

令和3年度 木材製品の消費拡大対策事業のうち

CLT建築実証支援事業のうち

CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

「超厚合板の開発のための性能試験等の実施事業」

# 事業報告書

令和5年2月



日本合板工業組合連合会



## 目次

1.	事業計画	1
1.1	事業目的	1
1.2	事業内容	1
2.	委員会構成	1
3.	超厚合板の試作仕様の概要	3
3.1	はじめに	3
3.2	単板選別について	3
3.3	使用樹種について	4
3.4	接着剤について	4
3.5	積層接着方法について	5
3.6	試作試験について	5
4.	曲げ性能（その1）	7
4.1	目的	7
4.2	試験体	7
4.3	試験方法	8
4.4	試験結果	10
4.5	まとめ	16
5.	曲げ性能（その2）	17
5.1	試験体	17
5.2	試験方法	17
5.3	試験結果	18
6.	水平せん断性能	28
6.1	はじめに	28
6.2	試料材	28
6.3	試験の方法	28
6.4	試験結果概要	29
6.5	まとめ	36
	試験成績書	38

7.	水平せん断試験方法の検討	42
7.1	目的	42
7.2	供試体	43
7.3	試験方法	44
7.4	試験結果	47
7.5	まとめ	51
8.	接着性能	52
8.1	はじめに	52
8.2	超厚合板の接着性能評価について	52
8.3	超厚合板の接着性能の実証試験	53
8.4	まとめ	61
9.	接合部性能	62
9.1	支圧試験	62
9.2	鋼板挿入ドリフトピン二面せん断試験	66
10.	床構面利用に関する検討	72
10.1	はじめに	72
10.2	パネル間接合部の曲げ試験（予備試験）	73
10.3	めり込み試験	76
10.4	ビスの引き抜き試験	78
11.	含水率変化および断熱・透湿性能の検討	81
11.1	はじめに	81
11.2	吸湿による重量増加と厚さ寸法変化	81
11.3	含水率変化による厚さ寸法変化の検討	84
11.4	断熱性能の検討	86
11.5	透湿性能	87
11.6	まとめ	89
12.	総括	91
12.1	試作試験結果について	91
12.2	曲げ試験結果について	91
12.3	水平せん断試験結果について	91
12.4	水平せん断試験方法の検討結果について	92
12.5	接着性能試験結果について	92

12.6	接合部性能試験結果について	93
12.7	床構面利用に関する試験結果について	93
12.8	含水率変化に関する試験結果について	93
12.9	残された課題について	94
13.	付録	95
13.1	データ、写真	95
13.1.1	曲げ性能（その1）	95
13.1.2	曲げ性能（その2）	107
13.1.3	水平せん断性能	116
13.1.4	水平せん断試験方法の検討	126
13.1.5	接合部性能	132
13.1.6	床構面利用に関する検討	143
13.1.7	含水率変化および断熱・透湿性能の検討	148
13.2	技術開発委員会議事録	153



## 1. 事業計画

### 1.1 事業目的

現在は 30 mm厚程度の国産の構造用合板をさらに厚手化した「超厚合板」の製品・技術開発を行う。

具体的な検討項目は、

#### ① 超厚合板の製造因子の検討

超厚合板の製造因子として、単板の選別程度及び積層接着方法に着目し、製造の可否並びに難易について検討を行う。

#### ② 超厚合板の基礎物性の把握

超厚合板の基礎的性能の項目として、曲げ性能、水平せん断性能、接着の程度、含水率変化を採り上げ、性能の評価を実施する。

#### ③ 超厚合板の接合部性能の把握

超厚合板の用途として、建築物の構造材として使用可能であることを目標としており、使用時には接合部を介した応力伝達性能が求められることから、接合部に関する基本的性能を把握する。

#### ④ 超厚合板の構面としての性能把握

超厚合板を構造用途で用いる場合、耐力壁等の構面としての性能が求められるため、耐力壁の水平せん断性能を把握する。

上記の 4 項目により、超厚合板の製造仕様と性能の関係を把握する。

### 1.2 事業内容

#### ① 超厚合板の製造因子の検討

超厚合板の製造因子として、単板の選別程度及び積層接着方法に着目し、製造の可否並びに難易について検討を行った。

#### ② 超厚合板の基礎物性の把握

超厚合板の基礎的性能の項目として、曲げ性能、水平せん断性能、接着の程度、含水率変化を採り上げ、性能の評価を実施した。

#### ③ 超厚合板の接合部性能の把握

超厚合板の用途として、建築物の構造材として使用可能であることを目標としており、使用時には接合部を介した応力伝達性能が求められることから、接合部に関する基本的性能を把握した。

#### ④ 超厚合板の構面としての性能把握

超厚合板を構造用途で用いる場合、耐力壁等の構面としての性能が求められるため、耐力壁の水平せん断性能を把握した。

## 2. 委員会構成

日本合板工業組合連合会に設置する技術開発委員会において、本事業を推進した。

### I 委員（五十音順、敬称略）

青木 謙治 東京大学大学院 農学生命科学研究科 《副委員長》  
朝倉 靖弘 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 林産試験場

大西 裕二 宮城県林業技術総合センター  
 岡崎 泰男 秋田県立大学 木材高度加工研究所  
 河原 大 東京電機大学 未来科学部建築学科  
 渋沢 龍也 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 《委員長》  
 杉本 健一 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所  
 谷川 信江 東京大学大学院 農学生命科学研究科  
 槌本 敬大 国立研究開発法人 建築研究所  
 戸田 淳二 株式会社 中央設計  
 平野 茂 株式会社 一条工務店  
 宮本 康太 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

## II 合板メーカー委員（順不同、敬称略）

平松正樹 丸玉木材株式会社  
 大畑泰廣 ホクヨープライウッド株式会社  
 今野政明 北上プライウッド株式会社  
 阿部勝浩 石巻合板工業株式会社  
 岡田隆一 セイホク株式会社  
 鈴木春樹 秋田プライウッド株式会社  
 岡部隆之 新秋木工業株式会社  
 李 元羽 株式会社キーテック  
 菊地啓善 新潟合板振興株式会社  
 酒井 徹 林ベニヤ産業株式会社  
 藪谷充浩 株式会社ノダ  
 黄 箭波 湖北ベニヤ株式会社  
 荒木裕二 島根合板株式会社  
 橘 由幾 松江エヌエル工業株式会社  
 河野誠一 株式会社日新  
 堀浩太郎 新栄合板工業株式会社

## III オブザーバー（順不同、事業完了時、敬称略）

川原 聡 農林水産省 大臣官房 食品製造課 基準認証室  
 田村 堯大 農林水産省 大臣官房 食品製造課 基準認証室  
 石川 智廣 農林水産省 大臣官房 食品製造課 基準認証室  
 高木 望 林野庁 木材産業課 木材製品技術室  
 横江 美幸 林野庁 木材産業課 木材製品技術室  
 伊豫田 望 林野庁 木材産業課  
 山内 一浩 独立行政法人 農林水産消費安全技術センター  
 尾方 伸次 公益財団法人 日本合板検査会  
 平原 章雄 木構造振興株式会社

## IV 事務局

日本合板工業組合連合会  
 東北合板工業組合、東京合板工業組合、中日本合板工業組合、西日本合板工業組合

### 3. 超厚合板の試作仕様の概要

#### 3.1 はじめに

超厚合板(ちょうあつごうはん)とは従来の厚物合板(厚さ 30mm 程度)を超える厚さを持ち、大規模建築への利用を想定した合板のことをいう。従来にない嵩高い合板製品であることから、パーティションなどの造作用途やカウンター・テーブルトップのような家具用途等、種々の使用方法が想定される。本来、用途は使用者が決めるべきものであるが、本事業では、要求性能が定量的である構造用途を対象として製造技術の検討と性能評価を行うこととしている。本年度は、特に昨年度までの基礎物性に加え、接合部の性能および構面としての性能を評価対象に加え、より広範な検討を行った。ここでは性能評価に供試した超厚合板の試作仕様の概要について昨年度までの内容を含め、累積的に述べる。

#### 3.2 単板選別について

本事業で想定する超厚合板の用途は、大規模建築物の構造用途であり、当然、基準強度の認定を受けることを視野に入れた材料開発をおこなうこととなる。したがって、使用する単板は、従来の美観を主な目的とした目視等級と異なる選別を行う必要がある。建築基準法において、基準強度が認められている木質材料の構成要素の等級区分は、表 3.1 に示す 3 パターンである。

CLT においては、ラミナはヤング係数の平均値を  $30\text{tf/cm}^2$  括約で区分し、M30、M60、M90、M120 の 4 等級が存在する。M60 等級のラミナは主としてスギ、M90 等級のラミナは主としてヒノキ、M120 等級のラミナは主としてカラマツを想定したものである。M30 等級のラミナは内層用のもので、いずれの樹種からも製造できる。製品の等級もヤング係数により、たとえば M60 等級のラミナを全層に使用した製品は S60、外層のみに使用し内層に M30 等級のラミナを用いた製品は Mx60 と表示される。製品のヤング係数の適合基準は層構成によって異なるが、総じて等級の呼称より低い数値となっている。先述の Mx60 等級のラミナは、下限値  $50\text{tf/cm}^2$ 、平均値  $60\text{tf/cm}^2$ 、(A 種構成では上限の基準なし。B 種構成では上限値  $90\text{tf/cm}^2$ ) で区分されるが、たとえば 5 層 5ply の場合、CLT 製品のヤング係数は平均値  $42\text{tf/cm}^2$  となり、等級の呼称と異なるため注意を要する。

集成材においても、ラミナはヤング係数で区分されるが、 $10\text{tf/cm}^2$  括約で細かく区分し、L30 から L200 までの 14 等級が存在する。製品の等級はヤング係数と曲げ強度の組み合わせによるが、たとえば、L200 等級のラミナを用いた製品は E170-F495 と表示され、製品のヤング係数の適合基準は等級の呼称と一致している。別の言い方をすれば、製品性能を担保するためには、等級の呼称より高いヤング係数のラミナを選択していることとなり、このことは CLT の場合と同じである。

LVL においては、使用する単板のヤング係数に関する規定はなく、製品の性能をヤング係数と曲げ強度の組み合わせで規定している。製品のヤング係数区分は、平行層を含まない A 種では E50 から E180 までの 11 等級、平行層を含む B 種では E30 から E140 までの 11 等級としている。適合基準は平均値と下限値であり、平均値が表示値と一致している。

使用する単板のヤング係数等を規定すると、製造上の許容範囲が狭くなり、技術的工夫の余地が狭まると考えられるため、将来の製造基準においては製品性能のみの規定とする方が望ましい。一方、製造上の許容範囲を広く取ると、担保可能な製品性能が低くなって

しまうため、製造のしやすさと担保可能な性能の兼ね合いで単板の選別水準を決める必要がある。さらに、表示性能が材料性能を表す方が使用上の利便性を高められると考えられる。等級として表示可能な製品性能については、他の製造因子の影響も勘案して検討すべきである。

一昨年度は、単板の選別方の妥当性について検討するため、CLT 型、集成材型の 2 方法を採用し、使用する単板のヤング係数を 30tf/cm<sup>2</sup> 幅とするものと 10tf/cm<sup>2</sup> 幅とするものの 2 タイプとした。昨年度はこれらに加え、製材の等級区分等で見られる、下限値のみを規定するパターン (and better 型) と一般の構造用合板と同じ、ヤング係数による選別を行わない型の 2 タイプについて検討を行った。and better 型については、下限値を一昨年度と同じ 60tf/cm<sup>2</sup> とした。昨年度報告したとおり、歩止りおよび強度性能的には 60tf/cm<sup>2</sup> and better 型が優れていたため、本年度の単板選別方式については、and better 型とし、下限値はスギ 60tf/cm<sup>2</sup>、ヒノキ 90tf/cm<sup>2</sup>、カラマツ 120tf/cm<sup>2</sup> とした。ただし、直交層単板の寄与の程度を検討するため、全層選別対象とした。

表 3.1 既存木質材料の構成要素の等級区分タイプ

タイプ類型	区分指標	区分水準	担保される製品性能
CLT 型	ヤング係数	30tf/cm <sup>2</sup> 刻み	製品ヤング係数は表示値より低い
集成材型	ヤング係数	10tf/cm <sup>2</sup> 刻み	製品ヤング係数平均値が表示値
LVL 型	なし	なし	製品ヤング係数のみ規定

### 3.3 使用樹種について

CLT や集成材においては、使用する樹種により樹種群を設定しており、製造基準による場合、樹種群毎に製造可能な強度等級が定められている。このため、製造基準に従うと、スギを用いる場合は下位等級の製品しか製造できない。これは、樹種特性として強度等級上定めていないせん断性能等が異なることを考慮した措置であるが、異樹種さらには複合樹種を使用する可能性が高い超厚合板においては、原料樹種の自由度はある程度確保されることが望ましい。

本事業では樹種特性の把握のため、異樹種を複合した超厚合板は製造せず、単一樹種構成の超厚合板を試作することとした。使用樹種は我が国の主要樹種であるスギ、ヒノキ、カラマツとし、一昨年度、試作試験までを実施した。昨年度の試作試験にはスギを用いたが、本年度は直交層単板も選別対象としたため、再度スギ、ヒノキ、カラマツの 3 樹種を使用することとした。

### 3.4 接着剤について

CLT や集成材等の製品厚さが厚い木質材料の場合、熱板プレスを用いる圧縮方法では、材料の厚さ方向中心部付近の接着層まで短時間で伝熱することが難しいことから、一般に常温硬化型の接着剤を用いる。OSB やパーティクルボード、繊維板等の圧縮時にエレメントの圧縮変形を要する木質材料の場合、熱によるエレメントの軟化を生じさせるため、熱硬化性接着剤を使用する。高周波やスチームインジェクションを用いるプレス工程においては、被圧縮物の中心まで迅速に伝熱可能なため、熱硬化型接着剤が使用可能である。合板においても、一般に熱硬化型接着剤が使用されることから、製造者は熱硬化型接着剤の

利用に関する高い知見を有する。また、超厚合板の用途から高い耐水性能および使用環境条件が求められると予測されるため、フェノール樹脂接着剤を推奨することとした。昨年度は、試作を広く行うため、超厚製品を始めて試作するメーカーにも依頼したため、使用可能な接着剤を選択することを優先した試験体仕様も存在したが、本年度は再度フェノール樹脂接着剤を用いることとした。

### 3.5 積層接着方法について

超厚合板はその用途から、大きな面を持つ版として利用できることが望ましい。一方、国内の道路交通事情より、輸送にあたっては最大 8m 程度の大きさが限度であると考えられる。したがって実際の製品寸法は長さ 6m 程度が現実的であるが、本課題ではその 1/2 スケールとして 3m(10 尺)を長手寸法とし、短手寸法については一般の建築モジュールである 910mm(3 尺)とすることとした。

なお、上記寸法の一般厚さの合板についても全てのメーカーで製造できるわけではなく、さらに超厚合板の場合、製造可能なメーカーは限られてしまう。したがって、実際の製品の製造方法としては、一般的な寸法の厚物合板を 2 次接着する方法も想定される。しかし、例えば 910mm×1,820mm(3×6 板)の厚物合板を用いて 3×10 板の超厚合板を製造する場合、構成要素である厚物合板のたて継ぎ、幅はぎが必要となり、検討要素が複雑となる。そこで本課題では、単板を所定厚さまで一度に積層するワンショット型の試験体に加え、910mm×3,030mm(3×10 板)の厚物合板を 2 次接着することで超厚化する 2 次接着型の製造方法についても検討することとした。さらに、厚さすなわち積層数と構成比率の影響を検討するため、910mm×1,820mm(3×6 板)のワンショットおよび 2 次接着製品も試作した。厚さは 48、72、96mm(2 次接着の場合それぞれ厚さ 24mm の厚物合板の 2、3、4 枚の練り合わせ)、構成比率は、LVL 型(全層平行方向)、B 種 LVL 型(構成比率 70%以上)、合板型(通常仕様)、合板型(構成比率 40%程度)とした。

### 3.6 試作試験について

超厚合板の試作に先立ち、日合連傘下の各地区組合に属する全メーカーに試作仕様の妥当性についてアンケートを行った。その結果を踏まえ、本事業で試作した超厚合板試験体の仕様は以下の通りである。

製造した超厚合板の厚さは、2 次接着型の製品を基準とし、24mm 厚の厚物合板 6 枚の 2 次接着を想定した 144mm のほか、上述の 96mm、72mm、48mm としている。各樹種に対する単板の選別基準が、集成材にならった 10tf/cm<sup>2</sup> 幅のものと CLT にならった 30tf/cm<sup>2</sup> 幅のもの 2 水準の場合、たとえば、スギの場合、60tf/cm<sup>2</sup> 以上 69tf/cm<sup>2</sup> 幅で選別すると、単板のヤング係数平均値は 67tf/cm<sup>2</sup> 幅、標準偏差 2.4tf/cm<sup>2</sup>、60tf/cm<sup>2</sup> 以上 89tf/cm<sup>2</sup> 幅で選別すると、単板のヤング係数平均値は 81tf/cm<sup>2</sup> 幅、標準偏差 5.6tf/cm<sup>2</sup> であり、設定水準に対する選別の一致性は良好であった。本年度はスギ 60tf/cm<sup>2</sup> 以上、ヒノキ 90tf/cm<sup>2</sup> 以上、カラマツ 120tf/cm<sup>2</sup> 以上とした。また単板の選別は全層(両方向)を対象とした。厚さ 144mm においては、ワンショット型の場合、全単板が直交積層されるため、積層数は奇数となるが、2 次接着型の場合、7 層の 24mm 厚合板 6 枚の 2 次接着となり、2 次接着層を挟む単板は平行層となるため、積層数は 42 枚、層数としては 37 層 42ply に相当する。

厚さ 60mm においては、2 次接着型の場合、9ply および 11ply の厚物合板 2 枚の 2 次接着となった。ワンショット型の場合、2 次接着の場合に準じた単板構成とした。

寸法仕様については、表層単板の繊維方向が長手方向の正寸(通常の製品と同じ)、表層単板の繊維方向が短手方向の逆寸(通常の製品と逆)の両者を試作した。逆寸合板の必要性は以下の通りである。合板の基本的性能である曲げ性能に関して、基準強度の対象となるためには、強軸(表層単板の繊維方向)だけでなく弱軸(表層単板の繊維直交方向)の性能も把握する必要がある。一般的な実大材の曲げ試験方法として曲げスパンを厚さの 18 倍とする方法が採られるが、例えば、厚さ 144mm の場合、曲げスパンは 2592mm となる。これが製品寸法 910mm×3,030mm(3×10 板)の根拠であるが、弱軸の試験を行うためには、弱軸方向の長さが最低 2592mm 必要となる。厚さ 60mm の場合、曲げスパンは 1080mm となり、910mm×1,820mm(3×6 板)で強軸方向の試験が実施できるが、やはり弱軸については正寸の試験体の場合、試験できない。これらのことから、厚さ 144mm および 96mm の場合、製品寸法は 910mm×3,030mm(3×10 板)とし、厚さ 72mm、60mm、48mm の場合、製品寸法は 910mm×1,820mm(3×6 板)とした。さらに、弱軸方向の曲げ性能を把握するため、厚さ 60mm の製品についても逆寸の試作を行った。

さらに、構成比率について、LVL 型(全層平行方向)、B 種 LVL 型(構成比率 70%以上)、合板型(通常仕様)、合板型(構成比率 40%程度)の 4 水準とし、各種性能に与える構成比率の影響について検討した。

表 3.2 本年度の供試超厚合板の試作仕様

樹種	単板選別	選別対象	厚さ (mm)	構成比率 (%)	寸法 (mm)
スギ	60tf/cm <sup>2</sup> 以上	全層	144	通常仕様	910×3,030
			96		
			72		
			60		
			48		
ヒノキ	90tf/cm <sup>2</sup> 以上		60	LVL 型(全層平行)	910×1,820
				B 種 LVL 型(70%以上)	
				合板型(通常仕様)	
				合板型(40%程度)	
				LVL 型(全層平行)	
		B 種 LVL 型(70%以上)			
		合板型(通常仕様)			
		合板型(40%程度)			
カラマツ	120tf/cm <sup>2</sup> 以上	60	LVL 型(全層平行)	910×1,820	
			B 種 LVL 型(70%以上)		
			合板型(通常仕様)		
			合板型(40%程度)		

#### 4. 曲げ性能（その1）

##### 4.1 目的

単板の平行層と直交層の割合、単板の積層数に伴う試験体の厚さが超厚合板の曲げ強度と曲げヤング係数に及ぼす影響を調べるために、4点曲げ試験を実施した。

##### 4.2 試験体

スギ単板をワンショット型で成型した超厚合板を用いて面外曲げ試験を実施した。使用したスギ単板は、製造前の曲げヤング係数の等級区分により、平行層と直交層がともに  $60\text{tf/cm}^2$  以上のものを用いた。試験体の仕様は、試験体の全断面積に対する平行層単板のみの面積の割合である平行層率と、単板の積層数に伴う試験体厚さの2つをパラメータとした試験体を用いた。

平行層率をパラメータとした仕様は、試験体の厚さを  $60\text{mm}$  に統一し、平行層と直交層の単板の厚さや積層数を変えることで4仕様の試験体を作成した。すなわち、LVL型の平行層率  $100\%$  を想定した S60-100、B種 LVL型の平行層率  $70\%$  を想定した S60-70、合板型の平行層率  $50\%$  を想定した S60-50 と平行層率  $40\%$  を想定した S60-40 の4仕様である。

厚さをパラメータとした仕様は、平行層率を  $50\%$  に統一し、単板の積層数を変えることで4仕様の試験体を作成した。すなわち、積層数15層で厚さが  $48\text{mm}$  の S48-50、積層数19層で厚さが  $60\text{mm}$  の S60-50、積層数23層で厚さが  $72\text{mm}$  の S72-50、積層数29層で厚さが  $96\text{mm}$  の S96-60 の4仕様である。なお S60-50 は、平行層率をパラメータとした仕様と同一のものである。

試験体は、幅  $910\text{mm}$ 、長さ  $1820\text{mm}$  の大きさを製造した各仕様3枚の原板の超厚合板から幅を  $100\text{mm}$ 、長さを試験条件に合わせて切り出したものを用いた。試験体数は、S96-50が12体、その他の仕様は各10体とした。

各仕様の試験体の製造条件と実測した密度、全乾法による含水率を表4-1、4-2に示し、各仕様の単板の構成条件を図4-1に示す。

表 4-1 平行層率をパラメータとした使用の試験体

試験体仕様	樹種	平行層率		単板選別基準 全層	積層数 (層)	全体厚さ (mm)	密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	含水率 (%)
		製造仕様	平行層面積率					
S60-100	スギ	LVL型(平行層100%)	100.0%	$60\text{tf/cm}^2$ 以上	19	61.0	407	8.88
S60-70		B種LVL型(平行層70%)	73.7%		19	60.6	409	7.64
S60-50		合板型(平行層50%)通常仕様	51.1%		19	60.3	428	7.71
S60-40		合板型(平行層40%)	36.7%		21	60.6	416	8.03

表 4-2 厚さをパラメータとした仕様の試験体

試験体仕様	樹種	平行層率		単板選別基準 全層	積層数 (層)	全体厚さ (mm)	密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	含水率 (%)
		製造仕様	平行層面積率					
S48-50	スギ	合板型(平行層50%)通常仕様	51.8%	$60\text{tf/cm}^2$ 以上	15	47.3	421	7.60
S60-50		合板型(平行層50%)通常仕様	51.1%		19	71.9	428	7.71
S72-50		合板型(平行層50%)通常仕様	51.8%		23	60.3	407	7.90
S96-50		合板型(平行層50%)通常仕様	50.2%		29	97.6	414	7.36

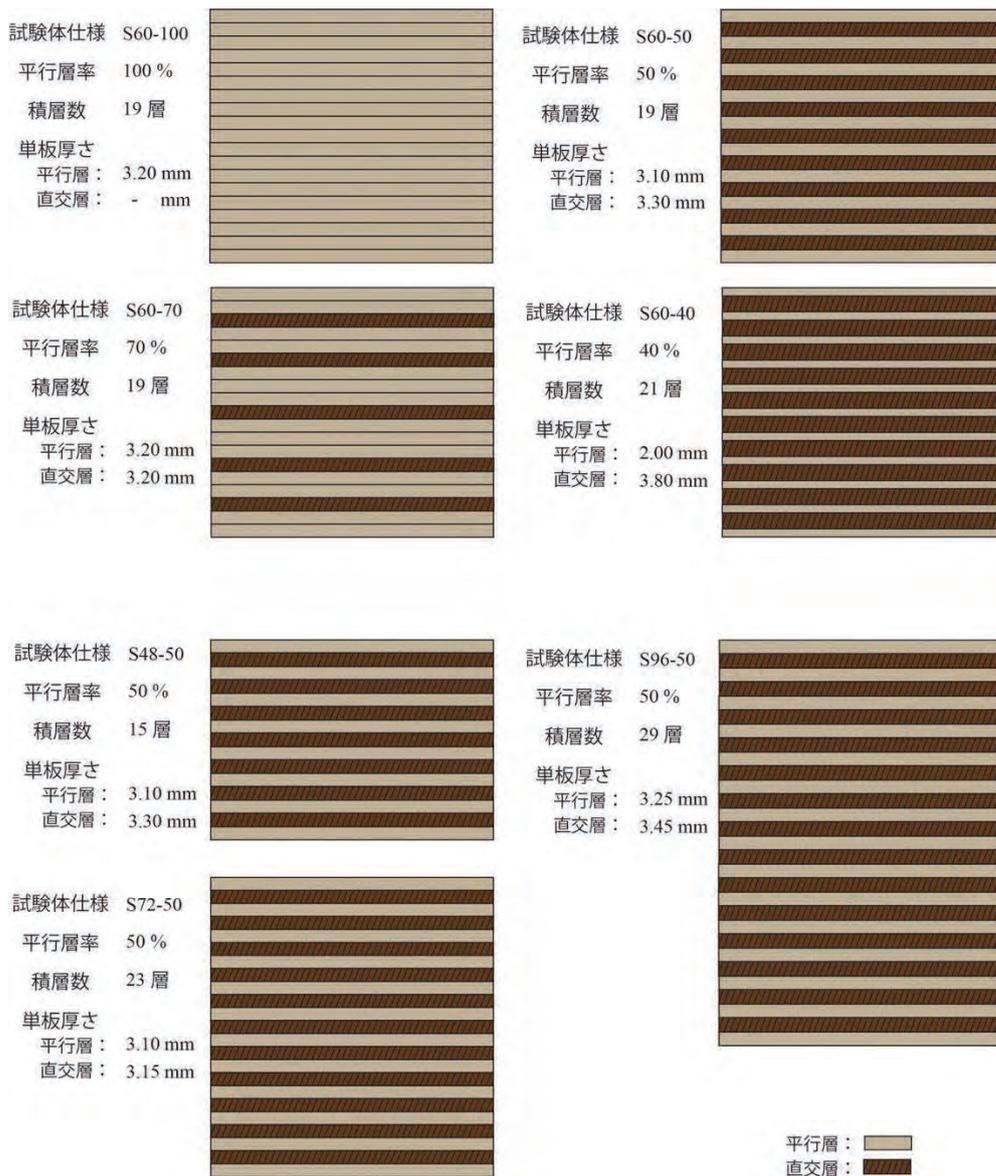


図 4-1 単板の厚さと積層条件

### 4.3 試験方法

試験は、(公財)日本住宅・木材技術センターの構造用木材の強度試験マニュアルに準拠して実施した。試験スパンは、図 4-2 に示す試験体厚さ  $t$ 、支点と加力点の距離  $a$  と加力点間距離  $S$  に対して、 $a = S = 6t$  の標準条件の 3 等分点 4 点荷重方式曲げ試験を実施した。支点より外側の余長  $l$  は、全ての仕様で 100 mm とした。支点と加力点には、めり込み抑制のための長さ 45mm の広葉樹板を設置した。

試験の加力は、前川試験機製作所の万能試験機(容量 100kN) を用い、試験開始から破壊に至るまでの時間が 240 秒前後となるように加力速度を調整し鉛直下方に単調荷重を行なった。試験中の荷重と、試験体中央および加力点のたわみ、支点のめり込みを測定し、曲げ強度、真の曲げヤング係数、見かけの曲げヤング係数を次式(1)～(3)より算出した。試験終了後、破壊性状の記録を行い、加力点付近から切り出した試験片を採取し全乾法により含水率を求めた。

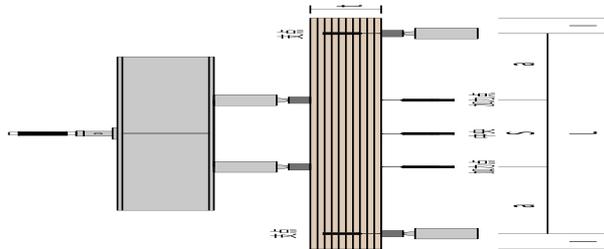


図 4-2 4点曲げ試験の概要



図 4-3 試験の様子

曲げ強度

$$f_m = \frac{aP_{max}}{2Z} \quad - (1)$$

見かけの曲げヤング係数

$$E_m = \frac{a(3L^3 - 4a^2)(P_{0.4} - P_{0.1})}{48I(w_{0.4} - w_{0.1})} \quad - (2)$$

真の曲げヤング係数

$$E_b = \frac{aS^2(P_{0.4} - P_{0.1})}{16I(w_{0.4} - w_{0.1})} \quad - (3)$$

$f_m$  : 曲げ強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$a$  : 支点から加力点までの距離 (mm)

$P_{max}$  : 最大荷重 (N)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>) 実測した試験体の幅  $b$ 、高さ  $h$  を用いて  $bt^2/6$  とする。

$E_m$  : 見かけの曲げヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)

$L$  : 支点間の距離 (mm)

$I$  : 断面 2 次モーメント (mm<sup>4</sup>) 実測した試験体の幅  $b$ 、高さ  $h$  を用いて  $bt^3/12$  とする。

$P_{0.4} - P_{0.1}$  : 荷重変位曲線の直線部分の荷重の増分。最大荷重の 0.4 倍と 0.1 倍の荷重の増分 (kN)

$w_{0.4} - w_{0.1}$  : 荷重の増分に対応する試験体中央の変位の増分 (mm)

$E_b$  : 真の曲げヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)

$S$  : 加力点間の距離 (mm)

## 4.4 試験結果

### 4.4.1 破壊性状の結果

平行層率をパラメータとする仕様と、試験体の厚さをパラメータとする仕様の破壊性状の結果を示す。試験で見られた主な破壊性状は曲げ破壊であり、一部仕様でせん断破壊が見られた。

曲げ破壊は、引張側の表層単板の破壊を起点とした破壊であった。表層単板の破壊後、図 4-4 のように破壊面が鉛直方向や斜め方向に一筋になる破壊性状と、図 4-5 のように破壊起点から水平方向に枝分かれする破壊性状が見られた。これらの破壊は、表層単板が破壊に至った後、連続して一瞬のうちに生じたため、破壊性状の違いによる最大荷重への影響、曲げ強度の影響は見られなかった。図 4-6 のように表層単板の破壊の起点は、繊維の目切れや節などの欠点が存在する部分で多く起こる傾向にあった。

せん断破壊は、S60-70 で 5/10 体、S72-50 仕様で 1/10 体見られ、その他の仕様では全ての試験体で曲げ破壊を示した。S60-70 のせん断破壊した仕様のうち 3 体の試験体は、図 4-7 のように表層から 3 層目と 4 層目の間で、接着層が剥離するような破壊が見られた。破壊した接着面に破壊面に木部破断が少ないことから、せん断破壊は接着不良による破壊だと考えられる。S60-70 のその他のせん断破壊した試験体と、S72-50 のせん断破壊した試験体の破壊は、図 4-8 のように試験体の中立軸付近の直交層の繊維が回転するようなローリングシア破壊を起こした。これらローリングシア破壊を起こした仕様は、せん断強度が小さく、荷重が曲げ強度よりも先にせん断強度を超える値に達したためと考えられる。今回の仕様で、特に S60-70 でせん断破壊が多かった理由は、S60-70 の単板構成は表層の 1 層目に加え 2 層目も平行層の構成であることから、表層の強度が大きいことに加えて直交層を含むためことでせん断強度は低いことが原因していると考えられる。

また、図 4-9 のように S72-50 では圧縮側の表層単板が剥離し座屈するような破壊性状が見られた。しかし、これは最大荷重に達する前に荷重の低下が見られない程度の破壊であった。各試験体の破壊性状の分類は、表 4-3～表 4-9 に示す。



図 4-4 曲げ破壊の性状

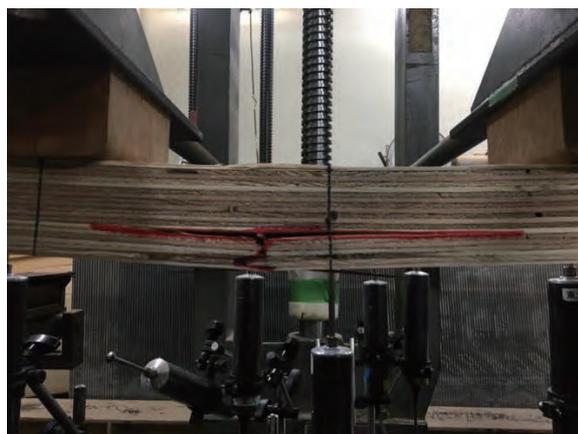


図 4-5 曲げ破壊の性状

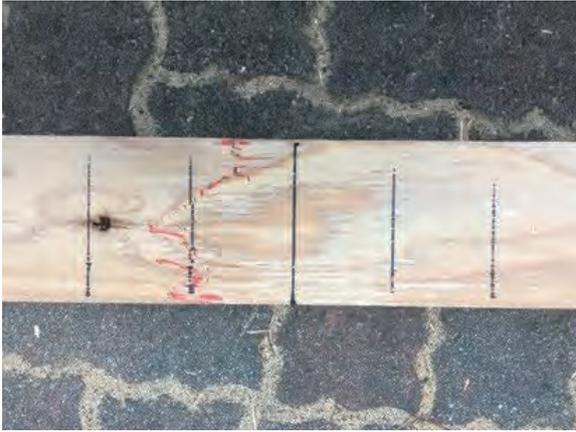


図 4-6 表層単板の破壊性状



図 4-7 接着層が破壊したせん断破壊の性状

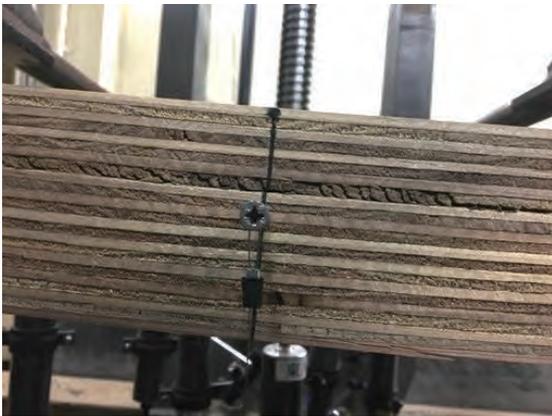


図 4-7 直交層が破壊したせん断破壊の性状



図 4-8 圧縮破壊の性状

表 4-3 S60-100 仕様の曲げ強度、曲げヤング係数、破壊性状

試験体番号	曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	真の曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	見かけの曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
S60-100-1-1	47.48	14.00	11.73	曲げ
S60-100-1-2	47.01	12.78	11.40	曲げ
S60-100-1-3	30.12	8.59	7.85	曲げ
S60-100-1-4	31.05	9.46	8.31	曲げ
S60-100-2-1	42.77	13.65	12.48	曲げ
S60-100-2-2	51.65	14.31	12.47	曲げ
S60-100-2-3	34.15	9.30	8.78	曲げ
S60-100-2-4	-	-	-	-
S60-100-3-1	67.79	14.60	13.68	曲げ
S60-100-3-2	73.21	10.51	13.88	曲げ
S60-100-3-3	51.79	15.57	9.44	曲げ
S60-100-3-4	-	-	-	-
ave	47.70	12.28	11.00	
標準偏差	13.72	2.43	2.12	

表 4-4 S60-70 仕様の曲げ強度、曲げヤング係数、破壊性状

試験体番号	曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	真の曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	見かけの曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
S60-70-1-1	25.35	7.89	6.67	せん断
S60-70-1-2	27.52	9.32	8.43	せん断
S60-70-1-3	24.52	7.30	5.61	曲げ
S60-70-1-4	19.82	6.75	5.70	曲げ
S60-70-2-1	36.92	10.93	8.73	せん断
S60-70-2-2	-	-	-	-
S60-70-2-3	39.50	11.38	9.01	せん断
S60-70-2-4	32.12	7.83	6.34	せん断
S60-70-3-1	36.92	12.04	9.36	曲げ
S60-70-3-2	40.06	11.75	9.01	曲げ
S60-70-3-3	33.57	8.37	6.24	曲げ
S60-70-3-4	-	-	-	-
ave	31.63	9.36	7.51	
標準偏差	6.63	1.90	1.44	

表 4-5 S60-50 仕様の曲げ強度、曲げヤング係数、破壊性状

試験体番号	曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	真の曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	見かけの曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
S60-50-1-1	24.52	5.10	4.05	曲げ
S60-50-1-2	30.12	7.30	5.86	曲げ
S60-50-1-3	23.04	5.20	4.09	曲げ
S60-50-1-4	21.89	5.28	3.98	曲げ
S60-50-2-1	28.99	7.73	6.64	曲げ
S60-50-2-2	28.21	8.73	6.65	曲げ
S60-50-2-3	23.79	6.29	4.31	曲げ
S60-50-2-4	-	-	-	-
S60-50-3-1	22.80	7.90	6.22	曲げ
S60-50-3-2	21.72	5.38	4.35	曲げ
S60-50-3-3	21.96	7.15	4.82	曲げ
S60-50-3-4	-	-	-	-
ave	24.70	6.61	5.10	
標準偏差	3.03	1.26	1.06	

表 4-6 S60-40 仕様の曲げ強度、曲げヤング係数、破壊性状

試験体番号	曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	真の曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	見かけの曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
S60-40-1-1	25.28	7.84	5.61	曲げ
S60-40-1-2	22.93	4.68	3.73	曲げ
S60-40-1-3	20.79	5.03	3.42	曲げ
S60-40-1-4	21.49	4.74	3.40	曲げ
S60-40-2-1	23.93	4.14	3.23	曲げ
S60-40-2-2	23.61	5.93	4.69	曲げ
S60-40-2-3	19.81	4.52	3.48	曲げ
S60-40-2-4	-	-	-	-
S60-40-3-1	22.51	6.61	5.01	曲げ
S60-40-3-2	20.70	4.78	3.67	曲げ
S60-40-3-3	19.45	4.36	3.29	曲げ
S60-40-3-4	-	-	-	-
ave	22.05	5.26	3.95	
標準偏差	1.81	1.11	0.80	

表 4-7 S48-750 仕様の曲げ強度、曲げヤング係数、破壊性状

試験体番号	曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	真の曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	見かけの曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
S48-50-1-1	35.98	8.35	6.60	曲げ
S48-50-1-2	36.63	8.55	6.37	曲げ
S48-50-1-3	20.24	6.11	4.38	曲げ
S48-50-1-4	32.61	12.32	8.60	曲げ
S48-50-2-1	33.16	8.00	6.20	曲げ
S48-50-2-2	37.17	9.87	6.88	曲げ
S48-50-2-3	24.08	6.03	4.53	曲げ
S48-50-2-4	-	-	-	-
S48-50-3-1	39.29	9.19	7.05	曲げ
S48-50-3-2	38.68	9.29	6.73	曲げ
S48-50-3-3	20.38	6.65	4.92	曲げ
S48-50-3-4	-	-	-	-
ave	31.82	8.43	6.23	
標準偏差	7.07	1.82	1.23	

表 4-8 S72-50 仕様の曲げ強度、曲げヤング係数、破壊性状

試験体番号	曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	真の曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	見かけの曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
S72-50-1-1	31.58	6.99	5.45	曲げ
S72-50-1-2	26.58	7.40	5.54	曲げ
S72-50-1-3	20.58	6.43	4.36	曲げ
S72-50-1-4	24.21	5.69	4.20	曲げ
S72-50-2-1	35.05	8.73	6.31	曲げ
S72-50-2-2	32.33	8.90	6.25	せん断
S72-50-2-3	23.27	6.49	4.51	曲げ
S72-50-2-4	-	-	-	-
S72-50-3-1	25.83	8.34	5.87	曲げ
S72-50-3-2	25.49	7.79	5.58	曲げ(圧縮)
S72-50-3-3	21.81	6.40	4.39	曲げ(圧縮)
S72-50-3-4	-	-	-	-
ave	26.67	7.32	5.24	
標準偏差	4.55	1.04	0.77	

表 4-9 S96-50 仕様の曲げ強度、曲げヤング係数、破壊性状

試験体番号	曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	真の曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	見かけの曲げヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
S96-50-1-1	30.46	7.63	5.69	曲げ
S96-50-1-2	23.76	7.35	5.68	曲げ
S96-50-1-3	30.83	7.43	6.01	曲げ
S96-50-1-4	29.43	7.24	6.17	曲げ
S96-50-2-1	18.45	6.62	5.56	曲げ
S96-50-2-2	24.52	7.09	5.61	曲げ
S96-50-2-3	22.96	7.03	5.74	曲げ
S96-50-2-4	21.33	7.22	5.57	曲げ
S96-50-3-1	28.05	6.93	5.53	曲げ
S96-50-3-2	27.11	6.88	5.39	曲げ
S96-50-3-3	29.32	7.05	5.53	曲げ
S96-50-3-4	29.74	7.03	5.41	曲げ
ave	26.33	7.13	5.66	
標準偏差	3.86	0.26	0.22	

#### 4.4.2 曲げ強度と曲げヤング係数の結果

平行層率をパラメータとした仕様と試験体厚さをパラメータとした仕様の曲げ強度、真の曲げヤング係数、見かけの曲げヤング係数の結果を図 4-10～図 4-15 に示す。

平行層率をパラメータとした仕様の結果では、平行層率の減少に伴い、曲げ強度、真の曲げヤング係数、見かけの曲げヤング係数のいずれの値も低下する傾向が見られた。一方で、試験体の厚さをパラメータとした仕様の曲げ強度、真の曲げヤング係数、見かけの曲げヤング係数は、いずれも厚さによる影響が見られない結果となった。

平行層率の違いが曲げ強度、曲げヤング係数に及ぼす影響を調べるために、平行層率が 100%の S60-100 の実験値を 1 とした時の他の仕様の実験値を求め、この値と全断面積に対する有効断面 2 次モーメントの比率とを比較した。S60-100 は平行層のみで構成されているため、全断面に対する有効断面 2 次モーメントの比率(以下：断面 2 次モーメント比)が 1 になる。そのため、S60-100 を 1 とした各仕様の実験値は、平行層の影響を評価する値とみなすことができる。また、従来の構造用合板の曲げ強度、曲げヤング係数の推定で用いられる平行層理論では、平行層単板の曲げ強度、曲げヤング係数の値に、断面 2 次モーメント比をかけることで合板の強度、ヤング係数を推定できるとされている。そのため、平行層率の低下による曲げ強度や曲げヤング係数の低下が全断面 2 次モーメントに対する有効断面 2 次モーメントの比率で影響を受けていることがわかれば、超厚合板への平行層理論の適用可能性を検証することができると考えた。

図 4-16～図 4-18 に、平行層率をパラメータとした S60-100 に対する曲げ強度、曲げヤング係数の比と断面 2 次モーメント比の比較の結果を示す。曲げ強度について、曲げ強度比と断面 2 次モーメント比は S60-50、S60-40 で差が 5%以下の小さい結果となった。S60-70 は、せん断破壊をした試験体の結果も合わせて集計しているため、実際の曲げ強度の値はやや大きくなり、断面 2 次モーメント比の値に近づくと考えられる。以上から、平行層率は断面 2 次モーメント比の割合で曲げ強度に影響を及ぼしていると言え、平行層理論の適用可能性が示唆された。曲げヤング係数について、真の曲げヤング係数は S60-100 に対する曲げヤング係数比と断面 2 次モーメント比がよく一致していることが図 4-17 から分かる結果となった。

一方で、見かけの曲げヤング係数は、平行層が少ない仕様で断面 2 次モーメントよりも曲げヤング係数比の値が 10%程度小さい傾向が見られた。見かけの曲げヤング係数の算出では、せん断変形によるたわみと曲げ変形にたわみを合わせたたわみを見かけの曲げたわみとして扱うため、せん断変形が大きい場合に見かけの曲げヤング係数は小さく算出される。面外曲げ荷重に対する超厚合板のせん断変形は、直交層が LT 面に変形するせん断の影響を強く受けると考えられ、平行層率が小さく直交層を多く含む仕様が、せん断の影響が大きくなったためと考察できる。以上から、平行層率は真の曲げヤング係数に対して断面 2 次モーメント比に従って影響を及ぼしていると言え、平行層理論による推定は、真の曲げヤング係数をよく推定できる可能性が示唆された。

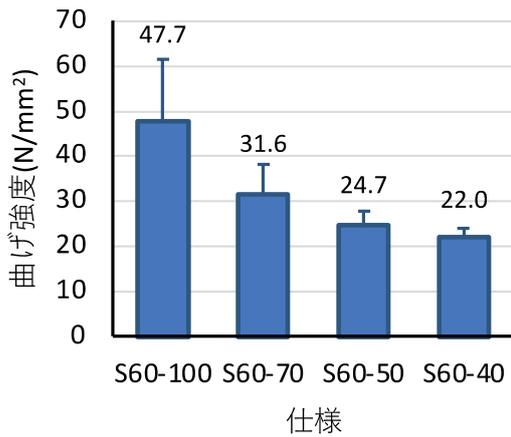


図 4-10 平行層率が異なる仕様の曲げ強度 (エラーバーは標準偏差)

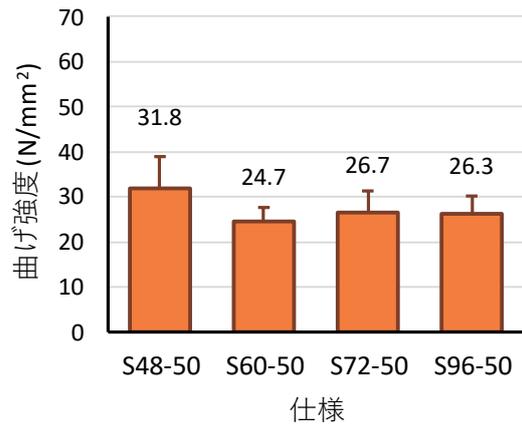


図 4-11 厚さが異なる仕様の曲げ強度 (エラーバーは標準偏差)

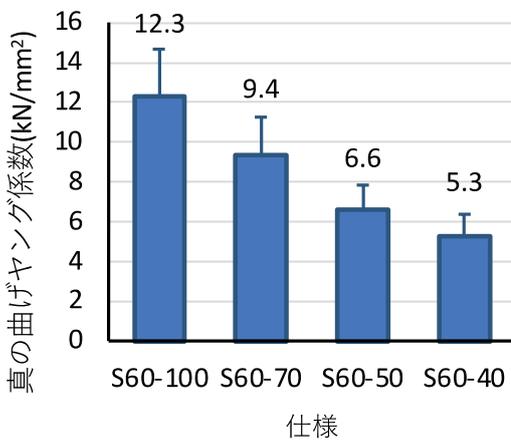


図 4-12 平行層率が異なる仕様の真の曲げヤング係数 (エラーバーは標準偏差)

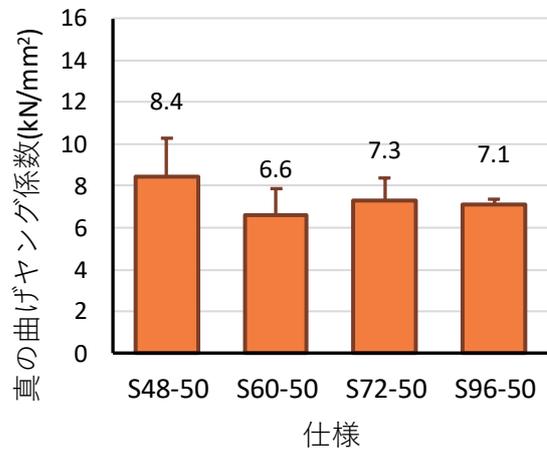


図 4-13 厚さが異なる仕様の真の曲げヤング係数 (エラーバーは標準偏差)

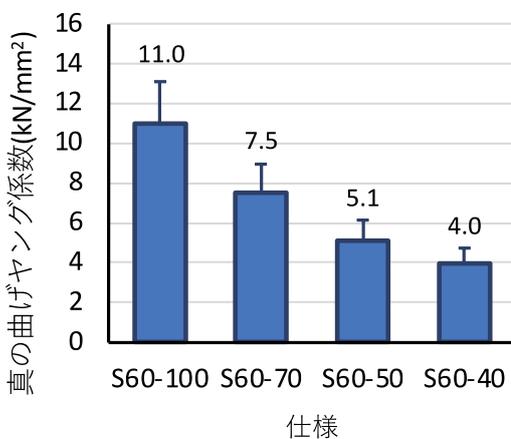


図 4-14 平行層率が異なる仕様の見かけの曲げヤング係数 (エラーバーは標準偏差)

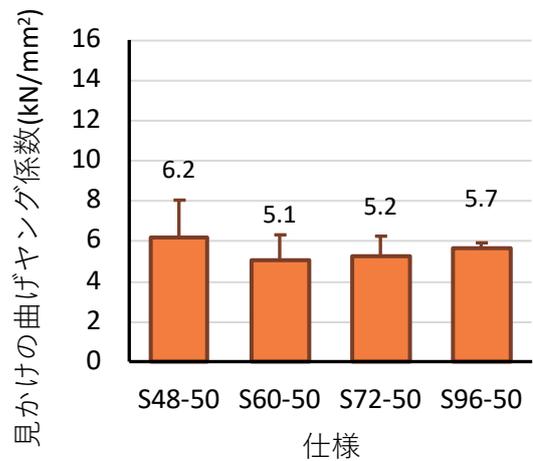


図 4-15 厚さが異なる仕様の見かけの曲げヤング係数 (エラーバーは標準偏差)

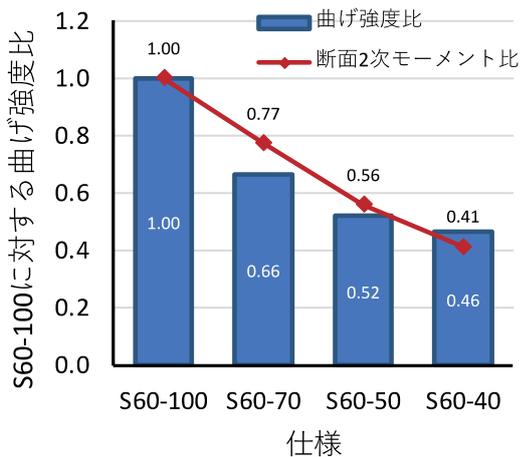


図 4-16 S60-100 基準の曲げ強度

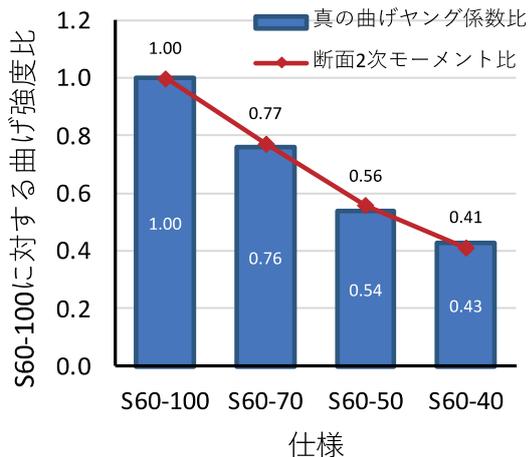


図 4-17 S60-100 基準の真の曲げヤング係数

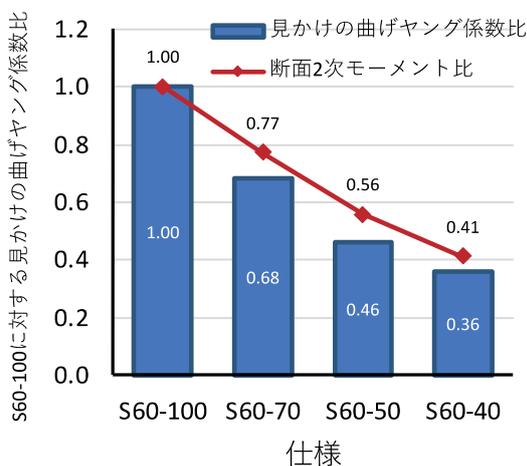


図 4-18 S60-100 基準の見かけの曲げヤング係数

#### 4.5 まとめ

全断面積に対する平行層のみの面積である平行層率と、試験体の厚さをそれぞれパラメータとした超厚合板の試験体の曲げ試験を実施し、以下の知見が得られた。

- ・木材の強度試験マニュアルの標準条件により、曲げ破壊を先行した試験が概ね可能であったが、B種 LVL 型の仕様では接着不良と思われるせん断破壊が生じた。
- ・平行層率が小さくなるにつれ、全断面 2 次モーメントに対する有効断面 2 次モーメントの比に応じて曲げ強度、真の曲げヤング係数は低下する。
- ・平行層率を変化させたとき、平行層理論は曲げ強度と真の曲げヤング係数を推定できることが示唆された。
- ・見かけの曲げヤング係数は、平行層率の低下で直交層が増えるに従い、せん断の影響を強く受け、断面 2 次モーメント比以上に低下する。
- ・試験体の厚さが曲げ強度、曲げヤング係数に及ぼす影響は確認されなかった。

## 5. 曲げ性能 (その 2)

### 5.1 試験体

3×10 板、厚さ 65mm、曲げヤング係数で全層選別(6-1, 6-1' : 60~69tf/cm<sup>2</sup>、6-2, 6-2' : 60~89tf/cm<sup>2</sup>)した原板各 5 枚からそれぞれ 3 体採取したものを試験に供した。ここで 6-1, 6-2 は強軸方向、6-1'、6-2' は弱軸方向の試験体を示している。

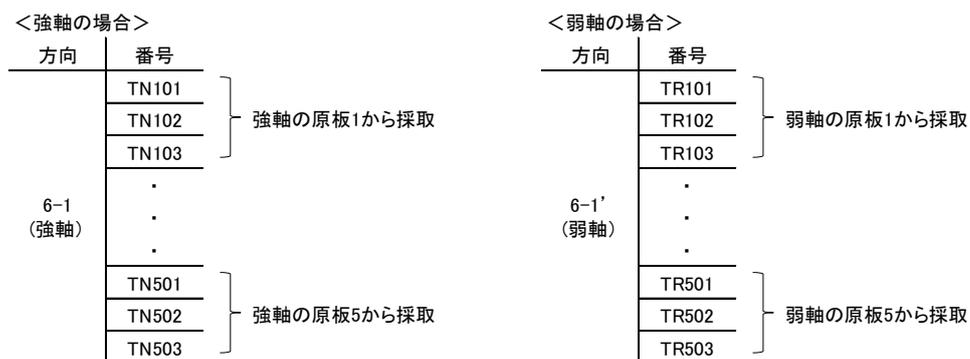


図 5-1 試験体名称のつけ方

### 5.2 試験方法

加力は最大荷重に達するまでの時間が 5 分±2 分となるように加力速度 10mm/min で行った。クロスヘッドのロードセルで荷重を変位計(東京測器研究所、CDP-50)により変位を測定し、データロガーを用いて記録した。加力は支点間距離 1365mm の 3 等分点 4 点加力とした。

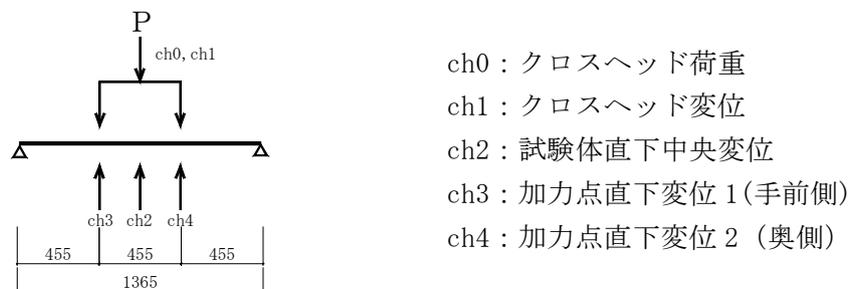


図 5-2 測定位置



(a) 変位計設置



(b) 加力状況

写真 5-1 試験概況

### 5.3 試験結果

#### 5.3.1 寸法重量測定結果

表 5-1 寸法重量測定結果 (調湿なし)

試験体名称	長さ			幅			厚さ			重さ			密度		
	L	B1	B2	B-avg	t1	t2	t-avg	w	$\rho$	$\rho_{ave}$	$\rho_{SD}$				
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	g	g/cm <sup>3</sup>	MPa	MPa				
6-1 (強軸)	TN101	1496	100.74	100.66	100.70	62.40	61.60	62.00	3549.5	0.380	0.385	0.007			
	TN102		100.68	100.54	100.61	61.31	61.42	61.37	3533.1	0.383					
	TN103		100.65	100.78	100.72	61.40	60.97	61.19	3568.1	0.387					
	TN201		100.90	100.68	100.79	62.86	63.09	62.98	3755.5	0.396					
	TN202		100.72	100.60	100.66	63.26	63.71	63.49	3745.8	0.392					
	TN203		100.56	100.72	100.64	63.24	63.44	63.34	3804.4	0.399					
	TN301		100.62	100.74	100.68	62.92	62.86	62.89	3629.6	0.383					
	TN302		100.48	100.54	100.51	62.46	62.86	62.66	3598.4	0.382					
	TN303		100.32	100.34	100.33	61.79	62.06	61.93	3601.1	0.387					
	TN401		100.67	101.02	100.85	61.20	61.81	61.51	3469.2	0.374					
	TN402		100.44	100.55	100.50	61.48	61.55	61.52	3469.8	0.375					
	TN403		99.56	100.29	99.93	61.31	61.64	61.48	3494.3	0.380					
	TN501		100.77	100.51	100.64	62.43	63.33	62.88	3670.6	0.388					
	TN502		100.48	100.02	100.25	62.33	62.55	62.44	3605.7	0.385					
	TN503		100.27	100.53	100.40	61.48	62.25	61.87	3575.6	0.385					
6-1' (弱軸)	TR101	1497	100.99	100.81	100.90	63.73	62.91	63.32	3690.7	0.386	0.383	0.013			
	TR102		100.41	100.35	100.38	62.16	62.70	62.43	3664.4	0.391					
	TR103		100.29	100.33	100.31	62.57	62.94	62.76	3716.4	0.394					
	TR201		100.77	100.66	100.72	61.80	62.48	62.14	3634.7	0.388					
	TR202		100.51	100.44	100.48	62.41	61.42	61.92	3630.8	0.390					
	TR203		100.28	100.34	100.31	63.96	61.37	62.67	3678.4	0.391					
	TR301		100.70	100.81	100.76	62.40	62.40	62.40	3639.5	0.387					
	TR302		100.07	100.48	100.28	62.08	61.61	61.85	3622.6	0.390					
	TR303		100.69	100.32	100.51	62.54	62.20	62.37	3675.4	0.392					
	TR401		100.62	100.91	100.77	62.17	61.65	61.91	3602.4	0.386					
	TR402		100.45	100.65	100.55	62.37	62.58	62.48	3655.3	0.389					
	TR403		100.26	99.93	100.10	62.14	62.82	62.48	3630	0.388					
	TR501		100.52	100.51	100.52	62.17	62.73	62.45	3399.2	0.362					
	TR502		100.25	100.41	100.33	61.82	62.91	62.37	3349.7	0.358					
	TR503		100.11	100.28	100.20	62.20	62.54	62.37	3347	0.358					
6-2 (強軸)	TN101	1497	100.74	100.86	100.80	61.96	62.70	62.33	3859.8	0.410	0.408	0.005			
	TN102		100.19	100.08	100.14	62.03	62.51	62.27	3886.9	0.416					
	TN103		100.46	100.17	100.32	62.27	62.44	62.36	3862.8	0.413					
	TN201		100.12	99.76	99.94	63.08	63.10	63.09	3809.4	0.404					
	TN202		100.28	100.35	100.32	63.54	63.36	63.45	3862.4	0.405					
	TN203		100.76	100.72	100.74	63.90	63.18	63.54	3871.1	0.404					
	TN301		100.19	100.12	100.16	64.74	63.69	64.22	3969.5	0.412					
	TN302		100.38	100.49	100.44	64.25	63.84	64.05	3953.8	0.411					
	TN303		100.81	100.64	100.73	63.74	63.82	63.78	3906.4	0.406					
	TN401		100.26	100.21	100.24	62.28	62.72	62.50	3875.1	0.413					
	TN402		100.40	100.49	100.45	63.09	63.27	63.18	3841.6	0.404					
	TN403		100.75	100.66	100.71	63.42	62.63	63.03	3859.4	0.406					
	TN501		100.11	100.19	100.15	63.33	63.09	63.21	3797.1	0.401					
	TN502		100.37	100.40	100.39	63.23	62.76	63.00	3804.2	0.402					
	TN503		100.64	100.53	100.59	62.95	62.41	62.68	3827.9	0.406					
6-2' (弱軸)	TR101	1496	100.81	100.66	100.74	63.38	63.01	63.20	3730.7	0.392	0.397	0.010			
	TR102		100.67	100.49	100.58	65.30	63.02	64.16	3719.4	0.385					
	TR103		100.60	100.70	100.65	64.16	62.92	63.54	3752.8	0.392					
	TR201		100.72	100.54	100.63	62.59	63.40	63.00	3782.6	0.399					
	TR202		100.85	100.56	100.71	62.22	63.36	62.79	3734.1	0.395					
	TR203		100.63	100.61	100.62	62.16	62.47	62.32	3682.2	0.393					
	TR301		101.29	100.55	100.92	62.86	62.93	62.90	3922.9	0.413					
	TR302		99.93	100.27	100.10	62.49	62.61	62.55	3906.2	0.417					
	TR303		100.62	100.75	100.69	62.38	63.39	62.89	3859.7	0.407					
	TR401		100.76	100.67	100.72	63.87	63.48	63.68	3659.8	0.381					
	TR402		100.47	100.49	100.48	62.75	63.47	63.11	3713.9	0.391					
	TR403		99.73	99.95	99.84	63.19	62.94	63.07	3708.9	0.394					
	TR501		100.69	100.54	100.62	64.25	62.24	63.25	3784.2	0.398					
	TR502		100.91	100.57	100.74	63.11	61.99	62.55	3704.5	0.393					
	TR503		100.47	100.41	100.44	62.80	61.87	62.34	3729	0.398					

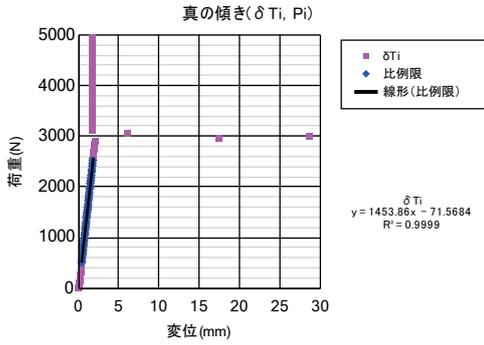
5.3.2 曲げ試験結果

表 5-2 MORMOE 結果

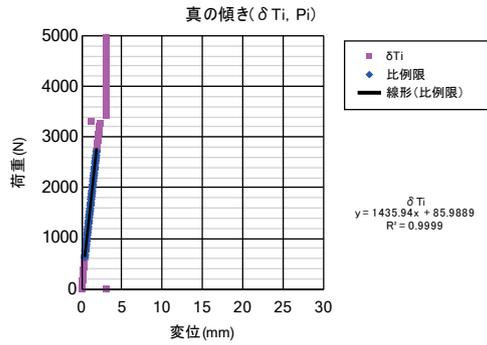
試験体名称	Pmax	真		見かけ		MOR実断面値				真				見かけ			
		$\Delta P / \Delta \delta$		$\Delta P / \Delta \delta$		MOR	Ave	SD	95%下側許容限界	MOE	Ave	SD	95%下側許容限界	MOE	Ave	SD	95%下側許容限界
		kN	N/mm	N/mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
6-1 (強軸)	TN101	4.984	1453.857	169.327	17.574	20.218	2.005	16.227	4.280	4.312	0.208	3.897	3.821	3.926	0.167	3.592	4.280
	TN102	6.240	1435.937	175.143	22.482				4.363				4.080				
	TN103	5.336	1519.090	185.255	19.319				4.652				4.350				
	TN201	5.869	1393.676	176.121	20.041				3.911				3.790				
	TN202	6.100	1605.925	188.169	20.524				4.405				3.957				
	TN203	6.828	1682.926	197.685	23.082				4.649				4.187				
	TN301	6.466	1540.128	178.083	22.166				4.345				3.852				
	TN302	6.149	1468.168	178.367	21.268				4.195				3.907				
	TN303	4.990	1532.046	169.091	17.704				4.543				3.844				
	TN401	5.105	1419.732	164.665	18.266				4.275				3.801				
	TN402	4.565	1366.439	163.019	16.386				4.127				3.774				
	TN403	5.500	1321.374	162.752	19.880				4.021				3.797				
	TN501	6.279	1490.767	177.473	21.538				4.209				3.842				
	TN502	6.200	1491.239	173.650	21.653				4.317				3.854				
	TN503	6.023	1477.892	176.921	21.394				4.392				4.031				
6-1' (弱軸)	TR101	4.795	1314.483	149.339	16.179	13.673	2.929	7.841	3.625	3.211	0.198	2.817	3.158	2.983	0.132	2.720	3.625
	TR102	3.634	1063.947	129.707	12.678				3.077				2.876				
	TR103	4.153	1173.845	147.084	14.348				3.345				3.213				
	TR201	3.245	1102.758	135.013	11.390				3.224				3.026				
	TR202	2.798	1074.799	129.134	9.914				3.184				2.933				
	TR203	2.296	1086.624	125.136	7.957				3.110				2.746				
	TR301	4.691	1048.848	135.836	16.322				3.027				3.005				
	TR302	4.423	1077.581	135.589	15.740				3.210				3.096				
	TR303	5.504	1076.141	132.628	19.216				3.118				2.946				
	TR401	4.644	1045.297	131.384	16.412				3.088				2.976				
	TR402	3.685	1105.349	136.518	12.817				3.185				3.016				
	TR403	3.066	1027.289	129.480	10.711				2.973				2.873				
	TR501	3.925	1038.370	124.952	13.667				2.997				2.765				
	TR502	3.736	1220.161	136.152	13.069				3.542				3.030				
	TR503	4.191	1188.183	138.435	14.678				3.453				3.084				
6-2 (強軸)	TN101	5.384	1891.785	209.912	18.766	18.852	4.394	10.104	5.475	5.026	0.300	4.428	4.658	4.482	0.324	3.837	5.475
	TN102	5.205	1836.681	204.790	18.298				5.367				4.588				
	TN103	4.966	1849.068	211.061	17.380				5.371				4.700				
	TN201	4.863	1694.191	190.520	16.685				4.769				4.112				
	TN202	3.061	1733.483	174.266	10.347				4.779				3.683				
	TN203	4.604	1643.626	205.954	15.451				4.493				4.316				
	TN301	5.550	1903.751	216.439	18.343				5.071				4.420				
	TN302	5.130	1828.239	214.363	16.998				4.895				4.401				
	TN303	5.673	1839.088	219.546	18.897				4.972				4.550				
	TN401	5.238	1733.536	211.367	18.259				5.005				4.678				
	TN402	4.294	1709.642	197.340	14.618				4.768				4.219				
	TN403	6.163	1655.272	202.010	21.029				4.638				4.340				
	TN501	8.026	1897.267	222.913	27.379				5.299				4.773				
	TN502	7.286	1881.458	223.809	24.966				5.297				4.831				
	TN503	7.343	1820.296	226.662	25.362				5.192				4.956				
6-2' (弱軸)	TR101	4.189	451.316	146.689	14.213	14.025	1.795	10.451	1.254	3.072	0.820	1.439	3.125	3.121	0.247	2.628	1.254
	TR102	3.649	437.588	150.139	12.029				1.164				3.061				
	TR103	4.305	1199.973	147.742	14.461				3.283				3.099				
	TR201	4.994	1227.811	147.599	17.069				3.448				3.178				
	TR202	4.153	1152.468	131.717	14.276				3.266				2.862				
	TR203	2.760	1019.272	127.621	9.642				2.957				2.839				
	TR301	3.973	1102.448	151.906	13.583				3.102				3.277				
	TR302	3.890	1434.306	163.285	13.558				4.136				3.610				
	TR303	4.874	1394.821	168.395	16.708				3.936				3.643				
	TR401	4.235	1297.375	138.776	14.156				3.525				2.891				
	TR402	4.290	1164.501	135.074	14.632				3.257				2.897				
	TR403	4.379	1057.376	137.650	15.052				2.983				2.977				
	TR501	3.684	1193.124	154.427	12.494				3.312				3.286				
	TR502	4.304	1139.578	137.598	14.905				3.266				3.023				
	TR503	3.888	1099.055	136.660	13.597				3.192				3.043				

見かけはクロスヘッド変位より算出

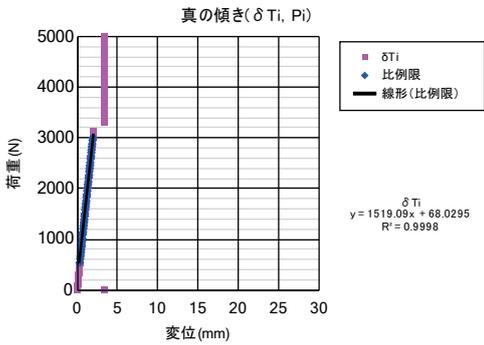
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN101



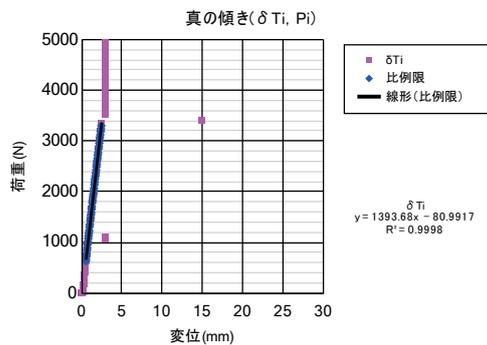
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN102



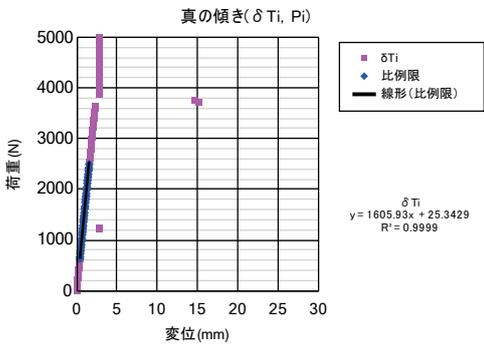
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN103



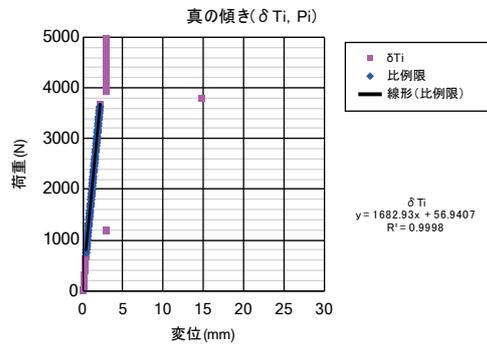
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN201



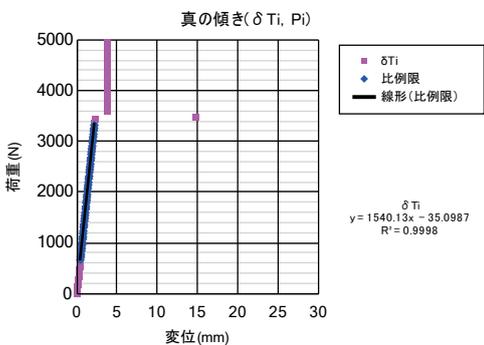
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN202



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN203



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN301



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN302

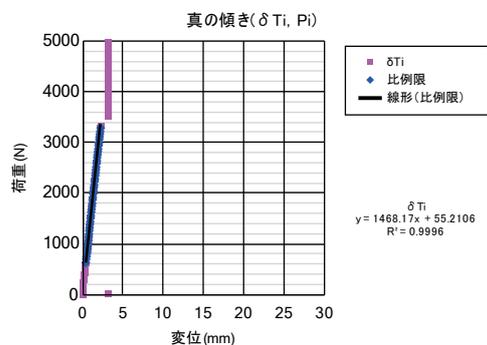
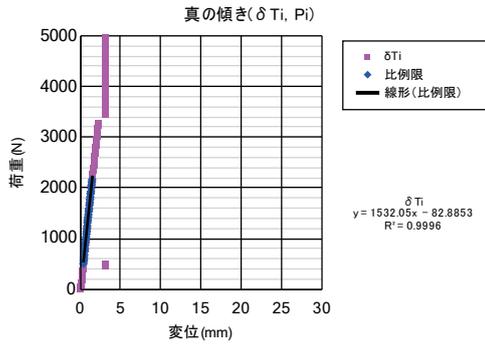
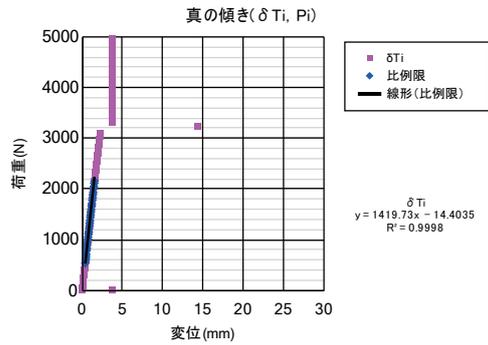


図 5-3 6-1 (強軸) 真の傾きグラフ (1)

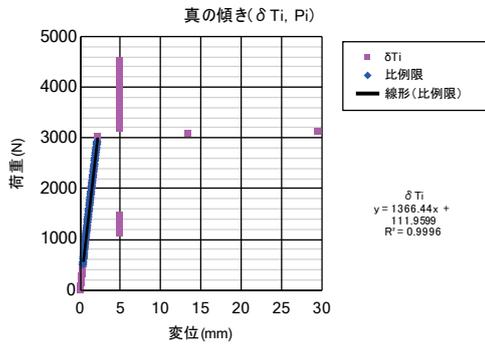
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN303



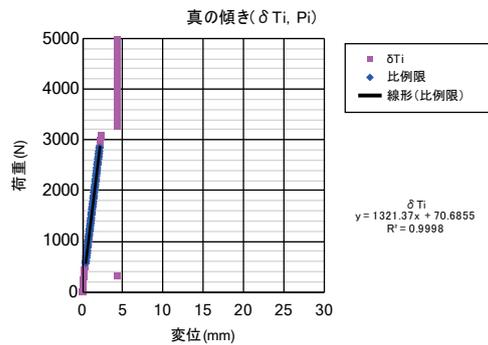
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN401



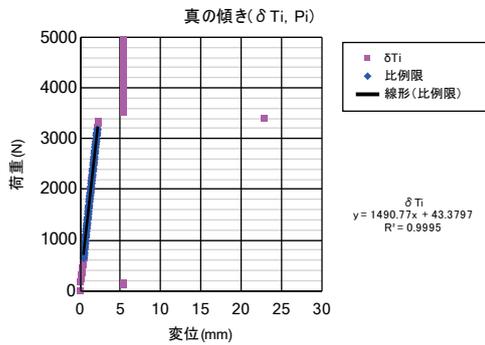
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN402



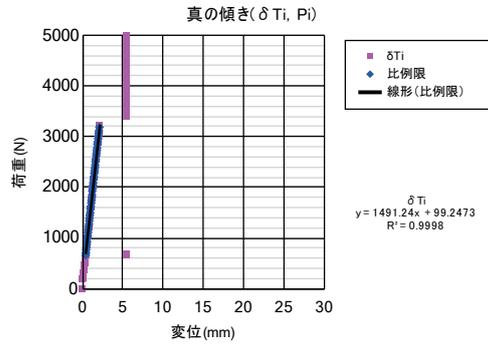
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN403



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN501



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN502



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN503

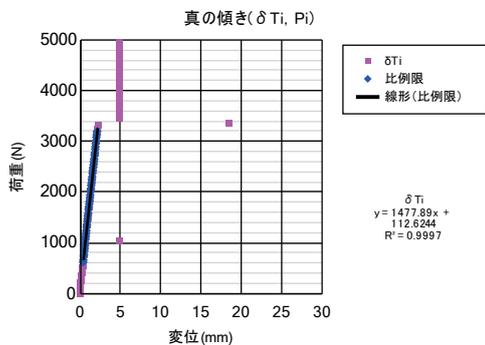
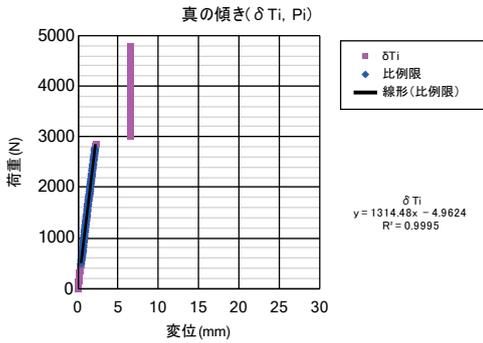
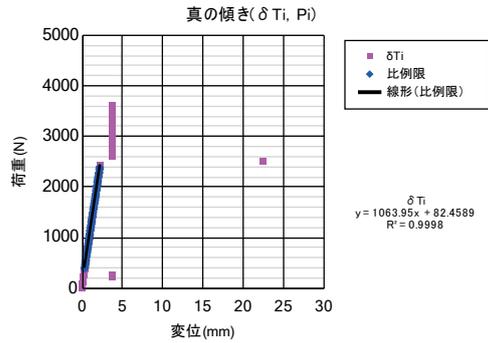


図 5-4 6-1 (強軸) 真の傾きグラフ (2)

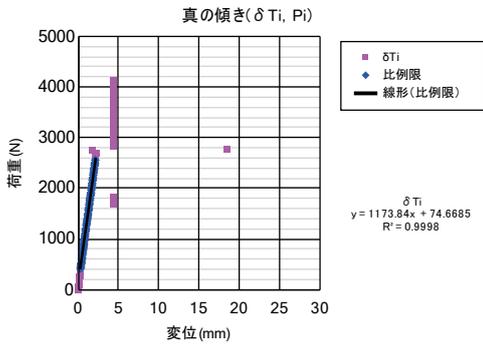
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR101



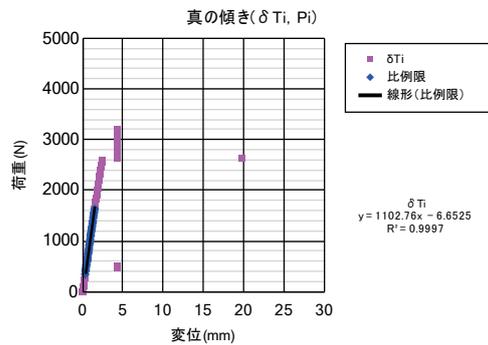
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR102



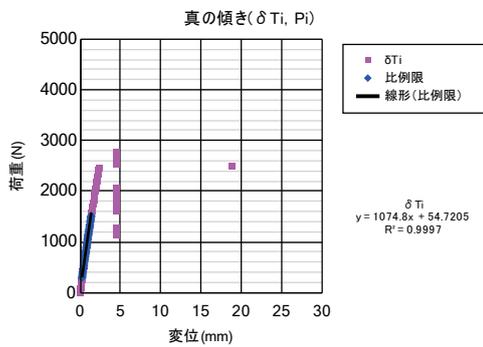
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR103



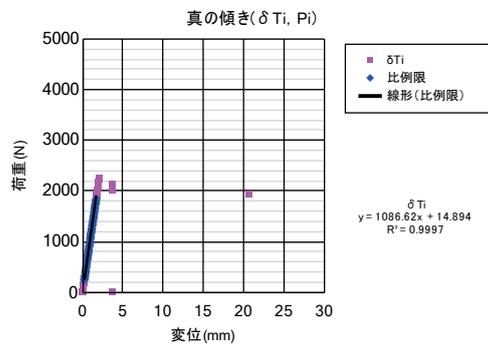
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR201



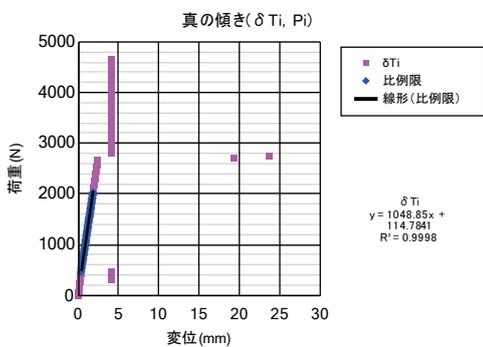
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR202



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR203



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR301



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR302

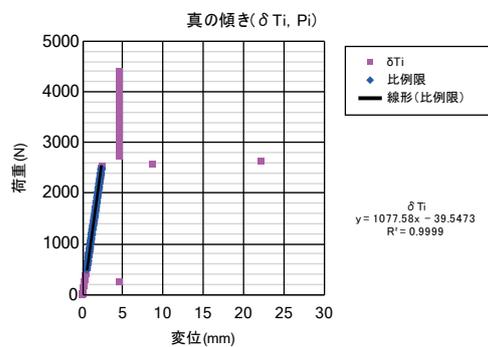
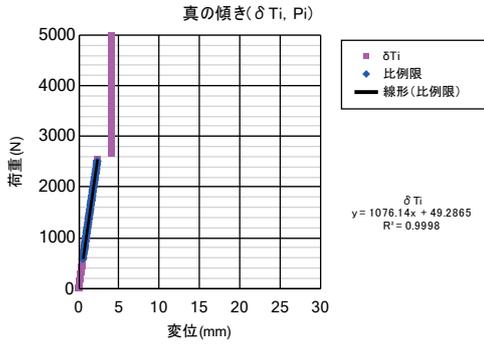
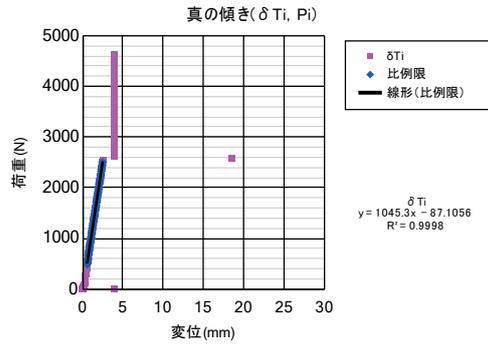


図 5-5 6-1' (弱軸) 真の傾きグラフ (1)

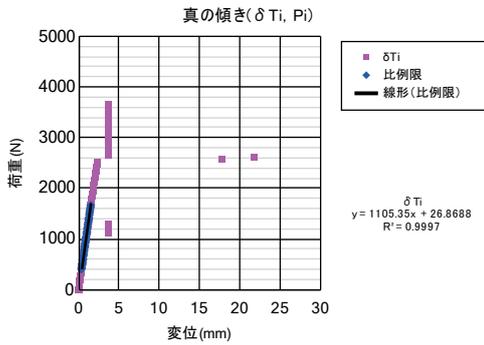
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR303



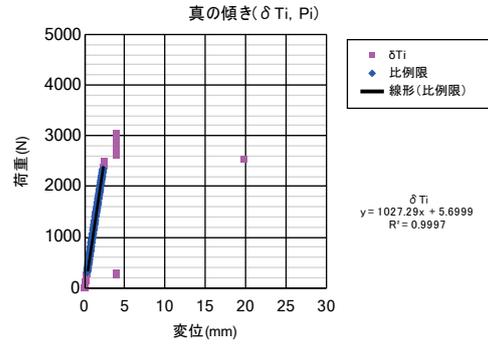
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR401



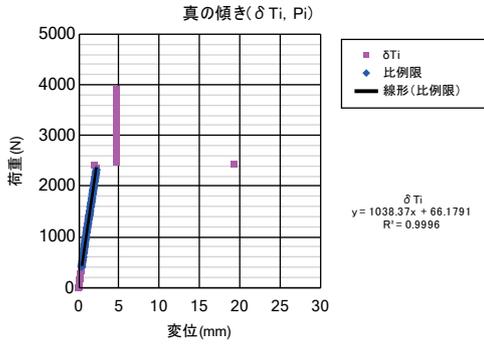
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR402



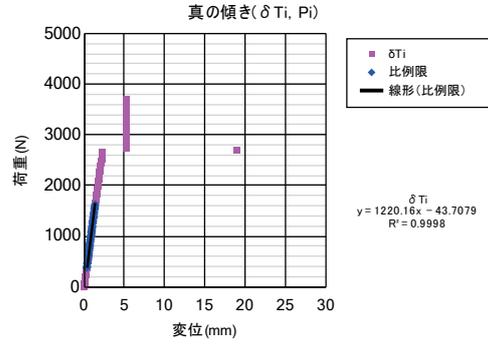
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR403



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR501



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR502



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR503

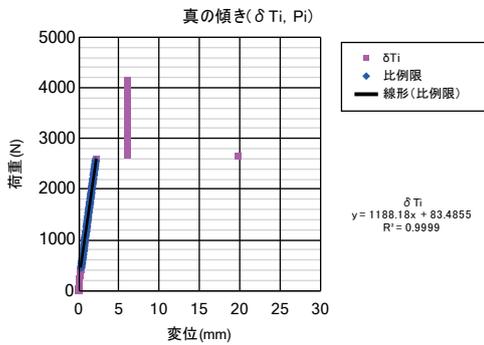
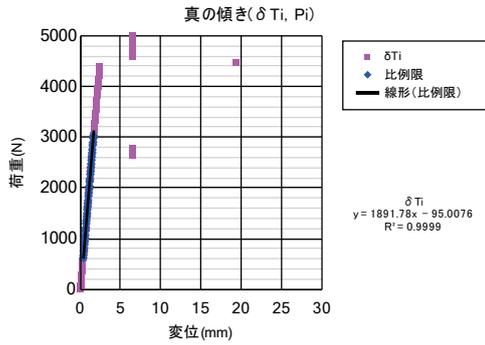
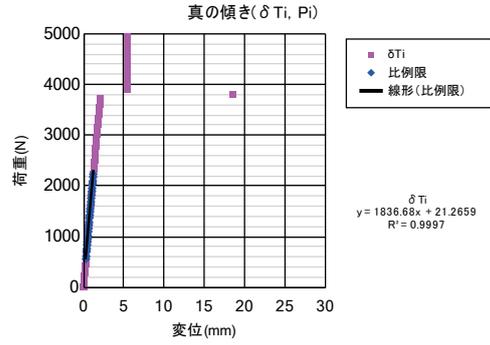


図 5-6 6-1' (弱軸) 真の傾きグラフ (2)

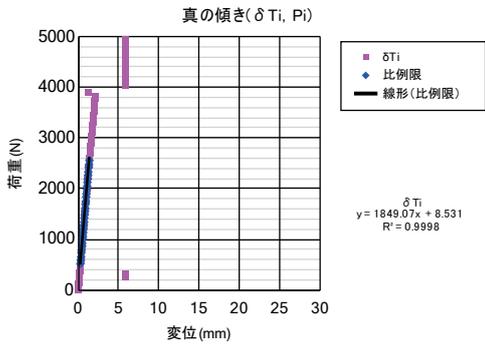
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN101



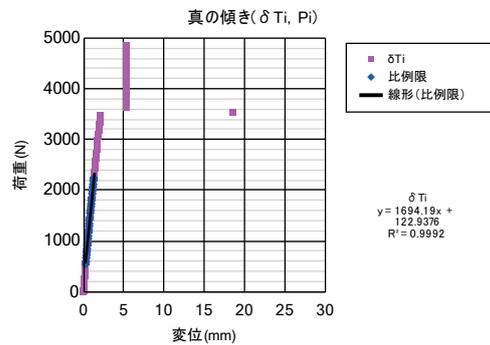
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN102



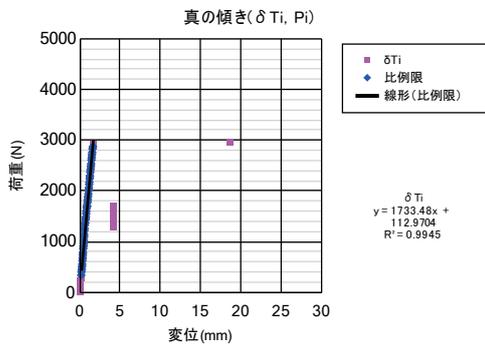
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN103



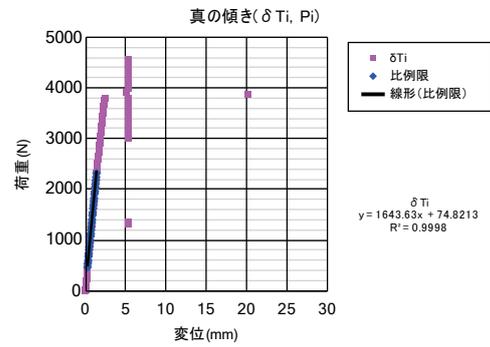
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN201



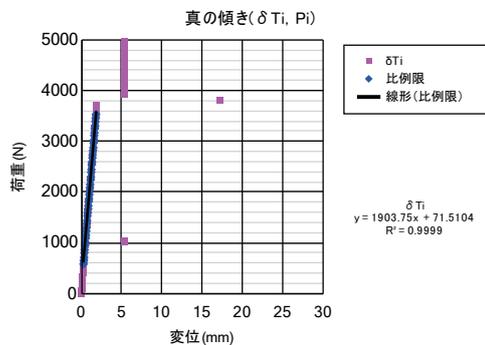
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN202



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN203



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN301



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN302

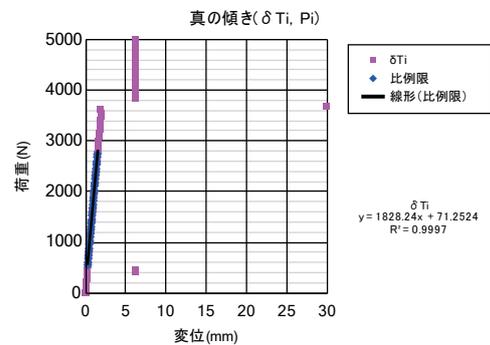
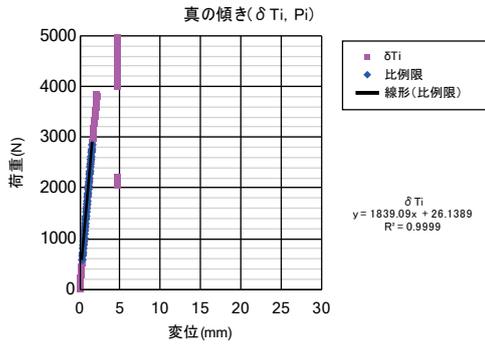
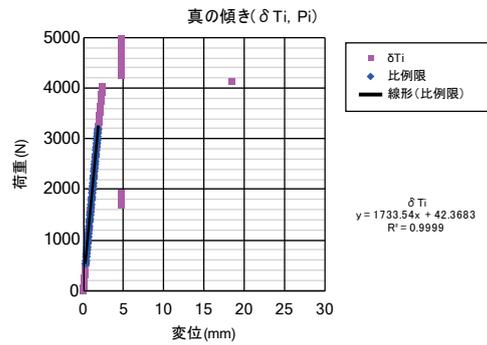


図 5-7 6-2 (強軸) 真の傾きグラフ (1)

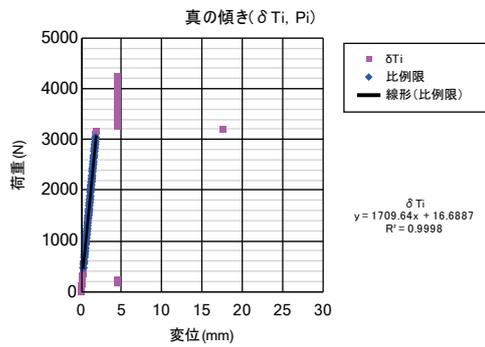
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN303



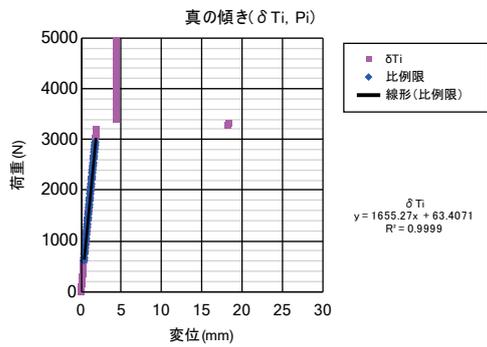
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN401



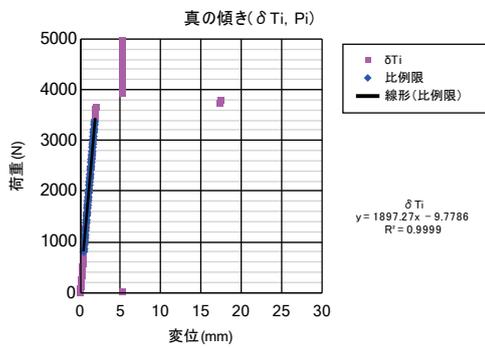
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN402



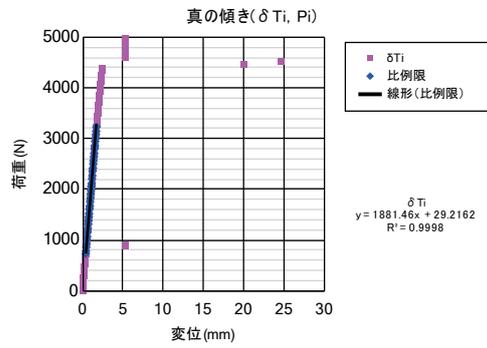
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN403



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN501



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN502



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN503

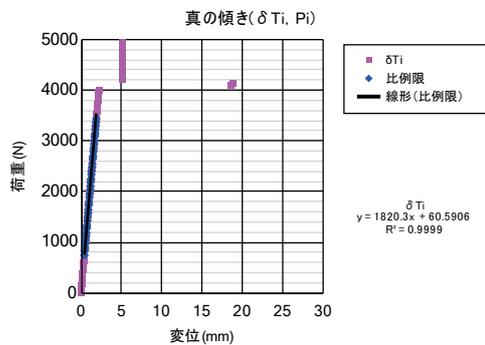
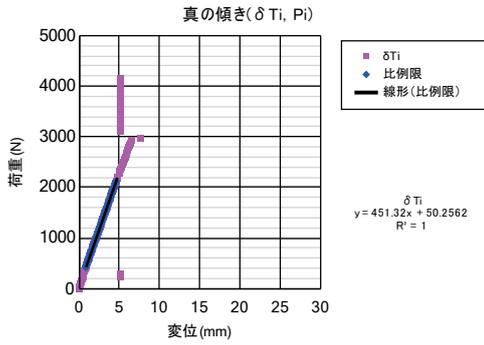
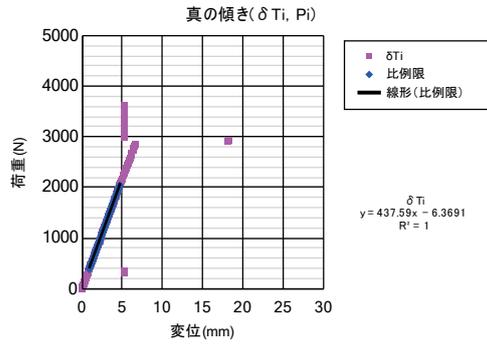


図 5-8 6-2 (強軸) 真の傾きグラフ (2)

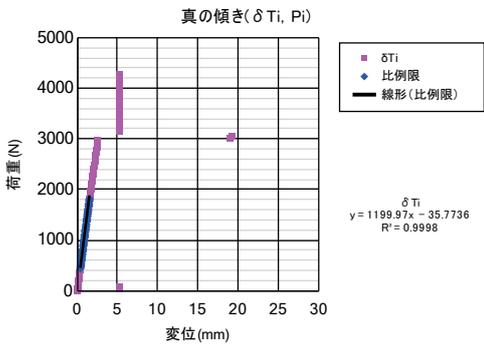
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR101



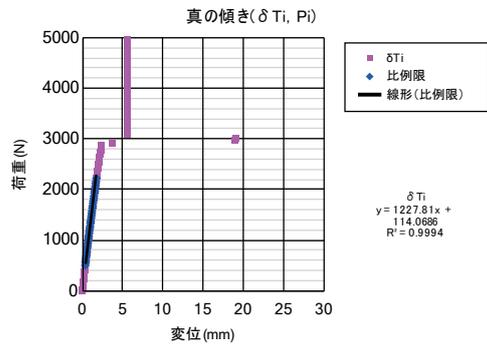
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR102



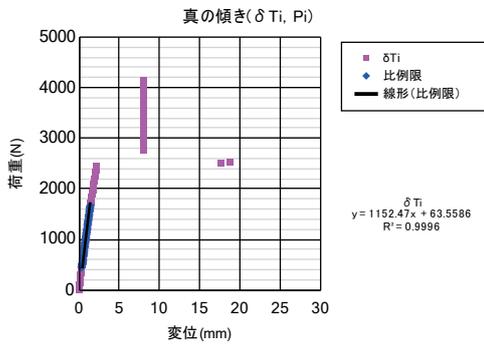
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR103



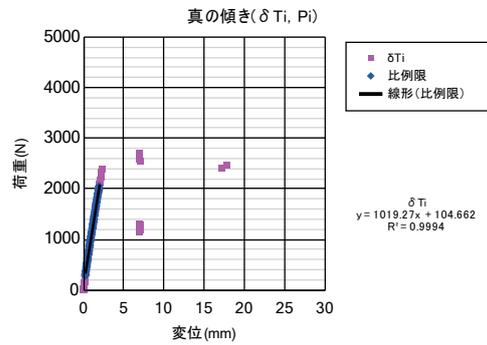
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR201



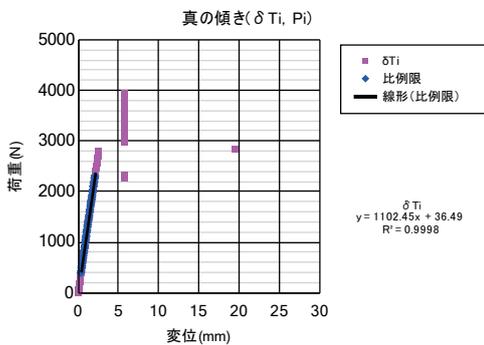
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR202



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR203



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR301



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR302

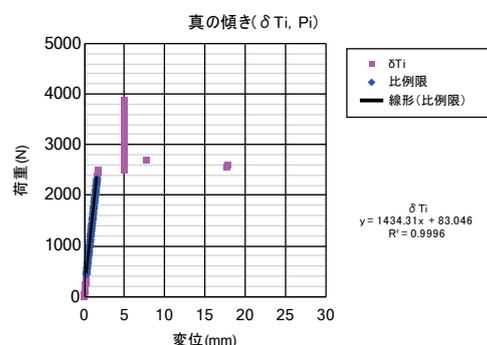
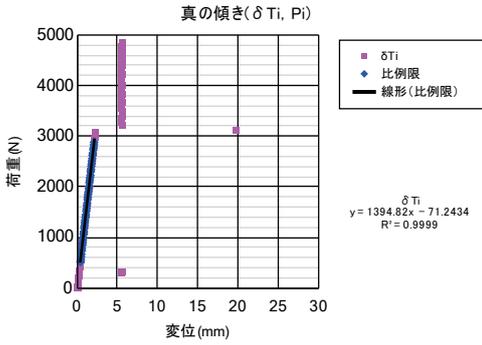
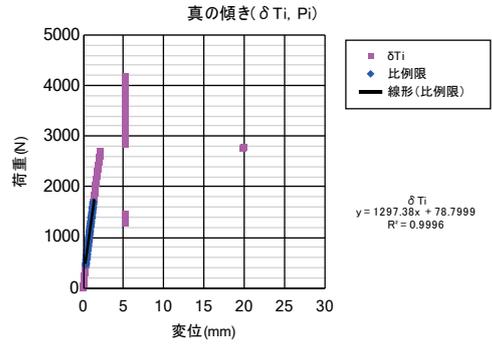


図 5-9 6-2' (弱軸) 真の傾きグラフ (1)

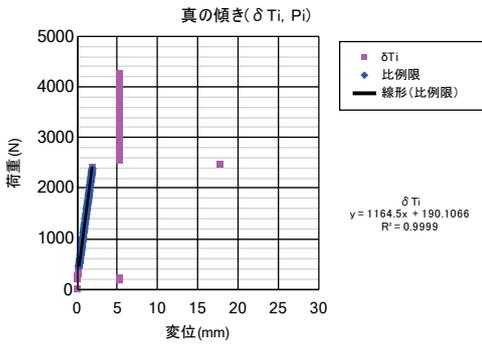
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR303



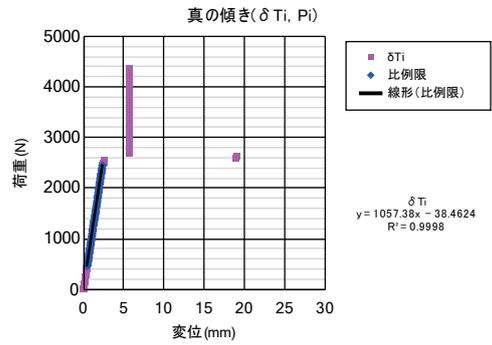
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR401



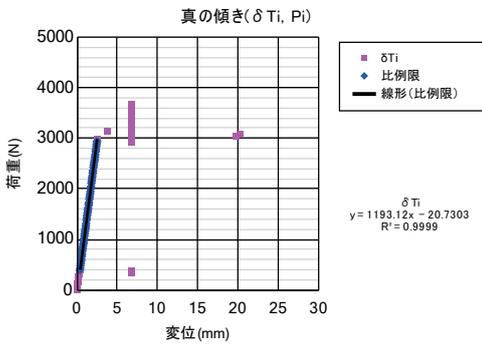
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR402



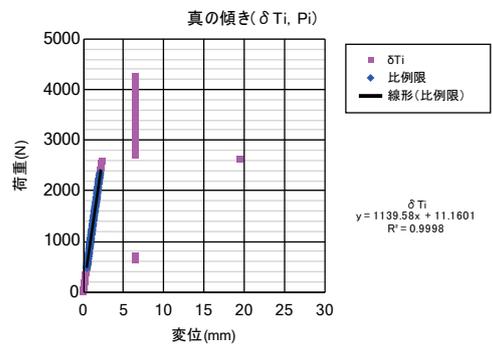
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR403



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR501



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR502



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR503

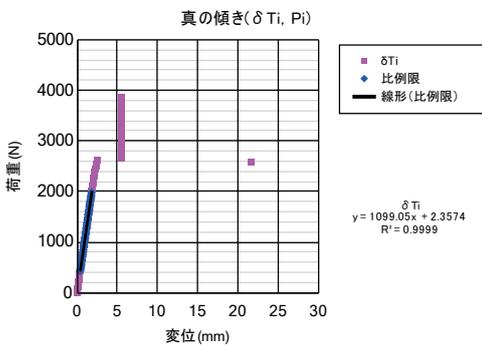


図 5-10 6-2' (弱軸) 真の傾きグラフ (2)

## 6. 水平せん断性能

### 6.1 はじめに

144mm 厚の合板について、単板選別方法、製造方法、試料の採取方法を違えて短スパンの3点曲げによる水平せん断試験を行い、得られた値について評価した。

### 6.2 試料材

積層方向の公称厚さが 144mm のスギの合板で、単板のヤング係数による選別方法を  $60\text{tf/cm}^2$  以上とする E60 以上、選別しないランダム、積層接着の製造方法は単板の繊維方向を1層ずつ交互に41層積層接着したワンショットタイプ、単板の繊維方向を1層ずつ交互に7層積層接着したものを製造し、これを6枚さらに接着した2次接着タイプである。また試料材の採取方法として、表層単板の繊維方向が長手方向としたもの（以下「正寸」という）、表層単板の繊維方向が短手方向のもの（以下「逆寸」という）が採取された。寸法は長さ 900mm×幅 144mm×厚さ 144mm がそれぞれ加力方向を後述する平使い、縦使いとして試験に供された。これらの試料数は表 5-1 のとおりである。

表 6-1 試料材

単板選別	製造方法	寸法仕様	荷重方向	試料数
E60 以上	ワンショット (積層数 41)	正寸	平使い	14
			縦使い	14
	2次接着 (積層数 42)	正寸	平使い	10
			縦使い	10
		逆寸	平使い	9
			縦使い	9
ランダム	ワンショット (積層数 41)	正寸	平使い	14
			縦使い	14
	2次接着 (積層数 42)	正寸	平使い	10
			縦使い	10
		逆寸	平使い	9
			縦使い	9
合計				132

### 6.3 試験の方法

単板積層材の日本農林規格(JAS)<sup>1)</sup>を参考に水平せん断試験を行った。JAS では、スパンを試験体の鉛直方向の高さの4倍と定められているが、試験機を一定スパン以下にできない制約から4.5倍で行った。加圧板を平板（接する幅 160mm，下側 R20mm）とし、これに図 6-1 のとおり中央集中荷重により、平使い方向（単板の積層方向を荷重方向にする）及び縦使い方向（単板の積層方向の直角方向を荷重方向にする）に加力し、次式によりせん断強さを求めた。試験は実大試験機（東京衡機製、容量 1000kN）を用いた。なお、試験体

の中央部下部の変位量を変位計（共和電業 DHT-A-50）で測定した。試験終了後、破壊部近傍から試験片を採取し全乾法により含水率を求めた。

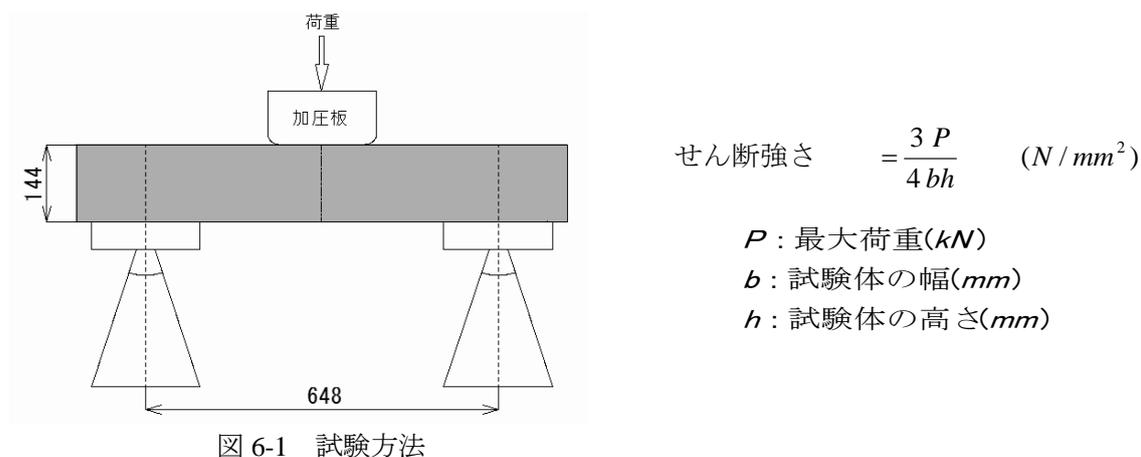


図 6-1 試験方法

#### 6.4 試験結果概要

試験結果概要を表 5-2、各タイプの平均値を図 6-2 に示す。すべての単板選別方法、製造方法、寸法仕様で縦使いが平使いよりせん断強さは大きく、その比は 1.67-2.08 であった。2次接着とワンショットでは縦使いで2次接着がワンショットを上回り有意差(p<5%)で有意差が認められた。また、2次接着において正寸が逆寸を上回り平使い、縦使いとも有意差(p<5%)が認められ、また、その差の率は縦使いで大きかった。E60 以上とランダムではせん断強さの差の傾向は認められなかった。

表 6-2 試験結果概要

単板選別	製造方法	寸法仕様	荷重方向	試験体数	密度 kg/m <sup>3</sup>	含水率 %	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>		終局破壊要因別の数			
							S	S+B	B	P.C		
E60以上	ワンショット	正	平	14	424 (12)	9.6	1.58 (0.13)	0	0	7	7	
E60以上	ワンショット	正	縦	14	424 (12)	9.1	2.82 (0.42)	0	0	14	0	
E60以上	2次接着	正	平	10	440 (6)	9.0	1.78 (0.11)	0	0	0	10	
E60以上	2次接着	正	縦	10	440 (6)	8.6	3.69 (0.19)	0	0	10	0	
E60以上	2次接着	逆	平	9	429 (3)	8.3	1.49 (0.21)	1	0	7	1	
E60以上	2次接着	逆	縦	9	430 (3)	8.2	2.54 (0.37)	0	0	9	0	
ランダム	ワンショット	正	平	14	429 (5)	10.5	1.70 (0.11)	2	2	4	6	
ランダム	ワンショット	正	縦	14	429 (5)	10.7	2.84 (0.19)	6	0	8	0	
ランダム	2次接着	正	平	10	436 (12)	9.0	1.72 (0.12)	0	0	3	7	
ランダム	2次接着	正	縦	10	436 (11)	9.1	3.31 (0.25)	0	0	10	0	
ランダム	2次接着	逆	平	9	423 (7)	8.0	1.67 (0.04)	1	0	3	5	
ランダム	2次接着	逆	縦	9	423 (6)	8.3	2.79 (0.24)	0	0	9	0	

各平均値、( )標準偏差、欄右は終局破壊要因別の数 S:せん断、S+B:せん断曲げ複合、B:曲げ、PC:めり込み

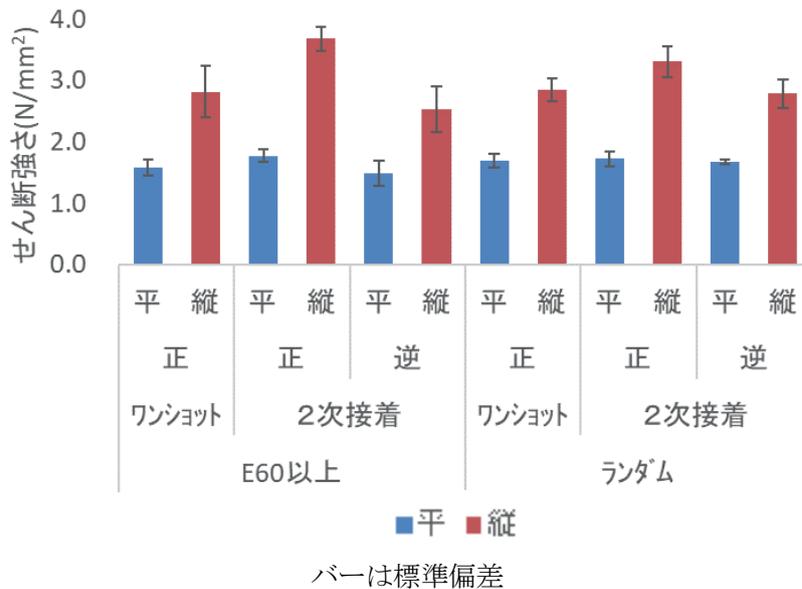


図 6-2 せん断試験結果 (各タイプ平均値)

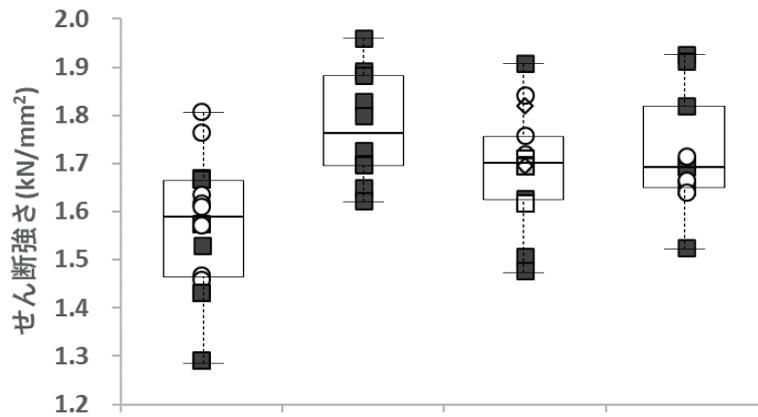
#### 6.4.1 寸法仕様・荷重方法別ごとの考察

##### 【正寸の平使い】

正寸の平使いの各試料材のせん断強さの分布を各点に破壊要因を標記して図 6-3 に示す。破壊要因では、E60 以上ワンショットでは曲げ、めり込みが各 7 体、E60 以上 2次接着では全てめり込み破壊、ランダムワンショットではせん断 2 体、せん断曲げ複合 2 体、曲げ 4 体、めり込み 6 体であり、ランダム 2次接着では曲げ 3 体、めり込み 7 体であった。せん断破壊は曲げ変形しながら、裏割れ、節等の層内の弱点を起点として、接着層がずれて出現した (写真 6-1、図 6-4)。2次接着層からのせん断破壊はなかった。曲げ破壊は曲げ変形し、下部最外層の単板の目切れ、節等の欠点を起点とし破壊した (写真 6-2、図 6-5)。曲げによる破壊までにせん断破壊が起こらなかったことから、曲げによる破壊荷重から算出されるせん断強さはせん断性能に関して安全側の数値と考えられる。めり込み破壊はせん断破壊、下部最外層の曲げ破壊のいずれも発生せず、めり込みの影響により層間が剥がれ耐力が低下した (写真 6-3、図 6-6)。このタイプのめり込み破壊によるせん断強さはせん断破壊、曲げ破壊のいずれも発生しないことから、これもせん断性能に対し安全側の数値と考えられる。

製造方法別に見ると、E60 でワンショットは 2次接着よりせん断強さが低下し、標準偏差が大きかった。また、破壊要因も 2次接着がすべてめり込みで破壊したのと対照的にせん断、曲げ、せん断と曲げの複合、めり込みと多様であった。ランダムにおいてもワンショットの破壊要因は 2次接着が曲げとめり込みであったが、ワンショットはせん断、曲げ、せん断と曲げの複合、めり込みと多様であった。これらのことから、ワンショットは平使いの現わされるせん断性能の安定性が 2次接着より低いことが考えられる。ひいては、せん断試験の平使いの試験方法は品質管理として有効であると考えられる。

単板選別では E60 とランダムではワンショットで有意差が見られ、ランダムがワンショットを上回った。



E60 以上    E60 以上    ランダム    ランダム  
 ワンショット    2次接着    ワンショット    2次接着  
 □せん断、◇せん断+曲げ、○曲げ、■めり込み

箱は四分位数範囲、バーは中央値、上下バーは最大最小値、以下同じ



写真 6-1 正寸平使いせん断破壊

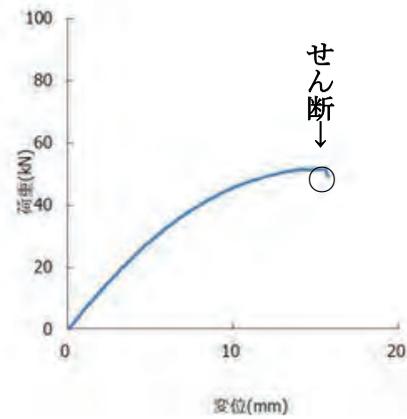


図 6-4 荷重変位曲線 (せん断)



写真 6-2 正寸平使い曲げ破壊

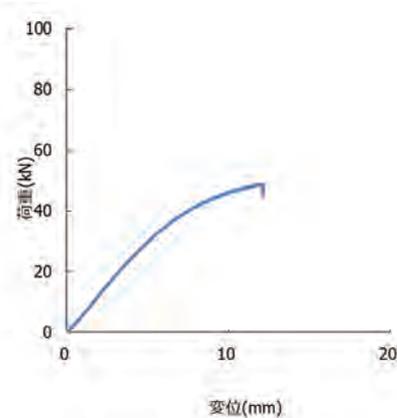


図 6-5 荷重変位曲線 (曲げ)

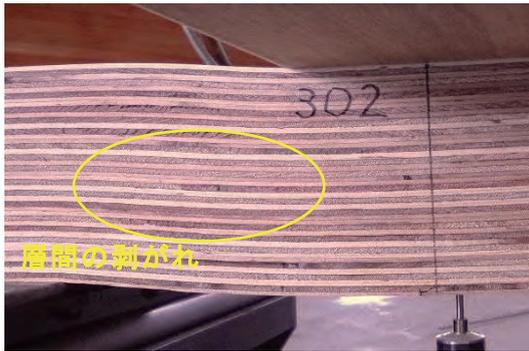


写真 6-3 正寸平使いめり込み破壊

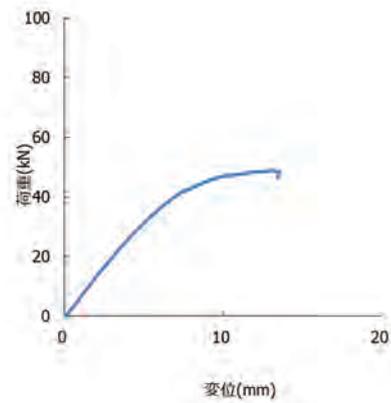


図 6-6 荷重変位曲線（めり込み）

### 【正寸の縦使い】

正寸の縦使いの各試料材のせん断強さの分布を各点に破壊要因を標記して図 6-7 に示す。破壊要因では、E60 以上ではすべて曲げ破壊、ランダムではワンショットで 6 体がせん断、8 体が曲げ破壊、2 次接着ではすべて曲げ破壊であった。縦使いのせん断破壊は最外層下部などで曲げ破壊が見られず、中立軸付近で表層単板の歪みが見られた。（写真 6-4、図 6-8）。曲げ破壊では内部の直交単板の裂けから隣接する繊維方向の単板を同調させて破壊した（写真 6-5、図 6-9）。

E60、ランダムともせん断強さは 2 次接着がワンショットを上回り、また E60 のワンショットではばらつきが大きく、2 次接着が安定した数値を現わしていた。平使いと比して、その傾向の差は顕著であった。これらのことで、せん断試験の縦使いの試験方法は品質管理として有効であると思われる。

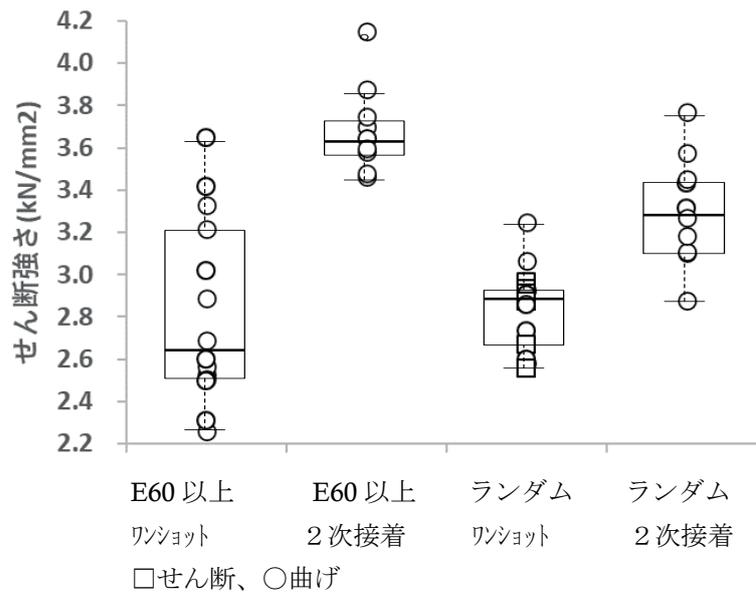


図 6-7 正寸の縦使い各タイプのせん断強さ分布



写真 6-4 正寸縦使いせん断破壊

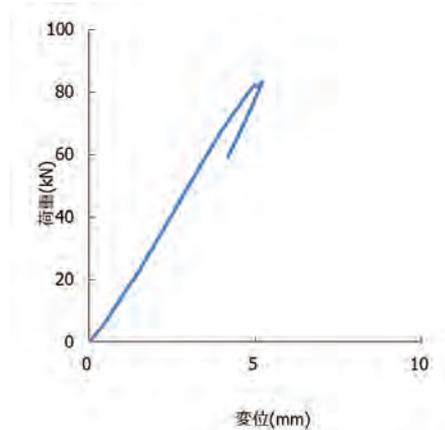


図 6-8 荷重変位曲線（せん断）



写真 6-5 正寸縦使い曲げ破壊

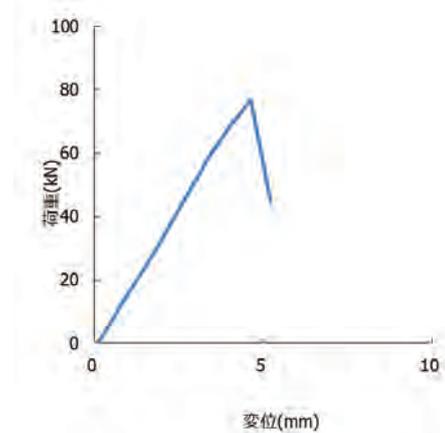


図 6-9 荷重変位曲線（曲げ）

### 【逆寸の平使い及び縦使い】

逆寸の平使いの各試料材のせん断強さの分布を各点に破壊要因を標記して図 6-10 に示す。逆寸の平使いにおける破壊要因では、E60 で 1 体がせん断、7 体が曲げ、1 体がめり込み破壊、ランダムで 1 体がせん断、3 体が曲げ、5 体がめり込み破壊であった。E60 ではせん断強さのばらつきが大きかった。せん断破壊では単板の裏割れを起点として層間の接着層がずれるように破壊した（写真 6-6、図 6-12）。曲げ破壊は最外層下層の単板で発生した（写真 6-7、図 6-13）。めり込みはせん断破壊、曲げ破壊も発生せず耐力が低下した。（写真 6-8、6-14）。せん断破壊はランダム 2 次接着のみに 1 体が見られたのみであるが、曲げ、めり込みに先行して破壊していることから、他の曲げ、めり込みで破壊したものはそれ以上のせん断耐力を持っているものと考えられ、この試験で得られた値は安全側と考えられる。

逆寸の縦使いの各試料材のせん断強さの分布を各点に破壊要因を標記して図 6-11 に示す。繊維方向を直角方向とした縦使いにおける破壊要因では、E60 以上、ランダムともすべて曲げ破壊であった（写真 6-9、図 6-14）。すべて最外層の直角層の単板を起点としていた。ランダムは E60 より 5% 有意でせん断強さが大きかった。E60 ではばらつきが大きかった。性能の安定性ではランダムが E60 以上より上回っているといえる。

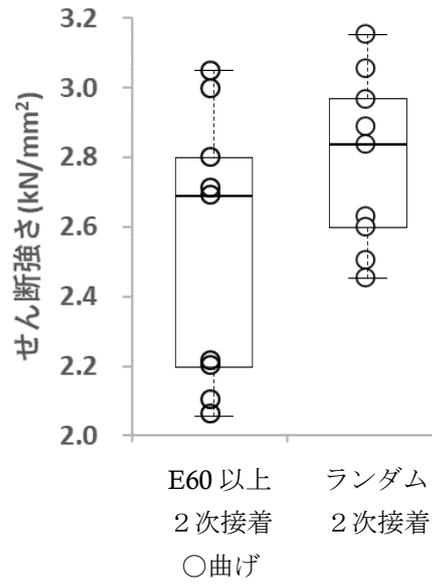
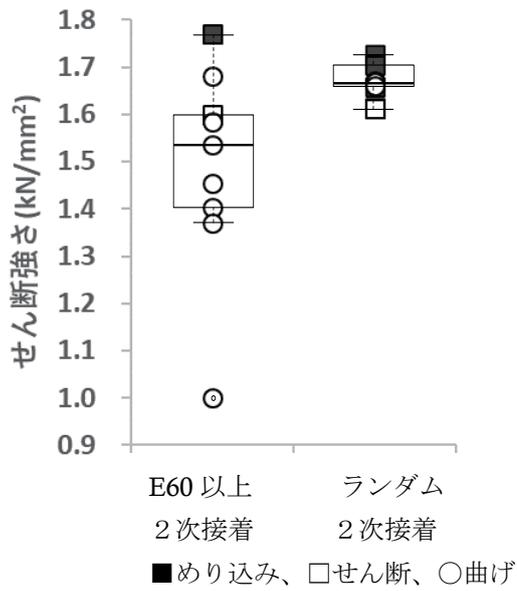


図 6-10 逆寸平使い各タイプせん断強さ分布 図 6-11 逆寸縦使い各タイプせん断強さ分布



写真 6-6 逆寸平使いせん断破壊

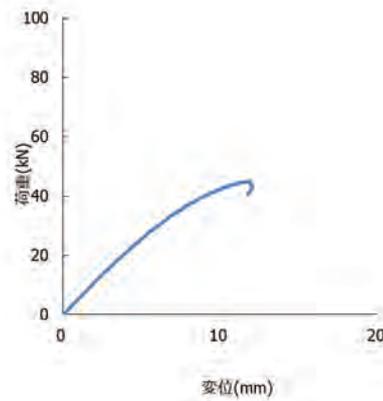


図 6-12 荷重変位曲線 (せん断)



写真 6-7 逆寸平使い曲げ破壊

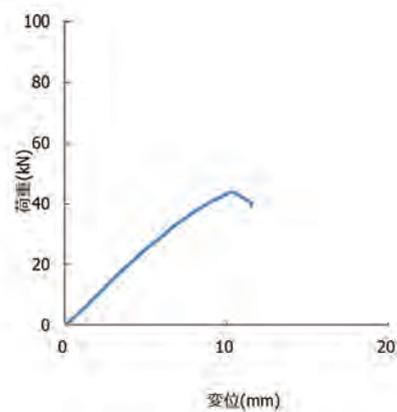


図 6-13 荷重変位曲線 (曲げ)

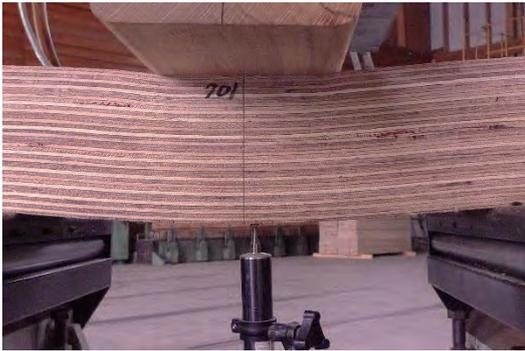


写真 6-8 逆寸平使いめり込み破壊

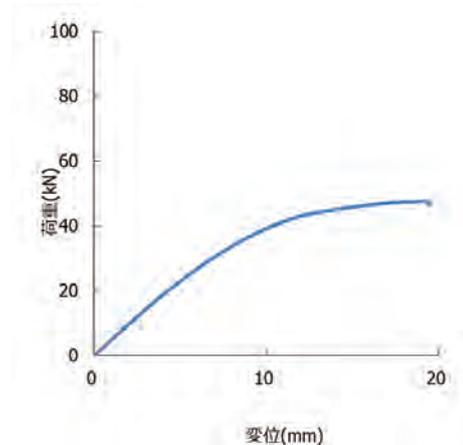


図 6-14 荷重変位曲線（めり込み）



写真 6-9 逆寸縦使い曲げ破壊

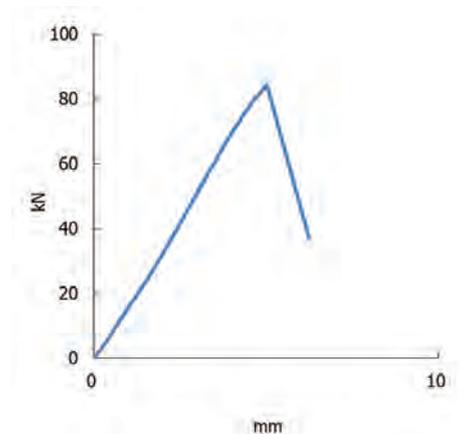


図 6-14 荷重変位曲線（曲げ）

#### 6.4.2 密度とせん断強さの関係

##### 【正寸の平使い】

正寸の平使いの各試験体の密度とせん断強さの関係は図 6-15 である。一般にせん断強さは密度と相関があるとされている。E60、ランダムとも 2 次接着に相関が認められたが、ワンショットでは相関が認められなかった。ワンショットにおいては破壊要因として単板の性能以外の要因が関わったと考えられる。

##### 【正寸の縦使い】

正寸の縦使いの各試験体と密度とせん断強さの関係は図 6-16 である。E60 ワンショット、E60 2 次接着、ランダム 2 次接着で相関が認められた。ランダムワンショットでは相関が認められなかった。これもランダムワンショットでは破壊要因として単板の性能以外の要因が関わったと考えられる。

平使い、縦使いでせん断強さと密度との相関が得られた 2 次接着は、単板の密度以外の要因の性能が安定していたといえる。このことから、本試験方法の平使い、縦使いとも品質管理用として有効であると考えられる。

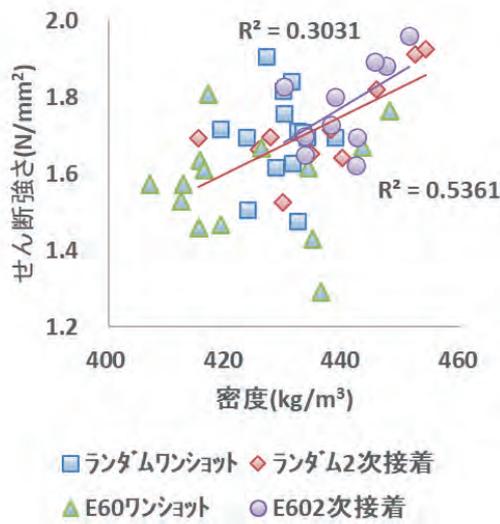


図 6-15 正寸平使いの密度とせん断強さ

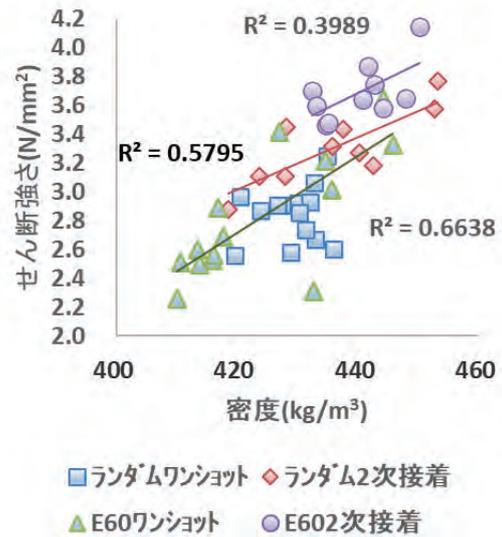


図 6-16 正寸の縦使いの密度とせん断強さ

【逆寸の平使い及び縦使い】

逆寸の平使いの密度とせん断強さの関係は図 6-17、縦使いのそれは図 6-18 である。平使い、縦使いとも密度とせん断強さの相関は認められなかった。直交方向においては、最外層単板が直交方向で曲げ破壊が優先した。縦使いにおいては最外層が単板の局所的な裂けにより破壊し、単板の性能が発揮しにくかったと考えられる。

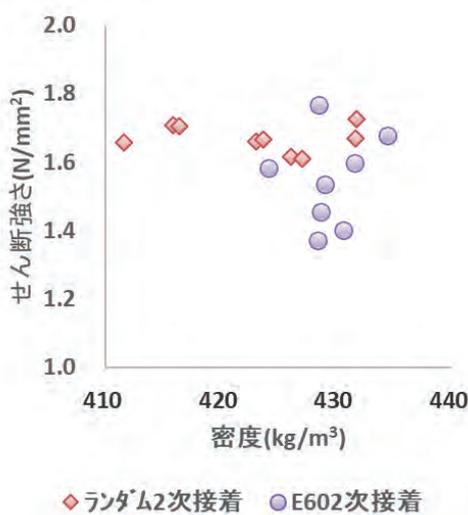


図 6-17 逆寸平使いの密度とせん断強

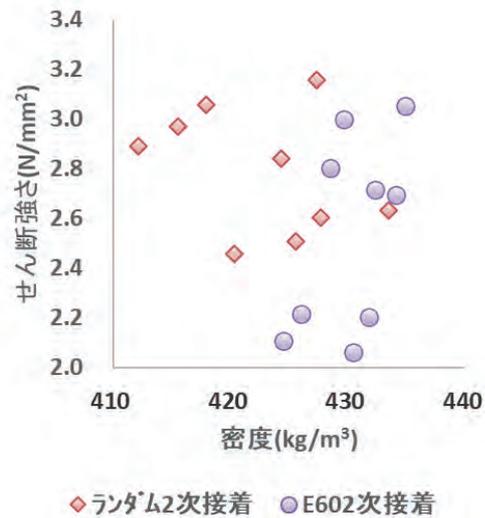


図 6-18 逆寸の縦使いの密度とせん断強さ

6.5 まとめ

試験を行って以下のことがわかった。

- (1) 繊維が平行方向の平使いの試験では、曲げによる破壊荷重から算出されるせん断強さはせん断性能に関して安全側の数値と考えられ、また、めり込み破壊によるせん断

断強さも安全側の数値と考えられる。これらのことから平使いの試験は品質管理用としては有効であると考ええる。

- (2) 繊維が平行方向の縦使いの試験では E60、ランダムともせん断強さは2次接着がワンショットを上回り、また E60 のワンショットではばらつきが大きく、2次接着が安定した性能を現わしていた。縦使いの方が、平使いより、それぞれのせん断強さの差が顕著であり、縦使いの試験も品質管理用として有効であると思われる。
- (3) 正寸、逆寸で2次接着において、せん断強さと密度との相関が見られた。2次接着は単板の性能以外の要因の性能が安定していたと思料され、これもまた、平使い、縦使いとも品質管理用として有効であると考えられる。

#### 文献

- 1) 農林水産省:単板積層材の日本農林規格 2008

## 試験成績書

日本合板工業組合連合会 会長 殿

宮城県林業技術総合センター所長



令和4年8月1日付けで依頼のありました試験の結果については、下記のとおりです。

### 記

試験依頼者	住所	東京都千代田区神田三崎町 2-21-2
	氏名	日本合板工業組合連合会 会長 井上篤博
試験料	材	合板
試験項目		せん断試験
試験方法		別紙のとおり
試験実施年月日		令和4年8月3日から5日
試験実施場所		宮城県林業技術総合センター木材利用加工実験棟
試験結果		別紙のとおり
試験担当者		上席主任研究員 大西裕二

### 備考

以上は提出された試料についての試験結果であり、材料並びに製品全体の品質性能を保証するものではありません。

また、この試験成績書を転載するときは、抄録または他の事項を添付せず全文を記載してください。

## 1 試料材

試料材は積層方向の公称厚さが 144mm のスギ合板である。長さ 900mm×幅 144mm×厚さ 144mm が単板の選別方法が異なる 2 タイプ、また製造方法が異なる 2 タイプ、長手方向を合板の最外層を繊維方向としたもの及び繊維方向と直交方向としたものが、依頼者により番号付けされたものを試験に供した。試料材の数量は表-1 のとおりである。

表-1 各タイプの試料数

単板選別	製造方法	長手方向	荷重方向	試料数
E60 以上	ワンショット	繊維方向	平使い	14
			縦使い	14
	2次接着	繊維方向	平使い	10
			縦使い	10
		直交方向	平使い	9
			縦使い	9
ランダム	ワンショット	繊維方向	平使い	14
			縦使い	14
	2次接着	繊維方向	平使い	10
			縦使い	10
		直交方向	平使い	9
			縦使い	9
合計				132



## 2 試験方法

各試験体に対してスパンを鉛直方向の高さの 4.5 倍、加圧板を平板(接する幅 160mm, 下側 R20mm)とし、中央集中荷重法で図-1 のとおり平使い方向(単板の積層方向を荷重方向にする)及び縦使い方向(単板の積層方向の直角方向を荷重方向にする)に荷重を与え、次式によりせん断強さを求めた。

試験は実大試験機(東京衡機製, 容量 1000kN)を用いた。また試験終了後、破壊部近傍から試験片を採取し全乾法により含水率を求めた。

$$\text{せん断強さ} = \frac{3P}{4bh} \quad (N/mm^2)$$

$P$ : 最大荷重 (N)

$b$ : 試験体の幅 (mm)

$h$ : 試験体の高さ (mm)

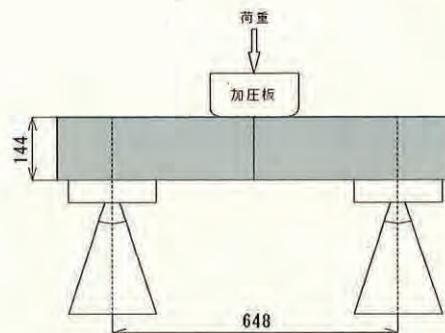


図-1 せん断試験方法

## 3 試験結果

試験の結果は、表-1-1、表-1-2のとおりである。なお、強度性能値は含水率等による補正を行っていない。

表-1-1 せん断試験結果(単板選別 E60 以上)

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	含水率 %
ワンショット	112	繊維方向	平使い	1.81	9.5
ワンショット	212	繊維方向	平使い	1.63	9.4
ワンショット	214	繊維方向	平使い	1.61	9.8
ワンショット	313	繊維方向	平使い	1.53	9.3
ワンショット	314	繊維方向	平使い	1.57	9.3
ワンショット	411	繊維方向	平使い	1.43	9.3
ワンショット	412	繊維方向	平使い	1.62	9.2
ワンショット	414	繊維方向	平使い	1.29	9.6
ワンショット	512	繊維方向	平使い	1.76	9.7
ワンショット	513	繊維方向	平使い	1.67	9.7
ワンショット	611	繊維方向	平使い	1.47	9.8
ワンショット	612	繊維方向	平使い	1.46	9.9
ワンショット	614	繊維方向	平使い	1.57	9.8
ワンショット	713	繊維方向	平使い	1.67	9.5
ワンショット	111	繊維方向	縦使い	2.89	9.0
ワンショット	113	繊維方向	縦使い	2.53	8.4
ワンショット	114	繊維方向	縦使い	2.69	8.4
ワンショット	211	繊維方向	縦使い	2.56	8.4
ワンショット	213	繊維方向	縦使い	2.50	9.1
ワンショット	311	繊維方向	縦使い	2.60	8.4
ワンショット	312	繊維方向	縦使い	2.51	8.7
ワンショット	413	繊維方向	縦使い	2.31	9.0
ワンショット	511	繊維方向	縦使い	3.33	9.3
ワンショット	514	繊維方向	縦使い	3.65	9.3
ワンショット	613	繊維方向	縦使い	2.26	9.6
ワンショット	711	繊維方向	縦使い	3.42	9.3
ワンショット	712	繊維方向	縦使い	3.22	10.3
ワンショット	714	繊維方向	縦使い	3.02	9.6
2次接着	102	繊維方向	平使い	1.65	9.1
2次接着	103	繊維方向	平使い	1.70	8.9
2次接着	202	繊維方向	平使い	1.88	9.2
2次接着	301	繊維方向	平使い	1.73	9.4
2次接着	302	繊維方向	平使い	1.80	9.4
2次接着	303	繊維方向	平使い	1.62	8.9
2次接着	304	繊維方向	平使い	1.70	9.2
2次接着	403	繊維方向	平使い	1.89	8.5
2次接着	404	繊維方向	平使い	1.96	8.7
2次接着	503	繊維方向	平使い	1.83	8.4
2次接着	101	繊維方向	縦使い	3.70	8.8
2次接着	104	繊維方向	縦使い	3.46	8.6
2次接着	201	繊維方向	縦使い	3.58	9.0
2次接着	203	繊維方向	縦使い	3.65	8.1
2次接着	204	繊維方向	縦使い	4.15	8.6
2次接着	401	繊維方向	縦使い	3.88	8.5
2次接着	402	繊維方向	縦使い	3.75	8.6
2次接着	501	繊維方向	縦使い	3.48	8.7
2次接着	502	繊維方向	縦使い	3.64	8.8
2次接着	504	繊維方向	縦使い	3.59	8.7
2次接着	602	直交方向	平使い	1.58	7.9
2次接着	604	直交方向	平使い	1.40	8.1
2次接着	702	直交方向	平使い	1.00	8.3
2次接着	703	直交方向	平使い	1.53	8.3
2次接着	704	直交方向	平使い	1.37	8.1
2次接着	705	直交方向	平使い	1.45	7.9
2次接着	706	直交方向	平使い	1.68	8.7
2次接着	801	直交方向	平使い	1.60	8.3
2次接着	806	直交方向	平使い	1.77	9.0
2次接着	601	直交方向	縦使い	2.22	8.0
2次接着	603	直交方向	縦使い	2.11	8.0
2次接着	605	直交方向	縦使い	2.06	8.3
2次接着	606	直交方向	縦使い	2.20	9.4
2次接着	701	直交方向	縦使い	2.71	8.4
2次接着	802	直交方向	縦使い	3.00	8.0
2次接着	803	直交方向	縦使い	3.05	8.0
2次接着	805	直交方向	縦使い	2.80	8.0
2次接着	804	直交方向	縦使い	2.69	7.9



表-1-1 セン断試験結果 (単板選別ランダム)

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	含水率 %
ワシヨット	111	繊維方向	平使い	1.84	10.7
ワシヨット	113	繊維方向	平使い	1.69	11.0
ワシヨット	212	繊維方向	平使い	1.71	10.5
ワシヨット	213	繊維方向	平使い	1.63	10.7
ワシヨット	214	繊維方向	平使い	1.69	11.2
ワシヨット	311	繊維方向	平使い	1.82	10.3
ワシヨット	411	繊維方向	平使い	1.91	9.4
ワシヨット	412	繊維方向	平使い	1.51	9.7
ワシヨット	513	繊維方向	平使い	1.48	10.5
ワシヨット	514	繊維方向	平使い	1.70	10.9
ワシヨット	611	繊維方向	平使い	1.76	10.6
ワシヨット	612	繊維方向	平使い	1.71	10.6
ワシヨット	712	繊維方向	平使い	1.62	10.9
ワシヨット	713	繊維方向	平使い	1.72	10.7
ワシヨット	112	繊維方向	縦使い	3.25	11.2
ワシヨット	114	繊維方向	縦使い	2.91	11.9
ワシヨット	211	繊維方向	縦使い	2.93	10.9
ワシヨット	312	繊維方向	縦使い	2.67	10.4
ワシヨット	313	繊維方向	縦使い	2.73	10.3
ワシヨット	314	繊維方向	縦使い	2.93	10.2
ワシヨット	413	繊維方向	縦使い	2.56	10.0
ワシヨット	414	繊維方向	縦使い	2.97	10.0
ワシヨット	511	繊維方向	縦使い	2.58	10.6
ワシヨット	512	繊維方向	縦使い	2.60	10.6
ワシヨット	613	繊維方向	縦使い	3.06	10.3
ワシヨット	614	繊維方向	縦使い	2.86	10.4
ワシヨット	711	繊維方向	縦使い	2.91	10.9
ワシヨット	714	繊維方向	縦使い	2.87	11.3
2次接着	102	繊維方向	平使い	1.72	9.1
2次接着	104	繊維方向	平使い	1.64	9.2
2次接着	201	繊維方向	平使い	1.66	9.2
2次接着	202	繊維方向	平使い	1.52	9.2
2次接着	302	繊維方向	平使い	1.70	9.1
2次接着	304	繊維方向	平使い	1.69	9.0
2次接着	402	繊維方向	平使い	1.91	9.1
2次接着	403	繊維方向	平使い	1.93	8.6
2次接着	502	繊維方向	平使い	1.82	8.9
2次接着	503	繊維方向	平使い	1.65	8.4
2次接着	101	繊維方向	縦使い	3.32	8.9
2次接着	103	繊維方向	縦使い	3.44	8.8
2次接着	203	繊維方向	縦使い	3.11	9.0
2次接着	204	繊維方向	縦使い	3.45	9.4
2次接着	301	繊維方向	縦使い	3.11	9.2
2次接着	303	繊維方向	縦使い	2.88	9.1
2次接着	401	繊維方向	縦使い	3.57	9.3
2次接着	404	繊維方向	縦使い	3.77	9.4
2次接着	501	繊維方向	縦使い	3.27	8.9
2次接着	504	繊維方向	縦使い	3.19	8.9
2次接着	602	直交方向	平使い	1.67	8.3
2次接着	605	直交方向	平使い	1.66	8.7
2次接着	701	直交方向	平使い	1.71	7.9
2次接着	703	直交方向	平使い	1.70	7.8
2次接着	704	直交方向	平使い	1.66	7.8
2次接着	801	直交方向	平使い	1.61	7.9
2次接着	802	直交方向	平使い	1.67	7.8
2次接着	804	直交方向	平使い	1.61	7.5
2次接着	806	直交方向	平使い	1.73	8.4
2次接着	601	直交方向	縦使い	2.63	8.2
2次接着	603	直交方向	縦使い	2.84	8.4
2次接着	604	直交方向	縦使い	2.46	8.5
2次接着	606	直交方向	縦使い	3.16	9.4
2次接着	702	直交方向	縦使い	2.97	7.8
2次接着	705	直交方向	縦使い	2.89	8.0
2次接着	706	直交方向	縦使い	3.06	8.8
2次接着	803	直交方向	縦使い	2.51	7.8
2次接着	805	直交方向	縦使い	2.60	7.7

以上

## 7. 水平せん断試験方法の検討

### 7.1 目的

水平せん断試験法は、中央集中曲げ試験を短スパン条件で実施することによって、曲げ破壊に先行してせん断破壊を起こし、その最大荷重値からせん断強度を算出する試験法であり、簡便にせん断強度を求めることができる手法ではあるが、スパンを長めに取ると、曲げ破壊が先行して発生してしまつてせん断破壊が起こらず、逆にスパンを短くしすぎると、せん断破壊に至るまでの必要荷重が極めて大きくなり、加力点および支点で大きなめり込みが発生してその影響を受けてしまうという問題点がある。そのような性格の試験であるため、LVLの日本農林規格では、スパンを試験片の厚さ(h)の4倍とし、荷重点用治具として先端部の曲率半径がほぼ1.5hのものをを用いるように定められているのに対し、直交集成板(CLT)の日本農林規格ではスパンを試験片の厚さ(h)の5倍とするよう定められていて、荷重点については特に定めはなく(※CLTの日本農林規格では「水平せん断試験」ではなく「せん断試験」と呼称)、構造用木材の強度試験マニュアル((公財)日本住宅・木材技術センター)では、スパン7.hで試験を行うように定められているなど、規格により試験法が異なっており超厚合板についても最適な試験条件を定める必要がある。

そこで、昨年度は超厚合板のせん断強度を水平せん断試験で求めるための最適な試験条件を確立することを目的として、単板等級構成、積層方法、および加力方向等の仕様の異なる60mm厚さのスギ超厚合板に対し、LVLの日本農林規格またはCLTの日本農林規格に準拠した複数の異なる条件で水平せん断試験を行い、得られたせん断強度について比較検討を行った。その結果、スパン・加力点形状等の条件設定によっては得られる強度が異なること、多くの試験体仕様で純粋なせん断破壊以外の破壊が発生すること等が明らかとなり、水平せん断試験の最適な試験条件を定めるためには、「正しい」せん断強度を把握する必要があるが、水平せん断試験からそれを求めることは困難であるという結論となった。

そこで今年度は、「正しい」せん断強度を把握するを目的として水平せん断試験よりも曲げ破壊が起こりにくくせん断破壊が発生しやすい逆対象4点荷重方式せん断試験法によるせん断試験を実施した。また、試験対象を昨年度のスギの通常合板仕様のみからスギ、ヒノキ、カラマツの3樹種、単板構成をLVL型、B種LVL型、通常仕様の合板型、強軸方向単板の構成比率40%程度の合板型の4種類に拡張して試験を行った。さらに、すべての仕様に対してCLTの日本農林規格に準拠した水平せん断試験を行い、逆対象4点荷重方式せん断試験法により得られたせん断強度との比較検討を行った。

## 7.2 供試体

表 7.1 に示した 17 種類の仕様の供試体に対して試験を行った。製造法等詳細については、3 章「超厚合板の試作仕様の概要」を参照されたい。

表 7-1 供試体の仕様

供試体記号	樹種	単板選別基準 (tf/cm <sup>2</sup> )	積層方法	構成比率	試作年度
D1	スギ	60 以上	ワンショット	LVL型	本年度
D2				B種LVL型	
D3				合板型通常仕様	
D4				合板型 40%程度	
B0		2次接着	合板型通常仕様		
D3-69		60 以上 69 以下	ワンショット	2次接着	合板型通常仕様
D3-89					
B0-69	60 以上 89 以下	ワンショット	2次接着	合板型通常仕様	
B0-89					
F1	ヒノキ	90 以上	ワンショット	LVL型	本年度
F2				B種LVL型	
F3				合板型通常仕様	
F4				合板型 40%程度	
H1	カラマツ	120 以上	ワンショット	LVL型	本年度
H2				B種LVL型	
H3				合板型通常仕様	
H4				合板型 40%程度	

### 7.3 試験方法

#### 7.3.1 逆対象4点荷重方式せん断試験

表 7-1 に示した各仕様の合板のせん断強度を求めるため、逆対象4点荷重方式せん断試験を行った。試験概要は図 7-1、図 7-2 および写真 7-1、写真 7-2 に示した通りであり、せん断スパン(S)=120mm (=2h, h は試験体の厚さ)・スパン(a+S)=240mm, S=180mm (=3h)・a+S=360mm の2条件で行った。試験はミネベア製 AL100kN (最大荷重 100kN) を用い、変位速度 2mm/min で試験体が破壊して荷重が最大荷重を超えない状態に低下するまで行い、その最大荷重を求め、式(1)によりせん断強度を求めた。併せて目視により破壊過程の観察を行い、7.3.3 破壊形態の分類の表 7-2 に示した規準に基づき破壊形態の分類を行った。試験終了後、試験体端部から含水率測定用試片を切り出し、含水率測定を行った。試験体数は、S=a=120mm の条件が3体 (ただし B0 は5体, D3-69・D3-89・B0-69・B0-89 は実施せず), S=a=180mm の条件が6体 (ただし, B0 のみ8体) であった。

$$\tau = \frac{3aP}{2bh(a+l)} = \frac{3aP}{2bh(2a)} = \frac{3P}{4bh} \quad (1)$$

$\tau$ : せん断強度[N/mm<sup>2</sup>],  $P$ : 最大荷重[kN],  $b$ : 試験体の幅[mm],  $h$ : 試験体の厚さ[mm]

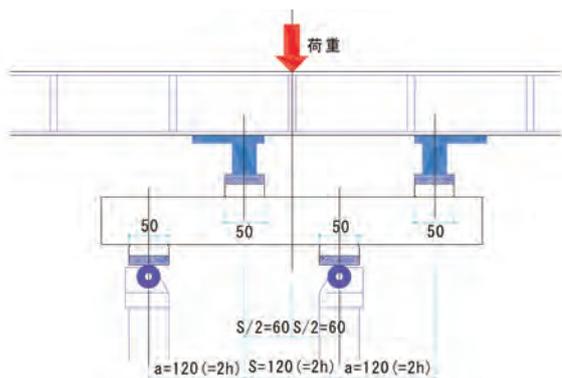


図 7-1 逆対象4点荷重方式せん断試験の概要  
(S=a=120mm)

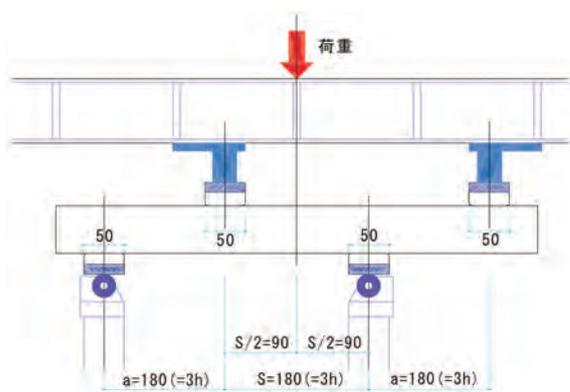


図 7-2 逆対象4点荷重方式せん断試験の概要  
(S=a=180mm)



写真 7-1 逆対象4点荷重方式せん断試験の様子 (S=a=120mm)



写真 7-2 逆対象4点荷重方式せん断試験の様子 (S=a=180mm)

### 7.3.2 水平せん断試験

7.3.1 の逆対象 4 点荷重方式せん断試験で求めたせん断強度との比較検討を行うため、表 7-1 に示した各仕様の合板に対して水平せん断試験を行った。試験概要は図 7-3 および写真 7-3 に示した通りであり、直交集成板 (CLT) の日本農林規格に準拠する条件 (スパン 300mm (=5h)) で試験を行った。試験はミネベア製 AL100kN (最大荷重 100kN) を用い、変位速度 2mm/min で試験体が破壊して荷重が最大荷重を超えない状態に低下するまで行い、その最大荷重を求め、式(2)によりせん断強度を求めた。併せて目視により破壊過程の観察を行い、7.3.3 破壊形態の分類の表 7-2 に示した規準に基づき破壊形態の分類を行った。試験終了後、試験体端部から含水率測定用試片を切り出し、含水率測定を行った。試験体数は本年度作成した仕様のものについては 3 体 (ただし B0 のみ 5 体)、昨年度作成した仕様のものについては、昨年度実施した分と合わせて 15 体であった。

$$\tau = \frac{3P}{4bh} \quad (2)$$

$\tau$ : せん断強度[N/mm<sup>2</sup>],  $P$ : 最大荷重[kN],  $b$ : 試験体の幅[mm],  $h$ : 試験体の厚さ[mm]

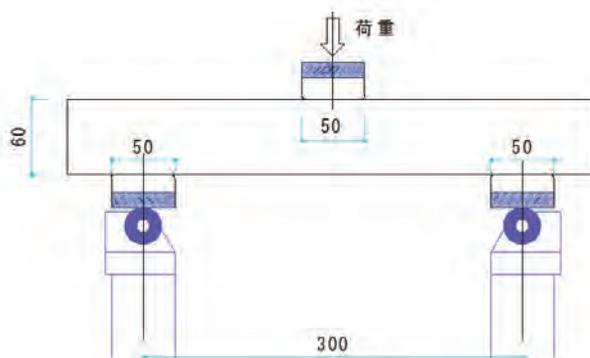


図 7-3 水平せん断試験の概要

スパン 5h, 支点 幅 50mm 平板, 加力点 幅 50mm 平板



写真 7-3 水平せん断試験の様子

### 7.3.3 破壊形態の分類

本章では、表 7-2 に示した破壊形態の分類規準に基づいて、逆対象 4 点荷重方式せん断試験および水平せん断試験の破壊形態をせん断破壊 (SH)、曲げ破壊 (BE)、複合破壊 (BS) の 3 つに分類することとした。

表 7-2 破壊形態の分類規準

破壊形態	ケース
せん断破壊 (SH)	1) 曲げ破壊が発生せず、単板の接着層もしくは接着層近接の木部でのせん断破壊で荷重のピークを迎えた場合（せん断破壊でピークを迎えた後に曲げ破壊が発生した場合も含む）。 2) 曲げ破壊が発生せず、弱軸単板の裏割れ部でのローリングシア破壊で荷重のピークを迎えた場合（ローリングシア破壊でピークを迎えた後に曲げ破壊が発生した場合も含む） 3) 比較的初期の段階で曲げ破壊が発生し、その後せん断破壊もしくはローリングシア破壊が進行し、最終的にせん断破壊もしくはローリングシア破壊で荷重のピークを迎えた場合（初期の曲げ破壊がせん断強度に影響しないと判断される場合） 4) せん断破壊もしくはローリングシア破壊の進行に伴う変形の増大に対して荷重がほぼ横ばい～漸増し、最終的に曲げ破壊して荷重のピークを迎えた場合（曲げ破壊荷重がせん断破壊荷重とほぼ同じと見なせる場合）
曲げ破壊	5) 視認できるせん断破壊もしくはローリングシア破壊が発生する前に曲げ破壊が生じ、荷重のピークを迎えた場合 6) 比較的後期の段階で曲げ破壊が発生して荷重が低下し、その後せん断破壊もしくはローリングシア破壊が進行しながら荷重が最初の曲げ破壊が発生した荷重を超え、最終的にせん断破壊もしくはローリングシア破壊で荷重のピークを迎えた場合（曲げ破壊がせん断強度に影響したと判断される場合） 7) 比較的後期の段階で曲げ破壊が発生し、その後せん断破壊もしくはローリングシア破壊が進行し、最終的にせん断破壊もしくはローリングシア破壊で荷重のピークを迎えた場合（曲げ破壊がせん断強度に影響したと判断される場合）
複合破壊	8) 6, 7) のケース以外で、曲げ破壊およびせん断破壊もしくはローリングシア破壊がほぼ同時に発生して荷重のピークを迎えた場合

## 7.4 試験結果

### 7.3.1 逆対象4点荷重方式せん断試験

表7-1に示した17仕様の供試体の逆対象4点荷重方式によるせん断試験の結果は表7-3に示した通りとなった。

#### 1) せん断スパン $S$ 、スパン $a+S$ の違いの影響

条件  $S=a=2h$  と  $S=a=3h$  のせん断強度を比較した結果を図7-4に示す。LVL型(D1, F1, H1)およびb種LVL型(D2, F2, H2)では明らかに試験条件  $S=a=2h$  で得られたせん断強度の方が  $S=a=3h$  よりも大きくなった。破壊形態を見ると、 $S=a=3h$  ではH1以外はほとんどがせん断破壊であるのに対し、 $S=a=2h$  ではほとんどが曲げ破壊となっている。理論的には  $a, S$  を短くした方が曲げ破壊が起こりにくくなるはずであるにもかかわらず曲げ破壊が増えている理由としては、めり込み等の影響により作用するせん断応力が理論式よりも低くなっていることが考えられる。その他の仕様については、統計的に有意な差はないものの、H4を除くと  $S=a=2h$  で得られたせん断強度の方が  $S=a=3h$  よりも大きくなる傾向を示している。 $S=a=3h$  では曲げ破壊が卓越してせん断破壊が起こらないことを懸念して、せん断スパンを短くした条件でも試験を行ったが、せん断スパンをあまり短くするとめり込み等の影響が出て、適切なせん断強度が得られないことを示唆する結果となっている。

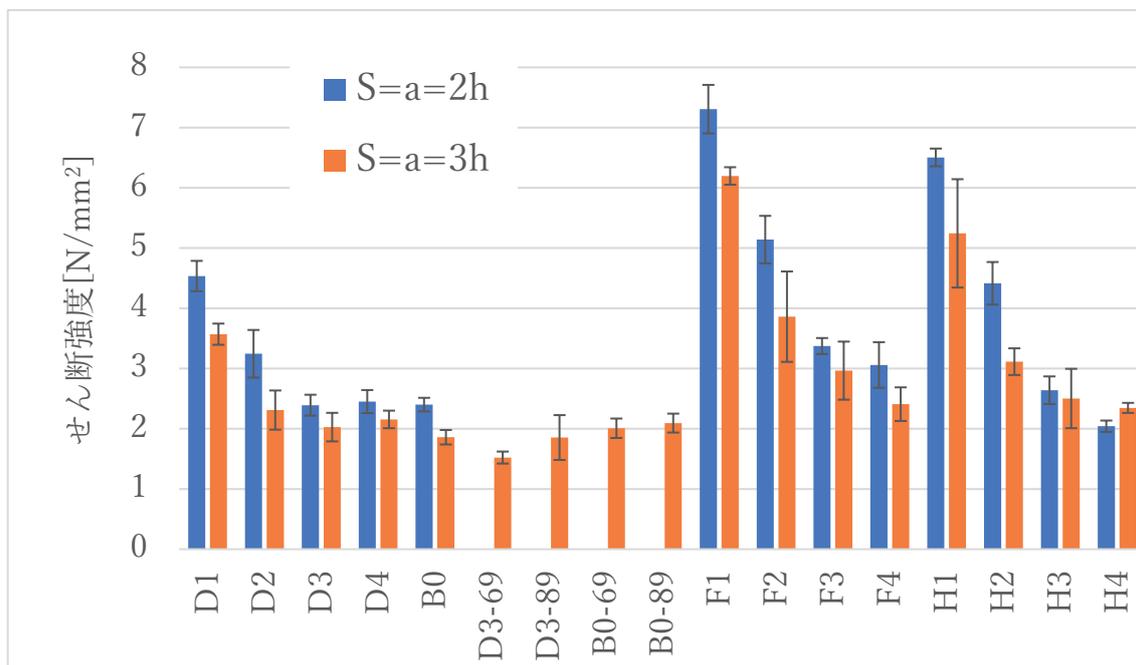


図7-4 条件  $S=a=2h$  と  $S=a=3h$  で得られたせん断強度を比較した結果

表 7-3 逆対象 4 点荷重方式せん断試験の結果

供試体	S=a=2h					S=a=3h				
	n	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	MC %	FS	n	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	MC %	FS
D1	3	407.5	4.54	9.7	1/0/2	6	409.4	3.57	10.0	5/1/0
		9.2	0.25	0.3			12.5	0.18	0.6	
D2	3	418.4	3.24	8.5	0/0/3	6	418.0	2.31	9.0	6/0/0
		11.9	0.40	0.4			12.6	0.32	0.5	
D3	3	432.3	2.39	8.6	3/0/0	6	432.7	2.03	9.3	5/0/1
		12.7	0.17	0.5			9.2	0.24	0.6	
D4	3	417.4	2.45	9.0	1/0/2	6	417.9	2.15	9.2	3/0/3
		29.8	0.19	0.3			22.7	0.15	0.7	
B0	5	411.7	2.40	8.4	4/1/0	8	410.4	1.86	8.7	8/0/0
		7.9	0.11	0.4			3.9	0.12	0.4	
D3-69					6	384.2	1.52	11.3	6/0/0	
D3-89						6	409.4	1.85	11.1	4/0/2
							9.9	0.37	0.2	
B0-69						6	414.4	2.01	12.1	4/1/1
							12.9	0.16	0.2	
B0-89						6	427.0	2.09	11.5	4/0/2
							9.9	0.16	0.2	
F1	3	484.2	7.31	8.4	0/0/3	6	485.3	6.20	8.9	6/0/0
		5.4	0.40	0.1			3.5	0.15	0.5	
F2	3	495.6	5.14	7.8	1/0/2	6	501.3	3.86	8.6	6/0/0
		3.3	0.39	0.4			2.3	0.75	0.6	
F3	3	491.1	3.37	7.2	3/0/0	6	490.0	2.96	8.4	6/0/0
		15.1	0.13	0.5			13.3	0.48	0.7	
F4	3	492.6	3.06	7.4	3/0/0	6	488.9	2.41	8.5	6/0/0
		4.2	0.38	0.4			8.5	0.28	0.6	
H1	3	592.6	6.50	6.8	1/0/2	6	597.5	5.24	8.0	3/2/1
		18.8	0.15	0.3			18.0	0.90	0.5	
H2	3	596.3	4.42	6.7	2/0/1	6	602.9	3.11	8.0	6/0/0
		9.7	0.35	0.4			14.4	0.22	0.5	
H3	3	575.7	2.64	7.2	2/0/1	6	578.4	2.50	7.9	6/0/0
		1.5	0.23	0.7			7.1	0.49	0.6	
H4	3	567.0	2.04	7.1	3/0/0	6	563.9	2.35	7.8	5/1/0
		14.0	0.09	0.4			11.5	0.08	0.6	

n:試験体数,  $\rho$ :密度[kg/m<sup>3</sup>],  $\tau$ :せん断強度[N/mm<sup>2</sup>], MC:含水率[%], FS:破壊形態

※  $\rho$ ,  $\tau$ , MC の欄の 1 行目は平均値を 2 行目は標準偏差を示す

※ FS の欄の数値は, 前から順番に SH (せん断破壊) /BS (せん断と曲げの複合破壊) /BE (曲げ破壊) の数を示す

## 2) 破壊形態 (S=a=3h)

ヒノキ (F1~F4) ではすべての試験体がせん断破壊で破壊した。カラマツについては、LVL 型 (H1) については半数が曲げ破壊・複合破壊で破壊したものの、それ以外はせん断破壊、もしくは複合破壊で破壊しており、この 2 樹種については逆対象 4 点荷重方式せん断試験により「正しい」せん断強度が得られたと考えられる。スギでは、LVL 型 (D1)、B 種 LVL 型 (D2) については、すべての試験体がせん断破壊、もしくは複合破壊で破壊していたが、その他の仕様については、二次接着・単板選別基準 60tf/cm<sup>2</sup>以上型の B0 およびワンショット・単板選別基準 60~69tf/cm<sup>2</sup>以上型の D3-69 を除き、6 体のうち 1 体以上曲げ破壊が発生した。今回の試験では試験体数が 6 と少ないため、今後試験体数を増やすと結果が変わって来ることが予想されるが、スギについては逆対象 4 点荷重方式せん断試験でも正しいせん断強度を求めることは難しいことが示唆される結果となっている。

### 7.3.2 水平せん断試験

表 7-1 に示した 17 仕様の供試体の水平せん断試験の結果は表 7-4 の通りとなった。

#### 1) 破壊形態

ヒノキ (F1~F4)、カラマツ (H1~H4) では、試験体数が少ないため限定的な結果となるが、H4 を除きすべての仕様でせん断破壊が発生した。これに対し、スギでは二次接着仕様の B0、B0-69、B0-89 では半数近くが曲げ破壊し、通常仕様の D3 でも 3 体中 2 体が曲げ破壊に分類される破壊を起こした。ただし、昨年度作成分のワンショット仕様の供試体 (D3-69、D3-89) ではせん断破壊の比率が高くなっており、試験体数が増えると結果が変わってくることを考えられる。したがって、追加実験を行って検証する必要がある。

#### 2) 逆対象 4 点荷重方式せん断試験との比較

水平せん断試験で得られたせん断強度と逆対象 4 点荷重方式せん断試験で得られたせん断強度を比較した結果を図 7-5 に示す。また、二つのせん断強度の平均値の差の検定 (t 検定) を行った結果を表 7-4 に示す。こちらも昨年度作成した供試体 (D3-69、D3-89、B0-69、B0-89) を除くと試験体数が 3 体と少ないためその範囲での限定された結果となるが、統計的に有意な差が認められたのはスギの D4、B0-69、B0-89 であり、それ以外の仕様では有意水準 5% で有意差があるとは言えないという結果となった。D4 については逆対象 4 点荷重方式せん断試験で半数の試験体が曲げ破壊により破壊しており、また、B0-69、B0-89 については水平せん断試験で約半数の試験体が曲げ破壊により破壊していることを考えると一致しないのは当然であり、スギでも対象 4 点荷重方式せん断試験ですべての試験体がせん断破壊により破壊した D3-69 についてはかなりよく一致していた。

以上の結果より、ヒノキ・カラマツについては、CLT の JAS 規格に準拠した水平せん断試験で正しいせん断強度が得られる可能性が高いこと、スギについては、低等級のものについては水平せん断試験で正しいせん断強度が得られる可能性が高いこと、スギのそれ以外の仕様については、さらに検討が必要なことが明らかとなった。

表 7-4 水平せん断試験の結果

	n	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\tau$ N/mm <sup>2</sup>	MC %	FS	t-test
D1	3	404.6	3.42	9.8	3/0/0	ns
		11.5	0.22	0.5		
D2	3	421.0	2.29	9.0	2/0/1	ns
		13.2	0.36	0.3		
D3	3	439.3	1.80	9.3	1/0/2	ns
		1.2	0.07	0.4		
D4	3	415.8	1.56	9.9	2/0/1	***
		21.1	0.09	0.3		
B0	5	420.0	1.91	9.1	3/0/2	ns
		4.3	0.09	0.4		
D3-69	15	385.5	1.57	9.6	13/0/2	ns
		9.3	0.12	0.3		
D3-89	15	410.0	1.63	8.8	13/0/2	ns
		11.7	0.14	0.7		
B0-69	15	409.8	1.84	10.6	8/0/7	*
		6.3	0.16	0.5		
B0-89	15	418.8	1.84	10.1	8/1/6	**
		8.2	0.16	0.4		
F1	3	487.9	5.71	8.7	3/0/0	ns
		6.1	0.57	0.2		
F2	3	497.2	3.07	8.5	3/0/0	ns
		11.3	0.61	0.2		
F3	3	487.2	2.77	8.2	3/0/0	ns
		13.3	0.16	0.3		
F4	3	490.2	2.39	8.3	3/0/0	ns
		4.7	0.22	0.5		
H1	3	600.5	4.63	8.0	3/0/0	ns
		22.6	0.31	0.3		
H2	3	613.3	3.34	8.1	3/0/0	ns
		5.5	0.07	0.3		
H3	3	584.8	2.21	7.9	3/0/0	ns
		5.1	0.13	0.3		
H4	3	576.8	1.90	7.9	2/0/1	ns
		13.7	0.01	0.3		

n:試験体数,  $\rho$ :密度[kg/m<sup>3</sup>],  $\tau$ :せん断強度[N/mm<sup>2</sup>], MC:含水率[%], FS:破壊形態, t-test: 逆対象 4 点荷重方式せん断試験と水平せん断試験の平均値の差の検定結果。\*: 有意水準 5% で有意差有り, \*\*: 有意水準 1% で有意差有り, \*\*\*: 有意水準 0.1% で有意差有り, ns: 有意水準 5% で有意差なし

※  $\rho$ ,  $\tau$ , MC の欄の 1 行目は平均値を 2 行目は標準偏差を示す

※ FS の欄の数値は, 前から順番に SH (せん断破壊) /BS (せん断と曲げの複合破壊) /BE (曲げ破壊) の数を示す

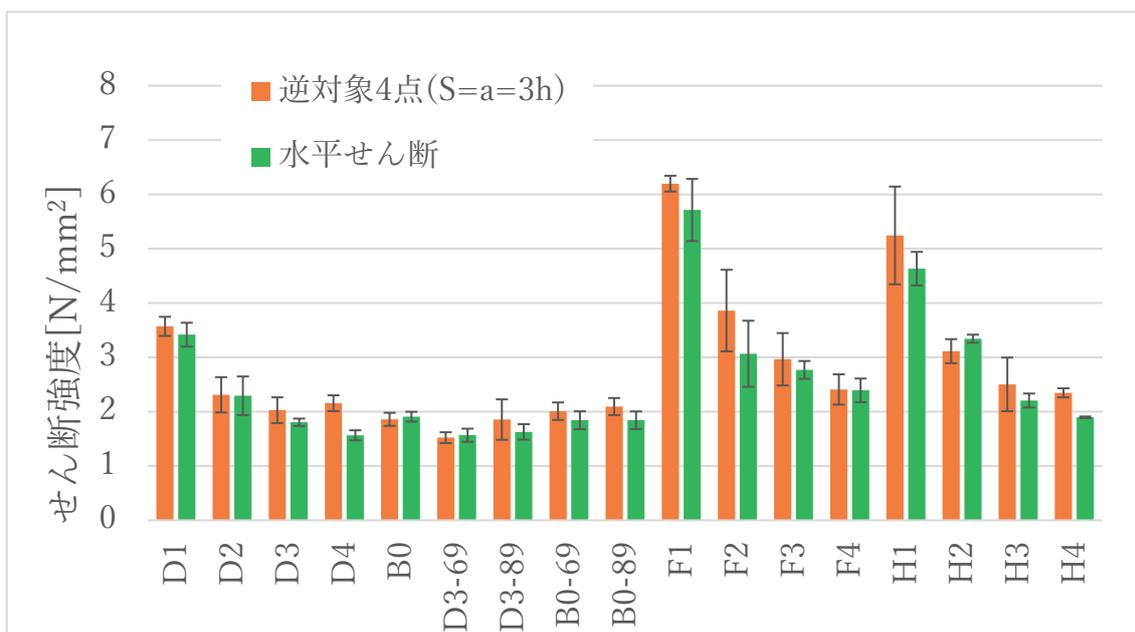


図 7-5 水平せん断試験で得られたせん断強度と逆対象 4 点荷重方式せん断試験で得られたせん断強度を比較した結果

### 7.5 まとめ

今回の実験は試験体数が少なかったため、あくまでもその範囲での限定的な結果となるが、ヒノキおよびカラマツの 2 樹種については、逆対象 4 点荷重方式せん断試験により「正しい」せん断強度を得ることができた。またこの 2 樹種については、CLT の JAS 規格に準拠した水平せん断試験においてほぼすべての試験体がせん断破壊で破壊し、また、その平均値は、逆対象 4 点荷重方式せん断試験より得られた平均値と統計的に有意差があるとは言えない値となっており、CLT の JAS 規格に準拠した水平せん断試験でも正しいせん断強度が得られる可能性が高いといえることができる。

これに対しスギについては、低等級のものについては逆対象 4 点荷重方式せん断試験では「正しい」せん断強度を求めることが可能であること、CLT の JAS 規格に準拠した水平せん断試験で正しいせん断強度が得られる可能性が高いことを示唆する結果が得られたが、同時に仕様によっては逆対象 4 点荷重方式せん断試験では「正しい」せん断強度を求めることが難しいことが示唆される結果となった。これは、スギは横圧縮強度が弱く他の 2 樹種と比べてめり込みが大きくなることが一つの要因として考えられ、今後、めり込みの影響をキャンセルできる試験法について検討を行っていく必要があると考えられる。

## 8. 接着性能

### 8.1 はじめに

単板を多層にわたって直交積層・接着して製造する超厚合板において、その接着工程の適切な管理は安定した性能を持つ製品を生産する上で重要な因子となる。同時に、その接着の程度や接着性能を評価するための手法の確立や、判定基準の策定に向けたデータ収集に取り組む必要がある。そのためには、既存の木質材料の材料規格における評価方法の適用可能性や新たな方法の検討を進めることが考えられる。そこで本事業では、試作した超厚合板の接着性能について、同じく単板をエレメントとし比較的厚い製品を有する単板積層材に対する接着性能評価方法を用いて、接着性能の把握と当該評価方法の適用性の検証を進めた。また当該試験を用いた場合の判定基準の設定に資するデータ解析を行った。

### 8.2 超厚合板の接着性能評価について

超厚合板の接着性能の評価に適した手法を検討するために、他の材料規格の評価方法を参照した。比較対象として、エレメントやその構成が類似した材料を採り上げることとし、超厚合板と同様に構造用を企図し大断面・大面積を有する直交集成板、単板をエレメントとする単板積層材及び合板を選定した。表 8-1 に直交集成板、単板積層材及び合板の日本農林規格（JAS 規格）における接着性能に関する試験方法の比較を示す。直交集成板及び単板積層材においては、いわゆる接着剝離試験が規定されている。これは厚さをそのままとした 75mm×75mm の試験片を用いて、促進劣化処理（浸せき、煮沸、減圧加圧）を行った後の各接着層の剝離を測定し剝離率を求めるものである。目視による判定のため、接着層が多層となる場合に時間を必要とする可能性があるが、大断面を有する材料においても試験片の加工が比較的容易である。同じく直交集成板及び単板積層材に規定されるブロックせん断試験は、接着強さを判定するものであり、超厚合板においても二次接着層の判定には有用であると考えられる。合板において規定されている、いわゆる引張せん断試験は、促進劣化処理を行った後に接着強さを測定する試験である。接着剝離と接着強さの両方を判定できるものの、個々の接着層を対象とすることと試験片形状がやや複雑であり加工に手間を要することから、多層の接着層である超厚合板に対して、そのまま適用するには難しいと考えられる。試験方法がそれぞれ特徴を有することは当然であるが、材料規格に定められる手法は、エレメントの大きさや製造方法、想定される用途や使用環境、工程管理のしやすさと深く関連している。超厚合板の接着性能評価には、上述した既存の評価方法をそのまま適用することも想定されるが、製造上の課題について同時に検証しながら確立していく必要があると考えられる。

また、木質材料の接着性能の評価方法は、当該材料に負荷する水分と熱の組み合わせの条件（常態、吸水、煮沸、乾燥等）と、負荷した後に接着性能を判定する項目、すなわちどのくらい剝がれるか（剝離）またはどの程度の接着力があるか（接着強さ）を大きな因子として構成されている。評価方法を新たに検討する上では、どのような環境条件でどの接着性能を見るのが適しているか、という観点で、評価手法を検討することも重要であると考えられる。

表 8-1 直交集成板、単板積層材及び合板の JAS 規格における  
接着性能に関する試験方法の比較

材料	JAS 規格における接着性能評価（構造物用）		JAS 規格上の 分類	接着剤 の種類
	主な評価項目（概要）	特徴		
CLT*	接着剥離試験（CLT, LVL） ブロックせん断試験 （CLT, LVL 二次接着） 水平せん断試験（LVL）	剥離試験片は加工が比較 的容易。CLT ブロック せん断は木部破断率の みの評価。	使用環境 （A, B, C）	規定 あり
LVL*				
合板	引張りせん断試験 （各接着層のせん断強さ、木 部破断率）	試験片 1 種類でせん断 強さ・木破率両方測定 可。接着層数が多いと実 施困難。	類別 （特類, 1 類）	規定 なし

\*本表では便宜的に直交集成板を CLT、単板積層材を LVL と表す。

### 8.3 超厚合板の接着性能の実証試験

#### 8.3.1 試験の概要

本事業では 3 章で述べたような仕様のワンショット型で試作した超厚合板を対象としている。接着性能に関しては、厚さ 144mm 及び厚さ 60mm のシリーズを対象とするとともに、厚さ 144mm については比較対象として二次接着型の試作試験体も実証を進めた。試験方法については、前述の 8.2 章で行った試験方法の比較検討の中から、直交集成板及び単板積層材の JAS 規格において接着の程度の判定に用いられる接着剥離試験を選定し、試作試験体の接着性能や影響因子について検討した。また将来的に接着性能の判定基準を設定することを想定して、当該試験による剥離率についてデータを整理した。

#### 8.3.2 試験方法

直交集成板及び単板積層材の JAS 規格における剥離試験（煮沸処理、減圧加圧処理及び冷水浸せき処理。処理条件は JAS 規格の通り。いずれも 2 回繰り返す。）を行った。試験片のサイズは 75×75×厚さ 144 (mm) とした。本事業で試作した超厚合板の原板 1 枚から、600×200×厚さ (mm) 程度の試験体を採取し、これより各処理それぞれ 2 片ずつの試験片を採取した。図 8-1 に接着剥離試験、煮沸処理、煮沸後の浸せき処理後の試験片を示す。各処理の繰り返し毎に接着層に生じた剥離長さを測定し、接着層長さに対する剥離率を算出した。試験片全体（4 側面）における剥離率と同一接着層における剥離率にて評価を行った。試験は、日本合板検査会の協力の下で実施した。



図 8-1 接着剥離試験片、煮沸処理及び煮沸一浸せき処理後の試験片（左から）

### 8.3.3 結果及び考察

#### 8.3.3.1 厚さ 144mm のスギ、ヒノキ及びカラマツ超厚合板の接着性能

単板にスギ、ヒノキ及びカラマツを用いた厚さ 144mm のワンショット型超厚合板の接着剥離試験の結果を表 8-2 に示す。試験片全体の剥離率は、単板樹種及び単板ヤング係数の区分に依らず、いずれも 1%以下の低い値となった。また処理を繰り返すことで剥離率がわずかに増加するものもあったが、全体が低い値であるため明確な傾向は確認されなかった。単板樹種で比較すると、スギよりもヒノキ、カラマツの方がやや剥離率が高い傾向がみられた。また比較対象として、同仕様の二次接着型超厚合板の接着剥離試験の結果を表 8-3 に示す。本事業では、ワンショットと二次接着との製造工程において、接着に関する条件ができるだけ異ならないよう、使用接着剤は共通するとともに高周波プレス条件も同じとした。両者には層構成において幾分相違があり、ワンショットは 41 プライ（接着層 40 層）、二次接着型は 24mm 合板（7 プライ）6 枚を二次接着したもので 42 プライ（接着層 41 層、うち平行接着層 5 層）となる。試験片全体の剥離状況にはこの違いは明確ではなく、両者はほぼ同様の剥離率を示した。二次接着層（平行接着層）における剥離はほとんど見られなかった。水分変化に対する単板の膨潤収縮が接着層に及ぼす影響が直交層よりも平行層の方が小さいことが現れた結果と考えられる。またこれら剥離率の数値は、単板積層材の JAS 規格の基準（5%以下）を目安として比較しても、いずれも超過しない結果となった。すなわち、本事業で用いた製造方法による超厚合板では良好な接着性能が得られることが示唆される。

表 8-2 接着剥離試験による厚さ 144mm 超厚合板（ワンショット型）の試験片全体の剥離率

単板樹種	単板ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	接着剥離試験による試験片全体の剥離率(%)*1					
		減圧加圧		煮沸		冷水浸せき	
		1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
スギ	選別なし	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
	6.0 以上	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2
	6.0-6.9	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
	6.0-8.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
ヒノキ	9.0-9.9	0.1	0.3	0.1	0.3	0.0	0.1
	9.0-11.9	0.4	0.6	0.7	0.7	0.6	0.8
カラマツ	12.0-12.9	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1
	12.0-14.9	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5

\*1：平均値。試験片数は下記の通り。

スギ（選別なし 6.0 以上）：10 片、スギ（6.0-6.9、6.0-8.9）、ヒノキ、カラマツ：8 片

表 8-3 接着剥離試験による厚さ 144mm 超厚合板（二次接着型）の試験片全体の剥離率

単板樹種	単板ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	接着剥離試験による試験片全体の剥離率(%)*1					
		減圧加圧		煮沸		冷水浸せき	
		1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
スギ	選別なし	0.1	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2
	6.0以上	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
	6.0-6.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	6.0-8.9	0.0	0.1	0.2	0.3	0.0	0.0
ヒノキ	9.0-9.9	0.3	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
	9.0-11.9	0.5	0.6	0.5	0.7	0.4	0.5
カラマツ	12.0-12.9	0.2	0.3	0.4	0.5	0.1	0.1
	12.0-14.9	0.4	0.6	0.4	0.9	0.1	0.2

\*1：平均値。試験片数は下記の通り。

スギ：いずれの仕様も 10 片、ヒノキ、カラマツ：8 片

接着剥離試験による同一接着層の剥離の状況について、表 8-4 にワンショット型、表 8-5 に二次接着型の結果をそれぞれ示す。単板積層材の JAS 規格では、接着剥離試験による判定基準は「同一接着層における剥離の長さがそれぞれの側面において当該接着層の長さの 1/4 以下であること。」と規定されている。超厚合板の剥離の傾向を把握するため、本試験結果にこの基準を適用した。その結果、スギ超厚合板では超過した接着層数は単板ヤング係数 6.0-6.9 において 1 ないし 2 であったが、ヒノキ及びカラマツ超厚合板ではスギと比較して多い結果となり、特に単板ヤング係数が高い方が多く出現した。製造方法の違いによる影響は確認されなかった。判定基準が定まっていない現状では、今回の結果から一概に接着の良否を論じることができないが、同一接着層における剥離の測定により、超厚合板の接着剥離における単板樹種の依存性や剥離の出現頻度を把握することができた。

表 8-4 接着剥離試験による厚さ 144mm 超厚合板（ワンショット型）の同一接着層における剥離の結果

単板樹種	単板ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	剥離長さが接着層長さの 1/4 を超えた同一接着層数及び試験片数*1					
		減圧加圧		煮沸		冷水浸せき	
		1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
スギ	選別なし	1(1)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
	6.0以上	0(0)	1(1)	0(0)	1(1)	1(1)	4(4)
	6.0-6.9	1(1)	2(2)	0(0)	1(1)	1(1)	1(1)
	6.0-8.9	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
ヒノキ	9.0-9.9	1(1)	1(1)	0(0)	4(3)	0(0)	1(1)
	9.0-11.9	6(3)	9(3)	12(4)	12(4)	7(4)	12(5)
カラマツ	12.0-12.9	2(2)	3(3)	2(2)	4(2)	2(2)	2(2)
	12.0-14.9	7(4)	9(4)	4(3)	4(3)	6(4)	7(4)

\*1：括弧内は同一接着層において接着層長さの 1/4 を超えた長さの剥離を生じた試験片数。

表 8-5 接着剥離試験による厚さ 144mm 超厚合板（二次接着型）の  
同一接着層における剥離の結果

単板樹種	単板ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	剥離長さが接着層長さの 1/4 を超えた同一接着層数及び試験片数*1					
		減圧加圧		煮沸		冷水浸せき	
		1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
スギ	選別なし	1 (1)	9 (6)	8 (4)	10 (5)	1 (1)	2 (2)
	6.0 以上	1 (1)	2 (2)	1 (1)	1 (1)	0 (0)	2 (2)
	6.0-6.9	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	0 (0)	0 (0)
	6.0-8.9	0 (0)	1 (1)	7 (1)	7 (1)	0 (0)	0 (0)
ヒノキ	9.0-9.9	6 (3)	6 (3)	2 (1)	6 (3)	3 (3)	6 (5)
	9.0-11.9	9 (4)	10 (5)	8 (4)	10 (6)	5 (5)	7 (5)
カラマツ	12.0-12.9	4 (3)	5 (4)	5 (3)	7 (4)	1 (1)	1 (1)
	12.0-14.9	6 (3)	11 (4)	6 (3)	18 (7)	2 (1)	2 (1)

\*1：括弧内は同一接着層において接着層長さの 1/4 を超えた長さの剥離を生じた試験片数。

同一接着層における剥離率について、表 8-4、8-5 では目安として単板積層材の JAS 規格における判定基準による結果の解析を示したが、これらの試験方法で超厚合板の接着性能を評価する場合には、判定基準の設定には様々な検討が必要と考えられる。例えば、ラミナをエレメントとする集成材と直交集成板のそれぞれの JAS 規格では同様の接着剥離試験が規定されている。試験片の大きさは必ずしも同じではないものの、剥離率の判定基準については、集成材では試験片全体は 5%以下、同一接着層では剥離の長さの合計がそれぞれの接着層の長さの 4 分の 1 (=25%) 以下（木口面において）である一方、直交集成板では試験片全体は 10%以下、直交接着層の同一接着層では剥離の長さの合計がそれぞれの接着層の長さの 40%（4 側面において）以下とそれぞれ規定されている。すなわち、平行積層した接着層に対して、ラミナの膨潤収縮の影響が大きいと考えられる直交積層した接着層においては大きな剥離率が判定基準となっていると考えられる。このことを単板をエレメントとし主に平行積層する単板積層材と主に直交積層する超厚合板に対して、考慮すべきであるかどうかの検討は必要と考えられる。またその際の具体的な判定基準についても、試験試験体のデータの蓄積に基づいて検討を進める必要がある。

同一接着層の剥離率について、本事業の試作試験体の結果としてはヒノキ及びカラマツの数値が幾分高い傾向がみられた。そこで、これらの試験結果を対象として、詳細に解析を進めることとした。表 8-6、8-7 に、厚さ 144mm ヒノキ及びカラマツ超厚合板（ワンショット及び二次接着）の減圧加圧剥離試験による同一接着層における剥離率の累積比率をそれぞれ示す。同様に、表 8-8、8-9 に、厚さ 144mm ヒノキ及びカラマツ超厚合板の煮沸剥離試験による同一接着層における剥離率の累積比率をそれぞれ示す。表に示す接着層の合計は、各試験条件における試験片の同一接着層数（接着層数×4 側面）と試験片数の積である。いずれも 97%以上が剥離率 0%以上 5%未満の区間となっているが、それ以上の出現頻度と剥離率の関係から、試験片の棄却率と剥離率の設定を考察することができる。本データのみからは一概に判断することは難しいが、このようなデータの蓄積を進めることにより、判定基準の設定を検討することが可能となる。

表 8-6 厚さ 144mm ヒノキ超厚合板における減圧加圧剥離試験による  
同一接着層における剥離率の累積比率

剥離率 区間 (%)	ヒノキ・ワンショット				ヒノキ・二次接着			
	単板ヤング係数 9.0-9.9		単板ヤング係数 9.0-11.9		単板ヤング係数 9.0-9.9		単板ヤング係数 9.0-11.9	
	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率
0	1248	97.5	1242	97.0	1292	98.5	1286	98.0
5	16	98.8	15	98.2	4	98.8	6	98.5
10	7	99.3	8	98.8	4	99.1	7	99.0
15	6	99.8	3	99.1	3	99.3	2	99.2
20	2	99.9	3	99.3	3	99.5	1	99.2
25	0	99.9	2	99.5	0	99.5	1	99.3
30	0	99.9	0	99.5	0	99.5	2	99.5
35	0	99.9	2	99.6	2	99.7	1	99.5
40	0	99.9	0	99.6	2	99.8	1	99.6
45	0	99.9	0	99.6	0	99.8	0	99.6
50	0	99.9	1	99.7	0	99.8	0	99.6
55	1	100.0	1	99.8	1	99.9	1	99.7
60	0	100.0	0	99.8	0	99.9	0	99.7
65	0	100.0	0	99.8	0	99.9	0	99.7
70	0	100.0	1	99.8	0	99.9	0	99.7
75	0	100.0	0	99.8	0	99.9	1	99.8
80	0	100.0	1	99.9	0	99.9	1	99.8
85	0	100.0	1	100.0	1	100.0	0	99.8
90	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	99.8
95	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	99.8
100	0	100.0	0	100.0	0	100.0	2	100.0
合計	1280		1280		1312		1312	

表 8-7 厚さ 144mm カラマツ超厚合板における減圧加圧剥離試験による  
同一接着層における剥離率の累積比率

剥離率 区間 (%)	カラマツ・ワンショット				カラマツ・二次接着			
	単板ヤング係数 9.0-9.9		単板ヤング係数 9.0-11.9		単板ヤング係数 9.0-9.9		単板ヤング係数 9.0-11.9	
	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率
0	1266	98.9	1252	97.8	1301	99.2	1274	97.1
5	4	99.2	7	98.4	1	99.2	12	98.0
10	3	99.5	6	98.8	1	99.3	6	98.5
15	2	99.6	4	99.1	0	99.3	4	98.8
20	2	99.8	2	99.3	4	99.6	6	99.2
25	0	99.8	4	99.6	1	99.7	3	99.5
30	2	99.9	3	99.8	3	99.9	3	99.7
35	0	99.9	1	99.9	0	99.9	1	99.8
40	1	100.0	0	99.9	0	99.9	3	100.0
45	0	100.0	0	99.9	1	100.0	0	100.0
50	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
55	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
60	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
65	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
70	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
75	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
80	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
85	0	100.0	1	100.0	0	100.0	0	100.0
90	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
95	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
100	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
合計	1280		1280		1312		1312	

表 8-8 厚さ 144mm ヒノキ超厚合板における煮沸剥離試験による  
同一接着層における剥離率の累積比率

剥離率 区間 (%)	ヒノキ・ワンショット				ヒノキ・二次接着			
	単板ヤング係数 9.0-9.9		単板ヤング係数 9.0-11.9		単板ヤング係数 9.0-9.9		単板ヤング係数 9.0-11.9	
	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率
0	1265	98.8	1255	98.0	1296	98.8	1294	98.6
5	2	99.0	4	98.4	5	99.2	1	98.7
10	6	99.5	5	98.8	1	99.2	4	99.0
15	1	99.5	3	99.0	3	99.5	3	99.2
20	2	99.7	1	99.1	1	99.5	0	99.2
25	0	99.7	1	99.1	2	99.7	1	99.3
30	2	99.8	2	99.3	1	99.8	1	99.4
35	1	99.9	0	99.3	0	99.8	0	99.4
40	0	99.9	2	99.5	0	99.8	0	99.4
45	0	99.9	1	99.5	1	99.8	1	99.5
50	0	99.9	3	99.8	0	99.8	1	99.5
55	0	99.9	1	99.8	0	99.8	1	99.6
60	1	100.0	1	99.9	0	99.8	1	99.7
65	0	100.0	0	99.9	0	99.8	1	99.8
70	0	100.0	0	99.9	0	99.8	1	99.8
75	0	100.0	1	100.0	0	99.8	0	99.8
80	0	100.0	0	100.0	0	99.8	0	99.8
85	0	100.0	0	100.0	0	99.8	0	99.8
90	0	100.0	0	100.0	1	99.9	1	99.9
95	0	100.0	0	100.0	0	99.9	0	99.9
100	0	100.0	0	100.0	1	100.0	1	100.0
合計	1280		1280		1312		1312	

表 8-9 厚さ 144mm カラマツ超厚合板における煮沸剥離試験による  
同一接着層における剥離率の累積比率

剥離率 区間 (%)	カラマツ・ワンショット				カラマツ・二次接着			
	単板ヤング係数 9.0-9.9		単板ヤング係数 9.0-11.9		単板ヤング係数 9.0-9.9		単板ヤング係数 9.0-11.9	
	接着層数	累積%	接着層数	累積%	接着層数	累積%	接着層数	累積%
0	1269	99.1	1262	98.6	1295	98.7	1268	96.6
5	4	99.5	1	98.7	5	99.1	4	97.0
10	0	99.5	9	99.4	3	99.3	12	97.9
15	0	99.5	4	99.7	1	99.4	5	98.2
20	3	99.7	0	99.7	1	99.5	5	98.6
25	0	99.7	0	99.7	1	99.5	7	99.2
30	1	99.8	1	99.8	2	99.7	1	99.2
35	0	99.8	0	99.8	0	99.7	5	99.6
40	2	99.9	0	99.8	1	99.8	2	99.8
45	1	100.0	1	99.8	0	99.8	1	99.8
50	0	100.0	0	99.8	0	99.8	0	99.8
55	0	100.0	0	99.8	0	99.8	0	99.8
60	0	100.0	1	99.9	0	99.8	0	99.8
65	0	100.0	0	99.9	3	100.0	1	99.9
70	0	100.0	0	99.9	0	100.0	1	100.0
75	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
80	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
85	0	100.0	1	100.0	0	100.0	0	100.0
90	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
95	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
100	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
合計	1280		1280		1312		1312	

### 8.3.3.2 厚さ 60mm のスギ超厚合板の接着性能

厚さ 60mm のスギ超厚合板の接着剥離試験の結果を表 8-10 に示す。試験片全体の剥離率は、ほとんどが 1%以下の低い値であり、前項と同様に単板積層材の JAS 規格の基準（5%以下）を目安として比較しても、いずれも超過しない結果となった。表 8-11 に接着剥離試験による同一接着層の剥離測定結果を示す。前項と同様に単板積層材の JAS 規格の基準を目安として検証した。同一接着層の剥離において、単板の配向や単板ヤング係数の明確な影響は確認されなかった。また、特に減圧加圧及び冷水浸せきの繰返し 2 回目と煮沸においては、一部の試験体においてやや剥離を多く検出することができたことから、今回適用した熱及び水分履歴を繰返し与えるような性能評価方法が有用であると同時に、基準値や合格判定基準について検討が必要であることが明らかとなった。加えて、本結果を踏まえて今回の試験体試作工程を検証した結果、直交単板の積層等の接着工程における堆積時間の確保にやや困難があることが把握できた。これは今後、実生産を進める上での注意点と考えられる。さらに前項と同様の目的で、表 8-12、8-13 に厚さ 60mm 超厚合板（スギ・19 プライ）における減圧加圧剥離試験及び煮沸剥離試験による同一接着層における剥離率の累積比率を示す。同様に表 8-14 に厚さ 60mm 超厚合板（スギ・21 プライ）の結果を示す。

表 8-10 接着剥離試験による厚さ 60mm スギ超厚合板の試験片全体の剥離率

単板構成	単板ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	接着剥離試験による試験片全体の剥離率 (%) <sup>*1</sup>					
		減圧加圧		煮沸		冷水浸せき	
		1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
19 プライ 正寸	6.0-6.9	0.0	0.5	0.3	0.5	0.1	0.2
	6.0-8.9	0.4	1.0	0.8	0.8	0.4	0.8
19 プライ 逆寸	6.0-6.9	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0	0.2
	6.0-8.9	0.1	0.1	0.6	0.7	0.1	0.3
21 プライ 正寸	6.0-6.9	0.6	1.2	0.9	1.3	0.2	1.3
	6.0-8.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3

\*1：平均値。試験片数はいずれも 10 片。

表 8-11 接着剥離試験による厚さ 60mm スギ超厚合板の試験片全体の剥離率

単板構成	単板ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	剥離長さが接着層長さの 1/4 を超えた同一接着層数及び試験片数 <sup>*1</sup>					
		減圧加圧		煮沸		冷水浸せき	
		1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
19 プライ 正寸	6.0-6.9	0(0)	4(3)	3(3)	3(3)	1(1)	1(1)
	6.0-8.9	2(2)	12(4)	9(2)	9(2)	5(3)	7(4)
19 プライ 逆寸	6.0-6.9	0(0)	1(1)	2(2)	2(2)	0(0)	2(2)
	6.0-8.9	1(1)	1(1)	6(3)	6(3)	0(0)	1(1)
21 プライ 正寸	6.0-6.9	8(5)	15(5)	9(4)	13(4)	2(2)	17(8)
	6.0-8.9	1(1)	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	2(1)

\*1：括弧内は同一接着層において接着層長さの 1/4 を超えた長さの剥離を生じた試験片数。

表 8-12 厚さ 60mm 超厚合板（スギ・19 プライ）における減圧加圧剥離試験による  
同一接着層における剥離率の累積比率

剥離率 区間 (%)	スギ・19 プライ・正寸				スギ・19 プライ・逆寸			
	単板ヤング係数 6.0-6.9		単板ヤング係数 6.0-8.9		単板ヤング係数 6.0-6.9		単板ヤング係数 6.0-8.9	
	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率
0	700	97.2	695	96.5	712	98.9	716	99.4
5	10	98.6	7	97.5	6	99.7	3	99.9
10	3	99.0	2	97.8	1	99.9	0	99.9
15	2	99.3	4	98.3	0	99.9	0	99.9
20	1	99.4	0	98.3	0	99.9	0	99.9
25	0	99.4	3	98.8	0	99.9	1	100.0
30	1	99.6	1	98.9	0	99.9	0	100.0
35	0	99.6	3	99.3	0	99.9	0	100.0
40	0	99.6	2	99.6	1	100.0	0	100.0
45	0	99.6	0	99.6	0	100.0	0	100.0
50	1	99.7	0	99.6	0	100.0	0	100.0
55	0	99.7	0	99.6	0	100.0	0	100.0
60	1	99.9	0	99.6	0	100.0	0	100.0
65	0	99.9	2	99.9	0	100.0	0	100.0
70	0	99.9	0	99.9	0	100.0	0	100.0
75	0	99.9	0	99.9	0	100.0	0	100.0
80	0	99.9	0	99.9	0	100.0	0	100.0
85	0	99.9	0	99.9	0	100.0	0	100.0
90	1	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
95	0	100.0	0	99.9	0	100.0	0	100.0
100	0	100.0	1	100.0	0	100.0	0	100.0
合計	720		720		720		720	

表 8-13 厚さ 60mm 超厚合板（スギ・19 プライ）における煮沸剥離試験による  
同一接着層における剥離率の累積比率

剥離率 区間 (%)	スギ・19 プライ・正寸				スギ・19 プライ・逆寸			
	単板ヤング係数 6.0-6.9		単板ヤング係数 6.0-8.9		単板ヤング係数 6.0-6.9		単板ヤング係数 6.0-8.9	
	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率
0	707	98.2	699	97.1	710	98.6	702	97.5
5	4	98.8	5	97.8	6	99.4	4	98.1
10	1	98.9	5	98.5	1	99.6	3	98.5
15	2	99.2	1	98.6	1	99.7	2	98.8
20	3	99.6	1	98.8	0	99.7	3	99.2
25	0	99.6	1	98.9	1	99.9	0	99.2
30	1	99.7	3	99.3	1	100.0	1	99.3
35	0	99.7	0	99.3	0	100.0	2	99.6
40	0	99.7	0	99.3	0	100.0	0	99.6
45	0	99.7	2	99.6	0	100.0	1	99.7
50	0	99.7	0	99.6	0	100.0	0	99.7
55	0	99.7	0	99.6	0	100.0	0	99.7
60	0	99.7	0	99.6	0	100.0	1	99.9
65	1	99.9	1	99.7	0	100.0	0	99.9
70	0	99.9	1	99.9	0	100.0	0	99.9
75	0	99.9	1	100.0	0	100.0	0	99.9
80	0	99.9	0	100.0	0	100.0	0	99.9
85	1	100.0	0	100.0	0	100.0	0	99.9
90	0	100.0	0	100.0	0	100.0	1	100.0
95	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
100	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
合計	720		720		720		720	

表 8-14 厚さ 60mm 超厚合板（スギ・21 プライ）における煮沸剥離試験及び減圧加圧剥離試験による同一接着層における剥離率の累積比率

剥離率 区間 (%)	スギ・21 プライ・正寸 煮沸剥離試験				スギ・21 プライ・正寸 減圧加圧剥離試験			
	単板ヤング係数 6.0-6.9		単板ヤング係数 6.0-8.9		単板ヤング係数 6.0-8.9		単板ヤング係数 6.0-6.9	
	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率	接着層数	累積比率
0	755	94.4	792	99.0	754	94.3	797	99.6
5	9	95.5	4	99.5	5	94.9	0	99.6
10	13	97.1	1	99.6	14	96.6	1	99.8
15	6	97.9	1	99.8	6	97.4	1	99.9
20	4	98.4	2	100.0	6	98.1	0	99.9
25	3	98.8	0	100.0	4	98.6	1	100.0
30	0	98.8	0	100.0	6	99.4	0	100.0
35	0	98.8	0	100.0	2	99.6	0	100.0
40	5	99.4	0	100.0	0	99.6	0	100.0
45	2	99.6	0	100.0	1	99.8	0	100.0
50	0	99.6	0	100.0	2	100.0	0	100.0
55	0	99.6	0	100.0	0	100.0	0	100.0
60	0	99.6	0	100.0	0	100.0	0	100.0
65	0	99.6	0	100.0	0	100.0	0	100.0
70	1	99.8	0	100.0	0	100.0	0	100.0
75	1	99.9	0	100.0	0	100.0	0	100.0
80	1	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
85	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
90	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
95	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
100	0	100.0	0	100.0	0	100.0	0	100.0
合計	800		800		800		800	

#### 8.4 まとめ

本事業で試作した単板樹種や単板選別、層構成の異なる超厚合板について、単板積層材の JAS 規格の構造用単板積層材に規定される接着剥離試験を適用して、接着性能の傾向を把握するとともに評価方法の適用性を検証した。試験片全体の剥離率は低いことから、本事業で用いた製造条件においては良好な接着が得られることが示唆された。一方、特に同一接着層における剥離については、単板樹種の影響の可能性が把握されるとともに、良好で無い接着の状態を確認できることから、超厚合板の実生産における工程の手順や管理方法における課題ならびに性能評価の検討項目を抽出することができると考えられる。また、接着剥離試験を超厚合板に適用する場合、今後の判定基準の設定に資するデータ解析を行うことができた。さらに今後も接着性能への影響因子の特定やデータの蓄積が必要であると考えられる。なお本稿では、得られた成果の理解を補助するため、前年度の成果を一部再掲した。

## 9. 接合部性能

### 9.1 支圧試験

#### 9.1.1 試験目的

超厚合板の支圧剛性に及ぼす表層単板繊維角度の影響を把握するために、加力方向に対する表層単板繊維角度を実験変数として、支圧試験を実施した。

#### 9.1.2 試験体概要

試験体には、平行層と直交層の構成比が 1.14:1.00 である 41 プライ、厚さ 142~150mm のスギ超厚合板を用いた。エレメントに用いた平行層単板のヤング係数は下限値が 6.0GPa であり、上限値には制限を設けなかった。なお、直交層単板についてはヤング係数による選別は行っていない。超厚合板はこれらの単板を 1 次接着のみで積層接着して製造し、その接着剤にはフェノール樹脂接着剤を用いた。そこから 145×145mm の試験体を切り出し、木口面に試験治具を設置するための直径 16mm の半円切り欠きを加工した。試験条件として 1 つの因子を設定し、それは加力方向に対する表層単板の繊維角度:  $\theta$  である。 $\theta$  は  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  の 5 つの水準を設定した。図 9-1 に試験体図を、表 9-1 に試験体の基礎物性値を、表 9-2 に試験体一覧をそれぞれ示す。

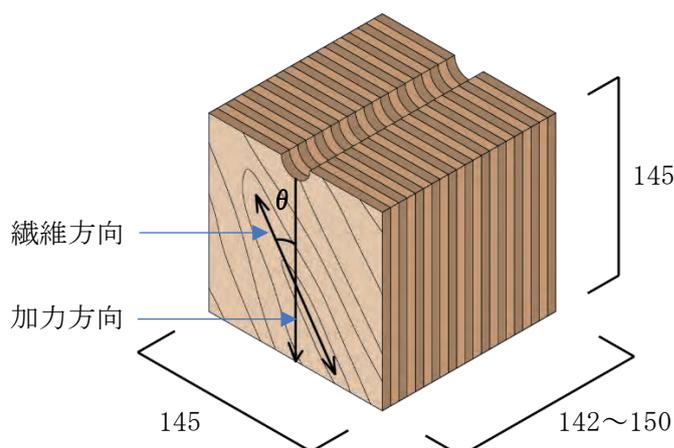


図 9-1 試験体図 (単位: mm)

表 9-1 支圧試験体基礎物性値

密度		含水率	
平均値	C. V.	平均値	C. V.
[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]
429	2.3	10.4	7.2

表 9-2 支圧試験体一覧

試験体名	加力角度 [°]	治具径 [mm]	試験体数
0_16	0		
15_16	15		6
30_16	30	16	
45_16	45		5
90_16	90		6

### 9.1.3 試験方法

試験方法は ASTM-D5764 に準じ、加力速度は 1mm/min とした。試験体に設けた半円切り欠きに治具を設置した後、単調圧縮载荷を行った。载荷は変位 40mm 程度に達するまでか、試験機の容量である 100kN に達するまで行った。変位は試験機のクロスヘッドの絶対変位を計測した。図 9-2 に試験概要を、写真 9-1 に試験実施状況をそれぞれ示す。

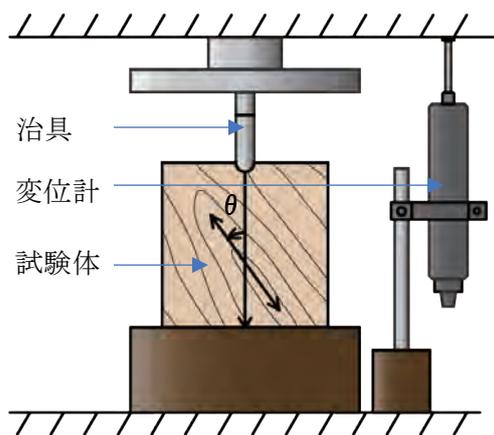


図 9-2 試験概要

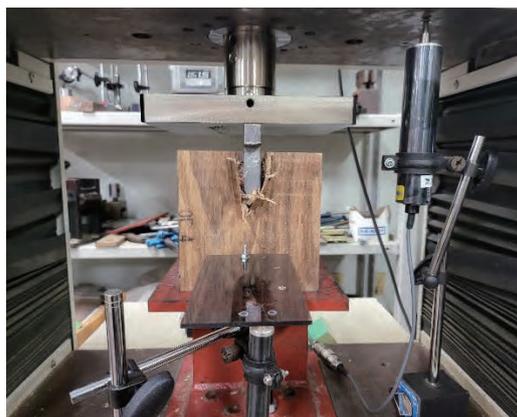


写真 9-1 試験実施状況

### 9.1.4 試験結果

試験結果より得られた荷重値を治具の試験体に対する正射影面積で除した値を支圧応力と定義し、支圧応力—変位曲線を得た。図 9-3 に各仕様の代表的な支圧応力—変位曲線を示す。支圧応力 5.0N/mm<sup>2</sup> から 17.5N/mm<sup>2</sup> 間に最小二乗法を適用して回帰直線を算出し、この直線の傾きを支圧剛性と定義した。2 次剛性については変位 3.0mm から 15.0mm の範囲に最小二乗法を適用して回帰直線を算出し、この直線の傾きを 2 次剛性と定義した。表 9-3 に支圧剛性及び 2 次剛性を、写真 9-2 に代表的な破壊性状をそれぞれ示す。

支圧剛性の大小関係は 90° 仕様 > 0° 仕様 > 15° 仕様 > 45° 仕様 > 30° 仕様であり、0° 仕様を基準値とすると +11.4% ~ -13.3% であった。変動係数 (C.V.) の大小関係は 0° 仕様 ≒ 90° 仕様 > 15° 仕様 > 30° 仕様 > 45° 仕様であった。2 次剛性の大小関係は 45° 仕様 > 30° 仕様 > 15° 仕様 > 0° 仕様 ≒ 90° 仕様であり、角度の増加に伴い 2 次剛性は増大し、大小関係は支圧剛性のそれとは反対の傾向を示した。0° 仕様を基準値とすると -2% ~ +255% であった。変動係数 (C.V.) の大小関係は 15° 仕様 > 90° 仕様 > 0° 仕様 > 30° 仕様 > 45° 仕様であった。支圧剛性の変動係数は 0° 仕様 ≒ 90° 仕様 > 15° 仕様 > 30° 仕様 > 45° 仕様であり、2 次剛性の傾向と厳密には異なるが、大局的には 0° 仕様、90° 仕様、15° 仕様で高く、30° 仕様と 45° 仕様で低くなるという同様の傾向を示した。

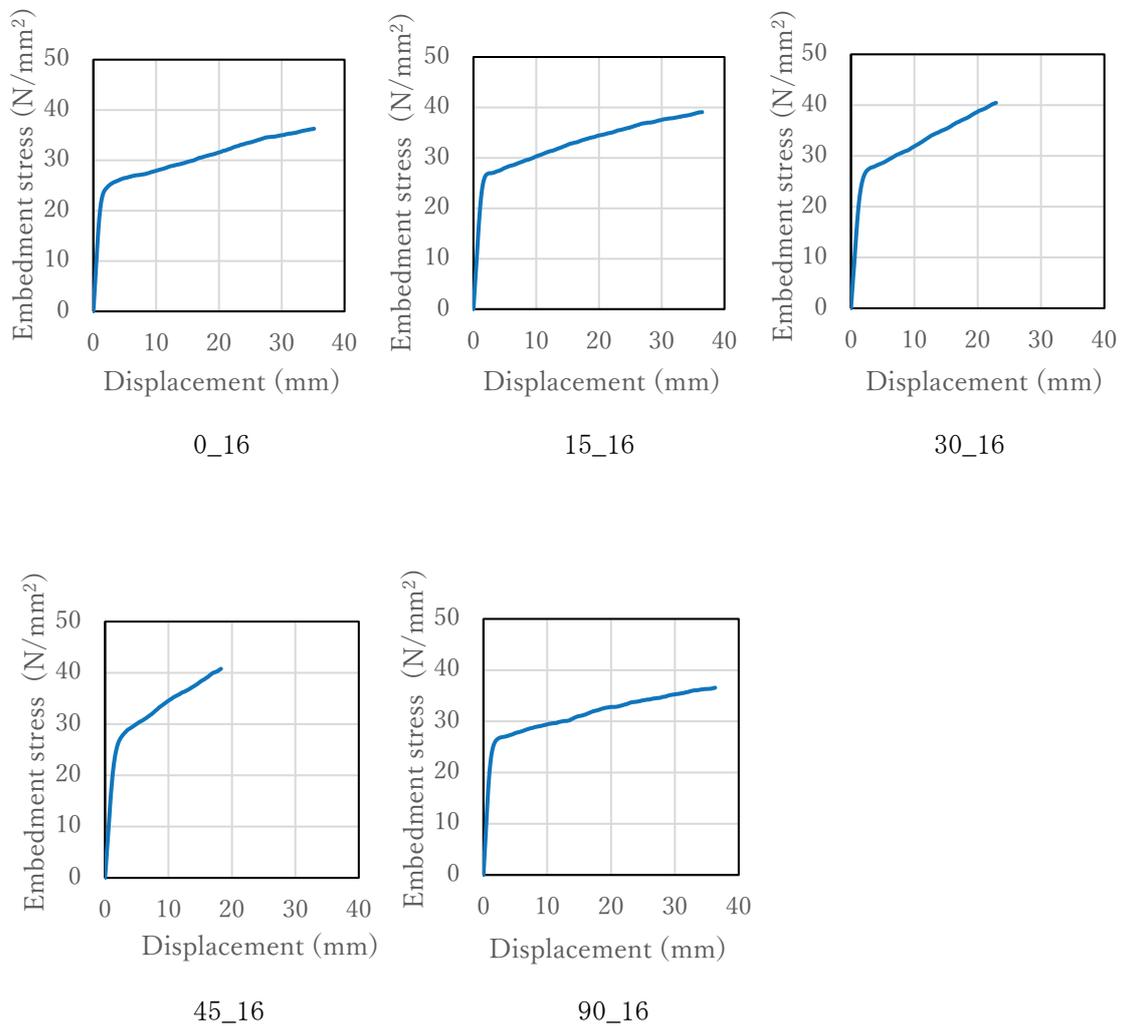


図 9-3 支圧応力—変位曲線

表 9-3 支圧剛性及び 2 次剛性

試験体名	支圧剛性		2 次剛性	
	平均値	C. V.	平均値	C. V.
	[N/mm <sup>3</sup> ]	[%]	[N/mm <sup>3</sup> ]	[%]
0_16	20.67	19.7	0.3281	15.2
15_16	19.40	10.1	0.4619	23.8
30_16	17.33	5.0	0.6703	9.0
45_16	17.69	4.4	0.8358	7.2
90_16	22.98	19.3	0.3209	21.3



0\_16



15\_16



30\_16



45\_16



90\_16

写真 9-2 代表的な破壊性状

## 9.2 鋼板挿入ドリフトピン二面せん断試験

### 9.2.1 試験目的

曲げ降伏型接合具を用いた超厚合板接合部における適切な縁端距離を把握するために、縁距離及び端距離を実験変数としたせん断試験をそれぞれ実施した。

### 9.2.2 試験体概要

縁距離試験体には、支圧試験と同じ超厚合板を用いた。端距離試験体には、平行層と直交層の構成比が 1.11 : 1.00 である 45 プライの厚さ 144~147mm、スギ超厚合板を用いた。エレメントに用いた平行層単板及び直交層単板のヤング係数は下限値が 6.0GPa であり、上限値には制限を設けなかった。超厚合板はこれらの単板を 1 次接着のみで積層接着して製造し、その接着剤にはフェノール樹脂接着剤を用いた。表 9-4、9-5 に試験体の基礎物性値を、図 9-4 に試験体および各部名称の概要を、表 9-5、9-6 に試験体一覧をそれぞれ示す。縁距離試験体及び端距離試験体共に鋼板を挿入するためのスリットを設け、その厚さは 11mm とし、鋼板の厚さ 9mm に対して 2mm 大きく加工した。ドリフトピンが設置される側の超厚合板は縁距離試験体では端距離を 7d に固定し、縁距離を 3d から 10d まで 1d ずつ変化させて試験体を加工した。端距離試験体では縁距離を 4d で固定し、端距離を 4d、

5d、6d、7d、10dとした試験体、縁距離を3dで固定し、端距離を5dと6dとした試験体、縁距離を5dで固定し、端距離を5dと6dとした試験体をそれぞれ加工した。

表 9-4 縁距離試験体基礎物性値

密度		含水率	
平均値	C. V.	平均値	C. V.
[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]
431	2.3	9.3	10.5

表 9-5 端距離試験体基礎物性値

密度		含水率	
平均値	C. V.	平均値	C. V.
[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]
422	1.5	6.6	7.1

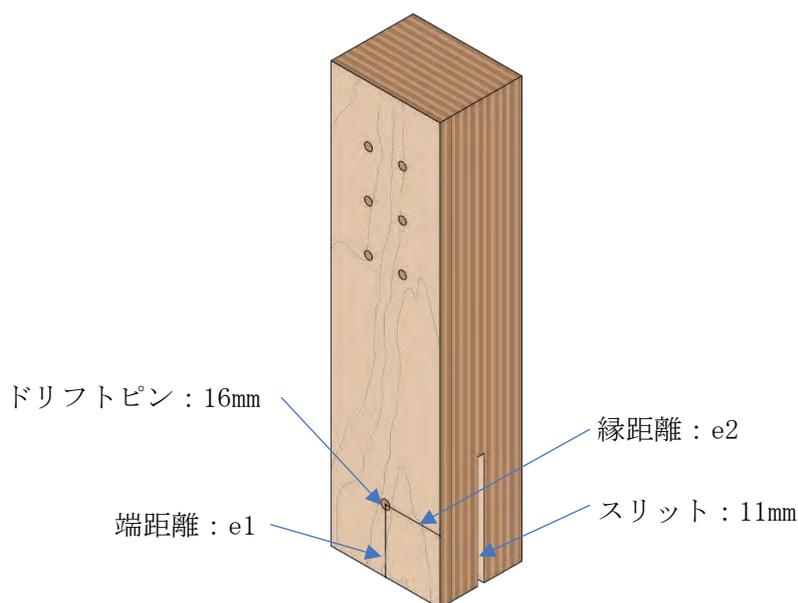


図 9-4 試験体概要

表 9-6 縁距離試験体一覧

試験体名	DP 径 [mm]	端距離 e1 [mm]	縁距離 e2 [mm]	試験体数
3d	16 / 平行	112	48	5
4d			64	
5d			80	
6d			96	
7d			112	
8d			128	6
9d			144	
10d			160	

表 9-7 端距離試験体一覧

試験体名	DP 径 [mm]	端距離 e1 [mm]	縁距離 e2 [mm]	試験体数
4d_4d	16 / 平行	64		3
5d_4d		80		
6d_4d		96		
7d_4d		112	48	
10d_4d		160		
5d_3d		80		
5d_5d		80		
6d_3d		96		
6d_5d			80	

### 9.2.3 試験方法

試験方法は「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年版）」<sup>1)</sup>の4.4継手・仕口接合部の試験方法に準じ、各仕様1体目を単調載荷、2体目以降を1体目の降伏変位の1/2、1、2、4、6、8、12、16倍の変形まで順に1回ずつの一方向繰り返し加力を行った。変位計は試験体の四隅に設置し、挿入鋼板と試験体間の変位を測定し、それらの平均値を全体の変位とした。

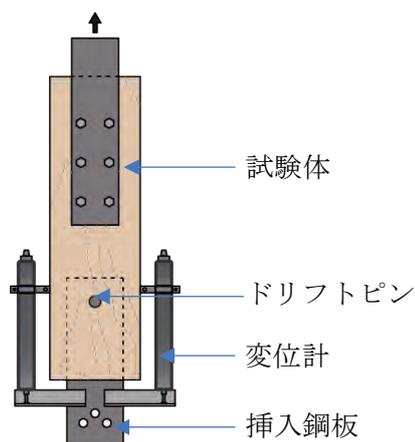


図 9-5 試験概要



写真 9-3 せん断試験実施状況

### 9.2.4 試験結果

試験特性値は文献 1) の 4.4 継手・仕口接合部の評価方法に準じ、包絡線を荷重－変位曲線より作成し、完全弾塑性モデル化して特異点を求め、特性値を算出した。表 9-8 と表 9-9 に試験結果を示す。また、図 9-6 と 9-7 に各仕様の代表的な荷重－変位曲線を、写真 9-4 と 9-5 に各仕様の代表的な破壊状況をそれぞれ示す。

それぞれの構造特性値に対して有意水準 0.05 の一元配置分散分析を行ったところ、有意差は見られなかった。

表 9-8 縁距離試験結果一覧

試験体名	Py [kN]	2/3Pmax [kN]	K [kN/mm]
3d	26.13	27.66	13.48
4d	27.83	28.59	16.38
5d	26.84	27.39	14.83
6d	27.23	27.68	14.01
7d	27.64	28.49	15.37
8d	27.50	28.51	14.50
9d	26.51	27.94	14.90
10d	27.53	28.66	15.68

表 9-9 端距離試験結果一覧

試験体名	Py [kN]	2/3Pmax [kN]	K [kN/mm]
4d_4d	27.18	28.77	16.75
5d_4d	27.55	28.83	14.88
6d_4d	27.23	29.19	16.18
7d_4d	27.67	29.23	17.31
10d_4d	27.02	28.87	17.41
5d_3d	27.74	30.49	12.75
5d_5d	28.52	30.26	14.36
6d_3d	28.46	30.15	13.80
6d_5d	28.88	30.36	17.01

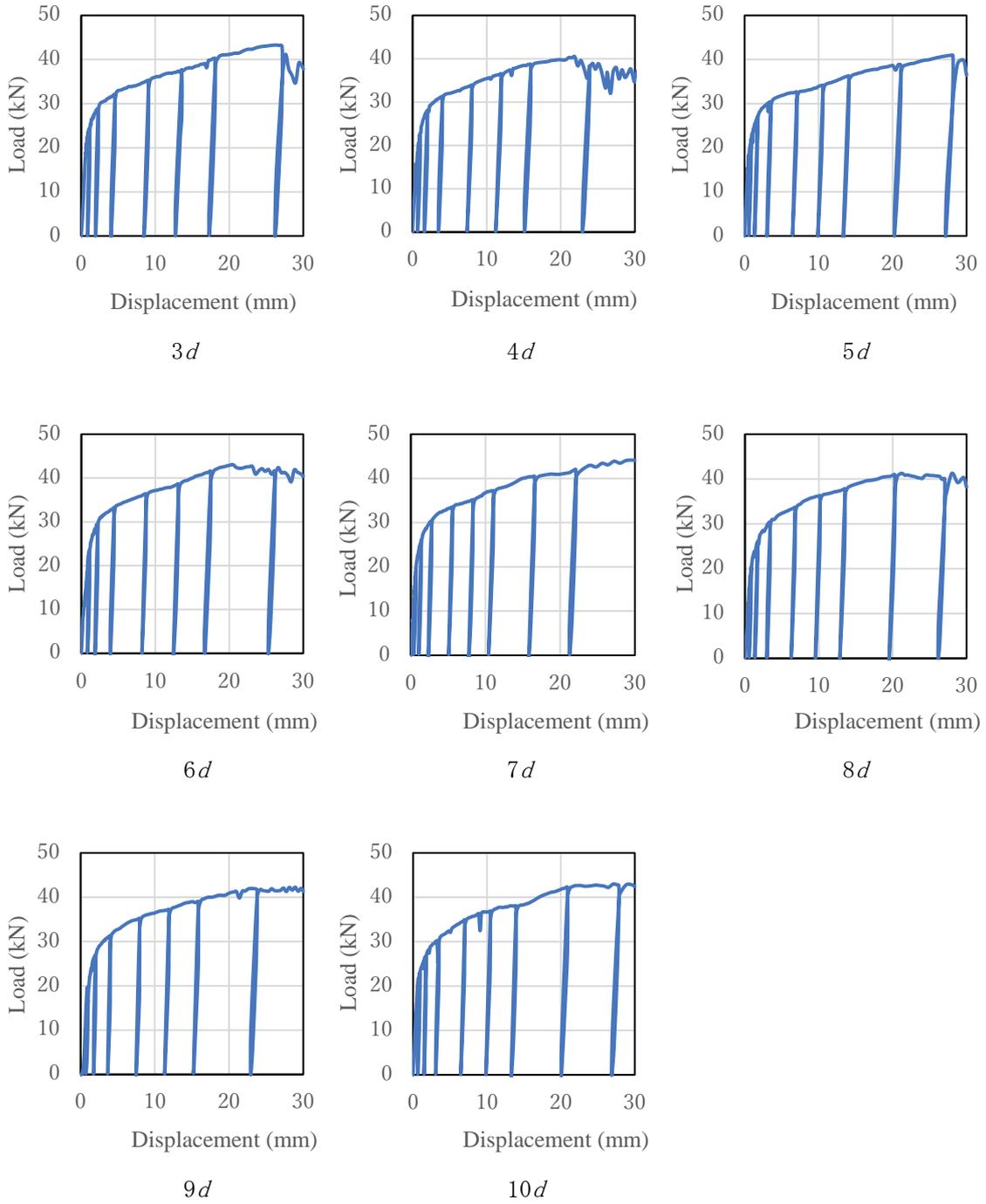


図 9-6 荷重-変位曲線 (縁距離試験体)

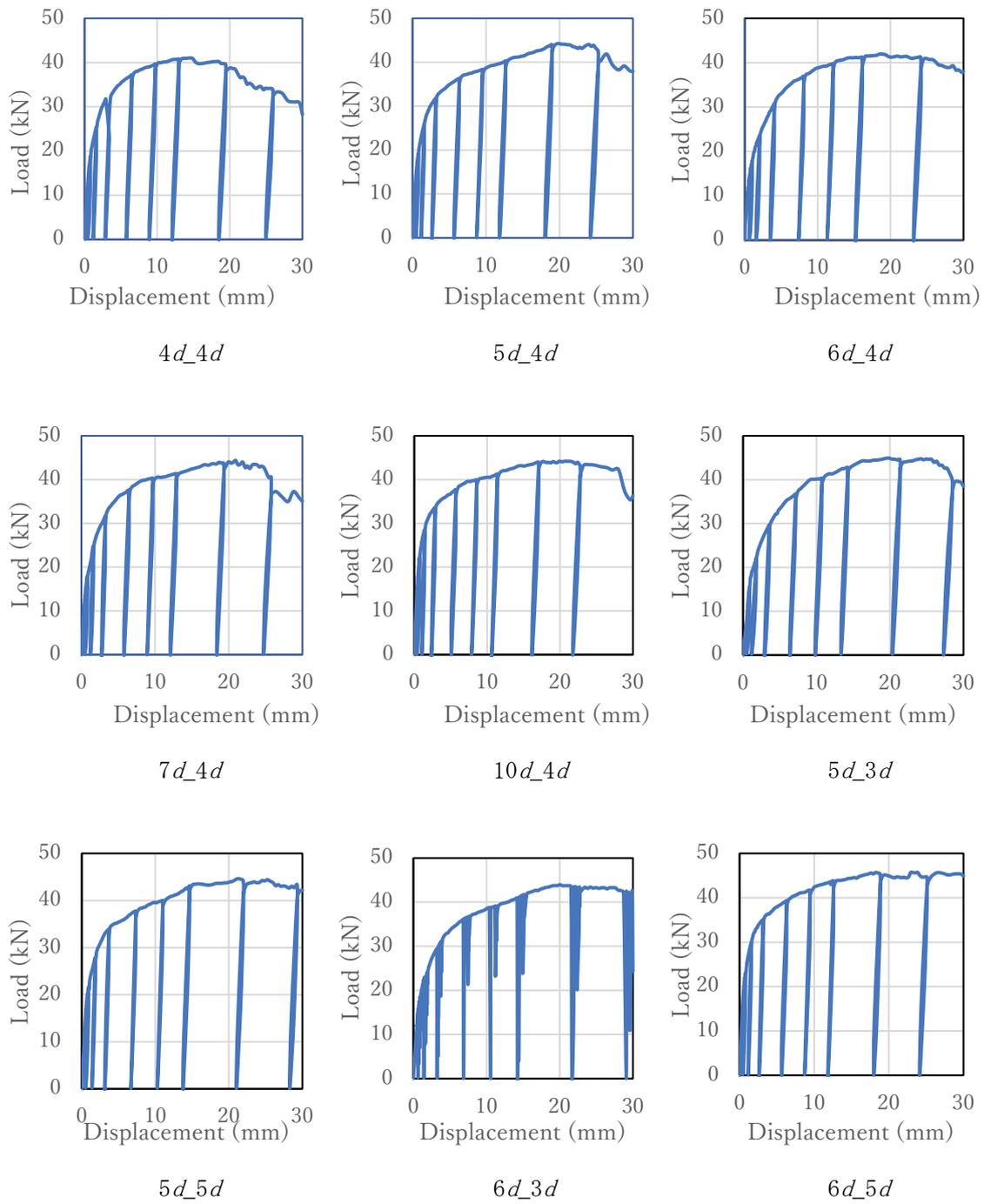


图 9-7 荷重—変位曲線 (端距離試験体)



平行層破壊



直交層破壊



接着層破壊

写真 9-4 縁距離試験体破壊性状



せん断破壊

写真 9-5 縁距離試験体破壊性状



直交層破壊

参考文献

- 1) (公財) 日本住宅・木造技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年度）、pp305-313, 2017

## 10. 床構面利用に関する検討

### 10.1 はじめに

超厚合板の構造要素としての検討の一環として今年度からは床構面利用に関する検討を行うこととした。中でも、在宅時間が増えた昨今、新築住宅において需要の高まっているアウトーリビングやインナーテラスといった、半屋外空間の屋根構面の検討を行っている。そうした木造屋根は、現状では格子状に梁を設けてその上に面材を貼るという手法が一般的であるが、分厚くなってしまい意匠上の制約がある。そこで直交異方性の小さい超厚合板であれば、薄い屋根を作れるのではないかと考え、研究開発を行っている。

本研究では、上記の目的を達成するために、約 100 mm の超厚合板を用いた屋根構面の開発を目指している。また 100 mm という厚さは、CLT では 3 層構成となり強軸・弱軸の差が大きくなるが、超厚合板では 29 層構成となり、超厚合板の直交異方性の小ささという特徴が顕著になる厚さでもあると考えたことも、100 mm の超厚合板を選定した理由である。



図 10.1 アウターリビング事例

### 10.1.2 検討事項

現状超厚合板は JAS 規格がないため、基本的には主要構造部・構造上主要な部分には使用できない。そこで建物とは分離して、超厚合板を鉄骨柱の柱頭でピン支持された荷重版とし、地震力は鉄骨柱に抵抗させる計画とした。そのため本研究で検討すべき箇所は、超厚合板のパネル間接合部と柱頭接合部の主に 2 か所である。現状超厚合板が 910mm×3000mm のサイズでしか製造ができないため、パネル間接合が必要となり、その部分での面外への曲げとせん断に対する検討が必要である。柱頭接合部は超厚合板の重量によるめり込みの検討と風圧力による吹上荷重に関する検討を行う必要がある。

本年度は、パネル間接合部に関して、接合部にスプライン接合を用いた試験体の曲げ試験（予備試験）と、柱頭接合部に関してめり込み試験とビスの引き抜き試験を実施したので、これらについて報告する。

## 10.2 パネル間接合部の曲げ試験（予備試験）

### 10.2.1 試験概要

超厚合板（厚さ約 98 mm 長さ 294 mm 幅 910 mm、全層スギ、積層数 29 層、単板のヤング率 6.0 kN/mm<sup>2</sup> 以上上限なし）2 枚をスプライン接合でつないだ、長さ 1820 mm の試験体を、図 10.2 の通り構造用木材の強度試験マニュアル(2011)<sup>1)</sup>を参考として、三分点四点荷重法による曲げ試験を行う。予備試験は 6 仕様 1 体ずつの計 6 体行った。

測定は試験体中央の両側面の変位をワイヤー変位計により測定し、試験体中央、加力点直下の変位を CDP-50 にて測定した。CDP-50 による試験体中央、加力点直下の変位の測定は破壊による変位計の破損防止のため、弾性域のみ測定を行い、真のヤング率の測定に使用した。

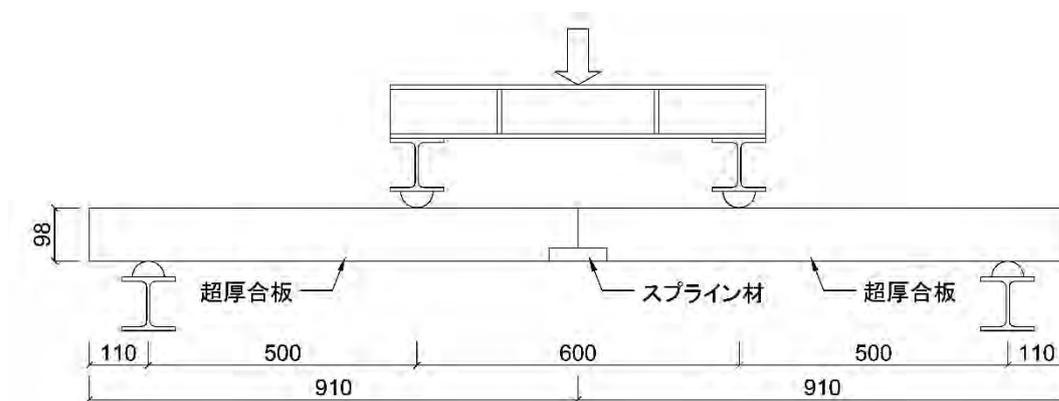


図 10.2 試験概要

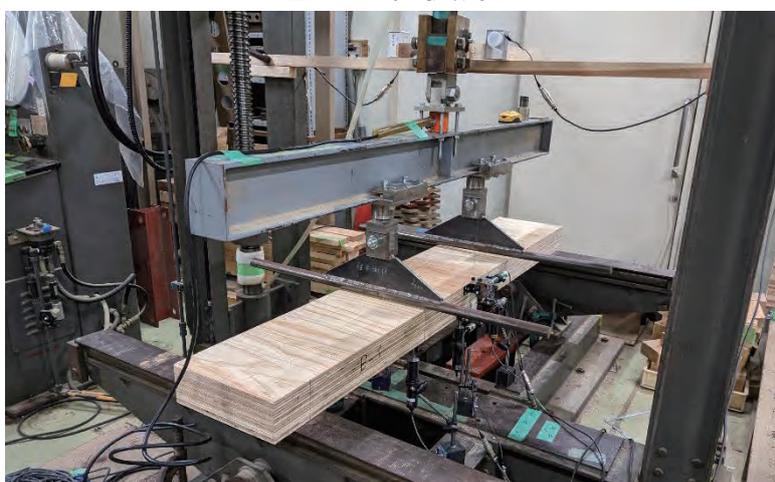


図 10.3 試験時の様子

### 10.2.2 試験体仕様

試験体仕様の詳細を図 10.3 に示す。基本的には、2 体の長さ 294mm、幅 910mm の超厚合板の端部を切り欠き、そこに 24mm 構造用合板または鋼板のスプライン材を留め付ける仕様とした。仕様 A、仕様 B、仕様 D は 24mm の構造用合板をスプライン材として用いた仕様で違いはビス等の接合具である。仕様 C は上下にスプラインがある仕様。仕様 E は相欠き仕様。仕様 F は 6mm 厚の鋼板を用いた仕様とした。



### 10.2.3 試験結果

試験から得られたモーメント—変形角関係のグラフを図 10.5 に示す。また試験から得られた特性値を表 10.1 に示す。

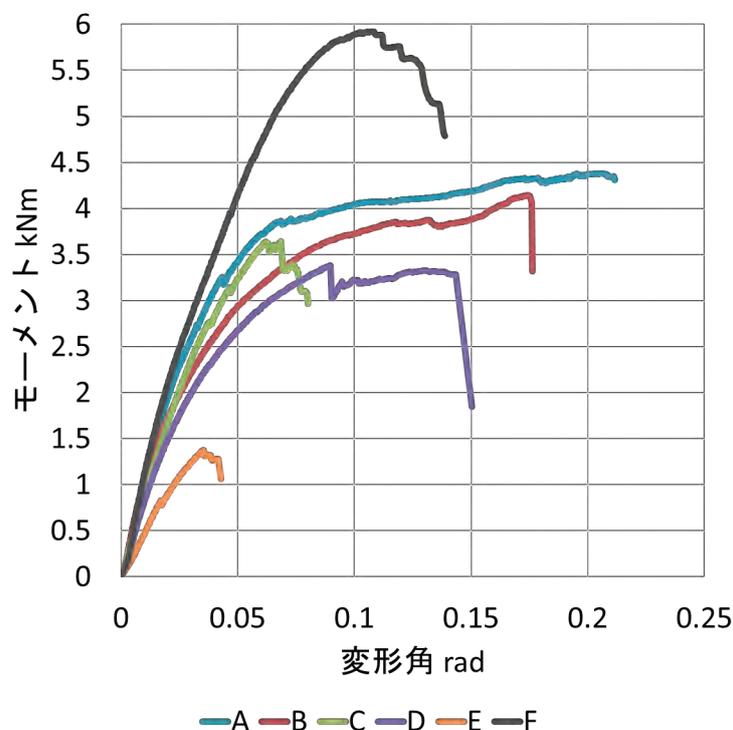


図 10.5 モーメント - 変形角関係

	最大モーメント kNm	降伏モーメント kNm	曲げ降伏耐力 N/mm <sup>2</sup>	曲げ耐力 N/mm <sup>2</sup>	回転剛性 kNm/rad
A	4.38	2.71	5.77	9.33	84.36
B	4.15	2.36	5.01	8.82	70.56
C	3.64	2.09	4.53	7.88	80.58
D	3.38	1.81	3.94	7.35	69.39
E	1.37	0.83	1.79	2.98	44.87
F	5.92	2.93	6.30	12.74	93.16
AVE	3.81	2.12	4.56	8.18	73.82

表 10.1 実験から得られた接合部の特性値

変形角は、中央部の変位を支持点と加力中央までの距離である 800 mm で除した値とした。また、降伏モーメント、回転剛性は木造軸組み工法住宅の許容応力度設計を参考にし、バイリニア置換することで算出した。そして曲げ降伏耐力、曲げ耐力はそれぞれ曲げ降伏モーメント、最大モーメントを断面係数で除した値とした。

以下各仕様の破壊の特徴について述べる。

仕様 A はスプライン部のせん断降伏により荷重の上昇が緩やかになったものの試験体中央部の変位が 170 mm を超えても荷重が低下せず粘り強い破壊となった。

仕様 B は仕様 A と同様にスプライン部の降伏が起こり、しばらくは荷重が低下しなかったが、試験体中央部の変位が 140 mm を超えたあたりでスプライン材の曲げ破壊により一気に荷重が低下した。

仕様 C はスプライン部の降伏後、スプライン材に挟まれた超厚合板が破壊していき荷重が低下した。これは、上下のスプライン材を留めるビスにより超厚合板の断面欠損が大きかったことが影響していると考えられる。

仕様 D は仕様 A, B と同様スプライン部の降伏後、釘の引き抜きにより荷重が一気に低下した。

仕様 E はビスの引き抜きにより荷重が低下した。これは中心からビスまでの距離が近く、モーメント抵抗ができなかったために最大モーメントも小さくなってしまったと考えられる。

仕様 F は剛性・耐力ともに最大となった。最大荷重後はビス頭が次々と飛んでいくことで荷重が低下した。

詳しい破壊性状写真等は付録 13. 1. 7 に掲載する。

### 10. 3 むり込み試験

#### 10. 3. 1 試験概要・試験体仕様

本研究で検討を行っている屋根構面は超厚合板を鉄骨柱で支持する計画であり、従来の合板では想定されていなかった、積層方向へのむり込みが発生することが考えられたため、むり込み試験を実施した。

むり込み試験の供試材として、昨年度製造した厚さ約 125mm の超厚合板（全層スギ、積層数 35 層、平行層の単板のヤング率 6. 0kN/mm<sup>2</sup>以上上限なし）の余りを用いた。試験体仕様は、支持条件 3 種類×余長方向 3 種類の計 9 仕様、各 3 体ずつである。

支持条件は図 10. 6 の通り試験体の下端全体が架台に触れた状態で、試験体中央を加力した支持条件 A と、下端にも加圧盤を設けて、試験体中央を加力した支持条件 B、試験体の両端に加圧盤を設けて、試験体端部を加力した支持条件 C を設定した。

余長方向は、800mm×800mm の超厚合板の中央を、90mm×90mm の加圧盤で加力した、表層単板の繊維方向・直交方向両方に余長のある HV 仕様、長さ 800mm×幅 100mm の超厚合板を、幅 90mm の加圧盤で加力した、表層単板の繊維方向のみに余長のある H 仕様、長さ 100mm×幅 800mm の超厚合板を、幅 90mm の加圧盤で加力した、表層単板の繊維直交方向のみに余長のある V 仕様の 3 種類を設定した。

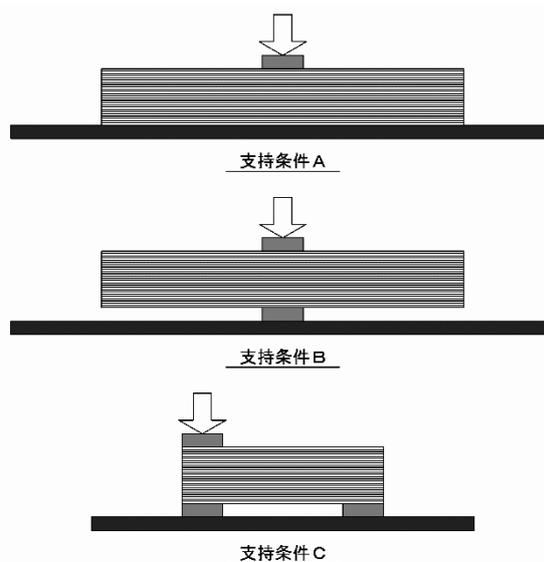


図 10. 6 支持条件

変位の測定は加圧盤の四隅の変位の平均値を用いた。試験は変位が 20mm に達する、または試験機の容量限界（100kN）に達するまで、加力速度約 2mm/min で行った。

### 10.3.2 試験結果

	比例限度強度 N/mm <sup>2</sup>	降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	めり込み強さ N/mm <sup>2</sup>	一次剛性 N/mm <sup>2</sup>	二次剛性 N/mm <sup>2</sup>
A-HV	3.88 ( 0.20 )	7.15 ( 0.78 )	11.78 ( 0.56 )	1.79 ( 0.14 )	0.36 ( 0.05 )
A-H	3.07 ( 0.15 )	5.22 ( 0.20 )	8.38 ( 0.32 )	2.45 ( 0.44 )	0.19 ( 0.02 )
A-V	2.98 ( 0.24 )	5.18 ( 0.19 )	8.29 ( 0.66 )	2.56 ( 0.16 )	0.19 ( 0.04 )
B-HV	2.79 ( 0.06 )	4.85 ( 0.03 )	8.56 ( 0.22 )	2.05 ( 0.35 )	0.23 ( 0.02 )
B-H	2.66 ( 0.25 )	4.56 ( 0.21 )	7.03 ( 0.01 )	2.27 ( 0.35 )	0.15 ( 0.02 )
B-V	2.58 ( 0.16 )	4.46 ( 0.11 )	7.20 ( 0.13 )	2.04 ( 0.01 )	0.17 ( 0.01 )
C-HV	2.61 ( 0.10 )	4.50 ( 0.27 )	7.77 ( 0.48 )	2.05 ( 0.46 )	0.20 ( 0.01 )
C-H	2.41 ( 0.37 )	4.02 ( 0.20 )	6.06 ( 0.14 )	1.94 ( 0.30 )	0.12 ( 0.01 )
C-V	2.54 ( 0.05 )	4.14 ( 0.05 )	6.29 ( 0.16 )	1.85 ( 0.14 )	0.13 ( 0.01 )

表 10.2 試験結果

試験から得られた特性値を表 10.2 に示す。比例限度強度、降伏強度、めり込み強さはそれぞれ、荷重変位曲線の 0.1Pmax と 0.4Pmax を結んだ直線からの誤差が 1%を超えた時の荷重、2mm オフセット荷重、最大荷重を加圧盤の面積で割った値とした。一次剛性、二次剛性はそれぞれ、荷重変位曲線の 0.1 Pmax と 0.4Pmax を結んだ直線の傾き、2mm オフセット耐力以降の最小二乗法による近似直線の傾きを加圧盤の面積で割った値とした。

### 10.3.3 計算値との比較

木質構造設計規準・同解説(2006)<sup>ii)</sup> の等変位めり込み式を用いて、以下の条件で計算値を算出した。

$$P_y = x_P y_P F_m \sqrt{\frac{C_x C_y}{C_{xm} C_{ym}}} \quad (\text{降伏荷重})$$

$$K_1 = \frac{x_P y_P C_x C_y E_{90}}{Z_0} \quad (\text{一次剛性})$$

$$C_x = 1 + \frac{2Z_0}{3x_P} \left( 2 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} - e^{-\frac{3x_2}{2Z_0}} \right), \quad C_{xm} = 1 + \frac{4Z_0}{3x_P}$$

$$C_y = 1 + \frac{2Z_0}{3ny_P} \left( 2 - e^{-\frac{3ny_1}{2Z_0}} - e^{-\frac{3ny_2}{2Z_0}} \right), \quad C_{ym} = 1 + \frac{4Z_0}{3ny_P}$$

めり込み強さ Fcv はスギの基準強度 6.0 N/mm<sup>2</sup>を用いた。

積層方向のヤング率 E90 は別途行った全面横圧縮試験の結果から、251 N/mm<sup>2</sup>を用いた。

繊維方向に対する繊維直角方向の置換係数 n は 5 とした。

二次剛性は K2=0.13( K1 - E90 ) を用いて算出した。

その他の記号については文献を参照のこと。

得られた計算結果を支持条件ごとの荷重変位曲線と合わせて図 10.7 に示す。基本的にはどの仕様も計算値の剛性が高く、実験値と良い一致は得られなかった。その原因として、積層の影響で余長効果の及ぶ範囲が狭くなっている可能性が考えられる。また、一般的に二次剛性は一次剛性の  $1/6 \sim 1/8$  と言われているが、本試験では、全試験体の平均で  $1/11.9$  となり、これも直交層や積層の影響だと考えられる。

超厚合板は面内の直交異方性が小さいため、面内等方性とみなし、加圧部端から余長部の変位がほぼ消失する点までの長さを材厚の 1.5 倍とする従来の仮定を、材厚の  $1/18$  倍と変更することで、実験値と近い計算値が得られた。ただし、本試験は厚さが一定であり、試験体数も少ないため更なる検討が必要である。

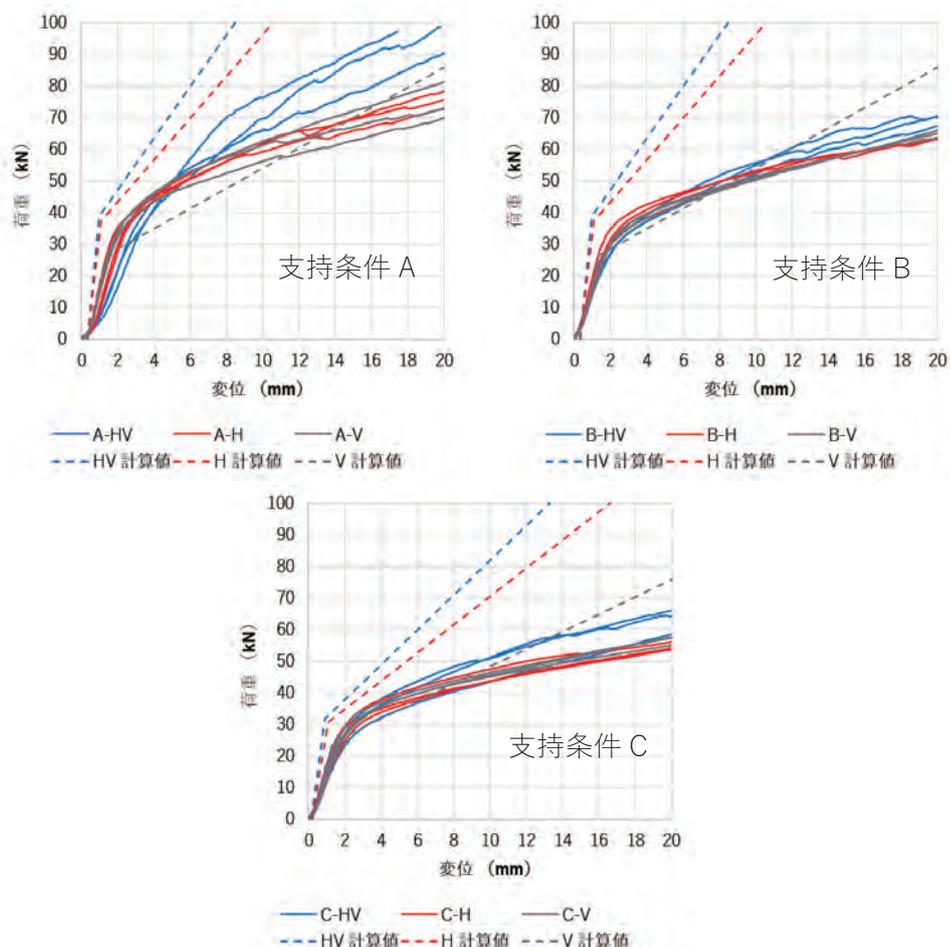


図 10.7 支持条件ごとの荷重変位曲線

#### 10.4 ビスの引き抜き試験

##### 10.4.1 試験概要・試験体仕様

本研究で検討を行っている屋根構面では、鉄骨柱と超厚合板をコーチボルトによって接合することで吹上荷重への抵抗と地震力の伝達を行うことを計画している。そこでまずは、全ねじビスの引き抜き試験を実施することとした。

供試材として、めり込み試験と同様昨年度製造した厚さ約 125mm の超厚合板(全層スギ、積層数 35 層、平行層の単板のヤング率  $6.0 \text{ kN/mm}^2$  以上上限なし)の余りを  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$

程度に切り出して用いた。試験体仕様は、ビスの山径（6 mm, 8 mm, 10 mm）と埋め込み長さ（15 mm, 50 mm, 75 mm, 90 mm, 100 mm）とした。試験に用いるビスはパネリード X（シネジック株式会社製）とし、ビスは試験体中央に打ち込んだ。埋め込み深さの厳密な管理が難しかったため、試験前に実際の埋め込み長さを測定しそれを結果の分析に用いた。

試験方法は本多ら(2021)<sup>iii)</sup>の研究を参考にした。図 10.8 に示すようにビスの頭部を鋼製治具にひっかけ、超厚合板を箱状の鋼製治具で固定した後 2 mm/min の速度で単調加力を行い、引き抜け変位が 5 mm 程度に達するまで加力を行った。変位はビスに直接取り付けられたターゲットの絶対変位と超厚合板の絶対変位の差分を引き抜け変位とした。

#### 10.4.2 試験結果

試験から得られた最大耐力と埋め込み長さの関係を図 10.9 に示す。山径に関わらず、埋め込み長さの増大に比例して最大耐力が増大していることがわかる。

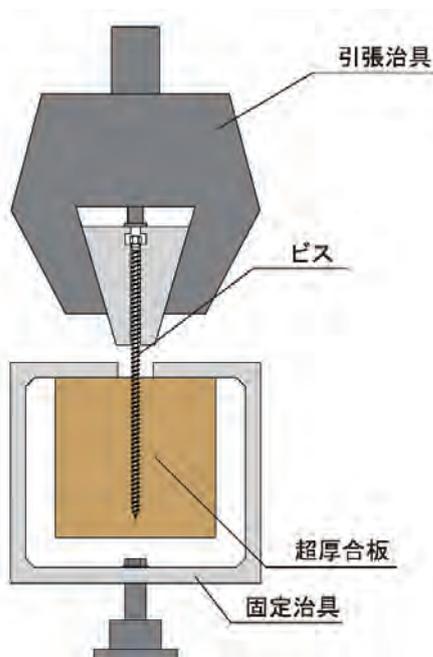


図 10.8 支持条件

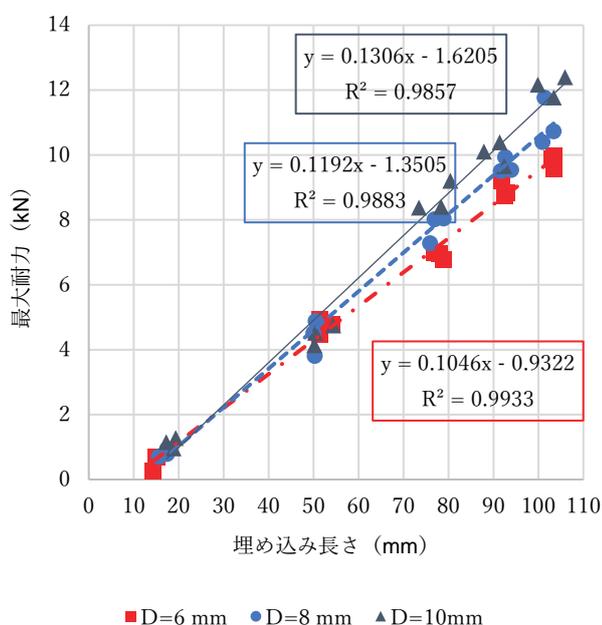


図 10.9 埋め込み長さ と 最大耐力 の 関係

#### 10.4.3 計算値との比較

木質構造設計基準・同解説(2006)<sup>ii)</sup>では、木ねじの基準終局引き抜き耐力は以下の式で与えられている。

$$P_w = 38.1r_0^{1.5} \cdot d \cdot l_r$$

- P<sub>w</sub> : 基準終局引抜耐力 [N]
- r<sub>0</sub> : 木材の基準比重
- d : 木ネジの呼び径 [mm]
- l<sub>r</sub> : 木ネジの主材への有効打込み長さ [mm]

また、本多ら(2021)<sup>iii)</sup>はネジ山先端から生じる割裂破壊を破壊力学における開口モードとみなすことで理論的に導出した繊維直交方向の引抜耐力推定式を提案している。

$$P_{90} = LDC_{\gamma} \sqrt{\frac{2}{a}}$$

$$C_{\gamma} = 0.03960\gamma_0 - 4.441$$

- L : 有効打込み長さ [mm]  
D : ねじ山径 [mm]  
a : ネジピッチ [mm]  
 $\gamma_0$  : 木材密度 [kg/m<sup>3</sup>]

上記の2つの推定式を用いた計算値と実験値の比較を図 10.10 と図 10.11 に示す。どちらの計算値もおおむね実験値が計算値を上回る結果となった。ただし、木質構造設計基準を用いた計算値はビスの山径による実験値/計算値のばらつきが大きかったのに対して、本多らの提案式はばらつきが小さかった。そのため、超厚合板において積層方向のビスの引き抜き耐力の推定においては、本多らの提案式に係数を乗ずる、または提案式の中で用いている割裂破壊定数を調整することで、適切に推定ができると考えられる。

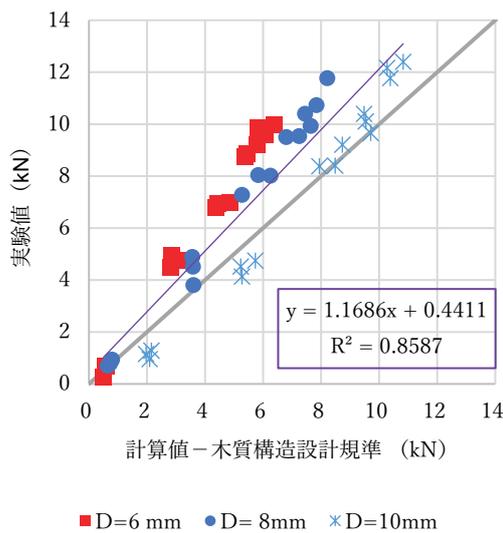


図 10.10 実験値と計算値の比較  
(木質構造設計基準)

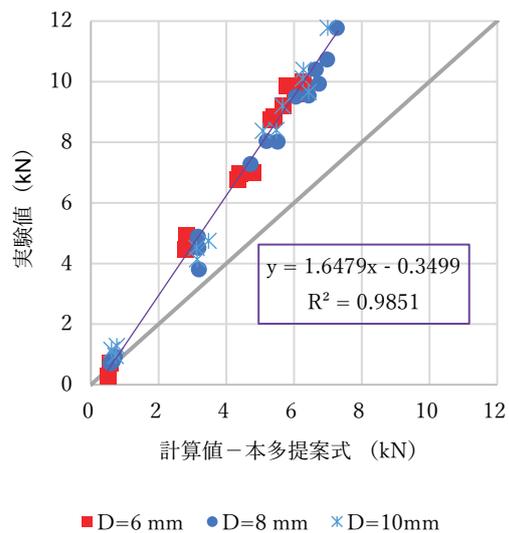


図 10.11 実験値と計算値の比較  
(本多ら提案式)

#### 参考文献

- i) (公財) 日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル，2011，03
- ii) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－，2006，12
- iii) 本多航 他：木質構造用ビスの繊維直交方向引き抜き抵抗メカニズムと耐力推定式の提案，2021，10

## 11. 含水率変化および断熱・透湿性能の検討

### 11.1 はじめに

木質材料は水分の吸脱着により寸法変化が発生することが知られている。木質材料を使用する建築物等では寸法変化をあらかじめ予測して、設計に反映する必要がある。また、近年、ゼロカーボンの流れから住宅の高断熱化が推奨され、住宅性能表示制度においても、省エネルギー性能の上位等級(等級6、等級7)が新設される等の動きがある。建築物の設計において断熱性能の計算は必須のものとなっていることから、新たに開発される材料については熱伝導率等の物性値を明らかにする必要がある。また、建築物の長寿命化・高耐朽化のためには結露防止計算が必要であるが、この場合は熱伝導率とともに透湿係数等の湿気に係る性能値が必要となる。本事業で検討を行う超厚合板についても、その利用推進のためにはこれらの性能値を整備する必要があるといえる。一方、これらの物性値を測定する試験方法は、超厚合板のような大断面を有する木質面材料に適したものとなっていない。そこで、本事業では含水率変化と寸法安定性、断熱性能、透湿性能についての測定を行うとともに、試験の改善点を検討した。

本項で試験に用いた合板を表11-1および表11-2に示す。R3年度に生産されたスギ60mm厚、144mm厚の合板およびR4年度に生産された48～96mm厚の合板である。

表11-1 試験に用いた合板 (R3年度製造：樹種スギ)

試験体記号	材厚	単板選別	積層方法
60A	60	全層60-69	ワンショット
60B			二次接着
60C		全層60-89	ワンショット
60D			二次接着
144A	144	全層60以上	ワンショット
144B			二次接着

表11-2 試験に用いた合板 (R4年度製造)

試験体記号	材厚	樹種	積層方法
C2	48	スギ	ワンショット
C3	72	スギ	
96	96	スギ	
F	60	ヒノキ	
H	60	カラマツ	

### 11.2 吸湿による重量増加と厚さ寸法変化

吸湿に伴う重量変化とそれに伴う寸法変化については、試験体を高湿状態におき重量増加と厚さ方向の寸法変化を測定した。

### 11.2.1 試験方法

試験装置の恒温恒湿器の容量から、60mm厚試験体では60C、60D、144mm厚試験体は144Aと144Bを試験に用いた。試験体の寸法は長さ300mm×幅100mm×合板厚とした。ベースとなる合板から長手500mm以上、短手300mmで製造メーカーから切り出された供試体から、長手方向を長さ方向とした試験体を1体(試験体A)、短手方向を長さ方向とした1体(試験体B)を採取して吸湿用試験体とした。また、全乾法による初期含水率の推定が出来ないため、近接する部分から試験開始時の含水率を予測するための試験体(C)を採取した。試験体数は各条件でn=2とした。各試験体は加工後に20°C65%RHの恒温恒湿室内で24時間あたりの重量変化率が0.1%になるまで養生した。重量測定には電子天秤(エーアンドディ社:FZ-5000i、秤量最小値0.01g)を用いた。

測定点の概要を図10-1 測定点の概要に示す。測定点は測定面端部から10mmの8カ所と中央部1カ所とした。これは、端部が吸湿により膨潤しやすく中心部と差異が発生すると予測したためである。測定においては、厚さ方向はリニアゲージ(ミットヨ社:ID-C1050XB、測定最小値:0.001mm)、幅方向及び長さ方向の測定にはデジタルノギス(ミットヨ社:CD-30AX、測定最小値:0.01mm)を用いた。リニアゲージにおいては、材厚が測定範囲を超えるために、あらかじめ寸法が既知のステンレス製ブロックを測定ステージにおき、これの高さで零点を調整した後にブロックを除去して測定を行った。なお、標準となるステンレス製ブロックは23°Cの恒温室内にて保管して寸法安定性の確保に努めた。

養生後の試験体の重量および寸法を測定した後、20°C90%RHの恒温恒湿槽(エスペック社:PR-2J、容量225Lおよびアドバンテック社:THN060FA、容量225L)に試験体を投入した。試験体間は2~3cmの隙間を空け空気の循環に努めたが、含水率変動に位置による差が見受けられたため、2~3日ごとに試験体の位置を恒温室内で移動するようにした。

### 11.2.2 結果

重量変化、厚さ寸法変化とも得られた値から変化率を次式で算出した。

$$\text{変化率 (\%)} = ((\text{測定値} - \text{試験開始値}) / \text{試験開始値}) \times 100 \quad (10-1)$$

図11-2に60mm試験体の重量の増加傾向を示す。また、図11-3に重量の変化率(%)を示す。重量変化は100日程度で概ね平衡に達していると考えられた。なお、変化率は以下のとおりとした。試験開始後302日での重量変化量はワンショットでは66.4g、二次接着が56.46g、重量変化率については、ワンショットは8.3%、二次接着が7.3%であり、双方ともワンショットのほうがやや高かった。図11-4に厚さ寸法変化量、図11-5に変化率を示す。厚さ寸法変化量、厚さ寸法変化率とも、重量と同様にワンショットのほうがやや高く、302日後の厚さ寸法変化量はワンショットが1.4mm、二次接着が1.1mmであり、厚さ寸法変化率はワンショットが2.2%、二次接着が1.9%であった。

図11-6に144mmの重量変化を図11-7に厚さ寸法変化を示す。144mmにおいては302日後も重量が安定せず、重量の上昇が認められた。このため、144mmの試験は継続して測定を行う必要があると考えられた。なお、途中、重量が上下変化するの試験が長期に渡るために、他の研究との兼ね合いで使用する恒温恒湿器を交換する等の作業を行った時点で、温湿度条件に変化が生じたためである。

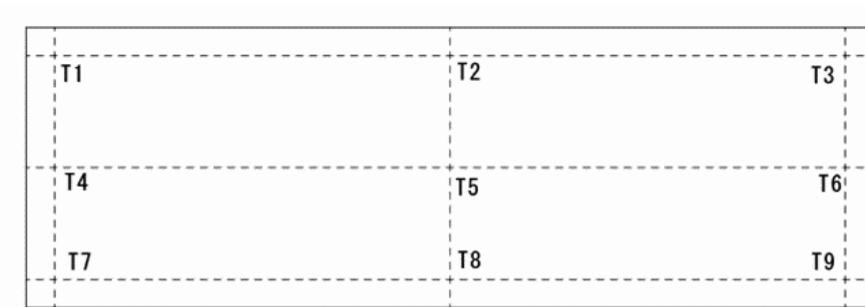


図 11-1 測定点の概要

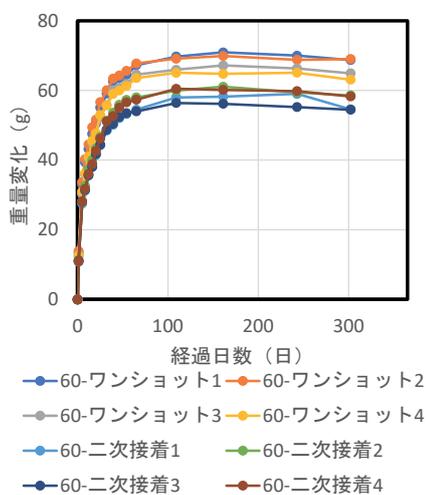


図 11-2 重量変化の経時変化 (60mm)

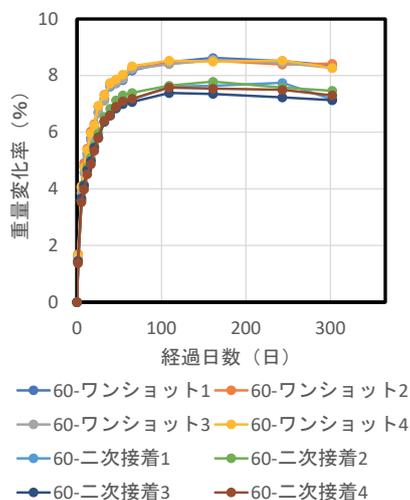


図 11-3 重量変化率の経時変化

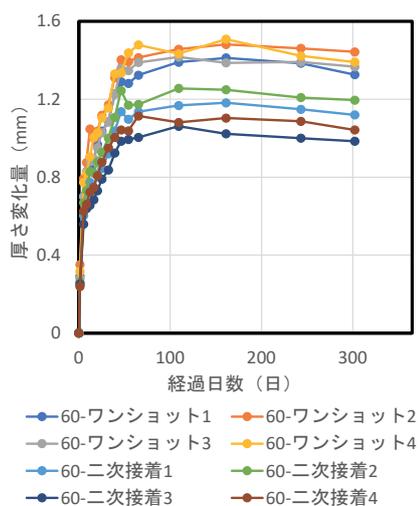


図 11-4 厚さ寸法変化の経時変化 (60mm)

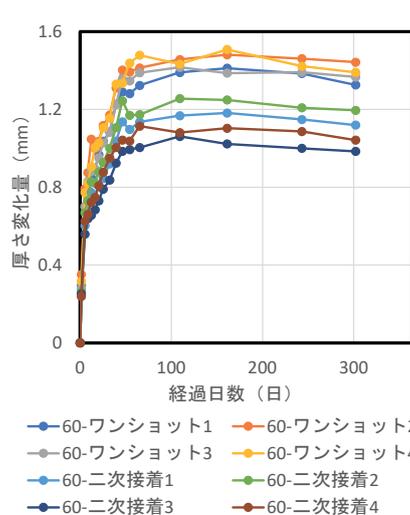


図 11-5 厚さ寸法変化率の経時変化 (60mm)

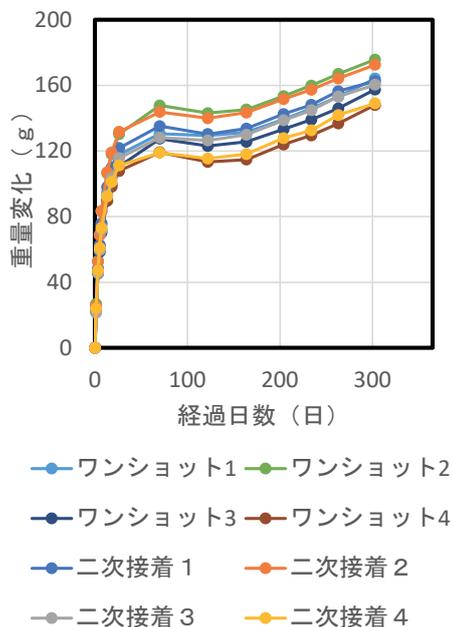


図 11-6 重量変化の経時変化 (144mm)

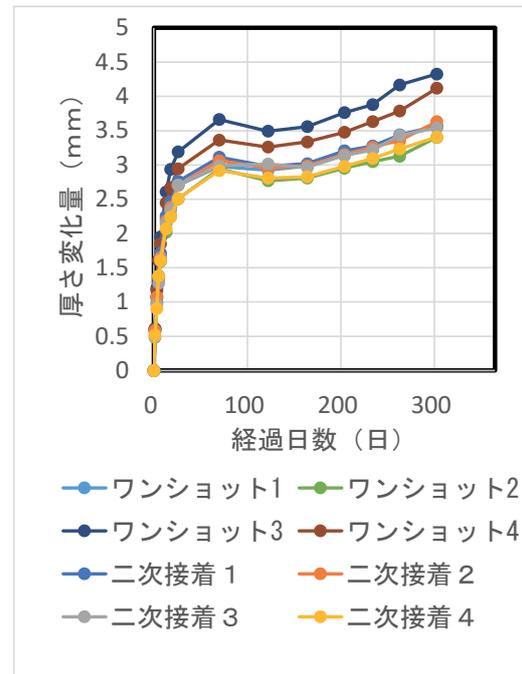


図 11-7 厚さ寸法変化の経時変化 (60mm)

### 11.3 含水率変化による厚さ寸法変化の検討

含水率変化による超厚合板の厚さ寸法変化の傾向が明らかになれば、任意の含水率変化量に対する厚さ寸法変化量を推定することができる。そこで、数段階の湿度条件下で平衡状態においた超厚合板の厚さ寸法変化量を測定し、含水率と厚さ寸法変化の関係を明らかにした。

#### 11.3.1 試験方法

11.2 で使用した試験体と同じ 60mm 厚の超厚合板の 2 種の供試体 (60C, 60D) から、長さ 100mm×幅 50mm×厚さの試験体を各供試体に付き 12 体切り出した。その後、103℃の乾燥機にて恒量に達するまで乾燥して絶乾状態とした。試験体重量は電子天秤 (島津製作所製: TW423N, 最小ひょう量 0.001g) を用いて測定し、3 時間以上あけた測定時の重量変化が 0.1%以下になった時点で恒量に達したとみなした。その時点での厚さをリニアゲージ (ミットヨ社: ID-C1050XB, 測定最小値: 0.001mm) を用いて測定した。厚さは 3 点で測定し、平均値を用いた。

これらの試験体を温度 23℃の恒温室内に設置された湿度 11%, 33%, 54%, 75%, 83%, 97%RH の 6 条件のデシケータ内にそれぞれ 2 体ずつ設置した。デシケータ内の湿度は飽和塩水溶液にてそれぞれ一定の値に調整されている。試験体重量を経時的に測定し、24 時間あたりの重量変化が 0.1%以下となった時点で平衡に達したとみなし、厚さの測定を行った。

### 11.3.2 結果

図 11-8 に相対湿度と平衡含水率の関係、図 11-9 に相対湿度と全乾時に対する厚さ変化率の関係および図 11-10 に平衡含水率と厚さ変化率の関係を示す。両者の関係はほぼ直線関係となったが、高含水率域ではやや厚さ変化率が低下した。高含水率域での低下の原因は今後の検討を有するが、平衡含水率において約 16%までは平衡含水率から厚さ変化率が予測できると考えられた。なお、直線域での含水率 1%当たりの厚さ変化率は 0.2%であり、既往の報告<sup>1)</sup>の 12mm 合板の値と同様であった。

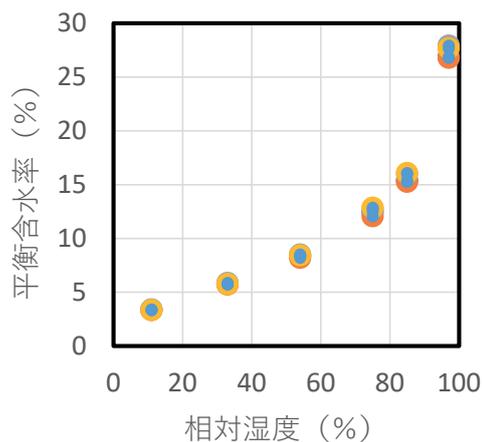


図 11-8 相対湿度と平衡含水率の関係

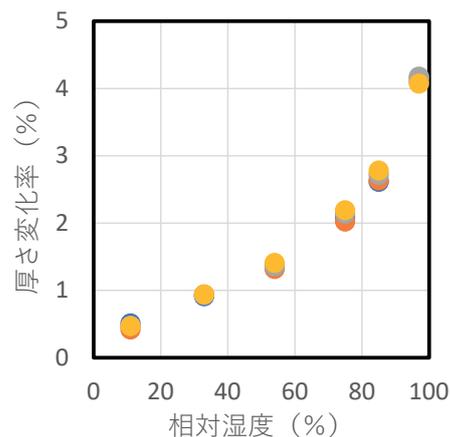


図 11-9 相対湿度と厚さ変化率の関係

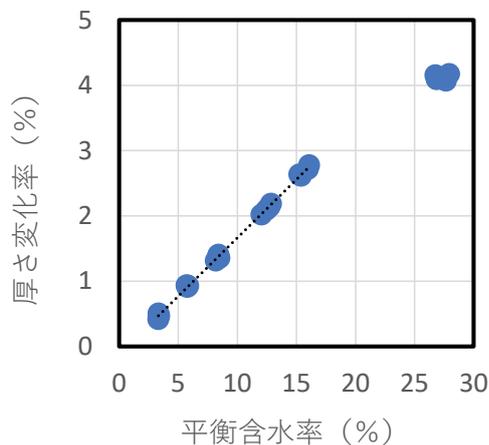


図 11-10 平衡含水率と厚さ変化率の関係

## 11.4 断熱性能の検討

断熱性能の指標として用いられる熱伝導率の測定を行った。なお、今回はR3年度と同様に従来の木質面材と同様に厚さ方向(面外方向)の熱伝導率を測定することとした。

### 11.4.1 試験方法

表 11-2 に示す超厚合板について試験を行った。ベースとなる合板から長手 300mm、短手 300mm で製造メーカーから切り出された供試体を試験体として用いた。試験体を 23°C50%RH の恒温恒湿室内で養生し、24 時間あたりの重量変化が 0.1%以内となったことを確認してから、測定に供した。試験体数は、各条件につき n=3 である。

測定は JIS A 1412-2 「熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法—第 2 部：熱流計法 (HFM 法)」に準拠して行った。すなわち、試験体の上下に温度を一定に保つ熱盤を設置し、両熱盤に温度差( $\Delta T$ )をかけた場合に発生する熱流密度 ( $q$ ) を熱流計によって測定し、材料面積と厚み( $d$ )から熱伝導率を算出する手法である (図 11-11)。測定にはネッチジャパン社：HFM-446 を用いた (図 11-12)。測定可能な試験体寸法の最大は長さ 310mm×幅 310mm×厚さ 100mm である。測定温度は 23°Cとし、熱盤の温度差を 20°C (高温側 33°C、低温側 13°C) とした。熱伝導率測定の前後に試験体の寸法をノギス (ミットヨ社：CD-30AX および NTD-15、測定最小値 0.01mm)、重量を電子天秤 (エーアンドディ社：FZ-3000i、測定最小値 0.01g) で測定した。

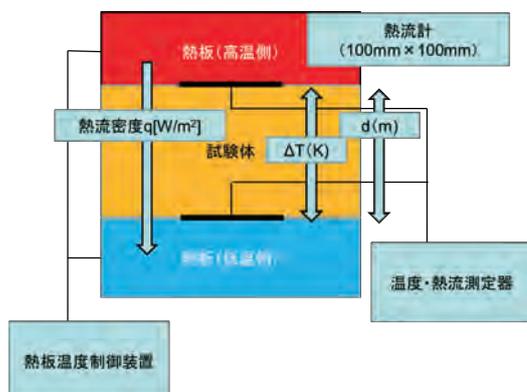


図 11-11 熱伝導率測定のご概念図



図 11-12 使用した測定装置

### 11.4.2 結果

得られた結果を表 11-3 に示す。スギの平均値は 0.096 から 0.10 W/(m·K) の範囲内にあり、R3 年度に測定した値と同様であった。また、最も熱伝導率の大きいカラマツの値においても標準偏差の  $2\sigma$  を加えた値は 0.13 であり、省エネルギー協会が示す合板の値である 0.16W/(m·K) はこれより大きい。このことから、従来から合板の熱伝導率として使われている熱伝導率を今回測定した超厚合板を用いた建築物の断熱性能計算に用いた場合は、実際の断熱性能より低く計算される可能性がある。

また、木質材料の熱伝導率と密度の間には正の関係があることが知られている。今回の測定結果において、密度と熱伝導率の関係を示したものが図 11-13 である。今回の測定結果においても、従来と同様の結果が得られた。

表 11-3 熱伝導率測定結果

樹種	厚さ(mm)		密度(kg/m <sup>3</sup> )		熱伝導率 (W/m・K)		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均+2σ
スギ	48.2	0.140	418	1.7	0.097	0.0005	0.098
	62.3	0.715	387	5.6	0.096	0.0025	0.101
	72.4	0.046	406	3.2	0.099	0.0026	0.104
	97.5	0.205	413	0.7	0.100	0.0032	0.106
ヒノキ	62.1	0.086	486	10.0	0.111	0.0069	0.125
カラマツ	61.0	0.338	578	12.2	0.124	0.0029	0.130

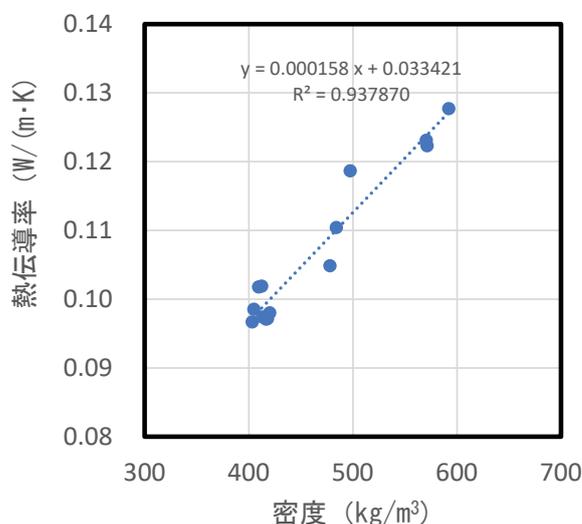


図 11-13 密度と熱伝導率の関係

## 11.5 透湿性能

湿気に係る性能のうち、結露性状計算等に用いられることの多い透湿係数の測定を行った。

### 11.5.1 試験方法

透湿係数の測定は JIS A 1324 「建築材料の透湿性測定方法」のうち透湿カップ法を用いた。透湿カップ法は建築面材料の透湿係数を測定することを目的とした試験方法である。図 10-14 に示すようなアルミ性のカップ状治具の内部に吸湿剤である塩化カルシウムを 500g 入れ、その上に透湿対象部分のみを開放しその他の部分をアルミテープで断湿した試験体を設置し、アルミテープとパラフィンで隙間をシールする。この試験体を 23°C50%RH の環境下におき、重量変化を経時的に測定し、重量増加が一定となった時点で材内の湿気移動が一定になったと見なし、その時点の重量増加量から次式により透湿係数を算出する。試験は重量増加が 50g を超えた時点で終了することとなっている。これは、吸湿剤の塩化

カルシウムの吸湿力が低下するためとされている。試験自体が厚さ 10mm 程度の無機系の建築材料を対象としていると想定されることから、近年利用が進みつつある厚物の木質材料を用いた場合、試験開始時に材内に存在する水分量が多いために、材内の湿気移動が一定となる前に重量増加が試験終了の目安である 50g を超えてしまう場合があった。この問題を解決するために、森林総合研究所と静岡大学で、吸湿剤を交換可能な透湿カップを開発している。これは、ステンレス製のカップと試験固定用のボルト止め治具から構成されており、試験体とカップ間のシールは軟質ゴムで行われている。今回、超厚合板の透湿係数を測定するに当たり試験が長期にわたることが予測されることから、本測定装置を使用することとした。

試験に先立ち透湿カップのシール性を確認するため、厚さ 3mm の中空ポリプロピレン樹脂板を 300mm 角に裁断したものを 2 枚重ね、端部をアルミテープでシールして透湿カップに取り付けた。取り付けた試験体を 23°C50%RH の環境下におき、重量変化を 1 週間測定したところ、重量増加が発生しなかったことからシール性は保たれていると判断した。

測定に用いた試験体は、透湿カップの制約から 60mm 厚合板は 60C、60D、144mm は 144A、144B の各条件 n=1、計 4 体とした。あらかじめ熱伝導率測定を実施後に透湿試験に用いた。今回用いた 60mm 厚試験体は従来の木質面材料に比較して極めて厚く、短期的にはカップ内部の吸湿剤による水分移動より試験時周囲の温湿度変動等による吸放湿の影響を受ける可能性がある。また、試験体は 23°C50%RH の恒温恒湿室内で 24 時間あたりの重量変化が 0.1% 以下となるまで養生したが、大断面のため内部は平衡状態になっていない可能性も考えられた。これらのことから、試験体と同様の温湿度条件で取り扱った合板をブランク試験体として透湿カップ試験体と同様に経時的に重量計測を行い、上記の影響を排除することとした。ブランク試験体は周囲を透湿カップ試験体と同様にアルミテープで断湿し、裏面は 3mm 厚の中空ポリプロピレンで断湿した。

作製した試験体およびブランク試験体を 23°C50%RH の恒温恒湿室内に設置し、経時的に重量を測定した。なお、重量測定には電子天秤（メトラー社：PC16 およびエーアンドディ社：GX-32001M、最小秤量ともに 0.1g）を用いた。

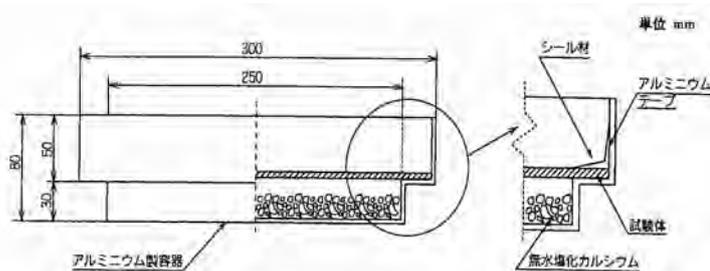


図 11-14 JIS A 1324 における透湿カップの模式図<sup>3)</sup>

### 11.5.2 結果

透湿カップの重量変化（ブランク値を除いたもの）を示したものが図 11-15 および図 11-16 である。60mm の重量変化量の増加量は試験開始後 100 日程度から一定となることから、

透湿気量が一定となっていることがわかる。また、300日程度で重量変化が50gを超えることから、測定を続ける場合には、吸湿剤の交換が必要となることがわかった。一方144mmはほとんど重量変化が見られなかった。今後も試験を継続するが、144mmの透湿性能を測定するには他の手法も検討する必要があると考えられた。

60mmの測定結果から次式によって透湿抵抗 $\mu$  [ng/(m $\cdot$ Pa $\cdot$ s)] を算出した。

$$Z_p = \frac{A|P_1 - P_2|}{G} \quad (11-2)$$

$$\mu = \frac{Z_p}{d} \quad (11-3)$$

ここで、 $Z_p$ は透湿抵抗 [(m $^2$  $\cdot$ s $\cdot$ Pa)/ng]、 $G$ は透湿量[ng/s]、 $A$ は透湿面積[m $^2$ ]、 $P_1$ は恒温室の水蒸気圧[Pa]、 $P_2$ はカップ内部の水蒸気圧[Pa]=0Pa、 $d$ は材料厚[m]を示す。60mmの超厚合板の透湿率は1.6[ng/(m $\cdot$ Pa $\cdot$ s)]となり、既往のスギ12mm厚合板の測定値<sup>2)</sup>(1.3[ng/(m $\cdot$ Pa $\cdot$ s)])よりやや大きい数値となったが、測定数が少ないため今後のデータの蓄積が必要である。

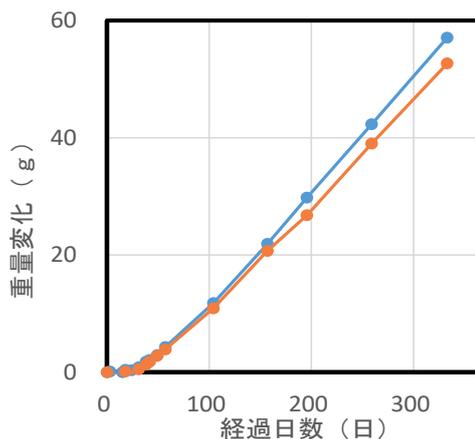


図 11-15 カップの重量変化 (60mm)

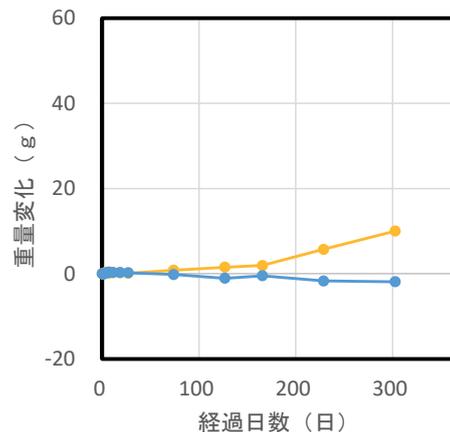


図 11-16 カップの重量変化 (144mm)

## 11.6 まとめ

### 1) 吸湿による重量増加と厚さ寸法変化

20 $^{\circ}$ C65%RH から 20 $^{\circ}$ C90%RH の条件に超厚合板を置いた場合、厚さ(面外方向)の寸法変化は重量増加とともに増加する傾向が見られた。今回の試験条件では60mmの試験体では約100日後で平衡に達すると考えられたが、144mmは300日経過後も平衡に達していなかった。

### 2) 含水率変化による厚さ寸法変化の検討

全乾状態とした60mmの試験体を23 $^{\circ}$ C11~97%RHの間の6条件のデシケータ中で平衡状態におき、含水率と厚さ変化率の関係を測定した。両者の関係はほぼ直線関係となったが、高含水率域ではやや厚さ変化率が低下した。また、直線域での含水率1%当たりの厚さ変化率は0.2%であった。

## 2) 断熱性能の検討

超厚合板の断熱性能において熱伝導率は、カラマツにおいても従来の合板の性能値である 0.16W/m/K を上回る可能性は小さいと判断された。スギの熱伝導率の測定値は厚さによらず、ほぼ一定であるとみなせた。

## 4) 透湿性能

透湿カップによる試験を行い、1ヶ月の試験では60mm厚合板は湿気をほとんど通過させていないことがわかった。

木質材料における湿気に係る試験は無機材料等に比べ長期にわたることが多いが、超厚合板では特に試験が長期となることから、今後も測定を継続する必要があるとともに、効率的な測定方法を検討する必要があることが示唆された。

## 参考文献

- 1) 佐藤 司：林産試だより，(11)，1-4 (1996)
- 2) Tanaka, T., Shibusawa, T., Asakura, N., Shida, S. :BIOCOMP2012 proceeding, Shizuoka, Japan, 2012, P. 74
- 3) JIS A 1324:1995「建築材料の透湿性測定方法」

## 12. 総括

本事業では、スギ、ヒノキ、カラマツを対象樹種とし、全層の単板をそれぞれ  $60\text{tf}/\text{cm}^2$  以上、 $90\text{tf}/\text{cm}^2$  以上、 $120\text{tf}/\text{cm}^2$  以上で選別し、厚さ 144、96、72、60、48mm の超厚合板および構成比率を 100、70 以上、50、40%程度とした超厚合板を試作した。製造因子の影響について検討したのち、超厚合板の曲げ性能、水平せん断性能、水平せん断試験方法、接着性能、接合部性能、含水率変化および断熱・透湿性能について実験的検討を行い、以下の知見を得た。

### 12.1 試作試験結果について

製品厚さおよび単板の構成比率を変えた超厚合板を試作した。ワンショット、2 次接着とともに  $3\times 6$  板であれば全く問題なく試作できた。 $3\times 10$  板の場合、直交層単板の多い構成比率の場合、単板の積層に時間を要することに検討の余地がある。性能上適正な単板構成・構成比率を導出した上で、当該仕様の超厚合板を容易に試作できるよう製造装置について検討する必要がある。

### 12.2 曲げ試験結果について

スギ超厚合板の 4 点曲げ試験において、厚さに対して試験スパンが 6 倍-6 倍-6 倍(3 等分点)の条件で、おおむね曲げ破壊を先行させて試験することが可能であった。また、試験により得られた荷重変位の関係から曲げ強度、見かけの曲げヤング係数、真の曲げヤング係数の算出も可能であった。

供試した試験体の構成比率の影響についてみると、構成比率が高い使用ほど曲げ強度、曲げヤング整数ともに高い値を示し、構成比率が下がるにつれて両数値は低下する傾向を示した。低下の傾向は有効断面係数比および有効断面 2 次モーメント比の低下と対応するものと考えられる。

供試した試験体の厚さの影響についてみると、厚さ 48mm の仕様は他の厚さと比較して比較的高い曲げ性能を示した。他の厚さの仕様間では明確な傾向はみられなかった。

強軸(平行層単板の繊維方向とスパン方向が平行な方向)と弱軸(平行層単板の繊維方向とスパン方向が直角する方向)における曲げ性能を比較すると、強軸に比べて弱軸は 70～80%程度の数値を示し、異方性が存在することがわかった。今回供試した厚さ 60mm、15 層程度の超厚合板では、等厚構成を仮定すると有効断面係数比は 53:47 程度なので、弱軸の有効断面係数は強軸の 88%程度であり、まだ異方性が存在することとなる。積層数が増大すれば、等方性に近づいていくが、少ない積層数でも等方性を確保するためには、各層の単板厚さを変化させ、有効断面係数比が 50%となるように断面設計をおこなう必要がある。また、強軸・弱軸の両方向の曲げ性能を測定するためには、弱軸方向の原板寸法が少なくとも厚さの 20 倍程度必要であることから、より厚い製品の性能評価には現状の製造装置では制約がある。

### 12.3 水平せん断試験結果について

短スパン曲げ方式の水平せん断試験により、層内せん断性能を評価した。その結果、強軸方向の平使い(加力方向が積層方向)の試験では、曲げによる破壊荷重から算出されるせん

せん断強度は「正しい」せん断強度に関して安全側の数値と考えられる。また、めり込み破壊によるせん断強度も安全側の数値と考えられる。これらのことから、平使いの場合の水平せん断性能評価は品質管理手法として有効であると考えられる。強軸方向のたて使い(加力方向が積層と直交方向)の試験では単板選別が  $60\text{tf}/\text{cm}^2$  以上、無選別とも、せん断強度は2次接着製品がワンショット製品を上回り、また  $60\text{tf}/\text{cm}^2$  以上のワンショットではばらつきが大きく、2次接着製品は安定した性能が得られていた。たて使いの方が、平使いより、製品仕様によるせん断強度の差が顕著であり、たて使いの試験も品質管理手法として有効であると思われる。正寸、逆寸ともに2次接着製品において、せん断強度と密度との相関がみられた。2次接着は製造方法が安定していたと考えられ、2次接着製品については平使い、たて使いとも品質管理手法として有効であると考えられる。

#### 12.4 水平せん断試験方法の検討結果について

水平せん断試験法は、中央集中曲げ試験を短スパン条件で実施することで曲げ破壊に先行してせん断破壊を起こさせてせん断強度を算出する試験法であり、簡便にせん断強度を求めることができる手法ではある。しかし、スパンが長いと曲げ破壊が先行して発生するためせん断破壊が起こらず、逆に、スパンが短いとせん断破壊に至るまでの必要荷重が極めて大きくなり、加力点および支点で大きなめり込みが発生してその影響を受けてしまうという問題点がある。したがって、超厚合板においてせん断破壊を生じさせる最適な試験条件を定める必要がある。そのためには、「正しい」せん断強度を把握する必要があることから、水平せん断試験よりも曲げ破壊が起こりにくく、せん断破壊が発生しやすい逆対称4点荷重方式せん断試験法によるせん断試験を実施し、樹種および構成比率の影響を検討した。さらに、CLTの日本農林規格に準拠した水平せん断試験を行い、逆対称4点荷重方式せん断試験法により得られたせん断強度との比較検討をいった。

供試した試験体数が少なかったため、限定的な結果となるが、ヒノキおよびカラマツの2樹種については、逆対称4点荷重方式せん断試験により「正しい」せん断強度を得ることができた。また、この2樹種については、CLTのJAS規格に準拠した水平せん断試験においてほぼすべての試験体がせん断破壊で破壊し、その平均値は、逆対称4点荷重方式せん断試験より得られた平均値と統計的に有意差があるとは言えない値となったことから、CLTのJAS規格に準拠した水平せん断試験でも正しいせん断強度が得られる可能性が高いといえることができる。

これに対し、スギについては、単板選別の程度が低いものについては逆対称4点荷重方式せん断試験で「正しい」せん断強度を求めることが可能であること、CLTのJAS規格に準拠した水平せん断試験で正しいせん断強度が得られる可能性が高いことを示唆する結果が得られたが、同時に仕様によっては逆対称4点荷重方式せん断試験では「正しい」せん断強度を求めることが難しいことが示唆される結果となった。これは、スギは横圧縮強度が弱く他の2樹種と比べてめり込みが大きくなることが一つの要因として考えられ、今後、めり込みの影響をキャンセルできる試験法について検討をいっていく必要があると考えられる。

#### 12.5 接着性能試験結果について

試作した超厚合板の接着性能について、構成要素が同じ単板であり、かつ、比較的厚い製品が存在する単板積層材の接着性能評価方法を用いて、接着性能の把握と当該評価方法の適用性の検証をおこなった。さらに、当該試験を用いた場合の判定基準の設定に資するデータ解析をおこなった。その結果、試験片全体の剝離率は低く、本事業で適用した製造条件においては良好な接着が得られていることが示唆された。一方、同一接着層における剝離については、単板樹種の影響の可能性が把握されたこと、良好でない接着の状態を確認できたことから、超厚合板の実生産における工程の手順や管理方法における課題、性能評価における検討項目を抽出することができると考えられた。また、接着剝離試験を超厚合板に適用する場合、今後の判定基準の設定に資するデータ解析をおこなうことができた。以上の結果を踏まえ、今後も接着性能への影響因子の特定やデータの蓄積が必要であると考えられる。

#### 12.6 接合部性能試験結果について

接合部の性能として、接合具のめり込みに対応する支圧性能および鋼板挿入ドリフトピン接合部の二面せん断性能を測定した。最大支圧強度、最大支圧強度を与える変形量は、ともに試験体の方向(表層単板の繊維方向および表層単板の繊維直交方向)によらずほぼ同じ数値を示し、超厚合板が支圧性能に関して等方性を示すことがわかった。一方、加力方向と繊維方向が15~45°程度の角度を有するときは、支圧剛性は低くなる傾向があるものの、変動係数も低下するため、統計的下限値の傾向についてさらに試験体数を増やした検討が必要と考えられる。二面せん断性能については、接合仕様および超厚合板の仕様ごとに降伏荷重、最大荷重、初期剛性を求めたところ、接合性能は縁端距離の影響を受けないことがわかった。

#### 12.7 床構面利用に関する試験結果について

超厚合板の床構面利用を想定し、パネル間の接合性能、めり込み性能、ビスの引き抜き性能について検討した。パネル間の接合については、鋼板スプラインに構造用ビスを使用した仕様が優れていることがわかった。めり込み性能については比例限度強度、降伏強度、めり込み強さを導出した。ビスの引き抜き性能については、従来の予測手法でおおむね性能の予測が可能であるが、実験値は予測値より高く安全側であることがわかった。

#### 12.8 含水率変化に関する試験結果について

木質材料は水分の吸脱着により寸法変化が生じることから、木質材料を建築物等に使用する際には、寸法変化をあらかじめ考慮して、設計上の許容差に反映する必要がある。

一方、近年では、ゼロカーボン社会の実現のために住宅の高断熱化が推奨され、住宅性能表示制度においても、省エネルギー性能の上位等級(等級6、等級7)が新設されている。また、建築物の長寿命化・高耐朽化のためには結露防止計算が必要であるが、この場合は熱伝導率とともに透湿係数等の湿気に関する性能値が必要となる。しかし、これらの物性値を測定する試験方法は、超厚合板のような大断面を有する木質面材料に適したものとなっていない。そこで、含水率変化と寸法安定性、断熱性能、透湿性能についての測定をおこなうとともに、試験の要改善点を検討している。

含水率変化については、20°C65%RH から 20°C90%RH の条件に超厚合板を置いた場合、長さ、幅(面内方向)の寸法変化は小さかった。一方、厚さ(面外方向)の寸法変化は重量増加とともに増加する傾向がみられた。なお、今後は測定点や吸湿環境等の試験方法について改善が必要と考えられた。

60mm 厚の合板の断熱性能については、従来の 24mm の厚物合板とほぼ同様であり、従来の合板の性能値である 0.16W/m/K を上回る可能性は小さいと判断された。ワンショットと 2 次接着の製造方法の違いはわずかであり、また単板強度選別の有無との関係は明確ではなかった。

熱伝導率の予測手法の検討については、24mm 合板を複数枚積層して熱抵抗および熱伝導率の測定をいった結果、既知の合板の熱性能値から、測定不能な材厚の材料の熱抵抗、熱伝導率を分割試験により予測できる可能性が示された。

透湿性能については、透湿カップによる 1 ヶ月間の試験では厚さ 60mm の超厚合板は湿気をほとんど通過させていないことがわかった。

木質材料における熱・湿気に係る試験は無機材料等に比べ長期にわたることが多いが、超厚合板では特に試験が長期となることから、今後も測定を継続する必要がある。また、予測手法を検討することも重要といえる。

熱・湿気性能の測定に関して、超厚合板の場合は面内方向の断面積が大きくなるため、実際の使用時には面内方向にも熱・湿気の動きが発生する可能性がある。さらに超厚合板は単板の直交積層材料であるため、面外方向と面内方向では熱・湿気性能の性質が異なると考えられるため、今後は面内方向の測定も検討すべきである。

なお、当該試験項目は測定に長期間を要するため、昨年度から引き続き実施しているものであり、さらに次年度以降も測定を継続する必要がある。

## 12.9 残された課題について

超厚合板の性能に影響を与える重要な製造因子である単板の構成比率と超厚合板の厚さを変えた試作試験を行い、製造因子と基礎物性、接合部性能、床構面性能の関係を把握した。試作試験結果より、建物の要求性能に応じた超厚合板の製造条件を決めることが可能となる。性能評価結果より、今回試作・評価をいった超厚合板を用いた際の、建物の構造的性能を予測することが可能となる。含水率変化については、経時的変化を長期間測定する必要があるため、次年度以降の継続が必要である。また、強度的性能に対する荷重継続時間の影響(長期使用による低減)についても、今後検討する必要がある。

次年度以降、その他の製造因子を含め、さらに検討を行い、簡便な品質管理手法や設計用特性値の導出手法を確立し、要求性能を把握するとともに性能データの蓄積を図ることで、超厚合板の実用化に資する研究を進めたい。

最後に、助成元を始めとする、本事業の実施にあたり多大なご尽力を賜った関係各位に深甚の謝意を表す。

## 13 付録

### 13.1 データ、写真

#### 13.1.1 曲げ性能（その1）

超厚合板の曲げ試験に関する試験実施状況、破壊時写真、および荷重変位曲線データについて以下にまとめた。

##### (1) 試験実施の状況

試験実施の様子や、支点、加力点の変位計の設置状況の写真を示す。

##### (2) 荷重変位曲線のグラフ

試験実施中のロードセルで記録した荷重と、試験中央で測定した変位の関係を、試験体仕様ごとにまとめた。なお、グラフには曲げ試験治具の重さ 0.77kN が加わった後にロードセルに荷重が入ることによる初期スリップが生じている。

##### (3) 試験終了後の破壊性状の写真

試験終了後の各仕様の試験体の破壊性状を試験体の側面からの写真で表す。写真中の 3 本の黒線は試験体の長さの中央と加力点の位置を示す。

(1) 試験実施の状況



図 13. 1. 1-1 試験機の様子



図 13. 1. 1-2 支点の様子



図 13. 1. 1-3 加力点の様子



図 13. 1. 1-4 支点の変位計の設置



図 13. 1. 1-5 中央、加力点の変位計の設置

(2) 荷重変位曲線のグラフ

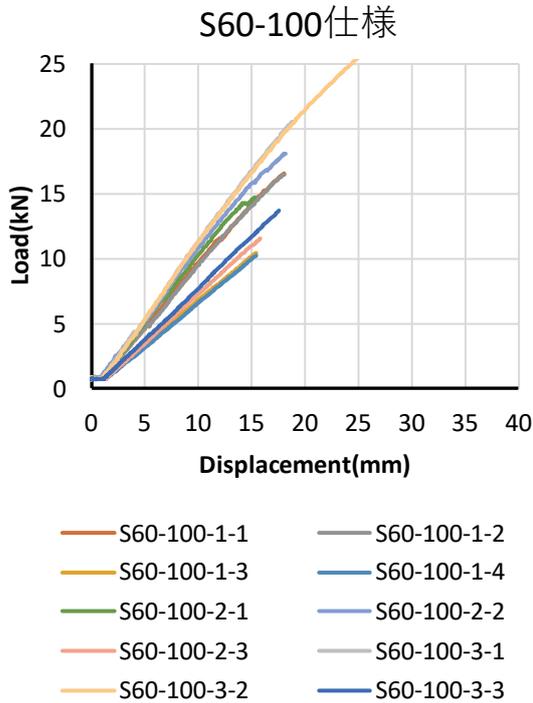


図 13.1.1-6 S60-100 仕様の荷重変位関係

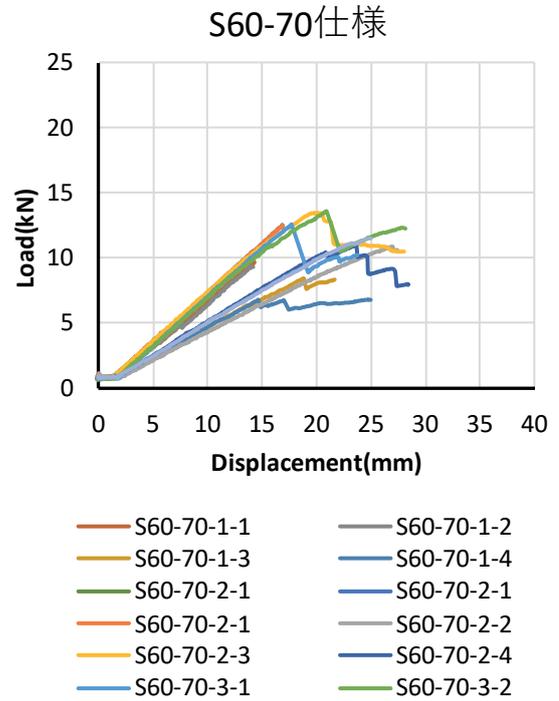


図 13.1.1-7 S60-70 仕様の荷重変位関係

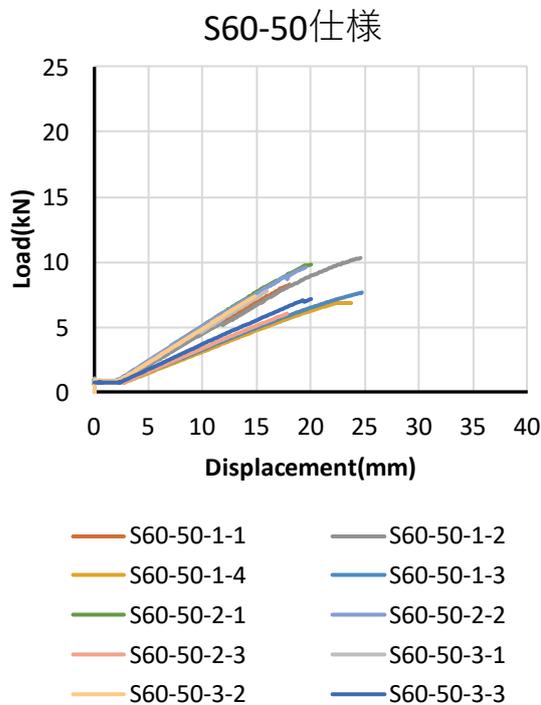


図 13.1.1-8 S60-50 仕様の荷重変位関係

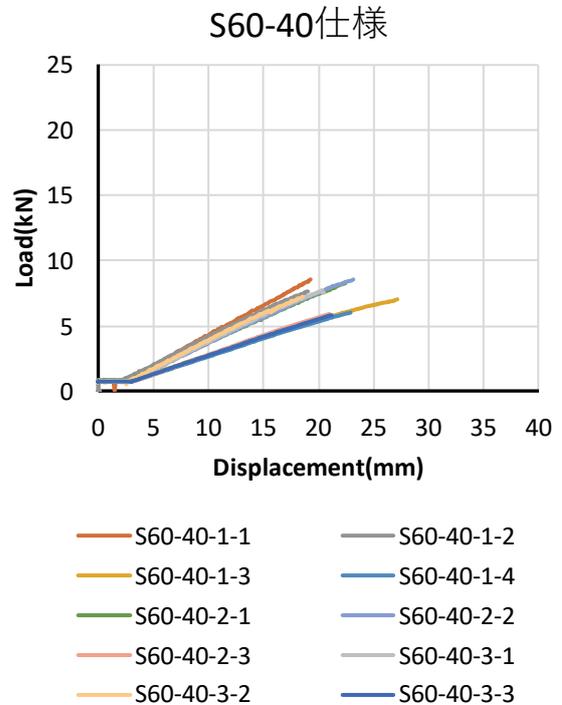


図 13.1.1-9 S60-40 仕様の荷重変位関係

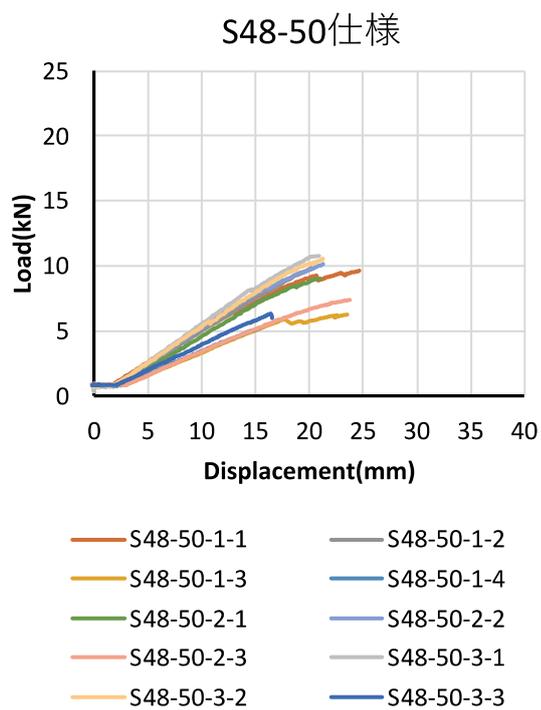


図 13. 1. 1-10 S48-50 仕様の荷重変位関係

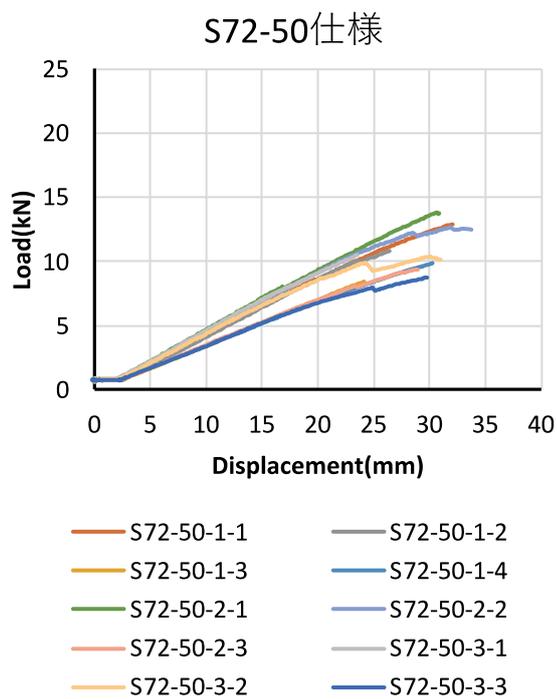


図 13. 1. 1-11 S72-50 仕様の荷重変位関係

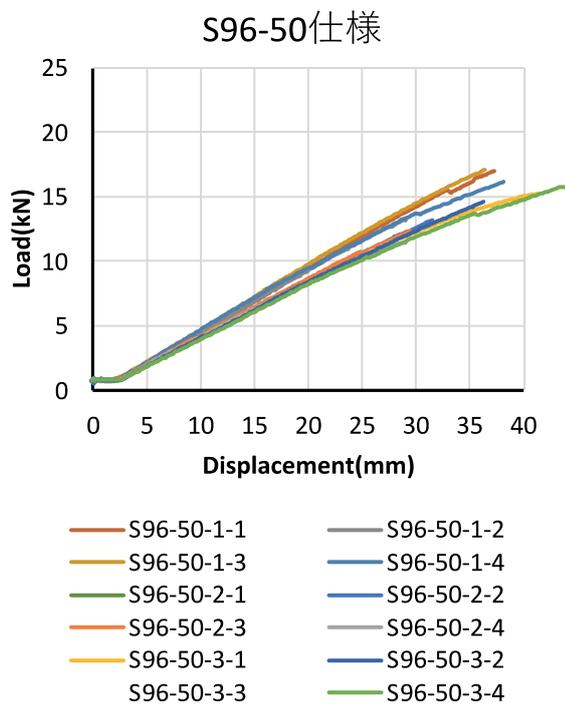
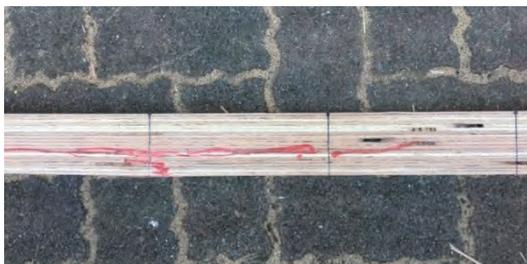


図 13. 1. 1-12 S96-100 仕様の荷重変位関係

(3) 破壊性状の写真



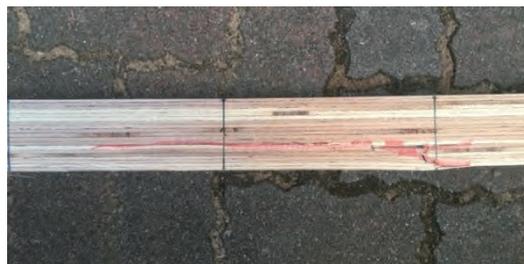
S60-100-1-1



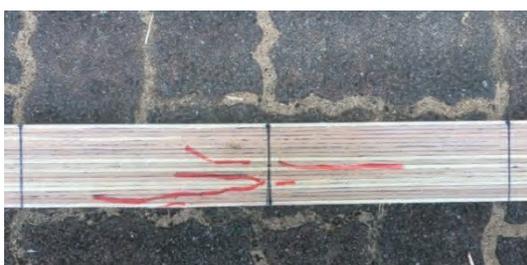
S60-100-1-2



S60-100-1-3



S60-100-1-4



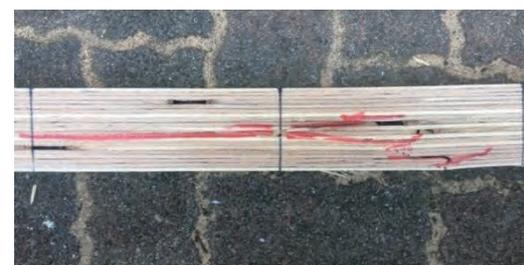
S60-100-2-1



S60-100-2-2



S60-100-2-3



S60-100-3-1

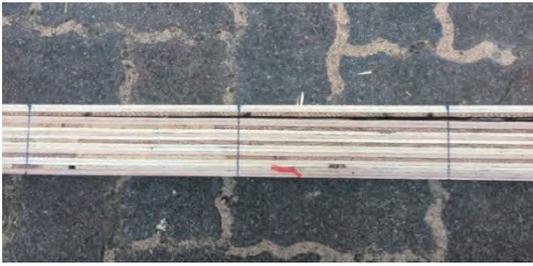


S60-100-3-2

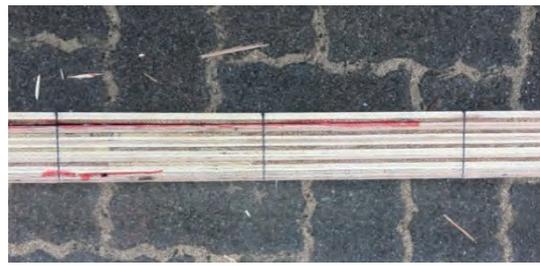


S60-100-3-3

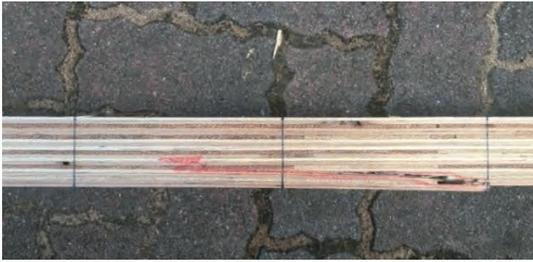
図 13. 1. 1-13 S60-100 仕様の破壊性状



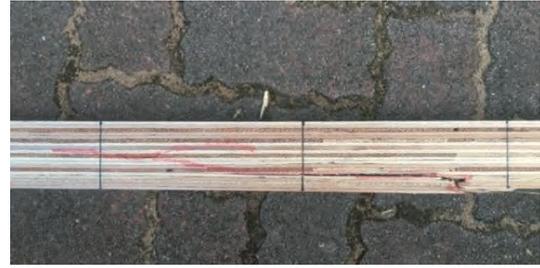
S60-70-1-1



S60-70-1-2



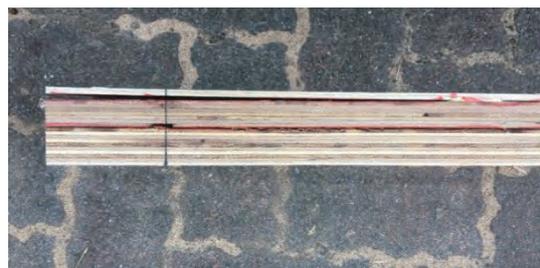
S60-70-1-3



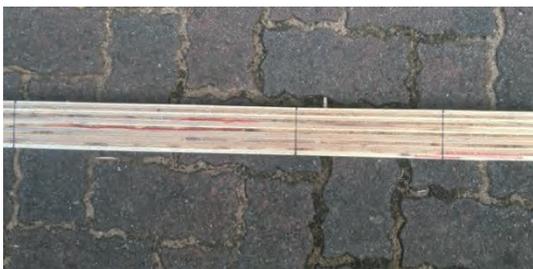
S60-70-1-4



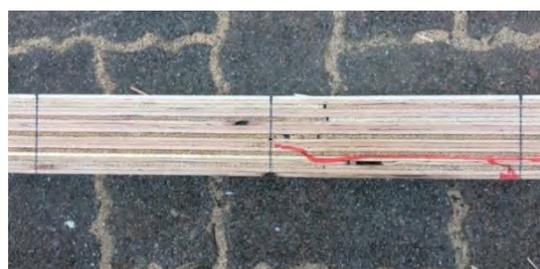
S60-70-2-1



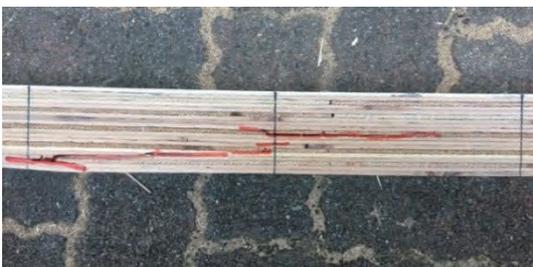
S60-70-2-3



S60-70-2-4



S60-70-3-1

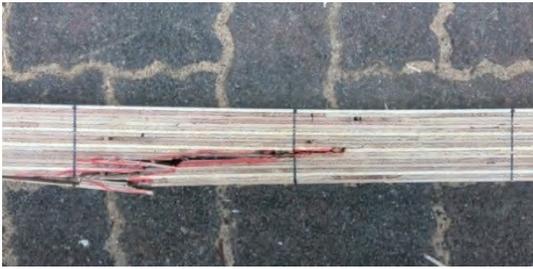


S60-70-3-2

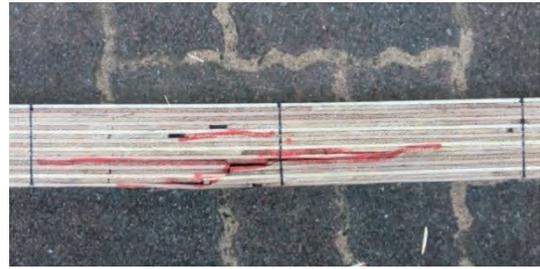


S60-70-3-3

図 13. 1. 1-14 S60-70 仕様の破壊性状



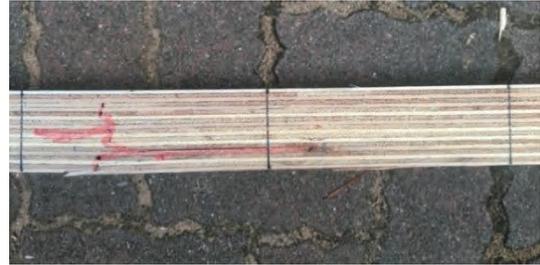
S60-50-1-1



S60-50-1-2



S60-50-1-3



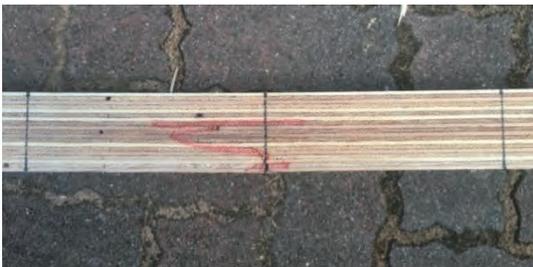
S60-50-1-4



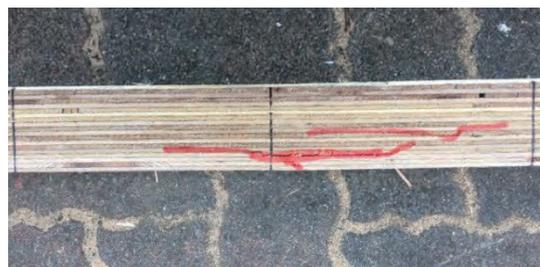
S60-50-2-1



S60-50-2-2



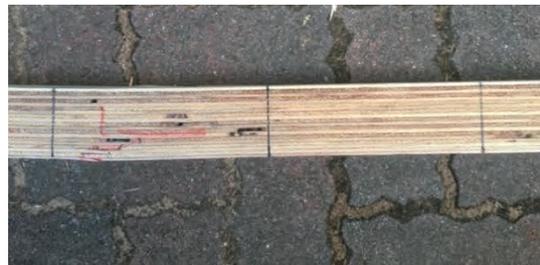
S60-50-2-3



S60-50-3-1



S60-50-3-2

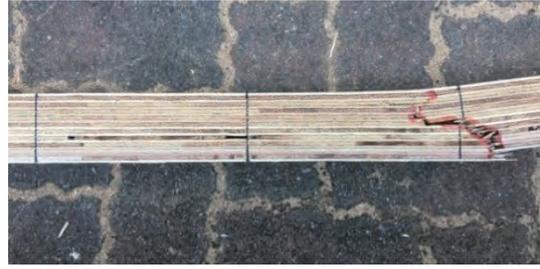


S60-50-3-3

図 13. 1. 1-15 S60-50 仕様の破壊性状



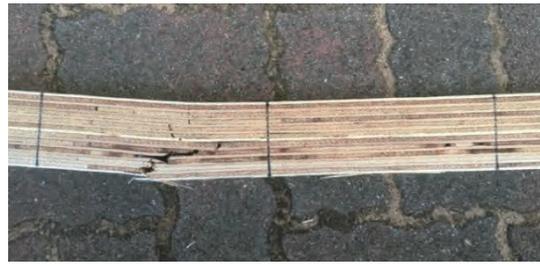
S60-40-1-1



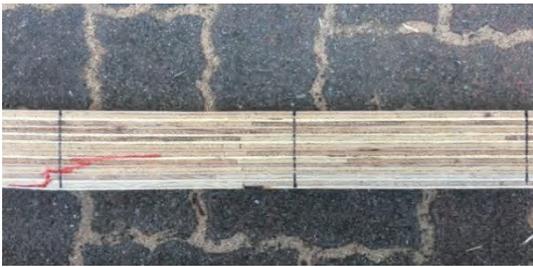
S60-40-1-2



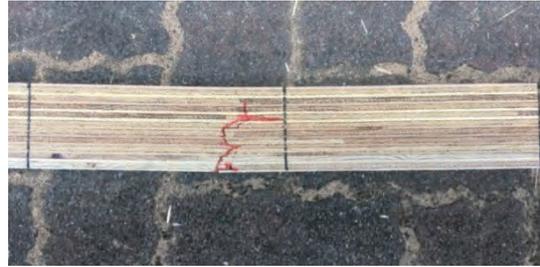
S60-40-1-3



S60-40-1-4



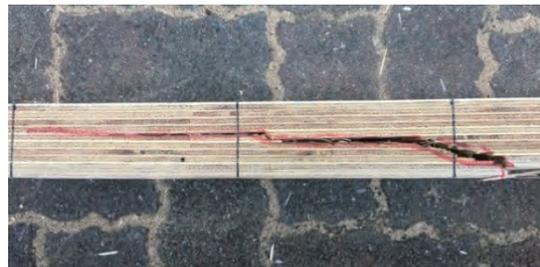
S60-40-2-1



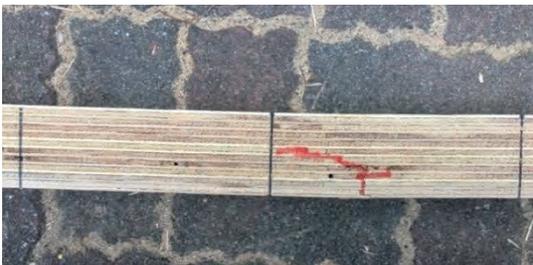
S60-40-2-2



S60-40-2-3



S60-40-3-1

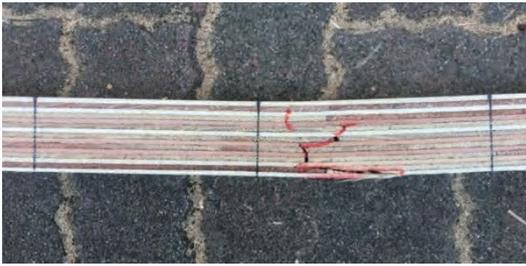


S60-40-3-2

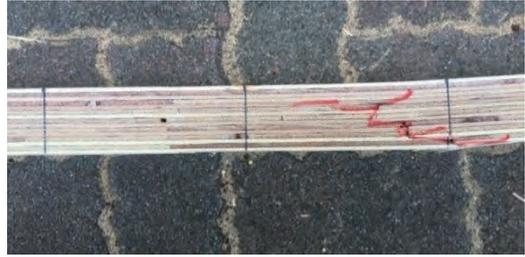


S60-40-3-3

図 13. 1. 1-16 S60-40 仕様の破壊性状



S48-50-1-1



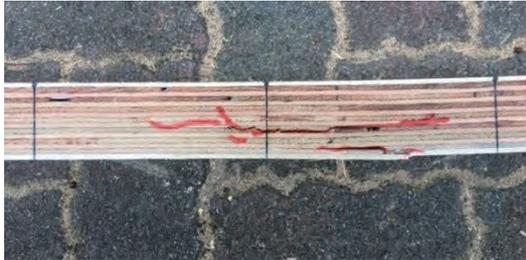
S48-50-1-2



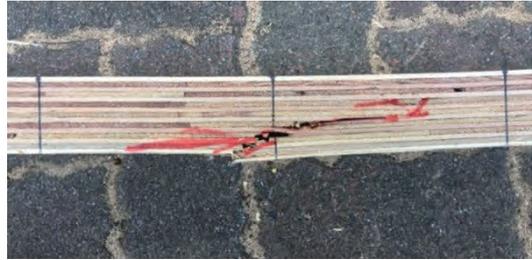
S48-50-1-3



S48-50-1-4



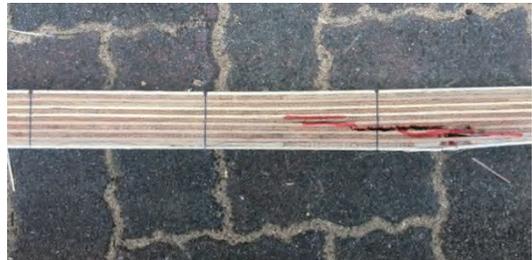
S48-50-2-1



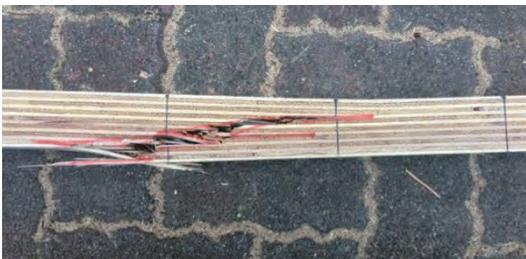
S48-50-2-2



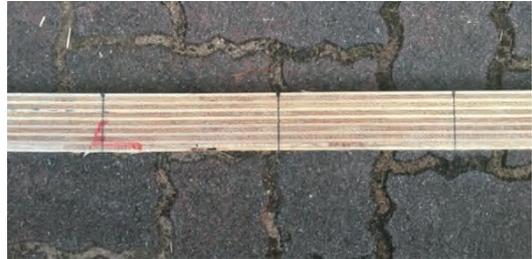
S48-50-2-3



S48-50-3-1

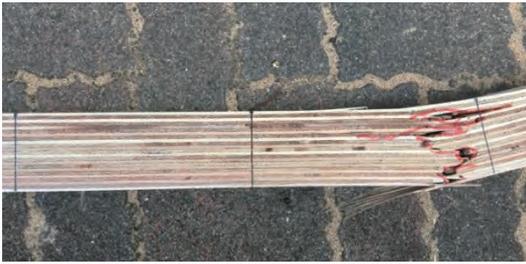


S48-50-3-2



S48-50-3-3

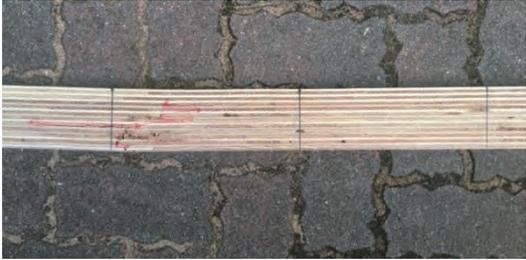
図 13. 1. 1-17 S48-50 仕様の破壊性状



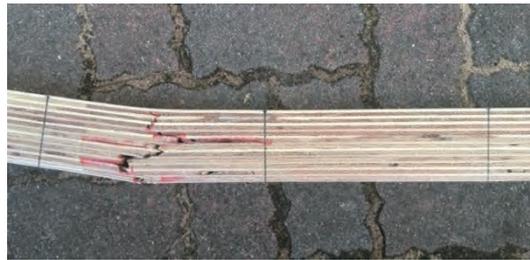
S72-50-1-1



S72-50-1-2



S72-50-1-3



S72-50-1-4



S72-50-2-1



S72-50-2-2



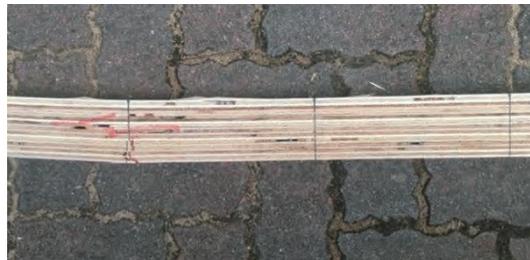
S72-50-2-3



S72-50-3-1

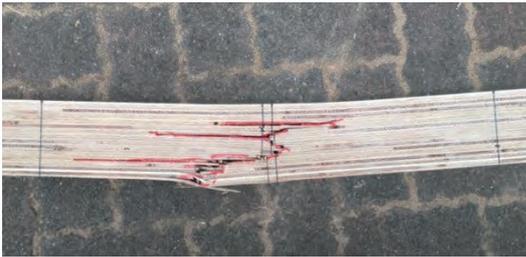


S72-50-3-2



S72-50-3-3

図 13.1.1-18 S72-50 仕様の破壊性状



S96-50-1-1



S96-50-1-2



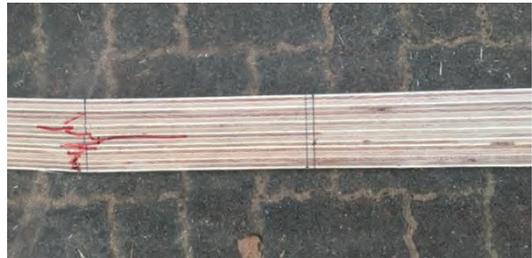
S96-50-1-3



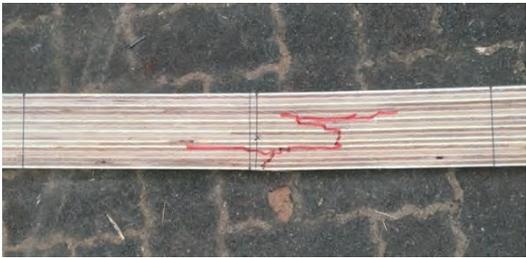
S96-50-1-4



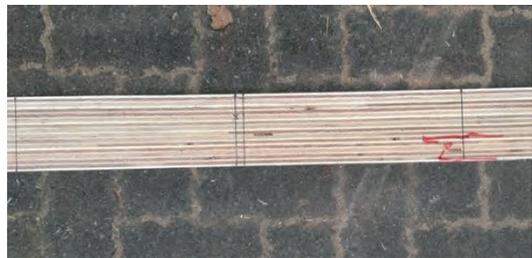
S96-50-2-1



S96-50-2-2



S96-50-2-3



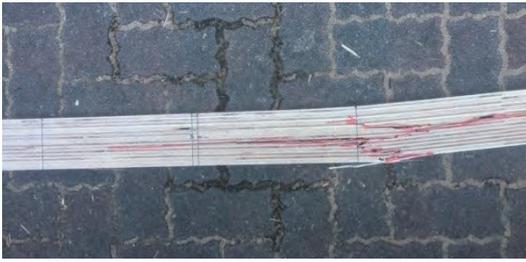
S96-50-2-4



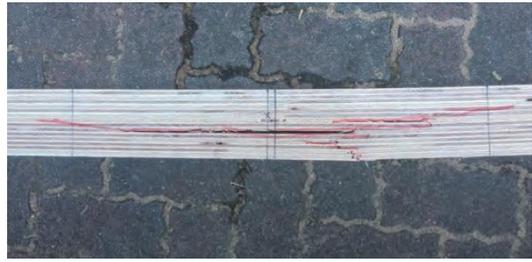
S96-50-3-1



S96-50-3-2



S96-50-3-3



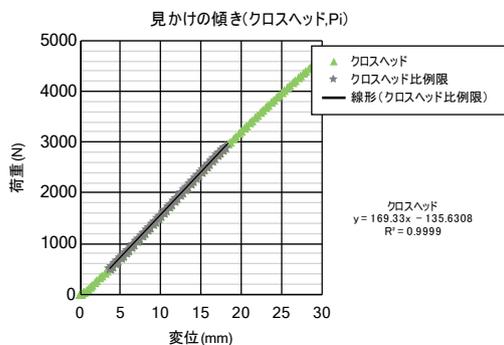
S96-50-3-4

図 13. 1. 1-19 S96-50 の破壊性状

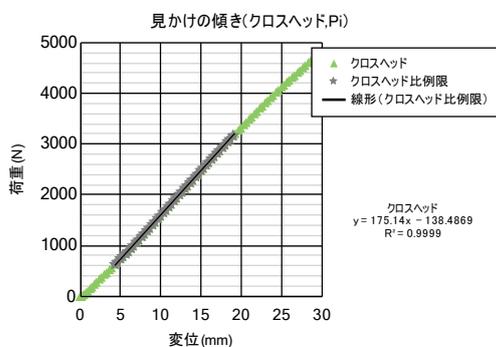
## 13.1.2 曲げ性能 (その2)

### 13.1.2.1 見かけの傾きグラフ

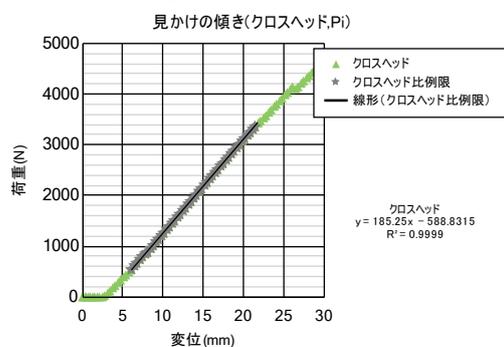
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN101



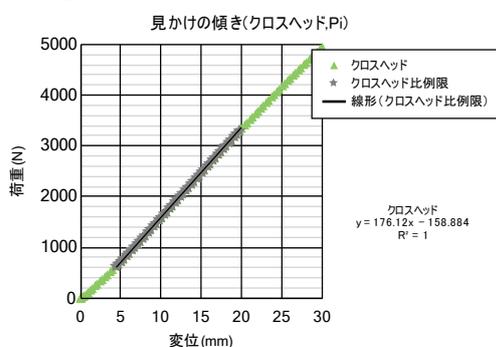
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN102



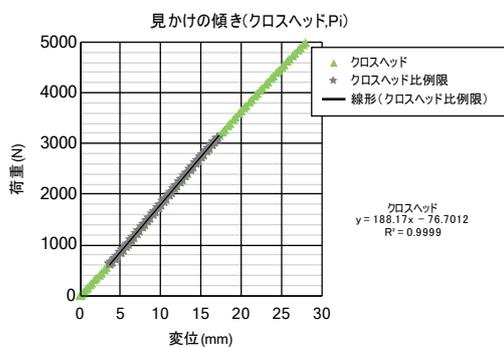
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN103



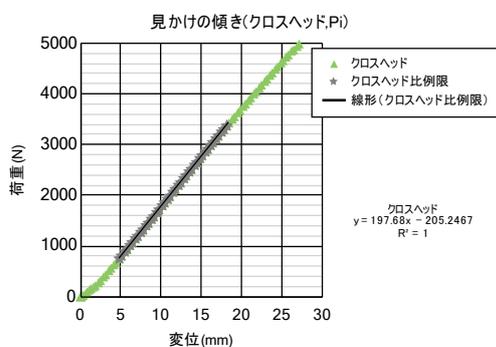
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN201



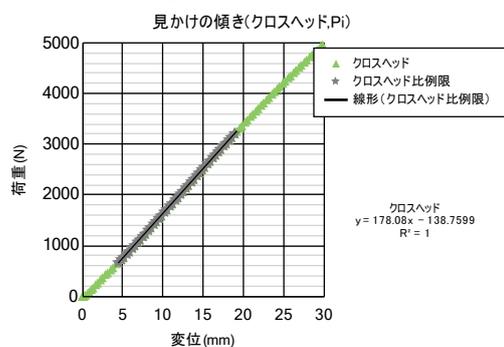
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN202



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN203



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN301



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN302

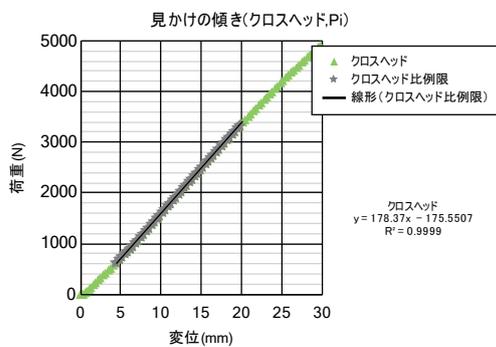
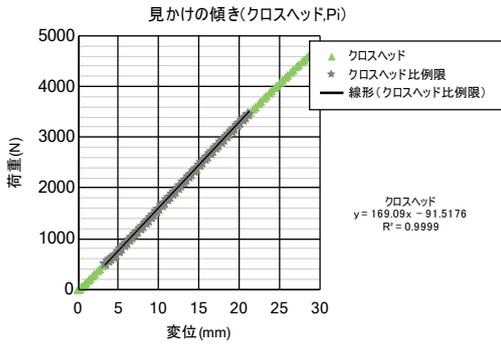
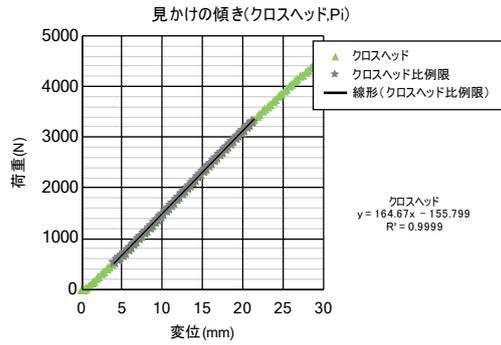


図 13.1.2-1 6-1 (強軸) 見かけの傾きグラフ (1)

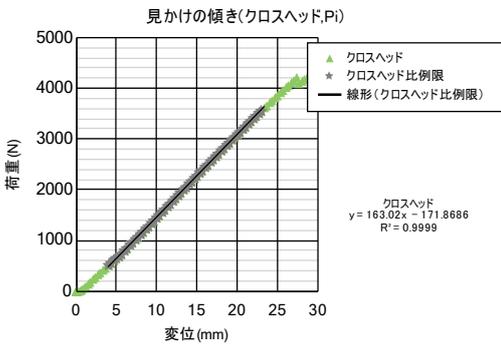
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN303



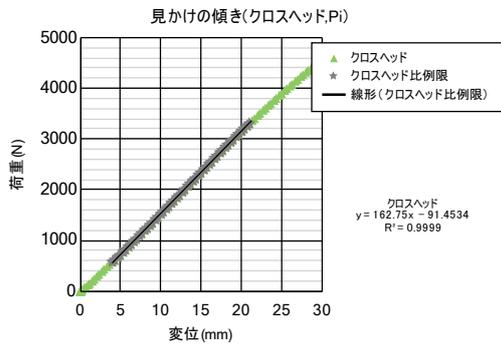
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN401



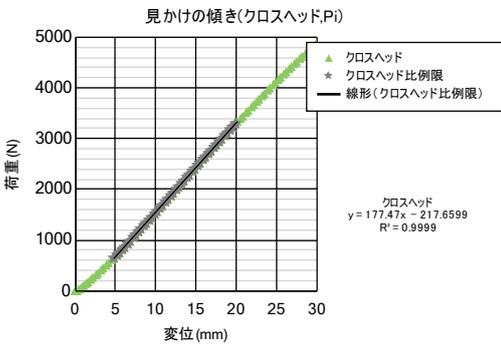
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN402



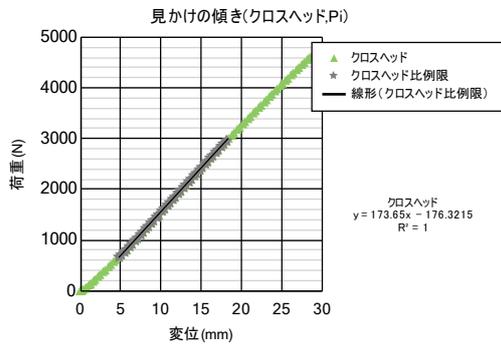
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN403



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN501



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN502



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TN503

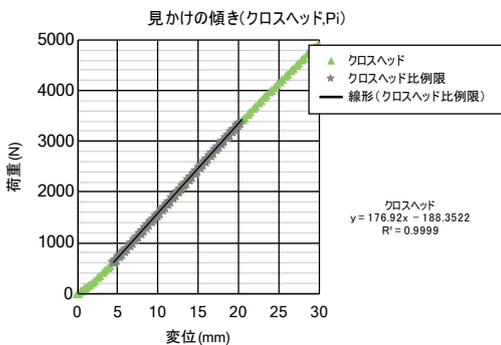
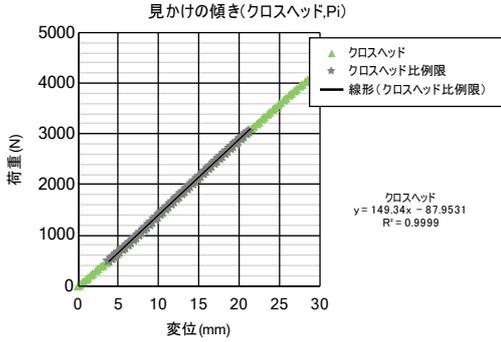
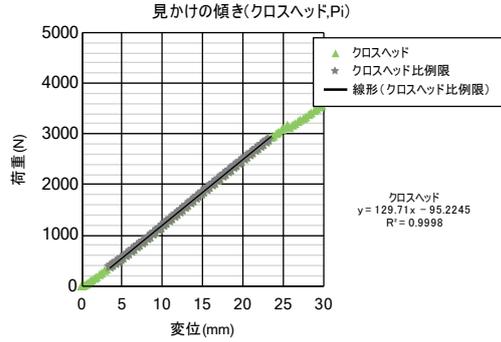


図 13. 1. 2-2 6-1 (強軸) 見かけの傾きグラフ (2)

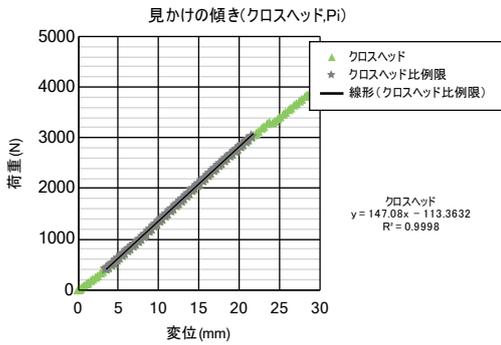
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR101



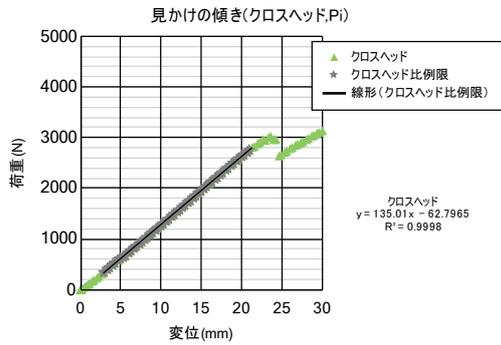
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR102



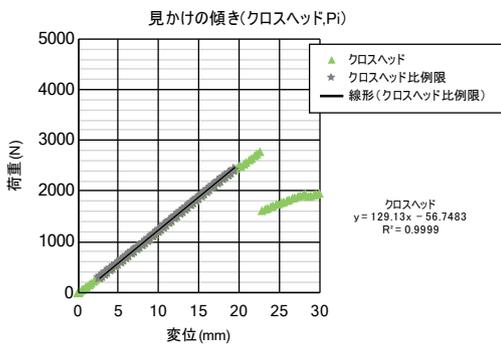
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR103



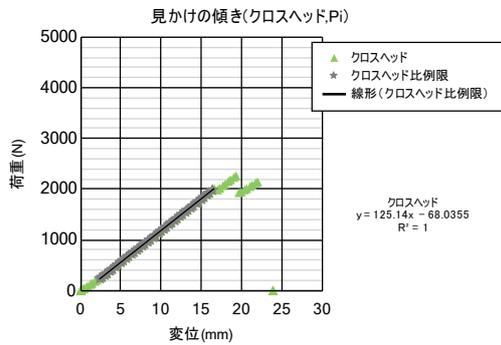
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR201



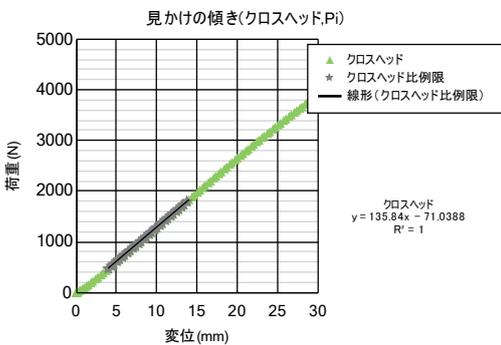
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR202



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR203



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR301



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR302

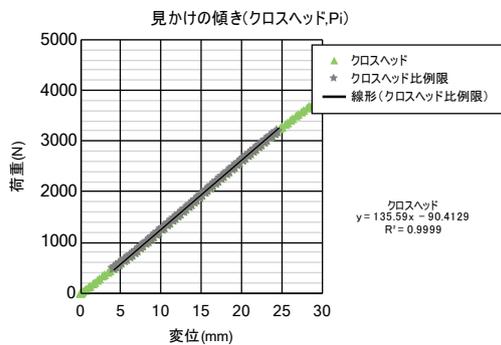
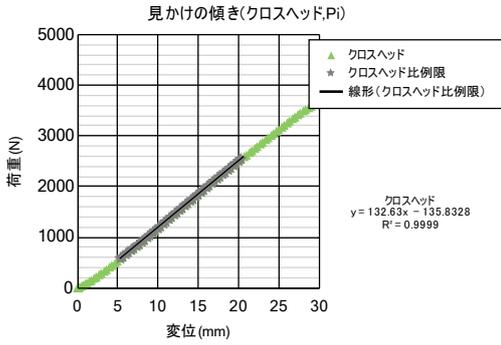
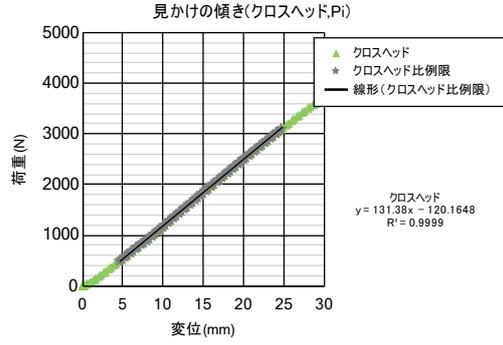


図 13. 1. 2-3 6-1' (弱軸) 見かけの傾きグラフ (1)

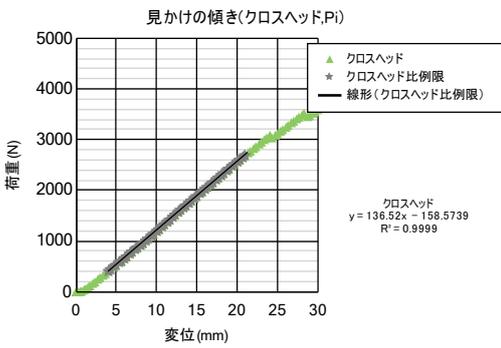
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR303



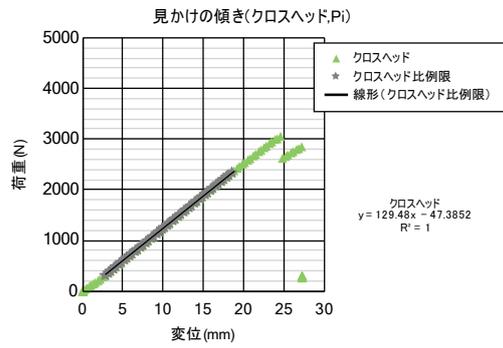
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR401



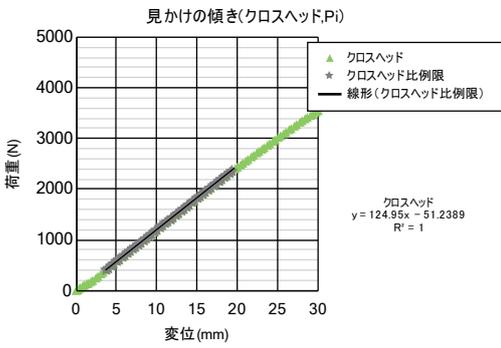
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR402



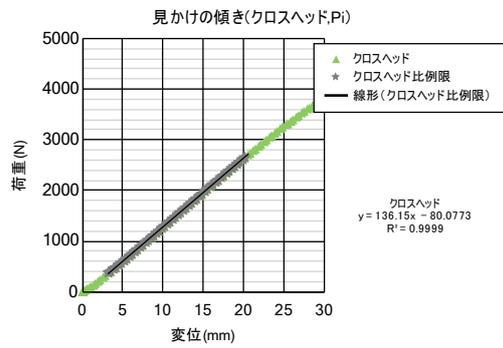
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR403



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR501



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR502



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-1-TR503

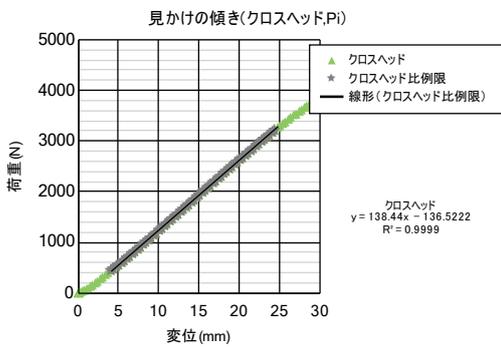
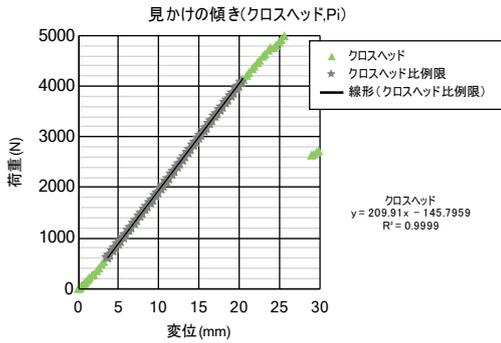
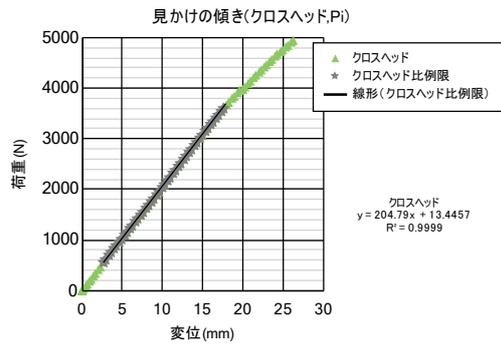


図 13.1.2-4 6-1' (弱軸) 見かけの傾きグラフ (2)

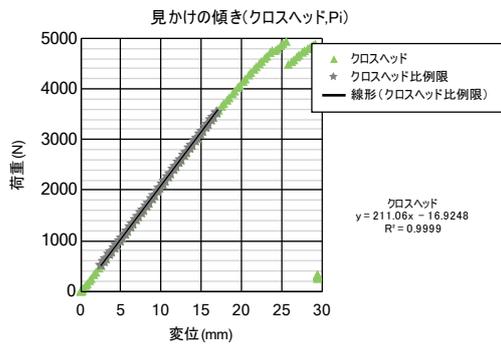
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN101



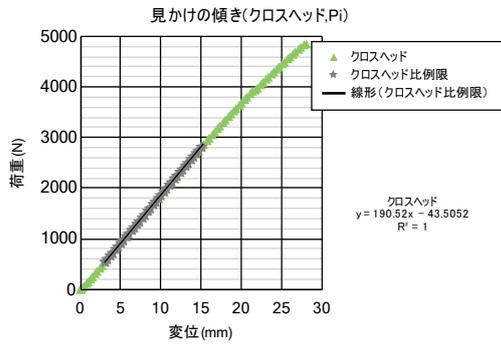
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN102



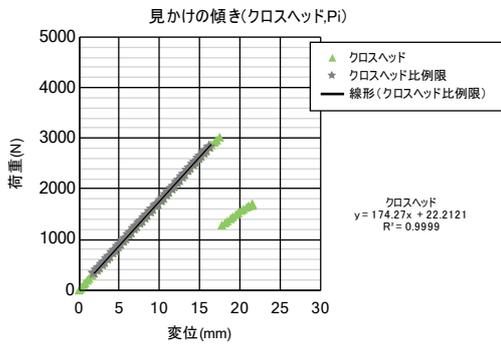
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN103



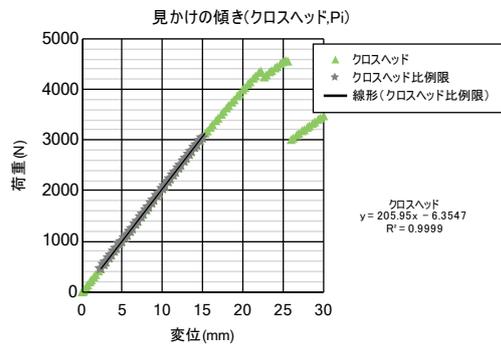
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN201



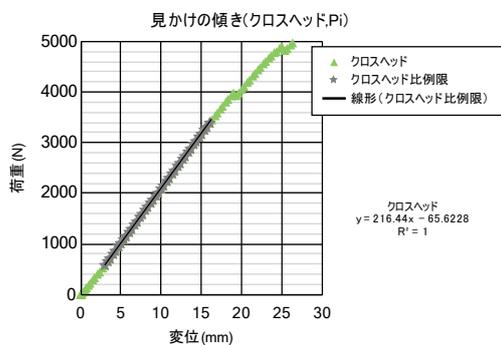
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN202



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN203



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN301



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN302

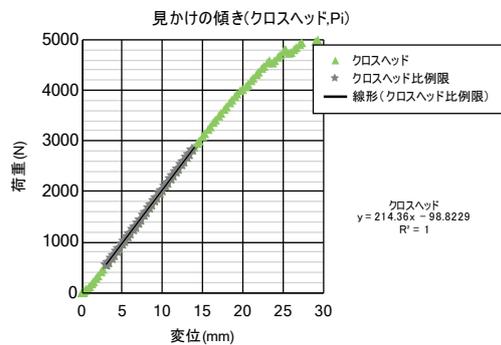
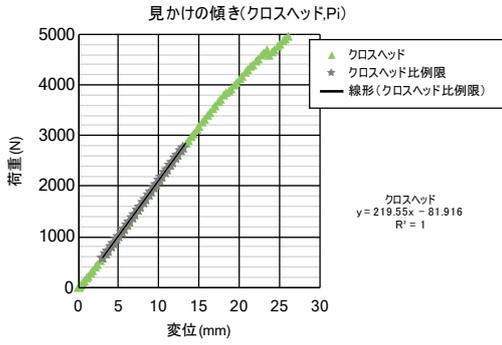
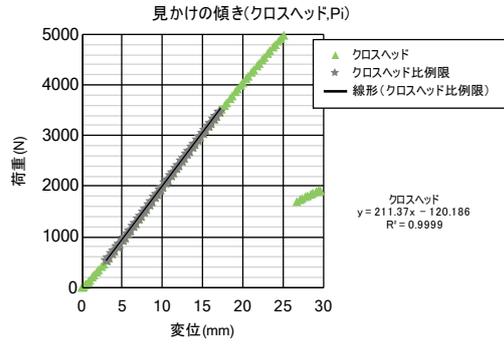


図 13. 1. 2-5 6-2 (強軸) 見かけの傾きグラフ (1)

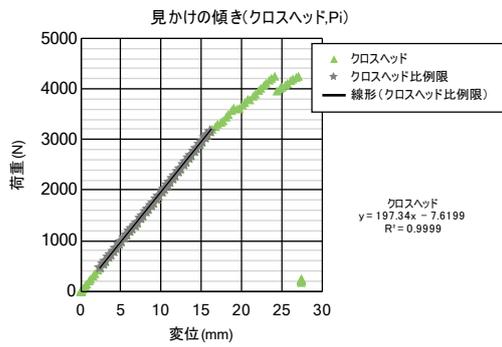
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN303



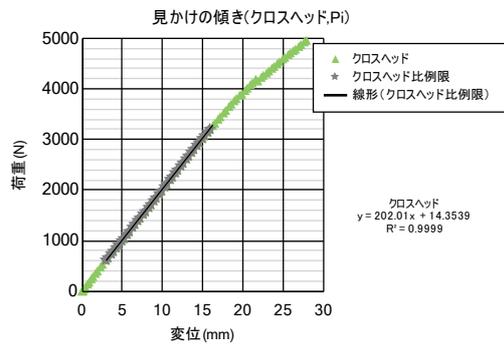
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN401



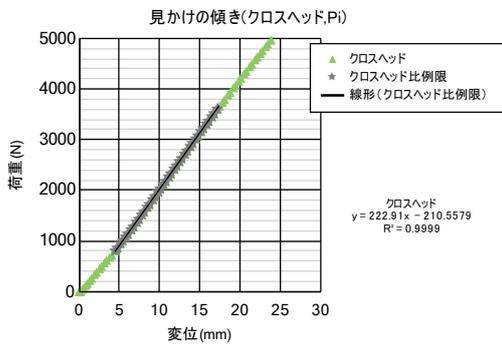
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN402



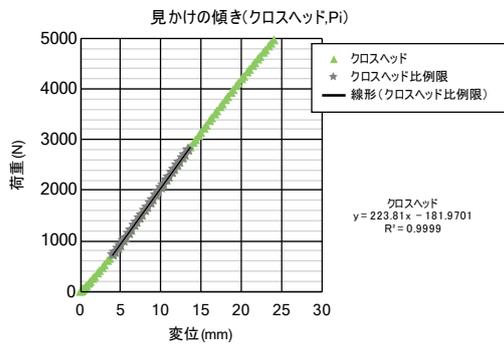
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN403



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN501



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN502



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TN503

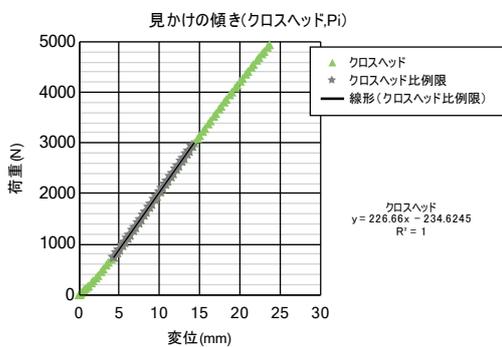
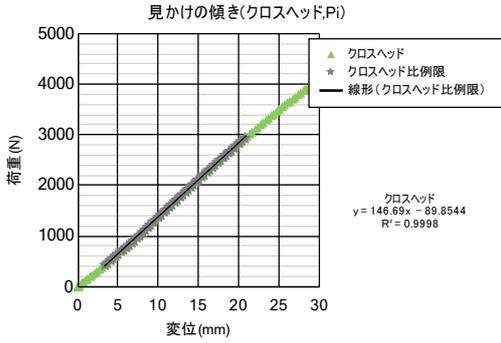
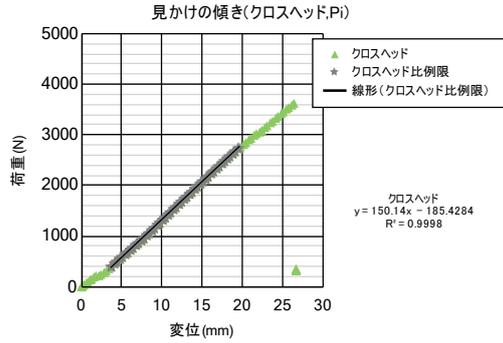


図 13. 1. 2-6 6-2 (強軸) 見かけの傾きグラフ (2)

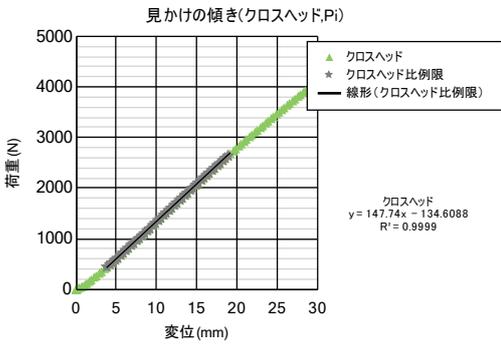
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR101



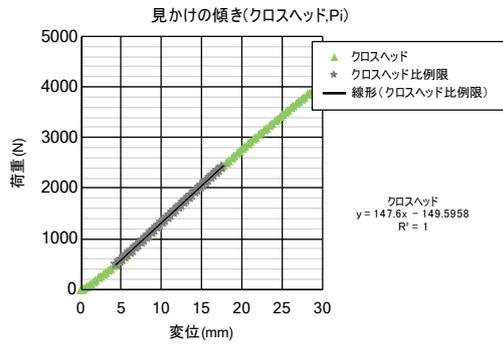
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR102



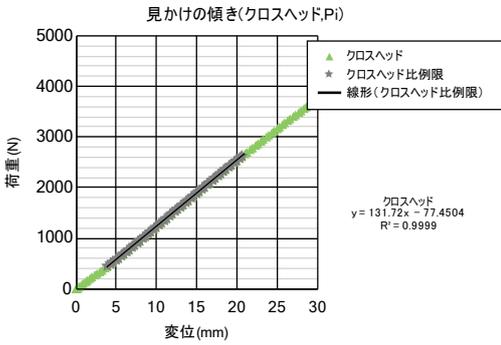
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR103



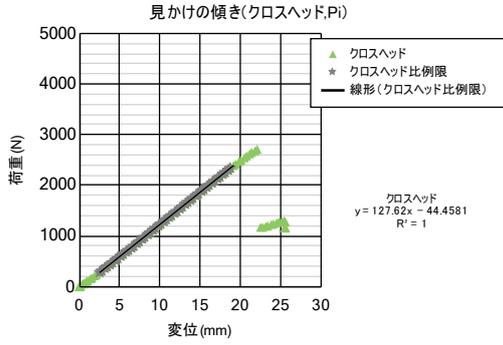
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR201



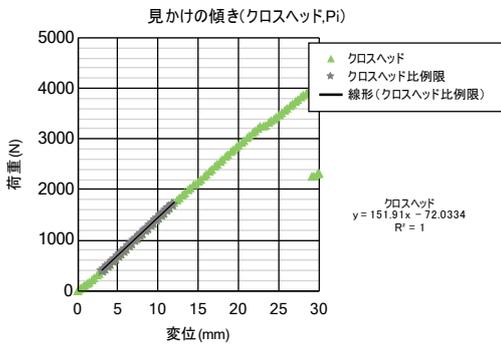
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR202



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR203



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR301



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR302

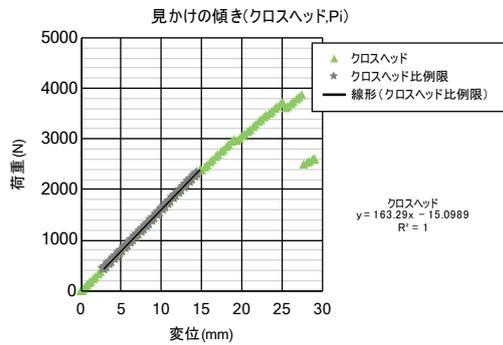
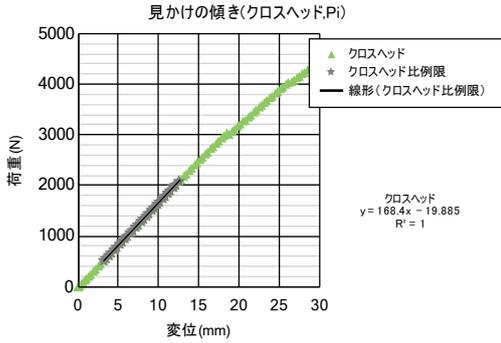
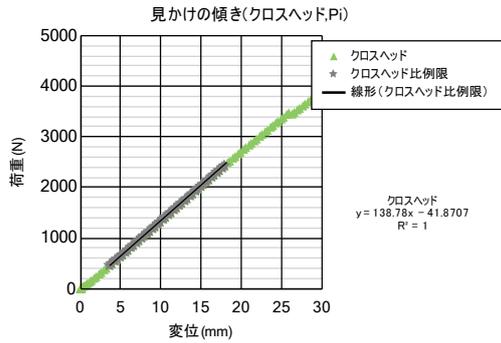


図 13. 1. 2-7 6-2' (弱軸) 見かけの傾きグラフ (1)

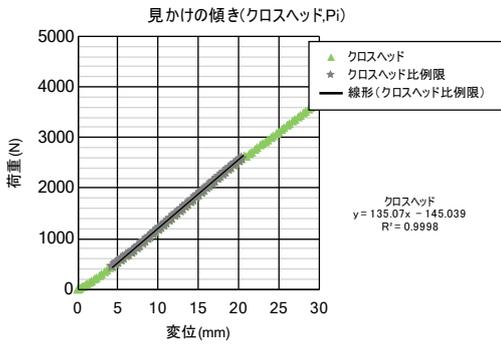
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR303



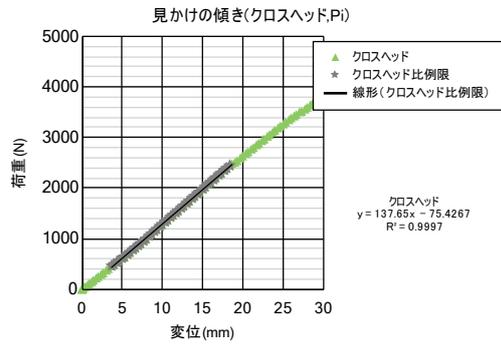
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR401



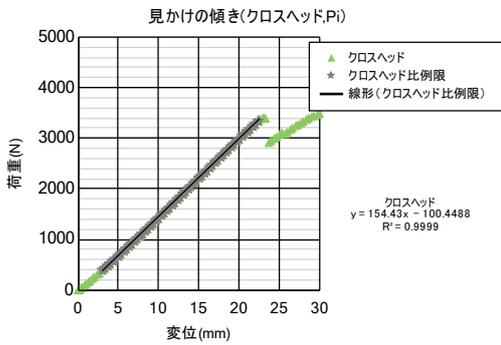
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR402



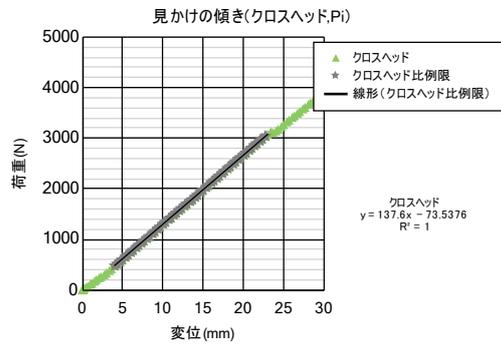
試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR403



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR501



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR502



試験体番号: MLP65mm\_BEND\_6-2-TR503

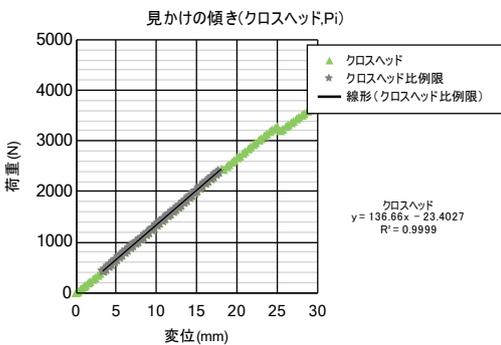


図 13. 1. 2-8 6-2' (弱軸) 見かけの傾きグラフ (2)

(1) 6-1 (強軸) TN シリーズ



写真 13.1.2-1 最大荷重後 (概況)



写真 13.1.2-2 破壊概況

(2) 6-1' (弱軸) TR シリーズ



写真 13.1.2-3 最大荷重後 (概況)



写真 13.1.2-4 破壊概況

(3) 6-2 (強軸) TN シリーズ



写真 13.1.2-5 最大荷重後 (概況)



写真 13.1.2-6 破壊概況

(4) 6-2' (弱軸) TR シリーズ



写真 13.1.2-7 最大荷重後 (概況)



写真 13.1.2-8 破壊概況

### 13.1.3 水平せん断性能



写真-1 スギ試料材の重量，寸法測定



写真-2 試験状況



写真-3 E60 ワンショット平使い 314 (曲げ破壊)  
(E60・ランダムの上に記号がないのは正寸、以下同じ)

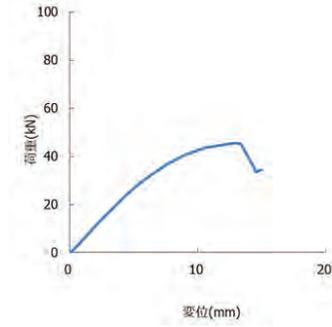


図-1 平使い E60 ワンショット 314



写真-4 E60 ワンショット平使い 112 (めり込み破壊)

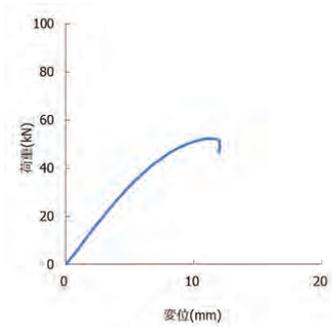


図-2 E60 ワンショット平使い 112



写真-5 E60 ワンショット 111 縦使い (曲げ破壊)

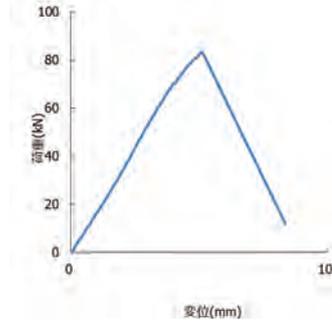


図-3 E60 ワンショット縦使い 111



写真-6 E60 2次接着平使い 202 (めり込み破壊)

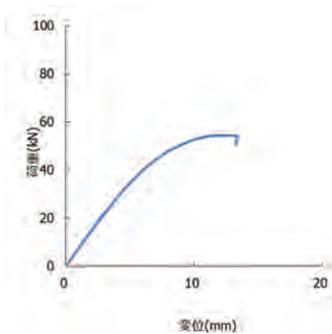


図-4 E60 2次接着平使い 202



写真-7 E60 2次接着縦使い 203 (曲げ破壊)

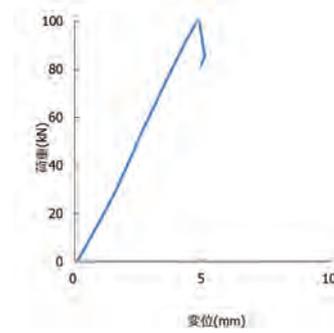


図-5 E60 2次接着縦使い 203



写真-8 E60 ⊥ 2次接着平使い 801 (せん断破壊)  
(⊥記号は逆寸、以下同様)

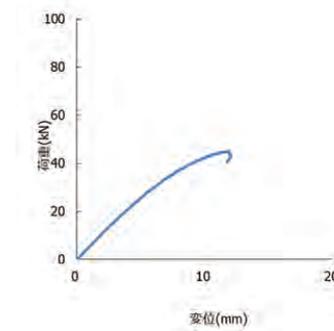


図-6 E60 ⊥ 2次接着平使い 801



写真-9 E60 2次接着⊥平使い 703 (曲げ破壊)

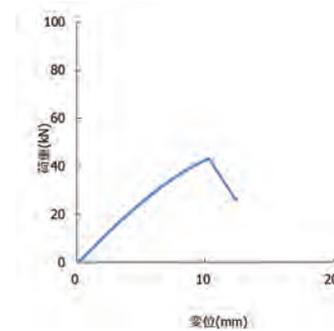


図-7 E60 ⊥ 2次接着平使い 703



写真-10 E60 2次接着平使い ⊥ 806 (めり込み破壊)

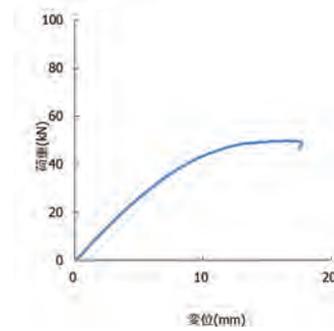


図-8 E60 2次接着⊥平使い 806



写真-11 E60 2次接着⊥縦使い 802 (曲げ破壊)

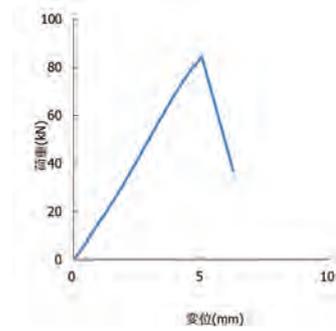


図-9 E60 ⊥ 2次接着縦使い 802



写真-12 ランダムリソット平使い 311 (せん断破壊)

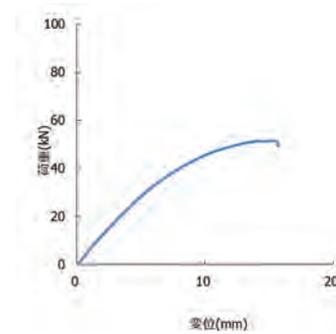


図-10 ランダムリソット平使い 311



写真-13 ランダムリソット平使い 412 (せん断+曲げ破壊)

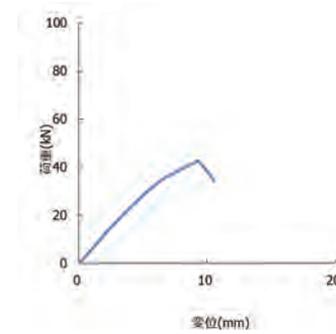


図-11 ランダムリソット平使い 412



写真-14 ランダムリソット平使い 513 (曲げ破壊)

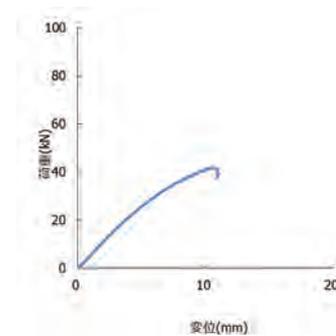


図-12 ランダムリソット平使い 513



写真-15 ランダムワシヨット平使い 514 (めり込み破壊)

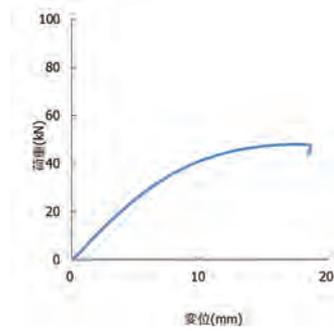


図-13 平使い E60 ワシヨット 514

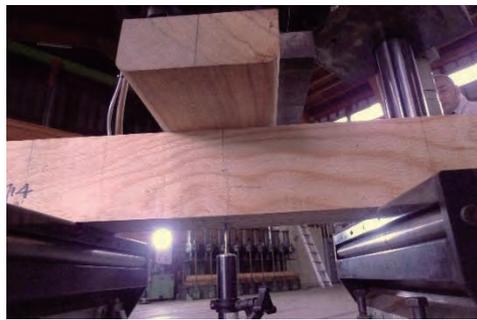


写真-16 ランダムワシヨット縦使い 714 (せん断破壊)

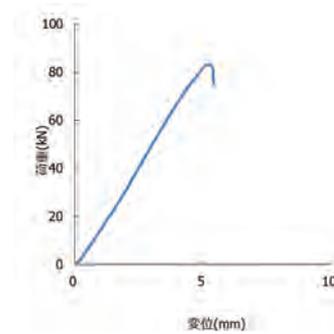


図-14 ランダムワシヨット縦使い 714



写真-17 ランダムワシヨット縦使い 314 (曲げ破壊)

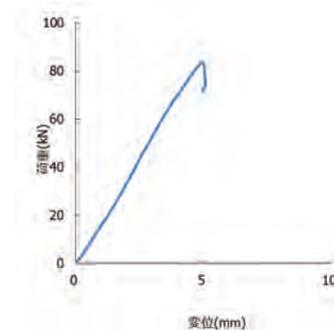


図-15 ランダムワシヨット縦使い 314



写真-18 ランダム2次接着平使い 503 (曲げ破壊)

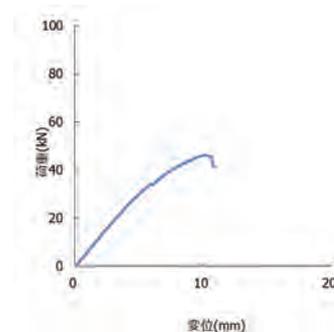


図-16 ランダム平使いワシヨット 503



写真-19 ランダム2次接着平使い 302 (めり込み破壊)

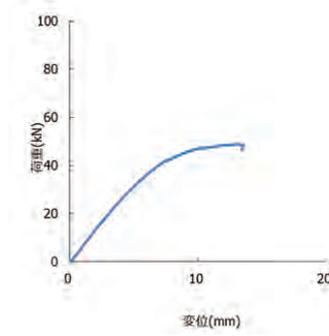


図-17 ランダム2次接着平使い 302



写真-20 ランダム2次接着縦使い 101 (曲げ破壊)

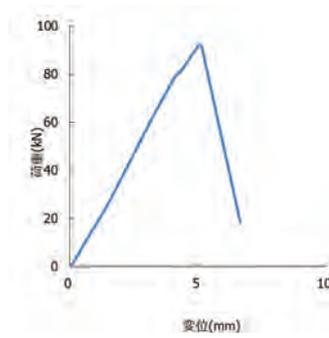


図-18 ランダム2次接着縦使い 101



写真-21 ランダム2次接着⊥平使い 804 (せん断破壊)

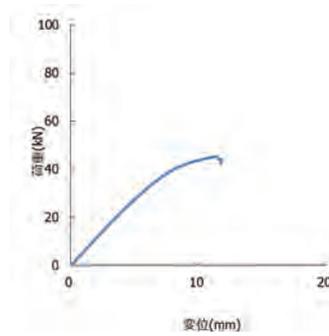


図-19 ランダム2次接着⊥平使い 804



写真-22 ランダム2次接着⊥平使い 605 (曲げ破壊)

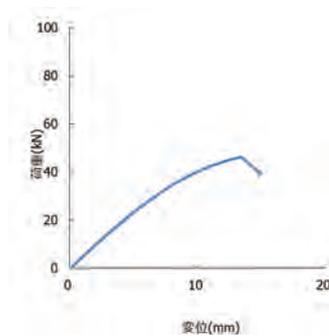


図-20 ランダム2次接着⊥平使い 605



写真-23 ランダム2次接着⊥平使い704 (めり込み)

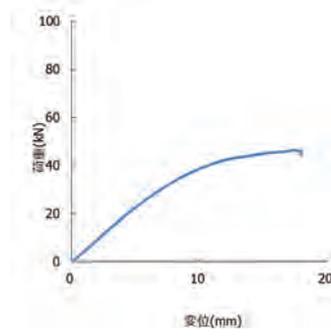


図-21 ランダム2次接着⊥平使い704



写真-24 ランダム2次接着⊥縦使い (曲げ破壊)

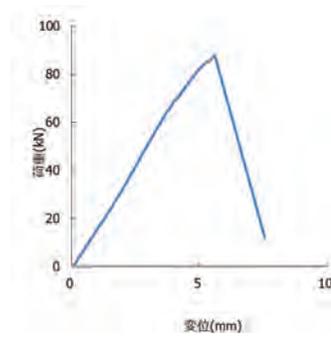


図-22 ランダム2次接着⊥縦使い

表-1 スギ E60 ワンショット 正寸 平使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
ワンショット	112	繊維方向	平使い	8159	900	144.59	150.39	417	52.39	1.81	めり込み	9.5
ワンショット	212	繊維方向	平使い	8109	901	144.51	149.85	416	47.19	1.63	めり込み	9.4
ワンショット	214	繊維方向	平使い	8150	901	144.49	150.40	416	46.63	1.61	めり込み	9.8
ワンショット	313	繊維方向	平使い	8015	901	143.76	150.05	412	43.96	1.53	めり込み	9.3
ワンショット	314	繊維方向	平使い	8077	901	144.49	150.32	413	45.57	1.57	曲げ	9.3
ワンショット	411	繊維方向	平使い	8022	901	143.68	142.57	435	39.06	1.43	曲げ	9.3
ワンショット	412	繊維方向	平使い	8110	901	144.54	143.48	434	44.68	1.62	曲げ	9.2
ワンショット	414	繊維方向	平使い	8172	901	144.29	144.14	436	35.77	1.29	曲げ	9.6
ワンショット	512	繊維方向	平使い	8487	901	144.67	145.35	448	49.48	1.76	曲げ	9.7
ワンショット	513	繊維方向	平使い	8496	901	144.07	147.67	443	47.37	1.67	めり込み	9.7
ワンショット	611	繊維方向	平使い	8091	901	144.10	148.73	419	41.94	1.47	めり込み	9.8
ワンショット	612	繊維方向	平使い	8038	901	144.41	148.76	415	41.78	1.46	曲げ	9.9
ワンショット	614	繊維方向	平使い	7943	901	144.48	149.92	407	45.40	1.57	めり込み	9.8
ワンショット	713	繊維方向	平使い	8134	901	144.17	146.96	426	47.09	1.67	曲げ	9.5
平均								424		1.58		9.6

表-2 スギ E60 ワンショット 正寸 縦使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
ワンショット	111	繊維方向	縦使い	8131	900	143.97	150.52	417	83.46	2.89	曲げ	9.0
ワンショット	113	繊維方向	縦使い	8078	900	144.16	149.70	416	72.71	2.53	曲げ	8.4
ワンショット	114	繊維方向	縦使い	8057	900	143.23	149.62	418	76.80	2.69	曲げ	8.4
ワンショット	211	繊維方向	縦使い	8108	901	144.02	150.12	416	73.94	2.56	曲げ	8.4
ワンショット	213	繊維方向	縦使い	8103	901	144.13	150.77	414	72.34	2.50	曲げ	9.1
ワンショット	311	繊維方向	縦使い	8012	901	143.62	149.76	413	74.57	2.60	曲げ	8.4
ワンショット	312	繊維方向	縦使い	7998	900	144.29	149.96	411	72.35	2.51	曲げ	8.7
ワンショット	413	繊維方向	縦使い	8092	901	144.04	144.09	433	63.95	2.31	曲げ	9.0
ワンショット	511	繊維方向	縦使い	8435	901	144.06	145.77	446	93.23	3.33	曲げ	9.3
ワンショット	514	繊維方向	縦使い	8522	900	144.64	147.34	444	103.62	3.65	曲げ	9.3
ワンショット	613	繊維方向	縦使い	7976	901	144.11	149.79	410	65.09	2.26	曲げ	9.6
ワンショット	711	繊維方向	縦使い	8060	901	144.04	145.43	427	95.40	3.42	曲げ	9.3
ワンショット	712	繊維方向	縦使い	8245	901	144.75	145.44	435	90.34	3.22	曲げ	10.3
ワンショット	714	繊維方向	縦使い	8333	901	144.66	146.73	436	85.43	3.02	曲げ	9.6
平均								424		2.82		9.1

表-3 スギ E60 2次接着 正寸 平使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
2次接着	102	繊維方向	平使い	8131	900	144.67	144.09	433	45.88	1.65	めり込み	9.1
2次接着	103	繊維方向	平使い	8174	901	144.63	144.75	433	47.44	1.70	めり込み	8.9
2次接着	202	繊維方向	平使い	8383	900	144.69	143.92	447	52.26	1.88	めり込み	9.2
2次接着	301	繊維方向	平使い	8239	900	144.58	144.60	438	48.15	1.73	めり込み	9.4
2次接着	302	繊維方向	平使い	8223	900	144.75	143.94	439	50.00	1.80	めり込み	9.4
2次接着	303	繊維方向	平使い	8335	901	144.72	144.56	442	45.25	1.62	めり込み	8.9
2次接着	304	繊維方向	平使い	8305	901	144.65	144.10	442	47.15	1.70	めり込み	9.2
2次接着	403	繊維方向	平使い	8398	900	144.72	144.80	445	52.89	1.89	めり込み	8.5
2次接着	404	繊維方向	平使い	8465	900	144.67	144.07	451	54.47	1.96	めり込み	8.7
2次接着	503	繊維方向	平使い	8108	901	144.65	144.74	430	51.04	1.83	めり込み	8.4
平均								440		1.78		9.0

表-4 スギ E60 2次接着 正寸 縦使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
2次接着	101	繊維方向	縦使い	8142	900	144.54	144.72	433	103.20	3.70	曲げ	8.8
2次接着	104	繊維方向	縦使い	8154	900	144.63	144.09	435	103.20	3.71	曲げ	8.6
2次接着	201	繊維方向	縦使い	8351	900	144.44	144.65	444	103.20	3.70	曲げ	9.0
2次接着	203	繊維方向	縦使い	8420	900	144.59	144.45	448	101.57	3.65	曲げ	8.1
2次接着	204	繊維方向	縦使い	8443	900	144.56	144.12	450	115.26	4.15	曲げ	8.6
2次接着	401	繊維方向	縦使い	8315	900	144.52	144.75	442	108.10	3.88	曲げ	8.5
2次接着	402	繊維方向	縦使い	8312	900	144.75	144.14	443	104.22	3.75	曲げ	8.6
2次接着	501	繊維方向	縦使い	8203	900	144.57	144.91	435	97.13	3.48	曲げ	8.7
2次接着	502	繊維方向	縦使い	8294	900	144.86	144.36	441	101.58	3.64	曲げ	8.8
2次接着	504	繊維方向	縦使い	8166	901	145.10	144.21	433	100.29	3.59	曲げ	8.7
平均								440		3.73		8.6

表-5 スギ E60 2次接着 逆寸 平使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
2次接着	602	直交方向	平使い	8072	911	144.17	144.92	424	44.06	1.58	曲げ	7.9
2次接着	604	直交方向	平使い	8218	911	144.44	145.05	431	39.17	1.40	曲げ	8.1
2次接着	702	直交方向	平使い	8194	911	144.27	145.81	428	28.00	1.00	曲げ	8.3
2次接着	703	直交方向	平使い	8220	911	144.32	145.72	429	43.03	1.53	曲げ	8.3
2次接着	704	直交方向	平使い	8201	911	144.28	145.64	428	38.38	1.37	曲げ	8.1
2次接着	705	直交方向	平使い	8183	911	144.06	145.48	429	40.61	1.45	曲げ	7.9
2次接着	706	直交方向	平使い	8315	911	144.60	145.29	434	47.04	1.68	曲げ	8.7
2次接着	801	直交方向	平使い	8287	911	144.53	145.85	432	44.92	1.60	せん断	8.3
2次接着	806	直交方向	平使い	8219	911	144.66	145.57	428	49.64	1.77	めり込み	9.0
平均								429		1.49		8.3

表-6 スギ E60 2次接着 逆寸 縦使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
2次接着	601	直交方向	縦使い	8097	911	143.92	144.98	426	61.68	2.22	曲げ	8.0
2次接着	603	直交方向	縦使い	8082	911	144.26	144.88	424	58.70	2.11	曲げ	8.0
2次接着	605	直交方向	縦使い	8169	911	143.87	144.81	430	57.30	2.06	曲げ	8.3
2次接着	606	直交方向	縦使い	8210	911	144.21	144.74	432	61.312	2.20	曲げ	9.4
2次接着	701	直交方向	縦使い	8315	911	144.59	146.02	432	76.4	2.71	曲げ	8.4
2次接着	802	直交方向	縦使い	8270	911	145.17	145.54	430	84.452	3.00	曲げ	8.0
2次接着	803	直交方向	縦使い	8320	911	144.11	145.73	435	85.432	3.05	曲げ	8.0
2次接着	805	直交方向	縦使い	8207	911	144.53	145.48	428	78.584	2.80	曲げ	8.0
2次接着	804	直交方向	縦使い	8319	911	144.47	145.60	434	75.556	2.69	曲げ	7.9
平均								430		2.54		8.2

表-7 スギ ランダム ワンショット 正寸 平使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
ワンショット	111	繊維方向	平使い	8295	901	144.38	147.94	431	52.46	1.84	せん断	10.7
ワンショット	113	繊維方向	平使い	8236	901	144.66	149.26	423	48.78	1.69	せん断+曲げ	11.0
ワンショット	212	繊維方向	平使い	8393	900	144.57	149.29	432	49.26	1.71	めり込み	10.5
ワンショット	213	繊維方向	平使い	8418	901	144.57	149.86	431	46.99	1.63	めり込み	10.7
ワンショット	214	繊維方向	平使い	8551	900	144.38	150.08	438	48.95	1.69	めり込み	11.2
ワンショット	311	繊維方向	平使い	8209	900	144.52	146.89	430	51.45	1.82	せん断	10.3
ワンショット	411	繊維方向	平使い	8173	901	144.66	146.88	427	54.03	1.91	曲げ	9.4
ワンショット	412	繊維方向	平使い	8110	900	144.51	147.18	424	42.71	1.51	せん断+曲げ	9.7
ワンショット	513	繊維方向	平使い	8266	900	144.63	146.92	432	41.83	1.48	曲げ	10.5
ワンショット	514	繊維方向	平使い	8289	900	144.41	147.02	434	48.03	1.70	めり込み	10.9
ワンショット	611	繊維方向	平使い	8469	901	144.63	151.19	430	51.22	1.76	曲げ	10.6
ワンショット	612	繊維方向	平使い	8530	901	144.52	151.30	433	49.83	1.71	めり込み	10.6
ワンショット	712	繊維方向	平使い	8314	900	144.48	149.23	428	46.50	1.62	曲げ	10.9
ワンショット	713	繊維方向	平使い	8240	901	144.58	150.95	419	49.99	1.72	めり込み	10.7
平均								429		1.70		10.5

表-8 スギ ランダム ワンショット 正寸 縦使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
ワンショット	112	繊維方向	縦使い	8638	901	149.76	147.18	435	95.40	3.25	曲げ	11.2
ワンショット	114	繊維方向	縦使い	8305	900	144.27	148.97	429	83.41	2.91	せん断	11.9
ワンショット	211	繊維方向	縦使い	8362	900	144.65	149.31	430	84.26	2.93	せん断	10.9
ワンショット	312	繊維方向	縦使い	8305	901	144.52	147.32	433	75.75	2.67	せん断	10.4
ワンショット	313	繊維方向	縦使い	8312	901	144.59	147.93	431	77.98	2.73	曲げ	10.3
ワンショット	314	繊維方向	縦使い	8337	901	144.61	148.10	432	83.72	2.93	曲げ	10.2
ワンショット	413	繊維方向	縦使い	8059	900	144.63	147.54	420	72.77	2.56	せん断	10.0
ワンショット	414	繊維方向	縦使い	8100	900	144.52	148.08	421	84.60	2.97	せん断	10.0
ワンショット	511	繊維方向	縦使い	8167	900	144.69	146.22	429	72.86	2.58	曲げ	10.6
ワンショット	512	繊維方向	縦使い	8297	900	144.28	146.56	436	73.38	2.60	曲げ	10.6
ワンショット	613	繊維方向	縦使い	8459	900	144.60	150.20	433	88.72	3.06	曲げ	10.3
ワンショット	614	繊維方向	縦使い	8431	900	144.46	150.71	430	82.91	2.86	曲げ	10.4
ワンショット	711	繊維方向	縦使い	8322	901	144.59	149.72	427	83.90	2.91	曲げ	10.9
ワンショット	714	繊維方向	縦使い	8310	900	144.57	150.67	424	83.48	2.87	せん断	11.3
平均								429		2.84		10.7

表-9 スギ ランダム 2次接着 正寸 平使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
2次接着	102	繊維方向	平使い	8273	900	145.86	143.92	438	48.01	1.72	めり込み	9.1
2次接着	104	繊維方向	平使い	8169	900	143.32	144.02	440	45.14	1.64	曲げ	9.2
2次接着	201	繊維方向	平使い	7988	900	144.37	144.48	426	46.27	1.66	めり込み	9.2
2次接着	202	繊維方向	平使い	8317	901	149.26	143.95	430	43.67	1.52	曲げ	9.2
2次接着	302	繊維方向	平使い	8317	900	150.23	143.91	427	48.88	1.70	めり込み	9.1
2次接着	304	繊維方向	平使い	8080	901	150.05	143.95	415	48.75	1.69	めり込み	9.0
2次接着	402	繊維方向	平使い	8473	900	144.76	143.80	452	53.09	1.91	めり込み	9.1
2次接着	403	繊維方向	平使い	8540	900	144.68	144.46	454	53.67	1.93	めり込み	8.6
2次接着	502	繊維方向	平使い	8385	900	145.20	143.96	446	50.70	1.82	めり込み	8.9
2次接着	503	繊維方向	平使い	8206	900	145.19	144.57	434	46.24	1.65	曲げ	8.4
平均								436		1.72		9.0

表-10 スギ ランダム 2次接着 正寸 縦使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
2次接着	101	繊維方向	縦使い	8193	900	144.52	144.52	436	92.39	3.32	曲げ	8.9
2次接着	103	繊維方向	縦使い	8188	900	143.90	144.48	438	95.23	3.44	曲げ	8.8
2次接着	203	繊維方向	縦使い	7976	901	144.60	144.47	424	86.50	3.11	曲げ	9.0
2次接着	204	繊維方向	縦使い	8282	901	149.00	144.09	428	98.78	3.45	曲げ	9.4
2次接着	301	繊維方向	縦使い	8036	900	144.37	144.53	428	86.43	3.11	曲げ	9.2
2次接着	303	繊維方向	縦使い	7879	901	144.56	144.53	419	80.21	2.88	曲げ	9.1
2次接着	401	繊維方向	縦使い	8505	900	144.60	144.39	453	99.51	3.57	曲げ	9.3
2次接着	404	繊維方向	縦使い	8799	900	149.76	144.03	453	108.42	3.77	曲げ	9.4
2次接着	501	繊維方向	縦使い	8301	900	144.89	144.58	440	91.32	3.27	曲げ	8.9
2次接着	504	繊維方向	縦使い	8339	900	145.35	144.03	443	88.90	3.19	曲げ	8.9
平均								436		3.31		9.1

表-11 スギ ランダム 2次接着 逆寸 平使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
2次接着	602	直交方向	平使い	8252	912	144.24	145.33	432	46.67	1.67	曲げ	8.3
2次接着	605	直交方向	平使い	8065	912	144.01	145.16	423	46.23	1.66	曲げ	8.7
2次接着	701	直交方向	平使い	7929	911	143.55	145.80	416	47.64	1.71	めり込み	7.9
2次接着	703	直交方向	平使い	7973	912	144.10	145.72	416	47.72	1.70	めり込み	7.8
2次接着	704	直交方向	平使い	7876	912	144.08	145.65	412	46.39	1.66	めり込み	7.8
2次接着	801	直交方向	平使い	8190	911	144.65	145.86	426	45.40	1.61	めり込み	7.9
2次接着	802	直交方向	平使い	8125	911	144.34	145.83	424	46.76	1.67	曲げ	7.8
2次接着	804	直交方向	平使い	8191	911	144.45	145.77	427	45.19	1.61	せん断	7.5
2次接着	806	直交方向	平使い	8261	910	144.67	145.35	432	48.39	1.73	めり込み	8.4
平均								423		1.67		8.0

表-12 スギ ランダム 2次接着 逆寸 縦使い試験結果

製造方法	番号	長手方向	荷重方向	重量 g	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	密度 kg/m <sup>3</sup>	最大荷重 kN	せん断強さ N/mm <sup>2</sup>	破壊要因	含水率 %
2次接着	601	直交方向	縦使い	8286	912	144.21	145.36	433	73.56	2.63	曲げ	8.2
2次接着	603	直交方向	縦使い	8113	912	144.09	145.50	424	79.38	2.84	曲げ	8.4
2次接着	604	直交方向	縦使い	8031	912	144.26	145.22	420	68.65	2.46	曲げ	8.5
2次接着	606	直交方向	縦使い	8145	912	144.08	145.04	427	87.916	3.16	曲げ	9.4
2次接着	702	直交方向	縦使い	7952	912	144.08	145.66	415	83.128	2.97	曲げ	7.8
2次接着	705	直交方向	縦使い	7867	912	143.82	145.54	412	80.676	2.89	曲げ	8.0
2次接着	706	直交方向	縦使い	7971	912	143.81	145.43	418	85.3	3.06	曲げ	8.8
2次接着	803	直交方向	縦使い	8168	911	144.45	145.87	426	70.492	2.51	曲げ	7.8
2次接着	805	直交方向	縦使い	8178	910	144.25	145.68	428	72.932	2.60	曲げ	7.7
平均								423		2.79		8.3

### 13.1.4 水平せん断試験方法の検討

【逆対象 4 点荷重方式せん断試験における、主な試験体の破壊性状】

※ 写真の右の記号 (D1/S=a=3h/SH) はそれぞれ、[供試体記号]/[試験時のスパン (S=a=2h or S=a=3h)]/[破壊形態 (SH:せん断破壊、BE:曲げ破壊、BS:複合破壊)]を意味する



D1/S=a=3h/BS

最初はせん断破壊が進行。Maxは上側の曲げかせん断がほぼ同時に発生



D1/S=a=2h/BE



D2/S=a=3h/SH



D2/S=a=2h/BE

せん断破壊が進行した後、曲げ破壊でmax



D2/S=a=3h/SH

せん断破壊でmax。その後曲げ破壊が発生



$D3/S=a=2h/SH$



$D3/S=a=3h/SH$



$D3/S=a=3h/BE$



$D4/S=a=2h/SH$

最終的には  
支点部分から折れたよ  
うな破壊が  
発生



$D4/S=a=3h/SH$



$D4/S=a=3h/BE$

最初上面で曲げ  
破壊が発生した  
後、再度荷重が  
上昇。最後は曲  
げ破壊で max





D4/S=a=3h/BE

曲げ破壊した後  
せん断破壊行。  
Max・終局は曲げ  
破壊



D4/S=a=3h  
/BE

max は曲げ  
破壊。その  
後せん断破  
壊が進行



B0/S=a=2h  
/SH



B0/S=a=3h/SH

終局は上側面の  
曲げ破壊だが、  
max はせん断破  
壊

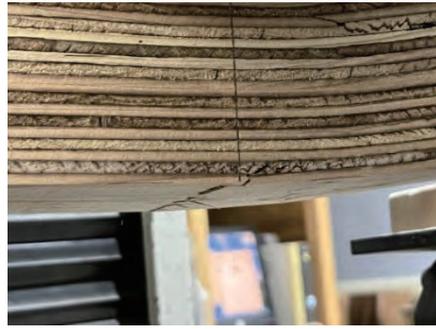


D3-69/  
S=a=3h/SH



D3-89/  
S=a=3h/BE

曲げ破壊した後  
いったん下がり  
最終的にせん断  
破壊で max.



B0-69/  
 $S=a=3h/BE$

曲げ破壊が先行。その後せん断破壊が進み曲げ破壊で max



B0-69/  
 $S=a=3h/BS$

せん断破壊が先行。いったん下がりが、終局は曲げ破壊とせん断破壊が同時に発生



B0-89/  
 $S=a=3h/BE$

曲げ破壊が先行したが、同時にせん断破壊も進行。Max は曲げ破壊



F1/ $S=a=2h/BE$

上側第2層で曲げ破壊。せん断破壊も生じてはいる。下側でも曲げ破壊が発生



F1/ $S=a=3h/SH$

せん断破壊で max。その後一度荷重が落ちて終局は曲げ破壊



F2/S=a=2h/BE

せん断破壊が先行。max は曲げ破壊



F2/S=a=3h/SH



F3/S=a=3h/SH



F4/S=a=3h/SH

終局・max は加力点と支点の間を結ぶような壊れ方であったが、最初に中立軸付近でせん断破壊が発生している



H1/S=a=2h/BS

せん断破壊が先行し、曲げ破壊（せん断破壊？）でピーク。その後さらにせん断が進行。



$H2/S=a=3h/SH$

せん断破壊が進行し荷重が横ばい状態が続き、最後は曲げ破壊した。破壊荷重はせん断破壊荷重とみなした。



$H2/S=a=2h/SH$

せん断破壊が先行。終局は曲げ破壊



$H3/S=a=2h/BE$

節で曲げ破壊後せん断破壊が進行し、最後は曲げ破壊が拡大してmax



$H4/S=a=2h/SH$



$H4/S=a=3h/BS$

小さな曲げが先行。せん断が進行し、maxは上の曲げとせん断破壊が同じタイミングで発生。

13.1.5 接合部性能

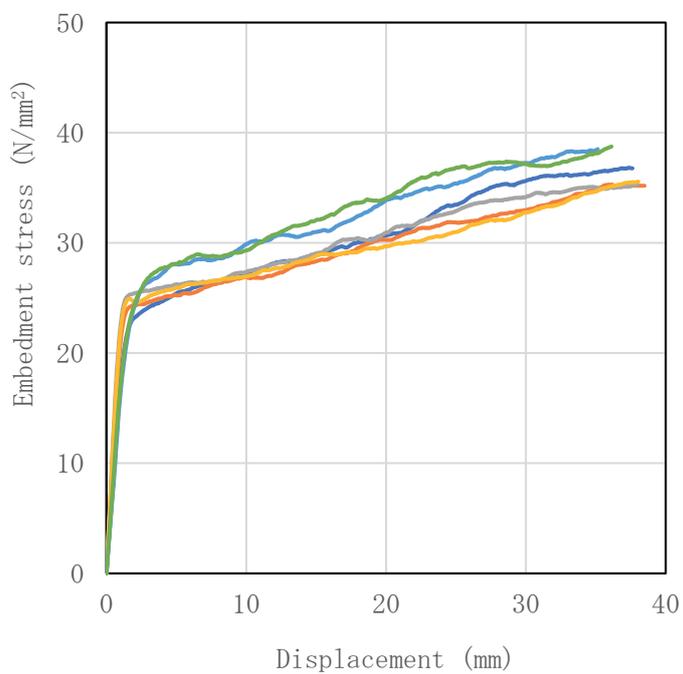


図 13.1.5-1 支圧応力 - 変位曲線 (0-16)



写真 13.1.5-1 (0-16)

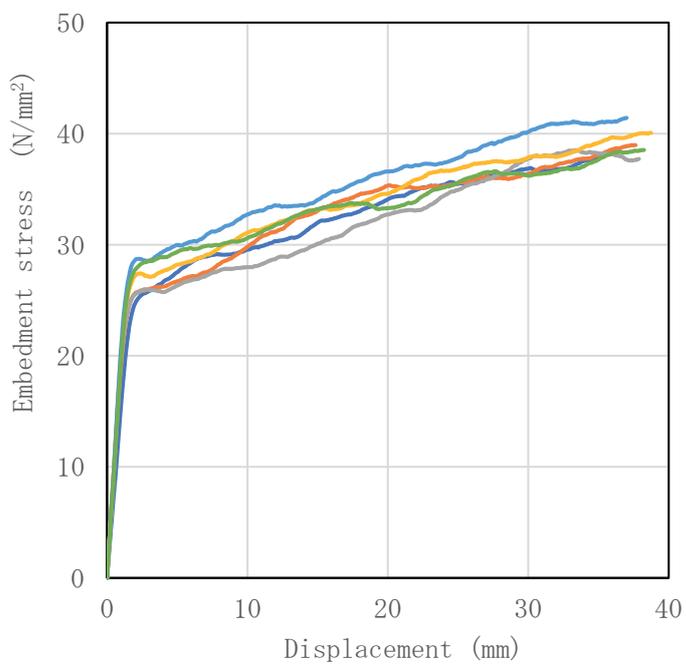


図 13.1.5-2 支圧応力 - 変位曲線 (15-16)

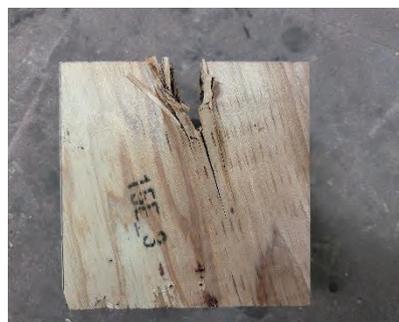


写真 13.1.5-2 (15-16)

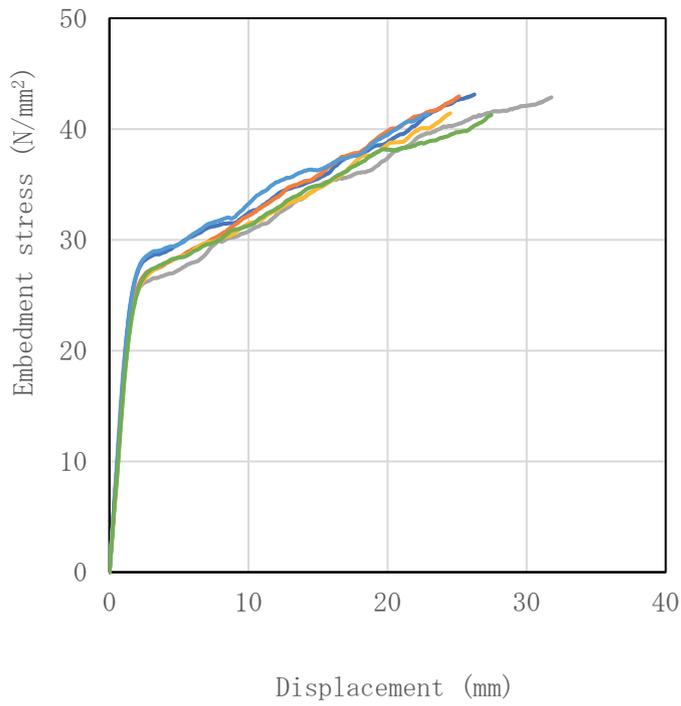


図 13. 1. 5-3 支圧応力—変位曲線 (30-16)



写真 13. 1. 5-3 (30-16)

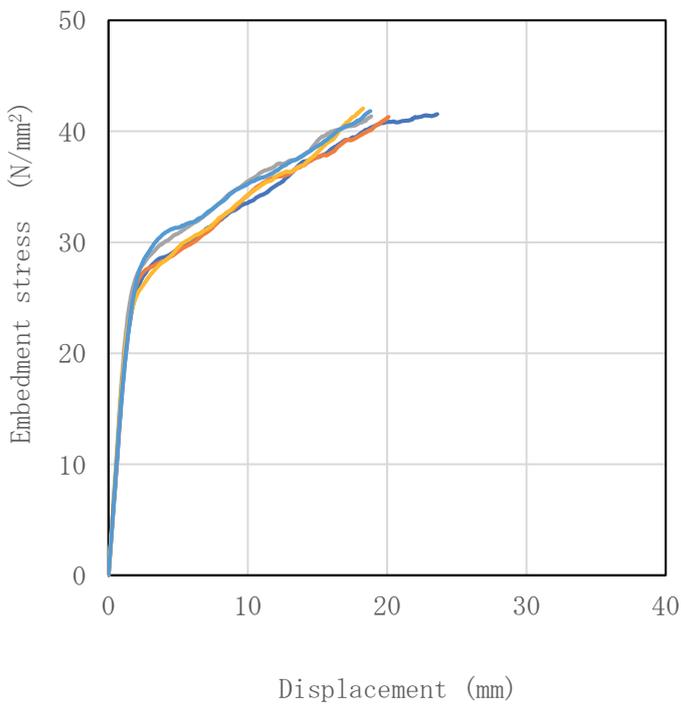


図 13. 1. 5-4 支圧応力—変位曲線 (45-16)



写真 13. 1. 5-4 (45-16)

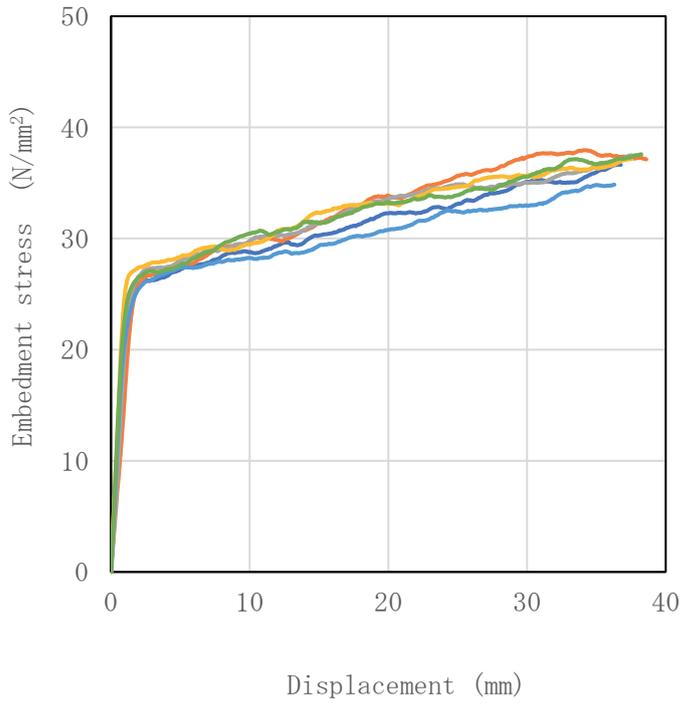


図 13. 1. 5-5 支圧応力—変位曲線 (90-16)



写真 13. 1. 5-5 (90-16)

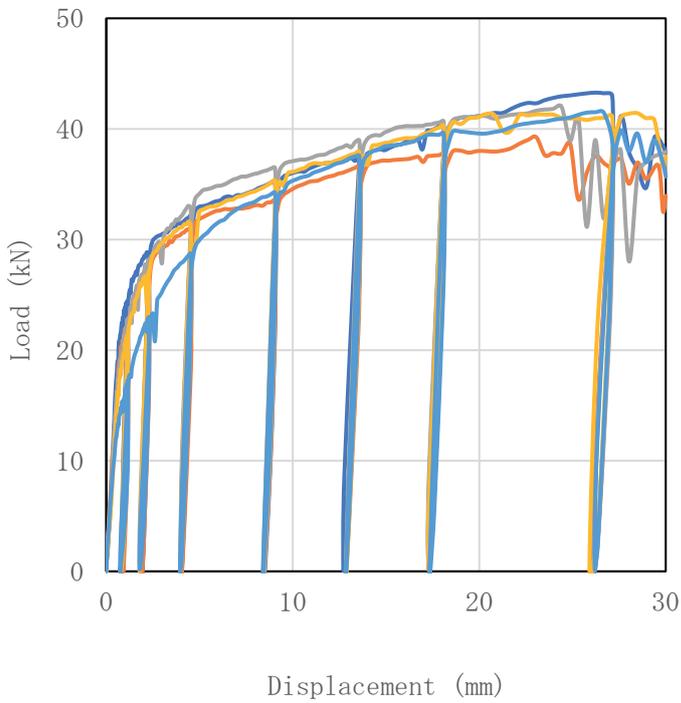


図 13. 1. 5-6 荷重—変位曲線 (3d)



写真 13. 1. 5-6 (3d)

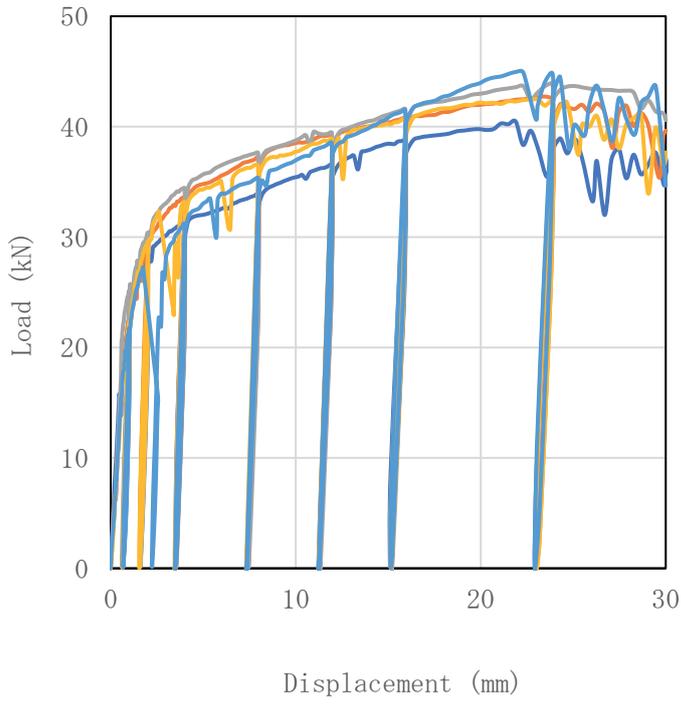


図 13. 1. 5-7 荷重—変位曲線 (4d)



写真 13. 1. 5-7 (4d)

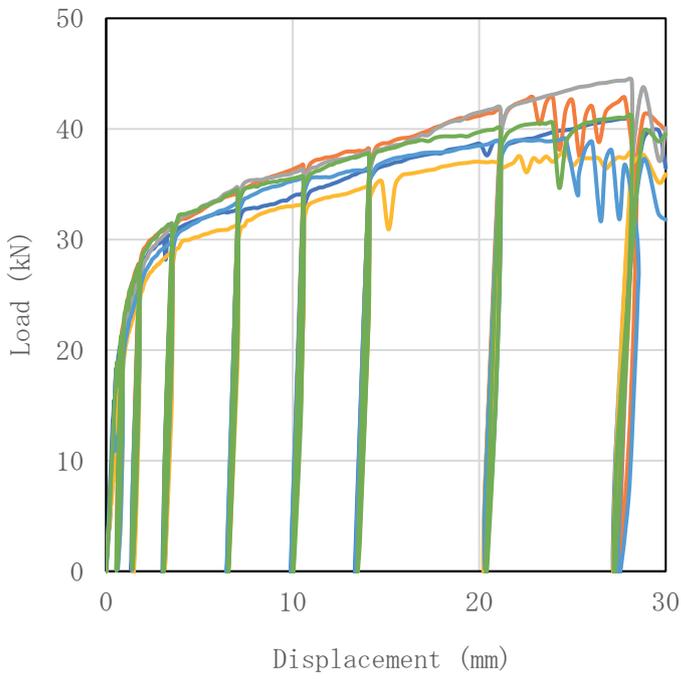


図 13. 1. 5-8 荷重—変位曲線 (5d)

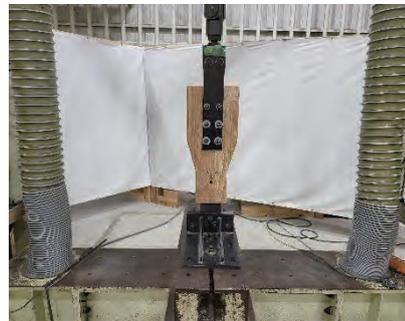


写真 13. 1. 5-8 (5d)

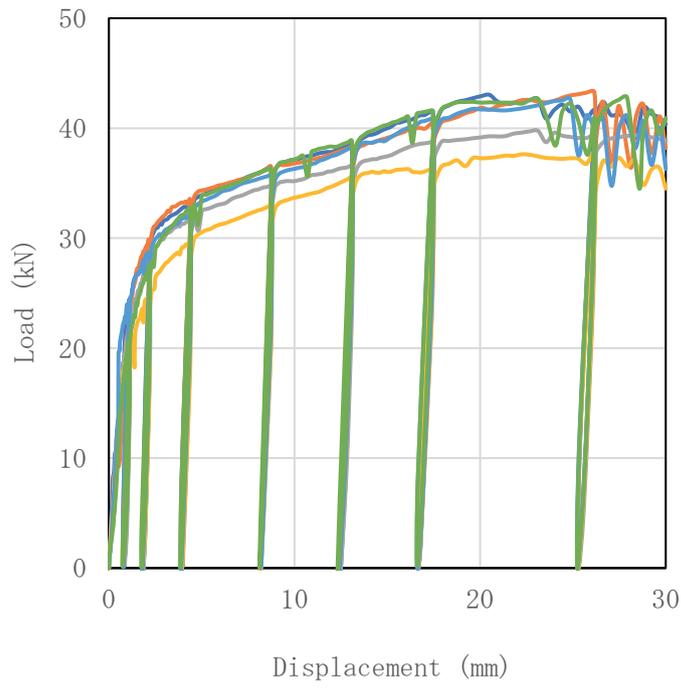


図 13.1.5-9 荷重—変位曲線 (6d)

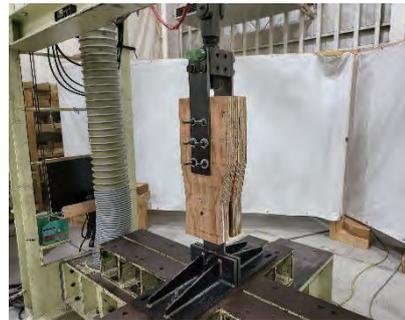
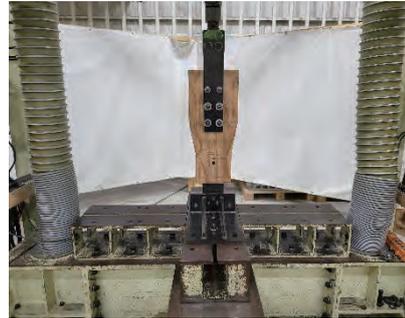


写真 13.1.5-9 (6d)

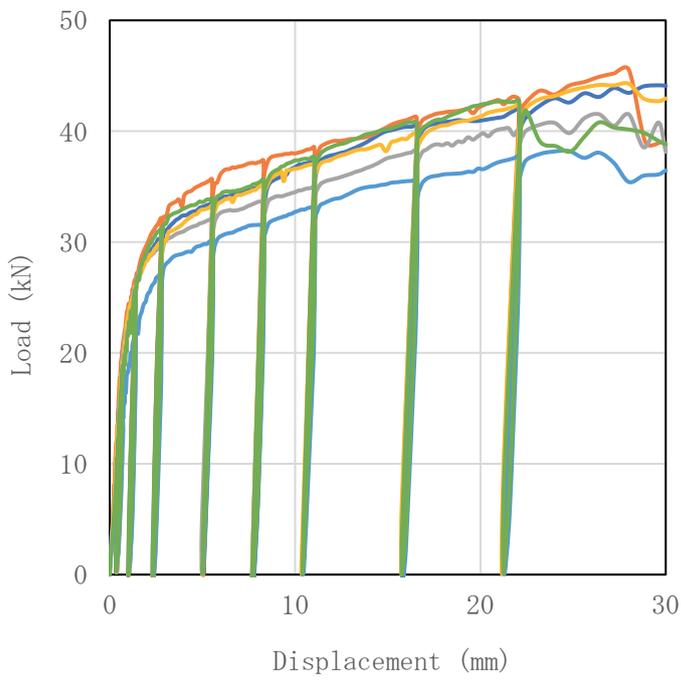


図 13.1.5-10 荷重—変位曲線 (7d)

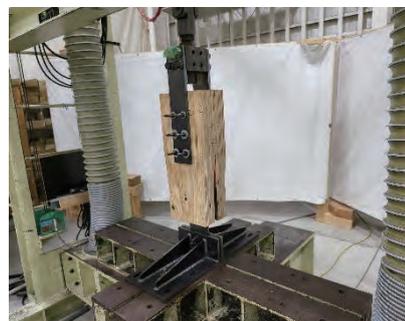


写真 13.1.5-10 (7d)

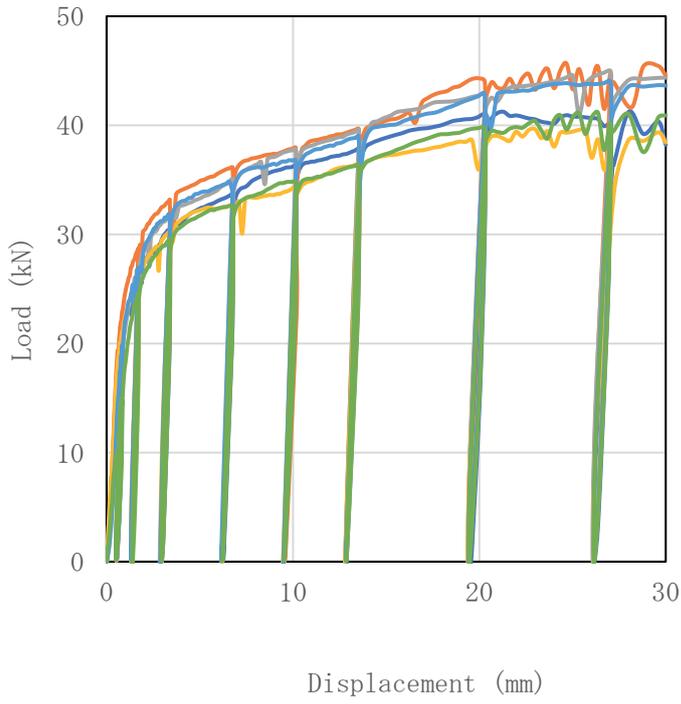


図 13.1.5-11 荷重—変位曲線 (8d)

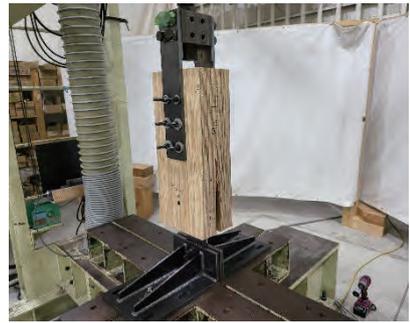


写真 13.1.5-11 (8d)

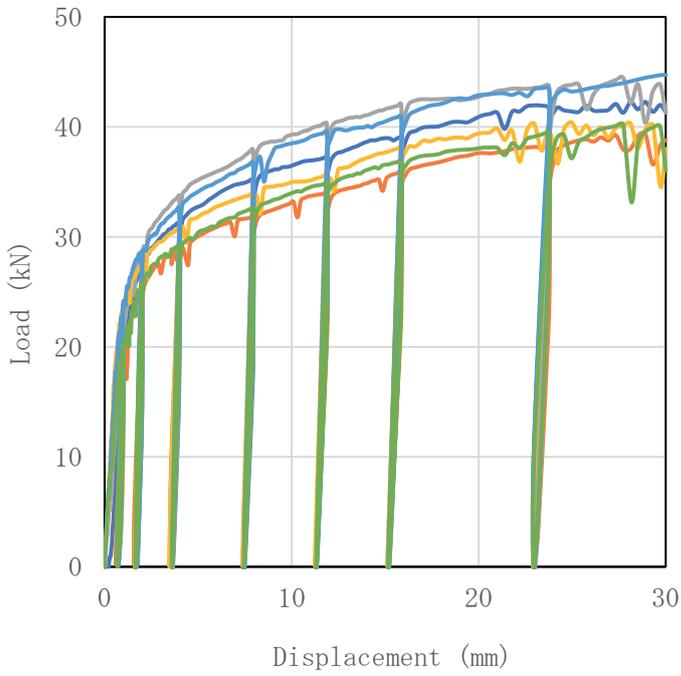


図 13.1.5-12 荷重—変位曲線 (9d)



写真 13.1.5-12 (9d)

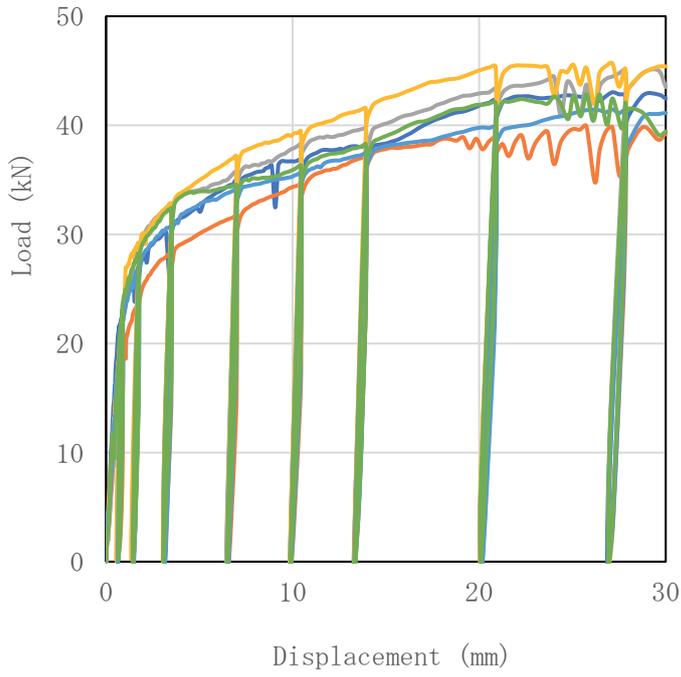


図 13.1.5-13 荷重—変位曲線 (10d)



写真 13.1.5-13 (10d)

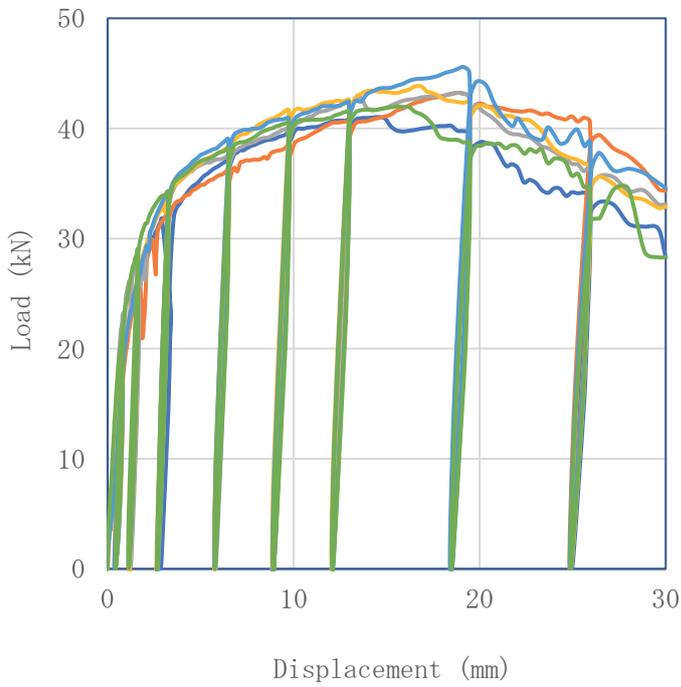


図 13.1.5-14 荷重—変位曲線 (4d\_4d)

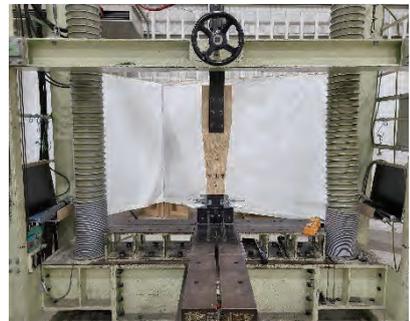


写真 13.1.5-14 (4d\_4d)

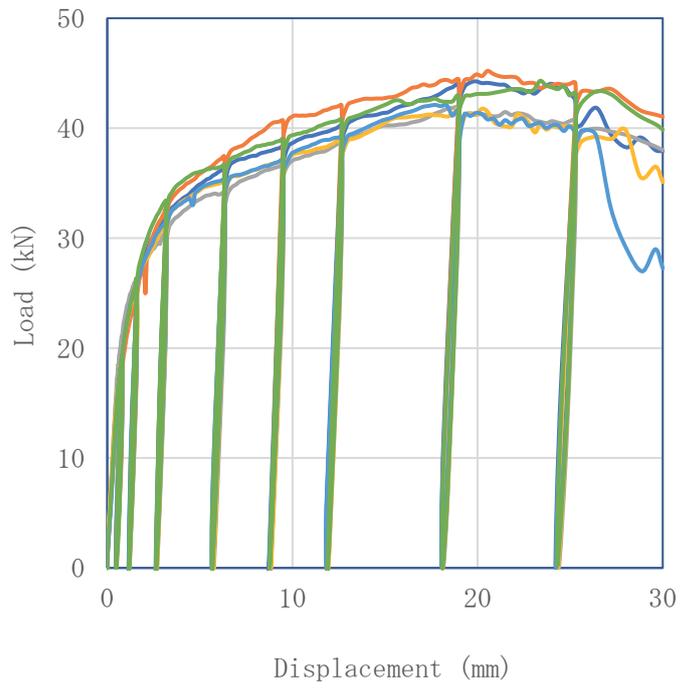


図 13. 1. 5-15 荷重—変位曲線 (5d\_4d)



写真 13. 1. 5-15 (5d\_4d)

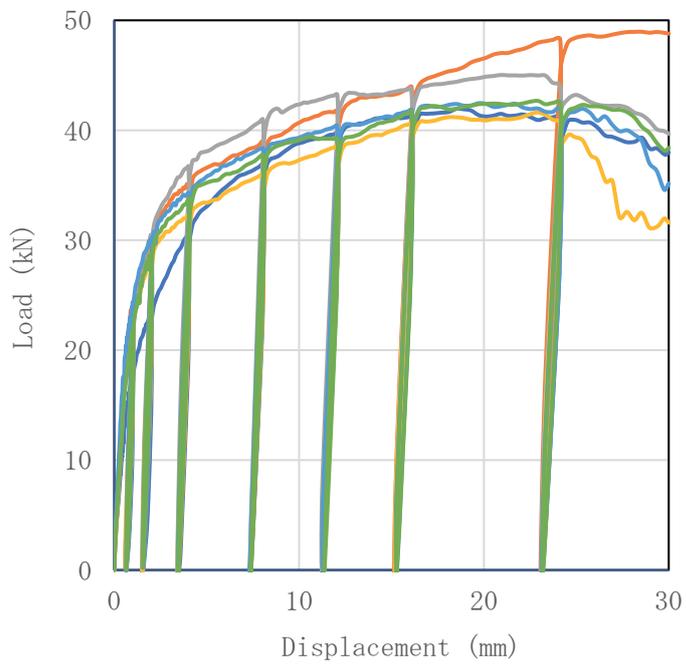


図 13. 1. 5-16 荷重—変位曲線 (6d\_4d)



写真 13. 1. 5-15 (6d\_4d)

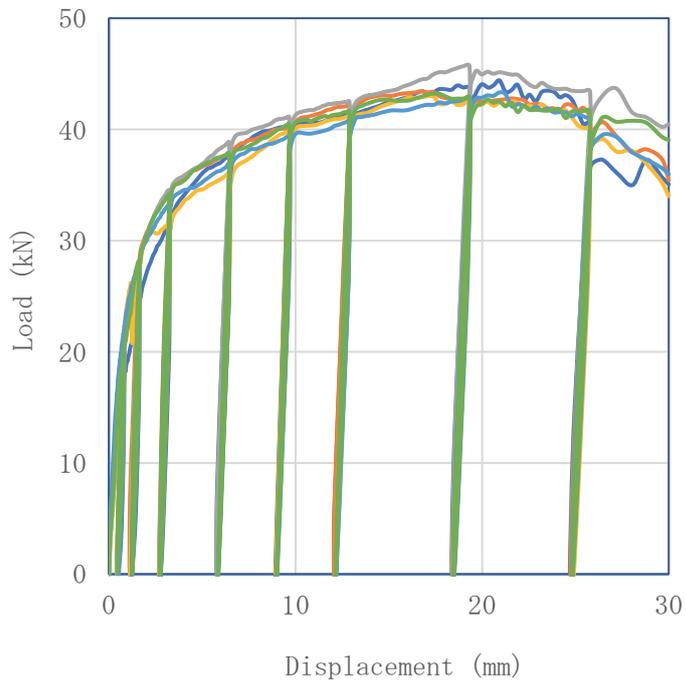


図 13. 1. 5-17 荷重—変位曲線 (7d\_4d)



写真 13. 1. 5-17 (7d\_4d)

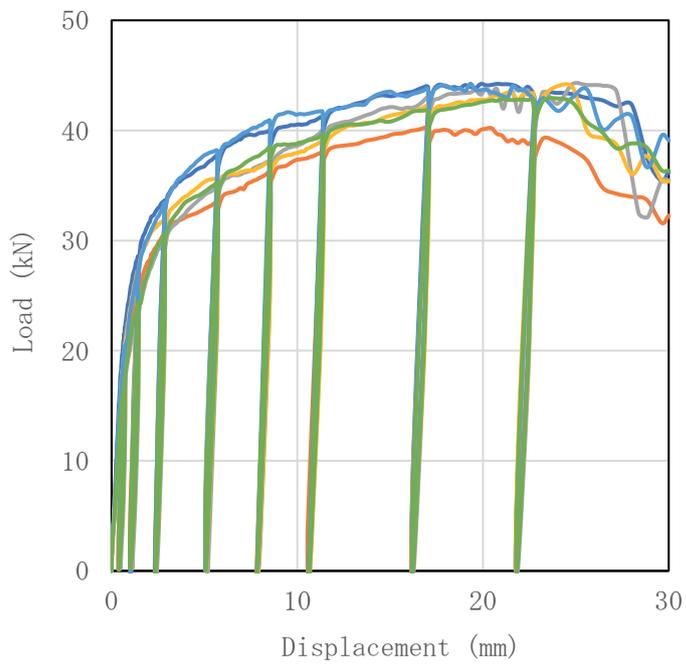


図 13. 1. 5-18 荷重—変位曲線 (10d\_4d)



写真 13. 1. 5-18 (10d\_4d)

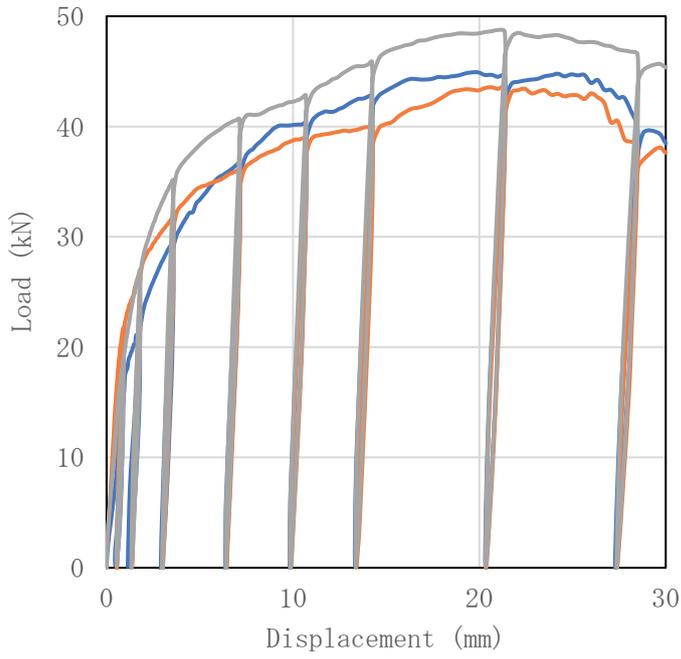


图 13.1.5-19 荷重—変位曲線 (5d\_3d)

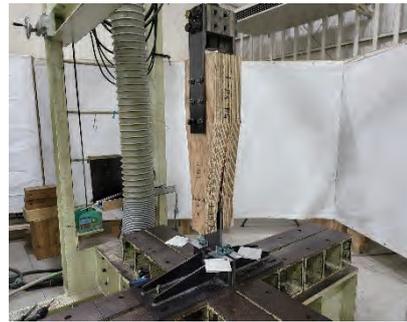


写真 13.1.5-19 (5d\_3d)

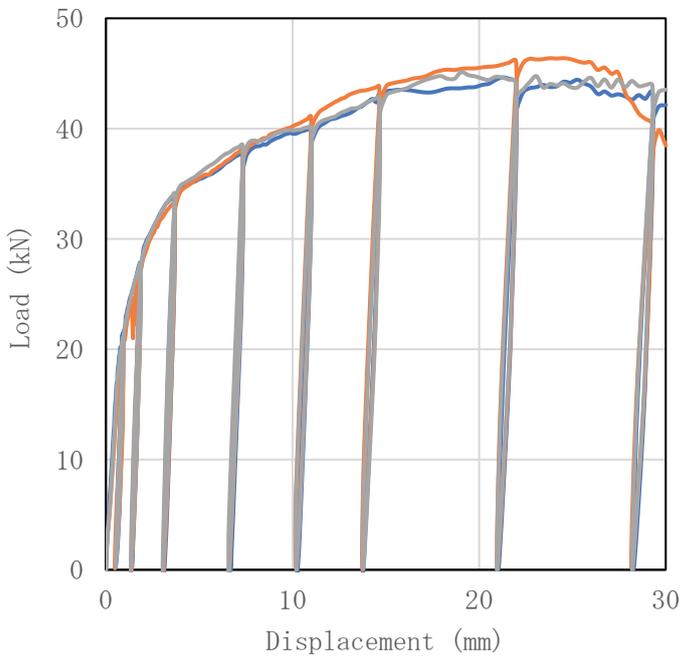


图 13.1.5-20 荷重—変位曲線 (5d\_5d)



写真 13.1.5-20 (5d\_5d)

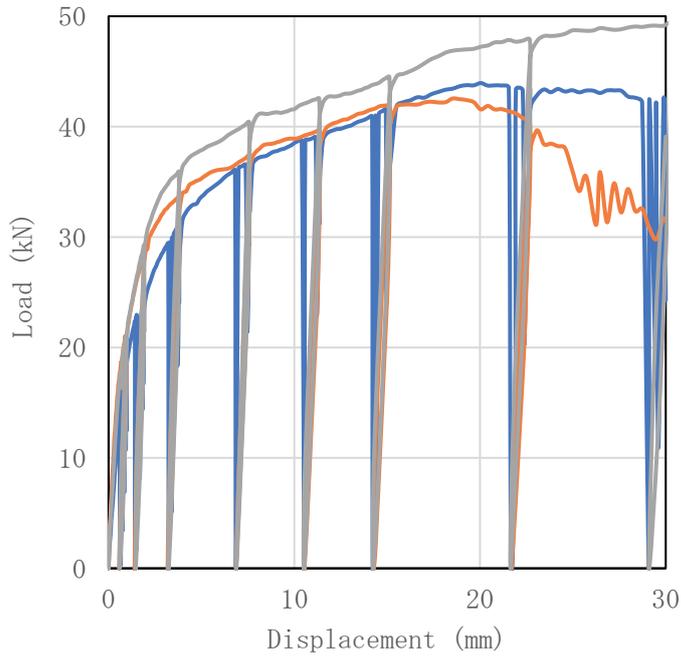


图 13.1.5-21 荷重—変位曲線 (6d\_3d)



写真 13.1.5-21 (6d\_3d)

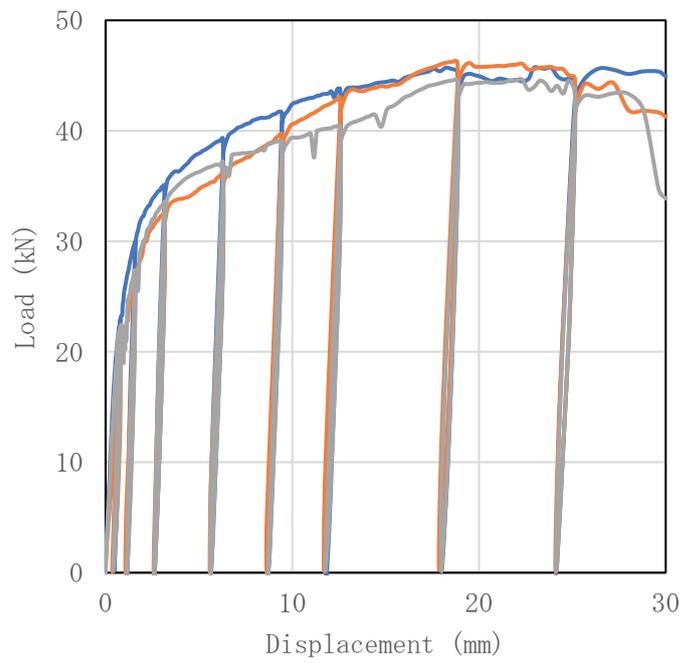


图 13.1.5-22 荷重—変位曲線 (6d\_5d)

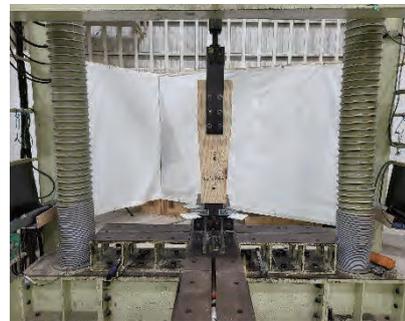


写真 13.1.5-22 (6d\_5d)

### 13.1.6 床構面利用に関する検討

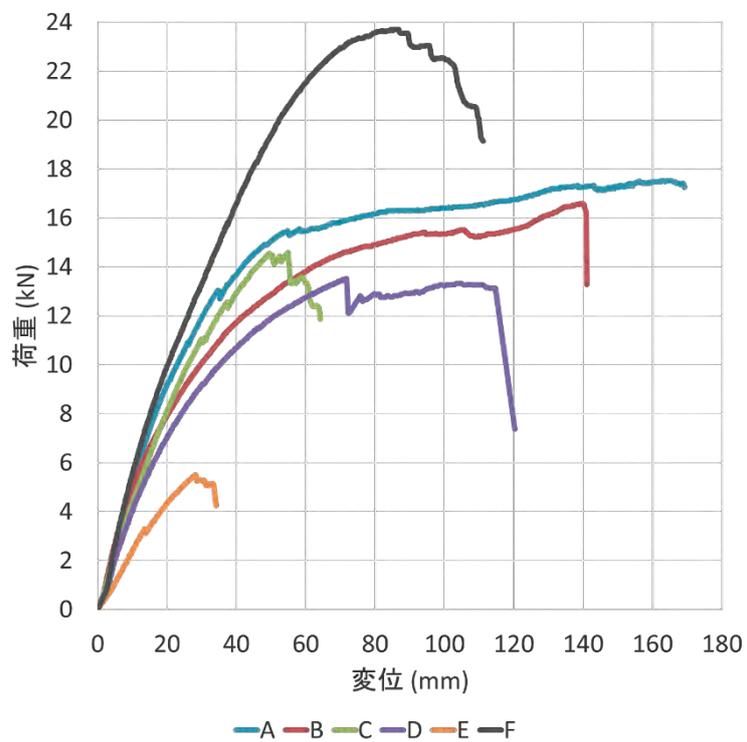


図 13.1.6-1 荷重変位曲線



写真 13.1.6-1 破壊性状 (仕様 A)



写真 13. 1. 6-2 破壊性状 (仕様 B)

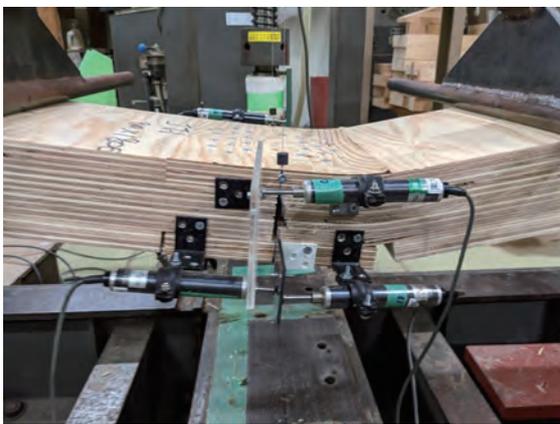


写真 13. 1. 6-3 破壊性状 (仕様 C)



写真 13. 1. 6-4 破壊性状 (仕様 D)

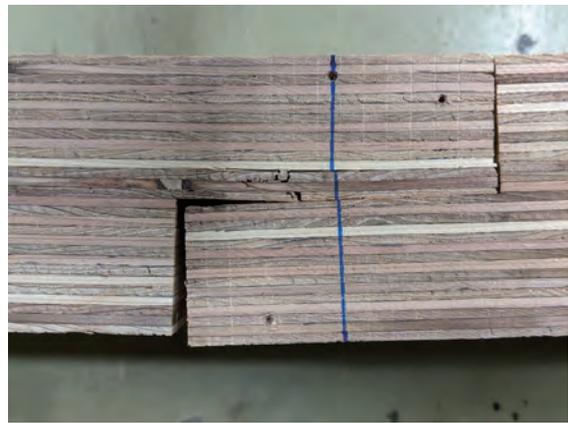


写真 13. 1. 6-5 破壊性状 (仕様 E)

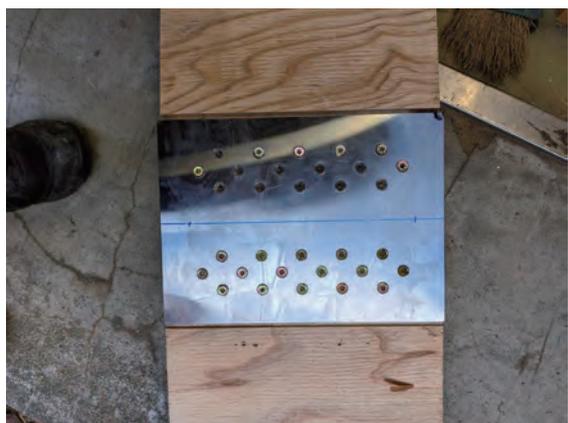
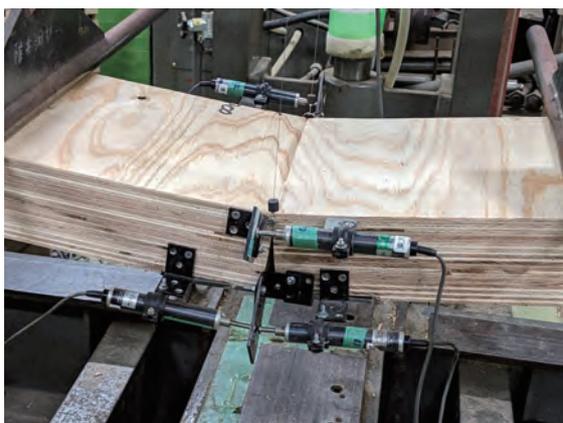


写真 13. 1. 6-6 破壊性状 (仕様 F)

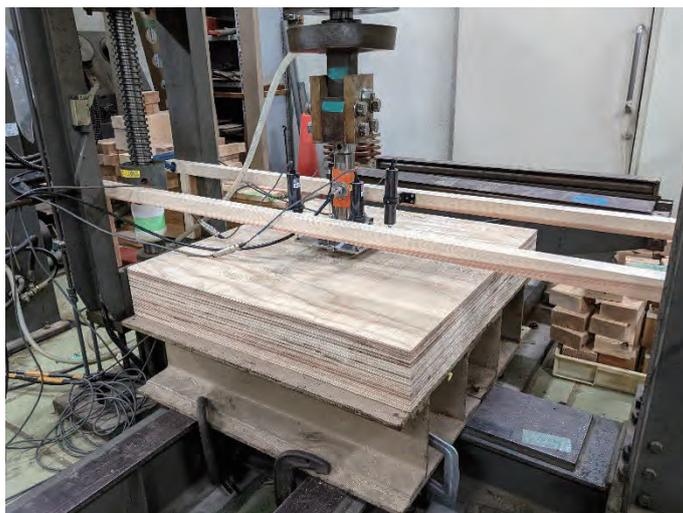


写真 13.1.6-7 めり込み試験 HV 仕様（支持条件 A）試験の様子



写真 13.1.6-8 めり込み試験 H 仕様（支持条件 B）破壊性状



写真 13.1.6-9 めり込み試験 V 仕様（支持条件 C）破壊性状



写真 13. 1. 6-10 ビス引き抜き試験の様子

### 13.1.7 含水率変化および断熱・透湿性能の検討

#### 13.1.7.1 超厚合板の国内各地の温湿度気象条件による含水率変動に係る予備的検討

本年度は超厚合板の含水率変動に係る厚さ寸法変化について一定の温湿度環境下での測定を行ったが、今後は実際の使用時の温湿度環境や施工状況を想定した検証が必要である。そこで、実際の使用時の超厚合板の厚さ寸法変化の目安を把握するために、日本各地の気象データを用いた超厚合板の含水率変動のシミュレーションの試行を行った。

シミュレーション条件は以下のとおりとした。

- 1) シミュレーション方法：1次元非定常熱水分同時移動（厚さ方向）
- 2) 使用ソフトウェア：WUFI Ver. 5.3
- 3) 試験体：スギ超厚合板，厚さ 60mm，密度 400kg/m<sup>3</sup>
- 4) 透湿率：1.6 (ng/(m<sup>2</sup>·Pa·s))，熱伝導率：0.1 (W/(m·K))，平衡含水率は本文図 11-8 を使用
- 5) 初期条件：材料は 20°C65%RH にて平衡状態
- 6) 気象条件：全国アメダス標準データ（WUFI 付属）
- 7) 湿気は合板の両面から吸湿（側面からの吸湿は無視）

試験体の設置条件としては、外気と同じ温湿度の室内に暴露された状況であり、超厚合板の側面は断湿処理されていると見なす。計算に用いる気象条件としては省エネルギー基準の断熱地域区分の 1 地域から 8 地域までとし、代表的な都市として、旭川、盛岡、仙台、東京、静岡、岡山、都城、那覇の 8 カ所とした。2022 年 10 月 1 日に暴露を開始したとし、その後 5 年間のシミュレーションを行った。なお、使用した気象データは各地点の 1 年分の時刻歴データであり、5 年間同じものを繰り返して使用している。

結果の例として旭川、東京、那覇の温湿度及び含水率の計算結果を図 13.1.7-1～9 に示す。また、材内含水率の振幅がほぼ安定したと見なせた 5 年目の含水率の最大値と最小値及び両者の差を表 13.1.7-1 に示す。含水率は 3～5%の間で変動すると予測された。この変動幅と本文図 11-10 で得られた含水率変化と厚さ寸法変化の関係から 60mm 合板での厚さ寸法変化量を推定した結果を表 13.1.7-1 内に示す。那覇では 0.7mm とやや大きい数値となったが、その他の地域では 0.3mm～0.5mm 程度と見なせた。

表 13.1.7-1 含水率変動シミュレーションの結果

地名	地域区分	含水率			推定厚さ 変化量 (mm)
		最小	最大	変動幅	
旭川	1地域	12	14.6	2.6	0.31
盛岡	3地域	11.7	14.5	2.8	0.34
仙台	4地域	11.1	15.1	4	0.48
東京	5地域	9.9	13.3	3.4	0.41
静岡	6地域	10.4	13.9	3.5	0.42
岡山	6地域	10.4	13.6	3.2	0.38
都城	7地域	12.9	15.9	3	0.36
那覇	8地域	11.4	17.2	5.8	0.70

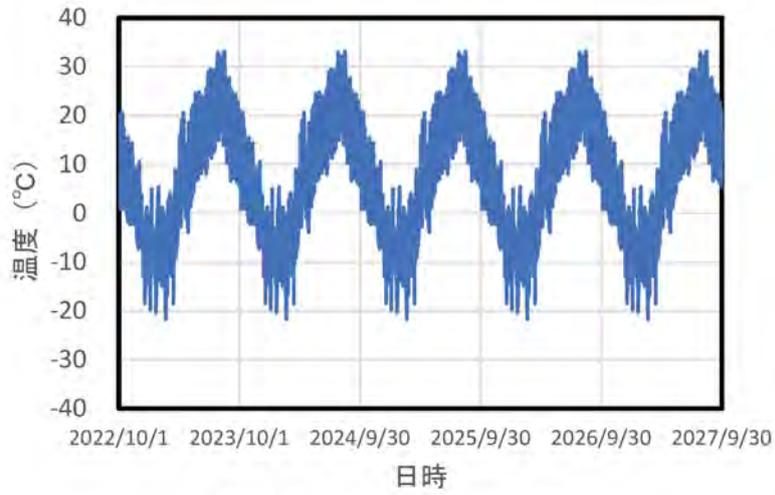


図 13. 1. 7-1 温度変化 (旭川)

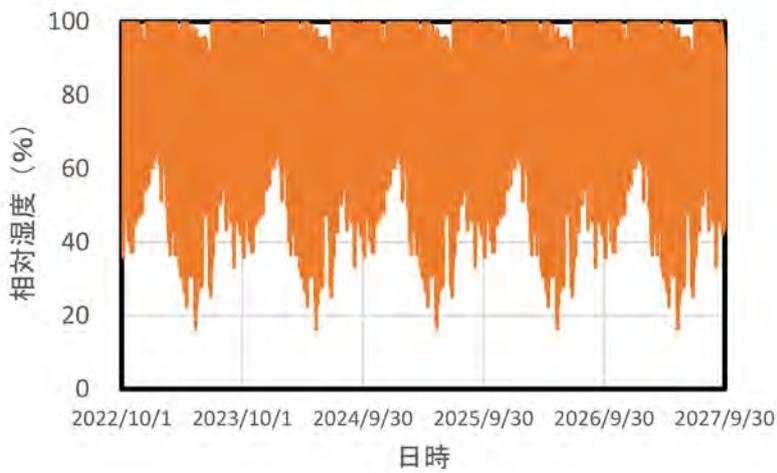


図 13. 1. 7-2 相对湿度変化 (旭川)

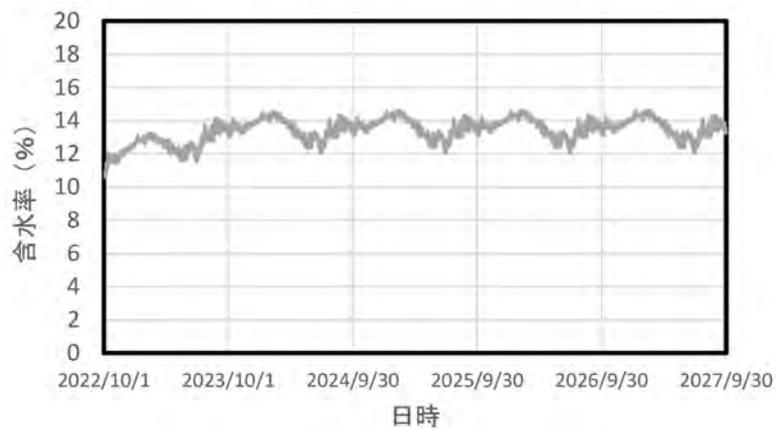


図 13. 1. 7-3 含水率変化 (旭川)

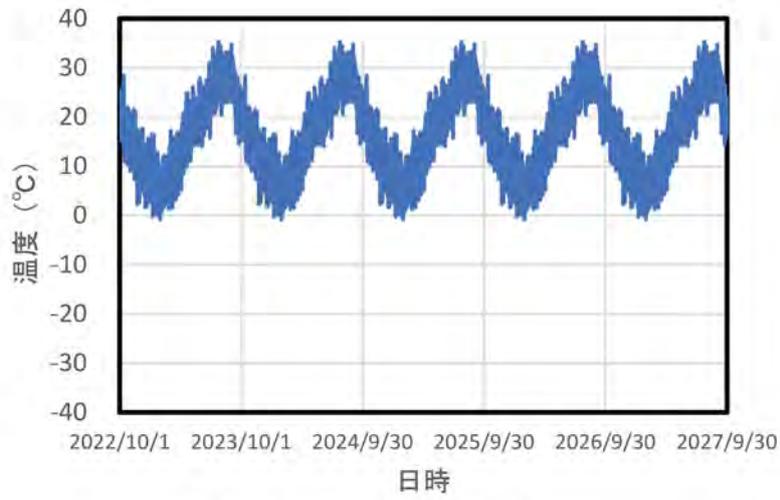


図 13. 1. 7-4 温度変化 (東京)

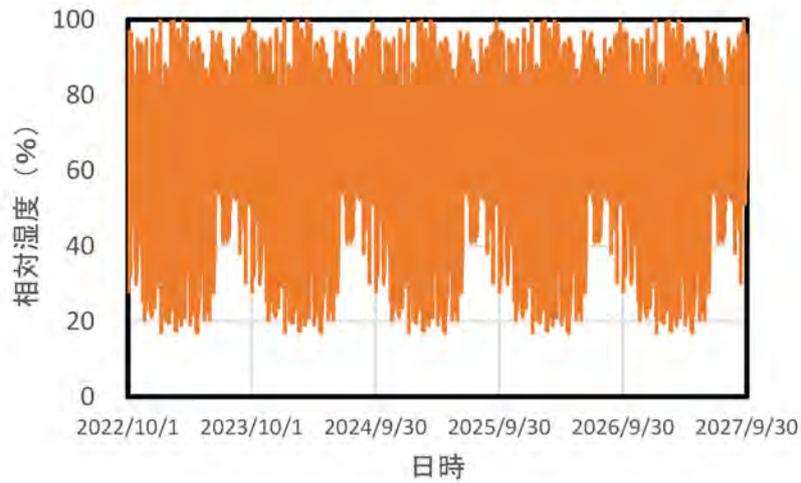


図 13. 1. 7-5 相对湿度変化 (東京)

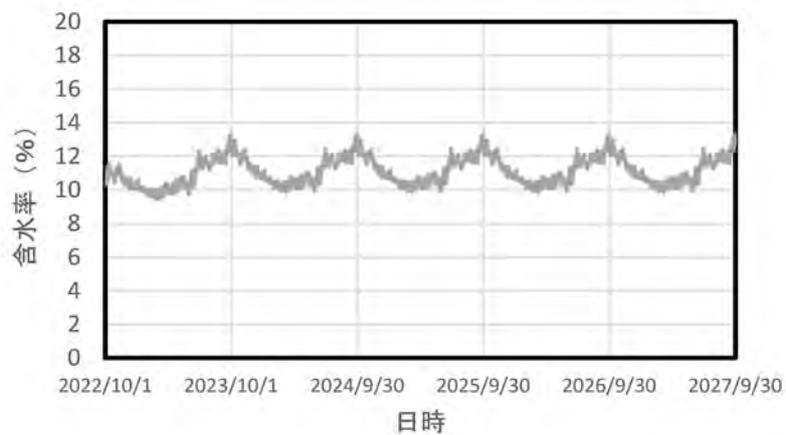


図 13. 1. 7-6 含水率変化 (東京)

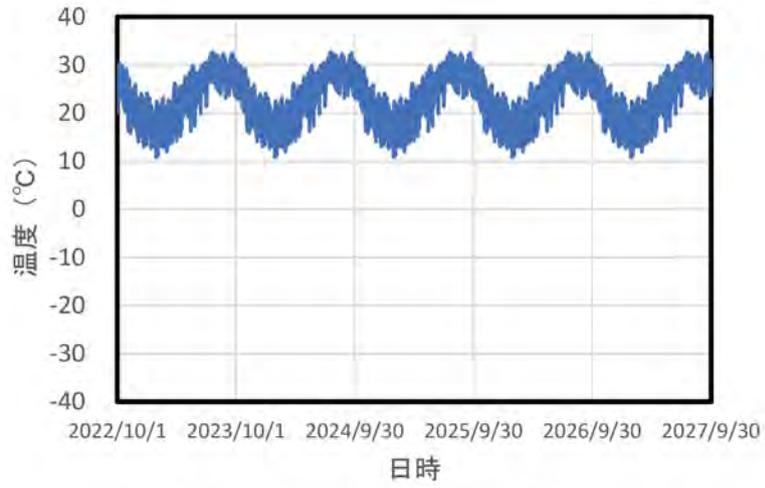


图 13.1.7-7 温度变化 (那霸)

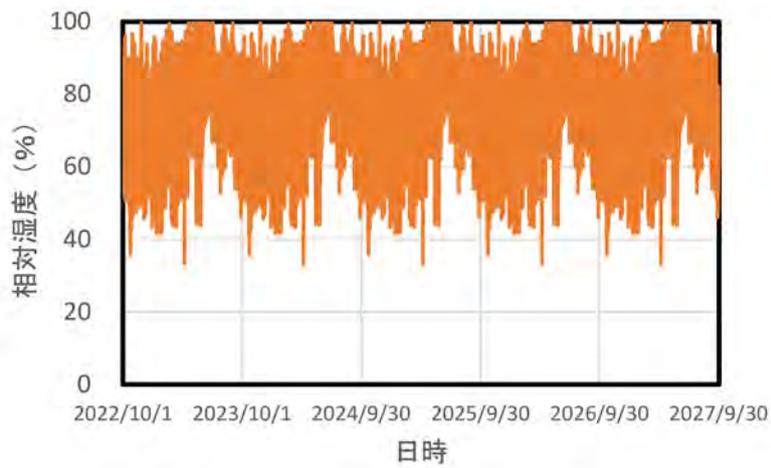


图 13.1.7-8 相对湿度变化 (那霸)

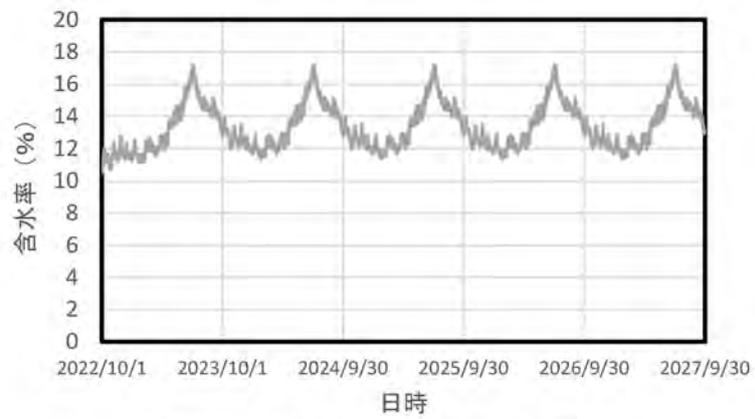


图 13.1.7-9 含水率变化 (那霸)

13.1.7.2 試験体および測定状況の様子



図 13.1.7-10 吸湿試験の厚さ測定 (60mm)



図 13.1.7-11 吸湿試験の厚さ測定 (144mm)



図 13.1.7-12 含水率-厚さ寸法変化試験における重量測定



図 13.1.7-13 含水率-厚さ寸法変化試験における厚さ測定



図 13.1.7-14 透湿カップ試験体(60mm)

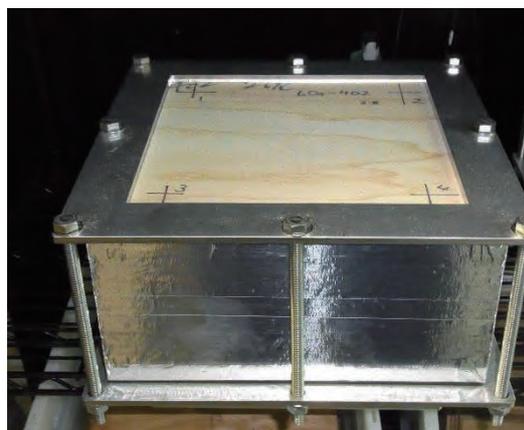


図 13.1.7-15 透湿カップ試験体(144mm)

## 13.2 技術開発委員会議事録

### 13.2.1 第1回委員会 令和4年5月20日

委員長：今年度、第1回目の技術開発委員会を開催する。まず、今年度の超厚合板に関する検討について、事務局から資料の説明をお願いします。

事務局：今年度の超厚合板の試作試験につき、各メーカー様に示し、対応可能かどうかアンケート回答を実施したところ。3×10 板製造が可能なメーカーが少ないこと、現在、合板需給が逼迫し、特にヒノキとカラマツの調達がなかなか難しいという意見をいただいている。委員長から資料6のメモにつき説明をお願いします。

委員長：資料6のメモに関しては、これを踏まえて試作のお願いをしたところ、やはり3×10 板の製造がなかなか難しいということになった。この事業でメインの厚さにしている144 mmを狙うと、曲げ試験をするのに3×10 板の寸法が要るということで3×10 としていたが、そこが難しいということであれば3×6 板で試験ができる厚さまで減らす方向で検討するしかないなと思っている。

それから曲げ以外の性能値、例えば水平せん断や接着などに関しては長さが必要ないので、3×6 板でも実施ができるということになる。この辺りは試験項目と、それから製造するものの仕様ということで、是々非々で検討していくという形になるかなと思っている。今回、特にヒノキ・カラマツの入手が難しいというご指摘いただいたので、今年度はこの2種に関しては検討を除くしかないのかなと思っているが、あらためて3×6 板で製造するのであればなんとか可能、ということになるのか、もう1回皆さまのご意見をいただきたい。

ちなみにスギに関しては、これまでヤング係数60から69、60から89、それから選別なし、60以上という4段階の検討を行い、その結果、下限値60で切ったものが一番性能が良かったということが分かった。こういう検討をヒノキ・カラマツでも実施しないと現実的な製造の仕様が検討できないというところはあるので、今年度の検討からは外すとしても、どこかの段階では検討しないと、ヒノキ・カラマツの効率的生産ができなくなる可能性がある。その辺りについては次年度以降検討をさせていただければと思っている。

検討する試験項目や製造する試験体の仕様に関してご質問、ご意見等いかがか。よろしいか。

では、今年度の試作仕様について検討が必要だがなかなか悩ましい状況である。まず1つ目は、通常の厚物合板と同じ、表層だけ目視で選んで、あとは普通の厚物と同じように超厚合板を作ってしまうというやり方がある。2つ目は、選別の下限值、現状スギで60としているが、それを40とか50に下げたら歩留まりが上がるだろうかということも検討した。しかし、こちらは先のワーキングにおいて、超厚合板用という形の原木からは40、50という低いヤングのものはまず取れないということであった。下限値を下げてても必ずしも効率は上がらないというふうにご指摘をいただいたところである。

ヒノキ・カラマツに関しては今年は検討が難しいのかなと思うが、3×6板であればできるといことがあれば、事務局にご連絡願う。

それから、全層と平行方向の単板選別についても比較をしたい。昨年度、実は積み残しになったことがあった。無選別で作っていただいたスギに関して、実はお願いを忘れて、無選別であるがヤング係数がどれぐらいだったかというデータを取っていただかなかった。なので、無選別のものについて、実際のヤング係数、単板のヤング係数の分布がどれぐらいかということは確認しなければいけないと思っている。そちらについては今年度、また実施をするのかなと思っている。

次に試験項目である。まず、ヒノキ・カラマツは3等分点4点曲げではせん断で壊れがちでできなかったということで、3等分点ではなくて、真ん中の加力スパンを短くして、外側のせん断範囲、シアスパンを長くすることで検討を行った。

そうすると、樹種ごとに試験方法を変えるというのではなく、主要な樹種について、だいたいどれぐらいのスパン、梁せい比であればオーケーか、ということは導出しておかなければいけない。

一方、全スパンをさらに増やすということができればもっと良くなるという可能性はある。このため今回、145mmの厚さで3×10板で収めるということで、試験体厚さの18倍ということにしたが、これが21倍とか24倍とかになると3等分点でもオーケーな可能性がある。実はこの検討については、CLTでも行ってない。CLTもやはり18倍だとどうもせん断で壊れるという傾向が見えている。その辺を考えると、少し全スパンを長くする検討が必要かなという気がする。

水平せん断試験の場合には、せん断破壊が生じない場合があったということで、これに関しても、例えば曲げのスパンとか、加力する加力板、支持板の仕様を検討する必要があるのかなと考えている。

接着性能については、場合によると少し剥離が増えるかもしれないということがある。これについては再度、今年度試作のものと、昨年度試作の残りもまだあるので、これらで少し検討して、定量的な傾向なのか、単純に定性的に、たまたまそのときそうなったものなのか、について少し見ていきたい。

これらの曲げ試験、水平せん断試験、接着試験の方法に関しては、将来、超厚合板が出てきたときのJAS化という観点から試験方法を決めておくと、のちのち非常に楽ができる。そういう形で少し検討をさせていただきたい。

今年度の試作の方法、それから試験方法についてご説明した。あらためて試験体の厚さに関しては、昨年度も60mmをやっているのので、例えば60mmとか、24mmの2枚合わせで48mmとか、ご意見を伺いたいと思っているが、いかがか。

委員：私は材料もやっており、接合や壁に関する課題、項目を持っている。それらの構造的なものに関しては、試験体に使う今年度の超厚合板の厚さがどのぐらいがいいかというのはまだ詳細に検討をしていないが、たぶん144mmよりももう少し薄いものでやりたいということになりそうだ。その辺は、もう少し具体の中身を相談したのちにお願いしたいと思っている。

委員長：構造性能に関しては試験を行う仕様にお任せなので、そちらでご提案いただければと思う。たぶん 89 とかそういうことになるのかなと思っている。

委員：目的に合わせた形でよい。144 mm を超えることはないと思う。

委員長：現状、144 mm も大変ご無理いただいて試作いただいているので、もう少し薄いところで回せるといいなと思っている。

委員：接着性能について、厚さに関しては今回、製造できるものということでまったく問題ない。ただ、もしお願いできるのであれば、これから JAS 化ということを考えてときに、何か判断基準を設けなければいけないという形になると思う。今、単板積層材、LVL の評価方法に倣って実施しているが、LVL のように全層平行方向と、超厚合板のように全層直交しているものの比較ができると判断基準が見やすいと考えている。もし今回の試作の一連の流れの中で、1 体、2 体で構わないので、全層同じ方向というものを作っていただくと大変助かる。

委員長：その件についてご提案いただいていたのに説明を忘れていた。全て 0 度方向単板、LVL のような作り方をさせていただくというのもこの仕様の中にあると思う。従って、樹種についてヒノキについて 3×6 板でも難しいかどうか、あとは、スギの場合にはどういう選別方式であればよいか、メーカー委員の皆さんにお伺いした上で、厚さをどれぐらいにするか、3×6 板か、3×10 板か。それから構成比率が 100 というもの、そのようなところでこちら側からお願いをして、その中で可能な範囲を作っていただくということで、このあと集約していきたいと思う。よろしく願います。あとは、いかがか。

委員：特に希望はなく、とにかく出てきたものでやる、という形である。

委員長：水平せん断がメインだと思うが、何かほかの良さそうな測定方法はないだろうか。無責任な言い方で申し訳ないが。

委員：いい方法と言われると、逆対称か。実際に JAS で導入するかどうかということもある。せん断強度はわりと正確に出しやすいほうではあるので、逆対称試験というのは、なるべくやったほうがいいのかもわからない。今の状態だと、正しいせん断強度がまったく分からない。

委員長：おっしゃるとおりだと思う。ちなみに、逆対称をお願いしたらできるか。

委員：普段やってみた感じだと、そんなに荷重は大きくいかないのでは。100kN の試験機なので大丈夫だと思う。

委員長：確かに目標とするせん断性能は今、分からないまま手探りで測っているので、どれが良くてどれが良くないか分からない。その辺り、目標とするせん断性能を出しておいて、これの関係と一致する簡便な方法というようなことが JAS かなという感じもしている。

委員：樹種によって、めり込みでどんどんへこんでいっている場合と、あと、曲げでも壊れてしまう場合がある。ただ、樹種によって試験方法を変えるというのも現実的ではないので悩ましいところである。LVL ということも破壊のしかたを見ながら、試験の方法を検討していければと思っている。別途、加圧板のことも検討していきたいと思っている。

委員長：まず試験体の仕様は、今年、全層平行というものをお作りいただく予定にしているので、そちらでぜひご検討いただきたい。加圧板についても日合連へご相談いただければ試作をすることは可能と思う。

委員：せん断試験について、試作段階であり、なるべく小規模で実施したいとお考えだろうから、今年度は今ご検討のような形でいいと思う。CLT のせん断を検討した立場から言わせていただくと、軸材料ではないので、逆対称とかでは難しいだろうか。私がやったのは、繊維方向を 45 度にした圧縮と、逆対称をやったのだが、なかなか正しい数値が得られない、難しいということが分かっている。結局、エの字の大きがかりな水平せん断試験を行って、それが答えだろうというのが CLT のせん断を検討したメンバーの共通認識である。このため最終的な強度を誘導しようといったときにはそういうことも少し考えたほうがいいのかなという気はするが、試作段階では逆対称とか 45 度の圧縮せん断とか、やってもいいと思う。

2つを組み合わせると、わりといい数値が得られている。逆対称だとせん断弾性係数が正しく、圧縮は強度が正しいかと思う。両方とも同時に求まるという試験法が、エの字の大きがかりなせん断試験しかなかったというのが CLT の技術開発の結果である。一応、参考意見として申し上げる。

委員長：非常に貴重な知見をいただいた。CLT の構造関係は一手に委員にやっていただいております、多くの知見をお持ちだ。2つある。1つは、面内せん断についてはまず東大で、普通のラッキングを行っていただいた上で、エ型がいいのかロ型がいいのか、ご意見いただきながら決めるというような感じである。

それから、層内せん断に関しては、ご指摘のとおり水平せん断は物性値の測定にはうまくいかなくて、逆対称なのか、あとはアメリカだと 5 点曲げというものもやっている。あれが一番いいとおっしゃる先生もいるのが、いろいろやってみるのかなと思っている。実験計画、測定の段階でご意見賜りたいと思うので、引き続きよろしく願います。

委員：接合部や構造系の実験を行おうとすると、直交方向の単板の性能など知りたいという要望が出てくる。単板のヤングから、どちらの方向にも性能が出るということを検証しようと思うと、直交方向の性能がどのくらいなのか知りたくなる。そのため、今だと平行

方向なら平行層理論である程度強度なども予測と言えそうだが、直交方向のその術が今のところなく、この点をどうにかできないかと考えている。何かお知恵をいただきたい。

委員長：直交方向・平行方向の両方向の曲げをやれば、直交方向単板のヤング係数も出せる。そこから、直交方向単板の曲げヤング係数から、縦ヤング係数や引張・圧縮を位置付けていって、この程度かという検討はできるというところ。実際に厚物合板はそういう形で検討して、それなりに合ったため、そのような実験的な検証はあると思う。ただ、もともとどんな単板があるのかは大事であり、やはり全層選別をしたものとの比較も今年は行いたい。よろしく願います。

委員：単板のメトリガードのことを確認したい。私がいろいろ経験した中で、特にスギの場合は比重が非常に低く、含水率の影響は非常に大きい。意味は、毎回毎回の水分管理の数字が違くと、比重は勝手に高くなる。再乾手前のところを出したものと絶乾したものの数字が変わる。これについてはメトリガード社に問い合わせたが、コロナ禍でなかなか回答がない。水分の管理のところでも毎回毎回違くと数字が変わる。そうすると比重の関係で、含水率により測定値を補正することが必要。同じ強度と思ったら、メーカーによって数値がずいぶん違う可能性があるので、メーカー間の差があるか、確認したい。

委員長：その点、非常に重要である。今年、できれば数社さんに同じ仕様で作っていただき、その曲げ性能から計算される理論的な単板の数値がどれぐらいというものと、測定された数値を突き合わせることで、でこぼこがあるかないかなどについて今年は検討したい。単板の諸元の細かいところまでを各メーカーさんに求めることも難しいと思われるので、そのような形ですり合わせができればと思っている。

委員：もう1点。去年の試験結果がまとめてあるが、曲げヤング係数は製品の含水率で補正した数値か、補正していない数値か。

委員長：成り行きではなかったか。

委員：単板の結果か。

委員：いや、合板の曲げ試験の結果が並べられているが、製品含水率4%、5%のものと10%のものがある。合板の場合は曲げ試験の結果、含水率で補正するが、今回の数値が補正したものか、していないものかの確認である。

委員：補正はしていない。成り行きである。

委員：そうすると、ルールとしては、10%で補正するので、5%の含水率と10%の含水率とで数値が変わる。たぶん5%のところでは数値が少し下がる。こういう補正が必要であるので、今後どういうふうにするか確認させてもらった。

委員長：今のところ、在り姿で作ったものを測る形で進んでいる。今後、現状の見通しでは来年度から9年ぐらい年数を掛けて、一貫してずっと研究をできるような体制になるよう努力をしている。そちらが通れば、1つ1つ細かい影響因子についても、つぶしていきたいと考えている。そのためには、大変申し訳が、各メーカーさんから製造に関する仕様の細かいところをオープンにさせていただかなければいけないというところは出てくる。それと、毎度同じメーカーさんに作っていただくということでも、今ご指摘のようなこと、普遍性が担保できない。試作に関してはぜひ幅広くご検討いただきご対応いただければと思っている。

委員：私は、透湿抵抗の試験を続けるということがメインだが、もう1つは寸法変化である。この部分を追っていくという形がある。今のところ144 mmで試験を6か月くらいやっているところである。

ただ、今回の試験体は30 cmの幅10 cmという長細い試験体を用いており、実際の仕様では、大きい面として使うから、大きい変化にはならないというところはある。そのため、材料としての最大の膨らむ量を測定して、それ以外で実際に使うときでは、要は面からの湿気の出し入れになると思うので、これでどれぐらい動くのかという目安を付けていきたい。さき程ご提案があった、厚みが違うものを作っていただくと、それを幾つか分けていただければ、厚さによって膨らみ方がどう変わっていくのかも検討できるかと思うので、非常にそれは助かる。

それから、0度方向にそろえたもの。これもあると、今まではLVLと同じだというような考え方もあるが、縦方向、幅方向も測っているがほとんど動いていない。だが、最大値としてどれぐらい動く可能性があるのかということが見ればそれも1つ検討になるので、出た試験体のうちからセレクトしていただいて、送っていただきたい。

それから、先ほどの含水率の話。製造時は大断面なものであり、ざっとした計算では、中の含水率が例えば今の気乾の含水率になるのに、たぶん年単位、下手すると10年ぐらいの単位でなるのではないかというシミュレーション結果が出ている。厚さ方向の吸湿だけである。側面方面から来れば別であるが、その辺も検討を今後進めていければと思う。特に今後9年間の研究が続くのであれば、その中で実際の数値とシミュレーションの数字を突き合わせるとかもできるので、その部分に関しては今後ともやっていきたいと思っている。

委員長：含水率については確かに今ご指摘いただいたところ、非常に大きな懸念がある。特に厚さが非常に大きくなったときに、熱伝導率と透湿抵抗の兼ね合いで内部結露を呼ぶ可能性がないかというのは少し心配である。中の含水率を追い掛けていただけるような測定方法とかをご検討いただき、そういうところのデータも出していただけるかな、と期待している。

委員：その点も検討していきたい。

委員長：よろしく願います。測定の観点からご意見等があればいただきたい。

委員：私に今、求められている内容がどういうことなのかがまだ理解できていないのだが。

委員長：本当は当初、床構面の振動とかを検討いただきたかったが、そういうデータを出すのが社会では難しいということをお耳に挟んだ。そうすると、これまでも構造性能の導出に携わってこられた観点から、ここは測ったほうがいいなどのアドバイスがいただけたらと思ひ発言をお願いした。

そういうことで、これまでのご経験を基に、もう少し研究計画が進んだ段階で、大所高所から、こういうのを測ったらどうだとか、こういう影響がある、というような点をご意見いただければと思う。

委員：了承した。

委員長：よろしく願います。ほかに何かご意見、ご質問はあるか。

委員：特段、今、私から気付いた点はない。

委員長：測定上はいろいろご尽力いただかなければならないところが出てくると思うので、引き続きよろしく願います。

委員：了承した。

委員長：メーカー委員の皆さまから何かご意見、ご質問はあるか。よろしいか。

このあと、測定する対象の超厚合板の仕様について、こちら側のお願い、要望を具体化した形でお伺いする。そのときに、これはできるがこれはできない、〇×というような形ではなくて、これならば作れる、というご提案をいただけるとありがたいと思っている。研究側の委員の皆さんからは測定をする項目と、それに必要な試験体仕様をお寄せいただきたい。

試験体の仕様を詰めるのにもう少し時間が掛かるので、その間に少し先行して検討すべきことがある。実は昨年度試作いただいた 60 mm の製品で、単板選別が全層と平行方向だけの 2 種類、という試験体の残がある。これについて、曲げ試験だけやって、平行層理論で検討してみることが、入り口としてはできるかなというふうに考えている。

測定を森林総研でやるのが簡単かなと思っているので、委員にご尽力をいただいて測定を担当いただければと思うが、いかがか。

委員：了承した。

委員長：詳細についてはまた個別にあらためてご相談するのでよろしく願います。

以上、今年度の進め方について説明申し上げた。資料5、スケジュールに戻ると、本日が5月20日の第1回委員会、このあと6～11月ぐらいの間で試作、性能試験ということになっている。これらはなかなか並行してはできないので、例えば試作を6～8月でやっていただいたら、9～11月でこちらが測らせていただくような仕切りになるかと思う。

そうすると、6～8月の辺りで先ほどお話しした、昨年度試作した60mmの性能評価を並行して行い、その間に今年度分の試作をしていただく形になる。今年度も試験体ごとにお送りいただく先が異なる。ご面倒をお掛けして申し訳ないが、できたら9月ぐらいのところで試験体を頂戴できるとありがたい。その間にワーキングや、委員会があるが、社会情勢が許せば現地検討会とかやったほうがいいか。

事務局：それができれば、ありがたいと思っている。

委員長：そうすれば、1つは日にちの算段をしなければいけないが、測定しているところを見ていただくことはできるかなと思う。森林総研がメインだと思うが、そのほか、例えば東大で測っていただく分とか電機大で測っていただく分とかをそちらでご覧いただくということもできるように思う。

試作状況について全員の方が集まってどこかのメーカーさんで開催というのは難しいか。

事務局：メーカーさんにお引き受けいただくことは困難かと思う。

委員長：そうであれば9月、10月ぐらいの時期で、測定しているところを見ていただくような現地検討会を念頭に置いて進めさせていただきたい。どこで何が見られるかについては、委員の先生方と後ほどまた個別にご相談をさせていただきたい。

ユーザー側のお立場から出ている委員から、今後の進め方についてアドバイスがあればいただきたい。

委員：さきほどの寸法変化についてだが、実際に建築で使ったときにどういうことが起きるのかということもある。余った試験片などでも構わないので、日本各地のしかるべきところに置いていただき、長期間の評価ができればな、感じたところである。

それから、材料の厚さが非常に魅力ではあるが、どういう使われ方をするのか、どういうふうに見えるのか、ということも非常に興味あるところである。まずは基本的な物性値を知っておけばいいかなとは思っている。厚さ特有の使われ方みたいなものを想定した試験方法や、それに関する評価方法というのを検討しておくことも、ユーザーからすると、こういう使い方をしてもいいのか、ということにもつながっていくと思う。普通の合板は反り、曲がり許容して、それを生かしていくこともできるが、今回、超厚合板であるとそういう曲がりや反りは起きにくいけれども、何かしら気を付けなければいけないようなことが起きるかもしれない。せん断も、いろんなせん断をちょっと考慮した試験方法みたいなものもあるのではないのか、そんなところを感じた。

委員長：まだなかなか材料がわれわれの手の上に乗れなくて、あまりに厚くて重いので手に乗らないという側面もあるが、少しずつ実用的なことで何ができるのかということに研究が到達していかないといけないなと思っている。またアドバイスいただきたい。

委員：よろしく願います。

委員長：実は厚さが増えることについて、超厚合板は真面目に測っているが、CLT も当然懸念がある。圧縮圧は高くないので、総量というよりは、ラミナの表面が反る現象が CLT では出る可能性がある。このようないわゆるマスティンバーの場合にはそういった点をどうにかしていくことが必要なのかなという気もしている。実用上は非常に、例えば 150 mm に対して 1% 伸びてもかなりの量なので、そういうところがうまく吸収できるような何かを考えなければいけないかなと思っている。

そのほか、いかがか。

委員：昨年度、当社で 3×10 板を試作し各試験機関に送らせてもらった。経験したところで話をさせてもらおうと、一般的に 3×10 板といえば 910 mm×3,030 mm。これらを各試験機関に試験体として割り振ると寸法が足りなくなる。鋸目が必要になるので、910 mm でまず足りないというところと、長さについても、どういうふうに試験サンプルをカットして各試験機関に送るのかということもある。その辺を含めて、これから 3×6 板になるのか 3×10 板になるのか検討されると思うが、910 mm、3,030 mm では足りなくなるので、各合板メーカーが、その辺を注意して製造をやっていただければなと思っている。

委員長：非常に貴重なご助言を頂いた。われわれも試験体の木取りのときに、鋸代部分をちゃんと見て、余裕がある木取りができるように割り振ってまいりたい。どうぞよろしく願います

委員：よろしく願います。

委員：接着性能について剥離が多くなる可能性が示唆されたということである。おそらく試験のときに剥離したものがあつたと思うが、通常と違って LVL の基準での剥離ということだったと思う。そうしたときに、通常、剥離がなかつたものと剥離が多くあつたもの、これらについて物性的な違いがどのくらいあつたのか、質問する。

委員長：まず、コメントいただきたい。

委員：剥離の状況だが、2つあつた。1つは直交積層したことが、平行に積層しているものよりも試験として厳しかったかもしれないということである。そこはまだこれから検証の余地があるかと思う。もう1つは、ヒノキ・カラマツの方が多少剥離が多い傾向があつた。その辺りが今実施している煮沸等の処理の、試験としての強度というのか、刺激みたいなものが超厚合板にとってどう影響するのかという検証が要ると思っている。ただ、

判断基準が決まっていないので、どこで線を引くかで解釈が変わってくるところはある。そこはこれからである。

もう1つ、今回ある意味、無理言ってご試作いただいたものであり、製造上で若干うまくいかないところがあったための剥離もあった。そちらはこれから生産が進んでいくことで解消できるものである。それらが曲げ性能等に影響したかという、これから昨年度試作の60mmの曲げ試験を実施するので、そこで何か見えてくるものがあるかもしれないと思っている。

委員長：特段、強度性能に関して剥離が多いものが低くというような明瞭なことはなかったというふうにご理解願いたい。むしろ樹種特性なのかなという気もしている。やはりスギだとある程度単板がテンダライズされるような形になるが、カラマツだと木理の影響などが出ているのかなという気もする。いずれにしても判断基準がまだどれでいいのかが分かっていないので、その辺り、きちっと詰めていきたいと思っている。CLTは、剥離について集成材と一緒にだったか？

委員：剥離率である。剥離の長さは違う。試験片全体の剥離率だと、集成材が5%なのに対してCLTは10%。1接着層当たりだと集成材は25%、CLTは40%である。CLTの方が高く、直交積層の影響が加味されている。

委員長：直交積層ということで、目視で見る剥離が生じやすいというところはあるかと思うので、そういうところも参考にしながら今後、判断基準についても検討していくので、どうぞ引き続きよろしく願います。

委員：よく分かった。

委員長：そのほかはいかがか。そうすれば、この後の進め方だが、まず、研究側の委員の先生方からどういうものを使って何を測りたいかというようなところをお出しいただこうと思う。その際に必要な治具とか消耗品があれば併せてお寄せいただきたい。それを踏まえて試作の仕様の候補をメーカー委員の皆さま方にお示しするので、なるべく前向きにご検討いただくようよろしく願います。

1点、ヒノキ・カラマツの状況がこれから2～3か月では変わらないと思うが、もしできそうなことがあれば、お耳打ちいただければと思っている。よろしく願います。超厚合板に関しまして、そのほかの議題はいかがか。よろしいか。

以上で超厚合板に関する議事は終了する。

### 13.2.2 第2回委員会 令和5年1月23日

委員長：今年度事業の進捗状況につき、性能試験をご担当いただいた委員の方々から簡単にご報告をいただく。

事務局：報告書の目次の順番で報告をお願いします。

委員長：最初に試作に関して、今年度試作については、これまでの単板選別に関してもう少し進めさせていただくこととした。その試作をしたものと、4以降の評価をしたものというのは必ずしも完全に一致していない。昨年度試作をいただいたものを今年度、測っているものもある。

まず曲げ性能について報告をお願いします。

委員：曲げ性能に関して、去年の残りで層内せん断を行った。今度、木材学会の大会で発表するので簡単に紹介する。昨年度までにスギ、ヒノキ、カラマツの単板のヤング係数の幅を持たせていろいろ試作したものが残っており、それを使いながらこういう逆対称4点曲げみたいな形で層内せん断破壊させる実験を行った。

そのときに、せん断破壊をもちろんするのだが、単板の裏割れの影響などが、せん断強度に影響しているのではないかとというところで、その辺を細かく分析したり、そういった接着層のせん断試験的なものを試しに行ったり、裏割れの影響なんかを細かく分析したのが今年度の前半の成果である。

今年度製造試験体の曲げ性能に関してはもうすでに実験は終了。今年度行ったものとしては、この単板の層構成の違いをいろいろ変えた。単板構成について、全層が平行層になるような、いわゆるLVLと同等のものと、それからB種LVL型ということで平行層の比率としては7割ぐらい。これはいわゆる合板型で交互に積層しているもの、これは5割ぐらい。それからもう1つ、合板型と書いてあるが、直交層のほうが厚さが少し厚いというもので、4割ぐらいが平行層になっている。こういう4種類のことを試作いただいて、それぞれの曲げ試験の結果と平行層理論の結果から、理論に乗るかどうかを行った。

それから、こちらは、全部いわゆる合板型で単板が交互積層しているが、単純に厚さが違う。これは48mmから60mm、72mm、96mmと、いろんな厚さのものを作っていただいて、それらの試験を行った。

実験結果について、曲げ強度では、このLVLから合板型に向けてやはり強度は当然下がってくる。いわゆる平行層理論で計算したものがこれ。これは単板の強度が、スギの単板の強度がないので、いわゆるエンゲルマンスプルースの値を基にして計算すると、この程度になってくるということで、非常に安全側に算定している。ヤング係数に関しても実験値はこういう形で、単板構成においてすべての単板がヤング係数の下限値だとして求めた計算値もこの辺りにくるということで、いずれも安全側の推定になっている。最終的にはもう少しいろいろ細かく値をみるが、取りあえず速報としてはこんなところまでが実験的には得られている。

委員長：構成比率のグラフの中で、構成比率を示す式の分母・分子が逆だと思う。

委員：確認する。

委員長：全層の厚さ÷平行層の厚さと書いてあったので、入れ替えるべき。

平行層理論もなかなか難しく、なんの数値を入れるかというところが少し問題にはなる。特に強度に関して、エンゲルマンスプルーエスの数値を入れているということは、なんの根拠もない数値を入れているのと同じことなので、そういう点では、これまでに行った試験の結果からヤング係数の範囲と強度の関係をなんとなく見て、そこでだいたい幾つぐらいだったというようなところから単板の強度に割り戻して、それを入れるみたいなことをしていかないと、たぶん合わないような気がする。あとは、LVL の試験結果から強度を求めて、その強度をほかの合板型のものなんかに入れていったときに合うかな、たぶんそういうほうがいいのかないかなという気がした。

委員：先ほどの試験の後にそういうことをやっている。LVL は全層同じ 60 以上のものを単板で作っているの、仮に強度が全部同じだとするとだいたいこのぐらいの単板強度があるはずだということから、それを基にして同じように平行層理論で計算することを行った。説明を省略したが、そういう比較も報告書では書きたい。

委員長：続いて、曲げ性能について、報告をお願いします。こちらの試作は昨年度分、薄物の方の試験結果になる。

委員：65mm の超厚合板の曲げ試験を行った。支点間距離 1,365 の 3 等分点 4 点加力を行った。試験の概況はこのような形。寸法重量の測定結果について、強軸、弱軸はあまり変わりなく 0.38 ぐらいの密度になっている。MOR の結果は、6-1 と 6-2 のこの強軸に関しては 10 から 16 ぐらい。弱軸に関しては 7 から 10 ぐらい。そして真の MOE に関しては強軸で 4 ぐらい、弱軸では 2 ぐらいというような結果になっている。以降は、グラフと試験の状況を写真で表したというような内容である。

委員長：こちらはまだ解析を進めていないが、委員と相談しながら、こちらに関しても平行層理論とか、解析的なところをこれから行う。  
続いて、水平せん断について報告をお願いします。

委員：このような形で水平せん断試験を行った。ショートスパンの曲げ試験ということで、スパンと梁せい比の単板積層材の JAS は 4 だが今回は 4.5 で行った。昨年と変わったところは、前は曲板を使ったが、今回は幅を広げて 144mm 相当の平板を使った。行ったのがスギ超厚合板。単板選別が E60 以上とランダム、製造方法はワンショットと 2 次接着と、あと 1 つが直交方向（逆寸）も行った。それぞれ平使い、縦使いを行った。

正寸では単板選別の方法は、E60 以上がランダムより数字がいい結果になった。平使い、縦使いでも同様の結果になった。単板選別方法、ランダムでは 2 次接着でいいことになっ

た。ワンショットで逆転したところで、これは単板の性能以外に何か原因があったのかなと思う。同様に縦使い。縦使いはこのような形で、E60以上とランダムで性能が良かった。全般的にこちらも2次接着よりそれぞれの仕様ではワンショットより性能が良かった。

直交方向（逆寸）を簡単に説明すると、横軸が今までと並びが違って見にくいですが、平使い同士を比べると、直交方向（逆寸）はあまり差がなかった。なぜか今回、E60のほうがばらつきが大きかったが、このような結果になった。縦使いに関してはランダムのほうが大きかった。直交方向（逆寸）に関してはどういうふうでこういうふうになったかを考察している。

ランダムとE60以上では統計的には有意差はなかった。2次接着がワンショットを上回った。縦使いではE60以上>ランダムで有意差があった。補足になるが、加圧板を平板としたのが変わったところ。スギやヒノキでめり込み破壊が起こって、この取り扱いが非常に悩ましいということで、加圧板を平板にしたらめり込み破壊ではなくてせん断破壊をしてくれるのではないかということを考えてが、破壊率が、平使いで48体中の30体がめり込みで破壊してしまった。ただ、やや改善したような気はする。曲げ破壊するものは水平せん断破壊をしてくれるような傾向があったように思う。

ただ、めり込みに関しては、ショートスパンではこのような形になって、スパン・梁せい比、6とかがいいのではないかという感じは受けている。最後に挙げた直交方向では、ランダムと逆の傾向になった。

委員長：後ほど接着の報告も出てくるが、2次接着のほうが、製品性能、安定しているイメージか。

委員：そのとおり。

委員長：なるほど。今日、少し報告があるが、今年度の終わりから超厚合板を検討するプロジェクトが始まる。そこが進むと、製造関係のところももう少し取り回し良くなるかなと思う。実際にはワンショット関係は、そういう製造のラインが整備されてからでないか、なかなか本来の性能が発揮できてない側面もあるのかなという気がする。その辺り、今の委員の水平せん断の試験で非常に明確にお示しいただいたというふう思う。それでは水平せん断について報告をお願いします。

委員：先ほどの委員の実験とかぶるが、昨年度は水平せん断で、いろいろ支点とかの条件を変えて、どういう違いが出るかというのを検討した。60mm厚さの試験体の場合は、なかなか、せん断破壊しないで曲げ破壊してしまうものが多くて、せん断の実際、真のせん断強度が分からない。このため、今年度はほかの試験方法で、取りあえず真のせん断強度を求めるということをやろうということで、逆対称4点曲げせん断試験をやってみた。まだ予備試験段階である。

これが、実際試験を行っている写真。 $a=S=3h$  というのが、「構造用木材の強度試験マニュアル」の引用だが、 $a$ がこの支点と加力点の距離で、 $S$ がこの加力点から支点の距離の値。 $3h$ だと、 $f_s$ というのがせん断強度で、 $f_b$ が曲げ強度で、これが6分の1であればせ

ん断で破壊する。去年行った普通の水平せん断試験だと、スパン 5h だと 10 分の 1、スパン 4h だと 8 分の 1 なので、こちらのほうがせん断破壊しやすい条件ということになるので、これだったらいけるのかなという感じでやってみた。

結果を一部示す。これは逆寸のもの。去年の残りのもので行った。単板等級が 60 から 89。これはきれいにせん断破壊したもの。ただしこれは、水平せん断試験でもきれいにせん断破壊したものになる。

それからこれが 60 から 69。これはせん断、ここの真ん中の層が、せん断破壊してから最外層が折れたという感じで、マックスはせん断破壊だったのかなと思う。一応せん断と見てもいいのかなと思う。曲げは起こっている。支点、加力点の設定があんまり良くなかったのかもしれないが、端っこがすごく食い込んで、めり込んでいる状態になっている。

昨年度行った分だと、ほとんど曲げ破壊した単板等級 60 から 89、一番強いもの。これはワンショットだが、全部この条件でもきれいに曲げ破壊してしまった。せん断はほとんどない、たぶん見た目はない。あるのかもしれないが、そんな結果になった。

ということで、このグレードをなんとかせん断破壊させたかったが、うまくいかなかったので、さらにスパンを縮めて、 $a=S=2h$  にした。これだと  $f_s$ 、 $f_b$  の比が 4 分の 1 であればせん断で破壊するというので、かなり条件としては良くなっている。やってみたらやはり曲げ破壊だったという感じ。やはりここはすごくめり込んでしまったという結果になっている。

予備試験的には、これからというところだが、今考えているのは、こういう断面。せっかく合板で幅広なので、集成材とか LVL だとかいうことはできない。要は真ん中を削ってアイビーム型にした。計算が間に合わなかったので実際に何分の 1 ぐらいになるか分からないが、さらにせん断破壊は起きやすい形状になるので、この形状で 4 点曲げ試験をやってみたい。これだと幅が広いので、めり込みも減るはずなので、それで今後やってみようという今、試験体を加工している段階である。

委員：最後のスリットを入れたもので、加力点はスリットを入れてないところに来るように置くということか。

委員：それも考えた。全面スリットを入れても要するにアイビームの試験みたいな形になるので、計算はできる。もっとも試験体の厚さが変わると変わってくるので、通常の試験法とかには絶対できないが、せん断強度を出すだけだったらできるのかなと思う。

委員：3 点曲げじゃなくて 4 点曲げか。

委員：その通り。一応、逆対称でやる予定。ただ、計算がかなり複雑になる。うまくいけばこれで水平せん断でやればかなり単純にできるので、それも考えている。

委員長：確認だが、お示しいただいた I 型の断面は、曲げのスパンは、この奥行き方向がスパンということ、小口面を見ているということでしょうか。

委員：その通り。

委員長：圧力がかかる面は広くて、せん断力を負担するところが幅が狭くなるので、せん断が卓越するという解釈でよいか。

委員：理屈としてはその通り。

委員長：この課題の中では、曲げはまず第一に基本的な性能であるところから非常にいろいろご検討いただいている。実は水平せん断というのは、品質管理の方法に簡単に使えないかということで当初ご検討いただいていたが、やればやるほどどんどん難しいところが出てきていて悩ましいなと思っている。

まずは入り口として、真のせん断強さはどんなものかというのを知らない、測っている結果が合っているかどうか分からない。その辺りを委員と委員で、アプローチを変えてやっていたら、なかなか難しい材料だということが分かってきた。ここまで来ると、ねじったりしたくもなるが、それはそれでまた難しい気はする。

委員：少し補足すると、たぶん 60mm はちゃんとできている。144mm だとやはり接着とか不安定なので、せん断破壊してくれると思う。60mm はしっかりついていて、曲げ強度がやはり合板なので弱いので、こうなってしまうのだろうと思う。たぶん本当に、水平せん断やると 2h ぐらいじゃないとできないのかなという感じ。だから今のところもう、どこかで割り切って数値を決めるしかないと思う。

委員：委員の最初のスライドの破壊の仕方について、私だったら、めり込みがあったとしている。S-S 曲線がこのように塑性域が伸びていると、めり込み。一方で、塑性域内で荷重の低下があると、せん断かなと判断した。そのような判断基準の、統一とまではいれないが、私のやり方はそういうことであつたので、お知らせする。

委員：見た目だけだと分からない。

委員：正直、そういうのもある。私が今言ったのも典型的な例であり、これはどっちなんだというようなものがあって悩ましいところであつた。ただ、めり込みで破壊したのは、やはり強めに出るような傾向がある。それが本当の性能なのか、何かめり込みのファクターみたいなものがあるのか、その辺はなかなか悩ましいところで、考察し切れてないところ。

委員長：以前、CLT の水平せん断をやるときに、加力点のめり込みが気になった。それで、加圧板を非常に R が大きい、弓形みたいな大きな丸で押すと見えにくくなり安心はする。しかし、やはり荷重変形関係がおかしい、めり込みがあるのでは、というようなところがあり、なかなか難しい。まずは、どの辺りの数値を測っていればそれがせん断である、と

いうのを、当たりを付けて、あとはそこから、当たらずとも遠からずぐらいで判断をしていくのかなという気がした。

水平せん断は、さほど合板ではやっていないということが第一、あとは、材料物性としてなかなか水平せん断試験に適用が難しいという側面もあるのかなという気がする。いわゆる接着の評価をするときにどういう方法があるのかという点で、やはり欠かせない候補かなと思う。お手数をお掛けするが引き続きお願いできればと思う。

では接着性能について、報告をお願いします。

委員：今ちょうど、試験体の加工をしているところ。今年度中の依頼試験は難しいかもしれない。今回はLVL型と合板型について、絞った形で試験をできるかと思う。報告書には、これまで接着の試験の結果について少し深掘りしたものを載せたい。

委員長：データについては報告書を最終的にご参照いただきたい。接着せん断試験では何十層もあるものの試験ができないというところが入り口としてあり、その中でどういう評価をできるのか。一番いいのは既存の評価方法に当てはめて、評価の基準も通常どおりであれば一番よいが、場合によると評価の基準値は変えるということもありうるだろう。さらに言うと、水平せん断試験だと、おそらく既存のLVLが対象の試験方法なんかでは測れないので、もう少し測定条件を変えなければならないというところもあり、品質管理的なところが難しいということが分かってきたというようなイメージになる。

従来の接着の評価方法に関して、これが適用できればよいのだが、その辺りについて、データを蓄えていって議論したいと思う。

では、接合部の性能について報告をお願いします。

委員：接合部に関しては、ピン1本の接合部の特性をしっかりと検証するというのを去年から続けている。ピンを1本押しているような形の治具について、その繊維方向について、昨年は表層の単板が平行方向と直交方向、0度と90度の2パターンしか行わなかった。今年はその間の角度がある場合をやってみた。0度と90度と、その間の、15度、30度、45度というところをやってみて、荷重変位関係で見ると、角度によって初期剛性は同じであるが、2次勾配、2次剛性的なところが方向によって変わってくるというところ。それから、いわゆるめり込み剛性的なものは、45度ぐらいのところが一番底になるような感じのカーブを描くような傾向がある、そのような結果が得られた。

もう1つが、接合部、鋼板挿入ドリフトピン接合について、先ほどの結果も使いながら実験と計算が合うかどうか、既存の理論式で合うかどうか、ということを行った。そのときに、合板の場合、半分の単板がいわゆる繊維直交方向を向いているので、従来の集成材などを使ったときの接合部とは、ピンから見たときの端距離と縁距離、こういったもののルールが従来の設計基準のルールとは少し違う傾向がありそうだとこのところが分かってきたので、それを検証することをやっている。

1つ目は縁距離。さっきの絵のピンの横方向。荷力は縦方向に引っ張っているが、ピンから見た横の幅、これを縁距離というが、この縁距離をいろいろパラメーターとして変えている。ピンの3倍の太さから10倍ぐらいまでどんどん増やして、その影響がどう出るか

について、実験でやってみて、結果的にはある程度確保すればそんなに差がないという結果にはもちろんなるのだが、その影響を見たということ。

それからもう1つは、端距離。End distance と書いている、こちらをいろいろ変えて実験を行った。4d から 10d まで、いろいろ変えている。通常、集成材だと 7d を取ることを基本に置いているが、それより短くてももう十分、性能的には安定するというのが合板らしい特徴かなというところ。

こういう結果が得られているので、実験結果と従来の理論式との整合性について検証しており、報告書ではまとめたい。

委員長：接合部の性能を確保できるクライテリアが、従来の集成材より緩められるかなというのは、非常にいい結果が出たかなという気がしている。

先ほどのピンのめり込みに関して、0度方向と90度方向でだいぶ違いがあって、単なるばらつきなのか、それとも若干、異方性がやはりあるのかということは今後、興味があるところだ。

私は、めり込みに関して、合板は繊維が立っている方向にめり込む、これが主な抵抗要素なのか、繊維が寝ている方向が抵抗要素なのか、よく分かっていない。製材だと当然こちらである。しかし、構成比率を考えると、実は表層単板が横を向いているほうが、くぎの側面抵抗が高くなったりすることがあり、それをうまく適切に表現するためのことを考えると、どうも繊維が横を向いている層のほうが、支圧の負担面積が広いというか、抵抗要素として強い可能性があるのではないかと昔から思っている。いや、それはないんじゃないかと専門の方には言われるが、個人的には疑問なところである。

委員：今回は構成比率がほぼほぼ50%なので、0度でやっても90度でやってもそこまで大きな差は出ないと思っていた。この結果を見ると90度のほうが明らかに高く出ている。これがなぜなのかというのは正直、今の段階では原因までは突き止められていない。しかし、委員長がおっしゃるように、直交方向のほうが側面抵抗は高いというのは私も実験上、経験がある。もしかしたらその辺が影響しているのかもしれない。今後の課題かもしれない。

委員長：あとは、構成比率を変えたシリーズでやると、もう少しよく分かるかもしれない。単板の繊維方向と繊維直交方向の耐力の関係が違うのではないかと、というのは静大の小川さんに論文で書いてもらった。その部分の反響はこれまでまったくなくて、やっぱりそうかという感じだ。個人的には、合板は、製材の繊維方向とは何か違う気がしている。なので、またこの辺は出てくると面白いなというふうに思っている。

続いて、面内せん断性能についての報告をお願いします。

委員：面内せん断と書いてあるが、このタイトルは変わる予定である。去年は面内せん断というか、耐力壁としての利用を検討した。去年やってみて、やはり結局は柱脚の接合部の性能に支配されるというところから、さきほど報告した、接合部の性能をまずは基本と

して押さえることのほうを優先すべきだろうということで、今年度は壁の検討はやっていない。

それとは別に、床に使うようなことを想定したときの検討を始めたところ。その際、フラットスラブ、いわゆる床構面を細い柱で、点で支えるような、そんな感じの使い方ができると実用的に価値があるとの話があったところから、そのような検討を始めている。

そうすると、分厚い合板、大きな合板を点で支えるというか、小さい面積で支えることになるので、そこは、めり込みに対する抵抗性能をちゃんと押さえる必要があるだろうということで、めり込み特性みたいなことをやっている。これは面外方向からめり込ませる試験で、広い四角い合板の中心だけめり込ませるのもあれば、集成材とか製材のめり込み試験のように細長い超厚合板に対してめり込ませるといふ、いろいろ条件を変えてめり込み試験を行ったものがこの報告になる。

このあと、今年度試作製造した超厚合板で、床に使ったときのパネル同士の接合部、スプライン接合、結局、接合部の性能で決まってしまうので接合部の試験に結局はなってしまうが、そういった辺りを検討して、平面的に床で使うときの考え方みたいなものを少し整理している、というのが、構造的に使う課題の検討、という内容になっている。

委員長：昨年度、耐力壁の試験をしていただいて、脚部のめり込み関係がやはり卓越するというので、今年はそこに注力していただくような雰囲気になってきたというところである。特に今回は、水平において面外からめり込みがある場合についてのご検討をいただいたということになる。

私は、めり込みは、全面圧縮のめり込みしかやったことないのだが、余長があるとあんな感じで、2次剛性みたいなものは結構出るものか。

委員：その通り。いわゆる、めり込み理論というのを東大の稲山先生がやったのも、そういう部分圧縮のときには、その周辺部が引きずり込まれるようなところがばねとして利いてくれるので、2次剛性で上がっていくというのがある。当然ながら超厚合板の場合は、それが0度方向、90度方向、両方にそれぞれ余長を持つということになるので、そういった効果が足し算されて、ただの製材のめり込みなんかよりは2次剛性も上がっていくようなことが出るのではないか、そういうことを一応想定してやっている。

委員長：その辺の挙動がうまく設計上のメリットになるといいなと思う。もう少しデータをご検討いただきたい。

続いて、含水率変化に関して報告をお願いします。

委員：試験体が12月16日に届いたので、今年の方はようやく養生が終わった段階。今年は去年のものの続投という形がほとんどになる。

吸湿試験による寸法変化について、昨年に引き続き1年間行った。これは合板技術講習会でも発表したとおり、60mmについてはほぼ一定になってきたかなという感じ。ただ、144mmに関しては、まだ少し上昇しているところがある。途中少し波を打っているのは、恒温恒湿器を交換しないとどうしても実験的にスケジュールが合わないの、どうしても

温湿度が狂うときがあり、こうなっている。こちらのほうは試験を続けないと、吸湿が終わらないかなというところ。

それで、実際に、含水率、相対湿度に関してどういうふうな変化をするのかを測定するために、これは今年、新しく行ったもの。60mmの試験体を小さく切り、デシケーターの中に入れる。デシケーターを6条件に振り、これを恒温室の中に並べて、6条件でのまず含水率を測った。きれいに含水率の結果が出たところ。

これに対して、厚さの変化を測定したところ、同じように相対湿度について変化する。右側に含水率と厚さ変化を取ってみたが、今回、18%ぐらいまでは非常にきれいな直線関係が得られた。FSP 近くになると少し厚さ変化が落ちるかなというところがあるので、こちら辺をどう解釈するか。少なくとも20%ぐらいまでは、この直線式から厚さの変化を任意に予測できるのではないかと、今回こういった結果を出してみた。

今年の方は、熱伝導率を測定してからでないといと試験体の加工もできないので、今、熱伝導率の測定を始めたところである。上がR3の結果で、R4の結果は下に一部出ている。スギ、72mmのもの、48mmのものを測定した。ヒノキに関しては60mmのものを測定した。スギに関しては昨年の60mmのものと同じく変わらないという結果になってきている。ヒノキに関しては、やはり密度が高いので、若干、熱伝導率が高いという結果が出ている。この試験に関しては、今週中になんとか熱伝導率が測定を終わるので、続いて試験体の加工等を進めていきたい。

透湿抵抗について、このようにカップ法での試験を行っている。昨年の段階では全然、結果が出ていなかった。ようやく若干、結果が出てきている。60mmに関しては、100日を過ぎた辺りから直線性がようやく見えてきたかなという感じ。

今年で360日、もうすぐ1年たつが、これで50グラムの重量変化を突破しているので、JISの試験的にはここで試験終了である。ただ、この試験装置について、ボルト止めしてあるのは、中に入っている乾燥剤を交換できる形になっているので、乾燥剤を交換して、もう少し実験を続けていこうかなと考えている。

問題が144mm。ワンショットと2次接着を試験しているが、ワンショットは重量がようやく上がってきたところだが、2次接着は逆に減っている。これは、ワンショットと2次接着がどちらがいい・悪いというわけではない。どうやら初期養生で23度50%の含水率に十分達していないので、試験体自体がやや、23度50%に対して乾燥気味になっているかなという感じ。こういうカップ法でやると、144mmぐらいの大きさになると試験が非常に難しいなというところがある。これに関しても引き続き様子を見て試験を続ける予定。

今年に関しては、熱伝導率の測定は続ける。また、透湿性能の測定も続ける。48mm、72mm、96mmの今年度製造したものに対しては、同じように厚さ変化の測定を行ってみたい。可能であれば1次元のシミュレーションを行い、吸湿時の内部含水率の分布を推定して、先ほどの厚さ変化率・含水率の関係から厚さ変化量の経時変化を推定できないか、という試行まではやってみたい。

次年度以降、もし可能であれば任意の気候条件における寸法変化の推定ということで、例えば日本の各地の温湿度データを使い、どれぐらい寸法が変化するだろうかと推測をしていきたいと検討している。

委員長：なかなか時間がかかる測定をしていただいているで大変申し訳なく思う。吸湿における寸法変化は、だいぶ分かってきた気がする。おそらく大きな建物の建築現場になると、雨の養生みたいなものがあまりしてもらえない可能性があり、そうすると水掛かりによる影響みたいなものも少し心配になるという側面がある。その辺りについて測定のお考えはあるか。

委員：水掛かりについて、どちらかという一番問題だと思うが、当所では測定する環境がなく、今は考えていない。ただ、確かに重要なところだと思うので、ご相談させていただきながら今後、検討していきたい。

委員長：以上で今年度の試験の概要報告を終わる。

## 日本合板工業組合連合会

〒101-0061 東京都千代田区神田三崎町2-21-2  
TEL:03(5226)6677 FAX:03(5226)6678  
URL:<https://www.jpma.jp/>  
E-mail :[info@jpma.jp](mailto:info@jpma.jp)