

令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び  
国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうち  
CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業

単板積層材を用いた横架材及び床材の国産材比率の向上  
ー 国産ハイブリッド LVL 開発と長尺 LVL 床版開発 ー

実績報告書

令和6年 3月

一般社団法人全国 LVL 協会

## 目次

1. はじめに	-- P01
2. 国産ハイブリッド LVL 開発	
2. 1 目的	-- P03
2. 2 実施体制	-- P04
2. 3 実施内容	-- P05
2. 3. 1 国産広葉樹 LVL	-- P06
2. 3. 2 ハイブリッド LVL の製造と性能検証	-- P23
2. 4 まとめ	-- P81
3. 長尺 LVL 床版開発	
3. 1 目的	-- P83
3. 2 実施体制	-- P84
3. 3 実施内容	-- P85
3. 3. 1 詳細計算法による 1 本あたりせん断特性	-- P86
3. 3. 2 ロケット型接合部一面せん断性能の検討	-- P151
3. 3. 3 実大寸法での面内せん断性能	-- P171
3. 4 まとめ	-- P00
4. まとめと今後の課題	-- P187

## 1. はじめに

### ・国産スギ利用ハイブリッド LVL 開発

近年、木造建築に使用される部材の国産材比率が大きく向上しているものの、強度を要する横架材においては外国産の原料が約 9 割を占めている。国産材は外国産材に比べて強度的に不利となることが課題ではあるが、昨今は国際情勢等による高強度樹種の供給停止により国産材への代替が急務となっている。

一般的に、構造用 LVL の横架材利用においては、熱板プレスで一次接着した LVL 原板を二次接着して主に縦使いで使用するが、現行の LVL の日本農林規格 (JAS) においては、非等厚の原板や異なる強度等級の原板を二次接着して使用することは認められていない。しかし、構造用集成材のように外層にカラマツ等による高強度 LVL、内層にスギによる低強度 LVL を二次接着して平使いで利用できれば、強度的に有利な断面構成となり、資源面や性能面において効率的な国産材活用が可能になる。また、将来的には、集成材ラミナと同様に LVL のラミナが流通できるようになれば、横架材における国産材比率の向上に大きく貢献できる。

そこで、異樹種を張り合わせた LVL の諸性能を検証するため、R4 年度の受託研究において、カラマツとスギの LVL ラミナを集成材のようにヤング係数を測定した上で組み合わせる製造方法によりハイブリッド LVL を試作し、基本性能 (曲げ、せん断、接合性能) を明らかにした。さらに、ハイブリッド LVL を JAS 製品として実現するには、LVL 工場での製造工程を考慮して大判 LVL どうしを二次接着した上で小割する製造方法についても検討する必要がある。また、構造部材としては長期クリープ特性についても検証する必要がある。また、海外では構造用途としての広葉樹 LVL の利用も進んでおり、国内でも供給力の多い北海道産広葉樹への期待も高まっているが、LVL 分野で広葉樹を利用しようとする試みは国内ではほとんどない。R4 年度に受託研究において、林産試験場での試験用小型プレスを用いて北海道産カンバ類の LVL を試作し、基本性能を明らかにしたが、実際の生産ラインでも製造可能か検討する必要がある。

そこで、R5 年度の受託研究においては、今後の LVL の JAS 改正に向けて活用できるデータを収集することを目的として、北海道産カンバ類を用いた実生産ラインでの製造試験を行うとともに、LVL ラミナの諸性能評価を行うとともに、カラマツまたはシラカンバによる高強度 LVL とスギの低強度 LVL を用いたハイブリッド LVL (図 1) を製造、実大強度性能評価を行った。また、横架材としての性能検証として、ハイブリッド LVL と従来型 LVL の長期クリープ性能の比較を行った。

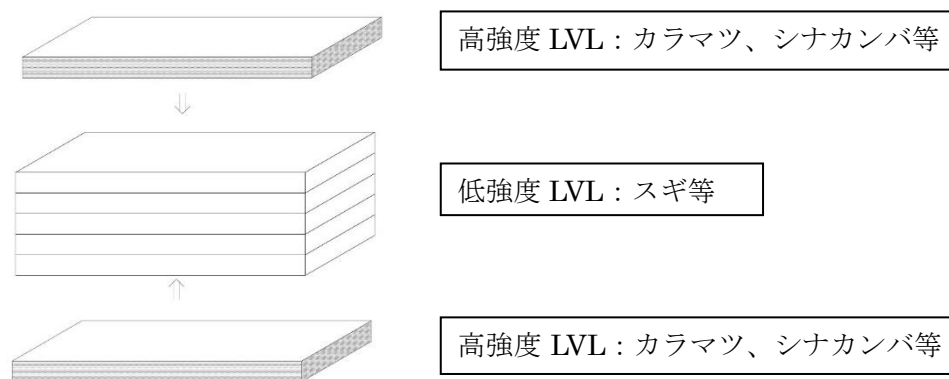


図 1 ハイブリッド LVL 横架材 (イメージ)

## ・国産 LVL を使用した厚板床板の開発

中大規模木造建築の水平構面において、厚さ 180mm 以上の CLT または 28mm の構造用合板を使うことが多い。しかし、中大規模建築では必要とされる積載荷重が住宅より大きくなることから構造用合板を使う場合は、小梁を多く入れる必要があり、材積が増えるのが現実である。CLT を使う場合は、材積が多くなることでコストアップや施工性の問題が残ってしまう。この問題を解決できるのが、幅広長尺で厚 40mm から厚 75mm 程度の LVL 床板である。LVL は幅 910～1200mm × 長 4～12M が製造可能であり、両方の間で上記の問題点を解決する。厚物合板で成功と同じ様に、一般化させることを目指しており、中大規模木造建築において、一般材として普及することを目的にする。今まで、全国 LVL 協会の技術部会 構造利用委員会では、材料の要素試験や接合部の要素試験を持続的に進めてきており、単年度で成果を出せる準備をしてきている。図 2 は、実際 LVL 床版を使った物件事例を紹介しており、流山おおぐろの小学校では、厚 75mm × 幅 1200mm × 長さ 12m 弱の LVL 床版を床と屋根で採用された。ノルウェーのミヨサタワーでは、厚さ 31mm の LVL を用いた床パネルが採用された。



図 2 構造用単板積層材を床版として採用した建築例  
(左：流山おおぐろの小学校、右：ノルウェーのミヨサタワー)

## 2. 1 目的

近年、木造建築に使用される部材の国産材比率が大きく向上しているものの、強度を要する横架材においては外国産の原料が約 9 割を占めている。国産材は外国産材に比べて強度的に不利となることが課題ではあるが、昨今は国際情勢等による高強度樹種の供給停止により国産材への代替が急務となっている。

一般的に、構造用 LVL の横架材利用においては、熱板プレスで一次接着した LVL 原板を二次接着して主に縦使いで使用するが、現行の LVL の日本農林規格 (JAS) においては、非等厚の原板や異なる強度等級の原板を二次接着して使用することは認められていない。しかし、構造用集成材のように外層にカラマツ等による高強度 LVL、内層にスギによる低強度 LVL を二次接着して平使いで利用できれば、強度的に有利な断面構成となり、資源面や性能面において効率的な国産材活用が可能になる。また、将来的には、集成材ラミナと同様に LVL のラミナが流通できるようになれば、横架材における国産材比率の向上に大きく貢献できる。

そこで、異樹種を貼り合わせた LVL の諸性能を検証するため、R4 年度の受託研究において、カラマツとスギの LVL ラミナを集成材のようにヤング係数を測定した上で組み合わせる製造方法によりハイブリッド LVL を試作し、基本性能 (曲げ、せん断、接合性能) を明らかにした。さらに、ハイブリッド LVL を JAS 製品として実現するには、LVL 工場での製造工程を考慮して大判 LVL 同士を二次接着した上で小割する製造方法についても検討する必要がある。また、構造部材としては長期クリープ特性についても検証する必要がある。一方、海外では構造用途としての広葉樹 LVL の利用も進んでおり、国内でも供給力の多い北海道産広葉樹への期待も高まっているが、LVL 分野で広葉樹を利用しようとする試みは国内ではほとんどない。R4 年度に受託研究において、林産試験場での試験用小型プレスを用いて北海道産カンバ類の LVL を試作し、基本性能を明らかにしたが、実際の生産ラインでも製造可能か検討する必要がある。

そこで、R5 年度の受託研究においては、今後の LVL の JAS 改正に向けて活用できるデータを収集することを目的として、北海道産カンバ類を用いた実生産ラインでの製造試験を行い、LVL ラミナの諸性能評価を行うとともに、カラマツまたはシラカンバによる高強度 LVL とスギの低強度 LVL を用いたハイブリッド LVL を製造、実大強度性能評価を行った。また、横架材としての性能検証として、ハイブリッド LVL と従来型 LVL の長期クリープ性能の比較を行った。

## 2. 2 実施体制

表 2.2-1 に示す LVL 協会技術部会の JAS 改正委員会において試験計画・実施・検討を行った。

表 2.2-1 JAS 改正委員会構成員

1.	委員長	宇都宮大学		中島史郎	地域デザイン科学部建築都市デザイン学科教授
2.	委員	森林総合研究所		宮本康太	複合化研究室 室長
3.		森林総合研究所		平松 靖	複合材料研究領域 領域長
4.		日本合板検査会		尾方伸次	専務理事
5.		日本合板検査会		板垣 悟	認証部長
6.		日本合板検査会		小関真琴	研究室室長
7.		北海道立総合研究機構 林産試験場		大橋義徳	技術部 生産技術G 研究主幹
8.		北海道立総合研究機構 林産試験場		古田直之	技術部 生産技術G 主査
9.		北海道立総合研究機構 林産試験場		戸田正彦	性能部 研究主幹
	会員会社				
10.		株式会社オロチ		清水淳一	品質保証部 部長
11.		株式会社オロチ		滝田哲也	品質管理部 次長
12.		株式会社キーテック		西村圭史	品質管理課 課長
13.		株式会社ウッドワン		大西英明	品質管理部品質管理課 課長
14.		株式会社ウッドワン		菅田啓子	技術開発部 課長
15.		株式会社ウッドワン		泉谷龍彦	技術開発部 係長
16.		ファーストプライウッド株式会社		大河龍也	代表取締役
17.		ファーストプライウッド株式会社		齋藤寛之	製造部 生産本部長
18.		ファーストプライウッド株式会社		白山友樹	製造部 工場長
19.		ファーストプライウッド株式会社		渡辺 歩	次長
20.		株式会社ザイエンス		茂山知己	技術開発部 マネジャー
21.		株式会社 オーシカ		田中博史	中央研究所 主任研究員
22.		光洋産業株式会社		神谷正宣	RR化成品部 部長
23.		株式会社 名南製作所		伊藤誠一	開発部
24.		株式会社 名南製作所		小田博茂	営業部
25.		株式会社 太平製作所		齋藤 武	代表取締役社長
26.		株式会社 太平製作所		青木正和	営業部
27.		メツァ・ウッド (Metsa Wood)		田邊公彰	ケルトLVL部門 日本連絡役
28.		橋本電機工業株式会社		船瀬正裕	
29.		橋本電機工業株式会社		鈴木克巳	
30.		石巻合板工業株式会社		阿部勝浩	製造部管理チーム 次長
31.		石巻合板工業株式会社		野田和成	企画課 課長
	オブザーバー				
32.		林野庁木材産業課		齋藤 平	木材製品調査班 企画調整係長
33.		林野庁木材産業課		立花紀之	木材専門官
34.		木構造振興株式会社		平原章雄	常務取締役
35.		農林水産消費安全技術センター		山内一浩	規格検査部 商品調査課 専門調査官
	事務局				
36.		全国LVL協会		平沼孝太	事務局長
37.				李 元羽	技術部長
38.				成田敏基	技術課長
39.				崔 華暉	

## 2. 3 実施内容

2. 3. 1	国産広葉樹 LVL	P6
2. 3. 2	ハイブリッド LVL の製造と性能検証	P23
2. 3. 2. 1	製造	P23
2. 3. 2. 2	LVL ラミナの性能評価	P29
2. 3. 2. 2. 1	曲げ試験	P29
2. 3. 2. 2. 2	引張試験	P35
2. 3. 2. 2. 3	せん断試験	P39
2. 3. 2. 3	ハイブリッド LVL	P44
2. 3. 2. 3. 1	実大曲げ試験	P44
2. 3. 2. 3. 2	実大せん断試験	P52
2. 3. 2. 3. 3	接着性能試験	P57
2. 3. 2. 3. 3. 1	減圧加圧剥離試験	P57
2. 3. 2. 3. 3. 2	ブロックせん断試験	P60
2. 3. 2. 3. 3. 3	せん断強度試験	P63
2. 3. 2. 3. 4	曲げクリープ試験	P70

## 2. 3. 1 国産広葉樹 LVL

### 2. 3. 1. 1 広葉樹 LVL の製造

北海道におけるカンバ類の蓄積は 9200 万  $\text{m}^3$  であり<sup>1)</sup>、樹種別ではトドマツに次いで 2 番目に蓄積の多い樹種となっている。カンバ類に属する樹種（種名）としては、ウダイカンバ、ダケカンバ、シラカンバの 3 種があり、天然林（国有林）では、ダケカンバの蓄積が多いが、人工林（一般民有林）ではシラカンバが大半を占めている<sup>2)</sup>。昨年度は、シラカンバとダケカンバを用いて LVL の小型試験体を製造し基本性能を調査したが、今年度は、実際の生産ラインでシラカンバ LVL を製造し、原木から LVL までの生産性、歩留まり、強度等を調べた。

#### (1) シラカンバ丸太のヤング係数測定

北海道産シラカンバの原木は林産試験場により皮をむいて、打撃法によりヤング係数の測定を行った。また、長さ 2m における原木の曲がりの最大矢高を測定した。原木の様子を写真 2.3.1-1～2.3.1-2 に、原木の径や密度、動的ヤング係数等を表 2.3.1-1 に示す。また、打撃によるヤング係数測定の様子を写真 2.3.1-3 に示す。

原木の密度の平均は  $837 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ 、動的ヤング係数 ( $E_{tr}$ ) の平均は  $10.7 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$  となった。矢高の平均値は 34.8 mm となり、密度や動的ヤング係数に比べてばらつきが非常に大きかった。



写真 2.3.1-1 搬入されたシラカンバ原木（北見産）



写真 2.3.1-2 シラカンバ原木（北見産）



表 2.3.1-1 シラカンバ原木の概要

No.	長さ (mm)	元口径 (cm)	末口径 (cm)	平均径 (cm)	周波数 (Hz)	重量 (kg)	材積 (m <sup>3</sup> )	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	E <sub>fr</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	矢高 (mm)
平均値	2096	29.0	26.7	27.8	853.4	108.8	0.131	836.7	10.7	34.8
最大値	2327	46.3	38.3	41.7	979.0	237.7	0.282	946.2	14.9	95.0
最小値	1965	21.7	20.6	21.2	658.0	62.5	0.073	725.7	6.9	11.0
標準偏差	46.3	4.7	3.6	4.1	56.1	32.6	0.040	42.0	1.4	14.9
変動係数	2.2	16.3	13.4	14.7	6.6	30.0	31.0	5.0	13.2	42.8

※E<sub>fr</sub>: 動的ヤング係数



写真 2.3.1-3 打撃によるヤング係数測定の様子

## (2) シラカンバ LVL の製造

### 1) 単板の製造と材質測定

単板の製造は、株式会社キーテック（木更津工場）において実施した。樹種はシラカンバの1樹種とした。長さ2m の原木をベニヤレースで単板切削した後、ベニヤドライヤで乾燥させ、厚さ3.5mm、幅1260mm、長さ1975mm の単板を得た。製造した単板は690枚であった。単板の様子は写真2.3.1-4～2.3.1-17に示す。

単板はメトリガード（写真2.3.1-14）により超音波伝播速度測定を行った。単板のヤング係数分布を図2.3.1-1に、原木から単板までの歩留まりを表2.3.1-2に示す。



写真 2.3.1-4 皮剥きされたシラカンバ原木

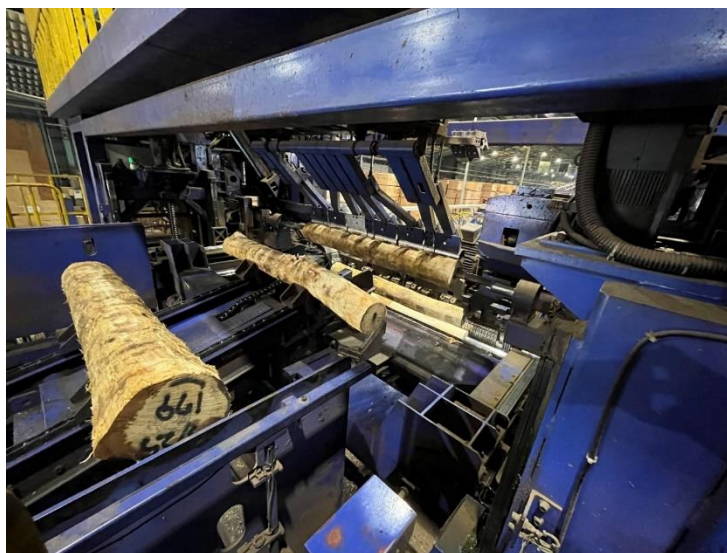


写真 2.3.1-5 ベニヤレースへの原木の搬入



写真 2.3.1-6 ベニヤレースによる単板切削

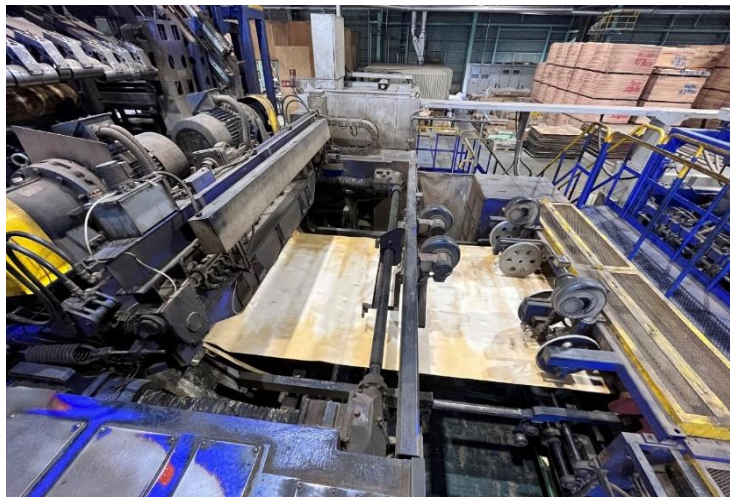


写真 2.3.1-7 ベニヤレースによる単板切削



写真 2.3.1-8 切削後の単板の搬送



写真 2.3.1-9 剥き芯 (φ60mm)



写真 2.3.1-10 シラカンバ単板 (厚 3.50mm)



写真 2.3.1-11 単板(6m<sup>3</sup>程度)



写真 2.3.1-12 乾燥機に投入



写真 2.3.1-13 乾燥された単板

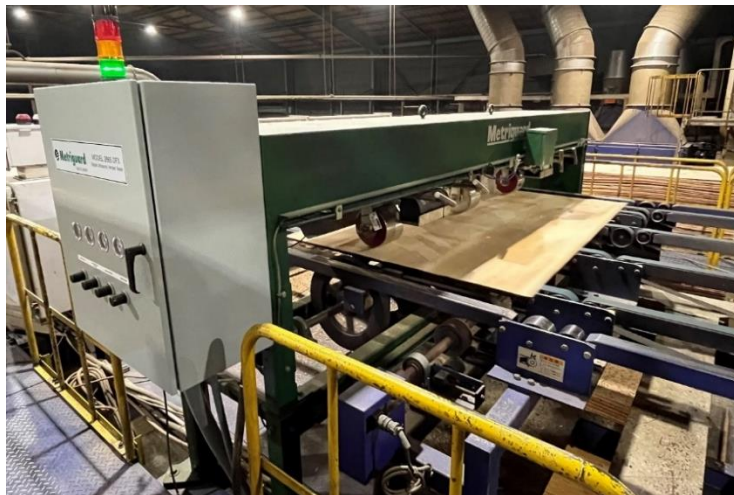


写真 2.3.1-14 含水率測定、メトリガードで超音波伝播速度測定



写真 2.3.1-15 画像データにより節等計測



写真 2.3.1-16 乾燥されたシラカンバ単板（幅 1260mm×長 1950mm）

表 2.3.1-2 原木から単板までの歩留まり

シラカンバ原木							
原木Ave.	270.7mm	本数	180本	21.38	m <sup>3</sup>	レース歩留まり	
単板切削	Long	3.5×1360×1978	869枚	8.18	m <sup>3</sup>	38.26%	
	Short	3.5×989×2000	972枚	6.73	m <sup>3</sup>	29.70%	
				14.91	m <sup>3</sup>	69.70%	
						原木から乾燥Long単板歩留まり	
乾燥	Long	3.5×1260×1975	690枚			28.10%	

# 単板ヤング係数分布

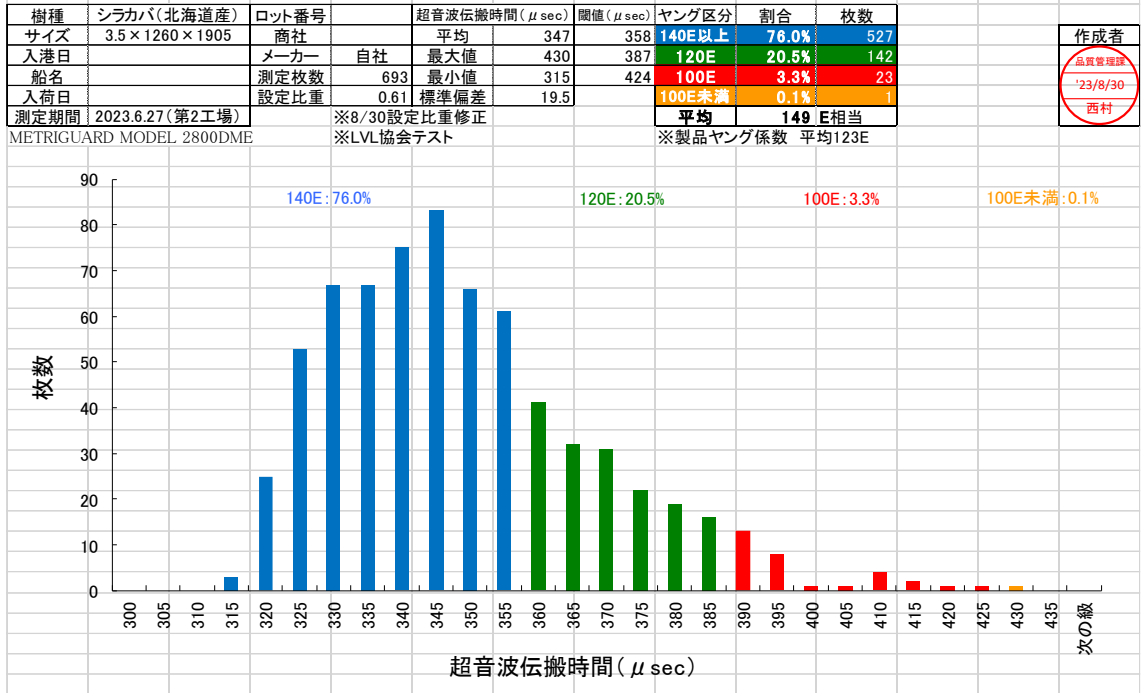


図 2.3.1-1 乾燥されたシラカンバ単板のヤング係数分布



写真 2.3.1-17 シラカンバ 単板画像

## 2) シラカンバ LVL の製造

乾燥されたシラカンバ単板より、長さ方向の木口にスカーフ加工を行い、厚さ 30mm×幅 1200mm×長さ 6000mm の LVL 製造を行った。LVL の製造工程を写真 2.3.1-18～2.3.1-31 に示す。

シラカンバ LVL の製造条件を下記に示す。

樹種：シラカンバ（北海道北見産）

単板：厚 3.5mm×10ply（構成厚 35.0mm）

単板の長さ方向の接合：スカーフジョイント

単板の長さ方向の接合部の間隔：150mm

接着剤：塗布量 260～270g/m<sup>2</sup>

塗布方式：シャワー方式（片面塗布）

接着工程：コールドプレス 0.7～1.0MPa、150 秒×6 回

ホットプレス 130℃、19 分、圧力 1.2MPa（ホット後仕上がり厚約 32.0mm、約 8.5%圧縮）

プレーナーにて厚さ 30.0mm 目標に仕上げ





写真 2. 3. 1-18 スカーフ加工前の単板



写真 2. 3. 1-19 スカーフジョイント加工（短辺斜めカット）

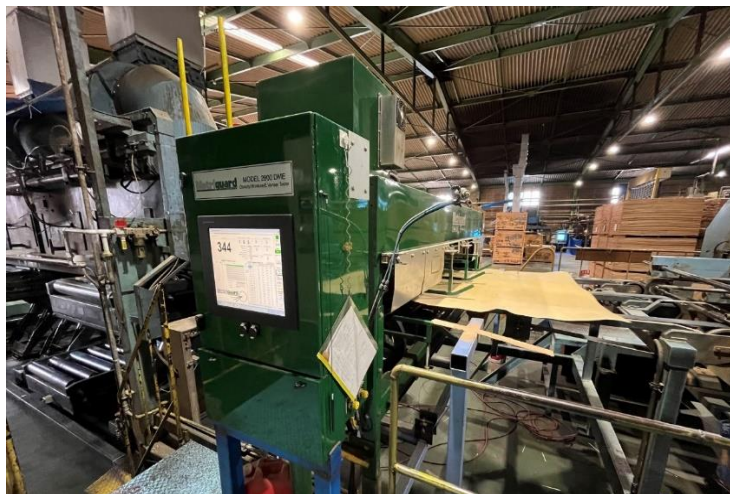


写真 2. 3. 1-20 メトリガードで超音波伝播速度計測



写真 2. 3. 1-21 スカーフ加工された単板



写真 2. 3. 1-22 スカーフ加工



写真 2. 3. 1-23 単板表面のピスフレック



写真 2.3.1-24 積層接着



写真 2.3.1-25 150mm ずつずらして積層 フェノール樹脂塗布



写真 2.3.1-26 コールドプレス



写真 2.3.1-27 ホットプレス圧縮後 (1.2MPa、130°C、19分)



写真 2.3.1-28 プレーナーで厚み規制したシラカンバ LVL

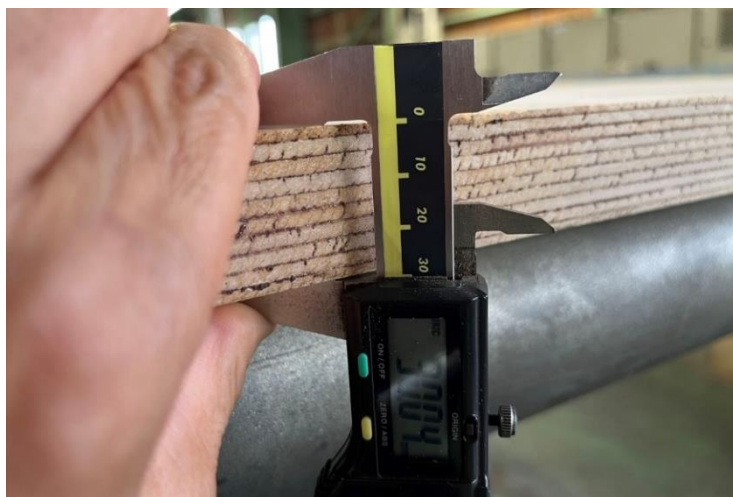


写真 2.3.1-29 熱圧後の厚さ測定 (約 30.0mm)



写真 2.3.1-30 板面の様子



写真 2.3.1-31 シラカンバ LVL 30mm×1200mm×長 6050mm 21 枚

### (3) シラカンバ LVL 小試験体の強度性能評価

シラカンバ LVL の大判から小試験体に切り出して、曲げ強度、ヤング係数、せん断強度等の性能を調べた。試験結果を表 2.3.1-3～2.3.1-4 に示す。試験結果に試験片の含水率による補正（標準含水率 10%に対し、含水率 1%につきヤング係数 1.5%、曲げ強さ、せん断強さ 3%）を行った。なお、試験体の密度の平均値は  $0.61\text{g/cm}^3$  であった。

表 2.3.1-3 曲げ試験・水平せん断試験結果（縦使い）

縦(V)方向 番号	含水補正前		含水補正後		補正前	補正後	含水率 (%)
	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強さ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強さ (N/mm <sup>2</sup> )	
111	11.3	67.5	11.0	64.7	7.9	7.6	8.6
112	11.9	69.9	11.6	67.0	8.2	7.9	8.9
121	12.1	78.2	11.8	74.9	7.4	7.1	8.2
122	12.3	82.0	12.1	78.6	6.8	6.5	8.3
211	11.3	71.5	11.0	68.6	8.4	8.1	8.9
212	11.5	66.9	11.3	64.1	7.9	7.5	8.6
221	12.5	80.0	12.2	76.6	7.8	7.5	8.4
222	11.7	75.9	11.4	72.7	7.9	7.5	8.7
311	12.2	80.3	12.0	77.4	6.9	6.7	8.8
312	11.9	76.1	11.7	73.4	7.5	7.2	8.9
321	11.9	73.3	11.7	70.7	7.3	7.1	9.1
322	11.4	67.9	11.2	65.4	7.2	6.9	9.4
411	12.4	79.6	12.2	76.8	7.4	7.2	8.4
412	12.5	75.0	12.3	72.3	7.4	7.1	8.7
421	11.3	68.6	11.1	66.2	7.3	7.1	9.1
422	11.7	73.5	11.5	70.8	8.0	7.7	9.2
511	12.4	78.7	12.2	75.8	7.2	6.9	8.1
512	12.0	73.1	11.8	70.5	7.8	7.5	8.3
521	11.6	70.9	11.4	68.3	7.8	7.5	8.3
522	12.1	70.3	11.9	67.8	7.3	7.0	8.6
611	11.9	77.4	11.6	74.6	7.7	7.4	8.2
612	11.7	77.7	11.5	74.9	6.8	6.5	8.2
621	11.2	63.3	11.0	61.0	7.7	7.5	8.5
622	11.7	77.2	11.5	74.4	8.2	7.9	8.6
711	11.3	67.5	11.1	65.1	7.9	7.6	8.6
712	11.9	69.9	11.6	67.4	8.2	7.9	8.9
721	12.1	78.2	11.8	75.4	7.4	7.1	8.2
722	12.3	82.0	12.1	79.1	6.8	6.5	8.3
811	11.3	71.5	11.1	69.0	8.4	8.1	8.9
812	11.5	66.9	11.3	64.5	7.9	7.6	8.6
821	12.5	80.0	12.3	77.1	7.8	7.6	8.4
822	11.7	75.9	11.5	73.1	7.9	7.6	8.7
平均値	11.8	74.0	11.6	71.2	7.6	7.3	8.6
最大値	12.5	82.0	12.3	79.1	8.4	8.1	9.4
最小値	11.2	63.3	11.0	61.0	6.8	6.5	8.1
標準偏差	0.41	5.12	0.40	4.93	0.46	0.44	0.33

表 2.3.1-4 曲げ試験・水平せん断試験結果（平使い）

平(V)方向 番号	含水補正前		含水補正後		補正前	補正後
	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強さ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強さ (N/mm <sup>2</sup> )
111	12.0	60.7	11.7	58.2	8.9	8.5
112	12.0	57.9	11.7	55.5	9.1	8.7
121	13.1	71.5	12.8	68.6	9.5	9.1
122	11.8	74.6	11.5	71.5	8.7	8.3
211	11.5	54.8	11.2	52.5	8.7	8.3
212	12.6	64.3	12.3	61.6	10.0	9.6
221	13.3	70.8	13.0	67.9	8.3	8.0
222	12.4	64.6	12.2	61.9	9.1	8.7
311	13.0	72.0	12.8	69.4	8.5	8.2
312	12.8	73.2	12.5	70.6	9.1	8.8
321	12.6	67.3	12.3	64.9	8.2	7.9
322	12.9	67.4	12.6	65.0	9.0	8.6
411	13.1	74.5	12.8	71.6	8.9	8.6
412	12.9	71.4	12.6	68.9	8.7	8.4
421	12.7	72.7	12.4	70.1	8.9	8.6
422	12.7	74.5	12.4	71.8	9.4	9.0
511	12.2	70.1	12.0	67.6	8.8	8.5
512	12.3	76.9	12.1	74.2	8.7	8.4
521	12.6	59.6	12.4	57.5	9.0	8.7
522	12.6	68.1	12.3	65.7	9.5	9.2
611	12.8	73.1	12.6	70.5	8.8	8.5
612	13.3	69.6	13.0	67.1	8.6	8.3
621	12.6	69.8	12.4	67.3	9.6	9.3
622	12.5	72.2	12.3	69.6	9.8	9.5
711	12.0	60.7	11.8	58.5	8.9	8.6
712	12.0	57.9	11.8	55.8	9.1	8.8
721	13.1	71.5	12.9	69.0	9.5	9.2
722	11.8	74.6	11.6	71.9	8.7	8.4
811	11.5	54.8	11.3	52.9	8.7	8.4
812	12.6	64.3	12.4	62.0	10.0	9.6
821	13.3	70.8	13.0	68.2	8.3	8.0
822	12.4	64.6	12.2	62.3	9.1	8.7
平均値	12.5	67.8	12.3	65.3	9.0	8.7
最大値	13.3	76.9	13.0	74.2	10.0	9.6
最小値	11.5	54.8	11.2	52.5	8.2	7.9
標準偏差	0.50	6.21	0.50	6.03	0.46	0.45

#### (4) まとめ

北海道産シラカンバの原木から LVL への生産を行った。原木から単板への歩留まりは原木 21m<sup>3</sup>に対して、乾燥単板 6m<sup>3</sup> (約 28%) であった。乾燥単板 (Long サイズ: 3.5×1260×1975mm) について、メトリガードによる超音波伝搬速度のデータにより、単板のヤング係数区分は 140E 以上が 76.0%、120~139E が 20.5%、100~119E が 3.3%、100E 未満が 0.1%であった。

単板から LVL への一次接着は無選別で接着し、シラカンバ LVL 小試験体の試験により、曲げ性能は「120E-450F<sub>HV</sub>」、せん断性能は「65V-55H」の区分に適合する結果であった。

以上のように、北海道産の広葉樹カンバ類は曲げ性能は単板無選別状態において「120E」の結果であった。単板のヤング係数で選別したもので構成すると、より高い曲げ性能が期待される。



## 2. 3. 2 ハイブリッド LVL の製造と性能検証

### 2. 3. 2. 1 製造

現状の LVL の生産設備を用いてハイブリッド LVL を製造する方法として、主に以下の 3 つの方法 (A 案～C 案) が考えられる (図 2. 3. 2. 1-1)。ここでは、一次接着した LVL を幅方向に切断したものを LVL ラミナと称する。

A 案：大判の LVL を小割して LVL ラミナのグレーディングを行い、集成材のように仕様のラミナを配置して二次接着する方法

B 案：JAS の等級区分に従って製造された大判の LVL 原板を小割して二次接着する方法

C 案：JAS の等級区分に従って製造された大判の LVL 原板を二次接着し、その後小割する方法

昨年度は、A 案に従ってハイブリッド LVL を製造したが、現状の LVL の生産ラインにおいて、LVL ラミナのヤング係数に基づいてラミナを配置することは難しいものと考えられる。そこで、今年度の試験では、上記の B 案と C 案を想定してハイブリッド LVL の試験体を製造した。すなわち、JAS の等級区分に従って製造された大判 LVL を小割して順番に子番号を付け、子番号が同じ LVL ラミナ同士を組み合わせることで LVL を構成した。

外層にはカラマツ LVL またはシラカンバ LVL、内層にはスギ LVL を用いた。カラマツ LVL およびシラカンバ LVL は株式会社キーテック (木更津工場)、スギ LVL は青森プライウッド株式会社において製造した。二次接着の際の LVL ラミナの積層数は、カラマツ - スギタイプは 10 プライおよび 4 プライ、シラカンバ - スギタイプは 4 プライのみとし、各条件 9 体製造した (図 2. 3. 2. 1-2)。積層数に占めるカラマツ LVL の割合は 10 プライでは 40% (外 2 層 + 内 6 層 + 外 2 層)、4 プライでは 50% (外 2 層 + 内 2 層) とした。一次接着はフェノール樹脂、二次接着はレゾルシノール樹脂を用いた。

製造したすべての LVL ラミナについて、打撃ヤング係数を測定した。作業の様子を写真 2. 3. 2. 1-1 に示す。LVL ラミナは幅 125mm、長さ 6000mm として母材原板から幅方向に 9 列採材した。厚さは、スギは 32mm (9ply)、カラマツおよびシラカンバは 30 mm (10ply) であった。使用した原板枚数は、スギで 22 枚、カラマツおよびシラカンバで各 12 枚であった。したがって、試験体数はスギで 198 枚、カラマツおよびシラカンバで各 108 枚であった。

試験方法は、試験体の寸法および重量、中央支持で一次縦共振周波数を測定し、以下の式により縦振動ヤング係数を算出した。

$$E_{fr} = (2fl)^2 \rho$$

ここで、 $E_{fr}$ ：縦振動ヤング係数、 $f$ ：一次縦共振周波数、 $l$ ：試験体長さ、 $\rho$ ：試験体密度  
密度および縦振動ヤング係数の結果を表 2. 3. 2. 1-1～2. 3. 2. 1-2 に示す。また、原板内での密度および縦振動ヤング係数の分布を図 2. 3. 2. 1-3～2. 3. 2. 1-8 に示す。密度については、スギおよびシラカンバで原板内のばらつきがカラマツと比較して小さかった。縦振動ヤング係数については、シラカンバで原板内のばらつきがスギおよびカラマツと比較して小さかった。

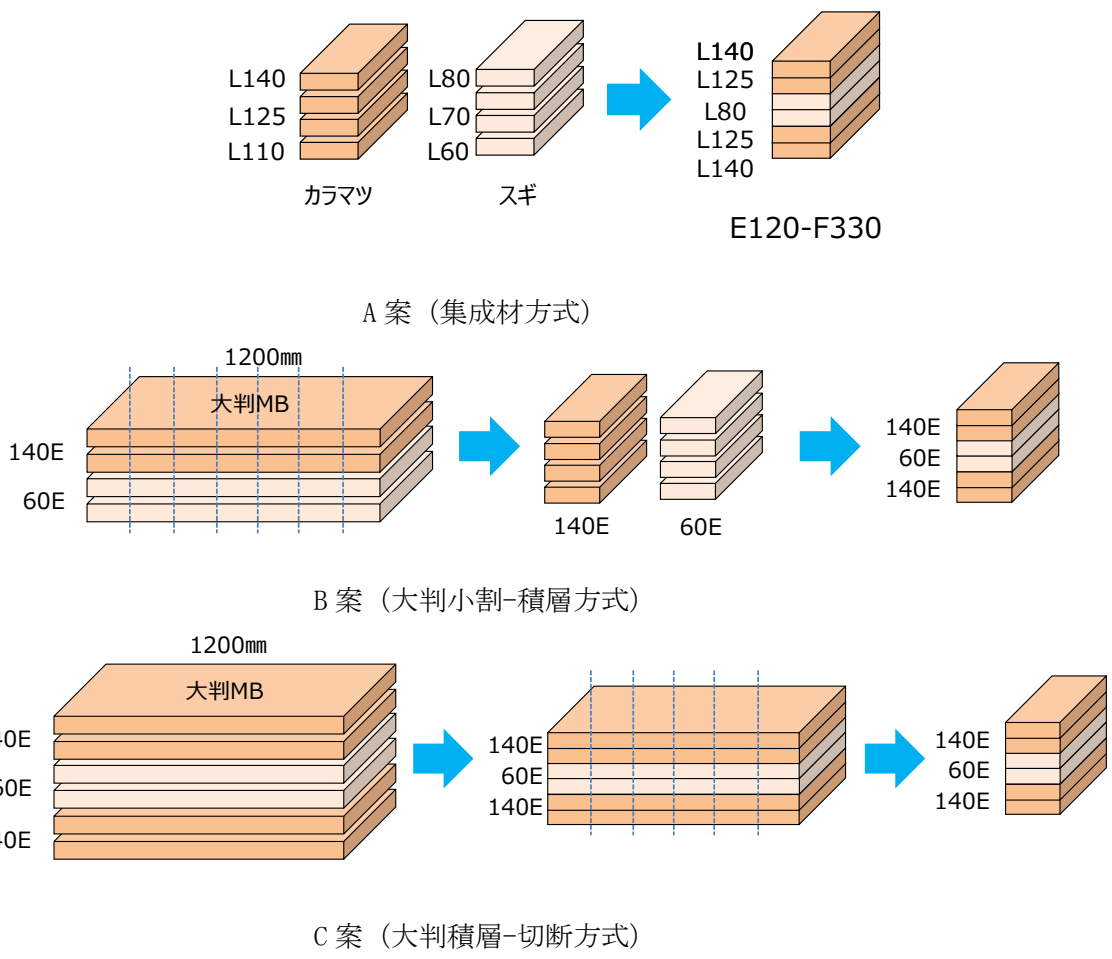


図 2.3.2.1-1 想定されるハイブリッド LVL の製造方法

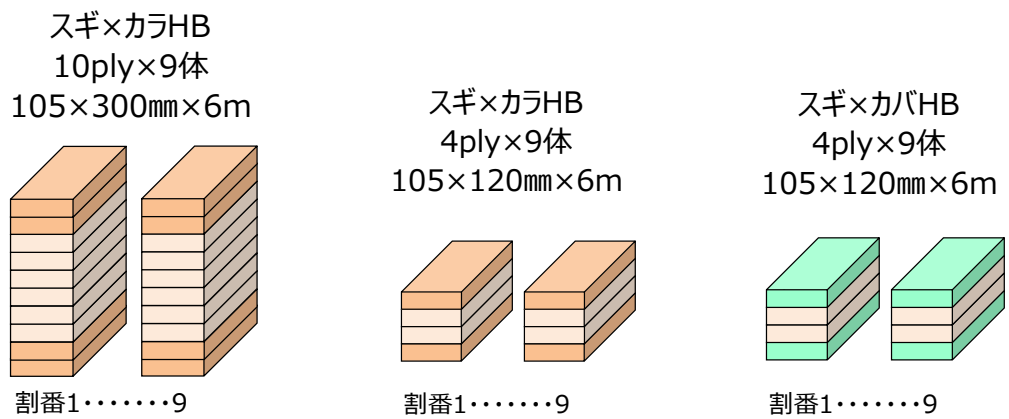
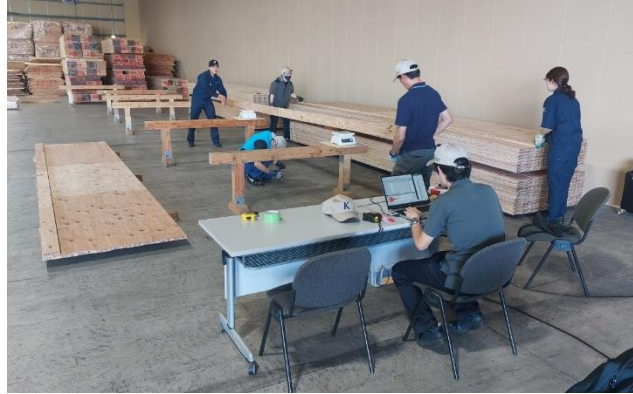


図 2.3.2.1-2 ハイブリッド LVL の構成

【LVL ラミナの打撃ヤング係数の測定】



【3 樹種のラミナ (母材ごとに管理)】



【ハイブリッド LVL の組合せ】

【プレス作業】



写真 2.3.2.1-1 ハイブリッド LVL の製造作業の様子

表 2.3.2.1-1 LVL ラミナの密度

	スギ	カラマツ	シラカンバ
枚数	198	108	108
最大値 (kg/m <sup>3</sup> )	447	654	625
平均値 (kg/m <sup>3</sup> )	429	623	609
最小値 (kg/m <sup>3</sup> )	408	587	591
標準偏差 (kg/m <sup>3</sup> )	7	15	8
変動係数	1.7%	2.5%	1.3%

表 2.3.2.1-2 LVL ラミナの縦振動ヤング係数

	スギ	カラマツ	シラカンバ
枚数	198	108	108
最大値 (kN/mm <sup>2</sup> )	10.95	14.99	14.23
平均値 (kN/mm <sup>2</sup> )	9.15	13.51	13.68
最小値 (kN/mm <sup>2</sup> )	7.78	11.88	12.51
標準偏差 (kN/mm <sup>2</sup> )	0.55	0.72	0.38
変動係数	6.1%	5.3%	2.8%

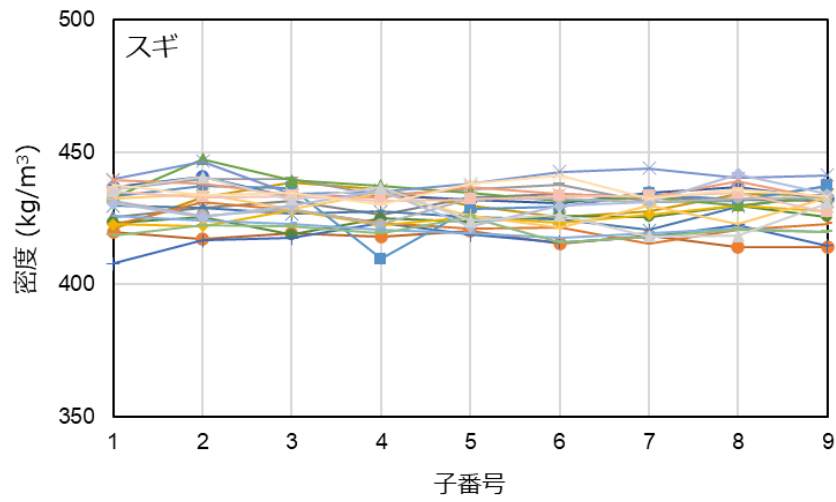


図 2.3.2.1-3 原板内の LVL ラミナの密度 (スギ)

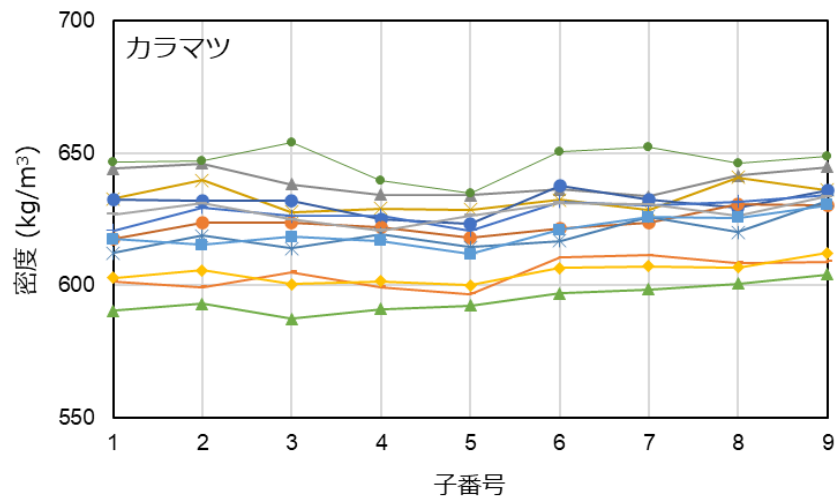


図 2.3.2.1-4 原板内の LVL ラミナの密度 (カラマツ)

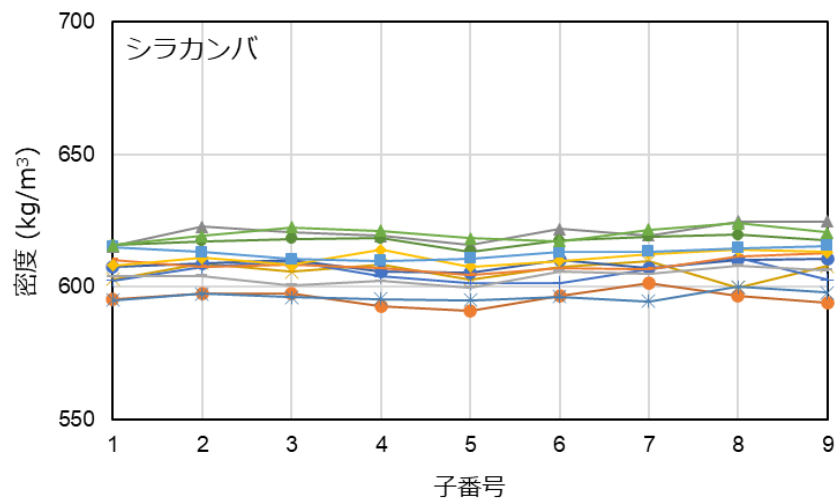


図 2.3.2.1-5 原板内の LVL ラミナの密度 (シラカンバ)

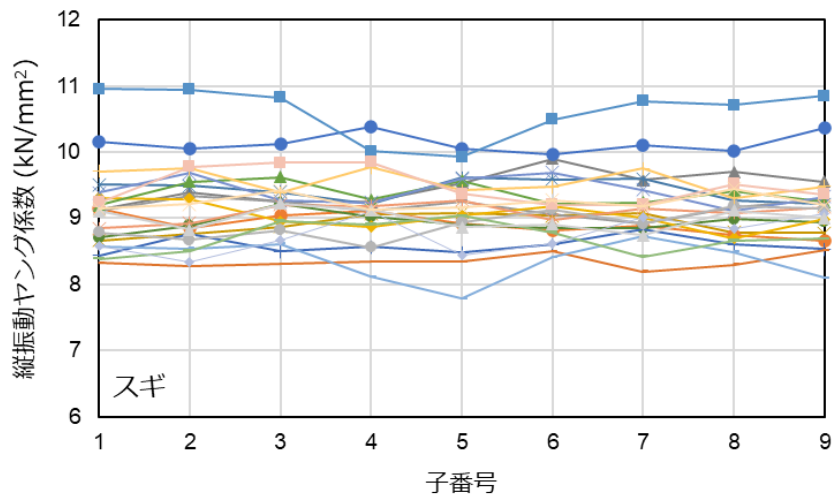


図 2.3.2.1-6 原板内の LVL ラミナの縦振動ヤング係数 (スギ)

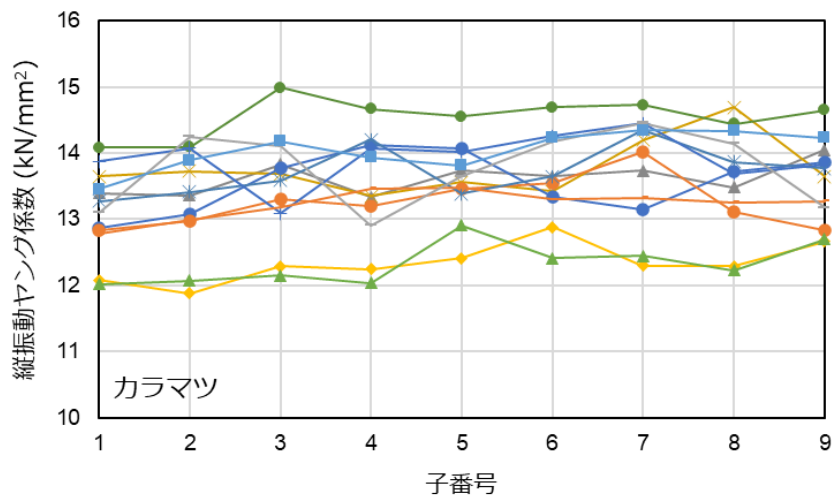


図 2.3.2.1-7 原板内の LVL ラミナの縦振動ヤング係数 (カラマツ)

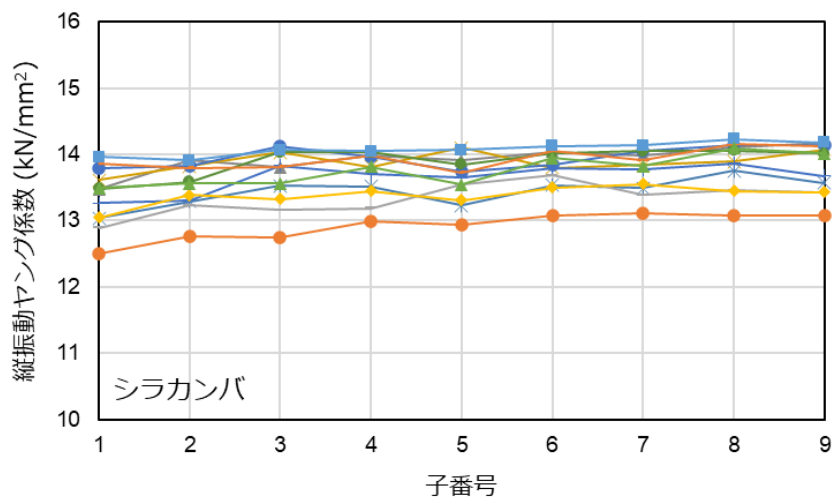


図 2.3.2.1-8 原板内の LVL ラミナの縦振動ヤング係数 (シラカンバ)

## 2. 3. 2. 2 LVL ラミナの性能評価

製造した LVL 原板 6 枚から、ラミナを幅方向に 9 列採材し（幅 105mm）、引張試験体、曲げ試験体（平使いおよび縦使い）、水平せん断試験体（平使いおよび縦使い）、圧縮試験体を採用した。各試験体の採取位置を図 2. 3. 2. 2-1 に示す。

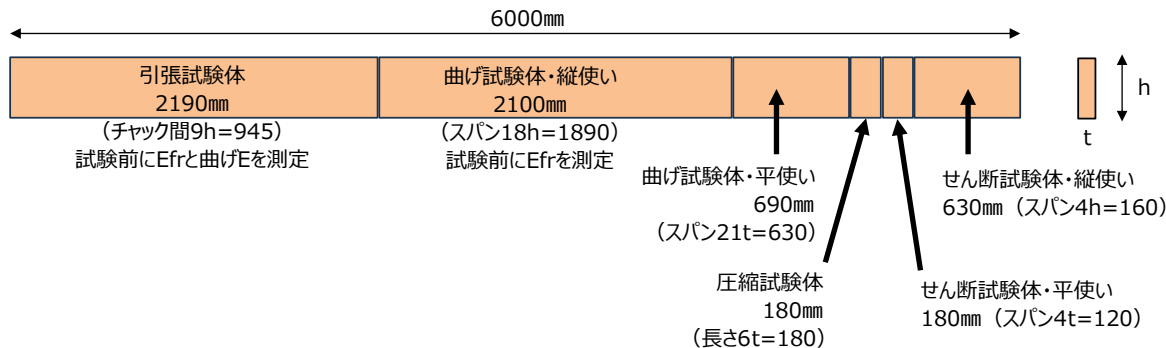


図 2. 3. 2. 2-1 各試験体の採取位置

### 2. 3. 2. 2. 1 曲げ試験

#### (1) 試験体および試験方法

製造した LVL ラミナについて、平使いおよび縦使い方向の曲げ試験を実施した。試験体寸法は、平使い方向が 30×105×690mm、縦使い方向が 30×105×2100mm とし、試験体数は各樹種 54 体とした。曲げ試験は、平使い方向は、スパンを厚さの 21 倍 (630mm) とした 3 等分点 4 点曲げ方式、縦使い方向は、スパンを梁せいの 18 倍 (1890mm) とした 4 点曲げ方式で実施した。試験機には、エー・アンド・デイ製テンシロン (RTD-2410: 最大荷重容量 100kN) を用いた。曲げ試験の様子を写真 2. 3. 2. 2. 1-1 に示す。クロスヘッド移動速度は平使いが 3mm/min、縦使いが 7mm/min とした。材長中央部下面にてレーザー変位計を用いて全たわみ ( $\delta_t$ ) を測定した。以下の式により見かけの曲げヤング係数 ( $E_m$ ) および曲げ強度 ( $\sigma_b$ ) を算出した。試験終了後、全乾法により含水率を測定した。

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_t}$$

$$\sigma_b = \frac{3aP_{\max}}{bh^2}$$

ここで、 $a$ : 支点から荷重点までの距離 (平使い 210 mm、縦使い 735 mm)、 $L$ : 支点間スパン (平使い 630mm、縦使い 1890 mm)、 $\Delta P$ : 比例域における上限荷重と下限荷重の差、 $b$ : 試験体幅、 $h$ : 試験体材せい、 $\delta_t$ :  $\Delta P$  に対応する支点間たわみ、 $l$ : 荷重点間中央変位測定区間、 $P_{\max}$ : 最大荷重

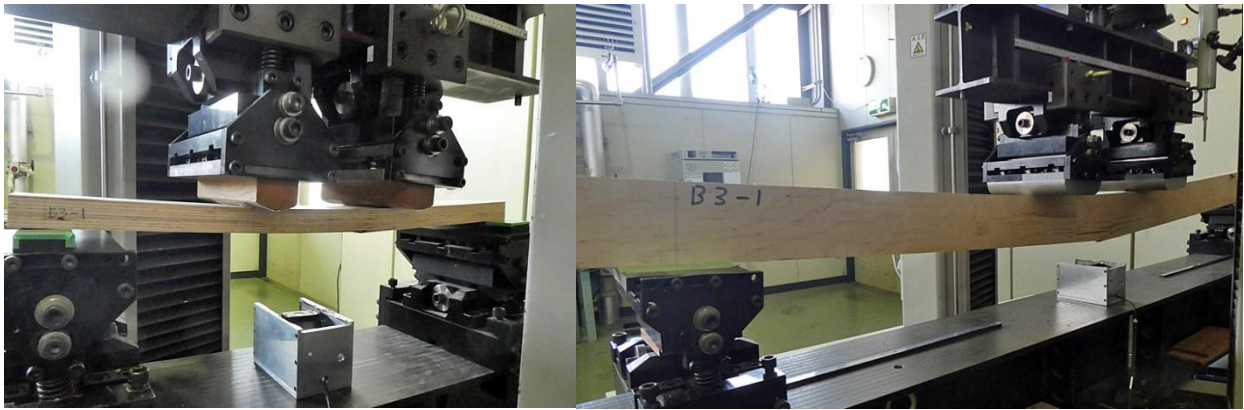


写真 2.3.2.2.1-1 LVL の曲げ試験の様子（左：平使い、右：縦使い）

## （２） 試験結果

LVL の曲げ試験結果を表 2.3.2.2.1-1 に示す。また、密度とヤング係数の関係を図 2.3.2.2.1-1 に、密度と曲げ強さの関係を図 2.3.2.2.1-2 に、平使いの破壊形態の事例を写真 2.3.2.2.1-2 に示す。

平使いの曲げヤング係数の平均値は、スギ 8.9 (kN/mm<sup>2</sup>)、カラマツ 13.5 (kN/mm<sup>2</sup>)、シラカンバ 13.3 (kN/mm<sup>2</sup>) となり、カラマツとシラカンバが同程度の値となった。密度とヤング係数の関係には高い相関が認められた。一方、平使いの曲げ強さの平均値は、スギ 43.0 (N/mm<sup>2</sup>)、カラマツ 58.6 (N/mm<sup>2</sup>)、シラカンバ 82.0 (N/mm<sup>2</sup>) となり、カラマツよりもシラカンバの方が約 4 割高い値が得られた。縦使いの曲げヤング係数の平均値は、スギ 8.5 (kN/mm<sup>2</sup>)、カラマツ 12.6 (kN/mm<sup>2</sup>)、シラカンバ 12.7 (kN/mm<sup>2</sup>) となり、カラマツとシラカンバが同程度であった。縦使いの曲げ強さについても、カラマツよりもシラカンバが約 4 割高い値が得られ、平使いとほぼ同様の傾向が認められた。

曲げ試験時の荷重-変位曲線の事例を図 2.3.2.2.1-3 に示す。スギやカラマツにおいては、脆性的な破壊を示したが、シラカンバでは弾性域を過ぎても直ぐには破壊せず、比較的塑性域のある曲線となった。特に、平使いよりも縦使いにおいてこのような傾向が顕著であった。

本試験方法は、LVL の JAS による曲げ試験の評価方法とはやや異なるが、本試験結果を JAS の基準に当てはめると、スギが「80E-300F<sub>HV</sub>」、カラマツが「120E-385F<sub>HV</sub>」、シラカンバが「120E-450F<sub>HV</sub>」の区分に適合する結果となった。シラカンバについては、2.1 における JAS の曲げ試験結果と同じ等級となった。なお、2.1 における JAS の曲げ試験評価と同様に含水率補正を行った場合についても表 2.3.2.2.1-1 に併記したが、各樹種のせん断強さの JAS の区分は、上記の結果と同じであった。



表 2.3.2.2.1-1 LVL ラミナの曲げ試験結果

方向	樹種		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	含水率 (%)	ヤング係数 <sup>※1</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ <sup>※2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
平使い	スギ	Ave	444	8.93	43.0	9.7	8.90	42.6
		Max	484	10.21	57.1	10.4	10.09	56.7
		Min	422	7.31	31.8	9.1	7.24	31.0
		CV	2.8	8.9	14.7	3.5	9.0	15.0
	カラマツ	Ave	617	13.48	58.6	8.3	13.14	55.7
		Max	654	15.26	79.5	9.1	14.82	76.9
		Min	576	11.28	44.0	7.7	10.98	41.6
		CV	3.3	6.4	12.6	4.4	6.5	12.7
	シラカンバ	Ave	607	13.32	82.0	8.2	12.96	77.6
		Max	624	14.43	100.2	8.5	14.03	94.2
		Min	585	11.87	59.8	7.9	11.61	57.2
		CV	1.5	4.1	12.2	2.5	4.0	12.0
縦使い	スギ	Ave	432	8.49	36.6	10.3	8.53	37.0
		Max	452	9.40	48.9	11.3	9.36	48.3
		Min	412	7.13	27.8	9.1	7.17	28.6
		CV	2.6	6.5	11.1	6.7	5.9	10.2
	カラマツ	Ave	608	12.61	53.9	8.6	12.33	51.6
		Max	656	14.44	66.5	9.7	14.01	63.5
		Min	63	10.96	40.2	7.7	10.72	38.2
		CV	12.9	7.3	11.7	6.3	6.8	10.9
	シラカンバ	Ave	610	12.66	74.2	8.4	12.35	70.6
		Max	631	13.44	84.0	8.9	13.16	79.7
		Min	588	11.44	58.6	7.7	11.15	55.6
		CV	1.9	3.9	7.2	3.0	4.0	7.2

Ave：平均値、Max：最大値、Min：最小値、CV：変動係数

※1：含水率補正後（標準含水率10%に対し、含水率1%あたり1.5%）

※2：含水率補正後（標準含水率10%に対し、含水率1%あたり3.0%）

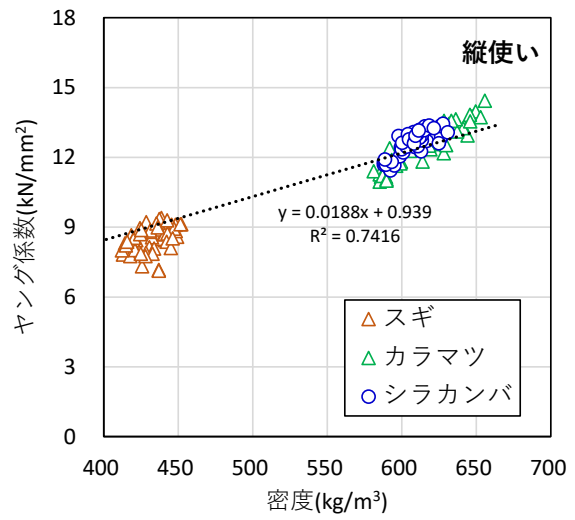
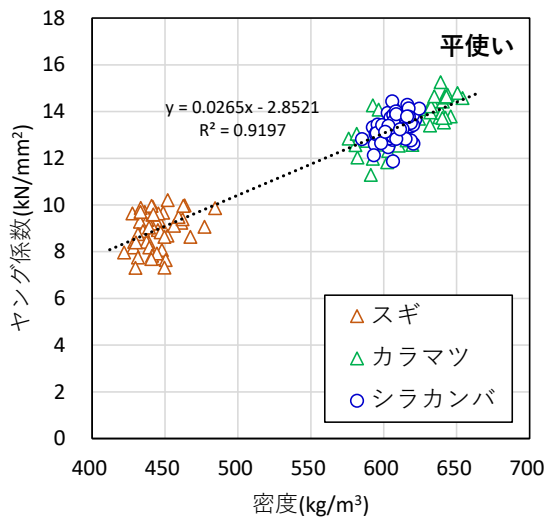


図 2.3.2.2.1-1 LVL の密度とヤング係数の関係

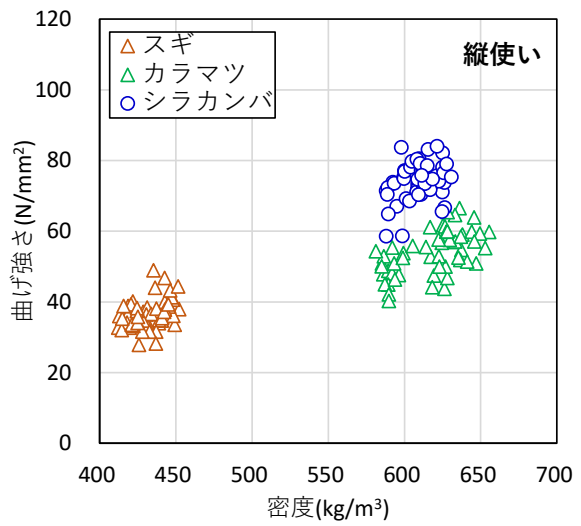
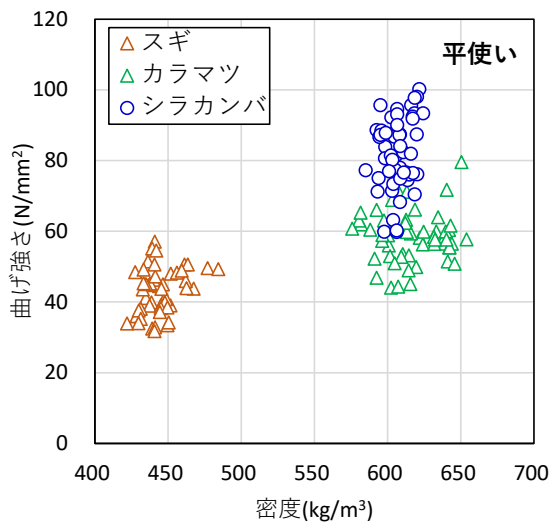


図 2.3.2.2.1-2 LVL ラミナの密度と曲げ強さの関係

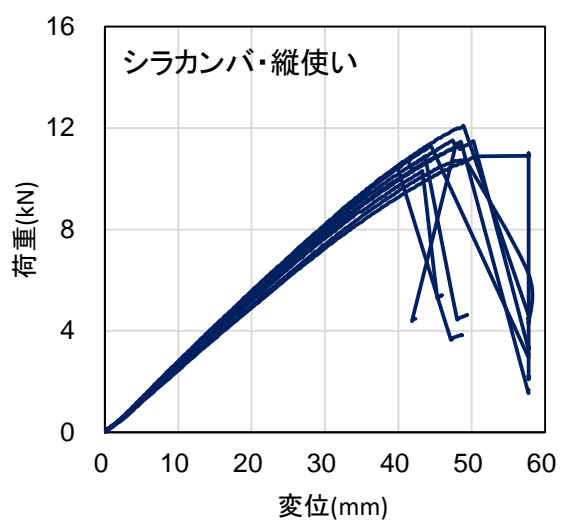
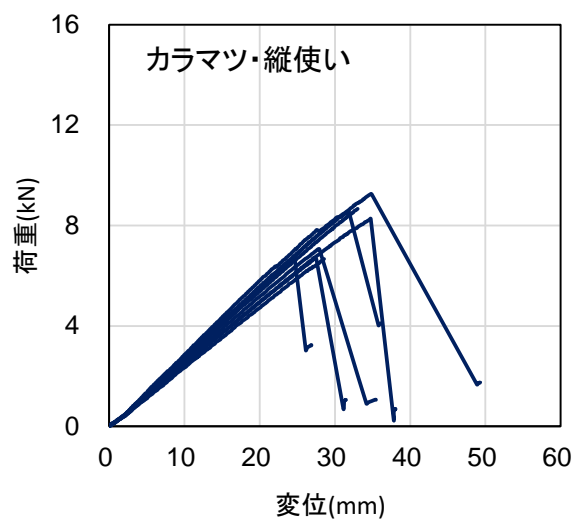
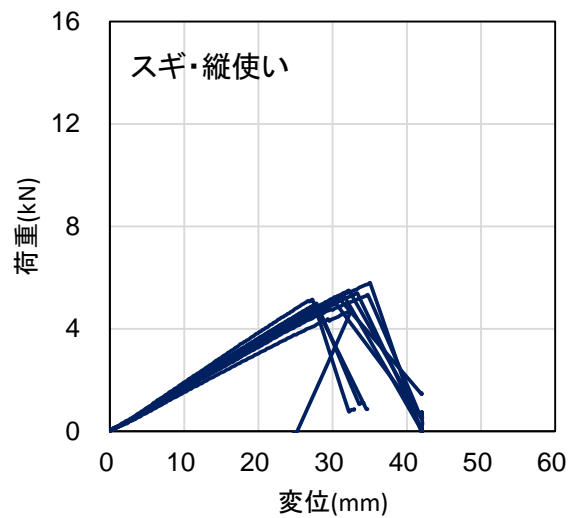
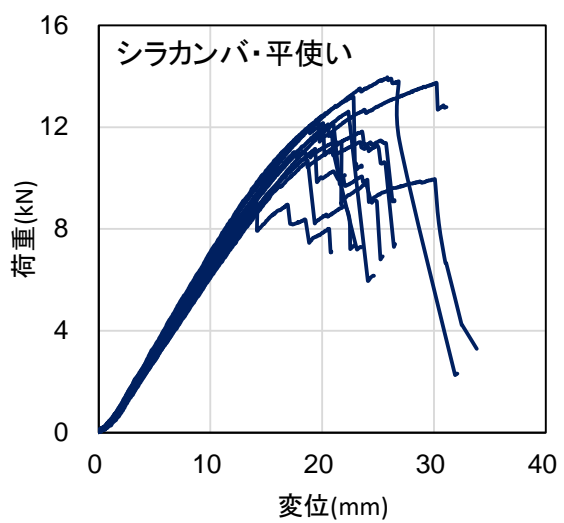
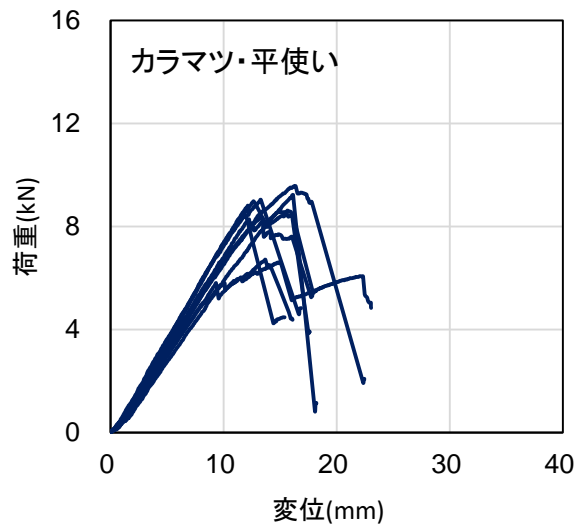
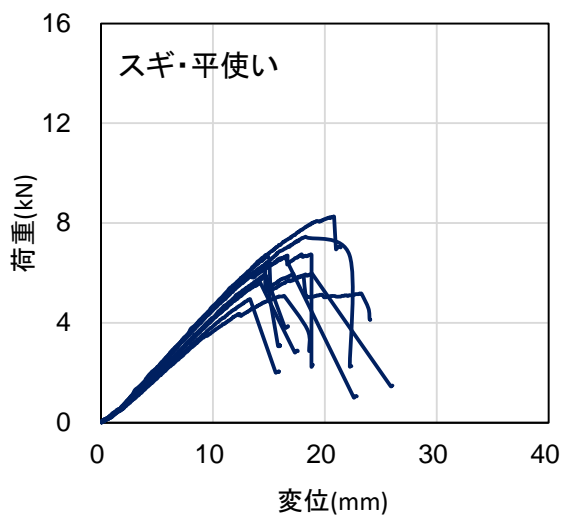


図 2.3.2.2.1-3 曲げ試験時の荷重-変位曲線の事例

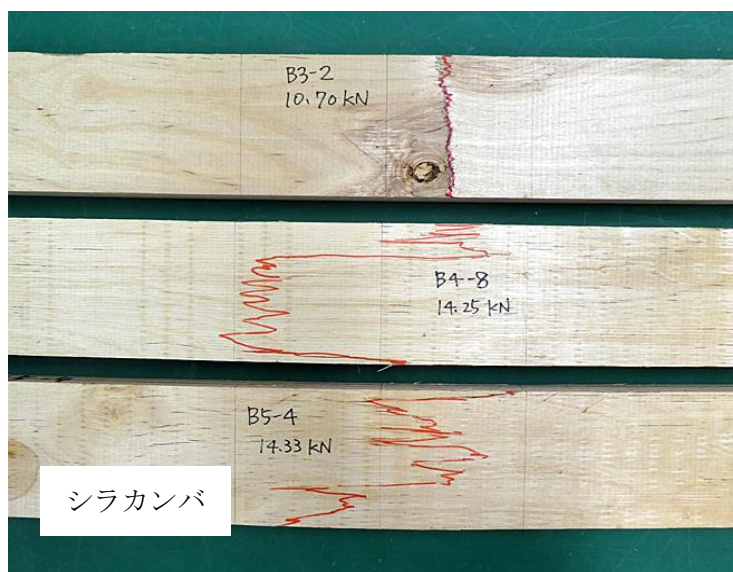
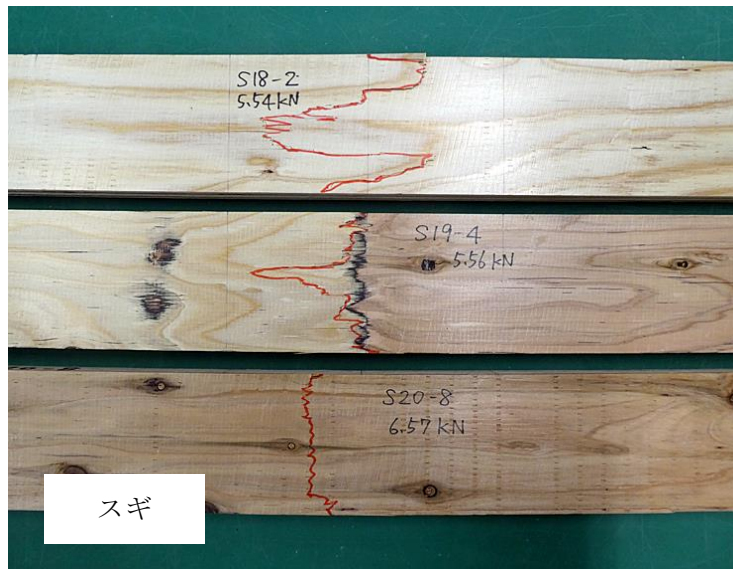


写真 2.3.2.2.1-2 LVL ラミナの曲げ試験時の破壊形態の例 (平使い)

## 2. 3. 2. 2. 2 引張試験

### (1) 試験体および試験方法

引張試験体について、引張試験の実施前に、縦振動法および重錘载荷によるヤング係数の測定を行い、動的ヤング係数 ( $E_{tr}$ ) および静的ヤング係数 ( $E_b$ ) を求めた。試験体寸法は、30×105×2190mm とし、試験体数は各樹種 54 体とした。重錘による曲げ試験のスペンは 2040mm とし、中央部に 122.8N の荷重をかけた時のたわみ量から静的ヤング係数を算出した。

引張試験は、長野県林業総合センター所有の飯田機械工業製 NET-501 を使用し、「構造用木材の強度試験マニュアル」<sup>3)</sup>に従って実施した。試験の様子を写真 2.3.2.2.2-1 に示す。試験開始から最大荷重に達するまでの時間は 2～3 分程度となるように引張速度を調整した。得られた最大荷重から以下の式により引張強度を算出した。

$$F_t = \frac{P_{\max}}{A}$$

ここで、 $F_t$  : 引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $P_{\max}$  : 最大荷重 (N)、 $A$  : 試験体の断面積 (mm<sup>2</sup>)



写真 2.3.2.2.2-1 LVL の引張試験の様子

## (2) 試験結果

LVL ラミナの引張試験結果を表 2.3.2.2.2-1 に示す。密度と引張強度の関係を図 2.3.2.2.2-1 に、 $E_{fr}$  と引張強度の関係を図 2.3.2.2.2-2 に示す。また、各樹種の代表的な破壊の様子を写真 2.3.2.2.2-2 に示す。

LVL の  $E_{fr}$  と引張強度の間には高い相関が認められた。各 LVL の引張強度の平均値は、スギで 27.7(N/mm<sup>2</sup>)、カラマツで 39.6 (N/mm<sup>2</sup>)、シラカンバで 55.6(N/mm<sup>2</sup>)となった。今回得られたスギとカラマツの引張強度は、既往の研究<sup>4)</sup>における LVL の引張強度 (スギ：28.8(N/mm<sup>2</sup>)、カラマツ 42.9(N/mm<sup>2</sup>)) と大差はなかった。

また、「構造用木材の強度試験マニュアル」<sup>3)</sup>では、縦引張強度の寸法による調整は、次式の  $k_1$  を乗じて標準寸法が 150mm の時の値に調整されている。

$$k_1 = \left(\frac{h_t}{h_s}\right)^{0.2}$$

ここで、 $h_t$ ：試験体断面の長辺、 $h_s$ ：標準寸法(150mm)

本試験結果に  $k_1$  を乗じた引張強度を表 2.3.2.2.2-1 に併せて示す。製材における既往のデータ<sup>5)</sup>では、寸法調整後の引張強度の平均値は、スギが 27.7(N/mm<sup>2</sup>)、カラマツが 26.5(N/mm<sup>2</sup>)となっており、スギではこの結果と同等であり、カラマツは本試験の結果の方がやや高い値が得られた。

表 2.3.2.2.2-1 LVL ラミナの引張試験結果

樹種		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (寸法調整後) (N/mm <sup>2</sup> )	$E_{fr}$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$E_b$ (kN/mm <sup>2</sup> )
スギ	Ave	432	27.72	25.81	9.25	10.25
	Max	444	35.83	33.37	10.11	12.25
	Min	417	19.80	18.43	7.86	8.57
	CV(%)	1.7	14.5	14.5	5.9	10.2
カラマツ	Ave	621	39.60	36.88	13.86	14.41
	Max	664	50.92	47.41	15.40	16.84
	Min	583	30.04	27.97	12.03	11.82
	CV(%)	3.15	11.3	11.3	6.2	8.0
シラカンバ	Ave	609	55.55	51.72	13.97	14.99
	Max	625	65.62	61.10	15.25	16.59
	Min	592	40.53	37.74	12.92	13.43
	CV(%)	1.3	13.2	13.2	4.0	5.02

$E_{fr}$ ：動的ヤング係数、 $E_b$ ：静的ヤング係数、

Ave：平均値、Max：最大値、Min：最小値、CV：変動係数

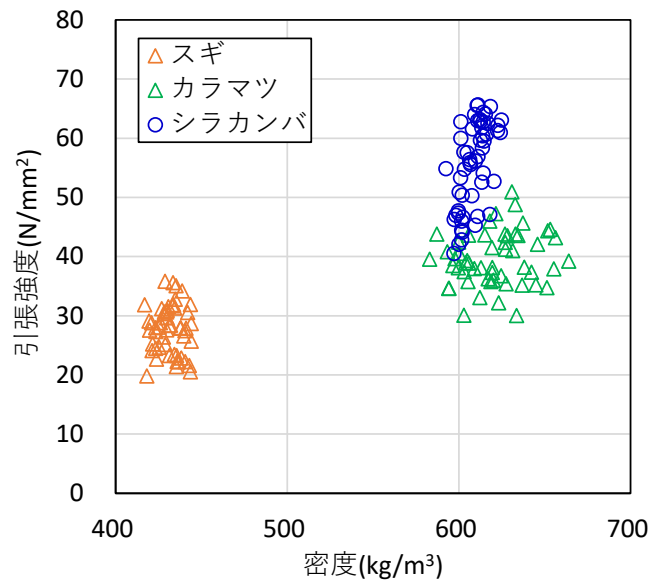


図 2.3.2.2.2-1 LVL ラミナの密度と引張強度の関係

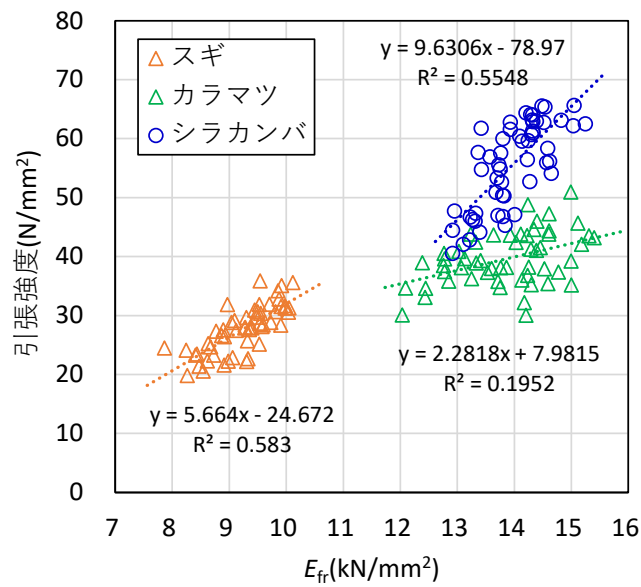


図 2.3.2.2.2-2 LVL ラミナの  $E_{fr}$  と引張強度の関係

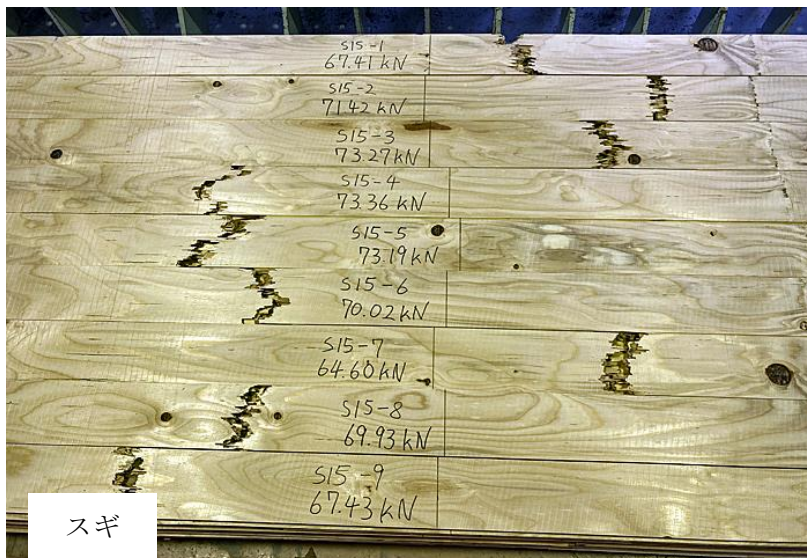


写真 2.3.2.2.2-2 LVL ラミナの引張試験時の破壊形態の事例



## 2. 3. 2. 2. 3 ラミナせん断試験

### (1) 試験体および試験方法

製造した LVL ラミナについて、平使いおよび縦使い方向の水平せん断試験を実施した。試験体寸法は、平使い方向が 30×105×180mm、縦使い方向が 30×40×240mm とし、試験体数は各樹種 54 体とした。試験は、スパンを厚さの 4 倍（平使い 120mm、縦使い 160mm）とし、中央集中荷重方式で実施し、以下の式によりせん断強さを算出した。

$$\tau = \frac{3P_{\max}}{4bh}$$

ここで、 $\tau$  (N/mm<sup>2</sup>)：せん断強さ、 $b$ (mm)：試験体の幅、 $h$ (mm)：試験体の厚さ、 $P_{\max}$ (N)：最大荷重である。水平せん断試験の様子を写真 2.3.2.2.3-1 に示す。試験終了後、絶乾法により含水率を測定した。



写真 2.3.2.2.3-1 LVL の水平せん断試験の様子（左：平使い、右：縦使い）

### (2) 試験結果

LVL のせん断試験結果を表 2.3.2.2.3-1 に示す。また、密度とせん断強さの関係を図 2.3.2.2.3-1 に示す。表 2.3.2.2.3-1 には 2.1 における JAS のせん断試験と同様に、含水率補正を行った場合のせん断強さについても併記した。また、試験時の破壊形態の事例を写真 2.3.2.2.3-2～2.3.2.2.3-3 に、試験時の荷重-変位曲線の事例を図 2.3.2.2.3-2 に示す。

平使いにおいては、せん断強さの平均値はスギが 5.5 (N/mm<sup>2</sup>)、カラマツが 8.4 (N/mm<sup>2</sup>)、シラカンバが 10.7 (N/mm<sup>2</sup>)となり、カラマツよりもシラカンバのせん断強さが約 3 割高くなった。一方、縦使いにおいては、せん断強さの平均値はスギが 5.7 (N/mm<sup>2</sup>)、カラマツが 8.6 (N/mm<sup>2</sup>)、シラカンバが 7.8 (N/mm<sup>2</sup>)となり、シラカンバよりもカラマツのせん断強さがやや高くなり、平使いとは異なる傾向を示した。破壊形態は、平使いでは、全体的にせん断破壊の割合が高くなったが、縦使いでは相対的に曲げ破壊の割合が高く、シラカンバにおいてはすべて曲げ破壊となった。

表 2.3.2.2.3-1 LVL ラミナの水平せん断試験結果

方向	樹種		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	せん断強さ (N/mm <sup>2</sup> )	破壊形態 (S/B)	含水率 (%)	せん断強さ <sup>※1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
平使い	スギ	Ave	440	5.47	(44/10)	10.3	5.52
		Max	469	6.44		10.9	6.50
		Min	421	4.22		9.3	4.27
		CV	2.7	9.4		4.3	9.7
	カラマツ	Ave	622	8.42	(40/14)	8.6	8.06
		Max	658	9.55		9.6	9.04
		Min	568	7.34		7.7	6.98
		CV	3.7	5.6		5.3	5.9
	シラカンバ	Ave	612	10.72	(51/3)	8.2	10.15
		Max	639	12.24		9.2	11.35
		Min	587	8.98		7.5	8.52
		CV	1.8	5.8		5.2	5.8
縦使い	スギ	Ave	430	5.70	(25/29)	10.4	5.77
		Max	474	6.43		11.2	6.53
		Min	389	4.69		9.6	4.79
		CV	3.9	7.7		4.0	7.4
	カラマツ	Ave	622	8.59	(26/25)	9.0	8.34
		Max	691	9.85		10.0	9.47
		Min	572	6.23		8.4	6.08
		CV	3.8	8.6		5.1	8.6
	シラカンバ	Ave	608	7.82	(0/54)	8.3	7.42
		Max	629	9.45		8.8	8.85
		Min	580	6.79		7.5	6.49
		CV	1.9	6.8		4.7	6.2

Ave：平均値、Max：最大値、Min：最小値、CV：変動係数

S：せん断破壊、B：曲げ破壊

※1：含水率補正後（標準含水率10%に対し、含水率1%あたり3.0%）

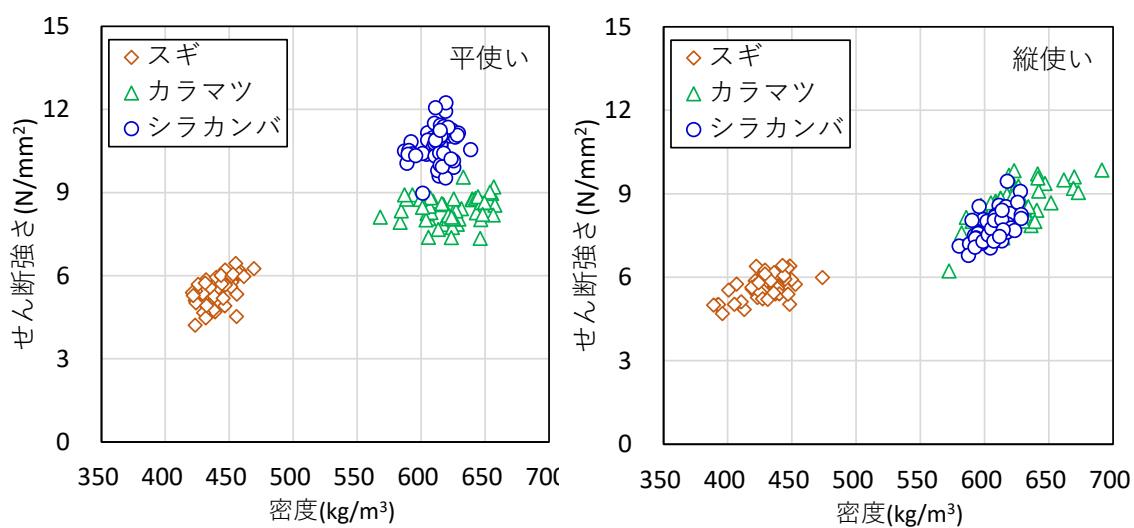


図 2.3.2.2.3-1 密度とせん断強さの関係（左：平使い、右：縦使い）

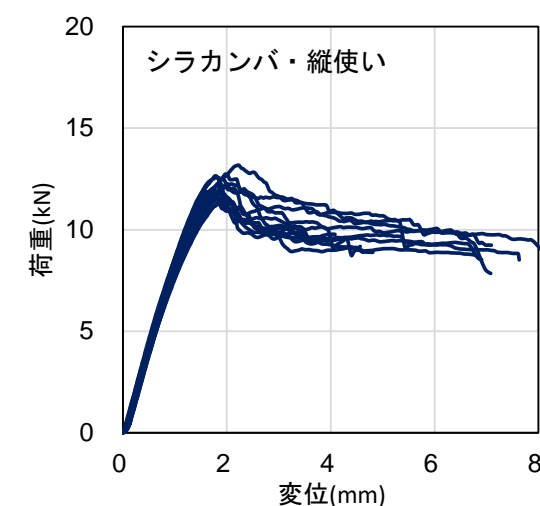
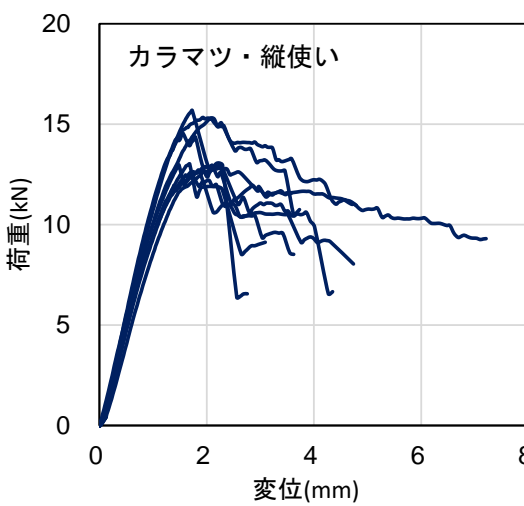
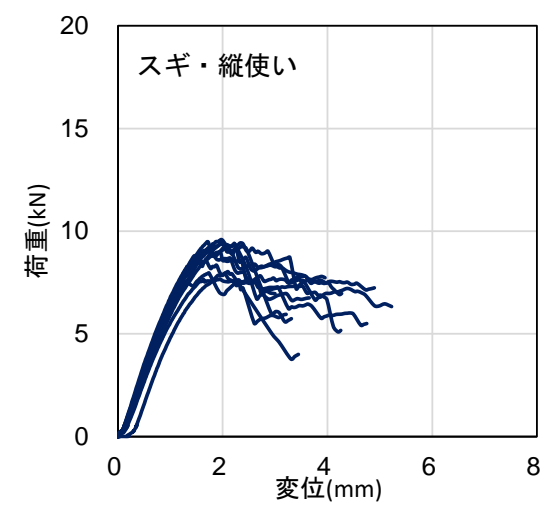
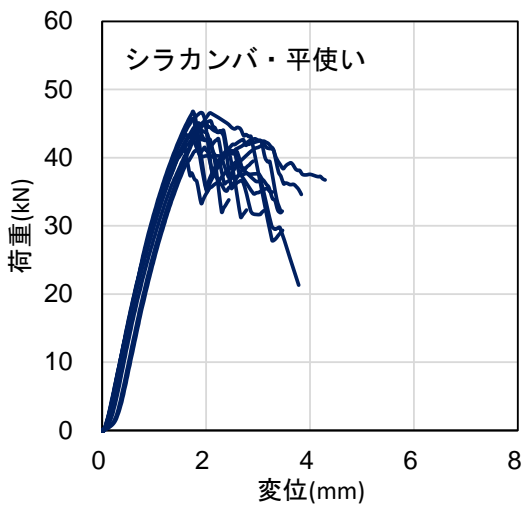
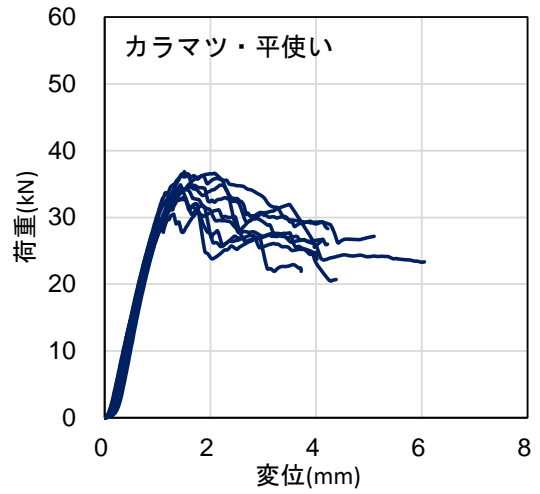
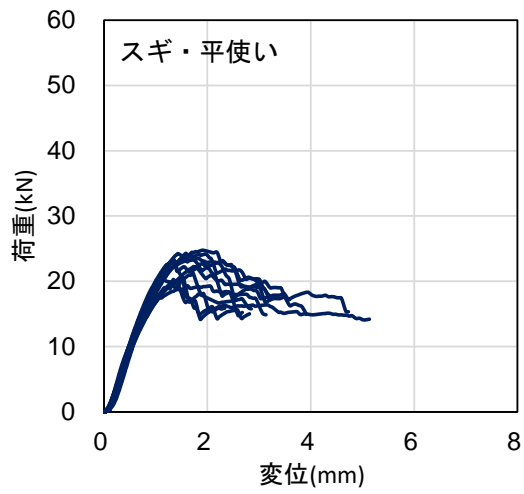


図 2.3.2.2.3-2 水平せん断試験時の荷重 - 変位曲線の事例

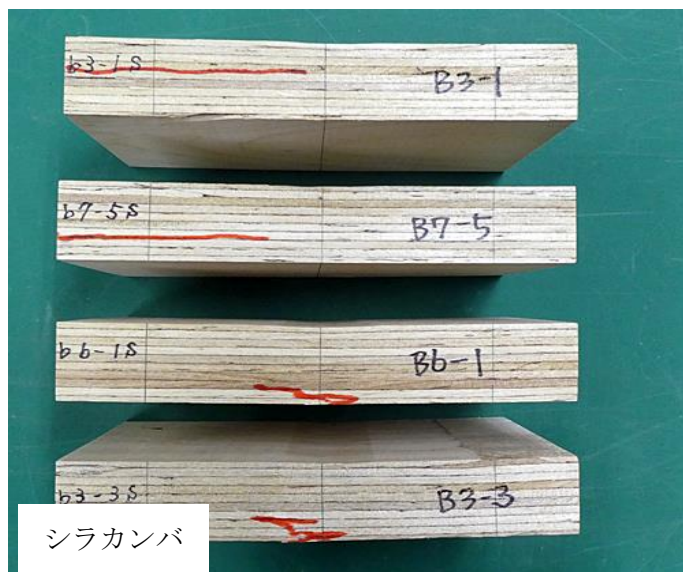
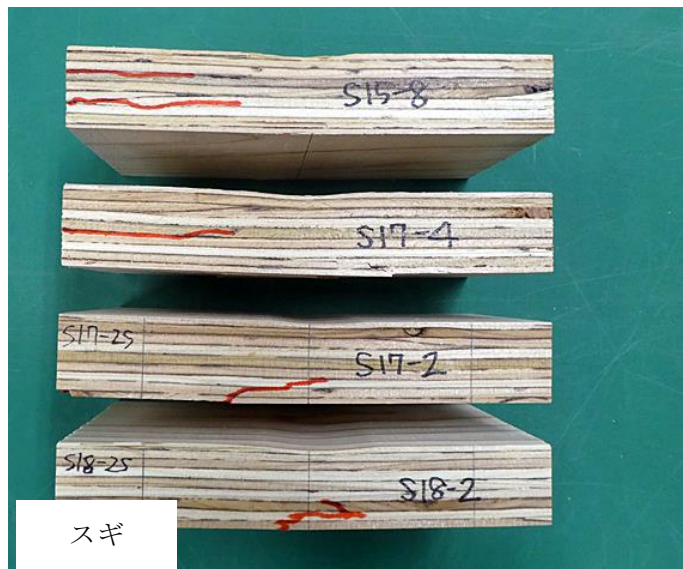


写真 2.3.2.2.3-2 LVL ラミナの水平せん断試験時の破壊形態の事例 (平使い)

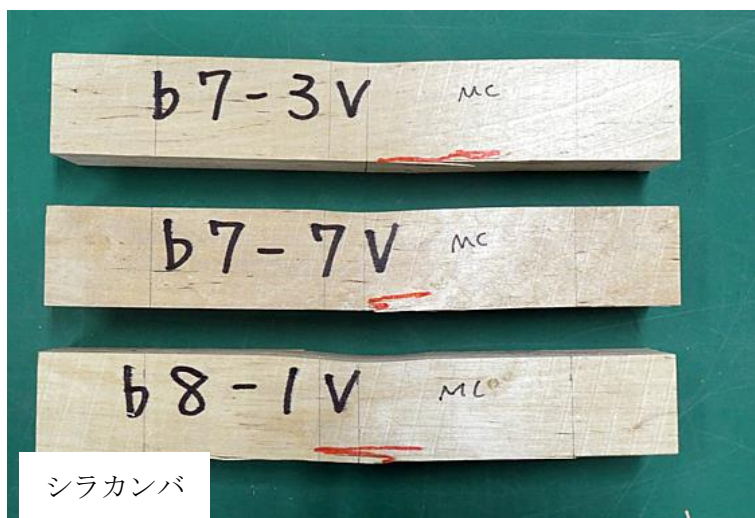
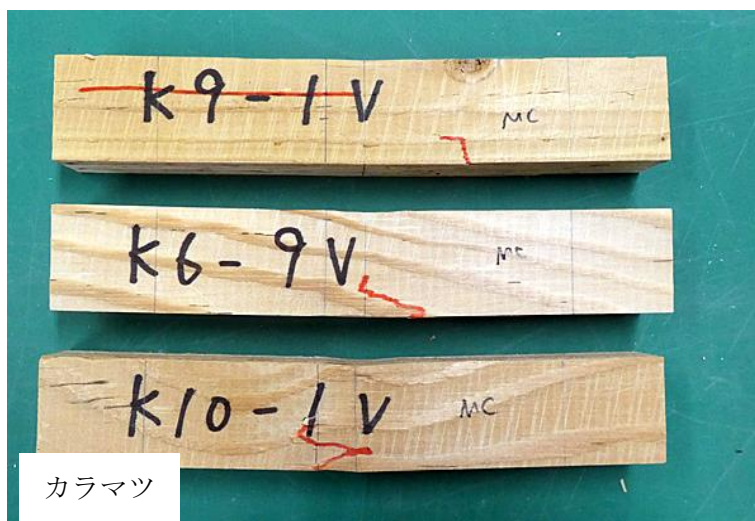


写真 2.3.2.2.3-3 LVL ラミナの水平せん断試験時の破壊形態の事例 (縦使い)

## 2. 3. 2. 3 ハイブリッド LVL

ハイブリッド LVL の実大試験体の木取りを図 2. 3. 2. 3-1 に示す。10 プライ LVL は平使いの曲げ試験を実施した。4 プライ LVL は縦使い曲げ、平使いせん断、縦使いせん断試験、および接着性能試験を実施した。

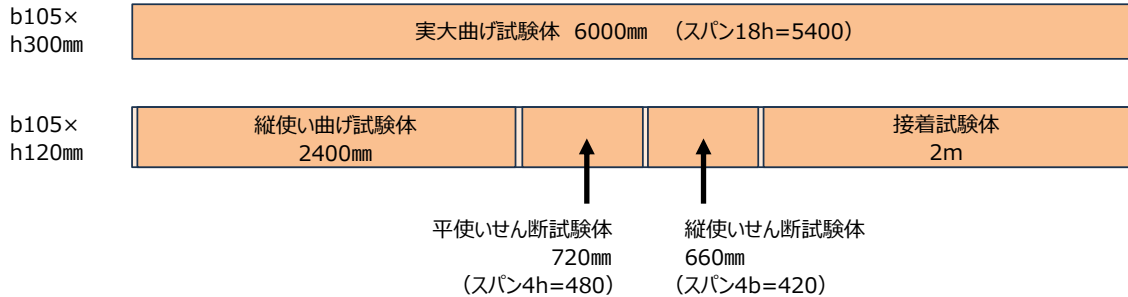


図 2. 3. 2. 3-1 ハイブリッド LVL の実大試験体の木取り方法

### 2. 3. 2. 3. 1 実大曲げ試験

#### (1) 試験体および試験方法

試験体の仕様を表 2. 3. 2. 3. 1-1 に示す。試験は木材実大強度試験（東京衡機製造所製 最大曲げ容量 200 kN）を用いて行った（写真 2. 3. 2. 3. 1-1）。曲げ試験の実施前に、縦振動法、たわみ振動法、T. G. H. 法による非破壊ヤング係数の測定を行った。T. G. H. 法による測定ではせん断弾性係数の算出も行った。曲げ試験の荷重条件は支点間スパンを材せいの 18 倍、荷重点間距離を材せいの 4 倍とした 4 点荷重方式とした。各試験体仕様における荷重条件を表 2. 3. 2. 3. 1-1 に示す。材長中央の中立軸で支点間スパンの全たわみ（ $\cdot_t$ ）および、10 層平使いでは荷重点間中央区間 1000 mm 純曲げたわみ（ $\cdot_b$ ）を測定した。以下の式により見かけの曲げヤング係数（ $E_m$ ）、真の曲げヤング係数（ $E_b$ ）、曲げ強度（ $\sigma_b$ ）を算出した。

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_t}$$

$$E_b = \frac{3al^2\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_b}$$

$$\sigma_b = \frac{3aP_{\max}}{bh^2}$$

ここで、 $a$ ：支点から荷重点までの距離、 $L$ ：支点間スパン、 $\Delta P$ ：比例域における上限荷重と下限荷重の差、 $b$ ：試験体幅、 $h$ ：試験体材せい、 $\Delta\delta_t$ ： $\Delta P$ に対応する支点間たわみ、 $l$ ：荷重点間中央変位測定区間、 $\Delta\delta_b$ ： $\Delta P$ に対応する荷重点間たわみ、

$P_{\max}$ ：最大荷重

試験終了後、両外層 2 層分カラマツまたはシラカンバ部分、内層スギ部分の計 3 片に分割して絶乾法により含水率を測定した。

## (2) 試験結果

試験体仕様ごとの試験結果を表 2.3.2.3.1-2~2.3.2.3.1-4 に、試験体含水率を表 2.3.2.3.1-5~2.3.2.3.1-7 に示す。表 2.3.2.3.1-2 には昨年度に行った曲げ試験結果も併記する。今年度は、昨年度と比べてヤング係数と曲げ強さともばらつきが減少したものの、最外層ラミナが同一母材から小割された場合でも多少のばらつきが含まれることが明らかとなった。荷重変位関係を図 2.3.2.3.1-1 に示す。破壊形態はすべて曲げ破壊であり、主には荷重点間引張側で破壊の起点が生じていた。代表的な破壊形態を写真 2.3.2.3.1-2 に示す。非破壊ヤング係数と曲げ試験により測定された曲げヤング係数の関係を図 2.3.2.3.1-2 に示す。また、みかけの曲げヤング係数と曲げ強度の関係を図 2.3.2.3.1-3 に示す。非破壊測定によるヤング係数と曲げ試験により測定された曲げヤング係数は線形関係を示した。

表 2.3.2.3.1-1 試験体仕様および荷重条件

外層樹種	仕様	数量	寸法			荷重条件		
			幅	せい	長さ	支点間 距離	荷重点間 距離	加力速度
			mm	mm	mm	mm	mm	mm/分
カラマツ	10層平使い	9	105	300	6000	5400	1200	16
カラマツ	4層縦使い	9	120	105	2400	1890	720	6
シラカンバ	4層縦使い	9	120	105	2400	1890	720	6



写真 2.3.2.3.1-1 試験の様子

表 2.3.2.3.1-2 曲げ試験結果 (外層カラマツ 10 層平使い)

No.	密度 kg/m <sup>3</sup>	$E_{fr}$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_{afb}$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_{ofb}$ kN/mm <sup>2</sup>	$G$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_m$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_b$ kN/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>
300.1	522	11.26	11.46	12.48	0.621	10.93	11.38	43.9
300.2	526	11.22	11.52	12.71	0.633	11.07	11.57	43.4
300.3	523	11.45	12.02	13.07	0.620	11.34	11.92	43.6
300.4	525	11.43	12.05	13.07	0.623	11.09	11.67	47.7
300.5	523	11.45	12.00	12.99	0.622	11.18	12.17	40.6
300.6	523	11.39	11.96	12.98	0.626	11.16	11.73	45.2
300.7	524	11.49	12.04	13.15	0.614	11.37	12.05	45.4
300.8	527	11.43	12.11	13.34	0.611	11.23	欠測	43.1
300.9	527	11.42	12.05	13.05	0.611	11.34	11.98	38.0
平均値	524	11.39	11.91	12.98	0.620	11.19	11.81	43.4
標準偏差	2	0.09	0.24	0.25	0.007	0.15	0.26	2.8
変動係数	0.4%	0.8%	2.0%	1.9%	1.2%	1.3%	2.2%	6.5%
2022 年度								
平均値	571	12.18	12.82	14.12	0.833	12.20	13.10	42.1
標準偏差	9	0.49	0.53	0.57	0.036	0.50	0.77	5.6
変動係数	1.6%	4.0%	4.2%	4.0%	4.4%	4.1%	5.9%	13.3%

$E_{fr}$ : 縦振動ヤング係数、 $E_{afb}$ : たわみ振動法ヤング係数、 $E_{ofb}$ : T.G.H. 法によるヤング係数、 $G$ : T.G.H. 法によるせん断弾性係数、 $E_m$ : みかけの曲げヤング係数、 $E_b$ : 真の曲げヤング係数、 $\sigma_b$ : 曲げ強度

2022 年度: 外層カラマツ 10 層平使い試験体 9 体による試験結果



表 2.3.2.3.1-3 曲げ試験結果 (外層カラマツ 4 層縦使い)

No.	密度 kg/m <sup>3</sup>	$E_{fr}$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_{afb}$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_{ofb}$ kN/mm <sup>2</sup>	$G$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_m$ kN/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>
K120.1	531	11.56	10.84	11.46	0.793	10.63	49.6
K120.2	534	11.72	10.91	11.38	0.815	10.58	53.1
K120.3	537	11.71	10.94	11.46	0.828	10.89	51.1
K120.4	533	11.70	10.89	11.45	0.810	10.51	48.3
K120.5	531	11.80	10.85	11.35	0.799	10.53	48.3
K120.6	539	11.93	11.00	11.51	0.841	10.61	51.9
K120.7※	536	11.74	10.92	11.34	0.836	10.54	54.3
K120.8	540	11.74	11.04	11.57	0.822	10.52	47.8
K120.9	542	11.91	11.05	11.64	0.824	10.64	55.0
平均値	536	11.76	10.94	11.46	0.819	10.61	51.0
標準偏差	4	0.11	0.08	0.10	0.016	0.12	2.7
変動係数	0.7%	1.0%	0.7%	0.9%	1.9%	1.1%	5.3%

$E_{fr}$ : 縦振動ヤング係数、 $E_{afb}$ : たわみ振動法ヤング係数、 $E_{ofb}$ : T.G.H.法によるヤング係数、 $G$ : T.G.H.法によるせん断弾性係数、 $E_m$ : みかけの曲げヤング係数、 $\sigma_b$ : 曲げ強度

※採材ミスにより他の試験体とは非サイドマッチ

表 2.3.2.3.1-4 曲げ試験結果 (外層シラカンバ 4 層縦使い)

No.	密度 kg/m <sup>3</sup>	$E_{fr}$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_{afb}$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_{ofb}$ kN/mm <sup>2</sup>	$G$ kN/mm <sup>2</sup>	$E_m$ kN/mm <sup>2</sup>	$\sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>
B120.1	535	11.06	10.41	11.25	0.682	9.69	56.1
B120.2	538	11.27	10.46	11.28	0.704	9.93	54.8
B120.3	534	11.36	10.62	11.39	0.691	9.89	55.1
B120.4	533	11.37	10.55	11.30	0.680	9.67	53.3
B120.5※	538	12.03	11.16	12.00	0.682	10.40	56.0
B120.6	539	11.44	10.70	11.46	0.687	10.11	54.6
B120.7	536	11.46	10.64	11.46	0.681	10.00	58.2
B120.8	538	11.38	10.68	11.43	0.695	9.79	57.3
B120.9	541	11.57	10.77	11.55	0.710	10.16	53.6
平均値	537	11.44	10.67	11.46	0.690	9.96	55.4
標準偏差	3	0.26	0.22	0.23	0.011	0.24	1.6
変動係数	0.5%	2.3%	2.0%	2.0%	1.6%	2.4%	2.9%

$E_{fr}$ : 縦振動ヤング係数、 $E_{afb}$ : たわみ振動法ヤング係数、 $E_{ofb}$ : T.G.H.法によるヤング係数、 $G$ : T.G.H.法によるせん断弾性係数、 $E_m$ : みかけの曲げヤング係数、 $\sigma_b$ : 曲げ強度

※採材ミスにより他の試験体とは非サイドマッチ

表 2.3.2.3.1-5 試験体含水率（外層カラマツ 10 層平使い、単位：％）

No.	外層カラマツ	内層スギ	外層カラマツ
300.1	10.5	12.1	10.6
300.2	10.2	12.0	9.8
300.3	10.0	11.9	9.6
300.4	10.1	11.9	9.7
300.5	9.9	11.9	9.5
300.6	10.3	11.9	9.9
300.7	10.3	12.0	9.7
300.8	10.3	12.0	9.7
300.9	9.8	11.7	10.4
平均値	10.1	11.9	9.9

表 2.3.2.3.1-6 試験体含水率（外層カラマツ 4 層縦使い、単位：％）

No.	外層カラマツ	内層スギ	外層カラマツ
K120.1	10.7	13.1	10.4
K120.2	10.2	13.0	9.9
K120.3	9.8	12.9	9.7
K120.4	9.9	12.9	9.6
K120.5	9.7	13.1	9.4
K120.6	10.0	12.8	9.7
K120.7	9.6	12.3	9.3
K120.8	9.8	12.8	9.7
K120.9	10.0	12.8	10.0
平均値	10.0	12.9	9.7

表 2.3.2.3.1-7 試験体含水率（外層シラカンバ 4 層縦使い、単位：％）

No.	外層シラカンバ	内層スギ	外層シラカンバ
b120.1	9.8	12.6	10.1
b120.2	10.0	12.3	9.8
b120.3	9.6	12.5	10.0
b120.4	9.6	12.5	10.1
b120.5	9.9	12.3	9.7
b120.6	9.6	12.6	10.0
b120.7	9.6	12.5	10.1
b120.8	9.7	12.5	9.8
b120.9	9.7	12.2	9.8
平均値	9.7	12.4	9.9

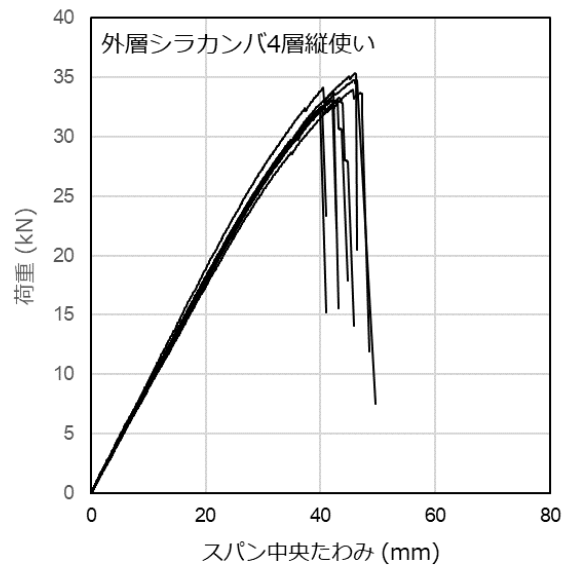
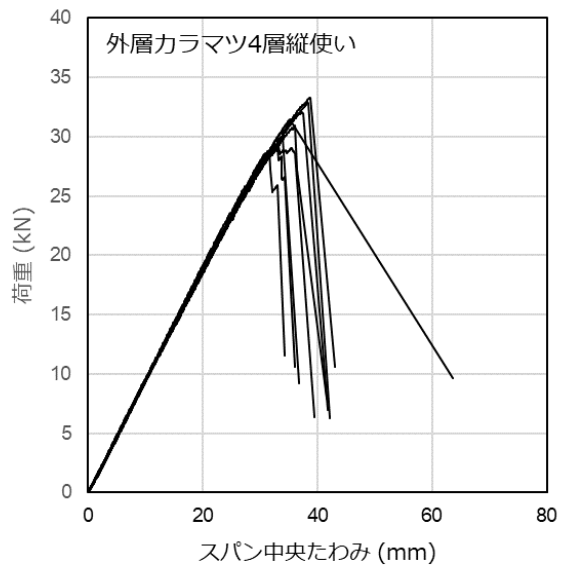
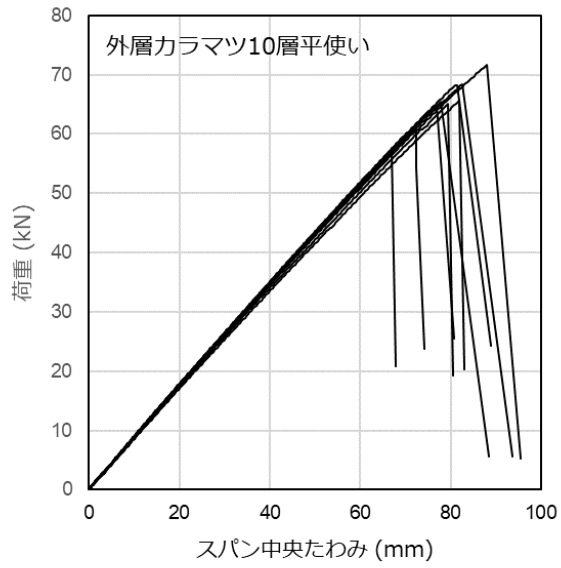


図 2. 3. 2. 3. 1-1 荷重変位関係



写真 2. 3. 2. 3. 1-2 代表的な破壊形態

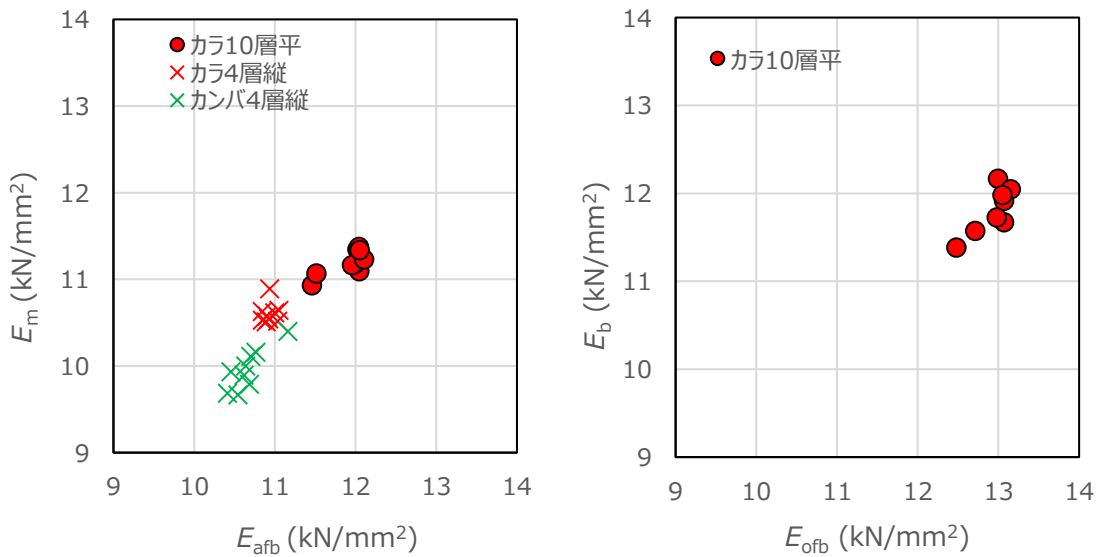
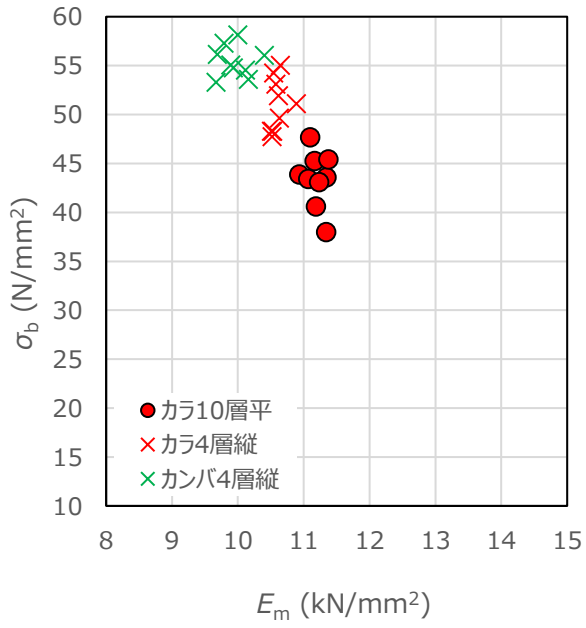


図 2. 3. 2. 3. 1-2 非破壊ヤング係数と曲げ試験による曲げヤング係数の関係  
 ( $E_{afb}$ : たわみ振動法によるヤング係数、 $E_m$ : 曲げ試験によるみかけの曲げヤング係数)  
 ( $E_{ofb}$ : T.G.H.法によるヤング係数、 $E_b$ : 曲げ試験による真の曲げヤング係数)

【2023 年度】



【2022 年度】

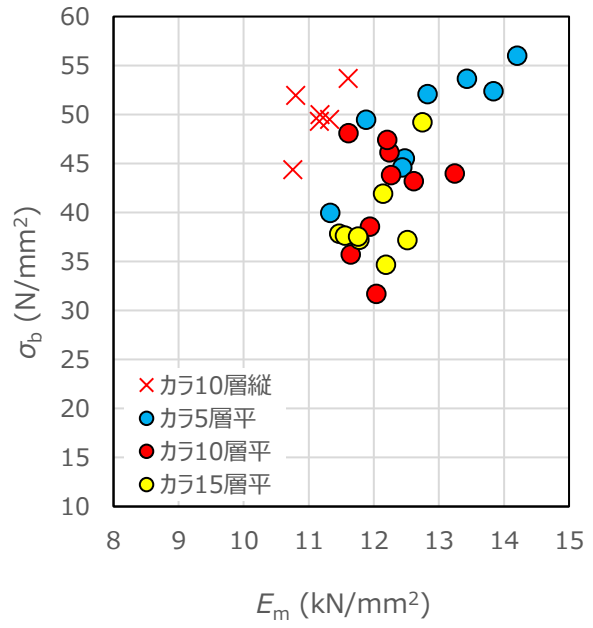


図 2.3.2.3.1-3 みかけの曲げヤング係数と曲げ強度の関係

## 2. 3. 2. 3. 2 実大せん断試験

### (1) 試験体および試験方法

試験体の仕様を表 2. 3. 2. 3. 2-1 に示す。試験は木材実大強度試験（東京衡機製造所製 最大曲げ容量 200 kN）を用いて行った（写真 2. 3. 2. 3. 2-1）。荷重条件はスパン 600 mm の中央集中 3 点曲げとした。加圧板幅は両側加力点では 90 mm、中央支点では 120 mm、クロスヘッド移動速度は 4 mm/分とした。なお、各仕様 1 体で採材ミスがあり、他の試験体とサイドマッチにはなっていない。材長中央の中立軸で、支点間に渡したヨークでたわみ（ $\delta$ ）を測定した。以下の式によりせん断強度（ $\sigma_s$ ）を算出した。

$$\sigma_s = \frac{3P_{\max}}{4bh}$$

ここで、 $P_{\max}$ ：最大荷重、 $b$ ：試験体幅、 $h$ ：試験体材せい

### (2) 試験結果

試験結果を表 2. 3. 2. 3. 2-2～2. 3. 2. 3. 2-5 に、クロスヘッド移動量と荷重の関係を図 2. 3. 2. 3. 2-1 に、代表的な破壊形態を写真 2. 3. 2. 3. 2-2 に示す。外層カラマツおよび外層シラカンバ 4 層平使い試験体はスギラミナの二次接着部分付近の木部でのせん断破壊が進展し、最終的にせん断破壊に至った。外層カラマツ 4 層縦使い試験体はすべて曲げ破壊となった。外層シラカンバ 4 層縦使い試験体は曲げ破壊とせん断破壊を同時に示すものが多かった。

表 2. 3. 2. 3. 2-1 試験体仕様および荷重条件

外層樹種	仕様	数量	寸法			荷重条件	
			幅	材せい	長さ	スパン	加力速度
			mm	mm	mm		
カラマツ	4 層平使い	9	105	120	720	480	4
シラカンバ	4 層平使い	9	105	120	720	480	4
カラマツ	4 層縦使い	9	120	105	660	420	4
シラカンバ	4 層縦使い	9	120	105	660	420	4

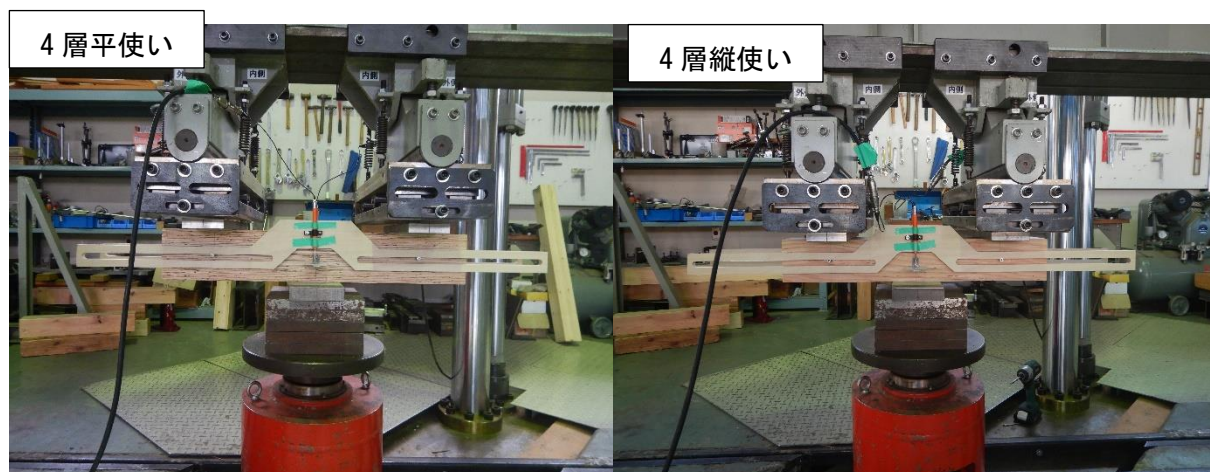


写真 2. 3. 2. 3. 2-1 試験の様子

表 2.3.2.3.2-2 せん断試験結果 (外層カラマツ 4 層平使い)

No.	密度 kg/m <sup>3</sup>	せん断強度 N/mm <sup>2</sup>	破壊形態	備考
K720.1	529	4.7	せん断	
K720.2	531	4.8	せん断	
K720.3	529	4.8	せん断	
K720.4	525	5.0	せん断	
K720.5	527	4.9	せん断	
K720.6	532	4.9	せん断	
K720.7	535	4.8	せん断	※
K720.8	529	4.8	せん断	
K720.9	532	4.4	せん断	
平均値	530	4.8		
標準偏差	3	0.2		
変動係数	0.6%	3.4%		

※：採材ミスにより他の試験体とは非サイドマッチ

表 2.3.2.3.2-3 せん断試験結果 (外層シラカンバ 4 層平使い)

No.	密度 kg/m <sup>3</sup>	せん断強度 N/mm <sup>2</sup>	破壊形態	備考
B720.1	540	5.0	せん断	
B720.2	548	4.5	せん断	
B720.3	542	4.8	せん断	
B720.4	541	5.0	せん断	
B720.5	542	5.1	せん断	※
B720.6	544	4.8	せん断	
B720.7	544	5.0	せん断	
B720.8	547	5.1	せん断	
B720.9	546	5.0	せん断	
平均値	544	4.9		
標準偏差	3	0.2		
変動係数	0.5%	4.1%		

※：採材ミスにより他の試験体とは非サイドマッチ

表 2.3.2.3.2-4 セン断試験結果 (外層カラマツ 4 層縦使い)

No.	密度 kg/m <sup>3</sup>	せん断強度 N/mm <sup>2</sup>	破壊形態	備考
K660.1	531	7.1	曲げ	
K660.2	530	7.1	曲げ	
K660.3	530	6.7	曲げ	
K660.4	530	6.9	曲げ	
K660.5	531	6.8	曲げ	
K660.6	535	6.8	曲げ	
K660.7	528	7.2	曲げ	※
K660.8	528	6.7	曲げ	
K660.9	534	6.9	曲げ	
平均値	531	6.9		
標準偏差	2	0.2		
変動係数	0.4%	2.8%		

※：採材ミスにより他の試験体とは非サイドマッチ

表 2.3.2.3.2-5 セン断試験結果 (外層シラカンバ 4 層平使い)

No.	密度 kg/m <sup>3</sup>	せん断強度 N/mm <sup>2</sup>	破壊形態	備考
B660.1	538	6.6	曲げ・せん断同時	
B660.2	542	7.0	曲げ・せん断同時	
B660.3	543	6.9	曲げ・せん断同時	
B660.4	543	6.8	曲げ・せん断同時	
B660.5	543	6.7	せん断	※
B660.6	537	6.6	せん断	
B660.7	546	6.9	曲げ・せん断同時	
B660.8	543	6.9	曲げ	
B660.9	542	6.9	せん断	
平均値	542	6.8		
標準偏差	3	0.1		
変動係数	0.5%	2.2%		

※：採材ミスにより他の試験体とは非サイドマッチ



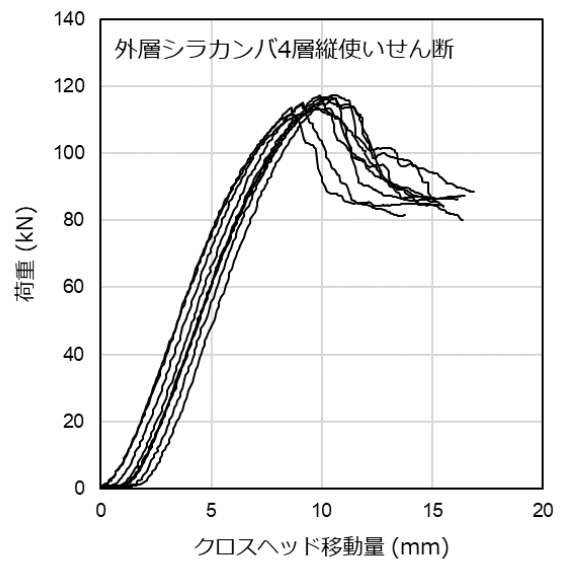
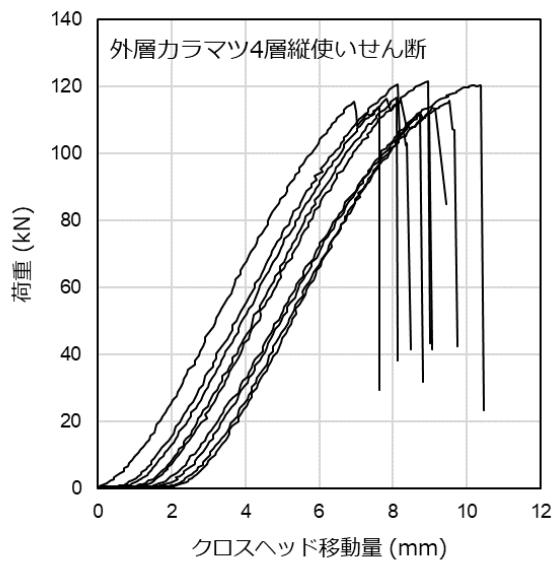
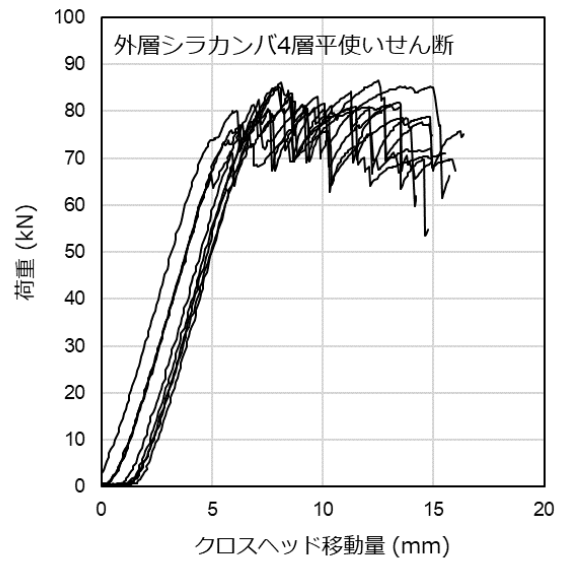
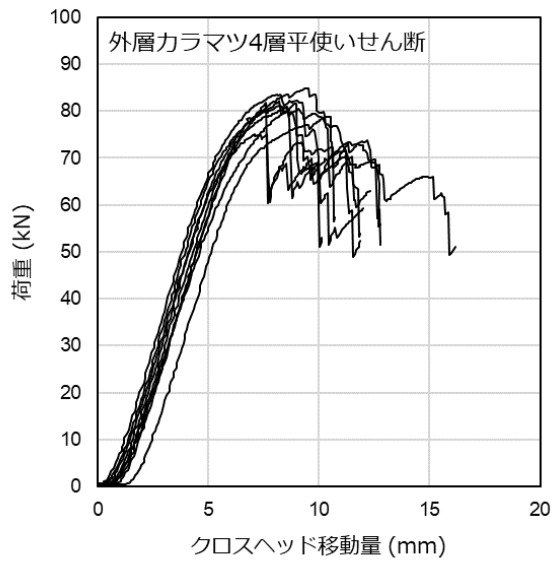


図 2.3.2.3.2-1 クロスヘッド移動量-荷重関係

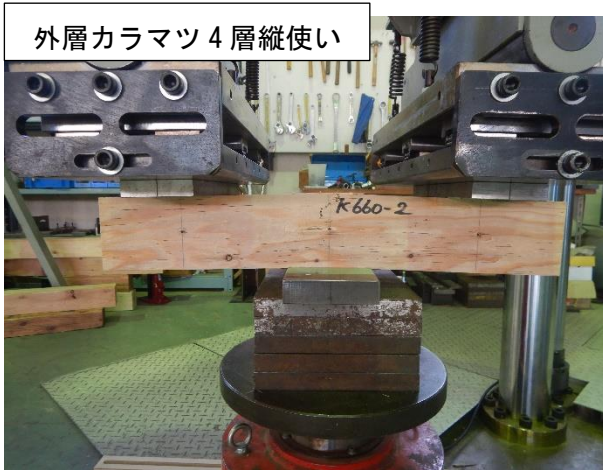
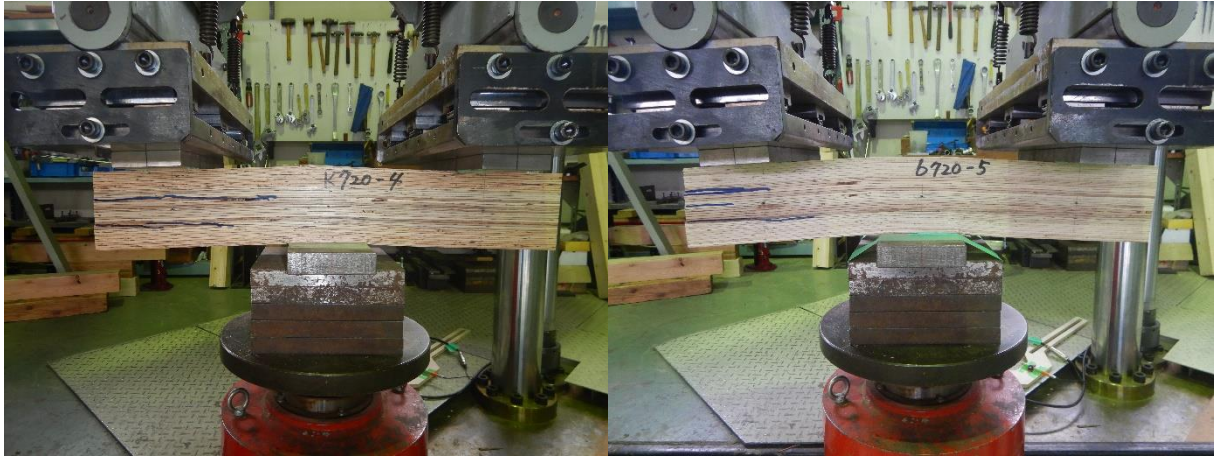


写真 2. 3. 2. 3. 2-2 代表的な破壊形態

### 2. 3. 2. 3. 3 接着性能試験

製造した4プライのハイブリッドLVL（各9体）について、2次接着層を含むように逆対称4点曲げ型せん断試験体（40×40×400mm）、中央集中荷重型せん断試験体（40×40×240mm）、ブロックせん断試験体（40×40×400mm）、剥離試験体（75×75×120mm）を採取した。試験体の採取位置を図2.3.2.3.3-1に示す。

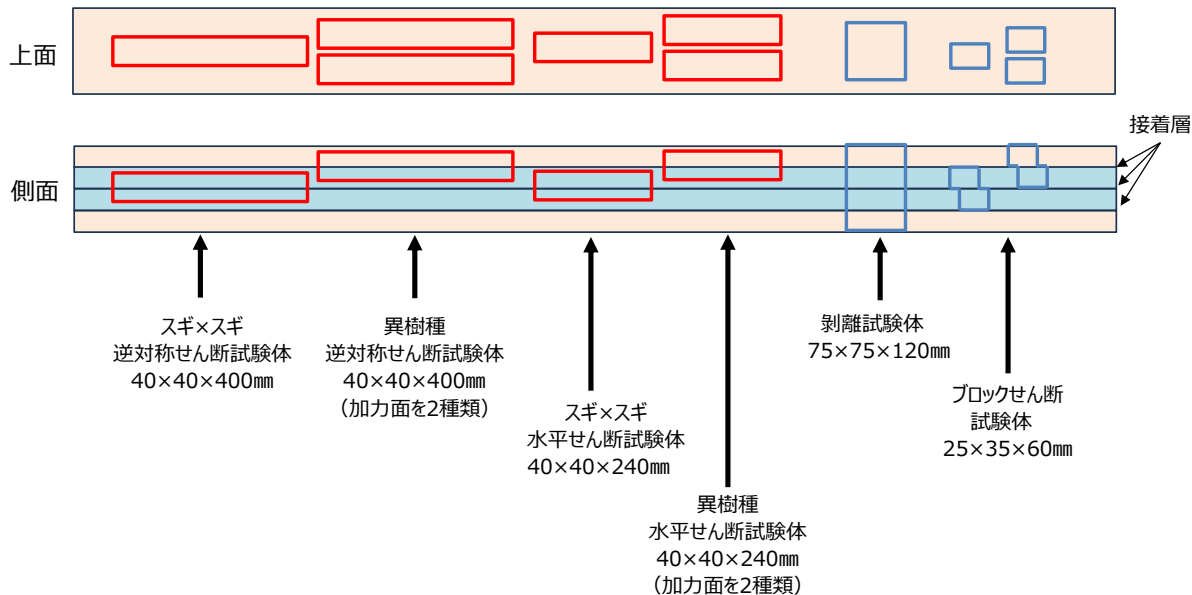


図 2. 3. 2. 3. 3-1 接着性能試験体の採取方法

### 2. 3. 2. 3. 3. 1 減圧加圧剥離試験

#### (1) 試験体および試験方法

採取した試験体について、単板積層材の日本農林規格に準拠し、減圧加圧剥離試験（使用環境 A）を行った。試験片を室温水中に浸せきし、0.085 MPa で 5 分間減圧した後、0.51±0.03 MPa で 1 時間加圧した。この処理を 2 回行った。その後、試験片を水中から取り出し、70±3℃の恒温乾燥機に入れ、試験片の重量が初期重量の 100～110%になるまで乾燥した。以上の減圧加圧処理および乾燥処理を 2 回繰り返した。

試験体の二次接着層部分および一次接着層部分について、試験体の 4 側面の接着層に生じた剥離の長さを計測した。なお、一次接着層部分は各樹種 9 体中 2 体についてのみ測定した。剥離長さの測定の際、剥離箇所の隙間が 0.05mm 未満のもの及び剥離の長さが 3mm 未満のものを除いた。また、目ぼれ、干割れ、節等による木材の破壊、節が存在する箇所のはがれ、スカーフジョイント部分の接着部の隙間は、剥離とみなさなかった。剥離率は、次の式によって算出した。

剥離率 (%) = 4 側面の剥離長さの合計 (mm) / 4 側面の接着層の長さの合計 (mm) × 100

#### (2) 試験結果

ハイブリッド LVL の二次接着層部分の剥離長さを表 2.3.2.3.3.1-1 に、試験後の剥離試験体の様子を写真 2.3.2.3.3.1-1 に示す。いずれの試験体においても二次接着層部分に剥離は認められず、JAS の基準を満たす接着性能が得られた。表 2.3.2.3.3.1-2 に一次接着層を含む全接着層の剥離率を示す。いずれの試験体も剥離率は低かったが、同一接着層の剥離長さが JAS 基準値である 19mm 以上になり、基準を満たさないものが認められた。

表 2.3.2.3.3.1-1 LVL の減圧加圧剥離試験結果（二次接着層）

ハイブリッド LVL の構成	No.	剥離率 %	同一接着層 最大剥離長 mm	JAS 基準適合 可否※
カラマツ-スギ	K1	0	0	○
	K2	0	0	○
	K3	0	0	○
	K4	0	0	○
	K5	0	0	○
	K6	0	0	○
	K7	0	0	○
	K8	0	0	○
	K9	0	0	○
シラカンバ-スギ	B1	0	0	○
	B2	0	0	○
	B3	0	0	○
	B4	0	0	○
	B5	0	0	○
	B6	0	0	○
	B7	0	0	○
	B8	0	0	○
	B9	0	0	○

※ 基準値：剥離率 5%以下、同一接着層の最大剥離長さ 19mm 未満



写真 2.3.2.3.3.1-1 減圧加圧剥離試験体の様子

表 2.3.2.3.3.1-2 LVL の減圧加圧剥離試験結果 (全接着層)

		剥離率	同一接着層 最大剥離長	JAS 基準適合 可否	同一接着層の剥離長さが 基準値 (19mm) 以上の 接着層
		(%)	(mm)		
カラマツ-スギ	K1	1.1	23	×	8 (カラマツ) 、14 (スギ)
	K5	0.2	9	○	なし
シラカンバ-スギ	B1	1.2	24	×	17、22 (スギ)
	B5	0.4	9	○	なし

\* 基準値：剥離率 5%以下、同一接着層の最大剥離長さ 19mm 未満

## 2. 3. 2. 3. 3. 2 ブロックせん断試験

### (1) 試験片および試験方法

図 2.3.2.3.3.2-1 に示す位置において、異樹種および同一樹種の二次接着層部分からブロックせん断試験片を採取した。試験片は LVL の JAS に規定されるサイズを切り出した(図 2.3.2.3.3.2-2)。各条件の原板 9 体について、異樹種の二次接着層部分から 2 片、同一樹種(スギ)の二次接着層部分から 1 片ずつ採取した。

ブロックせん断試験は、オートグラフ(島津製作所(株)、AGX-plus10kN)を用い、荷重速度は 0.5 mm/min とした。また、治具の台座先端から接着層までのクリアランスは 0 mm とした。試験の様子を写真 2.3.2.3.3.2-2 に示す。試験後、試験片の破壊面を観察し、木部破断率(以下、木破率)の評価を行った。木破率の評価にあたっては、せん断面積の 1/100 サイズのメッシュを印刷したシートを用い、1%単位で測定した。なお、ブロックせん断試験は、試験体を 20°C65%RH の恒温恒湿室内で養生し、重量が恒量に達した後に実施した。

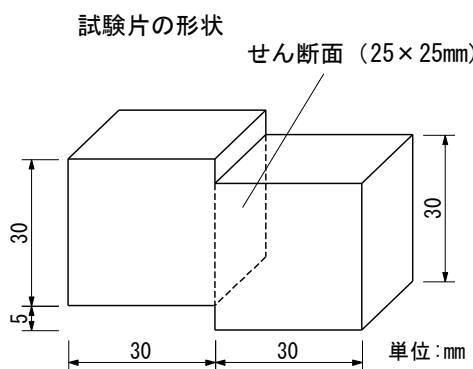


写真 2.3.2.3.3.2-2 ブロックせん断試験の様子

## (2) 試験結果

ブロックせん断試験結果を表 2.3.2.3.3.2-2 に、各条件におけるブロックせん断強度を図 2.3.2.3.3.2-3 に示す。また、試験片の破壊の様子を写真 2.3.2.3.3.2-3 に示す。

異樹種間の荷重方向によるせん断強さの違いについて、カラマツ - スギ間においては、スギ側に荷重した方がせん断強さはやや高くなったが、シラカンバ - スギ間では大きな差はなかった。木破率は、シラカンバ - スギ LVL のスギ部分が 88% と他の条件よりもやや低いものの、その他は 90% を超える高い値が得られた。また、異樹種間の接着における破壊位置については、カラマツ - スギ、シラカンバ - スギのいずれの試験体においてもスギ側で破壊していた。JAS における二次接着の基準に当てはめると、カラマツ - スギ (両方向込み) では「40V-34H」、シラカンバ - スギ (両方向込み) では「50V-43H」、スギのみでは「35V-30H」の基準を満たす性能が得られた。

表 2.3.2.3.3.2-2 ブロックせん断試験結果 (JAS サイズ)

構成	試験方向	n	密度(kg/m <sup>3</sup> )		せん断強さ(N/mm <sup>2</sup> )		木破率		含水率 (%)
			Ave	CV(%)	Ave	CV(%)	Ave	CV(%)	
カラマツ-スギ	カラ押	9	538.2	2.7	5.27	18.0	97.3	3.2	11.7
	スギ押	9	549.3	2.9	6.13	11.6	94.2	7.0	11.6
	スギ	9	451.1	4.1	6.10	11.6	94.8	5.7	12.7
シラカンバ-スギ	カバ押	9	529.8	2.1	6.70	12.1	97.3	4.9	11.8
	スギ押	9	535.3	2.9	6.30	10.7	94.2	4.0	11.6
	スギ	9	465.3	4.0	5.33	25.3	88.1	11.9	12.3

※ n : 試験片数、Ave : 平均値、CV : 変動係数

カラ押、スギ押、カバ押 : 試験時にそれぞれカラマツ、スギ、シラカンバ側に荷重

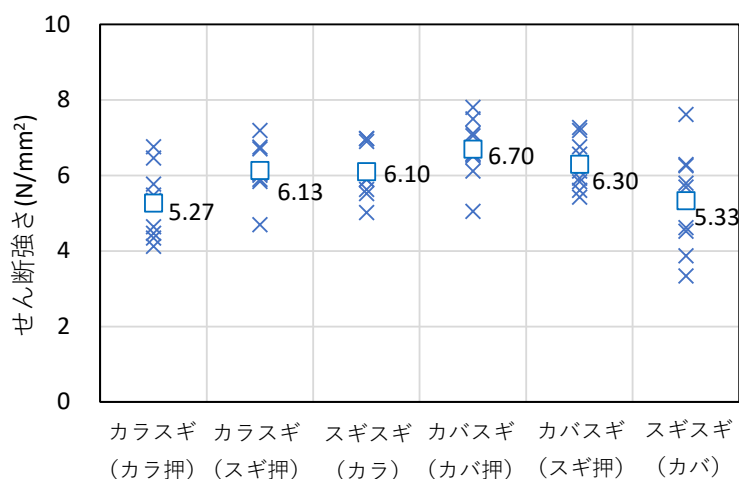


図 2.3.2.3.3.2-3 ブロックせん断試験結果



写真 2.3.2.3.3.2-3 ブロックせん断試験片の破壊の様子



## 2. 3. 2. 3. 3. 3 せん断強度試験

### (1) 試験体および試験方法

#### 1) 中央集中荷重型せん断試験

図 2. 3. 2. 3. 3. 3-1 に示す部分から平使い方向の試験体を採取し、LVL の JAS に準じた水平せん断試験を実施した。試験体寸法は 40×40×240mm とした。試験体は各原板について、異樹種の二次接着層部分から 2 体、同一樹種（スギ）二次接着層部分から 1 体ずつ採取した。異樹種接着層部分は、表層 LVL（カラマツおよびシラカンバ）を上部に設置するものと内層 LVL（スギ）を上部に設置するものに分けて試験を行った。スパンは厚さの 4 倍（160mm）とした中央集中荷重の曲げ方式によりせん断強さを算出した。クロスヘッド速度は 3mm/min とした。せん断試験の様子を写真 2. 3. 2. 3. 3. 3-4 に、試験概要を図 2. 3. 2. 3. 3. 3-4 に示す。せん断強さ（ $\sigma_s$ ）は以下の式により算出した。

$$\sigma_s = \frac{3P_{\max}}{4bh}$$

ここで、 $P_{\max}$ ：最大荷重、 $b$ ：試験体幅、 $h$ ：試験体厚さ

#### 2) 逆対称 4 点曲げ型せん断試験

図 2. 3. 2. 3. 3. 3-1 に示す部分から平使い方向の試験体を採取し、逆対称 4 点曲げ型せん断試験を実施した。試験体寸法は 40×40×400mm とし、試験体の採取方法と、試験時の設置方法は水平せん断試験と同様である。スパンおよび荷重点間距離は厚さの 6 倍（240mm）とし、クロスヘッド速度は 3mm/min とした。試験の様子を写真 2. 3. 2. 3. 3. 3-4 に、試験概要を図 2. 3. 2. 3. 3. 3-4 に示す。せん断強さの算出法は中央集中荷重型と同様である。

なお、上記の両試験ともに試験体を 20℃65%RH の恒温恒湿室内で養生し、重量が恒量に達した後実施した。上記のせん断試験終了後、試験体の非破壊部分から試験体を採取し、絶乾法により含水率を測定した。



写真 2. 3. 2. 3. 3. 3-4 中央集中荷重型せん断試験と逆対称 4 点曲げ型せん断試験

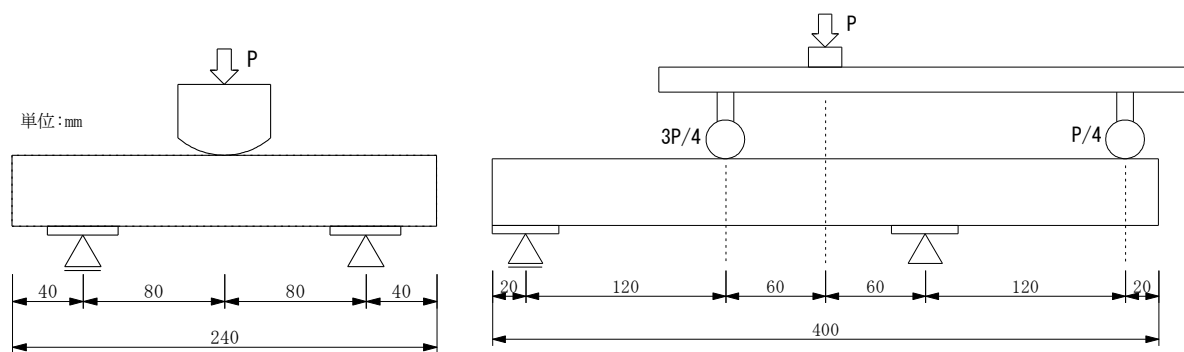


図 2.3.2.3.3-4 中央集中荷重型せん断試験と逆対称 4 点曲げ型せん断試験の概要

(2) 試験結果

中央集中荷重型せん断試験結果を表 2.3.2.3.3-3 および図 2.3.2.3.3-5 に、破壊形態の事例を写真 2.3.2.3.3-5~2.3.2.3.3-6 に示す。異樹種接着部分とスギ同士の間接部分の試験体を比較すると、スギ同士の試験体の方がせん断強さは低い値となった。異樹種間の試験方向によるせん断強さの違いについて、ウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、いずれの樹種においても有意差は認められなかった。破壊形態は、カラマツ - スギの試験体では曲げ破壊の割合が多く、シラカンバ - スギの試験体ではせん断破壊の割合が多くなった。LVL の JAS のせん断性能の基準では、カラマツ - スギの試験体が「50V-43H」、シラカンバ - スギの試験体が「60V-50H」、スギ同士の試験体が「40V-34H」の基準を満たす性能が得られた。

逆対称 4 点曲げ型せん断試験結果を表 2.3.2.3.3-4 および図 2.3.2.3.3-6 に、破壊形態の事例を写真 2.3.2.3.3-7~2.3.2.3.3-8 に示す。中央集中荷重型と同様に、異樹種接着部分とスギ同士のの間接部分の試験体では、スギ同士の試験体の方がせん断強さは低い値となった。異樹種間の試験方向によるせん断強さの違いについて、ウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、シラカンバ - スギ間では 1%水準で有意差が認められたが、カラマツ - スギ間では有意差は認められなかった。破壊形態は、両樹種ともにせん断破壊の割合が多くなったが、シラカンバ - スギの試験体では、スギを上配置した時の曲げ破壊の割合がやや多くなった。

表 2.3.2.3.3-3 中央集中荷重型せん断試験結果

構成	試験方向	密度(kg/m <sup>3</sup> )		せん断強さ(N/mm <sup>2</sup> )		破壊形態 せん断/曲げ	含水率 (%)
		Ave	CV(%)	Ave	CV(%)		
カラマツ-スギ	カラ上	539.1	2.0	5.13	9.7	4/5	11.2
	スギ上	537.0	1.3	5.60	4.6	0/9	11.3
	内層スギ	443.8	2.2	4.12	11.0	4/5	12.7
シラカンバ-スギ	カバ上	545.8	1.1	6.12	4.6	8/1	11.7
	スギ上	539.1	0.9	6.14	11.0	7/2	11.6
	内層スギ	449.1	1.9	4.55	4.2	4/5	12.9

※Ave：平均値、CV：変動係数

カラ上、スギ上、カバ上：試験時にそれぞれカラマツ、スギ、シラカンバを上側に設置

表 2.3.2.3.3.3-4 逆対称 4 点曲げ型せん断試験結果

構成	試験方向	密度(kg/m <sup>3</sup> )		せん断強さ(N/mm <sup>2</sup> )		破壊形態 せん断/曲げ	含水率 (%)
		Ave	CV(%)	Ave	CV(%)		
カラマツ-スギ	カラ上	543.0	2.0	4.92	4.9	7/2	11.1
	スギ上	549.0	1.0	5.03	5.7	7/2	11.2
	内層スギ	439.4	1.5	4.01	6.1	9/0	13.2
シラカンバ-スギ	カバ上	543.3	1.8	5.82	3.8	9/0	12.0
	スギ上	545.3	1.9	5.25	3.0	5/4	11.8
	内層スギ	439.7	2.0	3.79	5.7	8/1	12.7

※Ave：平均値、CV：変動係数

カラ上、スギ上、カバ上：試験時にそれぞれカラマツ、スギ、シラカンバを上側に設置

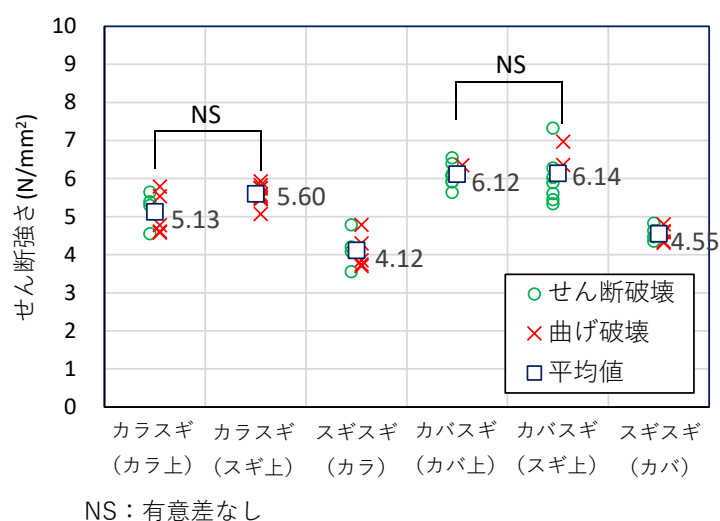


図 2.3.2.3.3.3-5 中央集中荷重型せん断試験結果

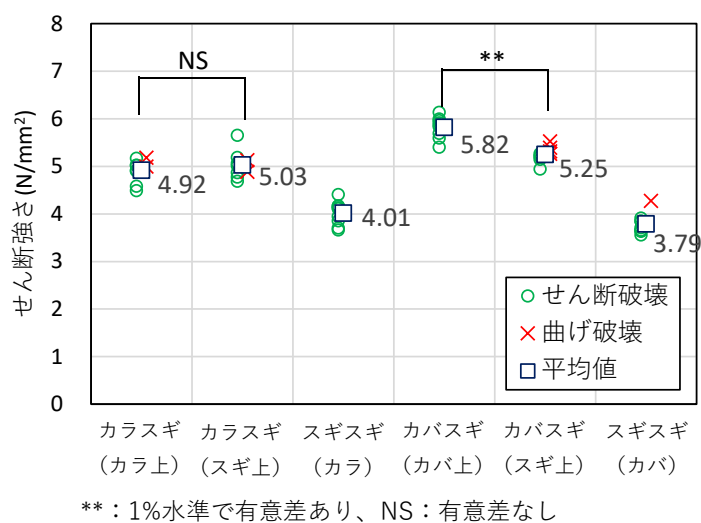


図 2.3.2.3.3.3-6 逆対称 4 点曲げ型せん断試験結果

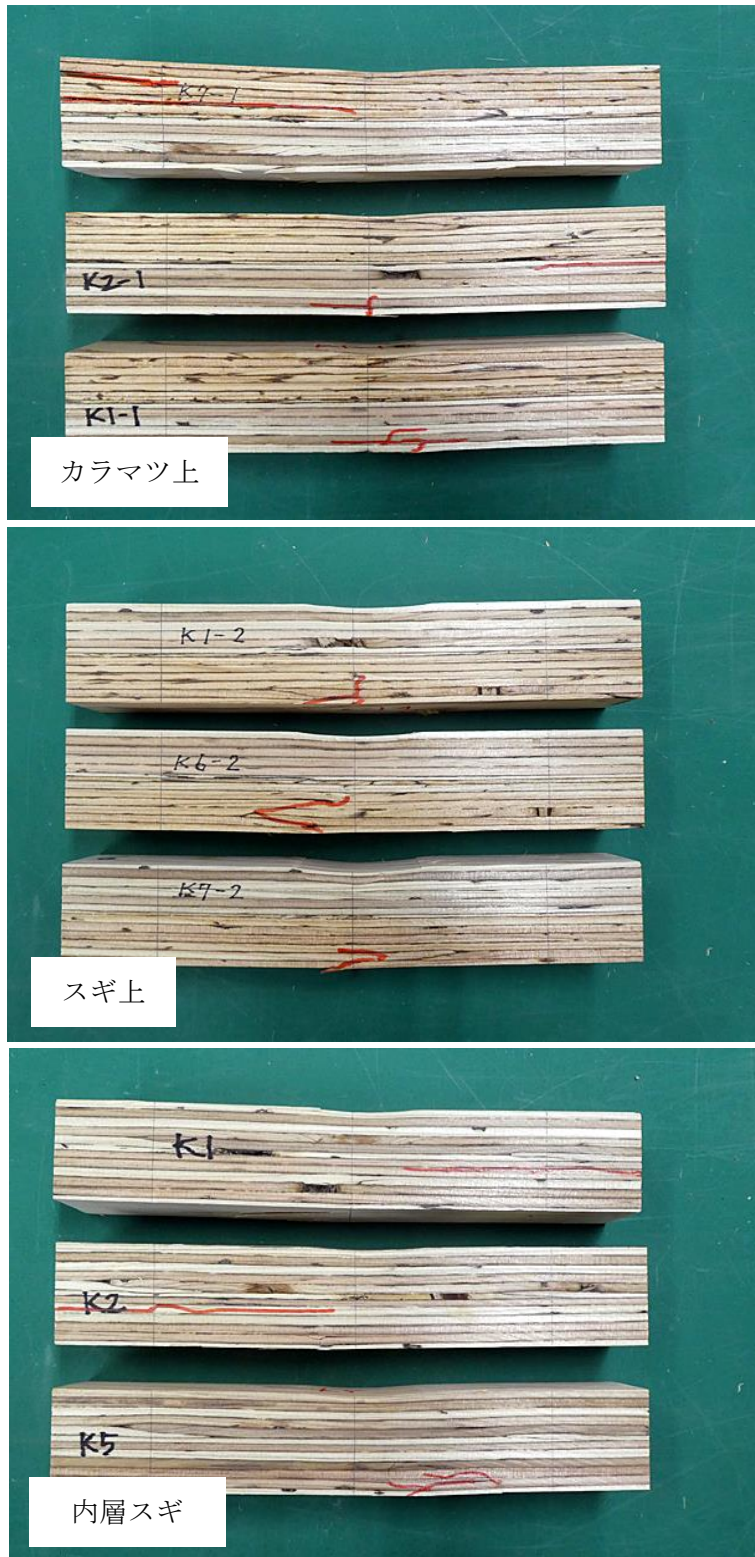


写真 2. 3. 2. 3. 3. 3-5 中央集中荷重型せん断試験の破壊の様子 (カラマツ - スギ)

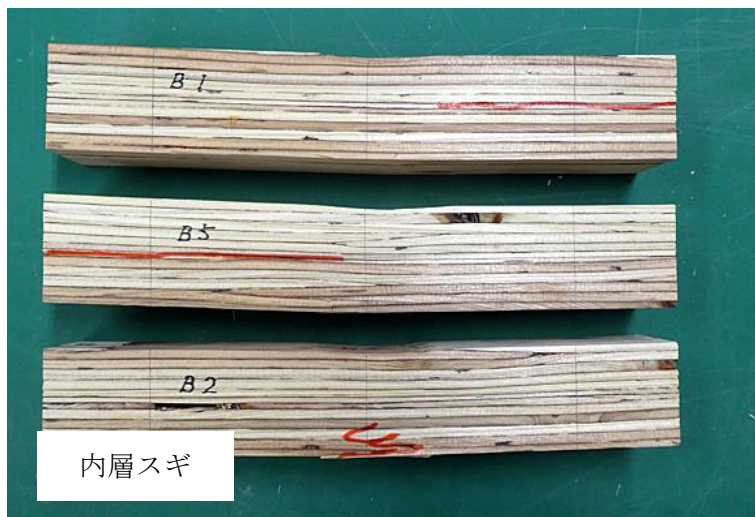


写真 2.3.2.3.3.3-6 中央集中荷重型せん断試験の破壊の様子 (シラカンバ - スギ)



写真 2.3.2.3.3.3-7 逆対称 4 点曲げ型せん断試験の破壊の様子 (カラマツ - スギ)

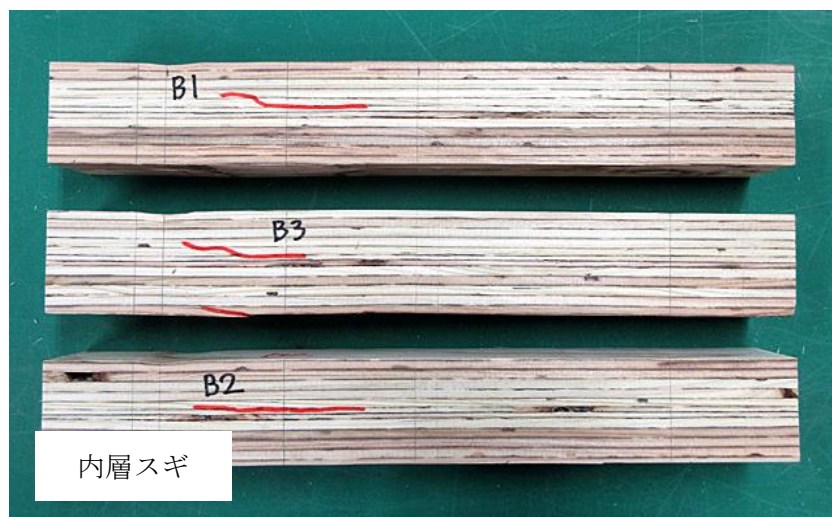


写真 2.3.2.3.3.3-8 逆対称 4 点曲げ型せん断試験の破壊の様子 (シラカンバ - スギ)

## 2. 3. 2. 3. 4 曲げクリープ試験

### (1) 試験体および試験方法

試験体の仕様を表 2. 3. 2. 3. 4-1 に示す。試験体寸法はすべて幅 105 mm、材せい 150 mm、長さ 3300 mm とした。集成材試験体はカラマツ対称異等級構成集成材の強度等級 E105-F300 相当、LVL 試験体はカラマツ LVL で強度等級 120-385F<sub>HV</sub> 相当、カラマツ - スギハイブリッド LVL (HBLVL) は厚さ 30 mm の一次接着 LVL ラミナを 5 層二次接着したもので、最外層がカラマツ LVL ラミナ、内側の 3 層がスギ LVL ラミナの構成である。試験前に試験体密度および、縦振動法およびたわみ振動法による動的ヤング係数を測定した。その結果を表 2. 3. 2. 3. 4-2 に示す。

曲げクリープ試験は暖房が稼働する屋内、すなわち温湿度非定常条件下で、長期荷重装置を用いて 2023 年 10 月 24 日から 2024 年 1 月 23 日までの 13 週間実施した。本研究で用いた長期荷重装置は、モーメントアームの先端に吊り下げた錘重量の約 15 倍の荷重が加わる機構である。荷重条件は支点間スパンを試験体厚さの 21 倍 (3150 mm) とした 3 等分点 4 点荷重方式とした。試験体側面中立軸位置にヨークを取り付け、スパン中央たわみを 1 分間隔で収集した。載荷した荷重は、応力が中長期許容応力度相当となるように、試験体に発生する曲げ応力が曲げ基準強度の 1.43/3 倍となるように調整した。すなわち、強度等級が E105-F300 の対称異等級構成集成材の曲げ基準強度が 30.0 N/mm<sup>2</sup>、強度等級 120E-385F<sub>HV</sub> の LVL の曲げ基準強度が 33.0 N/mm<sup>2</sup> であることから、集成材試験体では曲げ応力が 14.3 N/mm<sup>2</sup>、LVL 試験体では曲げ応力が 15.7 N/mm<sup>2</sup> となるような荷重を載荷した。HBLVL 試験体では LVL と同等の曲げ応力となるように荷重を載荷した。本装置の加力機構の模式図を図 2. 3. 2. 3. 4-1、載荷状況を写真 2. 3. 2. 3. 4-1 に示す。また、試験実施期間中の試験機周辺の温湿度 (1 分間隔で収集したデータの 1 時間平均値) を図 2. 3. 2. 3. 4-2 に示す。また、温湿度の最高値および最低値を 1 分間隔で収集したデータおよび 1 時間平均値についてそれぞれ表 2. 3. 2. 3. 4-3 に示す。

### (2) クリープ変形特性の評価方法

クリープ変形の評価法については、建築基準法第 37 条に関する技術的基準 (平成 12 年建設省告示第 1446 号) が定める評価法を参考にした方法 (以下、告示法) および、クリープ変形のモデル式を用いた評価法 (以下、パワー則) を用いた。各方法の詳細を以下に記す。

#### 1) 告示法

経過時間  $t$  分ごとに測定されたたわみ  $\delta_{tmin}$  に対する載荷 1 分後のたわみ  $\delta_{1min}$  の比 (クリープ変形比  $K_t$ ) を計算し、経過時間の常用対数  $\log_{10}(t)$  を説明変数、クリープたわみ比の常用対数  $\log_{10}(K_t)$  を目的変数として線形回帰し、回帰直線の切片および傾きを算出した。回帰計算では載荷後 10 分、100 分および 500 分後ならびにその後 24 時間ごとのデータを用いた。また、載荷後 10 分、100 分、および 500 分後のデータを無視した場合でも回帰計算を行った。回帰直線上の時間が 50 年に相当するクリープ変形比  $K_{50year}$  を求め、50 年後に相当する変形  $\delta_{50year}$  を算出し、変形増大係数  $\delta_{50year} / \delta_{1min}$  を求めた。各式の関係を以下に示す。

$$K_t = \delta_{tmin} / \delta_{1min} \quad (1)$$

$$\log_{10}(K_t) = e + f \log_{10}(t) \quad (2)$$

$$K_{50year} = 10^e \times t_{50year}^f = 10^e \times 26280000^f \quad (3)$$

$$\delta_{50year} = \delta_{1min} / K_{50year} \quad (4)$$



ここで、 $\delta_{\min}$ ：載荷 1 分後のたわみ、 $\delta_{t_{\min}}$ ：載荷  $t$  分後のたわみ、 $e$ ： $\log_{10}K_t$  と  $\log_{10}t$  の回帰直線の切片、 $f$ ： $\log_{10}K_t$  と  $\log_{10}t$  の回帰直線の傾き、 $t_{50\text{year}}$ ：50 年分の時間  $t$  で 26280000 分

## 2) パワー則

クリープ変形のモデル式を以下の通りとした。

$$\delta_t = \delta_0 + At^n \quad (5)$$

ここで、 $\delta_t$ ：任意時間  $t$  でのたわみ、 $\delta_0$ ：載荷直後のたわみ、 $A$  および  $n$  は定数

式 (5) は対数変換により以下の式に帰着する。

$$\log_{10}(\delta_t - \delta_0) = n \log_{10}(t) + \log_{10}(A) \quad (6)$$

これより、説明変数を  $\log_{10}(t)$ 、目的変数を  $\log_{10}(\delta_t - \delta_0)$  として線形回帰し、回帰直線の傾き  $n$ 、切片  $\log_{10}(A)$  より定数  $n$  および  $A$  を得た。回帰計算では載荷後 10 分、100 分および 500 分後ならびにその後 24 時間ごとのデータを用いた。この方法を以下「パワー則：対数変換」とする。

また、統計ソフトウェア R version 4.3.2 を用いて非線形最小二乗法により式 (5) を実測データにあてはめ、定数  $A$  および  $n$  を得る方法も用いた。載荷後 10 分、100 分および 500 分後ならびにその後 24 時間ごとのデータを用いて回帰計算を行った。この方法を以下、「パワー則：非線形回帰」とする。また、載荷後 10 分、100 分、および 500 分後のデータを無視した場合でも回帰計算を行った。どちらの方法でも、 $\delta_0$  には載荷後 1 分後のたわみ ( $\delta_{\min.}$ ) を用いた。式 (5) より求めた 50 年経過後のたわみ ( $\delta_{50\text{year}}$ ) より、変形増大係数  $\delta_{50\text{year}} / \delta_{\min}$  を求めた。

## (3) 試験結果

結果を表 2.3.2.3.4-4~2.3.2.3.4-9 に示す。また、告示法の両対数プロットを図 2.3.2.3.4-3 に、パワー則の両対数プロットを図 2.3.2.3.4-4 に示し、スパン中央たわみの実測値を各評価法によるたわみ推定曲線とあわせて図 2.3.2.3.4-5、図 2.3.2.3.4-6 に示す。各評価法により算出された変形増大係数を表 2.3.2.3.4-10、表 2.3.2.3.4-11 に集約して再掲する。算出された変形増大係数は、評価方法別では、おおむね大きい順にパワー則：非線形回帰、パワー則：対数変換、告示法の順、試験体仕様別では、おおむね大きい順に HBLVL、LVL、集成材の順となった（表 2.3.2.3.4-10、表 2.3.2.3.4-11）。実験値と推定曲線の関係から、告示法ではほとんどの試験体で試験期間後半のたわみを過小評価する傾向がみられた（図 2.3.2.3.4-5）。載荷後 24 時間以内のデータを無視して回帰計算した場合では告示法によるたわみの過小評価傾向は軽減されたが、一部の試験体では載荷期間後半においてなおたわみの過小評価傾向がみられた。

木質構造設計規準・同解説<sup>6)</sup>では「クリープ変形は気乾状態では最終的に初期変形の約 2 倍に、湿潤状態または乾湿繰返し条件下では、約 3 倍になる」と記述されている。本試験は温湿度非定常条件下で実施したことから、一部の変形増大係数が 2 を超えるものが現れたと考えられる。建築基準法第 37 条に関する技術的基準（平成 12 年建設省告示第 1446 号）での評価方法である告示法による評価値はすべて 2 を下回った。

表 2.3.2.3.4-1 試験体仕様

仕様	層構成 荷重方向	強度等級	試験体数
カラマツ集成材	5層平使い	E105-F300 相当	2
カラマツ LVL	縦使い	120E-385F <sub>HV</sub> 相当	3
カラマツ-スギ HBLVL	5層平使い	-	3

表 2.3.2.3.4-2 密度および動的ヤング係数計測の結果

仕様	試験体 No.	密度 (Kg/m <sup>3</sup> )	$E_{fr}$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$E_{afb}$ (kN/mm <sup>2</sup> )
集成材	GL1	517	12.24	12.22
集成材	GL2	527	13.74	15.88
LVL	LVL1	601	14.07	13.00
LVL	LVL2	635	16.14	15.07
LVL	LVL3	626	15.50	14.37
HBLVL	HBLVL1	572	12.11	12.81
HBLVL	HBLVL2	559	11.35	11.31
HBLVL	HBLVL3	564	11.87	11.85

$E_{fr}$  : 縦振動による動的ヤング係数、 $E_{afb}$  : たわみ振動法による動的ヤング係数

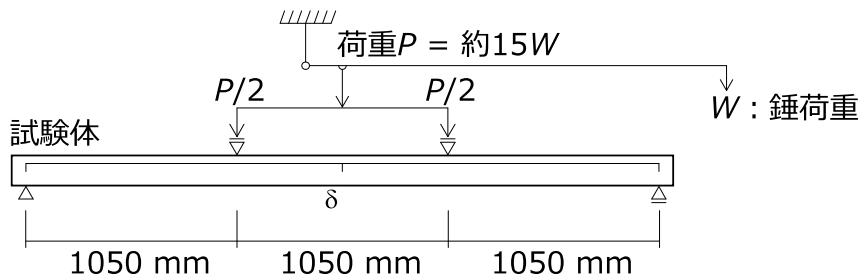


図 2.3.2.3.4-1 長期荷重装置の加力機構



写真 2.3.2.3.4-1 曲げクリープ試験の载荷状況

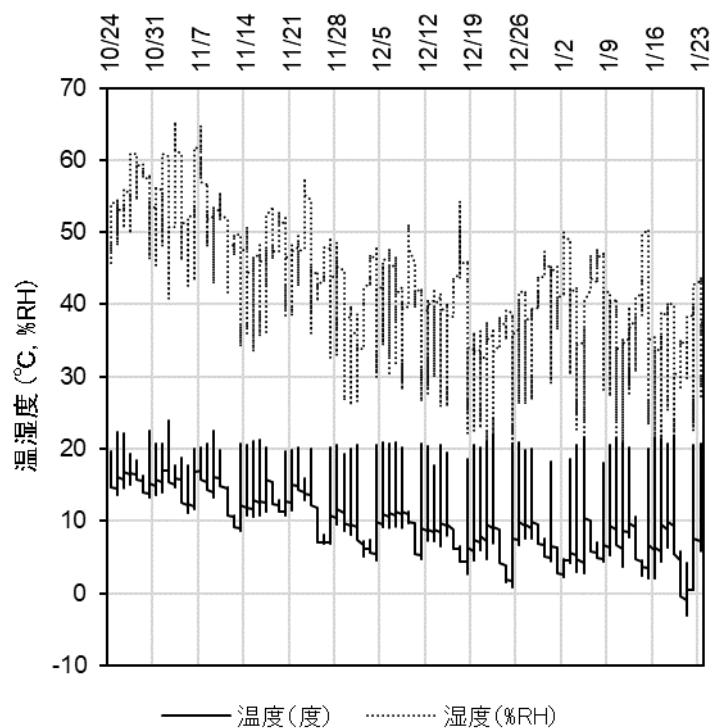


図 2.3.2.3.4-2 試験実施期間中の試験機周辺の温湿度  
(1分間隔で収集したデータの1時間平均値)

表 2.3.2.3.4-3 温湿度の最高値および最低値

	1分間隔収集データ		1時間平均値	
	温度 ℃	湿度 %RH	温度 ℃	湿度 %RH
最高	30.8	66.7	23.9	65.3
最低	-3.1	14.9	-3.0	17.4

表 2.3.2.3.4-4 告示法による評価の結果

試験体 No.	$\delta_{1\text{min}}$	$e$	$f$	$K_{50\text{year}}$	$\delta_{50\text{year}}$	$\delta_{50\text{year}} / \delta_{1\text{min}}$
	mm				mm	
GL1	14.28	0.026	-0.017	0.80	17.87	1.25
GL2	11.36	0.048	-0.022	0.77	14.82	1.30
LVL1	15.88	0.037	-0.019	0.78	20.24	1.27
LVL2	13.88	0.044	-0.021	0.78	17.84	1.29
LVL3	14.43	0.036	-0.018	0.80	18.14	1.26
HBLVL1	16.60	0.058	-0.028	0.71	23.27	1.40
HBLVL2	17.72	0.046	-0.024	0.73	24.19	1.37
HBLVL3	17.87	0.040	-0.023	0.75	23.96	1.34

$\delta_{1\text{min}}$  : 載荷 1 分後のたわみ,  $\delta_{50\text{year}}$  : 50 年後のたわみ推定値,  $e, f, K_{50\text{year}}$  : 式(1)~(4)を参照

表 2.3.2.3.4-5 告示法による評価の結果 (24 時間以内データを無視した場合)

試験体 No.	$\delta_{1\text{min}}$	$e$	$f$	$K_{50\text{year}}$	$\delta_{50\text{year}}$	$\delta_{50\text{year}} / \delta_{1\text{min}}$
	mm				mm	
GL1	14.28	0.041	-0.020	0.78	18.22	1.28
GL2	11.36	0.094	-0.032	0.72	15.72	1.38
LVL1	15.88	0.073	-0.027	0.75	21.21	1.34
LVL2	13.88	0.085	-0.029	0.74	18.82	1.36
LVL3	14.43	0.070	-0.025	0.76	18.96	1.31
HBLVL1	16.60	0.117	-0.040	0.66	25.11	1.51
HBLVL2	17.72	0.092	-0.034	0.69	25.67	1.45
HBLVL3	17.87	0.077	-0.030	0.71	25.12	1.41

$\delta_{1\text{min}}$  : 載荷 1 分後のたわみ,  $\delta_{50\text{year}}$  : 50 年後のたわみ推定値,  $e, f, K_{50\text{year}}$  : 式(1)~(4)を参照

表 2.3.2.3.4-6 パワー則 : 対数変換による評価の結果

試験体 No.	$n$	$A$	$\delta_{50\text{year}}$	$\delta_{50\text{year}} / \delta_{1\text{min}}$
			mm	
GL1	0.260	0.106	23.38	1.64
GL2	0.332	0.040	23.18	2.04
LVL1	0.275	0.102	27.06	1.70
LVL2	0.321	0.054	26.75	1.93
LVL3	0.293	0.071	24.97	1.73
HBLVL1	0.306	0.104	36.06	2.17
HBLVL2	0.271	0.157	33.79	1.91
HBLVL3	0.264	0.164	32.81	1.84

$\delta_{1\text{min}}$  : 載荷 1 分後のたわみ,  $\delta_{50\text{year}}$  : 50 年後のたわみ推定値,  $n, A$  : 式(5)を参照

表 2.3.2.3.4-7 パワー則：対数変換による評価の結果（24 時間以内データを無視した場合）

試験体 No.	$n$	$A$	$\delta_{50\text{year}}$	$\delta_{50\text{year}} / \delta_{1\text{min}}$
mm				
GL1	0.198	0.211	20.47	1.43
GL2	0.313	0.050	21.84	1.92
LVL1	0.268	0.110	26.60	1.67
LVL2	0.298	0.069	25.08	1.81
LVL3	0.271	0.090	23.66	1.64
HBLVL1	0.307	0.102	36.18	2.18
HBLVL2	0.269	0.160	33.60	1.90
HBLVL3	0.247	0.198	31.25	1.75

$\delta_{1\text{min}}$ ：載荷 1 分後のたわみ， $\delta_{50\text{year}}$ ：50 年後のたわみ推定値， $n$ ， $A$ ：式(5)を参照

表 2.3.2.3.4-8 パワー則：非線形回帰による評価の結果

試験体 No.	$n$	$A$	$\delta_{50\text{year}}$	$\delta_{50\text{year}} / \delta_{1\text{min}}$
mm				
GL1	0.215	0.175	21.13	1.48
GL2	0.340	0.037	23.76	2.09
LVL1	0.289	0.087	28.08	1.77
LVL2	0.324	0.052	27.01	1.95
LVL3	0.296	0.069	25.16	1.74
HBLVL1	0.334	0.077	39.64	2.39
HBLVL2	0.283	0.138	35.01	1.98
HBLVL3	0.257	0.177	32.12	1.80

$\delta_{1\text{min}}$ ：載荷 1 分後のたわみ， $\delta_{50\text{year}}$ ：50 年後のたわみ推定値， $n$ ， $A$ ：式(5)を参照

表 2.3.2.3.4-9 パワー則：非線形回帰による評価の結果（24 時間以内データを無視した場合）

試験体 No.	$n$	$A$	$\delta_{50\text{year}}$	$\delta_{50\text{year}} / \delta_{1\text{min}}$
mm				
GL1	0.201	0.204	20.59	1.44
GL2	0.340	0.037	23.76	2.09
LVL1	0.290	0.086	28.16	1.77
LVL2	0.325	0.051	27.04	1.95
LVL3	0.296	0.068	25.20	1.75
HBLVL1	0.337	0.074	40.02	2.41
HBLVL2	0.285	0.135	35.20	1.99
HBLVL3	0.256	0.180	32.01	1.79

$\delta_{1\text{min}}$ ：載荷 1 分後のたわみ， $\delta_{50\text{year}}$ ：50 年後のたわみ推定値， $n$ ， $A$ ：式(5)を参照

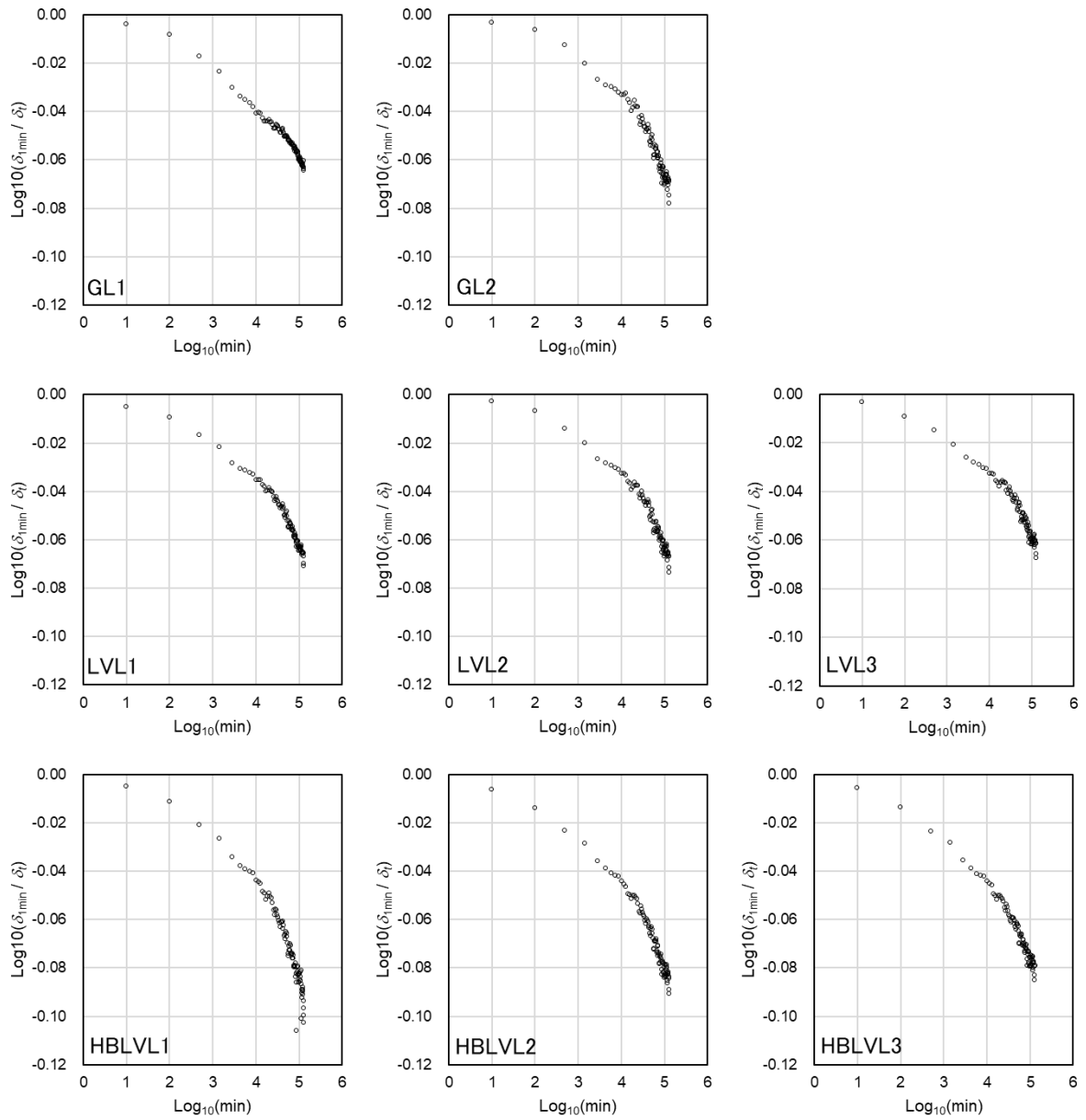


図 2.3.2.3.4-3 告示法による評価での両対数プロット

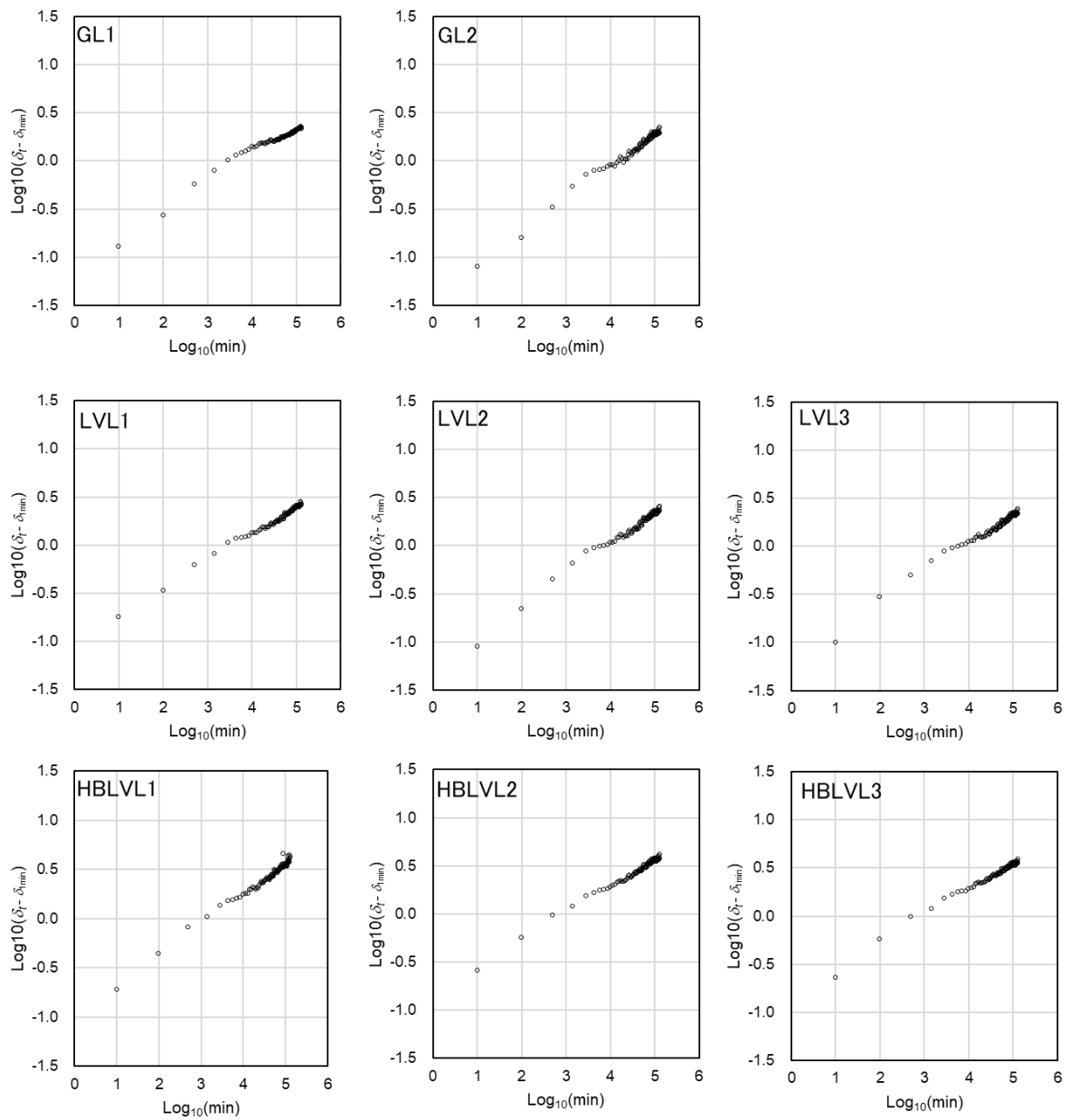
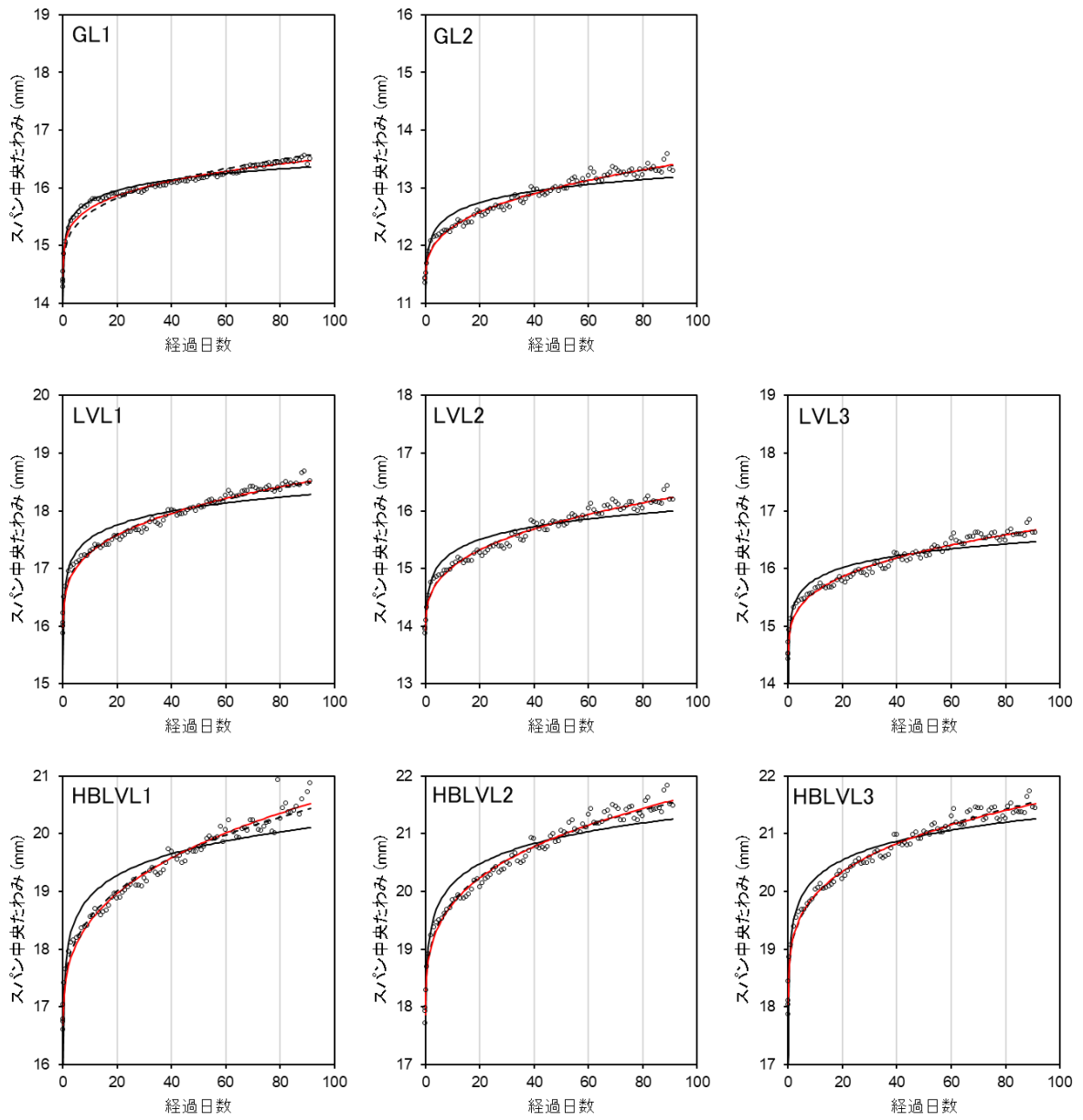


図 2.3.2.3.4-4 パワー則による評価での両対数プロット



○ 実験値                      — 告示法  
 ---- パワー則: 対数変換      — パワー測: 非線形回帰

図 2. 3. 2. 3. 4-5 スパン中央たわみ実測値と推定曲線



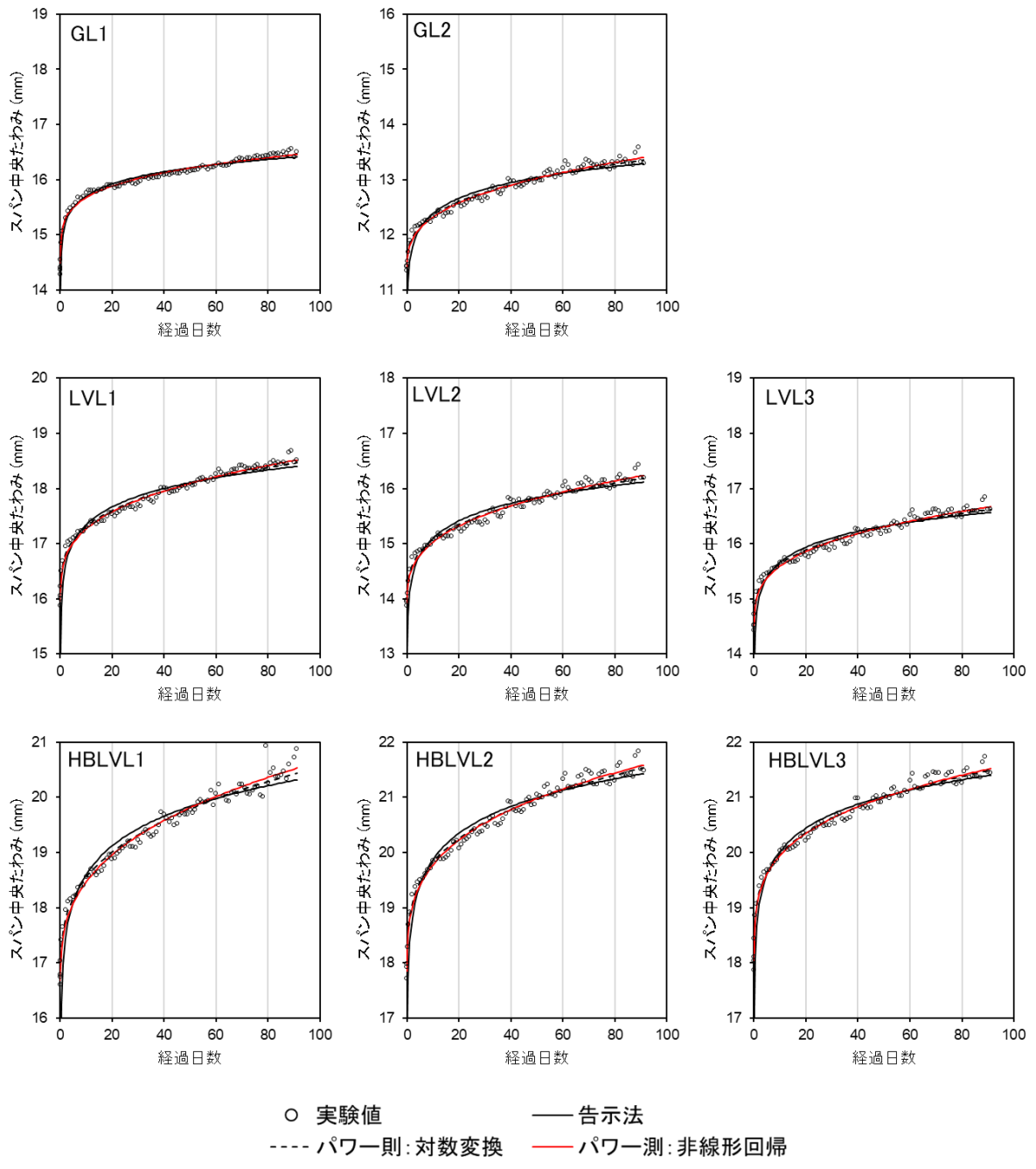


図 2. 3. 2. 3. 4-6 スパン中央たわみ実測値と推定曲線 (24 時間以内データを無視した場合)

表 2.3.2.3.4-10 変形増大係数

試験体 No.	告示法	パワー則：対数変換	パワー則：非線形回帰
GL1	1.25	1.64	1.48
GL2	1.30	2.04	2.09
LVL1	1.27	1.70	1.77
LVL2	1.29	1.93	1.95
LVL3	1.26	1.73	1.74
HBLVL1	1.40	2.17	2.39
HBLVL2	1.37	1.91	1.98
HBLVL3	1.34	1.84	1.80

表 2.3.2.3.4-11 変形増大係数 (24 時間以内データを無視した場合)

試験体 No.	告示法	パワー則：対数変換	パワー則：非線形回帰
GL1	1.28	1.43	1.44
GL2	1.38	1.92	2.09
LVL1	1.34	1.67	1.77
LVL2	1.36	1.81	1.95
LVL3	1.31	1.64	1.75
HBLVL1	1.51	2.18	2.41
HBLVL2	1.45	1.90	1.99
HBLVL3	1.41	1.75	1.79

## 2. 4 まとめ

本研究では、横架材における国産材比率の向上を目指し、カラマツおよびシラカンバによる高強度 LVL とスギの低強度 LVL を用いたハイブリッド LVL を製造した。LVL ラミナおよび実大ハイブリッド LVL の曲げ、せん断、クリープ性能の評価を行った。得られた成果の概要を以下にまとめる。

### 【広葉樹 LVL とハイブリッド LVL の製造試験】

◆北海道産シラカンバ（長さ 2m）を用いて実大 LVL（厚 30mm×幅 1200mm×長 6000mm）を製造した。使用したシラカンバ原木 21m<sup>3</sup>に対して 6m<sup>3</sup>の乾燥単板が得られ、歩留りは約 28%であった。超音波伝播速度による単板のヤング係数区分は、140E 以上が 76.0%、120～139E が 20.5%、100～119E が 3.3%、100E 未満が 0.1%であった。実大 LVL の製造においては、単板のヤング係数区分を行わず無選別に単板を使用し、フェノール樹脂を用いて接着した。製造した LVL について、LVL の JAS に従って曲げおよびせん断試験を行った結果、曲げ性能は「120E-450F<sub>HV</sub>」、せん断性能は「65V-55H」の区分に適合する性能が得られた。

◆実際の LVL 生産ラインでハイブリッド LVL を製造する方法として、いくつかの案が考えられる。昨年度は、集成材のように LVL ラミナのヤング係数に基づいてラミナを配置したが、今年度の試験では、JAS に基づいて一次接着した LVL 原板を小割して端から順に枝番号を付け、枝番号が同じもの同士を二次接着する方法を採用した。ハイブリッド LVL の外層にはカラマツまたはシラカンバ、内層にはスギを用いた。積層数はカラマツ - スギタイプは 10 プライおよび 4 プライ、シラカンバ - スギタイプは 4 プライとし、一次接着にはフェノール樹脂、二次接着にはレゾルシノール樹脂を用いた。

### 【LVL ラミナの性能評価】

◆製造した LVL ラミナ（スギ、カラマツ、シラカンバ）について、曲げ、引張、せん断試験を行い性能を評価した。曲げ試験及びせん断試験は平使いと縦使いの両方向について実施した。LVL ラミナの密度は、スギが 432(kg/m<sup>3</sup>)、カラマツが 621(kg/m<sup>3</sup>)、シラカンバが 609(kg/m<sup>3</sup>)となり、カラマツとシラカンバが同程度であった。密度とヤング係数の間には高い相関が認められた。曲げ強度および引張強度の平均値は、カラマツよりもシラカンバの方が約 4 割高くなった。また、せん断強さの平均値は、平使いではカラマツよりもシラカンバの方が約 3 割高かったが、縦使いでは、カラマツの方が約 1 割高くなり、荷重方向によって異なる傾向が認められた。

### 【ハイブリッド LVL の性能評価】

◆ハイブリッド LVL の実大曲げ試験を 4 点荷重方式（荷重点間は梁せいの 4 倍、スパンは梁せいの 18 倍）で行い、曲げ強さと曲げヤング係数を求めた。その結果、昨年度と比べてヤング係数と曲げ強さともにばらつきが減少したものの、最外層ラミナが同一母材から小割された場合でも多少のばらつきが含まれることがわかった。ハイブリッド LVL の実大せん断試験（中央集中荷重方式、スパンは梁せいの 4 倍）を行いせん断強さを求めた。その結果、10 プライ平使いではスギ内層でせん断破壊して外層樹種にかかわらずスギ LVL の性能に依存する結果となった。4 プライ縦使いでは、カラマツ - スギでは曲げ破壊、シラカンバ - スギでは曲げ破壊とせん断破壊を同時に示すものが多かった。

◆ハイブリッド LVL の二次接着層について、接着性能を評価した。減圧加圧剥離試験の結果、一次接着層では、一部に JAS 基準を満たさないものがあつたが、二次接着層部分には剥離は認められず、JAS の基準を満たす接着性能が得られた。二次接着層のブロックせん断試験の結果、異樹種間の荷重方向によるせん断強さの違いについて、カラマツ - スギ間においてはスギ側に荷重した方がやや高い性能が得られたが、シラカンバ - スギ間においては大きな差はなかつた。LVL の JAS による中央荷重方式の水平せん断試験の結果、カラマツ - スギの試験体が「50V-43H」、シラカンバ - スギの試験体が「60V-50H」、スギ同士の試験体が「40V-34H」の基準を満たす性能が得られた。

◆ハイブリッド LVL (105×150×150mm、5 層) について、温湿度無調整の試験棟内でクリープ試験を実施した。比較用としてカラマツ集成材 (E105-F300 相当、5 層平使い) およびカラマツ LVL (120E-385F<sub>HV</sub> 相当、縦使い) についても同時に試験した。クリープ変形の評価は、告示法、パワー側 (対数変換)、パワー側 (非線形回帰) の 3 種類で評価した。その結果、告示法ではほとんどの試験体で試験期間後半のたわみを過小評価する傾向がみられた。パワー側 (非線形回帰) で評価すると、変形増大係数の平均値は、カラマツ集成材が 1.77、カラマツ LVL が 1.81、ハイブリッド LVL が 2.02 となり、ハイブリッド LVL のクリープ変形が大きくなることが明らかとなった。

以上のように、カラマツおよびスギ LVL を水平積層したハイブリッド LVL について、大判の LVL 同士を二次接着することを想定して LVL を製造し、種々の強度性能を明らかにした。また、シラカンバを用いて構造用 LVL が量産ラインで製造可能であることを示し、LVL ラミナやハイブリッド LVL の強度性能を明らかにした。今後は、ハイブリッド LVL を JAS 製品として実現するため、基準強度制定に向けて実大材の引張、圧縮性能なども把握する必要がある、林野補助事業等を活用しながら、さらなる検証に取り組む予定である。

#### 【文献】

- 1) 令和 3 年度北海道林業統計 : <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/rin-toukei/rin-toukei-index.html>
- 2) 大野泰之 : 北方林業 69(3)、1-4 (2018).
- 3) 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, 2011 年 3 月
- 4) 野沢浩二、藤田和彦、安村基、中島史郎、李元羽、成田敏基 : 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) p33-34, 2015 年 9 月
- 5) 木材の強度等データおよび解説 : 木構造振興株式会社, 2011 年 3 月
- 6) 木質構造設計基準・同解説 - 許容応力度・許容耐力計算法 - : 日本建築学会, 2006 年 12 月

### 3. 長尺 LVL 床版開発

#### 3. 1 目的

小規模から中大規模木造の水平構面設計において、30mm から 50mm 厚で強度の高い厚板 LVL を面材とした、釘・ビスで接合した構面構成は今までに検討されてこなかった。本事業では現場の施工性を勘案して様々な厚みと釘・ビス・接着剤の組み合わせの検討を行い、データを収集した。図 3-1 に、厚板 LVL を使用した水平構面の一例を示した。

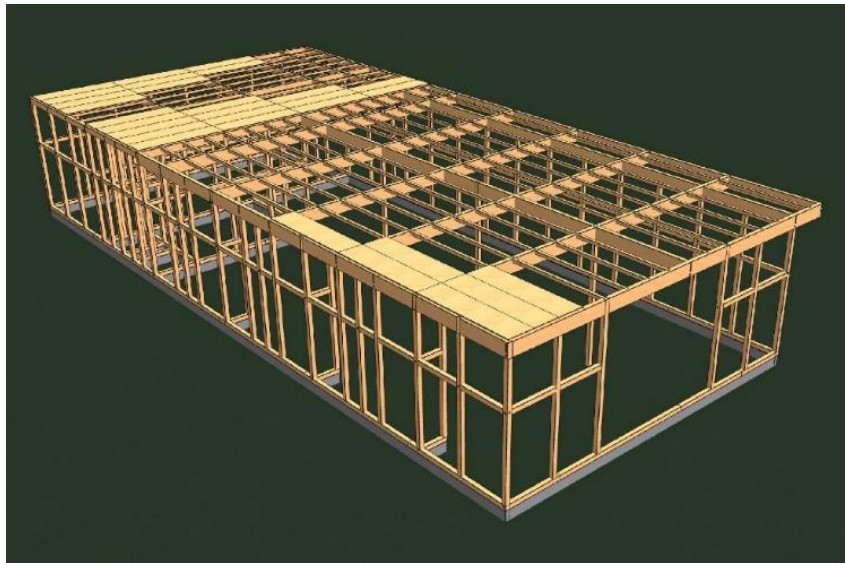


図 3-1 厚板 LVL を使用した水平構面のパース

### 3. 2 実施体制

本事業では下記委員会を設け、それぞれの有識者に参加いただき計画立案・試験の実施・性能検証を行った。

委員長	東京大学	稲山正弘	大学院農学生命科学研究科 教授
委員	島根県産業技術センター	河村 進	有機材料技術科
委員	建材試験センター	早崎洋一	西日本試験所 試験課 主幹
会員会社			
	株式会社ウッドワン	牧野克己	構造システム営業部 シニアマネージャー
	株式会社ウッドワン	菅田啓子	技術開発部 課長
	株式会社ウッドワン	泉谷龍彦	技術開発部 係長
	株式会社ウッドワン	岡本肇	構造システム営業部 課長
	株式会社ウッドワン	疋田慎二	構造システム営業部 係長
	株式会社オーシカ	小竹宏明	建材事業部 係長
	株式会社キーテック	吉田智則	営業部 次長
	シネジック株式会社	寺澤正広	営業本部 R&D推進室 マネージャー
	若井ホールディングス株式会社	橋本岳史	開発本部
	セメダイン株式会社	久住 明	技術部 専任部長
	セメダイン株式会社	倉内晴久	技術部開発グループ第四チーム チームリーダー
	セメダイン株式会社	高橋 駿	技術部開発グループ第四チーム
	セメダイン株式会社	紺野 誠	技術部開発グループ第四チーム
	ファーストプライ	大河龍也	代表取締役
	ファーストプライ	齋藤寛之	製造部生産本部長
	ファーストプライ	白山 友樹	製造部工場長
	ファーストプライ	渡辺 歩	次長
	株式会社 日新	黄 箭波	常務
	株式会社 日新	松下 清	NS木質科学研究所 次長
	斎藤木材工業株式会社	貴船達也	建築部 課長
	斎藤木材工業株式会社	志村 智	建築部 課長
	株式会社 名南製作所	伊藤誠一	開発部
	株式会社 名南製作所	小田博茂	営業部
	株式会社 太平製作所	齊藤 武	役員
	メツァ・ウッド (Metsa Wo)	田邊公彰	ケルトLVL部門 日本連絡役
	橋本電機工業株式会社	船瀬正裕	
	橋本電機工業株式会社	鈴木克巳	
	株式会社タツミ	田所洋介	営業企画開発管理本部長
	石巻合板工業株式会社	阿部勝浩	製造部管理チーム 次長
	石巻合板工業株式会社	野田和成	企画課 課長
オブザーバー			
	林野庁木材産業課	齋藤 平	木材製品調査班 企画調整係長
	林野庁木材産業課	立花紀之	木材専門官
	木構造振興株式会社	平原章雄	常務取締役
事務局			
	全国LVL協会	平沼孝太	事務局長
		李 元羽	技術部長
		成田敏基	技術課長
		崔 華暉	

### 3. 3 実施内容

#### 3. 3. 1 詳細計算法による1本あたりせん断特性

#### 3. 3. 2 ロケット型接合部一面せん断性能の検討

#### 3. 3. 3 実大寸法での面内せん断性能

材料、接合仕様を決定するために、3. 3. 1では3×6サイズの面内せん断試験を実施し、面内釘1本あたりの特性値を算出した。3. 3. 2ではロケット型での接合部試験を実施し、3. 3. 1で算出した1本あたりの特性値と比較して整合性を検討した。3. 3. 3では3. 3. 1で行った材料・接合仕様のうちの実大サイズの性能を実験により確認し、算出した面内せん断試験との整合性を検討した。

### 3. 3. 1 詳細計算法による1本あたりせん断特性

この章における実施項目は以下の通りである。

3. 3. 1. 1	目的	P87
3. 3. 1. 2	試験体	P88
3. 3. 1. 3	試験方法	P101
3. 3. 1. 4	結果	P102
3. 3. 1. 5	ビスの比較試験	P132



### 3. 3. 1. 1 目的

昨年度の引き続き、高剛性かつ長尺の厚板 LVL を面内とした水平構面の検証を行った。現場の施工性を勘案して剛性と靱性のバランス確保を狙って、様々の厚み、接着剤、くぎ・ビスの組合せの仕様を検討し、データを収集した。ビスの選定に関しては、3. 3. 1. 5 の試験結果の通りとした。

### 3. 3. 1. 2 試験体

厚版水平構面本番試験の仕様を決めるため、下記表 3-1 のように 7 仕様、試験体寸法幅 910mm × 高 1820mm の面内せん断試験を行った。図面を図 3-2～3-15 に示した。各試験体の試験前の写真を写真 3-1～写真 3-13 に示した。

表 3-1 試験体仕様

試験体No.	仕様													備考
	留付仕様検討							実大確認						
	No. 01	No. 02	No. 03	No. 04	No. 05	No. 06	No. 07	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13			
試験体数	3	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	
概要	3 × 6 試験 CN75φ75	No. 02で接 着したらど のくらい剛 性であるか?	ビス70φ150 でどのくら いの剛性で るか?	No. 04で接 着したらど のくらい剛 性であるか?	面材厚50に ビス 110φ150で どのくらい 剛性である か?	No. 06の樹 種違い	フレームの み	1820×2730	1820×3640 r4095or450 0	1820×2730	1820×3640 r4095or450 0	1820×3640 r4095or450 0	1820×3640 r4095or450 0	
梁1	材料樹種	スプルス集成E95-F270												
	断面	幅105×せい105							幅105×せい180					
梁2	梁1と同じ													
梁-梁接合	HD金物	高耐久フレックスホールダウン60 柱頭1本、柱脚2本 大入れ釘2本うち												
床版LVL面材	樹種	スギ E50 厚30mm	○	○	○	○				○	○	○	○	
		カラマツ E80 厚50mm					○							
		ラジアータパイン E80 厚50mm						○						
留付具	CN75 ビッチ75	○								CN75	CN75			
	CN75 ビッチ75 接着有		○											
	ビスφ5.5×L70 ビッチ150 隔打ち無し			○								ビス	ビス	ビスφ5.5×70=ネダ ノットか根太レスの1 面せん断結果のうち小 さい方で実施
	ビスφ5.5×L70 ビッチ150 接着有 隔打ち無し				○									
	ビスφ6×L110 ビッチ150					○	○							ウレタン接着材： PU1000 セメダイン

表 3-2 材料詳細

部位	仕様詳細
試験体寸法	幅910 x 高1820mm (芯々寸法)
試験体数	仕様①、③、⑤ 各 3 体、仕様②、④、⑥、⑦ 各 1 体
面材：床パネル	面材寸法：幅910 x 高1820mm
	①スギLVL (B種) 厚30mm 50E
	②カラマツLVL (B種) 厚50mm 80E
	③ラジアータパインLVL (B種) 厚50mm 80E
仕口接合	仕口：大入れ蟻掛け (釘2本斜め打ち) N90
木材 (軸組)	断面寸法：幅105mm x 厚105mm
	構造用スプルス集成材 (E95-F270 対称異等級)
留付具 (ビス、釘)	①CN75 ②ビス 木質構造用ねじ (半ねじ) Ø5.5 x L70mm ③木質構造用ねじ (半ねじ) Ø6 x L110mm
接着剤	PU1000
面材-軸組 (ビス、釘)	1例配置 釘@75、木質構造用ねじ (半ねじ) @150
柱脚柱頭補強金物	品名：高耐久フレックスホールダウン60
	製造：BXカネシン株式会社
	その他：柱頭部1個 柱脚部 1個

試験体の含水率測定結果を表 3.3 に示す。含水率は、高周波容量式木材水分計（HM-520(株)ケックト科学研究所）を用い、3ヶ所測定の平均値とした。

表 3.3 試験体の含水率、比重 測定結果

項目	No.	横架材 (上)	柱 (加力)	柱 (非加 力)	横架材 (下)	面材
含水率 (平均) (%)	1-1	15.00	14.30	14.30	15.60	21.60
	1-2	15.30	13.50	17.00	14.80	21.00
	1-3	14.10	12.10	12.60	12.50	20.50
	2	16.30	14.00	17.30	17.10	22.10
	3-1	16.60	11.50	11.30	16.60	21.80
	3-2	15.10	13.80	14.80	14.50	21.80
	3-3	12.00	14.00	14.00	15.80	20.00
	4	14.80	13.10	15.50	14.60	23.30
	5-1	14.10	14.80	15.30	14.00	12.80
	5-2	15.30	13.50	12.60	15.10	13.30
	5-3	17.10	9.60	10.80	14.80	11.00
	6	15.00	14.30	15.60	13.10	17.00
	フレーム	14.80	14.00	16.30	16.50	-
比重 (g/cm <sup>3</sup> )	1-1	0.50	0.48	0.48	0.47	0.32
	1-2	0.44	0.46	0.48	0.48	0.32
	1-3	0.47	0.48	0.47	0.48	0.32
	2	0.48	0.48	0.49	0.51	0.33
	3-1	0.47	0.45	0.46	0.47	0.32
	3-2	0.47	0.48	0.48	0.48	0.31
	3-3	0.45	0.48	0.47	0.48	0.32
	4	0.47	0.51	0.52	0.47	0.32
	5-1	0.47	0.50	0.47	0.46	0.63
	5-2	0.44	0.47	0.47	0.49	0.64
	5-3	0.48	0.47	0.50	0.45	0.60
	6	0.46	0.49	0.46	0.45	0.60
	フレーム	0.45	0.50	0.51	0.49	-

接着剤は、セメダインのPU1000を使用した。ウレタン系接着剤である。セメダインが発行する施工要領書に従って塗布し、ビスで留め付けて圧縮、1週間以上の養生期間をとって試験に供した。

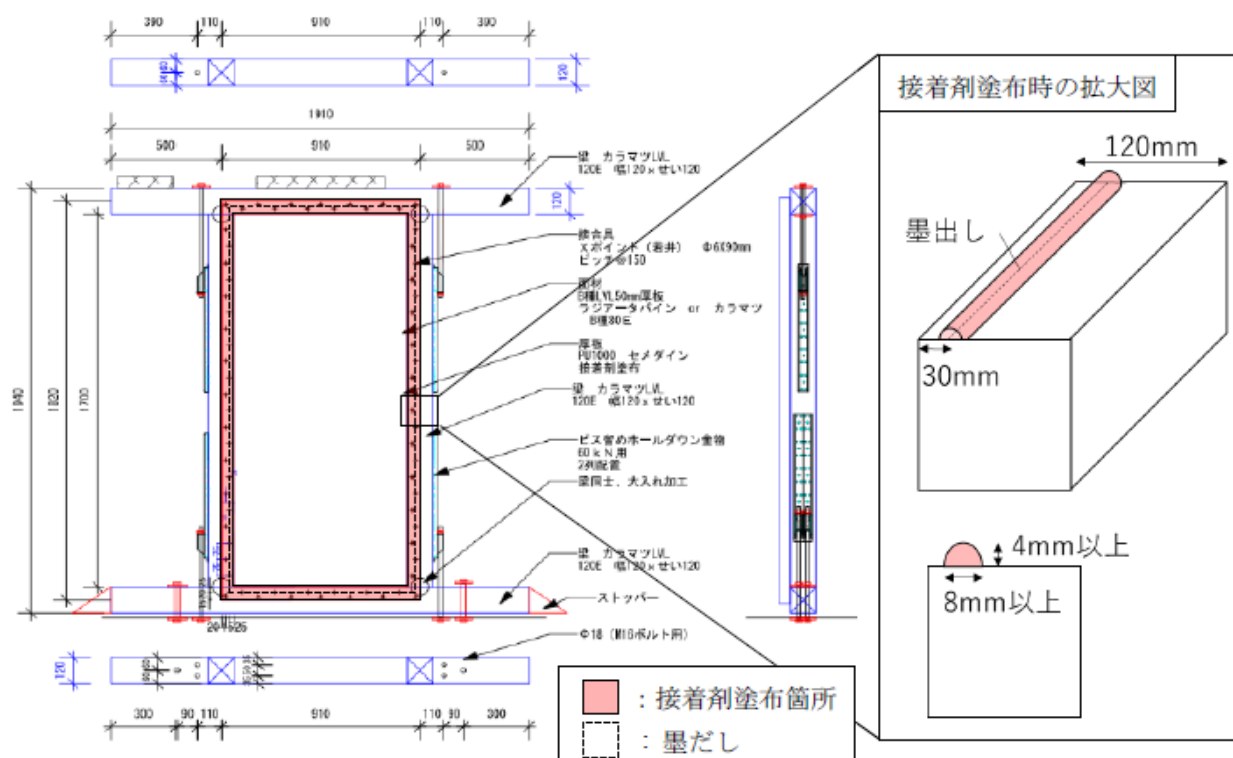


図 3-1 接着剤と施工要領

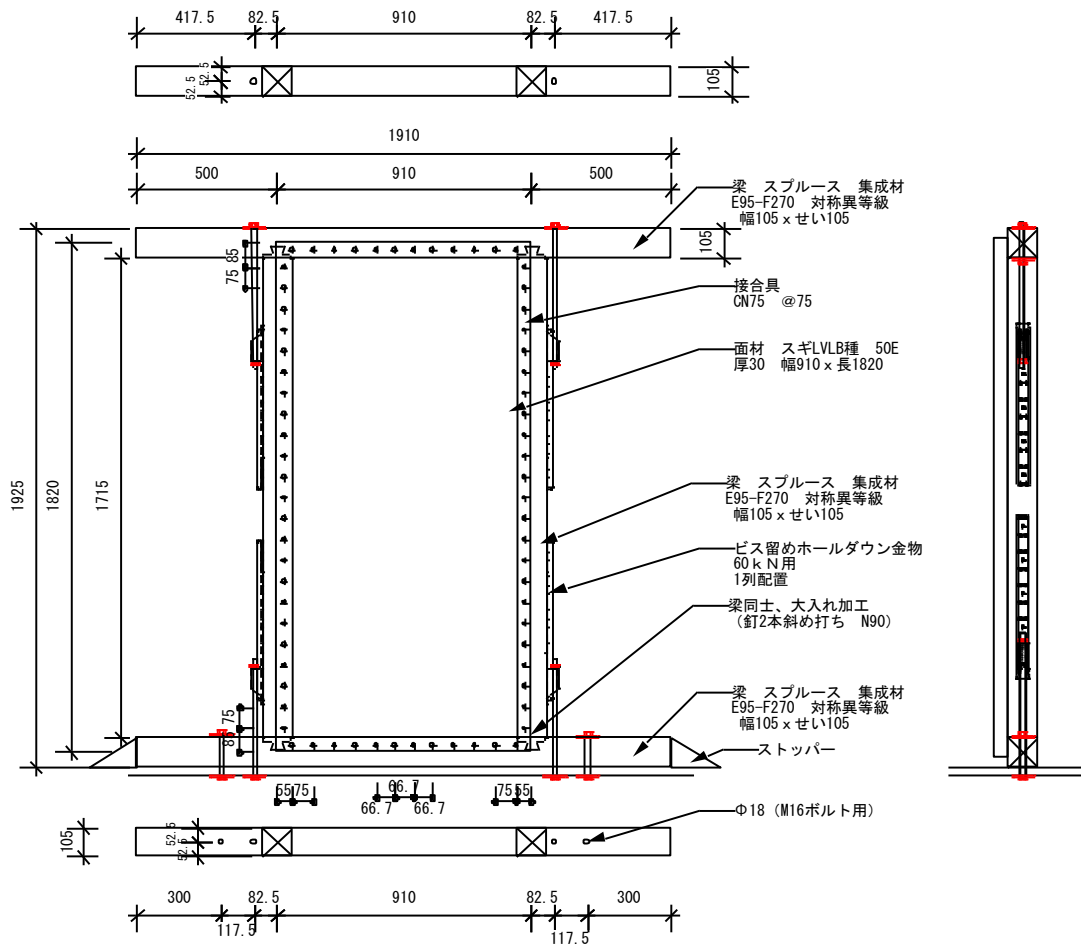


図 3-2 試験体 (No. 1) CN75@75 スギ 30 厚 3 体

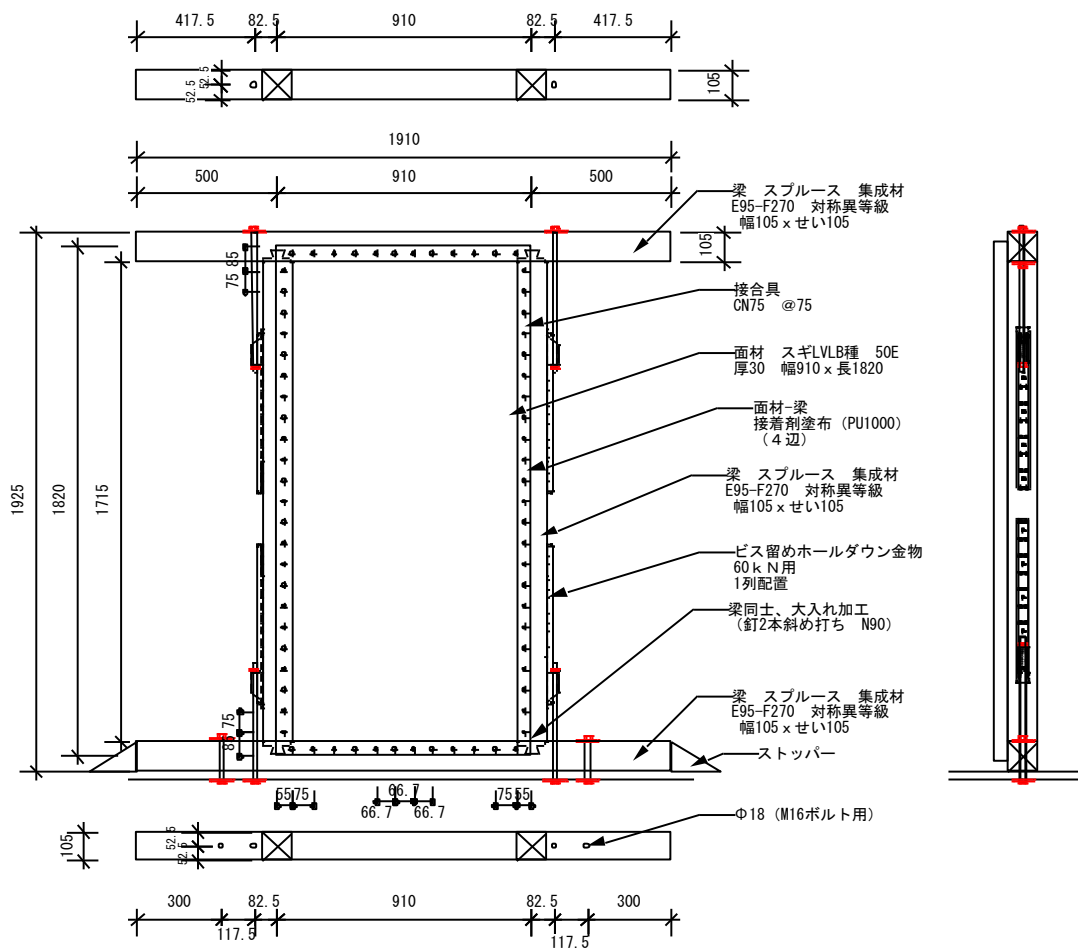


図 3-3 試験体 (No. 2) CN75@75 スギ 30 厚 接着有 1 体

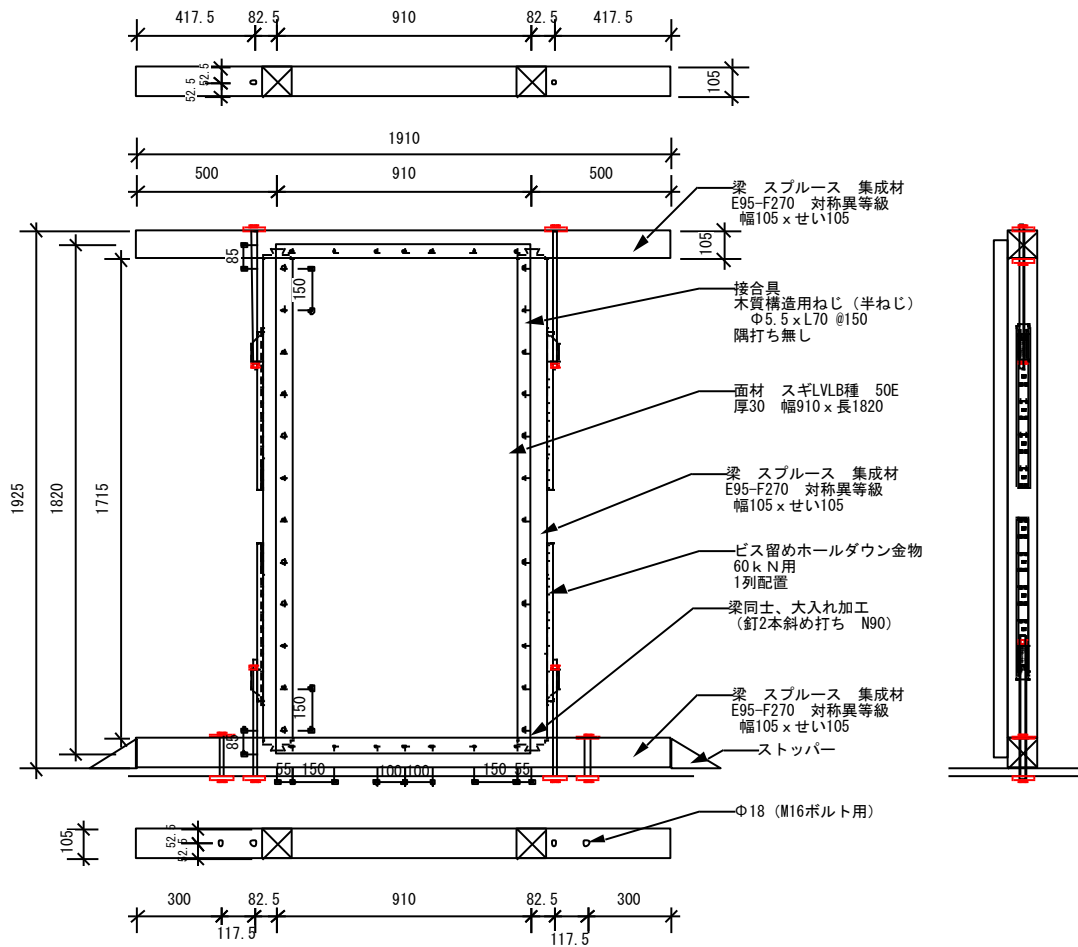


図 3-4 試験体 (No. 3) ビス 70@150 スギ 30 厚 3 体

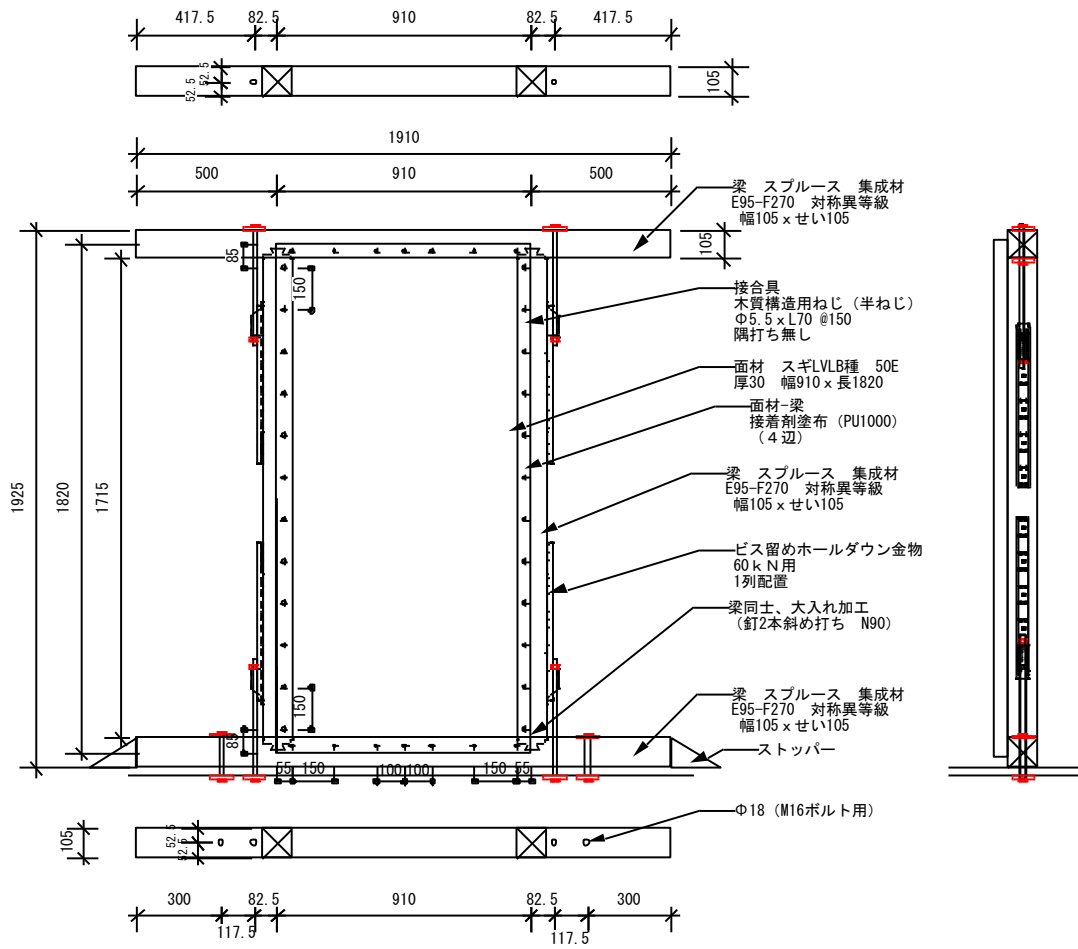


図 3-5 試験体 (No. 4) ビス 70@150 スギ 30 厚 接着有 1 体



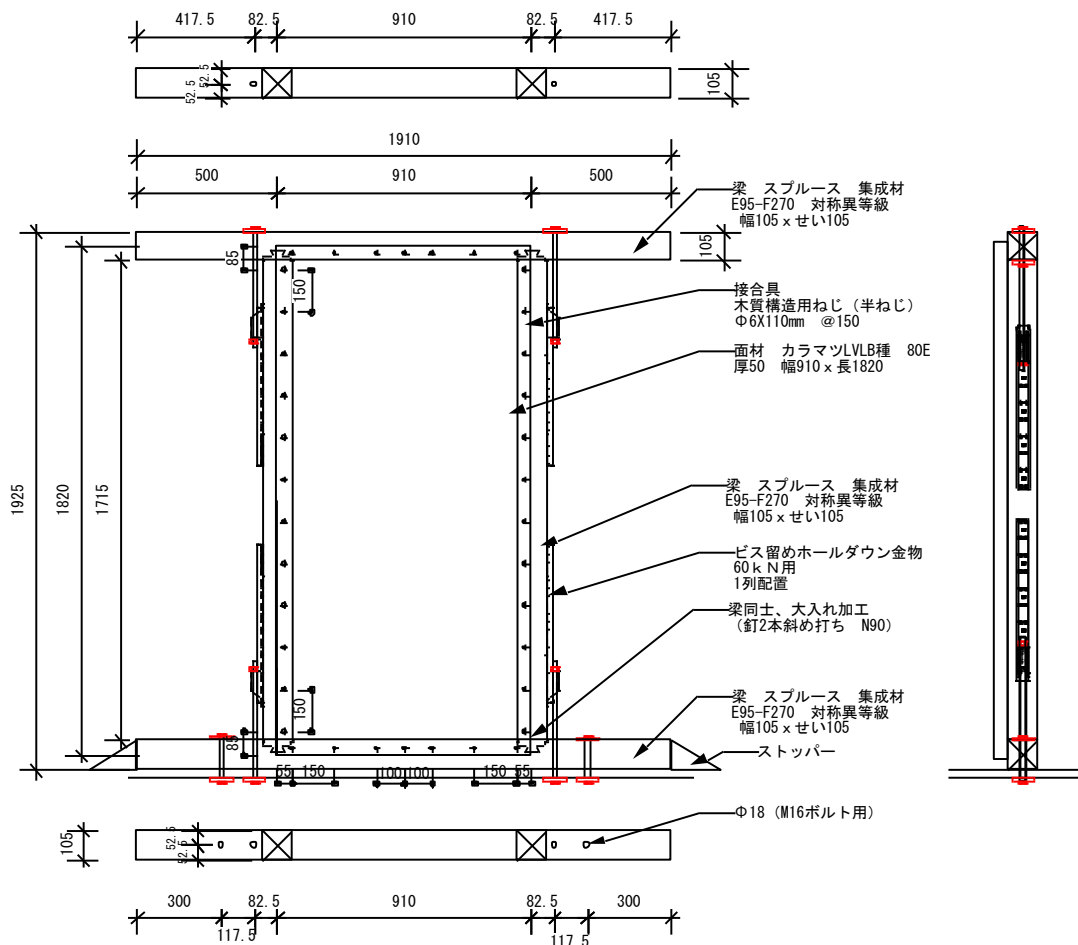


図 3-6 試験体 (No. 5) ビス 110@150 カラマツ 50厚 3体

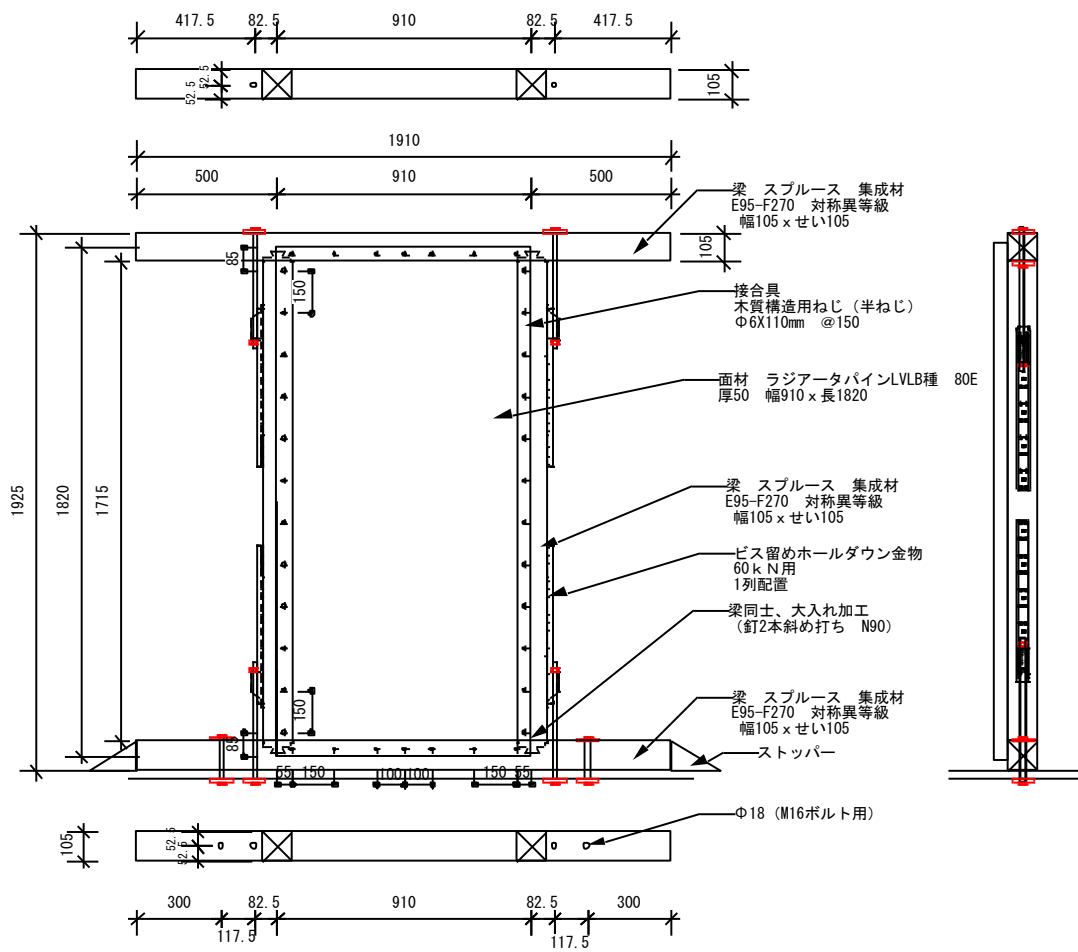


図 3-7 試験体 (No. 6) ビス 110@150 ラジアータパイン 50 厚 1 体

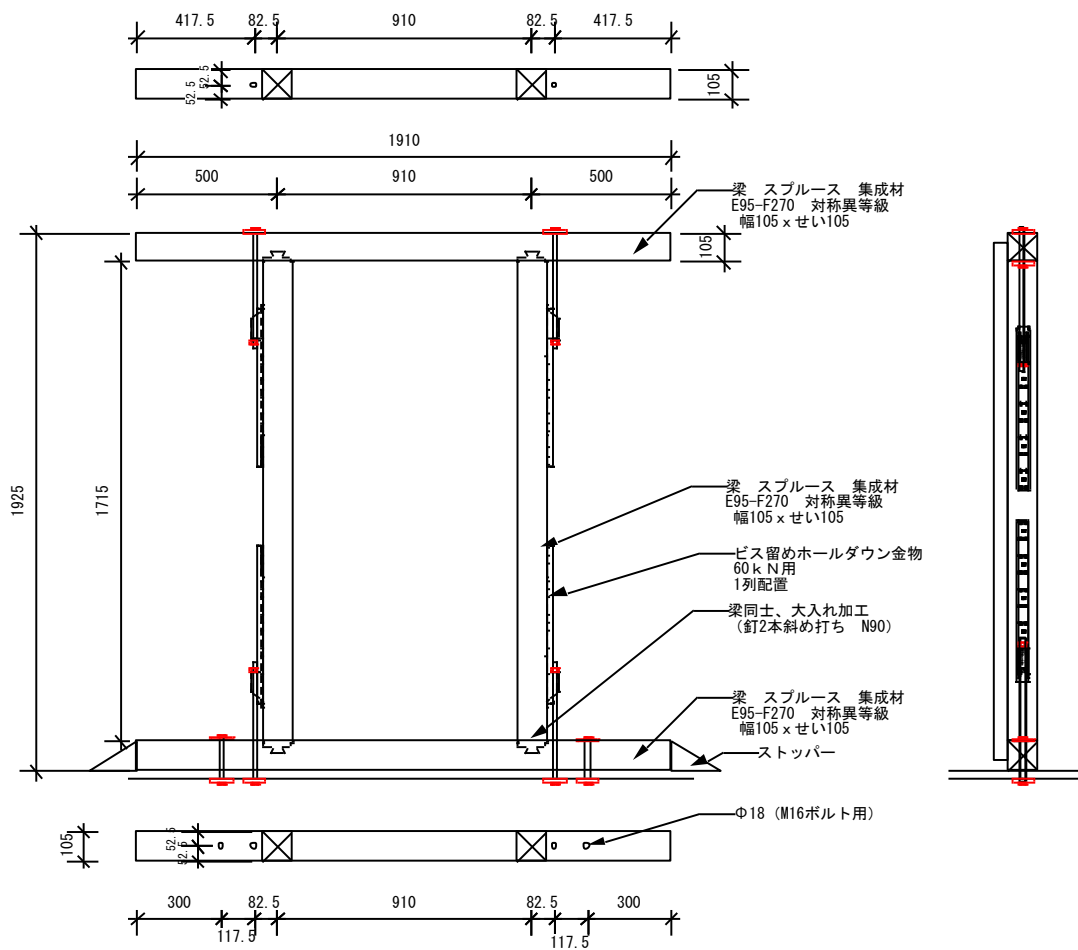
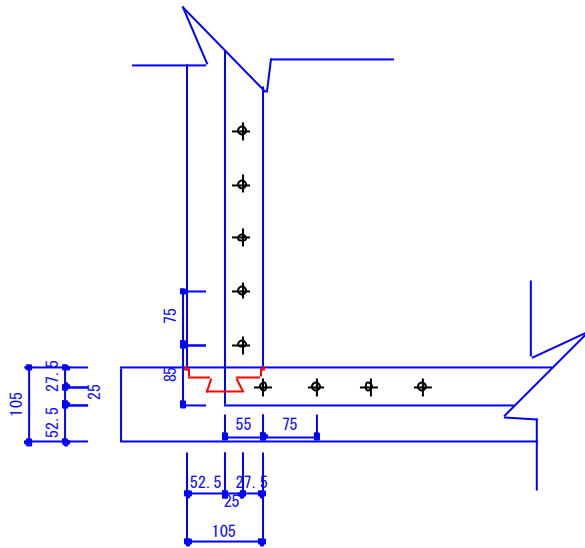
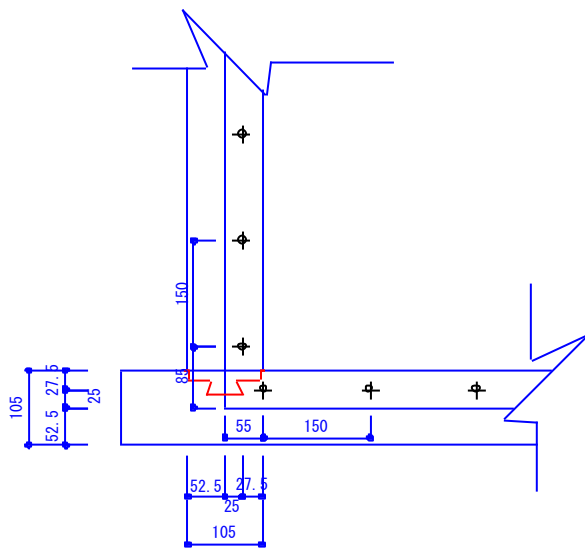


図 3-8 試験体 (No. 7) フレーム 1 体



釘・ビス 間隔@75 拡大図



釘・ビス 間隔@150 拡大図

図 3-9 水平構面試験体 隅部ビス、釘 拡大図



写真 3-1 試験体 (No. 1-1)



写真 3-2 試験体 (No. 1-2)



写真 3-3 試験体 (No. 1-3)



写真 3-4 試験体 (No. 2)

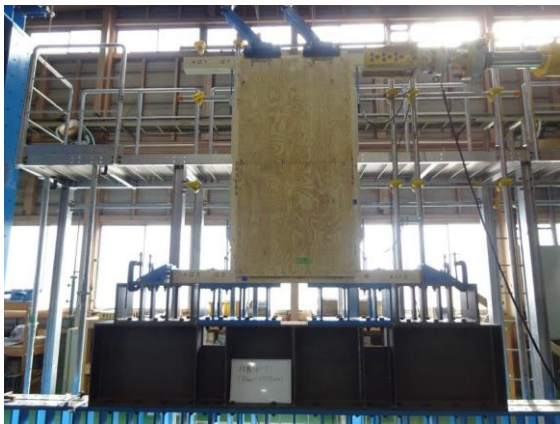


写真 3-5 試験体 (No. 3-1)



写真 3-6 試験体 (No. 3-2)

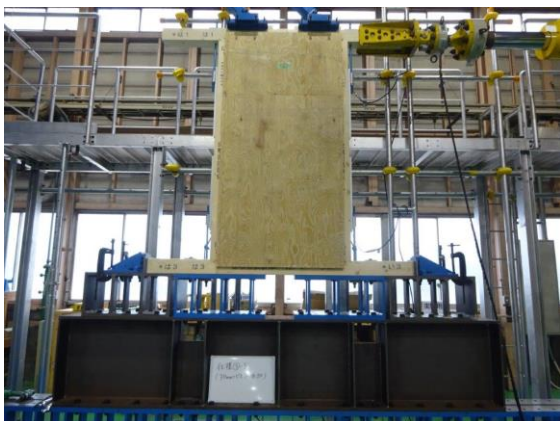


写真 3-7 試験体 (No. 3-3)



写真 3-8 試験体 (No. 4)



写真 3-9 試験体 (No. 5-1)



写真 3-10 試験体 (No. 5-2)



写真 3-11 試験体 (No. 5-3)



写真 3-12 試験体 (No. 6)



写真 3-13 試験体 (No. 7)

### 3. 3. 1. 3 試験方法

試験は、木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年版）第4章 試験方法と評価方法 4.5 面材・くぎ等1本あたりの一面せん断特性を算出するための試験に従った。

なお試験方法は、上述 4.5 の試験方法に従い、木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年度）第4章 試験方法と評価方法 4.3.4 鉛直構面及び水平構面の剛性と許容せん断耐力を算定するための試験 4.3.4 試験方法とし、柱脚固定式において見かけの変形角で 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad 変形角で、水平構面に用いる接合仕様は、正負1回繰り返しを行った。

加力装置は、容量±500kN ストローク±300mm のハイブリッドアクチュエータ（㈱巴技研）とし、荷重はアクチュエータ先端に設置した±200kN 荷重計（㈱共和電業）で計測した。変位は、横架材水平変位2点（上下）及び鉛直部材鉛直変位2点（加力側、非加力側脚部）の計4点（いずれも㈱東京測器研究所）とした。荷重計、変位計の出力は、ハイブリッドアクチュエータのAD変換器を介してパーソナルコンピュータに記録した。

水平加力は、加力点高さ（ $h=1820\text{mm}$ ）に対して 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/50rad 変形角（見かけの変形）で床構面の場合、正負1回繰り返しを行い、正側 1/15rad を超えるまで加力した。なお加力途中で試験体が破壊する、もしくは最大耐力の80%まで耐力が低下したことが確認された段階で、試験を終了した。なおジャッキ水平変位で正は引き側とした。

荷重及び変位は、アクチュエータ引き方向を正、鉛直方向変位は上を正とした。

### 3. 3. 1. 4 結果

各試験体について、No. 7のフレームの荷重変形曲線を差し引いたうえで、参考値として特定値算出ソフト PicPoint で包絡線および特性値を算出した。荷重-変位曲線はフレームの曲線を差し引く前のものを示した。

荷重変形曲線、フレームを差し引いた特性値評価を図 3-12 から図 3-24 に示した。写真を写真 3-14 から写真 3-26 に示した。各試験体の荷重変形曲線比較、真のせん断変形角とモーメントの関係を図 3-10、図 3-11 に示した。荷重-真の変形角関係から計算した特定値を表 3-4 に示した。

表 3-1 仕様（再掲載）

	仕様	仕様の詳細											
		実寸確認							実寸確認				
試験体No.		No. 01	No. 02	No. 03	No. 04	No. 05	No. 06	No. 07	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13	備考
試験体数		3	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	
概要		3×6試験 CN75φ75	No.02で接 着したたら どのくら いの剛性 であるか?	ビス70φ150 どのくら いの剛性 であるか?	No.04で接 着したたら どのくら いの剛性 であるか?	面材厚50に ビス 110φ150で どのくら いの剛性 であるか?	No.06の樹 種違い	フレームの み	1820×2730	1820×3640 r4095or450 0	1820×2730	1820×3640 r4095or450 0	
梁1	材料樹種	スプルース集成E85-F270											
	断面	幅105×せい105											
梁2	梁1と同じ	幅105×せい180											
梁-梁接合	HD金物	高耐久フレックスホールダウン60 柱頭 1本、柱脚 2本 大入れ釘 2本うち											
床版LVL面材	スギ E50 厚30mm	○	○	○	○				○	○	○	○	
	樹種	カラマツ E80 厚50mm					○						
		ラジアータバイン E80 厚50mm						○					
留付具	CN75 ピッチ75	○							CN75	CN75			
	CN75 ピッチ75 接着有		○										
	ビスφ5.5×L70 ピッチ150 隔打ち無し			○							ビス	ビス	ビスφ5.5×70=ネダ ノットか根太レスの1 面せん断結果のうち小 さい方で実施
	ビスφ5.5×L70 ピッチ150 接着有 隔打ち無し				○								ウレタン接着材: PU1000 セメダイン
	ビスφ6×L110 ピッチ150					○	○	○					

表 3-4 荷重-真の変形角関係から計算した特定値

項目	値	値	値	値	値	値	値	値	値	値	値	値
読み込みファイル名	仕様①-1.csv	仕様①-2.csv	仕様①-3.csv	仕様②.csv	仕様③-1.csv	仕様③-2.csv	仕様③-3.csv	仕様④.csv	仕様⑤-1.csv	仕様⑤-2.csv	仕様⑤-3.csv	仕様⑥.csv
ファイルパス	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...	C:\Users\YnarC\...\Users\YnarC\...
実験名など	0	0.0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
縦軸	#0002	#0002	#0002	#0002	#0002	#0002	#0002	#0002	#0002	#0002	#0002	#0002
横軸	#0001	#0001	#0001	#0001	#0001	#0001	#0001	#0001	#0001	#0001	#0001	#0001
Pmax	73517.9	81589	106783	106783	49691.1	47282.7	47559.5	80671.8	70940.4	57259.6	55498.9	74492.7
D(Pmax)	0.0655	0.0711	0.08	0.08	0.0382	0.0437	0.043	0.0161	0.0322	0.0383	0.0374	0.0347
対象データ数	760	778	819	817	720	689	774	174	702	746	671	751
処理結果	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)	注意:荷重回	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)	OK (Bi-Linear)
初期滑り	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない	考慮しない
D (0.1Pmax)	0.0007773	0.00114872	0.00125153	0.00144752	0.000750639	0.000911329	0.000697292	0.00119682	0.00108231	0.000888859	0.000589093	0.00073189
D (0.4Pmax1)	0.00476596	0.0053093	0.0100712	0.00599945	0.00518248	0.00492755	0.00524323	0.00415063	0.00487636	0.00466424	0.00384456	0.00457423
D (0.4Pmax2)	0.00476596	0.0053093	0.0100712	0.00599945	0.00518248	0.00492755	0.00524323	0.00415063	0.00487636	0.00466424	0.00384456	0.00457423
D (0.9Pmax)	0.032883	0.0329163	0.08	0.0234689	0.0248629	0.0241791	0.0245071	0.012658	0.0211324	0.0225604	0.0203093	0.0235565
曲線に接する点P	51173.9	56483.4	106783	88502.6	31766.5	31678.9	30429.9	55975.3	47237.7	37736.8	38397.9	45232.4
曲線に接する点D	0.0151	0.0158	0.08	0.0173	0.0111	0.0117	0.0113	0.0079	0.0117	0.0113	0.0104	0.0105
二直線の交点Py	40220.2	43780.8	56233.4	62602.6	26951.1	25733.7	25500.7	46342.8	34877.8	29407.9	29880.8	35543.8
二直線の交点D(Py)	0.00672148	0.00720378	0.0137936	0.00882562	0.00728573	0.00685871	0.00730685	0.00586838	0.00603544	0.00609372	0.00534646	0.00556228
曲線上の点δy	0.00876418	0.00908404	0.0203952	0.0101314	0.00814173	0.00778399	0.00799625	0.0062773	0.0068781	0.00698024	0.00631998	0.00639783
D (0.8Pmax) : δv	0.0805	0.0778	0.08	0.08	0.077	0.0775	0.0802	0.0176	0.0615	0.0769	0.0715	0.0643
初期剛性K	4.59E+06	4.82E+06	2.76E+06	6.18E+06	3.31E+06	3.31E+06	3.19E+06	7.38E+06	5.14E+06	4.21E+06	4.73E+06	5.56E+06
Energy	4951.97	5270.07	5105.65	5748.27	3138.68	3060.46	3174.25	928.471	3511.98	3681.32	3354.92	3855.55
Pu	67722.5	75299.6	77400.8	78008.6	44677.6	43118	43233.1	73597.9	63481	52053.1	50728.1	66072.2
D (Pu) : δv	0.0147571	0.0156238	0.0280723	0.0126247	0.0134968	0.0130424	0.0135566	0.0099691	0.0123532	0.0123553	0.0107293	0.0118929
μ = δu / δv	5.45501	4.97957	2.84978	6.33679	5.70506	5.94215	5.91593	1.76546	4.97847	6.22406	6.66397	5.40659
Ds = 1/sqrt(2μ-1)	0.31766	0.334092	0.461287	0.292683	0.309936	0.30311	0.303842	0.628582	0.334134	0.295551	0.28481	0.319224
残差	437.722	483.013	424.11	397.466	247.805	237.563	250.644	51.503	297.858	297.088	261.116	363.543
適合度 = 1-残差/En	0.911607	0.908348	0.916933	0.930855	0.921048	0.922377	0.921038	0.944529	0.915188	0.919298	0.922169	0.905709



表 3-5 面材くぎ 1 面せん断データ 各仕様毎

仕様1

	No.1-1	No.1-2	No.1-3	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数
$\Delta Pv$	3.20	3.56	3.33	3.37	0.182	0.054	0.975
$\delta v$	4.63	4.87	4.78	4.76	0.12	0.025	0.988
$\delta u$	27.97	26.95	26.71	27.21	0.67	0.025	0.988

$\Delta P_{v0}$	3.28
$\delta_{v0}$	4.7
$\delta_{u0}$	26.9
k	0.70

仕様2

	No.2-1			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数
$\Delta Pv$	3.69			3.69	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000
$\delta v$	3.79			3.79	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000
$\delta u$	27.70			27.70	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000

$\Delta P_{v0}$	3.69
$\delta_{v0}$	3.8
$\delta_{u0}$	27.7
k	0.98

仕様3

	No.3-1	No.3-2	No.3-3	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数
$\Delta Pv$	3.83	3.70	3.71	3.75	0.075	0.020	0.991
$\delta v$	4.36	4.21	4.39	4.32	0	0.022	0.990
$\delta u$	26.73	26.92	27.87	27.17	1	0.022	0.989

$\Delta P_{v0}$	3.71
$\delta_{v0}$	4.3
$\delta_{u0}$	26.9
k	0.87

仕様4

	No.4-1			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数
$\Delta Pv$	6.31			6.31	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000
$\delta v$	2.86			2.86	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000
$\delta u$	5.55			5.55	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000

$\Delta P_{v0}$	6.31
$\delta_{v0}$	2.9
$\delta_{u0}$	5.5
k	2.21

仕様5

	No.5-1	No.5-2	No.5-3	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数
$\Delta Pv$	5.44	4.46	4.35	4.75	0.601	0.127	0.940
$\delta v$	4.14	4.18	3.61	3.98	0	0.080	0.962
$\delta u$	21.45	26.92	25.02	24.46	3	0.113	0.947

$\Delta P_{v0}$	4.47
$\delta_{v0}$	3.8
$\delta_{u0}$	23.2
k	1.17

仕様6

	No.6-1			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数
$\Delta Pv$	5.67			5.67	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000
$\delta v$	3.97			3.97	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000
$\delta u$	22.43			22.43	#DIV/0!	#DIV/0!	1.000

$\Delta P_{v0}$	5.67
$\delta_{v0}$	4.0
$\delta_{u0}$	22.4
k	1.43

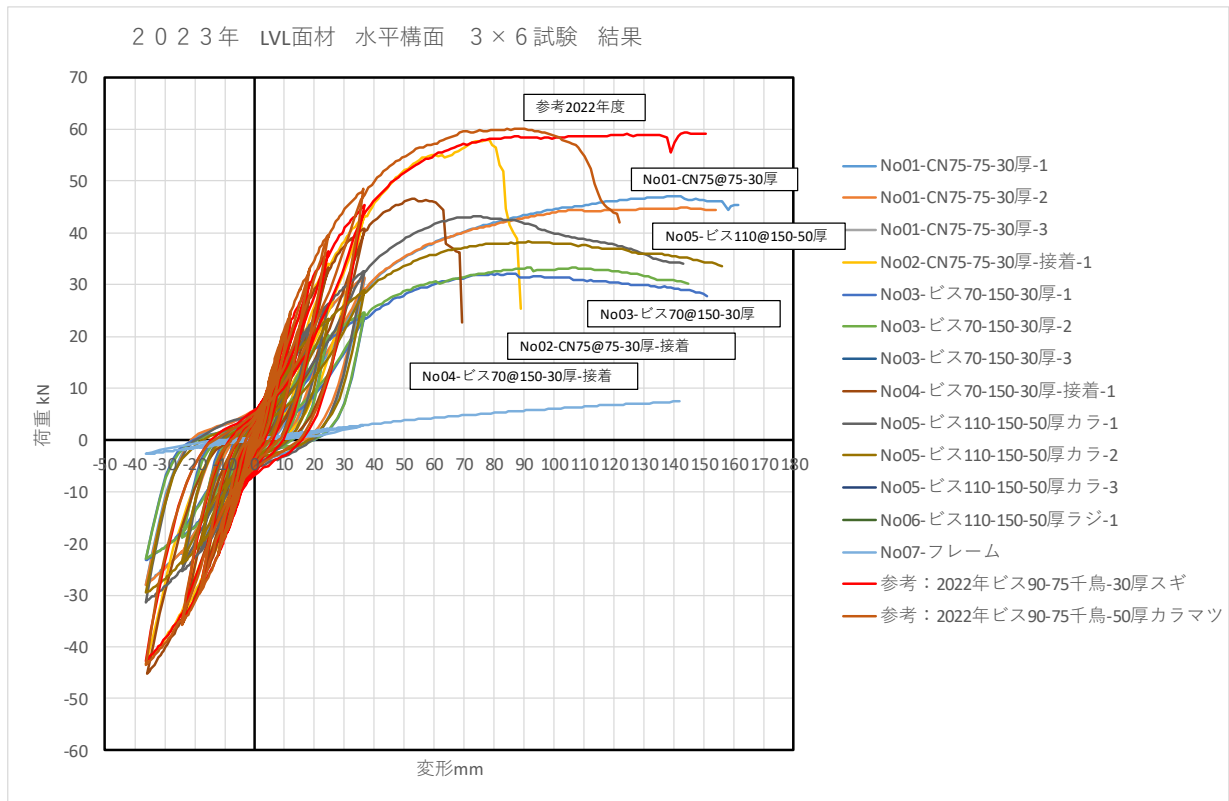


図 3-10 荷重変形曲線比較

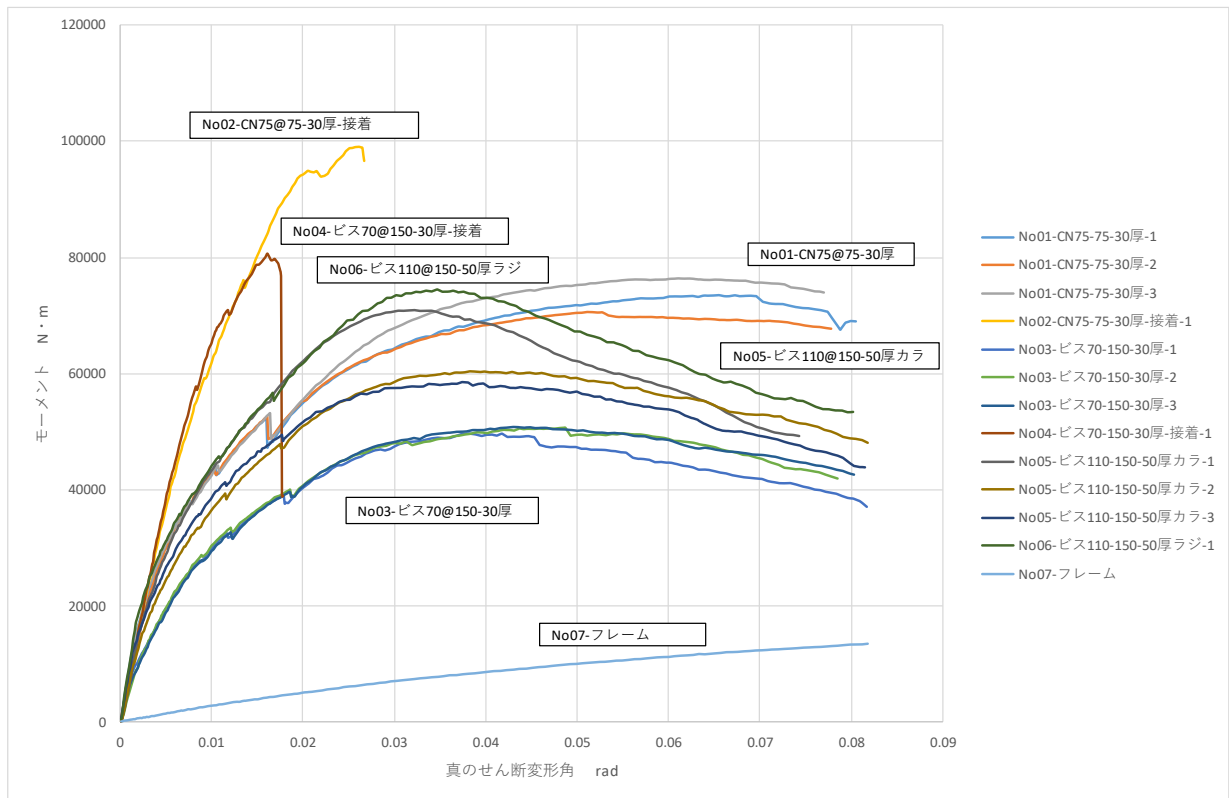


図 3-11 真のせん断変形角とモーメントの関係

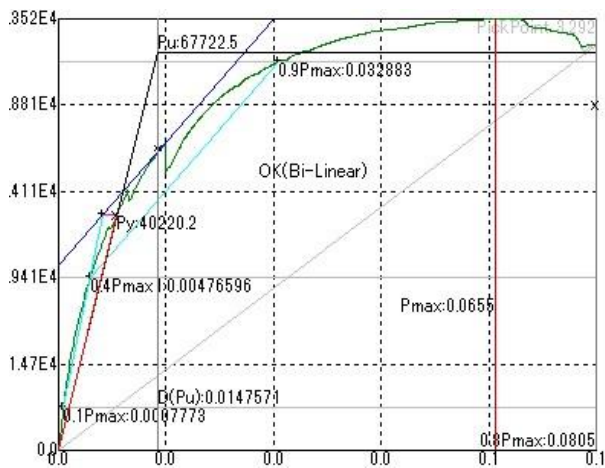
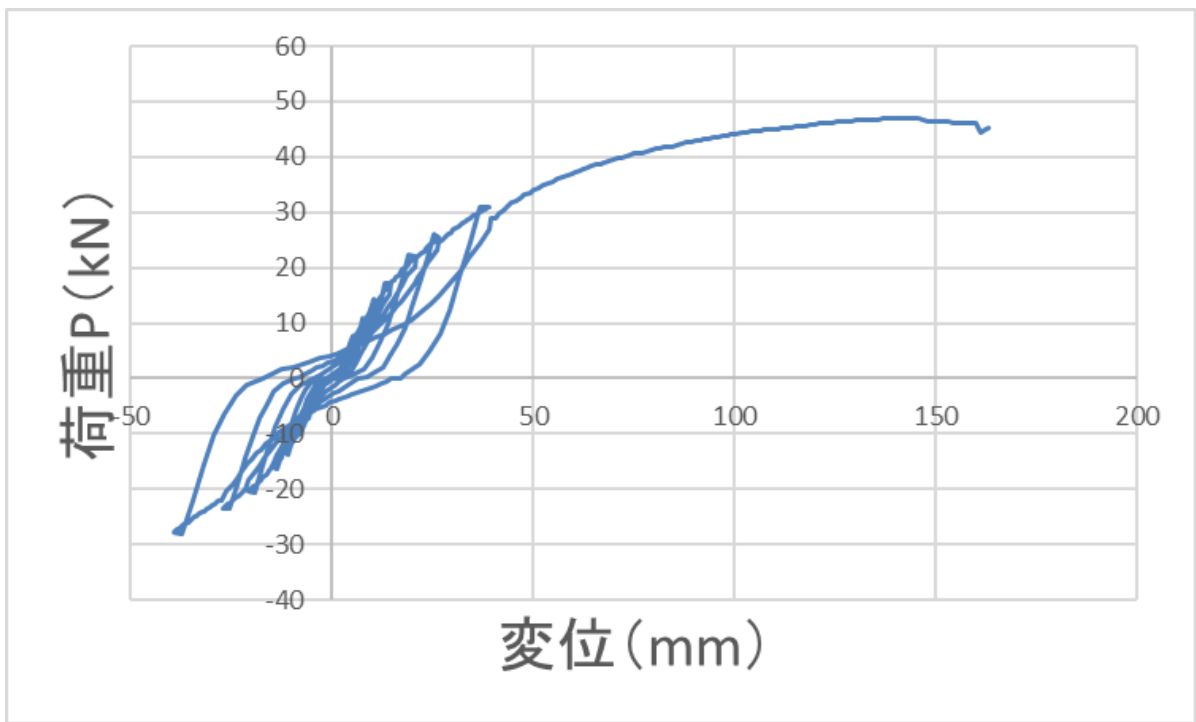
No. 1、No. 2 では、釘 CN75@75mm、面材接着有 (No. 1) 3 体、接着無し (No. 2) 1 体、ビスピッチを統一した上で、躯体と面材材料を検討した。躯体はスプルー集成材 105mm 厚とし、面材はスギ LVL30mm 厚とした。No. 1 は試験体 3 体とも徐々に曲線に進んで破壊まで低下した。No. 2 は接着して剛性をあげ、かつ靱性を確保する性能を得ることができた。土台と柱と面材が一体化され、破断して終了した。

No. 3、No. 4 では、面材をスギ LVL30mm として躯体に木質構造用ねじ (半ねじ)  $\phi 5.5 \times L70 \text{mm} @ 150$  接着無 (No. 3) 3 体及び接着有 (No. 4) 1 体の仕様で、接着剤が剛性や靱性に及ぼす影響を検討した。No. 3 は試験体 3 体とも問題なく性能を確保した。

No. 2 と No. 4 仕様では 4 辺の接着では他の接着仕様と比べて、初期剛性があげ、最大荷重に到達後、土台と柱が破断して終了した。

No. 5 では、面材をカラマツ LVL50mm として躯体に木質構造用ねじ (半ねじ)  $\phi 6 \times L110 @ 150$  接着無 3 体の仕様で、No. 6 では、面材をラジアータパイン LVL50mm と使用した。No. 5 と No. 6 は初期剛性が高いが、最大耐力に達した後曲線にほぼ重なった。

これらの結果を踏まえた上で、実大寸法の確認試験の仕様 No. 1、No. 3 を決定した。



試験体番号	No.1-1
Pmax	73517.9
D(Pmax)	0.0655
D(0.1Pmax)	0.0007773
D(0.4Pmax1)	0.00476596
D(0.4Pmax2)	0.00476596
D(0.9Pmax)	0.032883
曲線に接する点P	51173.9
曲線に接する点D	0.0151
二直線の交点Py	40220.2
二直線の交点D(Py)	0.00672148
曲線上の点 $\delta y$	0.00876418
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0805
初期剛性K	4.59E+06
Energy	4951.97
Pu	67722.5
D(Pu): $\delta v$	0.014757
$\mu = \delta u / \delta v$	5.45501
$Ds=1/\sqrt{2\mu-1}$	0.31766
残差	437.722
適合度=1-残差/Energy	0.911607

図 3-12 荷重変位曲線・特定値 No. 1-1

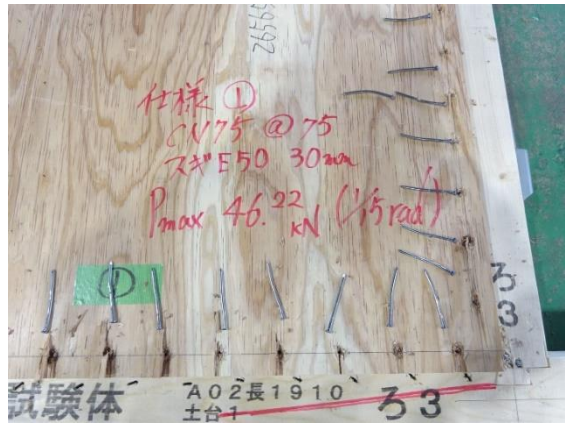
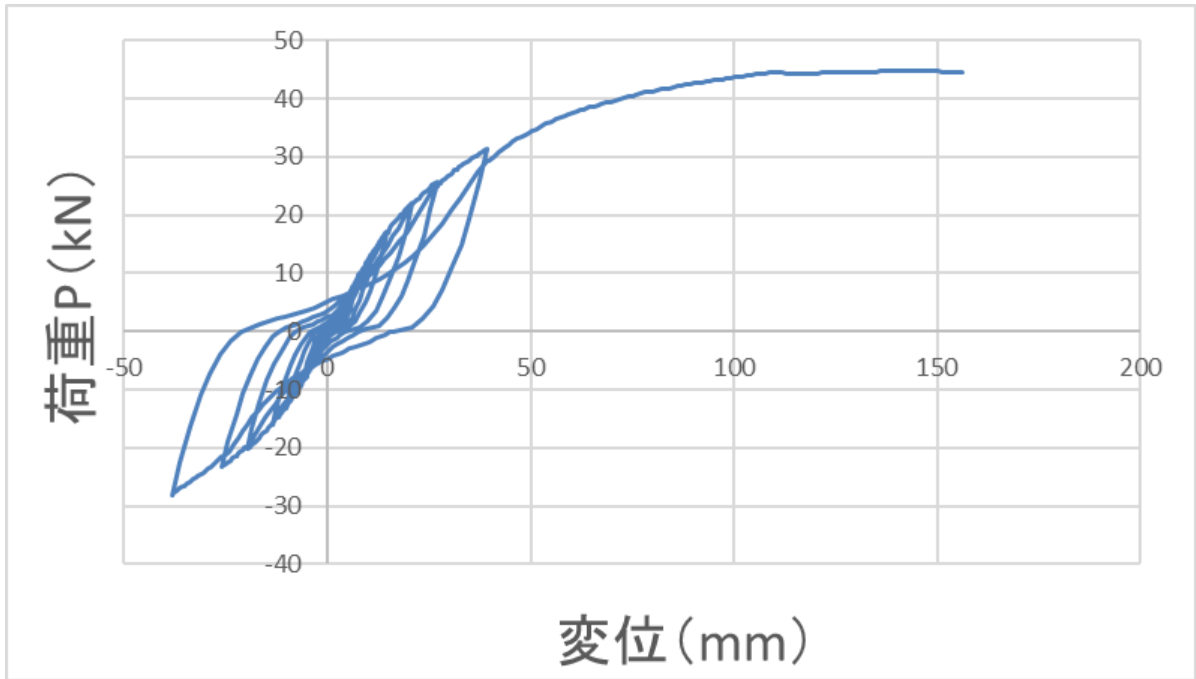


写真 3-14 試験体写真 (No 1-1)



試験体番号	No.1-2
Pmax	81589
D(Pmax)	0.0711
D(0.1Pmax)	0.00114872
D(0.4Pmax1)	0.0053093
D(0.4Pmax2)	0.0053093
D(0.9Pmax)	0.0329163
曲線に接する点P	56483.4
曲線に接する点D	0.0158
二直線の交点Py	43780.8
二直線の交点D(Py)	0.00720378
曲線上の点 $\delta y$	0.00908404
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0778
初期剛性K	4.82E+06
Energy	5270.07
Pu	75299.6
D(Pu): $\delta v$	0.015624
$\mu = \delta u / \delta v$	4.97957
Ds=1/sqrt(2 $\mu$ - 1)	0.334092
残差	483.013
適合度=1-残差/Energy	0.908348

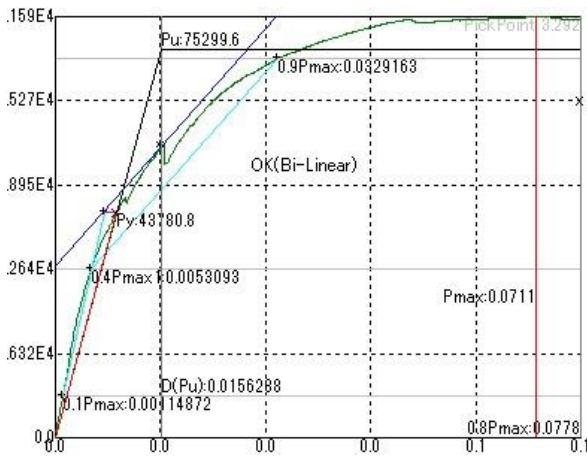
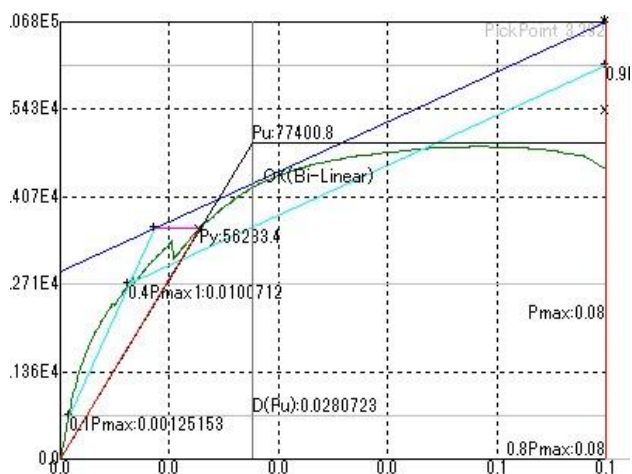
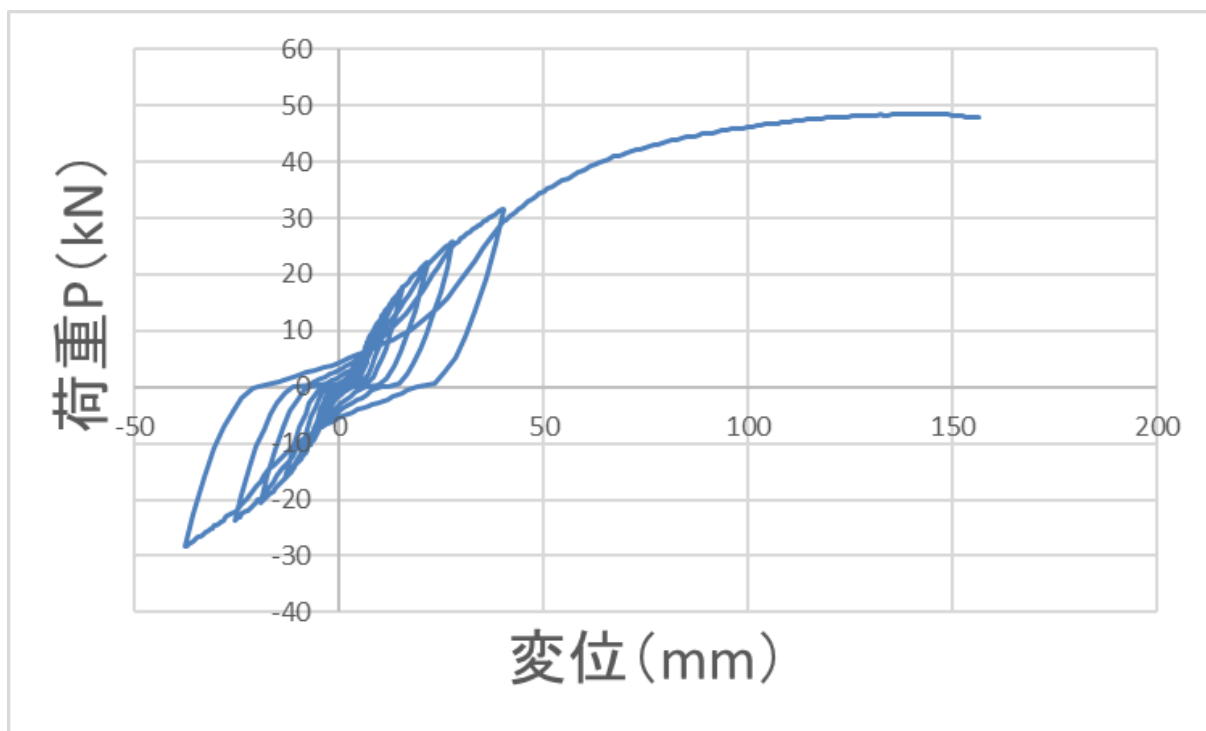


図 3-13 荷重変位曲線・特定値 No.1-2



写真 3-15 試験体写真 (No. 1-2)



試験体番号	No.1-3
Pmax	106783
D(Pmax)	0.08
D(0.1Pmax)	0.00125153
D(0.4Pmax1)	0.0100712
D(0.4Pmax2)	0.0100712
D(0.9Pmax)	0.08
曲線に接する点P	106783
曲線に接する点D	0.08
二直線の交点Py	56233.4
二直線の交点D(Py)	0.0137936
曲線上の点 $\delta y$	0.0203952
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.08
初期剛性K	2.76E+06
Energy	5105.65
Pu	77400.8
D(Pu): $\delta v$	0.028072
$\mu = \delta u / \delta v$	2.84978
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.461287
残差	424.11
適合度 = $1 - \text{残差} / \text{Energy}$	0.916933

図 3-14 荷重変位曲線・特定値 No. 1-3



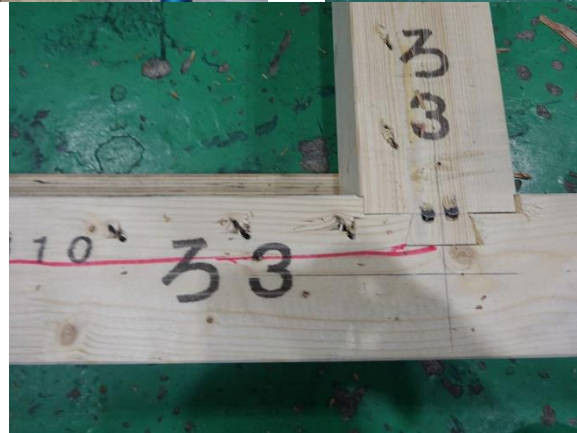
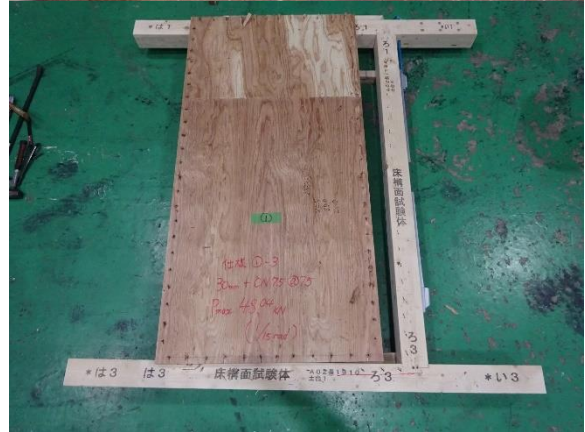
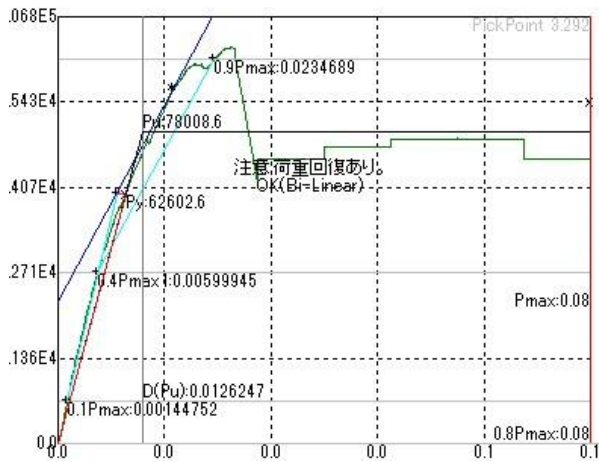
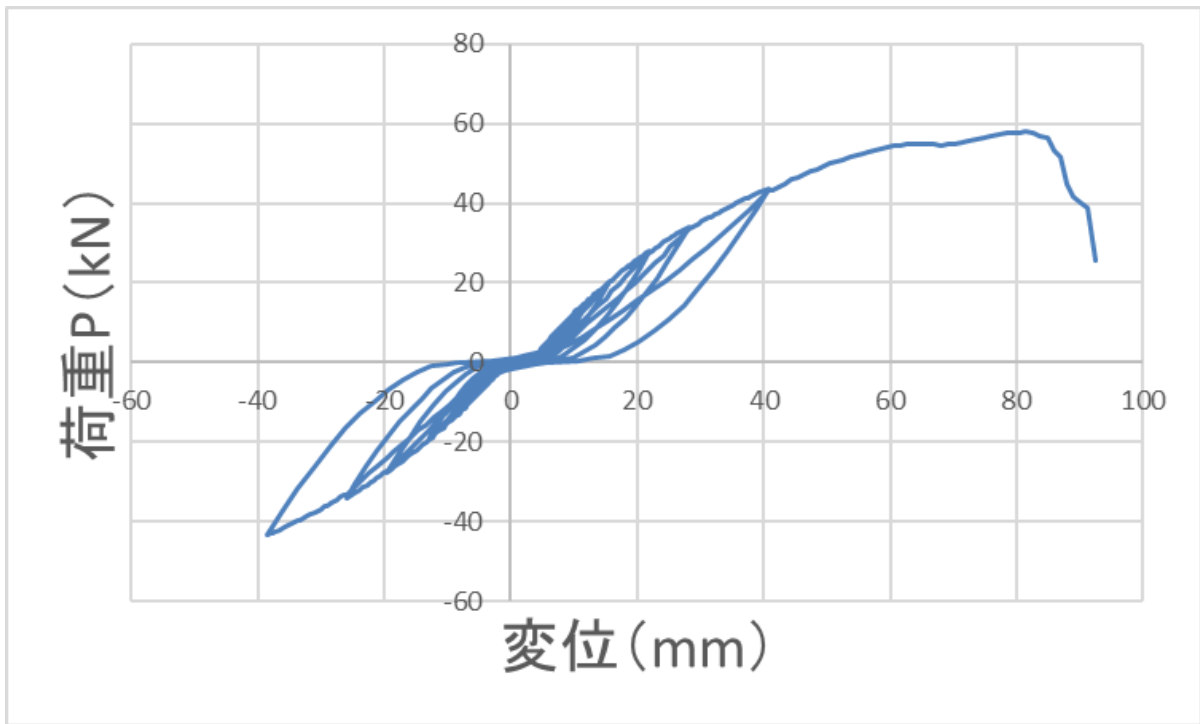


写真 3-16 試験体写真 (No. 1-3)



試験体番号	No.2
Pmax	106783
D(Pmax)	0.08
D(0.1Pmax)	0.00144752
D(0.4Pmax1)	0.00599945
D(0.4Pmax2)	0.00599945
D(0.9Pmax)	0.0234689
曲線に接する点P	88502.6
曲線に接する点D	0.0173
二直線の交点Py	62602.6
二直線の交点D(Py)	0.00882562
曲線上の点 $\delta y$	0.0101314
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.08
初期剛性K	6.18E+06
Energy	5748.27
Pu	78008.6
D(Pu): $\delta v$	0.012625
$\mu = \delta u / \delta v$	6.33679
Ds=1/sqrt(2 $\mu$ -1)	0.292683
残差	397.466
適合度=1-残差/Energy	0.930855

図 3-15 荷重変位曲線・特定値 No. 2

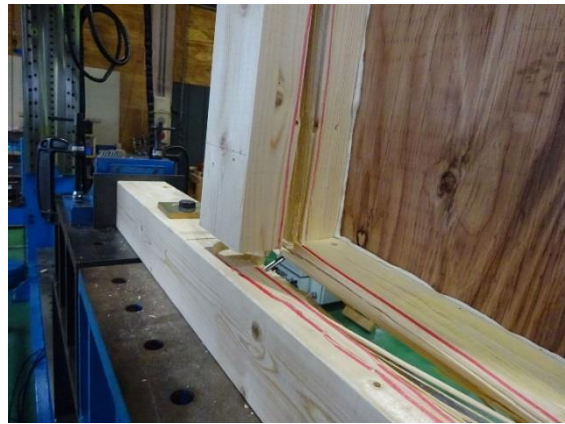
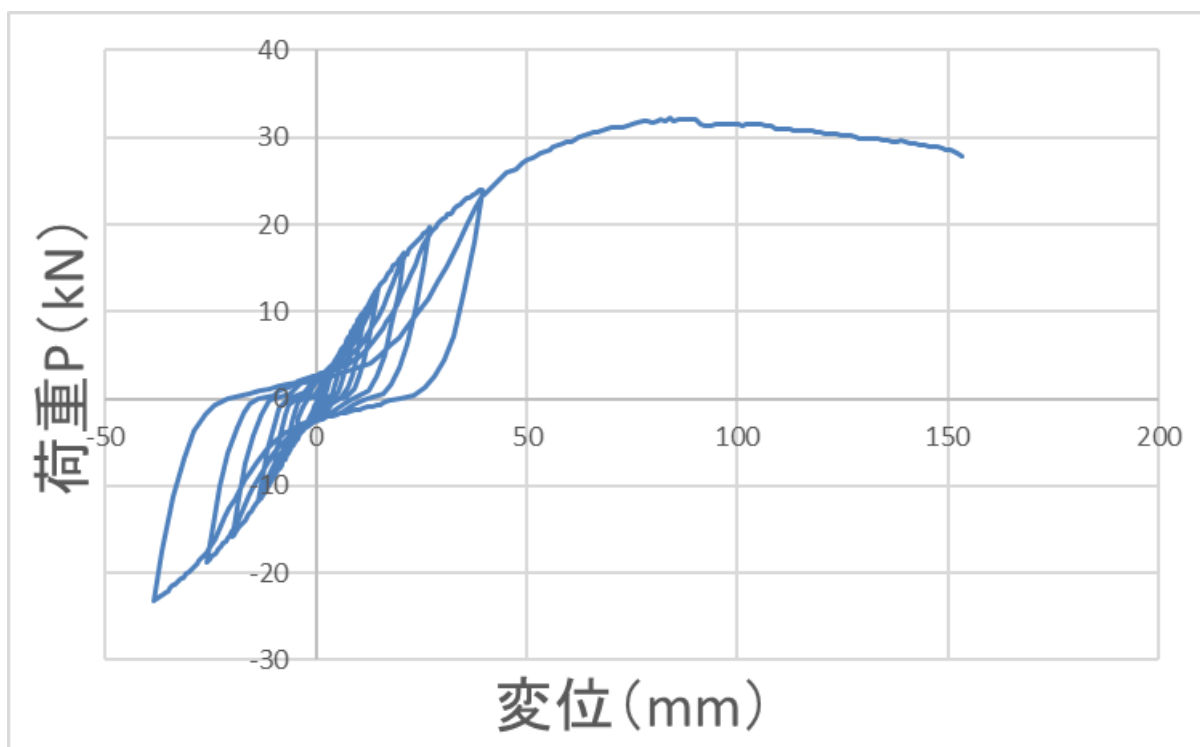


写真 3-17 試験体写真 (No 2)



試験体番号	No.3-1
Pmax	49691.1
D(Pmax)	0.0382
D(0.1Pmax)	0.000750639
D(0.4Pmax1)	0.00518248
D(0.4Pmax2)	0.00518248
D(0.9Pmax)	0.0248629
曲線に接する点P	31766.5
曲線に接する点D	0.0111
二直線の交点Py	26951.1
二直線の交点D(Py)	0.00728573
曲線上の点 $\delta y$	0.00814173
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.077
初期剛性K	3.31E+06
Energy	3138.68
Pu	44677.6
D(Pu): $\delta v$	0.013497
$\mu = \delta u / \delta v$	5.70506
Ds=1/sqrt(2 $\mu$ -1)	0.309936
残差	247.805
適合度=1-残差/Energy	0.921048

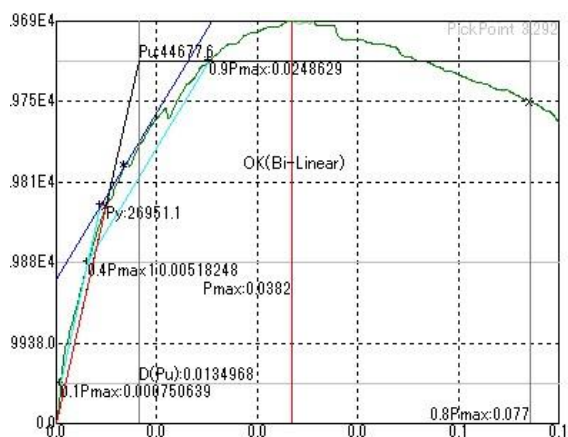


図 3-16 荷重変位曲線・特定値 No. 3-1

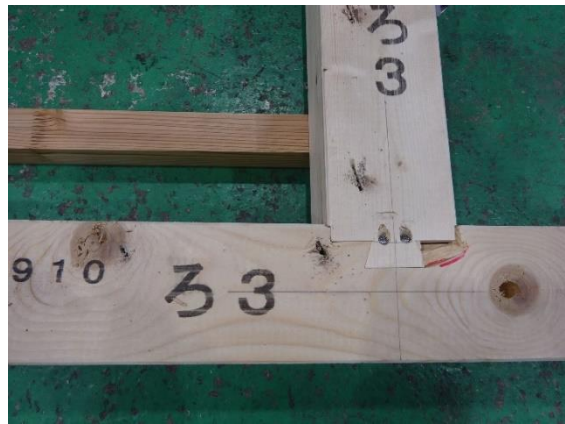
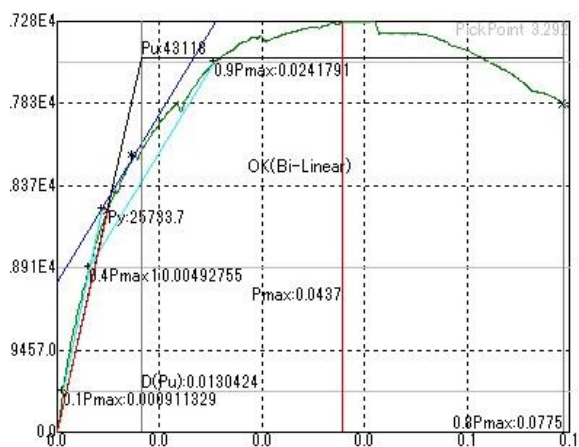
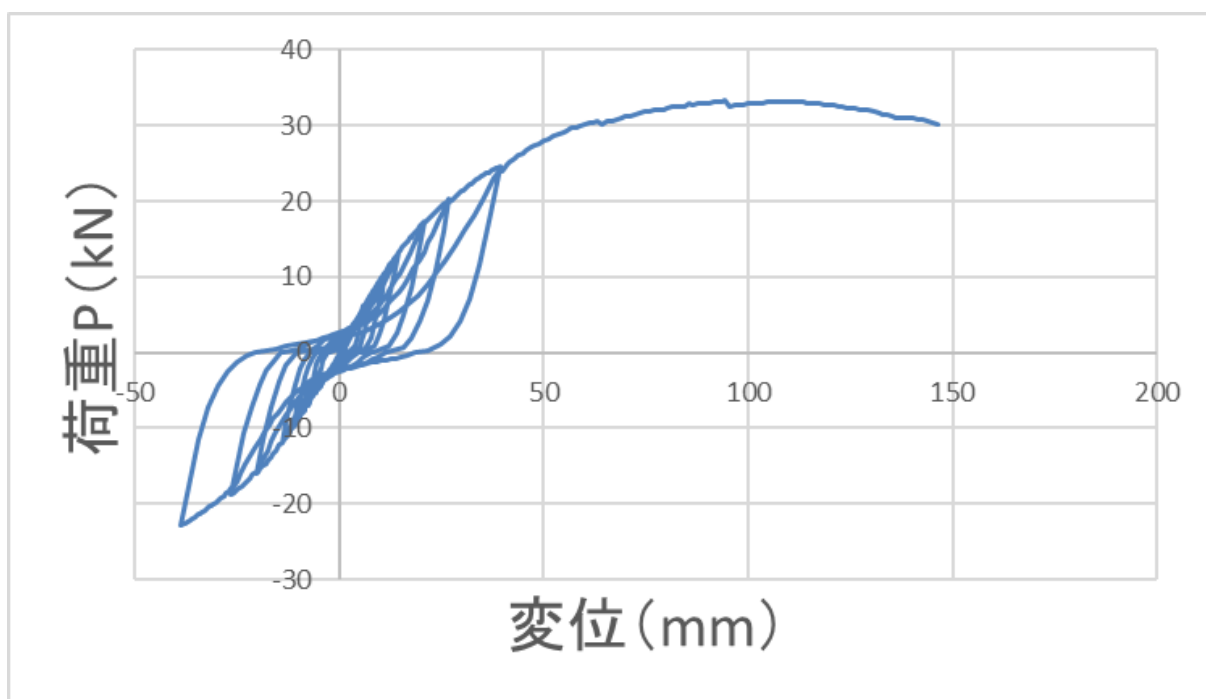


写真 3-18 試験体写真 (No3-1)

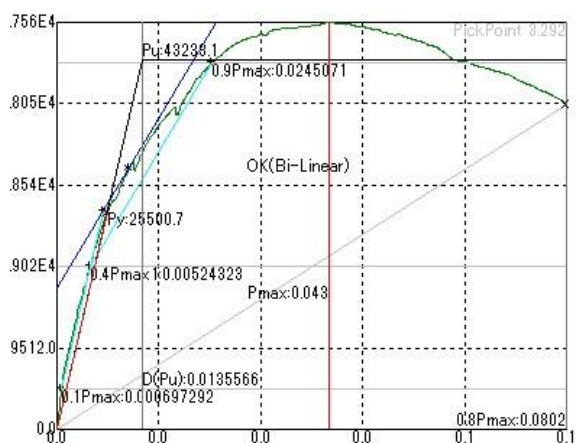
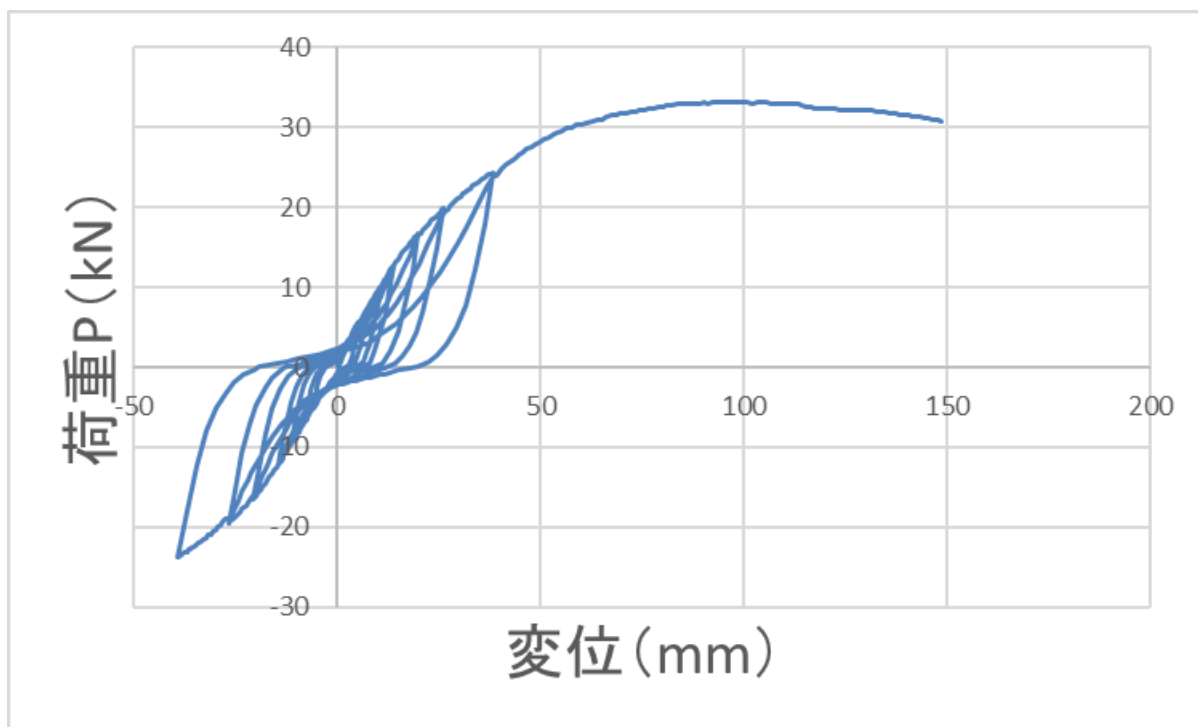


試験体番号	No.3-2
Pmax	47282.7
D(Pmax)	0.0437
D(0.1Pmax)	0.000911329
D(0.4Pmax1)	0.00492755
D(0.4Pmax2)	0.00492755
D(0.9Pmax)	0.0241791
曲線に接する点P	31678.9
曲線に接する点D	0.0117
二直線の交点Py	25733.7
二直線の交点D(Py)	0.00685871
曲線上の点 $\delta y$	0.00778399
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0775
初期剛性K	3.31E+06
Energy	3060.46
Pu	43118
D(Pu): $\delta v$	0.013042
$\mu = \delta u / \delta v$	5.94215
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.30311
残差	237.563
適合度 = $1 - \text{残差} / \text{Energy}$	0.922377

図 3-17 荷重変位曲線・特定値 No. 3-2



写真 3-19 試験体写真 (No3. 2)



試験体番号	No.3-3
Pmax	47559.5
D(Pmax)	0.043
D(0.1Pmax)	0.000697292
D(0.4Pmax1)	0.00524323
D(0.4Pmax2)	0.00524323
D(0.9Pmax)	0.0245071
曲線に接する点P	30429.9
曲線に接する点D	0.0113
二直線の交点Py	25500.7
二直線の交点D(Py)	0.00730685
曲線上の点 $\delta y$	0.00799625
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0802
初期剛性K	3.19E+06
Energy	3174.25
Pu	43233.1
D(Pu): $\delta v$	0.013557
$\mu = \delta u / \delta v$	5.91593
$Ds=1/\sqrt{2\mu-1}$	0.303842
残差	250.644
適合度=1-残差/Energy	0.921038

図 3-18 荷重変位曲線・特定値 No. 3-3



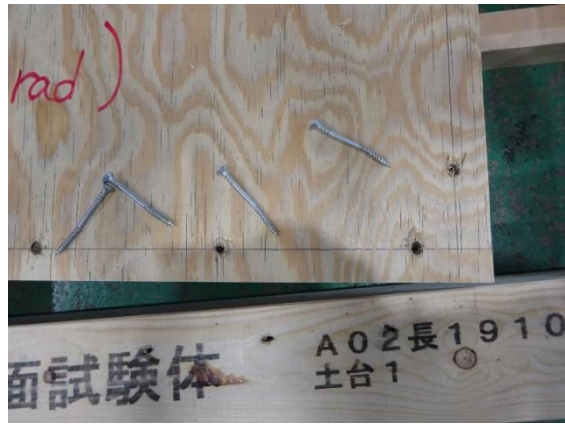
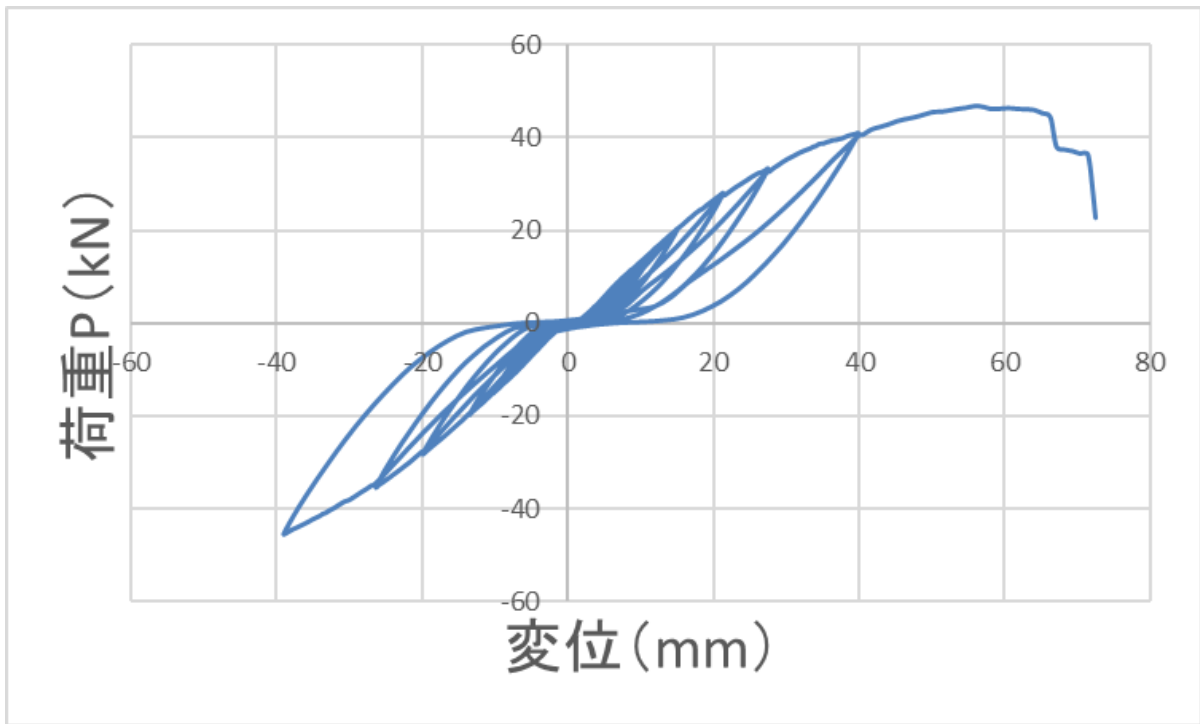


写真 3-20 試験体写真 (No3-3)



試験体番号	No.4
Pmax	80671.8
D(Pmax)	0.0161
D(0.1Pmax)	0.00119682
D(0.4Pmax1)	0.00415063
D(0.4Pmax2)	0.00415063
D(0.9Pmax)	0.012658
曲線に接する点P	55975.3
曲線に接する点D	0.0079
二直線の交点Py	46342.8
二直線の交点D(Py)	0.00586838
曲線上の点 $\delta y$	0.0062773
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0176
初期剛性K	7.38E+06
Energy	928.471
Pu	73597.9
D(Pu): $\delta v$	0.009969
$\mu = \delta u / \delta v$	1.76546
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.628582
残差	51.503
適合度 = $1 - \text{残差} / \text{Energy}$	0.944529

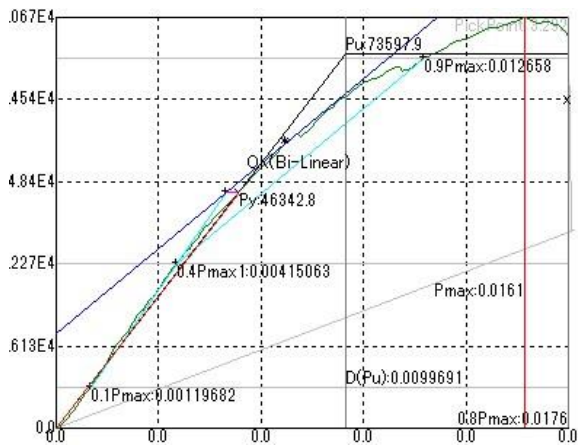
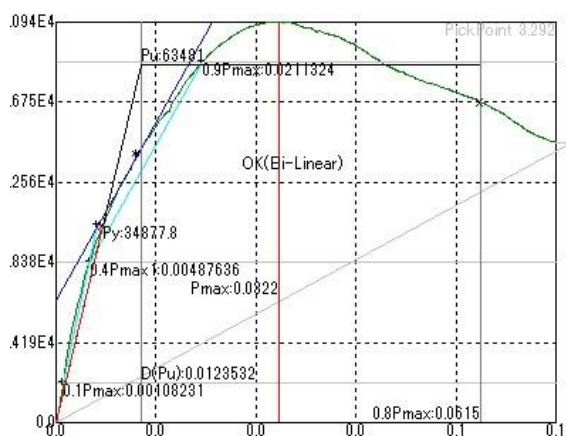
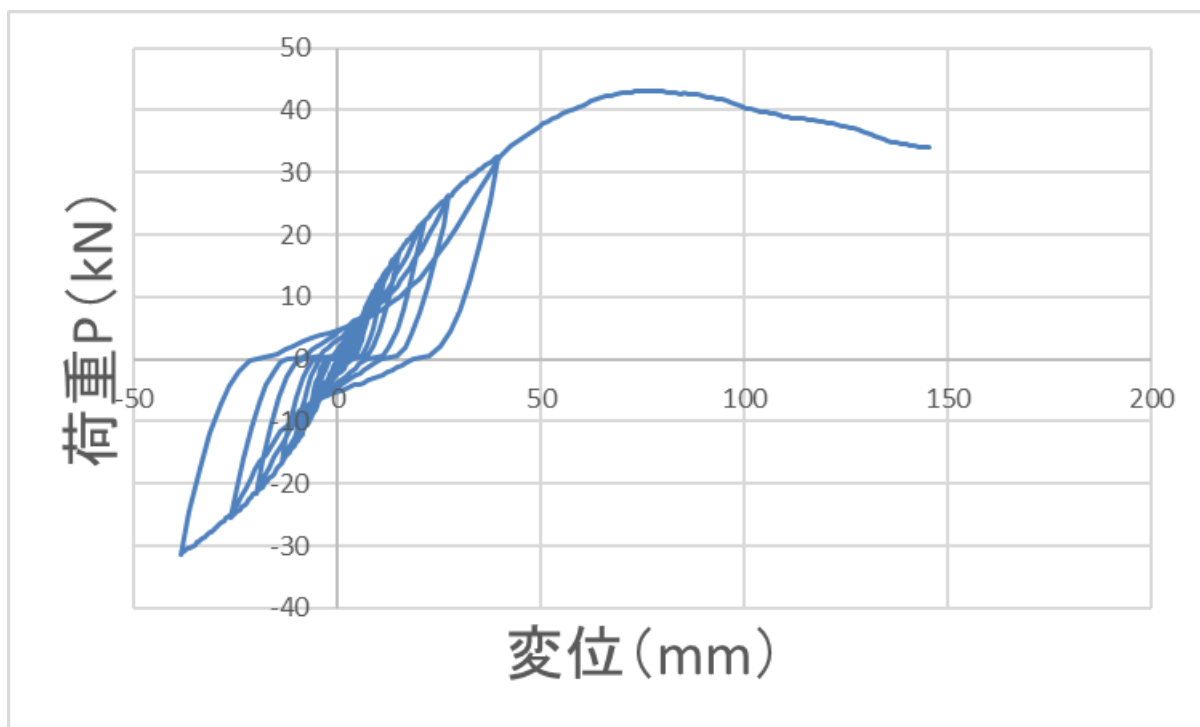


図 3-19 荷重変位曲線・特定値 No. 4



写真 3-21 試験体写真 (No4)



試験体番号	No.5-1
Pmax	70940.4
D(Pmax)	0.0322
D(0.1Pmax)	0.00108231
D(0.4Pmax1)	0.00487636
D(0.4Pmax2)	0.00487636
D(0.9Pmax)	0.0211324
曲線に接する点P	47237.7
曲線に接する点D	0.0117
二直線の交点Py	34877.8
二直線の交点D(Py)	0.00603544
曲線上の点 $\delta y$	0.0067871
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0615
初期剛性K	5.14E+06
Energy	3511.98
Pu	63481
D(Pu): $\delta v$	0.012353
$\mu = \delta u / \delta v$	4.97847
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.334134
残差	297.858
適合度 = $1 - \text{残差} / \text{Energy}$	0.915188

図 3-20 荷重変位曲線・特定値 No. 5-1

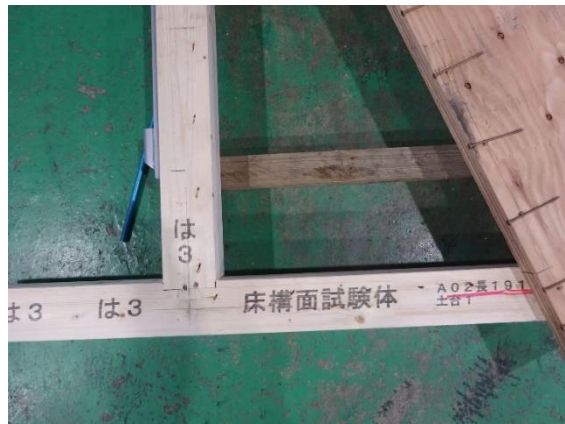
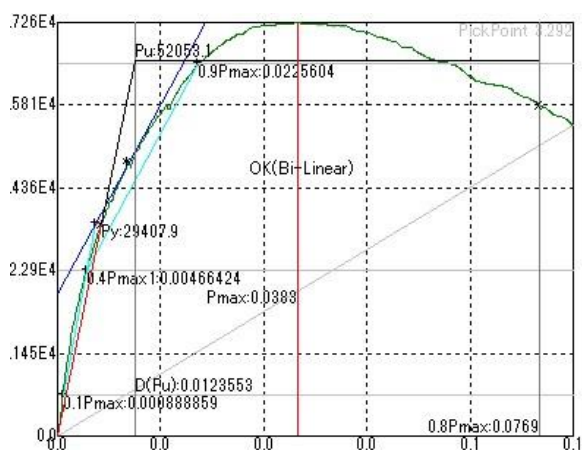
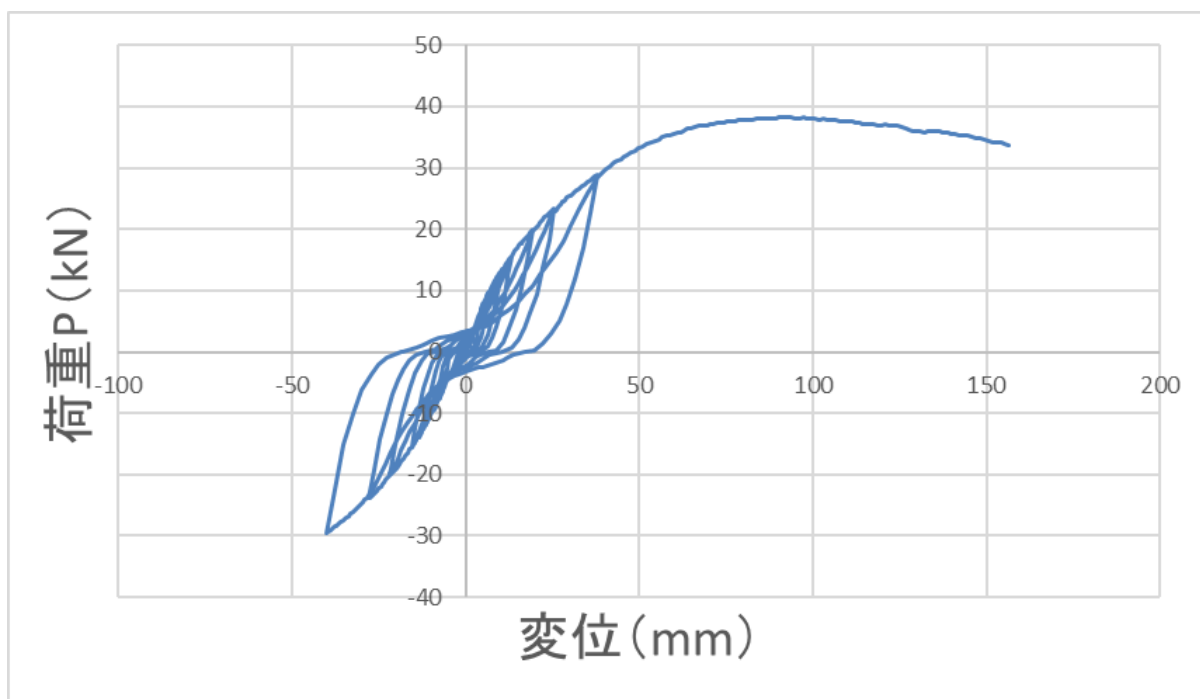


写真 3-22 試験体写真 (No5-1)



試験体番号	No.5-2
Pmax	57259.6
D(Pmax)	0.0383
D(0.1Pmax)	0.000888859
D(0.4Pmax1)	0.00466424
D(0.4Pmax2)	0.00466424
D(0.9Pmax)	0.0225604
曲線に接する点P	37736.8
曲線に接する点D	0.0113
二直線の交点Py	29407.9
二直線の交点D(Py)	0.00609372
曲線上の点 $\delta y$	0.00698024
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0769
初期剛性K	4.21E+06
Energy	3681.32
Pu	52053.1
D(Pu): $\delta v$	0.012355
$\mu = \delta u / \delta v$	6.22406
Ds=1/sqrt(2 $\mu$ -1)	0.295551
残差	297.088
適合度=1-残差/Energy	0.919298

図 3-21 荷重変位曲線・特定値 No. 5-2

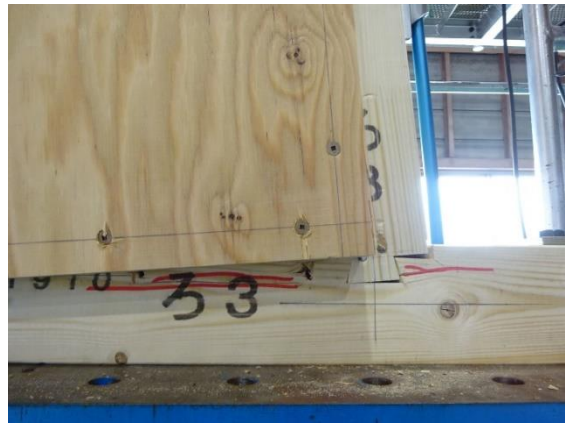
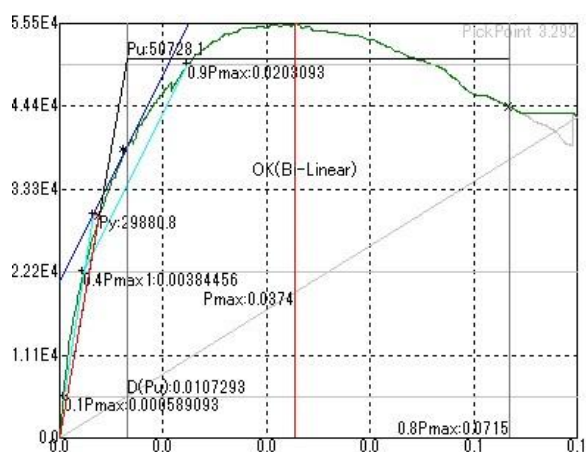
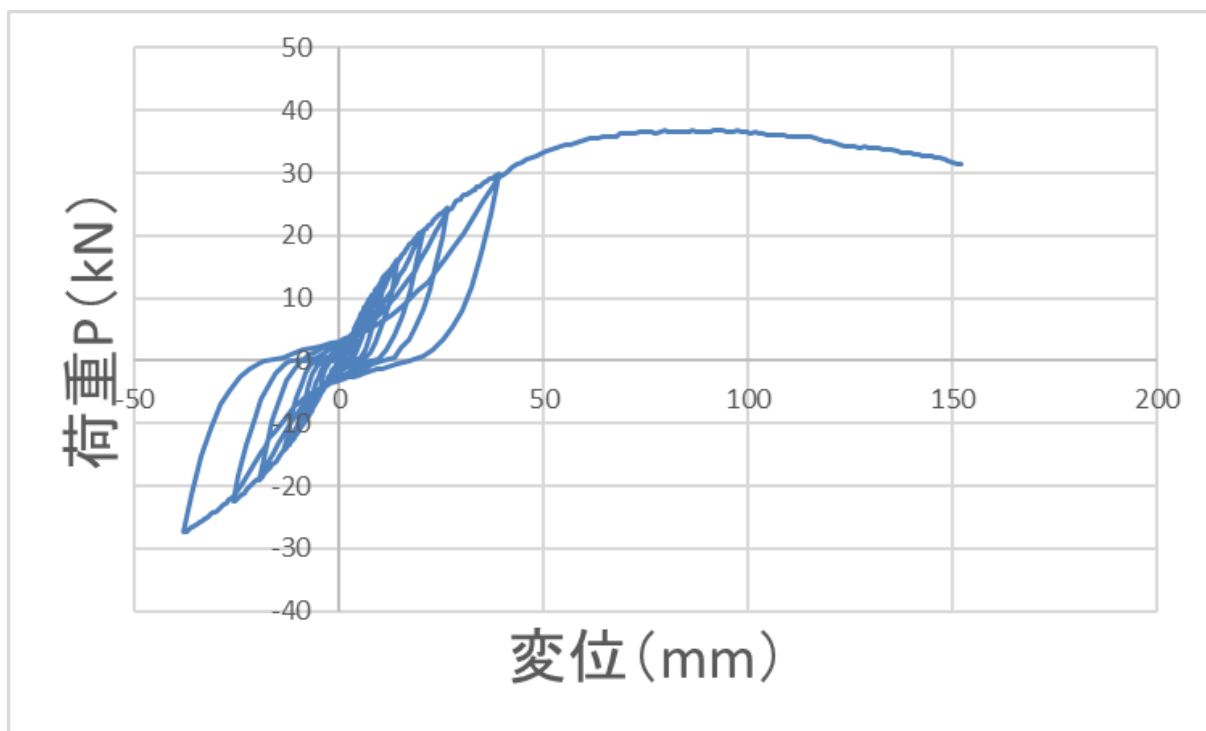


写真 3-23 試験体写真 (No. 5-2)



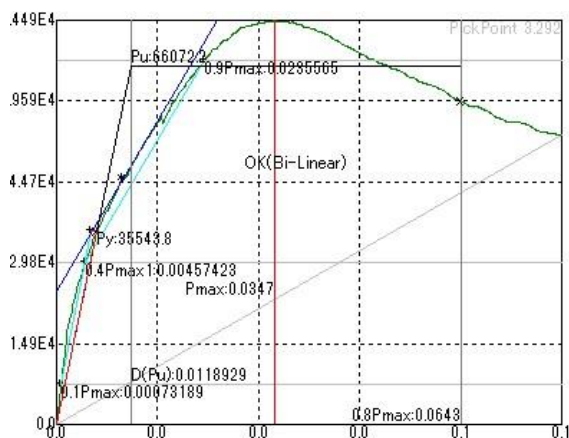
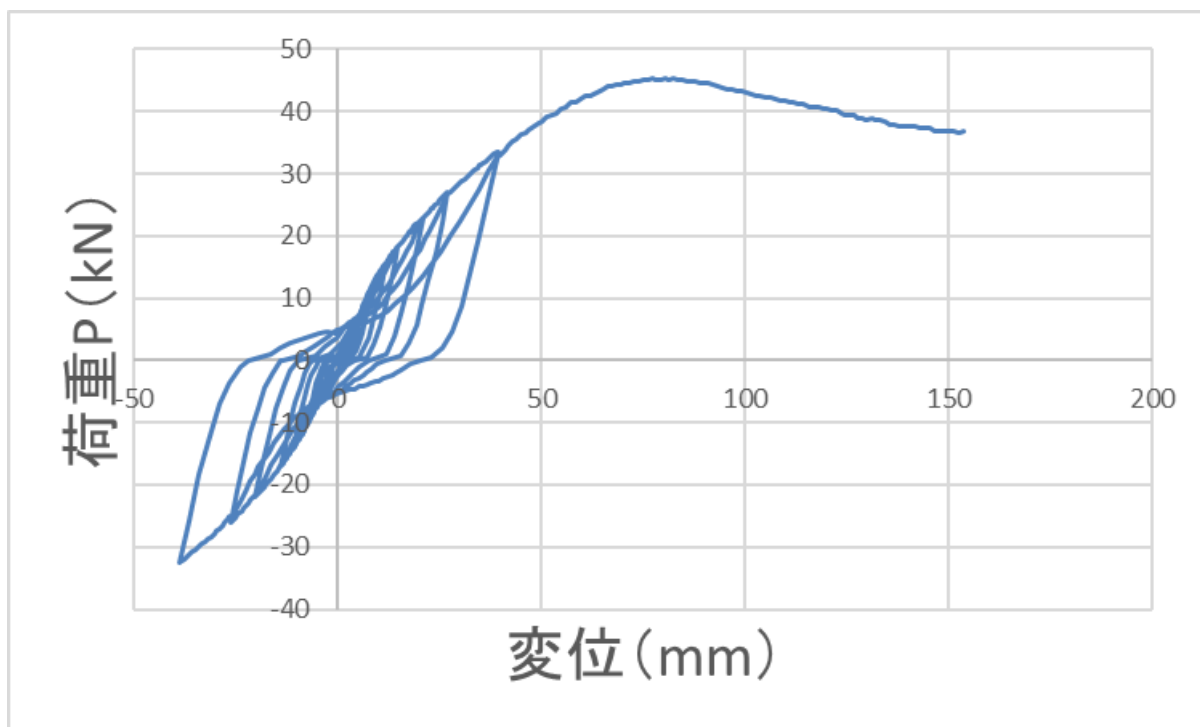
試験体番号	No.5-3
Pmax	55498.9
D(Pmax)	0.0374
D(0.1Pmax)	0.000589093
D(0.4Pmax1)	0.00384456
D(0.4Pmax2)	0.00384456
D(0.9Pmax)	0.0203093
曲線に接する点P	38397.9
曲線に接する点D	0.0104
二直線の交点Py	29880.8
二直線の交点D(Py)	0.00534646
曲線上の点 $\delta y$	0.00631998
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0715
初期剛性K	4.73E+06
Energy	3354.92
Pu	50728.1
D(Pu): $\delta v$	0.010729
$\mu = \delta u / \delta v$	6.66397
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.28481
残差	261.116
適合度 = $1 - \text{残差} / \text{Energy}$	0.922169

図 3-22 荷重変位曲線・特定値 No. 5-3





写真 3-24 試験体写真 (No5-3)



試験体番号	No.6
Pmax	74492.7
D(Pmax)	0.0347
D(0.1Pmax)	0.00073189
D(0.4Pmax1)	0.00457423
D(0.4Pmax2)	0.00457423
D(0.9Pmax)	0.0235565
曲線に接する点P	45232.4
曲線に接する点D	0.0105
二直線の交点Py	35543.8
二直線の交点D(Py)	0.00556228
曲線上の点 $\delta y$	0.00639783
D(0.8Pmax): $\delta u$	0.0643
初期剛性K	5.56E+06
Energy	3855.55
Pu	66072.2
D(Pu): $\delta v$	0.011893
$\mu = \delta u / \delta v$	5.40659
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.319224
残差	363.543
適合度 = $1 - \text{残差} / \text{Energy}$	0.905709

図 3-23 荷重変位曲線・特定値 No. 6

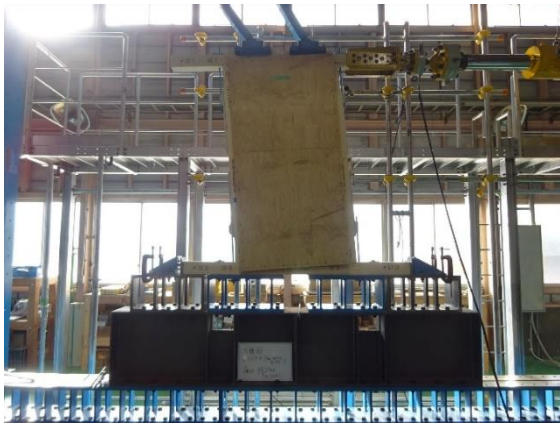


写真 3-25 試験体写真 (No6)

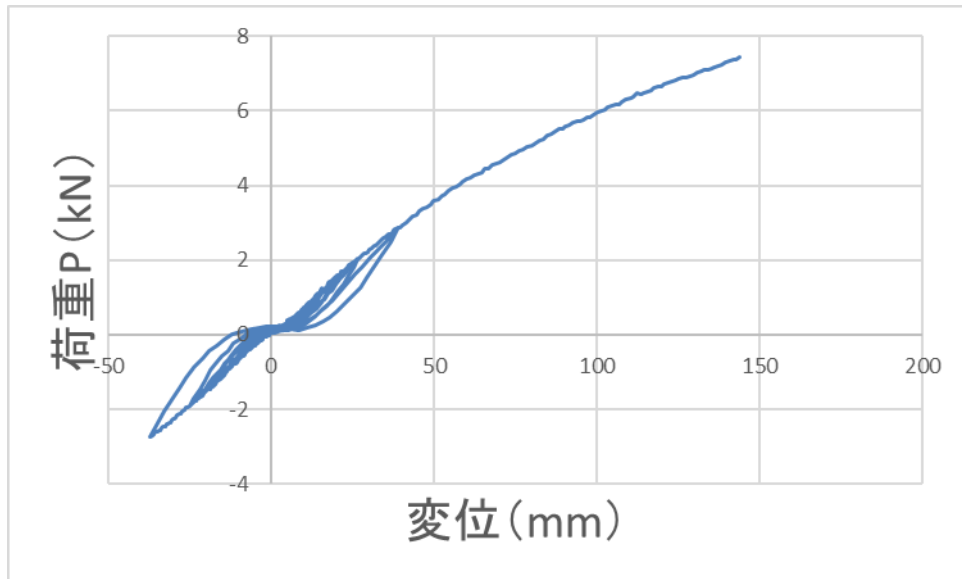


図 3-24 荷重変位曲線・特定値 No. 7

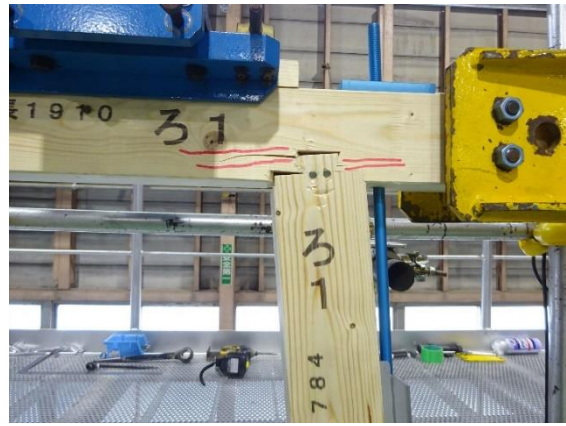
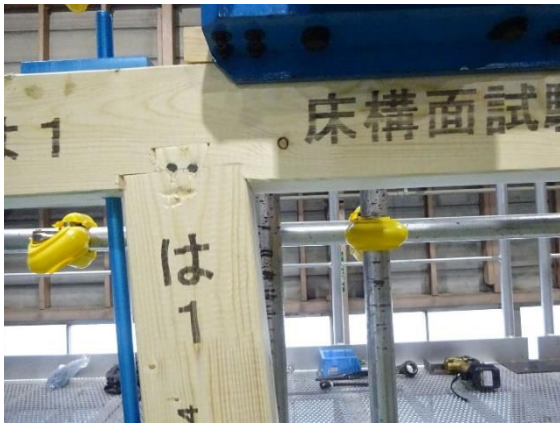


写真 3-26 試験体写真(No7)

### 3. 3. 1. 5 ビスの比較試験

目的：LVL 面材を使用した水平構面検討の際に留付け方法として 2 社の同サイズの構造用ビスを  
使えるようにしたいが、それぞれで面内せん断試験を実施するのは負担になるので、ロケット  
型 1 面せん断性能を確認して使用するビスを決定する。詳しくは次ページ以降に記載したシネジ  
ックの試験報告書の記載の通りである。

日時：2023/11/13 場所：シネジック本社 試験機

ビス：φ5.5×70mm

ネダノット（シネジック）、根太無し工法ビス（若井産業ホールディングス）

試験：ロケット型 1 面せん断試験

結果：3 体実施の結果、 $P_y$  は根太無し工法ビスが 1.49kN とネダノットの 1.96kN より下回った  
ことから、面内せん断試験に使用するビスは根太無し工法ビスとした。

RD-23167-0  
2023年11月28日

シネジック株式会社  
代表取締役 荻部 泰輝

## 試験報告書

試験名 一面せん断試験  
品名 根太無し工法ビス  
担当者 R&D推進室 関根 諒  
試験場所 シネジック株式会社  
試験日 2023年11月13日  
注意事項 この試験報告書を転載するときは、必ず全文を記載して下さい。

承認	審査	担当
		

## 1. 一般事項

概要説明		
1.	件名	一面せん断試験
2.	試験概要	<p>目的：根太無し工法ビスでオウシュウアカマツ製材とLVLを接合した際のせん断強度を測定する。</p> <p>試験体：図1.1に示す。</p> <p>1. 接合部位：主材-側材</p> <p>2. 試料 名称：根太無し工法ビス 寸法：ねじ径5.5mm、長さ70.0mm、ねじ長30.0mm</p> <p>3. 材料 主材：オウシュウアカマツ集成材、同一等級、E105 105×105mm、長さ300mm 側材：LVL、スギB種、30×105mm、長さ300mm</p> <p>4. 試験体数：3体</p>
3.	試験実施場所	宮城県富谷市成田1-5-9 シネジック株式会社
4.	試験実施日	2023年11月13日
5.	使用試験機	インストロン社製 ネジ式万能試験機 5969型
6.	試験担当者	R&D推進室 関根 諒
7.	試験方法	<p>一面せん断試験：側材から主材に対し試料を施工し、主材上端部を下方に加圧することで強度を測定する。このときの加力速度は5mm/minとする。</p>

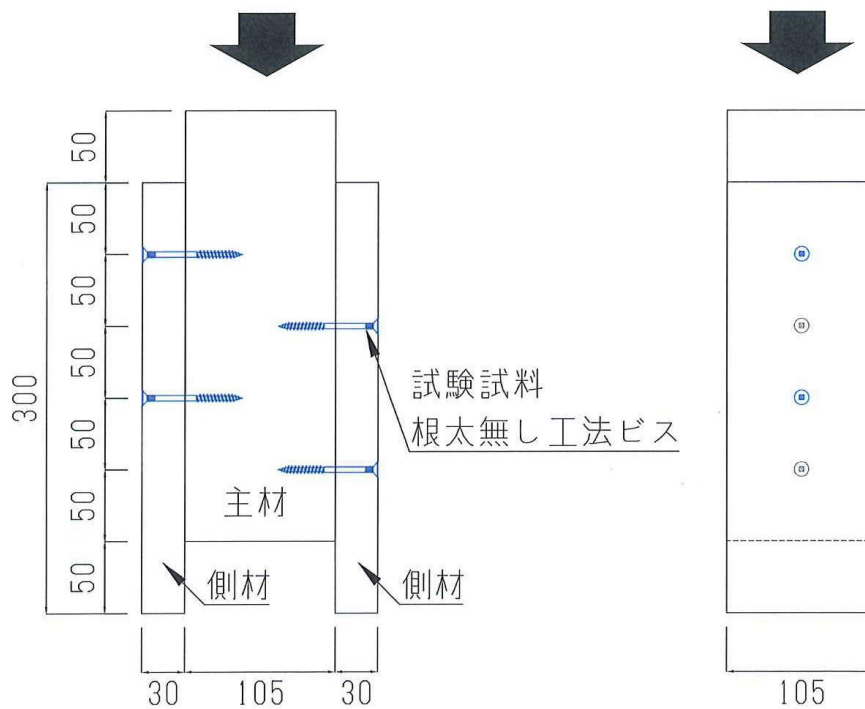


図1.1 試験概要図



## 2. 試験体

2.1 試験体の詳細を表2.1に示す。

2.2 試験体の重量・密度および含水率を表2.2に示す。

表2.1 試験体詳細

項目	仕様詳細
接合部位	主材-側材
試料	名称：根太無し工法ビス 寸法：ねじ径5.5mm、長さ70.0mm、ねじ長30.0mm
主材	種類：オウシュウアカマツ集成材 品質：同一等級、E105 寸法：105×105mm、長さ300mm
側材	種類：LVL 品質：スギB種 寸法：30×105mm、長さ300mm

表2.2 試験体の重量、密度および含水率

試験 No.	主材			側材①			側材②		
	重量	密度	含水率	重量	密度	含水率	重量	密度	含水率
	(g)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)
No.1	1784	0.54	14.50	469	0.50	12.75	452	0.48	13.00
No.2	1706	0.52	10.25	456	0.48	12.75	451	0.48	10.25
No.3	1737	0.53	11.00	465	0.49	10.75	452	0.48	11.75
平均値	1742	0.53	11.92	463	0.49	12.08	452	0.48	11.67
標準偏差	39.27	0.01	2.27	6.66	0.01	1.15	0.58	0.00	1.38

※含水率は施工面の表裏を測定し、平均値を記載

## 3. 試験結果

3.1 試験結果を表3.1、図3.1に示す。

表3.1 測定結果

試験内容	一面せん断試験						
試料	根太無し工法ビス (4本)						
測定項目	1mm時 荷重	3mm時 荷重	5mm時 荷重	10mm時 荷重	30mm時 荷重	最大荷重	最大点 変位[mm]
No.1	6.889	10.350	11.705	13.583	14.794	16.203	19.323
No.2	5.379	8.869	10.397	12.649	12.372	13.860	20.201
No.3	5.126	9.361	10.985	12.289	14.177	15.144	23.140
最小値	5.126	8.869	10.397	12.289	12.372	13.860	19.323
最大値	6.889	10.350	11.705	13.583	14.794	16.203	23.140
平均値	5.798	9.527	11.029	12.840	13.781	15.069	20.888
平均値/4	1.450	2.382	2.757	3.210	3.445	3.767	-

[荷重単位:kN]

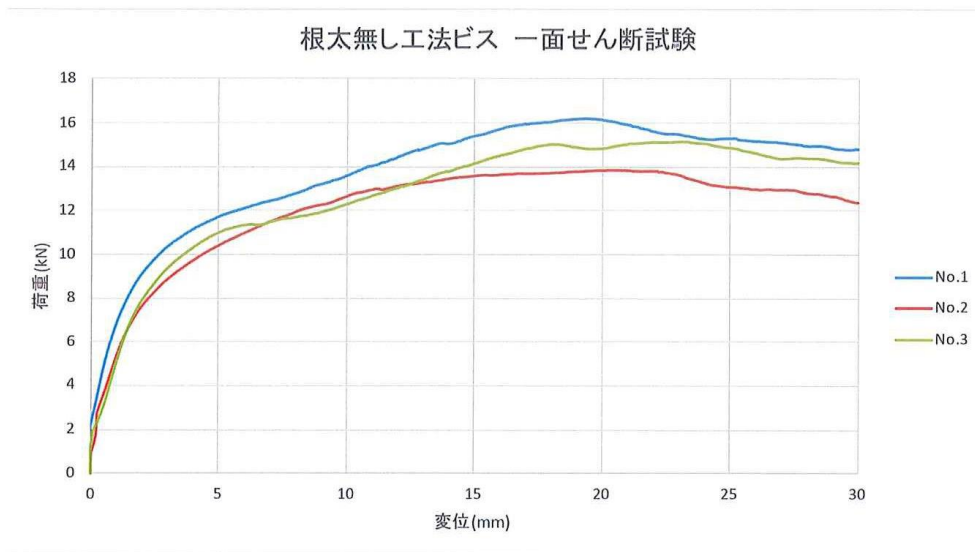


図3.1 荷重－変位 比較図

## 4. 短期基準接合耐力の算定

短期基準接合耐力の算定は「財団法人 日本住宅・木材技術センター木造軸組工法住宅の許容応力度設計①(2017年版) 第4章 4.4 継手・仕口接合部の試験 4.4.4 評価方法」に準じて行う。

## 4.1 特性値の算出

荷重-変位曲線から完全弾塑性モデルにより降伏耐力 $P_y$ 等の特性値(表4.2)を算出し図4.1~図4.6に示す。

## 4.2 短期基準接合耐力は、下記に示す方法により算出する。(表4.1)

下記の①、②の試験荷重の平均値にばらつき係数を乗じた値の小さい方を短期基準接合耐力とする。

- ① 降伏耐力 $P_y$
- ② 最大荷重 $P_{max}$ の2/3の値

## 4.3 ばらつき係数は次式による。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot K$$

CV : 変動係数

K : 信頼水準75%の95%下限許容限界を求めるための定数(右記参照)

試験体数 n	K
3	3.152
4	2.681
5	2.464
6	2.336

表4.1 短期基準接合耐力の算定

試験体	根太無し工法ビス	
	$P_y$ [kN]	$2/3P_{max}$ [kN]
No.1	2.32	2.70
No.2	1.93	2.31
No.3	2.30	2.52
試験体数 n	3	
K	3.152	
平均値	2.19	2.51
標準偏差	0.220	0.196
変動係数 CV	0.100	0.078
ばらつき係数	0.683	0.755
短期基準接合耐力 [kN]	1.49	1.90

※試験体1本あたりのデータを記す

表4.2 各特性値算定結果

項目	試験体	根太無し工法ビス				
		No.1	No.2	No.3	平均	標準偏差
降伏耐力 [kN]	$P_y$	2.32	1.93	2.30	2.19	0.22
降伏変位 [mm]	$\delta_y$	2.11	2.05	2.87	2.34	0.46
終局耐力 [kN]	$P_u$	3.65	3.20	3.45	3.43	0.22
終局変位 [mm]	$\delta_u$	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00
初期剛性 [kN/mm]	K	1.10	0.94	0.80	0.95	0.15
降伏点変位 [mm]	$\delta_v$	3.31	3.40	4.30	3.67	0.55
塑性率	$\mu$	9.05	8.83	6.98	8.29	1.14
構造特性係数	$D_s$	0.24	0.24	0.28	0.25	0.02

※試験体1本あたりのデータを記す

【包絡線グラフ作成システム : PickPoint3.292】

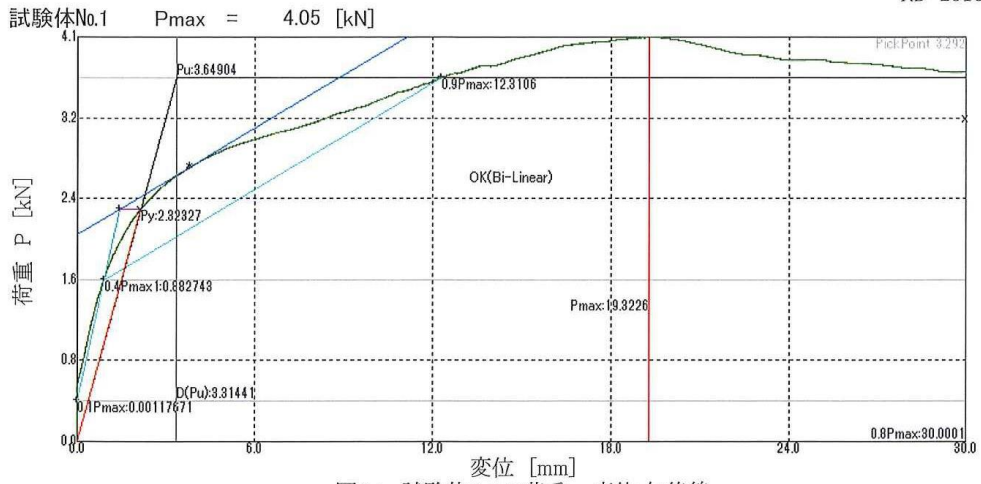


図4.1 試験体No.1の荷重 - 変位 包絡線

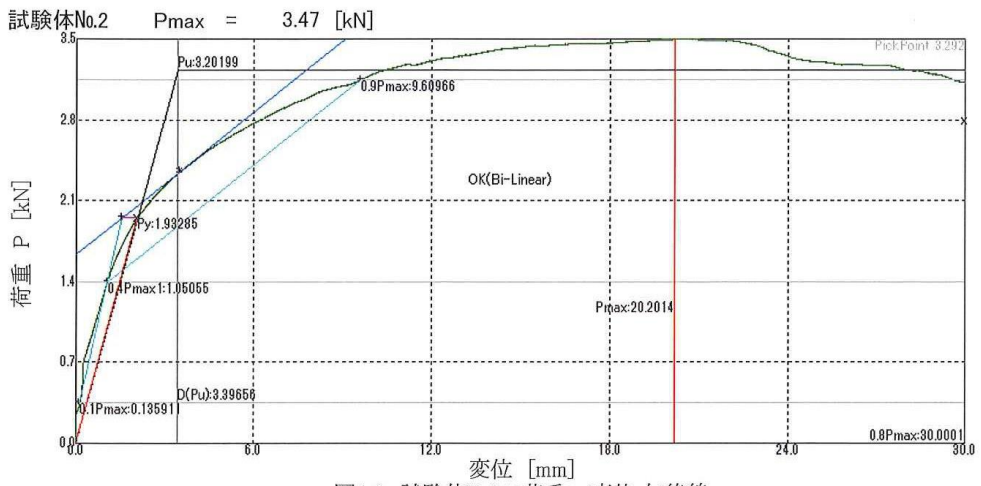


図4.2 試験体No.2の荷重 - 変位 包絡線

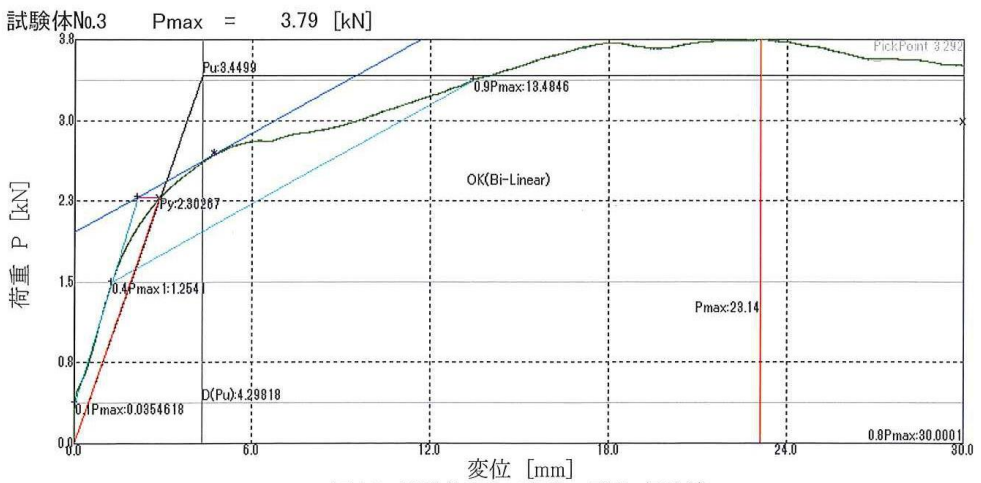


図4.3 試験体No.3の荷重 - 変位 包絡線

## 5. 試験写真

<p>写真 No.1</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.1</p> <p>概要説明 試験体概要図</p>	
<p>写真 No.2</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.1</p> <p>概要説明 試験体加力前 試料頭部拡大図</p>	
<p>写真 No.3</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.1</p> <p>概要説明 試験体加力後 全体図</p>	

<p>写真 No.4</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.1</p> <p>概要説明 試験体加力後 試験体頭部拡大図</p>	
<p>写真 No.5</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.1</p> <p>概要説明 試験体加力後 (左)主材のめり込み性状 (右)側材のめり込み性状</p>	
<p>写真 No.6</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.1</p> <p>概要説明 試験体加力後 試験体の変形状</p>	

RD-23168-0  
2023年11月28日

シネジック株式会社  
代表取締役 荻部 泰輝

## 試験報告書

試験名 一面せん断試験  
品名 ND5-70 【SIP-GH-S35(7)】  
担当者 R&D推進室 関根 諒  
試験場所 シネジック株式会社  
試験日 2023年11月13日  
注意事項 この試験報告書を転載するときは、必ず全文を記載して下さい。

承認	審査	担当
		

## 1. 一般事項

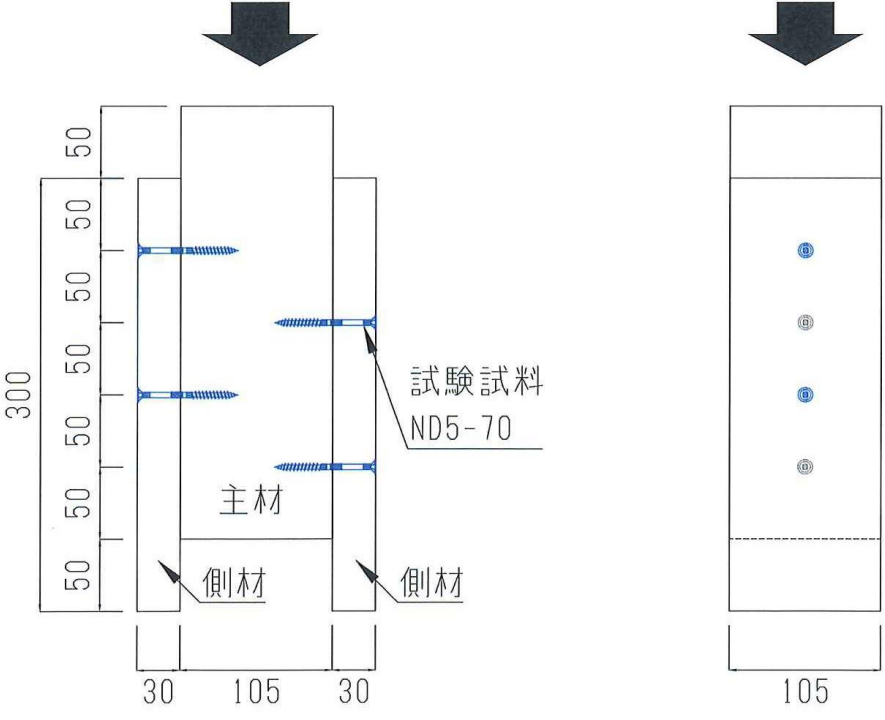
概要説明		
1.	件名	一面せん断試験
2.	試験概要	<p>目的：ND5-70でオウシュウアカマツ集成材とLVLを接合した際のせん断強度を測定する。</p> <p>試験体：図1.1に示す。</p> <p>1. 接合部位：主材-側材</p> <p>2. 試料 名称：ND5-70【SIP-GH-S35(7)】 寸法：ねじ径5.5mm、長さ70.0mm、ねじ長30.0mm</p> <p>3. 材料 主材：オウシュウアカマツ集成材、同一等級、E105 105×105mm、長さ300mm 側材：LVL、スギB種、50E、30×105mm、長さ300mm</p> <p>4. 試験体数：3体</p>
3.	試験実施場所	宮城県富谷市成田1-5-9 シネジック株式会社
4.	試験実施日	2023年11月13日
5.	使用試験機	インストロン社製 ネジ式万能試験機 5969型
6.	試験担当者	R&D推進室 関根 諒
7.	試験方法	<p>一面せん断試験：側材から主材に対し試料を施工し、主材上端部を下方に加圧することで強度を測定する。このときの加力速度は5mm/minとする。</p> 

図1.1 試験概要図



## 2. 試験体

- 2.1 試験体の詳細を表2.1に示す。
- 2.2 試験体の重量・密度および含水率を表2.2に示す。
- 2.3 試験試料の詳細図面を図2.1に示す。

表2.1 試験体詳細

項目	仕様詳細
接合部位	主材-側材
試料	名称：ND5-70【SIP-GH-S35(7)】 寸法：ねじ径5.5mm、長さ70.0mm、ねじ長30.0mm
主材	種類：オウシュウアカマツ集成材 品質：同一等級、E105 寸法：105×105mm、長さ300mm
側材	種類：LVL 品質：スギB種 寸法：30×105mm、長さ300mm

表2.2 試験体の重量、密度および含水率

試験 No.	主材			側材①			側材②		
	重量	密度	含水率	重量	密度	含水率	重量	密度	含水率
	(g)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(g)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)
No.1	1706	0.52	11.50	455	0.48	11.00	463	0.49	10.50
No.2	1770	0.54	11.75	469	0.50	9.50	452	0.48	10.25
No.3	1717	0.52	9.75	464	0.49	12.50	454	0.48	12.25
平均値	1731	0.52	11.00	463	0.49	11.00	456	0.48	11.00
標準偏差	34.22	0.01	1.09	7.09	0.01	1.50	5.86	0.01	1.09

※含水率は施工面の表裏を測定し、平均値を記載

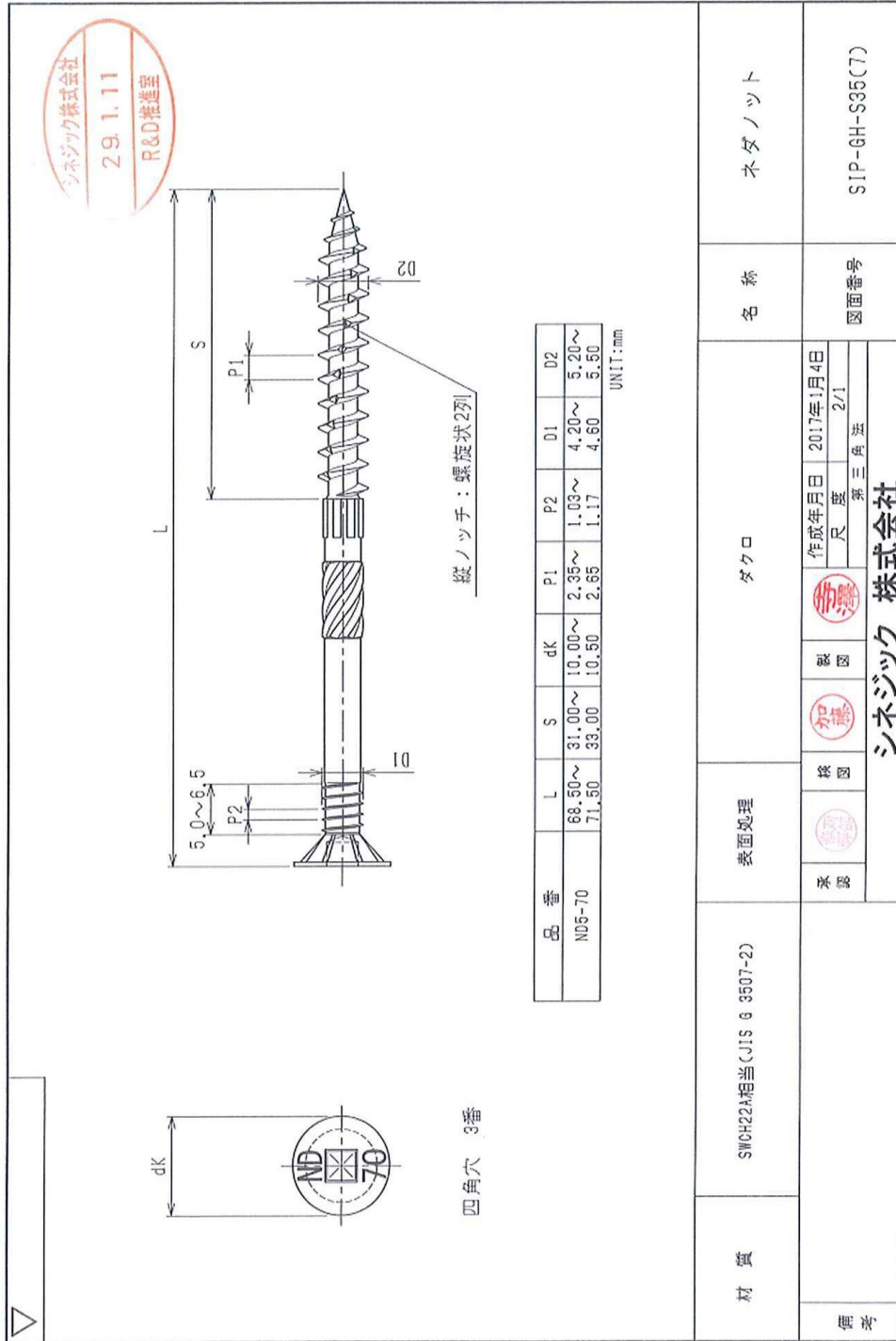


図2.1 試験試料詳細

## 3. 試験結果

3.1 試験結果を表3.1、図3.1に示す。

表3.1 測定結果

試験内容	一面せん断試験						
試料	ND5-70 (4本)						
測定項目	1mm時 荷重	3mm時 荷重	5mm時 荷重	10mm時 荷重	30mm時 荷重	最大荷重	最大点 変位[mm]
No.1	5.893	9.021	9.992	11.314	17.275	18.011	23.313
No.2	6.568	9.498	10.438	11.691	17.446	18.960	24.645
No.3	5.963	8.926	9.916	11.165	15.609	16.548	24.833
最小値	5.893	8.926	9.916	11.165	15.609	16.548	23.313
最大値	6.568	9.498	10.438	11.691	17.446	18.960	24.833
平均値	6.141	9.148	10.115	11.390	16.777	17.840	24.264
平均値/4	1.535	2.287	2.529	2.848	4.194	4.460	-

[荷重単位:kN]

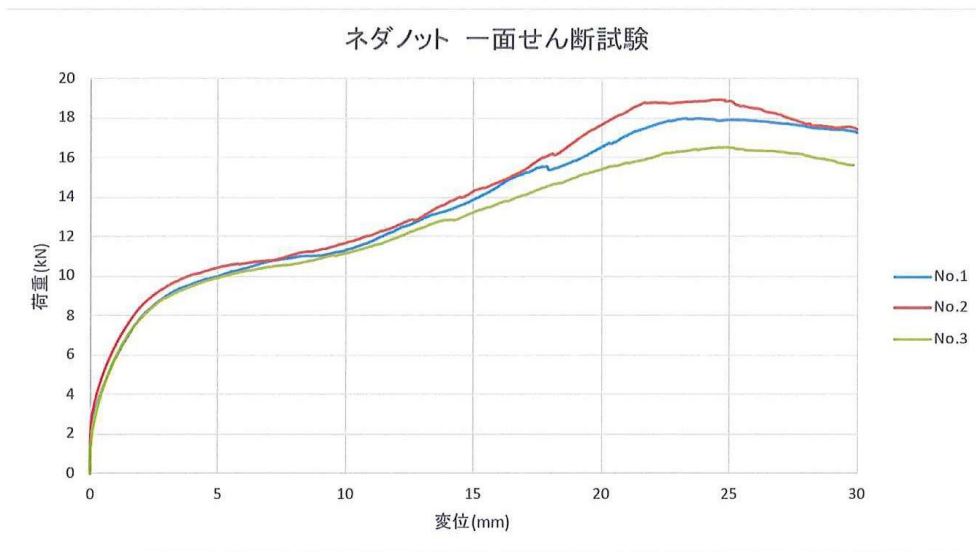


図3.1 荷重－変位 比較図

## 4. 短期基準接合耐力の算定

短期基準接合耐力の算定は「財団法人 日本住宅・木材技術センター木造軸組工法住宅の許容応力度設計①(2017年版) 第4章 4.4 継手・仕口接合部の試験 4.4.4 評価方法」に準じて行う。

## 4.1 特性値の算出

荷重-変位曲線から完全弾塑性モデルにより降伏耐力 $P_y$ 等の特性値(表4.2)を算出し図4.1~図4.6に示す。

## 4.2 短期基準接合耐力は、下記に示す方法により算出する。(表4.1)

下記の①、②の試験荷重の平均値にばらつき係数を乗じた値の小さい方を短期基準接合耐力とする。

- ① 降伏耐力 $P_y$
- ② 最大荷重 $P_{max}$ の2/3の値

## 4.3 ばらつき係数は次式による。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot K$$

CV : 変動係数

K : 信頼水準75%の95%下限許容限界を求めるための定数(右記参照)

試験体数 n	K
3	3.152
4	2.681
5	2.464
6	2.336

表4.1 短期基準接合耐力の算定

試験体	ND5-70	
	$P_y$ [kN]	2/3 $P_{max}$ [kN]
No.1	2.16	3.00
No.2	2.23	3.16
No.3	2.11	2.76
試験体数 n	3	
K	3.152	
平均値	2.16	2.97
標準偏差	0.063	0.202
変動係数 CV	0.029	0.068
ばらつき係数	0.908	0.785
短期基準接合耐力 [kN]	1.96	2.34

※試験1本あたりのデータを記す

表4.2 各特性値算定結果

項目	試験体	ND5-70				
		No.1	No.2	No.3	平均	標準偏差
降伏耐力 [kN]	$P_y$	2.16	2.23	2.11	2.16	0.06
降伏変位 [mm]	$\delta_y$	2.56	2.35	2.41	2.44	0.10
終局耐力 [kN]	$P_u$	3.67	3.78	3.44	3.63	0.18
終局変位 [mm]	$\delta_u$	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00
初期剛性 [kN/mm]	K	0.84	0.95	0.87	0.89	0.05
降伏点変位 [mm]	$\delta_v$	4.35	3.99	3.93	4.09	0.23
塑性率	$\mu$	6.89	7.52	7.63	7.35	0.40
構造特性係数	$D_s$	0.28	0.27	0.26	0.27	0.01

※試験1本あたりのデータを記す

【包絡線グラフ作成システム : PickPoint3.292】

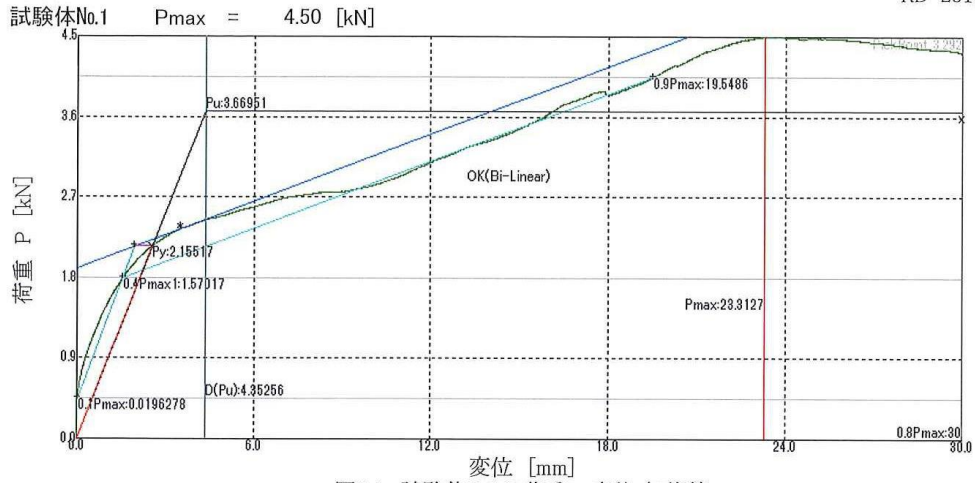


図4.1 試験体No.1の荷重 - 変位 包絡線

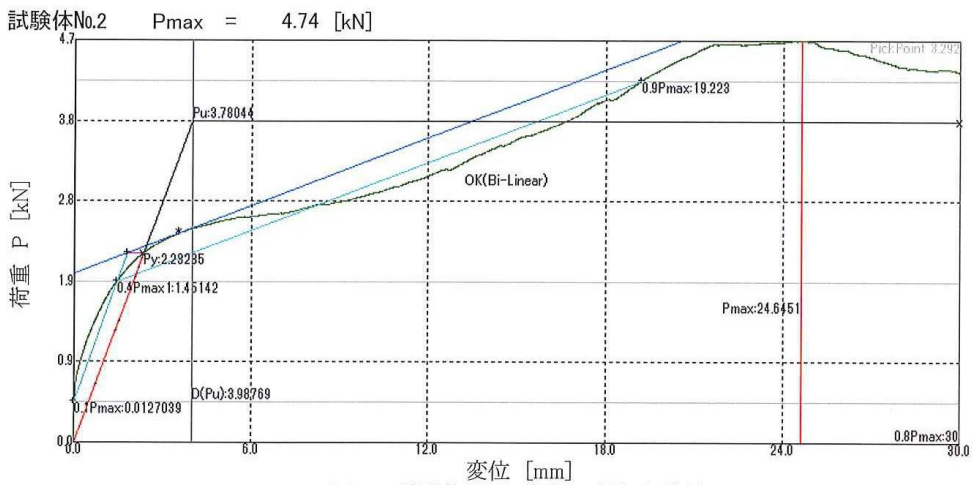


図4.2 試験体No.2の荷重 - 変位 包絡線

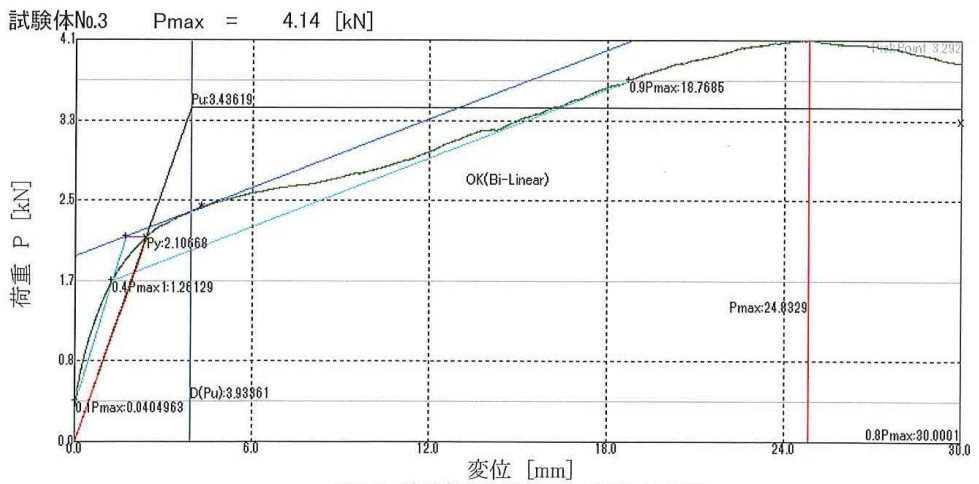


図4.3 試験体No.3の荷重 - 変位 包絡線

## 5. 試験写真

<p>写真 No.1</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.2</p> <p>概要説明 試験体概要図</p>	
<p>写真 No.2</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.2</p> <p>概要説明 試験体加力前 試料頭部拡大図</p>	
<p>写真 No.3</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.2</p> <p>概要説明 試験体加力後 全体図</p>	

<p>写真 No.4</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.2</p> <p>概要説明 試験体加力後 試験体頭部拡大図</p>	
<p>写真 No.5</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.2</p> <p>概要説明 試験体加力後 (左)主材のめり込み性状 (右)側材のめり込み性状</p>	
<p>写真 No.6</p> <p>試験日 2023年11月13日</p> <p>試験No.2</p> <p>概要説明 試験体加力後 試験体の変形状</p>	

### 3. 3. 2 ロケット型接合部一面せん断性能の検討

#### 3. 3. 2. 1 研究の目的

実大サイズの鉛直構面や水平構面のせん断性能を予測する手法として、木造軸組工法住宅の許容応力度設計<sup>1)</sup>（以下、グレー本と記載する）の詳細計算法が利用されているが、詳細計算法に用いる釘 1 本あたりの一面せん断特性値を取得するための面材釘試験は試験体がやや大きく準備の負担が大きい。そこで、中大規模建築物を設計する目的で令和 5 年度に行った先行研究<sup>2)</sup>（以下、先行研究と記載する）においては、実大 LVL 床組試験体のせん断性能を予測する手法として正負交番加力によるロケット型一面せん断試験を考案した。考案した試験方法と、公定法として知られる面材釘試験の結果とを比較したところ、ビスと接着剤を併用した試験体については接着剤のはく離によって大きな荷重低下が生じ、面材釘試験とは異なる結果が得られたが、接着剤を用いないビスのみで接合した試験体については面材釘試験によって得られる破壊形状や評価値に近い結果を得ることができた。

本研究においては、令和 5 年度全国 LVL 協会構造利用委員会（以下、委員会と記載する）において行われる釘やビスを用いた住宅向け水平構面の設計に際して、先行研究で明らかとなった試験治具の問題点や、試験方法の改良を行って一面せん断試験を行い、面材釘試験の結果との比較を行った。



### 3. 3. 2. 2 本研究の位置づけ

グレー本において解説される詳細計算法、および考案した試験法による壁倍率の予測手順の概要を図 3. 3. 2-1 に示す。詳細計算法に基づく「①面材釘試験の実験データ」については、委員会内において本研究と並行してデータ取得が行われた。本研究では、先行研究で考案した試験方法である「②一面せん断試験の実験データ」から釘一本当たり一面せん断特性値を導出したうえで、①によって得られた値との比較を行った。

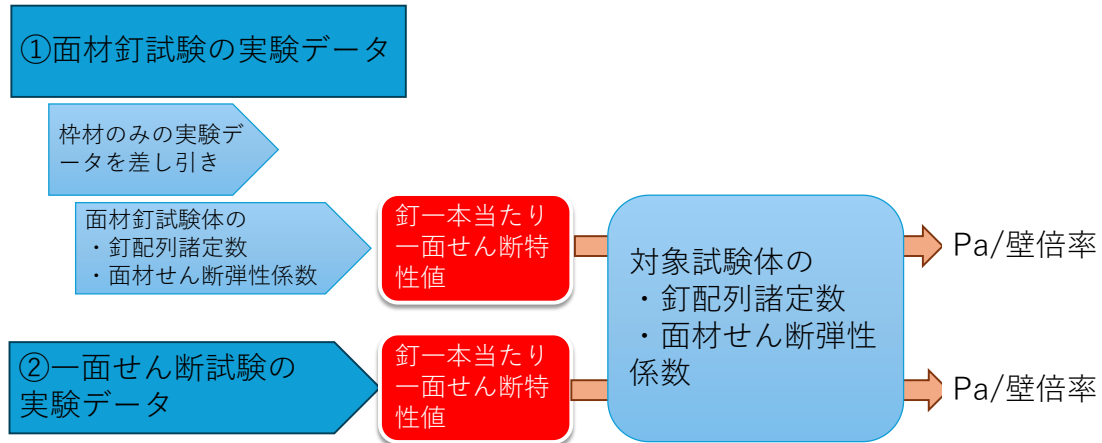


図 3. 3. 2-1 詳細計算法および考案した試験法による壁倍率の予測手順の概要

### 3. 3. 2. 3 試験方法

評価を行った試験体の一覧を表 3. 3. 2-1 に示す。これらは、委員会において材料の種類や留め付け具など水平構面の仕様選定に関する議論に対応させた接合部試験体である。試験体の製作方法等については先行研究に従った。試験体の製作状況を写真 3. 3. 2-1～3. 3. 2-3 に示す。

委員会では水平構面の設計に際してさまざまな仕様の面材釘試験体を立案し、本研究においても接合部の仕様を同一とした試験に着手した。しかし、一部の試験体については強度性能が期待できないことや、施工が困難であることが判明したため、接合部の仕様を変更するに至った。その後、委員会で面材釘試験を完了し、実大水平構面の設計に着手する際に、接合部の仕様としては面材釘試験体 No. 1 および No. 3 の 2 種類に絞り込むことが決定された。そこで、本研究においても改めてこれらの仕様について接合部性能評価を行ったが、再検討の際に、後で述べる加力スケジュールや主材-側材間摩擦の低減について新しい試験条件を設定して、追加実験を行った。

先行研究において評価した際の試験体、および試験治具を図 3. 3. 2-2 に示した。この治具を用いて試験体を固定して正負交番加力を加えたところ、治具の固定が十分ではなく試験体が面外に変形してハの字に開く状況が確認された。そこで、本研究においては図 3. 3. 2-3 に示すような設計荷重を 8kN に設定した治具を用いた。

試験の制御については先行研究に従い、接合部 4 か所の相対変位の平均値を折り返し点の制御に利用した。また、本研究においては表 2 に示すスケジュールに従って繰り返し加力を行い、最終ステップでは最大荷重の 80%以下に低下するまで試験を行った。試験の状況、および破壊状況を写真 3. 3. 2-4～3. 3. 2-8 に示す。

試験を進める中で生じた課題を解決するため行った追加実験については以下の通りである。

①考案した試験方法では最終ステップに至るまでに釘やビスが折れるケースが多発した。これは釘やビスの降伏変位を超える変位量で繰り返し交番加力を行ったことが原因として考えられた。そこで、釘やビスの降伏変位を超えないよう、折り返し点の基準を  $0.1\delta_y$  に設定したシリーズ (N70S0-4/N70S9-4/S70S0-4/S70S9-4) を設定し、試験を行った。

②先行研究においては、単調加力より正負交番加力の剛性は低下したが、本研究では正負交番加力の剛性の方が高いケースがみられた。これは、新たに設計した治具では試験体の拘束が大きく、側材が面外に変形してハの字に開く現象は生じなくなる反面、主材と側材の摩擦力が増加したのが原因として考えられた。

拘束力をなくすため、N7AS0 試験体については側材厚さが異なる試験体を治具にすき間なく取り付ける目的で用意したスペーサを外して試験を行ったが、設計時と異なる荷重条件によって加力中に治具が変形したため、この試験方法は採用しなかった。

N70S0\_2, N70S0-4/N70S9-4/S70S0-4/S70S9-4 試験体については、主材と側材を接合する際に文献<sup>3)</sup>に従って接合面にリチウムグリス(シェル製アルバニヤグリース S)を接合部 1 か

所あたり 4~6g 塗布し、主材と側材の摩擦力が生じないようにした。

得られた荷重-相対変位のデータを PickPoint (森林総合研究所軽部氏作成) に読み込み、包絡線および評価値の算定を行った。また、荷重-相対変位曲線を試験体ごとに比較するため、相対変位 0.01mm ごとの荷重を直線補間して包絡線データの正規化を行った。

表 3.3.2-1 評価を行った試験体の一覧および試験体名称

対応する面材釘試験体	釘/ビス	接着	側材樹種	側材角度	シリーズ名称	単調 繰り返し						
						0	1	2	3	4	5	6
No. 1	CN75@75		スギ 30mmLVL	0度	N70S0	N70S0-0	N70S0-1	N70S0-2	N70S0-3	N70S0-4	N70S0-5	N70S0-6
				90度	N70S9	N70S9-0	N70S9-1	N70S9-2	N70S9-3			
No. 2	CN75@75 (スペーサなし条件で実験)	有	スギ 30mmLVL	0度	N7AS0	N7AS0-0	N7AS0-1					
				90度	N7AS9	N7AS9-0	N7AS9-1					
No. 3	根太なし工法 ビス 70mm@150		スギ 30mmLVL	0度	S70S0	S70S0-0	S70S0-1	S70S0-2	S70S0-3	S70S0-4	S70S0-5	S70S0-6
				90度	S70S9	S70S9-0	S70S9-1	S70S9-2	S70S9-3			
	CN90@75		カラマツ 50mmLVL	0度	N90L0	N90L0-0	N90L0-1					
				90度	N90L9	N90L9-0	N90L9-1					
	CN90@75		ラジアータ 50mmLVL	0度	N90R0	N90R0-0	N90R0-1					
				90度	N90R9	N90R9-0	N90R9-1					
	90mm ビス@75		カラマツ 50mmLVL	0度	S90L0	S90L0-0	S90L0-1					
				90度	S90L9	S90L9-0	S90L9-1					
	90mm ビス@75		ラジアータ 50mmLVL	0度	S90R0	S90R0-0	S90R0-1					
No. 5	110mm ビス @150		カラマツ 50mmLVL	0度	S10L0	S10L0-0	S10L0-1	S10L0-2	S10L0-3	S10L0-4	S10L0-5	
No. 6	110mm ビス @150		ラジアータ 50mmLVL	0度	S10R0	S10R0-0	S10R0-1	S10R0-2	S10R0-3	S10R0-4	S10R0-5	
No. 1	CN75@75 (グリス塗り)		スギ 30mmLVL	0度	N70S0_2		N70S0_2-1	N70S0_2-2	N70S0_2-3	N70S0_2-4	N70S0_2-5	
No. 1	CN75@75 (グリス塗り) 0.1δy 基準		スギ 30mmLVL	0度	N70S0-4		N70S0-4-1	N70S0-4-2	N70S0-4-3	N70S0-4-4	N70S0-4-5	N70S0-4-6
				90度	N70S9-4		N70S9-4-1	N70S9-4-2	N70S9-4-3	N70S9-4-4		
No. 3	70mm ビス @150 (グリス塗り) 0.1δy 基準		スギ 30mmLVL	0度	S70S0-4		S70S0-4-1	S70S0-4-2	S70S0-4-3	S70S0-4-4	S70S0-4-5	S70S0-4-6
				90度	S70S9-4		S70S9-4-1	S70S9-4-2	S70S9-4-3	S70S9-4-4		

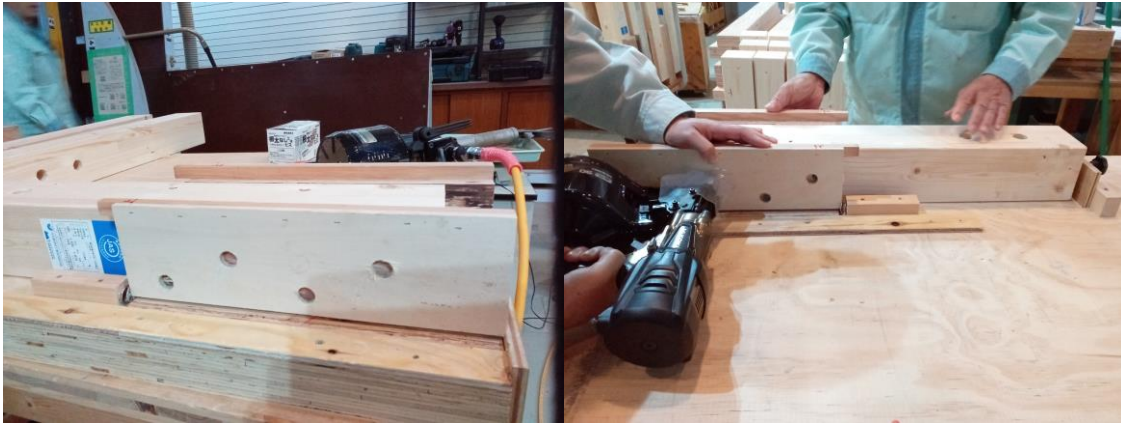


写真 3.3.2-1 釘打ち試験体の製作状況  
(釘打ち位置決め用治具を用意し、治具を試験体に当てながら釘打ち作業を行っている。)



写真 3.3.2-2 接着試験体の製作状況



写真 3.3.2-3 主材-側材間摩擦力を減らすために行った、試験体へのグリス塗布の状況

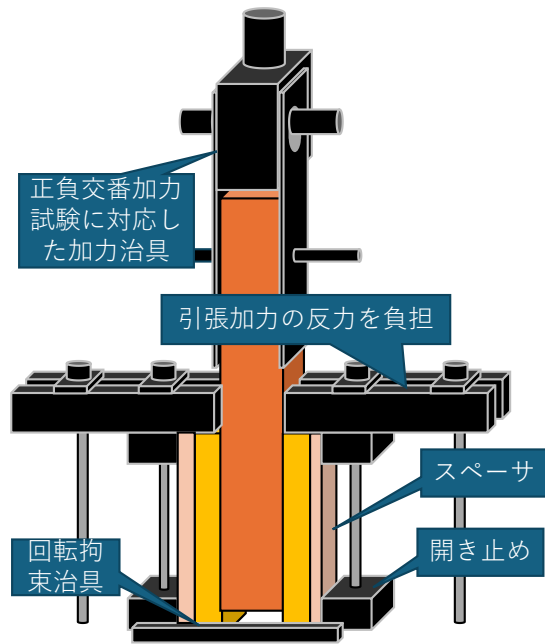
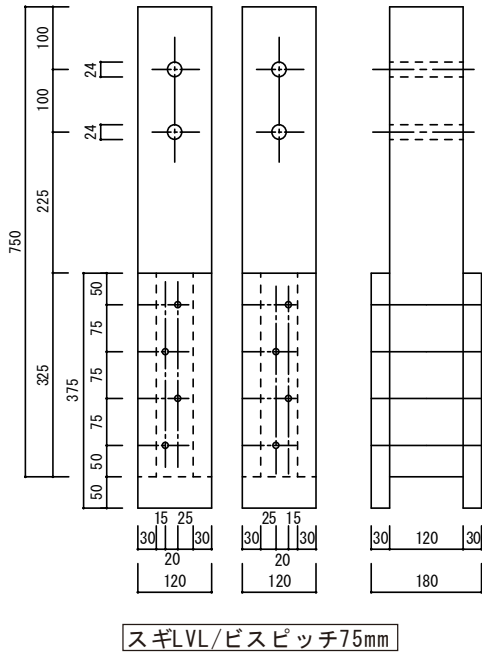


図 3. 3. 2-2 試験体の形状および先行研究における試験治具

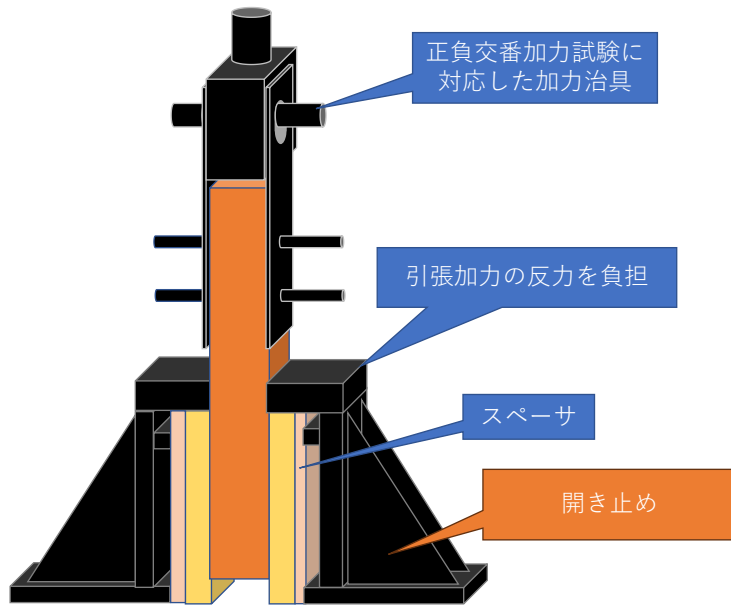


図 3. 3. 2-3 本研究で採用した治具の形状，および試験中の状況

表 3.3.2-2 加力スケジュール

ステップ	繰返し回数	折り返し点の変位	$\delta y$ に対する折り返し点(例)	
			$\delta y=0.3$ の場合	$\delta y=3$ の場合
1	1	$1/2 \delta y$	0.15	1.5
		$-1/2 \delta y$	-0.15	-1.5
2	1	$\delta y$	0.3	3
		$-\delta y$	-0.3	-3
3	1	$2 \delta y$	0.6	6
		$-2 \delta y$	-0.6	-6
4	1	$4 \delta y$	1.2	12
		$-4 \delta y$	-1.2	-12
5	1	$6 \delta y$	1.8	18
		$-6 \delta y$	-1.8	-18
6	1	$8 \delta y$	2.4	24
		$-8 \delta y$	-2.4	-24
7	1	$12 \delta y$	3.6	36
		$-12 \delta y$	-3.6	-36
8	1	$16 \delta y$	4.8	<del>48</del> 30mm を超える
		$-16 \delta y$	-4.8	<del>48</del> ため, 省略
9	荷重が 0.8Pmax に低下するまで加力			



写真 3. 3. 2-4 試験中の状況, および破壊状況 (S70S9-1)



写真 3. 3. 2-5 試験中の状況, および破壊状況 (N90L0-1)



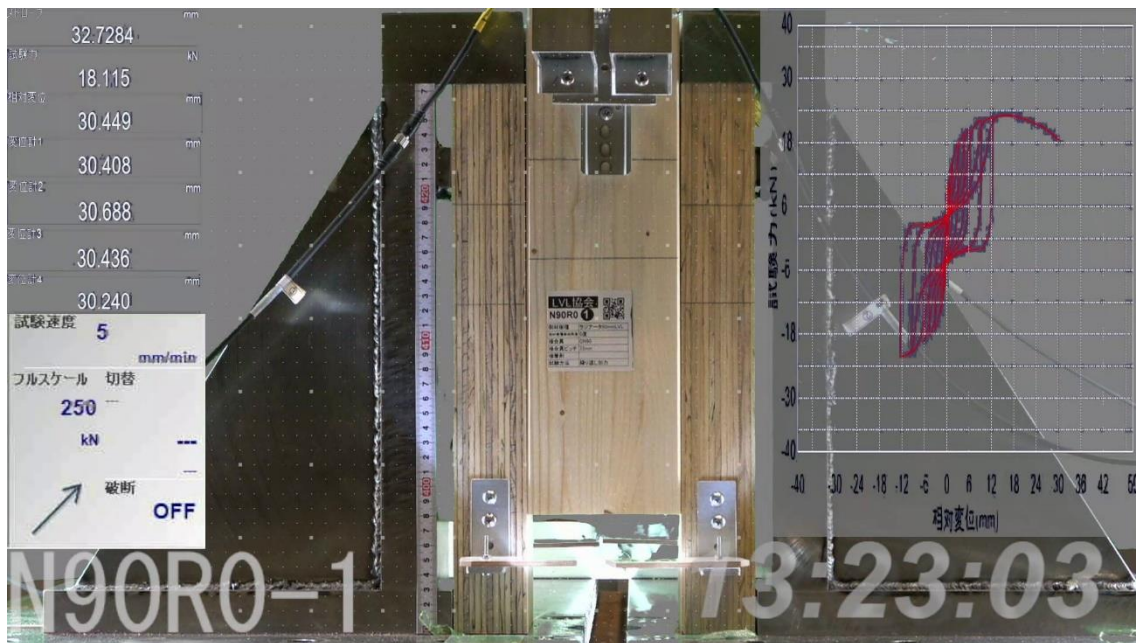


写真 3. 3. 2-6 試験中の状況, および破壊状況 (N90R0-1)

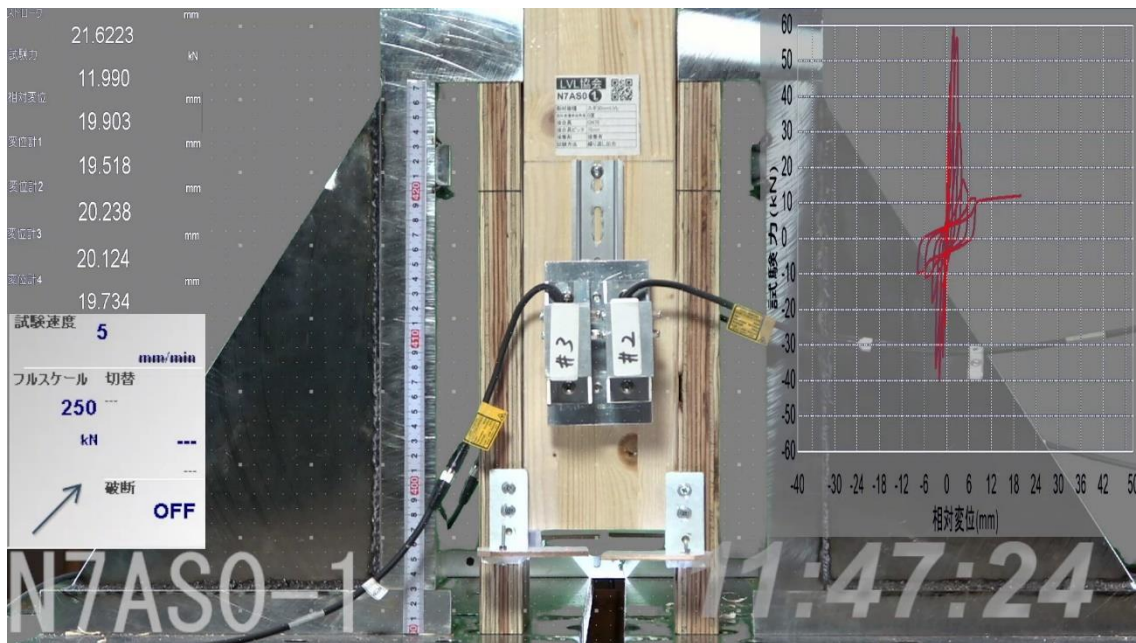


写真 3. 3. 2-7 試験中の状況，および破壊状況 (N7AS0-1)

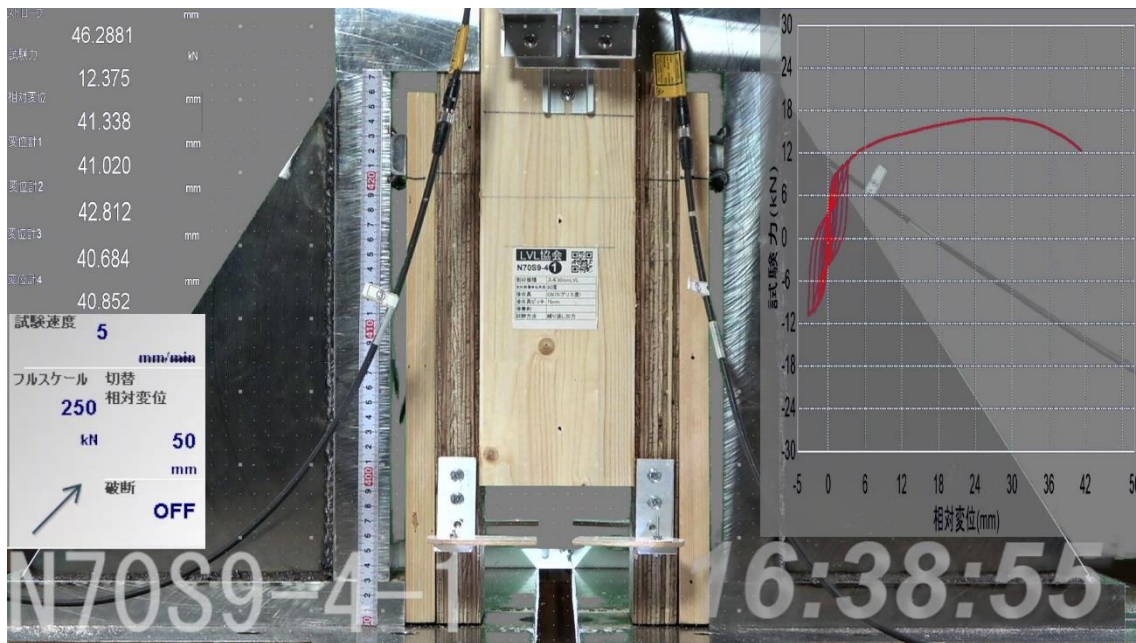


写真 3.3.2-8 試験中の状況，および破壊状況 (N70S9-4-1)

### 3. 3. 2. 4 試験結果

荷重-相対変位の包絡線を図 3.3.2-4~3.3.2-9 に示した。繰り返し加力で荷重が低下する部分は、正負交番加力で圧縮方向に加力した後、引張方向に戻って加力したとき折り返し点の荷重に達しなくなるのが原因である。また、この途中で釘やビスが折れるケースが多発した。0.1 $\delta y$  基準で繰り返し加力を行ったところ(赤・水色の実線で示すプロット)、折り返し点は相対変位 5mm 以下となり、最大荷重に至るまで大きな荷重低下は見られなくなった。

30mm 厚さスギ LVL を側材として用いた試験体について、単調加力と繰り返し加力、さらにグリス塗・0.1 $\delta y$  基準での繰り返し加力について、同一相対変位における荷重を比較したところ、釘接合では

単調加力>繰り返し加力>グリス塗・0.1 $\delta y$  基準での繰り返し加力

であった。一方、ビス接合では

繰り返し加力>単調加力 $\approx$ グリス塗・0.1 $\delta y$  基準での繰り返し加力

であった。引き寄せ効果が生ずるビス接合では試験体作成後も接合部のゆるみが少なく、繰り返し加力では接合部の摩擦力が生じやすくなったことが理由として考えられる。

釘一本当たり一面せん断特性値を表 3~5 に示した。0.1 $\delta y$  を基準として折り返し点を設定した N70S0-4/N70S9-4/S70S0-4/S70S9-4 試験体では、 $\delta y$  を基準として折り返し点を設定した N70S0/N70S9/S70S0/S70S9 試験体と、単調加力試験体の中間的な値を示し、本スケジュールを用いることでロケット型一面せん断試験においても面材釘試験で接合具が受ける変形量に近い加力を再現できたと考えられる。

30mm 厚さスギ LVL を側材として用いた試験体について、面材釘試験と一面せん断試験の結果の比較を表 3.3.2-6 に示した。面材釘試験と一面せん断試験では、剛性はほぼ同一であったが  $P_y$  や終局変位に大きな差が生じた。先行研究においても面材釘試験の方が一面せん断試験より高めの剛性が得られたが、本研究では繰り返し加力スケジュールを変更したことや、接合部の摩擦力を低減させたことで、一面せん断試験の結果がさらに低下したことが面材釘試験の結果と乖離したと考えられる。

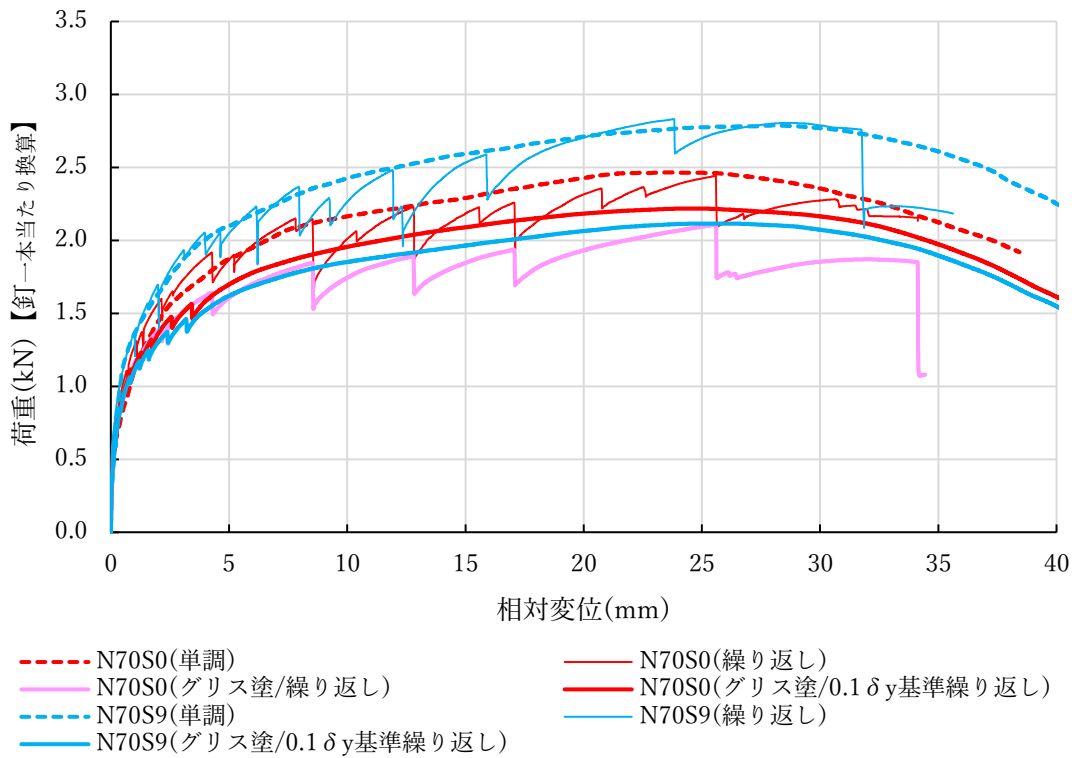


図3.3.2-4 荷重-変位曲線(側材30mm厚さスギLVL×釘接合)

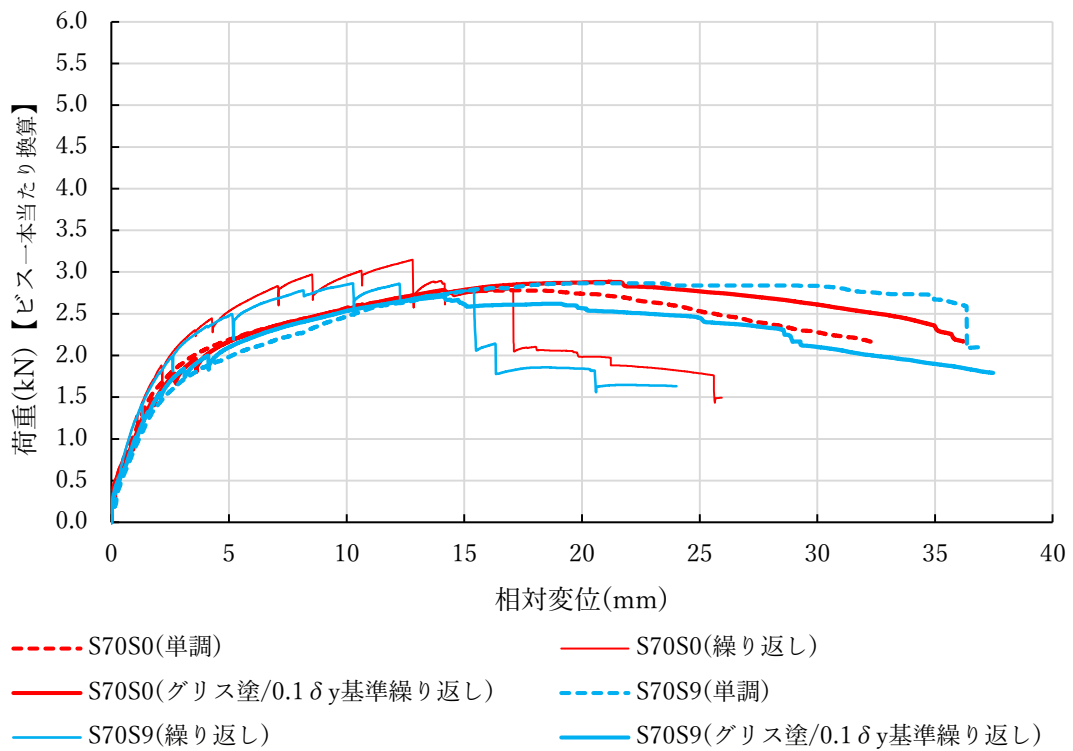


図3.3.2-5 荷重-変位曲線(側材30mm厚さスギLVL×ビス接合)

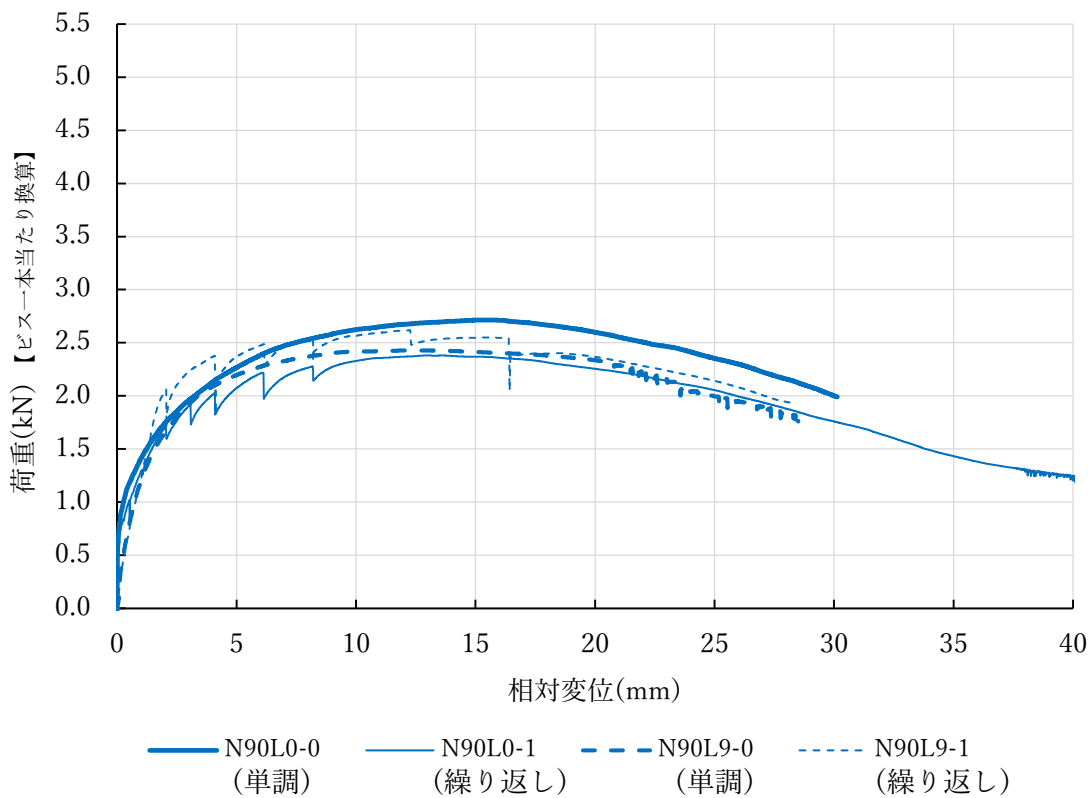


図3.3.2-6 荷重変位曲線(側材50mm厚さカラマツLVL×釘接合)

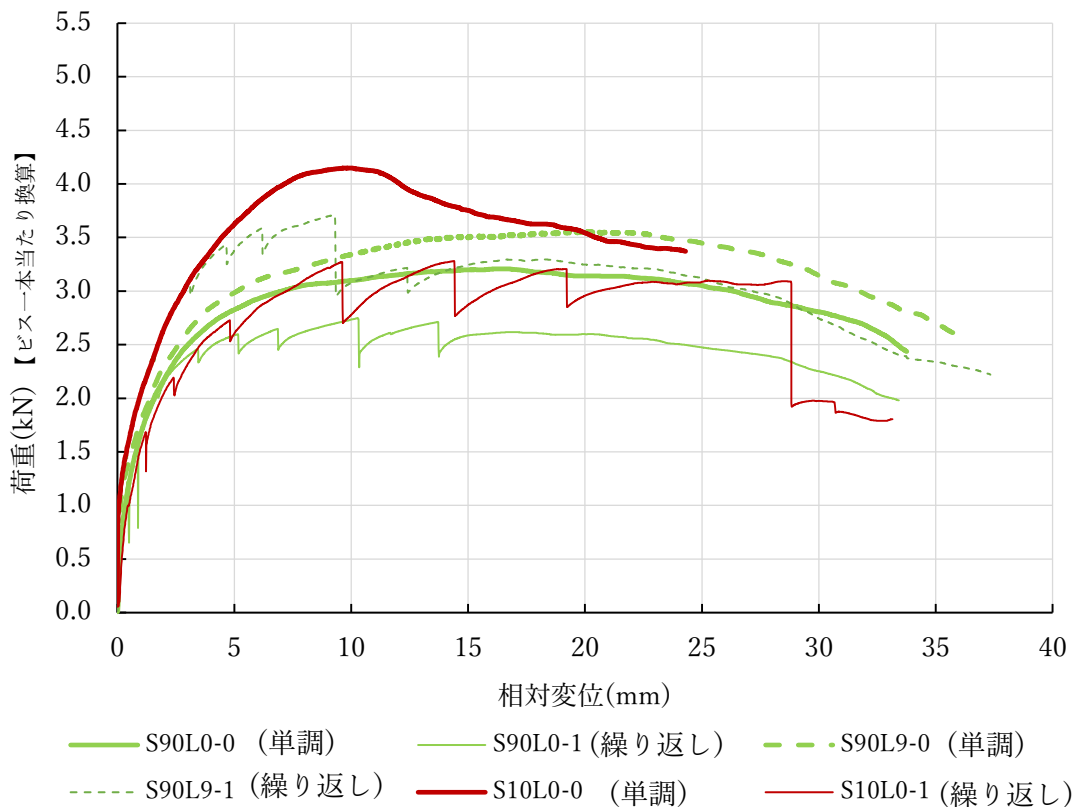
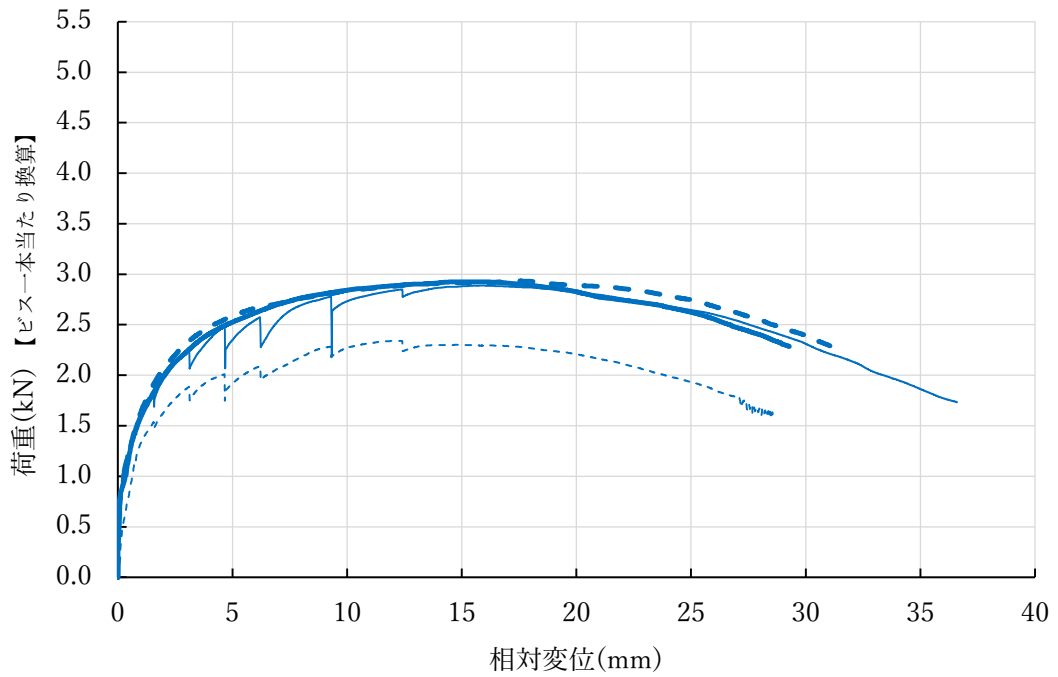
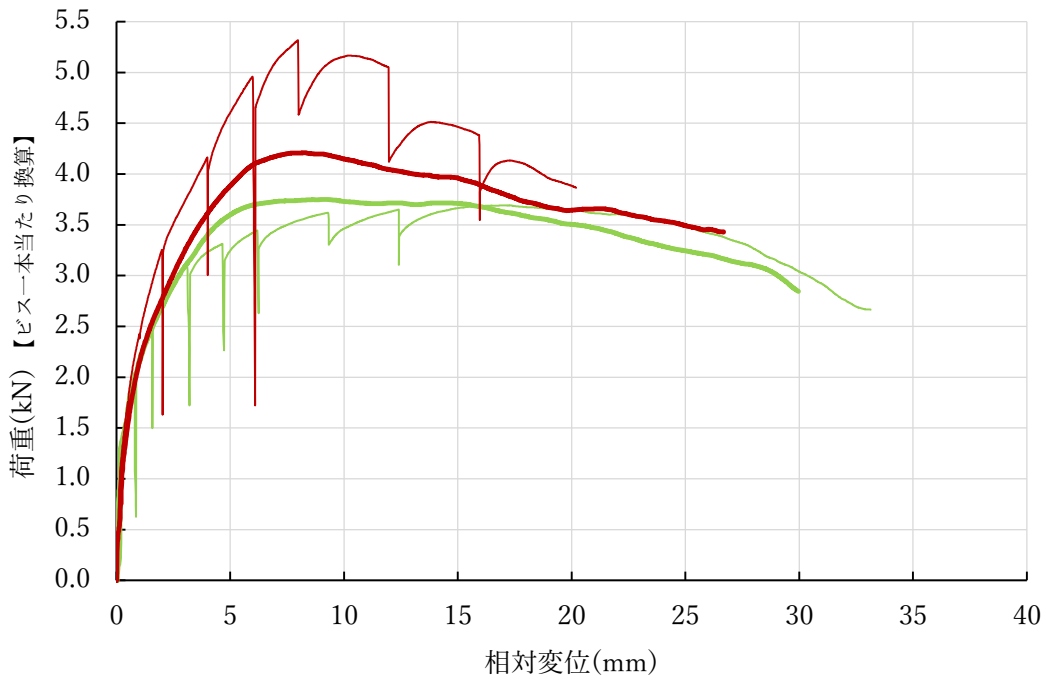


図3.3.2-7 荷重変位曲線(側材50mm厚さカラマツLVL×ビス接合)



— N90R0-0 (単調)     
 - - - N90R0-1 (繰り返し)     
 — N90R9-0 (単調)     
 - - - N90R9-1 (繰り返し)

図3. 3. 2-8 荷重変位曲線(側材50mm厚さラジアータLVL×釘接合)



— S90R0-0 (単調)     
 - - - S90R0-1 (繰り返し)     
 — S10R0-0 (単調)     
 - - - S10R0-1 (繰り返し)

図3. 3. 2-9 荷重変位曲線(側材50mm厚さラジアータLVL×ビス接合)

表 3.3.2-3 釘一本当たり一面せん断特性値(側材樹種:スギ 30mmLVL)

シリーズ名称	側材樹種	接着	釘/ビス種類	グリ ス 側材 角度 塗布	加力 方法	試験 体数	Pmax (kN)		Py (kN)		K (kN/cm)		δ u (cm)		δ v (cm)		
							平均値	50%下 限值	平均 値	50%下 限值	平均 値	50%下 限值	平均 値	50%下 限值	平均 値	50%下 限值	
N70S0	スギ 30mmLVL	なし	CN75	あり	0度	予備(単調)	1	2.47	1.48	6.92	3.77	0.33					
N70S0					繰り返し	6	2.50	2.47	1.57	1.53	8.24	7.17	3.49	3.38	0.30	0.27	
N70S0-2					繰り返し	5	2.11	2.08	1.38	1.37	6.93	6.59	3.24	3.12	0.28	0.26	
N70S0-4					繰り返し (0.1δy基 準)	6	2.22	2.19	1.29	1.28	7.98	7.75	3.79	3.75	0.26	0.25	
N70S9					90度	予備(単調)	1	2.79	1.63	8.21	4.02	0.31					
N70S9					繰り返し	3	2.85	2.72	1.82	1.76	6.99	6.47	3.41	3.22	0.37	0.35	
N70S9-4			繰り返し (0.1δy基 準)	4	2.12	2.10	1.24	1.22	7.63	7.18	3.80	3.76	0.26	0.24			
S70S0			根太 なし 工法 ビス 70mm	あり	あり	0度	予備(単調)	1	2.78	1.70	7.61	3.12	0.33				
S70S0						繰り返し	6	3.18	3.13	1.86	1.82	8.87	8.54	1.74	1.63	0.32	0.31
S70S0-4						繰り返し (0.1δy基 準)	6	2.91	2.88	1.71	1.69	6.94	6.81	3.48	3.39	0.38	0.38
S70S9						90度	予備(単調)	1	2.87	1.59	6.18	3.64	0.43				
S70S9						繰り返し	3	2.94	2.84	1.75	1.68	9.14	8.39	1.74	1.62	0.29	0.28
S70S9-4	繰り返し (0.1δy基 準)	4				2.74	2.69	1.65	1.59	6.91	6.60	2.94	2.90	0.36	0.35		

表 3.3.2-4 釘一本当たり一面せん断特性値(側材樹種:カラマツ 50mmLVL)

シリーズ名称	側材樹種	接着	釘/ビス種類	グリ ス 側材 角度 塗布	加力 方法	試験 体数	Pmax (kN)		Py (kN)		K (kN/cm)		δ u (cm)		δ v (cm)					
							平均値	50%下 限值	平均 値	50%下 限值	平均 値	50%下 限值	平均 値	50%下 限值	平均 値	50%下 限值				
N90L0	カラマツ 50mmLVL	なし	CN90	あり	0度	予備(単 調)	1	2.71	1.43	13.53	2.78	0.18								
N90L0					繰り返 し	1	2.38	1.39	11.30	2.76	0.19									
N90L9					90度	予備(単 調)	1	2.43	1.38	10.51	2.61	0.22								
N90L9					繰り返 し	1	2.62	1.83	11.41	2.58	0.21									
S90L0					XPoint ビス 90mm	あり	あり	0度	予備(単 調)	1	3.21	1.84	14.82	3.09	0.20					
S90L0								繰り返 し	1	2.75	1.59	16.79	3.09	0.15						
S90L9			90度	予備(単 調)				1	3.56	2.07	13.72	3.34	0.24							
S90L9			繰り返 し	1				3.71	1.93	22.88	2.78	0.14								
S10L0			XPoint ビス 110mm	あり				あり	0度	予備(単 調)	1	4.15	2.16	18.29	2.43	0.20				
S10L0									繰り返 し	6	3.78	3.67	2.04	1.98	15.71	14.74	3.05	2.82	0.22	0.21



表 3. 3. 2-5 釘一本当たり一面せん断特性値(側材樹種:ラジアータパイン 50mmLVL)

シリーズ名称	側材樹種	接着 釘/ビス 種類	グリ ス 塗 布	側 材 角 度	加力 方法	試験 体数	Pmax (kN)		Py (kN)		K (kN/cm)		δ u (cm)		δ v (cm)			
							平均 値	50%下 限 値	平均 値	50%下 限 値	平均 値	50%下 限 値	平均 値	50%下 限 値	平均 値	50%下 限 値		
N90R0	ラジアータ パイン	なし	CN90	0 度	予備(単 調)	1	2.93		1.69		14.03		2.87		0.19			
N90R0							繰り返し	1	2.89		1.71		12.63		3.00		0.21	
N90R9				90 度	予備(単 調)	1	2.93		1.69		15.53		3.04		0.18			
N90R9							繰り返し	1	2.34		1.52		10.01		2.58		0.22	
S90R0				50mmLVL	XPoint ビス	90mm	0 度	予備(単 調)	1	3.75		1.90		26.49		2.90		0.13
S90R0										繰り返し	1	3.69		2.20		22.47		3.07
S10R0	50mmLVL	XPoint ビス	110mm	0 度	予備(単 調)	1	4.21		2.14		21.51		2.67		0.18			
S10R0							繰り返し	1	5.32		2.67		21.20		1.60		0.22	

表 3. 3. 2-6 30mm厚さスギLVLを側材として用いた試験体における  
面材釘試験と一面せん断試験の結果の比較

接合具	試験方法	単板角度	Py (kN)	K (kN/cm)	δ u (cm)	δ v (cm)
CN75	面材釘		3.28	7.0	2.69	0.47
	一面せん 断試験	0度	1.28	7.75	3.75	0.25
		90度	1.22	7.18	3.76	0.24
根太なし	面材釘		3.71	8.7	2.69	0.43
工法ビス 70mm	一面せん 断試験	0度	1.69	8.39	3.39	0.38
		90度	1.59	6.60	2.90	0.35

※面材釘試験: LVL 協会提供データより引用

### 3. 3. 2. 5 結論

LVL厚版を用いた住宅向け水平構面の設計において、B種LVLと集成材とを接着・ビス留め併用接合とした場合の接合性能について、実大試験の評価に即した要素試験の方法を考案し、考案した手法によって得られる評価値の妥当性についての検討を行った。

今回の試験からは、単調加力試験によって得られる降伏変位 $\delta_y$ の1/10の値を折り返し点の基準として設定した繰り返し加力を行うと、おおむね変位30mmに至るまで釘やビスは折れることなく荷重が推移した。最大荷重や剛性は、単調加力試験の結果と、先行研究で採用した $\delta_y$ を折り返し点の基準として設定した繰り返し加力試験の結果との中間的な値を示した。

また、加力に伴って試験体が面外変形を生ずるのを防止するため、今回の試験ではロケット型一面せん断試験体の拘束を行ったが、側材を拘束することで主材と側材には摩擦力が生じ、特にビス接合では初期剛性が増加することが明らかとなった。摩擦力を低下させるため、主材と側材間にグリスを塗布したところ、摩擦力は低減した。

今回の試験結果からは、考案した試験方法と面材釘試験の結果は一致せず、先行研究の結果よりその乖離は大きくなった。乖離が生じた理由として、面材釘試験においては単板の木目方向が加力方向とは一致せず、接合部位によって加力方向と木目方向がなす角度は異なる。また、同一時刻における個々の接合部位に加わる荷重や変形量も異なると考えられる。考案した試験方法においては個々の接合部位による木目方向の違いはなく、同一時刻における荷重や変形量の違いもほとんど生じないと考えられる。本研究では木目方向の違いに着目した一面せん断試験を行ったが、2つの木目方向の荷重-変位曲線をそのまま評価した結果は、面材釘試験の結果から得られる評価値と一致しなかったと考えられる。

部位によって異なる荷重や変形を受ける面材釘試験を、考案した試験方法の結果から再現する方法として、得られた荷重-変位曲線に対して何らかの統計処理を行うことにより、面材釘試験での荷重-せん断変形角曲線を仮想的に生成することが考えられるが、その手法については今後検討が必要である。

## 謝辞

今回の事業は「令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材開発・普及事業」により実施した。また、本研究を進めるにあたっては、全国LVL協会構造利用委員会において東京大学大学院農学生命科学研究科 稲山正弘教授，および建材試験センター西日本試験所試験課 早崎洋一主幹より助言いただいた。お礼申し上げます。

---

## 文献

- 1) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計改訂委員会 編，“木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年版）”，日本住宅木材技術センター，2017.
- 2) 島根県産業技術センター，一般社団法人全国LVL協会，“共同研究報告書「LVL接着ビス接合一面せん断試験」”，2023.
- 3) 小川敬多，森亮輔，小林研治，“木質接合部の力学試験で用いられる摩擦抑制処理の検証”，木材工業 Vol.76, No.10, 2021. p.376-381.

### 3. 3. 3 実大サイズによる評価

#### 3. 3. 3. 1 目的

3. 3. 1で算出した1本あたりくぎせん断耐力による短期基準耐力の計算値が実大寸法の長尺水平構面での剛性が妥当であるかどうかを確認するため、面内せん断試験を行って実験値と計算値を比較した。



写真 3. 3. 3-1 B種構造用 LVL 幅(1200, 1820)×長(~12M)

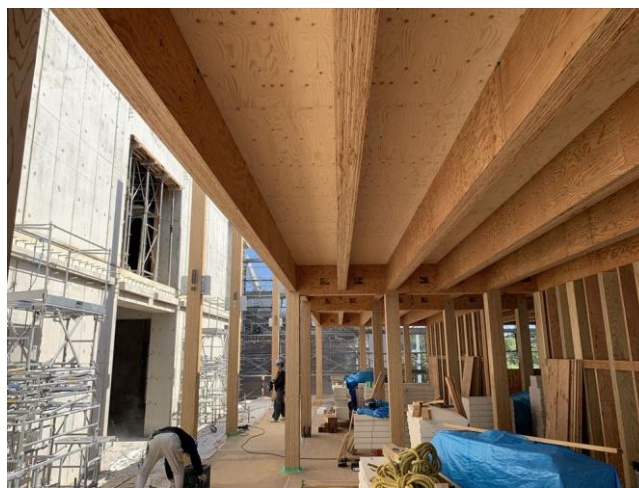


写真 3. 3. 3-2 B種 LVL 床の例 (流山市立おおぐろの森小学校)

### 3. 3. 3. 2 試験概要

#### 3. 3. 3. 2. 1 試験体

試験体図を図 3.3.3-1、に示した。軸組寸法は、文献 1 で標準サイズの 1820mm×2730mm と、試験機で設定可能な最大高さの 1820mm×40950mm とした。面材は厚 30mm の B 種スギ LVL、約 1800mm おきに単板の継ぎ目のスカーフジョイントが入り、長辺のサネ加工は無しとした。面材の接合は床倍率 10 倍前後を想定して CN75 を@75mm、および半ネジビスを@100mm の 2 種類とした。図 3.3.3-2 に隅部の端距離を示した。仕口加工部に接合具が打たれて割れを誘発しないよう、隅部には接合具を打たない仕様とした。各仕様 1 体、合計で 4 体の試験を実施した。

#### 3. 3. 3. 2. 2 試験方法

試験実施状況を写真 1 に示した。試験は、柱脚固定式 1) の試験方法を採用し、試験体に水平方向の繰返し荷重を加えるため、試験体の梁（下部）を試験架台に固定した後、梁（上部）の両端に設けた加力板にテンションロッドを介して荷重を加えた。

載荷方法は、見掛けのせん断変形角で 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50rad の正負交番 1 回繰返し加力とし、試験体の見掛けのせん断変形角が 1/15rad 以上又は 0.8Pmax に至るまでの加力を行った。

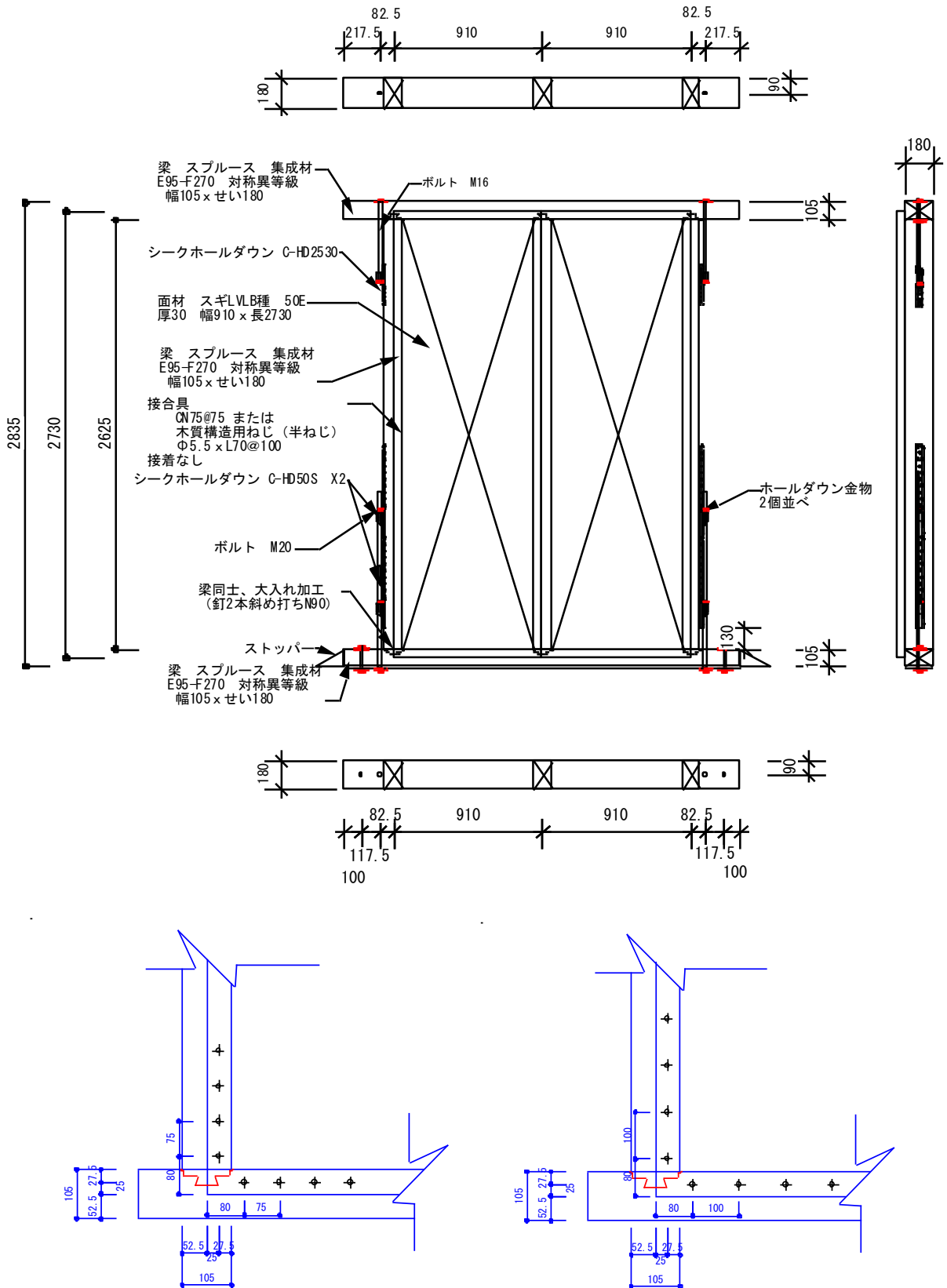


図 3.3.3-1 H2730-CN75 H2730-ビス

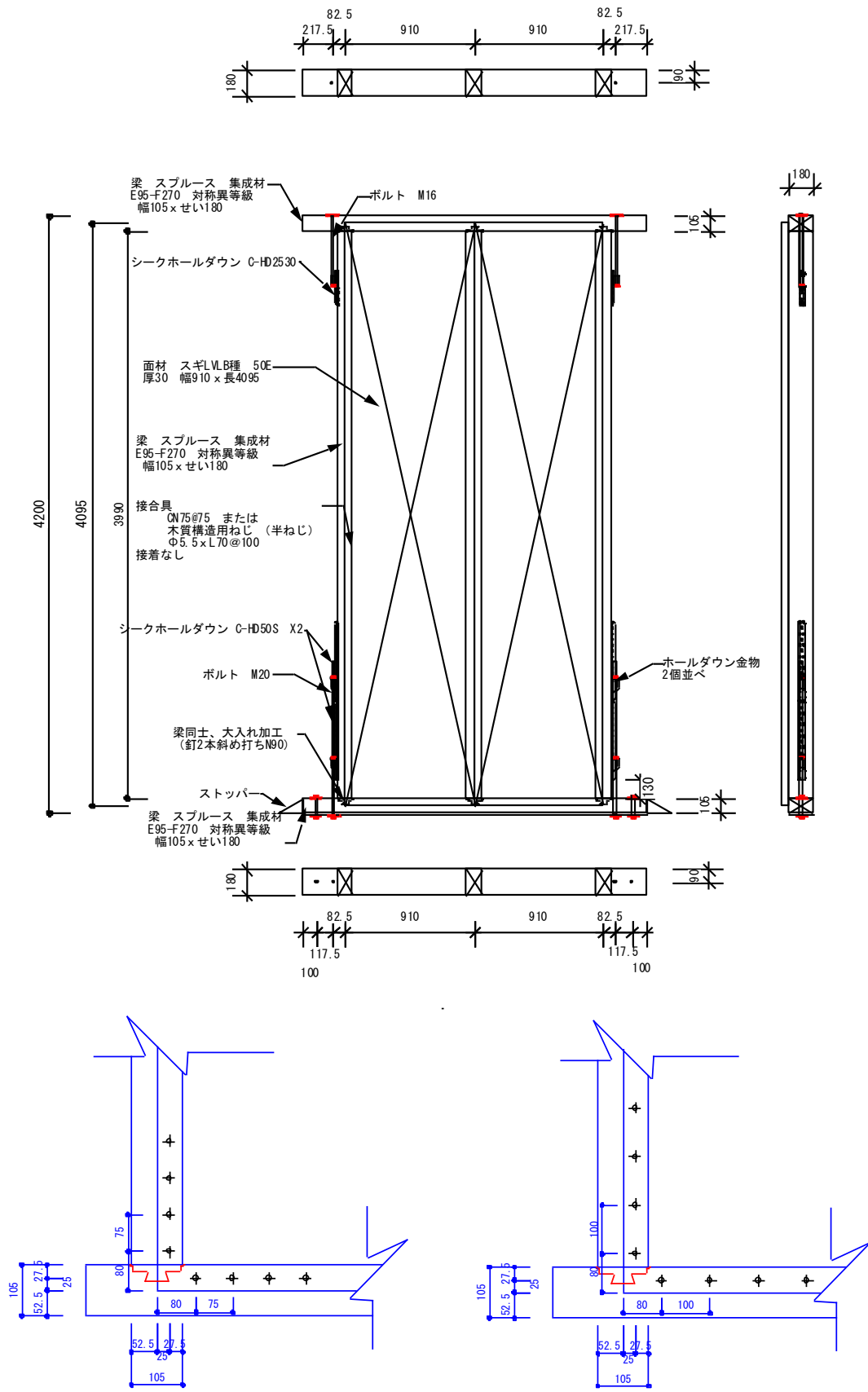


図 3.3.3-2 H4095-CN75 H4095-ビス





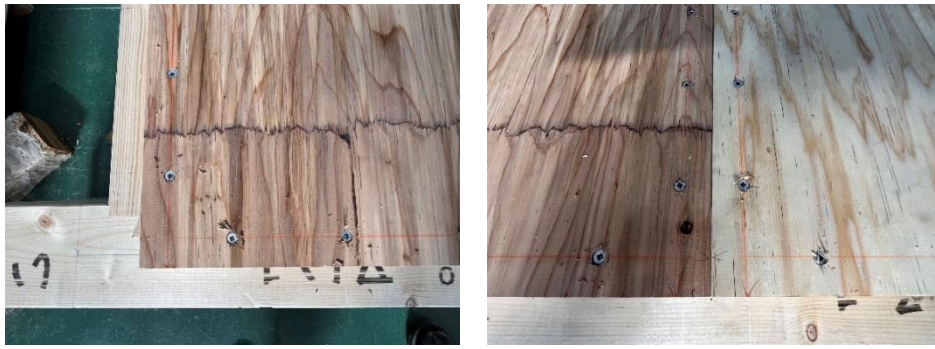


写真 3. 3. 3-3 試験体製作

### 3. 3. 3. 3 結果

図 3. 3. 3-3、図 3. 3. 3-4 に試験結果を、写真 3. 3. 3-4～写真 3. 3. 3-7 に破壊形態を示した。CN75、木質構造用ねじともに面材から釘頭が抜けるパンチングアウトは見られなかった。CN75 は梁から引き抜けて面材が浮き上がるのと、固定側の梁の割裂が見られた。木質構造用ねじでは面材の浮き上がりはなく、釘頭の変形と固定側の梁の割裂であった。

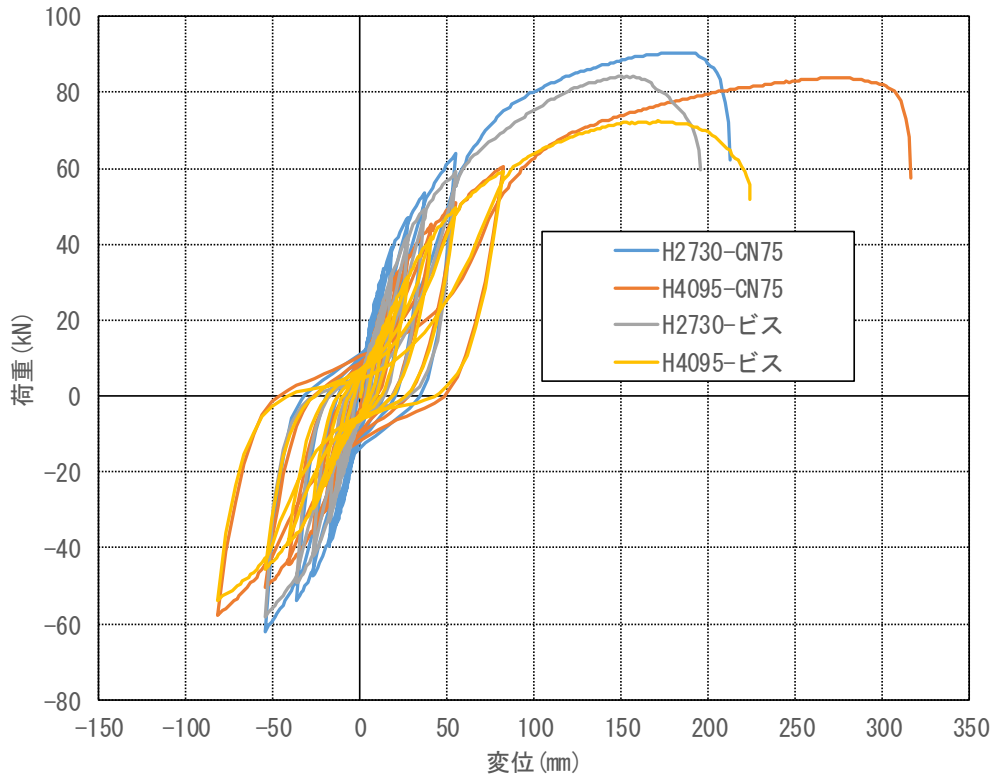


図 3. 3. 3-3 荷重と頭頂部変位

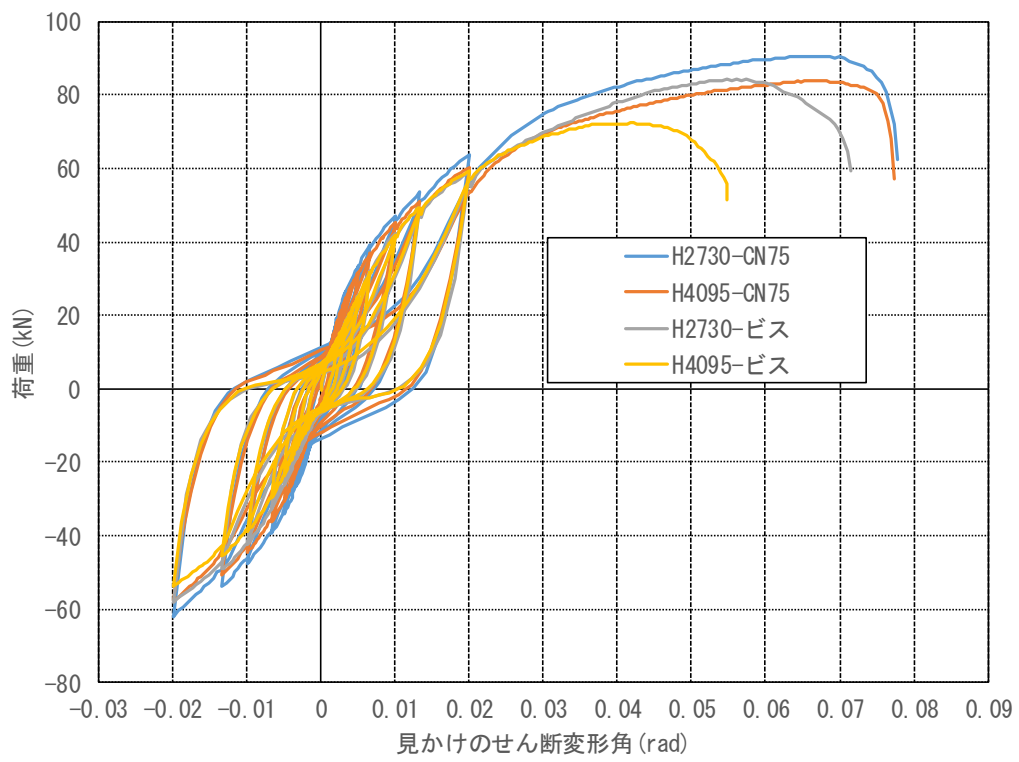
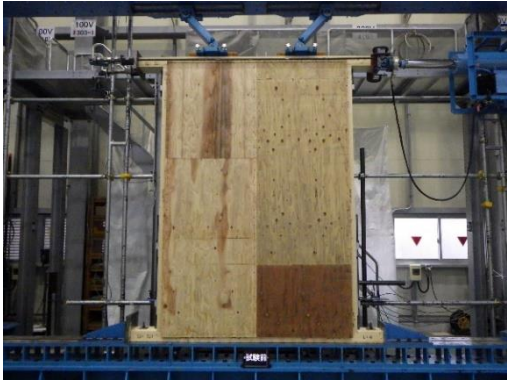
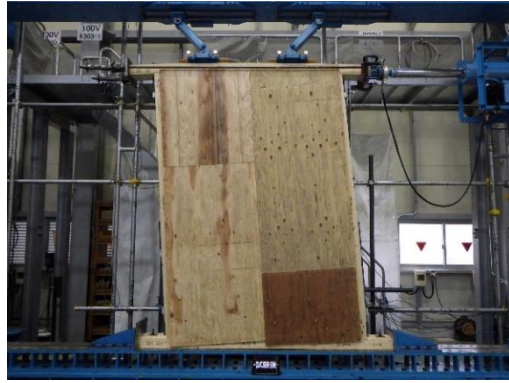


図 3.3.3-4 荷重とみかけのせん断変形角の関係



試験前



試験後



下部



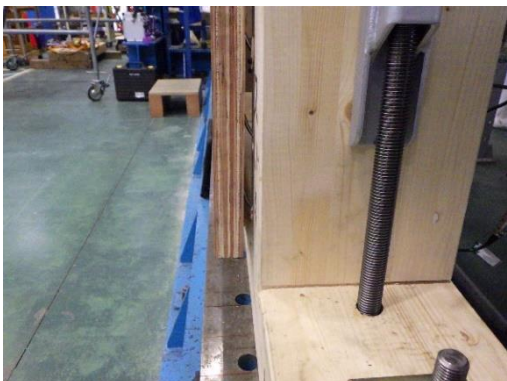
下部引張側



下部中間点

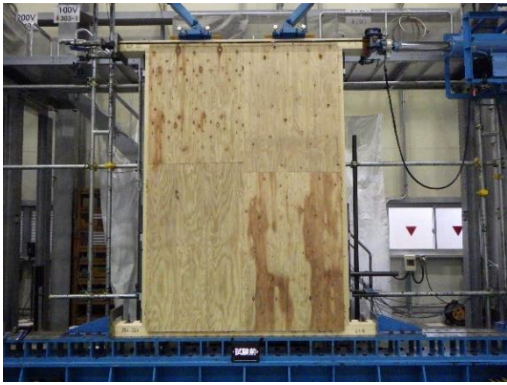


下部圧縮側



引張側の浮き

写真 3. 3. 3-4 H2730-CN75



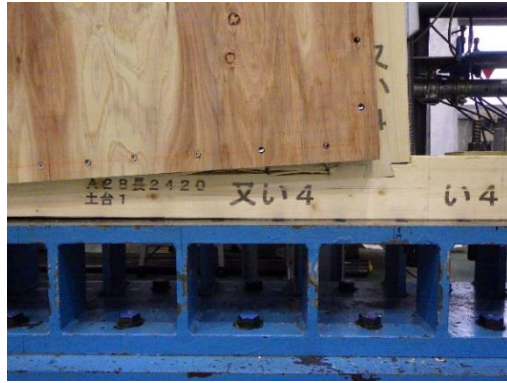
試験前



試験後



下部



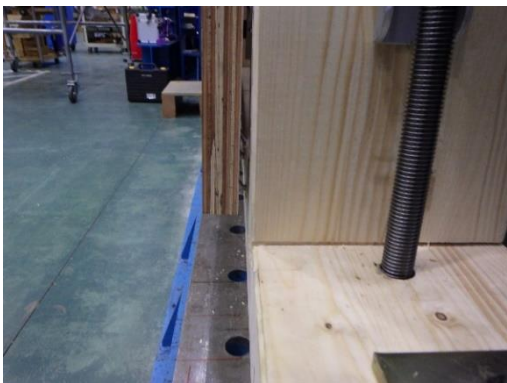
下部引張側



下部中間点



下部圧縮側



引張側の浮き



梁の割裂

写真 3. 3. 3-5 H2730-ビス



試験前



試験後



下部



下部引張側



下部中間点



下部圧縮側



中間点梁割裂



柱中間点裏

写真 3. 3. 3-6 H4095-CN75



試験前



試験後



下部



下部引張側



下部中間点



下部圧縮側



柱脚中間

写真 3. 3. 3-7 H4095-ビス

### 3. 3. 3. 4 評価

特性値評価と床倍率算出を図 3. 3. 3-5 に示した。1 体だけの参考値ではあるが、すべての仕様で塑性の項目で決定し、当初の想定に近い値が得られた。

高さで比較すると、標準の 2730mm にくらべて、4095mm の試験体では釘も木質構造用ねじも 1 割ほど低い値となった。

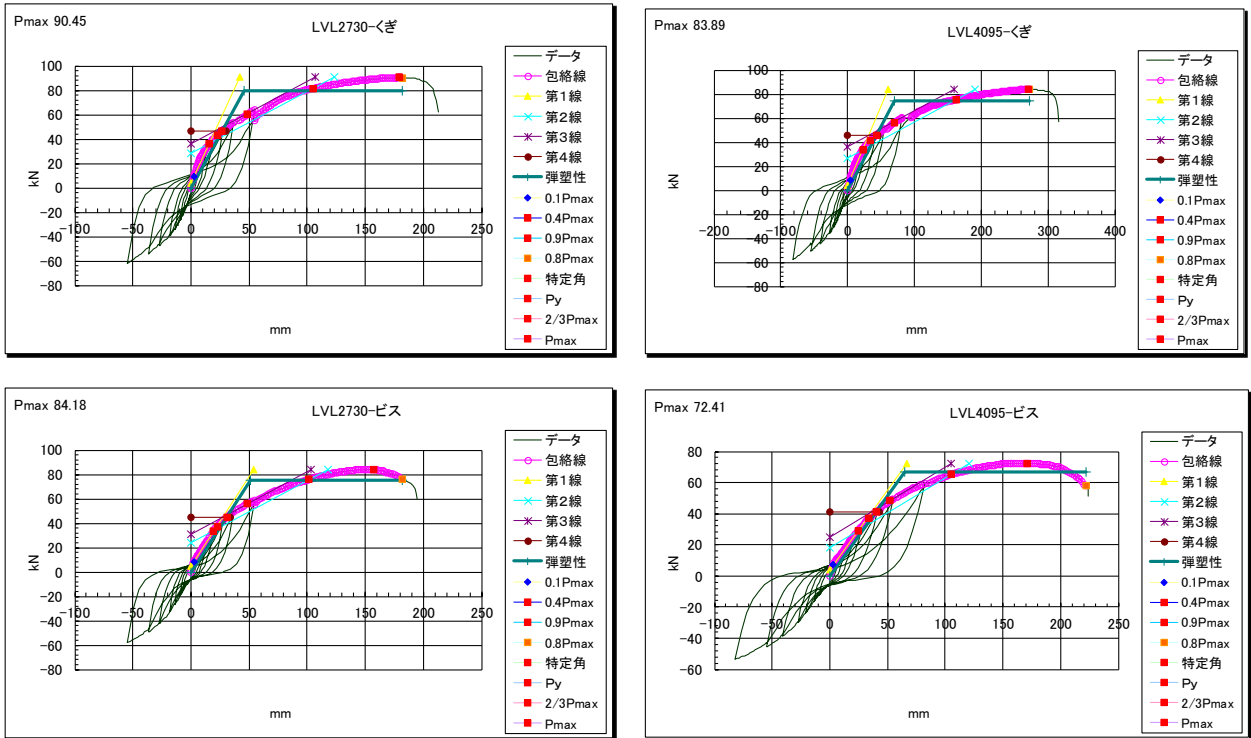


図 3. 3. 3-5 特性値評価

表 3. 3. 3-1 特性値

	$\gamma = 1/120$ P (kN)	2/3Pmax P (kN)	2/3Pmax $\delta$ (mm)	Pmax P (kN)	Pmax $\delta$ (mm)	降伏時 Py (kN)	降伏時 $\delta$ y (mm)	初期剛性 K (kN/cm)	終局変位 $\delta$ u (mm)	降伏変位 $\delta$ v (mm)	終局耐力 Pu (kN)	塑性率 $\mu$	構造特性 Ds
H2730-くぎ	43.1	60.3	48.7	90.5	179.4	46.9	27	17.4	182	45.9	79.8	3.97	0.38
H4095-くぎ	41.1	55.9	69.6	83.9	270.7	45.4	42.8	10.6	273	70.4	74.7	3.88	0.38
H2730-ビス	37.4	56.1	48.7	84.2	156.8	45.2	30.9	14.6	182	51.6	75.5	3.53	0.41
H4095-ビス	37.1	48.3	51.9	72.4	171.3	41.3	40.2	10.3	221.9	65.1	66.8	3.41	0.41

表 3. 3. 3-2 床倍率評価 (実験値)



			a Py	b (0.2/Ds) *Pu	c 2/3Pmax	d 1/120rad P
H2730-CN75	No. 1	kN	46.9	42.0	60.3	43.1
	壁倍率		13.1	11.8	16.9	12.1
H4095-CN75	No. 1	kN	45.4	38.8	55.9	41.1
	壁倍率		12.7	10.9	15.7	11.5
H2730-ビス	No. 1	kN	45.2	37.2	56.1	37.4
	壁倍率		12.7	10.4	15.7	10.5
H4095-ビス	No. 1	kN	41.3	32.2	48.3	37.1
	壁倍率		11.6	9.0	13.5	10.4

詳細計算法による1本あたりせん断耐力から計算した床倍率の計算値と実験値の比較を行った。計算値では3つの特性値のうち1/150radで決定した。2730mmの標準サイズだと実験値が計算値を上回った。4095mmになると、CN75は実験値は計算値と同程度となり、木質構造用ねじは実験値は計算値より小さい結果となった。水平構面の長さが長くなると水平構面剛性は小さくなっていく傾向にある可能性が示された。

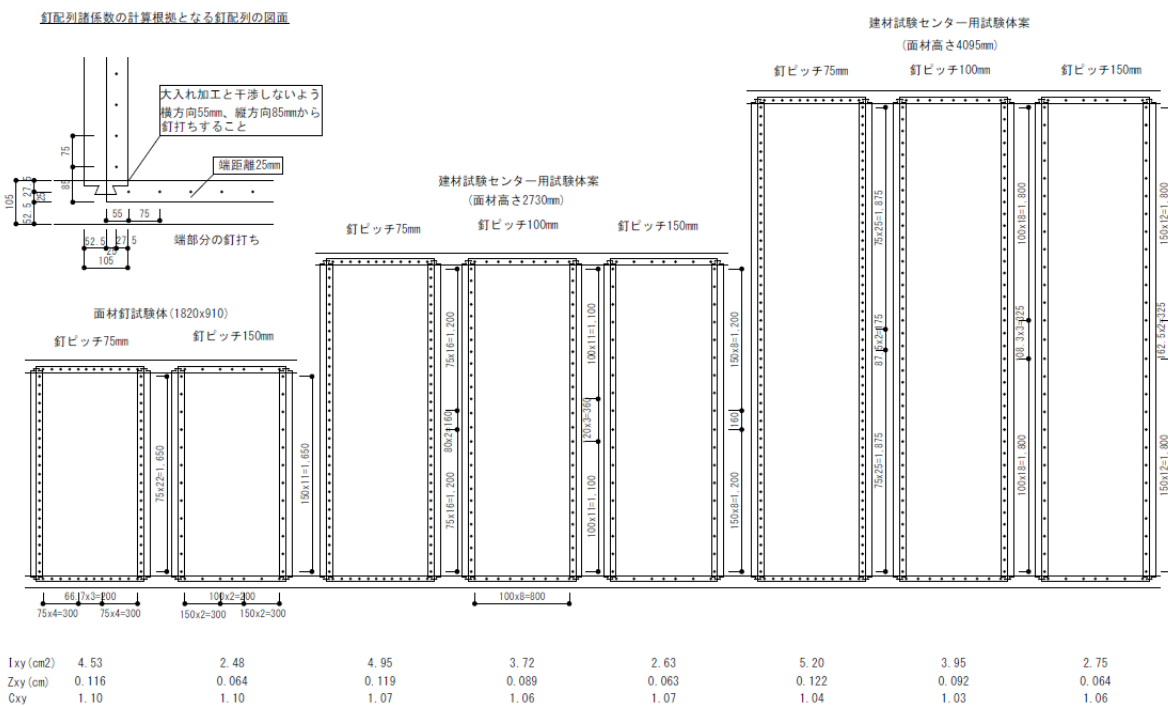


図 3.3.3-6 各試験体の釘配列諸定数

表 3.3.3-3 詳細計算法による床倍率の計算値と実験値の比較

接合具/ピッチ	床		t	面材釘データ				GB	釘配列諸係数			K0	Mu	$\mu$	M(kN・cm)			Pa	床倍率	
	幅cm	高cm		$\Delta Pv0$ (kN)	$\delta v0$ (cm)	$\delta u0$ (cm)	k(kN/cm)		kN/cm <sup>2</sup>	Zxy	Cxy				kN/cm	kN・cm	My		M150	$0.2\sqrt{(2\mu-1)} \cdot Mu$
CN75@75	91	182	3	3.17	0.50	2.76	6.38	77.4	4.53	0.116	1.10	425499	6677	5.05	6154	<b>2837</b>	4027	15.59	8.7	
根太なし工法ビス70mm@150	91	182	3	3.92	0.48	2.75	8.16	77.4	2.48	0.064	1.10	308036	4540	5.35	4186	<b>2054</b>	2830	11.28	6.3	
CN75@75	91	273	3	3.17	0.50	2.76	6.38	77.4	4.95	0.119	1.07	749115	10506	4.96	9806	<b>4994</b>	6276	18.29	10.2	11.8
根太なし工法ビス70mm@100	91	273	3	3.92	0.48	2.75	8.16	77.4	3.72	0.089	1.06	723161	9686	5.14	9126	<b>4821</b>	5901	17.66	9.9	10.4
根太なし工法ビス70mm@150	91	273	3	3.92	0.48	2.75	8.16	77.4	2.63	0.063	1.07	530789	6950	5.30	6477	<b>3539</b>	4306	12.96	7.2	
CN75@75	91	409.5	3	3.17	0.50	2.76	6.38	77.4	5.20	0.122	1.04	1172353	15634	4.93	15038	<b>7816</b>	9312	19.09	10.7	10.9
根太なし工法ビス70mm@100	91	409.5	3	3.92	0.48	2.75	8.16	77.4	3.95	0.092	1.03	1141527	14555	5.11	14115	<b>7610</b>	8839	18.58	10.4	9.0
根太なし工法ビス70mm@150	91	409.5	3	3.92	0.48	2.75	8.16	77.4	2.75	0.064	1.06	829515	10325	5.28	9749	<b>5530</b>	6385	13.50	7.5	

### 3. 3. 3. 4 まとめ

詳細計算法によるくぎ1本あたりせん断耐力による水平構面剛性計算値を実大試験により検証した結果、程よく推定できていることが示された。長さが長くなると剛性の実験値は下がっていく傾向にあるが、1体のみでの検証なので、今後試験体数を増やして検証していくことが必要と考えられた。

## 4. まとめと今後の課題

### ●国産スギ利用ハイブリッド LVL 開発

カラマツおよびスギ LVL を水平積層したハイブリッド LVL を試作し、種々の強度性能が明らかとなった。それらのデータや知見は今後の JAS 改正に向けた検証や提案に活用する事が可能である。ただし、従来 JAS とは異なる製法と追加方のハイブリッド LVL を実用化するためには、実大試験体の圧縮・引張試験のデータを収集する必要がある、更なる検証に取り組む必要がある。

国産広葉樹（北海道産シラカンバ）を用いた LVL を生産ライン上で製造し、無選別単板で構成され、製造した LVL については LVL の JAS に従って曲げ及びせん断試験を行った結果、曲げ性能は「120E-450Fhv」、せん断性能は「65V-55H」の区分に適合する性能が得られた。

### ●厚板床版開発

小規模から中大規模建築に必要な、高剛性かつ長尺の LVL を面材とした水平構面の検証試験を行った。昨年度の知見より施工性などを含めて、剛性と靱性確保を狙って接着剤併用も検討した。詳細計算法で必要くぎ・ビス 1 本あたりのせん断特性値を求め、実大サイズの水平構面の実験による面内せん断性能を程よく予測できた。ロケット型の接合部試験も実施し、1 本あたりのせん断特性値を概ね予測する可能性を示すことができた。今後、これまでの知見・データ整理及び構造設計者向けのマニュアル作成を行い、周知していく。

## 品質性能試験報告書

一般財団法人 建材試験  
西日本試験所長 白  
山口県山陽小野田市

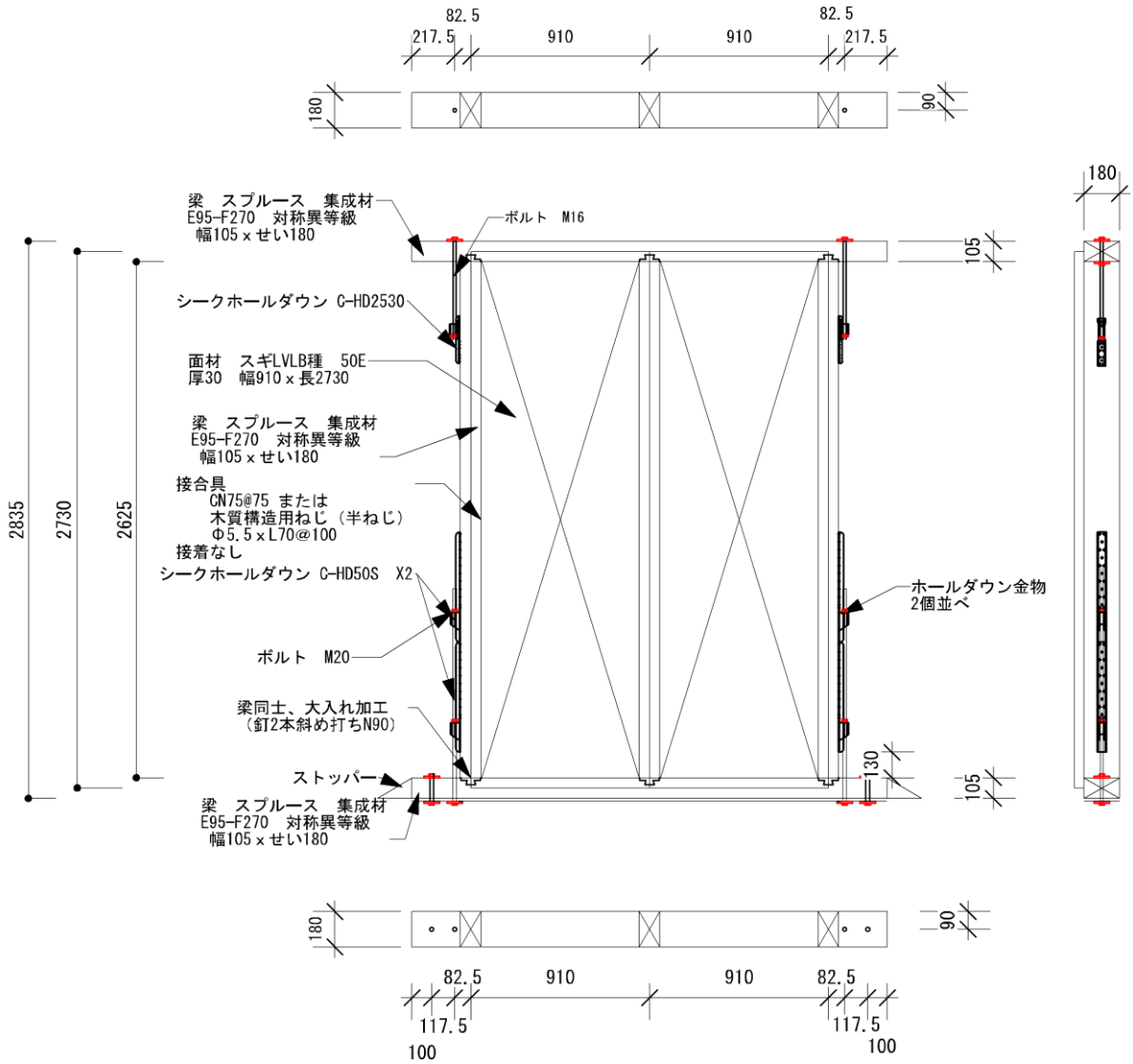
試験名称	厚板LVLを使用した水平構面の性能試験				
依頼者	名称：一般社団法人全国LVL協会 所在地：東京都江東区新木場1-7-22 新木場タワー8F				
試験項目	面材張り床構面の面内せん断試験（柱脚固定式）				
試験体	記号	軸組寸法 (mm)	面材		数量 (体)
			種類	接合具	
	H2730-くぎ	2730×1820	LVL B種 50E 樹種：スギ 厚さ：30mm 寸法：2730mm×910mm	くぎ (CN75) ピッチ：75mm	1
	H2730-ビス			木質構造用ねじ (半ねじ) (φ 5.5mm×70mm) ピッチ：100mm	1
	H4095-くぎ	4095×1820	LVL B種 50E 樹種：スギ 厚さ：30mm 寸法：4095mm×910mm	くぎ (CN75) ピッチ：75mm	1
	H4095-ビス			木質構造用ねじ (半ねじ) (φ 5.5mm×70mm) ピッチ：100mm	1
[備考] ・図1～図3 (試験体) ・記載事項は、依頼者の提出資料による。					
試験方法	木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2017年版) ① (企画発行：公益財団法人 日本住宅・木材技術センター) 第4章 試験方法と評価方法 4.3 鉛直構面及び水平構面の剛性と許容せん断耐力を算定するための試験 4.3.4 試験方法 4.3.5 評価方法				
	[備考] 写真1 (試験実施状況)				

つづく

つづき

	記号	(a) 降伏耐力 $P_y$ (kN)	(b) $P_u \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2\mu-1}$ (kN)	(c) $2/3 \cdot P_{max}$ (kN)	(d) 特定変形角時 $\gamma = 1/120rad$ (kN)
試験結果	H2730-くぎ	46.9	42.0	60.3	43.1
	H2730-ビス	45.2	37.2	56.1	37.4
	H4095-くぎ	45.4	38.8	55.9	41.1
	H4095-ビス	41.3	32.2	48.3	37.1
	[備考] ・表1 (特定変形角時の荷重, 最大荷重, 破壊状況等) ・表2 (降伏耐力, 終局耐力, 初期剛性等) ・図4及び図5 (包絡線, 完全弾塑性モデル) ・図6 (各曲線の比較) ・写真2～写真13 (試験体の状況)				
試験期間	2024年 2月19日～21日				
担当者	試験課長 佐川 修 早崎洋一 (主担当) 小椋智高 小森谷誠 品末竹彦				
試験場所	西日本試験所 (山口県山陽小野田市大字山川)				

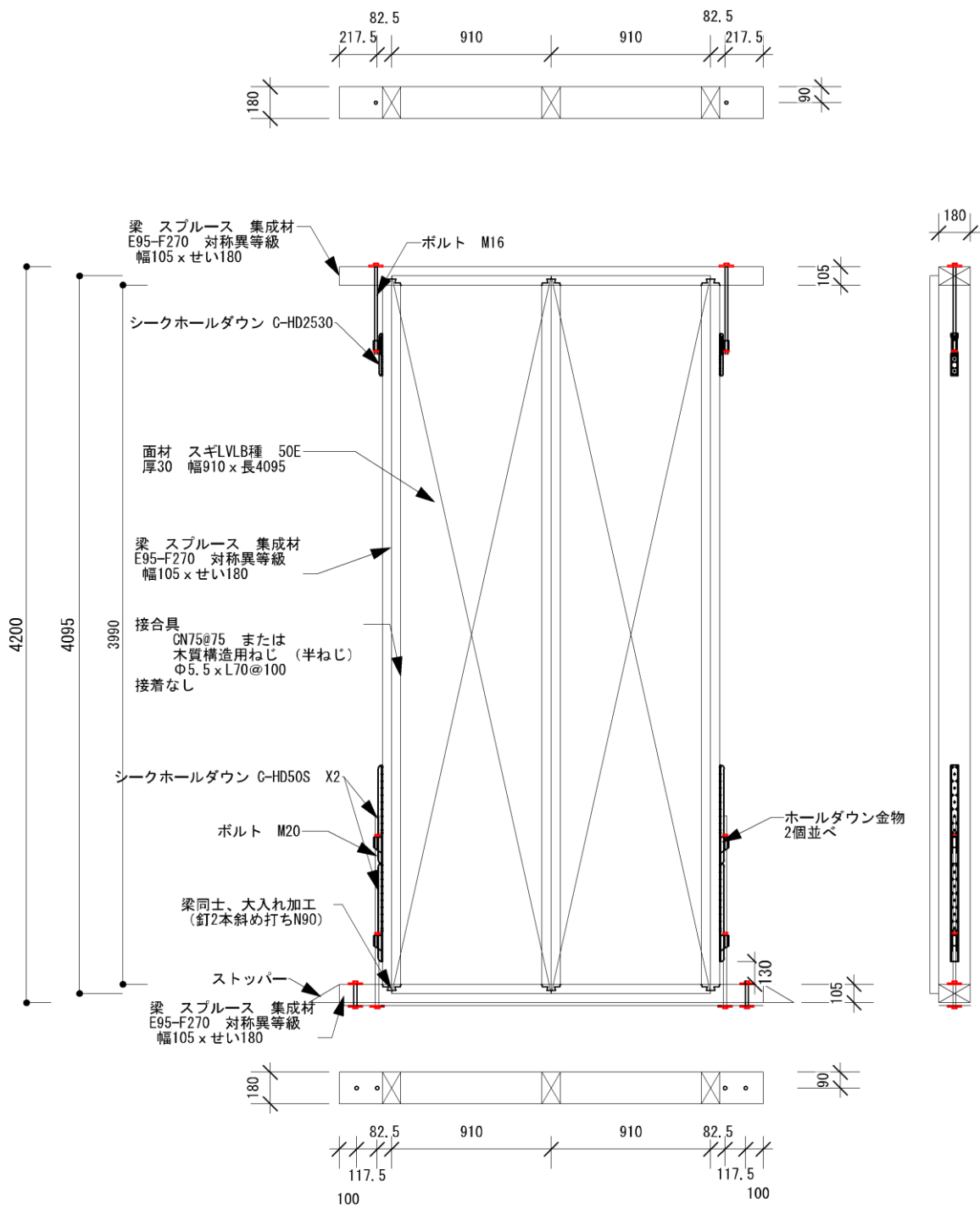
単位mm



(依頼者提出資料)

図1 試験体

単位mm



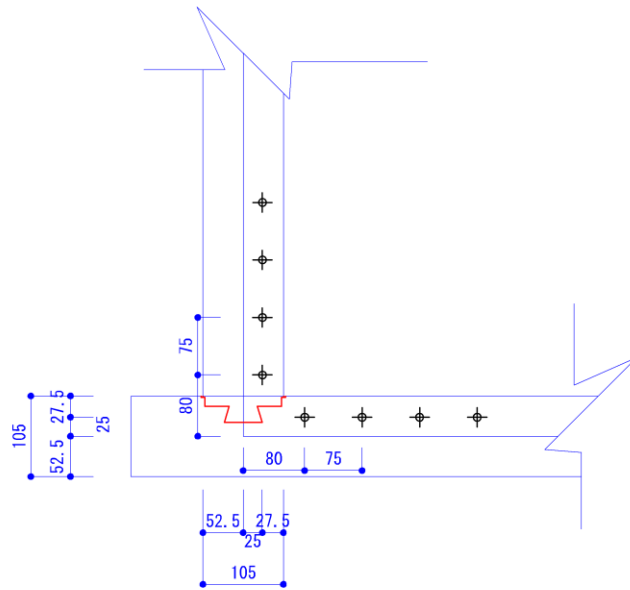
(依頼者提出資料)

図2 試験体

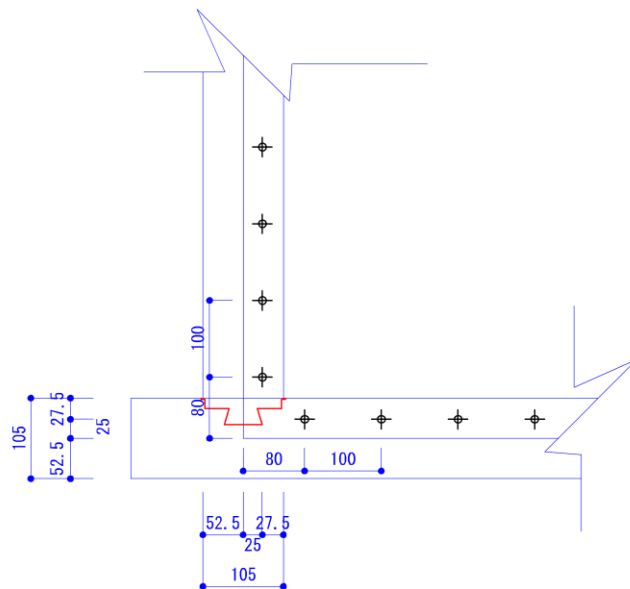
試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。



単位mm



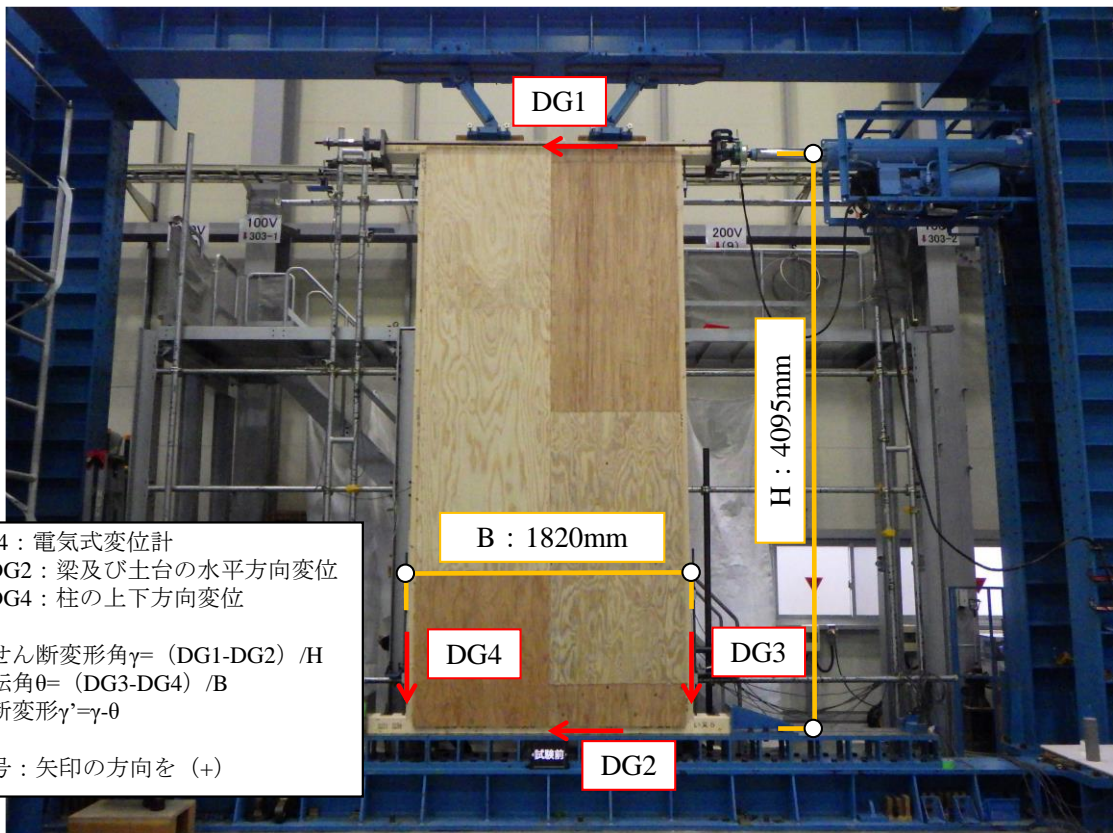
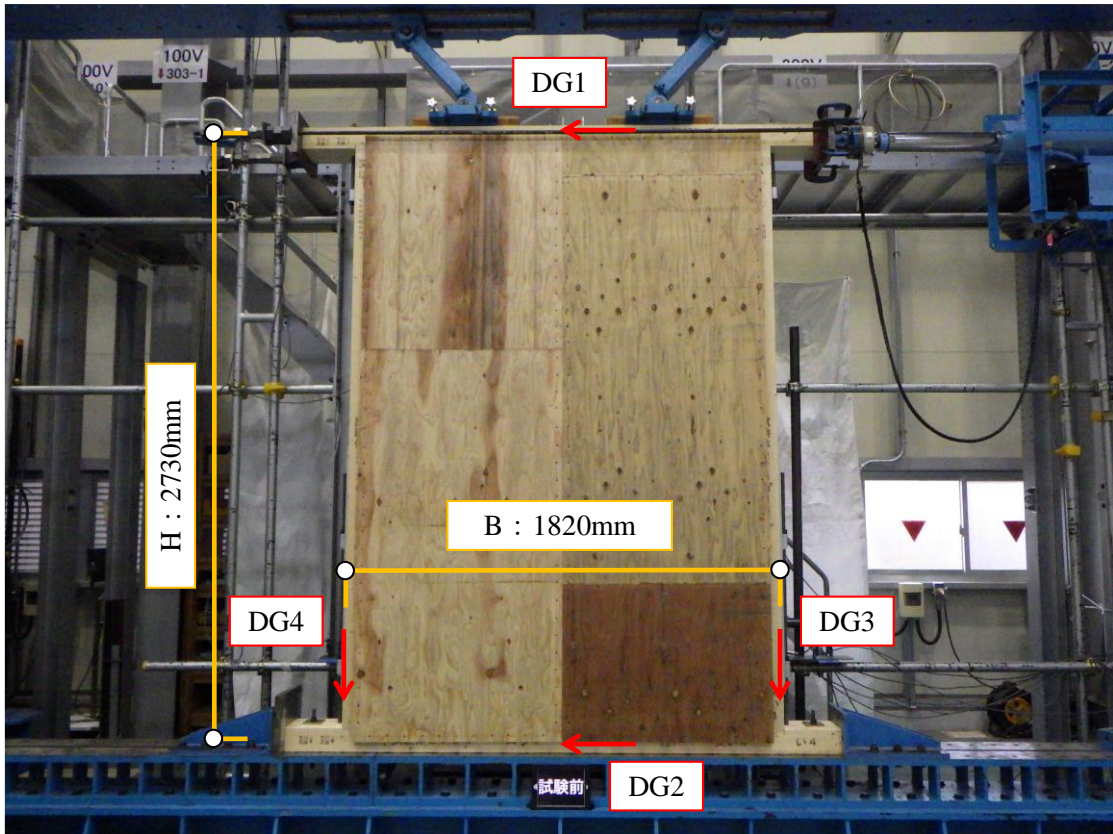
釘 間隔@75 拡大図



ビス 間隔@100 拡大図

(依頼者提出資料)

図3 試験体



DG1～DG4：電気式変位計  
 DG1, DG2：梁及び土台の水平方向変位  
 DG3, DG4：柱の上下方向変位

見掛けのせん断変形角 $\gamma = (DG1 - DG2) / H$   
 脚部の回転角 $\theta = (DG3 - DG4) / B$   
 真のせん断変形 $\gamma' = \gamma - \theta$

変位の符号：矢印の方向を (+)

写真1 試験実施状況

表1 特定変形角時の荷重，最大荷重，破壊状況等

記号	$\gamma=1/120\text{rad}$ 時	$2/3P_{\max}$ 時		$P_{\max}$ 時		破壊状況
	荷重 P (kN)	荷重 P (kN)	変形角 $\gamma$ ( $\times 10^{-3}\text{rad}$ )	荷重 P (kN)	変形角 $\gamma$ ( $\times 10^{-3}\text{rad}$ )	
H2730-くぎ	43.1	60.3	17.84	90.5	65.71	・面材相互のズレ ・くぎの抜け及び変形 ・横架材（固定側）の割裂
H2730-ビス	37.4	56.1	17.84	84.2	57.44	・面材相互のズレ ・ビスの抜け及びめり込み ・横架材（固定側）の割裂
H4095-くぎ	41.1	55.9	17.00	83.9	66.11	・面材相互のズレ ・くぎの抜け及び変形 ・横架材（固定側）の割裂
H4095-ビス	37.1	48.3	12.67	72.4	41.83	・面材相互のズレ ・ビスの抜け及びめり込み ・横架材（固定側）の割裂

表2 降伏耐力，終局耐力，初期剛性等

記号	降伏耐力 $P_y$ (kN)	降伏変形角 $\gamma_y$ ( $\times 10^{-3}\text{rad}$ )	終局耐力 $P_u$ (kN)	降伏点変形角 $\gamma_v$ ( $\times 10^{-3}\text{rad}$ )	終局変形角 $\gamma_u$ ( $\times 10^{-3}\text{rad}$ )	初期剛性 K ( $\times 10^3\text{kN/rad}$ )	塑性率 $\mu$
H2730-くぎ	46.9	9.89	79.8	16.81	66.67	4.742	3.97
H2730-ビス	45.2	11.32	75.5	18.90	66.67	3.993	3.53
H4095-くぎ	45.4	10.45	74.7	17.19	66.67	4.344	3.88
H4095-ビス	41.3	9.82	66.8	15.90	54.19	4.206	3.41

〔備考〕降伏変形角 $\gamma_y$ と，真のせん断変形角 $\gamma_0=1/300\text{rad}$ 時の見かけのせん断変形角を比較し，降伏変形角 $\gamma_y$ のほうが大きいことを確認した。

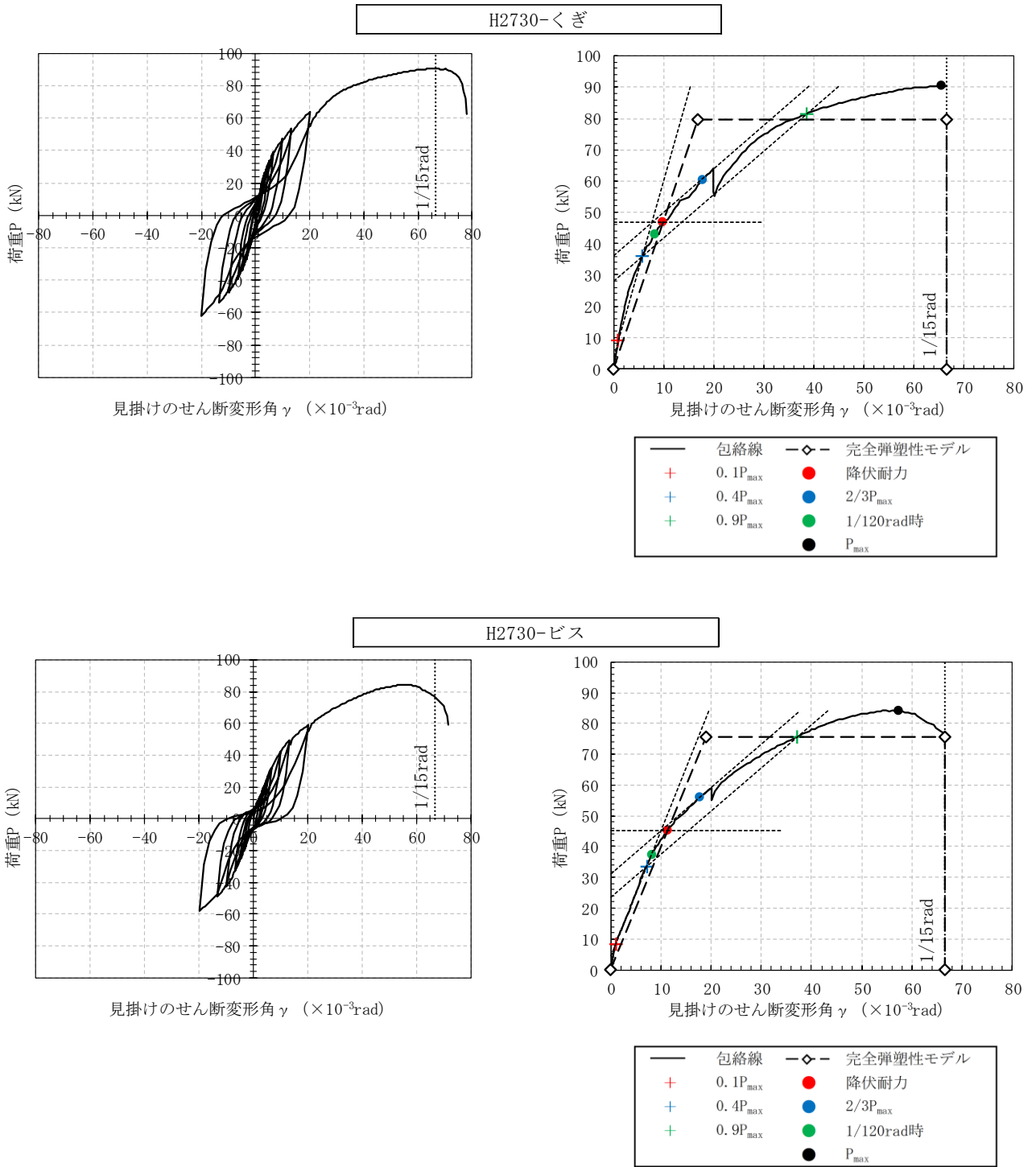


図4 包絡線，完全弾塑性モデル

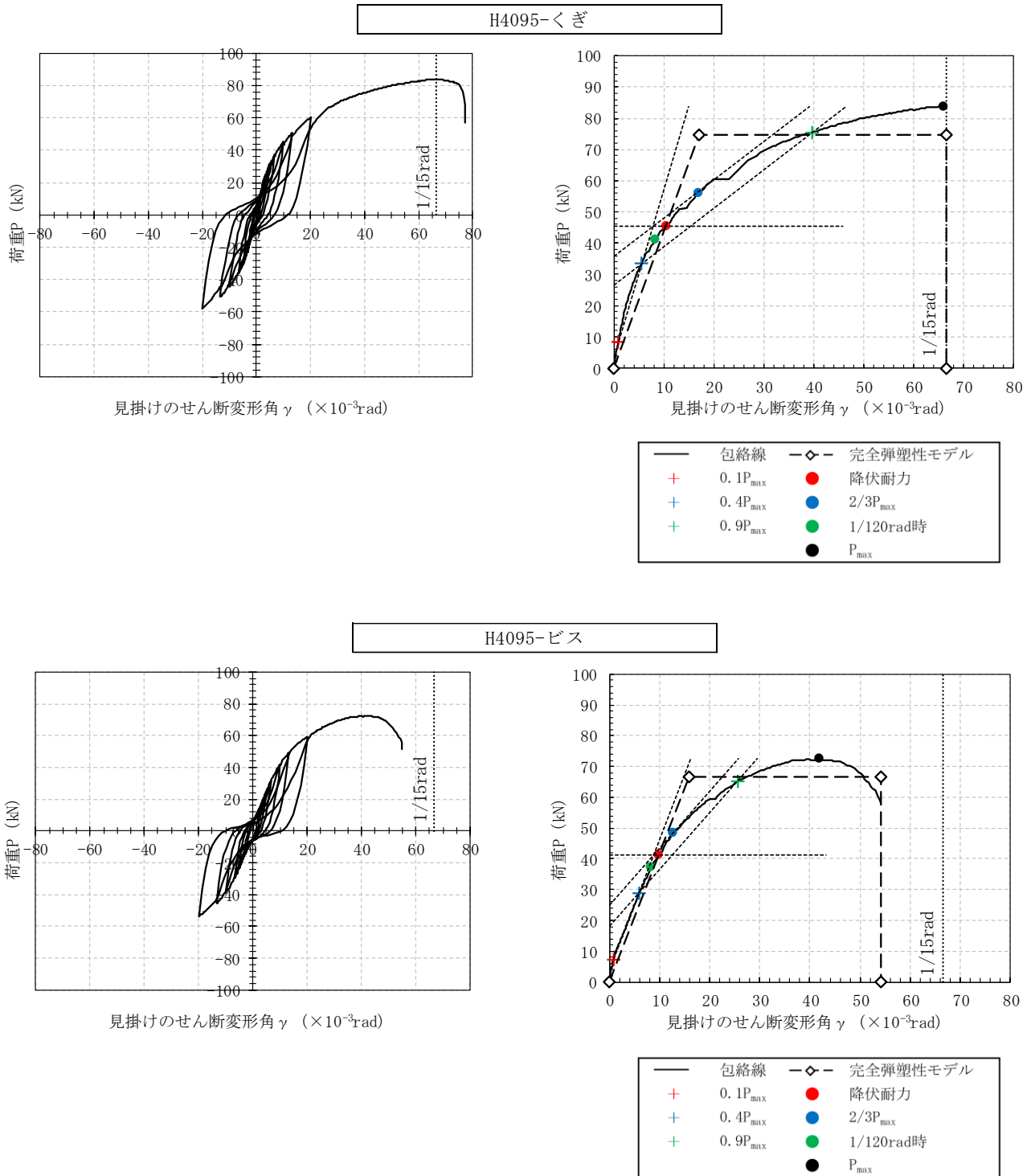


図5 包絡線，完全弾塑性モデル

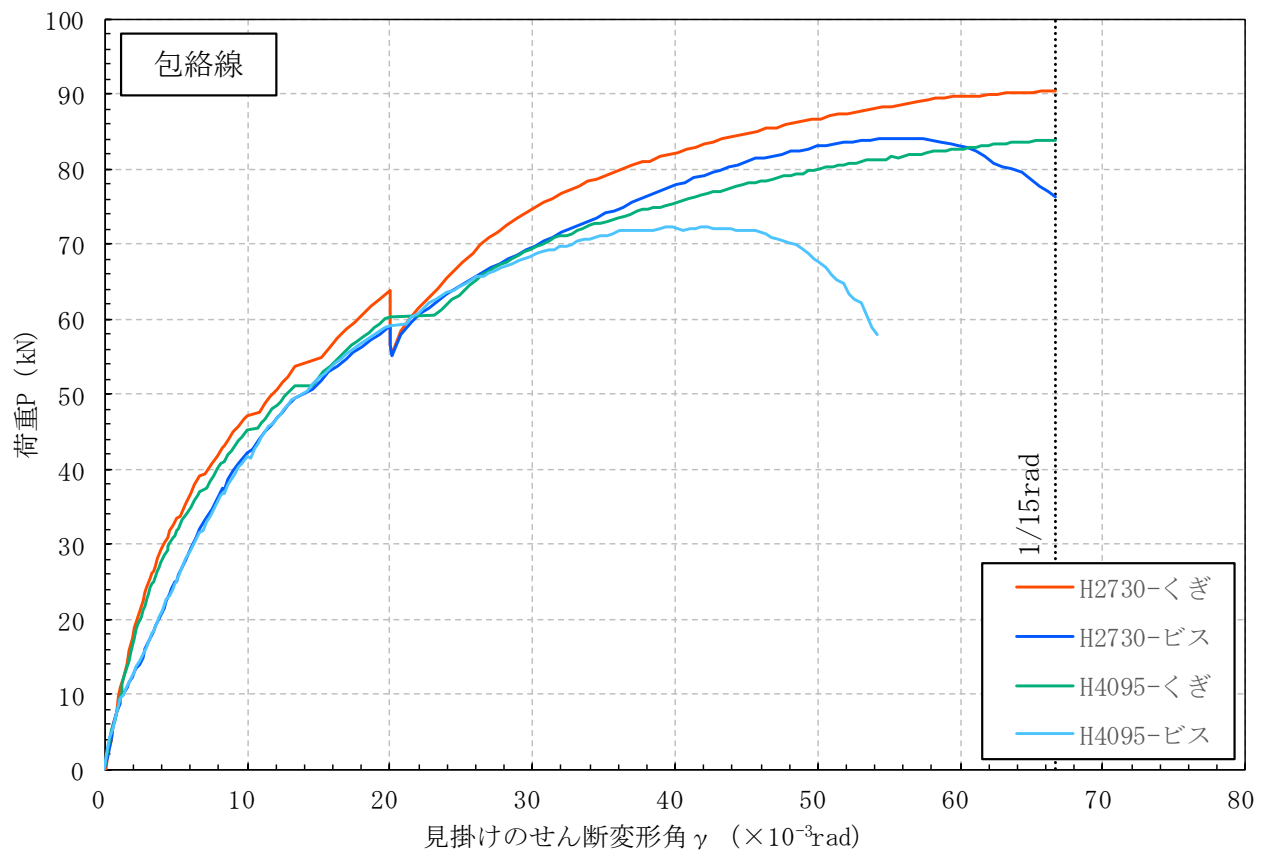
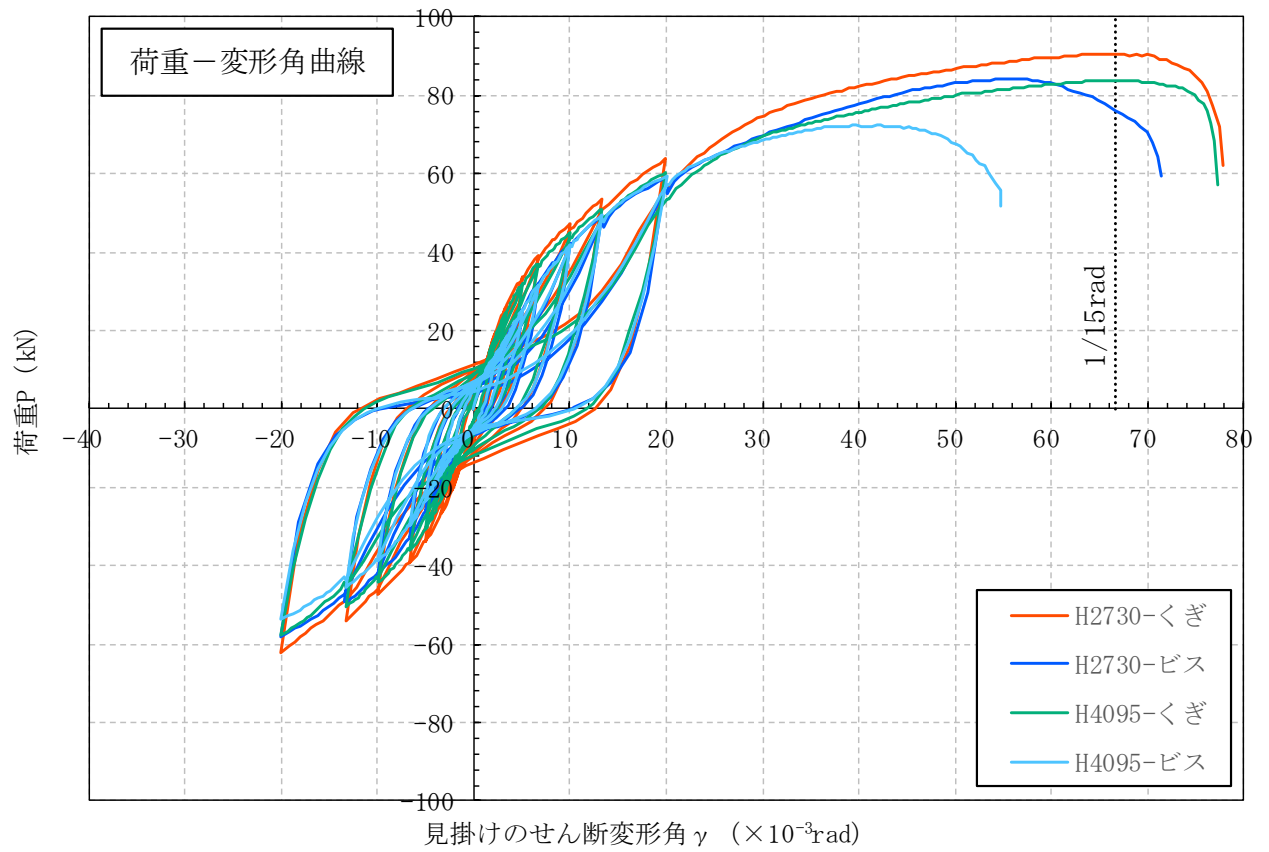


図6 各曲線の比較

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

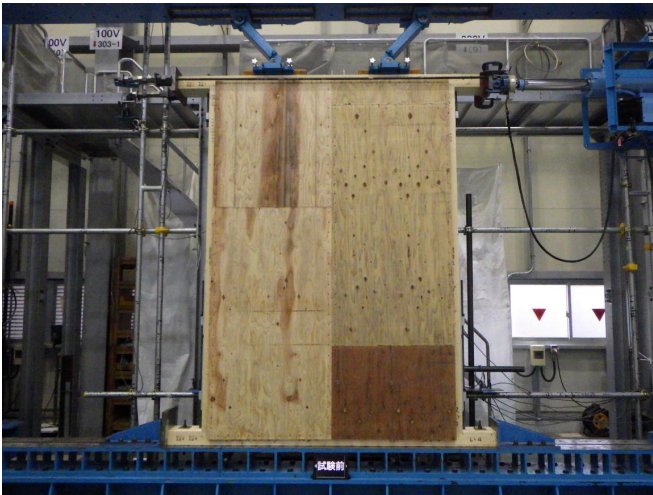


写真2 試験体の状況  
記号：H2730-くぎ 試験前

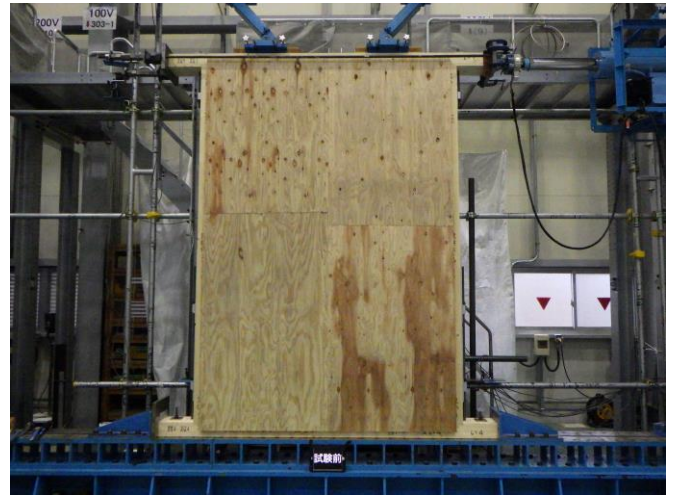


写真5 試験体の状況  
記号：H2730-ビス 試験前

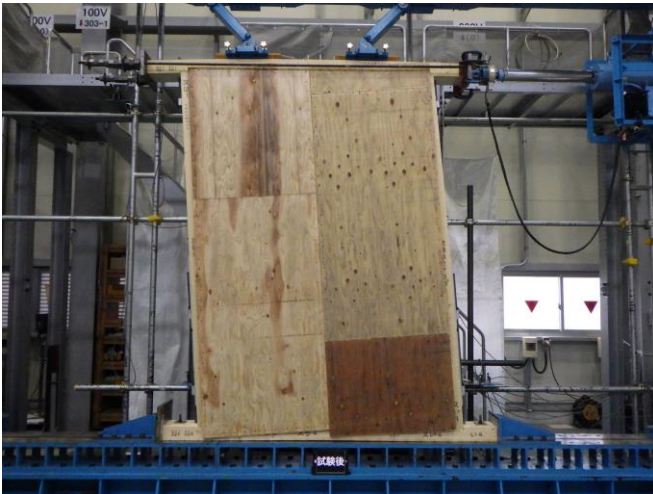


写真3 試験体の状況  
記号：H2730-くぎ 試験後

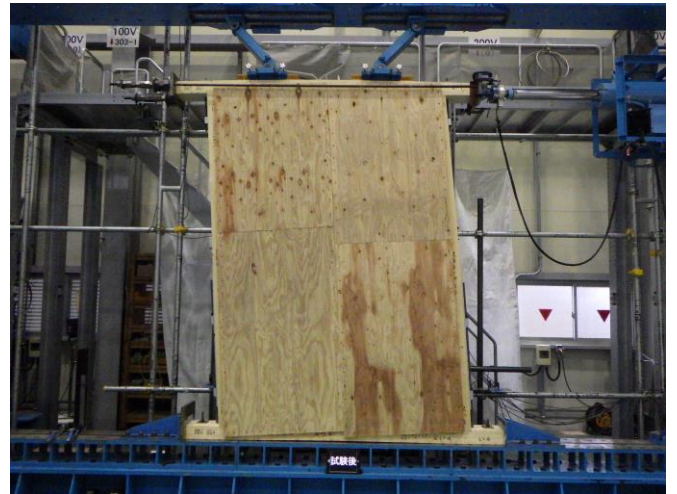


写真6 試験体の状況  
記号：H2730-ビス 試験後



写真4 試験体の状況  
記号：H2730-くぎ 試験後



写真7 試験体の状況  
記号：H2730-ビス 試験後

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。



写真8 試験体の状況  
記号：H4095-くぎ 試験前



写真11 試験体の状況  
記号：H4095-ビス 試験前



写真9 試験体の状況  
記号：H4095-くぎ 試験後



写真12 試験体の状況  
記号：H4095-ビス 試験後



写真10 試験体の状況  
記号：H4095-くぎ 試験後



写真13 試験体の状況  
記号：H4095-ビス 試験後

以上



# ハイブリット LVL 実大試験体のヤング係数推定に関する再検討

公益財団法人 日本合板検査会  
調査研究部長 小関 真琴

## 1. ラミナの縦振動ヤング係数による実大試験体ヤング係数の推定

2022 年に実施したハイブリット LVL の実大試験では、実験体の作成に用いたラミナ毎に縦振動ヤング係数を測定している。そこで、実験体毎にその組み合わせを示すと、厚さ(積層方向の長さをいう、以降同様)150mm(ラミナ 5ply)の場合は表1、厚さ 300mm(ラミナ 10ply)の場合は表2及び厚さ 450mm(ラミナ 15ply)の場合は表3のとおりとなった。

表1 実大実験体を構成するラミナの縦振動ヤング係数の組み合わせ(厚さ150mm)

単位:kN/mm<sup>2</sup>

積層	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
1	12.5	13.0	13.5	13.5	14.5	15.0	15.5	16.0
2	9.5	10.0	10.0	10.5	10.0	10.0	10.5	10.5
3	9.5	10.0	10.0	10.5	10.0	10.0	10.5	10.5
4	9.5	10.0	10.0	10.5	10.0	10.0	10.5	10.5
5	12.5	13.0	13.5	13.5	14.5	15.0	15.5	16.0

カラマツ:   
スギ:

表2 実大実験体を構成するラミナの縦振動ヤング係数の組み合わせ(厚さ300mm)

単位:kN/mm<sup>2</sup>

積層	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
1	13.0	13.5	13.5	13.5	14.0	14.0	14.0	14.5
2	13.0	13.5	13.5	13.5	14.0	14.0	14.0	14.5
3	9.5	9.5	10.0	10.5	9.5	10.0	10.5	10.5
4	9.5	9.5	10.0	10.5	9.5	10.0	10.5	10.5
5	9.5	9.5	10.0	10.5	9.5	10.0	10.5	10.5
6	9.5	9.5	10.0	10.5	9.5	10.0	10.5	10.5
7	9.5	9.5	10.0	10.5	9.5	10.0	10.5	10.5
8	9.5	9.5	10.0	10.5	9.5	10.0	10.5	10.5
9	13.0	13.5	13.5	13.5	14.0	14.0	14.0	14.5
10	13.0	13.5	13.5	13.5	14.0	14.0	14.0	14.5

カラマツ:   
スギ:

表3 実大実験体を構成するラミナの縦振動ヤング係数の組み合わせ(厚さ450mm)

単位:kN/mm<sup>2</sup>

積層	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
1	13.0	13.0	13.0	13.5	13.5	14.0	14.5	15.0
2	12.5	13.0	13.0	13.5	13.5	14.0	14.5	15.0
3	12.5	13.0	13.0	13.5	13.5	14.0	14.5	15.0
4	9.5	9.5	10.5	9.5	10.5	10.0	10.5	11.0
5	9.5	9.5	10.5	9.5	10.5	10.0	10.5	11.0
6	9.5	9.5	10.0	9.5	10.5	10.0	10.5	11.0
7	9.5	9.5	10.0	9.5	10.0	10.0	10.5	11.0
8	9.0	9.5	10.0	9.5	10.0	9.5	10.5	10.5
9	9.5	9.5	10.0	9.5	10.0	10.0	10.5	11.0
10	9.5	9.5	10.0	9.5	10.5	10.0	10.5	11.0
11	9.5	9.5	10.5	9.5	10.5	10.0	10.5	11.0
12	9.5	9.5	10.5	9.5	10.5	10.0	10.5	11.0
13	12.5	13.0	13.0	13.5	13.5	14.0	14.5	15.0
14	12.5	13.0	13.0	13.5	13.5	14.0	14.5	15.0
15	13.0	13.0	13.0	13.5	13.5	14.0	14.5	15.0

カラマツ:   
スギ:

以上より、それぞれの実験体毎に等価断面法を適用して計算した結果、実大実験体毎のヤング係数推定値  $E_{cal}$  は、表4のとおり求められた。

表4 ラミナの縦振動ヤング係数による実大実験体のヤング係数推定値  $E_{cal}$   
(せん断たわみの影響を含まない値)

単位:kN/mm<sup>2</sup>

厚さ	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
150mm	11.85	12.35	12.74	12.85	13.53	13.92	14.42	14.81
300mm	12.24	12.64	12.74	12.85	13.03	13.14	13.24	13.64
450mm	12.03	12.24	12.44	12.64	12.84	13.14	13.64	14.14

## 2. 実大試験体ヤング係数の測定値と等価断面法による推定値との比較

表4に示した  $E_{cal}$  は、同表の表題にも記したとおり、せん断たわみの影響を含まないヤング係数である。一方、JAS等の公的試験の結果として求められるヤング係数は、せん断たわみの影響を含む見かけの値であり、試験方法(スパンの長さ及び荷重方式)によっても値の大きさが変わってくる。したがって、ラミナのヤング係数を用いた等価断面法によるハイブリットLVLのMOE推定の有効性について、単純に  $E_{cal}$  と実大試験における見かけのヤング係数  $E_m$  とを比較することはできず、 $E_{cal}$  をせん断たわみの影響を含む値に換算してから比較する必要が生じる。なお、実大試験の試験方法については、スパンの確保の関係から集成材の日本農林規格に規定されている曲げA試験(JAS1152-2 5.7)が採用された。この方法では、スパンは供試材の厚さの18倍の長さとなることから、 $E_{cal}$  からの換算値を  $E_{cal}(18)$  と置くこととし、 $E_{cal}$  から  $E_{cal}(18)$  への換算方法は下記のとおりとなる。

まず、実大試験における曲げのみによるたわみ量を  $\delta_0$ 、せん断の影響を含むたわみ量を  $\delta_s$  と置くと、 $\delta_0$  と  $\delta_s$  の

関係は次式で表される。

$$\delta_s = \delta_0 + \frac{1}{G} \int_0^x \kappa \left( \frac{F}{A} \right) dx \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $x$ : 支点からの距離( $0 \leq x \leq l$ )、 $l$ : スパンの長さ、 $F$ : せん断力、 $A$ : 断面積( $=bh$ )、 $h$ : 実大試験体の厚さ、 $b$ : 実験体の幅( $=105$ )、 $G$ : T.G.H 法による実大試験体のせん断弾性係数。さらに、スパンの長さは  $l=18h$  及び荷重点間の長さは  $s=4h$  となることから、この関係を用いて(1)式の右辺を求めると、第一項の  $\delta_0$  は集成材 JAS の曲げ A 試験による曲げヤング係数の計算式より、 $\Delta y$  を  $\delta_0$  及び  $Eb$  を **Ecal** に置き換えて次のとおり表される。

$$\delta_0 = \frac{\Delta P(l-s)(2l^2 + 2ls - s^2)}{8bh^3} \times \frac{1}{\mathbf{Ecal}} = \frac{1358\Delta P}{105} \times \frac{1}{\mathbf{Ecal}} \dots\dots\dots (2)$$

一方、(1)式の右辺第二項について、スパンの中心  $x=l/2$  でのたわみ量を求めると、次のとおりとなる。

$$\frac{1}{G} \int_0^{l/2} \kappa \left( \frac{F}{A} \right) dx = \frac{1}{G} \int_0^{(l-s)/2} \left( \frac{3}{2} \times \frac{\Delta P}{2} \times \frac{1}{bh} \right) dx = \frac{1}{G} \left[ \frac{3\Delta P}{4bh} x \right]_0^{(l-s)/2} = \frac{1}{G} \times \frac{21\Delta P}{4 \times 105} \dots\dots\dots (3)$$

なお、上式中の  $\kappa$  は、断面が長方形の場合に  $\kappa = 3/2$  となる。これらの(2)式及び(3)式より  $\delta_0/\delta_s$  を求めると、次のとおり表される。

$$\frac{\delta_0}{\delta_s} = \frac{\frac{1358}{\mathbf{Ecal}}}{\frac{1358}{\mathbf{Ecal}} + \frac{1}{G} \times \frac{21}{4}} = \frac{1358 \times 4 \times G}{1358 \times 4 \times G + 21 \times \mathbf{Ecal}} \dots\dots\dots (4)$$

最後に、**Ecal(18)** と **Ecal** の関係は **Ecal(18)**  $= (\delta_0/\delta_s) \times \mathbf{Ecal}$  となることから、**Ecal(18)** はこの関係と(4)式より次のとおり表される。

$$\mathbf{Ecal(18)} = \frac{1358 \times 4 \times G}{1358 \times 4 \times G + 21 \times \mathbf{Ecal}} \times \mathbf{Ecal} \dots\dots\dots (5)$$

以上より、実大実験体毎に(5)式より **Ecal(18)** を求めると、**表5** のとおりとなった。なお同表には、計算に用いた **G** と **Em** についても併せて掲載した。

**表5 ラミナの縦振動ヤング係数による実大実験体のヤング係数推定値 Ecal(18)と実大実験値 Em**

**Ecal(18)、Em 及び G の単位: kN/mm<sup>2</sup>**

実験体 No.	厚さ 150mm				厚さ 300mm				厚さ 450mm			
	Ecal(18)	Em	G	$\delta_0/\delta_s$	Ecal(18)	Em	G	$\delta_0/\delta_s$	Ecal(18)	Em	G	$\delta_0/\delta_s$
1	11.15	11.33	0.733	0.941	11.61	11.65	0.860	0.948	11.35	11.47	0.778	0.944
2	11.69	11.88	0.840	0.946	11.94	11.61	0.842	0.945	11.54	11.78	0.777	0.943
3	12.02	12.48	0.821	0.943	12.04	12.04	0.844	0.945	11.72	11.56	0.786	0.942
4	12.07	12.44	0.768	0.939	12.14	11.94	0.853	0.945	11.91	11.76	0.804	0.943
5	12.70	12.83	0.798	0.938	12.30	12.24	0.856	0.944	12.09	12.19	0.797	0.941
6	13.04	13.43	0.801	0.937	12.30	12.26	0.744	0.936	12.36	12.14	0.811	0.941
7	13.48	13.84	0.799	0.935	12.46	12.20	0.813	0.941	12.76	12.52	0.768	0.936
8	13.76	14.20	0.747	0.929	12.83	12.61	0.836	0.941	13.24	12.75	0.810	0.937

ここで、**Ecal(18)**: ラミナの縦振動ヤング係数を用いて等価断面法により推定した実大試験体のヤング係数で、集成材 JAS の曲げ A 試験におけるせん断たわみの影響を含む。**Em**: 静的曲げによる実大試験体の曲げヤング係数の測定値(見かけのヤング係数)を表す。 $\delta_0/\delta_s$ : 実大試験におけるせん断の影響を含むたわみ量に対する曲げのみによるたわみ量の比を表す。

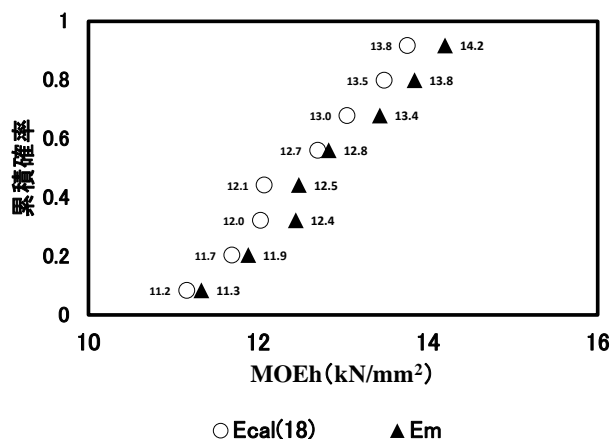


図1 ヤング係数の実大実験値と等価断面法による推定値との比較(厚さ 150mm の場合)

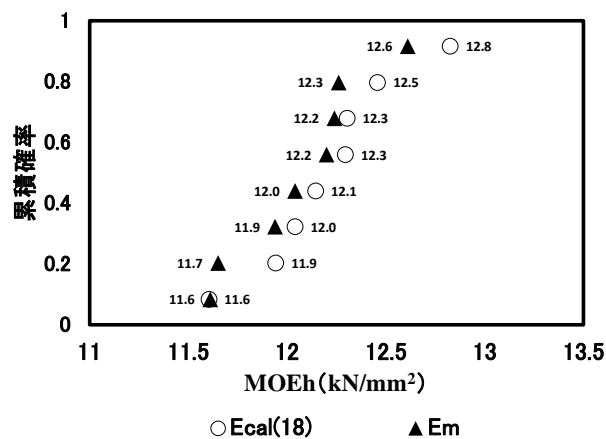


図2 ヤング係数の実大実験値と等価断面法による推定値との比較(厚さ 300mm の場合)

さらに、表5に示した Ecal 及び Ecal(18)については、実大試験体の厚さ毎にメディアンランクで評価し、横軸にヤング係数及び縦軸に累積確率を採った同一のグラフ上にプロットすることにより、お互いの一致の程度を目視的に比較できるようにした。ただし、厚さ 150mm の場合は図1、厚さ 300mm の場合は図2及び厚さ 450mm の場合は図3にそれぞれ示した。

何れの図を見ても、Ecal(18)はEmと近い値となり、厚さ 300mm の場合は累積確率全般にわたり、450mm の場合は累積確率の上方を除きお互いがほぼ重なり合う結果となった。したがって、異なる樹種による単板を組み合わせたハイブリットLVLのヤング係数について、せん断たわみの影響を考慮する必要はあるが、等価断面法による推定が有効であると考えられる。

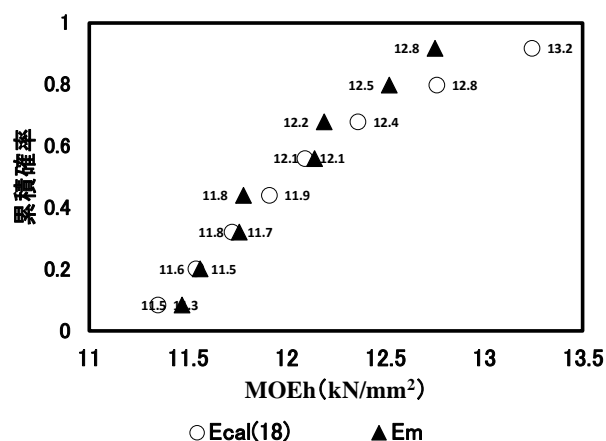


図3 ヤング係数の実大実験値と等価断面法による推定値との比較(厚さ 450mm の場合)

必要はあるが、等価断面法による推定が有効であると考えられる。ただし、せん断たわみの影響を受ける見かけのヤング係数の場合でも、材料力学の初等理論により推定することが可能であることが分かった。さらに、以上の結果より、本実大試験で測定された各種の値は正確であり、お互いの関係は整合しているものと考えられる。

### 3. 実大試験体ヤング係数の測定値とシミュレーションの推定値との比較

シミュレーションによるハイブリットLVLのヤング係数については、『国産スギ利用ハイブリットLVLに対するシミュレーション計算の適用について』(以降、本報告という)で報告した。ただし、本報告の推定値はせん断たわみの影響を含んでおらず。シミュレーションによるヤング係数の累積分布は、メディアンランクで評価した Em のプロットと一致しなかった。即ち、この場合もせん断たわみの影響を含むシミュレーションの推定値に換算し、Em との比較を行う必要がある。ここで、表5より、 $\delta_0/\delta_s$ の平均値は 0.94 となることから、シミュレーションの計算値にこの値を乗じることにより(正確には、厚さ 150mm 及び 450mm の場合は 0.940、厚さ 300mm の場合は 0.943 を乗じた)、せん断たわみの影響を含むシミュレーションのヤング係数の推定値を求めた。さらに、実大試験体の厚さ毎にシミュレーションによる推定値と実大試験体の測定値を比較した。

シミュレーションの計算値を昇順に並び替えてメディアンランクで評価し、厚さ 150mm の場合は図1にプロットしたものを図4、厚さ 300mm の場合は図2にプロットしたものを図5、厚さ 450mm の場合は図3にプロットしたものを図6にそれぞれ置き換えて示した。ここで、シミュレーションのパラメータとなるエレメントの強度分布の推定値については、カラマツの場合は本報告の表3、スギの場合は本報告の表4に示した値のうち、いずれも残差二乗和が最小となる分布の組み合わせのものを用いた。即ち、カラマツの場合の組み合わせは 2PW(2P ワイブル分布)×LN(対数正規分布)で、ヤング係数分布のパラメータは尺度パラメータが 15.12kN/mm<sup>2</sup> 及び形状パラメータが 4.33、引張強度分布のパラメータは平均値が 3.98 及び標準偏差が 0.24、ヤング係数と引張強度の相関係数は 0.76 である。一方、スギの場合の組み合わせは 2PW(2P ワイブル分布)×N(正規分布)で、ヤング係数分布のパラメータは尺度パラメータが 11.11kN/mm<sup>2</sup> 及び形状パラメータが 5.66、引張強度分布のパラメータは平均値が 43.59 kN/mm<sup>2</sup> 及び標準偏差が 8.64 kN/mm<sup>2</sup>、ヤング係数と引張強度の相関係数は 0.83 である。

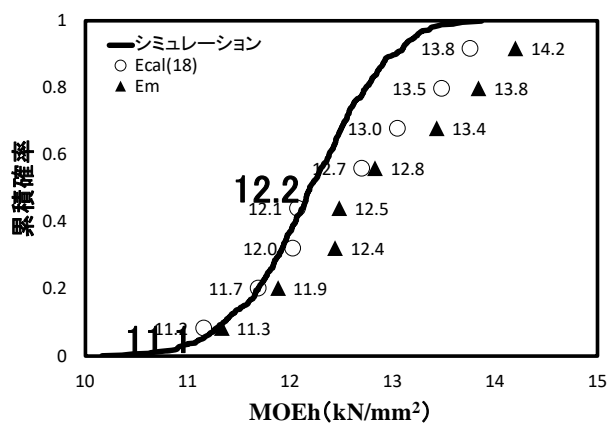


図4 ヤング係数の実大実験値とシミュレーションによる推定値との比較(厚さ 150mm の場合)

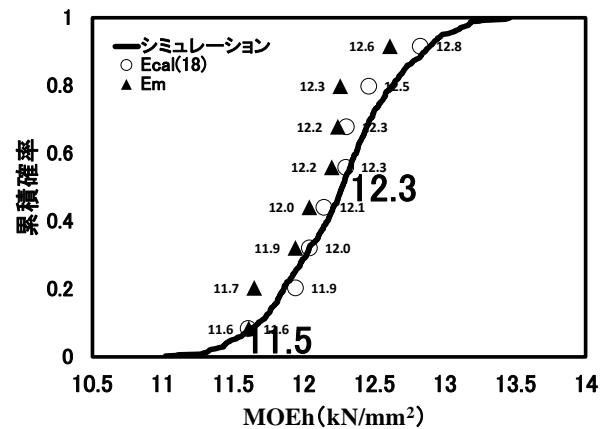


図5 ヤング係数の実大実験値とシミュレーションによる推定値との比較(厚さ 300mm の場合)

それぞれの図を見ると、図4ではシミュレーションと比べて Em の方の値が大きい傾向にあるが、いずれの厚さの場合もシミュレーションの曲線と実証値である Em のプロットは概ね一致している。したがって、本報告で示したシミュレーションについても、これまでと同様にせん断たわみの影響を考慮する必要はあるが、見かけのヤング係数分布の推定に有効であると考えられる。

#### 4. 単板積層材の日本農林規格に定める曲げ試験に従い実大試験を実施した場合の考察

先述したとおり、実大試験方法は集成材 JAS に定める曲げA試験に従って実施されたが、本来の標準試験方法は、単板積層材の日本農林規格(以降、単板積層材 JAS という)に定める曲げ試験(JAS 0701-2 4.9)である。したがって、ここまでの検証については、実大試験を単板積層材 JAS の曲げ試験で実施した場合に換算し

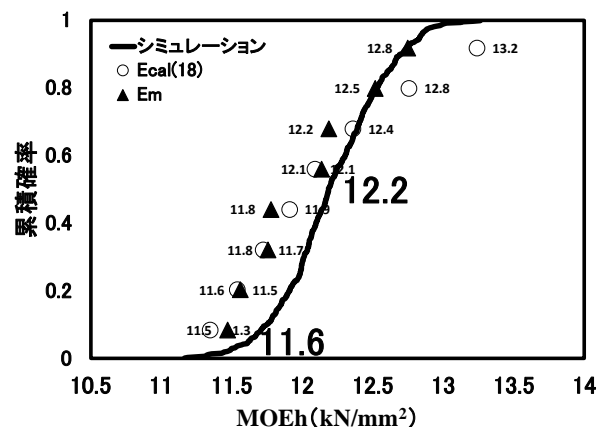


図6 ヤング係数の実大実験値とシミュレーションによる推定値との比較(厚さ 450mm の場合)

て最終的にまとめておく必要がある。なお、ここで換算が必要となるのは、ヤング係数の測定値  $E_m$  と等価断面またはシミュレーションの計算値の両方であり、方法等については下記のとおりである。

まず、単板積層材 JAS の曲げ試験を実施した場合の実大試験の測定値を  $E_m(21)$  と表すと、 $E_m(18)$  からの換算方法は、『構造用木材の強度試験方法マニュアル』の 8.2.2 に従った。ただし、ここに示す換算式中、 $L=18h$ 、 $a=4h$ 、 $L_0=21h$  及び  $a_0=7h$  であり、 $E$  には静的曲げによるせん断たわみを含まないヤング係数の値を用いた。さらに、式右辺の  $E_b$  は  $E_m$ 、右辺の  $E_m$  は  $E_m(21)$  にそれぞれ読み替えた。

次に、単板積層材 JAS の曲げ試験を実施した場合のせん断たわみの影響を含む等価断面法の計算値を  $E_{cal}(21)$  と置くと、この場合の実大試験におけるスパン及び荷重点間距離は  $l=21h$  及び  $s=7h$  となる。そこで、この関係を用いて(1)式から(3)式を解くことと、(4)式の  $\delta_0/\delta_s$  は次式に置き換えられる。

$$\frac{\delta_0}{\delta_s} = \frac{\frac{1972.25}{E_{cal}}}{\frac{1972.25}{E_{cal}} + \frac{1}{G} \times \frac{21}{4}} = \frac{1972.25 \times 4 \times G}{1972.25 \times 4 \times G + 21 \times E_{cal}} \dots\dots\dots (6)$$

したがって、 $E_{cal}(21)$  は(6)式及び  $E_{cal}(21) = (\delta_0/\delta_s) \times E_{cal}$  となることから、次の(7)式より求めた。

$$E_{cal}(21) = \frac{1972.25 \times 4 \times G}{1972.25 \times 4 \times G + 21 \times E_{cal}} \times E_{cal} \dots\dots\dots (7)$$

さらに、単板積層材 JAS の曲げ試験を実施した場合のせん断たわみの影響を含むシミュレーションの計算値については、(6)式により  $\delta_0/\delta_s$  の平均値が厚さ 150mm の場合は 0.958、厚さ 300mm の場合は 0.960 及び厚さ 450mm の場合は 0.958 となった。従って、せん断たわみの影響を含まない計算値にそれぞれの  $\delta_0/\delta_s$  を乗じることにより、せん断たわみの影響を含むシミュレーションの計算値を求めた。

以上より、単板積層材 JAS の曲げ試験を実施した場合の実証値と計算値のそれぞれ換算値の比較結果は、厚さ 150mm の場合は図7、厚さ 300mm の場合は図8及び厚さ 450mm の場合は図9にそれぞれ示した。

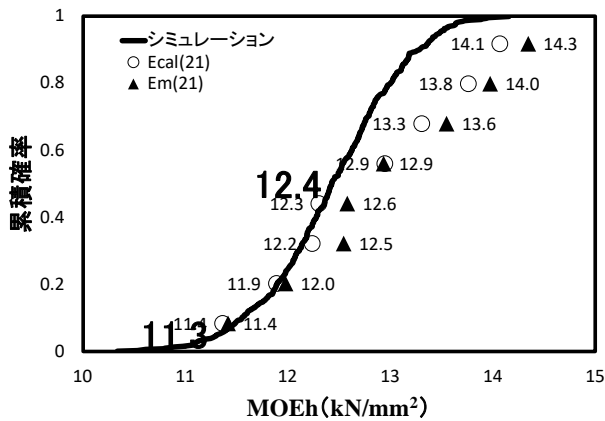


図7 単板積層材 JAS に規定される曲げA試験を実施した場合のヤング係数の実大実験値とシミュレーションによる推定値の換算値同士の比較(厚さ 150mm の場合)

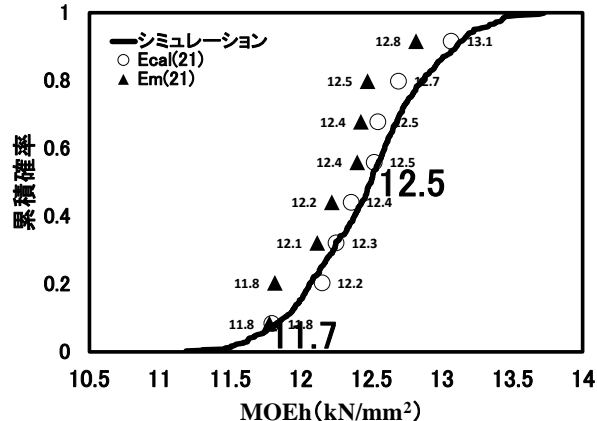


図8 単板積層材 JAS に規定される曲げA試験を実施した場合のヤング係数の実大実験値とシミュレーションによる推定値の換算値同士の比較(厚さ 300mm の場合)

何れの図についても、実証値及び計算値の両方の換算値が  $0.2 \sim 0.3 \text{ kN/mm}^2$  の範囲で同程度増えただけなので、お互いの関係は図4～図6と同じであり、お互いは概ね一致していると言える。

最後に、単板積層材 JAS の曲げ試験の場合、 $\delta_0/\delta_s$  は 0.96 程度となったことから、見かけのヤング係数を求める際の低減率はハイブリット LVL の場合でも 0.95 を見積もるのが妥当と考えられる。

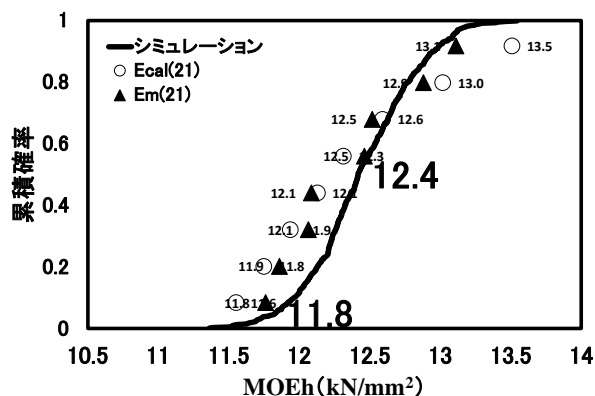


図9 単板積層材 JAS に規定される曲げA試験を実施した場合のヤング係数の実大実験値とシミュレーションによる推定値の換算値同士の比較(厚さ 450mm の場合)