋かい金物：(共通) 2 倍用柱筋かい 2 点留め L 型金物 (厚 2.3mm) + 木質構造用ねじ φ 6mm×L150mm×2 本 筋かい交差部：(共通) 交差部は合い欠きの上、交点補強金 物 PL-4.5×70×400 (SS400) を筋か いの両面に構造用ビス (φ 6×75-18 本) を用いて取り付け
RCHD	4400 2 段		柱： 断面：120mm×120mm 樹種：スギ集成材 (E65-F255) 土台： 断面：120mm×120mm 樹種：ヒノキ (E90) 梁： 断面：120mm×180mm 樹種：ベイマツ (E110) 中間横架材： 断面：120mm×120mm 樹種：ヒノキ (E90)	断面： 90mm×90mm 樹種： スギ KD	柱頭仕口部：(共通) 短ほぞ+35kN 用 HD 金物外付 柱脚仕口部：(RCLS) 長ほぞ (h=105) + 60kN 用 HD 金物 + 35kN 用 HD 金物外付 柱脚仕口部：(RCHD) 60kN 用 HD 金物 + 35kN 用 HD 金物外付 + 基礎直結・土台埋め込み型柱脚 金物 中間横架材仕口部：(RCHD のみ) 梁成 105mm 用梁受け金物

表 3.37 試験体 NCLS からの変更箇所

変更箇所	試験体 NCLS (柱同寸 1 段筋かい)	試験体 RCLS (三寸角 1 段筋かい)
柱	スギ製材 (E70)	スギ集成材 (E65-F255)
筋かい	105mm×105mm スギ (E70)	90mm×90mm スギ (E70)
筋かい金物	2 倍用柱梁筋かい 3 点留め側面取付 フラットプレートタイプ (両面)	2 倍用柱筋かい 2 点留め L 型金物 (厚 2.3mm) + 木質構造用ねじ $\phi 6\text{mm} \times \text{L}150\text{mm} \times 2$ 本
柱頭	短ほぞ+40kN 用 HD 金物外付	短ほぞ+35kN 用 HD 金物外付
柱脚	短ほぞ+60kN 用 HD 金物外付	長ほぞ (h=105)+60kN 用 HD 金物 +35kN 用 HD 金物外付

表 3.38 試験体 NCHD からの変更箇所

変更箇所	試験体 NCHD (柱同寸 2 段筋かい)	試験体 RCHD (三寸角 2 段筋かい)
柱	スギ製材 (E70)	スギ集成材 (E65-F255)
中間横架材	120mm×180mm スギ (E70)	120mm×120mm ヒノキ (E90)
筋かい	120mm×120mm スギ (E70)	90mm×90mm スギ (E70)
筋かい金物	2 倍用柱梁筋かい 3 点留め側面取付 フラットプレートタイプ (両面)	2 倍用柱筋かい 2 点留め L 型金物 (厚 2.3mm) + 木質構造用ねじ $\phi 6\text{mm} \times \text{L}150\text{mm} \times 2$ 本
柱頭	短ほぞ+40kN 用 HD 金物外付	短ほぞ+35kN 用 HD 金物外付
柱脚	60kN 用 HD 金物外付 + 基礎直結・土台埋め込み型柱脚金物	60kN 用 HD 金物+35kN 用 HD 金物外付 + 基礎直結・土台埋め込み型柱脚金物

3.11.2 試験体 RCLS の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.41 に示す。

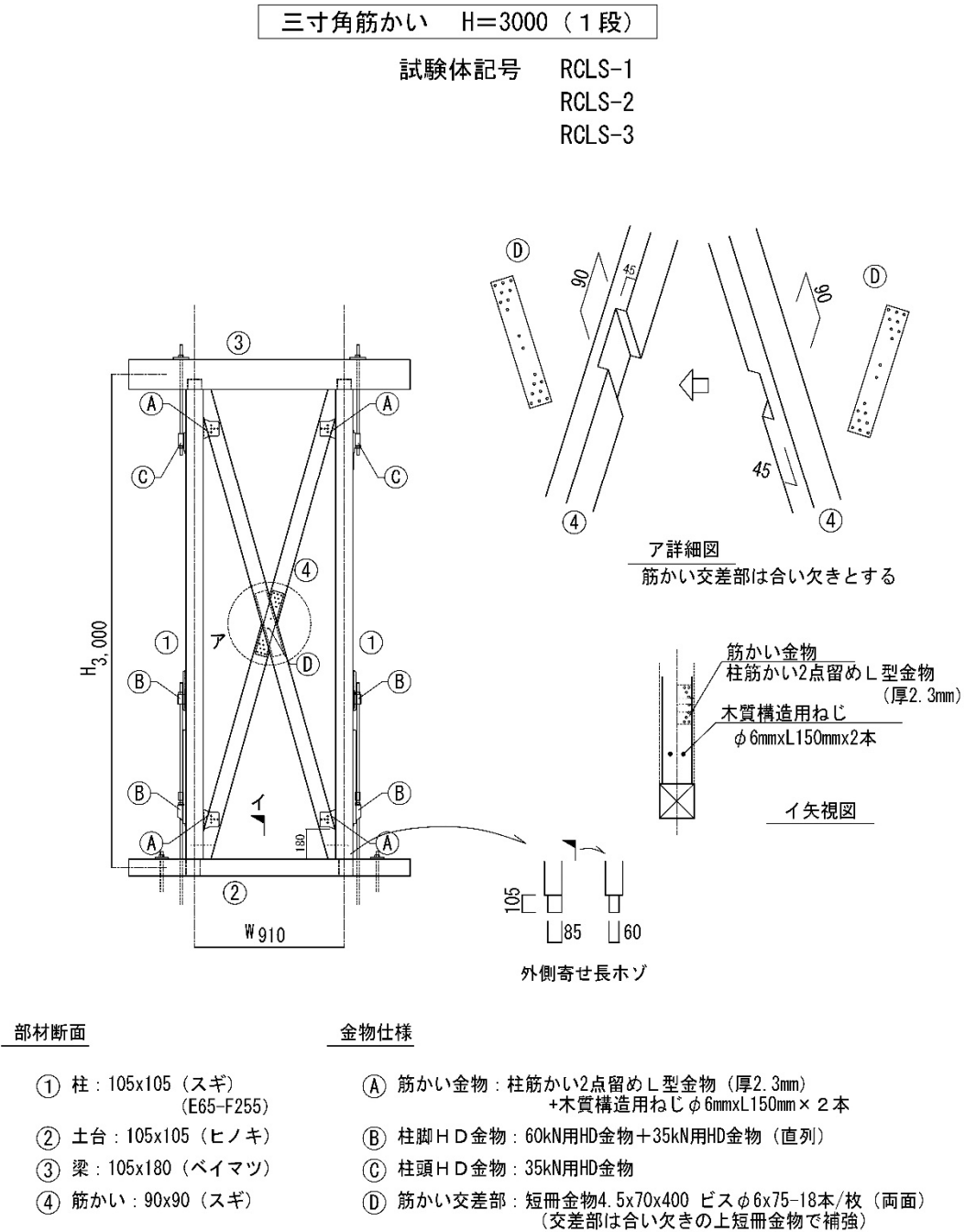


図 3.41 試験体 RCLS の概要 (単位：mm)

3.11.2 (a) 試験体 RCLS の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.42 に、試験体加力前後の様子を写真 3.24 に、終局時の様子を写真 3.25 に示す。また、特性値の一覧を表 3.39 に示す。含水率及び密度を表 3.40 に示す。含水率は試験後に高周波測定器にて測定した。密度は試験前に測定した。

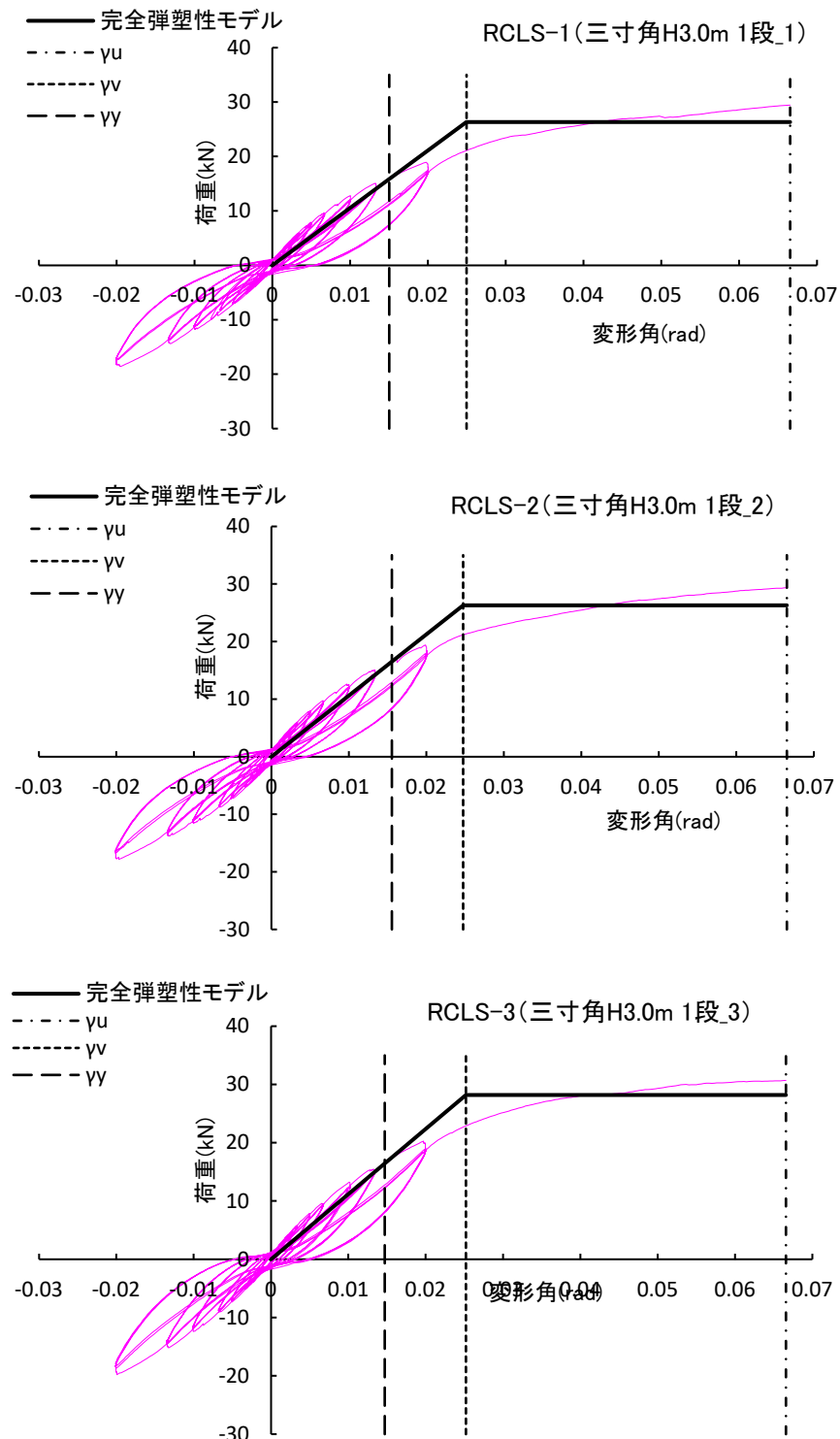


図 3.42 荷重-変形角曲線



(a) RCLS-3 加力前

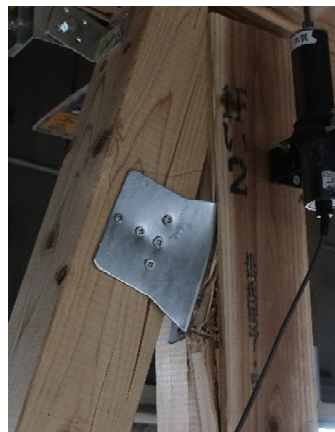


(b) RCLS-3 加力後

写真 3.24 試験体加力前後の様子



(a) 引張筋かい、下端金物
接合ビスの引き抜け及び
柱脚の割裂破壊 (RCLS-3)



(b) 圧縮筋かい、上端金物
接合ビスの引き抜け (RCLS-3)



(c) 終局後の筋かいの交差部の
状況 (RCLS-3)

写真 3.25 終局時の様子

表 3.39 試験結果

H=3000 三寸角筋かい、90×90(スギ)タスキ 1 段												
番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
RCLS-1	29.45	0.067	26.32	0.025	0.015	1054.51	2.666	0.48	15.83	10.96	19.63	11.16
RCLS-2	29.33	0.067	26.30	0.025	0.016	1062.81	2.688	0.48	16.53	11.00	19.55	11.14
RCLS-3	30.70	0.067	28.20	0.025	0.015	1118.48	2.641	0.48	16.44	11.67	20.46	11.47
平均値	29.82	0.067	26.94	0.025	0.015	1078.60	2.665	0.48	16.27	11.21	19.88	11.26
標準偏差									0.380	0.399	0.505	0.187
変動係数									0.023	0.036	0.025	0.017
ばらつき係数									0.989	0.983	0.988	0.992
50%下限値									16.09	11.02	19.64	11.17
壁倍率									9.02	6.18	11.01	6.26

表 3.40 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい	
				加力機 側	加力機 反対側	圧縮側	引張側
RCLS-1	含水率 (%)	9.2	10.0	7.4	8.5	15.4	11.8
	密度 (kg/m ³)	465	428	376	382	531	469
RCLS-2	含水率 (%)	8.6	12.6	9.9	7.2	10.9	12.8
	密度 (kg/m ³)	453	449	422	383	439	447
RCLS-3	含水率 (%)	11.3	16.6	9.6	8.7	9.4	13.8
	密度 (kg/m ³)	452	509	428	376	403	446

3.11.2 (b) 試験体 RCLS の試験結果についての考察

H=3.0m・三寸角筋かい耐力壁の主な破壊性状は、引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けであった（写真 3.25(a)）。引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けが生じながらも圧縮側の筋かいが荷重を保持しながら変形が進み、変形角が 1/15rad に到達したため試験終了というものであった。また、試験体 RCLS-3 では、引張筋かい下端部筋かい金物の引抜力により引張側柱脚が割裂破壊した（写真 3.25(a)）。筋かい金物を柱・筋かいの 2 点留めのものとしたため、筋かいによる引抜力を柱が全て負担したためと考えられる。

壁倍率は、「 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 」で決まり、6.18 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 5.0 倍を満足した。

3.11.3 試験体 RCHD の面内せん断試験

試験体の概要を図 3.43 に示す。

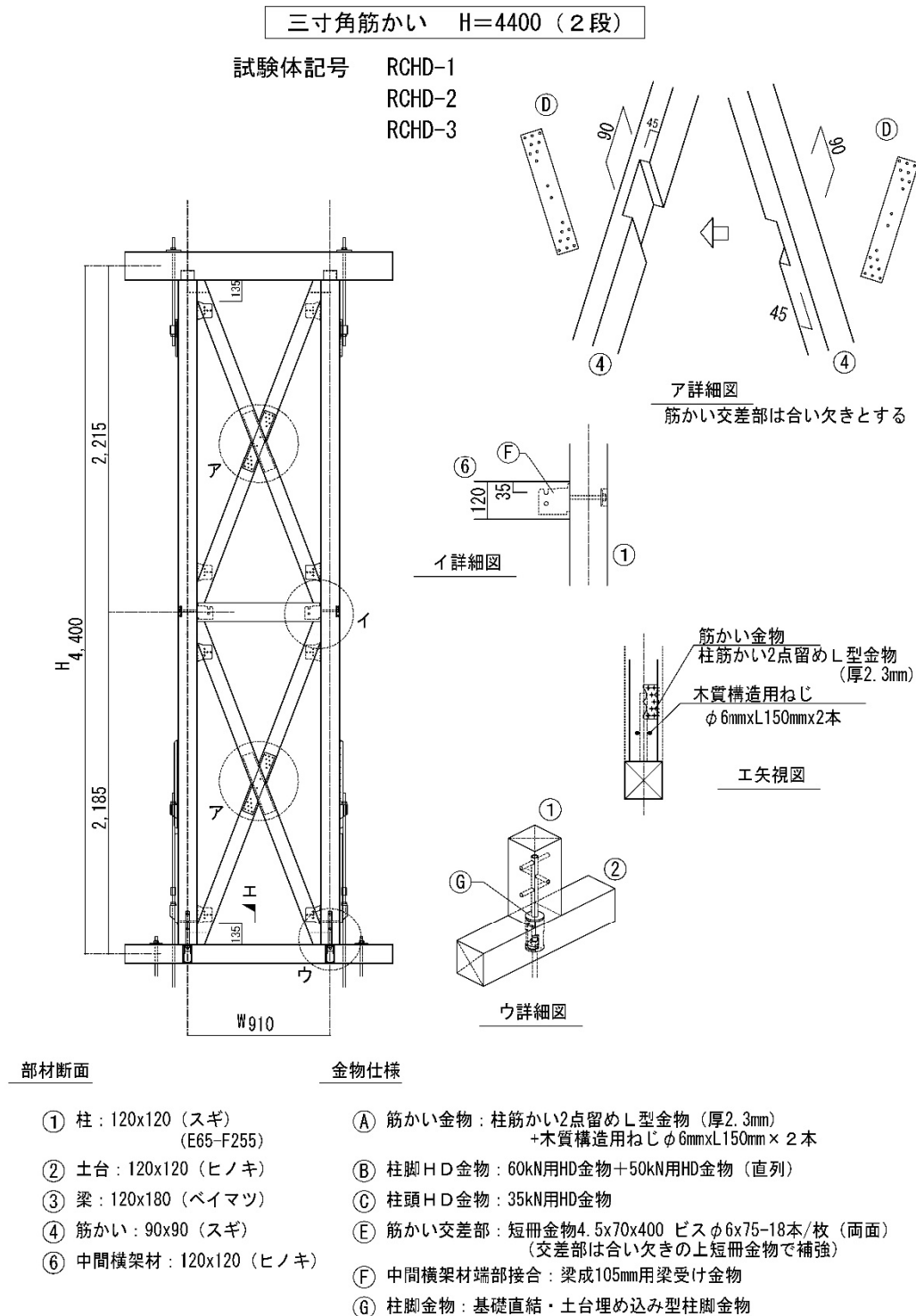


図 3.43 試験体 RCHD の概要 (単位: mm)

3.11.3 (a) 試験体 RCHD の試験結果

荷重-変形角曲線を図 3.44 に、試験体加力前後の様子を写真 3.26 に、終局時の様子を写真 3.27 に示す。また、特性値の一覧を表 3.41 に示す。含水率及び密度を表 3.42 に示す。含水率は試験後に高周波測定器にて測定した。密度は試験前に測定した。

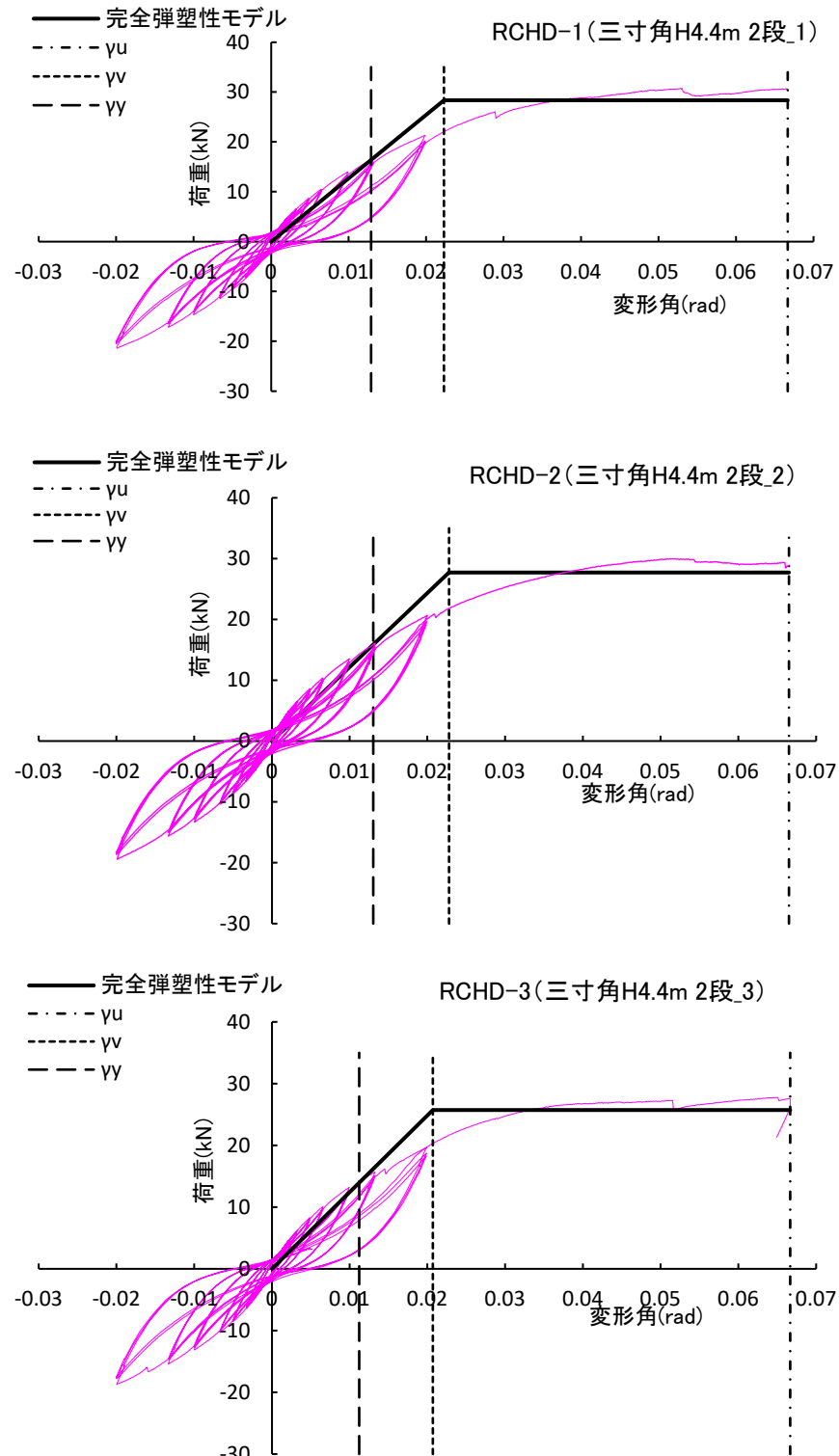


図 3.44 荷重-変形角曲線



(a) RCHD-2 加力前

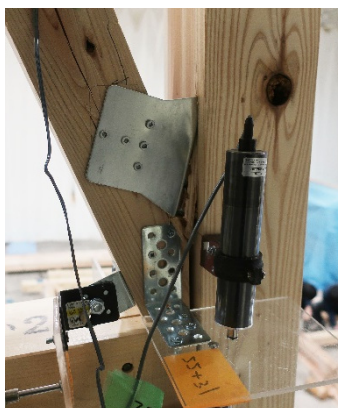


(b) RCHD-2 加力後

写真 3.26 試験体加力前後の様子



(a) 下段引張筋かい取付部の
柱脚の割裂 (RCHD-2)



(b) 上段引張筋かい下端金物
接合ビスの引き抜け (RCHD-2)



(c) 上段圧縮筋かい上端金物の
変形 (RCHD-2)

写真 3.27 終局時の様子

表 3.41 試験結果

H=4400 三寸角筋かい、90×90(スギ)タスキ 2 段												
番号	Pmax (kN)	γ_u (rad)	Pu (kN)	γ_v (rad)	δ_y (rad)	K (kN/rad)	μ	Ds	Py (kN)	Pu·0.2/Ds (kN)	2/3Pmax (kN)	P(1/120) (kN)
RCHD-1	30.75	0.067	28.36	0.022	0.013	1271.31	2.989	0.45	16.39	12.65	20.50	12.42
RCHD-2	29.98	0.067	27.71	0.023	0.013	1216.91	2.920	0.45	15.87	12.19	19.99	12.02
RCHD-3	27.76	0.067	25.72	0.021	0.011	1242.53	3.221	0.43	13.96	12.00	18.51	11.69
平均値	29.50	0.067	27.26	0.022	0.012	1243.58	3.043	0.44	15.40	12.28	19.66	12.04
標準偏差									1.281	0.335	1.034	0.362
変動係数									0.083	0.027	0.053	0.030
ばらつき係数									0.961	0.987	0.975	0.986
50%下限値									14.801	12.124	19.178	11.874
壁倍率									8.30	6.80	10.75	6.66

表 3.42 試験体の含水率、密度

試験体 記号	項目	梁	土台	柱		筋かい				中間 横架材
				加力機 側	加力機 反対側	上段		下段		
						圧縮側	引張側	圧縮側	引張側	
RCHD-1	含水率 (%)	15.4	11.3	8.9	9.3	14.8	9.0	13.7	9.0	11.6
	密度 (kg/m³)	490	490	410	390	420	480	430	420	490
RCHD-2	含水率 (%)	16.0	10.2	9.0	8.4	12.4	17.2	12.1	10.4	11.6
	密度 (kg/m³)	540	530	370	360	440	450	470	440	540
RCHD-3	含水率 (%)	15.5	12.3	9.1	8.9	8.5	7.8	11.7	8.3	13.2
	密度 (kg/m³)	440	550	380	360	420	380	430	450	500

3.11.3 (b) 試験体 RCHD の試験結果についての考察

H=4.4m・三寸角 2 段筋かい耐力壁の主な破壊性状は、1 段筋かい同様、引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けであった（写真 3.27(b)）。引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けが生じながらも圧縮側の筋かいが荷重を保持しながら変形が進み、変形角が 1/15rad に到達したため試験終了というものであった。また、試験体 RCHD のすべての試験体において柱脚に割裂が発生した（写真 3.27(a)）。2 段筋かい耐力壁の柱脚は、めり込みを抑制し初期剛性を向上させるため土台に埋め込む基礎直結型柱脚金物を使用しており（図 3.40）、その金物のホゾパイプによる柱脚の断面欠損部から引張筋かいの引張力により割裂破壊した。二つ割 2 段筋かいでは同様の柱脚金物を使用しているが、柱脚部に割裂は見られなかった。三寸角筋かいの方が二つ割筋かいに比較してより大きい引張力を負担したためと考えられる。壁倍率は、1/120rad 時の耐力で決まり、6.66 倍という結果で建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 5.0 倍を満足した。

3. 11. 4 三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断試験の結果と考察

試験の結果、1 段筋かい耐力壁の試験体 RCLS 及び 2 段筋かい耐力壁の試験体 RCHD とともに、主な破壊性状は、引張側の筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けであった（写真 3. 25(a)、写真 3. 27(b)）。試験体 RCLS 及び RCHD とともに、筋かい金物の変形及び取付ビスの引き抜けが生じながらも圧縮側の筋かいが荷重を保持しながら変形が進み、変形角が $1/15\text{rad}$ に到達したため試験終了というものであった。この破壊性状は、同様の柱・筋かいの 2 点に留め付ける L 型の筋かい金物を使用した二つ割筋かい耐力壁の第 4 期試験体 RLS 及び RHD とほぼ同じであった。三寸角たすき掛け筋かい耐力壁の試験体 RCLS 及び RCHD とともに、二つ割筋かいの試験の第 4 期で使用した L 型の筋かい金物に加えて、接合部の剛性の向上を図って、ねじ部の径 6mm、長さ 150mm の木質構造用ねじ 2 本を三寸角筋かい側から柱に打ちつけた。三寸角筋かいの試験体では、同様の筋かい金物を使用した二つ割筋かい試験の第 4 期の試験体 RLS 及び RHD ではなかった柱脚の割裂破壊が見られた。三寸角 1 段筋かいの試験体 RCLS では 3 体のうち 1 体（写真 3. 25(a)）、2 段筋かいの試験体 RCHD では、すべての試験体において引張力を負担する筋かいが取り付く柱脚に割裂が発生した（写真 3. 27(a)）。筋かいの断面が三寸角のため二つ割材より断面積が大きいことと木質構造用ねじで筋かい端部接合部の剛性の向上を図ったことにより、引張側の筋かいに作用する軸力が大きくなったこと及び筋かい金物が、柱のみに取り付くタイプのものであったため割裂したと考えられる。また、2 段筋かい耐力壁の柱脚は、めり込みを抑制し初期剛性を向上させるため土台に埋め込む基礎直結型柱脚金物を使用しており（図 3. 40）、その金物のホゾパイプによる柱脚の断面欠損部から引張筋かいの引張力により割裂破壊しやすくなったものと考えられる。

1 段筋かいの試験体 RCLS の壁倍率は「 $Pu \cdot 0.2/Ds$ 」で決まり、6. 18 倍という結果となった。また、2 段筋かいの試験体 RCHD の壁倍率は $1/120\text{rad}$ 時の荷重で決まり、6. 66 倍という結果となり、どちらも建築基準法施行令第 46 条表 1 に定められた 5. 0 倍を満足した。

3. 12 フレーム解析による筋かい耐力壁の性能の検証

耐力壁としての性能を担保するために必要な各部の性能を明らかにするために、筋かい耐力壁の試験体をモデル化しフレーム解析を行った。解析は、(株)マイダスアイティジャパンの midas iGen にて行った。モデル化した試験体は、二つ割たすき掛け筋かい耐力壁では、試験体 NLS、NLS-R、NHD、RLS、RHD の 5 種類とした。柱同寸たすき掛け筋かい耐力壁の試験体 NCLS、NCHD 及び三寸角のたすき掛け筋かい耐力壁の試験体 RCLS、RCHD についてもモデル化を行った。モデル化の概要を「3. 12. 2」に示す。作用させた荷重値は、壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の値とし、「3. 12. 1」に示す。その荷重を水平力としてモデル化した壁体の頂部に左向きに作用させた。フレーム解析及び面内せん断試験の結果より各部に作用した応力を求め、それを基に耐力壁としての性能を担保するために必要な各部の性能として、以下の六つの項目について検証した。

1. 筋かい耐力壁を構成する柱、横架材、筋かいの材料
2. 引張筋かい端部の接合金物の剛性
3. 二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの断面寸法
4. 二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいのたすき掛け交点の補強性能
5. ホールダウン (HD) 金物の性能
6. 筋かい金物の引張耐力
7. 柱脚部の性能

3. 12. 1 フレーム解析用水平力の算定

フレーム解析において作用させた水平力は以下によって求めた。

二つ割筋かい耐力壁 (NLS、NLS-R、NHD、RLS、RHD)

$$\text{水平力 } P = n \cdot \angle Q_a \cdot L \cdot \alpha \cdots \cdots (3.8)$$

$$= 4 \times 1.96 \times 0.91 \times 1.5 = 10.7 \text{ kN}$$

柱同寸及び三寸角筋かい耐力壁 (NCLS、NCHD、RCLS、RCHD)

$$\text{水平力 } P = n \cdot \angle Q_a \cdot L \cdot \alpha \cdots \cdots (3.8)$$

$$= 5 \times 1.96 \times 0.91 \times 1.5 = 13.4 \text{ kN}$$

ここで、 n : 壁倍率

$\angle Q_a$: 壁倍率 1 倍、1m 当たりの許容せん断耐力

L : 壁長

α : 1.5 (壁倍率の指標値である $2/3P_{\max}$ の係数 $2/3$ の逆数)

3. 12. 2 筋かい耐力壁試験体のモデル化の概要

筋かい耐力壁の試験体のモデル図を図 3. 45 及び図 3. 46 に示す。図 3. 45 は、柱・筋かい・横架材の側面 3 点留めのフラットプレート型の筋かい金物を使用した第 2 期及び第 3 期の試験体のモデル図を示す。図 3. 46 は、柱・筋かいの 2 点留めの L 型の筋かい金物を使用した第 4 期の試験体のモデル図を示す。また、「3. 12. 3」に接合部の剛性の概要を示す。解析における筋かい端部接合部の剛性は、引張接合部の場合は試験時に測定した変位計の値及び筋かいに貼り付けたひずみゲージより求めた値とし、圧縮接合部は稲山のめり込み式²⁹⁾による値とした。また、ホールダウン (HD) 金物や梁受け金物の剛性はメーカーの試験データ^{37, 38, 39, 40, 41, 42)}を採用した。柱梁及び筋かいなどの各部材のヤング係数は試験時に測定した打撃音法による値とした。圧縮筋かいの場合、圧縮軸力を受けたとき、弱軸である面外方向に座屈が生じ剛性が低下することが予想される。そのため、圧縮方向の筋かいのヤング係数は座屈を考慮して、計測値に座屈低減係数を乗じて低減した値とした。低減係数は、文献 31) に示されている圧縮応力度を低減するときの座屈低減係数 η を適用する。各試験体の圧縮筋かいのヤング係数の低減係数 η は以下によるものとし、「3. 12. 3」による各試験体の接合部の剛性と併せて座屈低減係数 η を表 43 から表 50 に示す。

$$\lambda = lk/i \cdots \cdots (3. 9)$$

$$30 < \lambda \quad (=lk/i) \leq 100 \text{ の場合} \quad \eta = 1. 3 - 0. 01 \lambda \cdots \cdots (3. 10)$$

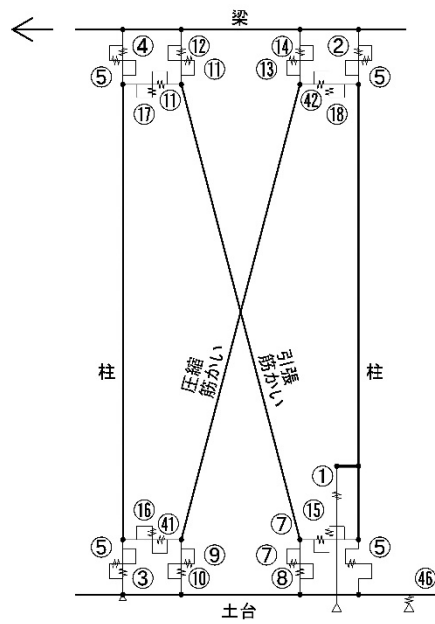
$$100 < \lambda \quad (=lk/i) \text{ の場合} \quad \eta = 3000 / \lambda^2 \cdots \cdots (3. 11)$$

ここで、

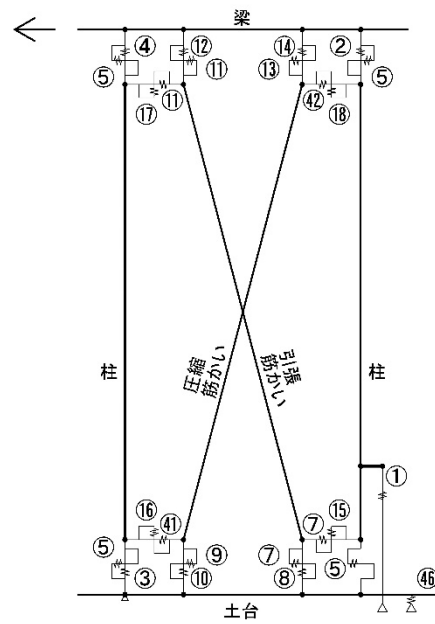
η : 圧縮材の座屈低減係数

lk : 筋かいの座屈長さ (mm) - たすき掛け筋かいの交点が、二つ割筋かいでは木質構造用ねじにより、また柱同寸及び三寸角筋かいでは短冊金物により補強されているため、座屈長さは筋かいの内法長さの 1/2 とする。

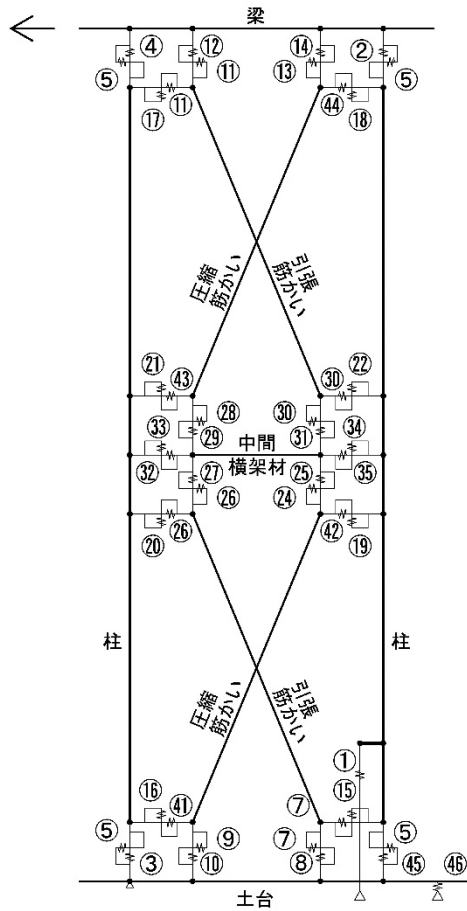
i : 筋かい材の弱軸側の断面二次半径 (mm)



(a) NLS, NCLS



(b) NLS-R



(c) NHD, NCHD

図 3.45 第 2 期及び第 3 期の試験体のモデル図

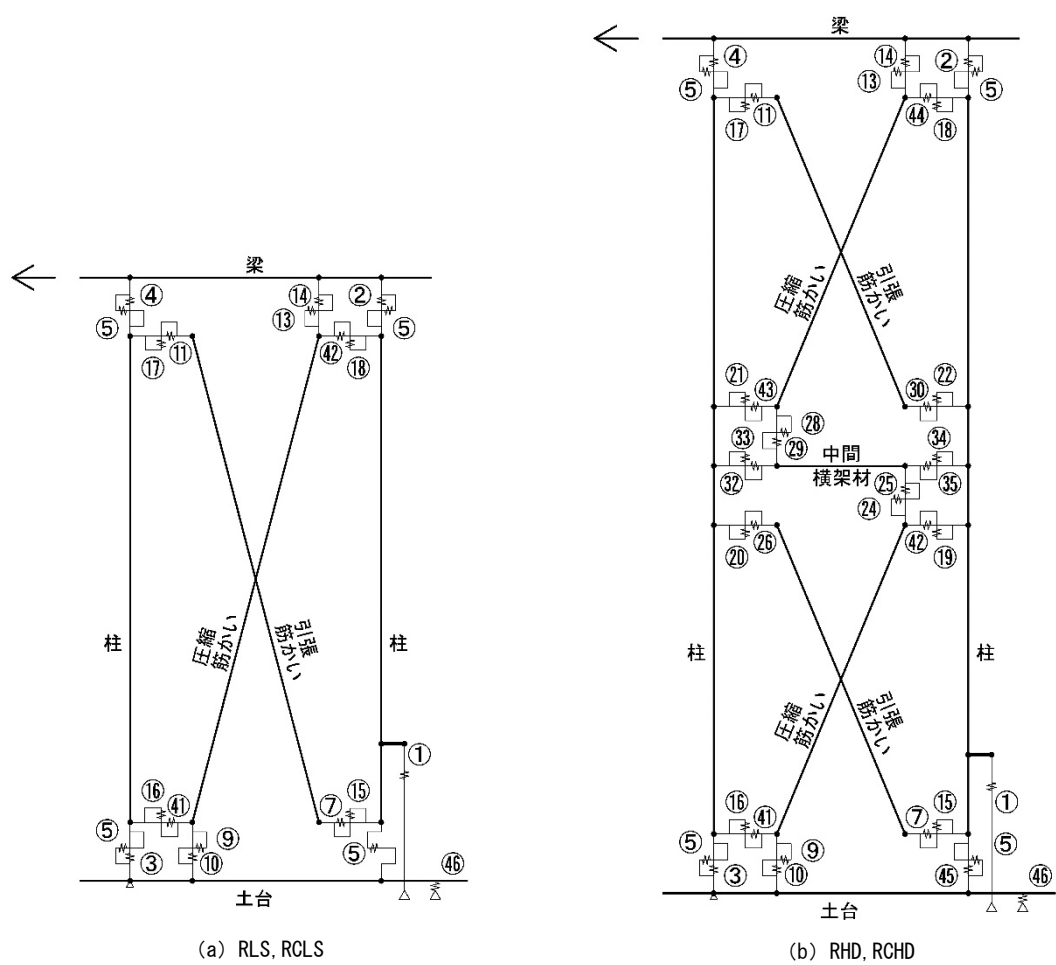


図 3.46 第 4 期の試験体のモデル図

3.12.3 モデル化における接合部の剛性の概要

$k①$ ：柱脚 HD 金物の引張剛性（メーカーの試験成績書^{37,38,40}）による値）

$k②$ ：柱頭 HD 金物の引張剛性（メーカーの試験成績書^{37,39}）による値）

$k③$ （NLS、NCLS）：柱木口の土台に対するめり込み剛性
（稲山のめり込み式²⁹）による計算値）

$$k③ \text{ (NLS、NCLS)} = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{90}}{Z_0} \quad \dots (3.12)$$

E_0 ：繊維方向のヤング係数

$E_{90} = E_0/50$ （繊維直交方向のヤング係数）

$$C_x = 1 + \frac{4Z_0}{3x_p}, \quad C_y = 1 \text{ (余長なし)}$$

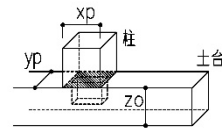


図 3.47 柱脚（短ほぞ）

$k③$ （NHD、NCHD、RHD、RCHD）：基礎直結型柱脚金物の柱木口に対するめり込み剛性（計算値）

$$k③ \text{ (NHD、NCHD、RHD、RCHD)} = \frac{E_0 A_0}{Z_0} \quad \dots (3.13)$$

E_0 ：繊維方向のヤング係数

A_0 ：柱脚金物の水平投影面積

$Z_0 = 1.5 \phi$ （ ϕ ：柱脚金物の径）

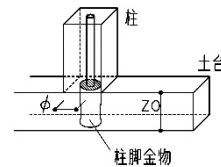


図 3.48 柱脚（金物）

$k③$ （RLS、RCLS）：柱木口の土台に対するめり込み剛性（稲山のめり込み式²⁹）による計算値）及び長ほぞの繊維方向の剛性の並列ばね

$$k③ \text{ (RLS、RCLS)} = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{90}}{Z_0} + \frac{E_0 A_0}{Z_0} \quad \dots (3.14)$$

E_0 ：繊維方向のヤング係数

$E_{90} = E_0/50$ （繊維直交方向のヤング係数）

$$C_x = 1 + \frac{4Z_0}{3x_p}, \quad C_y = 1 \text{ (余長なし)}$$

$A_0 = bd$ ：柱脚長ほぞの断面積

Z_0 ：柱脚長ほぞの成

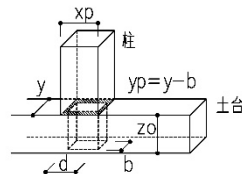


図 3.49 柱脚（長ほぞ）

$k④$ ：柱木口の梁に対するめり込み剛性（稲山のめり込み式²⁹⁾による計算値）

$$k④ = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{90}}{Z_0} \quad \dots (3.15)$$

E_0 ：繊維方向のヤング係数

$E_{90} = E_0/50$ （繊維直交方向のヤング係数）

$C_x = 1 + \frac{4Z_0}{3x_p}$, $C_y = 1$ （余長なし）

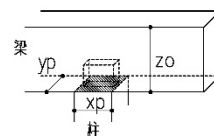


図 3.50 柱頭（短ほぞ）

$k⑤$ ：柱ホゾ側面のめり込み剛性（稲山のめり込み式²⁹⁾による計算値）

$$k⑤ = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{90}}{Z_0} \quad \dots (3.16)$$

E_0 ：繊維方向のヤング係数

$E_{90} = E_0/50$ （繊維直交方向のヤング係数）

$C_x = 1 + \frac{2Z_0}{3x_p} \left(2 - \exp\left(\frac{-3x_1}{2Z_0}\right) \right)$

$C_y = 1$ （余長なし）

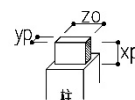


図 3.51 柱頭（短ほぞ）

$k⑦⑨⑪⑬⑭⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲$ ：筋かい端部接合部の水平方向剛性

$k⑧⑩⑫⑬⑭⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲$ ：筋かい端部接合部の鉛直方向剛性

筋かい端部接合部の剛性：（筋かいの引張時、圧縮時共）

耐力壁の面内せん断試験における筋かいの軸力と筋かい端部接合部の変位の 0.1Pmax と 0.4Pmax 時の変化量の傾きの試験体 3 体の平均値

$$\text{筋かい端部接合部の剛性 } k = \frac{Nv(0.4P_{max}) - Nv(0.1P_{max})}{\delta(0.4P_{max}) - \delta(0.1P_{max})} \quad \dots (3.17)$$

Nv ：筋かいの軸力

$Nv = E \mu A$

E ：筋かい材のヤング係数（打撃音法による実測値）

μ ：ひずみゲージによる筋かい材のひずみ度

A ：筋かい材の断面積

δ ：筋かい端部の変位量

k_{32} ：梁受け金物の引張剛性（メーカーの試験成績書⁴²⁾による値）

k_{33} ：梁受け金物のせん断剛性（メーカーの試験成績書⁴²⁾による値）

k_{34} ：梁受け金物の逆せん断剛性（メーカーの試験成績書⁴²⁾による値）

k_{35} ：中間横架材端部のめり込み剛性（稲山のめり込み式²⁹⁾による計算値）

$$k_{35} = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{90}}{Z_0} \quad \dots (3.18)$$

E_0 ：繊維方向のヤング係数

$E_{90} = E_0/50$ （繊維直交方向のヤング係数）

$C_x = 1 + \frac{4Z_0}{3x_p}$, $C_y = 1$ （余長なし）

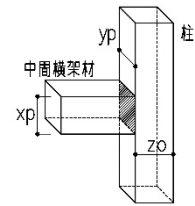


図 3.52 中間横架材端部

$k_{41}k_{42}k_{43}k_{44}$ ：筋かい端部の柱に対するめり込み剛性（稲山のめり込み式²⁹⁾による計算値）

$$k_{41}k_{42}k_{43}k_{44} = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{90}}{Z_0} \quad \dots (3.19)$$

E_0 ：繊維方向のヤング係数

$E_{90} = E_0/50$ （繊維直交方向のヤング係数）

$C_x = 1 + \frac{2Z_0}{3x_p} \left(2 - \exp\left(\frac{-3x_1}{2Z_0}\right) \right)$

$C_y = 1 + \frac{2Z_0}{3ny_p} \left(2 - \exp\left(\frac{-3ny_1}{2Z_0}\right) - \exp\left(\frac{-3ny_2}{2Z_0}\right) \right)$

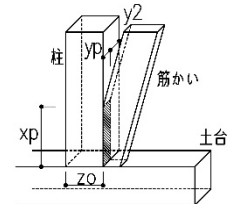


図 3.53 筋かい端部

k_{45} ：基礎直結型柱脚金物の引張剛性（メーカーの試験成績書⁴¹⁾による値）

k_{46} : 土台座金の土台に対するめり込み剛性 (稲山のめり込み式²⁹⁾ による計算値)

$$k_{46} = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{90}}{Z_0} \quad \dots (3.20)$$

E_0 : 繊維方向のヤング係数

$E_{90} = E_0/50$ (繊維直交方向のヤング係数)

$$C_x = 1 + \frac{4Z_0}{3x_p}$$

$$C_y = 1 + \frac{2Z_0}{3ny_p} \left(2 - \exp\left(\frac{-3ny_1}{2Z_0}\right) - \exp\left(\frac{-3ny_2}{2Z_0}\right) \right)$$

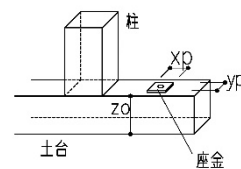


図 3.54 土台緊結座金

3. 12. 4 接合部の剛性の一覧

試験体をモデル化しフレーム解析を行うため、3. 12. 3 において求めた接合部の剛性の一覧を表 3. 43 から表 3. 50 に示す。

表 3. 43 各部材の断面性能及び接合部の剛性（NLS、NLS-R）

試験体名： NLS（HD 金物内付け）、NLS-R（HD 金物外付け）										
ヤング係数 E (kN/mm ²)：柱 $E=7.91$ ，梁 $E=13.04$ ，土台 $E=12.15$										
引張筋かい $E=12.92$ 、圧縮筋かい $E=2.97$ （座屈低減係数 $\eta=0.23$ ）										
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
	16.5	9.55	59.54	52.49	6.51	—	1.83	14.68	9.36	13.66
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{46}	
	2.65	3.59	9.81	5.85	14.64	11.93	14.64	11.56	48.54	
備考： k_6 は計測なし。計測不良により k_{15} は k_{17} の値を使用。										

表 3. 44 各部材の断面性能及び接合部の剛性（NHD）

試験体名： NHD										
ヤング係数 E (kN/mm ²)：柱 $E=8.65$ ，梁 $E=12.41$ ，土台 $E=9.72$ ，中間横架材 $E=8.65$										
引張筋かい $E=12.26$ ，圧縮筋かい $E=5.42$ （座屈低減係数 $\eta=0.44$ ）										
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
	16.5	9.55	267.22	59.57	7.12	—	29.65	14.37	7.95	7.58
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{19}	k_{20}
	11.18	20.63	10.30	14.88	12.02	15.00	8.73	11.04	5.82	11.04
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{21}	k_{22}	k_{23}	k_{24}	k_{25}	k_{26}	k_{27}	k_{28}	k_{29}	k_{30}
	12.02	15.00	—	34.69	21.72	10.30	14.88	47.39	5.98	7.95
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{31}	k_{32}	k_{33}	k_{34}	k_{35}	k_{41}	k_{42}	k_{43}	k_{44}	k_{45}
	7.58	3.95	3.76	2.74	58.82	11.45	11.45	11.45	11.45	22.38
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{46}									
	39.16									
備考： k_6 、 k_{23} は計測なし。計測不良により k_{20} は k_{18} 、 k_{21} は k_{15} 、 k_{22} は k_{16} 、 k_{26} は k_{13} 、 k_{27} は k_{14} 、 k_{30} は k_9 、 k_{31} は k_{10} の値を使用。										

表 3.45 各部材の断面性能及び接合部の剛性 (NCLS)

試験体名： NCLS										
ヤング係数 E (kN/mm ²)：柱 $E=7.91$, 梁 $E=13.04$, 土台 $E=12.15$										
引張筋かい $E=6.41$ 、圧縮筋かい $E=5.19$ (座屈低減係数 $\eta=0.81$)										
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
	16.5	9.55	59.54	52.49	6.51	—	4.05	12.68	23.81	22.44
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{46}	
	17.49	26.85	41.81	37.12	19.50	30.87	19.50	10.12	48.54	
備考： k_6 は計測なし。計測不良により k_{15} は k_{17} の値を使用。										

表 3.46 各部材の断面性能及び接合部の剛性 (NCHD)

試験体名： NCHD										
ヤング係数 E (kN/mm ²)：柱 E=8.65, 梁 E=12.41, 土台 E=9.72, 中間横架材 E=8.65										
引張筋かい E=5.8、圧縮筋かい E=5.67 (座屈低減係数 $\eta=0.98$)										
記号 初期剛性 (kN/mm)	<i>k</i> 1	<i>k</i> 2	<i>k</i> 3	<i>k</i> 4	<i>k</i> 5	<i>k</i> 6	<i>k</i> 7	<i>k</i> 8	<i>k</i> 9	<i>k</i> 10
	16.5	9.55	267.22	59.57	7.12	—	53.00	21.47	10.96	8.38
記号 初期剛性 (kN/mm)	<i>k</i> 11	<i>k</i> 12	<i>k</i> 13	<i>k</i> 14	<i>k</i> 15	<i>k</i> 16	<i>k</i> 17	<i>k</i> 18	<i>k</i> 19	<i>k</i> 20
	49.70	24.88	20.75	26.82	76.00	17.73	6.82	11.35	5.50	11.35
記号 初期剛性 (kN/mm)	<i>k</i> 21	<i>k</i> 22	<i>k</i> 23	<i>k</i> 24	<i>k</i> 25	<i>k</i> 26	<i>k</i> 27	<i>k</i> 28	<i>k</i> 29	<i>k</i> 30
	76.00	17.73	—	168.27	40.25	20.75	26.82	76.88	47.91	10.96
記号 初期剛性 (kN/mm)	<i>k</i> 31	<i>k</i> 32	<i>k</i> 33	<i>k</i> 34	<i>k</i> 35	<i>k</i> 41	<i>k</i> 42	<i>k</i> 43	<i>k</i> 44	<i>k</i> 45
	8.38	3.95	3.76	2.74	58.82	30.41	30.41	30.41	30.41	22.38
記号 初期剛性 (kN/mm)	<i>k</i> 46									
	39.16									
備考： <i>k</i> 6, <i>k</i> 23 は計測なし。計測不良により <i>k</i> 20 は <i>k</i> 18、 <i>k</i> 21 は <i>k</i> 15、 <i>k</i> 22 は <i>k</i> 16、 <i>k</i> 26 は <i>k</i> 13、 <i>k</i> 27 は <i>k</i> 14、 <i>k</i> 30 は <i>k</i> 9、 <i>k</i> 31 は <i>k</i> 10 の値を使用。										

表 3. 47 各部材の断面性能及び接合部の剛性 (RLS)

試験体名 : RLS										
ヤング係数 E (kN/mm ²) : 柱 $E=8.35$, 梁 $E=11.51$, 土台 $E=9.16$										
引張筋かい $E=14.84$ 、圧縮筋かい $E=3.41$ (座屈低減係数 $\eta=0.23$)										
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
	24.18	7.68	424.81	46.33	6.88	—	4.55	—	9.60	20.39
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{46}	
	4.22	—	18.77	28.36	1.38	9.35	1.57	9.35	48.54	
備考 : k_6, k_8, k_{12} は計測なし。										

表 3. 48 各部材の断面性能及び接合部の剛性 (RHD)

試験体名： RHD										
ヤング係数 E (kN/mm ²)：柱 E=8.44, 梁 E=12.52, 土台 E=9.46, 中間横架材 E=9.46										
引張筋かい E=18.3、圧縮筋かい E=8.22 (座屈低減係数 $\eta=0.45$)										
記号 初期剛性 (kN/mm)	k 1	k 2	k 3	k 4	k 5	k 6	k 7	k 8	k 9	k 10
	31.85	7.68	260.73	60.10	6.95	—	13.64	6.47	1.15	—
記号 初期剛性 (kN/mm)	k 11	k 12	k 13	k 14	k 15	k 16	k 17	k 18	k 19	k 20
	4.73	13.48	2.72	—	5.64	2.74	2.06	1.57	2.06	2.15
記号 初期剛性 (kN/mm)	k 21	k 22	k 23	k 24	k 25	k 26	k 27	k 28	k 29	k 30
	4.01	1.16	—	3.31	21.28	2.11	—	3.85	25.19	3.61
記号 初期剛性 (kN/mm)	k 31	k 32	k 33	k 34	k 35	k 41	k 42	k 43	k 44	k 45
	—	3.95	3.76	2.74	47.26	17.62	17.62	17.62	17.62	22.38
記号 初期剛性 (kN/mm)	k 46									
	39.16									
備考：k 6, k 10, k 14, k 23, k 27, k 31 は計測なし。										

表 3. 49 各部材の断面性能及び接合部の剛性 (RCLS)

試験体名： RCLS										
ヤング係数 E (kN/mm ²) : 柱 E=8.35, 梁 E=11.51, 土台 E=9.16										
引張筋かい E=7.78、圧縮筋かい E=5.67 (座屈低減係数 $\eta = 0.73$)										
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
	24.18	7.68	424.81	46.33	6.88	—	3.65	—	55.06	18.07
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{46}	
	2.63	—	39.82	41.91	5.26	17.46	5.05	17.46	48.54	
備考 : k_6, k_8, k_{12} は計測なし。										

表 3. 50 各部材の断面性能及び接合部の剛性 (RCHD)

試験体名： RCHD										
ヤング係数 E (kN/mm ²) : 柱 E=8.44, 梁 E=12.52, 土台 E=9.46, 中間横架材 E=9.46										
引張筋かい E=8.17、圧縮筋かい E=7.15 (座屈低減係数 $\eta = 0.87$)										
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
	31.85	7.68	260.73	60.10	6.95	—	23.23	69.65	1.15	—
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}	k_{19}	k_{20}
	10.36	66.28	2.85	—	63.09	32.25	8.81	10.26	3.28	4.06
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{21}	k_{22}	k_{23}	k_{24}	k_{25}	k_{26}	k_{27}	k_{28}	k_{29}	k_{30}
	7.06	7.79	—	20.71	52.57	33.93	—	40.65	50.93	27.69
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{31}	k_{32}	k_{33}	k_{34}	k_{35}	k_{41}	k_{42}	k_{43}	k_{44}	k_{45}
	—	3.95	3.76	2.74	47.26	31.71	31.71	31.71	31.71	22.38
記号 初期剛性 (kN/mm)	k_{46}									
	39.16									
備考 : $k_6, k_{10}, k_{14}, k_{23}, k_{27}, k_{31}$ は計測なし。										

3.12.5 フレーム解析の結果

3.12.5 (1) 変位図及び荷重-変形角曲線

各試験体をモデル化し、フレーム解析により、壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の荷重を左向きに作用させたときの変位図を図 3.55 から図 3.57 に示す。作用させた荷重は「3.12.1」に示した値とした。また、筋かい耐力壁の面内せん断試験の荷重-変形角曲線と併せて試験体平均の初期剛性及びフレーム解析における初期剛性を図 3.58 及び図 3.59 に示す。軸力を図 3.60 から図 3.62 に示す。

図 3.58 及び図 3.59 の面内せん断試験とフレーム解析の荷重-変形角曲線に示すように、柱-筋かい-横架材の側面 3 点留めのフラットプレートタイプの筋かい金物を取り付けた二つ割 1 段筋かいタイプで、ホールダウン (HD) 金物を柱の内側に取り付けた試験体 NLS では、面内試験の初期剛性よりもフレーム解析における初期剛性の方が、約 1.22 倍高い値となった。また、試験体 NLS と同様の筋かい金物を使用し、HD 金物を柱の外側に取り付けた試験体 NLS-R では、面内試験の初期剛性よりもフレーム解析における初期剛性の方が、約 1.08 倍高い値となり、面内試験の値とフレーム解析の値に大きな違いはないと考えられる。同様の筋かい金物を使用した二つ割 2 段筋かいタイプの試験体 NHD の初期剛性は、試験値とフレーム解析値がほぼ同じ値となった。

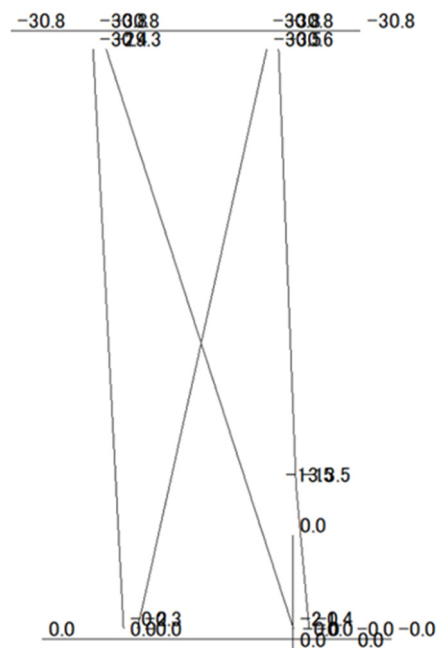
柱-筋かい-横架材の側面 3 点留めのフラットプレートタイプの筋かい金物を取り付け、HD 金物を柱の内側に取り付けた柱同寸筋かいタイプでは、1 段筋かいの試験体 NCLS の初期剛性は、面内試験の初期剛性よりフレーム解析の方が約 1.15 倍高く、2 段筋かいの試験体 NCHD は、逆に試験値の方が約 1.17 倍高い値となった。

柱-筋かいの 2 点留めの L 型の筋かい金物を取り付け、HD 金物を柱の外側に取り付けた二つ割筋かいタイプでは、1 段筋かいの試験体 RLS の初期剛性は、試験値とフレーム解析値がほぼ同じ値となった。同様の筋かい金物を使用した二つ割 2 段筋かいタイプの試験体 RHD の初期剛性は、試験値の方が約 1.12 倍高い値となった。

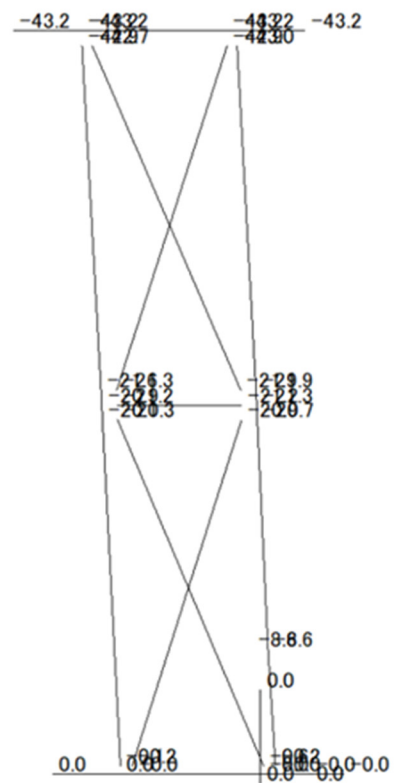
柱-筋かいの 2 点留めの L 型の筋かい金物を取り付け、HD 金物を柱の外側に取り付けた三寸角筋かいタイプでは、1 段筋かいの試験体 RCLS の初期剛性は、フレーム解析の方が約 1.17 倍高く、2 段筋かいの試験体 RCHD は、同じくフレーム解析の方が約 1.08 倍高い値となった。

フレーム解析における接合部の剛性は、面内せん断試験時において筋かい端部の接合金物の取付部の変位及び筋かい材に貼り付けたひずみゲージの値より筋かいに作用した軸力を基に求めた。軸力を求める際に採用した筋かいのヤング係数は、試験時に行った打撃音法による値とした。

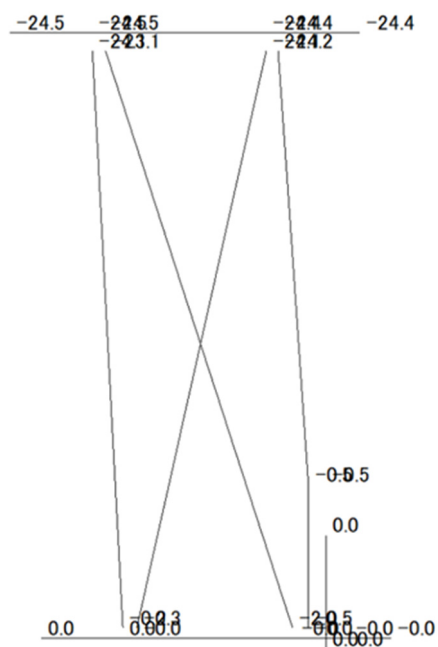
筋かい耐力壁の面内せん断試験とフレーム解析の初期剛性の誤差は、接合部における変位の測定の際、試験体の変形に伴って測定板が若干が回転した状態での測定値であったこと、筋かいが負担する軸力を計測するために、ひずみゲージを貼り付けた筋かい材の表面の状態により計測した軸力に誤差が生じたこと及び打撃音法によるヤング係数の測定誤差や接合部における加工精度等によるものと考えられる。フレーム解析で得られた初期剛性の曲線の $1/120\text{rad}$ 辺りの荷重をもって、筋かい耐力壁の耐力評価の指標値の一つである「特定変形時 ($1/120\text{rad}$) の耐力」を類推する上において、フレーム解析は十分実用的であると考えられる。



(a) 試験体 NLS (HD 内付け)

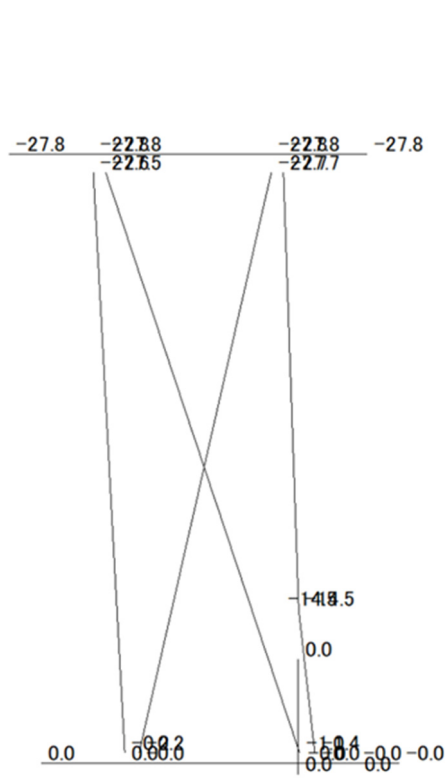


(b) 試験体 NHD

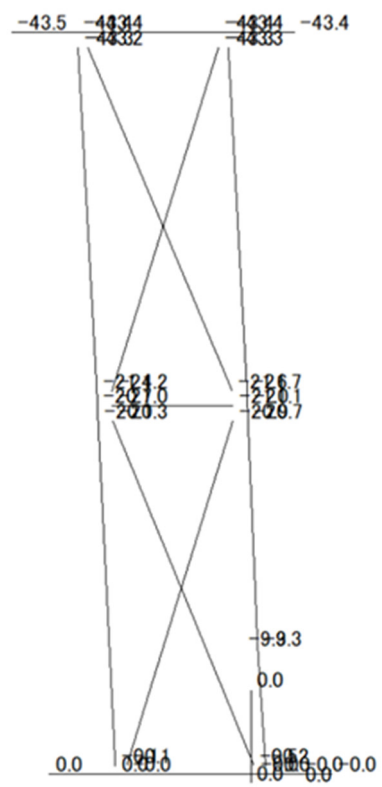


(c) 試験体 NLS-R (HD 外付け)

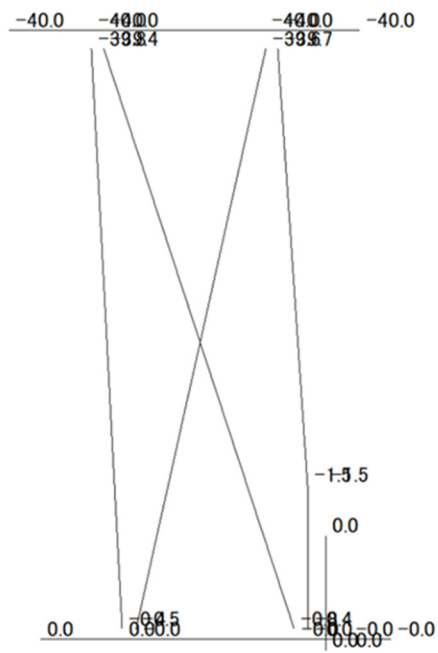
図 3.55 フレーム解析による変位図 (単位 : mm)



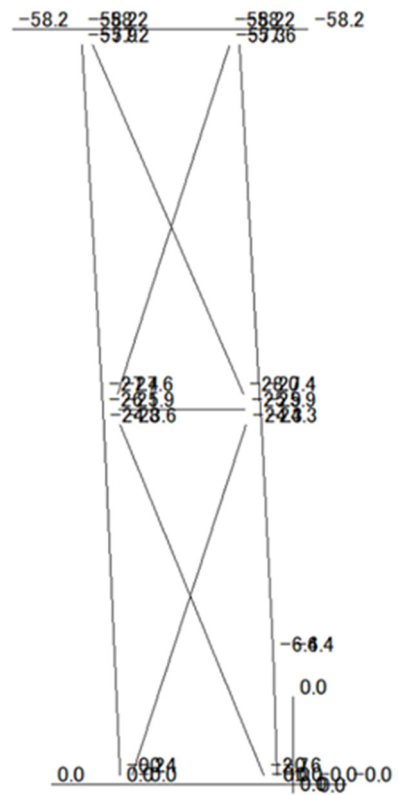
(a) 試験体 NCLS



(b) 試験体 NCHD



(c) 試験体 RLS



(d) 試験体 RHD

図 3.56 フレーム解析による変位図 (単位 : mm)

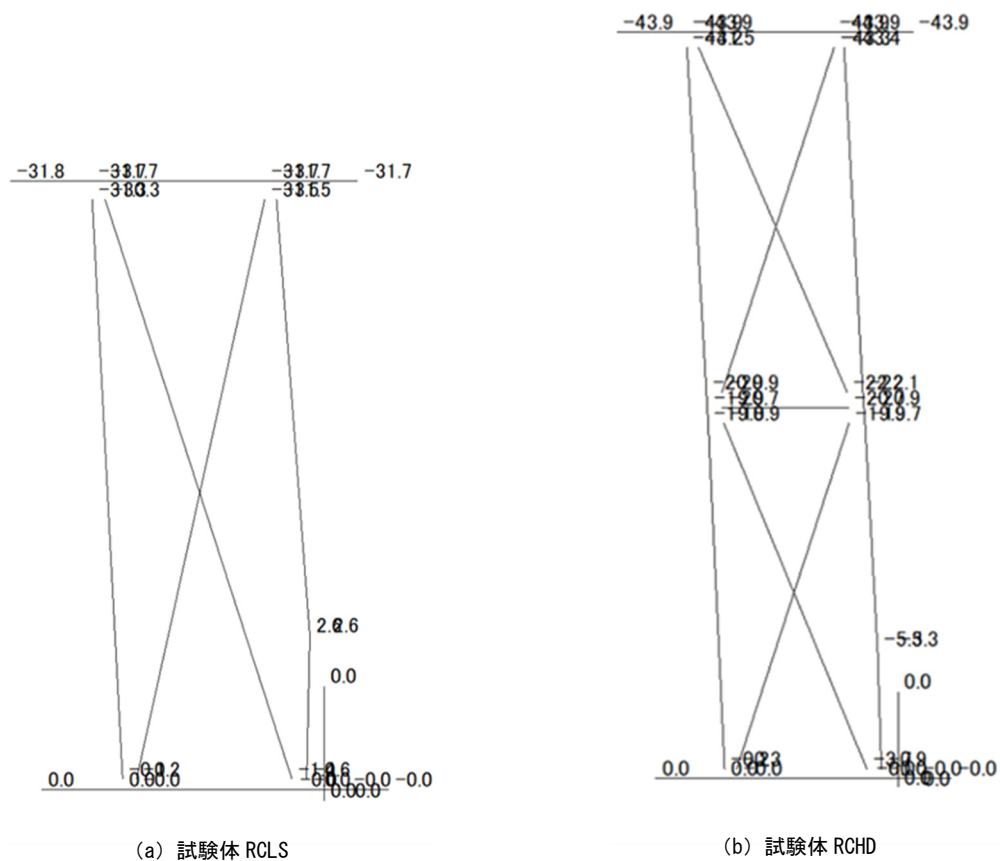


図 3.57 フレーム解析による変位図（単位：mm）

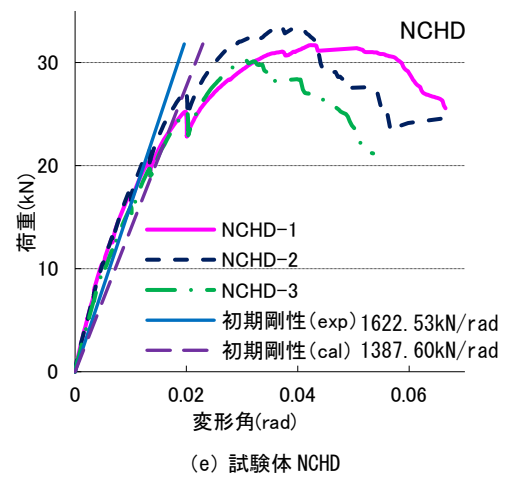
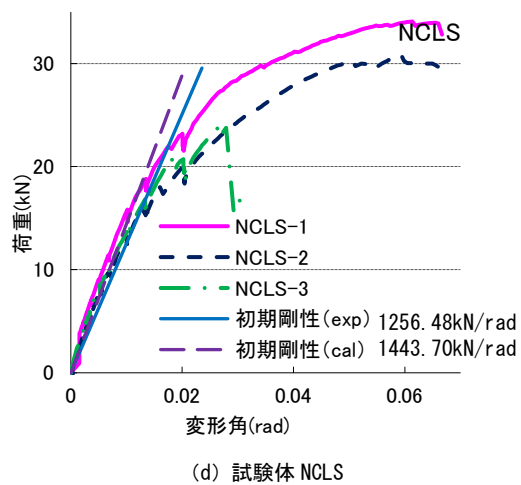
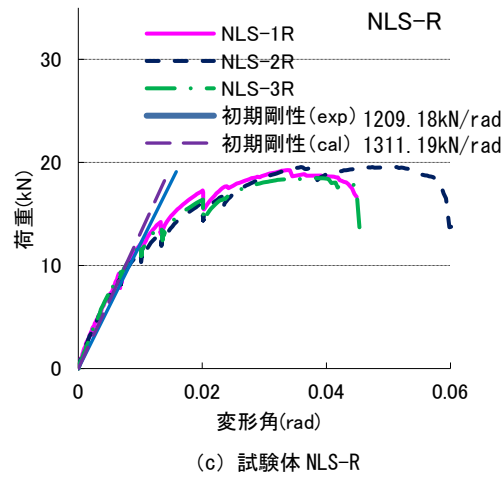
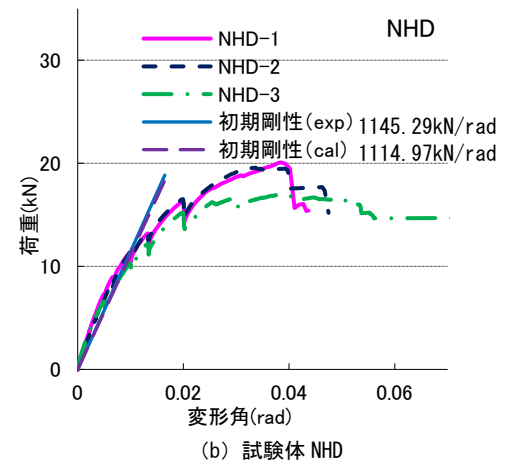
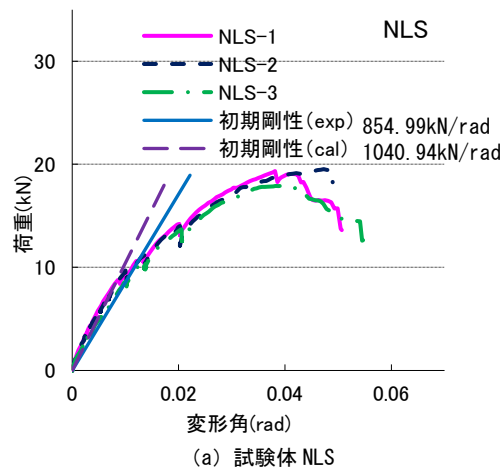
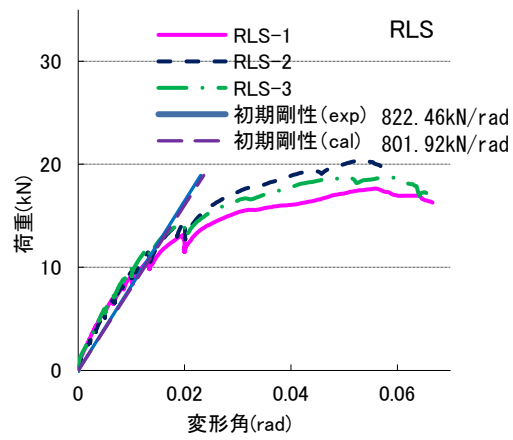
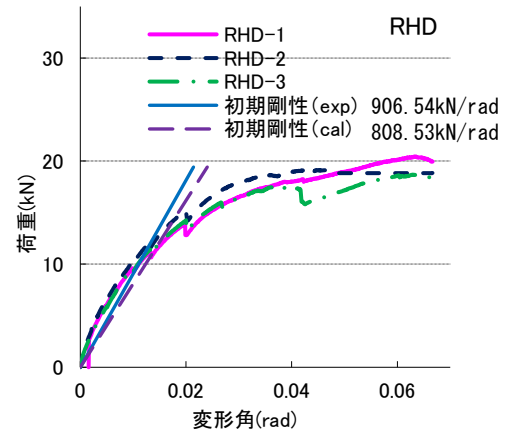


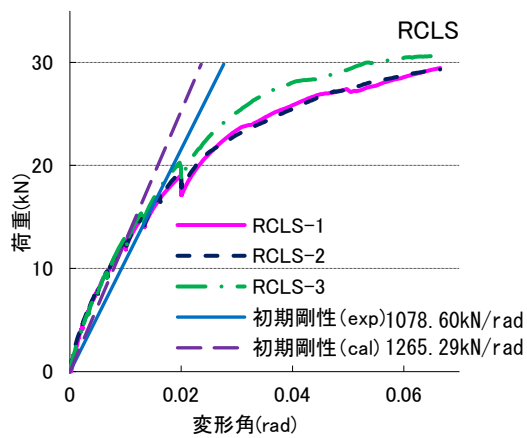
図 3.58 面内せん断試験とフレーム解析の初期剛性の比較 (1)



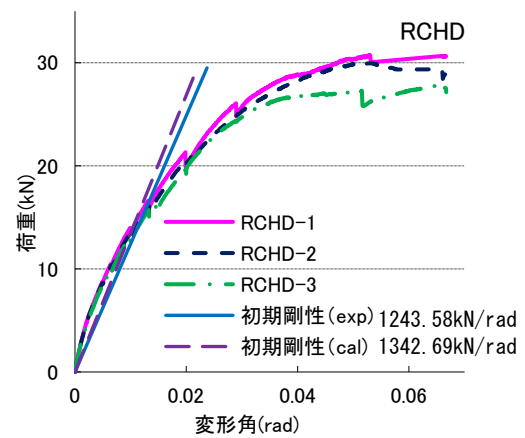
(a) 試験体 RLS



(b) 試験体 RHD



(c) 試験体 RCLS



(d) 試験体 RCHD

図 3.59 面内せん断試験とフレーム解析の初期剛性の比較 (2)

3.12.5 (2) 各部材の軸力

各試験体をモデル化し、フレーム解析により、壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の荷重を左向きに作用させたときの軸力を図 3.60 から図 3.62 に示す。作用させた荷重は

「3.12.1」に示した値とした。また、面内せん断試験において同等の荷重が作用したときの圧縮筋かいが負担した軸力をフレーム解析の軸力と併せて図 3.63 から図 3.66 に示す。また、筋かい軸力のフレーム解析値に対する面内せん断試験値の割合を表 3.63 から表 3.66 に示す。面内せん断試験時の軸力は、筋かいに貼り付けたひずみゲージの値と試験時に測定した打撃音法による筋かい材のヤング係数との関係より求めた。

図 3.65 及び図 3.66 に示すように、L 型の筋かい金物を柱・筋かいの 2 点に留めた試験体 RLS などの R タイプでは、圧縮筋かいが負担する軸力は、フレーム解析の値とひずみゲージより求めた値とが近い値を示しているが、フラットプレート型の筋かい金物を柱・筋かい・梁の 3 点に留め付けた試験体 NLS などの N タイプでは、フレーム解析の値とひずみゲージより求めた値に開きが見られる（図 3.63 及び図 3.64）。2 点留めの L 型筋かい金物に比べて、3 点留めのフラットプレート型の筋かい金物の方が応力の伝達において複雑であるため、接合部端部の剛性の測定に誤差が生じたためと考えられる。筋かい材の各部の必要性能を求める際、フレーム解析により求めた筋かいの軸力に「3.12.6 (3)」に示す補正值を乗じるものとする。

図 3.60 (c) 及び図 3.61 (c) を見ると、引張筋かいが負担する軸力について、試験体 RLS などの R タイプの方が試験体 NLS などの N タイプに比べてかなり少ないことが分かる。これは、引張筋かい端部接合部の剛性の違いによるものと考えられる。二つ割筋かい耐力壁の引張筋かいの上端部の剛性に着目すると、表 3.61 に示すように N タイプの水平方向の剛性は 5.3kN/mm^2 （筋かいと梁の剛性 k_{11} と筋かいと柱の剛性 k_{11} の合計）であり、鉛直方向の剛性は 18.23kN/mm^2 （筋かいと梁の剛性 k_{12} と筋かいと柱の剛性 k_{17} の合計）である。一方、R タイプの水平方向の剛性は 4.22kN/mm^2 （筋かいと柱の剛性 k_{11} ）であり N タイプの約 0.8 倍、鉛直方向の剛性は 1.57kN/mm^2 （筋かいと柱の剛性 k_{17} ）であり N タイプの約 0.09 倍と 3 点留めのフラットプレート型の筋かい金物に比べて 2 点留めの L 型筋かい金物の方がかなり低い値となった。そのため、R タイプの方が N タイプに比べて引張筋かいが負担する引張力が小さい結果となったと考えられる。その R タイプの引張筋かいが負担できなかった分の水平力を圧縮筋かいが負担していることを、図 3.60 (c) 及び図 3.61 (c) が表している。このことから、R タイプのような柱・筋かいの 2 点留めの L 型筋かい金物を使用した耐力壁は、圧縮筋かいの座屈耐力がより重要になると考えられる。L 型筋かい金物は、その接合方法から筋かいの内法長さを短くする方向に取り付けられるため、圧縮筋かいの座屈長さが短くなり、座屈耐力が向上すると考えられる。

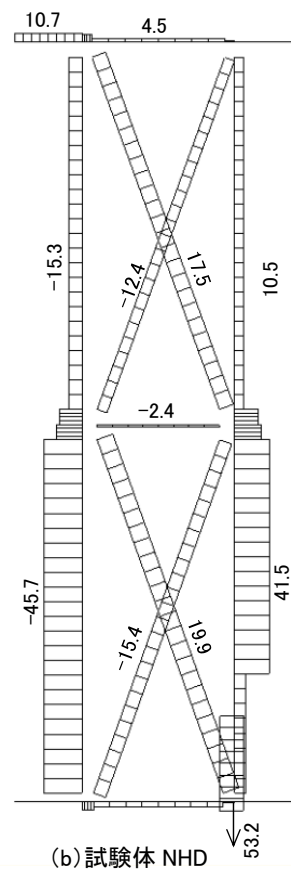
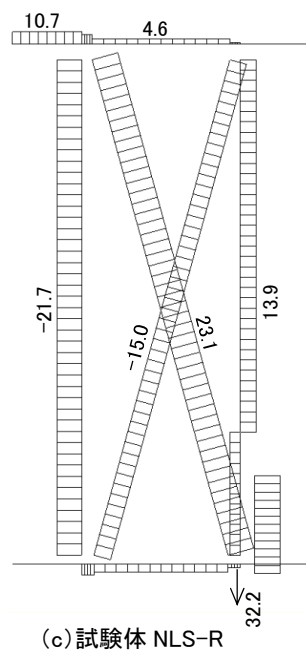
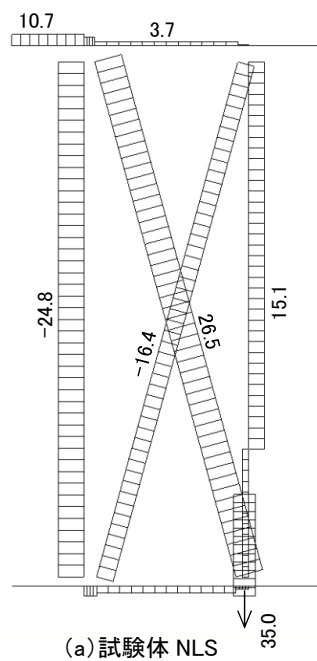


図 3.60 フレーム解析による軸力図 (1) (単位 : kN)

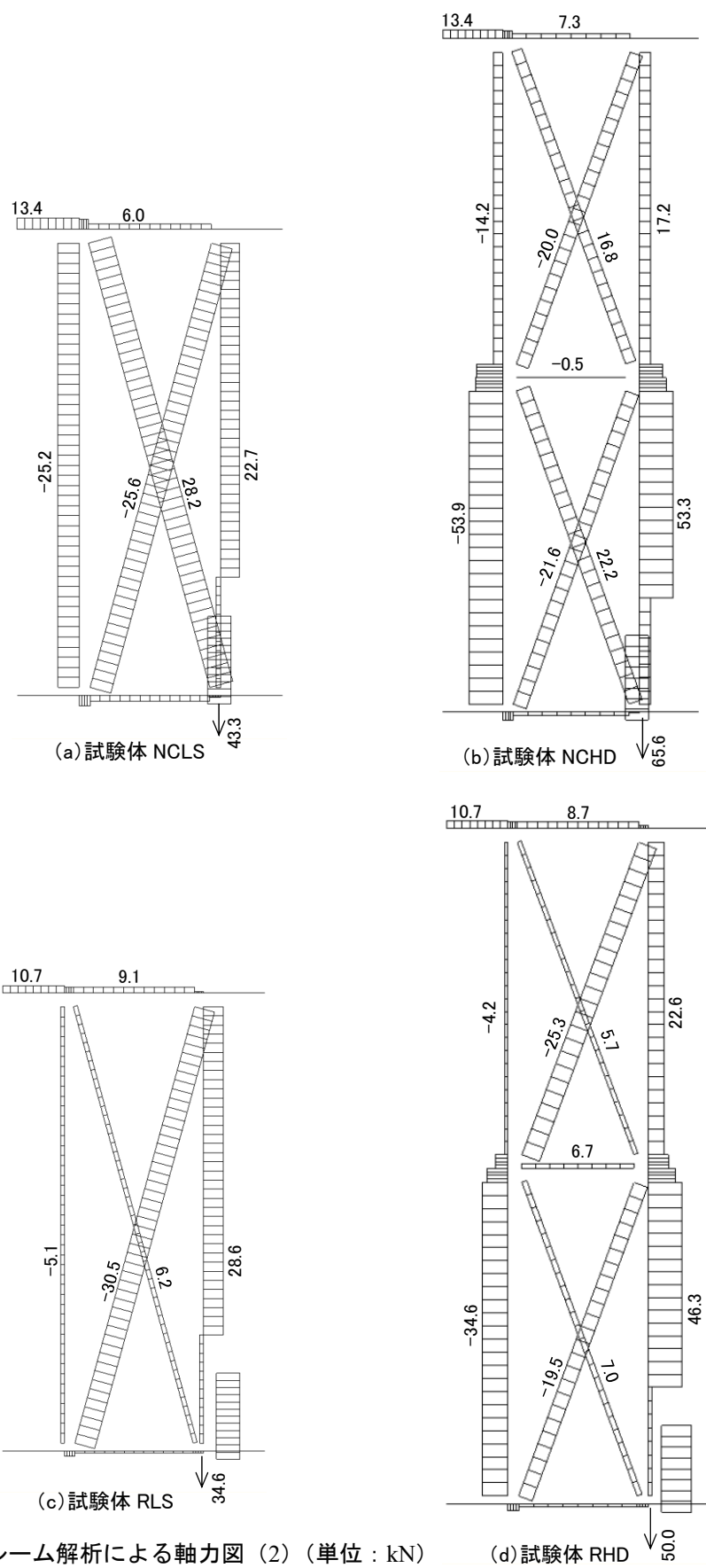


図 3.61 フレーム解析による軸力図 (2) (単位 : kN)

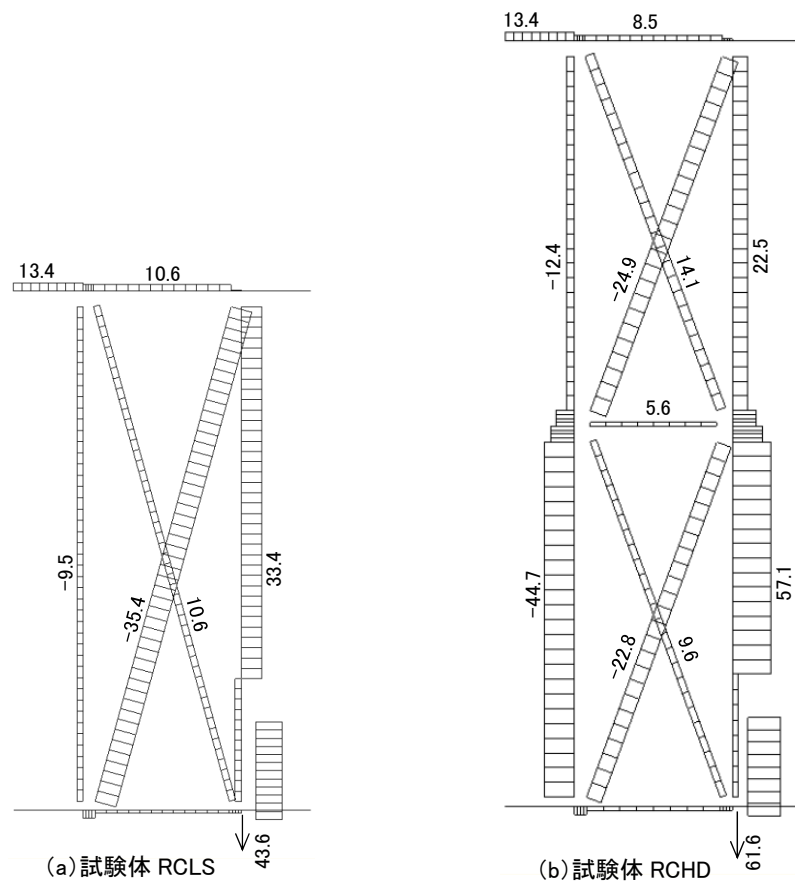


図 3.62 フレーム解析による軸力図 (3) (単位 : kN)

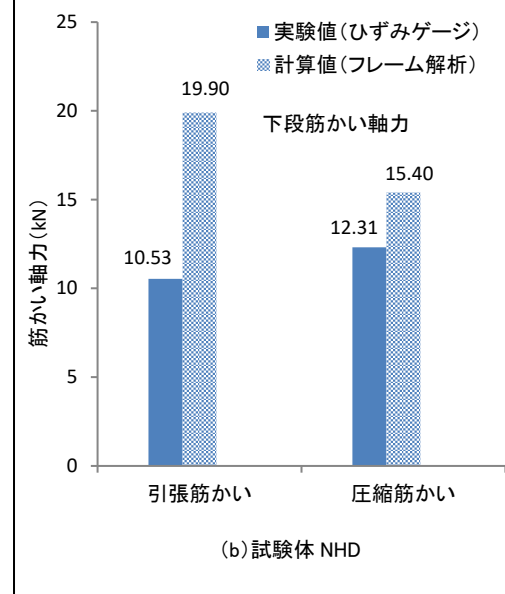
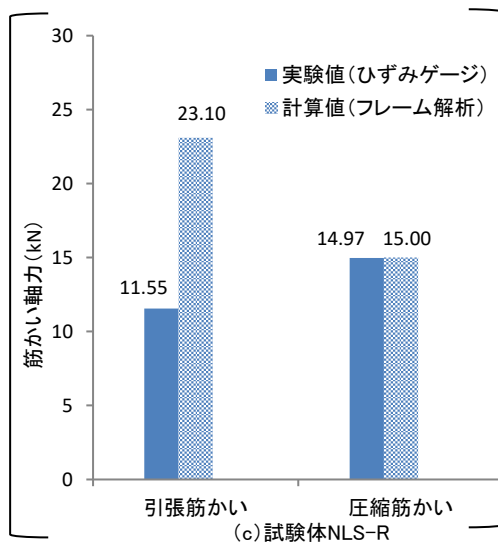
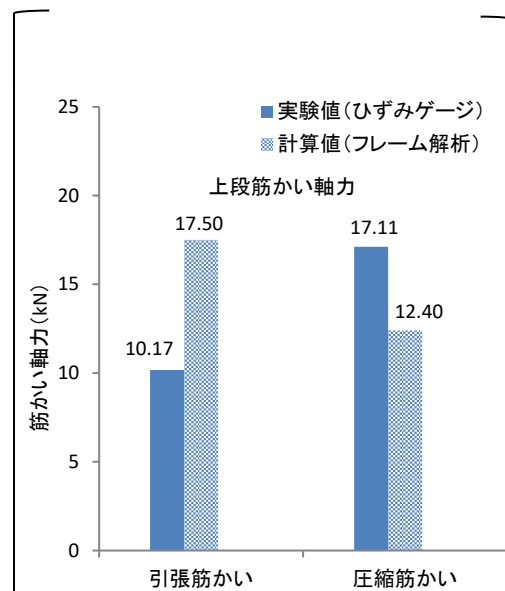
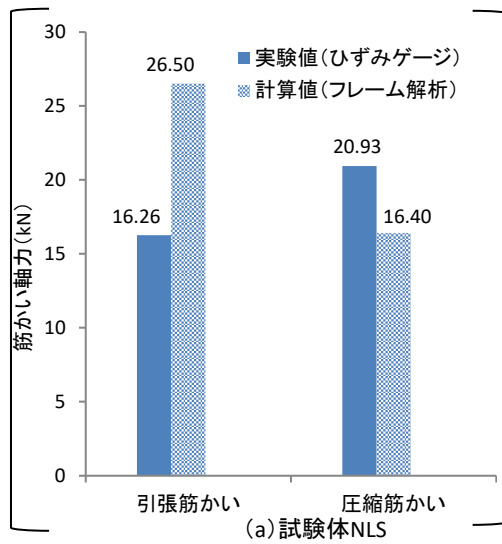


図 3.63 面内せん断試験とフレーム解析の筋かい軸力の比較 (1)

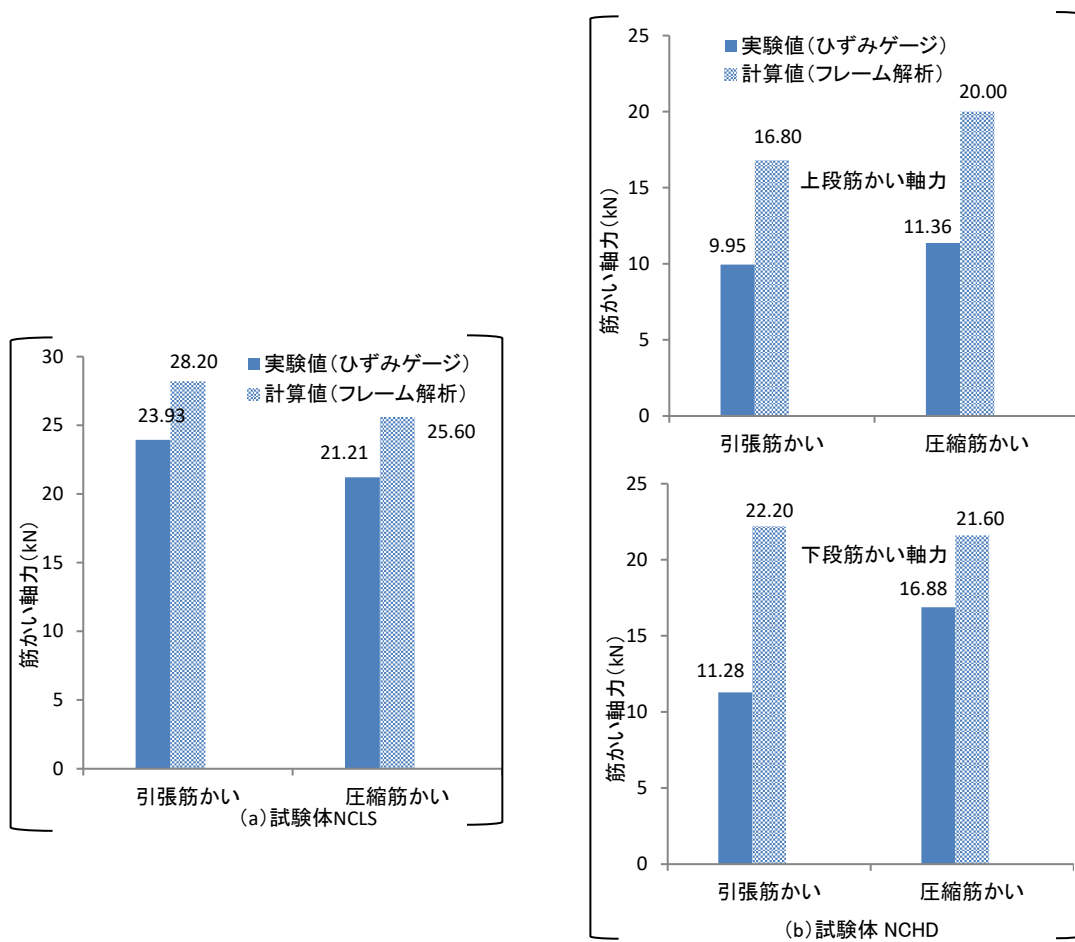


図 3.64 面内せん断試験とフレーム解析の筋かい軸力の比較 (2)

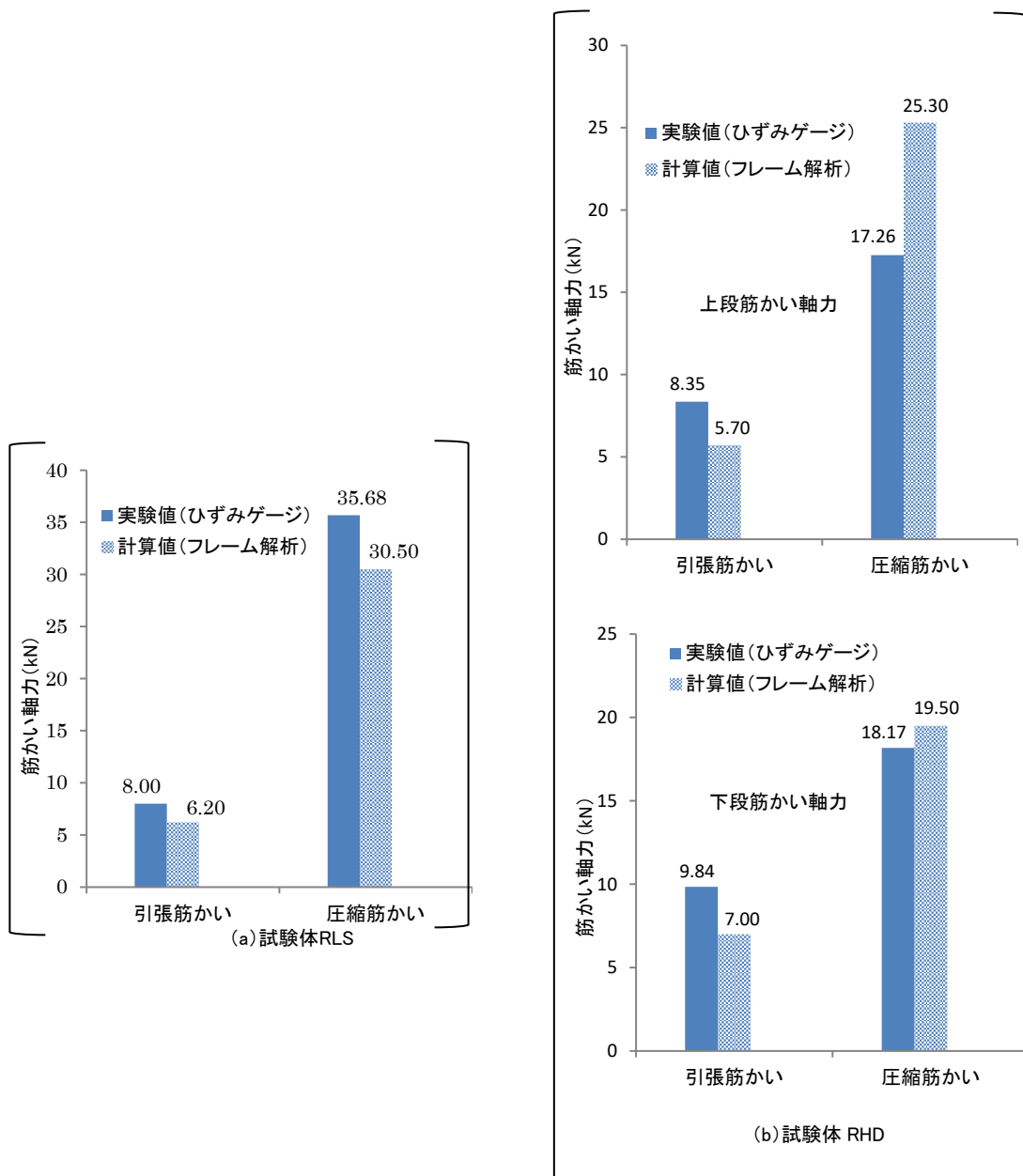


図 3.65 面内せん断試験とフレーム解析の筋かい軸力の比較 (3)

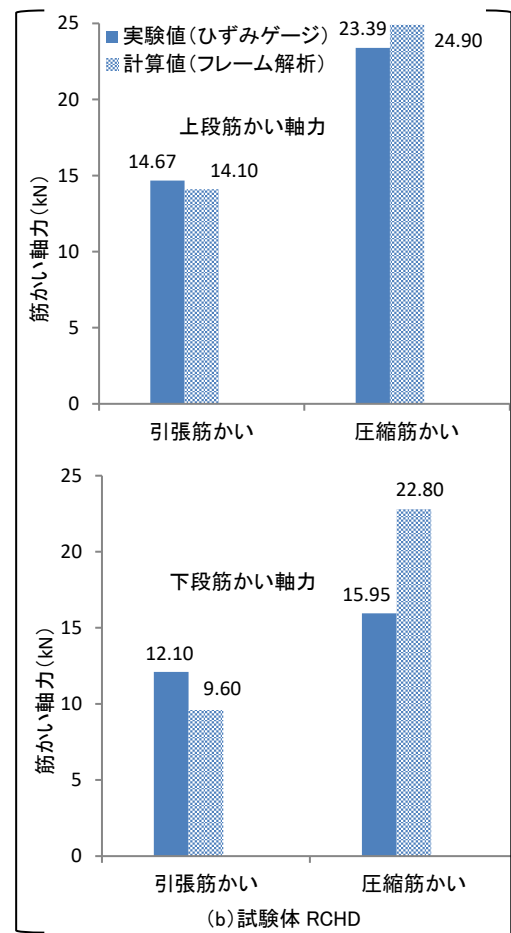
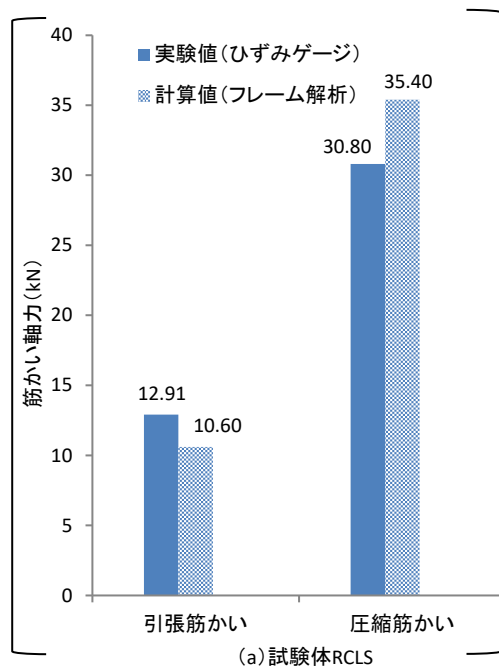


図 3.66 面内せん断試験とフレーム解析の筋かい軸力の比較 (4)

3.12.6 筋かい耐力壁の性能を担保するために必要な各部の性能

3.12.6 (1) 筋かい耐力壁を構成する柱、横架材、筋かいの材料

筋かい耐力壁の面内せん断試験において、建築基準法施行令 46 条に規定された壁倍率相当の面内せん断耐力を満足した試験体について、その部材寸法と樹種・等級及び試験時に打撃音法で測定した柱、横架材、筋かいのヤング係数をもって筋かい耐力壁を構成する部材に必要な性能とし、その値を表 3.51 から表 3.58 に示す。施行令 46 条の壁倍率相当の面内せん断耐力を満足した試験体は、二つ割筋かい耐力壁では、NLS-R、NHD、RLS、RHD の 4 種類、柱同寸筋かい耐力壁では、NCLS、NCHD の 2 種類、三寸角筋かい耐力壁では、RCLS、RCHD の 2 種類の計 8 種類である。また、試験体は二つ割及び三寸角筋かい材を除いて JAS 製材または集成材で作製されたものであるため、部材等級において同等以上のもので耐力壁を作製すれば、耐力壁として必要性能を満たすことが可能であると考えられる。また、無等級材である二つ割及び三寸角筋かい材のヤング係数について、文献 31) の資料表 1.6 に示された値は 5% 下限値であるため³²⁾、実際の測定値は資料表 1.6 より高い値となる。そのため、資料表 1.6 の分類以上のものであれば必要ヤング係数以上のものであると考えられる。

柱-筋かいの 2 点留めの L 型筋かい金物を使用した二つ割 2 段筋かい耐力壁の試験体 RHD の面内せん断試験は、筋かい材の樹種をベイマツにして実施したが、筋かい材の樹種を変えたとき、筋かい耐力壁の性能がどのように変化するかをフレーム解析で検証した。筋かい材のヤング係数を面内せん断試験時と同じベイマツの 18.3kN/mm^2 としたときの初期剛性 (808.53kN/rad) と併せて、ヤング係数をスプリースの 14.84kN/mm^2 としたときの初期剛性 (765.9kN/rad) を図 3.67 に示す。スプリースのヤング係数は試験体 RLS の値とした。筋かい材について、ベイマツのヤング係数に対するスプリースのヤング係数の低下率は 0.81 倍 ($=14.84/18.3$) である。また、耐力壁の初期剛性について、筋かい材をベイマツにしたときの剛性に対するスプリースにしたときの剛性の低下率は 0.95 倍 ($=765.9/808.53$) であり、筋かい材のヤング係数の低下率より低下の割合が大きくないことが分かった。筋かい耐力壁の性能が初期剛性と比例関係にあるとすると、筋かい材にベイマツを使用した試験体 RHD の試験結果である耐力壁の性能に、筋かい材にスプリースを使用したときの初期剛性の低下率を乗じれば、筋かい材にスプリースを使用したときの耐力壁の性能を類推できると考えられる。面内せん断試験において試験体 RHD の性能は「 $0.2P_u/D_s$ 」で決まっており、せん断耐力は 50% 下限値で 8.22kN であり、壁倍率換算で 4.61 倍であった。その値に筋かい材をスプリースにしたときの初期剛性の低下率 0.95 を乗じると、せん断耐力は 7.81kN となり壁倍率換算で 4.38 倍となる。施

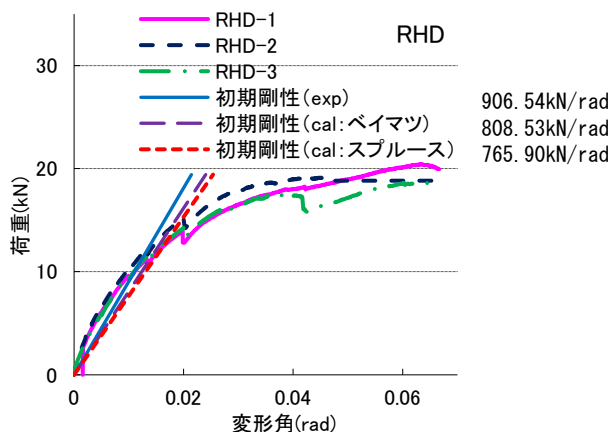


図 3.67 筋かいの樹種による初期剛性の違い

行令 46 条のたすき掛け二つ割筋かい耐力壁の壁倍率は 4 倍であるため、それを満足する結果となった。これらのことから、柱-筋かいの 2 点留めの L 型筋かい金物を使用した二つ割 2 段筋かい耐力壁の筋かい材としてスプルースを使用しても所定の性能が得られると考えられる。

表 3.51 試験体各部材の断面寸法、樹種、等級及びヤング係数（NLS-R）

試験体名： NLS-R（HD 金物外付け）				
使用筋かい金物：柱・梁・筋かい側面 3 点留めフラットプレート型				
部材	柱	梁	土台	筋かい
断面寸法（mm）	105×105	105×180	105×105	45×120
樹種（等級）	スギ（E70）	ベイマツ（E110）	ヒノキ（E90）	スプルース（無等級）
ヤング係数（kN/mm ² ）	7.91	13.04	12.15	12.92

表 3.52 試験体各部材の断面寸法、樹種、等級及びヤング係数（NHD）

試験体名： NHD					
使用筋かい金物：柱・梁・筋かい側面 3 点留めフラットプレート型					
部材	柱	梁	土台	筋かい	中間横架材
断面寸法（mm）	120×120	120×180	120×120	45×90	120×180
樹種（等級）	スギ（E70）	ベイマツ（E110）	ヒノキ（E90）	スプルース（無等級）	スギ（E70）
ヤング係数（kN/mm ² ）	8.65	12.41	9.72	12.26	8.65

表 3.53 試験体各部材の断面寸法、樹種、等級及びヤング係数（NCLS）

試験体名： NCLS				
使用筋かい金物：柱・梁・筋かい側面 3 点留めフラットプレート型				
部材	柱	梁	土台	筋かい
断面寸法（mm）	105×105	105×180	105×105	105×105
樹種（等級）	スギ（E70）	ベイマツ（E110）	ヒノキ（E90）	スギ（E70）
ヤング係数（kN/mm ² ）	7.91	13.04	12.15	6.41

表 3.54 試験体各部材の断面寸法、樹種、等級及びヤング係数（NCHD）

試験体名： NCHD					
使用筋かい金物：柱・梁・筋かい側面 3 点留めフラットプレート型					
部材	柱	梁	土台	筋かい	中間横架材
断面寸法（mm）	120×120	120×180	120×120	120×120	120×180
樹種（等級）	スギ（E70）	ベイマツ（E110）	ヒノキ（E90）	スギ（E70）	スギ（E70）
ヤング係数（kN/mm ² ）	8.65	12.41	9.72	12.26	8.65

表 3.55 試験体各部材の断面寸法、樹種、等級及びヤング係数 (RLS)

試験体名： RLS				
使用筋かい金物：柱・筋かい 2 点留め L 型				
部材	柱	梁	土台	筋かい
断面寸法 (mm)	105×105	105×180	105×105	45×120
樹種 (等級)	スギ集成材 (E65-F255)	ベイマツ (E110)	ヒノキ (E90)	スプルース (無等級)
ヤング係数 (kN/mm ²)	8.35	11.51	9.16	14.84

表 3.56 試験体各部材の断面寸法、樹種、等級及びヤング係数 (RHD)

試験体名： RHD					
使用筋かい金物：柱・筋かい 2 点留め L 型					
部材	柱	梁	土台	筋かい	中間横架材
断面寸法 (mm)	120×120	120×180	120×120	45×90	120×120
樹種 (等級)	スギ集成材 (E65-F255)	ベイマツ (E110)	ヒノキ (E90)	※ベイマツ (無等級)	ヒノキ (E90)
ヤング係数 (kN/mm ²)	8.44	12.52	9.46	18.3	9.46
備考：***によるフレーム解析の検証により、スプルース（無等級）でも可とする。					

表 3.57 試験体各部材の断面寸法、樹種、等級及びヤング係数 (RCLS)

試験体名： RCLS				
使用筋かい金物：柱・筋かい 2 点留め L 型				
部材	柱	梁	土台	筋かい
断面寸法 (mm)	105×105	105×180	105×105	90×90
樹種 (等級)	スギ集成材 (E65-F255)	ベイマツ (E110)	ヒノキ (E90)	スギ (無等級)
ヤング係数 (kN/mm ²)	8.35	11.51	9.16	7.78

表 3.58 試験体各部材の断面寸法、樹種、等級及びヤング係数 (RCHD)

試験体名： RCHD					
使用筋かい金物：柱・筋かい 2 点留め L 型					
部材	柱	梁	土台	筋かい	中間横架材
断面寸法 (mm)	120×120	120×180	120×120	90×90	120×120
樹種 (等級)	スギ集成材 (E65-F255)	ベイマツ (E110)	ヒノキ (E90)	スギ (無等級)	ヒノキ (E90)
ヤング係数 (kN/mm ²)	8.44	12.52	9.46	8.17	9.46

3.12.6 (2) 引張筋かい端部の接合金物の剛性

筋かい耐力壁の面内せん断試験において、建築基準法施行令 46 条に規定された壁倍率相当の面内せん断耐力を満足した試験体の筋かい端部接合部の引張剛性を、筋かい耐力壁の性能を担保するために必要な剛性とみなし、その剛性を水平方向と鉛直方向に分けて表 3.61 に示す。剛性を求めた接合部の位置は、引張筋かいの上端部とした。引張剛性は、面内せん断試験において測定した筋かい端部の変位と筋かいに貼り付けたひずみゲージより求めた軸力との関係より求めた。施行令 46 条の壁倍率相当の面内せん断耐力を満足した試験体は、二つ割筋かい耐力壁では、NLS-R、NHD、RLS、RHD の 4 種類、柱同寸筋かい耐力壁では、NCLS、NCHD の 2 種類、三寸角筋かい耐力壁では、RCLS、RCHD の 2 種類の計 8 種類であった。この接合部の剛性を基にフレーム解析を行い、解析で求めた筋かい耐力壁全体の剛性が、面内せん断試験の初期剛性を上回れば、そのときの筋かい端部接合部の剛性をもって筋かい耐力壁の性能を担保するために必要な剛性とし、フレーム解析で求めた筋かい耐力壁全体の剛性が、面内せん断試験の初期剛性を下回る場合は、接合部の剛性を α 倍割りしました値をもって筋かい耐力壁の性能を担保するために必要な剛性とした。そのときの割増係数 α は、面内せん断試験の初期剛性をフレーム解析で求めた初期剛性で除した値とし、表 3.59 及び表 3.60 に示す。これは、試験時に測定した筋かい金物の剛性が過小評価された可能性があるためである。

表 3.61 より、1 段及び 2 段筋かい耐力壁に共通して、その性能を担保するために必要な筋かい金物の剛性は、柱・梁・筋かいの側面 3 点留めフラットプレート型の筋かい金物で、二つ割筋かい耐力壁に使用する場合は、水平方向 23.03kN/mm (NHD)、鉛直方向 30.24 kN/mm (NHD) となる。同様の金物で、柱同寸筋かい耐力壁に使用する場合は、表 3.62 より水平方向 116.34kN/mm (NCHD)、鉛直方向 46.35 kN/mm (NCLS) となる。また、柱・筋かいの 2 点留め L 型の筋かい金物で、二つ割筋かい耐力壁に使用する場合は、水平方向 5.30kN/mm (RHD)、鉛直方向 2.41 kN/mm (RHD) となる。同様の金物で、筋かい断面が三寸角以上の耐力壁に使用する場合は、水平方向 33.93kN/mm (RCHD)、鉛直方向 8.81 kN/mm (RCLS) となる。

表 3. 59 筋かい金物の剛性に対する割増率：二つ割筋かい耐力壁

試験体名	筋かい金物 タイプ※1	初期剛性 K (exp) (kN/rad)	初期剛性 K (cal) (kN/rad)	割増率 α ※2 [= K (exp) / K (cal)]
NLS-R	F	1209.18	1311.19	0.92 (1.0)
NHD	F	1145.29	1114.97	1.03
RLS	L	822.46	801.92	1.03
RHD	L	906.54	808.53	1.12

表 3. 60 筋かい金物の剛性に対する割増率：柱同寸、三寸角筋かい耐力壁

試験体名	筋かい金物 タイプ※1	初期剛性 K (exp) kN/rad	初期剛性 K (cal) kN/rad	割増率 α ※2 [= K (exp) / K (cal)]
NCLS	F	1256.48	1443.70	0.87 (1.0)
NCHD	F	1622.53	1387.60	1.17
RCLS	L	1078.60	1265.29	0.85 (1.0)
RCHD	L	1243.58	1342.69	0.93 (1.0)

※1 筋かい金物タイプ F：柱・筋かい・横架材の側面 3 点取り付けフラット型筋かい金物

L：柱・筋かいの 2 点取り付け L 型筋かい金物

※2 割増率 α が 1.0 を下回る場合は、1.0 とする。

表 3. 61 割増率を考慮した筋かい金物の剛性：二つ割筋かい耐力壁

試験体名	筋かい金物	割増率 α	剛性 k (kN/mm)		必要剛性 (α k)
NLS-R	F	1.0	水平方向	5.3 (k11+k11)	5.3
			鉛直方向	18.23 (k12+k17)	18.23
NHD	F	1.03	水平方向	22.36 (k11+k11)	23.03
			鉛直方向	29.36 (k12+k17)	30.24
RLS	L	1.03	水平方向	4.22 (k11)	4.35
			鉛直方向	1.57 (k17)	1.62
RHD	L	1.12	水平方向	4.73 (k11)	5.30
			鉛直方向	2.15 (k20)	2.41

表 3. 62 割増率を考慮した筋かい金物の剛性：柱同寸、三寸角筋かい耐力壁

試験体名	筋かい金物	割増率 α	剛性 k (kN/mm)		必要剛性 (α k)
NCLS	F	1.0	水平方向	34.98 (k11+k11)	34.98
			鉛直方向	46.35 (k12+k17)	46.35
NCHD	F	1.17	水平方向	99.44 (k11+k11)	116.34
			鉛直方向	38.17 (k20+k27)	44.66
RCLS	L	1.0	水平方向	2.63 (k11)	2.63
			鉛直方向	5.05 (k17)	5.05
RCHD	L	1.0	水平方向	33.93 (k26)	33.93
			鉛直方向	8.81 (k17)	8.81

3.12.6 (3) 筋かい軸力の補正

筋かい軸力において面内せん断試験の値とフレーム解析の値との間に誤差が生じているが、筋かい端部接合部の測定誤差による接合部の剛性の誤差及び打撃音法による筋かい材のヤング係数誤差等によるものと考えられる。そのためフレーム解析で求めた筋かいの軸力値を補正し、その補正值に対して、筋かい各部の必要性能を求める。補正率 α は、試験値をフレーム解析値で除したものとし、1.0 以下の場合は 1.0 とし、1.0 を超えるものは、その値以上を補正值とし、各タイプのうち最も大きい値とした。表 3.63 に示す試験体 NLS-R 及び NHD の場合、引張筋かいの補正率は 1.0 以上とし圧縮筋かいの補正率は 1.38 以上とする。表 3.64 に示す試験体 RLS 及び RHD の場合、引張筋かいの補正率は 1.46 以上とし圧縮筋かいの補正率は 1.17 以上とする。表 3.65 に示す試験体 NCLS 及び NCHD の場合、引張筋かい及び圧縮筋かいの補正率は 1.0 以上とする。表 3.66 に示す試験体 RCLS 及び RCHD の場合、引張筋かいの補正率は 1.26 以上とし圧縮筋かいの補正率は 1.0 以上とする。筋かいの軸力 N (exp) は試験体 3 体の平均値とした。

表 3.63 二つ割筋かい耐力壁の筋かい軸力 N (exp) と N (cal) との比較

(筋かい金物：柱・梁・筋かいの側面 3 点留めフラットプレート型)

試験体名	引張筋かいの軸力 N_T (exp)		引張筋かいの軸力 N_T (cal)	$\alpha = \frac{N_T(exp)}{N_T(cal)}$	圧縮筋かいの軸力 N_C (exp)	圧縮筋かいの軸力 N_C (cal)	$\alpha = \frac{N_C(exp)}{N_C(cal)}$
NLS-R	11550		23100	0.5 (1.0)	14970	15000	0.998 (1.0)
NHD	上段	10170	17500	0.58 (1.0)	17110	12400	1.38
	下段	10530	19900	0.53 (1.0)	12310	15400	0.8 (1.0)

表 3.64 二つ割筋かい耐力壁の筋かい軸力 N (exp) と N (cal) との比較

(筋かい金物：柱・筋かいの 2 点留め L 型)

試験体名	引張筋かいの軸力 N_T (exp)		引張筋かいの軸力 N_T (cal)	$\alpha = \frac{N_T(exp)}{N_T(cal)}$	圧縮筋かいの軸力 N_C (exp)	圧縮筋かいの軸力 N_C (cal)	$\alpha = \frac{N_C(exp)}{N_C(cal)}$
RLS	8000		6200	1.29	35680	30500	1.17
RHD	上段	8350	5700	1.46	17260	25300	0.68 (1.0)
	下段	9840	7000	1.41	18170	19500	0.93 (1.0)

表 3.65 柱同寸筋かい耐力壁の筋かい軸力 N (exp) と N (cal) との比較

(筋かい金物：柱・梁・筋かいの側面 3 点留めフラットプレート型×両面)

試験体名	引張筋かいの軸力 N_T (exp)		引張筋かいの軸力 N_T (cal)	$\alpha = \frac{N_T(exp)}{N_T(cal)}$	圧縮筋かいの軸力 N_C (exp)	圧縮筋かいの軸力 N_C (cal)	$\alpha = \frac{N_C(exp)}{N_C(cal)}$
NCLS	23930		28200	0.85 (1.0)	21210	25600	0.83 (1.0)
NCHD	上段	9950	16800	0.59 (1.0)	11360	20000	0.57 (1.0)
	下段	11280	22200	0.51 (1.0)	16880	21600	0.78 (1.0)

表 3. 66 三寸角筋かい耐力壁の筋かい軸力 N (exp) と N (cal) との比較

(筋かい金物：柱・筋かいの 2 点留め L 型＋木質構造用ねじ 2 本)

試験体 名	引張筋かいの 軸力 N_T (exp)		引張筋かいの 軸力 N_T (cal)	$\alpha = \frac{N_T(exp)}{N_T(cal)}$	圧縮筋かいの 軸力 N_C (exp)	圧縮筋かいの 軸力 N_C (cal)	$\alpha = \frac{N_C(exp)}{N_C(cal)}$
RCLS	12910		10600	1.22	30800	35400	0.87 (1.0)
RCHD	上段	14670	14100	1.04	23390	24900	0.94 (1.0)
	下段	12100	9600	1.26	15950	22800	0.7 (1.0)

3.12.6 (4) 二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの必要断面性能

筋かい耐力壁は、壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の値に達するまで、作用する軸力に対して筋かいが座屈破壊及び引張破壊しないことがその性能として必要である。表 3.67 及び表 3.68 に筋かいに作用する圧縮軸力及び引張軸力を示す。それぞれの軸力は、フレーム解析による軸力に、「3.12.6 (3)」による補正值 α を乗じた値とした。座屈耐力は式 (3.22) によるものとし計算結果を表 3.69 及び表 3.70 に示す。二つ割筋かいの引張耐力は、圧縮筋かいの面外変位に追従することによる曲げを考慮した式 (3.25) によるものとし、計算結果を表 3.72 に示す。柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの引張耐力は、式 (3.30) によるものとし、計算結果を表 3.73 に示す。表 3.74 及び表 3.75 に筋かいに作用する軸力と筋かい材の耐力との比較を示す。比較の結果、二つ割筋かい材に文献 31) の J3 グループのスプルースを使用し、筋かい金物を柱・梁・筋かいの側面 3 点留めフラットプレート型または柱・筋かいの 2 点留め L 型のものとした場合、1 段筋かいで幅 45mm、成 120mm 以上、2 段筋かいで幅 45mm、成 90mm 以上の断面であれば、筋かいとして座屈破壊及び引張破壊しないという結果を得た。柱同寸筋かい材に文献 31) の J3 グループのスギを使用し、筋かい金物を柱・梁・筋かいの側面 3 点留めフラットプレート型とし、それを 2 枚使用して筋かいの両面に取り付けた場合、1 段筋かいで幅 105mm、成 105mm 以上、2 段筋かいで幅 120mm、成 120mm 以上の断面であれば、筋かいとして座屈破壊及び引張破壊しないという結果を得た。また、三寸角筋かい材に文献 31) の J3 グループのスプルースを使用し、筋かい金物を柱・筋かいの 2 点留め L 型のものとし、ねじ径 6mm の木質構造用ねじの 2 本留めを併用した場合、1 段及び 2 段筋かいとも幅 90mm、成 90mm 以上の断面であれば、筋かいとして座屈破壊及び引張破壊しないという結果を得た。

i) 二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの圧縮耐力

$$N_{ca} > \alpha \cdot N_c(cal) \quad \dots (3.21)$$

$\alpha \cdot N_c(cal)$: 筋かいに作用する軸力に補正值 α を乗じた値 (N)

N_{ca} : 筋かいの圧縮耐力 (N)

$$N_{ca} = A \cdot F_k \quad \dots (3.22)$$

A : 筋かいの断面積 (mm^2)

F_k : 座屈低減係数 η を考慮した基準圧縮強度 (N/mm^2)

$$F_k = \eta \cdot F_c \quad \dots (3.23)$$

η : 座屈低減係数

$$\lambda \leq 30 \quad \rightarrow \quad \eta = 1$$

$$30 < \lambda \leq 100 \quad \rightarrow \quad \eta = 1.3 - 0.01\lambda$$

$$100 < \lambda \quad \rightarrow \quad \eta = \frac{3000}{\lambda^2}$$

λ : 圧縮材の細長比

$$\lambda = \frac{lk}{i}$$

lk : 筋かいの端部からたすき掛けの交点までの長さ (mm)

i : 筋かい合い欠き部の面外方向の断面 2 次半径 (mm)

F_c : 筋かい材の基準圧縮強度 (N/mm^2)

ii) 二つ割筋かいの引張耐力

$$N_{Tae} > \alpha \cdot N_T(cal) \quad \dots (3.24)$$

$\alpha \cdot N_T(cal)$: 筋かいに作用する軸力に補正値 α を乗じた値 (N)

N_{Tae} : 筋かいの面外変位の曲げによる引張力を差し引いた引張耐力 (N)

$$N_{Tae} = A \cdot F_t' \quad \dots (3.25)$$

A : 筋かいの断面積 (mm^2)

F_t' : 座屈による筋かいの面外変位の曲げによる引張応力分を差し引いた引張強度 (N/mm^2)

$$F_t' = F_t - \sigma_b \quad \dots (3.26)$$

F_t : 筋かい材の引張強度 (N/mm^2)

σ_b : 筋かいの面外変位の曲げによる引張応力 (N/mm^2)

$$\sigma_b = \frac{T \cdot L}{4 \cdot Z} \quad \dots (3.27)$$

T : 面外変位させる力として、面外から筋かい交点に向けて作用するものとして置き換えた集中荷重 (N) で表 3.71 に示す数値

$$T = \frac{\delta \cdot 48 \cdot E \cdot I}{L^3} \quad \dots (3.28)$$

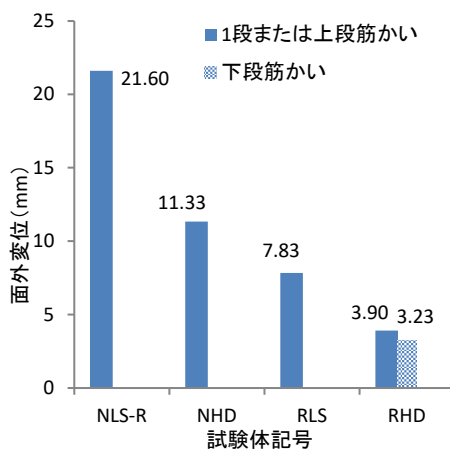
δ : 最大荷重相当の水平力を負担したときの試験体 3 体の圧縮筋かいの面外方向の平均変位量 (mm)

E : 打撃音法により測定した筋かい材のヤング係数 (N/mm^2)

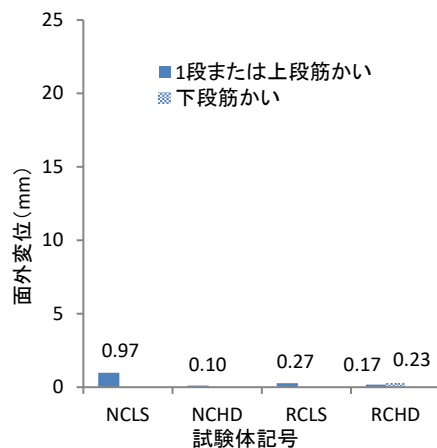
I : 筋かい材の弱軸方向の断面二次モーメント (mm^4)

L : 筋かいの内法長さ (mm)

Z : 筋かい材の面外方向の断面係数 (mm^3)



(a) 二つ割筋かい



(b) 柱同寸及び三寸角筋かい

図 3.68 たすき掛け筋かい交点の面外変位

iii) 柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの引張耐力

図 3. 68 (b) に示すように柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの面外変位は軽微であるため、それによる曲げの影響は無視する。

$$N_{Ta} > \alpha \cdot N_T(\text{cal}) \quad \dots (3. 29)$$

$\alpha \cdot N_T(\text{cal})$: 筋かいに作用する軸力に補正率 α を乗じた値 (N)

N_{Ta} : 筋かい材の引張耐力 (N)

$$N_{Ta} = A \cdot F_t \quad \dots (3. 30)$$

A : 筋かいの断面積 (mm^2)

F_t : 筋かい材の引張強度 (N/mm^2)

表 3. 67 二つ割筋かいに作用する軸力に補正值 α を乗じた値 (N)

試験体名		圧縮筋かい			引張筋かい		
		軸力 N_c (cal)	補正率 α	$\alpha \cdot N_c$ (cal)	軸力 N_T (cal)	補正率 α	$\alpha \cdot N_T$ (cal)
NLS-R		15000	1.38	20700	23100	1.0	23100
NHD	上段	12400	1.38	17110	17500	1.0	17500
	下段	15400	1.38	21252	19900	1.0	19900
RLS		30500	1.17	35680	6200	1.46	9052
RHD	上段	25300	1.17	29601	5700	1.46	8350
	下段	19500	1.17	22815	7000	1.46	10220

表 3. 68 柱同寸及び三寸角筋かいに作用する軸力に補正值 α を乗じた値 (N)

試験体名		圧縮筋かい			引張筋かい		
		軸力 N_c (cal)	補正率 α	$\alpha \cdot N_c$ (cal)	軸力 N_T (cal)	補正率 α	$\alpha \cdot N_T$ (cal)
NCLS		25600	1.0	25600	28200	1.0	28200
NCHD	上段	20000	1.0	20000	16800	1.0	16800
	下段	21600	1.0	21620	22200	1.0	22200
RCLS		35400	1.0	35400	10600	1.26	13556
RCHD	上段	24900	1.0	24900	14100	1.26	17766
	下段	22800	1.0	22800	9600	1.26	12100

表 3. 69 座屈を考慮した二つ割筋かい材の圧縮耐力 (N)

試験体名	lk (mm)	i (mm)	λ	η	F_c (N/mm^2)	F_k (N/mm^2)	A (mm^4)	N_{Ca} (N)
NLS-R	1484	12.99	114.24	0.23	17.7	4.07	5400	21972
NHD	1114	12.99	85.76	0.44	17.7	7.83	4050	31716
RLS	1187	12.99	91.38	0.39	17.7	6.84	5400	36917
RHD	906	12.99	69.74	0.60	17.7	10.67	4050	43195

表 3. 70 座屈を考慮した柱同寸及び三寸角筋かい材の圧縮耐力 (N)

試験体名	lk (mm)	i (mm)	λ	η	F_c (N/mm ²)	F_k (N/mm ²)	A (mm ⁴)	N _{Ca} (N)
NCLS	1484	30.31	48.96	0.81	17.7	14.34	11025	158145
NCHD	1114	34.64	32.16	0.98	17.7	17.32	14400	249379
RCLS	1240	25.98	47.73	0.82	17.7	14.56	8100	117954
RCHD	906	25.98	34.87	0.95	17.7	16.84	8100	136385

表 3. 71 二つ割筋かいを面外変位させる力として、面外から筋かい交点に向けて作用するものとして置き換えた集中荷重 (N)

試験体名	筋かい金物 タイプ※1	筋かい断面 (樹種)	δ (mm)	E (N/mm ²)	I (mm ⁴)	L (mm)	T (N)
NLS-R	F	45×120 (スプルース)	21.60	12920	911250	2968	467
NHD	F	45×90 (スプルース)	11.33	8650	683438	2257	280
RLS	L	45×120 (スプルース)	7.83	14840	911250	2968	194
RHD	L	45×90 (ベイマツ)	3.90	18300	683438	2211	217

※1 筋かい金物タイプ F：柱・筋かい・横架材の側面 3 点取り付けフラット型筋かい金物

L：柱・筋かいの 2 点取り付け L 型筋かい金物

表 3. 72 座屈による筋かいの面外変位の曲げによる引張力を差し引いた
二つ割筋かい材の引張耐力 (N)

試験体名	A (mm ²)	F _t (N/mm ²)	L (mm)	Z (mm ³)	σ_b (N/mm ²)	F _t ' (N/mm ²)	N _{Tae} (N)
NLS-R	5400	13.5	2968	40500	8.55	4.95	26710
NHD	4050	13.5	2257	30375	5.19	8.31	33637
RLS	5400	13.5	2968	40500	3.56	9.94	53668
RHD	4050	13.5	2211	30375	3.94	9.56	38710

表 3. 73 柱同寸及び三寸角筋かい材の引張耐力 (N)

試験体名	A (mm ²)	Ft (N/mm ²)	N _{Ta} (N)
NCLS	11025	13.5	148838
NCHD	14400	13.5	194400
RCLS	8100	13.5	109350
RCHD	8100	13.5	109350

表 3. 74 二つ割筋かいの補正軸力に対する筋かい耐力の検定

試験体名		圧縮筋かい				引張筋かい			
		N _{Ca} (N)		$\alpha \cdot N_C$ (cal)	判定	N _{Tae} (N)		$\alpha \cdot N_T$ (cal)	判定
NLS-R		21972	>	20700	OK	26710	>	23100	OK
NHD	上段	31716	>	17110	OK	33637	>	17500	OK
	下段	31716	>	21252	OK	33637	>	19900	OK
RLS		36917	>	35680	OK	53668	>	9052	OK
RHD	上段	43195	>	29601	OK	38710	>	8350	OK
	下段	43195	>	22815	OK	38710	>	10220	OK

表 3. 75 柱同寸及び三寸角筋かいの補正軸力に対する筋かい耐力の検定

試験体名		圧縮筋かい				引張筋かい			
		N _{Ca} (N)		$\alpha \cdot N_C$ (cal)	判定	N _{Ta} (N)		$\alpha \cdot N_T$ (cal)	判定
NCLS		158145	>	25600	OK	148838	>	28200	OK
NCHD	上段	249379	>	20000	OK	194400	>	16800	OK
	下段	249379	>	21620	OK	194400	>	22200	OK
RCLS		117954	>	35400	OK	109350	>	13356	OK
RCHD	上段	136385	>	24900	OK	109350	>	17766	OK
	下段	136385	>	22800	OK	109350	>	12100	OK

3.12.6 (5) 筋かい耐力壁の性能を担保するためのたすき掛け交点の補強

二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの座屈耐力を求める際、座屈長さを筋かい端部からたすき掛けの交点までの距離としているため、筋かい耐力壁が壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の値に達するまで筋かい交点において破壊しないことが前提条件となる。

i) 二つ割筋かい耐力壁のたすき掛け交点の補強

二つ割筋かい耐力壁では、たすき掛けの交点において引張筋かいが圧縮筋かいの面外変形に追従し変形を抑制することで座屈破壊を防ぐことが重要となる。面外変位は、耐力壁の壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の水平力を負担したときの試験体3体の圧縮筋かいの平均変位量とし図3.69に示す。最大荷重相当の水平力は「3.12.1」に示す値とした。筋かい交点の接合具が所定の最大荷重時の面外変形を保持するために必要な引抜き耐力を式(3.31)により求め、その結果を表3.76に示す。必要引抜き耐力は安全率 α として1.2倍した値とした。また、木質構造用ねじの引抜き耐力は、式3.32³¹⁾で求めることができ、必要引抜き耐力以上の性能であれば、圧縮筋かいの面外変形を抑制し座屈破壊を防ぐことができると考えられる。最も大きい必要引抜き耐力はNLS-Rの560Nであり、式(3.32)により樹種の分類でJ3グループ、ねじ径が6mm以上で有効打ち込み長さが40mm以上で2本打ちとすると、引抜き耐力は3310Nとなり、必要引抜き耐力を上回る結果となり、筋かい耐力壁の最大荷重時まで面外変形に追従できると考えられる。

$$T_N = \frac{\alpha \cdot \delta \cdot 48 \cdot E \cdot I}{L^3} \quad \dots (3.31)$$

T_N : 二つ割筋かい耐力壁のたすき掛け交点補強ねじの必要引抜き耐力 (N)

α : 安全率 (=1.2)

δ : 最大荷重相当の水平力を負担したときの試験体3体の圧縮筋かいの面外方向の平均変位量 (mm)

E : 打撃音法により測定した筋かい材のヤング係数 (N/mm²)

I : 筋かい材の弱軸方向の断面二次モーメント (mm⁴)

L : 筋かいの内法長さ (mm)

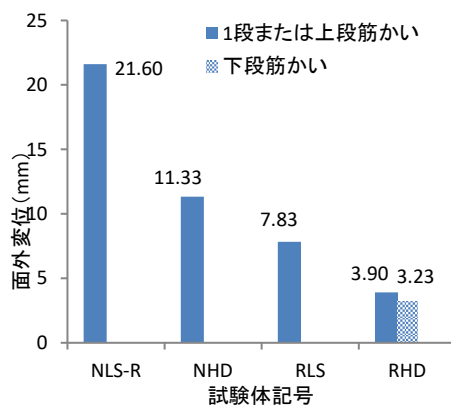


図 3.69 二つ割たすき掛け筋かい交点の面外変位

表 3. 76 二つ割筋かい耐力壁のたすき掛け交点補強ねじの必要引抜き耐力 (N)

試験体名	筋かい金物 タイプ※1	筋かい断面 (樹種)	安全率	δ (mm)	E (N/mm ²)	I (mm ⁴)	L (mm)	T _N (N)
NLS-R	F	45×120 (スプルース)	1.2	21.60	12920	911250	2968	560
NHD	F	45×90 (スプルース)		11.33	8650	683438	2257	336
RLS	L	45×120 (スプルース)		7.83	14840	911250	2968	233
RHD	L	45×90 (ベイマツ)		3.90	18300	683438	2211	260

※1 筋かい金物タイプ F : 柱・筋かい・横架材の側面 3 点取り付けフラット型筋かい金物

L : 柱・筋かいの 2 点取り付け L 型筋かい金物

$$T_a = 38.1 \gamma_o^{1.5} \cdot d \cdot l_r \cdot n \quad \dots (3.32)$$

T_a : ねじの終局引抜き耐力 (N)

γ_o : 木材 (スプルース) の基準比重 (0.32 : J3 グループ)

d : ねじの呼び径 (6mm)

l_r : ねじの有効打ち込み長さ (40mm)

n : ねじ本数 (2 本)

$$T_a = 38.1 \times 0.32^{1.5} \times 6 \times 40 \times 2 = 3310 \text{ N}$$

ii) 柱同寸筋かい及び三寸角筋かいのたすき掛け交点の合い欠き部の補強

柱同寸筋かい及び三寸角筋かいのたすき掛け交点においては、耐力壁の壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の水平力を負担したときの圧縮筋かいの軸力に対して、筋かいが座屈することなく軸力を負担できるよう補強金具の性能について検討する。検討対象とする軸力は、フレーム解析による軸力に「3.12.6 (3)」による軸力の補正值を乗じた値に、さらに安全率 β ($=1.2$) を乗じた値とし、表 3.77 に示す。補強金具は、SS400 級の板厚 4.5mm の短冊金物とし、合い欠き部にビスで留め付ける。筋かい交点の軸力は、合い欠きにより半分になった筋かい断面と鋼板を側材とし主材を木材とするビス 8 本分の 1 面せん断で負担するものとする。筋かい断面が負担することのできる軸力は合い欠き部の座屈を考慮し、座屈長さは筋かいの合い欠き部の軸方向の長さとする。筋かい交点の座屈を考慮した座屈耐力 N_{a1} は式 (3.33) によるものとし、結果を表 3.78 に示す。短冊金物を留め付けるビスの 1 面せん断耐力 N_{a2} は式 (3.35) によるものとし、結果を表 3.79 に示す。式 (3.33) と式 (3.35) を足し合わせた式 (3.38) の値を筋かい交点の圧縮耐力 ΣN_a とし、検討対象とする筋かいの軸力 ($\alpha \cdot \beta \cdot N$) との比較を表 3.80 に示す。

$$N_{a1} = A_e \cdot F_k \quad \dots (3.33)$$

N_{a1} : 筋かい合い欠き部における、木部のみによる座屈耐力 (N)

A_e : 筋かい合い欠き部の断面積 (mm²)

F_k : 合い欠き部の長さを座屈長さとしたときの座屈低減係数 η を考慮した
許容圧縮応力度 (N/mm²)

$$F_k = \eta \cdot F_c \quad \dots (3.34)$$

η : 座屈低減係数

$$\lambda \leq 30 \quad \rightarrow \quad \eta = 1$$

$$30 < \lambda \leq 100 \quad \rightarrow \quad \eta = 1.3 - 0.01\lambda$$

$$100 < \lambda \quad \rightarrow \quad \eta = \frac{3000}{\lambda^2}$$

λ : 圧縮材の細長比

$$\lambda = \frac{lk}{i}$$

lk : 筋かい合い欠き部の長さ (mm)

i : 筋かい合い欠き部の面外方向の断面 2 次半径 (mm)

$$N_{a2} = P_u \cdot n \quad \dots (3.35)$$

$$P_u = \gamma_u \cdot P_y \quad \dots (3.36)$$

P_u : ビス 1 本分の終局せん断耐力 (N)

γ_u : 終局強度比 (=1.5)

P_y : 降伏せん断耐力 (N)

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \quad \dots (3.37)$$

C : 木材の主材と鋼板添え板よりなる 1 面せん断接合の接合形式係数で
以下の最小値となるモードの値とする。

モードⅠ : 1

$$\text{モードⅢ} : \sqrt{2 + \frac{2}{3}\gamma \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1$$

$$\text{モードⅣ} : \frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3}\gamma}$$

F_e : 主材の基準支圧強度 (N/mm²)

d : ビスの径 (mm)

l : ビスの有効打ち込み長さ (mm)

n : ビス本数 (本)

$$\Sigma N_a = N_{a1} + N_{a2} \quad \dots (3.38)$$

表 3. 77 筋かい交点の補強検討の対象とする圧縮筋かきの軸力 (N)

試験体名		軸力 N_c (cal)	補正率 α	安全率 β	$\alpha \cdot \beta \cdot N_c$ (cal)
NCLS		25600	1.0	1.2	30720
NCHD	上段	20000	1.0		24000
	下段	21600	1.0		25920
RCLS		35400	1.0		42480
RCHD	上段	24900	1.0		29880
	下段	22800	1.0		27360

表 3. 78 座屈を考慮した筋かい交点の許容圧縮耐力 F_k (N)

試験体名	lk (mm)	i (mm)	λ	η	F_c (N/mm ²)	F_k (N/mm ²)	A_e (mm ⁴)	N_{a1} (N)
NCLS	215	15.16	14.19	1.0	17.7	17.7	5512.5	97571
NCHD	193	17.32	11.14	1.0	17.7	17.7	7200	127440
RCLS	173	12.99	13.32	1.0	17.7	17.7	4050	71685
RCHD	135	12.99	10.39	1.0	17.7	17.7	4050	71685

表 3. 79 鋼板を側材とし主材を木材とするビス 8 本分の 1 面せん断

試験体名	γ_u	C	Fe	d (mm)	l (mm)	P_u (N)	n (本)	N_{a2} (N)
NCLS NCHD RCLS RCHD	1.5	0.227	19.4	6	75	2977	8	23816

表 3. 80 筋かい合い欠き部負担可能軸力 ΣN_a (N)

試験体名	N_{a1}	N_{a2}	$\Sigma N_a (=N_{a1}+N_{a2})$		$\alpha \cdot \beta \cdot N$	判定
NCLS	28766	23816	52582	>	30720	OK
NCHD	37572	23816	61388	>	上段 24000	OK
				>	下段 25920	OK
RCLS	21134	23816	44950	>	42480	OK
RCHD	21134	23816	44950	>	上段 29880	OK
				>	下段 27360	OK

3.12.6 (6) 筋かい耐力壁の性能を担保するための筋かい金物の引張耐力

耐力壁の壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の水平力を負担したときの引張筋かいの軸力に対して、筋かい金物が破断することなく軸力を負担するために必要な性能について検討する。フレーム解析による軸力に「3.12.6 (3)」による軸力の補正値を乗じた値に、さらに安全率 β ($=1.2$) を乗じた値を筋かい金物に必要な引張耐力とし、表 3.81 及び表 3.82 に示す。

表 3.81 二つ割筋かい金物に必要な引張耐力 (N)

試験体名		筋かい金物 タイプ※1	軸力 N_T (cal)	補正率 α	安全率 β	$\alpha \cdot \beta \cdot N_T$ (cal)
NLS-R		F	23100	1.0	1.2	27720
NHD	上段		17500	1.0		21000
	下段		19900	1.0		23880
RLS		L	6200	1.46		10862
RHD	上段		5700	1.46		9986
	下段		7000	1.46		12264

表 3.82 柱同寸及び三寸角筋かい金物に必要な引張耐力 (N)

試験体名		筋かい金物 タイプ※1	軸力 N_T (cal)	補正率 α	安全率 β	$\alpha \cdot \beta \cdot N_T$ (cal)
NCLS		F2	28200	1.0	1.2	33840
NCHD	上段		16800	1.0		20160
	下段		22200	1.0		26640
RCLS		L ⁺	10600	1.26		16027
RCHD	上段		14100	1.26		21319
	下段		9600	1.26		14515

※1 筋かい金物タイプ

F：柱・筋かい・横架材の側面 3 点取り付けフラット型筋かい金物

F2：柱・筋かい・横架材の側面 3 点取り付けフラット型筋かい金物×2 枚（両面）

L：柱・筋かいの 2 点取り付け L 型筋かい金物

L⁺：柱・筋かいの 2 点取り付け L 型筋かい金物＋木質構造用ねじ $\phi 6\text{mm} \times \text{L150mm}$

3.12.6 (7) ホールダウン (HD) 金物の性能

筋かい耐力壁の壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当の水平力を負担したときのホールダウン (HD) 金物に作用する軸力に対して必要となる HD 金物の性能について検討する。図 3.70 に面内せん断試験時に HD のボルトに取り付けたロードセルにより測定した軸力 (exp) 及びフレーム解析により求めた軸力 (cal) を示す。面内せん断試験では、引張側柱の引抜反力は HD 金物の他、土台を留め付けたボルトも負担したと考えられる。一方、フレーム解析では、すべての引抜反力を HD 金物で負担するものとした。そのため、すべての試験体でフレーム解析により求めた軸力 (cal) の方が大きい値となった。HD 金物の選定においては、フレーム解析の値を基に行うことは安全側であると考えられる。また、本論文のフレーム解析による軸力は、固定荷重及び積載荷重を考慮していないため、実際はその分が差し引かれることになるため解析値より小さい値になると考えられる。

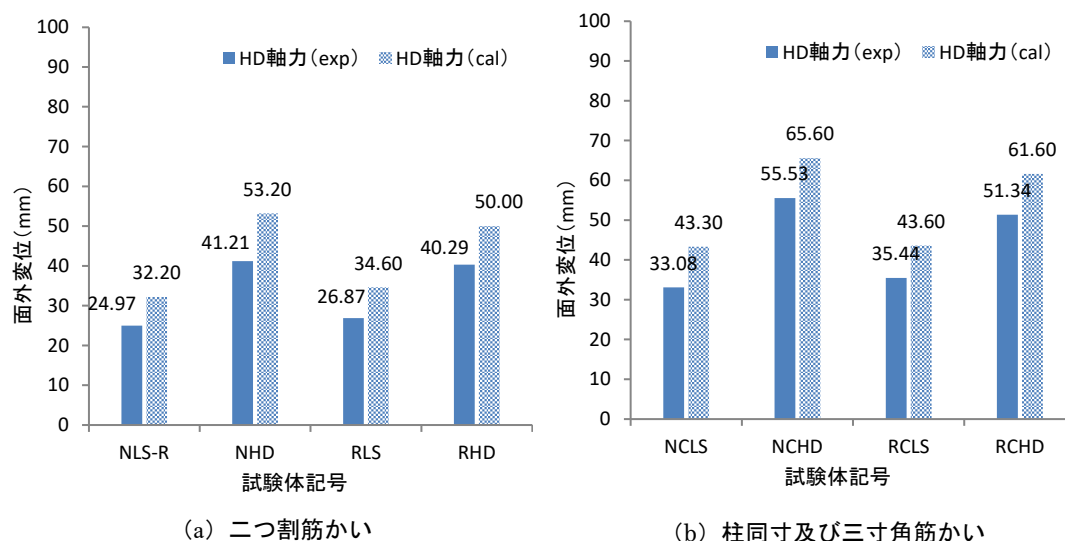


図 3.70 面内せん断試験とフレーム解析の HD 軸力の比較

3.12.7 (1) ホールダウン (HD) 金物の内付けと外付けの場合の面内せん断試験における筋かい耐力壁の面内せん断性能の違い (1)

図 3.71 (a) に HD 金物を内付けにした試験体 NLS の荷重-変形角曲線と初期剛性を、図 3.71 (b) に HD 金物を外付けにした試験体 NLS-R の荷重-変形角曲線と初期剛性を示す。図 3.71 の変形角は見かけの変形角である。見かけの変形角から求めた試験体 NLS (HD 内付け) の初期剛性は、854.99kN/rad であり、同じく見かけの変形角から求めた試験体 NLS-R (HD 外付け) の初期剛性は 1209.18 kN/rad である。NLS の初期剛性に対し NLS-R の初期剛性は約 1.41 倍高い値となった。

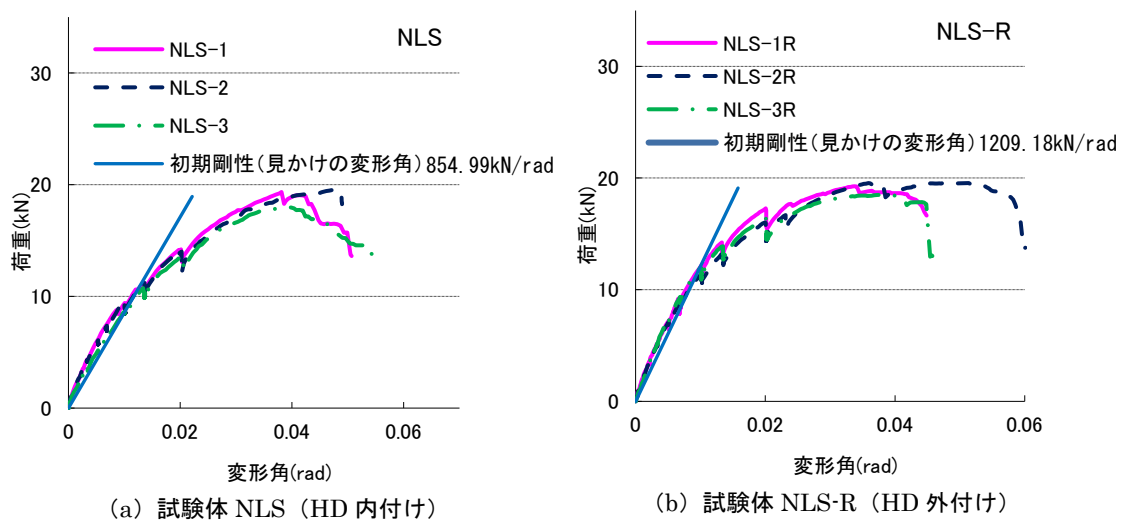


図 3.71 面内せん断試験の見かけの変形角による初期剛性の HD 内付けと外付けの違い

一方、図 3.72 に示す真の変形角による場合、NLS (HD 金物内付け) の初期剛性は、1114.07kN/rad であり、NLS-R (HD 金物外付け) の初期剛性は 1299.95kN/rad である。NLS-R の初期剛性に対し NLS の初期剛性は約 0.86 倍低い値となった。試験体 NLS と NLS-R の違いは、HD 金物の取り付け位置のみであり、脚部の変形角を除いた真の変形角は近い値になると考えられるが、実際は HD 金物を内付けにした試験体 NLSの方が低かった。原因は筋かいに作用する軸力によるものと思われる。筋かいに作用する軸力は筋かい耐力壁のアスペクト比の大きさに比例する。筋かい耐力壁のアスペクト比は「壁高さ/応力中心間距離」で求められ、この場合の応力中心間距離は、圧縮柱芯と HD ボルト芯との距離による。HD 金物を内付けにした試験体 NLS のアスペクト比は、応力中心間距離が短くなるため、HD 金物を外付けにした試験体 NLS-R よりも大きくなる。そのため、図 3.73 に示すように同じ水平力でも、HD 金物を内付けにした試験体 NLSの方が、筋かいに作用する軸力が大きくなり、筋かいの面外変位と筋かい端部の柱や横架材へのめり込み及び筋かい金物の変形により NLS の剛性が低下したものと考えられる。

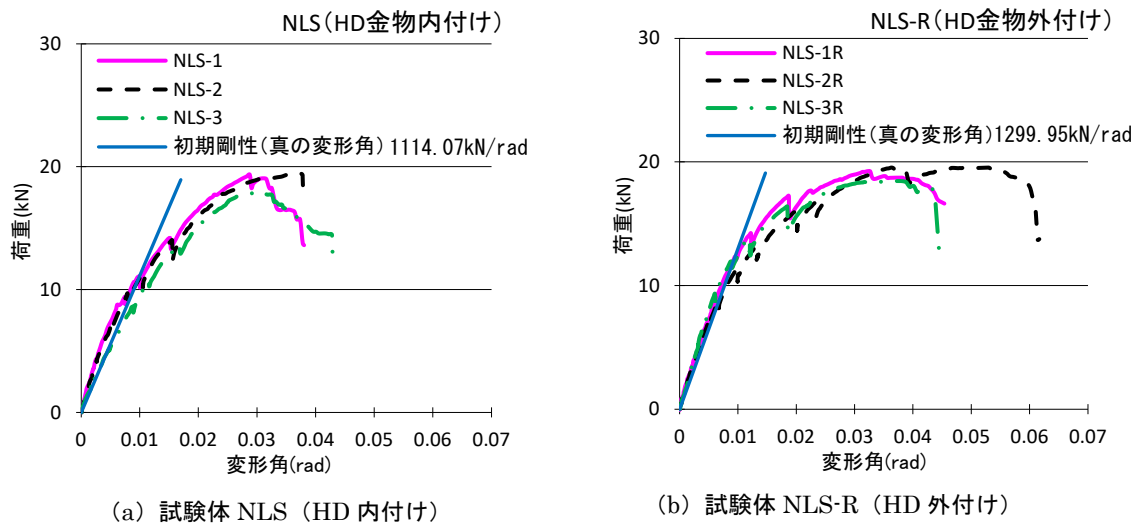


図 3.72 面内せん断試験の真の変形角による初期剛性の
HD 内付けと外付けの違い

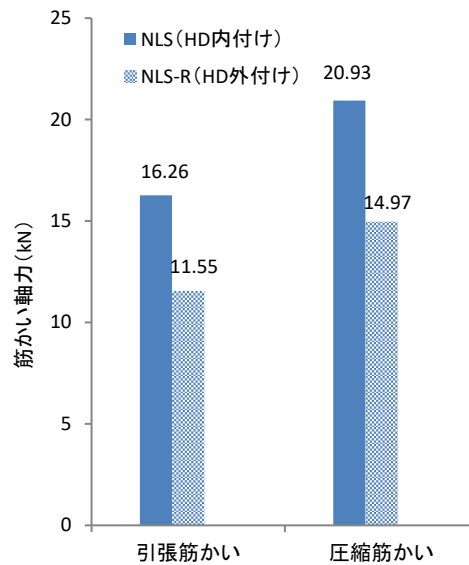


図 3.73 面内せん断試験の筋かいに作用する軸力の
HD 内付けと外付けの違い

3.12.7 (2) ホールダウン (HD) 金物の内付けと外付けの場合の面内せん断試験における筋かい耐力壁の面内せん断性能の違い (2)

筋かい耐力壁全体の回転剛性は、式 (3.39) に示す真の変形角による初期剛性に壁高さを乗じて求めた回転剛性と式 (3.40) による壁脚部の回転剛性を直列バネに置き換えることで、式 (3.41) により求められ、層間変形角は式 (3.42) により求められる。表 3.83 にホールダウン (HD) 金物を内付けにした試験体 NLS 及び HD 金物を外付けにした NLS-R の回転剛性を示す。また、表 3.84 に試験体 NLS 及び NLS-R の面内せん断試験の評価結果を示す。表 3.83 に示すように、HD 金物外付けの場合の壁全体の回転剛性に対する HD 金物内付けの場合の割合 α は約 0.81 倍である。また、表 3.84 に示すように、試験体 NLS 及び NLS-R の面内せん断試験の評価は「 $P_u \cdot 0.2 / D_s$ 」で決まっており、試験体 NLS の面内せん断耐力は NLS-R の面内せん断耐力の約 0.84 倍である。市販の筋かい金物は、その金物を使った面内せん断試験を行い、筋かい耐力壁として所定の面内せん断性能が確認されたものである。試験が HD 金物を外付けにして行われた場合、設計においてその金物を内付けで使用する際は、面内せん断耐力を α 倍以下に低減する必要があると考えられる。

真の変形角で評価した壁の初期剛性に壁高さを乗じて求めた回転剛性： $K_{\theta true}$ ($kN \cdot mm/rad$)

$$K_{\theta true} = K_{true} H \quad \cdots (3.39)$$

K_{true} : 真の変形角による初期剛性 (kN/rad)

H : 壁高さ (mm)

壁脚部の回転剛性： $K_{\theta bottom}$ ($kN \cdot mm/rad$)

$$K_{\theta bottom} = j^2 / \left(\frac{1}{k_t} + \frac{1}{k_c} \right) \quad \cdots (3.40)$$

j : 応力中心間距離 (mm)

この場合、圧縮側柱芯から引張側 HD 金物のアンカーボルト芯までの距離

k_t : 3.12.3 で求めた HD 金物の引張剛性 (kN/mm)

k_c : 3.12.3 で求めた圧縮側柱脚部のめり込み剛性 (kN/mm)

壁全体の回転剛性： $K_{\theta wall}$ ($kN \cdot mm/rad$)

$$K_{\theta wall} = I / \left(\frac{1}{K_{\theta true}} + \frac{1}{K_{\theta bottom}} \right) \quad \cdots (3.41)$$

層間変形角： γ (rad)

$$\gamma = PH / k_{\theta wall} \quad \cdots (3.42)$$

P : 水平力 (kN) H : 壁高さ (mm)

HD 金物外付けの場合の壁全体の回転剛性に対する HD 金物内付けの場合の回転剛性の割合： α

$$\alpha = \frac{K_{\theta wall(NLS)}}{K_{\theta wall(NLS-R)}} \quad \cdots (3.43)$$

表 3. 83 真の変形角より求めた回転剛性と壁脚部の回転剛性の直列バネ

試験体名	j (mm)	$K_{\theta true}$ (kN・mm/rad)	k_t (kN/mm)	k_c (kN/mm)	$K_{\theta bottom}$ (kN・mm/rad)	$K_{\theta wall}$ (kN・mm/rad)	α
NLS	827.5	3342210	16.5	59.54	8846809	2425781	0.81
NLS-R	992.5	3899850			12726580	2985111	

表 3. 84 面内せん断試験の評価結果 (50%下限値)

試験体名	P_y (kN)	$P_u \cdot 0.2 / D_s$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$P_{(1/120)}$ (kN)
NLS	9.63	6.83	12.36	7.79
NLS-R	11.04	8.13	12.56	10.29
NLS / NLS-R	0.87	0.84	0.98	0.76

3. 12. 8 柱脚の土台へのめり込み低減を考慮して柱脚を改良した場合の初期剛性の検証

柱脚のめり込み低減を考慮して、二つ割及び三寸角たすき掛け 1 段筋かい耐力壁の試験体 RSL 及び RCSL の柱脚は、ほぞ長さを土台成と同じ長さにして、ほぞ先端を基礎に直接接するようにすることで、柱脚の土台へのめり込み低減を図った。また、二つ割及び柱同寸または三寸角たすき掛け 2 段筋かい耐力壁の試験体 NHD、NCHD、RHD 及び RCHD の柱脚は、基礎直結柱脚金物を使用し、柱脚の木口を直接金物に接するようにすることで、柱脚の土台へのめり込み低減を図った。これらの改良柱脚によるめり込み低減の効果を確認するため、フレーム解析を行い初期剛性の違いについて検証する。試験体 RSL 及び RCSL の柱・土台接合部の剛性を「3. 12. 3」の式 (3. 14) によるものとする。試験体 NHD 及び RHD の柱・土台接合部の剛性を「3. 12. 3」の式 (3. 13) によるものとする。これらの柱脚の土台へのめり込み低減を図った試験体仕様の柱・土台接合部の剛性を $k_{\text{改良脚}}$ とし、その剛性による初期剛性を $K_{\text{改良}}$ とする。比較対象として、土台と柱の接合を在来のはぞ差しとした場合の接合部の剛性を $k_{\text{在来脚}}$ とし、「3. 12. 3」の式 (3. 12) によるものとし、その剛性による初期剛性を $K_{\text{在来}}$ とする。圧縮側の柱脚の剛性以外は同じ値とする。

検証の結果、表 3. 85 に示すように初期剛性の増加率における柱脚を改良した効果は、壁高さ 3.0m、壁倍率 4 倍相当の二つ割たすき掛け 1 段筋かいの試験体 RLS では 1.01 倍、壁倍率 5 倍相当の三寸角たすき掛け 1 段筋かいの試験体 RCLS では 1.03 倍であった。壁高さ 4.5m、壁倍率 4 倍相当の二つ割たすき掛け 2 段筋かいの試験体 NHD では 1.07 倍、壁倍率 5 倍相当の柱同寸たすき掛け 2 段筋かいの試験体 NCHD も同様に 1.07 倍であった。壁倍率が高い方、また壁高さが高い方が柱に作用する軸力が大きくなり柱脚を改良した効果が上がると考えられる。改良柱脚による初期剛性の増加率は最大で、NHD 及び NCHD の 1.07 倍とそれほど大きくはないが、その効果を確認することができた。

表 3. 85 試験体仕様の改良柱脚と在来柱脚の場合の初期剛性の違い

試験体名 (壁倍率)	壁高さ 段数	$k_{\text{改良脚}}$ (kN/mm)	$K_{\text{改良}}$ (kN/rad)	$k_{\text{在来脚}}$ (kN/mm)	$K_{\text{在来}}$ (kN/rad)	$\alpha = K_{\text{改良}} / K_{\text{在来}}$
RLS (4.0)	3.0m 1 段	424.81	801.92	44.88	793.3	1.01
NHD (4.0)	4.5m 2 段	267.22	1114.97	54.43	1044.81	1.07
RHD (4.0)	4.4m 2 段	260.73	808.53	52.98	776.50	1.04
RCLS (5.0)	3.0m 1 段	424.81	1265.29	44.88	1226.39	1.03
NCHD (5.0)	4.5m 2 段	267.22	1387.60	54.43	1297.92	1.07
RCHD (5.0)	4.4m 2 段	260.73	1342.69	52.98	1291.59	1.04

3.13 筋かい耐力壁の設計法

筋かい耐力壁の望ましい壊れ方として、圧縮力に対しては、筋かいが座屈破壊する前に端部がめり込み等で破壊せず、降伏・塑性変形しながら荷重を保持し続け徐々に破壊に至るという形であり、引張力に対しては、筋かいが引っ張り破壊する前に、筋かい金物が破壊せずビス等が降伏・塑性変形しながら荷重を保持し続け徐々に破壊に至るという形であると考え。以上の考えをもとに筋かい耐力壁の各部の設計法について提案する。靱性を有する筋かい耐力壁の設計法として、筋かい耐力壁に作用する水平力が予定の最大荷重に達したときに筋かいが負担する軸力に対し、筋かいが座屈破壊または引張破壊しないこと、また筋かい端部接合部の筋かい金物及び筋かい交点の補強検討する際は、安全率を見込んだ軸力に対して破断しないことに重点を置いた。

「3.12 フレーム解析による筋かい耐力壁の性能の検証」では、耐力壁としての性能を担保するために必要な性能として、試験の結果及び試験体の仕様を基にモデル化しフレーム解析した結果より以下の内容について検証した。「1. 筋かい耐力壁を構成する柱、横架材、筋かいの材料」、「2. 引張筋かい端部の接合金物の剛性」、「3. 二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの断面寸法」、「4. 二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいのたすき掛け交点の補強性能」、「5. 筋かい金物の引張耐力」、「6. ホールドダウン (HD) 金物の性能」、「7. 柱脚部の性能」の7項目である。これらの項目をもとに設計法を提案する。

1) 筋かい耐力壁を構成する柱、横架材、筋かいの材料

フレーム解析で使用するヤング係数は、打撃音法等で計測したものなど、実状に沿ったものとする。

2) 引張筋かい端部の接合金物の剛性及びその他の接合部の剛性

筋かい金物及びその他の接合金物の剛性及び耐力は試験成績書によるものとする。不明であれば、要素試験として筋かい金物等の接合金物の引張試験を行い、接合部の引張剛性及び引張耐力を求める。筋かい金物の剛性は水平方向と鉛直方向とに分けて求め、表 3.61 及び表 3.62 に示した必要剛性を目安とし、その値以上であることが望ましい。また、その他の接合部の剛性は「3.12.3」に示す式により求める。

3) フレーム解析

柱、横架材、筋かいの断面寸法を仮定し、1 で求めた各部材のヤング係数及び2 で求めた接合部の剛性を基にフレーム解析を行う。壁頂部に水平荷重を作用させる。荷重値は、「3.12.1」に示す壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重相当とし、式 (3.8) に示す値とする。解析結果より荷重・変形角曲線を求め、 $1/120\text{rad}$ 変形時の荷重が目標とする壁倍率相当の荷重であることを確認する。

4) 筋かいに作用する軸力の補正

本研究では、筋かい耐力壁の面内せん断試験時に筋かい材に貼り付けたひずみゲージより求めた軸力とフレーム解析の軸力に誤差が生じていたため、「3.12.6 (3) 筋かい軸力の補正」でフレーム解析の筋かい軸力の値を補正し、その補正率を表 3.63 から表 3.66 に示した。最大補正率は試験体 RHD の 1.46 倍であった。設計では一律 1.5 を補正率とし、筋かいの設計を行えば安全側となる。

5) 補正軸力に対する筋かいの設計

「3.12.6 (4)」により筋かいの圧縮耐力及び引張耐力を求め、「3.12.6 (3)」の補正軸力以上であることを確認する。

6) 二つ割筋かいのたすき掛け筋かい交点の補強

二つ割筋かい耐力壁のたすき掛け交点は、「3.12.6 (5) i」に示すように、壁倍率算定の指標値のひとつである最大荷重まで引張筋かいが圧縮筋かいの面外変形に追従し変形を抑制するように、径 6mm 以上の木質構造用ねじ 2 本で、有効打ち込み長さ 40mm 以上になるように打ち込むこととする。

7) 柱同寸及び三寸角筋かいのたすき掛け筋かい交点合い欠き部の補強

柱同寸及び三寸角筋かいでは、「3.12.6 (5) ii」に示すように、筋かい交点の合い欠き部の座屈耐力について検討する。合い欠きにより半分になった筋かい断面の耐力と補強用短冊金物の取り付けビスの 1 面せん断耐力の合計を筋かい交点の圧縮耐力とし、「3.12.6 (3)」の補正軸力に安全率 β ($=1.2$) を乗じた値以上であることを確認する。安全率を考慮することにより靱性の向上を図った。

8) 筋かい金物の引張耐力

「3.12.6 (6)」に示すように、軸組と筋かいを接合する筋かい金物は、「3.12.6 (3)」の補正軸力に安全率 β ($=1.2$) を乗じた値以上の引張耐力を有するものを使用することとする。安全率を考慮することにより靱性の向上を図った。

9) ホールダウン (HD) 金物の性能

面内せん断試験では、引張側柱の引抜反力は HD 金物の他、土台を留め付けたボルトも負担したと考えられる。一方、フレーム解析では、すべての引抜反力を HD 金物で負担するものとした。そのため、すべての試験体でフレーム解析により求めた引抜き力 (cal) の方が大きい値となった。HD 金物の選定においては、フレーム解析の値を基に行うことは安全側であると考えられる。また、HD 金物の選定ではフレーム解析による引抜き力に、その柱が負担する固定荷重及び積載荷重を差し引いた値によることとなる。

また、「3.12.7 (2)」では、HD 金物を内付けにした場合の筋かい耐力壁の回転剛性は外付けにした場合の 0.81 倍であり、面内せん断耐力は 0.84 倍であることを示した。HD 金物は柱の外付けで使用することを基本とするが、内付けとする場合は「3.12.7 (2)」に示す方法で、壁全体の回転剛性の低減率 α を求め、筋かい耐力壁としてのせん断耐力を適切に低減することとする。

10) 柱脚部の性能

3.12.8 により、初期剛性を向上させるため、2 段筋かい耐力壁の柱脚に基礎直結柱脚金物を使用すること及び 1 段筋かい耐力壁の柱脚のほぞ長さを土台成と同じ寸法とすることで、柱脚の土台へのめり込みを抑制することが望ましい。

11) 構造用合板等の面材耐力壁との併用

筋かい耐力壁は、構造用合板等の面材耐力壁と併用されることが多い。五十田らの研究²⁸⁾では、「異なる変形性能を持つ壁が同一構面にある場合の評価について、最大荷重以降急激に荷重が低下しない靱性のある壁は、現行の壁倍率評価法によって、構造用合板の壁と同程度の安全性が確保できる。」ということを示した。本設計法で示す靱性に配慮した筋かい耐力壁であれば構造用合板耐力壁との併用は問題ないと考えられる。

3.14 たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能性能の検証のまとめ

① 第1期二つ割筋かい耐力壁の面内せん断試験において、試験体の高さを文献30)で規定された筋かい耐力壁の幅高さ比の制限 ($H/L \leq 3.5$) より決定される最大高さ $H=3.185\text{m}$ と施行令43条に規定された柱の有効細長比の制限値 ($\lambda=150$) より決定される柱105mm角の場合の最大高さ $H=4.5\text{m}$ の2種類とし、平12建告1460号に則った筋かい耐力壁の面内せん断性能を確認することを目的として試験を行った結果、施行令46条の壁倍率相当の性能を満足できた試験体は、壁高さ3.185mで筋かいを2段にした試験体のみであった。壁高さ3.185mの1段筋かい及び壁高さ4.5mの1段と2段筋かいは施行令46条の壁倍率相当の性能を満たすことはできなかった。

② 圧縮筋かい-間柱-引張筋かいの交点をN釘でなく径6mm×長さ100mm程度の本質構造用ねじを片側2本の両側計4本で接合することにより、圧縮筋かいの座屈進行をねじを介して引張筋かいが抑制する形となり、圧縮筋かいの早期の座屈破壊を防ぐことができることが分かった。

③ 第2期の二つ割1段筋かい耐力壁の試験体NLSでは、第1期二つ割筋かい耐力壁の面内せん断試験における各部の変位による変形の全体の変形角に対する割合の大きい個所として、筋かい金物を柱・筋かい・横架材の3点留めのボックス型からより剛性の高い柱・筋かい・横架材の側面3点留めのフラットプレート型に変更することで剛性を上げ、筋かい断面(樹種)を45mm×90mm(ベイマツ)から45mm×120mm(スプルース)に変更し、壁高さを3.185mから3.0mに抑えて面内せん断試験を行った。また、二つ割2段筋かい耐力壁の試験体NHDでは、1段筋かい耐力壁の試験体NLSと同じ筋かい金物を使用し、柱及び横架材の幅を105mmから120mmに変更し、筋かいの樹種をベイマツからスプルースに変更して面内せん断試験を行った。2段筋かい耐力壁の試験体NHDは施行令46条の壁倍率4倍相当の性能を満たすことを確認した。しかし、試験体NLSは、第1期の面内せん断性能を上回ったが、施行令46条の壁倍率に満たなかった。

④ 第3期として、第2期の二つ割筋かい耐力壁の面内せん断試験において、施行令46条の壁倍率4倍の性能に満たなかった試験体NLSについて、ホールダウン(HD)金物の取り付け位置を柱の内側から外側に変更して面内せん断試験を実施したところ、施行令46条の壁倍率4倍相当の性能を満たすことを確認した。筋かい耐力壁全体の回転剛性は、真の変形角による回転剛性と壁脚部の回転剛性の直列バネで表すことができ、HD金物を柱の外付けにした場合、圧縮側柱とHD金物のボルト芯との間の応力中心間距離が伸びることで脚部の回転剛性が上がり、その結果、筋かい耐力壁全体の回転剛性が向上したものと考えられる。

⑤ 第4期の筋かい耐力壁の面内せん断試験では、第2期及び第3期で使用した柱・筋かい・横架材の側面3点留めのフラットプレート型の筋かい金物に代えて、柱・筋かいの2点留めのL型の筋かい金物を使用して試験を実施し、施行令46条の壁倍率相当の性能を満たすことを確認した。第2期及び第3期の試験では、引張側の筋かい金物の横架材の側面に打ちつけたビスの部分を起点の割裂が発生し、荷重を保持したまま終局まで進んだが、第4期の試験では、終局前に引張側の筋かい金物の柱に打ちつけたビスが抜け、圧縮側の筋かいが荷重を保持したまま終局まで進んだ。第4期で使用した柱・筋かいの2点留めのL型の筋かい金物は、筋かいの端部よりも

少し中央寄りに取り付けられ、圧縮筋かいの座屈長さが短くなるため座屈耐力が上がる要因となり、施行令46条の壁倍率相当の性能を満足したものと考えられる。また、第4期の柱脚のほぞ長さを土台成と同じ長さにする事で、ほぞの先端を基礎に接触させ柱脚の土台へのめり込みを抑制した。

⑥ 試験体をモデル化しフレーム解析をすることで筋かい耐力壁の各部材に作用する軸力を求め、それを基に筋かいの断面とたすき掛け交点の補強性能及びHD金物に必要な性能について検証した。

⑦ 柱、横架材、筋かいの材料など、筋かい耐力壁を構成する部材及び筋かい金物等を試験体と同様のものとし、壁長及び壁高さを試験時の寸法以下とすれば、試験と同等の面内せん断耐力を得られると考えられるが、筋かい耐力壁を構成する部材及び筋かい金物等を試験体とは違うものを使用し、壁高さ等を変更した場合の設計法について、弾性域でのフレーム解析を前提に提案した。目安となる筋かい金物の剛性を水平方向と鉛直方向とに分けて、表3.61及び表3.62に示した。

⑧ 二つ割筋かい耐力壁の柱脚を短ほぞとしたものと、柱脚の土台へのめり込みを抑制するため土台成と同じ長さにしたものとで筋かい耐力壁をモデル化しフレーム解析した結果、初期剛性の向上を確認した。また、柱同寸及び三寸角筋かい耐力壁の柱脚を短ほぞとしたものと、柱脚の土台へのめり込みを抑制するため基礎直結柱脚金物を使用したものとで筋かい耐力壁をモデル化しフレーム解析した結果、初期剛性の向上を確認した。

⑨ 靱性を有する筋かい耐力壁の設計法を提案した。五十田らの研究²⁸⁾では、「異なる変形性能を持つ壁が同一構面にある場合の評価について、最大荷重以降急激に荷重が低下しない靱性のある壁は、現行の壁倍率評価法によって、構造用合板の壁と同程度の安全性が確保できる。」ということを示した。よって、「3.13 筋かい耐力壁の設計法」による筋かい耐力壁と構造用合板等の面材耐力壁との併用は問題ないと考えられる。

3.15 第3章 参考文献

- 21) 守屋嘉晃, 林崎正伸, 高橋仁, 河合直人, 槌本敬大: 木造軸組耐力壁のせん断性能に与える壁高さ及び壁長さの影響確認実験 その1 筋かい耐力壁, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 97-98, 2011. 8
- 22) 鈴木圭, 相馬智明, 稲山正弘, 安藤直人: 90mm 角のたすき掛け筋かい壁の水平耐力についての研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp63-64, 2012. 9
- 23) 守屋嘉晃, 川上修, 中川貴文, 河合直人, 槌本敬大: 筋かい金物の種類の違いが長尺筋かい耐力壁のせん断性能に及ぼす影響に関する検証実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 279-280, 2013. 8
- 24) 成田敏基, 太田正光, 槌本敬大: 筋かいの座屈挙動解析 (その3: 筋かい端部、柱脚接合条件および筋かいの材料の影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp91-92, 2003. 9
- 25) 中川貴文, 青木謙治, 原田直希, 立花和樹: 筋かいの品質の差異が耐力壁の性能に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 91-92, 2014. 9
- 26) 村上雅英, 佐武憲一, 加藤正章, 稲山正弘: 圧縮筋かいの取り付けほぞ金具を用いた管柱の柱頭接合部の耐力算定式の提案, 日本建築学会構造系論文集第 611 号, pp. 103-109, 2007. 1
- 27) 藤澤洋輔, 五十田博, 金子洋文, 松田昌洋, 尾内惇史: 面材や間柱による木造筋かいの座屈拘束効果が耐力壁性能に及ぼす影響 その1 一方向載荷による 1P 壁の静加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 167-168, 2016. 8
- 28) 五十田博, 中村晋也: 異なる復元力特性を持つ木造耐力壁構造の耐震性能評価, 日本建築学会構造系論文集第 627 号, pp. 781-786, 2008. 5
- 29) 稲山正弘: 中大規模木造建築物の構造設計の手引き 改定版, 彰国社, pp. 58-59, 2019. 8
- 30) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計 1 (2017 年版), 日本住宅・木材技術センター, pp. 39-40, 289-304, 2017. 3
- 31) 木質構造設計規準・同解説第 4 版, 日本建築学会, pp. 15-31, 279-401, 2006. 12
- 32) 木質構造基礎理論第 1 版, 日本建築学会, pp. 45-47, 2010. 12
- 33) 構造用木材の強度試験マニュアル, 日本住宅・木材技術センター, pp. 59-63, 2011. 3
- 34) EG ガセット試験成績書, 日本住宅・木材技術センター, 1999. 10
- 35) ジャステンプレート品質性能試験報告書, 建材試験センター, 2006. 10
- 36) ハイパーガセット・II (内付け仕様) 接合部性能試験成績書, ハウスプラス確認検査 (株) 2018. 1
- 37) シークホールダウン C-HD2530 品質性能試験報告書, 建材試験センター, 2003. 8

- 38) シークホールダウン C-HD50S 品質性能試験報告書, 建材試験センター, 2010. 11
- 39) ブルースホールダウン 40 接合部性能試験成績書, ハウスプラス確認検査 (株) 2013. 9
- 40) 高耐力フレックスホールダウン 60 接合部性能試験成績書, ハウスプラス確認検査 (株) 2013. 4
- 41) プレセッター柱脚金物 (一体型) 接合部性能試験成績書, ハウスプラス確認検査 (株) 2014. 2
- 42) テックワン P3 TH-10 接合部性能試験成績書, ハウスプラス確認検査 (株) 2014. 5
- 43) 稲山正弘, 玉澤基良, 稲田勲保, 河原大, 青木謙治: たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能に関する研究 その 1. 断面寸法を変化させた二つ割筋かいの荷重変形特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 419-420, 2018. 9
- 44) 玉澤基良, 稲山正弘, 稲田勲保, 青木謙治, 河原大: たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能に関する研究 その 2: 階高と段数を変化させた二つ割筋かいの荷重変形特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 421-422, 2018. 9
- 45) 玉澤基良, 稲山正弘, 青木謙治, 河原大, 落合陽, 稲田勲保: たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能に関する研究 その 4: 階高と段数を変化させた二つ割及び柱同寸筋かいの荷重変形特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 215-216, 2019. 9
- 46) 玉澤基良, 稲山正弘, 青木謙治, 落合陽, 河原大, 稲田勲保: 壁高さと段数を変化させた二つ割たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能に関する実験的研究, 日本建築学会技術報告集 第 63 号, pp. 525-530, 2020. 6

第4章 まとめ

本研究では、中大規模木造建築物に対応した横架材としてのストレススキンパネル(SSP)及び筋かい耐力壁を住宅用の一般流通材を使い特殊な加工を必要とすることなく、通常のプレカット加工で実現させることを目的とし、研究を遂行した。それにより、住宅を中心に施工していた工務店が、中大規模木造建築物の施工に参入することのできる環境を整えることができ、少しでも木造建築のすそ野を広げることができたと考えられる。

第2章ではSSPの曲げ性能の研究について述べた。

一般に流通している12mm厚構造用合板のうち主要なものについて、単体の引張試験を行い、SSPのフランジ材として適当な構造用合板は、表層および中央層の単板にベイマツまたはヒノキを使用した合板であるとわかった。

本研究のSSPのフランジは、単体の引張試験で選定した構造用合板3枚を接着重ね張りしたものであるため、それを想定した3枚接着重ね張りの合板の引張試験を行い、その性能を確認した。

合板の引張試験より得られた引張強さをもとに、菊池らによるフランジの有効幅の算定式を用いて、稲山が提案したSSPの断面性能の算定式³⁾による値と実大曲げ試験の結果とを比較検証し、SSPのフランジを合板3枚接着重ね張りした場合でも、菊池式²⁾を適用できることが分かった。また、SSPの断面性能の算定式と実大曲げ試験の結果をもとに、一般流通材を使い特殊な加工を必要としない安全なSSPの設計法を提案した。

SSPのクリープ試験を行い、12か月及び15か月の試験期間におけるクリープ変形増大係数が2を下回っていることを確認した。SSPの設計におけるたわみの検討に際し、変形増大係数を2とすれば、使用上の支障が起これないと考えられる。また、15か月間の試験終了後に、フランジとウェブを接合した1液型ポリウレタン系接着剤の状態が健全であることを確認し、SSPに使用する接着剤として適当であることを確認した。

SSPのフランジとウェブの接合について、接着剤と木質構造用ねじを併用した場合と木質構造用ねじのみとした場合をモデル化しフレーム解析を行い、接着剤による曲げ剛性向上の効果を確認した。

第3章では、たすき掛け筋かい耐力壁の面内せん断性能の研究について述べた。

二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいについて、それぞれたすき掛け1段及びたすき掛け2段筋かいの面内せん断試験及びフレーム解析を行い、靱性のある筋かい耐力壁としての性能を担保するために必要な各部の性能として、以下のことについて明らかにした。

- ・筋かい耐力壁を構成する柱、横架材、筋かいの材料
- ・引張筋かい端部の接合金物の剛性、二つ割筋かい、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいの必要断面性能
- ・たすき掛け交点の補強、柱同寸筋かい及び三寸角筋かいのたすき掛け交点の合い欠き部の補強
- ・筋かい金物の引張耐力
- ・ホールダウン（HD）金物の性能

HD金物の内付けと外付けの場合の筋かい耐力壁の面内せん断性能の違いについて検証し、HD金物を内付けにした場合の面内せん断耐力を α 倍以下に低減する必要があるとした。

以上の内容をもとに、一般流通材を使い特殊な加工を必要とせずとも靱性を有する筋かい耐力壁の設計法を提案した。

謝辞

本研究では、多くの方々からご指導並びにご協力を頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

稲山正弘教授には、修士課程から6年間にわたりご指導いただきましたことに心より感謝申し上げます。また、稲山先生が代表理事を務めておられる一般社団法人中大規模木造プレカット技術協会のワーキングに参加させていただき、多くのことを学ぶことができました。

青木謙治准教授には、毎回のゼミ発表時に多くのご指摘、ご助言をいただきました。また、毎回の論文の投稿前に査読をしていただき、多くのご指摘並びにご助言をいただきましたことに心より感謝申し上げます。

落合陽助教、河原大特任助教（現、東京電機大学助教）には、実験のお手伝いから投稿前の論文の査読、また研究に関するアドバイスなど多くのご協力、ご助言をいただきましたことに心より感謝申し上げます。

ストレススキンパネルの研究では、栃木県林業センターの大塚紘平様、栃木県庁の大野英克様、亀山雄攄様に多大なご支援とご協力をいただきましたことに心より感謝申し上げます。また同センターから栃木県産ヒノキの構造用合板と栃木県産ヒノキとスギで構成された集成材をご提供いただき、ストレススキンパネルの実大曲げ試験及びクリープ試験のために施設を利用させていただきましたことに心より感謝申し上げます。

第2期の高さ4.5mの2段筋かい耐力壁の試験では、金沢工業大学のやつかほりサーチキャンパスの実験施設を利用させていただき、同大学の後藤正美教授並びに学生の方々に多大な協力をいただきましたことに心より感謝申し上げます。

実験用の木質構造用ねじとして、パネリードをご提供いただいたシネジック株式会社に心より感謝申し上げます。

実験用の構造用合板をご提供いただいた日本合板工業組合連合会に心より感謝申し上げます。

本研究にあたり、一般社団法人中大規模木造プレカット技術協会の事務局並びに会員の皆様に多大なご支援、ご協力をいただいたことに心より感謝申し上げます。

最後に、修士課程から6年間にわたり、木質材料学研究室の皆様には多大なご支援、ご協力をいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。