

**平成 26 年度
CLT 等新たな製品・技術の開発促進事業
のうち中高層建築物等に係る技術開発等
の促進（CLT 等接合部データの収集）
事業報告書**

平成 27 年 3 月

一般社団法人全国 LVL 協会

平成 26 年度 事業報告書

目次

第 1 章 事業内容	1
第 2 章 材料物性	6
第 3 章 面内せん断性能	13
第 4 章 支圧性能	26
第 5 章 釘接合部性能	53
第 6 章 厚板壁接合部	64
第 7 章 厚板壁耐力壁	137
第 8 章 まとめ	172
第 9 章 今後の課題	173
第 10 章 添付資料	174

第1章 事業内容

1.1 背景

学校・事務所を初めとした非住宅建築をコスト・納期等の面から木造にすることが多くなっている。住宅にはない大空間を実現するための長スパンを飛ばすために、大断面集成材または大断面LVLが梁材として選択されることが多い。しかし、長方形の断面は材積が多くなるためにコストがあがるのが実情である。

LVLはその製造上の特徴である面材を使うことで、梁部材としての効率的な断面設計が可能となる。LVLは単板の時点で強度を選別することで、集成材より高い曲げ性能を有する。単板から構成されることにより、合板同様、丸太からの歩留まりが高い。これらのメリットを生かした、構造部材としてのLVL面材を提供するための構造設計資料の整備が求められてきている。

1.2 目的

本事業では、昨年改正された単板積層材（LVL）のJASで新規格となったB種構造用LVLの接合部データを収集し、設計者が中層大規模木造でLVLを構造部材として設計できるような形で提示することを目的とする。

住宅着工数が近年伸び悩むなか、木質化されていく余地がある非住宅分野での部材開発が求められている。木質材料の用途を広げるために非住宅分野で使われるようにするためには、以下の二つの方向が考えられる。木造躯体のまま大型化すること、もう一つは既存のS造・RC造の中で木質材料を構造部材として使えるようにすることである。

丸太からの歩留まりが60%と高く、薄板から大断面までをカバーできるLVLは今までは軸材として使われてきたが、面材の構造部材として使えるようにするため昨年度JASが改正され、直交層を入れて寸法安定性を高めた「B種」が新しく規定された。「B種」面材LVLを使うと、写真のようなデザイン性の高い建築物を構成できる。また「B種」厚板LVLを使うと、CLTと同様の大きな断面の壁柱を構成できる。LVLは地域産材として使われる事例が多く、LVLの利用拡大を図ることで国産材の利用用途拡大が期待できる。

LVL単体では材料設計ができるようになり、供給体制は整ったのだが、部材同士をつなぐ接合部強度のデータが不足している。現状は個々の設計事例に対して実験等で確認する他にない。この接合部強度を集めて計算で設計できるようにすれば、上記の建築構造を実現できる。そこで、本事業では、B種構造用LVLの接合部データを蓄積し、設計者に提示することを目的とする。接合部データを設計者が使えるようにすることで、中層大規模木造建築の設計が可能となる。同時に既存の鉄骨造や鉄筋コンクリート増にも構造部材として部分的にLVLを使える可能性ができ、木材を売り込むマーケットの拡大を期待できる。

1.3 実施概要

本事業では、直交層を用いたB種LVLを用いた木質接合部の設計データを取得することを目的とする。建築物で使われるあらゆる接合部位を想定し、樹種、単板構成、厚み、接合具径等が接合部性能に与える影響を明らかにする。

中層大規模木造建築ではスパンを飛ばすために構造躯体の断面を大きくし、対応する接合部の設計が必要である。木質建築物の設計者が参考に行っている、日本建築学会発行の「木質構造設計基準・同解説」には木質接合部の設計方法が載っており、設計者はこの本を参考にして接合部を設計する。集成材についてはデータが蓄積されており、集成材を使った数多くの中層大規模木構造建築物が設計されている。しかしLVLに関してはデータがほとんどなく、LVLで設計する際は集成材のデータをそのまま適用しているのが実情である。新しく規格になったB種と合わせ、LVLの接合部データを得て設計者に提案する必要がある。

具体的には、B種LVLを用いた以下の性能項目について検証を行った。

- 1 材料強度
- 2 面内せん断
- 3 支圧
- 4 釘接合部
- 5 GIR接合部（グルードインロッド）
- 6 LSB接合部（ラグスクリューボルト）
- 7 厚板壁性能

1.4 事業全体スケジュール

H26. 9	全体会議と計画検証、各チームメンバー決定。 検証項目、および要求性能を確認。 共同研究契約締結、試験体および実験準備
H26. 10	試験（支圧・1面せん断・面内せん断・接合部引張）
H26. 11	試験継続
H26. 12	中間報告、追加実験
H27. 1	最終全体会議、および最終報告書の作成
H27. 2	報告書作成
H27. 2. 28	予算締め
H27. 3. 13	最終報告書提出

1.5 実施体制

本事業では2つの委員会を設け、それぞれの有識者に参加いただいて計画立案および事業実施を行った。木質材料の観点から支圧性能・釘接合部・面内せん断性能を検討する接合部支圧委員会、もう一つは建物の要求性能から厚板LVL壁接合部性能を検証する、接合部LSBGIR委員会を設けた。

接合部支圧委員会

委員長	静岡大学農学部	安村 基	環境森林科学科 住環境構造学研究室 教授
委員	建築研究所	中島 史郎	建築生産研究グループ 上席研究員
	森林総合研究所	洪沢 龍也	複合材料研究領域 複合化研究室 室長
	森林総合研究所	宮本 康太	複合材料研究領域 複合化研究室 主任研究員
	静岡大学農学部	小林 研治	環境森林科学科 住環境構造学研究室 助教
	島根県産業技術センター	河村 進	材料技術グループ 主任研究員
	広島県立総合技術研究所林業技術センター	藤田 和彦	林業研究部 総括研究員兼副部長
	(株)オーシカ	辻 健	市場開発推進部 部長
	ウッドワン	疋田 慎二	住宅システム営業部 構造設計課
	インターレックス	高橋 圭吾	パネル セールス
	東日本パワーファスニング(株)	荻部 泰輝	代表取締役社長
	(株)キーテック	李 元羽	開発部 次長
	林野庁	大倉 弘二	林政部木材産業課 木材製品技術室 課長補佐
	林野庁	北代 新也	林政部木材産業課 木材製品技術室 専門職
オブザーバー			
	竹中工務店	栗原 高明	竹中工務店技術研究所
	広島県立総合技術研究所林業技術センター	野沢浩二	林業研究部
事務局	全国LVL協会	井上 国雄	事務局長
		成田 敏基	技術課長
		松里 整	建築研究所交流研究員
		大石 哲也	

接合部LSBGIR委員会

委員長	東京大学	腰原 幹雄	生産技術研究所 木質構造デザイン工学 教授
委員	大分大学	田中 圭	工学部福祉環境工学科建築コース 助教
	桜設計集団	佐藤 孝浩	
	(株)オーシカ	辻 健	市場開発推進部 部長
	(株)オーシカ	濱井 篤志	中央研究所 主任研究員
	(株)グランドワークス	大倉憲峰	代表取締役
	(株)グランドワークス	大倉義邦	専務取締役
	(株)スクリムテックジャパン	河野泰之	代表取締役
	(株)タナカ	村松 学	住宅資材営業部
	インターレックス	高橋 圭吾	パネル セールス
	(株)ウッドワン	疋田 慎二	住宅システム営業部 構造設計
	(株)キーテック	李元羽	開発部 次長
	林野庁	大倉 弘二	林政部木材産業課 木材製品技術室 課長補佐
	林野庁	北代 新也	林政部木材産業課 木材製品技術室 専門職
	桜設計集団	池谷 聡史	
事務局	全国LVL協会	井上国雄	事務局長
		成田敏基	技術課長
		宋 昌錫	技術課長

1.6 事業結果

本事業を実施した結果、以下の結論を得た。詳しくは第2章以降を参照されたい。

1 材料強度

国産材B種LVLの性能は、フラットワイズ・繊維方向の曲げヤング係数と曲げ強度数値で、カラマツ（9.8kN/mm²、26.9kN/mm²）ヒノキ（8.8kN/mm²、29.9kN/mm²）、スギ（6.3kN/mm²、24.5kN/mm²）相当を有することを確認した。

2 面内せん断

四辺を拘束した実大LVLの面内せん断試験の結果、面内せん断強度および面内せん断剛性共に、直交層を有するB種LVLが直交層の無いA種LVLを上回った。同時に行ったツーレイルシア試験による面内せん断強度および剛性の結果と合わせ、今後の面内せん断性能予測と評価法を誘導できる可能性が示された。

3 支圧

国産材B種LVLのボルト支圧強度は、木質構造設計基準に示される製材の基準支圧強度を上回り、密度と接合具径を用いた計算式による予測も製材と同等であることがわかった。

4 釘接合部

国産材B種LVLの積層面に釘を打った場合の釘のせん断性能を明らかにした。

5 GIR接合部（グルードインロッド）

厚板LVL壁の接合の一つであるグルードインロッド接合に関して、A種とB種での性能を明らかにした。近接して打ち込まれる場合の性能は、破壊形態が異なるため、運用に注意が必要である。

6 LSB接合部

厚板LVL壁の接合の一つであるラグスクリューボルト接合に関して、A種とB種での性能を明らかにした。

7 厚板壁性能

高倍率の耐力壁の開発を目的として上記の厚板LVL壁接合および上下をボルトでつないだタイロッド式接合の壁試験を行い、高い倍率の性能値を確認した。A種とB種ではほぼ同等の評価が可能であることがわかった。

第2章 材料物性

2.1 背景

LVLの接合部データの基礎となるB種LVLの曲げ、縦圧縮、縦引張、めり込みおよびせん断強度性能試験を行った。

2.2 試験内容

2.2.1 試験体仕様

スギ、ヒノキ、カラマツ LVA（ノーマル）、LVB（クロス）の曲げ、縦引張、縦圧縮、めり込み及びせん断の各強度性能を明らかにする。

なお、試験材の単板構成、採材位置及び寸法は図1のとおりである。

LVL単板構成

樹種	名称	合計積層数	繊維方向	直角方向
カラマツ	ノーマル (N)	13	13	0
カラマツ	クロス (C)	13	10	3
ヒノキ	ノーマル (N)	13	13	0
ヒノキ	クロス (C)	13	10	3
スギ	ノーマル (N)	13	13	0
スギ	クロス (C)	13	10	3

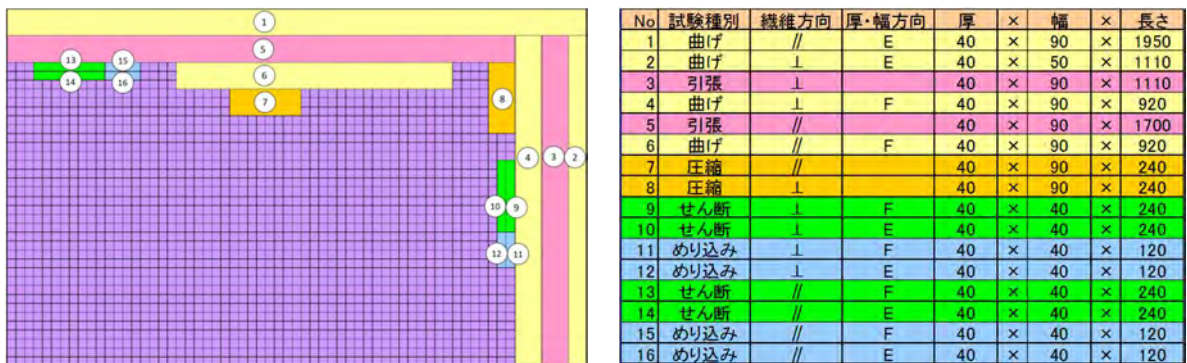


図1 LVA,LVBの単板構成、試験材採材位置及び試験体寸法

2.2.2 試験方法

(a) 曲げ

試験条件は、支点間距離は厚さの 21 倍、荷重点間距離は厚さの 7 倍の 3 等分点 4 点荷重方式である（写真 1 参照）。試験体数は各条件 6 体である。なお、スギ（ノーマル）の \perp タイプのエッジワイズ試験体 3 体は、支点間距離、厚さの 15 倍、荷重点間距離は厚さの 5 倍とした。

(b) 縦圧縮

試験条件は、試験体長は短辺の 6 倍の 240 mm、標点間距離は短辺の 2 倍の 80 mm である（写真 2 参照）。変位計は 2 面に取り付け、変形量の平均を評価した。試験体数は各条件 6 体である。

(c) 縦引張

試験条件は、 \parallel タイプでチャック間距離 600mm、標点間距離 200mm、 \perp タイプはチャック間距離 450mm、標点間距離 80mm で、変位計は 2 箇所である（写真 3 参照）。試験体数は各条件 6 体である。

(d) むり込み

試験条件は、加圧用鋼板幅 40mm で、上面中央を厚さの 5% 変形減少するまで加力した。試験体の長さは厚さの 3 倍である。変位計は 2 箇所である（写真 4 参照）。試験体数は各条件 6 体である。ただし、スギ（クロス）の \parallel タイプのフラットワイズ及びヒノキ（ノーマル）の \parallel タイプのエッジワイズについては、試験体を 5 体とした。

(e) せん断

試験条件は、水平せん断試験として試験体長は厚さの 6 倍、支点間距離は厚さの 4 倍、3 点曲げ方式で、加力点は、 $R=40.0\text{mm}$ の硬木とした（写真 5 参照）。試験体数は各条件 6 体である。



写真1 曲げ試験状況



写真2 縦圧縮試験状況



写真3 縦引張試験状況



写真4 むり込み試験状況



写真5 せん断試験状況

2.2.3 試験結果

(a) 曲げ

曲げ試験材の縦振動法による動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係は、図2のような回帰式と決定係数が得られた。

また、曲げヤング係数と曲げ強度には、高い相関があることが分った（図3参照）。

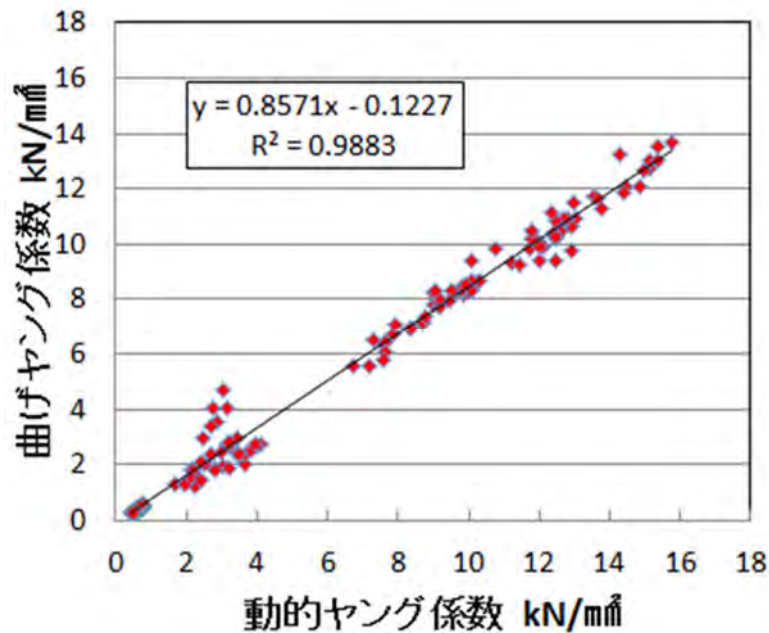


図2 動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

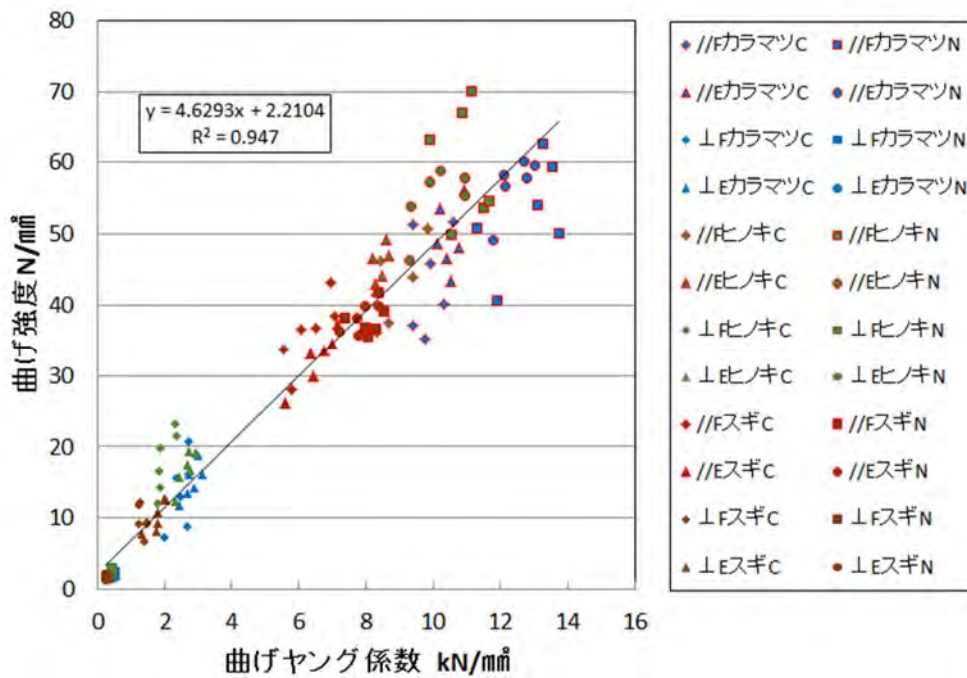


図3 曲げヤング係数と曲げ強度の関係

(b) 縦圧縮

縦圧縮ヤング係数と縦圧縮強度との間に高い相関があることがわかった（図4参照）。

なお、Pmax 付近の計測で試験終了した試験体も一部含むが、Pmax として強度を算出した。

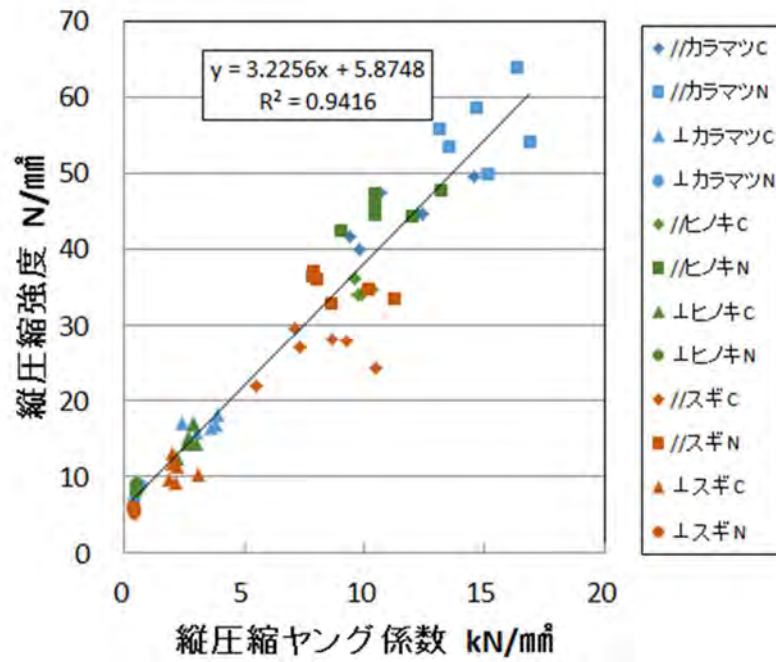


図4 縦圧縮ヤング係数と縦圧縮強度の関係

(c) 縦引張

縦圧縮試験と同様に、縦引張ヤング係数と縦引張強度との間にも高い相関があることがわかった (図 5 参照)。

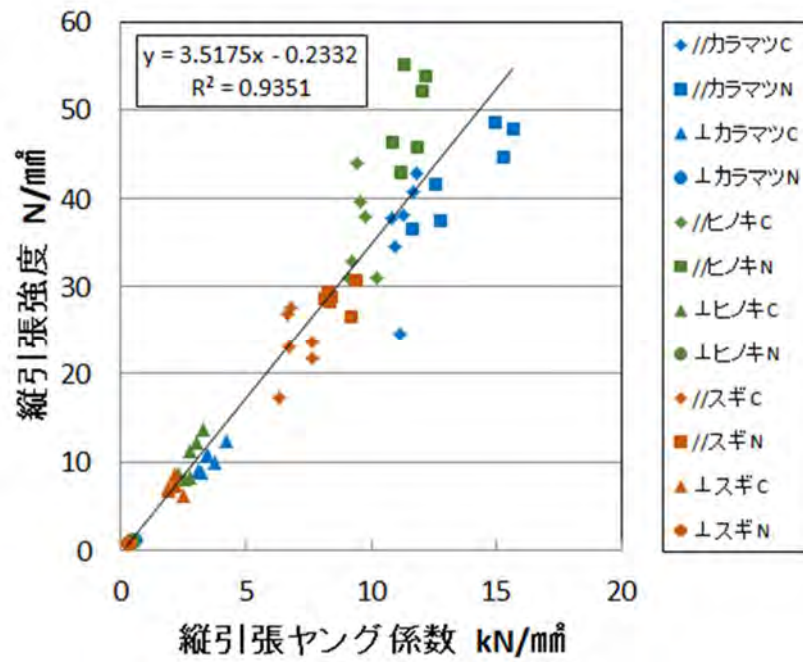


図 5 縦引張ヤング係数と縦引張強度の関係

(d) めり込み

厚さの5%時のめり込み強度やめり込み剛性について、図6、図7に示す。強度も剛性もエッジワイズ方向が高かった。

なお、5%時以前に最大荷重に達した試験体については、その最大荷重値を採用した。

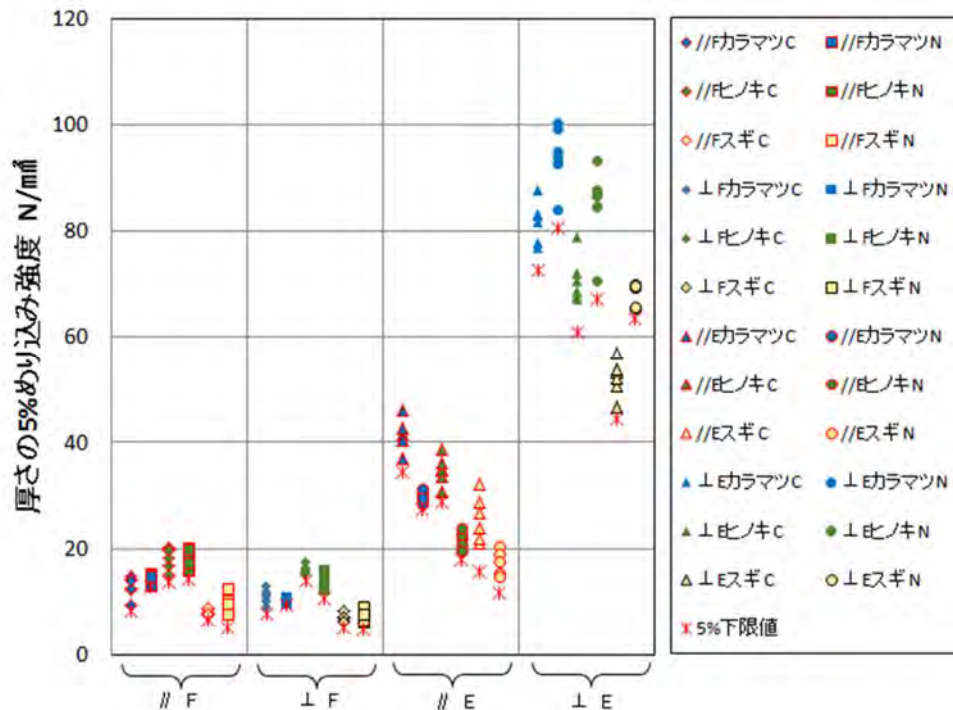


図6 厚さの5%時めり込み強度

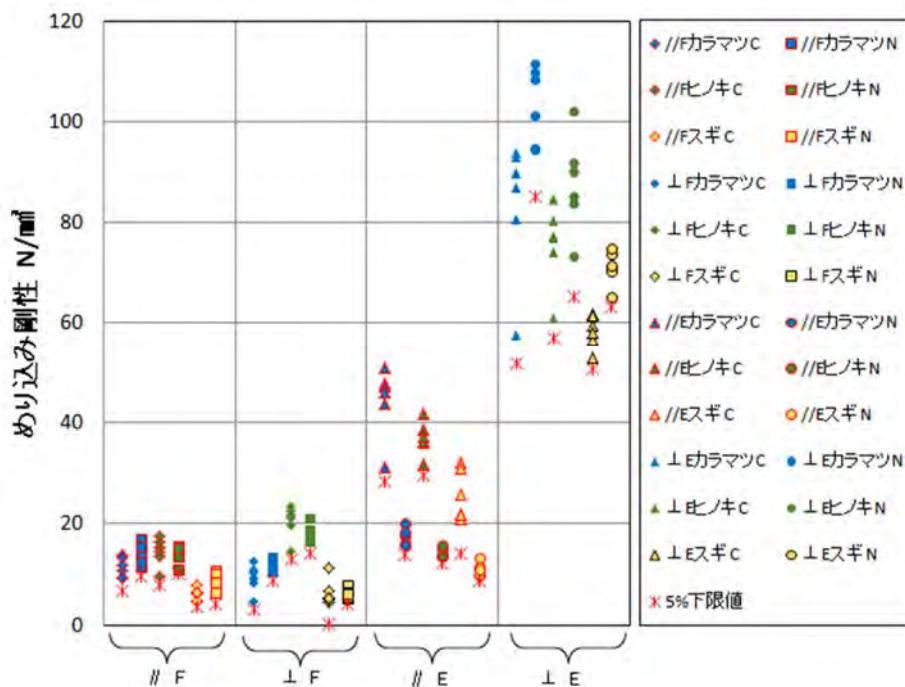


図7 めり込み剛性

(e) せん断

せん断強度について、図8に示す。図は破壊形態によらず、すべての結果を表した。どちらの厚さともフラットワイズ方向では約3割がせん断破壊であったが、エッジワイズ方向ではすべてが曲げ破壊であった。//タイプでエッジワイズ方向の試験体が高く、次に//タイプでフラットワイズ方向が高い値であった。樹種別では、//タイプのエッジワイズ方向の試験体について、カラマツが最も高い値だが、//タイプのフラットワイズ方向については、ヒノキの方がバラツキは大きいもののせん断強度は高い傾向であった。なお、5%下限値とは、75%信頼水準の95%下側許容限界値のことである。

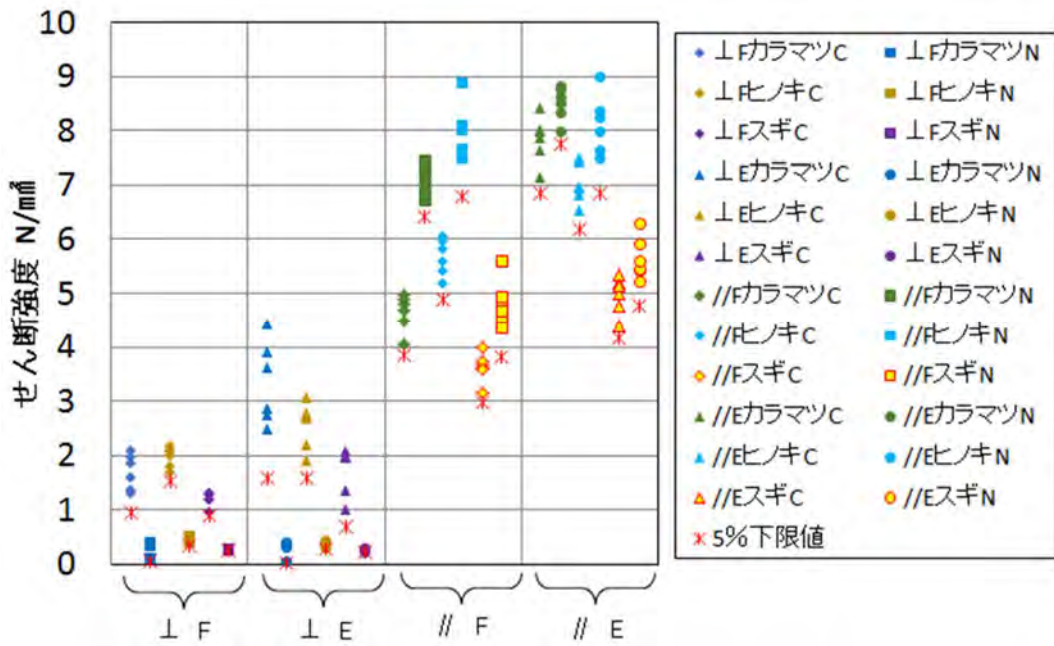


図8 水平せん断強度

第3章 面内せん断性能

3.1 Large Panel-Shear Test による構造用単板積層材の面内せん断性能の測定

3.1.1 概要

直交層を有する構造用単板積層材の面内せん断強度と面内せん断弾性係数を評価するための試験方法を確立し、各種特性値を評価することを目的として、以下の各仕様の構造用単板積層材の面内せん断試験を行った。なお、面内せん断試験は ASTM D2719-89(2007) Standard Test Methods for Structural Panels In Shear Through-the-Thickness の中の "Large Panel Shear Test" に準じた方法により行った。

① A種 (直交層0枚)	カラマツ	[120E-450F 55V-47H]	34mm厚
② B種 (直交層2枚)	カラマツ	[80E-215F 40V-26H]	34mm厚
③ A種 (直交層0枚)	スギ	[60E-190F 40V-26H]	34mm厚
④ B種 (直交層2枚)	スギ	[60E-160F 30V-20H]	34mm厚
⑤ A種 (直交層0枚)	カラマツ	[120E-450F 55V-47H]	47mm厚
⑥ B種 (直交層3枚)	カラマツ	[80E-215F 40V-26H]	47mm厚
⑦ B種 (直交層4枚)	カラマツ	[70E-185F 35V-23H]	47mm厚

3.1.2 試験体

試験体の規格、単板構成、樹種、厚さは以下の通りとした。

- | | | |
|---------------------------|------|--------|
| ① A種 (構成：□□□□□□□□□□) | カラマツ | 34mm 厚 |
| ② B種 (構成：□□■□□□□□■□□) | カラマツ | 34mm 厚 |
| ③ A種 (構成：□□□□□□□□□□) | スギ | 34mm 厚 |
| ④ B種 (構成：□□■□□□□□■□□) | スギ | 34mm 厚 |
| ⑤ A種 (構成：□□□□□□□□□□□□□□) | カラマツ | 47mm 厚 |
| ⑥ B種 (構成：□□■□□□□■□□□□■□□) | カラマツ | 47mm 厚 |
| ⑦ B種 (構成：□□■□□■□□□■□□■□□) | カラマツ | 47mm 厚 |

なお、上記の「構成」の表記に使用している□は平行層、■は直交層を表す。また、各試験体の強度等級は前述の通りとする。さらに、いずれの試験体とも接着はレゾルシノール樹脂接着剤によった。

600mm×600mm の大きさに切り出した板を図 3.1-1 に示す十字形状に加工し、さらに加工した板の四週（十字の出張り部分）を 28mm 厚の構造用合板にて補強（接着とビスを併用して両面に添付）し、試験体とした。試験体のうち補強をしていない部分の寸法は 400mm×400mm である。

3.1.3 試験方法

面内せん断試験は、ASTM D2719-89(2007) Standard Test Methods for Structural Panels In Shear Through-the-Thickness 中の "Large Panel Shear Test" に準じた方法により行った。図 3.1-2 に ASTM に示されている加力ジグの形状と試験体の収まり、及び加力方法を示す。また、写真 3.1-1 に試験の様子を示す。加力は補強した試験体の補強部分（図 3.1-2 と写真 3.1-1 の A の部分）を試験体の四周に沿って約 45° 方向の角度で引っ張ることによって行った。荷重速度は 3mm/min とした。

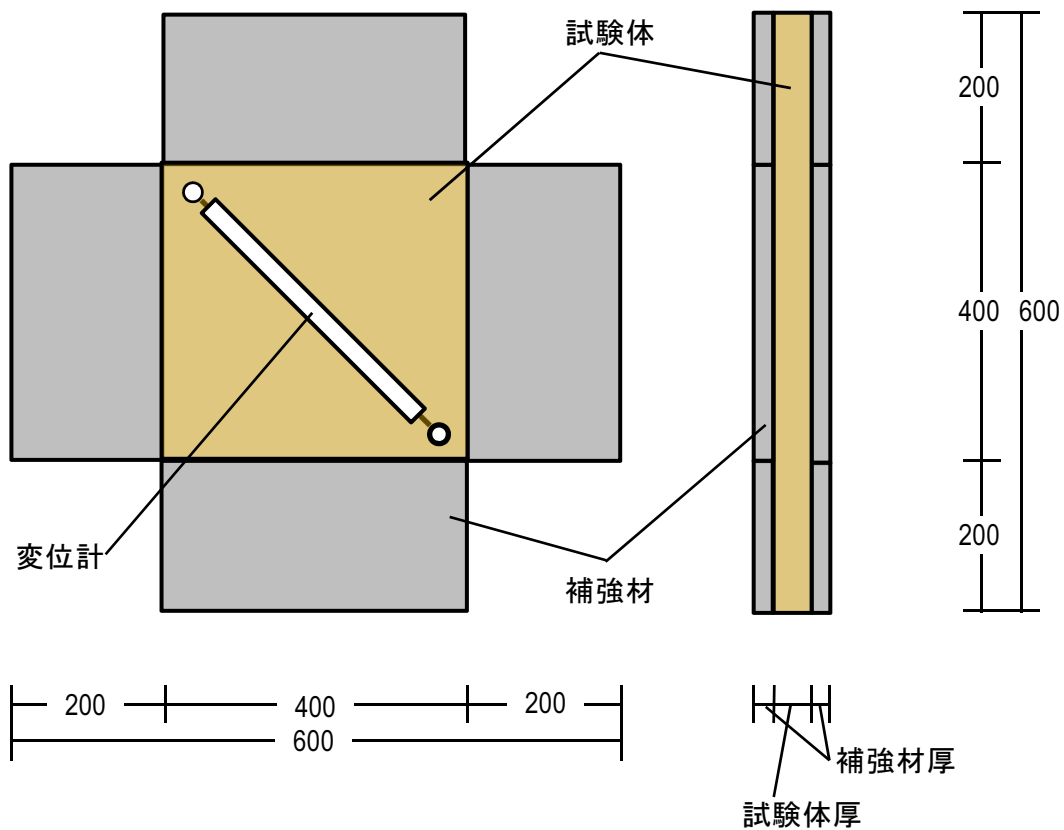


図 3.1-1 試験体の形状と寸法

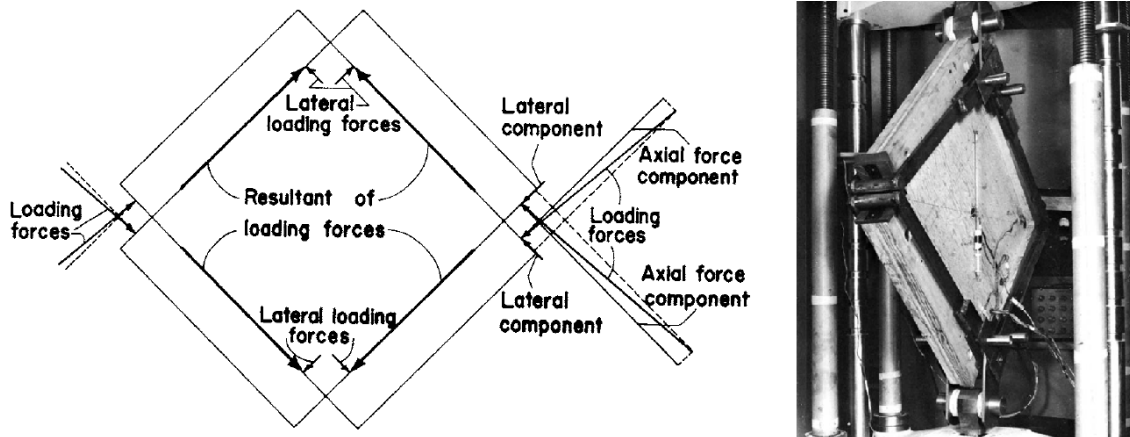


図 3.1-2 ASTM に示されている加力ジグの形状と試験体の収まり及び加力方法

一方、試験体のせん断変形量は試験体の対角線上に設置した変位計を用いて測定した。変形は試験体の両面に設置し、試験体の表裏にある変位計が互いに直交するように設置した。試験体の標点間距離は 410mm とした。



写真 3.1-1 試験の様子

3.1.4 結果と考察

表 3.1-1 に各仕様について面内せん断強度と面内せん断弾性係数を示す。なお、面内せん断強度、及び、面内せん断弾性係数は式 3.1-1 及び式 3.1-2 により求めた。

$$T = 0.707 \times \left(\frac{P}{L \times t} \right) \quad \dots \text{式 3.1-1}$$

$$G = 0.3536 \times \left(\frac{P}{\Delta} \right) \times \left(\frac{L_1}{L \times t} \right) \quad \dots \text{式 3.1-2}$$

ここで、
 T : 面内せん断強度 (N/mm²)
 P : 荷重 (N)
 L : せん断長さ (mm)
 t : 試験体の厚さ (mm)
 G : 面内せん断弾性係数 (N/mm²)
 P/Δ : 荷重変形曲線の傾き (N/mm)
 L_1 : 変位計の標点間距離 (mm)

以下、34mm 厚の試験結果について考察する。

面内せん断強度について、樹種がカラマツの試験体と樹種がスギの試験体のいずれも、直交層を 2 枚設けることによって、面内せん断強度は直交層がない場合の約 3 倍であった。また、カラマツの面内せん断強度とスギの面内せん断強度の比率は、直交層がない場合も直交層が 2 枚ある場合も、いずれも カラマツ : スギ $\approx 1.0 : 0.8$ であり、カラマツとスギのせん断の基準強度の比率 2.4:1.8 とほぼ同じであった。

面内せん断弾性係数について、樹種がカラマツの試験体と樹種がスギの試験体のいずれも、直交層を 2 枚設けることによって、面内せん断弾性係数は直交層がない場合の約 1.1~1.2 倍であった。また、カラマツの面内せん断弾性係数とスギの面内せん断弾性係数の比率は、直交層がない場合も直交層が 2 枚ある場合も、いずれも カラマツ : スギ $\approx 1.0 : 0.65$ であった。

表 3.1-1 面内せん断強度と面内せん断弾性係数

区分	直交層数／ 全層数	材厚 (mm)	樹種	面内せん断 強度 (N/mm ²)	面内せん断 弾性係数 (N/mm ²)
A 種	0/11	34	カラマツ	1.49	1066
B 種	2/11	34	カラマツ	5.03	1147
A 種	0/11	34	スギ	1.30	648
B 種	2/11	34	スギ	3.94	774
A 種	0/15	47	カラマツ	1.58	—
B 種	3/15	47	カラマツ	—	972
B 種	4/15	47	カラマツ	—	915

(注) 表中の「—」の欄は測定が適切に行われなかったため、再度試験を行う必要があることを示す。

3.1.5 まとめ

ASTM D2719-89(2007) Standard Test Methods for Structural Panels In Shear Through-the-Thickness 中の ” Large Panel Shear Test” に準じた方法により、構造用単板積層材の面内せん断強度と面内せん断弾性係数を実験により求めた。今後は、試験データをさらに充実させ、強度等級に与えられている基準値から面内せん断強度と面内せん断弾性係数を計算により誘導する方法について検討する必要がある。

3.2 Two-rail shear 法による LVL の面内せん断性能の測定

3.2.1 緒言

建築基準法の性能規定化に伴い、構造用材料の強度性能を統計的に保証することが要求されるようになった。これまで日本工業規格(JIS 規格)・日本農林規格(JAS 規格)等による認証を受けていることで、仕様規定に従えば使用することが認められていた材料も、統計的な強度性能の保証を行えば、仕様規定によらない用途・部位に使用することも可能となっている。建築物の構造安全上、最も重要な性能は耐震性能に代表される水平力に対する耐力性能である。木質系建築物では、水平耐力性能は耐力壁のせん断性能に依存する。また、耐力壁間に均等に外力を伝達するためには、水平構面のせん断性能が重要である。近年、木質系構造用面材料の使用量は急激に増加しているが、そのせん断性能については研究蓄積が極めて乏しく、評価法も確立していないのが現状である。本項では、木質系構造用面材料のせん断性能の測定方法について検討を行い、LVL の測定事例について比較を行った。

3.2.2 測定方法の比較

表 3.2-1 に面材料の主要な面内せん断性能測定法を示す。LW 改良法は、ASTM D 2719 -13 Method A を改良した方法で、Larsson-Westlund 法と呼ばれる、せん断面を 1 つ有する試験体を、2 つ連結した形状の試験体を用いるものである。曲げ試験に類似した加力方法が採用できること、せん断面の 4 辺を補強することから、せん断弾性係数(G)の測定に関しては最も精度が高いと考えられることが利点であるが、試験片形状が複雑なため加工が困難である。また、面内曲げ変形を生じさせるため、せん断面の引張側端部のスリットがモード I (開口)破壊してしまい、せん断強度(τ)の測定値は極めて低い値となる。Plate shear 法は ASTM D 3044-94(2011)に規定される方法で、試験片の対角線上の 2 点で支持し、他方の対角線上の 2 点で加力して面外曲げ変形を生じさせる方法である。試験片の加工が不要であるが、ねじりせん断法的一种であるため、 G 、 τ ともに層内せん断性能の影響を受ける。Edgewise shear(EWS)法は木質ボード類を対象とした ASTM D 1037-12 に規定される方法で、試験片の長辺のみを補強する。小試験片を用いるため簡便であるが、 G の測定は規定されていない。1999 年、構造用合板の JAS 規格に、1 級の要求性能である τ の測定法として導入されている。Two-rail shear(TRS)法は ASTM D 2719-13 Method C に規定される方法で、試験体の長辺のみを補強する。大型試験体を用いるため、 G 、 τ ともに実大性能が測定可能であるが、実施が困難である。TRS 法は 1998 年、建設省住宅局建築指導課国際基準調査官事務連絡に採用され、その後、枠組壁工法建築物構造計算指針に規定されている。各測定法とも長所・短所があるが、ここでは G 、 τ ともに測定可能な TRS 法を基準の測定方法として採用し、同測定法を用いた測定事例を示す。

3.2.3 実験方法

カラマツ(*Lalix leptolepis* Gordon) E90 等級単板を用いた構造用 LVL(11ply、公称厚さ 34mm、レゾルシノール樹脂)で、A 種(全層平行層)と B 種(表裏面から 3 層目が直交層)の 2 種類を供試した。測定は、ASTM D 2719-13 に準じて行った。図 3.2-1 にその詳細を示す。試験体の長手方向を表層単板の繊維方向および直交方向の 2 方向とした。試験体の長手方向の 1/4(端部)および 1/2(中央部)の位置の表裏面 4 カ所にゲージ長 10mm の 2 軸ひずみゲージを貼付し、せん断ひずみの測定を行った。平均変形速度を 1.0mm/min.とした。

表 3.2-1. 木質系面材の面内せん断性能測定方法の比較

測定法	試験体の寸法 形状	載荷方法	測定可能項目		特徴	規格・基準等
			G	τ		
LW改良法	小試験片 複雑	面内曲げ	○	×	スリットが モード I 破壊	ASTM D 2719-13 Method Aの改良
Plate shear法	小試験片 正方形	面外曲げ	△	△	層内せん断の 影響あり	ASTM D 3044-94 (2011)
Edgewise shear (EWS)法	小試験片 長方形	圧縮	△	○	木質ボード類 を対象	ASTM D 1037-12, 合板の日本農林規格
Two-rail shear (TRS)法	大型試験体 長方形	引張	○	○	実施が困難	ASTM D 2719-13 Method C, 枠組壁工法建築物構造計算指針

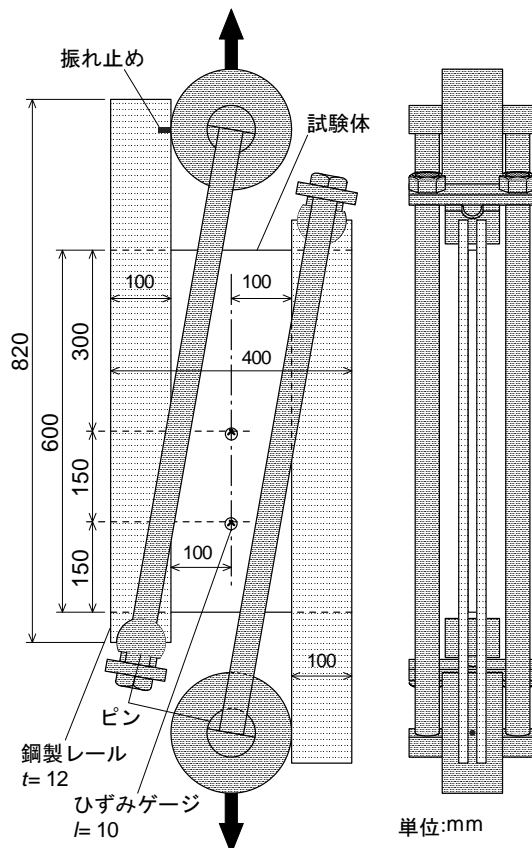


図 3.2-1. Two-rail shear(TRS)法の詳細

3.2.4 測定結果

測定結果を表 3.2-2 に示す。せん断強度 τ 、せん断弾性係数 G の算出は下式によって行った。

$$\tau = P_{\max}/(l \cdot t)$$

$$G = (\Delta P / \Delta \varepsilon) / (l \cdot t)$$

ここに、 P_{\max} : 破壊荷重(N)、 l : 試験体長さ(mm)、 t : 試験体厚さ(mm)、 $(\Delta P / \Delta \varepsilon)$: 荷重-ひずみ関係の直線部分の傾き(N)、 ε : 2 軸ひずみゲージによる各軸のひずみ測定値の絶対値の和。

表 3.2-2. 構造用 LVL の面内せん断性能測定結果

Sample ID	ρ (g/cm ³)	τ (MPa)	Pp/Pmax(%)	G(GPa)
K120-0/11-0-1	0.63	5.95	21.6	1.32
K120-0/11-90-1	0.69	1.89	68.0	0.807
K120-2/11-0-1	0.60	5.51	59.8	1.11
K120-2/11-90-1	0.64	5.12	52.8	0.767

表中の Sample ID は、樹種等級-直交層数/総 ply 数-試験体方向-通し番号を表し、K: カラマツ、120: E120 等級単板使用、0: 直交層を持たない(A 種)、2: 直交層が 2 層(B 種)、11: 11ply、0: 試験体短辺方向が 0° 方向(強軸)、90: 試験体短辺方向が 90° 方向(弱軸)を意味する。また、 ρ : 密度、Pp: 比例限上限荷重である。

A 種 LVL の場合、試験体の木取りによってせん断強度 τ の数値が大きく異なり、0° 方向試験体は 90° 方向試験体の 3 倍以上の数値となった。B 種 LVL の場合、試験体木取りの影響は小さく、ほぼ同程度の数値となっており、直交層単板による L 強度向上の効果が見られる。せん断弾性係数 G については、 τ ほど木取りの影響は大きくないが、A 種、B 種とも 0° 方向は 90° 方向の 1.5 倍程度の数値となった。0° 方向で比較すると、A 種は B 種の G より若干高い数値となったが、比例限上限荷重が著しく低く、たわみ設計の可能な荷重水準が低いことに注意が必要である。

図 3.2-2 に試験後の各試験体の破壊形態を示す。A 種試験体は、単板の繊維方向に繊維がずれるような亀裂が入り、脆的に破断していた。すなわち、破壊前の塑性変形量が小さく、破壊荷重以降は急速に破断することが特徴である。B 種試験体も最終的な破断時には同様の形態を示すが、亀裂は明確でなく、特に 0° 方向試験体の場合、破壊荷重以降の荷重負担能力は急激に低下することはなかった。



A種 0° 方向試験体



A種 90° 方向試験体



B種 0° 方向試験体



B種 90° 方向試験体

図 3.2-2. 供試試験体の破壊形態

3.2.4 まとめ

LVL の面内せん断性能を ASTM D 2719-13 Method C に規定される Two-rail shear(TRS)法に準じて測定した。LVL の面内せん断性能は A 種、B 種とも TRS 法によって測定可能であったが、A 種については脆的な傾向を示した。したがって、弾性係数の測定精度を高めるためには、変形速度を低くすることで、測定データ数を増加させる必要がある。さらに、面内せん断性能の強度特性値を蓄積し、単板の物性値から LVL の性能値を導出する方法を確立する必要がある。

第4章 支圧性能

4.1 背景

木質構造設計規準・同解説では集成材や製材を用いた曲げ降伏型接合部に対し、せん断耐力の計算式が記載されている。しかし、LVLについては支圧強度や割裂破壊定数等の特性値が整備されておらず、計算によりせん断耐力を求めるためのデータが不足している。また、一部のラミナを直角方向に配置させたB種LVLについても、基本的なデータを収集することが急務となっている。

本実験では、LVLの支圧試験、割裂試験を行い、樹種や直交層の影響について把握することを目的とした。

4.2 本試験概要

4.2.1 ボルトの支圧試験

樹種は木質構造設計規準・同解説で J1~J3 に分類されているカラマツ、ヒノキ、スギを用いた。LVL の単板構成は全 13 層のうち直交層が 0 層および 3 層の 2 種類とした。LVL の仕上がり厚さは 40mm である。試験体形状を図 0.1 に示す。縁端距離等の寸法の最小値は、ボルト径の定数倍として定められているので、これを満たすように決定した。

試験方法を図 0.2 に示す。試験方法は ISO 10984-2 の方法に準じ、円孔状の先孔を有する試験体に対して鋼板添え板二面せん断形式で圧縮方向に加力を行った。ボルト径は 16mm とし、ボルトの降伏が生じないように、強度区分 10.9 以上の鋼材を用いた。また、加力方向は表層繊維に対して平行のものと直角のもの 2 種類とした。試験シリーズ一覧を表 0.1 に示す。

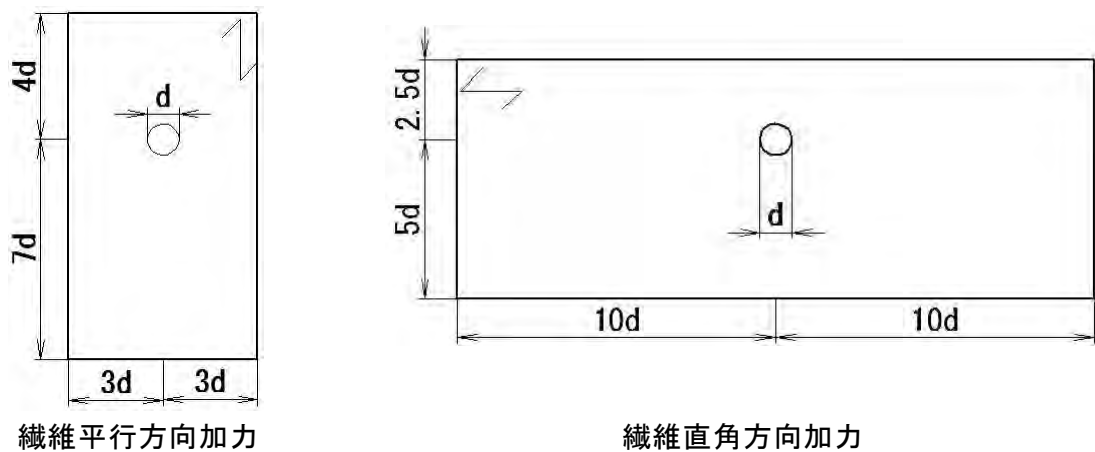


図 0.1 ボルト支圧試験 試験体概要



図 0.2 ボルト支圧試験 試験方法

表 0.1 ボルト支圧試験シリーズ一覧

直径	樹種	直交層	加力方向	
			繊維平行	繊維直角
12mm	カラマツ	0層	10体	10体
		3層	10体	10体
	スギ	0層	10体	10体
		3層	10体	10体
16mm	カラマツ	0層	10体	10体
		3層	10体	10体
	ヒノキ	0層	10体	10体
		3層	10体	10体
	スギ	0層	10体	10体
		3層	10体	10体
20mm	カラマツ	0層	10体	10体
		3層	10体	10体
	スギ	0層	10体	10体
		3層	10体	10体
計			280体	

4.2.2 釘の支圧試験

釘の支圧試験では鋼板添え板二面せん断形式とすることが難しいため、LVL 端部に釘をめり込ませる形式を採用することとした。試験体形状を図 0.3 に、試験方法を図 0.4 に示す。めり込み変位 5mm を確保できるように、厚さが接合具径よりわずかに小さい加力治具を用いた。樹種および層構成についてはボルトの支圧試験と同様である。接合具は CN50 くぎおよび CN90 くぎの 2 種類を用い、先穴（半円溝）を設けずに試験を行った。また、積層面に打たれた状態を想定し、単板の積層面に平行な方向についても試験を行った。試験シリーズ一覧を表 0.2 に示す。

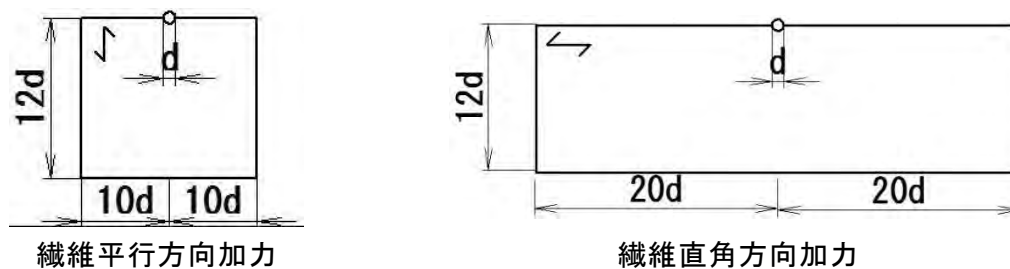


図 0.3 くぎ支圧試験 試験体例

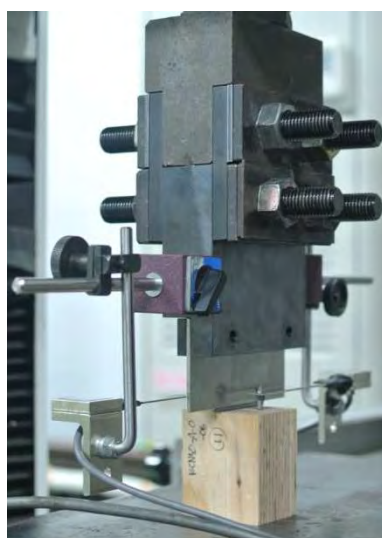


図 0.4 くぎ支圧試験 試験方法

表 0.2 くぎ支圧試験シリーズ一覧

直径	樹種	直交層	加力方向			
			繊維平行	繊維直角	平行(層内)	直角(層内)
2.85mm (CN50)	カラマツ	0層	10体	10体	10体	10体
		3層	10体	10体		
	スギ	0層	10体	10体	10体	10体
		3層	10体	10体		
4.1mm (CN90)	カラマツ	0層	10体	10体	10体	10体
		3層	10体	10体		
	スギ	0層	10体	10体	10体	10体
		3層	10体	10体		
計			240体			

LVL 接合部の繊維直角方向加力試験

木質構造設計規準・同解説で用いられている割裂破壊定数を算出するために、LVL 接合部の繊維直角方向加力試験を行った。

試験体と試験方法概要を図 0.5 に示す。LVL の条件は支圧試験と同様とした。ただし、加力方向は表層の繊維に直角方向のみとした。試験体下部の治具との留めつけ部については、幅方向になるべく均等に応力が作用するように複数本のボルトを用いた。ボルト径は 12mm、16mm、20mm の 3 種類とした。試験シリーズ一覧を表 0.3 に示す。

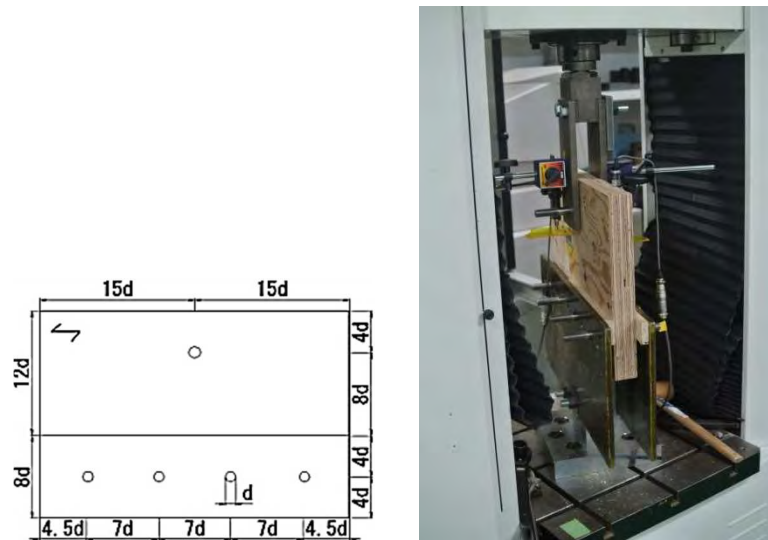


図 0.5 繊維直角方向加力試験試験体と試験方法

表 0.3 繊維直角方向加力試験シリーズ一覧

直径	樹種	直交層	加力方向
			繊維直角
12mm	カラマツ	0層	6体
		3層	6体
	スギ	0層	6体
		3層	6体
16mm	カラマツ	0層	6体
		3層	6体
	スギ	0層	6体
		3層	6体
20mm	カラマツ	0層	6体
		3層	6体
	スギ	0層	6体
		3層	6体
計			72体

4.3 試験結果

各試験より得られたみかけの応力度と変位の関係を図 0.6 から図 0.16 に示す。なお、結果の図に記載されている試験体名は、「樹種_接合具_LVL 種類_加力方式 - 試験体番号」となっており、それぞれ樹種 (K: カラマツ、H: ヒノキ、S: スギ)、接合具 (BT〇〇: ボルト、CN〇〇:くぎ)、LVL 種類 (A、B)、加力方式 (数字は繊維に対する角度、L を付したものは層内加力、C は接合部の繊維直角方向加力試験) である。

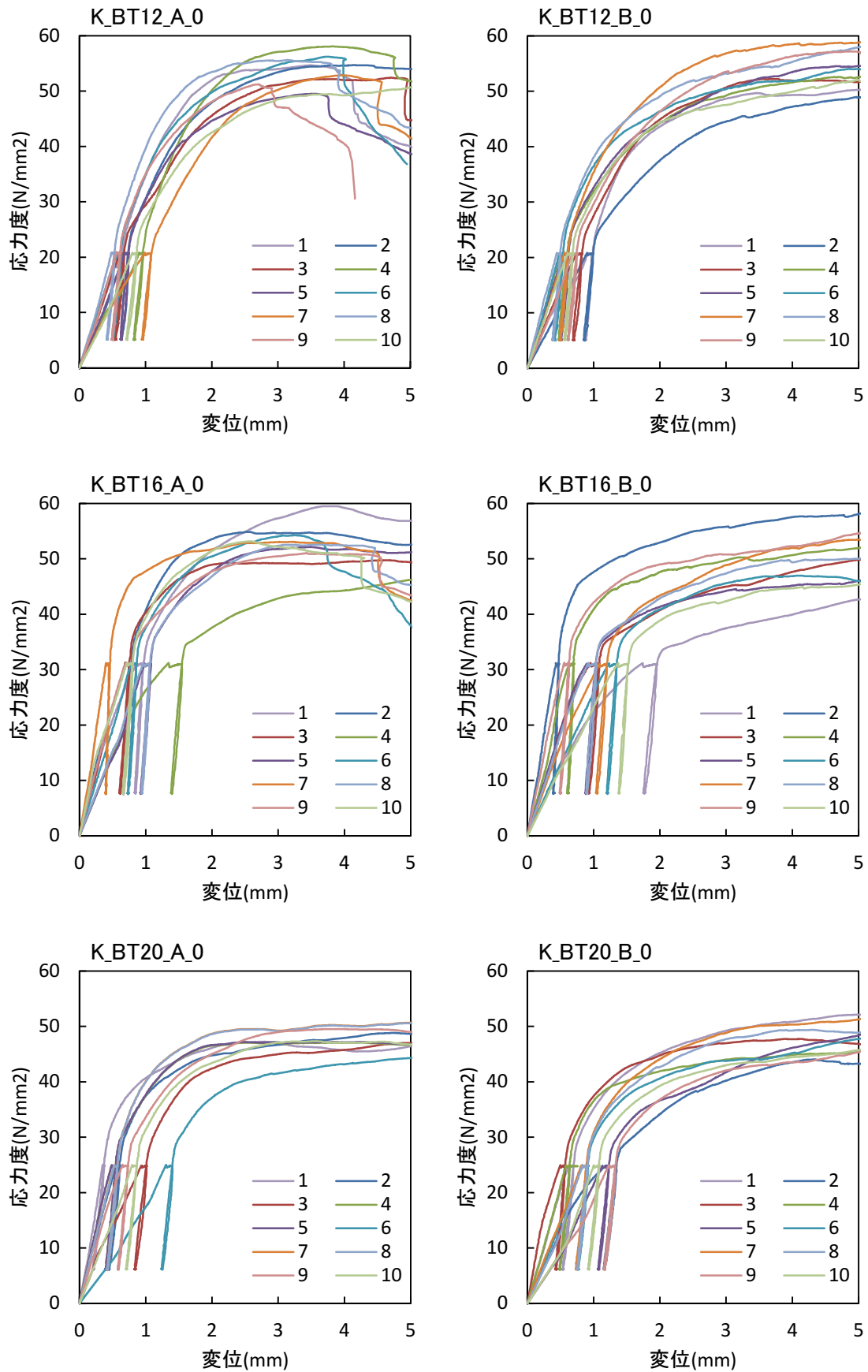


図 0.6 ボルト支圧試験 応力度-変位関係 (カラマツ、繊維平行方向加力)

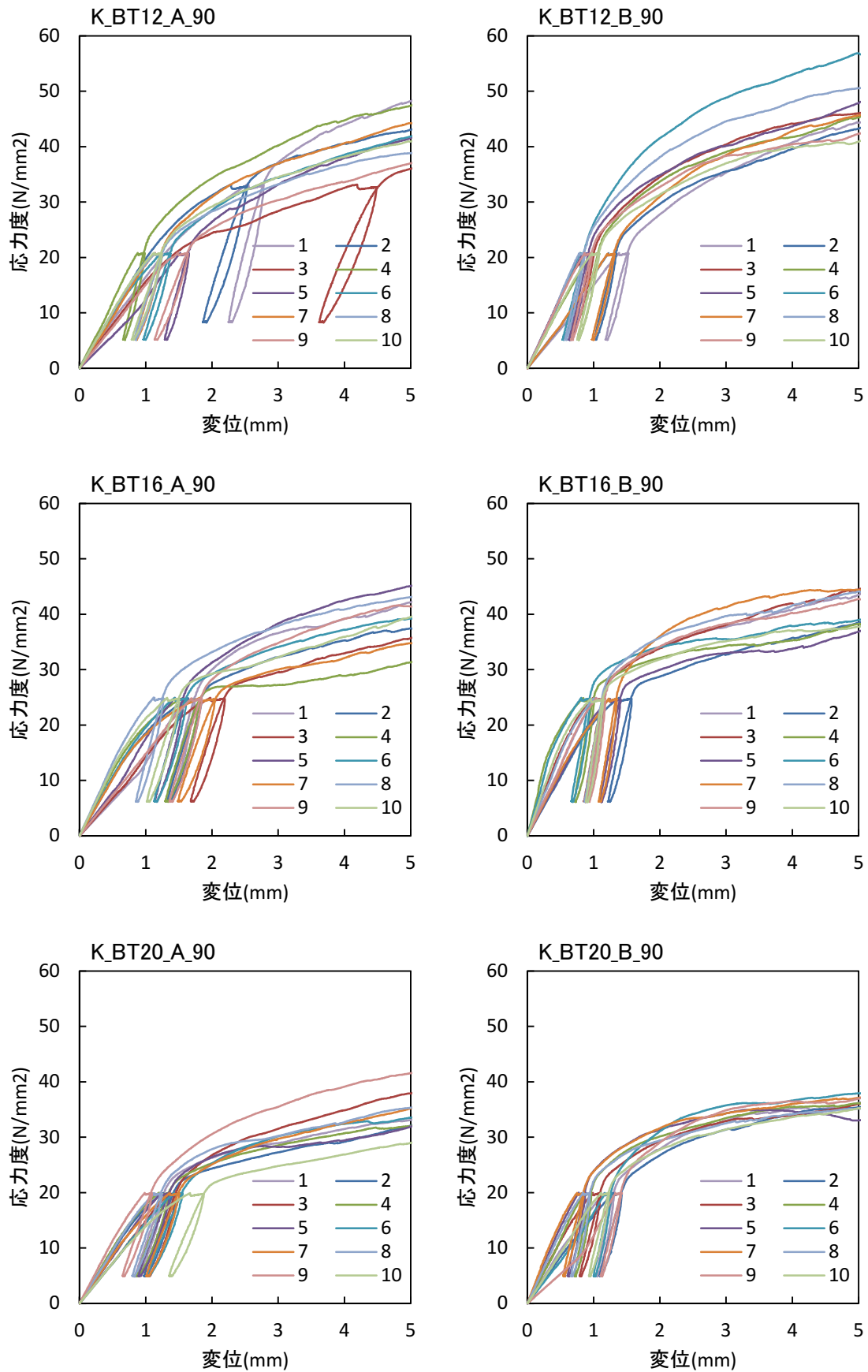


図 0.7 ボルト支圧試験 応力度-変位関係 (カラマツ、繊維直角方向加力)

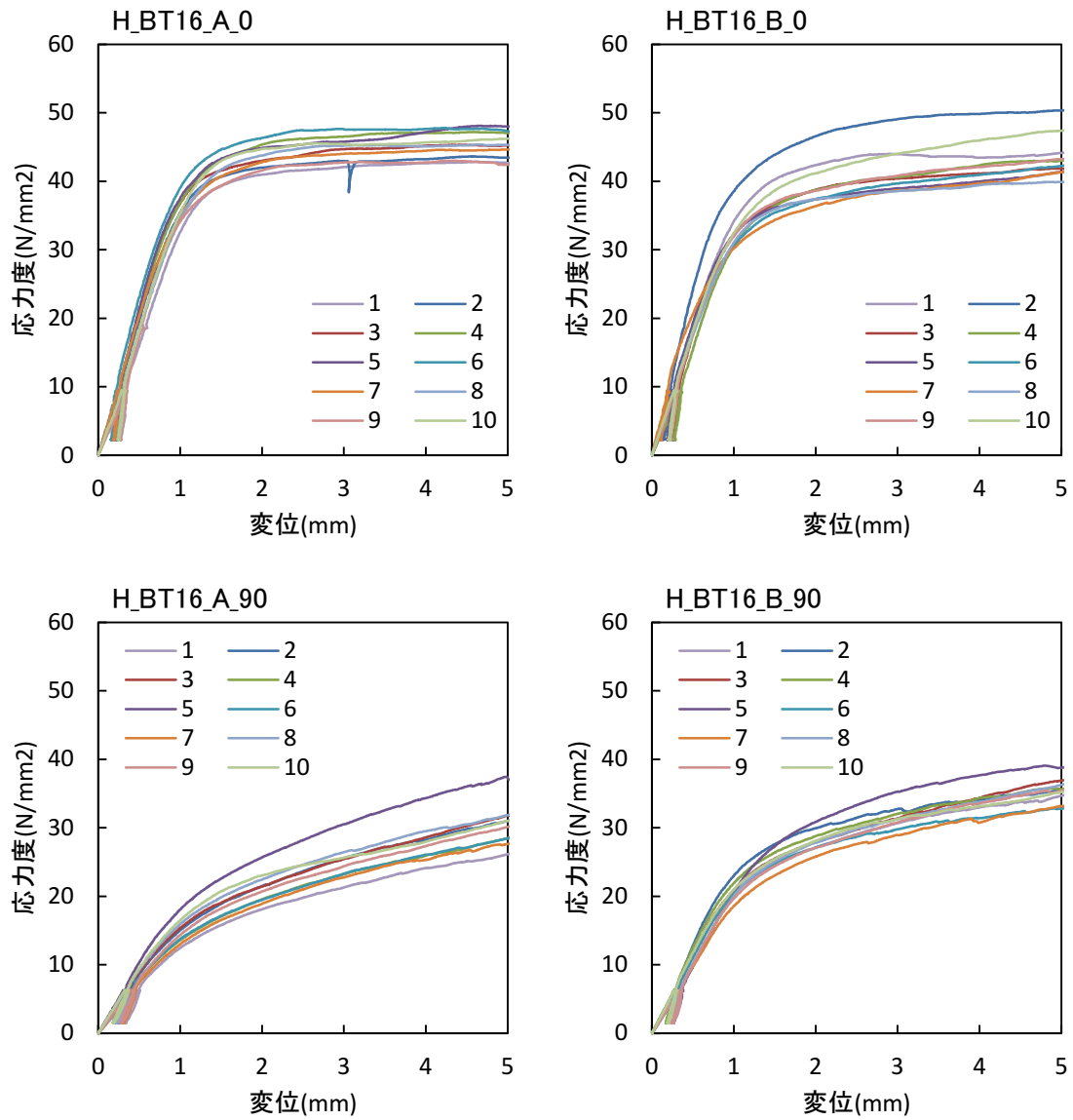


図 0.8 ボルト支圧試験 応力度-変位関係 (ヒノキ、M16)

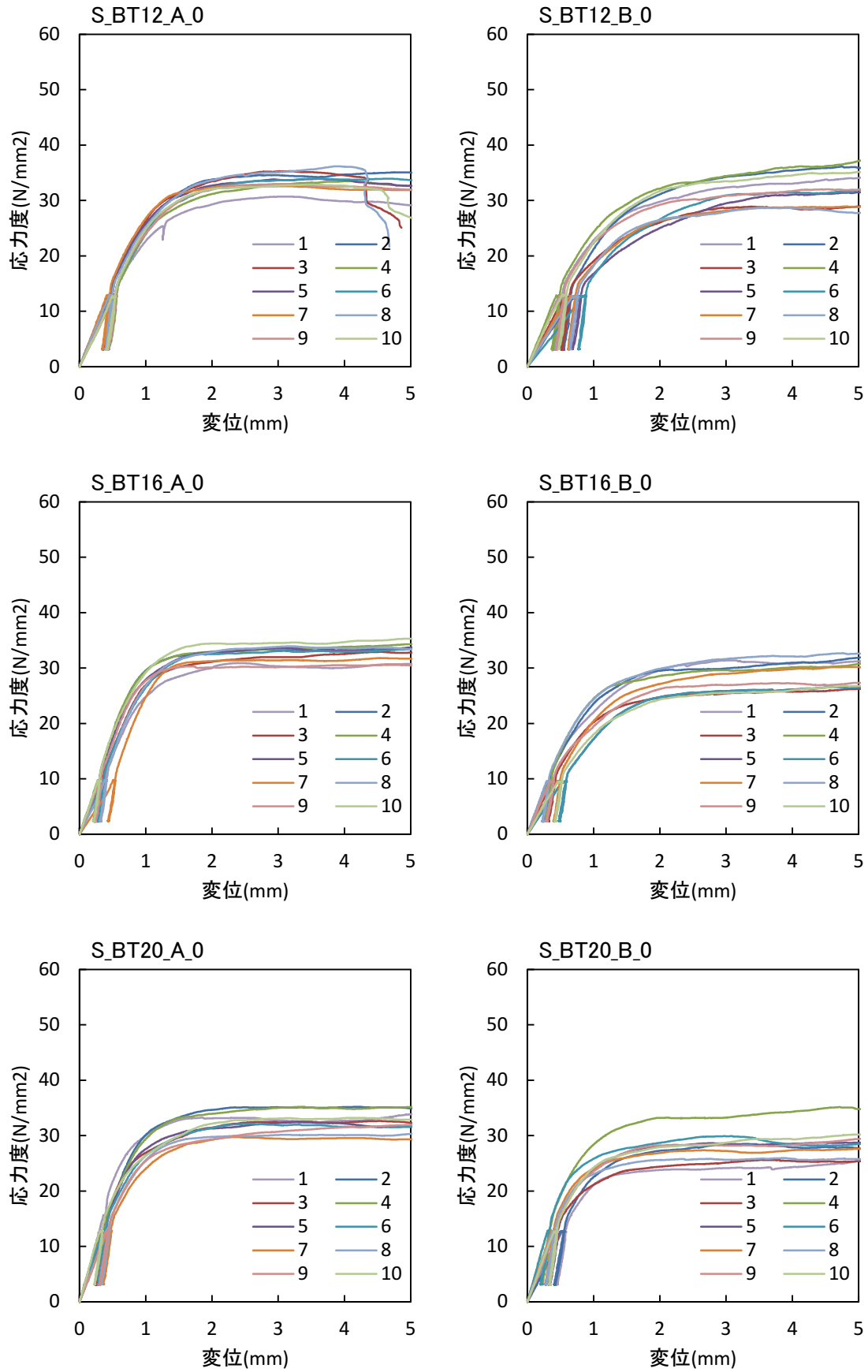


図 0.9 ボルト支圧試験 応力度-変位関係 (スギ、繊維平行方向加力)

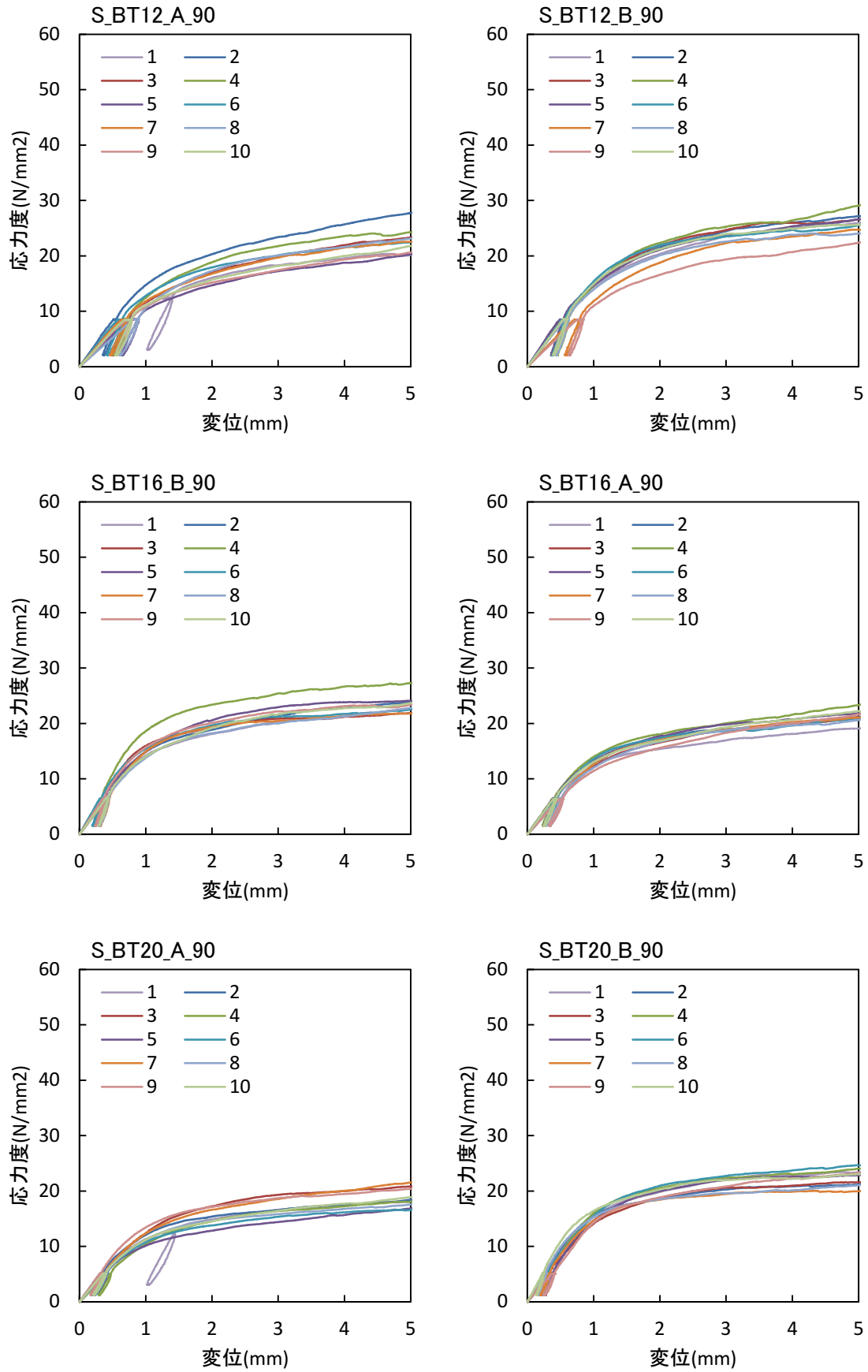


図 0.10 ボルト支圧試験 応力度-変位関係 (スギ、繊維直角方向加力)

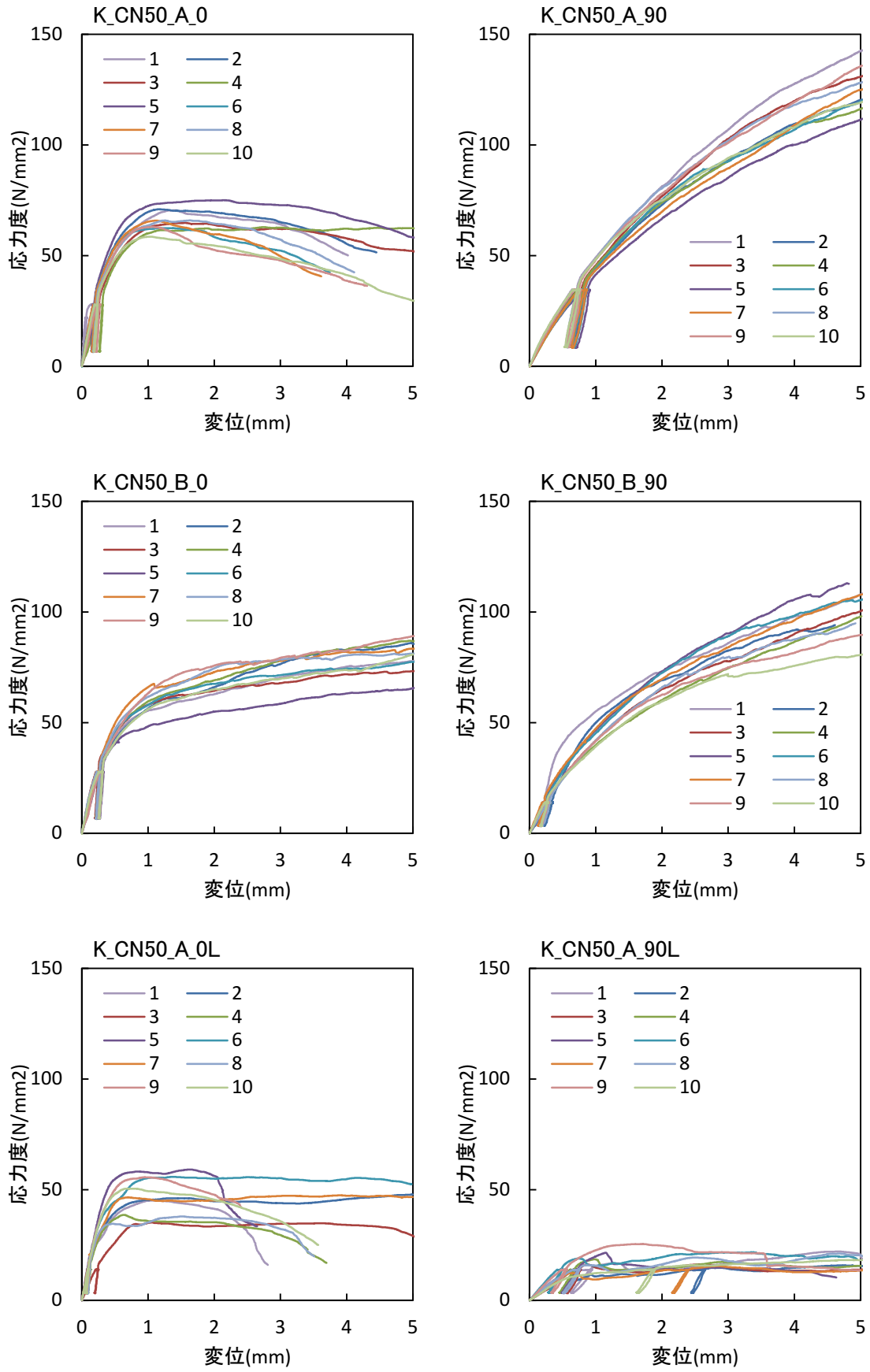


図 0.11 くぎ支圧試験 応力度-変位関係 (カラマツ、CN50 くぎ)

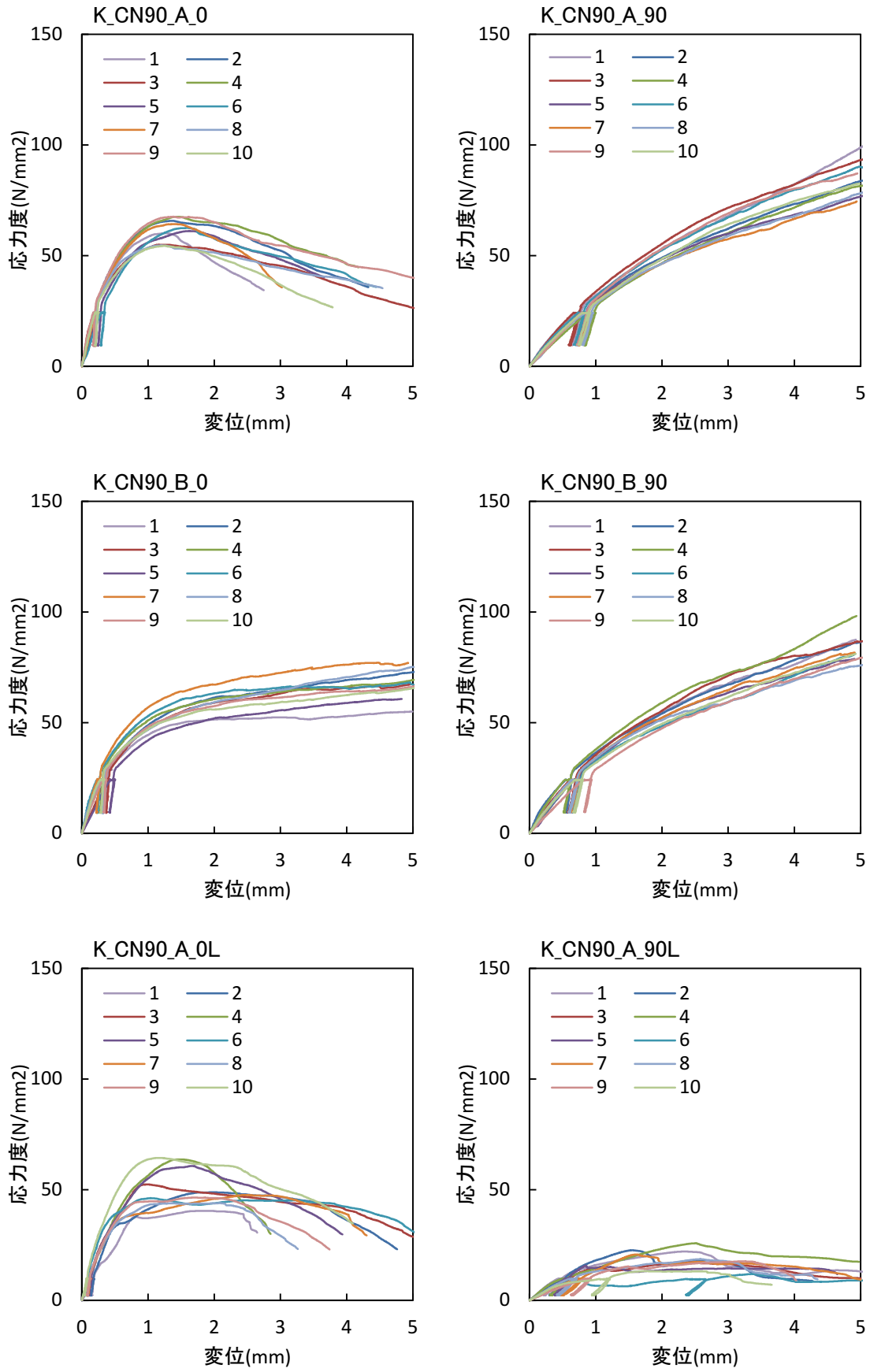


図 0.12 くぎ支圧試験 応力度-変位関係 (カラマツ、CN90 くぎ)

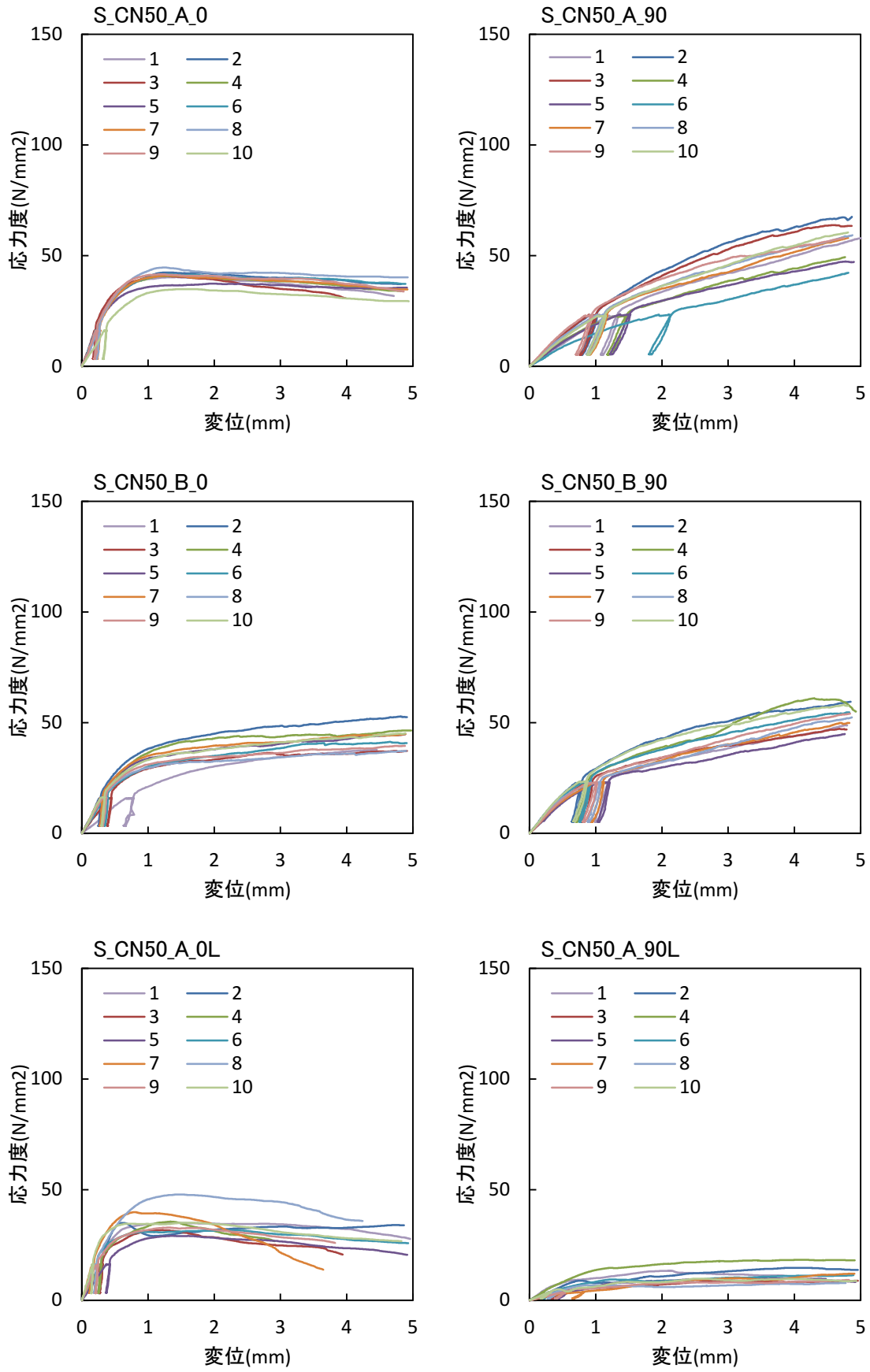


図 0.13 くぎ支圧試験 応力度-変位関係 (スギ、CN50 くぎ)

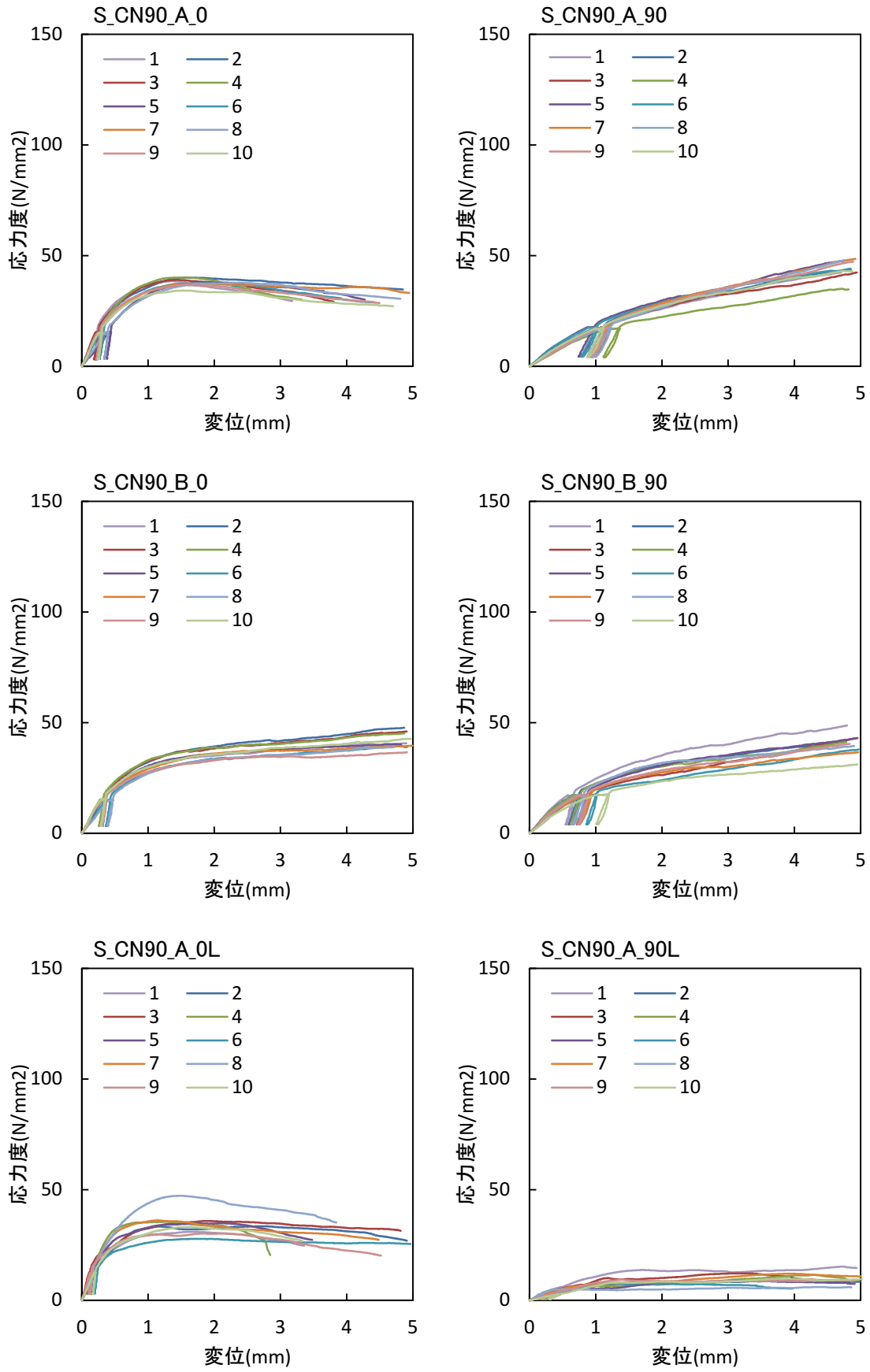


図 0.14 くぎ支圧試験 応力度-変位関係 (スギ、CN90 くぎ)

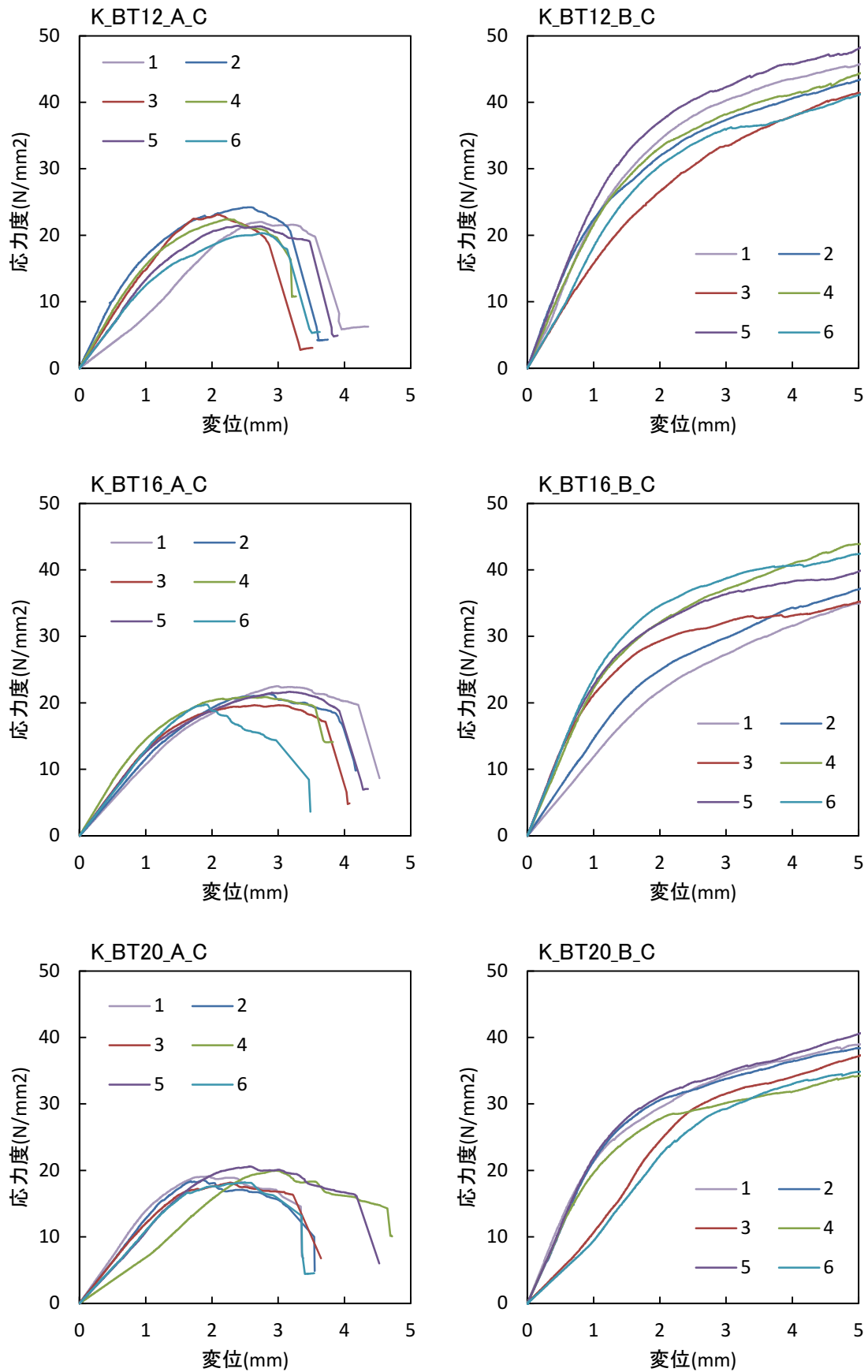


図 0.15 接合部繊維直角方向加力試験 応力度-変位関係 (カラマツ)

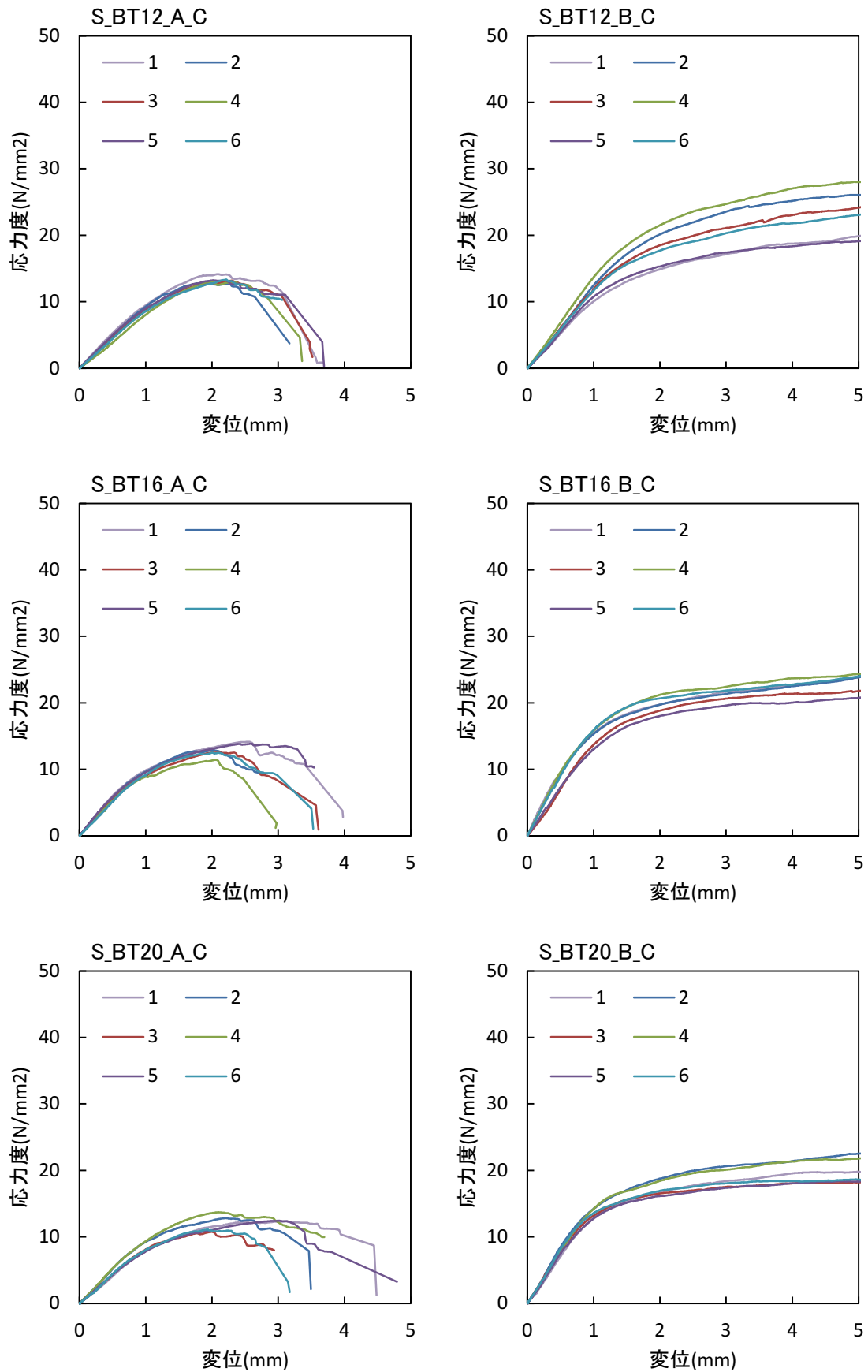


図 0.16 接合部繊維直角方向加力試験 応力度-変位関係 (スギ)

4.3.1 ボルト支圧試験

ボルト支圧試験における代表的な荷重変位関係を図 0.17 に示す。繊維平行方向加力を行った試験シリーズでは降伏後に荷重が横ばいになるのに対し、繊維直角方向加力を行った場合は降伏後に荷重が増加する様子が見られた。直交層を有する B 種 LVL では、加力方向による支圧特性の違いがやや小さくなる様子が確認された。

変位 5mm 時の荷重を支圧面積で除することで、みかけの支圧強度を算出した。また計算値として、平行方向の支圧強度 $F_{e//}$ を(0.1)式より、直交方向の支圧強度 $F_{e\perp}$ を(0.2)式より求めた。

$$F_{e//} = 90.7(1 - 0.00635d)r \quad (0.1)$$

$$F_{e\perp} = 67.6(1 - 0.0219d)r \quad (0.2)$$

ここで、 F_e : 支圧強度(N/mm²)、 d : 接合具径(mm)、 r : 材の比重(g/cm³)

ボルト接合具の支圧強度の実験値および計算値との比較を表 0.4、図 0.18 および図 0.19 に示す。繊維平行方向加力を行ったシリーズでは、直交層の有無による違いはあまり見られなかった。繊維直角方向加力を行ったシリーズでは、全体的に B 種 LVL を用いた試験体の方がやや大きい値を示した。支圧強度の計算値は、繊維平行方向加力試験体では同程度、繊維直角方向加力試験体ではやや安全側の計算結果となったが、樹種をすぎとしたシリーズでは計算値が高めに算出される結果となった。

試験後の破壊の様子を図に示す。A 種 LVL の繊維平行方向加力試験体では最終的に割裂により破壊に至るものが多く見られたのに対し、B 種 LVL の場合はボルトのめり込みが進行し、破壊には至らなかった。

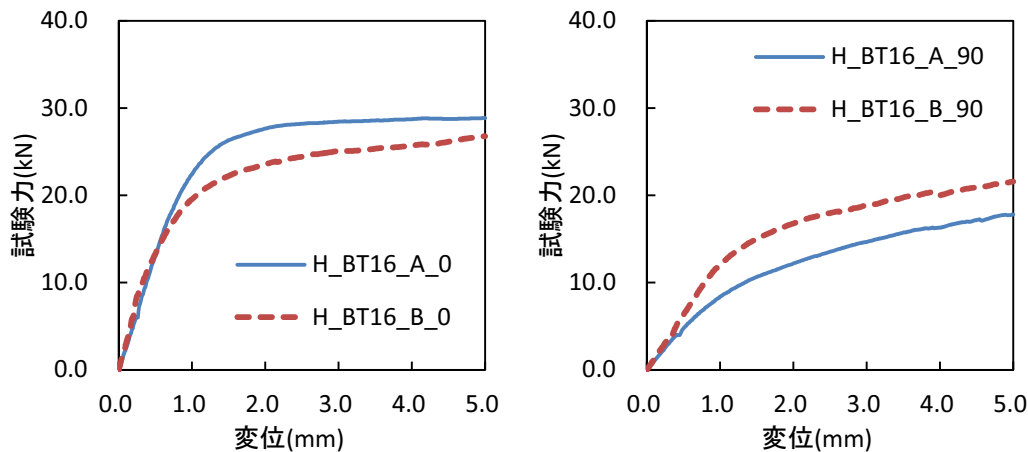


図 0.17 ボルト支圧試験 代表的な荷重変位曲線
(左：繊維平行方向加力、右：繊維直角方向加力)

表 0.4 ボルト支圧試験 実験値と計算値

角度	ボルト	主材	LVL	実験値(Mpa)	標準偏差	計算値(Mpa)	比率	
平行	12mm	カラマツ	0層	53.59	2.70	53.38	1.00	
			3層	53.85	3.28	52.00	1.04	
		スギ	0層	33.71	1.56	37.90	0.89	
			3層	32.42	3.09	37.49	0.86	
	16mm	カラマツ	0層	52.64	3.46	51.79	1.02	
			3層	49.88	4.73	50.38	0.99	
		ヒノキ	0層	45.39	1.91	44.14	1.03	
			3層	43.48	3.15	44.17	0.98	
	スギ	0層	33.02	1.51	37.83	0.87		
		3層	29.04	2.56	36.29	0.80		
		20mm	カラマツ	0層	47.31	2.02	50.19	0.94
				3層	47.69	2.65	49.14	0.97
スギ	0層		32.67	1.81	36.50	0.89		
	3層		28.64	2.88	35.45	0.81		
直角	12mm	カラマツ	0層	41.85	4.02	31.61	1.32	
			3層	46.29	4.62	30.90	1.50	
		スギ	0層	22.65	2.23	23.19	0.98	
			3層	25.76	1.82	22.72	1.13	
	16mm	カラマツ	0層	38.96	4.23	28.04	1.39	
			3層	40.93	3.14	27.01	1.52	
		ヒノキ	0層	30.39	3.12	23.73	1.28	
			3層	35.48	1.78	23.98	1.48	
	スギ	0層	21.30	1.10	20.45	1.04		
		3層	23.38	1.57	20.11	1.16		
		20mm	カラマツ	0層	34.15	3.55	24.22	1.41
				3層	36.10	0.96	23.53	1.53
	スギ		0層	18.73	1.69	17.63	1.06	
			3層	22.51	1.48	17.28	1.30	

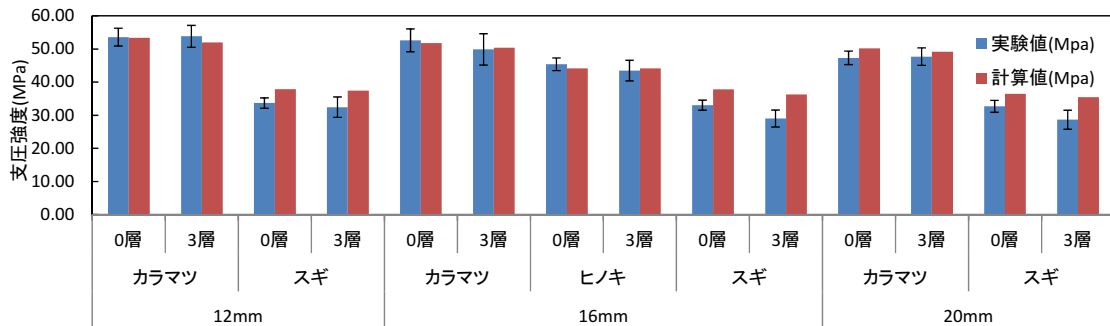


図 0.18 ボルト支圧試験 実験値と計算値の比較 (繊維平行方向加力)

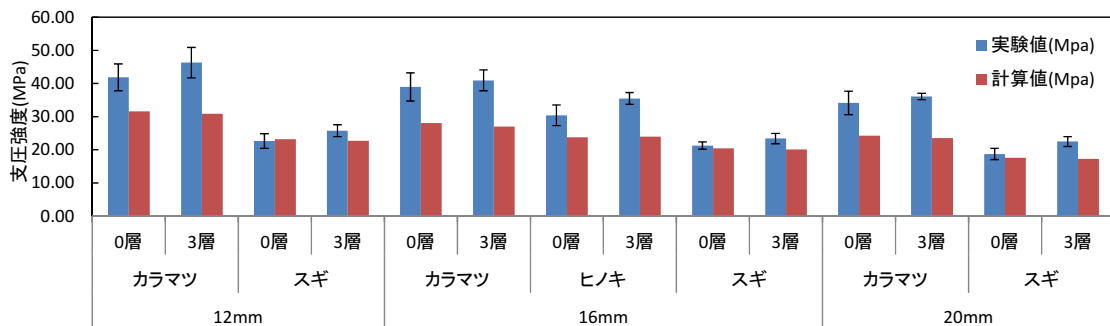


図 0.19 ボルト支圧試験 実験値と計算値の比較 (繊維直角方向加力)

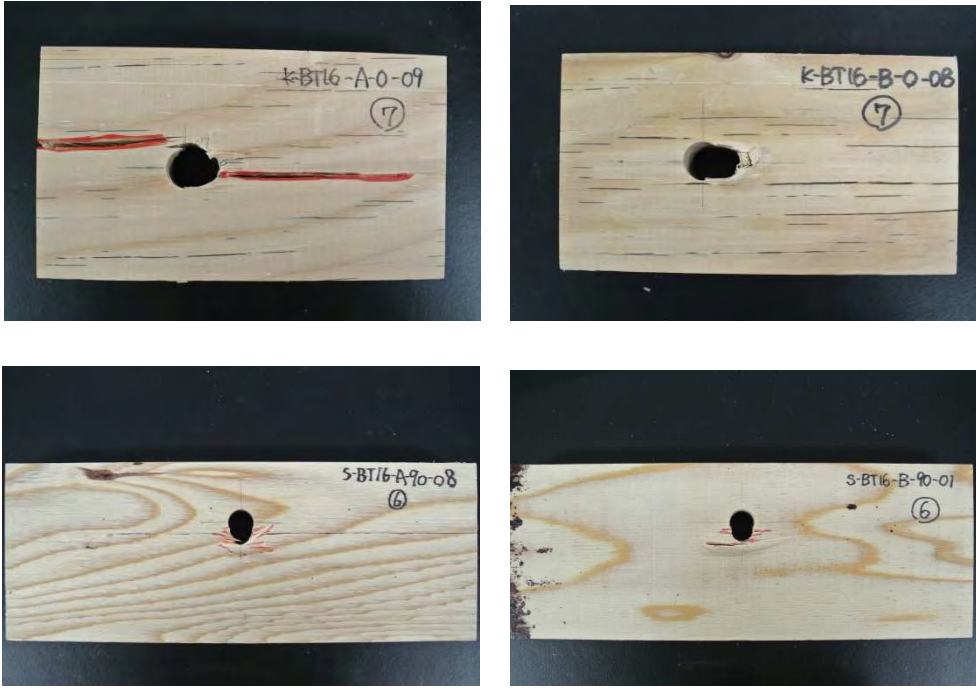


図 0.20 ボルト支圧試験 試験後の様子（左：A種、右：B種）

4.3.2 くぎ支圧試験

代表的な荷重変位曲線を図 0.21 に示す。繊維平行方向加力を行った試験体 (0, 0L) では、変位 1mm 程度で最大荷重を迎えた後に荷重が低下していった。低下の度合いは CN90 を用いた試験体の方が顕著であった。これは LVL の割裂の進行による。繊維直角方向加力、および B 種 LVL の繊維平行方向加力試験体においては変位が 5mm に至るまで荷重低下は見られなかった。LVL の層内に加力した試験体のうち、繊維直角方向となる試験体 (90L) においては、もっとも低い耐力を示した。

最大荷重を支圧面積で除して求めたみかけの支圧強度を表 0.5 および図 0.22 に示す。変位 5mm までの最大荷重をもとに算出しているため、荷重低下を生じなかった試験シリーズにおいて特に高い値となった。

破壊の様子を図 0.24 に示す。一部の試験体では割れの進展による荷重低下が確認された。

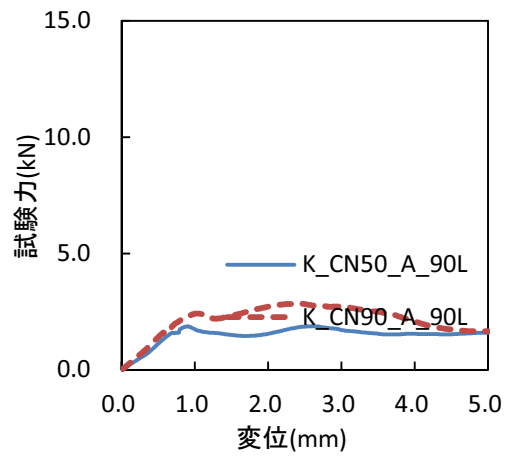
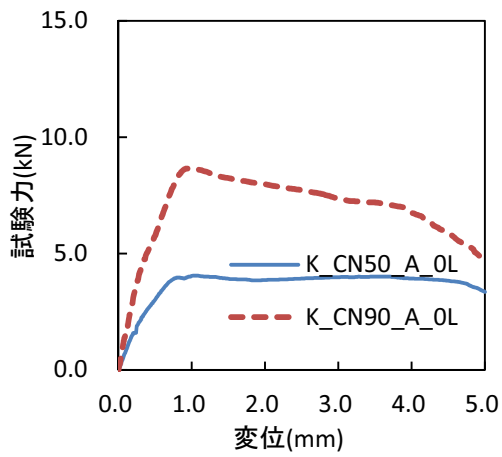
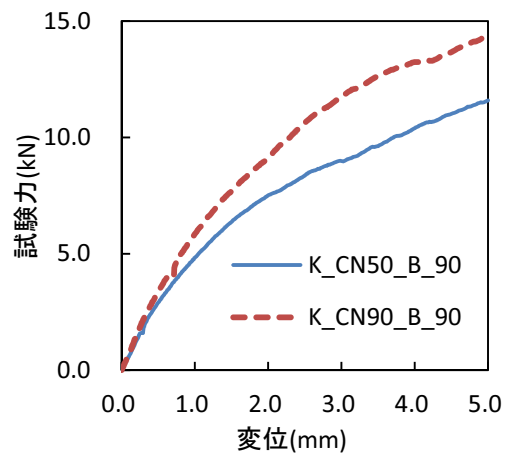
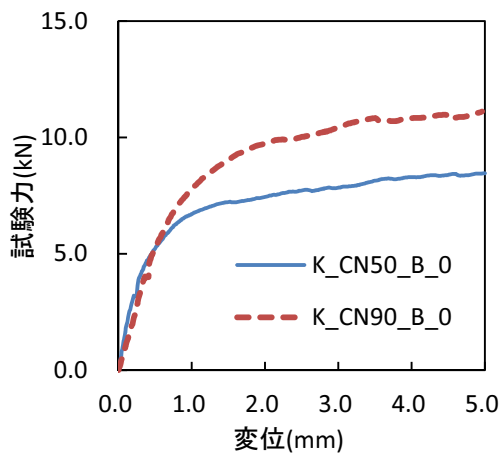
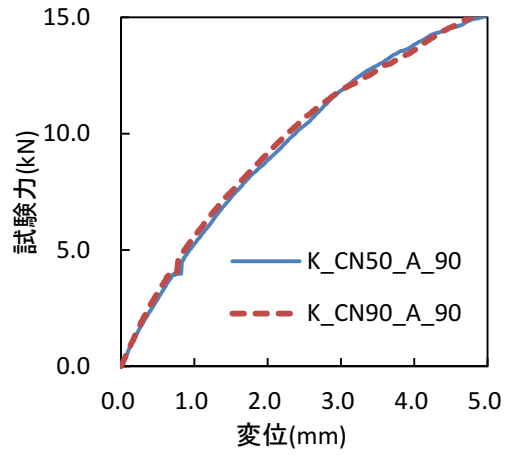
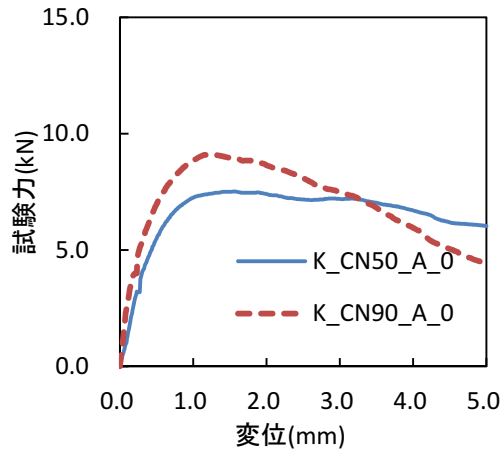


図 0.21 くぎ支圧試験 代表的な荷重変位曲線

表 0.5 くぎ支圧試験結果

加力形式	角度	樹種	直交層	Fe_max		Fe_d/2	
				実験値(Mpa)	標準偏差	実験値(Mpa)	標準偏差
繊維平行	CN50	カラマツ	0層	66.0	4.89	64.84	5.32
			3層	80.2	7.06	62.84	5.47
		スギ	0層	61.2	5.18	56.32	6.66
			3層	67.7	6.61	58.78	5.19
	CN90	カラマツ	0層	40.5	2.69	40.23	2.67
			3層	42.7	5.01	34.78	4.69
		スギ	0層	37.9	1.71	36.97	1.70
			3層	41.7	3.55	35.99	2.21
繊維直角	CN50	カラマツ	0層	124.8	9.44	59.93	3.71
			3層	99.0	9.59	54.93	4.84
		スギ	0層	84.5	7.68	50.40	3.21
			3層	83.4	6.44	52.51	4.17
	CN90	カラマツ	0層	56.3	7.75	27.87	4.85
			3層	53.0	5.39	30.92	3.50
		スギ	0層	44.2	4.04	27.54	2.08
			3層	40.3	4.62	29.15	3.71
繊維平行 (層内)	CN50	カラマツ	0層	47.3	8.21	45.73	8.30
		スギ	0層	51.4	8.52	49.00	6.62
	CN90	カラマツ	0層	35.3	5.26	34.48	5.43
		スギ	0層	34.5	5.22	33.54	4.70
繊維直角 (層内)	CN50	カラマツ	0層	19.6	3.27	14.78	4.10
		スギ	0層	18.5	4.34	16.10	4.19
	CN90	カラマツ	0層	11.6	3.16	8.57	2.81
		スギ	0層	10.2	2.61	8.42	2.16

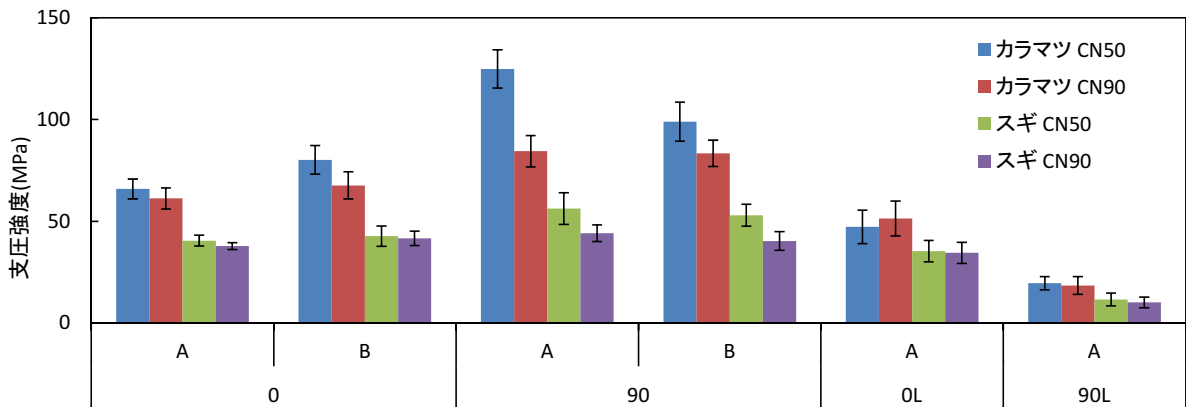


図 0.22 くぎ支圧強度 (Fe_max) の比較

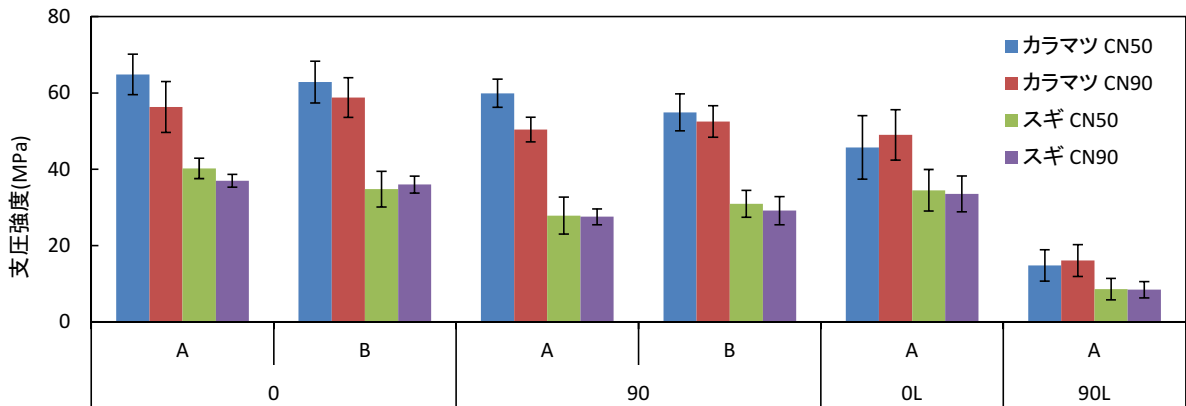


図 0.23 くぎ支圧強度 (Fe_d/2) の比較



図 0.24 くぎ支圧試験 試験後の様子

4.3.3 繊維直角方向加力試験

繊維直角方向加力試験の代表的な荷重変位曲線を図 0.25 に、試験結果を表 0.6 に示す。また、試験後の破壊の様子を図 0.26 に示す。A 種では全て割裂により破壊に至ったが、B 種ではボルトのめり込みが進行し、割裂破壊を生じなかった。これは直交層が割裂に対して抵抗しているためであると考えられる。

得られた試験結果を次式に代入して、割裂破壊定数 C_r を算出した。

$$P_{max} = 2C_r l \sqrt{h_e} \dots \dots (3)$$

ここで、 l : 試験体厚さ、 h_e : 加力側端距離

割裂破壊定数 C_r の値は表 0.6 に合わせて示した。B 種 LVL については割裂破壊を生じなかったため、割裂破壊定数の算出は行わなかった。いずれの値も木質構造設計規準における製材の値を上回る結果となった。

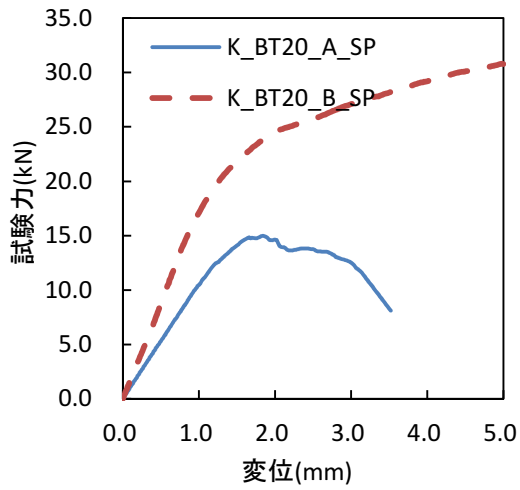
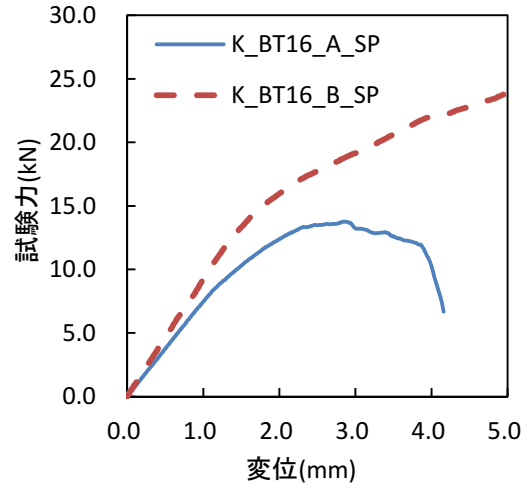
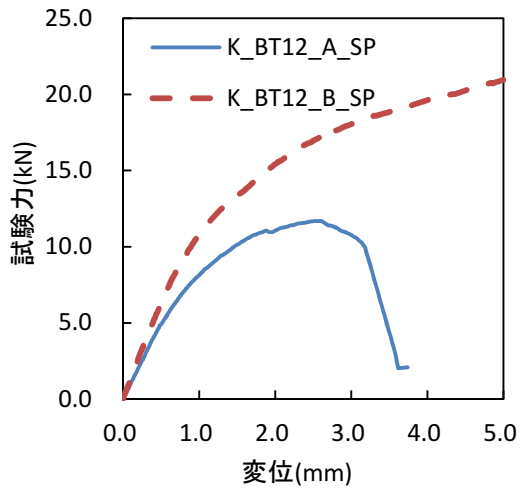


図 0.25 繊維直角方向加力試験 荷重変位曲線

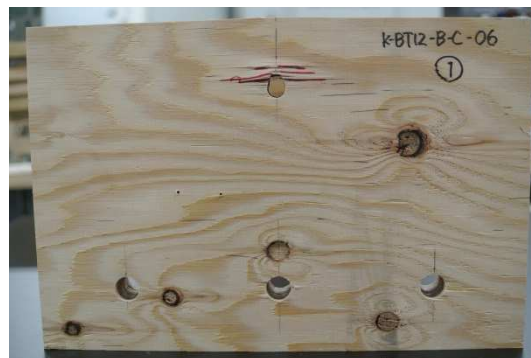




図 0.26 繊維直角方向加力試験 試験後の様子

表 0.6 繊維直角方向加力試験結果

樹種	直径	直交層	最大荷重 (kN)	標準偏差	割裂破壊定数 $Cr(N/mm^{1.5})$	標準偏差
カラマツ	12mm	0層	10.74	0.65	19.26	1.16
		3層	21.20	1.21	-	-
	16mm	0層	13.53	0.70	20.96	1.09
		3層	24.61	2.37	-	-
	20mm	0層	15.38	0.80	21.34	1.11
		3層	29.84	1.97	-	-
スギ	12mm	0層	6.25	0.21	11.55	0.39
		3層	11.10	1.62	-	-
	16mm	0層	8.06	0.58	12.90	0.93
		3層	14.56	0.94	-	-
	20mm	0層	9.62	0.92	13.65	1.31
		3層	15.67	1.43	-	-

4.4 まとめ

本章では、LVLの支圧強度や割裂破壊定数に関するデータの収集、樹種や直交層の影響について把握することを目的として、LVLの支圧試験、割裂試験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

LVLのボルト支圧強度はA種構成、B種構成ともに、木質構造設計規準に示されている製材の基準支圧強度を上回る結果となった。また、密度と接合具径を用いた計算式による比較の結果、製材と同程度の支圧強度を有することが確認された。

LVLのくぎ支圧強度はA種構成、B種構成ともに、繊維直角方向（層内）加力試験体を除いて高い値を示した。繊維直角方向（層内）加力試験体では割れの進展による荷重低下が確認され、低い支圧強度となった。

LVLの割裂破壊定数は木質構造設計規準に示されている製材の値と同等以上であった。B種LVLにおいては直交層の割裂抑制効果により、繊維直角方向加力においても割裂が生じなかった。

第5章 釘接合部性能

5.1 背景

5.1.1 目的

本研究の目的は、2x4 製材の代替として LVL を使用する場合を想定して、軸組や枠組に LVL を用いた設計に必要なデータとなる、LVL と合板を釘打ち接合した試験体の一面せん断試験を行い、面材釘性能を確認することである。

5.1.2 接合具

本研究に用いた釘と面材の組み合わせは、2x4 壁を想定した 12mm 合板+CN50 釘、および 15mm 合板+CN65 釘である。CN50 釘および CN65 釘については、頭部径、胴部径、および 10 本当たりの釘重量の測定結果より、胴部径（平均値）が J I S A5508 に示される寸法値に最も近いアメテイ製の釘を実験に使用することとした。

5.2 方法

5.2.1 試験体図

接合部性能は図 5.2.1-1 に示すロケット型試験体により評価した。部材と接合部のパラメータを表 5.2.1-1 に示す。切断した LVL および合板を恒温恒湿器(エスペック製 PL-4KP)中で 20°C60%にて 7 日間程度養生し、24 時間毎の重量変化率が 0.1%以下となったことを確認した後釘打ちして試験体を作製し、再び恒温恒湿器中で 20°C60%にて 4 日以上養生した後、順次試験に供した。

表 5.2.1-1 試験体名称、および各試験体を構成する部材の種類と接合具のパラメータ		試験体名称	主材種類 (公称厚さ 40mm、13plyLVL/キータック製)	側材種類と接合具
HA50			A 種(直交層なし) 厚さ実測値 39.67mm	
HB50	ヒノキ		B 種(表層より 3 層目と中心に直交層) 厚さ実測値 39.53mm	
SA50			A 種(60E 単板/直交層なし) 厚さ実測値 38.84mm	側材：12mm 合板 (針葉樹構造用合板 特 類 2 級/スギ・カラマツ 複合/セイホク製) 接合具：CN50 釘 (アマテイ製)
SB50	スギ		B 種(60E 単板/表層より 3 層目と中心に直交層) 厚さ実測値 38.75mm	
KA50			A 種(120E 単板/直交層なし) 厚さ実測値 40.07mm	
KB50	カラマツ		B 種(120E 単板/表層より 3 層目と中心に直交層) 厚さ実測値 40.16mm	
HA65			A 種(直交層なし) 厚さ実測値 39.60mm	
HB65	ヒノキ		B 種(表層より 3 層目と中心に直交層) 厚さ実測値 39.63mm	
SA65			A 種(60E 単板/直交層なし) 厚さ実測値 38.84mm	側材：15mm 合板 (針葉樹構造用合板 特 類 2 級/スギ・カラマツ 複合/セイホク製) 接合具：CN65 釘 (アマテイ製)
SB65	スギ		B 種(60E 単板/表層より 3 層目と中心に直交層) 厚さ実測値 38.64mm	
KA65			A 種(120E 単板/直交層なし) 厚さ実測値 40.05mm	
KB65	カラマツ		B 種(120E 単板/表層より 3 層目と中心に直交層) 厚さ実測値 40.36mm	

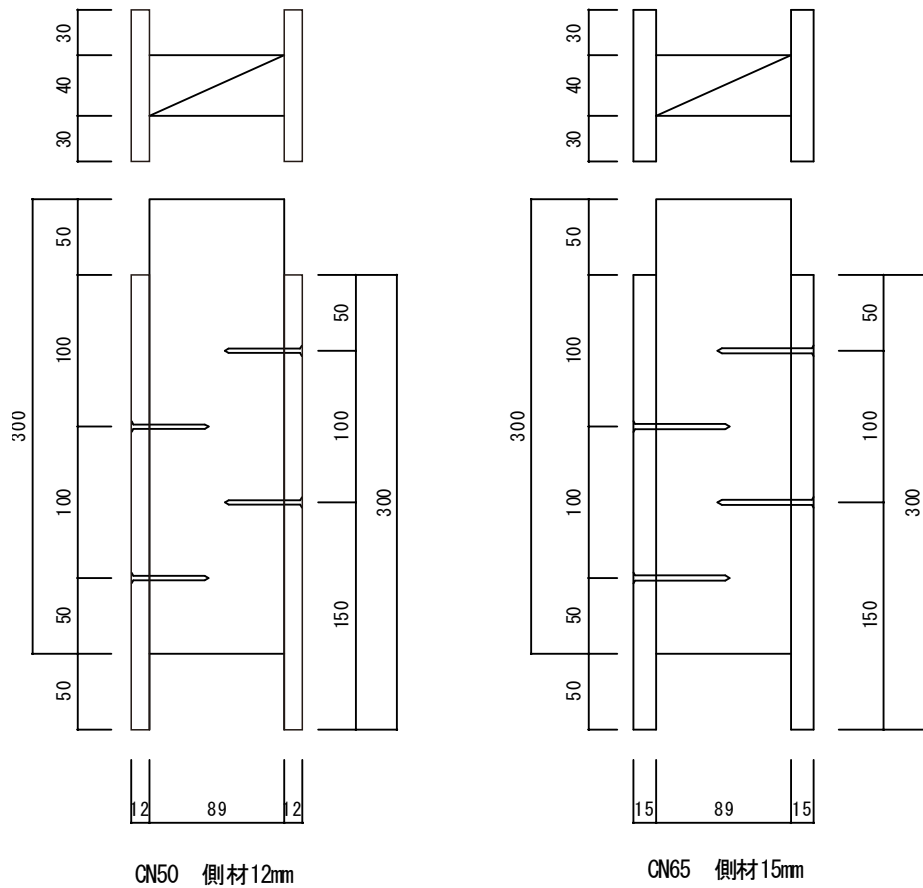
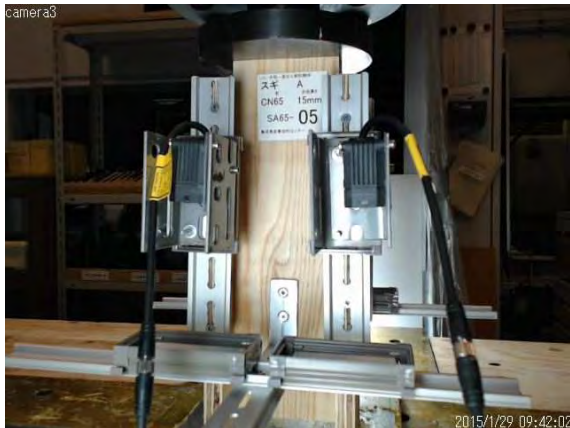


図 5.2.1-1 一面せん断試験体の寸法図(単位: mm)

5.2.2 試験方法

一面せん断試験は一軸圧縮試験装置(島津製作所製 AGX-250kN)を用いて圧縮方向に一方向加力し、側材に取り付けたレーザ変位計(キーエンス製 IL-S100)4 台により主材-側材間の相対変位を計測した。最大荷重に達するまでに要する時間が 5 分±2 分となるよう、クロスヘッド速度を 5mm/min に設定し、最大荷重の 80%まで低下するか、相対変位 30mm に達するまで試験を行った。試験は作製した 10 体すべてについて行った。

写真 5.2.2-1 試験状況



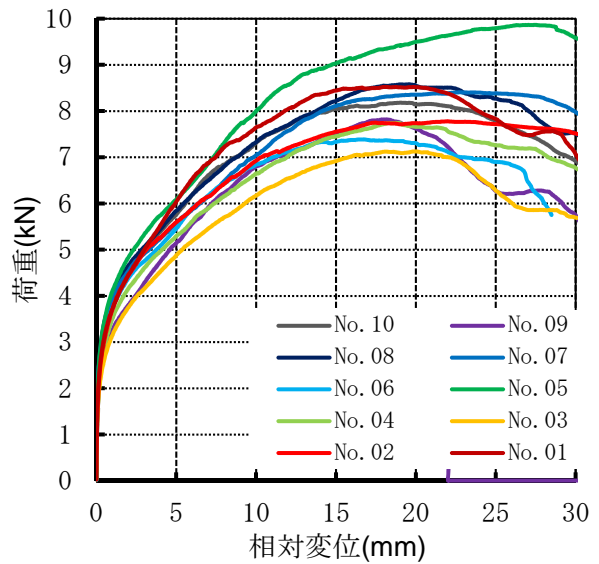
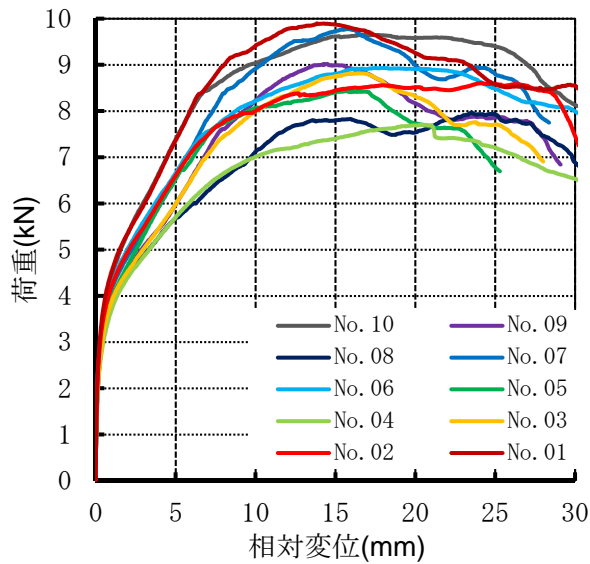
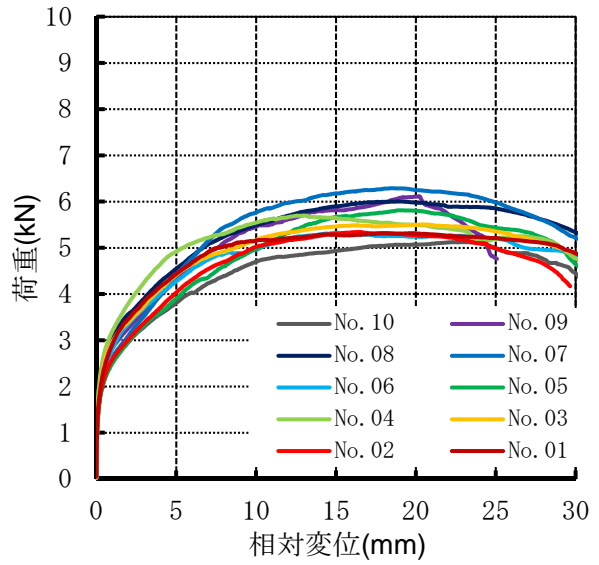
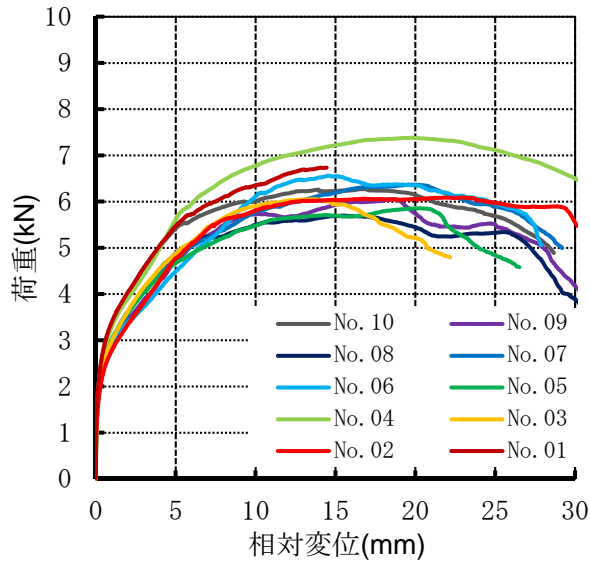
5.3 結果

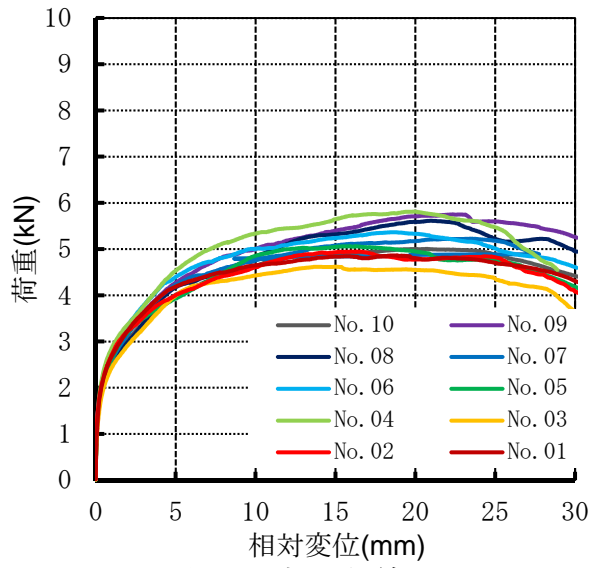
各試験体シリーズ 10 体について、一部のシリーズでは作業上の都合により荷重変位曲線が得られなかった試験体各 1 体(ex. HA50-No.01)を除いた完全弾塑性モデルに基づく耐力、剛性等の評価を行った。各試験体の荷重-変位曲線を図 5.3-1 に、完全弾塑性モデルに基づく耐力、剛性等の評価値を表 5.3-1 に示す。また、評価方法は異なるが文献¹⁾記載の構造用合板 12mm/太め鉄丸釘(CN 釘)50mm における面材釘 1 本あたりの 1 面せん断の数値を参考値として示した。

側材と接合具、同一樹種で比較すると、B 種 LVL 接合部試験体は A 種より最大荷重または剛性が低い傾向がみられるが、これは今回試験を行った B 種 LVL では直交層単板が中央部に配置されており、せん断強度の低い LVL の RT 面に釘打ちされたことが原因と考えられる。試験終了した試験体を解体したところ、写真 5.3-1 に示すように A 種 LVL と比較して B 種 LVL では合板のパンチング破壊より釘の引き抜けが多く観察され、スギ LVL の 12mm 合板において特にその傾向が顕著であった。

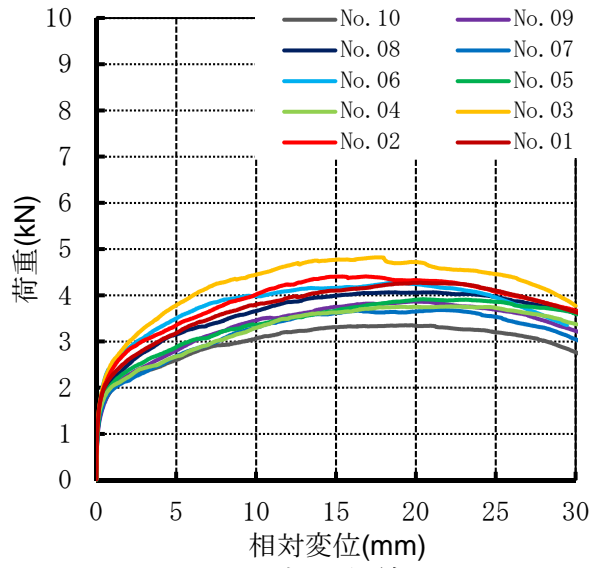
面材釘 1 本あたりの 1 面せん断の数値は、軸材としてスギ製材を用いて評価することが規定¹⁾されている。そこで SA50/SB50 試験体の結果について文献値と比較したところ、SA50 試験体において文献値とほぼ同程度の終局耐力や剛性を示した。よって、スギ LVL の木口断面に釘を打ち込んだ時の釘接合性能について、A 種 LVL ではスギ製材とほぼ同程度であるが、B 種については製材より低くなる可能性が考えられる。

図 5.3-1 各試験体の荷重-変位曲線

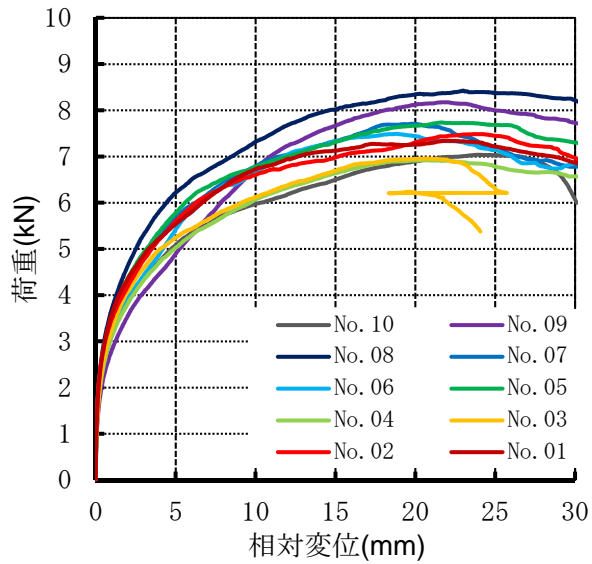




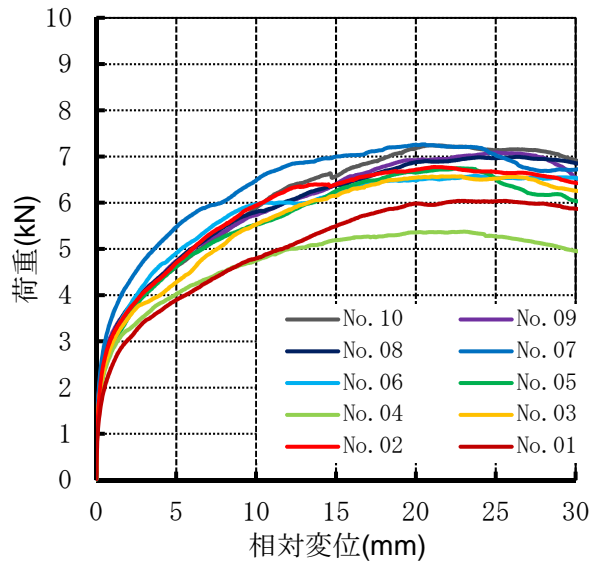
荷重-変位曲線 (SA50)



荷重-変位曲線 (SB50)



荷重-変位曲線 (SA65)



荷重-変位曲線 (SB65)

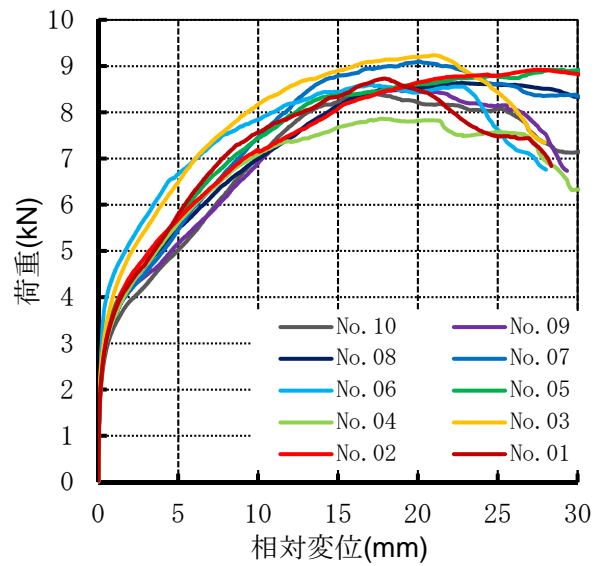
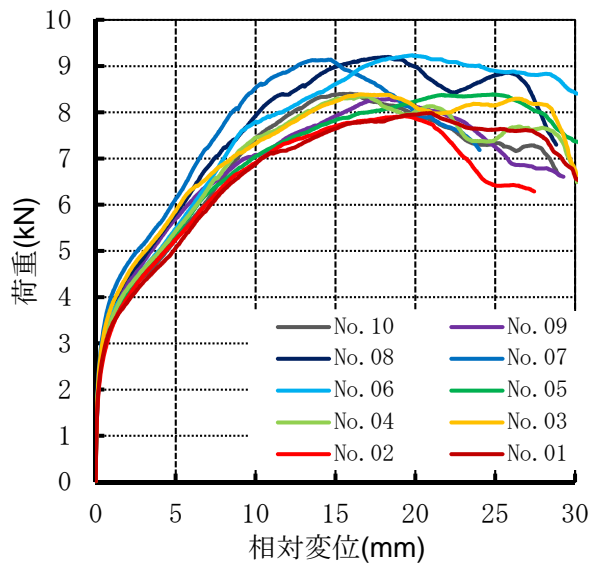
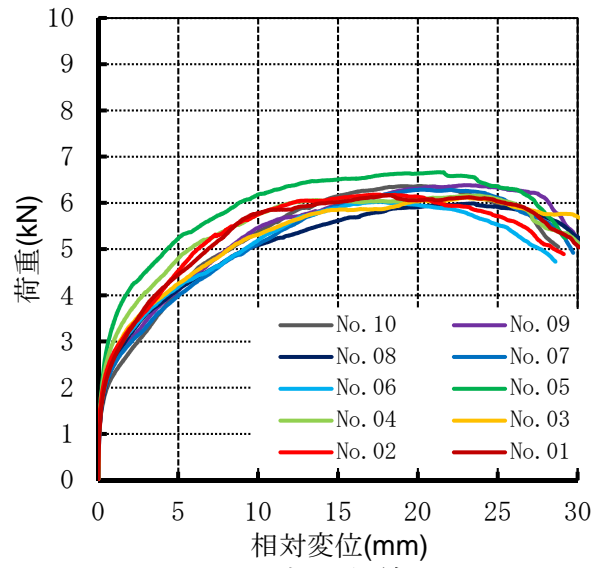
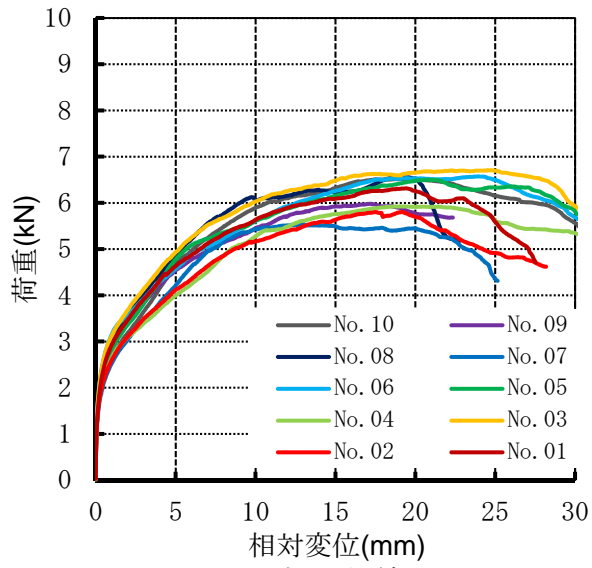


表 5.3-1 完全弾塑性モデルに基づく耐力、剛性等の評価値

試験体 名称	データ 数	Pmax (kN)	Py (kN)	Pu (kN)	δ_v (mm)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ	短期基準せん断耐力(kN)	
									上 50%下限値	下 95%下限値
HA50	9	1.56 (0.079)	0.78 (0.105)	1.42 (0.085)	2.08 (0.304)	27.7 (0.091)	0.724 (0.225)	14.22 (0.261)	0.76 0.60	
HB50	10	1.41 (0.069)	0.72 (0.060)	1.29 (0.062)	2.06 (0.327)	29.39 (0.057)	0.677 (0.277)	15.58 (0.302)	0.71 0.62	
HA65	10	2.22 (0.084)	1.05 (0.064)	1.98 (0.084)	2.11 (0.132)	28.7 (0.056)	0.952 (0.143)	13.79 (0.137)	1.03 0.91	
HB65	10	2.04 (0.095)	1.01 (0.081)	1.82 (0.094)	2.62 (0.187)	29.22 (0.054)	0.713 (0.186)	11.55 (0.203)	0.99 0.83	
SA50	9	1.31 (0.081)	0.71 (0.102)	1.2 (0.075)	2.33 (0.346)	29.81 (0.015)	0.555 (0.234)	13.99 (0.295)	0.69 0.56	
SB50	10	1.01 (0.104)	0.54 (0.110)	0.91 (0.105)	1.63 (0.176)	29.85 (0.010)	0.575 (0.194)	18.86 (0.181)	0.53 0.42	
SA65	9	1.9 (0.064)	1.03 (0.072)	1.74 (0.064)	3.43 (0.197)	29.76 (0.016)	0.523 (0.181)	8.98 (0.196)	1.01 0.87	
SB65	10	1.67 (0.088)	0.87 (0.088)	1.5 (0.086)	2.97 (0.193)	29.6 (0.026)	0.521 (0.189)	10.32 (0.207)	0.85 0.70	
KA50	10	1.56 (0.064)	0.79 (0.109)	1.41 (0.073)	2.82 (0.288)	27.88 (0.098)	0.527 (0.207)	10.43 (0.227)	0.77 0.61	
KB50	10	1.56 (0.032)	0.79 (0.063)	1.41 (0.039)	3.22 (0.349)	29.42 (0.022)	0.483 (0.318)	10.04 (0.298)	0.78 0.69	
KA65	10	2.13 (0.057)	1.01 (0.081)	1.88 (0.064)	3.2 (0.335)	28.75 (0.069)	0.634 (0.276)	9.62 (0.229)	1.00 0.84	
KB65	10	2.17 (0.045)	1.04 (0.088)	1.92 (0.048)	2.96 (0.216)	29.11 (0.033)	0.679 (0.244)	10.29 (0.232)	1.02 0.85	
文献値 ¹⁾				1.21	1.9	18.1	0.634			

注：荷重を4で割った釘接合部1か所あたりのデータとして表示している。また、各評価値の下段に記載した括弧内の値は変動係数を示す。

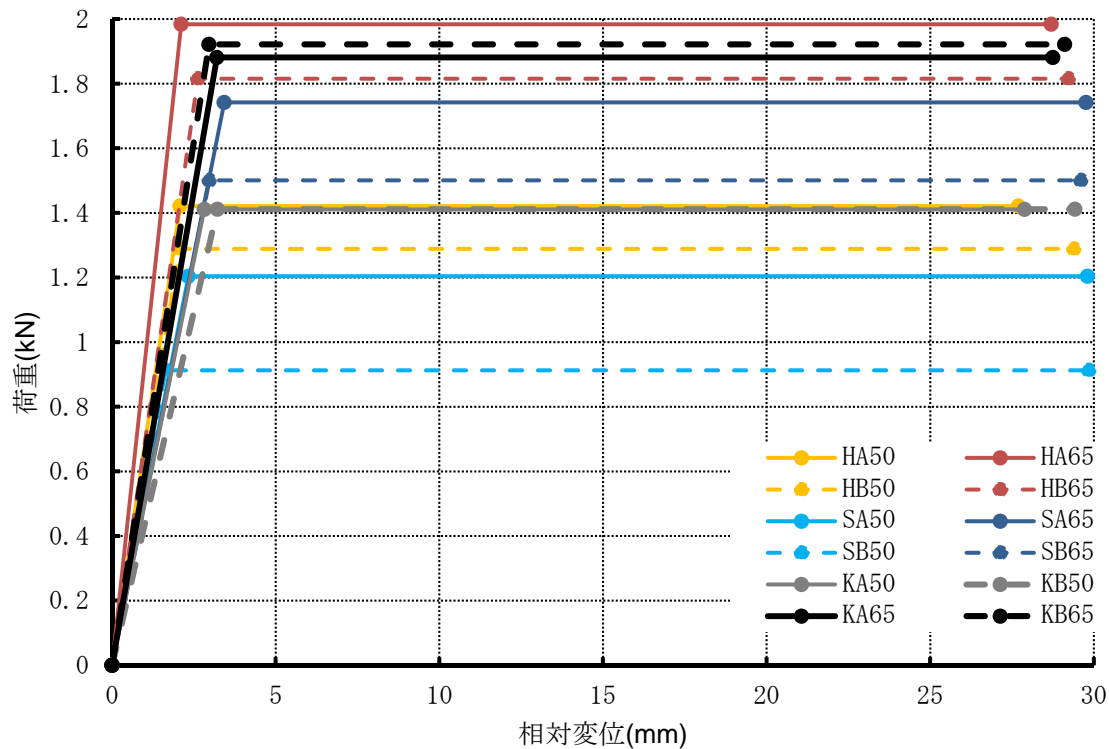


図5.3-2 荷重－変位曲線 (バイリニアモデルによる比較)



写真 5.3-1 破壊形態

注：試験終了後の試験体の側材を解体して撮影した破壊形態。丸で囲んだ部分は、解体時に側材(合板)がパンチング破壊により主材(LVL)側に釘が残った部分を示す。

5.4 今後の課題

本研究報告は実験データの提示のみであり、釘の基準材料強度や支圧強度から導かれる単位接合部の基準せん断耐力²⁾の計算結果との対応は今後の課題となる。また本研究ではLVLの板面に平行な加力に対する接合部性能の検証を行ったが、LVLの板面と垂直方向に釘を打ち込む設計を行う場合については今後改めて検証を行う必要がある。

文献

¹⁾ 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(2008年度版), pp. 343, pp.588-590, 日本住宅・木材技術センター, 2008.

²⁾ 日本建築学会: 木質構造設計基準・同解説, pp. 266-278, 日本建築学会, 1973.

第6章 厚板壁接合部

6.1 はじめに

壁柱としてのLVL厚板壁は、マッシブな躯体な特徴を生かした圧倒的な存在感が特徴である。積層面を表しにするやり方も意匠的な面で注目されている。

LVL協会では2年前に行った事業で、水平せん断耐力が40kN~60kN/m、壁倍率相当で30倍相当の構造性能があることを、A種LVLの材料で確認した。直交層を増やして寸法安定性を増したB種LVLにおいても、A種と同等の評価ができるかというところに主眼をおき、本章では厚板接合部の検討を行った。

6.2 GIR 接合部の検証

6.2.1 目的

様々な断面の構造材が生産可能で、大型木造建築物に多岐にわたり使用される LVL (単板積層材) に GIR 接合法を適用した場合の接合性能を把握するために引抜き試験を行った。

6.2.2 試験体

試験体リストを表 1-2-1 に示す。試験体形状を図 1-2-1 に示す。試験体の母材にはカラマツ LVL (B 種構造用単板積層材) を用いた。接合金物は中空型全ねじボルト (φ24, ホームコネクター製) を用いた。接合金物の埋込み方向は繊維平行方向と繊維直交方向の 2 種類とした。繊維平行方向の場合の埋込み長さは、100mm、200mm、300mm とし、繊維直交方向の場合の埋込み長さは 300mm とした。接合金物の本数は、1 本、2 本または 4 本挿入したものの 3 種類を用意した。また、接合金物同士の距離は 50mm とした。充填用接着剤はエポキシ樹脂接着剤 (TE-243L2: オーシカ) を用いた。試験体数は 8 シリーズ各 6 体の計 48 体とした。

表 1-2-1 試験体リスト

	試験体名	繊維方向	埋込み長さ (mm)	金物本数	試験体数
試験 I	P-100×1	平行	100	1	各6(計48)
	P-200×1		200		
	P-300×1		300	2	
	P-300×2			4	
	P-300×4				
試験 II	O-300×1	直交		1	
	O-300×2		2		
	O-300×4		4		

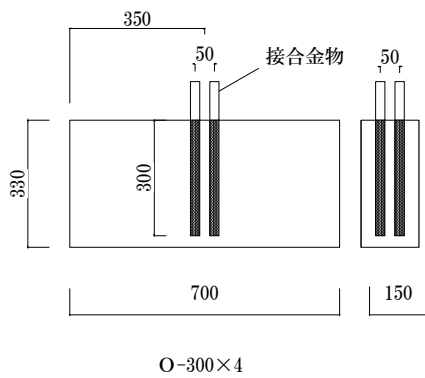
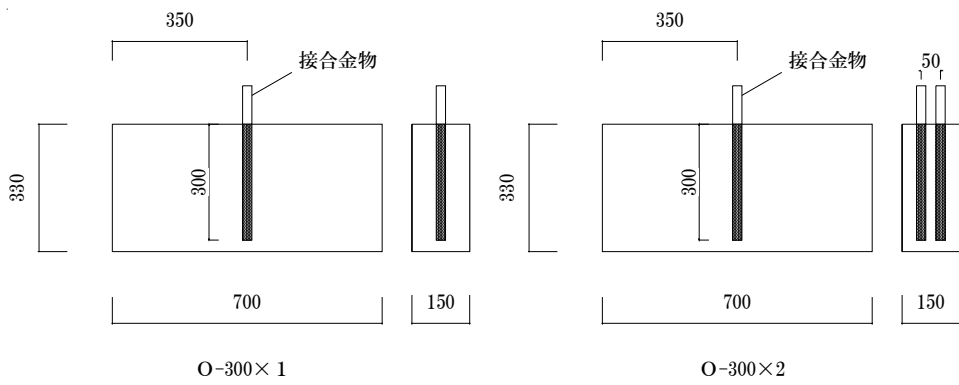
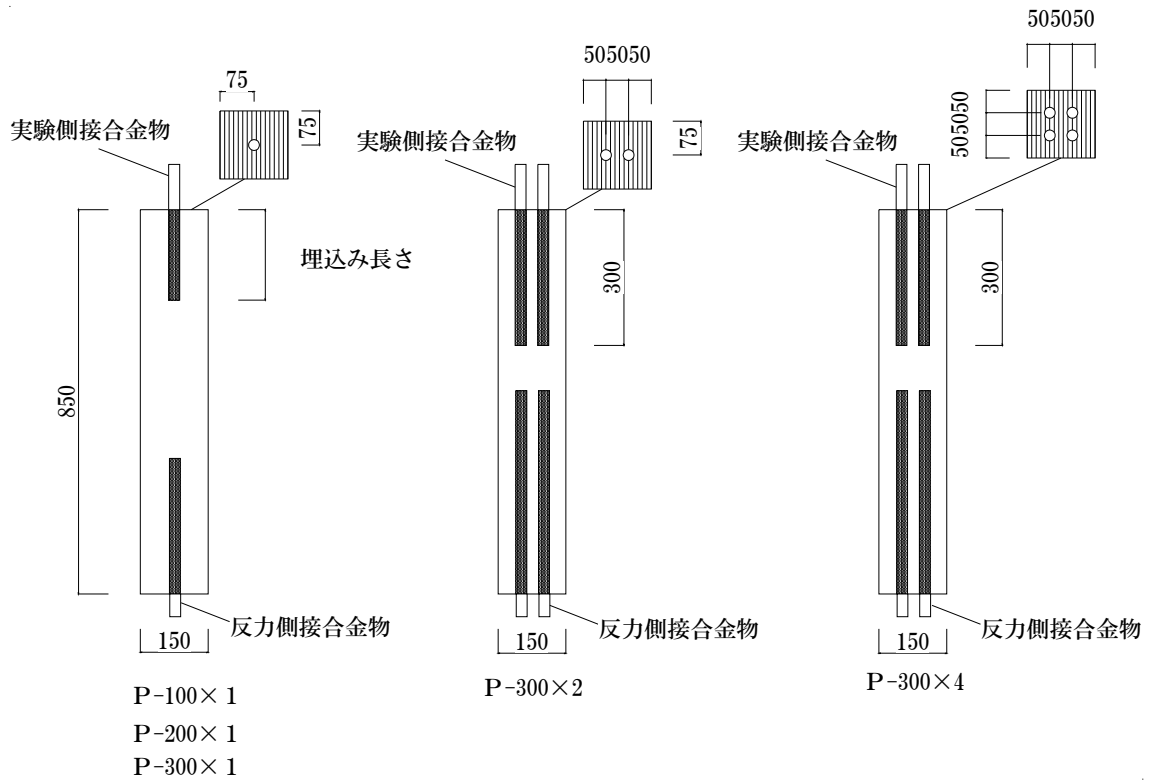


図 1 - 2 - 1 試験体形状(mm)

6.2.3 試験方法

試験に用いた加力装置の概要を図1-3-1～2に示す。载荷には2000kN 万能試験機を使用し、単調引張载荷（0.5 mm/min）で行った。接合金物と母材の相対引抜け量はストレインゲージ式変位計（東京測器研究所：CDP-50）を用いて測定を行った。また、接合金物2本及び4本の場合の試験では、不均等加力を防ぐために、接合金物に高ナットを用いて延長用のボルトを接続し、延長用ボルト部分のひずみを計測し、初期ひずみを均一にして加力することによって、接合金物2本が均等に加力されるようにした。

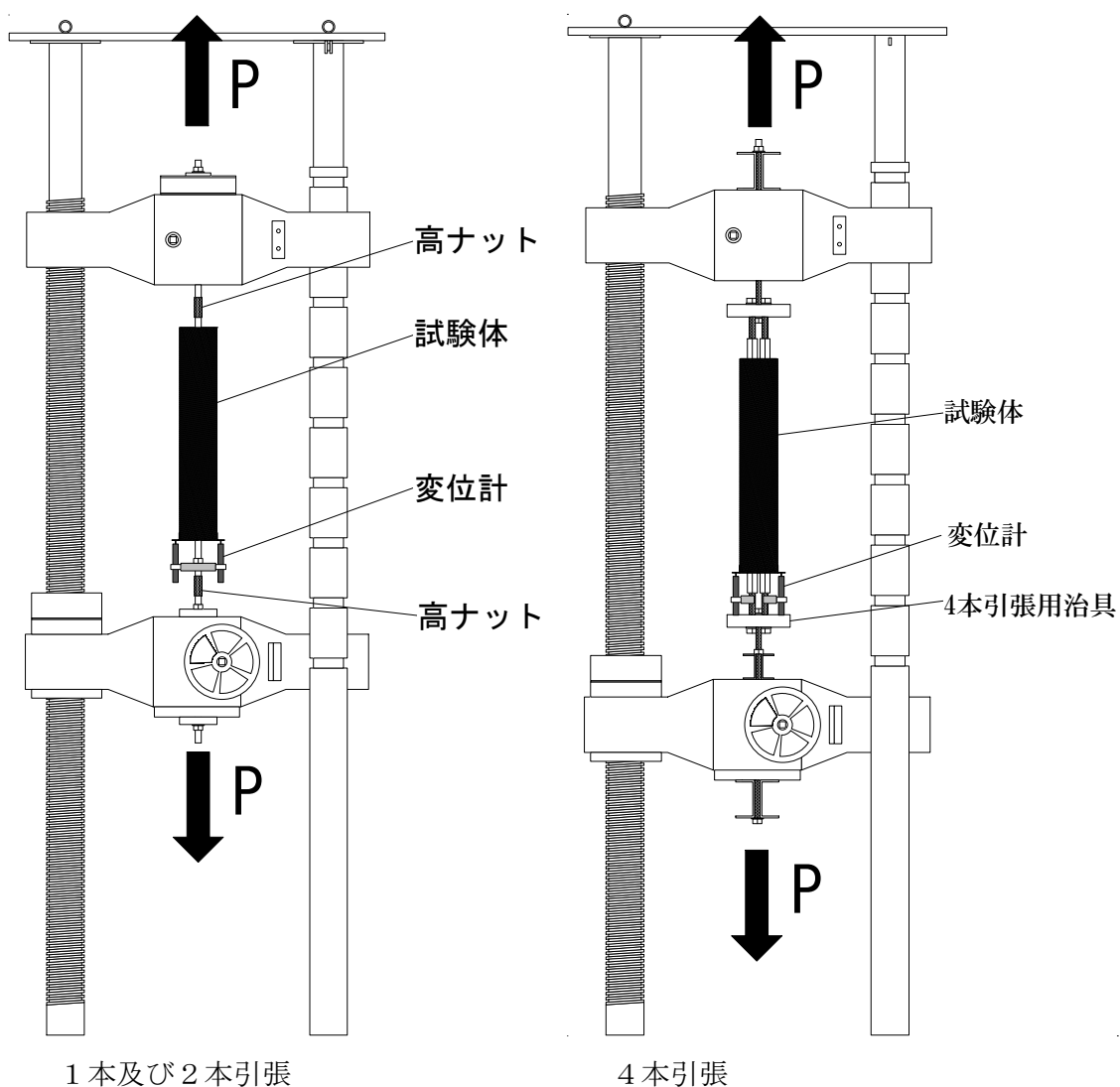


図1-3-1 加力装置（繊維平行方向）

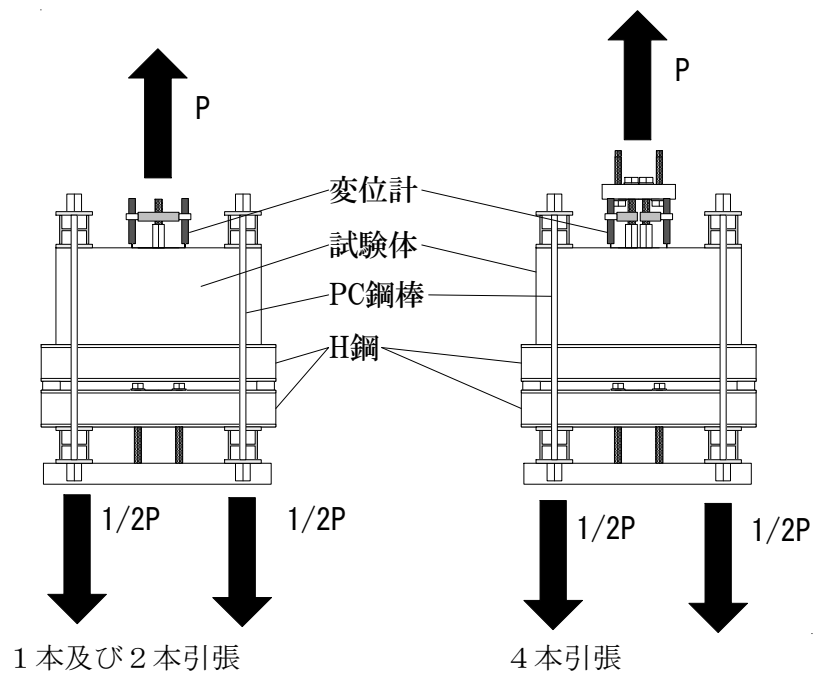


図 1 - 3 - 2 加力装置 (繊維直交方向)

6.2.4 試験結果

本節では、試験体の破壊性状、試験結果についてパラメータごとに示す。初期剛性は、それぞれの荷重-変位曲線における最大荷重の0.1倍と0.4倍の荷重を結んだ直線の傾きとした。

P-100×1 シリーズ

表1-4-1～6に各試験体の試験結果を、図1-4-1～6に荷重-変位曲線を示す。また、写真1-4-1～2に代表的な破壊性状を示す。

P-100×1 No.1

表1-4-1 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 50.30 kN
初期剛性	: 106.72 kN/mm

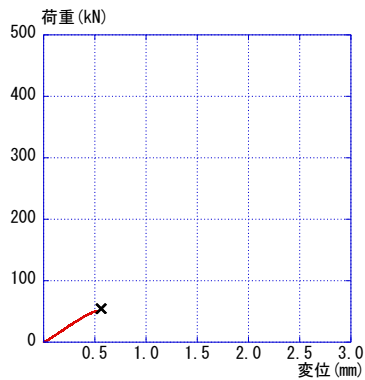


図1-4-1 荷重-変位曲線

P-100×1 No.2

表1-4-2 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 52.09 kN
初期剛性	: 156.79 kN/mm

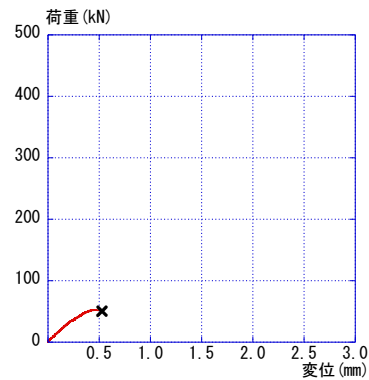


図1-4-2 荷重-変位曲線

P-100×1 No.3

P-100×1 No.4

表 1-4-3 試驗結果

破壞性狀	: 木破
最大耐力	: 52.47 kN
初期剛性	: 199.22 kN/mm

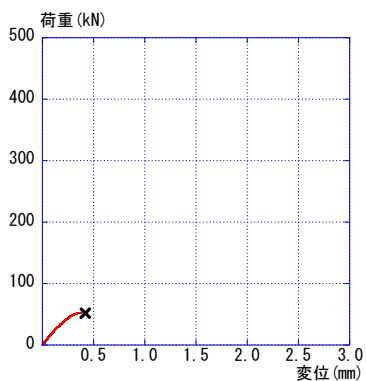


図 1-4-3 荷重-変位曲線

表 1-4-4 試驗結果

破壞性狀	: 木破
最大耐力	: 52.07 kN
初期剛性	: 117.79 kN/mm

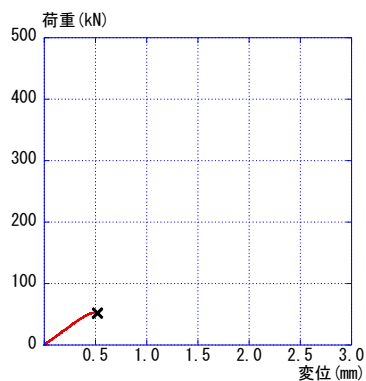


図 1-4-4 荷重-変位曲線

P-100×1 No.5

表 1-4-5 試驗結果

破壞性狀	: 木破
最大耐力	: 55.03 kN
初期剛性	: 168.80 kN/mm

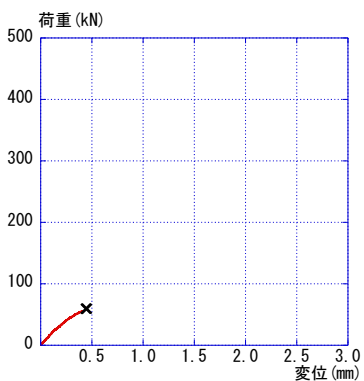


図 1-4-5 荷重-変位曲線

P-100×1 No.6

表 1-4-6 試驗結果

破壞性狀	: 木破
最大耐力	: 48.25 kN
初期剛性	: 430.42 kN/mm

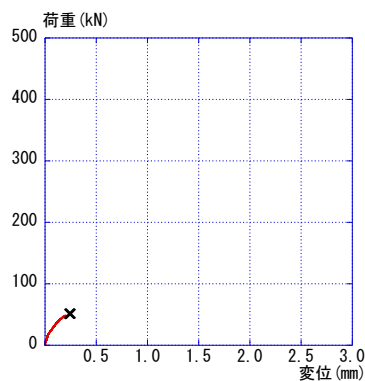


図 1-4-6 荷重-変位曲線



写真1-4-1 木破



写真1-4-2 木破

P-200×1シリーズ

表 1-4-7～12 に各試験体の試験結果を、図 1-4-7～12 に荷重-変位曲線を示す。また、写真 1-4-3～4 に代表的な破壊性状を示す。

P-200×1 No.1

表 1-4-7 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 105.27 kN
初期剛性	: 242.74 kN/mm

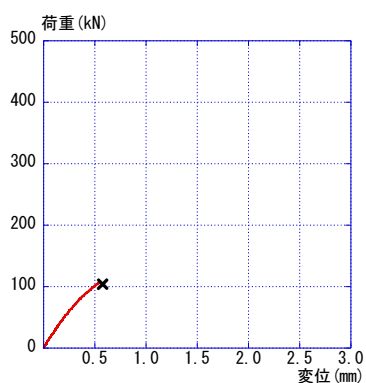


図 1-4-7 荷重-変位曲線

P-200×1 No.2

表 1-4-8 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 106.85 kN
初期剛性	: 265.59 kN/mm

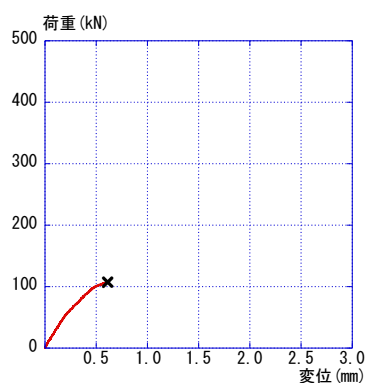


図 1-4-8 荷重-変位曲線

P-200×1 No.3

表 1-4-9 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 95.64 kN
初期剛性	: 224.56 kN/mm

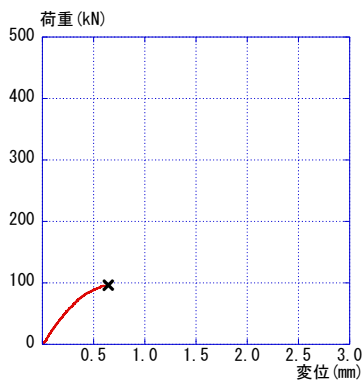


図 1-4-9 荷重-変位曲線

P-200×1 No.4

表 1-4-10 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 102.62 kN
初期剛性	: 226.31 kN/mm

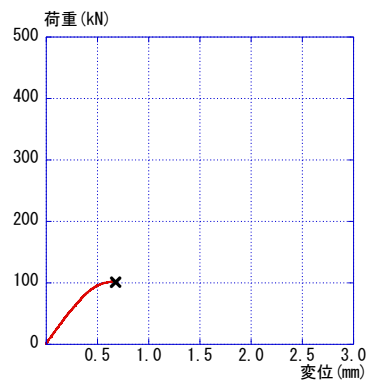


図 1-4-10 荷重-変位曲線

P-200×1 No.5

表 1-4-11 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 100.12 kN
初期剛性	: 154.69 kN/mm

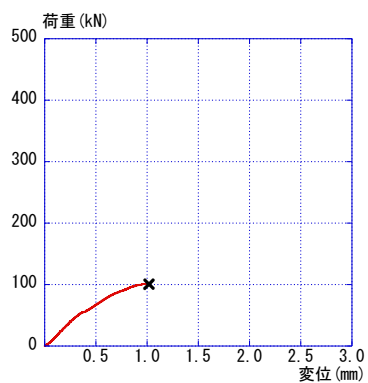


図 1-4-11 荷重-変位曲線

P-200×1 No.6

表 1-4-12 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 96.70 kN
初期剛性	: 246.67 kN/mm

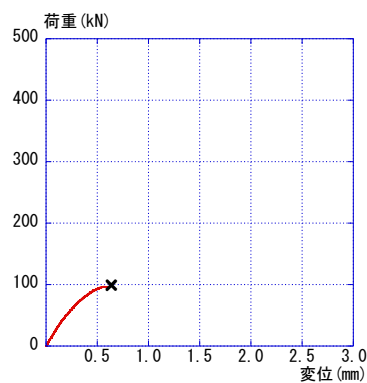


図 1-4-12 荷重-変位曲線



写真 1-4-3 木破



写真 1-4-4 木破

P-300×1シリーズ

表 1-4-13~18 に各試験体の試験結果を、図 1-4-13~18 に荷重-変位曲線を示す。また、写真 1-4-5~6 に代表的な破壊性状を示す。

P-300×1 No.1

表 1-4-13 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 152.44 kN
初期剛性	: 276.65 kN/mm

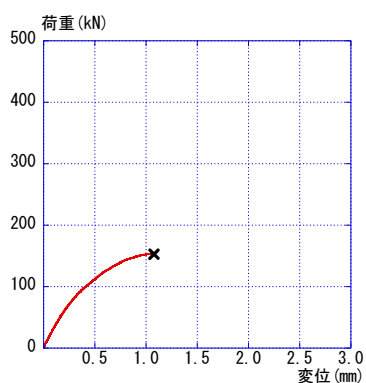


図 1-4-13 荷重-変位曲線

P-300×1 No.2

表 1-4-14 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 153.96 kN
初期剛性	: 216.96 kN/mm

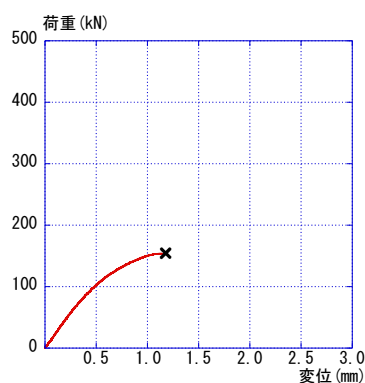


図 1-4-14 荷重-変位曲線

P-300×1 No.3

表 1-4-15 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 158.45 kN
初期剛性	: 236.97 kN/mm

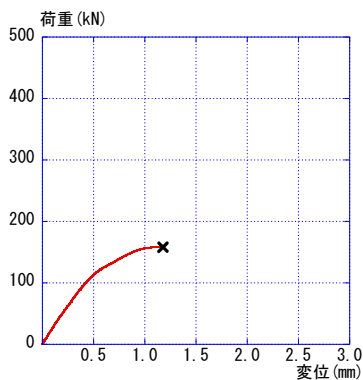


図 1-4-15 荷重-変位曲線

P-300×1 No.4

表 1-4-16 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 144.37 kN
初期剛性	: 323.60 kN/mm

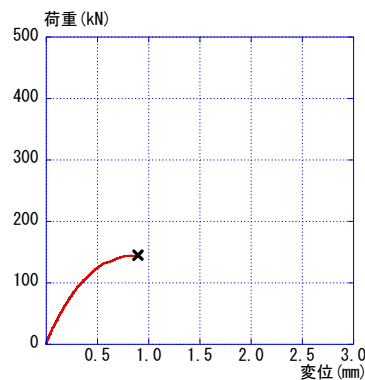


図 1-4-16 荷重-変位曲線

P-300×1 No.5

表 1-4-17 試驗結果

破壞性狀	: 木破
最大耐力	: 149.02 kN
初期剛性	: 283.82 kN/mm

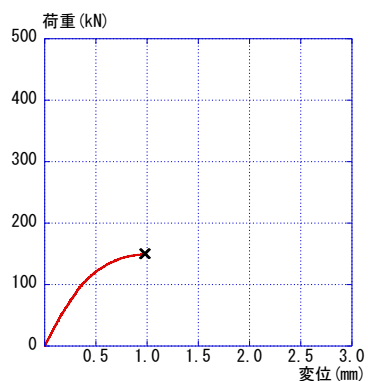


図 1-4-17 荷重-変位曲線

P-300×1 No.6

表 1-4-18 試驗結果

破壞性狀	: 木破
最大耐力	: 145.36 kN
初期剛性	: 194.06 kN/mm

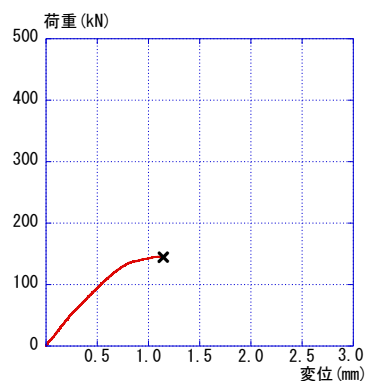


図 1-4-18 荷重-変位曲線



写真 1-4-5 木破



写真 1-4-6 木破

P-300×2 シリーズ

表 1-4-19~24 に各試験体の試験結果を、図 1-4-19~24 に荷重-変位曲線を示す。また、写真 1-4-7~8 に代表的な破壊性状を示す。

P-300×2 No.1

表 1-4-19 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 284.45 kN
初期剛性	: 595.83 kN/mm

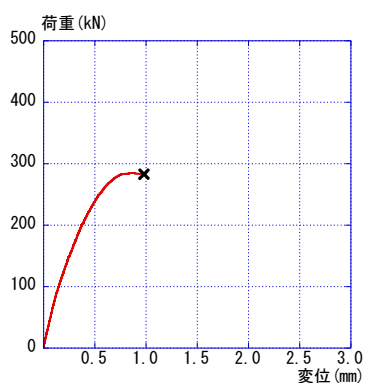


図 1-4-19 荷重-変位曲線

P-300×2 No.2

表 1-4-20 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 281.89 kN
初期剛性	: 640.82 kN/mm

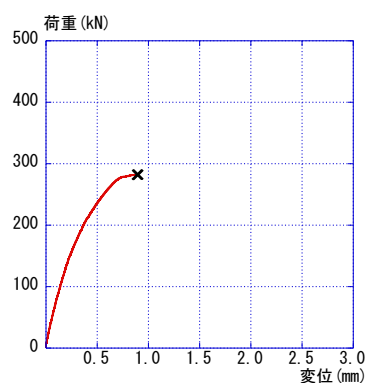


図 1-4-20 荷重-変位曲線

P-300×2 No.3

表 1-4-21 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 279.51 kN
初期剛性	: 707.58 kN/mm

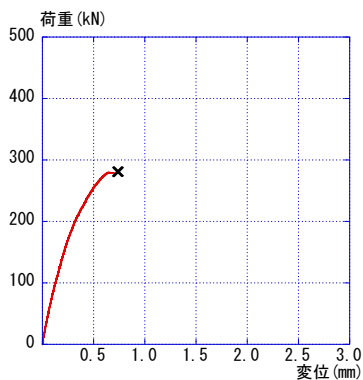


図 1-4-21 荷重-変位曲線

P-300×2 No.4

表 1-4-22 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 303.70 kN
初期剛性	: 561.22 kN/mm

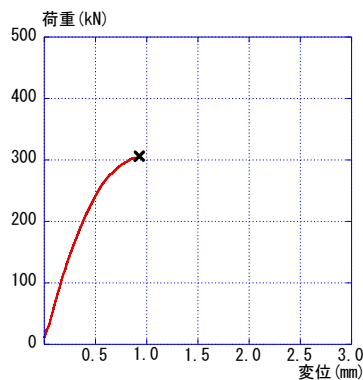


図 1-4-22 荷重-変位曲線

P-300×2 No.5

表 1-4-23 試驗結果

破壞性狀	: 木破
最大耐力	: 281.88 kN
初期剛性	: 637.37 kN/mm

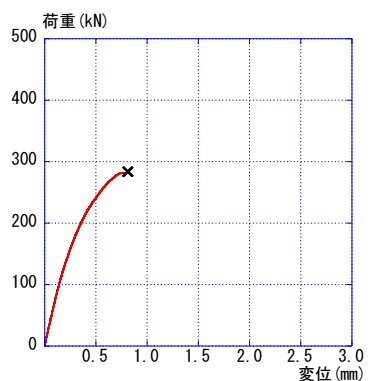


圖 1-4-23 荷重-變位曲線

P-300×2 No.6

表 1-4-24 試驗結果

破壞性狀	: 木破
最大耐力	: 260.26 kN
初期剛性	: 591.50 kN/mm

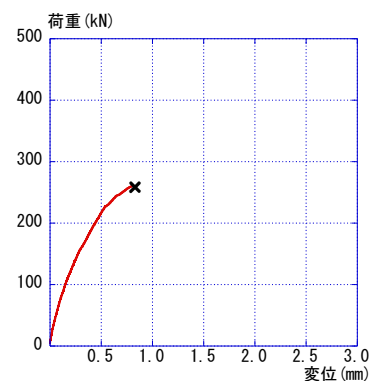


圖 1-4-24 荷重-變位曲線



写真 1-4-7 木破



写真 1-4-8 木破

P-300×4 シリーズ

表 1-4-25～30 に各試験体の試験結果を、図 1-4-25～30 に荷重-変位曲線を示す。また、写真 1-4-9～10 に代表的な破壊性状を示す。

P-300×4 No.1

表 1-4-25 試験結果

破壊性状	: 母材の破壊
最大耐力	: 360.82 kN
初期剛性	: 678.99 kN/mm

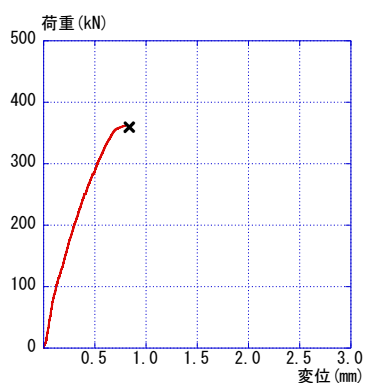


図 1-4-25 荷重-変位曲線

P-300×4 No.2

表 1-4-26 試験結果

破壊性状	: 母材の破壊
最大耐力	: 445.54 kN
初期剛性	: 715.34 kN/mm

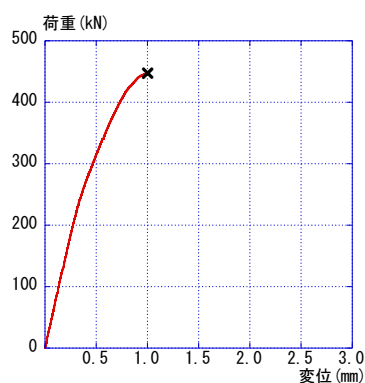


図 1-4-26 荷重-変位曲線

P-300×4 No.3

表 1-4-27 試験結果

破壊性状	: 母材の破壊
最大耐力	: 428.90 kN
初期剛性	: 913.92 kN/mm

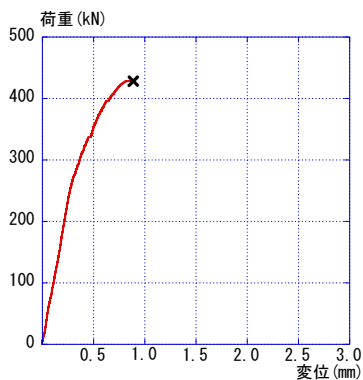


図 1-4-27 荷重-変位曲線

P-300×4 No.4

表 1-4-28 試験結果

破壊性状	: 母材の破壊
最大耐力	: 399.24 kN
初期剛性	: 920.38 kN/mm

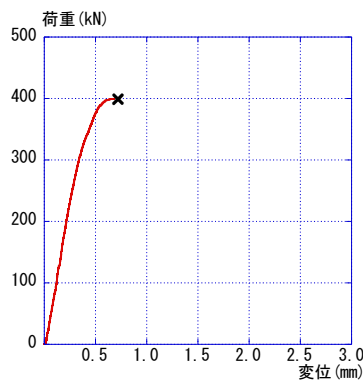


図 1-4-28 荷重-変位曲線

P-300×4 No.5

表 1-4-29 試験結果

破壊性状	: 母材の破壊
最大耐力	: 403.26 kN
初期剛性	: 834.04 kN/mm

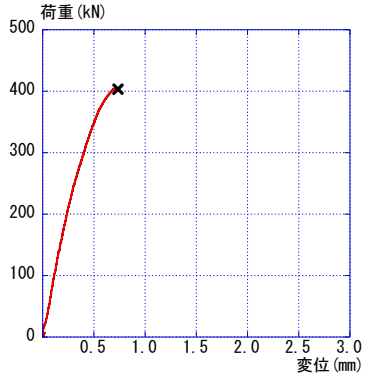


図 1-4-29 荷重-変位曲線

P-300×4 No.6

表 1-4-30 試験結果

破壊性状	: 母材の破壊
最大耐力	: 369.84 kN
初期剛性	: 831.73 kN/mm

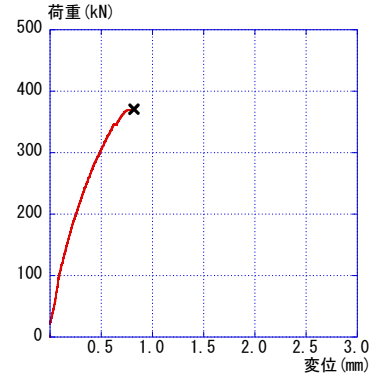


図 1-4-30 荷重-変位曲線



写真 1-4-9

母材の直交層における破壊



写真 1-4-10

母材の直交層における破壊

O-300×1 シリーズ

表 1-4-31~36 に各試験体の試験結果を、図 1-4-31~36 に荷重-変位曲線を示す。また、写真 1-4-11~12 に代表的な破壊性状を示す。

O-300×1 No.1

表 1-4-31 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 144.62 kN
初期剛性	: 190.35 kN/mm

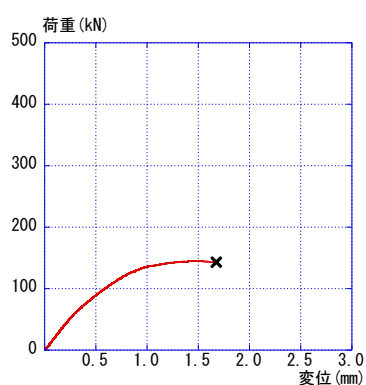


図 1-4-31 荷重-変位曲線

O-300×1 No.2

表 1-4-32 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 146.84 kN
初期剛性	: 118.93 kN/mm

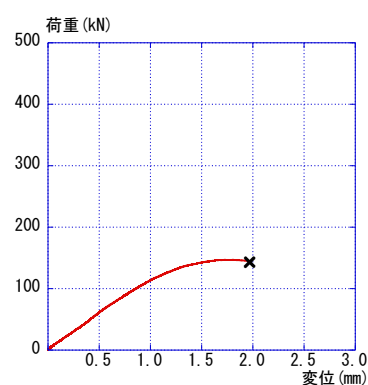


図 1-4-32 荷重-変位曲線

O-300×1 No.3

表 1-4-33 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 152.74 kN
初期剛性	: 280.66 kN/mm

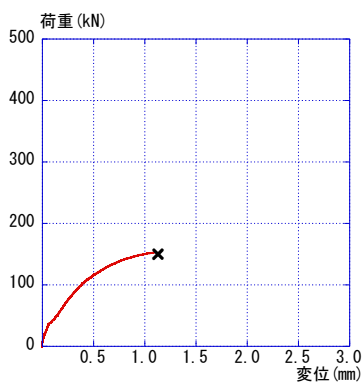


図 1-4-33 荷重-変位曲線

O-300×1 No.4

表 1-4-34 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 140.58 kN
初期剛性	: 169.08 kN/mm

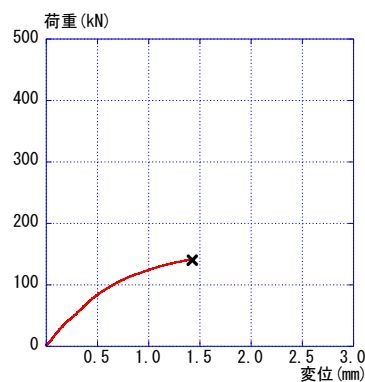


図 1-4-34 荷重-変位曲線

O-300×1 No.5

表 1-4-35 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 138.34 kN
初期剛性	: 161.66 kN/mm

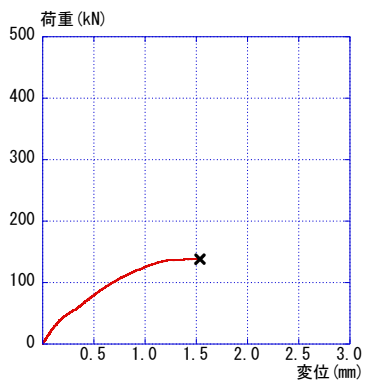


図 1-4-35 荷重-変位曲線

O-300×1 No.6

表 1-4-36 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 135.36 kN
初期剛性	: 160.60 kN/mm

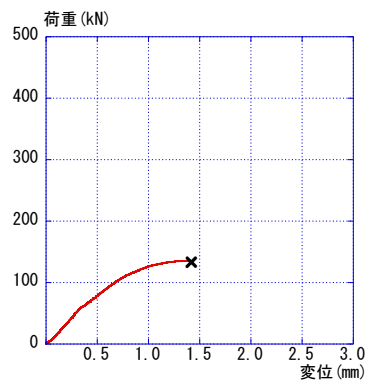


図 1-4-36 荷重-変位曲線



写真 1-4-11 木破



写真 1-4-12 木破

O-300×2 シリーズ

表 1-4-37~42 に各試験体の試験結果を、図 1-4-37~42 に荷重-変位曲線を示す。また、写真 1-4-13~14 に代表的な破壊性状を示す。

O-300×2 No.1

表 1-4-37 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 268.80 kN
初期剛性	: 445.05 kN/mm

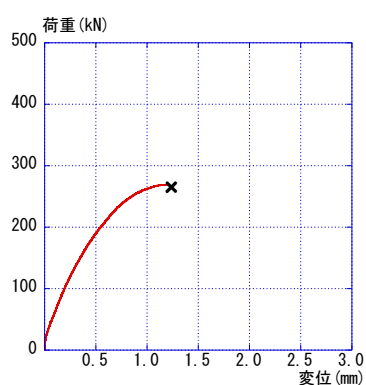


図 1-4-37 荷重-変位曲線

O-300×2 No.2

表 1-4-38 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 288.76 kN
初期剛性	: 444.11 kN/mm

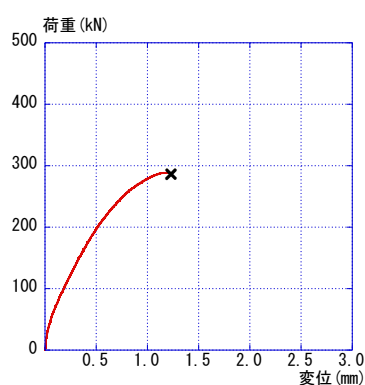


図 1-4-38 荷重-変位曲線

O-300×2 No.3

表 1-4-39 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 285.22 kN
初期剛性	: 296.43 kN/mm

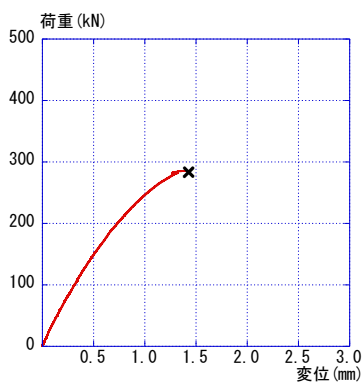


図 1-4-39 荷重-変位曲線

O-300×2 No.4

表 1-4-40 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 273.24 kN
初期剛性	: 243.75 kN/mm

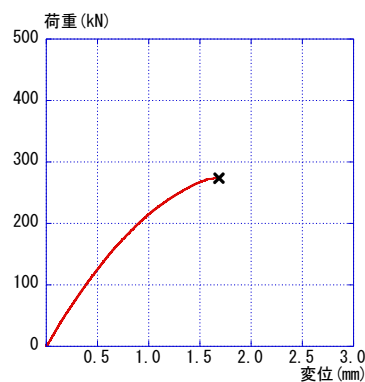


図 1-4-40 荷重-変位曲線

O-300×2 No.5

表 1-4-41 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 274.48 kN
初期剛性	: 458.96 kN/mm

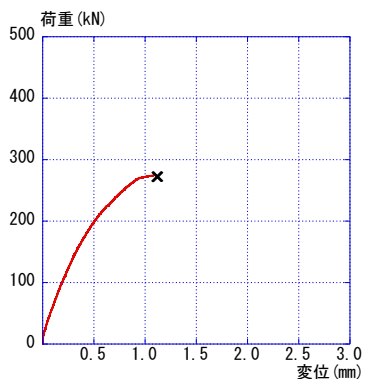


図 1-4-41 荷重-変位曲線

O-300×2 No.6

表 1-4-42 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 288.00 kN
初期剛性	: 287.47 kN/mm

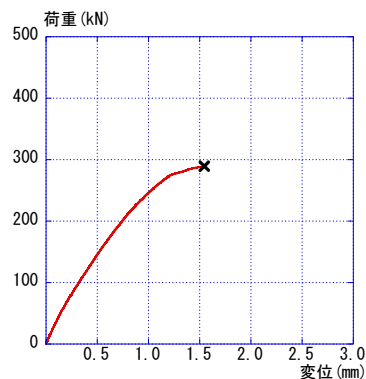


図 1-4-42 荷重-変位曲線



写真 1-4-13 木破



写真 1-4-14 木破

O-300×4 シリーズ

表 1-4-43~48 に各試験体の試験結果を、図 1-4-43~48 に荷重-変位曲線を示す。また、写真 1-4-15~16 に代表的な破壊性状を示す。

O-300×4 No.1

表 1-4-43 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 337.68 kN
初期剛性	: 740.26 kN/mm

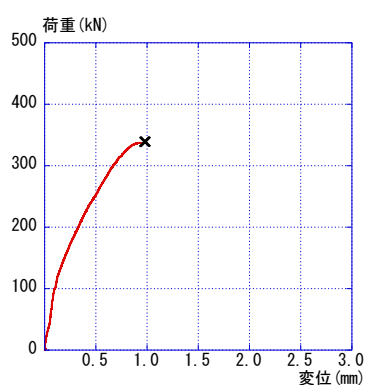


図 1-4-43 荷重-変位曲線

O-300×4 No.2

表 1-4-44 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 371.88 kN
初期剛性	: 448.46 kN/mm

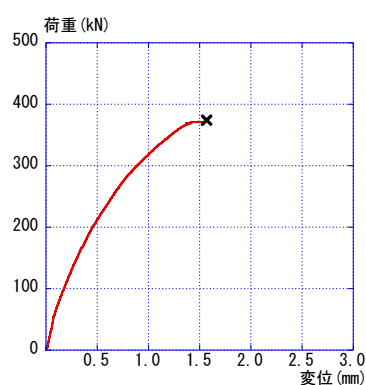


図 1-4-44 荷重-変位曲線

O-300×4 No.3

表 1-4-45 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 410.98 kN
初期剛性	: 360.08 kN/mm

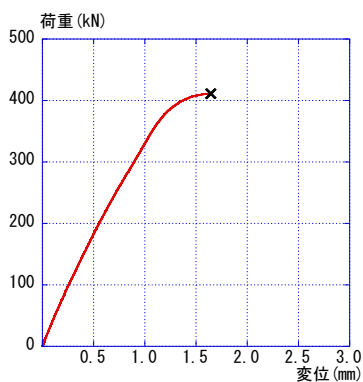


図 1-4-45 荷重-変位曲線

O-300×4 No.4

表 1-4-46 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 391.98 kN
初期剛性	: 369.22 kN/mm

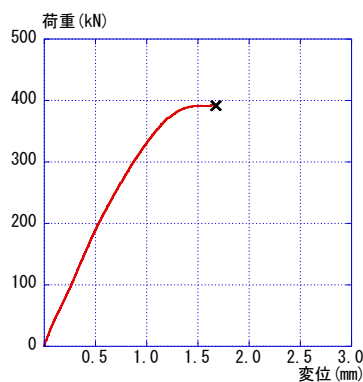


図 1-4-46 荷重-変位曲線

O-300×4 No.5

表 1-4-47 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 379.64 kN
初期剛性	: 566.43 kN/mm

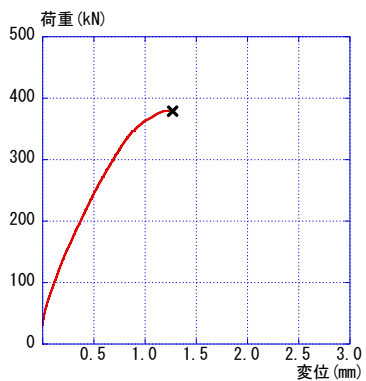


図 1-4-47 荷重-変位曲線

O-300×4 No.6

表 1-4-48 試験結果

破壊性状	: 木破
最大耐力	: 378.62 kN
初期剛性	: 306.13 kN/mm

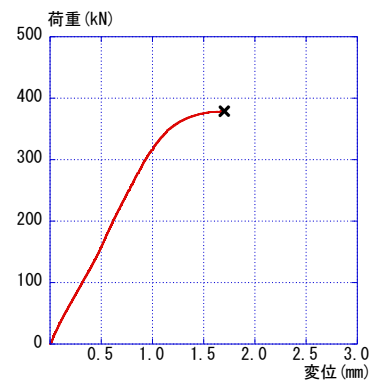


図 1-4-48 荷重-変位曲線



写真 1-4-15 木破



写真 1-4-16 木破

6.2.5 まとめ

表1-5-1～2に試験結果の特性値をまとめたものを示す。なお、過去に行ったA種のデータも併せて示す。短期基準耐力は最大耐力の平均値の2/3の値に、ばらつき係数を乗じた値とした。

表1-5-1 特性値一覧（繊維平行方向）

樹種	繊維方向	種類	埋め込み長さ (mm)	金物本数	No.	Pmax (kN)	初期剛性 (kN/mm)	短期基準耐力T ₀ (kN)				
LVL	平行	A種	100	1	1	46.75	48.18	121.96	192.21	27.19		
					2	53.33		308.56				
					3	44.89		142.28				
					4	48.41		126.29				
					5	50.14		150.42				
					6	45.56		303.73				
		B種		1	1	50.30	51.70	106.72	196.62	156.78		
					2	52.09		199.22				
					3	52.47		117.79				
					4	52.07		168.80				
					5	55.03		430.42				
					6	48.25		385.76				
		A種	200	1	1	1	96.44	100.73	192.61	322.81	55.02	
						2	107.54		302.97			
						3	106.04		285.03			
						4	90.26		368.05			
						5	95.08		402.43			
						6	109.03		242.74			
		B種		1	1	1	1	105.27	101.20	265.59	226.76	58.94
							2	106.85		224.56		
							3	95.64		226.31		
							4	102.62		154.69		
							5	100.12		246.67		
							6	96.70		387.77		
		A種	300	1	1	1	138.95	135.11	296.40	299.72	76.26	
						2	141.55		247.51			
						3	139.92		246.21			
						4	129.74		260.60			
						5	141.16		359.82			
						6	119.34		276.65			
		B種		1	1	1	1	152.44	150.60	216.96	255.35	92.01
							2	153.96		236.97		
							3	158.45		323.60		
							4	144.37		283.82		
							5	149.02		194.06		
							6	145.36		562.32		
A種	200	2	2	1	187.44	195.24	603.27	579.32	111.04			
				2	186.07		595.77					
				3	181.84		557.40					
				4	213.72		562.51					
				5	198.26		594.65					
				6	204.09		595.83					
B種		300	2	2	1	284.45	281.95	640.82	622.39	166.43		
					2	281.89		707.58				
					3	279.51		561.22				
					4	303.70		637.37				
					5	281.88		591.50				
					6	260.26		678.99				
B種	4		4	4	1	360.82	401.27	715.34	815.73	216.54		
					2	445.54		913.92				
					3	428.90		920.38				
					4	399.24		834.04				
					5	403.26		831.73				
					6	369.84						

表1-5-2 特性値一覧（繊維直交方向）

樹種	繊維方向	種類	埋め込み長さ (mm)	金物本数	No.	Pmax (kN)	初期剛性 (kN/mm)	短期基準 耐力T ₀ (kN)			
LVL	直交	A種	300	1	1	130.34	129.02	202.08	153.28	80.19	
					2	129.07		155.36			
					3	129.46		138.08			
					4	128.48		149.14			
					5	122.60		131.25			
					6	134.16		143.78			
		B種		1	1	144.62	143.08	190.35	180.21	118.93	85.58
					2	146.84		280.66			
					3	152.74		169.08			
					4	140.58		161.66			
					5	138.34		160.60			
					6	135.36		445.05			
		B種		2	1	268.80	279.75	444.11	362.63	296.43	173.12
					2	288.76		243.75			
					3	285.22		458.96			
					4	273.24		287.47			
					5	274.48		740.26			
					6	288.00		448.46			
		B種		4	1	337.68	378.46	360.08	465.10	369.22	214.49
					2	371.88		566.43			
					3	410.98		306.13			
					4	391.98					
					5	379.64					
					6	378.62					

初期剛性

試験により得られた初期剛性及び各シリーズごとの平均値を図1-5-1～2に示す。ここで初期剛性は、それぞれの荷重－変位曲線における最大荷重の0.1倍と0.4倍の点を結んだ直線の傾きとした。

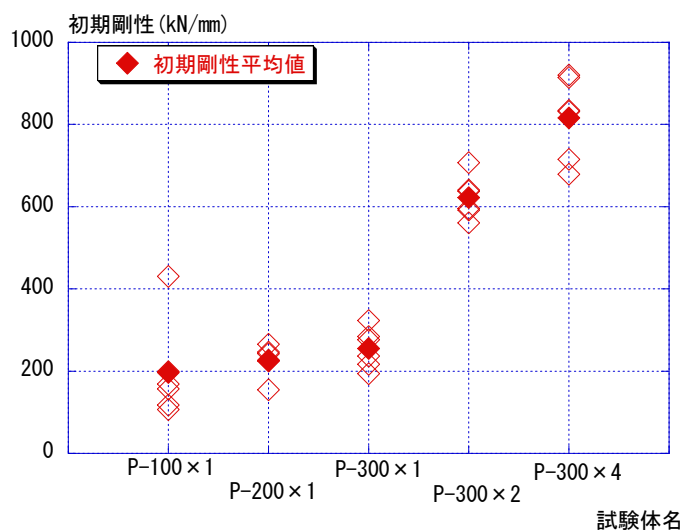


図1-5-1 初期剛性 (繊維平行方向)

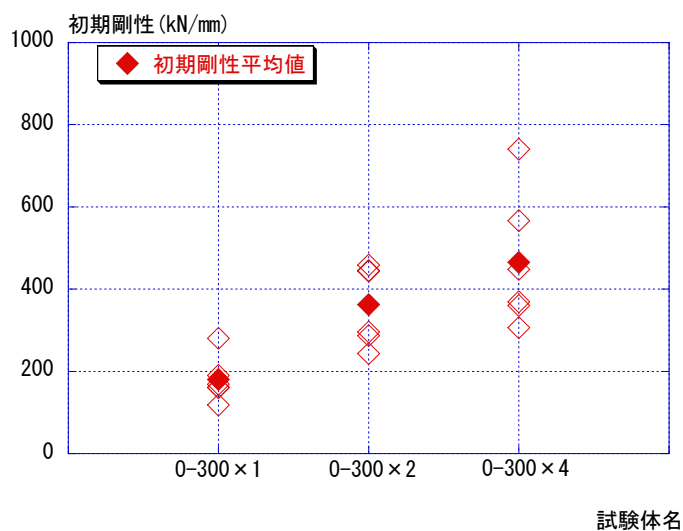


図1-5-2 初期剛性 (繊維直交方向)

最大耐力及び短期基準耐力

各シリーズの最大耐力および短期基準耐力を図 1-5-3~4 に示す。短期基準耐力は、最大耐力の平均値の 2/3 の値に、ばらつき係数を乗じた値とした

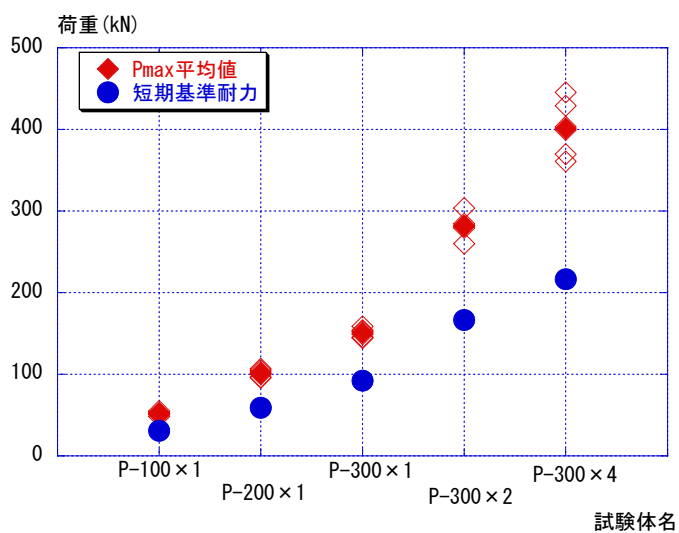


図 1-5-3 最大耐力及び短期基準耐力（繊維平行方向）

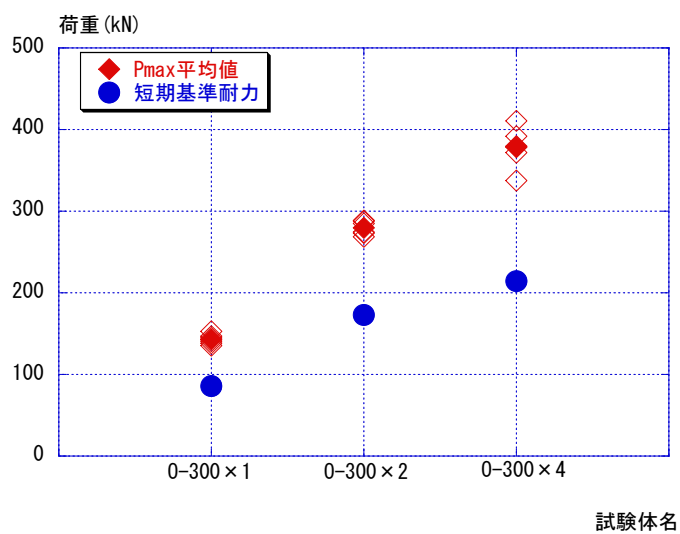


図 1-5-4 最大耐力及び短期基準耐力（繊維直交方向）

A種とB種の比較

一本引き時の初期剛性、最大耐力および短期基準耐力のA種とB種の比較を図1-5-5～7に示す。短期基準耐力は、最大耐力の平均値の2/3の値に、ばらつき係数を乗じた値とした

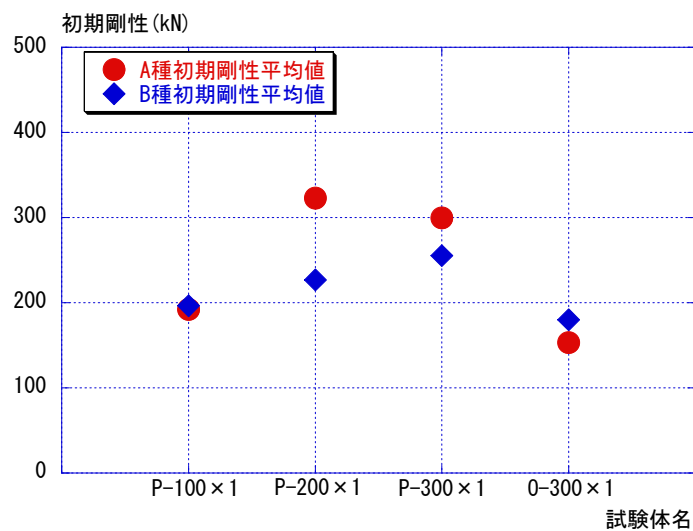


図1-5-5 A種とB種の比較 (初期剛性)

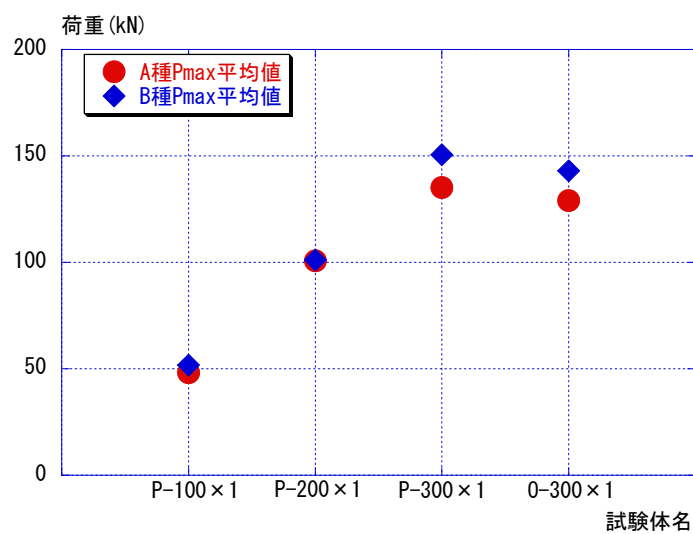


図1-5-6 A種とB種の比較 (最大耐力)

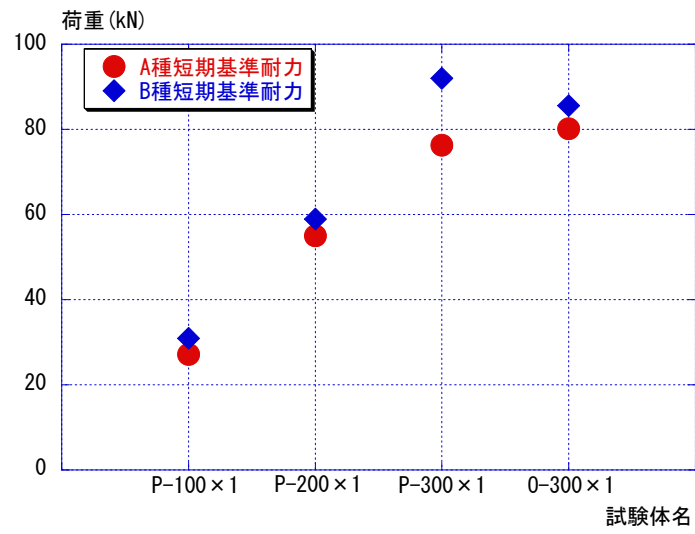


図 1 - 5 - 7 A 種と B 種の比較 (短期基準耐力)

6.3 LSB 接合部の検証

6.3.1. 目的

ラグスクリューボルト接合(HLS-19、HLS-27)の引抜きに対する耐力及び剛性を評価することを目的に引抜き実験を行った。

6.3.2. 試験

6.3.2.1 試験体

(1)ラグスクリューボルトの品質及び形状

- ①材質：SWCH45K
- ②形状及び寸法：図 2.1 に示す。

(2)LVL の仕様

①樹種・等級・構成

試験体名	荷重方向	樹種	構成・強度等級
A-1	木口方向	カラマツ	カラマツ LVL B種
A-2			
A-3			
A-4	積層方向		カラマツ LVL A種
B-1	木口方向		
B-2			
B-3	積層方向		カラマツ LVL B種
C-1	木口方向		
C-2			
C-3	積層方向		

②試験体の形状

荷重方向(荷重と木材繊維のなす角度)を、木口方向と、積層方向の2種類とした。

試験体の概要を図 2.2～図 2.3 に、形状及び寸法を図 2.4～図 2.13 に示す。

尚、LSB は HLS-19 (外径φ25.4、谷径φ20.4) 及び HLS-27 (外径φ35、谷径φ26.9) の2種類とし、LSB の先穴はφ21 (HLS-19) 、φ27.5(HLS-27)とした。

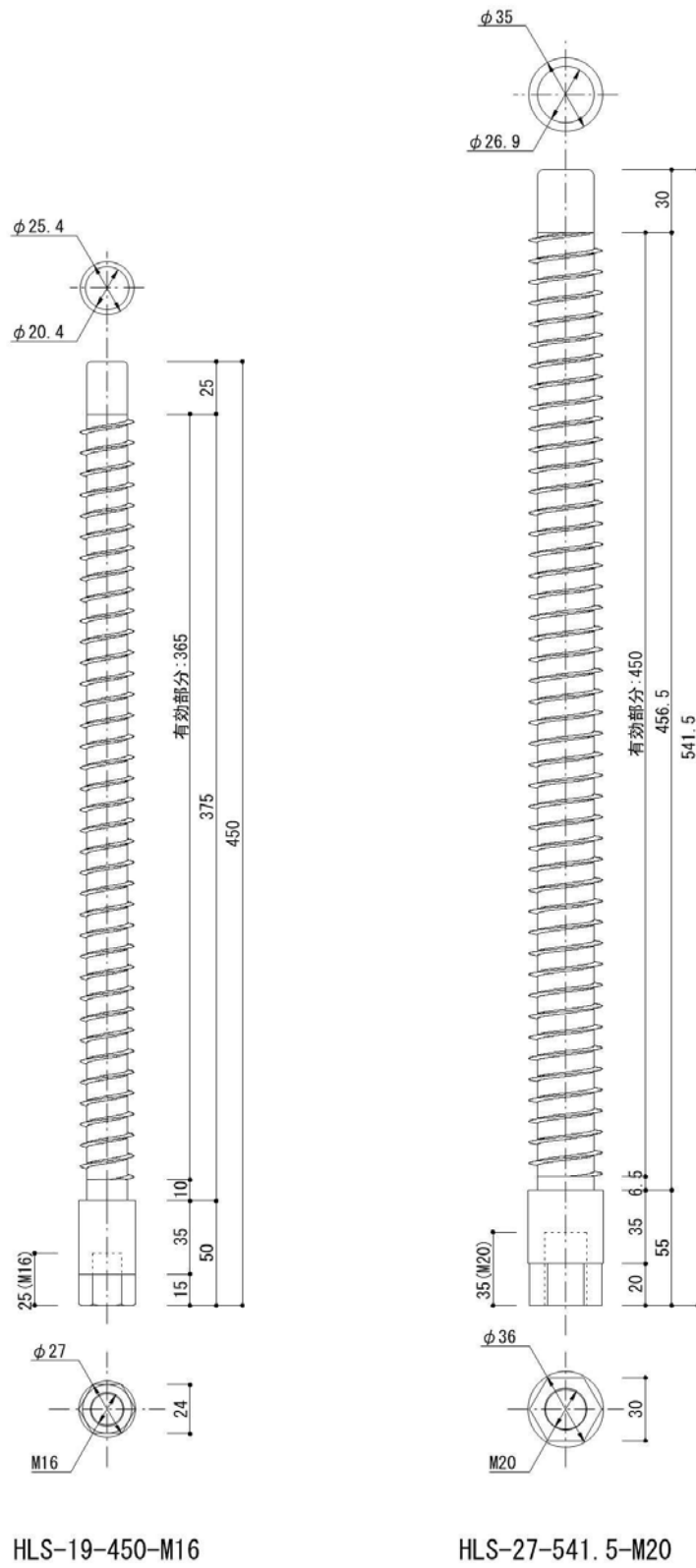


図 2.13 測定用 LSB の形状及び寸法

| : LSB (山径 $\phi 25.4$) | : LSB (山径 $\phi 35$)

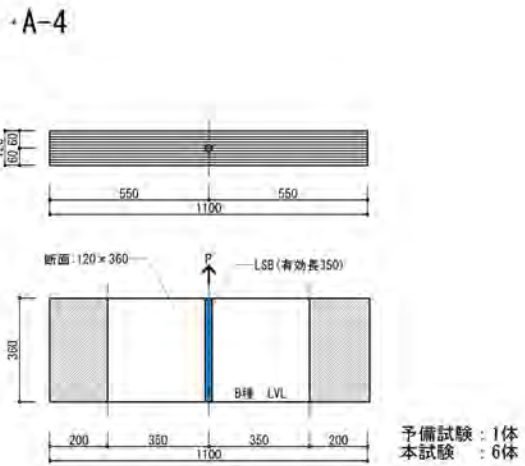
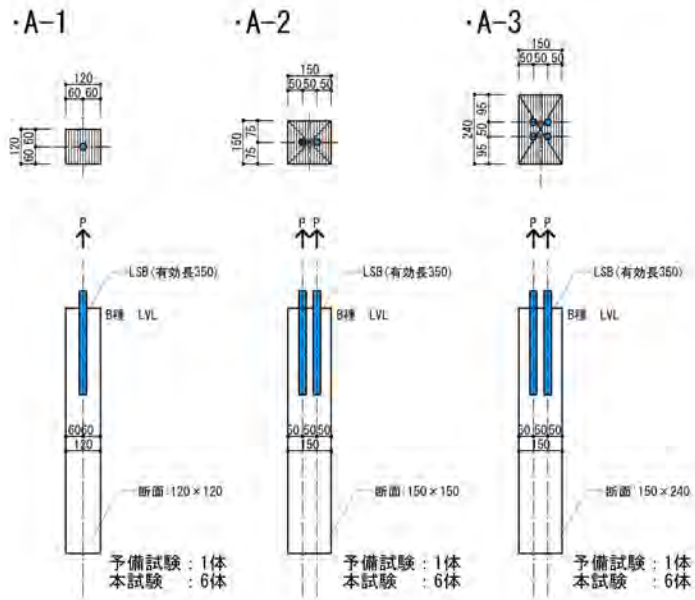


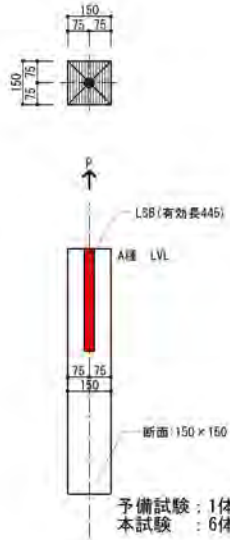


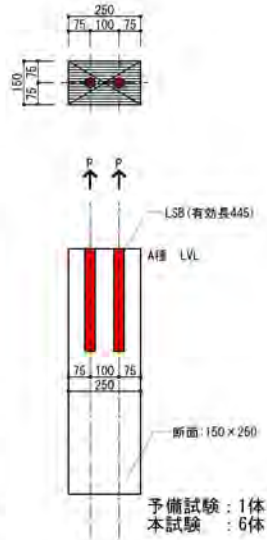
図 2.2 試験体概要 1

 : LSB (山径 φ25.4)
  : LSB (山径 φ35)

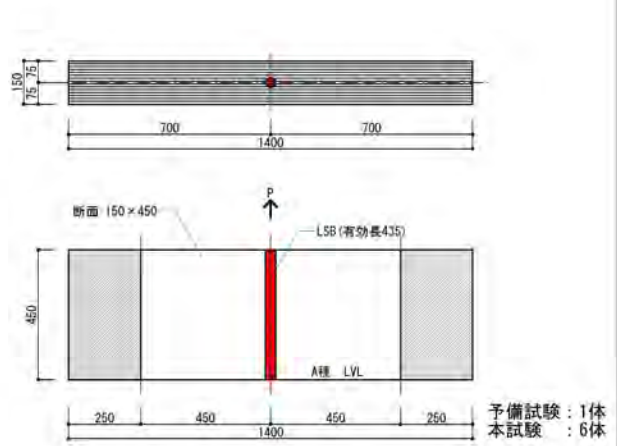
・B-1



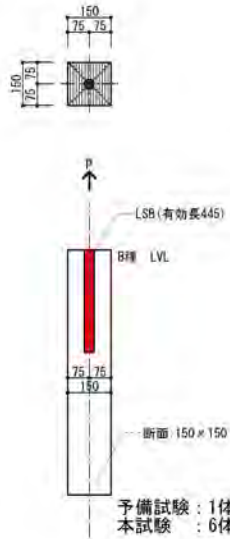
・B-2



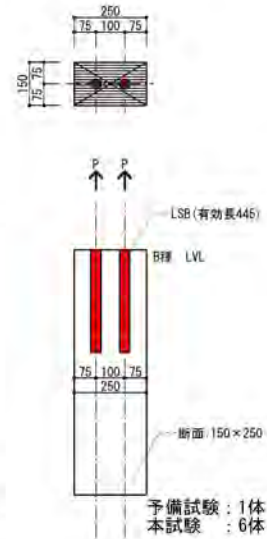
・B-3



・C-1



・C-2



・C-3

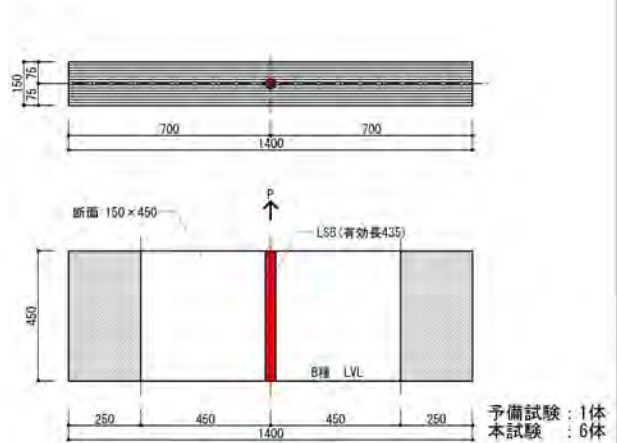


図 2.3 試験体概要 2

試験体 : A-3 LVL B種 (150×150)
 測定用LSB : HLS-19 (有効長350) × 4本

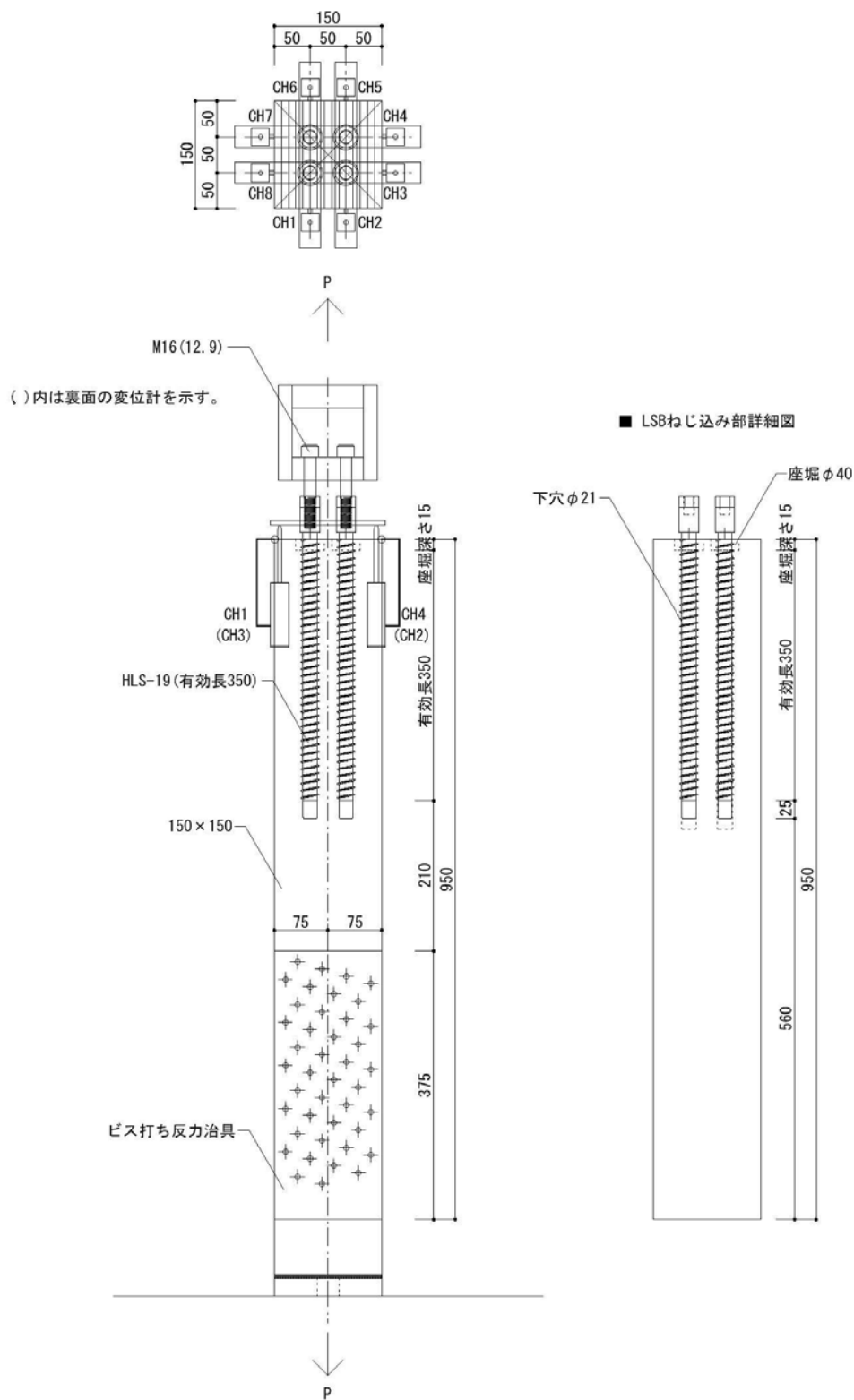


図 2.6 試験体の形状及び寸法 (A-3)

試験体 : A-4 LVL B種 (150×360)
 測定用LSB : HLS-19 (有効長350)

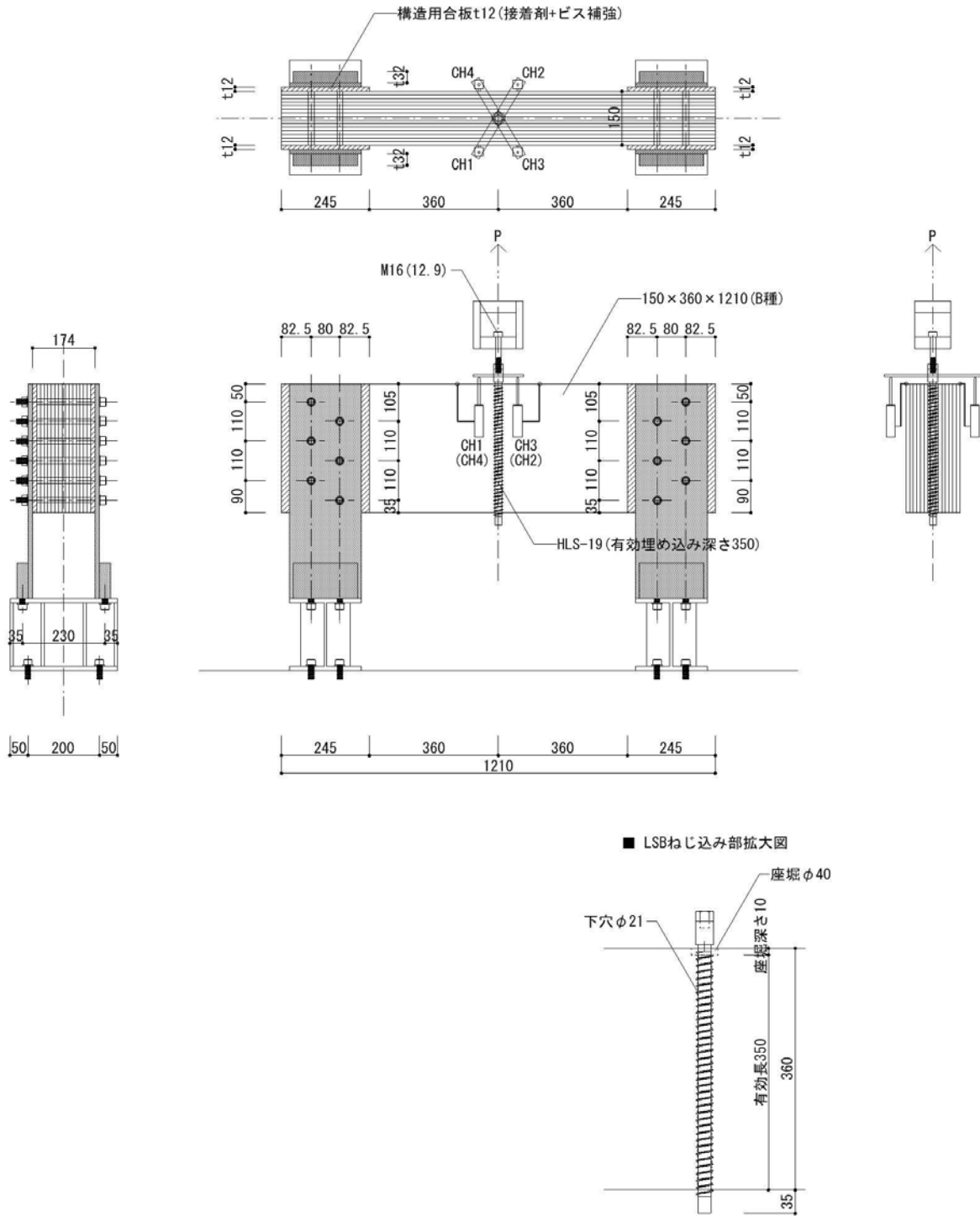


図 2.7 試験体の形状及び寸法 (A-4)

試験体 : B-1 LVL A種 (150×150)
 測定用LSB : HLS-27(有効長445)

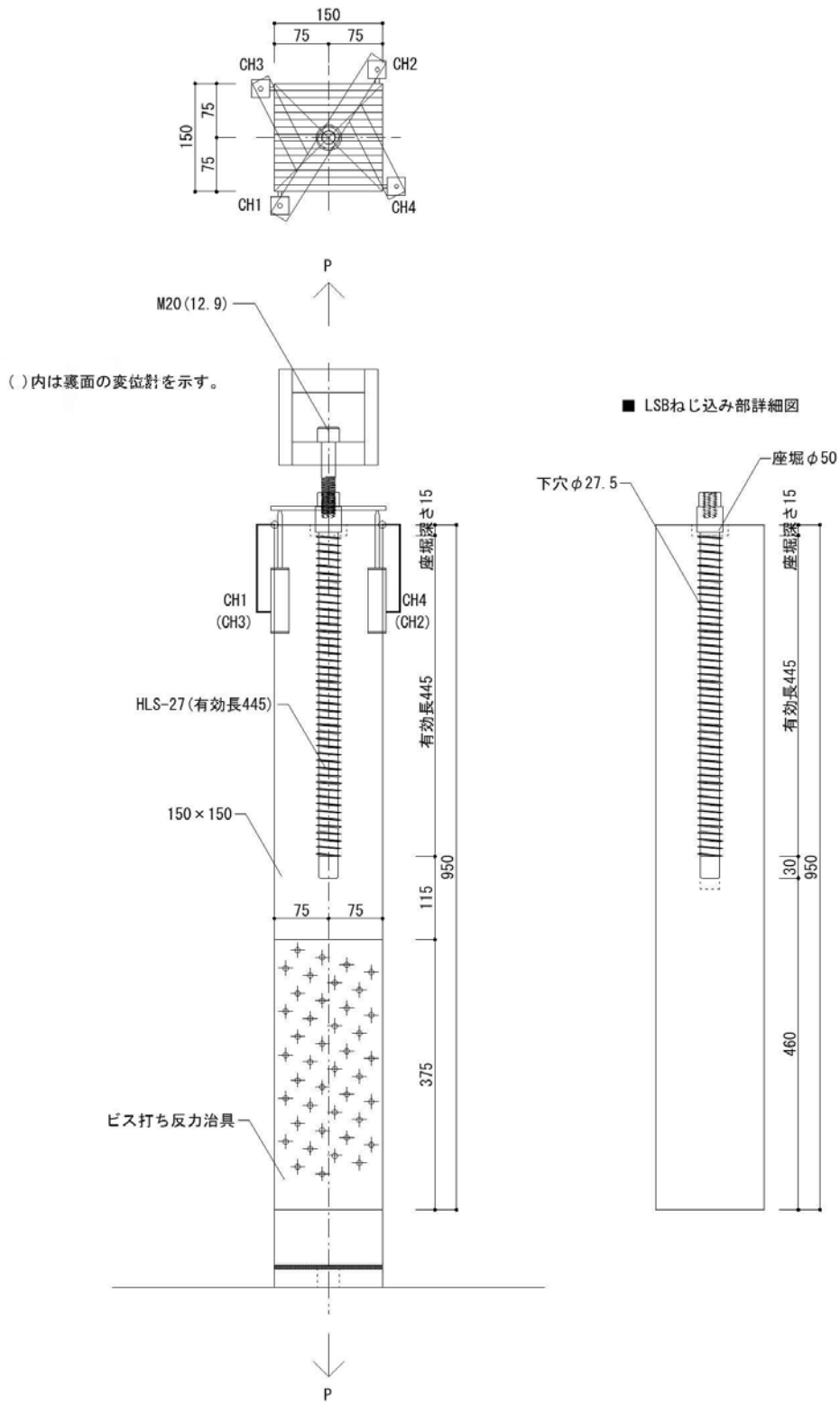


図 2.8 試験体の形状及び寸法 (B-1)

試験体 : B-2 LVL A種 (150×250)
 測定用LSB : HLS-27(有効長445)×2本

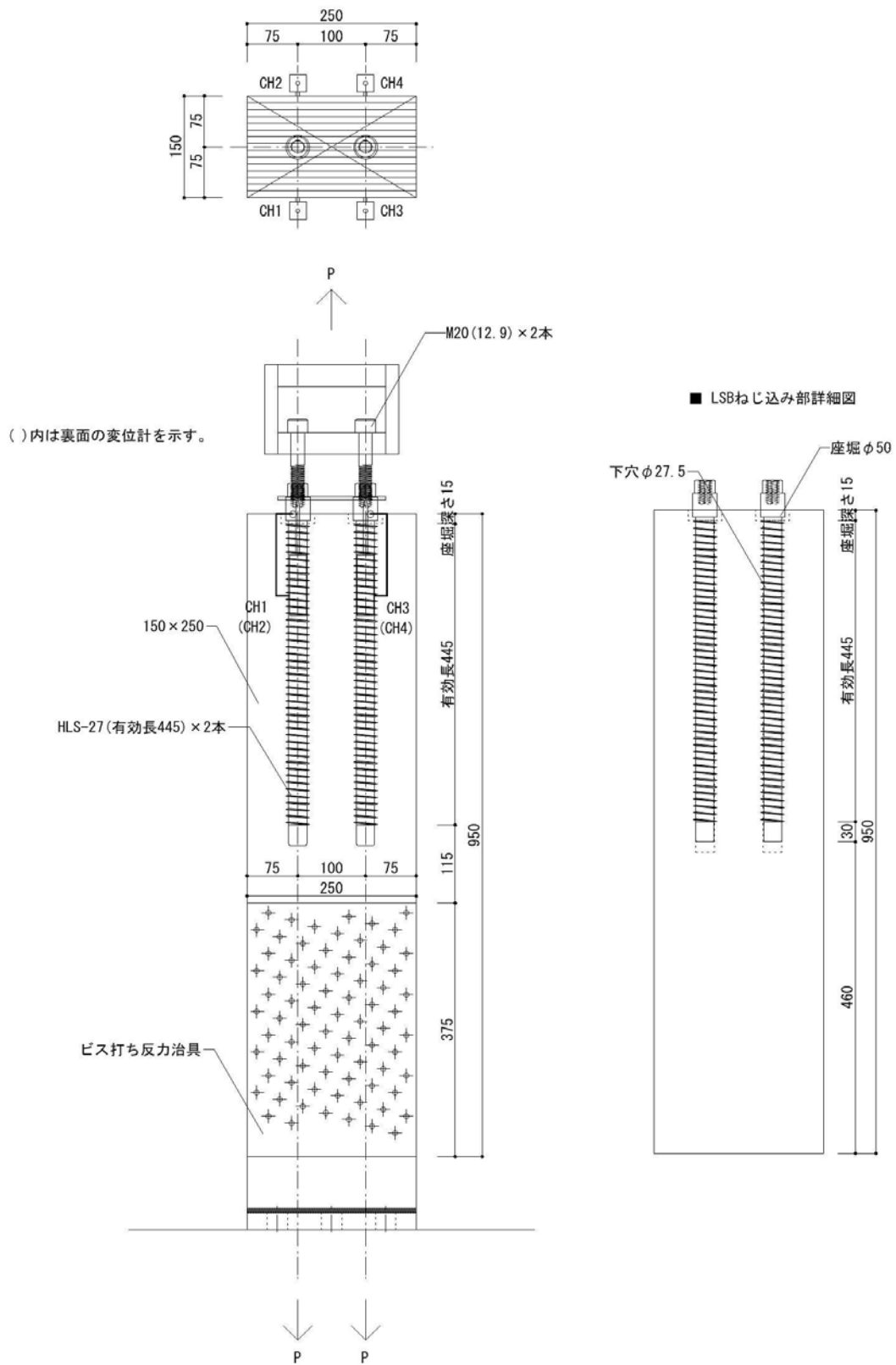


図 2.9 試験体の形状及び寸法 (B-2)

試験体 : C-1 LVL B種 (150×150)
 測定用LSB : HLS-27(有効長445)

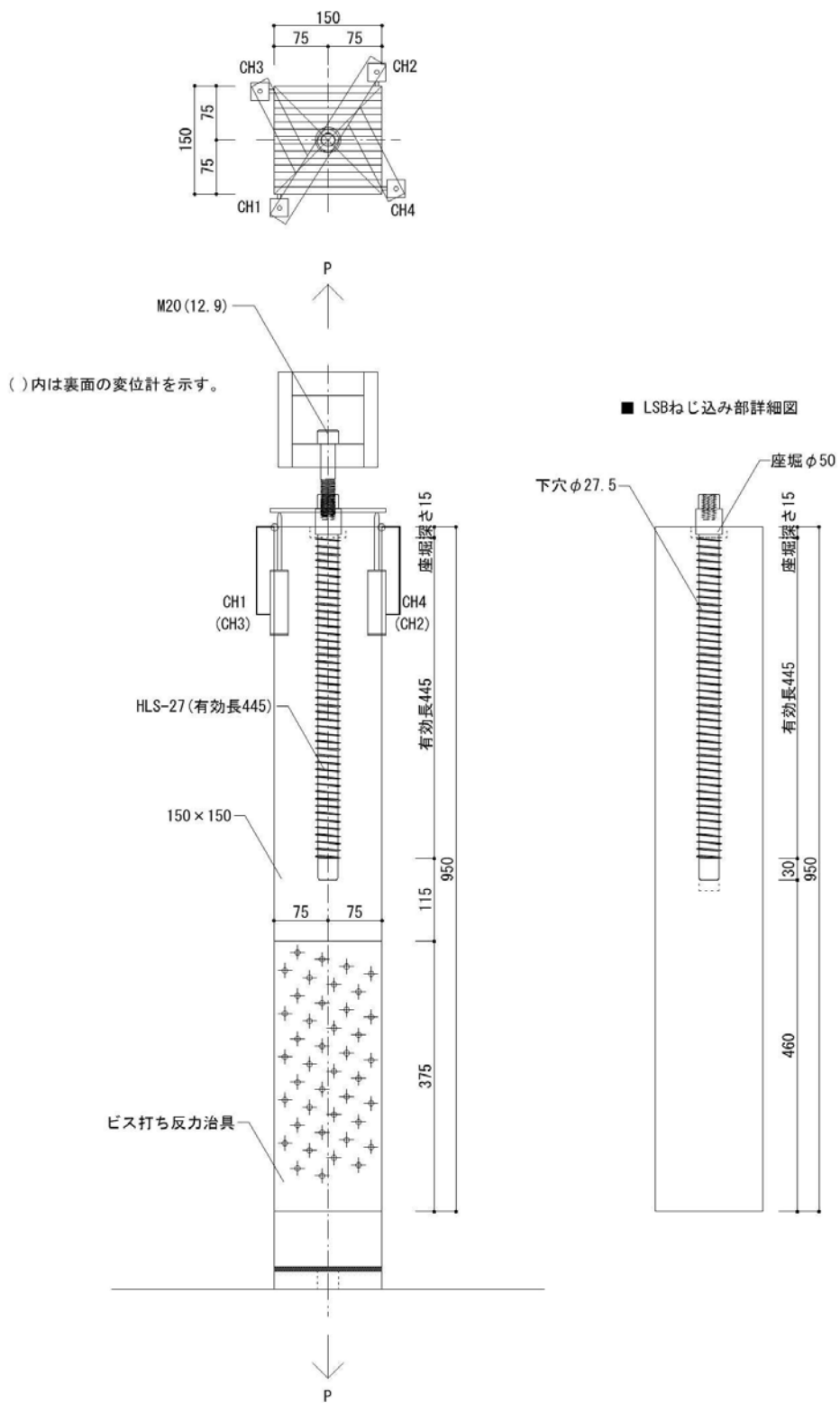


図 2.11 試験体の形状及び寸法 (C-1)

試験体 : C-3 LVL B種 (150×450)
 測定用LSB : HLS-27 (有効埋め込み深さ435)

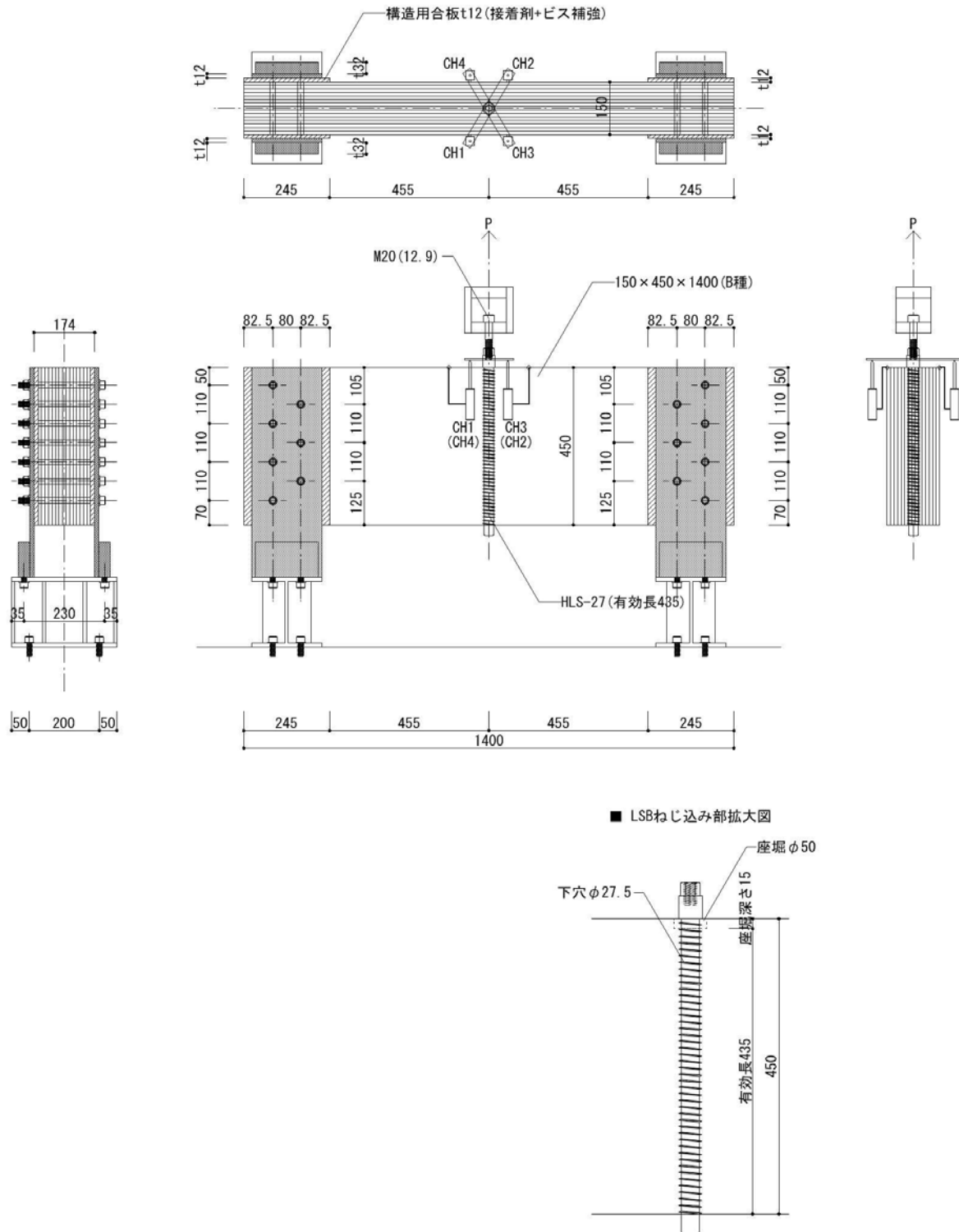


図 2.13 試験体の形状及び寸法 (C-1)

(3)試験体の仕様

試験体の仕様を表 2.1 に示す。

表 2.1 試験体の仕様

樹種	試験体名	荷重方向	LSB 名称	埋め込み深さ(mm)	有効埋め込み長さ(mm)	試験体数	特記
カラマツ LVL	A-1	木口方向	HLS-19-450-M16	390	350	6	LSB 1本
	A-2			390	350	6	LSB 2本
	A-3			390	350	6	LSB 4本
	A-4	積層方向		360	350	6	LSB 1本
	B-1	木口方向	HLS-27-541.5-M20	490	445	6	LSB 1本
	B-2			490	445	6	LSB 2本
	B-3	積層方向		490	445	4	LSB 1本
	C-1	木口方向		490	445	6	LSB 1本
	C-2			490	445	6	LSB 2本
	C-3	積層方向		450	435	6	LSB 1本

※試験体 B-3 については、計測データの不具合により、試験体数 4 体として評価を行った。

6.2.2 試験方法

1000kN 万能試験機を用い、繰り返し加力 (2mm/min) により引抜き試験を行った。写真 2.1～写真 2.2 に繊維平行方向、繊維直交方向の代表的な試験状況を示す。また、加力及び計測に用いた装置を表 2.2 に示す。繰り返し加力スケジュールは、予備試験 (単調加力) から得た降伏変位 δy の固定数列方式とする。すなわち、 δy の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の順で繰り返し加力を行った。加力スケジュール及び試験体の破壊状況を表 2.3 に示す。

表 2.2 加力装置及び計測装置

装置種類	名称
試験機	1000kN 万能試験機
データロガー	TDS-303(東京測器研究所)
変位計	CDP-25 容量 25 mm,感度 : 200 μ /mm(東京測器研究所)

表 2.3 加力スケジュール及び破壊状況

試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.14	0.28	0.56	1.12	1.68	2.24	3.36	4.49	
A-1	No.1	○	○	○	○	○	○	○	○	LSB 抜け
	No.2	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.3	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.4	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.5	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.6	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.15	0.31	0.62	1.25	1.88	2.51	3.77	5.02	
A-2	No.1	○	○	○	○	○	○			木材割れ
	No.2	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.3	○	○	○	○	○	○			木材割れ
	No.4	○	○	○	○	○	○			LSB 抜け
	No.5	○	○	○	○	○	○			木材割れ
	No.6	○	○	○	○	○	○			LSB 抜け
試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.21	0.42	0.84	1.69	2.54	3.38	5.08	6.77	
A-3	No.1	○	○	○						木材割れ
	No.2	○	○	○						木材割れ
	No.3	○	○	○						木材割れ
	No.4	○	○	○						木材割れ
	No.5	○	○	○						木材割れ
	No.6	○	○	○	○					木材割れ
試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.31	0.63	1.26	2.53	3.79	5.06	7.59	10.12	
A-4	No.1	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.2	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.3	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.4	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.5	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.6	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け

試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.09	0.18	0.36	0.79	1.10	1.47	2.21	2.95	
B-1	No.1	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.2	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.3	○	○	○	○	○	○	○	○	LSB 抜け
	No.4	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.5	○	○	○	○	○	○	○	○	LSB 抜け
	No.6	○	○	○	○	○	○	○	○	LSB 抜け
試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.10	0.21	0.43	0.86	1.30	1.73	2.60	3.46	
B-2	No.1	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.2	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.3	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.4	○	○	○	○	○	○	○		LSB 抜け
	No.5	○	○	○	○	○	○	○	○	LSB 抜け
	No.6	○	○	○	○	○	○	○	○	LSB 抜け
試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.54	1.09	2.18	4.36	6.54	8.72	13.09	17.45	
B-3	No.1	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.2	○	○	○	○					LSB 抜け
	No.3	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.4	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.5	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.6	○	○	○	○					LSB 抜け
試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.18	0.37	0.75	1.51	2.27	3.03	4.55	6.07	
C-1	No.1	○	○	○						木材割れ
	No.2	○	○	○						木材割れ
	No.3	○	○	○						木材割れ
	No.4	○	○	○						木材割れ
	No.5	○	○	○						木材割れ
	No.6	○	○	○	○					木材割れ

試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.19	0.39	0.79	1.58	2.37	3.16	4.74	6.32	
C-2	No.1	○	○	○						木材割れ
	No.2	○	○	○						木材割れ
	No.3	○	○	○						木材割れ
	No.4	○	○	○						木材割れ
	No.5	○	○	○						木材割れ
	No.6	○	○	○						木材割れ
試験体	試験体 No.	変位[mm]								破壊状況
		1/2 δ_y	δ_y	2 δ_y	4 δ_y	6 δ_y	8 δ_y	12 δ_y	16 δ_y	
		0.38	0.76	1.52	1.52	2.28	3.04	4.56	6.08	
C-3	No.1	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.2	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.3	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.4	○	○	○	○	○	○			LSB 抜け
	No.5	○	○	○	○	○				LSB 抜け
	No.6	○	○	○	○	○				LSB 抜け



写真 2.1 試験状況（繊維平行方向）



写真 2.2 試験状況（繊維直行方向）

6.2.3. 試験結果

表 3.1.1～表 3.10.2 に試験結果を、図 3.1～図 3.10 に試験仕様毎の荷重-変形曲線(繰り返し荷重)を、図 4.1～図 4.10 に試験仕様毎の荷重-変形曲線、写真 3.1～写真 3.6 に代表的な破壊状況を示す。

ここで、各結果は、以下の設定で整理した。

剛性の計算は、荷重-変位曲線から 0.1Pmax-0.4Pmax の範囲において弾性域を判断し、剛性直線を設定した。

② δ は次式を用いて算出した。

$$\delta = \frac{\#1+\#2+\#3+\#4}{4} \quad (\text{試験体 : A-1}\sim\text{A-2, A-4, B-1}\sim\text{B-2, C-1}\sim\text{C-3})$$

$$\delta = \frac{\#1+\#2+\#3+\#4+\#5+\#6+\#7+\#8}{8} \quad (\text{試験体 : A-3})$$

$$\delta = \frac{\#1+\#2}{2} \quad (\text{試験体 : B-3})$$

③包絡線は、独立行政法人森林総合研究所作成の pickpoint (荷重変形曲線の特徴点抽出の自動化ツール) を利用し求めた。参考値として短期基準引張耐力の算出も行った。

表 3.1.1 繊維平行方向引張試験結果 (A-1)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	P_{max}	(kN)	122.75	123.85	119.97	120.50	124.92	132.15	124.02	4.41
最大荷重の 2/3	$2/3 \cdot P_{max}$	(kN)	81.83	82.57	79.98	80.33	83.28	88.10	82.68	2.94
最大荷重時の変位	δ_{max}	(mm)	1.13	0.91	1.19	1.16	0.81	0.89	1.02	0.16
降伏荷重	P_y	(kN)	77.00	89.72	66.61	67.49	66.14	74.69	73.61	9.10
降伏変位	δ_y	(mm)	0.34	0.43	0.35	0.30	0.30	0.36	0.35	0.05
終局荷重	P_u	(kN)	109.32	108.31	109.81	109.24	112.78	117.40	111.14	3.42
終局変位	δ_u	(mm)	4.47	3.26	4.34	3.92	3.46	3.34	3.80	0.52
初期剛性	K	(kN/mm)	236.05	211.74	190.52	223.92	218.51	218.51	216.54	15.12
降伏点回転角	δ_v	(mm)	0.48	0.52	0.58	0.48	0.51	0.56	0.52	0.04
塑性率	μ		9.26	6.21	7.51	8.15	6.74	5.96	7.31	1.26
構造特性係数	D_s		0.239	0.296	0.267	0.256	0.283	0.302	0.274	0.02
$0.1 \cdot P_{max}$		(kN)	12.28	12.39	12.00	12.05	12.49	13.22	12.40	0.44
$0.1 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.00
$0.4 \cdot P_{max}$		(kN)	49.10	49.54	47.99	48.20	49.97	52.86	49.61	1.76
$0.4 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.20	0.22	0.24	0.20	0.22	0.24	0.22	0.02
$0.9 \cdot P_{max}$		(kN)	110.48	111.47	107.97	108.45	112.43	118.94	111.62	3.97
$0.9 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.63	0.67	0.68	0.54	0.60	0.65	0.63	0.05
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	122.44	119.51	118.48	119.68	122.18	131.15	122.24	4.64
	2mm 時の P	(kN)	112.23	105.46	114.84	111.57	114.38	116.44	112.49	3.87
	3mm 時の P	(kN)	107.05	101.14	109.32	104.97	106.23	109.11	106.30	3.03
	5mm 時の P	(kN)	94.45	—	90.19	—	—	—	—	—
	7mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.1.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	P_{max}	P_y	$2/3 \cdot P_{max}$	初期剛性 K	$P_u \times (0.2/D_s)$ (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	122.75	77.00	81.83	236.05	91.48	107.05
No2 試験体	123.85	89.72	82.57	211.74	73.18	101.14
No3 試験体	119.97	66.61	79.98	190.52	82.25	109.32
No4 試験体	120.5	67.49	80.33	223.92	85.34	104.97
No5 試験体	124.92	66.14	83.28	218.51	79.70	106.23
No6 試験体	132.15	74.69	88.10	218.51	77.75	109.11
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	124.02	73.61	82.68	216.54	81.62	106.30
標準偏差	4.41	9.10	2.94	15.12	6.35	3.03
変動係数 CV	0.036	0.124	0.036	0.070	0.078	0.029
ばらつき係数	0.92	0.71	0.92	0.98	0.82	0.93
基準最大耐力 P_{max0}	113.72	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P_0	—	52.34	75.81	—	66.79	99.22
基準剛性 K_0	—	—	—	212.05	—	—

表 3.2.1 繊維平行方向引張試験結果 (A-2)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	Pmax	(kN)	278.70	288.72	314.20	298.37	285.05	281.17	291.04	13.27
最大荷重の 2/3	2/3・Pmax	(kN)	185.80	192.48	209.47	198.91	190.03	187.45	194.02	8.85
最大荷重時の変位	δmax	(mm)	1.32	0.92	1.16	1.62	1.21	1.22	1.2417	0.23
降伏荷重	Py	(kN)	164.88	132.53	179.02	170.29	132.72	163.87	157.22	19.79
降伏変位	δy	(mm)	0.35	0.26	0.37	0.35	0.26	0.34	0.3217	0.05
終局荷重	Pu	(kN)	253.14	257.74	279.02	271.45	260.37	253.35	262.51	10.50
終局変位	δu	(mm)	3.77	3.45	3.27	4.11	3.42	3.78	3.6333	0.31
初期剛性	K	(kN/mm)	481.40	494.55	494.83	480.32	498.12	498.72	491.32	8.28
降伏点回転角	δv	(mm)	0.54	0.51	0.59	0.56	0.52	0.53	0.5417	0.03
塑性率	μ		6.97	6.78	5.58	7.29	6.62	7.16	6.73	0.62
構造特性係数	Ds		0.278	0.282	0.314	0.271	0.286	0.274	0.284	0.02
0.1・Pmax		(kN)	27.87	28.87	31.42	29.84	28.51	28.12	29.10	1.33
0.1・Pmax 時の変位		(mm)	0.04	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04	0.0450	0.01
0.4・Pmax		(kN)	111.48	115.49	125.68	119.35	114.02	112.47	116.41	5.31
0.4・Pmax 時の変位		(mm)	0.21	0.22	0.25	0.23	0.22	0.21	0.2233	0.02
0.9・Pmax		(kN)	250.83	259.85	282.78	268.53	256.55	253.05	261.93	11.95
0.9・Pmax 時の変位		(mm)	0.71	0.58	0.73	0.69	0.58	0.73	0.6700	0.07
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	272.58	288.67	307.83	281.91	282.42	277.31	285.12	12.36
	2mm 時の P	(kN)	250.61	245.82	253.60	285.93	247.85	248.47	255.38	15.20
	3mm 時の P	(kN)	239.12	237.77	257.68	267.82	243.91	243.32	248.27	11.90
	5mm 時の P	(kN)	—	204.24	—	224.42	—	—	—	—
	7mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.2.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	Pmax	Py	2/3・Pmax	初期剛性 K	Pu×(0.2/Ds) (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	278.70	164.88	185.80	481.40	182.12	239.12
No2 試験体	288.72	132.53	192.48	494.55	182.79	237.77
No3 試験体	314.20	179.02	209.47	494.83	177.72	257.68
No4 試験体	298.37	170.29	198.91	480.32	200.33	267.82
No5 試験体	285.05	132.72	190.03	498.12	182.08	243.91
No6 試験体	281.17	163.87	187.45	498.72	184.93	243.32
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	291.04	157.22	194.02	491.32	184.99	248.27
標準偏差	13.27	19.79	8.85	8.28	7.87	11.90
変動係数 CV	0.046	0.126	0.046	0.017	0.043	0.048
ばらつき係数	0.89	0.71	0.89	0.99	0.90	0.89
基準最大耐力 Pmax0	260.03	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P0	—	110.98	173.35	—	166.61	220.47
基準剛性 K0	—	—	—	488.86	—	—

表 3.3.1 繊維直交方向引張試験結果 (A-3)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	Pmax	(kN)	459.62	493.72	509.70	496.35	533.75	469.77	493.82	26.84
最大荷重の 2/3	2/3・Pmax	(kN)	306.41	329.15	339.80	330.90	355.83	313.18	329.21	17.89
最大荷重時の変位	δmax	(mm)	1.37	1.23	1.61	1.29	1.49	1.08	1.3450	0.19
降伏荷重	Py	(kN)	269.01	264.58	296.89	239.52	290.39	255.60	269.33	21.46
降伏変位	δy	(mm)	0.40	0.38	0.49	0.30	0.46	0.37	0.39	0.07
終局荷重	Pu	(kN)	457.21	485.92	485.91	483.69	528.48	437.48	479.78	30.86
終局変位	δu	(mm)	4.45	4.55	1.70	8.88	7.34	2.19	4.85	2.82
初期剛性	K	(kN/mm)	667.45	728.73	632.78	797.71	763.72	733.10	720.58	60.93
降伏点回転角	δv	(mm)	0.67	0.70	0.80	0.60	0.83	0.63	0.71	0.09
塑性率	μ		6.66	6.53	2.13	14.87	8.78	3.46	7.07	4.51
構造特性係数	Ds		0.284	0.287	0.553	0.186	0.245	0.410	0.328	0.13
0.1・Pmax		(kN)	45.96	49.37	50.97	49.64	53.38	46.98	49.38	2.68
0.1・Pmax 時の変位		(mm)	0.04	0.06	0.08	0.03	0.06	0.06	0.06	0.02
0.4・Pmax		(kN)	183.85	197.49	203.88	198.54	213.50	187.91	197.53	10.73
0.4・Pmax 時の変位		(mm)	0.25	0.26	0.32	0.22	0.31	0.25	0.27	0.04
0.9・Pmax		(kN)	413.66	444.35	458.73	446.72	480.38	422.79	444.44	24.15
0.9・Pmax 時の変位		(mm)	0.80	0.85	0.92	0.81	0.98	0.77	0.86	0.08
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	438.82	468.05	479.15	479.04	485.28	464.08	469.07	16.76
	2mm 時の P	(kN)	494.60	493.00	—	497.06	533.48	406.66	484.96	46.87
	3mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	5mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	7mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.3.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	Pmax	Py	2/3・Pmax	初期剛性 K	Pu×(0.2/Ds) (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	459.62	269.01	306.41	667.45	321.98	—
No2 試験体	493.72	264.58	329.15	728.73	338.62	—
No3 試験体	509.70	296.89	339.80	632.78	175.74	—
No4 試験体	496.35	239.52	330.90	797.71	520.10	—
No5 試験体	533.75	290.39	355.83	763.72	431.41	—
No6 試験体	469.77	255.60	313.18	733.10	213.40	—
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	493.82	269.33	329.21	720.58	333.54	—
標準偏差	26.84	21.46	17.89	60.93	129.52	—
変動係数 CV	0.054	0.080	0.054	0.085	0.388	—
ばらつき係数	0.87	0.81	0.87	0.97	0.09	—
基準最大耐力 Pmax0	431.13	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P0	—	219.20	287.42	—	30.98	—
基準剛性 K0	—	—	—	702.48	—	—

表 3.4.1 繊維直交方向引張試験結果 (A-4)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	P_{max}	(kN)	157.00	161.87	165.05	151.50	134.80	155.80	154.34	10.68
最大荷重の 2/3	$2/3 \cdot P_{max}$	(kN)	104.67	107.91	110.03	101.00	89.87	103.87	102.89	7.12
最大荷重時の変位	δ_{max}	(mm)	3.26	3.10	2.49	2.57	2.47	3.08	2.83	0.36
降伏荷重	P_y	(kN)	96.38	97.11	93.04	88.27	81.72	94.74	91.88	5.89
降伏変位	δ_y	(mm)	0.7900	0.7700	0.7300	0.6900	0.7400	0.7400	0.74	0.03
終局荷重	P_u	(kN)	142.91	147.09	146.31	137.42	122.65	140.19	139.43	8.99
終局変位	δ_u	(mm)	7.66	7.33	7.40	7.67	9.24	7.62	7.82	0.71
初期剛性	K	(kN/mm)	124.43	131.62	131.56	131.47	111.14	137.16	127.90	9.15
降伏点回転角	δ_v	(mm)	1.18	1.18	1.44	1.08	1.10	1.10	1.18	0.13
塑性率	μ		6.50	6.22	6.46	7.08	8.37	6.92	6.93	0.78
構造特性係数	D_s		0.288	0.295	0.289	0.276	0.252	0.279	0.280	0.02
$0.1 \cdot P_{max}$		(kN)	15.70	16.19	16.51	15.15	13.48	15.58	15.43	1.07
$0.1 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.09	0.10	0.10	0.84	0.86	0.80	0.47	0.40
$0.4 \cdot P_{max}$		(kN)	62.80	64.75	66.02	60.60	53.92	62.32	61.73	4.27
$0.4 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.47	0.47	0.47	0.43	0.45	0.42	0.45	0.02
$0.9 \cdot P_{max}$		(kN)	141.30	145.68	148.55	136.35	121.32	140.22	138.90	9.61
$0.9 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	1.66	1.76	1.55	1.53	1.54	1.65	1.62	0.09
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	113.16	114.90	117.27	112.90	99.85	115.98	112.34	6.34
	2mm 時の P	(kN)	148.27	152.42	160.01	147.44	131.10	147.13	147.73	9.49
	3mm 時の P	(kN)	155.30	161.29	159.52	150.13	134.75	155.49	152.75	9.63
	5mm 時の P	(kN)	144.64	149.06	143.97	138.70	128.69	139.46	140.75	7.55
	7mm 時の P	(kN)	131.24	133.40	134.14	127.38	120.09	129.43	129.28	5.65
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	101.74	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.4.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	P_{max}	P_y	$2/3 \cdot P_{max}$	初期剛性 K	$P_u \times (0.2/D_s)$ (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	157.00	96.38	104.67	124.43	99.24	155.30
No2 試験体	161.87	97.11	107.91	131.62	99.72	161.29
No3 試験体	165.05	93.04	110.03	131.56	101.25	159.52
No4 試験体	151.50	88.27	101.00	131.47	99.58	150.13
No5 試験体	134.80	81.72	89.87	111.14	97.34	134.75
No6 試験体	155.80	94.74	103.87	137.16	100.49	155.49
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	154.34	91.88	102.89	127.90	99.61	152.75
標準偏差	10.68	5.89	7.12	9.15	1.32	9.63
変動係数 CV	0.069	0.064	0.069	0.072	0.013	0.063
ばらつき係数	0.84	0.85	0.84	0.98	0.97	0.85
基準最大耐力 P_{max0}	129.38	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P_0	—	78.12	86.26	—	96.51	130.25
基準剛性 K_0	—	—	—	125.18	—	—

表 3.5.1 繊維直交方向引張試験結果 (B-1)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	P_{max}	(kN)	155.80	173.57	144.57	149.50	142.72	166.75	155.49	12.43
最大荷重の 2/3	$2/3 \cdot P_{max}$	(kN)	103.87	115.71	96.38	99.67	95.15	111.17	103.66	8.28
最大荷重時の変位	δ_{max}	(mm)	0.61	0.60	0.52	0.60	0.55	1.10	0.66	0.22
降伏荷重	P_y	(kN)	82.66	91.42	74.55	72.51	71.97	86.06	79.86	8.05
降伏変位	δ_y	(mm)	0.21	0.23	0.18	0.19	0.18	0.24	0.21	0.03
終局荷重	P_u	(kN)	141.54	152.63	130.19	135.11	129.66	151.29	140.07	10.16
終局変位	δ_u	(mm)	2.50	2.52	2.65	2.68	3.17	3.20	2.79	0.32
初期剛性	K	(kN/mm)	416.13	391.39	408.12	380.04	388.97	344.38	388.17	25.20
降伏点回転角	δ_v	(mm)	0.35	0.38	0.32	0.35	0.33	0.43	0.36	0.04
塑性率	μ		7.09	6.55	8.24	7.55	9.56	7.40	7.73	1.05
構造特性係数	D_s		0.275	0.287	0.254	0.266	0.235	0.269	0.264	0.02
$0.1 \cdot P_{max}$		(kN)	15.58	17.36	14.46	14.95	14.27	16.68	15.55	1.24
$0.1 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
$0.4 \cdot P_{max}$		(kN)	62.32	69.43	57.83	59.80	57.09	66.70	62.19	4.97
$0.4 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.14	0.17	0.13	0.15	0.14	0.18	0.15	0.02
$0.9 \cdot P_{max}$		(kN)	140.22	156.21	130.11	134.55	128.45	150.08	139.94	11.18
$0.9 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.43	0.47	0.41	0.41	0.42	0.49	0.44	0.03
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	147.54	157.94	137.13	143.24	138.27	163.98	148.02	10.86
	2mm 時の P	(kN)	136.12	147.80	125.16	130.03	129.86	151.50	136.75	10.65
	3mm 時の P	(kN)	—	134.80	113.19	117.92	118.03	136.10	—	—
	5mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	7mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.5.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	P_{max}	P_y	$2/3 \cdot P_{max}$	初期剛性 K	$P_u \times (0.2/D_s)$ (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	155.80	82.66	103.87	416.13	102.94	—
No2 試験体	173.57	91.42	115.71	391.39	106.36	134.80
No3 試験体	144.57	74.55	96.38	408.12	102.51	113.19
No4 試験体	149.50	72.51	99.67	380.04	101.59	117.92
No5 試験体	142.72	71.97	95.15	388.97	110.35	118.03
No6 試験体	166.75	86.06	111.17	344.38	112.48	136.10
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	155.49	79.86	103.66	388.17	106.04	—
標準偏差	12.43	8.05	8.28	25.20	4.52	—
変動係数 CV	0.080	0.101	0.080	0.065	0.043	—
ばらつき係数	0.81	0.76	0.81	0.98	0.90	—
基準最大耐力 P_{max0}	126.46	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P_0	—	61.05	84.31	—	95.48	—
基準剛性 K_0	—	—	—	380.69	—	—

表 3.6.1 繊維直交方向引張試験結果 (B-2)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	Pmax	(kN)	340.87	290.20	233.67	312.50	298.97	327.97	300.70	37.69
最大荷重の 2/3	2/3・Pmax	(kN)	227.25	193.47	155.78	208.33	199.31	218.65	200.46	25.13
最大荷重時の変位	δmax	(mm)	0.54	0.57	1.20	1.72	0.89	1.28	1.03	0.46
降伏荷重	Py	(kN)	167.26	150.83	140.38	221.25	150.57	180.12	168.40	29.47
降伏変位	δy	(mm)	0.19	0.23	0.21	0.34	0.18	0.25	0.23	0.06
終局荷重	Pu	(kN)	302.65	272.02	217.34	290.50	274.70	306.47	277.28	32.55
終局変位	δu	(mm)	3.27	1.47	3.36	2.62	3.77	4.34	3.14	1.00
初期剛性	K	(kN/mm)	831.58	652.33	685.76	697.90	841.93	735.90	740.90	78.98
降伏点回転角	δv	(mm)	0.35	0.41	0.32	0.44	0.33	0.42	0.38	0.05
塑性率	μ		9.24	3.58	10.29	5.92	11.46	10.31	8.47	3.05
構造特性係数	Ds		0.239	0.402	0.225	0.303	0.213	0.225	0.268	0.07
0.1・Pmax		(kN)	34.09	29.02	23.37	31.25	29.90	32.80	30.07	3.77
0.1・Pmax 時の変位		(mm)	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01
0.4・Pmax		(kN)	136.35	116.08	93.47	125.00	119.59	131.19	120.28	15.08
0.4・Pmax 時の変位		(mm)	0.15	0.17	0.13	0.17	0.13	0.17	0.15	0.02
0.9・Pmax		(kN)	306.78	261.18	210.30	281.25	269.07	295.17	270.63	33.92
0.9・Pmax 時の変位		(mm)	0.42	0.44	0.41	0.71	0.40	0.46	0.47	0.12
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	310.20	272.99	231.09	288.24	293.89	325.73	287.02	32.89
	2mm 時の P	(kN)	300.26	—	221.62	291.49	287.88	320.39	—	—
	3mm 時の P	(kN)	272.71	—	202.52	256.85	261.36	306.56	—	—
	5mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	217.06	247.85	—	—
	7mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.6.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	Pmax	Py	2/3・Pmax	初期剛性 K	Pu×(0.2/Ds) (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	340.87	167.26	227.25	831.58	253.26	272.71
No2 試験体	290.20	150.83	193.47	652.33	135.33	—
No3 試験体	233.67	140.38	155.78	685.76	193.19	202.52
No4 試験体	312.50	221.25	208.33	697.90	191.75	256.85
No5 試験体	298.97	150.57	199.31	841.93	257.93	261.36
No6 試験体	327.97	180.12	218.65	735.90	272.42	306.56
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	300.70	168.40	200.46	740.90	217.31	—
標準偏差	37.69	29.47	25.13	78.98	52.79	—
変動係数 CV	0.125	0.175	0.125	0.107	0.243	—
ばらつき係数	0.71	0.59	0.71	0.97	0.43	—
基準最大耐力 Pmax0	212.65	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P0	—	99.55	141.77	—	93.99	—
基準剛性 K0	—	—	—	717.44	—	—

表 3.7.1 繊維直交方向引張試験結果 (B-3)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	Pmax	(kN)	288.37	279.30	290.70	306.35	—	—	291.18	11.25
最大荷重の 2/3	2/3・Pmax	(kN)	192.25	186.20	193.80	204.23	—	—	194.12	7.50
最大荷重時の変位	δmax	(mm)	2.51	1.87	2.20	2.13	—	—	2.18	0.26
降伏荷重	Py	(kN)	171.83	142.93	150.77	189.77	—	—	163.83	21.17
降伏変位	δy	(mm)	0.78	0.69	0.65	0.85	—	—	0.74	0.09
終局荷重	Pu	(kN)	256.38	247.71	263.19	278.23	—	—	261.38	12.90
終局変位	δu	(mm)	6.68	5.68	6.10	5.88	—	—	6.09	0.43
初期剛性	K	(kN/mm)	227.78	206.54	234.10	234.68	—	—	225.78	13.20
降伏点回転角	δv	(mm)	1.17	1.20	1.13	1.25	—	—	1.19	0.05
塑性率	μ		5.70	4.74	5.37	4.70	—	—	5.13	0.49
構造特性係数	Ds		0.310	0.343	0.320	0.344	—	—	0.33	0.02
0.1・Pmax		(kN)	28.84	27.93	29.07	30.64	—	—	29.12	1.12
0.1・Pmax 時の変位		(mm)	0.12	0.12	0.11	0.13	—	—	0.12	0.01
0.4・Pmax		(kN)	115.35	111.72	116.28	122.54	—	—	116.47	4.50
0.4・Pmax 時の変位		(mm)	0.50	0.53	0.49	0.52	—	—	0.51	0.02
0.9・Pmax		(kN)	259.53	251.37	261.63	275.72	—	—	262.06	10.12
0.9・Pmax 時の変位		(mm)	1.50	1.26	1.31	1.37	—	—	1.36	0.10
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	105.98	194.33	213.60	215.06	—	—	182.24	51.71
	2mm 時の P	(kN)	285.29	278.85	287.18	303.69	—	—	288.75	10.58
	3mm 時の P	(kN)	276.16	254.21	278.05	297.27	—	—	276.42	17.61
	5mm 時の P	(kN)	244.87	228.80	248.17	258.99	—	—	245.21	15.30
	7mm 時の P	(kN)	218.99	—	227.66	234.88	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.7.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	Pmax	Py	2/3・Pmax	初期剛性 K	Pu×(0.2/Ds) (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	288.37	171.83	192.25	227.78	165.41	276.16
No2 試験体	279.3	142.93	186.20	206.54	144.44	254.21
No3 試験体	290.7	150.77	193.80	234.10	164.49	278.05
No4 試験体	306.35	189.77	204.23	234.68	161.76	297.27
No5 試験体	—	—	—	—	—	—
No6 試験体	—	—	—	—	—	—
試験体数 n	4	4	4	4	4	4
試験体数 n による係数 k	2.681	2.681	2.681	0.383	2.681	2.681
平均値	291.18	163.83	194.12	225.78	159.02	276.42
標準偏差	11.25	21.17	7.50	13.20	9.85	17.61
変動係数 CV	0.039	0.129	0.039	0.058	0.062	0.064
ばらつき係数	0.90	0.65	0.90	0.98	0.83	0.83
基準最大耐力 Pmax0	261.03	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P0	—	107.07	174.02	—	132.62	229.20
基準剛性 K0	—	—	—	220.72	—	—

表 3.8.1 繊維直交方向引張試験結果 (C-1)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	P_{max}	(kN)	222.90	207.92	198.40	201.75	186.12	187.70	200.80	13.66
最大荷重の 2/3	$2/3 \cdot P_{max}$	(kN)	148.60	138.61	132.27	134.50	124.08	125.13	133.87	9.11
最大荷重時の変位	δ_{max}	(mm)	1.15	0.92	1.38	1.41	1.23	1.53	1.27	0.22
降伏荷重	P_y	(kN)	124.62	109.24	103.75	114.64	103.88	100.34	109.41	8.98
降伏変位	δ_y	(mm)	0.40	0.37	0.35	0.39	0.34	0.34	0.37	0.03
終局荷重	P_u	(kN)	215.01	186.98	185.32	193.21	175.06	180.63	189.37	13.97
終局変位	δ_u	(mm)	1.47	0.92	1.38	1.62	1.23	2.26	1.48	0.45
初期剛性	K	(kN/mm)	306.78	290.06	310.82	289.39	305.12	301.42	300.60	8.95
降伏点回転角	δ_v	(mm)	0.70	0.64	0.62	0.66	0.58	0.61	0.64	0.04
塑性率	μ		2.10	1.44	2.22	2.46	2.11	3.71	2.34	0.75
構造特性係数	D_s		0.558	0.728	0.538	0.504	0.556	0.394	0.546	0.11
$0.1 \cdot P_{max}$		(kN)	22.29	20.79	19.84	20.18	18.61	18.77	20.08	1.37
$0.1 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01
$0.4 \cdot P_{max}$		(kN)	89.16	83.17	79.36	80.70	74.45	75.08	80.32	5.46
$0.4 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.27	0.27	0.25	0.26	0.23	0.24	0.25	0.02
$0.9 \cdot P_{max}$		(kN)	200.61	187.13	178.56	181.58	167.51	168.93	180.72	12.29
$0.9 \cdot P_{max}$ 時の変位		(mm)	0.78	0.76	0.77	0.74	0.68	0.70	0.74	0.04
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	220.76	—	192.66	194.32	181.69	184.12	—	—
	2mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	193.51	—	—
	3mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	5mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	7mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.8.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	P_{max}	P_y	$2/3 \cdot P_{max}$	初期剛性 K	$P_u \times (0.2/D_s)$ (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	222.90	124.62	148.60	306.78	77.06	—
No2 試験体	207.92	109.24	138.61	290.06	51.37	—
No3 試験体	198.40	103.75	132.27	310.82	68.89	—
No4 試験体	201.75	114.64	134.50	289.39	76.67	—
No5 試験体	186.12	103.88	124.08	305.12	62.97	—
No6 試験体	187.70	100.34	125.13	301.42	91.69	—
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	200.80	109.41	133.87	300.60	71.44	—
標準偏差	13.66	8.98	9.11	8.95	13.79	—
変動係数 CV	0.068	0.082	0.068	0.030	0.193	—
ばらつき係数	0.84	0.81	0.84	0.99	0.55	—
基準最大耐力 P_{max0}	168.89	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P_0	—	88.42	112.59	—	39.24	—
基準剛性 K_0	—	—	—	297.94	—	—

表 3.9.1 繊維直交方向引張試験結果 (C-2)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	Pmax	(kN)	428.50	441.70	401.70	416.60	405.20	427.47	420.20	15.26
最大荷重の 2/3	2/3・Pmax	(kN)	285.67	294.47	267.80	277.73	270.13	284.98	280.13	10.17
最大荷重時の変位	δmax	(mm)	1.16	1.26	1.35	1.36	1.50	5.10	1.96	1.54
降伏荷重	Py	(kN)	241.58	262.33	231.94	235.70	228.51	245.59	240.94	12.19
降伏変位	δy	(mm)	0.45	0.49	0.46	0.47	0.43	0.45	0.46	0.02
終局荷重	Pu	(kN)	401.90	424.37	365.34	389.68	390.71	423.16	399.19	22.47
終局変位	δu	(mm)	1.16	1.36	1.35	1.36	1.50	5.10	1.97	1.54
初期剛性	K	(kN/mm)	523.96	538.29	523.33	518.07	541.02	551.22	532.65	12.82
降伏点回転角	δv	(mm)	0.75	0.79	0.72	0.77	0.73	0.78	0.76	0.03
塑性率	μ		1.53	1.73	1.87	1.76	2.05	6.52	2.58	1.94
構造特性係数	Ds		0.696	0.636	0.602	0.628	0.567	0.287	0.569	0.14
0.1・Pmax		(kN)	42.85	44.17	40.17	41.66	40.52	42.75	42.02	1.53
0.1・Pmax 時の変位		(mm)	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.00
0.4・Pmax		(kN)	171.40	176.68	160.68	166.64	162.08	170.99	168.08	6.10
0.4・Pmax 時の変位		(mm)	0.31	0.31	0.29	0.31	0.28	0.30	0.30	0.01
0.9・Pmax		(kN)	385.65	397.53	361.53	374.94	364.68	384.72	378.18	13.73
0.9・Pmax 時の変位		(mm)	0.84	0.84	0.97	0.93	0.82	0.86	0.88	0.06
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	419.12	426.18	366.87	387.78	401.98	411.74	402.28	21.95
	2mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	3mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	5mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	7mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.9.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	Pmax	Py	2/3・Pmax	初期剛性 K	Pu×(0.2/Ds) (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	428.50	241.58	285.67	523.96	115.49	—
No2 試験体	441.70	262.33	294.47	538.29	133.45	—
No3 試験体	401.70	231.94	267.80	523.33	121.38	—
No4 試験体	416.60	235.70	277.73	518.07	124.10	—
No5 試験体	405.20	228.51	270.13	541.02	137.82	—
No6 試験体	427.47	245.59	284.98	551.22	294.89	—
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	420.20	240.94	280.13	532.65	154.52	—
標準偏差	15.26	12.19	10.17	12.82	69.24	—
変動係数 CV	0.036	0.051	0.036	0.024	0.448	—
ばらつき係数	0.92	0.88	0.92	0.99	-0.05	—
基準最大耐力 Pmax0	384.55	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P0	—	212.47	256.37	—	-7.23	—
基準剛性 K0	—	—	—	528.84	—	—

表 3.10.1 繊維直交方向引張試験結果 (C-3)

			No1	No2	No3	No4	No5	No6	平均	標準偏差
最大荷重	Pmax	(kN)	277.00	269.30	254.35	282.45	266.42	256.20	267.62	11.12
最大荷重の 2/3	2/3・Pmax	(kN)	184.67	179.53	169.57	188.30	177.61	170.80	178.41	7.42
最大荷重時の変位	δmax	(mm)	2.54	2.39	2.06	2.52	2.20	2.23	2.32	0.19
降伏荷重	Py	(kN)	144.48	153.08	131.98	181.45	137.59	137.60	147.70	18.05
降伏変位	δy	(mm)	0.67	0.72	0.63	0.89	0.65	0.66	0.70	0.10
終局荷重	Pu	(kN)	244.73	238.08	229.37	255.29	240.47	228.35	239.38	10.06
終局変位	δu	(mm)	6.49	6.09	4.54	6.18	4.54	5.62	5.58	0.85
初期剛性	K	(kN/mm)	218.82	217.06	207.76	212.69	214.98	208.82	213.36	4.44
降伏点回転角	δv	(mm)	1.13	1.12	1.10	1.25	1.13	1.09	1.14	0.06
塑性率	μ		5.75	5.46	4.11	4.94	4.01	5.14	4.90	0.71
構造特性係数	Ds		0.308	0.317	0.372	0.335	0.377	0.328	0.340	0.03
0.1・Pmax		(kN)	27.70	26.93	25.44	28.25	26.64	25.62	26.76	1.11
0.1・Pmax 時の変位		(mm)	0.11	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.01
0.4・Pmax		(kN)	110.80	107.72	101.74	112.98	106.57	102.48	107.05	4.45
0.4・Pmax 時の変位		(mm)	0.49	0.47	0.47	0.51	0.48	0.47	0.48	0.02
0.9・Pmax		(kN)	249.30	242.37	228.92	254.21	239.78	230.58	240.86	10.01
0.9・Pmax 時の変位		(mm)	1.34	1.23	1.34	1.42	1.35	1.30	1.33	0.06
特定変位時の荷重 P	1mm 時の P	(kN)	201.38	200.35	185.46	200.20	193.56	190.97	195.32	6.40
	2mm 時の P	(kN)	269.59	262.75	254.18	273.87	264.07	255.06	263.25	7.79
	3mm 時の P	(kN)	272.47	256.11	233.38	275.78	249.99	243.31	255.17	16.54
	5mm 時の P	(kN)	227.42	219.40	202.59	238.46	206.17	205.02	216.51	14.99
	7mm 時の P	(kN)	207.83	—	—	—	—	—	—	—
	10mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	20mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—
	30mm 時の P	(kN)	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.10.2 最大荷重(95%下限値)・短期基準引張耐力(95%下限値)・基準剛性(50%下限値)の算定

	Pmax	Py	2/3・Pmax	初期剛性 K	Pu×(0.2/Ds) (参考)	3mm 時の P (参考)
No1 試験体	277.00	144.48	184.67	218.82	158.92	272.47
No2 試験体	269.30	153.08	179.53	217.06	150.21	256.11
No3 試験体	254.35	131.98	169.57	207.76	123.32	233.38
No4 試験体	282.45	181.45	188.30	212.69	152.41	275.78
No5 試験体	266.42	137.59	177.61	214.98	127.57	249.99
No6 試験体	256.20	137.60	170.80	208.82	139.24	243.31
試験体数 n	6	6	6	6	6	6
試験体数 n による係数 k	2.336	2.336	2.336	0.297	2.336	2.336
平均値	267.62	147.70	178.41	213.36	141.94	255.17
標準偏差	11.12	18.05	7.42	4.44	14.33	16.54
変動係数 CV	0.042	0.122	0.042	0.021	0.101	0.065
ばらつき係数	0.90	0.71	0.90	0.99	0.76	0.85
基準最大耐力 Pmax0	241.64	—	—	—	—	—
短期基準引張耐力 P0	—	105.52	161.09	—	108.47	216.54
基準剛性 K0	—	—	—	212.04	—	—

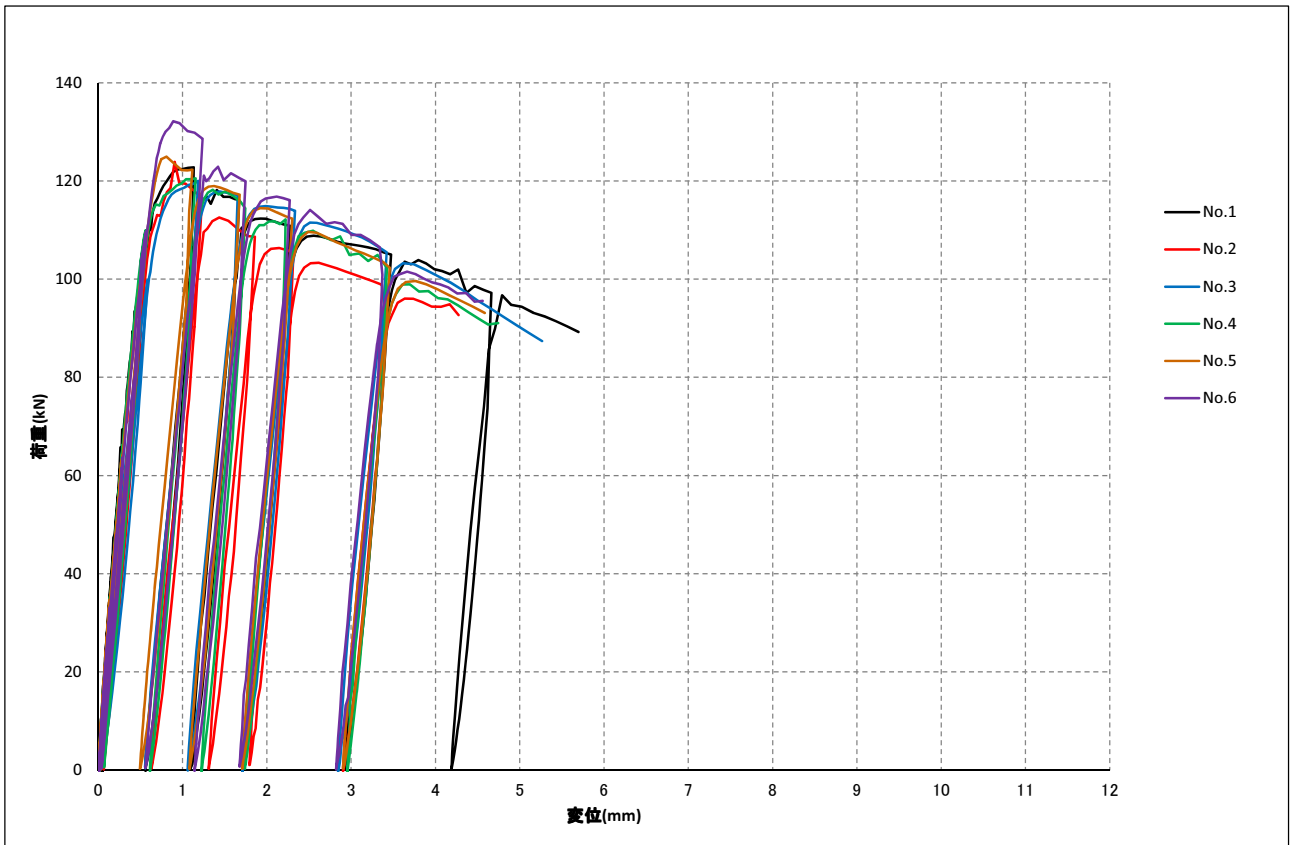


図 3.1 荷重と変位の関係 繰り返し履歴線(A-1：繊維平行方向、 ϕ 25.4、カマツ LVL B 種)

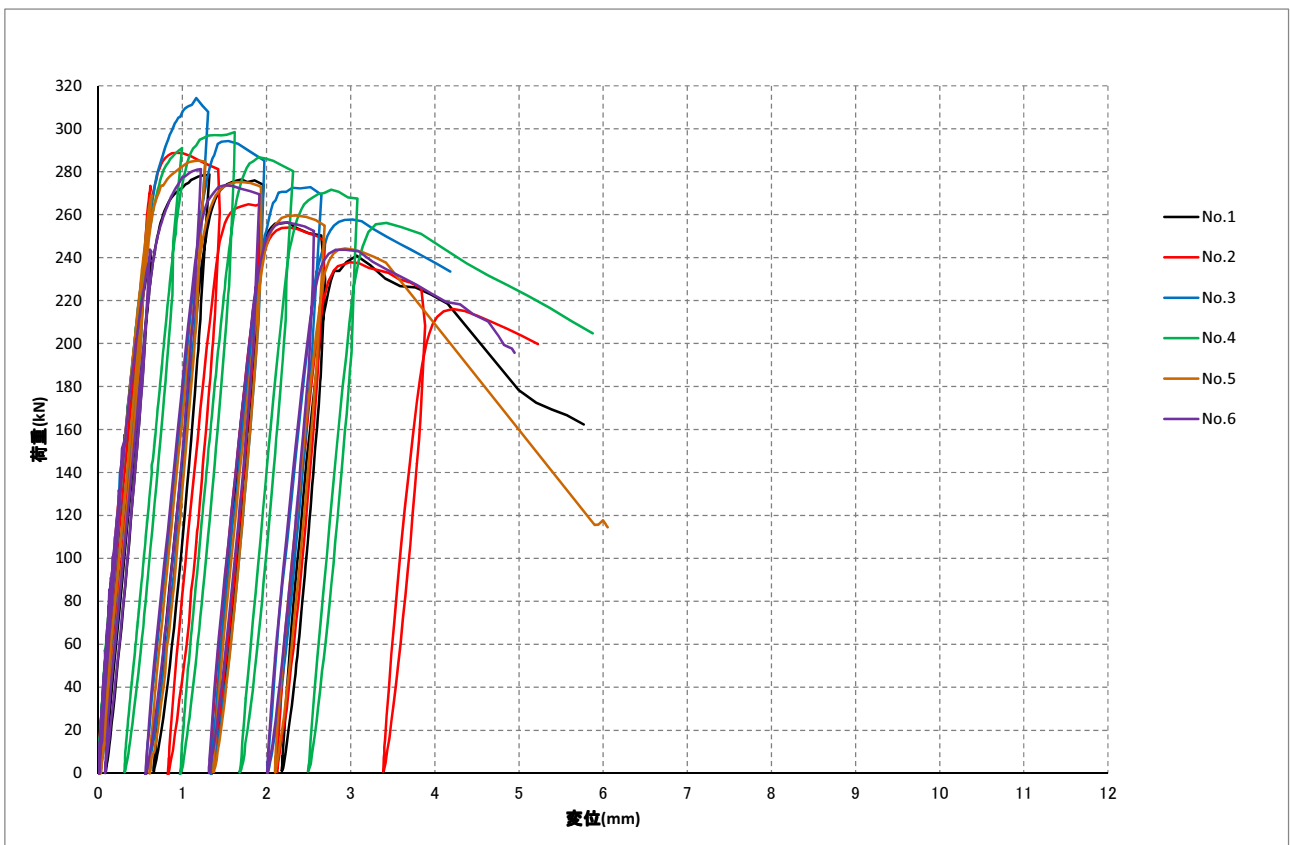


図 3.2 荷重と変位の関係 繰り返し履歴線(A-2：繊維平行方向、 ϕ 25.4、カマツ LVL B 種)

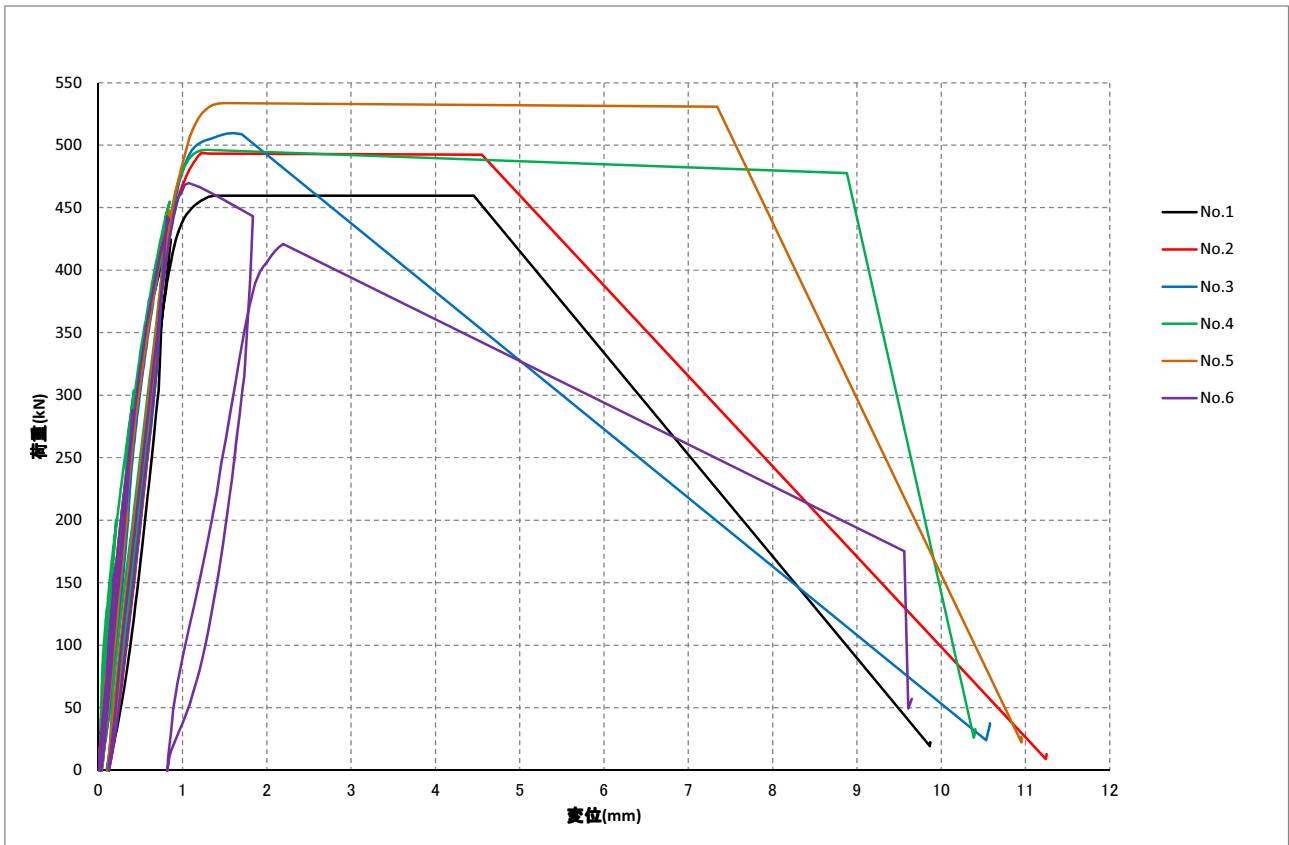


図 3.3 荷重と変位の関係 繰返し履歴線(A-3：繊維平行方向、 ϕ 25.4、カマツ LVL B 種)

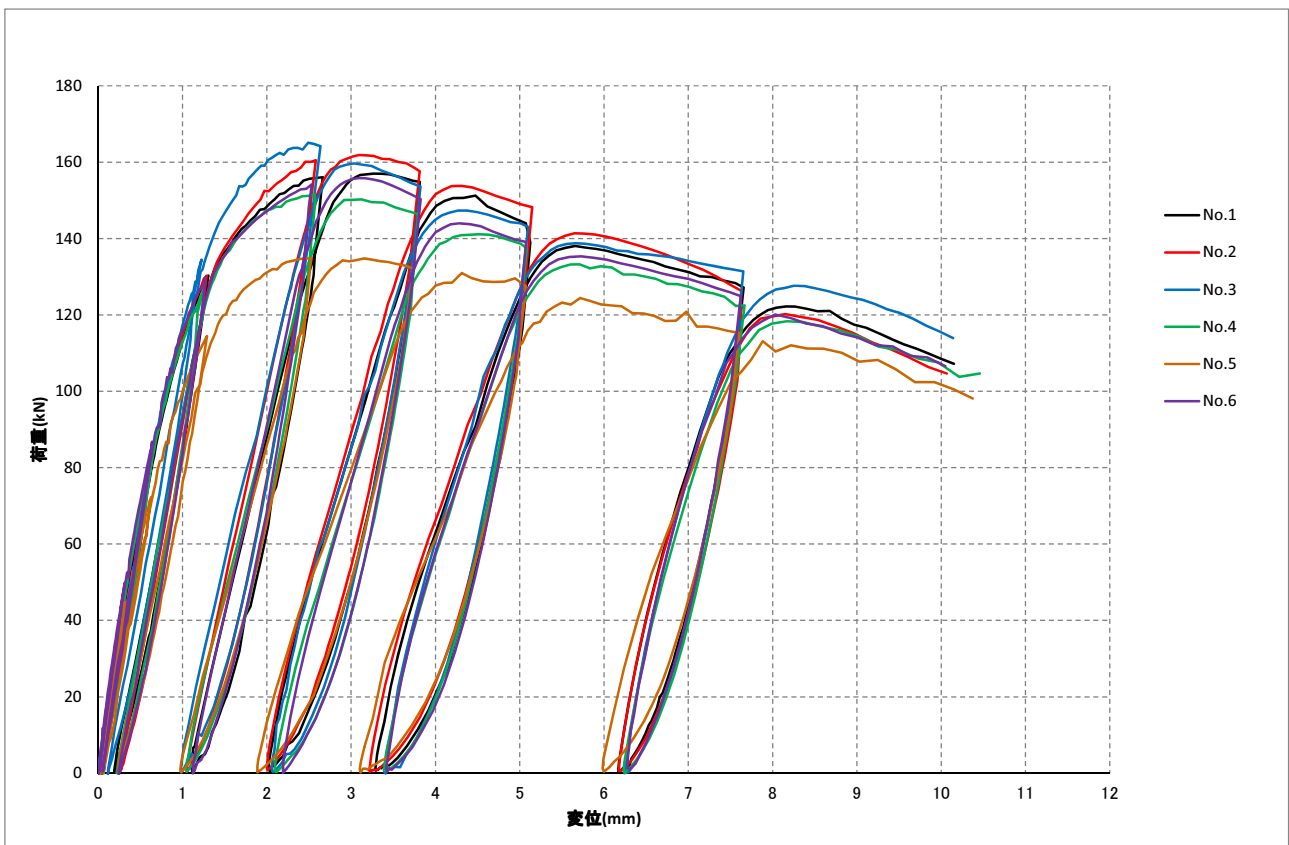


図 3.4 荷重と変位の関係 繰返し履歴線(A-4：繊維直交方向、 ϕ 25.4、カマツ LVL B 種)

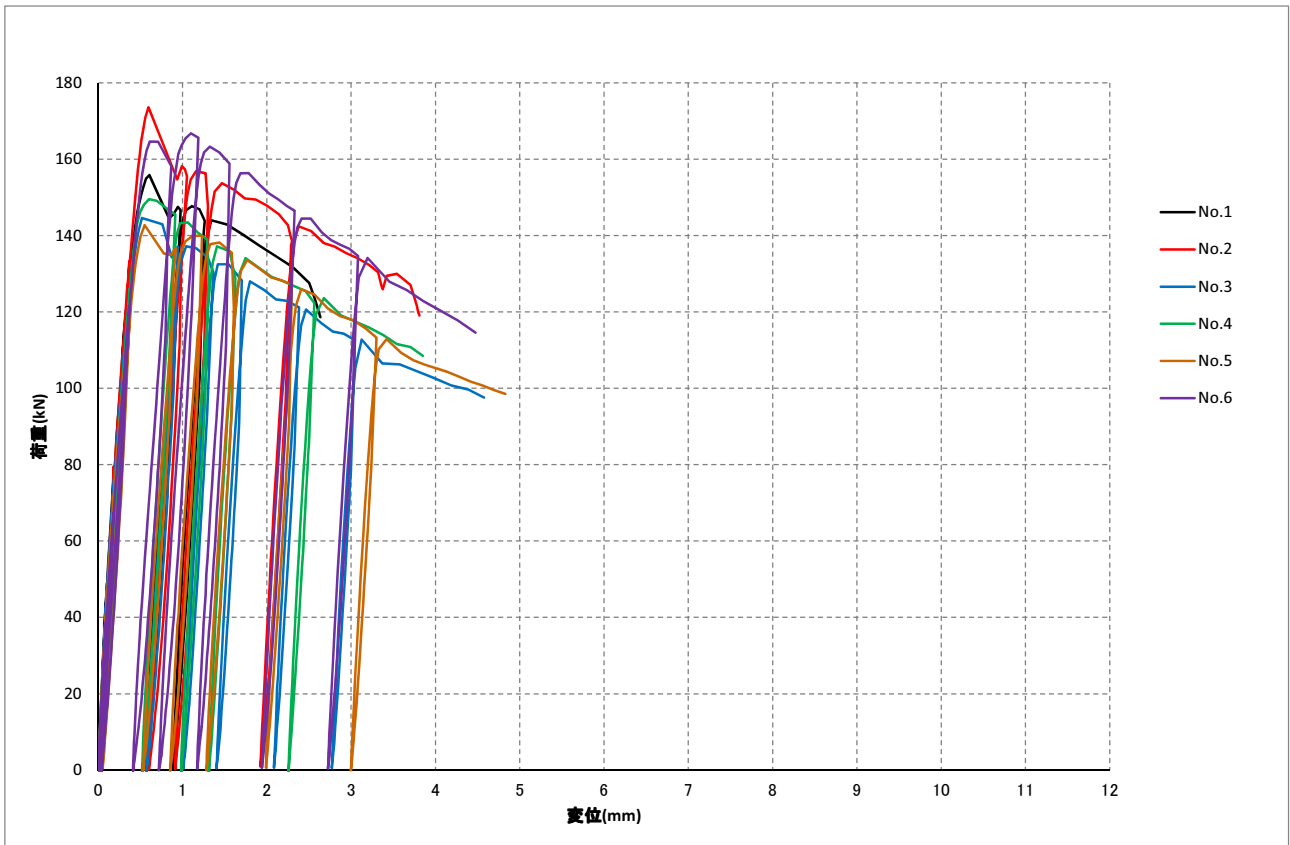


図 3.5 荷重と変位の関係 繰り返し履歴線(B-1：繊維平行方向、 ϕ 35、カマツ LVL A 種)

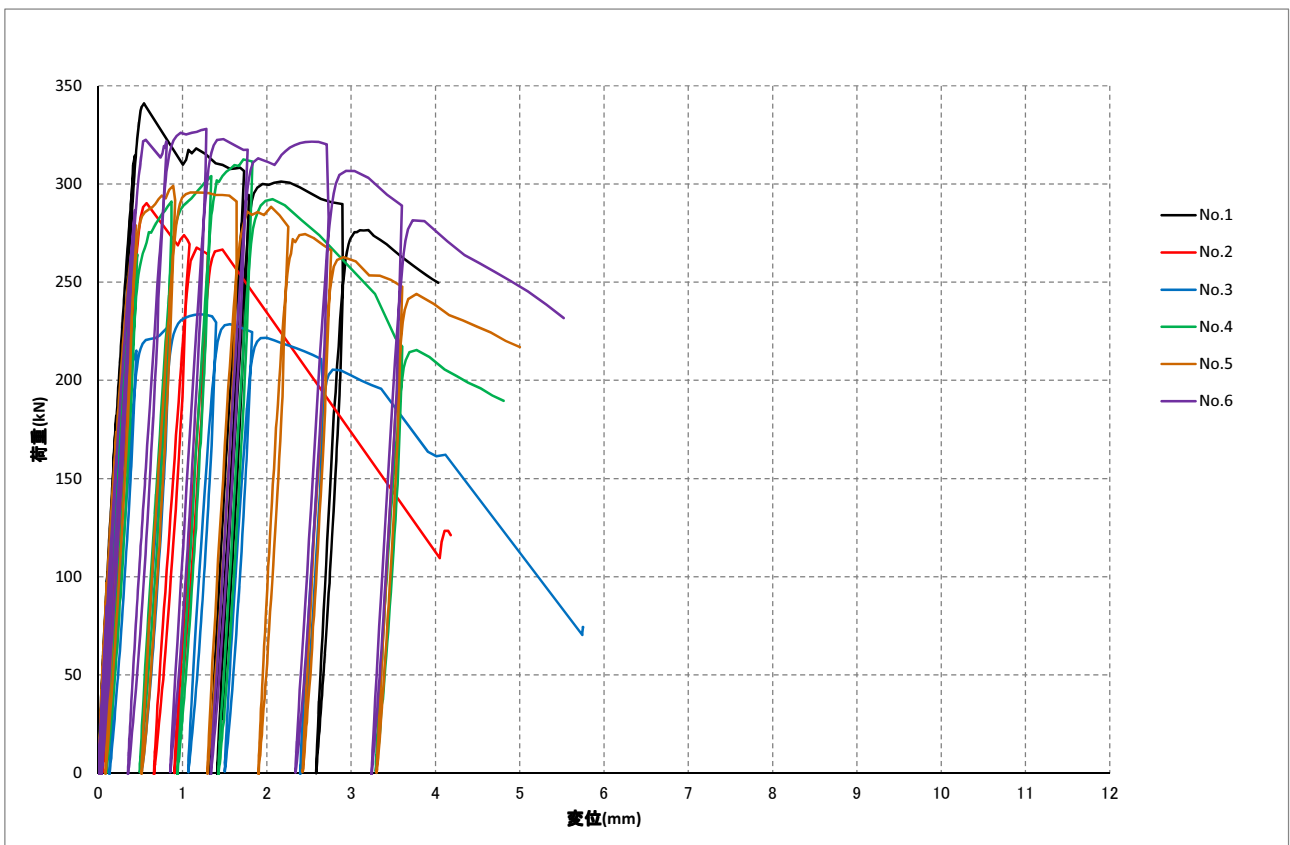


図 3.6 荷重と変位の関係 繰り返し履歴線(B-2：繊維平行方向、 ϕ 35、カマツ LVL A 種)

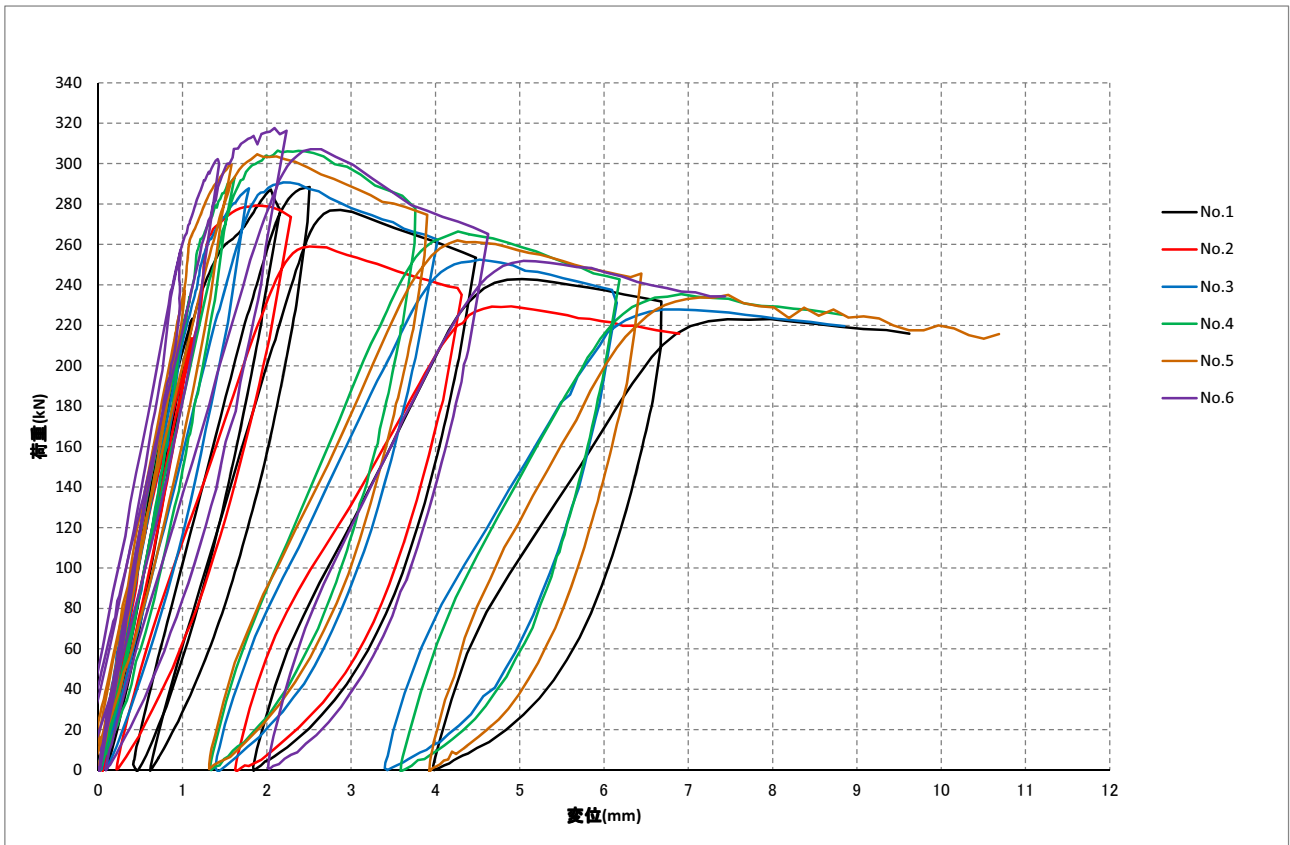


図 3.7 荷重と変位の関係 繰り返し履歴線(B-3：繊維直交方向、 ϕ 35、カマツ LVL A 種)

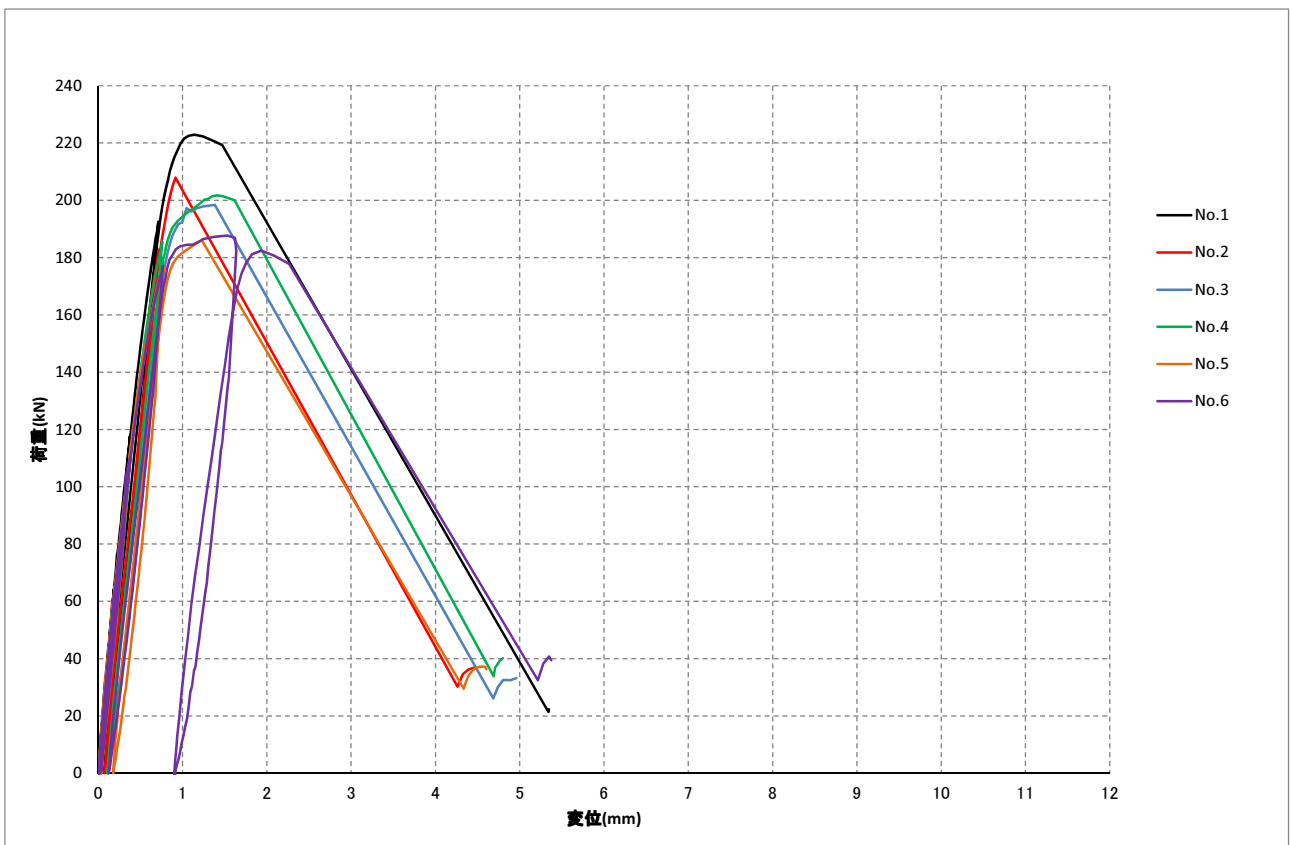


図 3.8 荷重と変位の関係 繰り返し履歴線(C-1：繊維平行方向、 ϕ 35、カマツ LVL B 種)

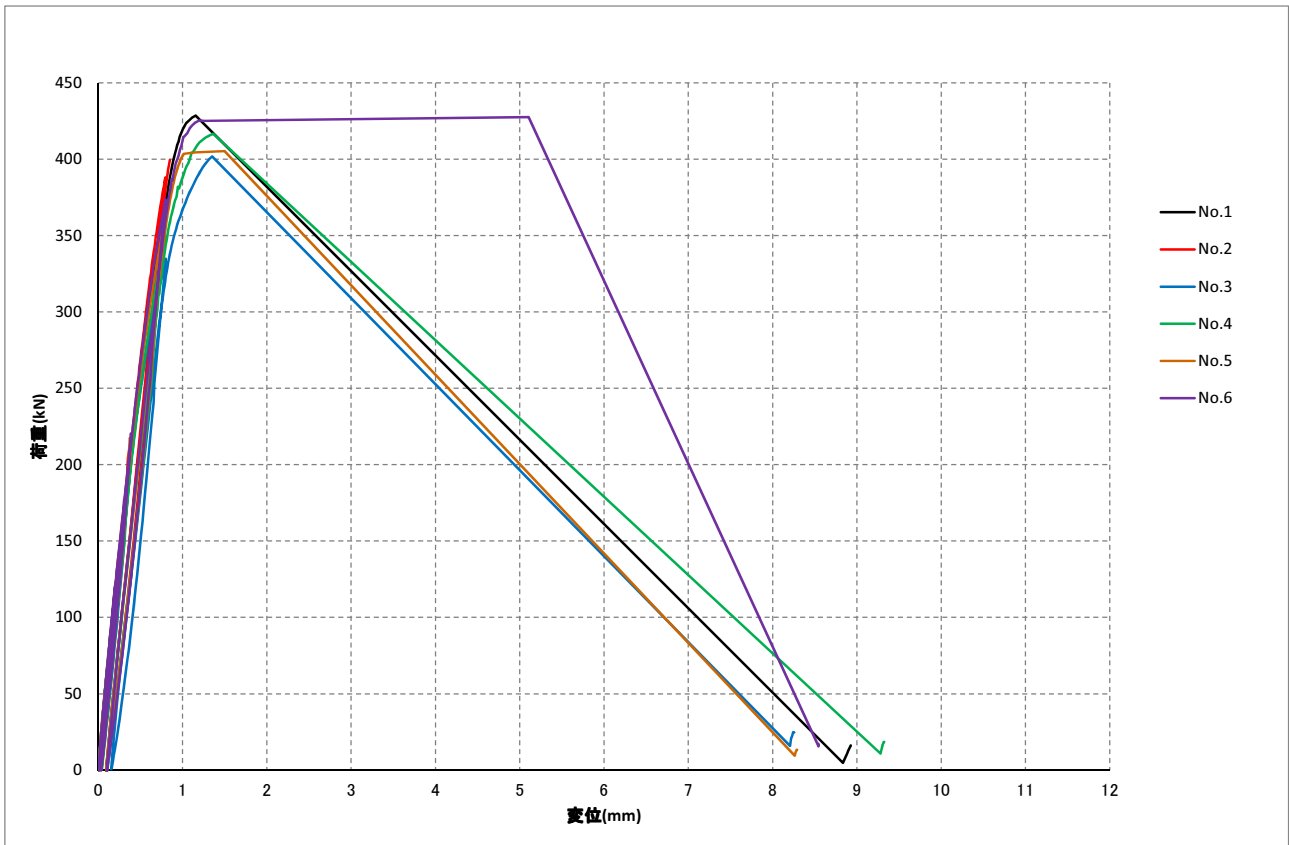


図 3.9 荷重と変位の関係 繰り返し履歴線(C-2：繊維平行方向、 ϕ 35、カマツ LVL B 種)

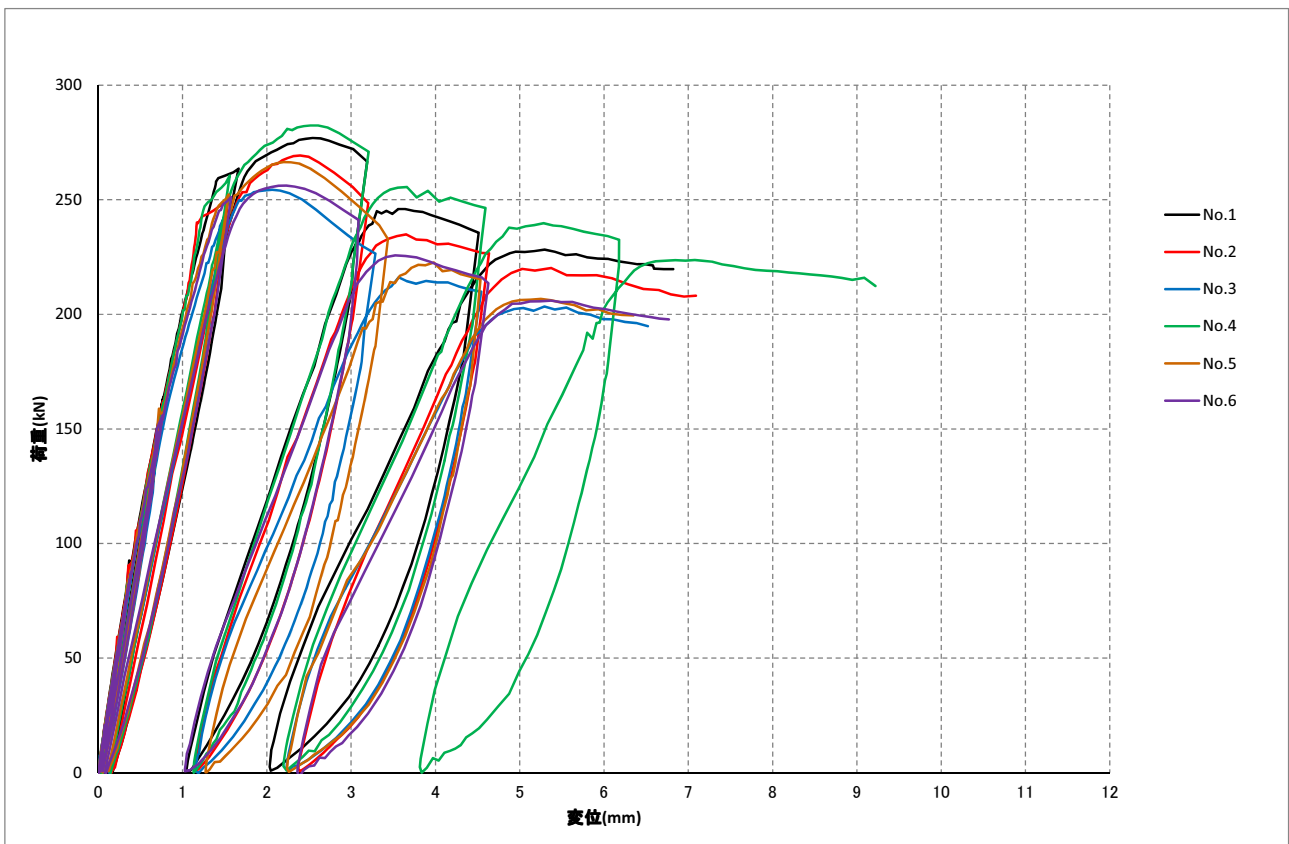


図 3.10 荷重と変位の関係 繰り返し履歴線(C-3：繊維直交方向、 ϕ 35、カマツ LVL B 種)

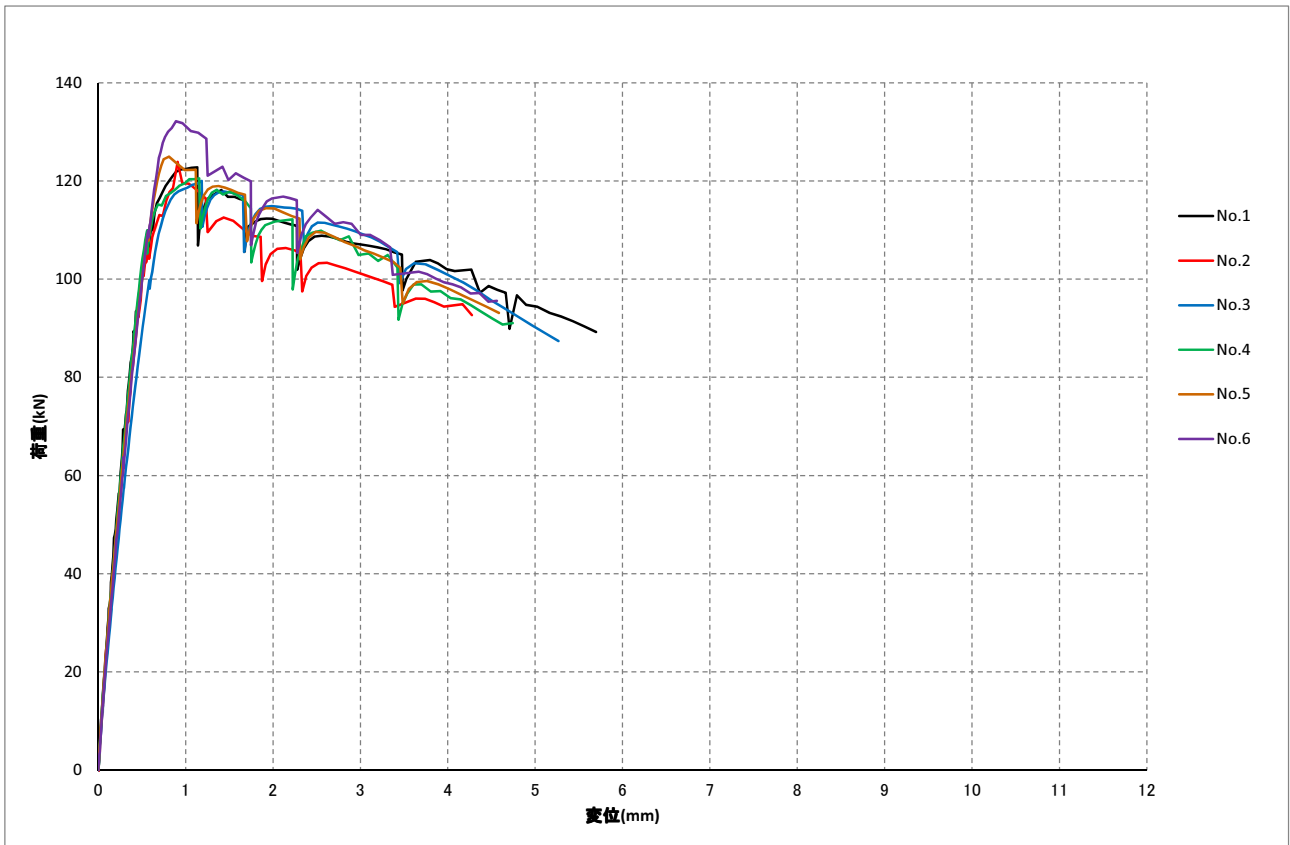


図 4.1 荷重と変位の関係 (A-1 : 繊維平行方向、 ϕ 25.4、オリュウアカマツ)

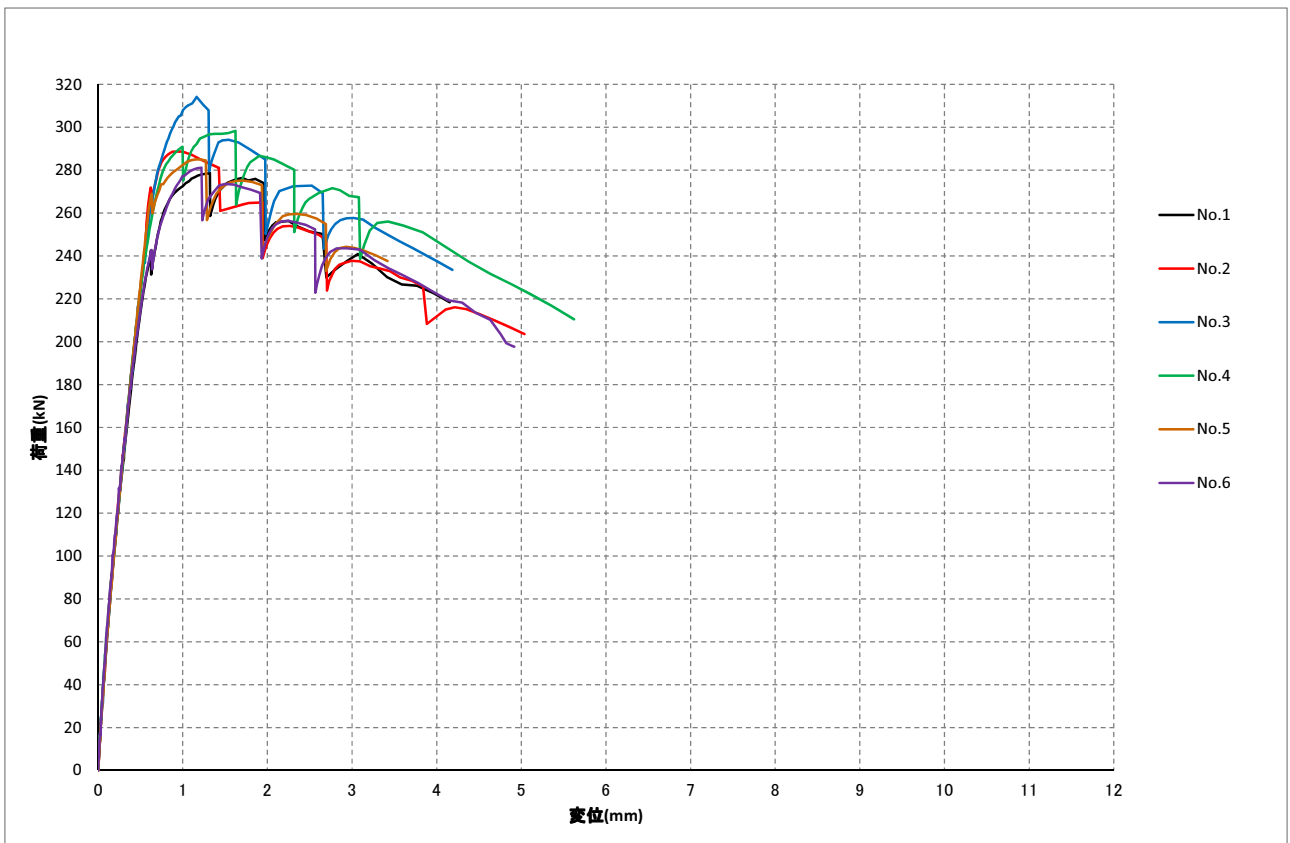


図 4.2 荷重と変位の関係 (A-2 : 繊維平行方向、 ϕ 25.4、オリュウアカマツ)

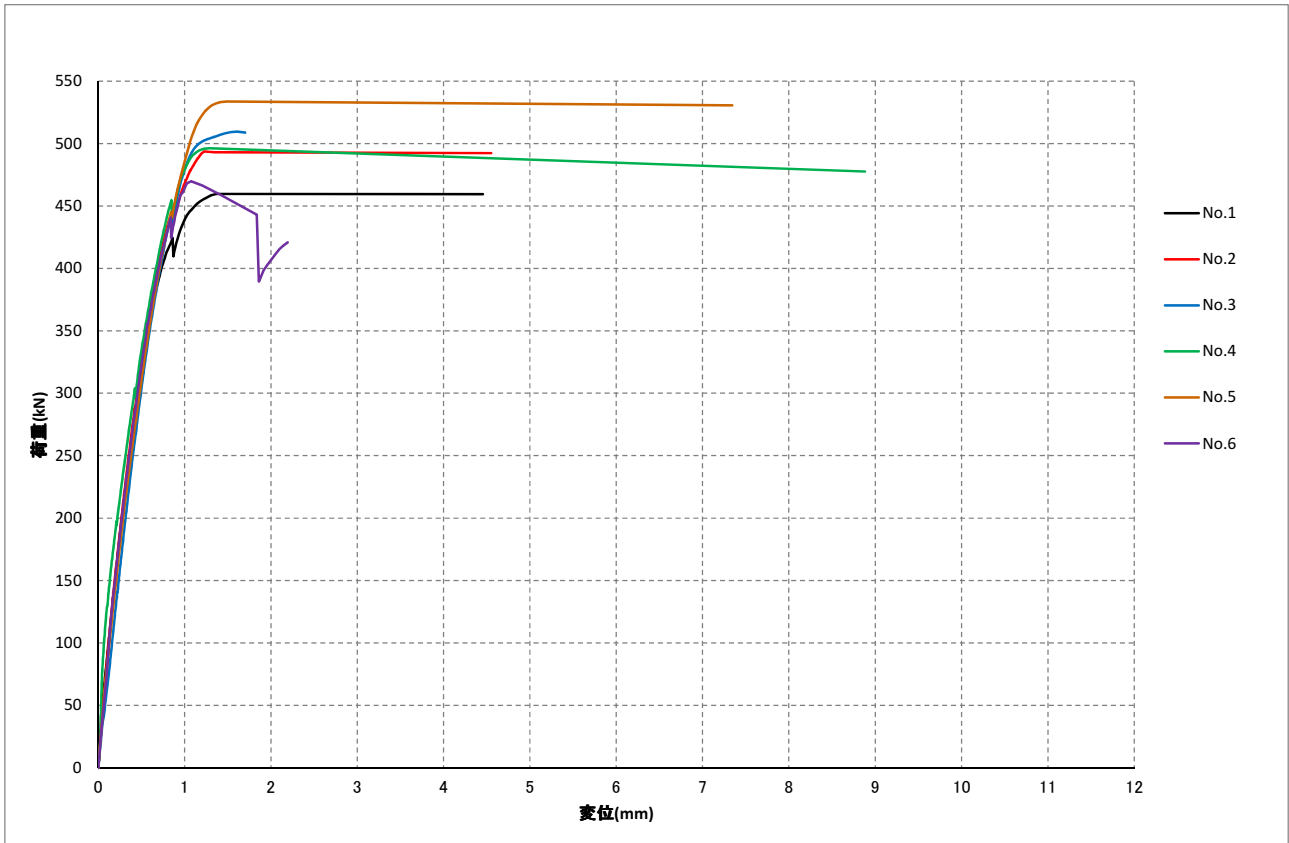


図 4.3 荷重と変位の関係 (A-3 : 繊維直交方向、 ϕ 25.4、オウシュウカマツ)

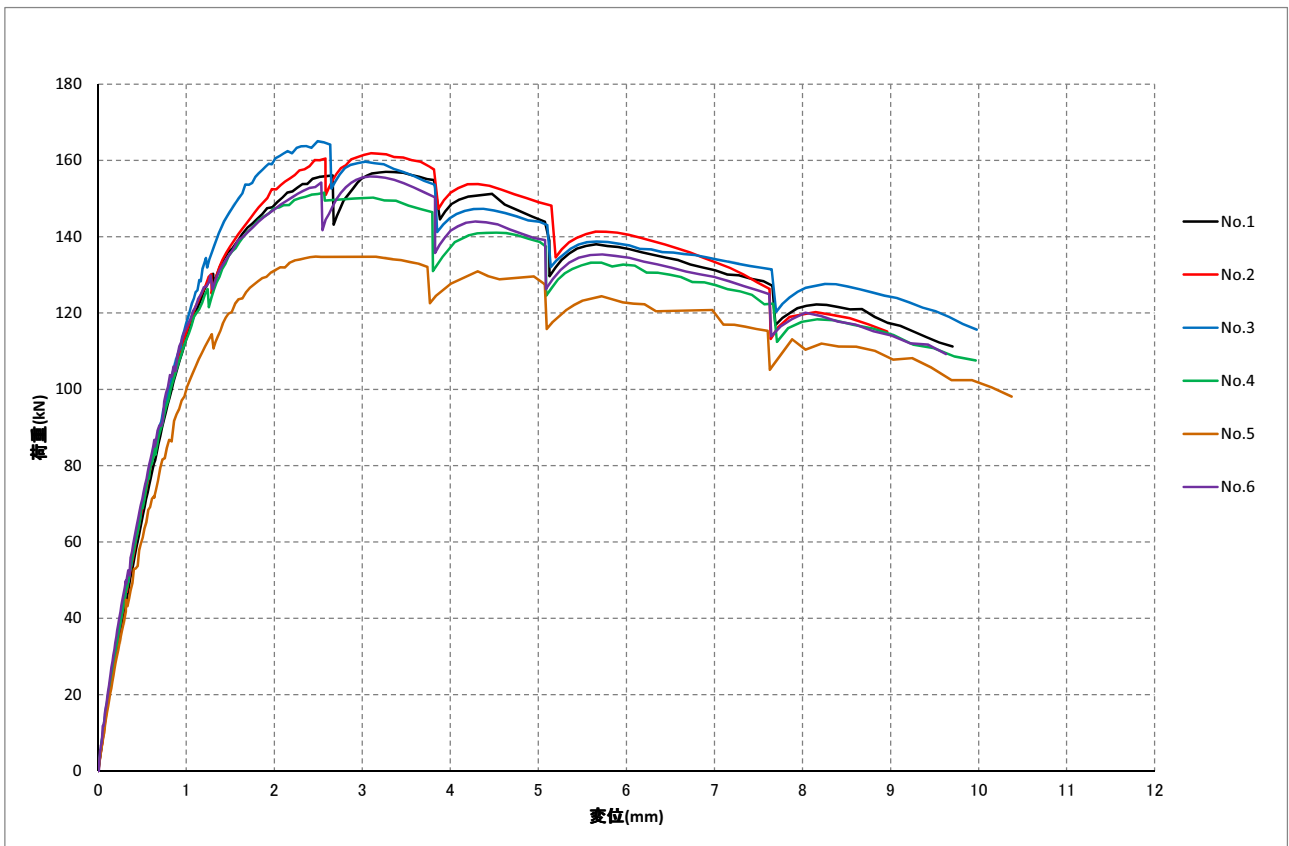


図 4.4 荷重と変位の関係 (A-4 : 繊維直交方向、 ϕ 25.4、オウシュウカマツ)

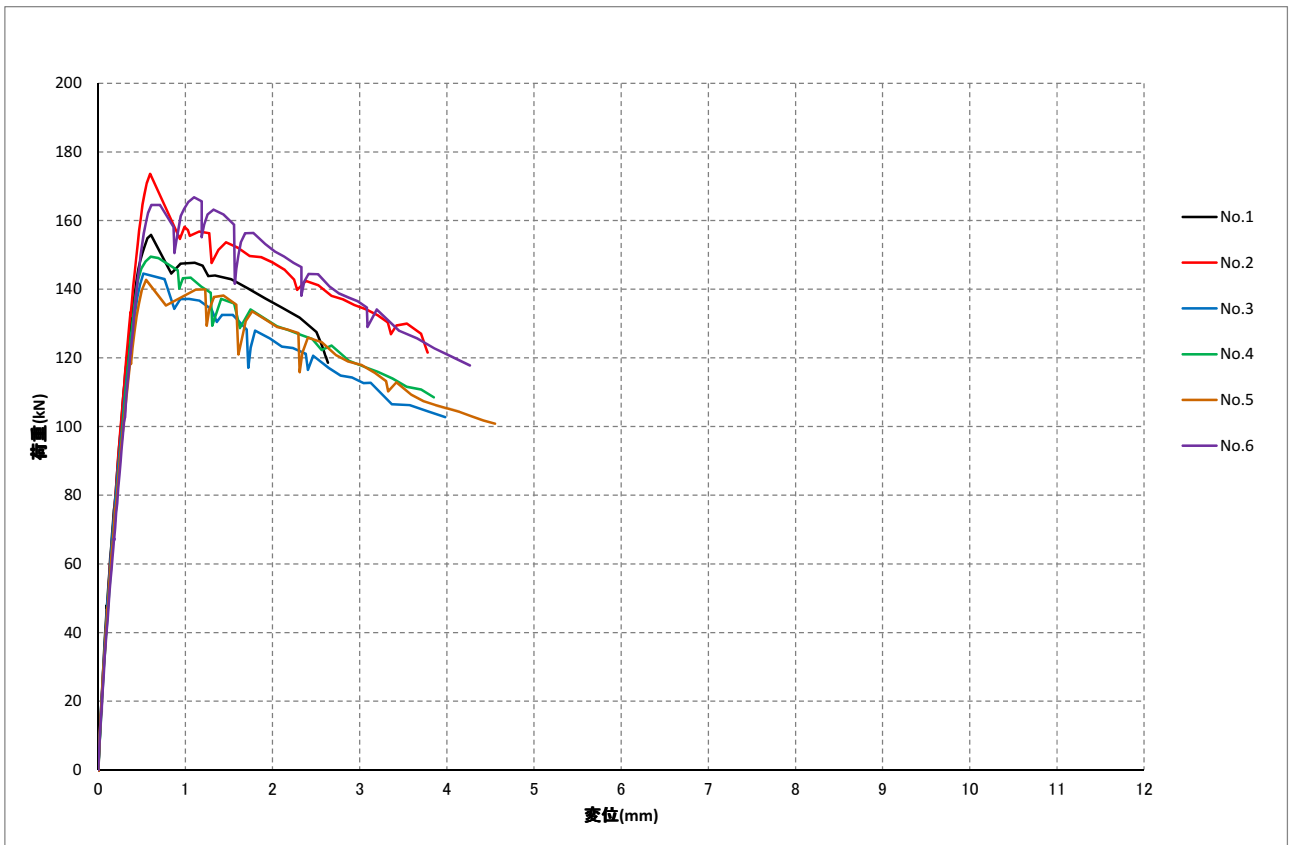


図 4.5 荷重と変位の関係 (B-1 : 繊維直交方向、 ϕ 35、カマツ LVL A 種)

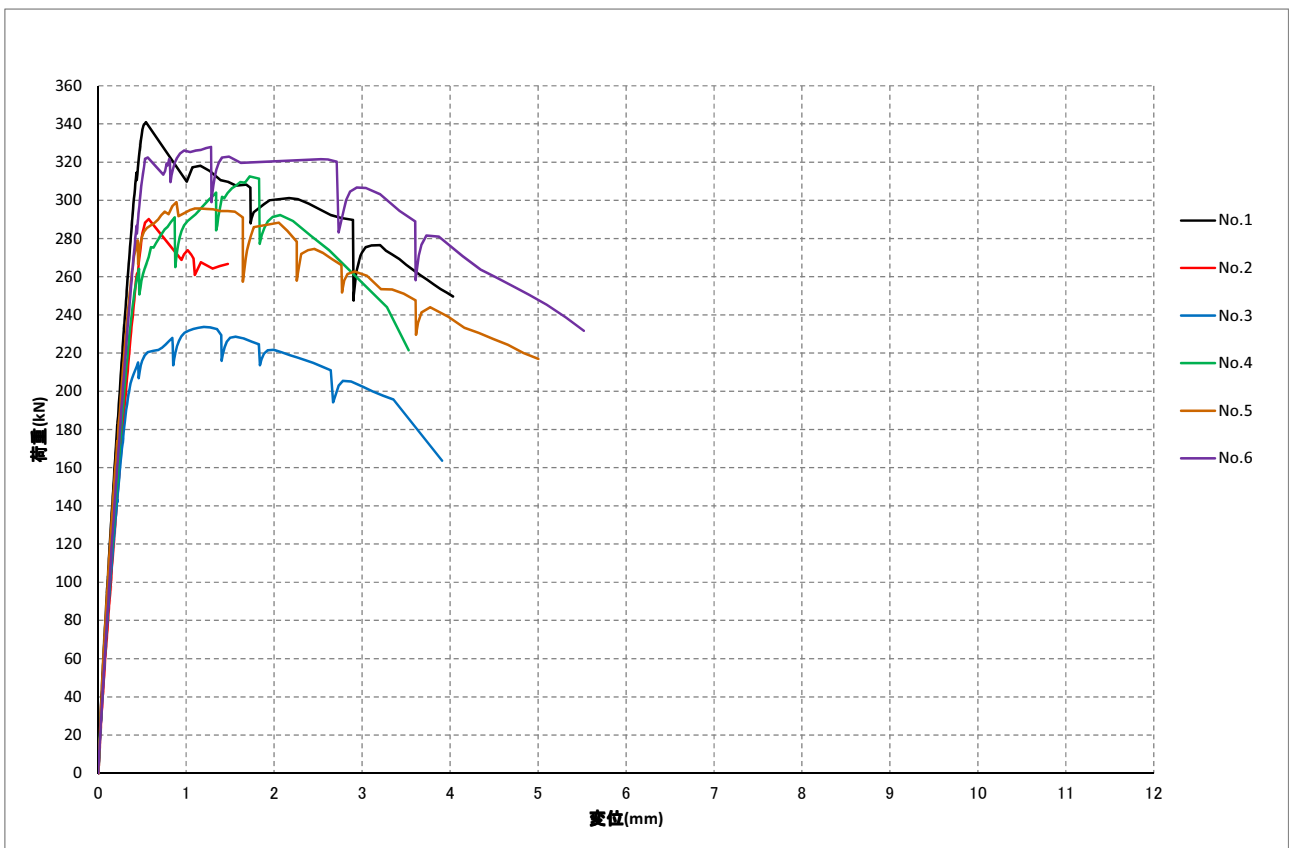


図 4.6 荷重と変位の関係 (B-2 : 繊維直交方向、 ϕ 35、カマツ LVL A 種)

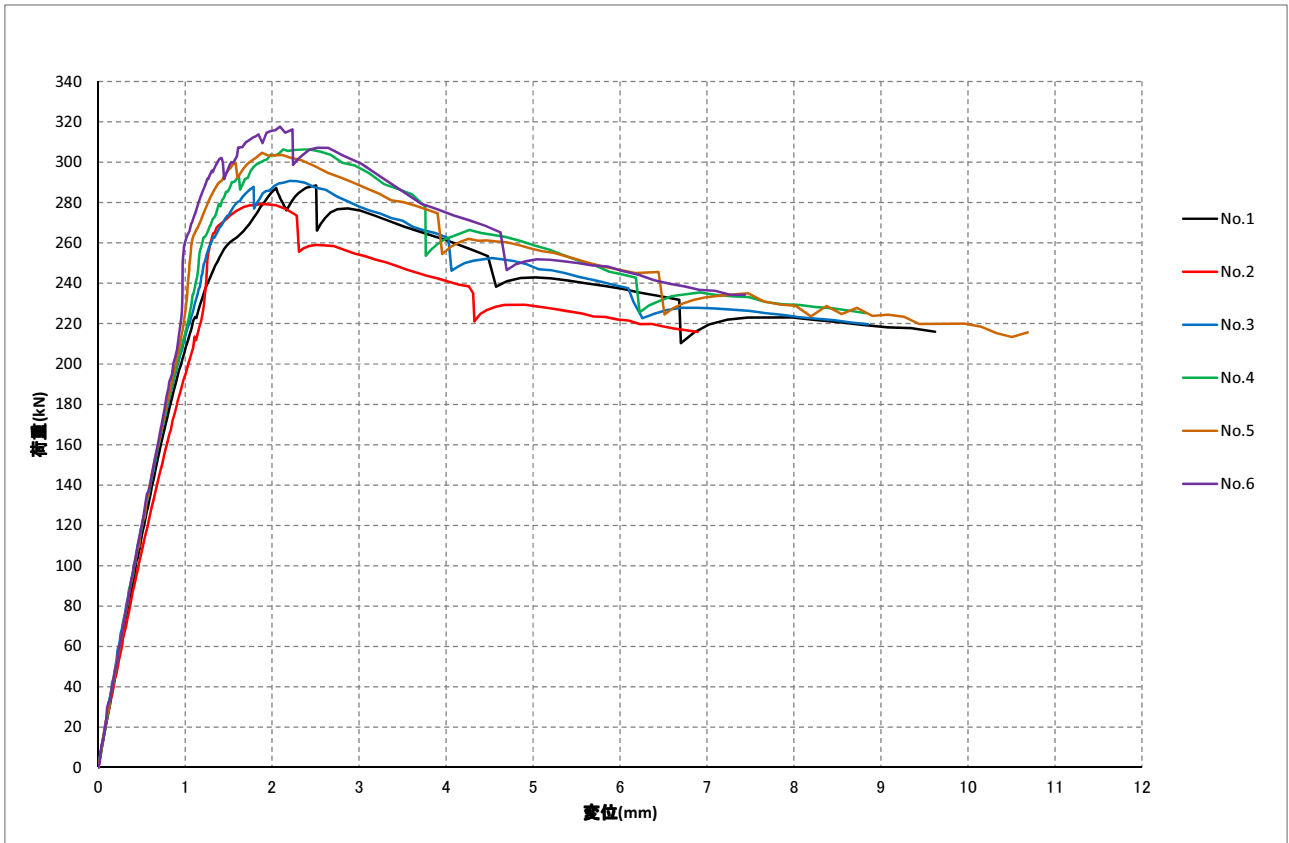


図 4.7 荷重と変位の関係 (B-3 : 繊維直交方向、 ϕ 35、カマツ LVL A 種)

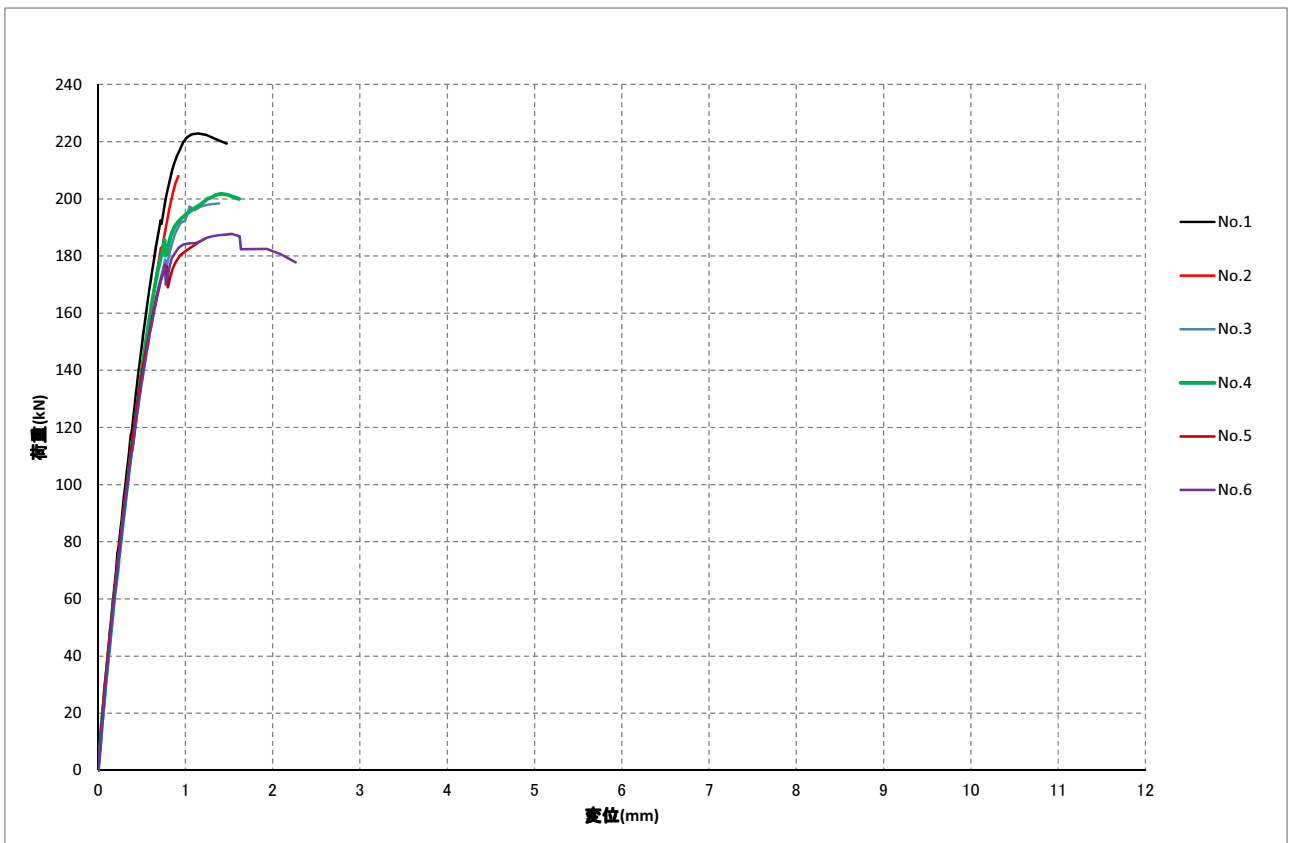


図 4.8 荷重と変位の関係 (C-1 : 繊維直交方向、 ϕ 35、カマツ LVL B 種)

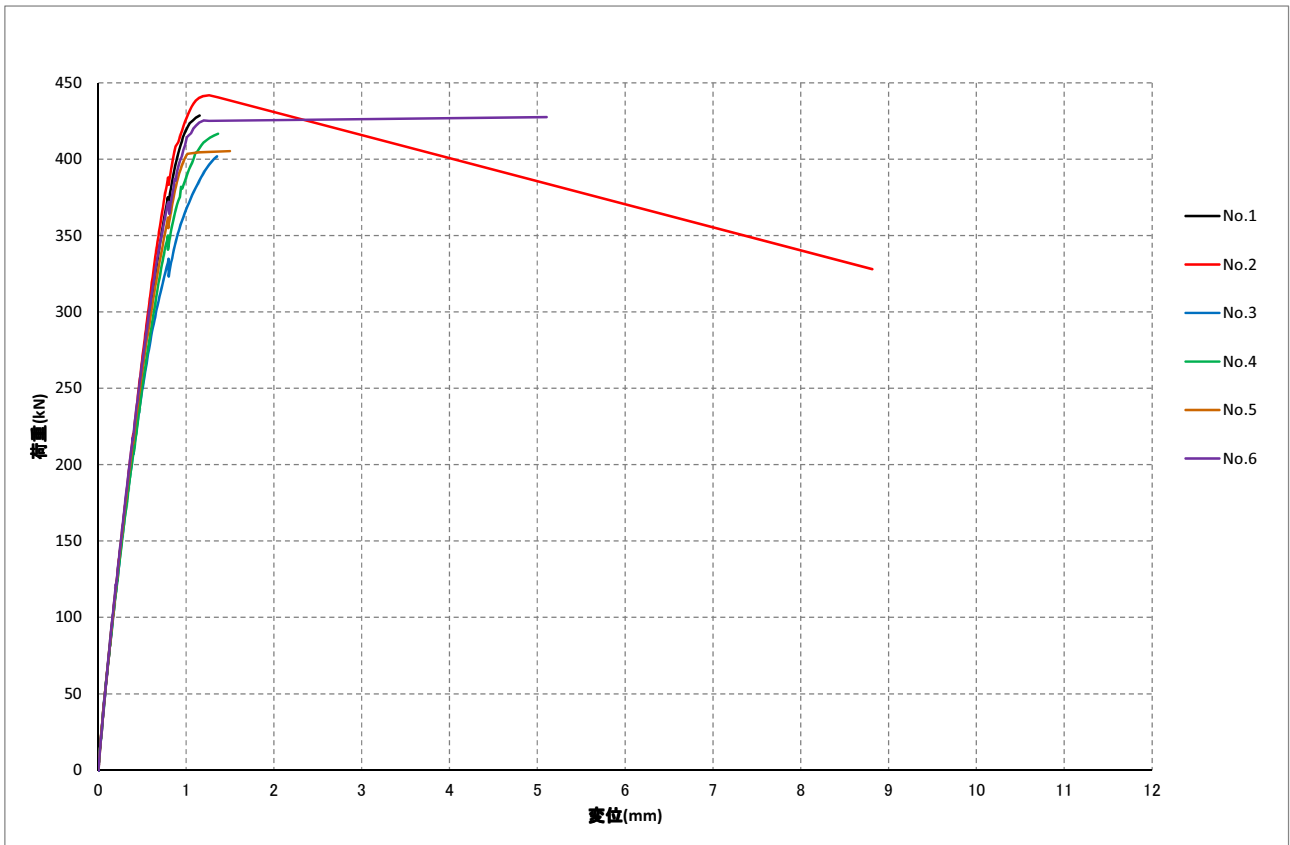


図 4.9 荷重と変位の関係 (C-2 : 繊維直交方向、 ϕ 35、カマツ LVL B 種)

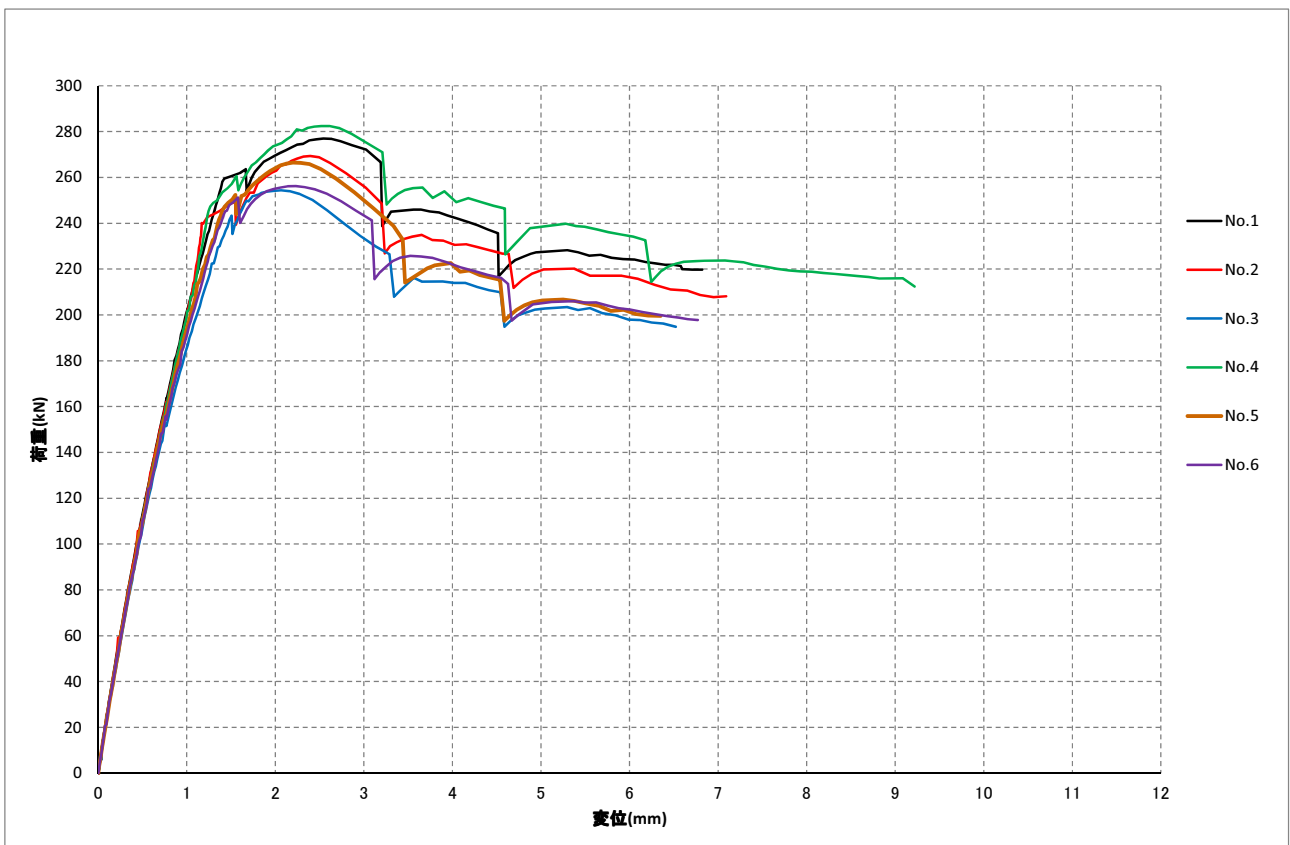


図 4.10 荷重と変位の関係 (C-3 : 繊維直交方向、 ϕ 35、カマツ LVL B 種)



写真 3.1 破壊状況（繊維平行方向引張試験）LSB1 本
LSB の引抜け（シリンダー状破壊）



写真 3.2 破壊状況（繊維平行方向引張試験）LSB2 本
LSB の引抜け（シリンダー状破壊）



写真 3.3 破壊状況（繊維平行方向引張試験）LSB1 本
LSB の引抜けによるせん断割裂



写真 3.4 破壊状況（繊維平行方向引張試験）LSB2 本
LSB の引抜けによるせん断割裂



写真 3.5 破壊状況（繊維平行方向引張試験）LSB4 本
LSB の引抜けによるせん断割裂



写真 3.6 破壊状況（繊維直交方向引張試験）
LSB の引抜け、集成材の割裂

6.2.4. 結果まとめ

試験体仕様毎の最大引抜耐力(95%下限値)及び短期基準耐力(95%下限値)、基準剛性(50%下限値)を表 4.1 に示す。

表 4.1 試験結果まとめ

樹種	試験体名	荷重方向	LSB名称	試験体数	最大引抜耐力 (95%下限値) (kN)	短期基準耐力 (95%下限値) (kN)	基準剛性 (50%下限値) (kN)	特記
カラマツ	A-1	木口方向	HLS-19-450-M16	6	113.72	52.34	212.05	LSB 1本
	A-2			6	260.03	110.98	488.86	LSB 2本
	A-3			6	431.13	219.2	702.48	LSB 4本
	A-4	積層方向		6	129.38	78.12	125.18	LSB 1本
	B-1	木口方向	HLS-27-541.5-M20	6	126.46	51.05	380.69	LSB 1本
	B-2			6	212.65	99.55	717.44	LSB 2本
	B-3	積層方向		4	261.03	107.07	220.72	LSB 1本
	C-1	木口方向		6	168.89	88.42	297.94	LSB 1本
	C-2			6	384.55	212.47	528.84	LSB 2本
	C-3			積層方向	6	241.64	105.52	212.04

※試験体 B-3 については、計測データの不具合により、試験体数 4 体として評価を行った。

第7章 厚板耐力壁性能

7.1 背景

現在建築されている多くの木造三階建て建築物においては、壁倍率5倍から7倍程度の比較的耐力の大きい耐力壁が用いられている。一方、中高層木造建築物において、住宅に比して平面的にスパンが増大し、かつ立面的にも高層化した場合、建築計画上の観点から耐力壁に求められる構造性能も増大することが予期される。

このような背景から、高倍率の耐力壁の開発が求められている。柱梁および構造用面材あるいは筋かいから形成される在来軸組構法に代替する構造形式として、鉛直力及び水平力を負担する厚板による壁柱および接合端部の基本的性能を調査する。

7.2 厚板耐力壁柱 必要性能

7.2.1 使用接合具

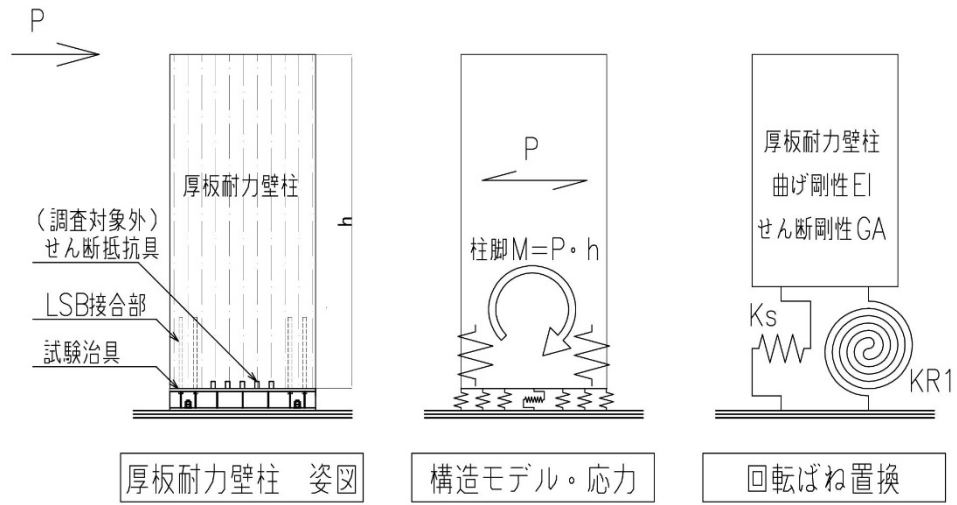
接合端部に生じる引張力はLSBまたはタイロッドに負担させる。

7.2.2 力の伝達方法

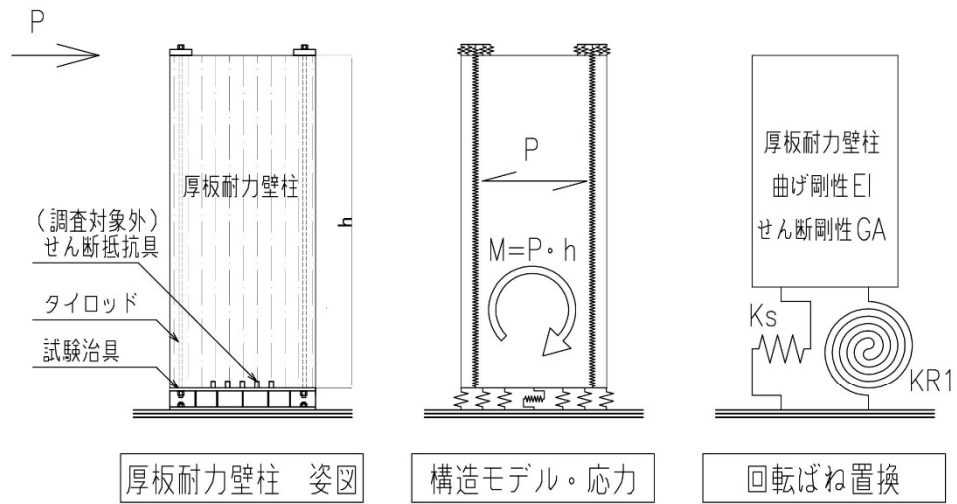
耐力壁柱は鉛直荷重および地震力・風圧力等の水平力に抵抗する機構である。構造モデル概略を図2に示す。水平力に対しては、LSB、タイロッド等による柱脚部の引張力または柱頭部の面圧接触による押え込み力と、壁柱の木口面の面圧接触による柱脚部の圧縮力を偶力とするモーメント抵抗型の半剛接合により抵抗する。

せん断力に対しては、柱ほぞやせん断抵抗具（ダボ、シャーププレート等）により、別の機構で伝達することが好ましい。なお、本章ではせん断力に対する伝達方式の調査は実施せず、水平力により生じるモーメントと壁柱および接合部の影響を調べる。

[LSB形式の場合]



[タイロッド形式の場合]



[接合ばね凡例]

- 木口面の面圧接触による圧縮ばね
- せん断接合具によるせん断ばね
- LSB接合部による引張ばね
- タイロッドの引張ばね

図 1 構造モデル概略

7.2.3 設計における考え方と適用範囲

7.2.3.1.設計時の留意点

後述する試験結果を参照すると、LSB 式壁柱は脆性破壊を示してしまっていることから、ばらつきを踏まえて確実に降伏棚ができるように設計者が配慮することが好ましい。

タイロッド式壁柱は剛性が小さいため、応力のみならず剛性も踏まえて接合具径を設定する必要がある点に注意が必要である。

また、壁柱を用いる箇所の階高が本試験における加力高さを越える場合には、本試験結果の数値をそのまま用いることはできず、許容応力の低減と、剛性による耐力評価を行う。

7.2.3.2.適用範囲

柱脚の面圧接触部には鉄骨あるいはコンクリート等の剛性が高い材料を用いた場合のみを対象とし、木材のめり込み面ほか、木質材料の面圧方向に対して剛性が不十分な材料の場合、本試験結果は流用できない。

また、同様にタイロッド式の柱頭に梁を挿入し、座金が梁にめり込む場合にも、別途めり込みの検討が必要となる。

7.2.3.3.鉛直荷重と引張接合部

引張力を負担する接合部に対しては、鉛直荷重は安全側に作用する。試験時には鉛直荷重を作用させていないため、鉛直荷重を負担する場合にも別途検討の必要なしに本試験結果を用いることができる。

7.3 厚板耐力壁柱試験

7.3.1 目的

現在、A種 LVL に関しては、LSB 接合部およびグルード・イン・ロッド(Glued in Rod) 接合部を含めた壁柱の構造性能が検証されている一方で、B種 LVL に関する調査は行われていない。

本章では、同じ仕様の接合具を用いた場合の A種 LVL と B種 LVL それぞれによる壁柱の挙動の差異を明らかにするために、同仕様の LSB 接合部、タイロッドにて壁柱の水平載荷試験を実施した。

7.3.2 試験体決定時の検討内容

高倍率耐力壁を調査対象としているため、20 倍相当(39.2kN/m)程度の短期許容応力を目標に接合具を設計した。試験体の加力点の高さはタイロッド式 2.73m , LSB 式は 2.40m とした。

試験体は A種、B種それぞれ LSB 接合部、タイロッド接合部の場合について各 1 体ずつ、計 4 体実施した。

7.3.3 試験体図

試験体 : LVL A種 (150×1000)
 LVL B種 (150×1000)
 測定用LSB : HLS-27 (有効長445)

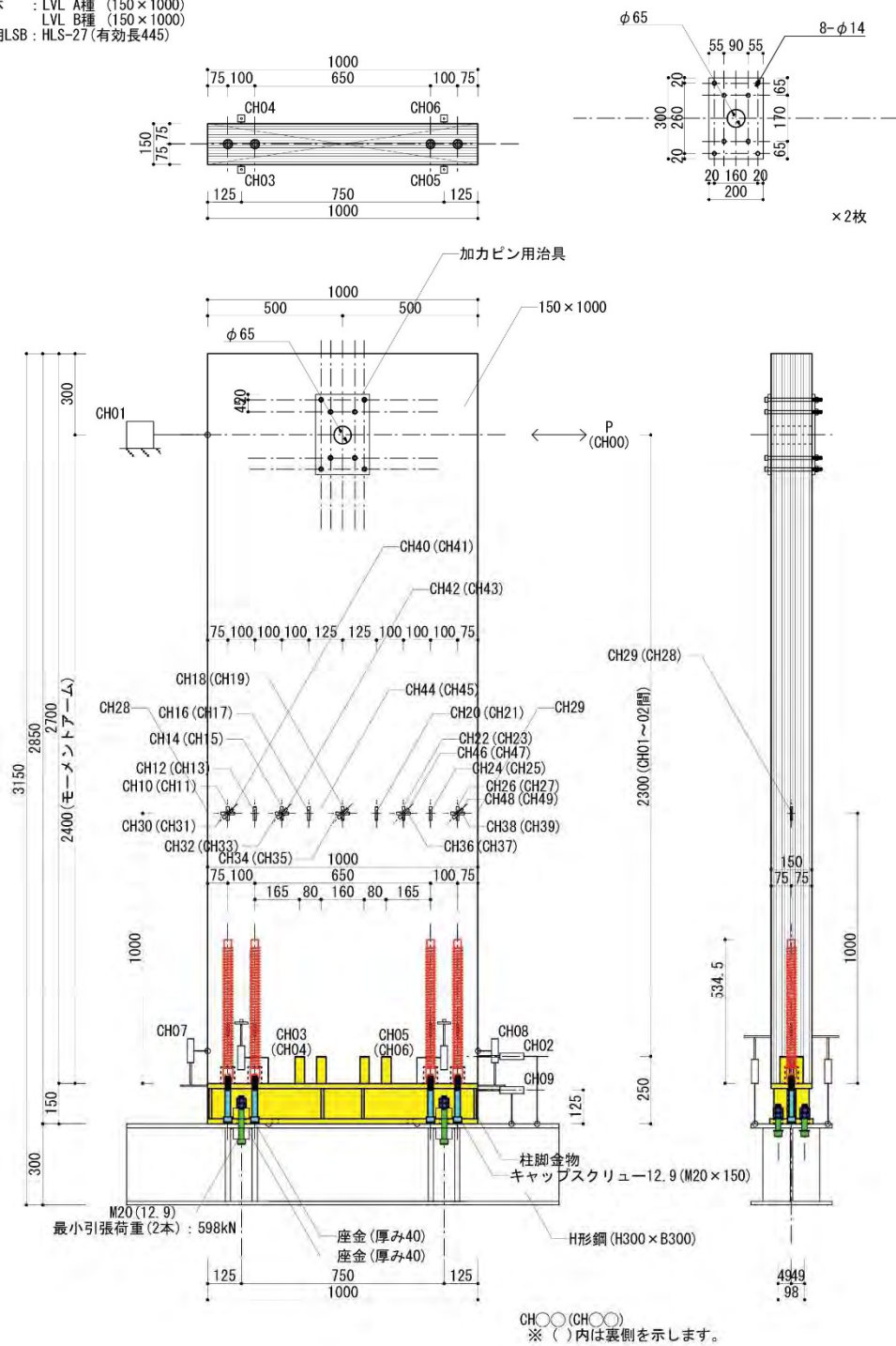
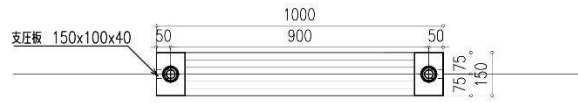


図 2. A 種/B 種 LSB 式厚板耐力壁柱 水平加力試験体図

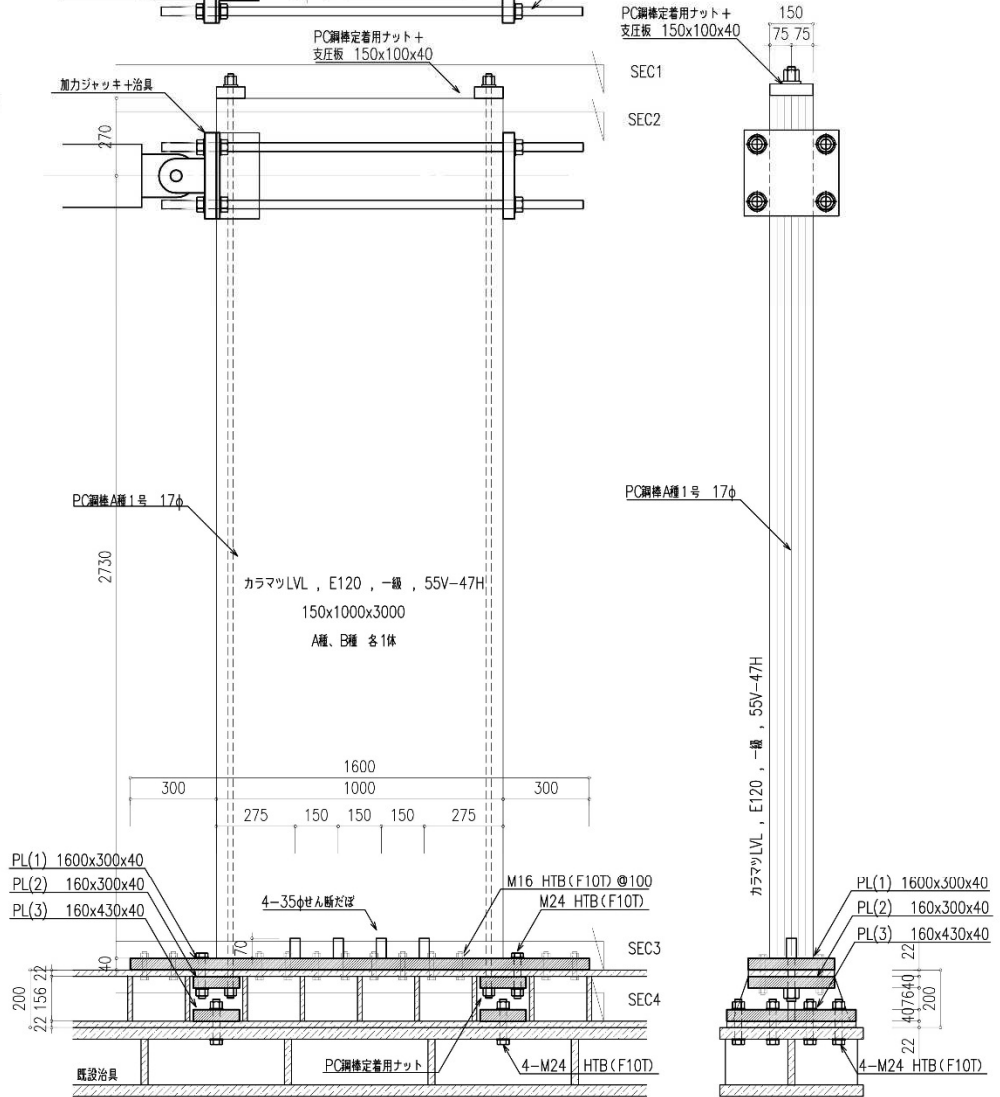
【SEC1】



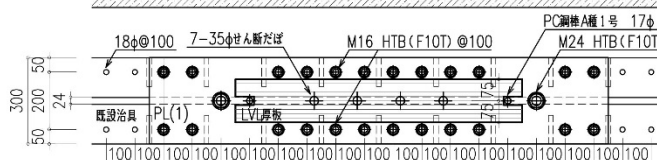
【SEC2】



【ELVATION】



【SEC3】



【SEC4】

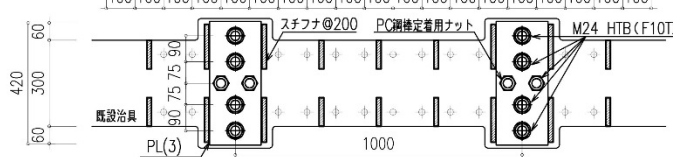


図 3. A 種/B 種タイロッド式厚板耐力壁柱 水平加力試験体図

7.3.4 試験方法

7.3.4.1.加力方法

載荷には容量が 1000kN のジャッキを使用し、加力方法は「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年版）」[(一財)日本住宅・木材技術センター] 巻末に示される耐力壁の試験方法を採用した。

- ・加力は正負交番繰り返し加力とした。
- ・見かけのせん断変形角が 1/450,1/300,1/200,1/150,1/100,1/75,1/50 の正負変形時を繰り返し履歴とした。
- ・繰り返し回数は、履歴の同一変形段階で 3 回ずつとした。
- ・加力が最大荷重に達した後、最大荷重の 80% の荷重に低下するまで加力するか、試験体の変形角が 1/10 に達するまで加力した。

7.3.4.2.変位の測定

変位測定は、壁柱の加力点の水平方向変位と鉄骨土台の水平方向変位を測定し、層間変形角を算出した。また、柱脚の鉛直方向の変位も測定した。

なお、A 種と B 種ともにタイロッド式の大変形時にノイズが発生してしまっているが、これは変位計の容量が不足し、位置の調整を行ったためである。

7.3.5 試験結果

7.3.5.1.荷重変形曲線

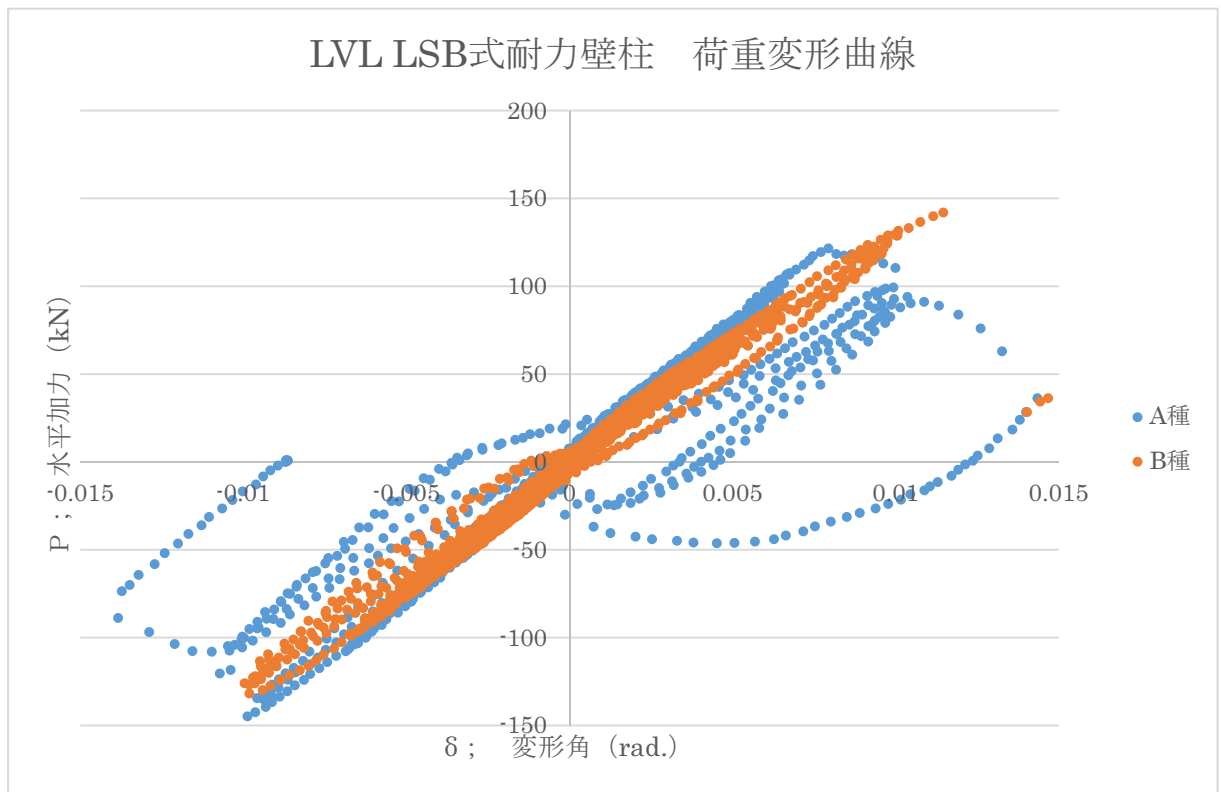


図 4. LSB 式厚板耐力壁柱 荷重変形曲線

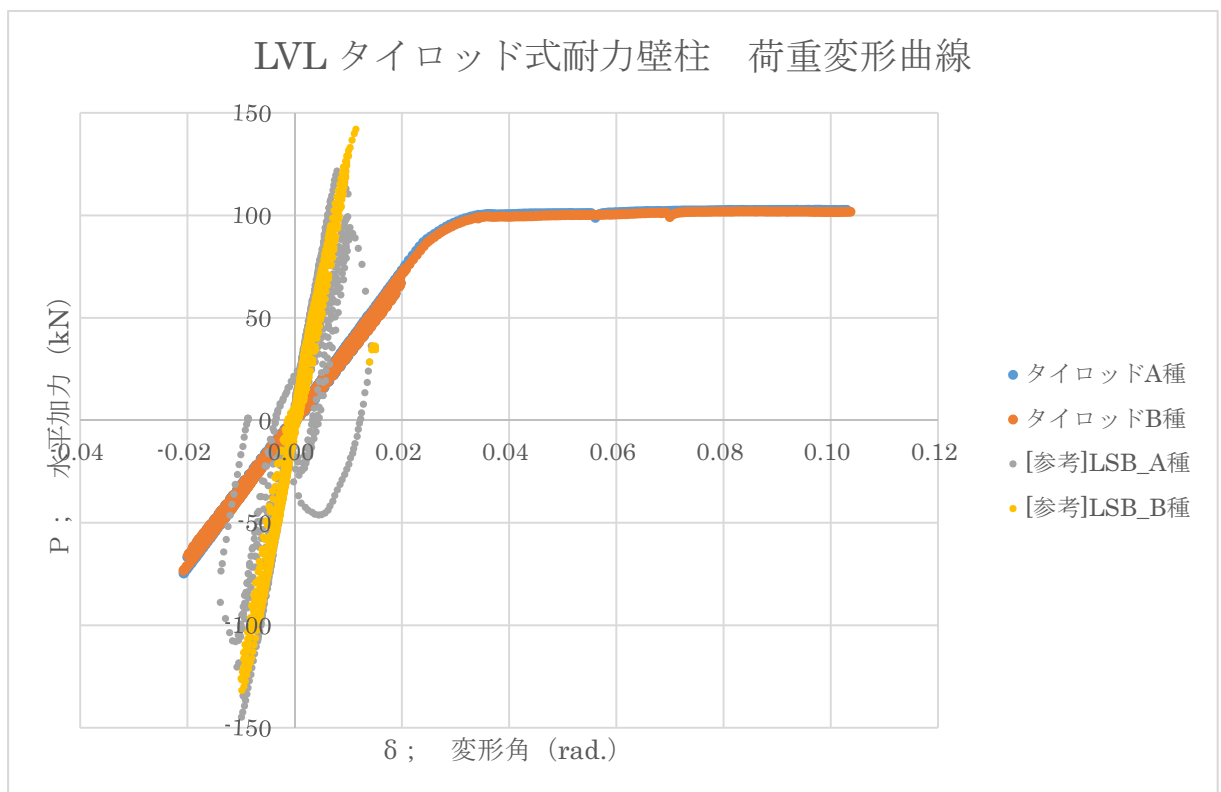


図 5. タイロッド式厚板耐力壁柱 荷重変形曲線

7.3.8.2.試験写真



写真 1. (左) LSB 式耐力壁柱加力試験

写真 2. (右) タイロッド式耐力壁柱加力試験



写真 3. (左) , 4. (右) A 種 LSB 式接合部バースト破壊面

7.3.5.3.破壊性状

LSB 式試験体においては、A 種は写真 3, 4 に示すようにバースト破壊を示した一方で B 種は引抜け破壊を生じ、母材に外傷は観察されなかった。

タイロッド式試験体においては、A 種、B 種ともにタイロッドの降伏の後、いずれの箇所も破壊も生じないまま層間変形角 1/10 に到達したため、加力を停止した。

7.3.5.4.考察

7.3.5.4.1.A種 LVL と B種 LVL の挙動の差異

LSB 式試験体においては、要素接合部と同様に B 種は A 種と比較して若干剛性が小さくなっている一方で、最大耐力は大きくなっている。

タイロッド式試験体においては A 種と B 種とでほぼ同一の履歴をたどっており、これは母材である壁柱そのもののせん断あるいは曲げ変形よりも接合部・接合具の変形が卓越していることを示唆している。より高強度・高剛性のタイロッドを用いた場合には A 種と B 種の差が現れる可能性があるが、本試験で入力した荷重範囲においては差異はないものと見なせる。

7.3.5.4.2.LSB 式とタイロッド式の挙動の差異

タイロッド式壁柱の初期剛性は LSB 式壁柱と比較して著しく小さく、層間変形角 1/50 程度で降伏がはじまる。通常の一次設計では仕上げ材の変形追随性を考慮すると、変形を 1/120-1/150 程度に抑える必要があるため、実用上の耐力は小さく見積もられてしまう。

タイロッド式は木口の面圧ばねが降伏しない範囲では、タイロッドの断面積と耐力壁の初期剛性はほぼ比例すると考えられる。よって、太径の部材を用いることで剛性を確保することが可能であり、実用上の耐力を向上させることができる。

タイロッド式は剛性が小さいかわりに靱性の大きなバイリニア曲線を履歴曲線として描く一方で、LSB 式壁柱は剛性が大きいかわりに脆性的な破壊性状を示している。LSB 式壁柱が靱性を獲得するためには、LSB と木質材料との接合界面が最大耐力を迎える以前に HTB 等、他の構成材料が降伏することで降伏棚を形成する必要があると考えられる。

7.3.6 理論式や計算式と実験結果の対応

7.3.6.1.理論式

本工法は比較的新しい工法であるため、最大応力や変形の値を予測する理論式は確立しておらず、今後の研究が待たれる。参考までに、応力状態が類似したものとして、弾性範囲における RC 部材の存在モーメントと鉄筋の引張応力との関係式を準用した (1) 式による計算結果と実験結果とを比較検証する。

$$M = 7/8 \cdot T_c \cdot j \quad (1)$$

ここに、

M : 最大曲げモーメント (kNm)

T_c : 引張接合具の引張耐力 (kN)

J : 引張接合具の荷重芯から圧縮縁までの距離 (m)

7.3.6.2.計算結果

計算結果と試験結果を下表にて比較する。

試験体	試験結果			(1) 式算定値		
	最大荷重	加力高さ	最大 M	接合耐力 T _c	距離 j	最大 M
	[kN]	[m]	[kNm]	[kN]	[m]	[kNm]
LSB_A 種	144.9	2.40	347.8	212.7	0.875	162.8
LSB_B 種	142.0	2.40	340.8	304.6	0.875	233.2
タイロッド_A 種	100.3	2.73	273.8	233.8	0.95	194.3
タイロッド_B 種	99.6	2.73	271.9	233.8	0.95	194.3

注) 理論式算定値に用いた接合耐力は、LSB は本報告書中の試験結果の最大耐力の 5% 下限値、タイロッドは引張耐力の下限値をそれぞれ採用した。

7.3.6.3.計算式の考察

タイロッド式、LSB 式ともに理論式 (1) が安全側の数値を示す結果となった。いずれの場合も 5 割程度以上理論値と試験値との差があり、接合耐力が正しく評価できていないため試験結果と合致しないことに疑いはない。

応力中心間距離は引張接合具の剛性に依存することは想像に難くないが、その数値を 7/8 j として正しく評価できるのかどうかは追って研究が必要である。

7.4 今後の課題

7.4.1 鉛直荷重との複合応力・木口の面圧降伏および剛性を考える場合の技術的課題

現段階の試験データではいずれも、壁柱の面圧降伏後の性状が不明瞭である。大きな鉛直荷重を負担する場合や、階高が大きくなり、座屈許容圧縮応力度が比較的小さくなるような場合において、そもそも軸応力と曲げ応力との複合応力による面圧降伏を許容できるのか、あるいは許容できた場合の構造性能をどのように評価することができるのか、など技術的に検討すべき課題は多い。

7.4.2 多層建築物の通し柱として用いる場合の技術的課題

また、本章にて加力試験を実施した試験体はいずれも頂部に集中荷重としてせん断力を与えており、平屋の建物以外に用いる場合には別途検討が必要である。例えば、本耐力壁柱を通し柱として複数階にわたる仕様として用いる場合には、各階での入力と変形量との関係を把握する必要がある、また、鉛直方向に継手があるような場合には、変形量と継手との関係性も調査する必要がある。

7.4.3 技術を普及させるための運用上の課題

上記のような技術的な課題に加え、技術的背景をいかに平易な計算にまとめ上げるか、その仕組み作りも肝要である。構造計算のパラメタが多岐にわたり複雑化してしまうと、高度な知識と解析能力を持つ一部の設計者しか構造計算ができない結果に陥りやすい。適用条件を設定し、簡単な計算にて建築物が設計できるようにすることも目標の一つに設定しなければならない。

7.5 結び

厚板壁による耐力壁柱は、高耐力の耐力壁を実現する手法として有力であり、今後の調査研究次第で、さらなる許容耐力の向上が見込めることが一連の試験により明らかになった。実際の建築物に広く適用できるようにするために、引き続き調査研究を行い、耐力や適用範囲・構造計算の方法を確立していく必要がある。

7.6 LSBによる厚板壁試験試験結果

LSB による厚板壁試験結果を記す。

試験報告書

LVL 柱壁曲げ試験

株式会社グランドワークス

試験実施日 平成27年3月2日

1. 試験体

1) 試験体図

試験体図について、図 1 に示す。

2) 試験体

LVL A 種 150×1000

LVL B 種 150×1000

3) 試験体数

A 種 : 1 体

B 種 : 1 体

2. 試験方法

1) 試験方法

柱脚接合部（柱せい 1000）の試験体と試験方法を次項の図 1 に示す。

2) 加力方法

加力は試験体の中心軸を加力点として、アクチュエーターにより行う。

①加力方法は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad の正負変形時とする。

②繰り返しは、履歴の同一変形段階で 3 回の繰り返し加力を行う。

③加力が最大荷重に達した後、最大荷重の 80% の荷重に低下するまで加力するが、試験体の見かけの変形角が 1/50rad 以上に達するまで加力する。

試験体 : LVL A種 (150 × 1000)
 LVL B種 (150 × 1000)
 測定用LSB : HLS-27 (有効長445)

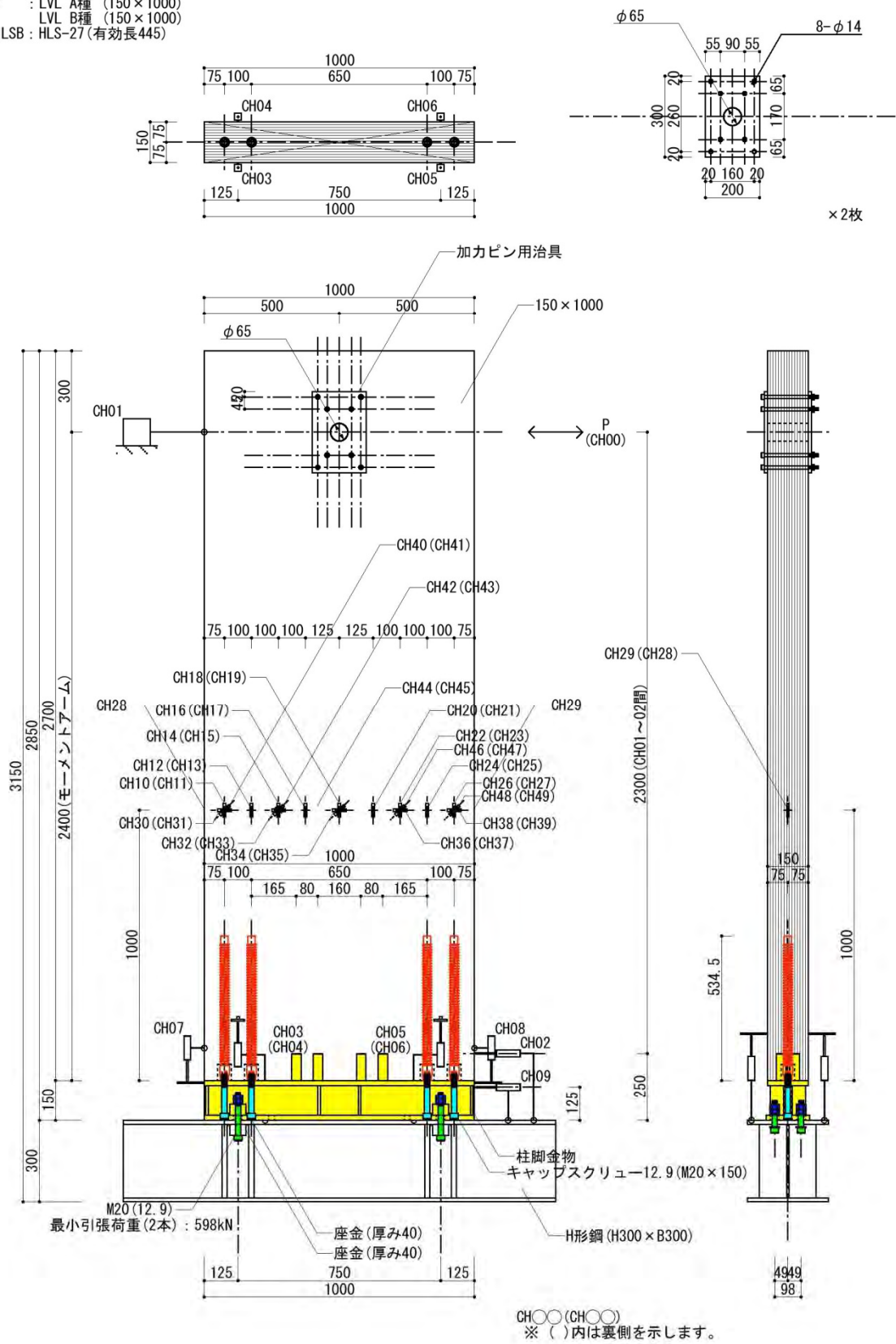


図1 試験体図 (単位: mm)

3. 試験結果

試験結果を表 1.1~1.2 に、荷重-変位曲線を図 2.1~2.2 に、破壊状況を写真 1.1~1.2 に示す。

表 1.1 試験結果

	A 種	B 種
Pmax	121.53	141.96
D(Pmax)	0.007930	0.011452
対象データ数	80.00	104.00
D(0.1Pmax)	0.000479	0.000761
D(0.4Pmax1)	0.002698	0.003754
D(0.4Pmax2)	0.002698	0.003754
D(0.9Pmax)	0.006930	0.009655
曲線に接する点 P	100.15	105.69
曲線に接する点 D	0.006174	0.007583
二直線の交点 Py	61.57	75.31
二直線の交点 D(Py)	0.003486	0.005057
曲線上の点 δy	0.003653	0.005223
D(0.8Pmax) : δu	0.009989	0.011452
初期剛性 K	16854.30	14417.60
Energy	0.76	0.91
Pu	117.30	133.33
D(Pu) : δv	0.006960	0.009248
$\mu = \delta u / \delta v$	1.44	1.24
$Ds = 1 / \sqrt{2\mu - 1}$	0.73	0.82
残差	0.03	0.04
適合度 = $1 - \text{残差} / \text{Energy}$	0.96	0.96

表 1.2 曲げ耐力の算定

A 種

		kN
(A)	降伏耐力 Py	61.57
(B)	$Pu \times (0.2 / Ds)$	32.09
(C)	最大荷重 Pmax の 2/3	81.02
(D)	特定変形時の耐力 (1/120)	117.76

B 種

		kN
(A)	降伏耐力 Py	75.31
(B)	$Pu \times (0.2 / Ds)$	32.40
(C)	最大荷重 Pmax の 2/3	94.64
(D)	特定変形時の耐力 (1/120)	113.39

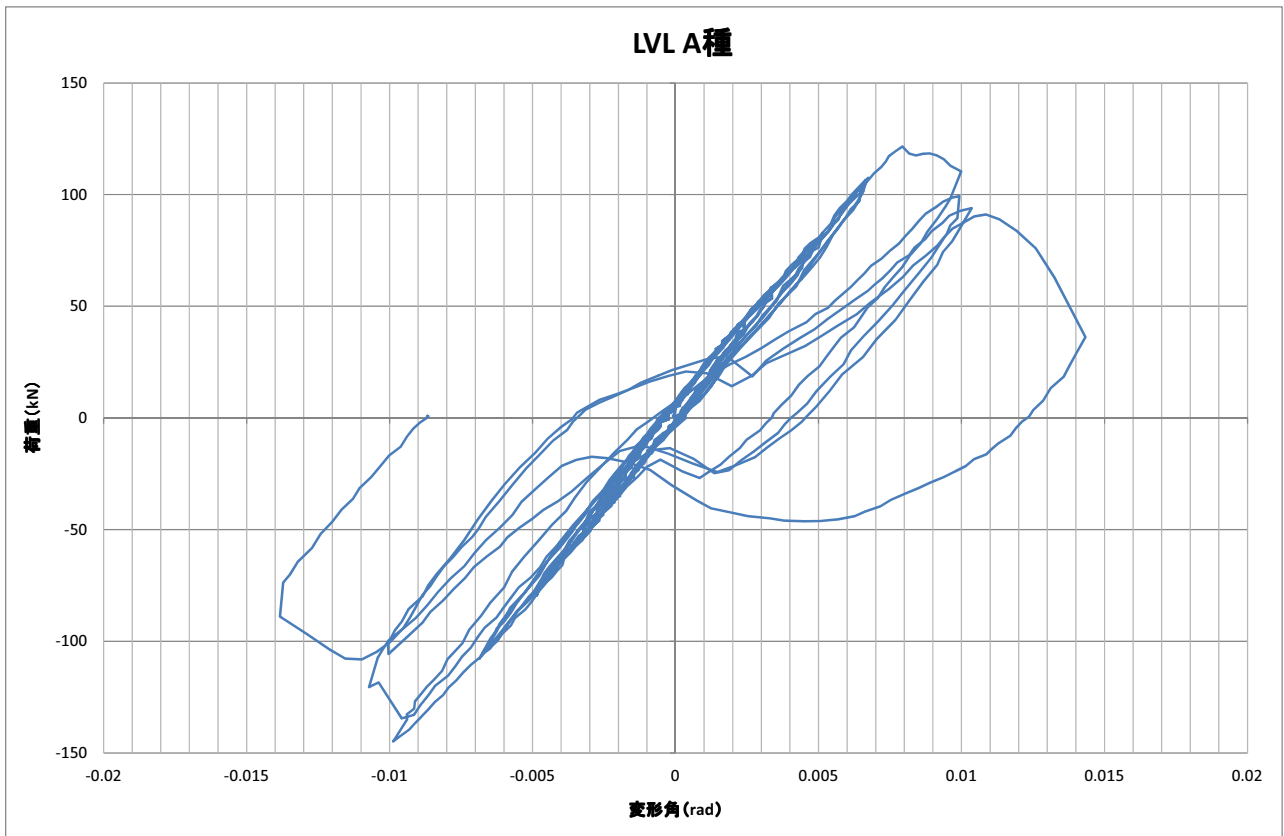


图 2.1 荷重—変形角曲線（包絡線）（A種）

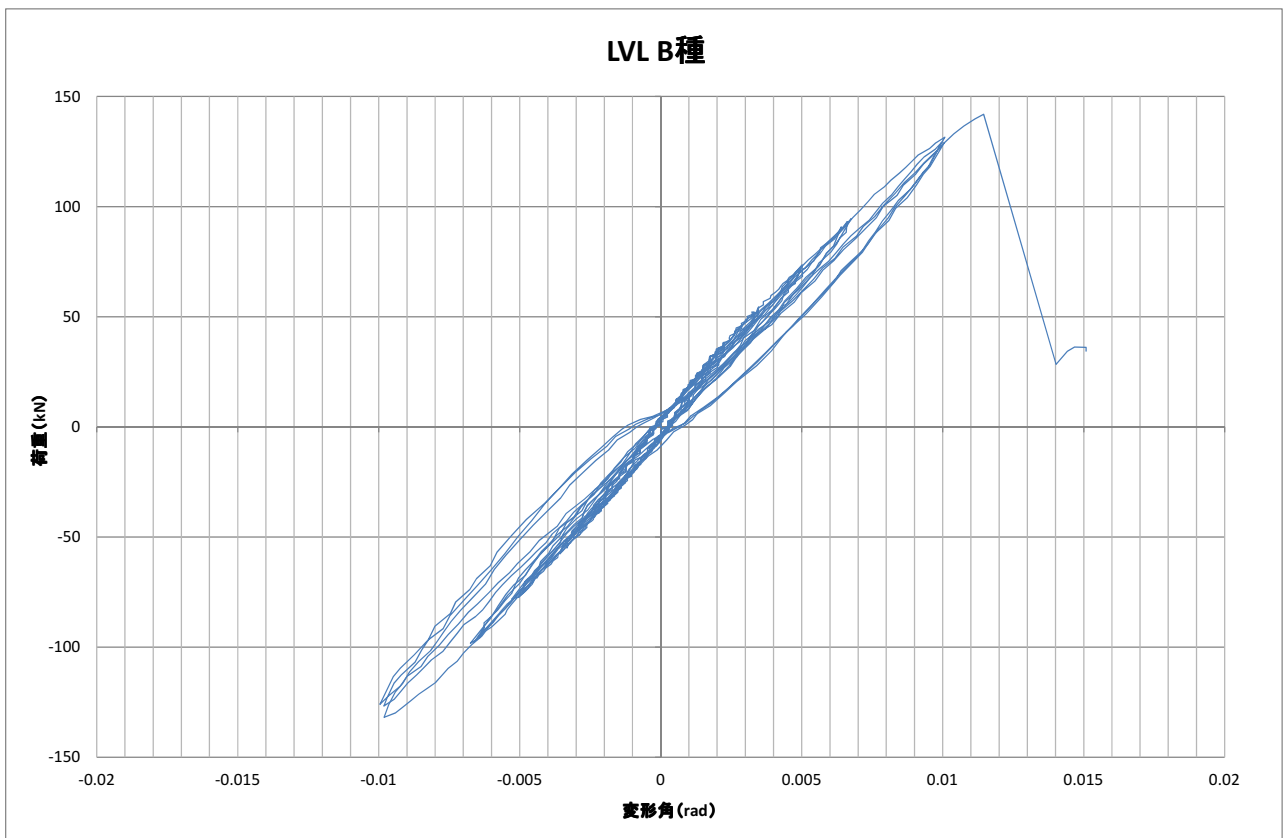


图 2.2 荷重—変形角曲線（包絡線）（B種）

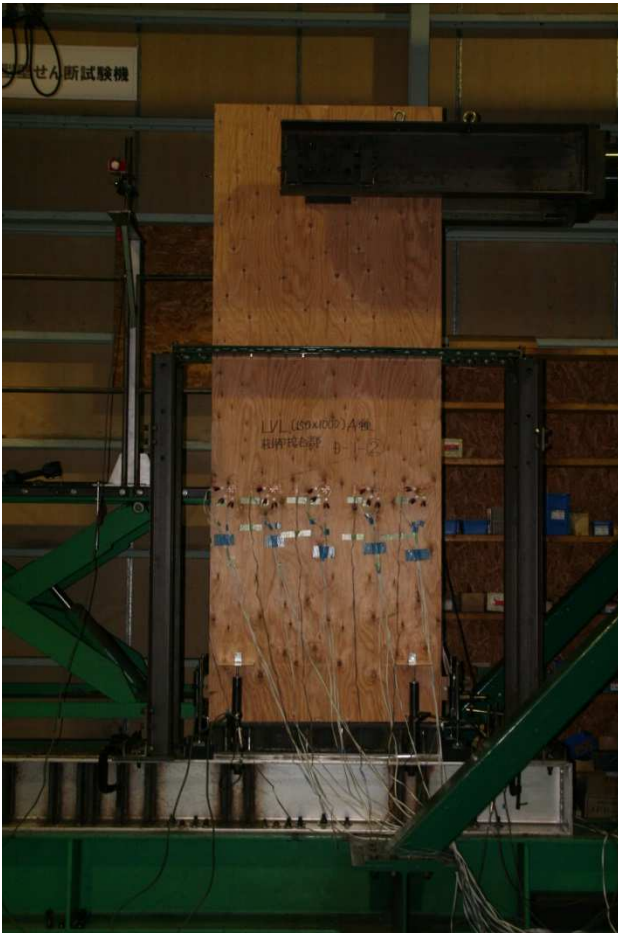


写真 1.1 破壊写真 (A種)



写真 1.2 破壊写真 (B種)

7.7 タイロッドによる厚板壁試験試験結果

タイロッドによる厚板壁試験結果を記す。



試験成績書

平成27年2月19日

一般社団法人 全国LVL協会 御中

株式会社 カネシン

東京都葛飾区奥戸4丁目19番12号

住宅資材事業部 開発部

ご依頼の試験結果は次の通りです。

1. ご依頼者名 及びご住所	一般社団法人 全国LVL協会 東京都江東区新木場1-7-22 新木場タワー8階
2. 試験の目的・内容	<p>【目的】 LVL壁A種、及びB種をタイダウン式で接合した場合の壁倍率性能を確認することを目的とし、貴社の技術資料とします。</p> <p>【試験体特徴】 ①LVL壁 寸法:150×1,000×3,000 A種・・・繊維方向並行 B種・・・繊維方向直交 ②接合方法 タイダウン式(PC鋼棒Φ17)</p> <p>【試験方法】 「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版) 第6章 試験方法と評価方法6-3-2(1)「鉛直構面の面内せん断試験・柱脚固定式」に準じた試験方法</p>
3. 試験結果	詳細は P.4～ 参照。
4. 試験実施場所	東京都葛飾区奥戸4丁目19番12号 株式会社 カネシン 開発試験センター
5. 備考	<p>試験実施日 : 平成27年2月9日～10日</p> <p>試験責任者 : 開発部 成田 宏和</p> <p>試験担当者 : 開発部 技術開発課 植田 剛</p> <p>成績書作成者 : 〃 植田 剛</p>

この試験成績書を転載するときは、必ず全文を記載してください。

目 次

1. 一 般 事 項.....	P1
2. 評 価 方 法.....	P2
3. 試 験 結 果 及 び グ ラ フ.....	P4
4. 試 験 方 法.....	P6
5. 試 験 体 図.....	P8
6. 金 物 図.....	P9
7. 写 真.....	P10

1. 一般事項

※寸法単位 [mm]

試験体名	試験体構成	
タイダウン 耐力壁 A種-1	壁	樹種=カラマツ LVL A種(繊維1方向) E=140 寸法=150×1,000×L3,000・・・・・・・・・・・・・・・・・・1枚
タイダウン 耐力壁 B種-1	壁	樹種=カラマツ LVL B種(繊維2方向) E=140 寸法=150×1,000×L3,000・・・・・・・・・・・・・・・・・・1枚
共通	接合金物	PC 鋼棒・・・・・・・・・・・・・・・・・・1本/箇所 合計2本 支圧板・・・・・・・・・・・・・・・・・・1枚/箇所 合計2枚 せん断キー・・・・・・・・・・・・・・・・・・1個

2. 評価方法

(1) 壁倍率の算定

壁倍率は次式により算出しました。

$$\text{壁倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L)$$

ここで、 P_a : 短期許容せん断耐力 P_a [kN]

1.96: 壁倍率=1 を算定する為の数値[kN/m]

L: 壁の長さ[m] ※本試験体の寸法は 1.00m です。

(2) 短期基準せん断耐力 P_0 の算定

短期基準せん断耐力 P_0 は、下記の (a) ~ (d) で求めた耐力の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値のうち最も小さい値としました。なお、ばらつき係数は、母集団の分布形を正規分布とみなし、統計的処理に基づく信頼水準 75% の 50% 下側許容限界値をもとに次式より求めました。

- (a) 降伏耐力 P_y
- (b) 終局耐力 $P_u \times (0.2/D_s)$
- (c) 最大荷重 (P_{max}) の 2/3
- (d) 特定変形時の耐力 (柱脚固定式: 見かけの変形角 1/120rad.)

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot k$$

但し、CV: 変動係数

k: 定数 0.471 (試験体数=3 体の場合)

※本試験は試験体数が各仕様 1 体であるため、ばらつき係数を 1.0 としました。

(3) 短期許容せん断耐力の算定

短期許容せん断耐力 P_a は次式により算定しました。

$$P_a = P_0 \times \alpha$$

ここで、 P_0 : 実験により決定された耐力壁の短期基準せん断耐力[kN]

α : 耐力に影響を及ぼす係数で、耐力壁の構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響、壁量計算の前提条件を満たさない場合の影響等を勘定して定める係数。

※本試験では 1.0 としました。

(4) せん断変形角の算定

せん断変形角は次の方法で計算しました。見かけの変形角(γ)、脚部の変形角(θ)は 次式によります。

$$\text{見かけのせん断変形角} \quad \gamma = (\delta 1 - \delta 2) / H [\text{rad.}] \dots \dots (1\text{式})$$

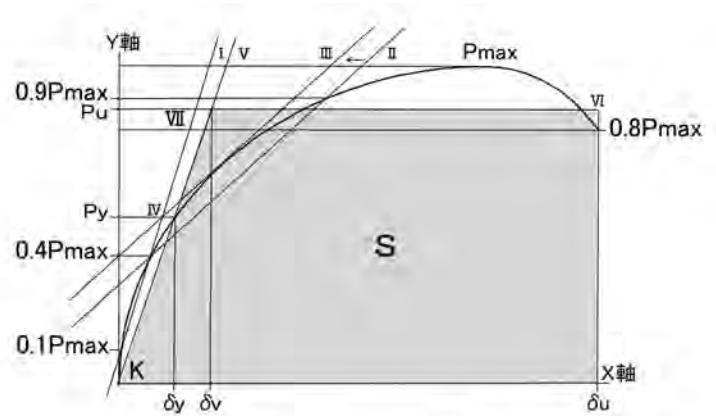
但し、 $\delta 1$: LVL壁加力点の水平方向変位(mm) (変位計H1)

$\delta 2$: LVLせん断ダボ頂部の水平方向変位(mm) (変位計H2)

H: 支持冶具頂部から加力点までの高さ 2730(mm)

(5) 完全弾塑性モデルによる降伏耐力 P_y 、降伏変位 δ_y 、終局耐力 P_u 、終局変位 δ_u 、剛性 K 、塑性率 μ 、構造特性係数 D_s の求め方

- ① 包絡線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結ぶ直線(第Ⅰ直線)を引きます。
- ② 包絡線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結ぶ直線(第Ⅱ直線)を引きます。
- ③ 包絡線上に接するまで第Ⅱ直線を平行移動し、これを第Ⅲ直線とします。
- ④ 第Ⅰ直線と第Ⅲ直線との交点の荷重を降伏耐力 P_y とし、この点からX軸に平行に直線(第Ⅳ直線)を引きます。
- ⑤ 第Ⅳ直線と包絡線との交点の変位を降伏変位 δ_y とします。
- ⑥ 原点と(δ_y, P_y)を結ぶ直線(第Ⅴ直線)の勾配を初期剛性 K と定めます。
- ⑦ 最大荷重後の $0.8P_{max}$ 荷重低下域の包絡線上の変位 又は $1/15\text{rad.}$ 時変位のいずれか小さい変位を終局変位 δ_u と定めます。
- ⑧ 包絡線と X 軸 及び δ_u で囲まれる面積を S とします。
- ⑨ 第Ⅴ直線と δ_u と X 軸並びに X 軸に平行な直線で囲まれる台形の面積が S と等しくなるように X 軸に平行な直線(第Ⅵ直線)を引きます。
- ⑩ 第Ⅴ直線と第Ⅵ直線との交点の荷重を完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u と定め、その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とします。
- ⑪ (δ_u / δ_v) を塑性率 μ とします。
- ⑫ 塑性率 μ を用いて、 $D_s = 1 / \sqrt{(2\mu - 1)}$ とします。



完全弾塑性モデルによる降伏耐力、終局耐力の求め方

参考文献: 木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版) (財)日本住宅・木材技術センター

3. 試験結果及びグラフ

3-1: “タイダウン耐力壁A種-1”の試験結果

試験体記号	加力方法	降伏耐力 Py [kN]	終局耐力 Pu× (0.2/Ds) [kN]	2/3Pmax [kN]	1/120rad. 時の荷重 [kN]	最大荷重時	
						Pmax [kN]	δ max [rad.]
タイダウン 耐力壁A種-1	正負交番 繰返し加力	73.32	39.64	66.76	32.39	100.14	64.00
平均		73.32	39.64	66.76	32.39	100.14	64.00
標準偏差		—	—	—	—	—	
変動係数		—	—	—	—		
ばらつき係数 ※2		1.000	1.000	1.000	1.000		
短期基準せん断耐力 P ₀		73.32	39.64	66.76	32.39		
短期許容せん断耐力 P _a		73.32	39.64	66.76	32.39		
壁倍率		—	—	—	16.53 ^{※1}		

※1 16.53 で囲んだ値を壁倍率とします。

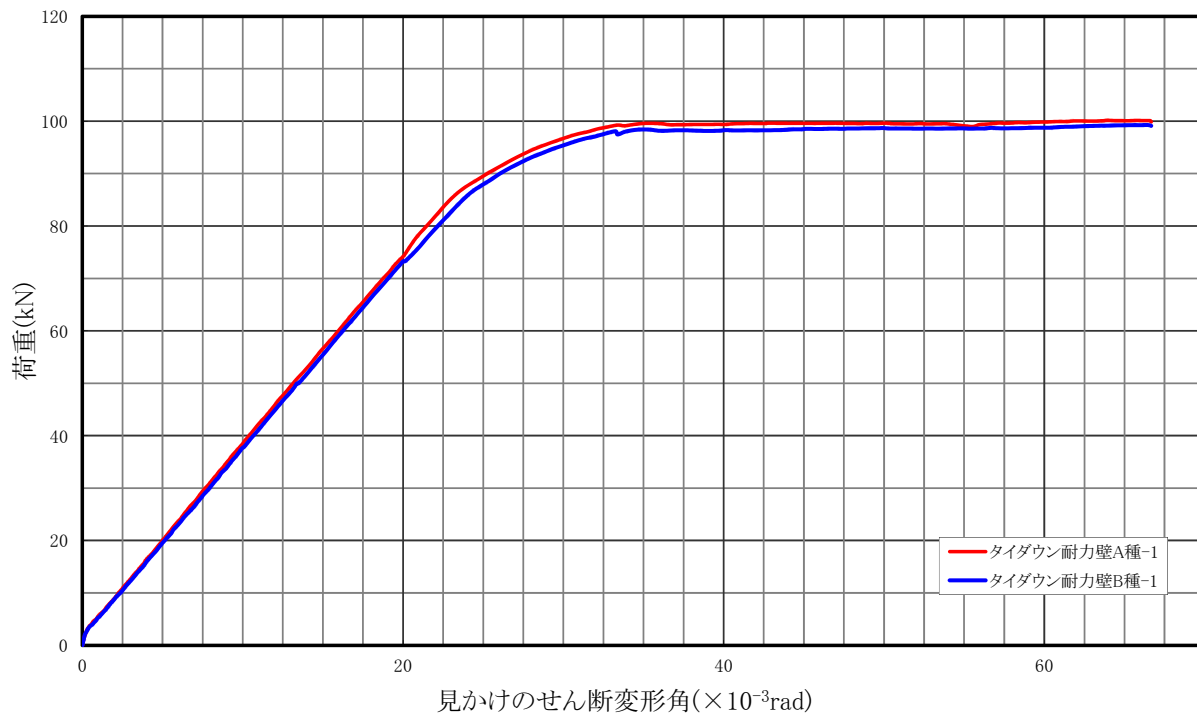
3-2: “タイダウン耐力壁B種-1”の試験結果

試験体記号	加力方法	降伏耐力 Py [kN]	終局耐力 Pu× (0.2/Ds) [kN]	2/3Pmax [kN]	1/120rad. 時の荷重 [kN]	最大荷重時	
						Pmax [kN]	δ max [rad.]
タイダウン 耐力壁B種-1	正負交番 繰返し加力	68.92	39.18	66.17	31.52	99.26	66.47
平均		68.92	39.18	66.17	31.52	99.26	66.47
標準偏差		—	—	—	—	—	
変動係数		—	—	—	—		
ばらつき係数 ※2		1.000	1.000	1.000	1.000		
短期基準せん断耐力 P ₀		68.92	39.18	66.17	31.52		
短期許容せん断耐力 P _a		68.92	39.18	66.17	31.52		
壁倍率		—	—	—	16.08 ^{※1}		

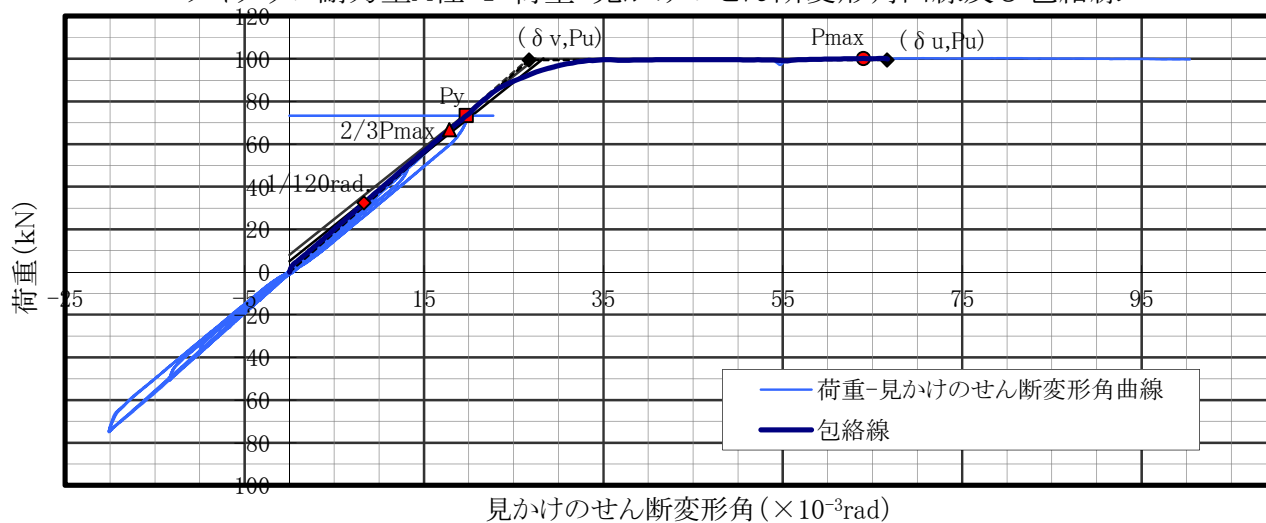
※1 16.08 で囲んだ値を壁倍率とします。

3-3: グラフ比較

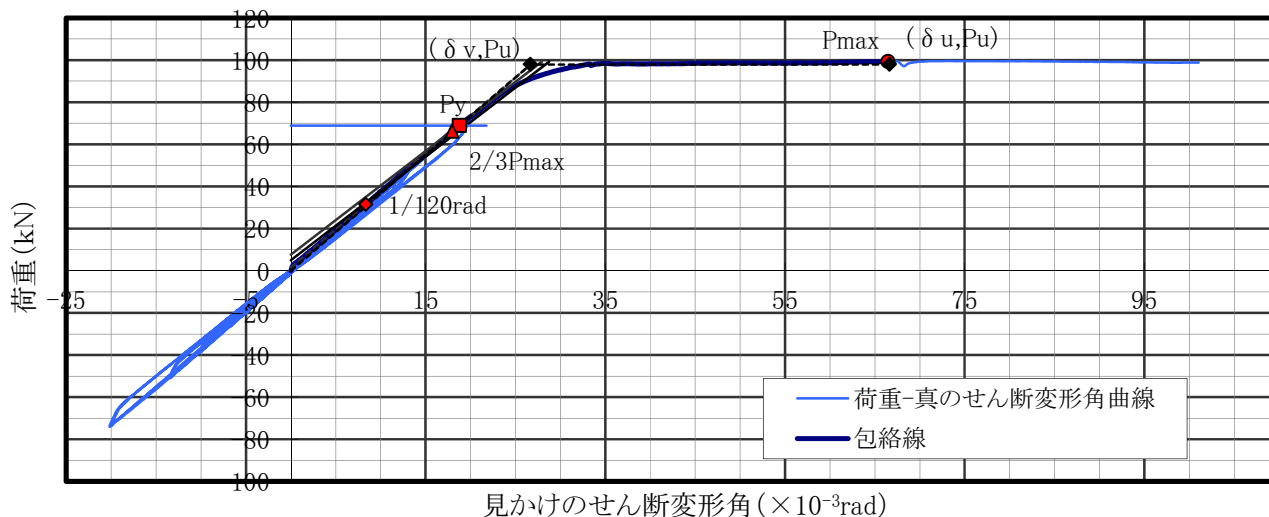
“タイダウン耐力壁A種-1”“タイダウン耐力壁B種-1”の包絡線比較



“タイダウン耐力壁A種-1”荷重-見かけのせん断変形角曲線及び包絡線



“タイダウン耐力壁B種-1”の荷重-見かけのせん断変形角曲線及び包絡線



4. 試験方法

(1) 試験体の設置

- ① 試験体の面内せん断試験の概要を図 4-1 に示します。
- ② 試験体における制御寸法は、高さ 2,730 mm、幅 1,000mm としました。
- ③ 固定治具天端より 2,730mm の位置を加力点としました。
- ④ 本試験は、柱脚固定式としました。
- ⑤ タイダウン PC 鋼棒は一度緊結した後緩め、手締め程度で加力を開始しました。

(2) 加力方法

- ① 加力方法は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は見かけの変形角が 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、の正負変形時に行いました。
- ② 繰り返しは、履歴の同一変形段階で 3 回の繰り返し加力を行いました。
- ③ 最大荷重に達した後、最大荷重の 80% の荷重に低下するまで加力するか、試験体の見かけの変形角が 1/15rad.以上に達するまで加力しました。なお、見かけの変形角が 1/15rad.を超えても最大荷重の 80%まで荷重が低下しない場合には、見かけの変形 1/15rad.を終局変形角とし、その時の荷重を最大荷重として扱いました。

(3) 試験装置

荷重の加力は、試験体の加力梁の中心を加力点として、アクチュエーターにより行いました。荷重の検力はアクチュエーター先端に取り付けたロードセルを用いました。

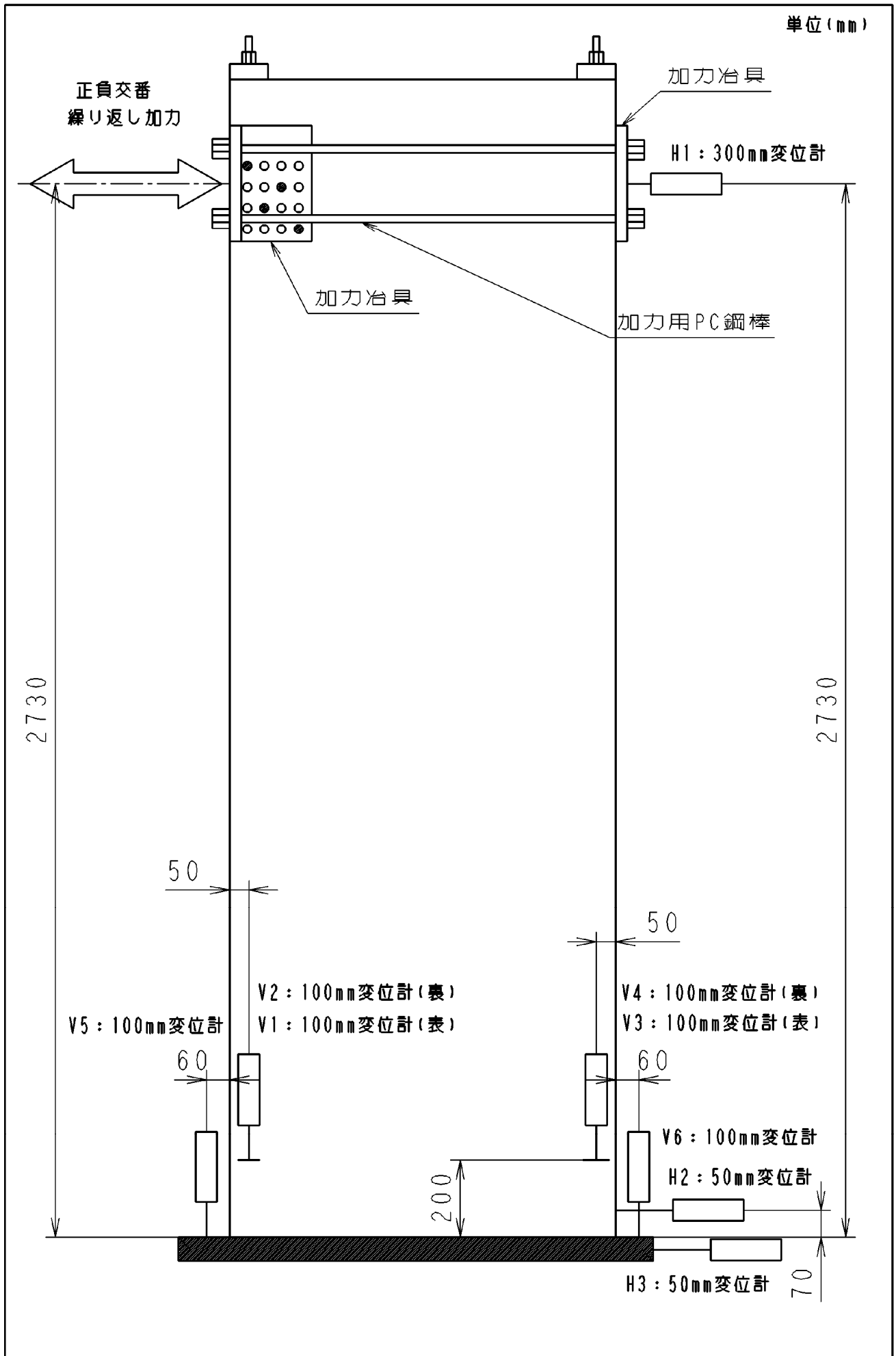
(4) データの集録

データの集録は、ロードセル及び変位計をアクチュエーター、コンピュータシステムに接続して行いました。

今回の試験に用いた機器の詳細

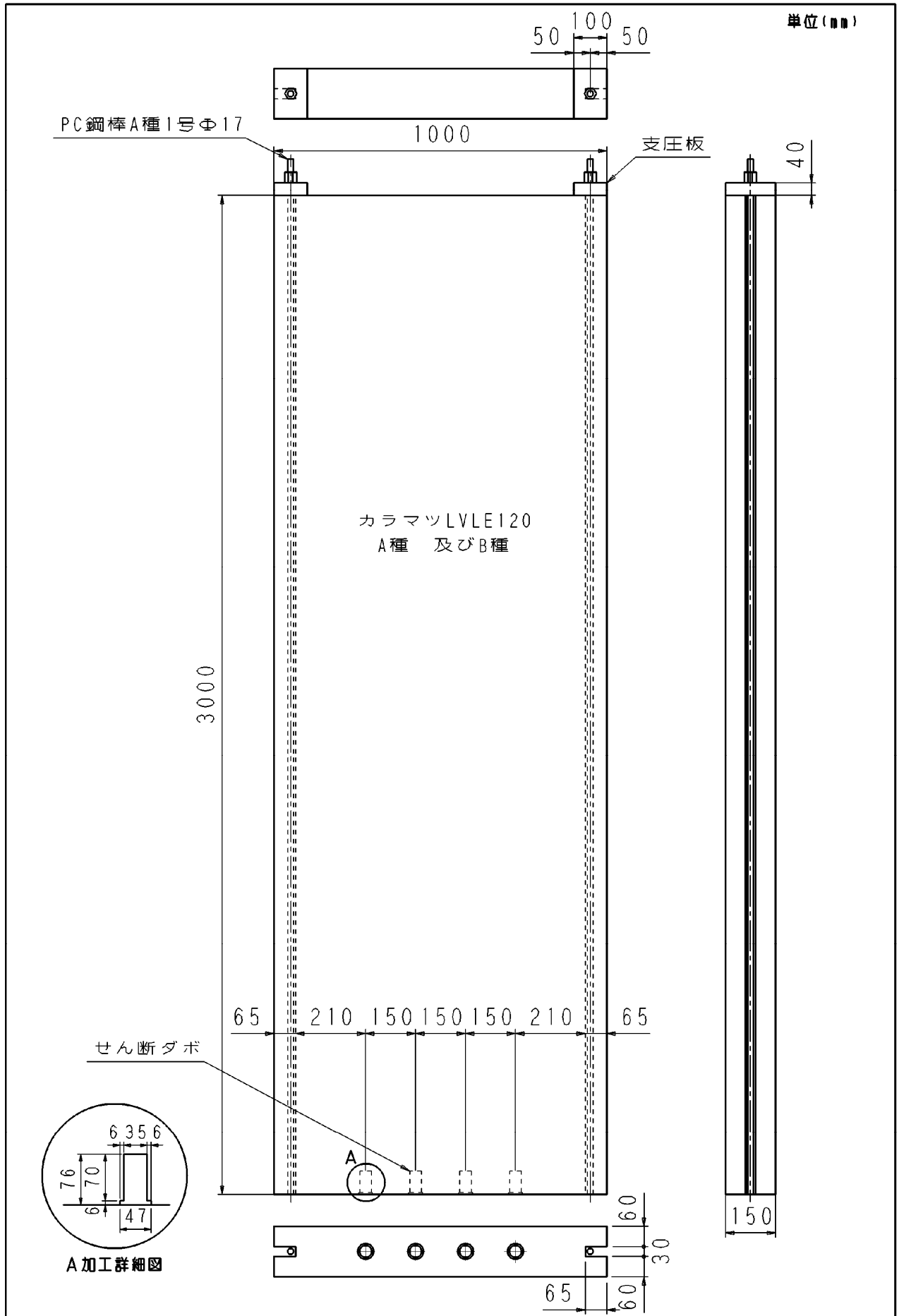
機器名称	容量	出力
アクチュエーター	200kN	H 側:19.3N/mm ² R 側:19.3N/mm ²
ロードセル	200kN	非直線性 ±0.1% R0 ヒステリシス ±0.1% R0
300mm パルス変位計 (H1)	300mm	10,000 μ /mm
50mm 変位計 (H2,H3)	50mm	10,000 μ /mm
100mm 変位計 (V1,V2,V3,V4,V5,V6)	100mm	10,000 μ /mm

図 4-1: 試験概要図



5. 試験体図

5-1. “タイダウン耐力壁A種-1”、“タイダウン耐力壁B種-1”試験体図



7.写真

7-1.“タイダウン耐力壁A種-1”の破壊状況



・加力前。



・加力後。



・加力側LVL壁の圧縮による亀裂。



・PC鋼棒の伸びによるLVL壁の浮き上がり。



・PC鋼棒の伸びによるLVL壁の浮き上がり。



・非加力側柱頭支圧板のめり込みは確認されず。

7.写真

7-2.“タイダウン耐力壁B種-1”の破壊状況



・加力前。



・加力後。



・加力側LVL壁の圧縮による亀裂。



・LVL壁の回転。



・PC鋼棒の伸びによるLVL壁の浮き上がり。



・非加力側柱頭支圧板のめり込みは確認されず。

第8章 まとめ

本事業を実施した結果、以下の結論を得た。

1 材料強度

国産材B種LVLの性能は、フラットワイズ・繊維方向の曲げヤング係数と曲げ強度数値で、カラマツ（9.8kN/mm²、26.9kN/mm²）ヒノキ（8.8kN/mm²、29.9kN/mm²）、スギ（6.3kN/mm²、24.5kN/mm²）相当を有することを確認した。

2 面内せん断

四辺を拘束した実大LVLの面内せん断試験の結果、面内せん断強度および面内せん断剛性共に、直交層を有するB種LVLが直交層の無いA種LVLを上回った。同時に行ったツーレイルシア試験による面内せん断強度および剛性の結果と合わせ、今後の面内せん断性能予測と評価法を誘導できる可能性が示された。

3 支圧

国産材B種LVLのボルト支圧強度は、木質構造設計基準に示される製材の基準支圧強度を上回り、密度と接合具径を用いた計算式による予測も製材と同等であることがわかった。

4 釘接合部

国産材B種LVLの積層面に釘を打った場合の釘のせん断性能を明らかにした。

5 GIR接合部（グルードインロッド）

厚板LVL壁の接合の一つであるグルードインロッド接合に関して、A種とB種での性能を明らかにした。近接して打ち込まれる場合の性能は、破壊形態が異なるため、運用に注意が必要である。

6 LSB接合部

厚板LVL壁の接合の一つであるラグスクリューボルト接合に関して、A種とB種での性能を明らかにした。

7 厚板壁性能

高倍率の耐力壁の開発を目的として上記の厚板LVL壁接合および上下をボルトでつないだタイロッド式接合の壁試験を行い、高い倍率の性能値を確認した。A種とB種ではほぼ同等の評価が可能であることがわかった。

第9章 今後の課題

- ・得られた接合部性能の周知

B種LVLの接合部データを構造設計者に提供し、実物件に適用されるよう周知してゆく。

- ・B種LVLの情報提供

B種LVLの断面寸法・樹種・強度等級等の情報を、意匠設計・構造設計向けに提供してゆく。

- ・実物件で想定される多本数の接合部の計算値を実験による検証

B種LVLの実物件で想定される多本数のピン接合部の設計は今回得られたが、計算した接合部性能が実際の性能を予測しているかは、試験を行わないとわからない。構造設計者が安心して計算値を運用していくために、実験による計算値の検証が必要である。

- ・厚板壁性能の性能実証

B種LVLの厚板壁性能の構造的な検証はある程度目処がついた。意匠性と施工性の面から魅力のある製品にしていくことが必要不可欠である。

- ・振動・遮音性状の把握

非住宅建築でB種LVLを使用して構造的に満足する構成になったとしても、振動・遮音性能がより厳しい要求性能になることが多い。非住宅で求められる振動・遮音性状の把握が必要である。

第 10 章 添付資料

本事業に係わる委員会の議事録を記す。

- ・全国 L V L 協会 技術部会 接合部支圧委員会
- ・全国 L V L 協会 技術部会 接合部 L S B G I R 委員会

会議名	平成26年度 第1回	全国LVL協会 技術部会 接合部委員会		確認	作成
日 / 時	2014年	9月30日 (火)	15時半～17時半	李	成田
場 所	新木場タワー 15F会議室B				
委員長	静岡大学農学部	安村 基	環境森林科学科 住環境構造学研究室 教授		
委 員	建築研究所	中島 史郎	建築生産研究グループ 上席研究員		
	森林総合研究所	洪沢 龍也	複合材料研究領域 複合化研究室 室長		
	森林総合研究所	欠) 宮本 康太	複合材料研究領域 複合化研究室 主任研究員		
	静岡大学農学部	小林 研治	環境森林科学科 住環境構造学研究室 助教		
	(株)オーシカ	辻 健	市場開発推進部 部長		
	ウッドワン	疋田慎二	住宅システム営業部 構造設計課		
	インターレックス	平塚道浩	パネル 課長		
	東日本パワーファスニング(株)	荏部泰輝	代表取締役社長		
	東日本パワーファスニング(株)	寺澤正広	営業本部		
	(株)キーテック	宋 昌錫	開発部 係長		
	林野庁	大倉 弘二	林政部木材産業課 木材製品技術室課長補佐		
	事務局 全国LVL協会	井上国雄	事務局長		
		李 元羽	技術部長		
		成田敏基	技術課長		
		松里 整	建築研究所交流研究員		
項N0.	議 事 内 容			備 考	
	1.	審議事項			
		1. 受託事業概要と予算、およびスケジュール			事務局
		2. 実施内容について、今までの経緯、および計画			
		1. LVL協会が行ってきた内容			事務局
		2. B種LVLの面内せん断			
		3. B種LVLの支圧 接合部			
		4. B種LVL LSB、GIR (他WG)			
		3. 次回日程			
	2.	報告事項			
	3.	その他			
	4.	配布資料			
		1. 林野庁受託候補選定書・仕様書・申請内容			資料1-1
		2. 予算とスケジュール			資料1-2
		3. 今までの経緯、B種LVLの用途、仕様			資料1-3-1
		3. LVLの過去のデータ一覧			資料1-3-2
		4. 試験計画 (面内せん断)			資料1-4
		5. 試験計画 (支圧・接合部)			資料1-5
		6. LSB、GIRの計画 (他WG紹介)			資料1-6
		7. B種LVLに関して			資料1-7
		過去のデータ集			資料1-8
		8. LVL面内せん断 建築学会梗概集			資料1-8-1
		9. コンクリートせん断論文			資料1-8-2
		10. RC造+LVL耐震壁 建築学会梗概集			資料1-8-3
		11. LVLボルト接合部 建築学会梗概論文			資料1-8-4
		12. LVLボルト支圧 建築学会梗概論文			資料1-8-5
		13. LVLビス接着1面せん断 建築学会梗概論文			資料1-8-6
		14. LVL接合部試験報告書 (H6年、住木センター)			資料1-8-7
		15. 国産材LVL 2×4接合部検証 (H21年、三菱地所ホーム)			資料1-8-8

発言者	項N0.	議 事 内 容	担 当
	1.	審議事項	
		1. 受託事業概要と予算、およびスケジュール	
		LVL協会として行ってきた事業、受託事業を行うにあたっての背景の説明を行った。	事務局
		予算は1970万。3/13林野庁提出、2月中に協会で報告書を取りまとめる。	
		1月末には解析が終わっている必要がある。実験自体は12月中には終了したい。	
		委員会は合計3回を予定している。	
		2. 1. 過去の事業	
		○LVL接合部（ボルト、ラグスクリュー）積層面の打ち込みは設計に注意が必要との結論。	事務局
		○LVLボルト接合部 直交層が入ると、靱性が大幅に向上した。	
		○LVLボルト支圧 直交層が入ると、靱性が多少向上する。	
		支圧強度は直交層の影響は見られなかったが、剛性が向上した。（特に0度方向）	
		計算値よりも実測値が多少低くなっている。試験体寸法が小さく、	
		端距離が足りなかった可能性がある。端距離を確保して検証したい。	
		2. 面内せん断実験計画	
		昨年度カラマツの面内せん断試験を実施している（資料8-1）	中島
		加力方向が0度方向かつ直交層がない場合は割裂をしてしまうので性能が低くなる。	
		割裂が発生しないような実験方法で再度実験を行う。	
		資料8-2のコンクリート実験方法を参考としたツーレイルシユア以外の方法を検討。	
		単板自体の面内せん断強度とLVLの面内せん断強度を比較して、	
		単板の強度からLVLの強度を算出できるかどうか確認する。厚みは12mm, 3層。	
		樹種はカラマツで行う。厚さは2種類（47mm、30mm）スギについても実施を検討する。	安村
		森林総研の試験機械で何体か行うことを検討する。	渋沢
		3. LVLの支圧・接合部 実験計画	
		静大では支圧と割裂を行う。釘の1面せん断は他機関での実施を検討する。	事務局
		○本試験 支圧・割裂	
		釘の種類は減らす可能性あり（既往のものと実用性を考慮する）	小林
		期間が短いので、代表的なものだけを行う。	安村
		釘の種類はCN釘を使用する。樹種は優先順位からカラマツとスギ2種類。	事務局、安村
		木質構造設計規準への記載は、次期改訂に入れ込むという方向の方がよい。	安村
		集成材と同等の設計ができるというのが使いやすいと思われる。	安村
		○接合部せん断	
		繊維平行方向加力（層内）直交単板層の部分に当るようにする。	小林
		接合部のせん断試験は、軸組を想定して側材を合板にしている。	疋田
		大規模建築の壁を想定すると、側材を鋼板にした方がよいのではなかろうか。	疋田
		グレー本ではLVLは集成材と同等評価なので、LVL+合板でやる必要がある。	事務局
		資料8-12をみると、集成材よりもLVLの方が高い値となっている。	
		事業期間が短いので、まずは合板接合部のデータを収集する。	安村
		繰り返し正負加力は釘が切れる可能性があるので、1方向加力でよい。	小林
		積層面の影響を見るのであれば1方向の方がいい。→1方向を行う。1仕様最低6体	安村・小林
		接合具はCN釘のみで検討。合計48体	安村
		4. LSB、GIR接合	
		別WGで検討をしている。内容は、資料の通り。	事務局
		次回日程	
		11/28金 14:30～ 新木場タワー会議室B	

会議名	平成26年度 第2回	全国LVL協会 技術部会 接合部支圧委員会		確認	作成
日 / 時	2014年	11月28日 (金)	14時半～16時半		
場 所	新木場タワー 15F会議室B			李	成田
委員長	静岡大学農学部	安村 基	環境森林科学科 住環境構造学研究室 教授		
委員	建築研究所	中島 史郎	建築生産研究グループ 上席研究員		
	森林総合研究所	渋沢 龍也	複合材料研究領域 複合化研究室 室長		
	森林総合研究所	宮本 康太	複合材料研究領域 複合化研究室 主任研究員		
	静岡大学農学部	小林 研治	環境森林科学科 住環境構造学研究室 助教		
	島根県産業技術センター	河村 進	材料技術グループ 主任研究員		
	広島県立総合技術研究所林業技術センター	藤田 和彦	林業研究部 総括研究員兼副部長		
	(株)オーシカ	辻 健	市場開発推進部 部長		
	ウッドワン	疋田 慎二	住宅システム営業部 構造設計課		
	インターレックス 代)	高橋 圭吾	パネル セールス		
	東日本パワーファスニング(株) 欠)	荻部 泰輝	代表取締役社長		
	(株)キーテック	李 元羽	開発部 次長		
	林野庁	大倉 弘二	林政部木材産業課 木材製品技術室 課長補佐		
	林野庁	北代 新也	林政部木材産業課 木材製品技術室 専門職		
事務局	全国LVL協会	欠) 井上 国雄	事務局長		
		成田 敏基	技術課長		
		松里 整	建築研究所交流研究員		
		大石 哲也			
項N0.	議 事 内 容			備 考	
	1. 審議事項				
	1. 新委員紹介			事務局	
	2. 前回議事録			事務局	
	3. 直交層有LVLの適用部位と寸法			事務局	
	4. 試験計画および予備試験				
	・ 面内せん断				
	・ 支圧				
	・ 釘接合部				
	・ 材料強度				
	5. 次回日程				
	2. 報告事項				
	3. その他				
	4. 配布資料				
	1. 前回議事録			資料2-1	
	2. スケジュール			資料2-2	
	3. 直交層有LVLの適用部位と寸法			資料2-3	
	4. 計画 面内せん断			資料2-4	
	5. 計画 支圧			資料2-5	
	6. 計画 釘接合部			資料2-6	
	7. 計画 材料強度			資料2-7	
	参考資料				
	8. 計画 GIR・LSB			資料2-8	

発言者	項N0.	議 事 内 容	担 当
	1.	審議事項	
		1. 新委員紹介 河村委員、藤田委員が新委員として承認された。	
		2. 前回議事録 確認し、承認された。	
		3. 直交層有LVLの適用部位と寸法	
		直交層の入ったLVLの適用範囲、適用部位について、説明があった。	事務局
		4. 試験計画および予備試験 面内せん断	
		二種類のせん断試験を予定している。ASTM D2719-89による菱形でやる試験を説明した。Large Panel-shear TestとTwo Rail Shear Testで行う予定の試験体や樹種・方向・強度等級などの説明を行った。森林総研で、数体のTwo Rail Shear Testを行う予定である。測定条件によって、結果が異なることが無いように調整を行う。試験のテクニックに関する議論が行われた。また、試験方法別で相関などが分かればある程度の予測はつくと思うが、まだ知見が十分に蓄積されておらず、今回の結果を見て判断することになる。また、世界でも試験方法自体が十分な摺合せが行っていない状況である。	
		試験計画および予備試験 支圧	
		予備試験ボルト支圧強度：木質構造設計基準の計算式による結果に概ね一致した。A種は割裂したが、B種は割裂が無かった。釘支圧試験：先穴なしで試験することが良いと判断。 本試験の予定の審議が行われた。支圧試験に関しては、ボルト3種類、樹種3種類（ヒノキはボルト16mmのみ）、直交層有り・無し、加力方向2種類のバリエーションを設定する。ボルト支圧280体+釘支圧240体=計520体。 繊維直角方向加力試験に関しては、ボルト3種類、樹種2種類、直交層有り・無しのバリエーションを設定する。計48体。	
		試験計画および予備試験 釘接合部	
		合板は、JAS2級12mm、釘はCN65で試験が行われた。加力方法は圧縮と引張で試験を行ったが、試験の簡便さを考え圧縮型にするつもりである。国産材製材協会との共通仕様で、試験方法・試験材料などを合わせられるのであれば共通化する。協会側が目標値を定める必要がある。また、ミドリ本か学会基準との関係を整理する必要がある。試験仕様に関しては、事務局が同事業を製材で行っている国産材製材協会と連絡を取り合い、メールで審議を問う予定である。	
		試験計画および予備試験 材料強度	
		資料2-7の説明を行った。この資料と同じやり方で、LVLの材料強度試験を行う予定である。	
		報告書、周知の仕方	
		様々な方法があるが、究極的には学会基準を使うようなオーソライズを得ることである。途中段階として、ホームページに掲載し公表していく。	
		次回：2015年2月6日金 14時半～16時半 新木場タワー15F 会議室B	

会議名	平成26年度 第3回	全国LVL協会 技術部会 接合部支圧委員会		確認	作成	
日 / 時	2015年	2月6日 (金)	14時半～16時半			
場 所	新木場タワー 15F会議室B			李	成田	
委員長	静岡大学農学部	欠)	安村 基	環境森林科学科 住環境構造学研究室 教授		
委員	建築研究所	欠)	中島 史郎	建築生産研究グループ 上席研究員		
	森林総合研究所		渋沢 龍也	複合材料研究領域 複合化研究室 室長		
	森林総合研究所		宮本 康太	複合材料研究領域 複合化研究室 主任研究員		
	静岡大学農学部		小林 研治	環境森林科学科 住環境構造学研究室 助教		
	島根県産業技術センター		河村 進	材料技術グループ 主任研究員		
	広島県立総合技術研究所林業技術センター		藤田 和彦	林業研究部 総括研究員兼副部長		
	(株)オーシカ		辻 健	市場開発推進部 部長		
	ウッドワン		疋田 慎二	住宅システム営業部 構造設計課		
	インターレックス	欠)	高橋 圭吾	パネル セールス		
	東日本パワーファスニング(株)	欠)	荻部 泰輝	代表取締役社長		
	(株)キーテック		李 元羽	開発部 次長		
	林野庁		大倉 弘二	林政部木材産業課 木材製品技術室 課長補佐		
	林野庁	欠)	北代 新也	林政部木材産業課 木材製品技術室 専門職		
オブザーバー						
	竹中工務店		栗原 嵩明	竹中工務店技術研究所		
	広島県立総合技術研究所林業技術センター		野沢浩二	林業研究部		
事務局	全国LVL協会	欠)	井上 国雄	事務局長		
			成田 敏基	技術課長		
			松里 整	建築研究所交流研究員		
		欠)	大石 哲也			
項N0.	議 事 内 容				備 考	
	1.	審議事項				
		1. 前回議事録				事務局
		2. 直交層有LVLの適用部位と寸法				事務局
		3. 試験計画および進捗				事務局
		・ 面内せん断				
		・ 支圧				
		・ 釘接合部				
		・ 材料強度				
		4. 林野庁報告書案および予算進捗				
	2.	報告事項				
	3.	その他				
	4.	配布資料				
		1. 前回議事録				資料3-1
		2. 直交層有LVLの適用部位と寸法				資料3-2
		3. 面内せん断				資料3-3
		4. 支圧				資料3-4
		5. 釘接合部				資料3-5
		6. 材料強度				資料3-6
		7. 報告書案				資料3-7
		参考資料				
		8. 進捗 GIR・LSB				資料3-8

会議名	平成26年度 第2回	全国LVL協会 技術部会 接合部・LSBGIR委員会		確認	作成
日 / 時	2015年	1月29日 (木)	13時～15時		成田
場 所	東京大学生産研究所 (駒場)				
委員長	東京大学	腰原 幹雄	生産技術研究所 木質構造デザイン工学 教授		
委 員	大分大学	田中 圭	工学部福祉環境工学科建築コース 助教		
	桜設計集団	佐藤 孝浩			
	(株)オーシカ	辻 健	市場開発推進部 部長		
	(株)オーシカ	濱井 篤志	中央研究所 主任研究員		
	(株)グランドワークス	大倉憲峰	代表取締役		
	(株)グランドワークス	大倉義邦	専務取締役		
	(株)スクリムテックジャパン	河野泰之	代表取締役		
	(株)タナカ	村松 学	住宅資材営業部		
	インターレックス	高橋 圭吾	パネル セールス		
	(株)ウッドワン	疋田 慎二	住宅システム営業部 構造設計		
	(株)キーテック	李元羽	開発部 次長		
	林野庁	大倉 弘二	林政部木材産業課 木材製品技術室 課長補佐		
	林野庁	北代 新也	林政部木材産業課 木材製品技術室 専門職		
	桜設計集団	池谷 聡史			
事務局	全国LVL協会	井上国雄	事務局長		
		成田敏基	技術課長		
		宋 昌錫	技術課長		
項N0.	議 事 内 容			備 考	
	1.	審議事項			
		1. 前回議事録確認			
		2. 性能目標の確認と予定、予算			
		3. 報告書目次案の確認			
		4. 実施内容の途中経過			
		・ G I R			
		・ L S B			
		・ 厚板壁 (LSB)			
		・ 厚板壁 (タイロッド)			
	2.	報告事項			
	3.	その他			
	4.	配布資料			
		1. 前回議事録			資料1
		2. 性能目標			資料2
		3. 報告書目次案			資料3
		4. 試験報告 G I R引き抜き			資料4
		5. 試験報告 L S B引き抜き			資料5
		6. 試験予定 L S B厚板壁			資料6
		7. 試験予定 タイロッド厚板壁			資料7
		8. H 2 4 年度 L S B引き抜き報告書			

