

令和5年度補正予算 林野庁補助事業

令和5年度 花粉の少ない森林への転換促進緊急総合対策のうち

スギ材の需要拡大対策のうち

花粉症対策木材の活用に向けた技術開発事業

「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7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        | 5  |
| 3.5 | 積層接着方法について     | 5  |
| 3.6 | 試作試験について       | 6  |
| 4.  | 曲げ性能           | 8  |
| 4.1 | 試験体            | 8  |
| 4.2 | 試験方法           | 8  |
| 4.3 | 試験結果           | 9  |
| 5.  | 水平せん断性能        | 29 |
| 5.1 | 緒言             | 29 |
| 5.2 | 試料材と方法         | 29 |
| 5.3 | 試験結果           | 30 |
| 5.4 | 結言             | 32 |
| 6.  | 接着性能の検証        | 34 |
| 6.1 | 背景・目的          | 34 |
| 6.2 | 超厚合板の接着性能の検証実験 | 35 |
| 6.3 | まとめ            | 37 |

|        |                         |     |
|--------|-------------------------|-----|
| 7.     | 強度発現機構の把握               | 38  |
| 7.1    | 目的                      | 38  |
| 7.2    | 厚さ 45mm 合板のせん断試験        | 38  |
| 7.3    | 厚さ 90mm 合板のせん断試験        | 44  |
| 7.4    | まとめと今後の課題               | 47  |
| 8.     | 接合部性能                   | 48  |
| 8.1    | 試験目的                    | 48  |
| 8.2    | 試験体概要                   | 48  |
| 8.3    | 試験方法                    | 52  |
| 8.4    | 試験結果                    | 53  |
| 8.5    | まとめ                     | 57  |
| 9.     | 熱・湿気性能、寸法変化             | 58  |
| 9.1    | はじめに                    | 58  |
| 9.2    | 断熱性能の測定                 | 58  |
| 9.3    | 透湿性能の測定                 | 62  |
| 9.4    | 寸法変化の測定                 | 65  |
| 9.5    | まとめ                     | 67  |
| 10.    | 総括                      | 68  |
| 10.1   | 試作試験結果について              | 68  |
| 10.2   | 曲げ試験結果について              | 68  |
| 10.3   | 水平せん断試験結果について           | 68  |
| 10.4   | 接着性能試験結果について            | 69  |
| 10.5   | 強度発現機構の把握について           | 69  |
| 10.6   | 接合部性能試験結果について           | 70  |
| 10.7   | 熱・湿気性能、寸法変化に関する試験結果について | 70  |
| 10.8   | 残された課題について              | 71  |
| 11.    | 付録                      | 72  |
| 11.1   | データ、写真                  | 72  |
| 11.1.1 | 曲げ性能                    | 72  |
| 11.1.2 | 水平せん断性能                 | 90  |
| 11.1.3 | 強度発現機構の把握               | 97  |
| 11.1.4 | 熱・湿気性能、寸法変化             | 107 |
| 11.2   | 技術開発委員会議事録              | 111 |

## 1. 事業計画

### 1.1 事業目的

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項目を採り上げ、性能の評価を実施する。

#### ③ 超厚合板の強度発現機構の把握

超厚合板の強度発現機構を把握するため、試験条件と強度性能の関係を検討する。

#### ④ 超厚合板構面の接合部性能の把握

超厚合板の用途として、建築物の構造用構面として使用可能であることを目標としており、構面で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。

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厚さに着目し、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、熱伝導率・厚さ変化・透湿抵抗を採り上げ、性能の評価を実施した。

#### ③ 超厚合板の強度発現機構の把握

超厚合板の強度発現機構を把握するため、逆対称4点荷重方式せん断試験を採り上げ、試験条件と強度性能の関係を検討した。

#### ④ 超厚合板構面の接合部性能の把握

超厚合板構面の接合部に関する基本的性能を測定し、接合部を介した応力伝達性能を把握した。

## 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  | 金沢工業大学 建築学部 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、事業完了時、敬称略）

|       |                |
|-------|----------------|
| 平松 正樹 | 丸玉木材株式会社       |
| 加倉 友幸 | ホクヨープライウッド株式会社 |
| 斎藤 邦明 | 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       |
| 進藤 和也 | 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     |
| 横山 秀利 | 森の合板協同組合       |
| 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   |
| 石川 満  | 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）

|       |                            |
|-------|----------------------------|
| 佐藤 秀憲 | 農林水産省 大臣官房 新事業・食品産業部 食品製造課 |
| 田村 堯大 | 農林水産省 大臣官房 新事業・食品産業部 食品製造課 |
| 高木 望  | 林野庁 木材産業課 木材製品技術室          |
| 立花 紀之 | 林野庁 木材産業課 木材製品技術室          |
| 石井 貴史 | 林野庁 木材産業課                  |
| 今村 正輝 | 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(林野庁:令和3年度 森林及び林業の動向、p.59)。従来にない嵩高い合板製品であることから、構造用途はもとより、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、特に昨年度までの検討結果を踏まえ、接合部の性能および構面としての評価対象性能をさらに広げ、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とその選定理由についてこれまでの内容を含め、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は CLT・集成材・LVL の 3 種類であり、それらの構成要素の等級区分方法には、表 3.1 に示す 3 タイプがある。

CLT においては、ラミナは曲げヤング係数の平均値を  $30\text{tf/cm}^2 (=3.0\text{GPa})$  括約で区分し、M30、M60、M90、M120 の 4 等級に区分する。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。製品の等級も曲げヤング係数により、たとえば M60 等級のラミナを全層に使用した製品は S60(同一等級)、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(異等級)と表示される。製品の曲げ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  $50\text{tf/cm}^2 (=5.0\text{GPa})$ 、平均値  $60\text{tf/cm}^2 (=6.0\text{GPa})$ 、(A 種構成では上限の基準なし。B 種構成では上限値  $90\text{tf/cm}^2 (=9.0\text{GPa})$ ) 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  $42\text{tf/cm}^2 (=4.2\text{GPa})$  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、 $10\text{tf/cm}^2 (=1.0\text{GPa})$  括約で細かく区分し、L30 から L200 までの 14 等級が存在する。製品の等級は曲げ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、その曲げヤング係数の平均値は  $170\text{tf/cm}^2 (=17.0\text{GPa})$  であり、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、製品の性能を曲げ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 等級とされ、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、超厚合板の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、製品性能の偏差の広がりに伴って、担保可能な製品性能が低くなるおそれがあるため、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。

2020 年度は、単板の選別方法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  $30\text{tf/cm}^2 (=3.0\text{GPa})$  幅とするものと  $10\text{tf/cm}^2$  幅 ( $=1.0\text{GPa}$ ) とするものの 2 タイプとした。2021 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  $60\text{tf/cm}^2 (=6.0\text{GPa})$  とした。2021 年度報告したとおり、歩止りおよび強度性能的には  $60\text{tf/cm}^2 (=6.0\text{GPa})$  and better 型が優れていたため、2022 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  $60\text{tf/cm}^2 (=6.0\text{GPa})$ 、ヒノキ  $90\text{tf/cm}^2 (=9.0\text{GPa})$ 、カラマツ  $120\text{tf/cm}^2 (=12.0\text{GPa})$  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。2023 年度の単板選別は 2022 年度の結果を踏まえ、 $60\text{tf/cm}^2 (=6.0\text{GPa})$  and better 型とした。

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 | $30\text{tf/cm}^2$ 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 | $10\text{tf/cm}^2$ 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     |

本年度の単板選別についても、これまでの検討結果を踏まえ、 $60\text{tf/cm}^2 (=6.0\text{GPa})$  and better 型を採用した。選別対象については、直交方向の強度性能に単板選別が与える影響についても検討するため、全層、平行層のみ、表層のみの 3 水準とした。また、通常の選別方法の場合の製品性能把握のため、目視等級区分による C-D 等級も供試した。

### 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は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、2020 年度、試作試験までを実施した。2021 年度の試作試験にはスギを用いたが、2022 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。2023 年度は測定項目を拡大したため、スギのみを使用樹種とした。本年度は、単板選別における目視等級の影響と製品厚さの影響を評価対象としたため、樹種についてはスギのみとした。

### 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。2021 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、2022 年度は再度フェノール樹脂接着剤を用いることとした。2023 年度および本年度もこれに従った。

### 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 2022 年度では、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。2023 年度はワンショット型のみとし、構成比率の影響についても

検討することとした。本年度もワンショット型のみとし、単板選別方法および厚さについて検討することとした。なお、本年度の試験体のうち、厚さ 45mm のものは 3×6 板として製造した。

### 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。

寸法仕様については、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。このことを根拠として製品寸法 910mm×3,030mm(3×10 板)としている。また、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 2022 年度は、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も検討した(表 3.2)。

表 3.2 2022 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><br>以上  | 全層   | 144    | 通常仕様             | 910×3,030 |                  |
|      |                             |      | 96     |                  |           |                  |
|      |                             |      | 72     |                  |           |                  |
|      |                             |      | 60     |                  |           |                  |
|      |                             |      | 48     |                  |           |                  |
| ヒノキ  | 90tf/cm <sup>2</sup><br>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><br>以上 |      |        |                  |           | 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)       |

2023 年度に製造した超厚合板は全層スギとし、厚さは、100mm、120mm、144mm としている。144mm 厚のものは 24mm 厚物合板 6 枚の 2 次接着に対応した仕様であり、2022 年度に

続いて試作いただいた。単板の選別には超音波伝播速度を用い、その基準は、 $60\text{tf}/\text{cm}^2 (= 6.0\text{GPa})$ 以上・上限なしとした。その結果、供試した単板のヤング係数の平均値は  $69.3\text{tf}/\text{cm}^2$ 、標準偏差  $9.88\text{tf}/\text{cm}^2$  となった。また、構成比率については厚さ 120mm のもののみ、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) とした。

表 3.3 2023 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 | $60\text{tf}/\text{cm}^2$<br>以上 | 全層   | 144     | 合板型 (通常仕様)                        | 910×3,030 |
|    |                                 |      | 120     | LVL 型 (全層平行)<br>B 種 LVL 型 (70%以上) |           |
|    |                                 |      | 100     | 合板型 (通常仕様)                        |           |

本年度の試作では、全層スギ、厚さ 144mm、90mm、45mm とし、単板選別は音波伝播速度を用いた場合、その基準は、 $60\text{tf}/\text{cm}^2 (= 6.0\text{GPa})$ 以上・上限なしとし、選別対象は全層、平行層のみ、表層のみとした。選別の結果、供試した単板のヤング係数の平均値は  $65.8\text{tf}/\text{cm}^2$ 、標準偏差  $9.41\text{tf}/\text{cm}^2$  となった。また、表層のみ目視等級区分による C-D 以上とした仕様も設定した。

表 3.4 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 | $60\text{tf}/\text{cm}^2$<br>以上 | 全層   | 144     | 合板型 (通常仕様) | 910×3,030 |
|    |                                 |      | 90      |            |           |
|    |                                 |      | 45      |            | 910×1,820 |
|    |                                 | 平行層  | 144     |            | 910×3,030 |
|    |                                 |      | 90      |            |           |
|    |                                 |      | 45      |            | 910×1,820 |
|    |                                 | 表層   | 144     |            | 910×3,030 |
|    |                                 |      | 90      |            |           |
|    |                                 |      | 45      |            | 910×1,820 |
|    | 目視 C-D                          | 表層   | 144     |            | 910×3,030 |
|    |                                 |      | 90      |            |           |
|    |                                 |      | 45      |            | 910×1,820 |

## 4. 曲げ性能

### 4.1 試験体

厚さ 45mm からなる 3×6 板 2 枚、それぞれから強軸と弱軸を 8 体（1 仕様では強軸、弱時を各 16 体）採取し試験に供した。試験体の仕様は以下の通りである。

- ・⑰：45mm 厚、3×6 板、ワンショット、単板選別全層 60 以上
- ・⑱：45mm 厚、3×6 板、ワンショット、単板選別平行層 60 以上
- ・⑲：45mm 厚、3×6 板、ワンショット、単板選別表層のみ 60 以上
- ・⑳：45mm 厚、3×6 板、ワンショット、単板選別表層のみ C-D

### 4.2 試験方法

最大荷重に達するまでの時間が 5 分±2 分となるよう、加力速度は 10mm/min とし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）により各部の変位を検出し、データロガーを用いて記録した。加力は支点間距離を厚さの 18 倍（810mm）とした 3 等分点 4 点加力にて行った。

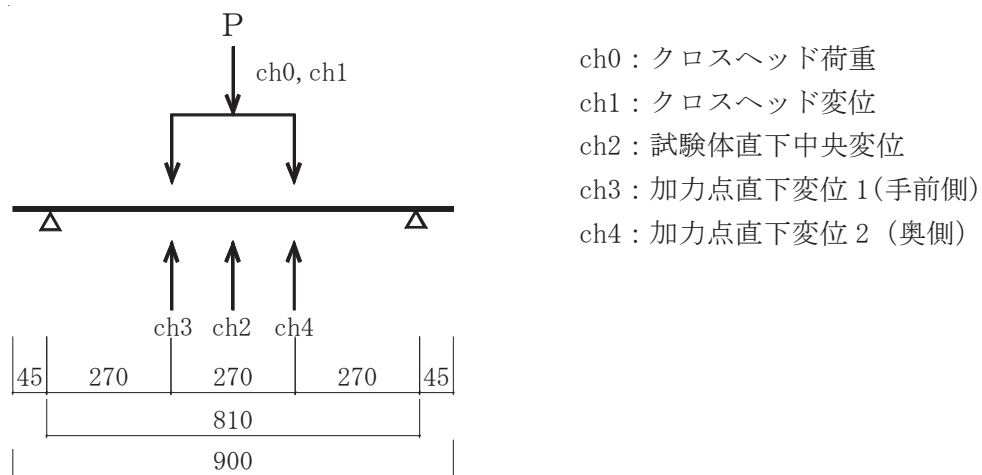


図 4-1 測定位置



(a) 変位計設置



(b) 加力状況

写真 4-1 試験概況

### 4.3 試験結果

#### 4.3.1 寸法重量測定結果

表 4-1 寸法重量測定結果\_1 (調湿なし)

| -  | 原板 | 試験体名称  | 長さ    | 幅      | 厚さ    | 重さ      | 密度                |                   |                   |
|----|----|--------|-------|--------|-------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
|    |    |        | L     | B      | t     | w       | $\rho$            | $\rho_{ave}$      | $\rho_{SD}$       |
|    |    |        | mm    | mm     | mm    | g       | g/cm <sup>3</sup> | g/cm <sup>3</sup> | g/cm <sup>3</sup> |
| 強軸 | 1  | ⑰-1-1  | 900.5 | 100.60 | 45.54 | 1693.44 | 0.41              | 0.41              | 0.01              |
|    |    | ⑰-1-2  |       | 100.43 | 45.17 | 1666.29 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-3  |       | 100.17 | 45.64 | 1687.51 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-4  |       | 100.65 | 46.11 | 1742.41 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-5  |       | 100.28 | 45.68 | 1707.86 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-6  |       | 100.49 | 45.83 | 1715.95 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-7  |       | 100.22 | 45.25 | 1746.1  | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-8  |       | 100.47 | 45.36 | 1678.33 | 0.41              |                   |                   |
|    | 2  | ⑰-2-1  | 900.5 | 100.36 | 45.91 | 1692.38 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-2  |       | 100.06 | 45.50 | 1647.73 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-3  |       | 100.13 | 45.01 | 1637.96 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-4  |       | 100.67 | 45.20 | 1658.53 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-5  |       | 100.42 | 45.25 | 1664.23 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-6  |       | 100.41 | 45.57 | 1674.92 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-7  |       | 100.40 | 46.06 | 1662.99 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-8  |       | 101.95 | 45.30 | 1671.12 | 0.40              |                   |                   |
| 弱軸 | 1  | ⑰-1-9  | 901   | 100.99 | 45.56 | 1674.61 | 0.40              | 0.41              | 0.01              |
|    |    | ⑰-1-10 |       | 100.54 | 45.62 | 1734.37 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-11 |       | 99.95  | 45.87 | 1699.89 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-12 |       | 100.10 | 44.89 | 1707.05 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-13 |       | 100.31 | 45.31 | 1673.28 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-14 |       | 100.39 | 45.02 | 1672.23 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-15 |       | 100.43 | 45.68 | 1708.35 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-1-16 |       | 100.55 | 45.38 | 1718.61 | 0.42              |                   |                   |
|    | 2  | ⑰-2-9  | 900.5 | 100.07 | 45.24 | 1649.08 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-10 |       | 100.03 | 45.10 | 1657.31 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-11 |       | 100.54 | 44.88 | 1647.48 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-12 |       | 100.16 | 44.78 | 1617.1  | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-13 |       | 100.50 | 44.73 | 1622.95 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-14 |       | 100.11 | 44.90 | 1668.22 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-15 |       | 100.46 | 45.29 | 1645.81 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑰-2-16 |       | 100.19 | 45.29 | 1622.52 | 0.40              |                   |                   |
| 強軸 | 1  | ⑱-1-1  | 901   | 100.15 | 44.59 | 1651.29 | 0.41              | 0.40              | 0.01              |
|    |    | ⑱-1-2  |       | 100.27 | 44.60 | 1637.93 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-3  |       | 100.18 | 45.21 | 1630.8  | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-4  |       | 100.59 | 45.61 | 1603.42 | 0.39              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-5  |       | 100.22 | 45.45 | 1617.41 | 0.39              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-6  |       | 100.41 | 45.18 | 1594.54 | 0.39              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-7  |       | 100.33 | 44.95 | 1610.34 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-8  |       | 100.41 | 45.54 | 1623.64 | 0.39              |                   |                   |
|    | 2  | ⑱-2-1  | 901.5 | 100.79 | 45.57 | 1708.89 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-2  |       | 100.27 | 45.68 | 1695.43 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-3  |       | 100.24 | 45.02 | 1640.23 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-4  |       | 100.73 | 45.44 | 1630.61 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-5  |       | 100.62 | 45.10 | 1612.01 | 0.39              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-6  |       | 100.43 | 45.48 | 1639.42 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-7  |       | 100.45 | 45.55 | 1660.54 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-8  |       | 100.65 | 45.08 | 1655.17 | 0.41              |                   |                   |
| 弱軸 | 1  | ⑱-1-9  | 900.5 | 99.64  | 44.70 | 1610.1  | 0.40              | 0.40              | 0.01              |
|    |    | ⑱-1-10 |       | 100.47 | 44.90 | 1615.72 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-11 |       | 100.76 | 45.95 | 1636.64 | 0.39              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-12 |       | 100.48 | 45.55 | 1603.56 | 0.39              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-13 |       | 100.47 | 44.96 | 1659.52 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-14 |       | 100.19 | 45.05 | 1634.1  | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-15 |       | 100.65 | 44.90 | 1647.14 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-1-16 |       | 100.22 | 45.02 | 1640.03 | 0.40              |                   |                   |
|    | 2  | ⑱-2-9  | 901   | 100.01 | 45.44 | 1641.41 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-10 |       | 100.27 | 45.58 | 1613.72 | 0.39              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-11 |       | 100.72 | 45.11 | 1624.33 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-12 |       | 100.45 | 45.02 | 1628.26 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-13 |       | 100.50 | 45.15 | 1650.61 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-14 |       | 100.28 | 44.77 | 1648.64 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-15 |       | 100.66 | 45.40 | 1657.88 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑱-2-16 |       | 100.03 | 45.55 | 1656.5  | 0.40              |                   |                   |

表 4-2 寸法重量測定結果\_2（調湿なし）

| -  | 原板 | 試験体名称  | 長さ    | 幅      | 厚さ    | 重さ      | 密度                |                   |                   |
|----|----|--------|-------|--------|-------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
|    |    |        | L     | B      | t     | w       | $\rho$            | $\rho_{ave}$      | $\rho_{SD}$       |
|    |    |        | mm    | mm     | mm    | g       | g/cm <sup>3</sup> | g/cm <sup>3</sup> | g/cm <sup>3</sup> |
| 強軸 | 1  | ⑬-1-1  | 900.5 | 100.42 | 45.52 | 1774.32 | 0.43              | 0.42              | 0.01              |
|    |    | ⑬-1-2  |       | 100.25 | 45.32 | 1726.42 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑬-1-3  |       | 100.34 | 45.24 | 1731.18 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑬-1-4  |       | 100.53 | 45.29 | 1749.06 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑬-1-5  |       | 100.42 | 45.29 | 1722.83 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑬-1-6  |       | 100.44 | 45.37 | 1720.78 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑬-1-7  |       | 100.34 | 45.59 | 1715.59 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑬-1-8  |       | 100.29 | 45.50 | 1722.32 | 0.42              |                   |                   |
|    | 2  | ⑬-2-1  | 900.5 | 100.32 | 45.29 | 1685.15 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑬-2-2  |       | 100.13 | 45.03 | 1685.02 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑬-2-3  |       | 100.45 | 45.30 | 1707.19 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑬-2-4  |       | 100.57 | 45.48 | 1693.71 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑬-2-5  |       | 100.33 | 46.10 | 1706.54 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑬-2-6  |       | 100.43 | 45.80 | 1708.51 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑬-2-7  |       | 100.37 | 45.35 | 1712.62 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑬-2-8  |       | 100.35 | 45.79 | 1708.27 | 0.41              |                   |                   |
| 弱軸 | 1  | ⑭-1-9  | 900   | 100.20 | 45.89 | 1710.23 | 0.41              | 0.41              | 0.01              |
|    |    | ⑭-1-10 |       | 100.37 | 45.36 | 1678.54 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑭-1-11 |       | 100.47 | 45.08 | 1672.22 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑭-1-12 |       | 100.35 | 45.55 | 1725.48 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑭-1-13 |       | 100.46 | 45.17 | 1691.63 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑭-1-14 |       | 100.29 | 45.57 | 1690.68 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑭-1-15 |       | 100.54 | 45.42 | 1691.88 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑭-1-16 |       | 99.92  | 45.66 | 1714.19 | 0.42              |                   |                   |
|    | 2  | ⑭-2-9  | 900.5 | 100.10 | 45.00 | 1691.88 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑭-2-10 |       | 100.16 | 45.03 | 1732.44 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑭-2-11 |       | 100.45 | 44.89 | 1736.12 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑭-2-12 |       | 100.38 | 45.47 | 1675.67 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑭-2-13 |       | 100.55 | 45.99 | 1705.51 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑭-2-14 |       | 100.35 | 45.47 | 1657.36 | 0.40              |                   |                   |
|    |    | ⑭-2-15 |       | 100.53 | 45.25 | 1679.45 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑭-2-16 |       | 100.17 | 45.41 | 1684.76 | 0.41              |                   |                   |
| 強軸 | 1  | ⑮-1-1  | 900   | 100.60 | 45.81 | 1749.94 | 0.42              | 0.42              | 0.01              |
|    |    | ⑮-1-2  |       | 100.12 | 45.45 | 1707.65 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-3  |       | 100.50 | 45.33 | 1696.22 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-4  |       | 100.58 | 45.39 | 1680.51 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-5  |       | 100.30 | 44.72 | 1655.29 | 0.41              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-6  |       | 100.36 | 44.43 | 1710.46 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-7  |       | 100.53 | 45.41 | 1706.58 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-8  |       | 100.50 | 44.72 | 1699.29 | 0.42              |                   |                   |
|    | 2  | ⑮-2-1  | 900.5 | 100.62 | 45.56 | 1759.48 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-2  |       | 100.23 | 45.66 | 1766.91 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-3  |       | 100.50 | 45.52 | 1726.08 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-4  |       | 100.82 | 45.71 | 1748.99 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-5  |       | 100.69 | 45.97 | 1759.7  | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-6  |       | 100.52 | 45.89 | 1762.86 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-7  |       | 100.86 | 45.38 | 1737.01 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-8  |       | 100.60 | 45.35 | 1731.33 | 0.42              |                   |                   |
| 弱軸 | 1  | ⑮-1-9  | 900.5 | 100.14 | 44.73 | 1755.27 | 0.44              | 0.43              | 0.01              |
|    |    | ⑮-1-10 |       | 100.48 | 44.68 | 1738.35 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-11 |       | 100.57 | 43.92 | 1702.43 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-12 |       | 100.27 | 43.79 | 1729.64 | 0.44              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-13 |       | 100.60 | 43.82 | 1707.77 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-14 |       | 100.25 | 44.08 | 1764.51 | 0.44              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-15 |       | 100.43 | 43.91 | 1764.68 | 0.44              |                   |                   |
|    |    | ⑮-1-16 |       | 100.06 | 44.68 | 1755.84 | 0.44              |                   |                   |
|    | 2  | ⑮-2-9  | 900.5 | 100.15 | 45.39 | 1730.05 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-10 |       | 100.46 | 45.62 | 1786.78 | 0.43              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-11 |       | 100.69 | 45.89 | 1745.83 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-12 |       | 100.49 | 45.35 | 1733.59 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-13 |       | 100.39 | 45.74 | 1746.37 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-14 |       | 100.42 | 45.77 | 1721.15 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-15 |       | 100.46 | 45.51 | 1735.75 | 0.42              |                   |                   |
|    |    | ⑮-2-16 |       | 100.26 | 45.51 | 1765.77 | 0.43              |                   |                   |

#### 4.3.2 曲げ試験結果

同仕様の中で曲げ強さや曲げヤング係数を比較すると、強軸が弱軸をやや上回る傾向を示していたが、㊶仕様の弱軸の曲げ強さのみ同仕様の強軸より高い値を示していた。このような逆転現象は24、28mmの厚物合板においても発生しており、今後の検証が必要である。また主な破壊性状は加力点直下または近傍の試験体下端における引張破断であったが、㊶仕様の弱軸では層内せん断による破壊が比較的多く、曲げ破壊に至る梁せいに対するスパンの設定など試験方法について課題が残った。

表 4-3 MORMOE 結果\_1

| -  | 原板 | 試験体名称  | Pmax<br>kN | 真                          |          | 見かけ                        |          | MOR実断面値 |      |     |               | 真    |      |      |               | 見かけ  |      |       |               |
|----|----|--------|------------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|---------|------|-----|---------------|------|------|------|---------------|------|------|-------|---------------|
|    |    |        |            | $\Delta P / \Delta \delta$ | $\delta$ | $\Delta P / \Delta \delta$ | $\delta$ | MOR     | Ave  | SD  | 95%下側<br>許容限界 | MOE  | Ave  | SD   | 95%下側<br>許容限界 | MOE  | Ave  | SD    | 95%下側<br>許容限界 |
|    |    |        |            | N/mm                       | N/mm     | N/mm                       | MPa      | MPa     | MPa  | MPa | MPa           | GPa  | GPa  | GPa  | GPa           | GPa  | GPa  | GPa   | GPa           |
| 強軸 | 1  | ⑪-1-1  | 5.753      | 3023.95                    | 310.36   | 22.3                       |          |         |      |     |               | 4.70 |      |      |               | 3.70 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-2  | 4.540      | 2746.91                    | 288.19   | 17.9                       |          |         |      |     |               | 4.38 |      |      |               | 3.52 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-3  | 4.385      | 2609.91                    | 298.85   | 17.0                       |          |         |      |     |               | 4.05 |      |      |               | 3.55 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-4  | 5.160      | 2851.63                    | 318.22   | 19.5                       |          |         |      |     |               | 4.27 |      |      |               | 3.65 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-5  | 5.308      | 3147.25                    | 324.86   | 20.5                       |          |         |      |     |               | 4.86 |      |      |               | 3.85 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-6  | 6.336      | 3354.42                    | 357.78   | 24.3                       |          |         |      |     |               | 5.12 |      |      |               | 4.19 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-7  | 5.488      | 3096.49                    | 361.48   | 21.7                       |          |         |      |     |               | 4.92 |      |      |               | 4.41 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-8  | 5.201      | 2775.93                    | 325.95   | 20.4                       |          |         |      |     |               | 4.37 |      |      |               | 3.93 |      |       |               |
|    | 2  | ⑪-2-1  | 4.723      | 3307.29                    | 341.92   | 18.1                       | 20.7     | 3.1     | 14.6 |     |               | 5.03 | 4.84 | 0.38 | 4.08          | 3.98 | 3.87 | 0.248 | 3.380         |
|    |    | ⑪-2-2  | 5.966      | 3412.50                    | 334.82   | 23.3                       |          |         |      |     |               | 5.34 |      |      |               | 4.02 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-3  | 5.670      | 3193.31                    | 334.32   | 22.6                       |          |         |      |     |               | 5.16 |      |      |               | 4.14 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-4  | 6.224      | 3018.60                    | 320.78   | 24.5                       |          |         |      |     |               | 4.79 |      |      |               | 3.91 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-5  | 3.513      | 3168.86                    | 300.58   | 13.8                       |          |         |      |     |               | 5.03 |      |      |               | 3.66 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-6  | 6.310      | 3176.81                    | 322.96   | 24.5                       |          |         |      |     |               | 4.94 |      |      |               | 3.85 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-7  | 4.749      | 3422.16                    | 313.55   | 18.1                       |          |         |      |     |               | 5.15 |      |      |               | 3.62 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-8  | 5.645      | 3377.12                    | 330.88   | 21.9                       |          |         |      |     |               | 5.26 |      |      |               | 3.95 |      |       |               |
| 弱軸 | 1  | ⑪-1-9  | 5.224      | 2080.26                    | 214.91   | 20.2                       |          |         |      |     |               | 3.22 |      |      |               | 2.55 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-10 | 5.511      | 2405.27                    | 256.01   | 21.3                       |          |         |      |     |               | 3.72 |      |      |               | 3.04 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-11 | 5.343      | 2224.01                    | 236.59   | 20.6                       |          |         |      |     |               | 3.40 |      |      |               | 2.78 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-12 | 3.550      | 2215.96                    | 215.87   | 14.3                       |          |         |      |     |               | 3.61 |      |      |               | 2.70 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-13 | 4.024      | 1938.16                    | 198.51   | 15.8                       |          |         |      |     |               | 3.07 |      |      |               | 2.41 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-14 | 3.364      | 2334.65                    | 226.73   | 13.4                       |          |         |      |     |               | 3.76 |      |      |               | 2.80 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-15 | 3.546      | 2116.95                    | 223.63   | 13.7                       |          |         |      |     |               | 3.26 |      |      |               | 2.64 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-16 | 4.535      | 2226.26                    | 218.70   | 17.7                       |          |         |      |     |               | 3.50 |      |      |               | 2.63 |      |       |               |
|    | 2  | ⑪-2-9  | 4.834      | 2649.75                    | 283.55   | 19.1                       | 19.5     | 3.8     | 11.9 |     |               | 4.22 | 3.87 | 0.49 | 2.90          | 3.46 | 3.13 | 0.480 | 2.185         |
|    |    | ⑪-2-10 | 6.483      | 2811.81                    | 303.52   | 25.8                       |          |         |      |     |               | 4.52 |      |      |               | 3.74 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-11 | 5.903      | 2721.45                    | 281.93   | 23.6                       |          |         |      |     |               | 4.42 |      |      |               | 3.51 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-12 | 5.178      | 2777.83                    | 294.04   | 20.9                       |          |         |      |     |               | 4.56 |      |      |               | 3.70 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-13 | 4.304      | 2534.36                    | 277.82   | 17.3                       |          |         |      |     |               | 4.16 |      |      |               | 3.50 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-14 | 6.224      | 2503.42                    | 295.38   | 25.0                       |          |         |      |     |               | 4.08 |      |      |               | 3.69 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-15 | 5.658      | 2640.27                    | 285.41   | 22.2                       |          |         |      |     |               | 4.18 |      |      |               | 3.46 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-16 | 5.220      | 2677.66                    | 291.88   | 20.6                       |          |         |      |     |               | 4.25 |      |      |               | 3.55 |      |       |               |
| 強軸 | 1  | ⑪-1-1  | 5.033      | 2823.60                    | 307.64   | 20.5                       |          |         |      |     |               | 4.69 |      |      |               | 3.92 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-2  | 4.193      | 2872.25                    | 306.38   | 17.0                       |          |         |      |     |               | 4.77 |      |      |               | 3.90 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-3  | 5.456      | 3333.24                    | 334.87   | 21.6                       |          |         |      |     |               | 5.32 |      |      |               | 4.09 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-4  | 4.223      | 3083.17                    | 300.48   | 16.3                       |          |         |      |     |               | 4.77 |      |      |               | 3.56 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-5  | 3.699      | 2684.78                    | 286.02   | 14.5                       |          |         |      |     |               | 4.21 |      |      |               | 3.44 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-6  | 4.299      | 2809.11                    | 283.13   | 17.0                       |          |         |      |     |               | 4.48 |      |      |               | 3.46 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-7  | 6.358      | 3037.04                    | 299.88   | 25.4                       |          |         |      |     |               | 4.92 |      |      |               | 3.72 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-8  | 4.576      | 2744.55                    | 298.97   | 17.8                       |          |         |      |     |               | 4.27 |      |      |               | 3.57 |      |       |               |
|    | 2  | ⑪-2-1  | 6.155      | 3201.79                    | 361.89   | 23.8                       | 20.2     | 3.1     | 14.2 |     |               | 4.96 | 4.65 | 0.31 | 4.04          | 4.29 | 3.82 | 0.255 | 3.314         |
|    |    | ⑪-2-2  | 5.286      | 3052.15                    | 345.63   | 20.5                       |          |         |      |     |               | 4.71 |      |      |               | 4.09 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-3  | 4.979      | 2753.12                    | 313.67   | 19.8                       |          |         |      |     |               | 4.44 |      |      |               | 3.88 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-4  | 5.556      | 2615.25                    | 290.21   | 21.6                       |          |         |      |     |               | 4.09 |      |      |               | 3.48 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-5  | 6.098      | 2992.77                    | 316.64   | 24.1                       |          |         |      |     |               | 4.79 |      |      |               | 3.88 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-6  | 5.798      | 2913.78                    | 330.90   | 22.6                       |          |         |      |     |               | 4.55 |      |      |               | 3.96 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-7  | 5.109      | 3008.74                    | 334.43   | 19.9                       |          |         |      |     |               | 4.68 |      |      |               | 3.99 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-8  | 5.264      | 2923.34                    | 314.21   | 20.8                       |          |         |      |     |               | 4.68 |      |      |               | 3.86 |      |       |               |
| 弱軸 | 1  | ⑪-1-9  | 4.018      | 2024.65                    | 238.32   | 16.3                       |          |         |      |     |               | 3.36 |      |      |               | 3.03 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-10 | 4.758      | 2466.97                    | 270.60   | 19.0                       |          |         |      |     |               | 4.00 |      |      |               | 3.37 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-11 | 3.429      | 2252.62                    | 256.19   | 13.1                       |          |         |      |     |               | 3.40 |      |      |               | 2.97 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-12 | 3.633      | 1967.76                    | 225.56   | 14.1                       |          |         |      |     |               | 3.06 |      |      |               | 2.69 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-13 | 5.054      | 2066.19                    | 245.99   | 20.2                       |          |         |      |     |               | 3.34 |      |      |               | 3.05 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-14 | 4.159      | 2546.90                    | 280.21   | 16.6                       |          |         |      |     |               | 4.10 |      |      |               | 3.46 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-15 | 3.756      | 2708.46                    | 287.55   | 15.0                       |          |         |      |     |               | 4.39 |      |      |               | 3.57 |      |       |               |
|    |    | ⑪-1-16 | 4.389      | 2064.49                    | 261.83   | 17.5                       |          |         |      |     |               | 3.33 |      |      |               | 3.24 |      |       |               |
|    | 2  | ⑪-2-9  | 5.643      | 2238.88                    | 245.14   | 22.1                       | 17.6     | 2.6     | 12.6 |     |               | 3.52 | 3.48 | 0.37 | 2.75          | 2.96 | 3.06 | 0.234 | 2.599         |
|    |    | ⑪-2-10 | 4.808      | 2072.92                    | 241.24   | 18.7                       |          |         |      |     |               | 3.22 |      |      |               | 2.88 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-11 | 5.280      | 2110.54                    | 244.18   | 20.9                       |          |         |      |     |               | 3.37 |      |      |               | 2.99 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-12 | 3.819      | 2129.61                    | 239.29   | 15.2                       |          |         |      |     |               | 3.43 |      |      |               | 2.95 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-13 | 4.989      | 2095.60                    | 241.86   | 19.7                       |          |         |      |     |               | 3.34 |      |      |               | 2.96 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-14 | 4.533      | 2115.71                    | 240.92   | 18.3                       |          |         |      |     |               | 3.47 |      |      |               | 3.03 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-15 | 4.180      | 1948.44                    | 238.16   | 16.3                       |          |         |      |     |               | 3.05 |      |      |               | 2.86 |      |       |               |
|    |    | ⑪-2-16 | 4.920      | 2092.47                    | 247.79   | 19.2                       |          |         |      |     |               | 3.27 |      |      |               | 2.97 |      |       |               |

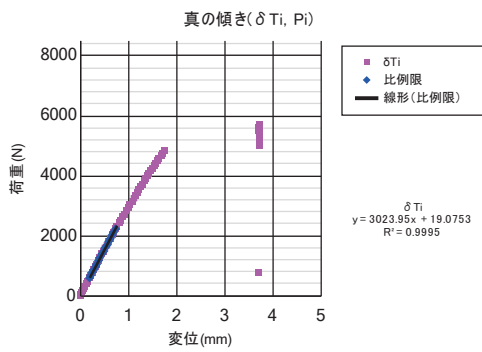
見かけはクロスヘッド変位より算出

表 4-4 MORMOE 結果\_2

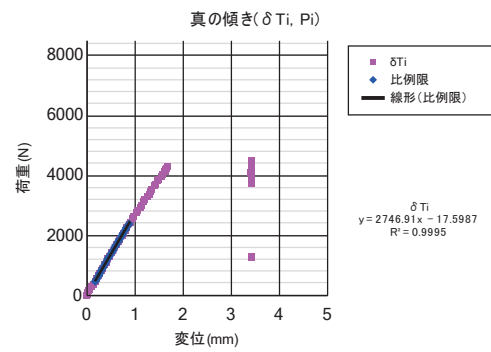
| -  | 原板 | 試験体名称   | Pmax  | 真                          | 見かけ                        | MOR実断面値 |      |     |               | 真    |      |      |               | 見かけ  |      |       |               |
|----|----|---------|-------|----------------------------|----------------------------|---------|------|-----|---------------|------|------|------|---------------|------|------|-------|---------------|
|    |    |         |       | $\Delta P / \Delta \delta$ | $\Delta P / \Delta \delta$ | MOR     | Ave  | SD  | 95%下側<br>許容限界 | MOE  | Ave  | SD   | 95%下側<br>許容限界 | MOE  | Ave  | SD    | 95%下側<br>許容限界 |
|    |    |         |       | kN                         | N/mm                       | N/mm    | MPa  | MPa | MPa           | MPa  | MPa  | MPa  | MPa           | MPa  | MPa  | MPa   | MPa           |
| 強軸 | 1  | 19-1-1  | 4.339 | 2244.77                    | 272.71                     | 16.9    |      |     |               | 3.50 |      |      |               | 3.26 |      |       |               |
|    |    | 19-1-2  | 5.478 | 3160.24                    | 341.05                     | 21.5    |      |     |               | 5.00 |      |      |               | 4.14 |      |       |               |
|    |    | 19-1-3  | 5.038 | 2890.37                    | 331.56                     | 19.9    |      |     |               | 4.59 |      |      |               | 4.04 |      |       |               |
|    |    | 19-1-4  | 3.671 | 3023.65                    | 342.61                     | 14.4    |      |     |               | 4.78 |      |      |               | 4.15 |      |       |               |
|    |    | 19-1-5  | 3.539 | 2635.04                    | 316.56                     | 13.9    |      |     |               | 4.17 |      |      |               | 3.84 |      |       |               |
|    |    | 19-1-6  | 4.803 | 3068.49                    | 332.82                     | 18.8    |      |     |               | 4.83 |      |      |               | 4.02 |      |       |               |
|    |    | 19-1-7  | 3.639 | 2974.12                    | 312.03                     | 14.1    |      |     |               | 4.62 |      |      |               | 3.71 |      |       |               |
|    |    | 19-1-8  | 5.140 | 3093.65                    | 337.65                     | 20.1    |      |     |               | 4.83 |      |      |               | 4.05 |      |       |               |
|    | 2  | 19-2-1  | 4.411 | 2760.01                    | 337.11                     | 17.4    | 18.0 | 2.8 | 12.5          | 4.37 | 4.67 | 0.42 | 3.85          | 4.09 | 4.01 | 0.262 | 3.487         |
|    |    | 19-2-2  | 4.598 | 3021.73                    | 340.51                     | 18.3    |      |     |               | 4.88 |      |      |               | 4.22 |      |       |               |
|    |    | 19-2-3  | 4.865 | 3157.85                    | 346.92                     | 19.1    |      |     |               | 4.99 |      |      |               | 4.20 |      |       |               |
|    |    | 19-2-4  | 6.105 | 3319.96                    | 362.46                     | 23.8    |      |     |               | 5.18 |      |      |               | 4.34 |      |       |               |
|    |    | 19-2-5  | 4.155 | 3372.39                    | 334.10                     | 15.8    |      |     |               | 5.06 |      |      |               | 3.85 |      |       |               |
|    |    | 19-2-6  | 4.371 | 2842.39                    | 332.49                     | 16.8    |      |     |               | 4.35 |      |      |               | 3.90 |      |       |               |
|    |    | 19-2-7  | 5.326 | 3081.07                    | 354.92                     | 20.9    |      |     |               | 4.86 |      |      |               | 4.29 |      |       |               |
|    |    | 19-2-8  | 4.405 | 3106.80                    | 339.85                     | 17.0    |      |     |               | 4.76 |      |      |               | 3.99 |      |       |               |
| 弱軸 | 1  | 19-1-9  | 4.031 | 2716.11                    | 287.38                     | 15.5    |      |     |               | 4.14 |      |      |               | 3.36 |      |       |               |
|    |    | 19-1-10 | 3.799 | 2577.72                    | 283.04                     | 14.9    |      |     |               | 4.06 |      |      |               | 3.42 |      |       |               |
|    |    | 19-1-11 | 4.630 | 2751.57                    | 293.00                     | 18.4    |      |     |               | 4.41 |      |      |               | 3.60 |      |       |               |
|    |    | 19-1-12 | 4.299 | 2536.15                    | 295.30                     | 16.7    |      |     |               | 3.95 |      |      |               | 3.52 |      |       |               |
|    |    | 19-1-13 | 3.769 | 2979.84                    | 289.32                     | 14.9    |      |     |               | 4.75 |      |      |               | 3.54 |      |       |               |
|    |    | 19-1-14 | 3.633 | 2452.55                    | 271.07                     | 14.1    |      |     |               | 3.81 |      |      |               | 3.23 |      |       |               |
|    |    | 19-1-15 | 4.963 | 2964.34                    | 288.38                     | 19.4    |      |     |               | 4.65 |      |      |               | 3.46 |      |       |               |
|    |    | 19-1-16 | 4.864 | 2355.61                    | 292.47                     | 18.9    |      |     |               | 3.66 |      |      |               | 3.48 |      |       |               |
|    | 2  | 19-2-9  | 5.629 | 2721.42                    | 291.99                     | 22.5    | 20.0 | 4.9 | 10.3          | 4.40 | 4.35 | 0.39 | 3.58          | 3.62 | 3.64 | 0.265 | 3.120         |
|    |    | 19-2-10 | 6.185 | 2903.15                    | 304.75                     | 24.7    |      |     |               | 4.69 |      |      |               | 3.77 |      |       |               |
|    |    | 19-2-11 | 8.488 | 3171.83                    | 351.00                     | 34.0    |      |     |               | 5.15 |      |      |               | 4.37 |      |       |               |
|    |    | 19-2-12 | 5.710 | 2995.29                    | 320.56                     | 22.3    |      |     |               | 4.69 |      |      |               | 3.84 |      |       |               |
|    |    | 19-2-13 | 5.340 | 2738.62                    | 318.10                     | 20.3    |      |     |               | 4.13 |      |      |               | 3.68 |      |       |               |
|    |    | 19-2-14 | 5.040 | 2863.35                    | 315.35                     | 19.7    |      |     |               | 4.48 |      |      |               | 3.78 |      |       |               |
|    |    | 19-2-15 | 5.465 | 2828.43                    | 318.20                     | 21.5    |      |     |               | 4.48 |      |      |               | 3.87 |      |       |               |
|    |    | 19-2-16 | 5.549 | 2633.95                    | 309.94                     | 21.8    |      |     |               | 4.15 |      |      |               | 3.74 |      |       |               |
| 強軸 | 1  | 20-1-1  | 5.211 | 3182.65                    | 360.97                     | 20.0    |      |     |               | 4.86 |      |      |               | 4.22 |      |       |               |
|    |    | 20-1-2  | 5.906 | 3247.58                    | 352.33                     | 23.1    |      |     |               | 5.10 |      |      |               | 4.24 |      |       |               |
|    |    | 20-1-3  | 4.751 | 2908.03                    | 331.17                     | 18.6    |      |     |               | 4.59 |      |      |               | 4.00 |      |       |               |
|    |    | 20-1-4  | 5.138 | 3027.52                    | 329.91                     | 20.1    |      |     |               | 4.75 |      |      |               | 3.97 |      |       |               |
|    |    | 20-1-5  | 4.560 | 2797.07                    | 318.82                     | 18.4    |      |     |               | 4.60 |      |      |               | 4.02 |      |       |               |
|    |    | 20-1-6  | 5.679 | 3003.35                    | 319.82                     | 23.2    |      |     |               | 5.04 |      |      |               | 4.11 |      |       |               |
|    |    | 20-1-7  | 4.926 | 2703.89                    | 316.03                     | 19.2    |      |     |               | 4.24 |      |      |               | 3.80 |      |       |               |
|    |    | 20-1-8  | 4.978 | 3135.78                    | 325.79                     | 20.1    | 18.8 | 2.3 | 14.3          | 5.15 | 4.81 | 0.29 | 4.24          | 4.10 | 3.86 | 0.252 | 3.365         |
|    | 2  | 20-2-1  | 5.081 | 3328.46                    | 318.98                     | 19.7    |      |     |               | 5.16 |      |      |               | 3.79 |      |       |               |
|    |    | 20-2-2  | 4.614 | 3222.40                    | 309.42                     | 17.9    |      |     |               | 4.99 |      |      |               | 3.67 |      |       |               |
|    |    | 20-2-3  | 4.211 | 3353.38                    | 316.46                     | 16.4    |      |     |               | 5.22 |      |      |               | 3.78 |      |       |               |
|    |    | 20-2-4  | 4.603 | 2959.45                    | 321.48                     | 17.7    |      |     |               | 4.54 |      |      |               | 3.78 |      |       |               |
|    |    | 20-2-5  | 4.556 | 3139.87                    | 331.08                     | 17.3    |      |     |               | 4.74 |      |      |               | 3.83 |      |       |               |
|    |    | 20-2-6  | 4.544 | 3210.10                    | 308.87                     | 17.4    |      |     |               | 4.88 |      |      |               | 3.60 |      |       |               |
|    |    | 20-2-7  | 4.416 | 2996.97                    | 278.12                     | 17.2    |      |     |               | 4.69 |      |      |               | 3.34 |      |       |               |
|    |    | 20-2-8  | 3.648 | 2805.00                    | 294.36                     | 14.3    |      |     |               | 4.41 |      |      |               | 3.55 |      |       |               |
| 弱軸 | 1  | 20-1-9  | 6.798 | 2440.40                    | 275.61                     | 27.5    |      |     |               | 4.02 |      |      |               | 3.48 |      |       |               |
|    |    | 20-1-10 | 6.625 | 2199.72                    | 274.86                     | 26.8    |      |     |               | 3.62 |      |      |               | 3.47 |      |       |               |
|    |    | 20-1-11 | 7.210 | 2291.43                    | 279.60                     | 30.1    |      |     |               | 3.97 |      |      |               | 3.71 |      |       |               |
|    |    | 20-1-12 | 6.944 | 2336.68                    | 305.04                     | 29.3    |      |     |               | 4.10 |      |      |               | 4.10 |      |       |               |
|    |    | 20-1-13 | 7.016 | 2277.85                    | 292.08                     | 29.4    |      |     |               | 3.97 |      |      |               | 3.91 |      |       |               |
|    |    | 20-1-14 | 6.821 | 2341.52                    | 289.49                     | 28.4    |      |     |               | 4.03 |      |      |               | 3.82 |      |       |               |
|    |    | 20-1-15 | 6.473 | 2022.94                    | 264.32                     | 27.1    |      |     |               | 3.51 |      |      |               | 3.52 |      |       |               |
|    |    | 20-1-16 | 7.215 | 2423.34                    | 295.33                     | 29.3    |      |     |               | 4.01 |      |      |               | 3.75 |      |       |               |
|    | 2  | 20-2-9  | 7.178 | 2627.31                    | 315.40                     | 28.2    | 26.6 | 3.3 | 20.1          | 4.14 | 4.11 | 0.33 | 3.45          | 3.81 | 3.71 | 0.239 | 3.238         |
|    |    | 20-2-10 | 8.213 | 3020.26                    | 356.04                     | 31.8    |      |     |               | 4.67 |      |      |               | 4.22 |      |       |               |
|    |    | 20-2-11 | 6.381 | 2736.55                    | 320.88                     | 24.4    |      |     |               | 4.15 |      |      |               | 3.73 |      |       |               |
|    |    | 20-2-12 | 5.855 | 2775.28                    | 298.93                     | 22.9    |      |     |               | 4.37 |      |      |               | 3.61 |      |       |               |
|    |    | 20-2-13 | 6.253 | 2954.03                    | 313.51                     | 24.1    |      |     |               | 4.54 |      |      |               | 3.69 |      |       |               |
|    |    | 20-2-14 | 6.638 | 2958.60                    | 306.83                     | 25.6    |      |     |               | 4.54 |      |      |               | 3.61 |      |       |               |
|    |    | 20-2-15 | 5.134 | 2379.70                    | 272.21                     | 20.0    |      |     |               | 3.71 |      |      |               | 3.25 |      |       |               |
|    |    | 20-2-16 | 5.508 | 2791.35                    | 307.66                     | 21.5    |      |     |               | 4.36 |      |      |               | 3.68 |      |       |               |

見かけはクロスヘッド変位より算出

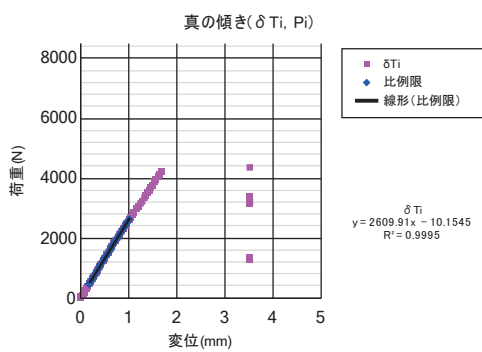
試験体番号: ⑪-1-01



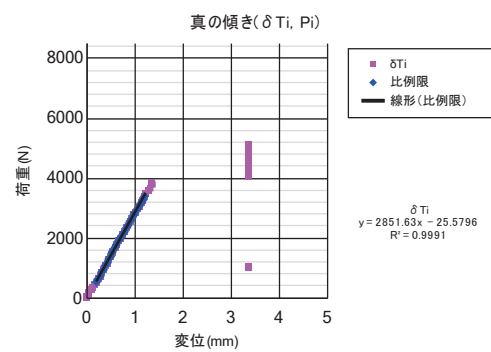
試験体番号: ⑪-1-02



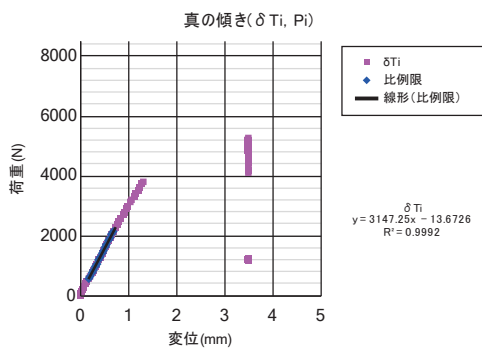
試験体番号: ⑪-1-03



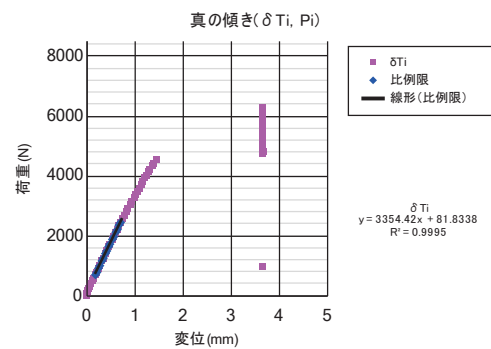
試験体番号: ⑪-1-04



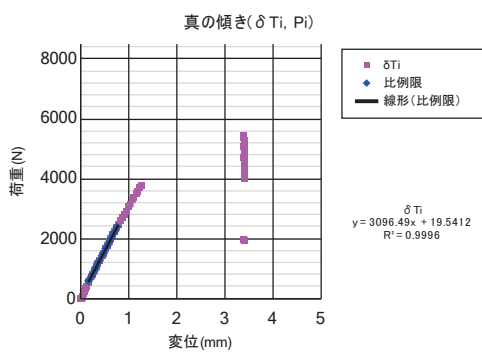
試験体番号: ⑪-1-05



試験体番号: ⑪-1-06



試験体番号: ⑪-1-07



試験体番号: ⑪-1-08

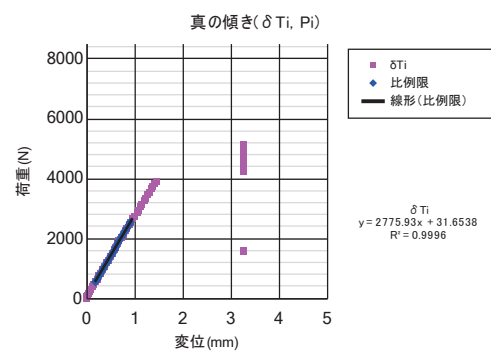
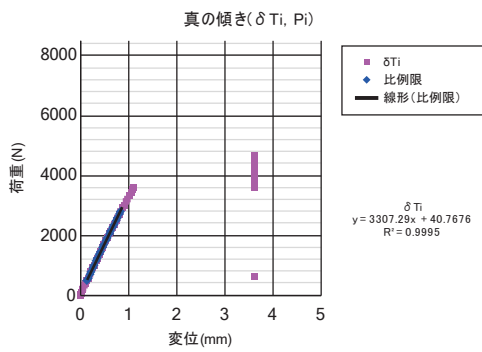
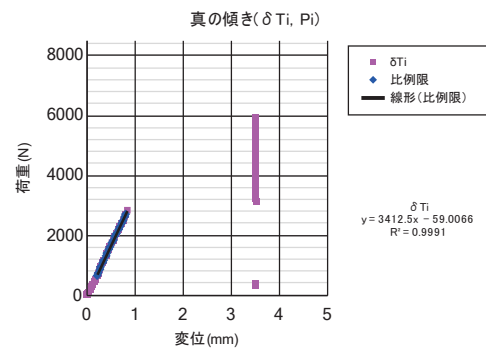


図 4-2 ⑪-1 強軸 真の傾きグラフ (1)

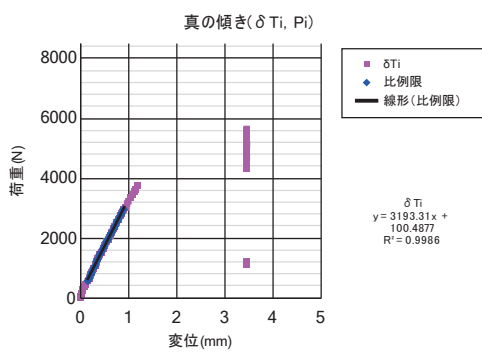
試験体番号: ⑪-2-01



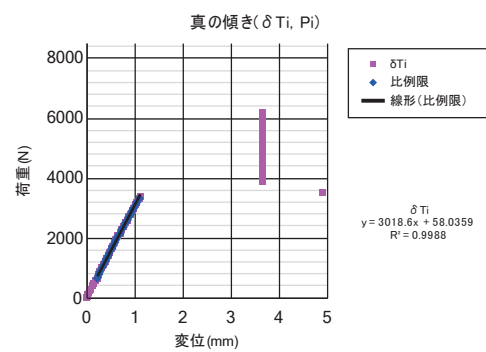
試験体番号: ⑪-2-02



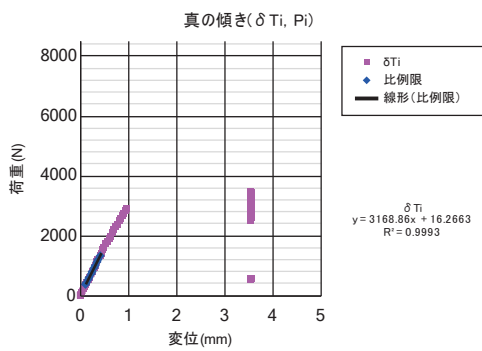
試験体番号: ⑪-2-03



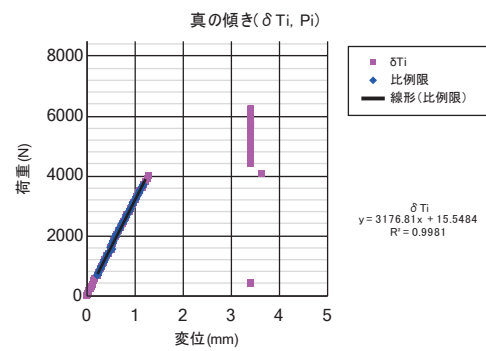
試験体番号: ⑪-2-04



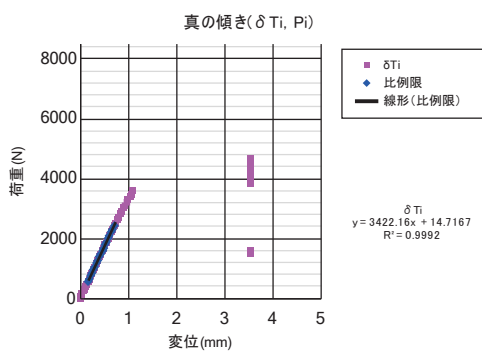
試験体番号: ⑪-2-05



試験体番号: ⑪-2-06



試験体番号: ⑪-2-07



試験体番号: ⑪-2-08

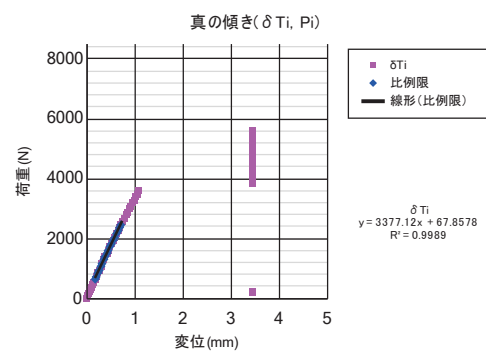
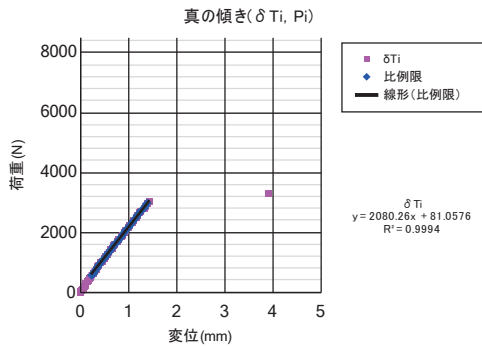
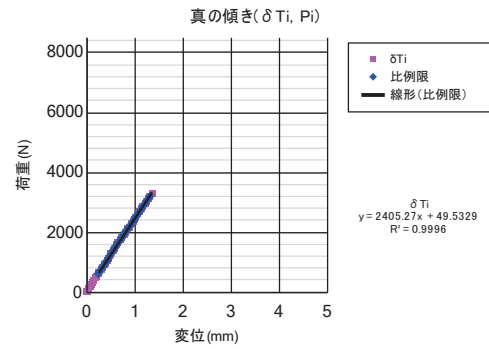


図 4-3 ⑪-2 強軸 真の傾きグラフ (2)

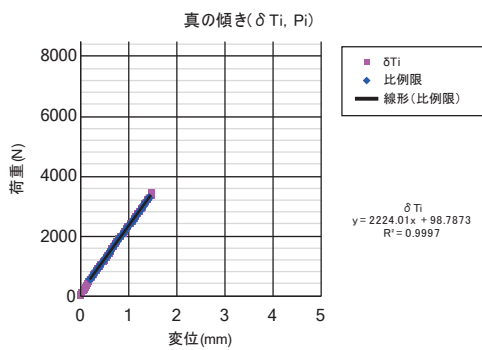
試験体番号: ⑪-1-09



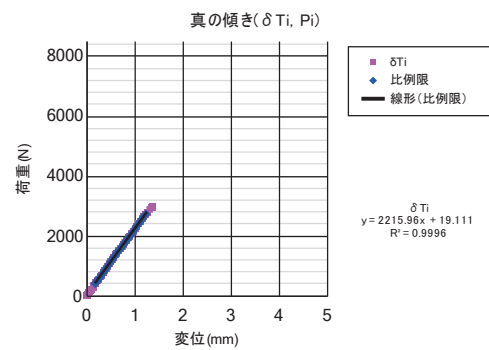
試験体番号: ⑪-1-10



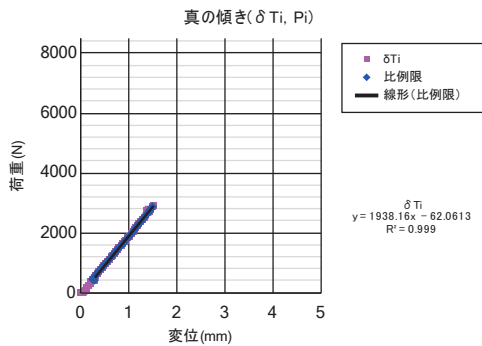
試験体番号: ⑪-1-11



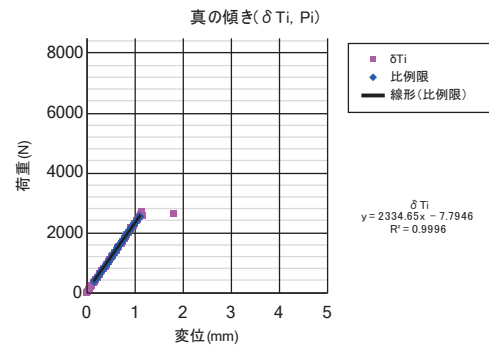
試験体番号: ⑪-1-12



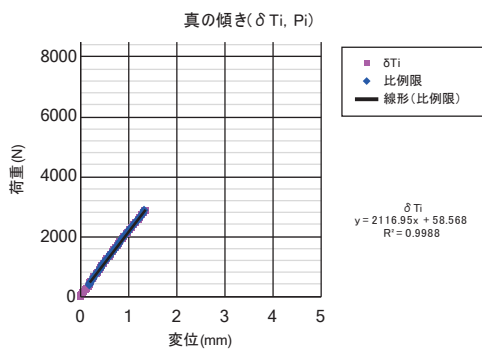
試験体番号: ⑪-1-13



試験体番号: ⑪-1-14



試験体番号: ⑪-1-15



試験体番号: ⑪-1-16

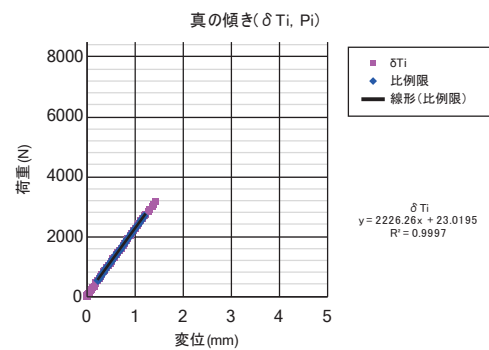
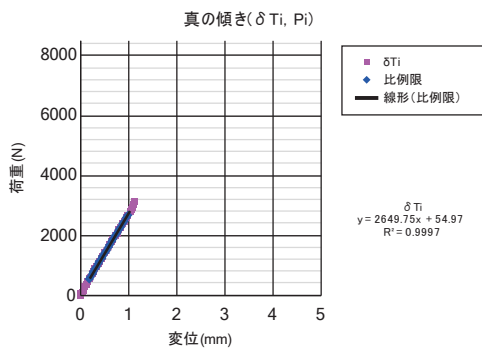
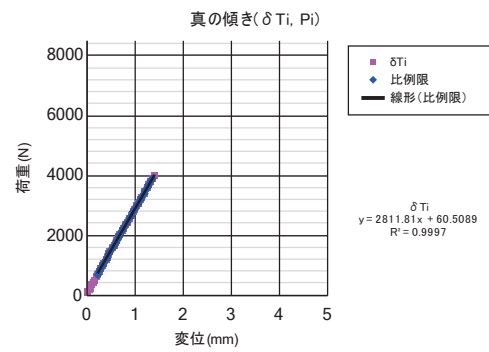


図 4-4 ⑪-1 弱軸 真の傾きグラフ (1)

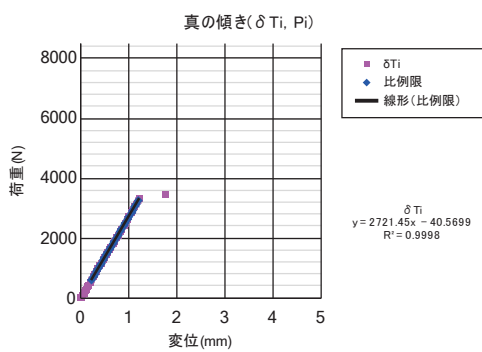
試験体番号: ⑪-2-09



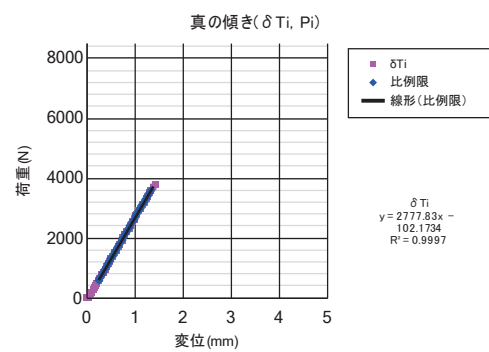
試験体番号: ⑪-2-10



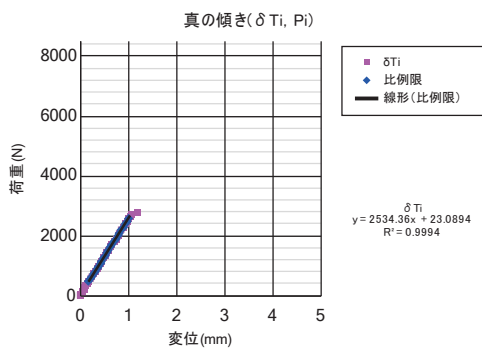
試験体番号: ⑪-2-11



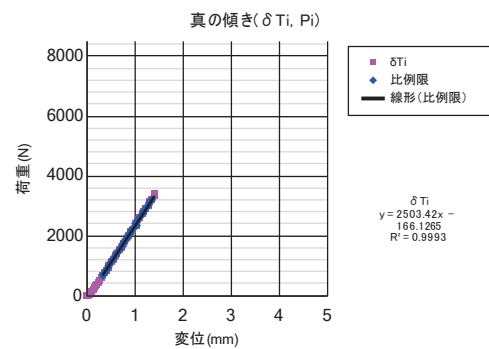
試験体番号: ⑪-2-12



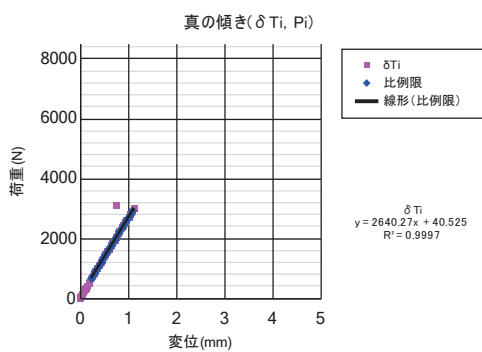
試験体番号: ⑪-2-13



試験体番号: ⑪-2-14



試験体番号: ⑪-2-15



試験体番号: ⑪-2-16

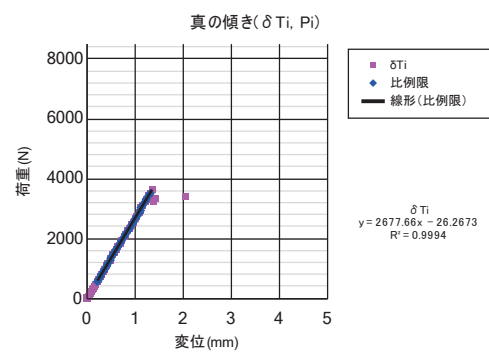
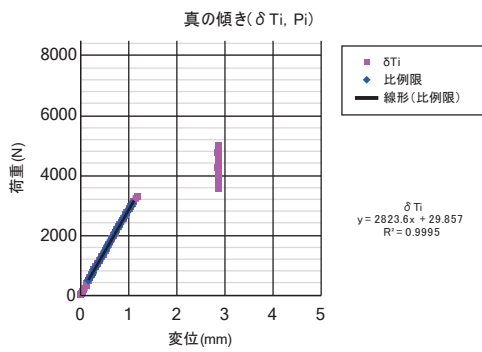
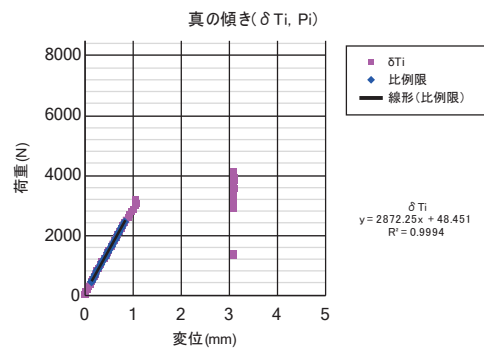


図 4-5 ⑪-2 弱軸 真の傾きグラフ (2)

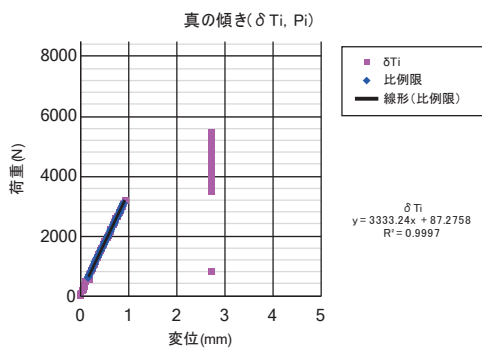
試験体番号: ⑩-1-01



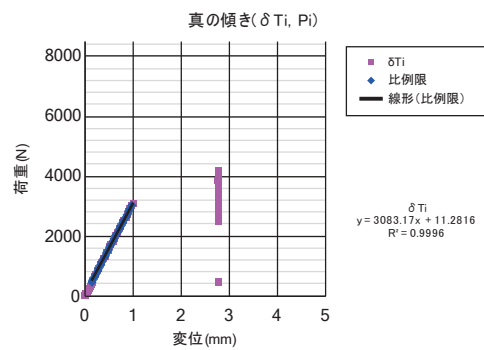
試験体番号: ⑩-1-02



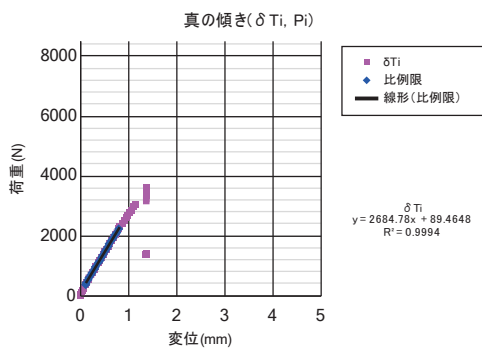
試験体番号: ⑩-1-03



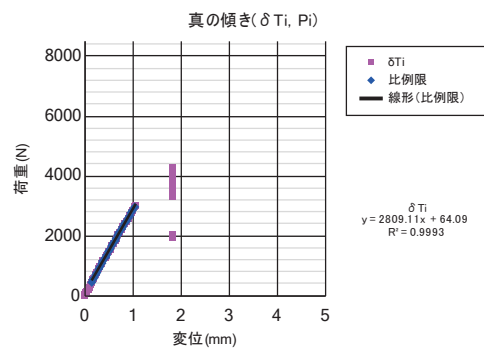
試験体番号: ⑩-1-04



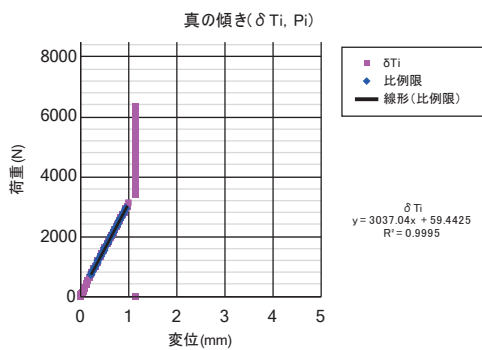
試験体番号: ⑩-1-05



試験体番号: ⑩-1-06



試験体番号: ⑩-1-07



試験体番号: ⑩-1-08

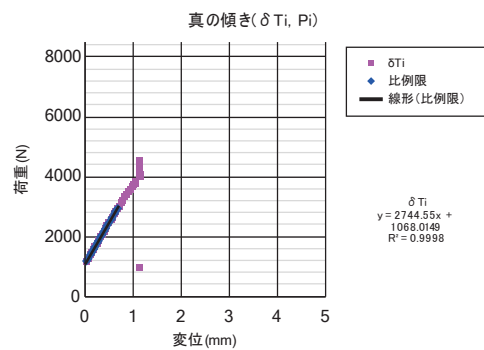
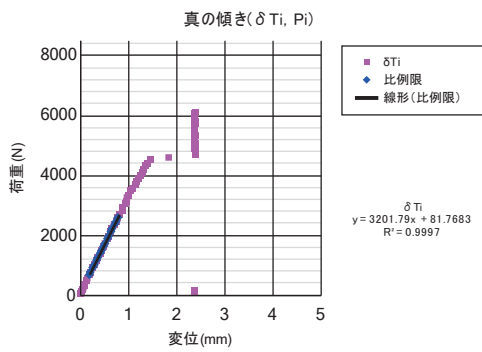
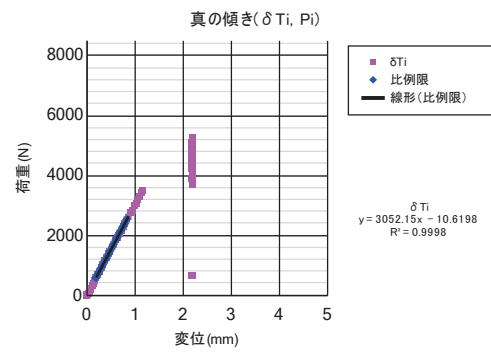


図 4-6 ⑩-1 強軸 真の傾きグラフ (1)

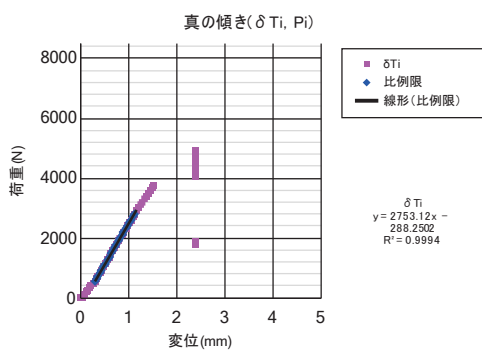
試験体番号: ⑩-2-01



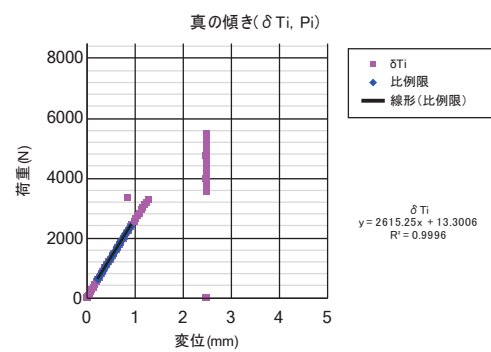
試験体番号: ⑩-2-02



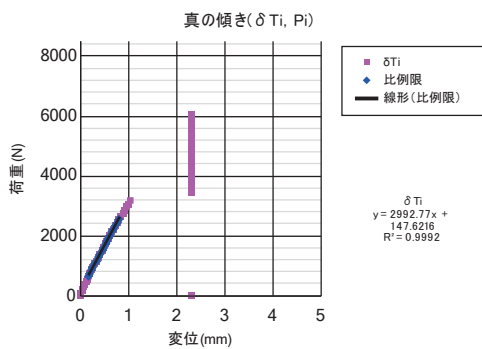
試験体番号: ⑩-2-03



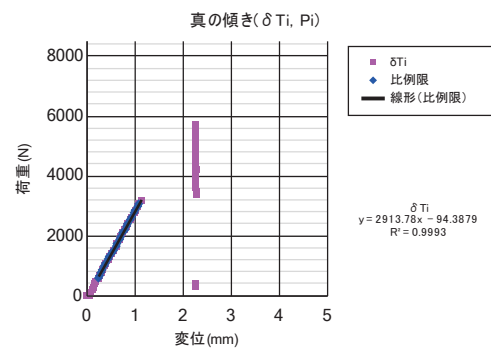
試験体番号: ⑩-2-04



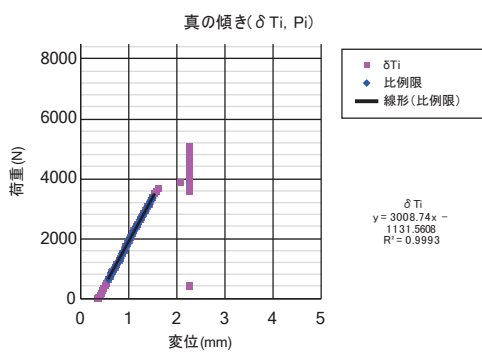
試験体番号: ⑩-2-05



試験体番号: ⑩-2-06



試験体番号: ⑩-2-07



試験体番号: ⑩-2-08

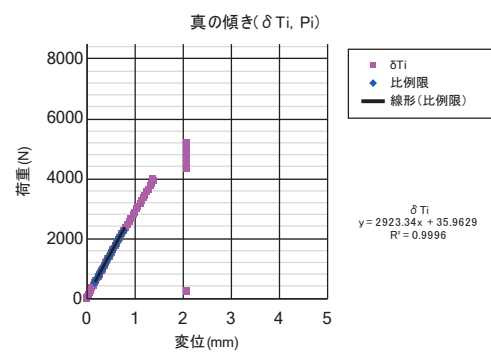
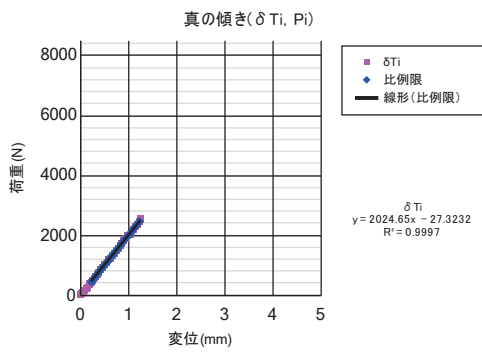
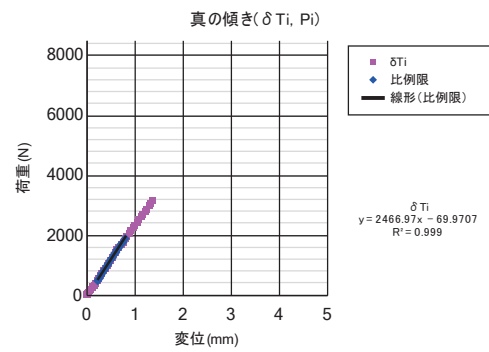


図 4-7 ⑩-2 強軸 真の傾きグラフ (2)

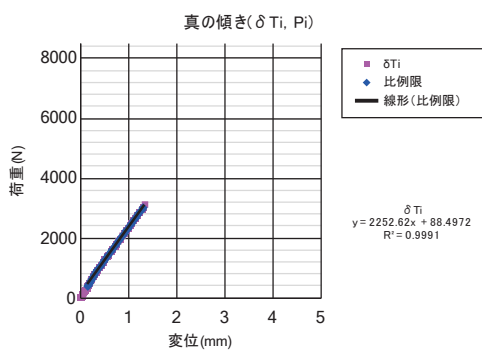
試験体番号: ⑩-1-09



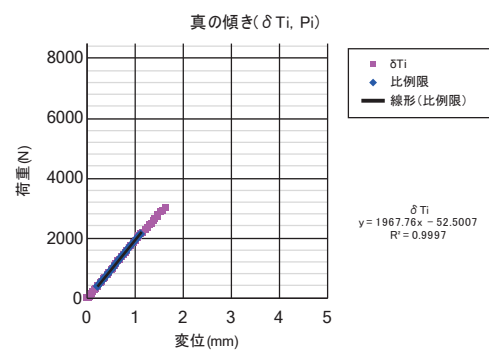
試験体番号: ⑩-1-10



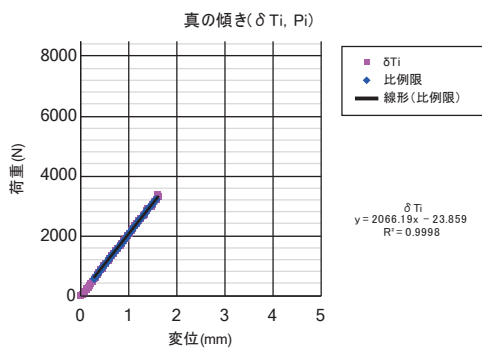
試験体番号: ⑩-1-11



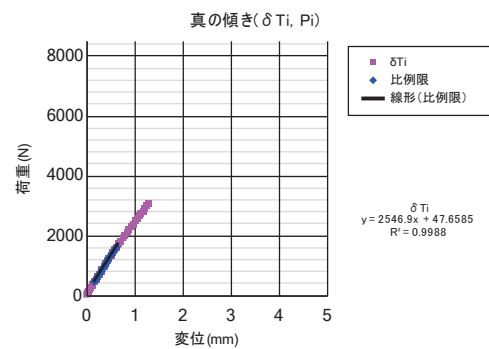
試験体番号: ⑩-1-12



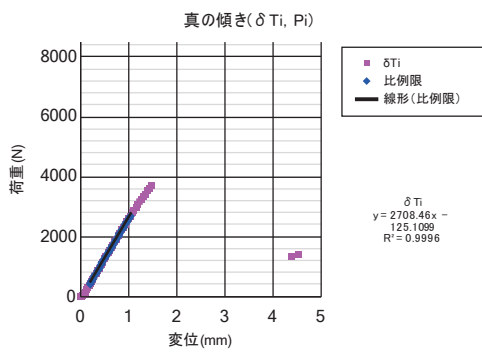
試験体番号: ⑩-1-13



試験体番号: ⑩-1-14



試験体番号: ⑩-1-15



試験体番号: ⑩-1-16

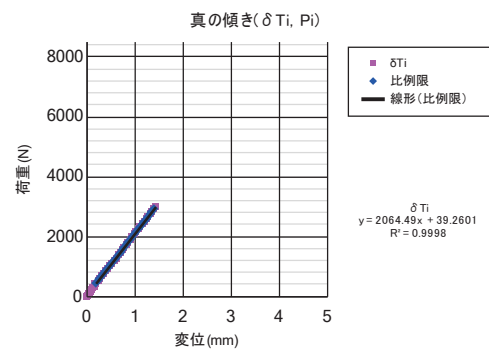
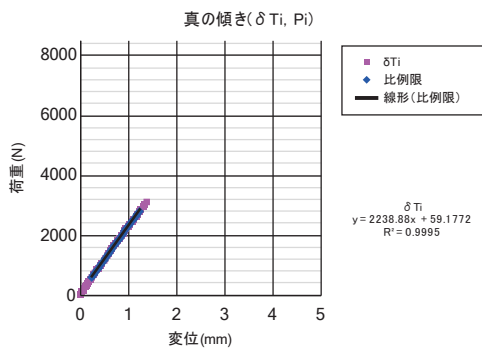
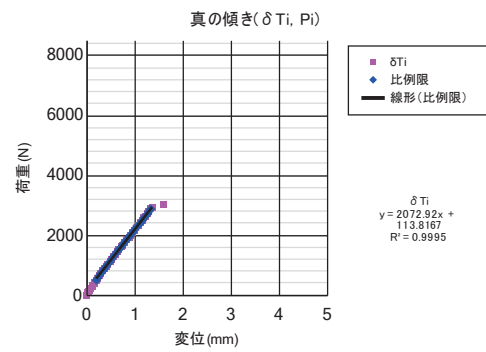


図 4-8 ⑩-1 弱軸 真の傾きグラフ (1)

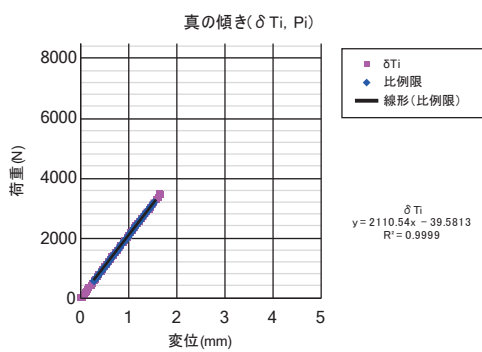
試験体番号: ⑩-2-09



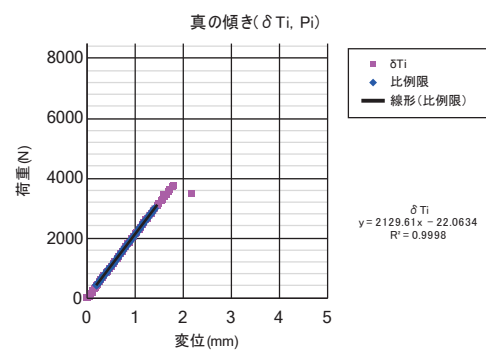
試験体番号: ⑩-2-10



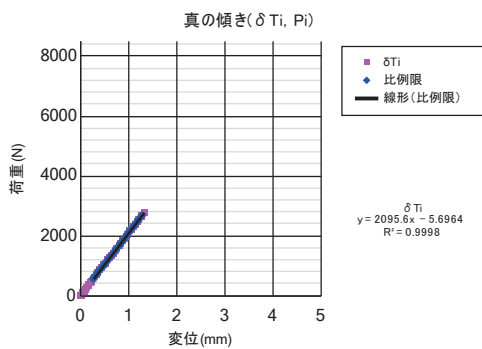
試験体番号: ⑩-2-11



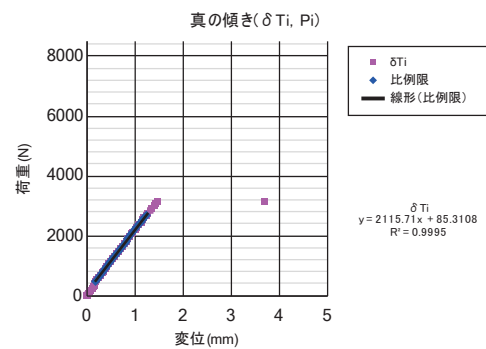
試験体番号: ⑩-2-12



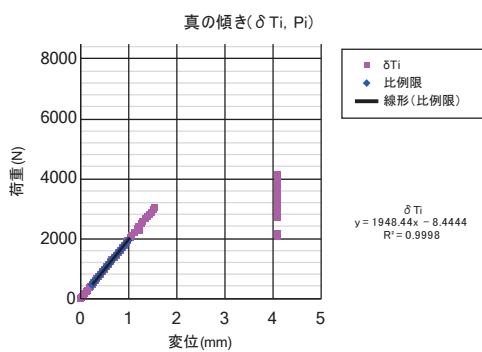
試験体番号: ⑩-2-13



試験体番号: ⑩-2-14



試験体番号: ⑩-2-15



試験体番号: ⑩-2-16

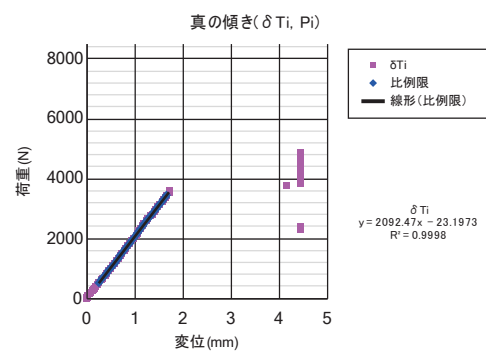
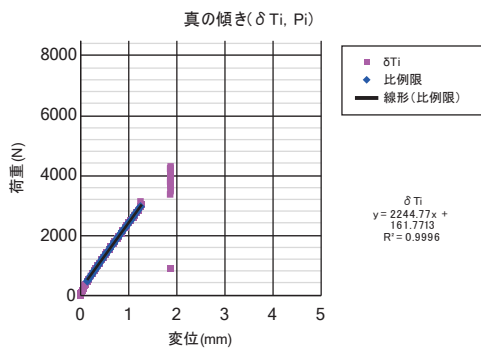
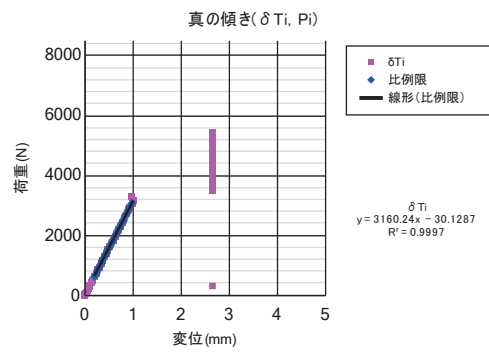


図 4-9 ⑩-2 弱軸 真の傾きグラフ (2)

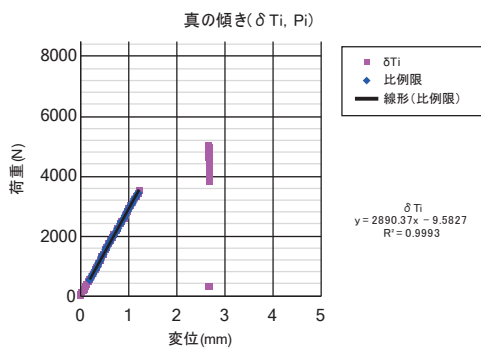
試験体番号: ⑩-1-01



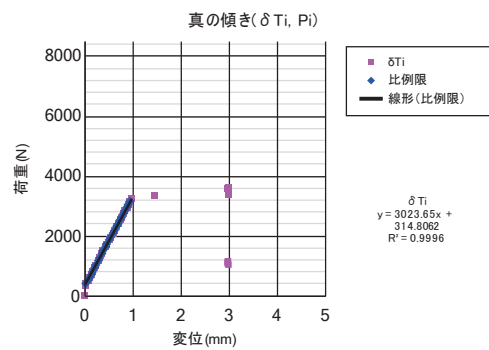
試験体番号: ⑩-1-02



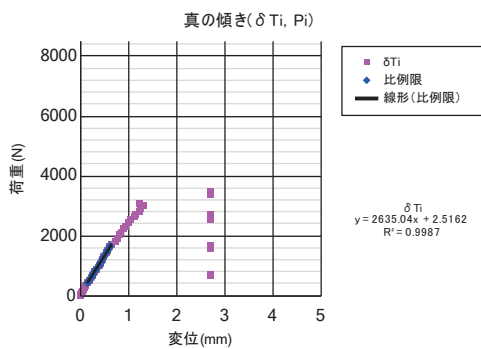
試験体番号: ⑩-1-03



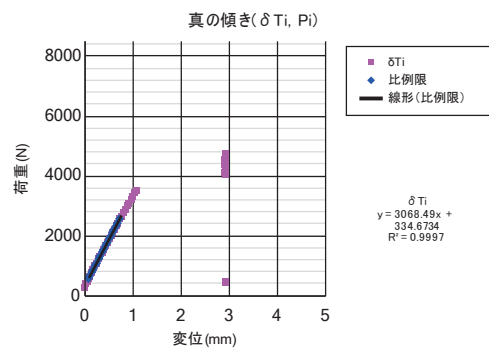
試験体番号: ⑩-1-04



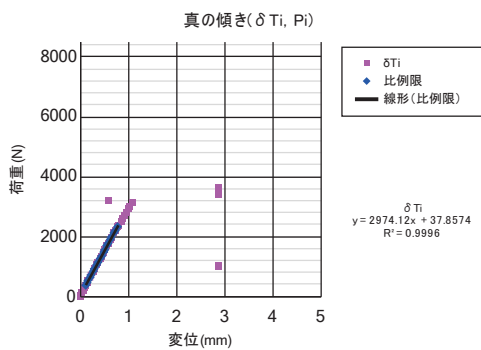
試験体番号: ⑩-1-05



試験体番号: ⑩-1-06



試験体番号: ⑩-1-07



試験体番号: ⑩-1-08

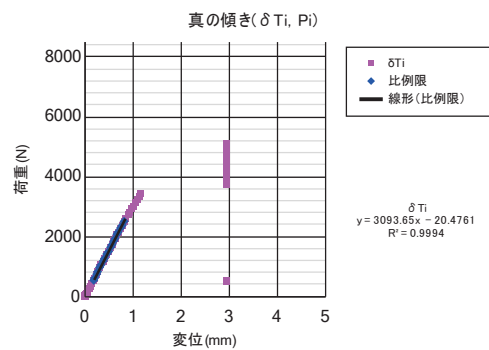
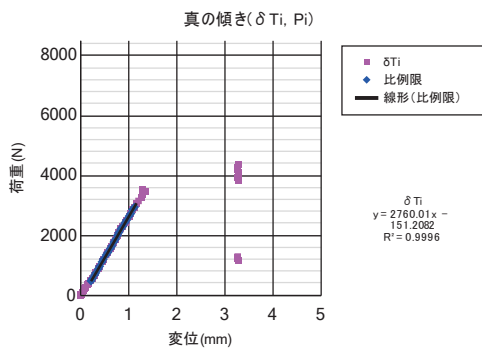
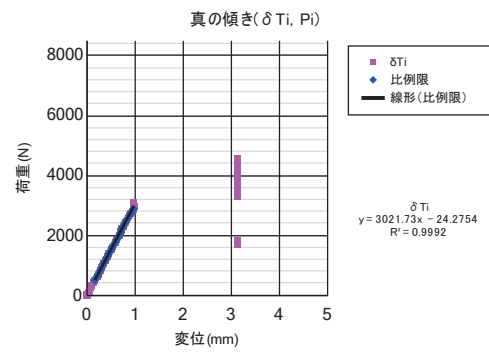


図 4-10 ⑩-1 強軸 真の傾きグラフ (1)

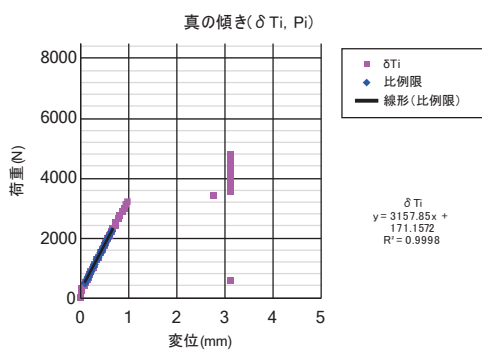
試験体番号: ⑩-2-01



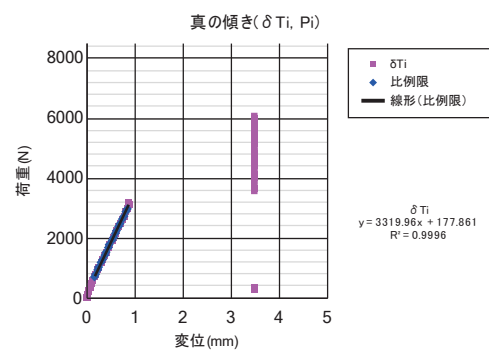
試験体番号: ⑩-2-02



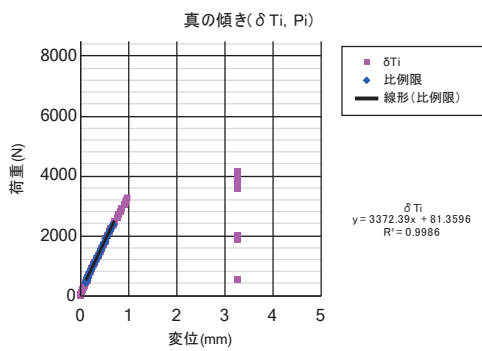
試験体番号: ⑩-2-03



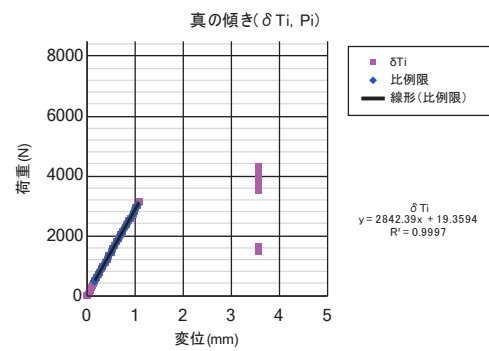
試験体番号: ⑩-2-04



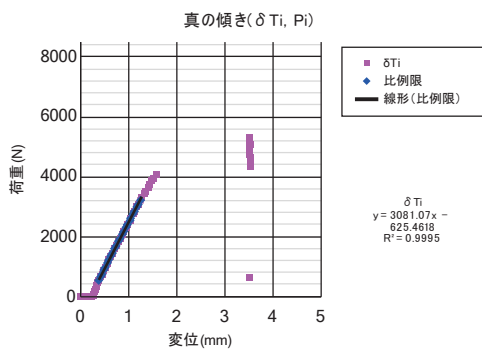
試験体番号: ⑩-2-05



試験体番号: ⑩-2-06



試験体番号: ⑩-2-07



試験体番号: ⑩-2-08

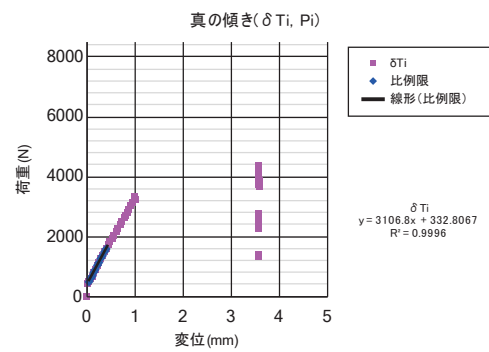
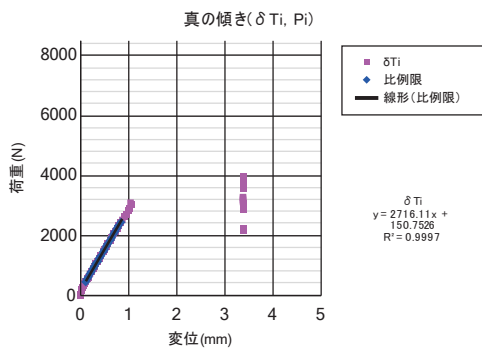
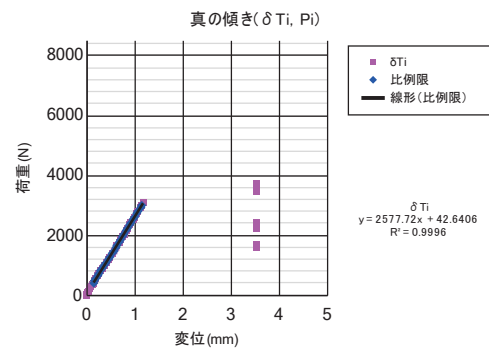


図 4-11 ⑩-2 強軸 真の傾きグラフ (2)

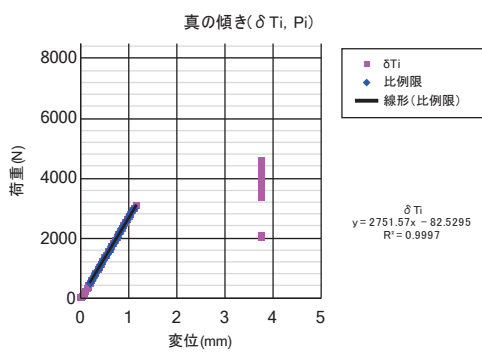
試験体番号: ⑩-1-09



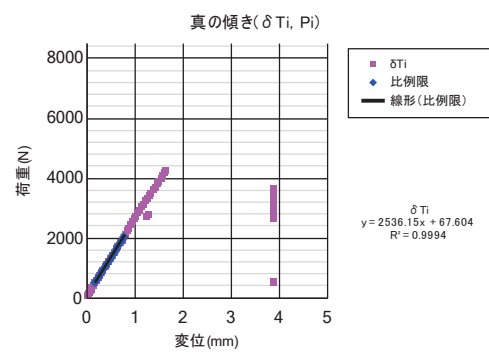
試験体番号: ⑩-1-10



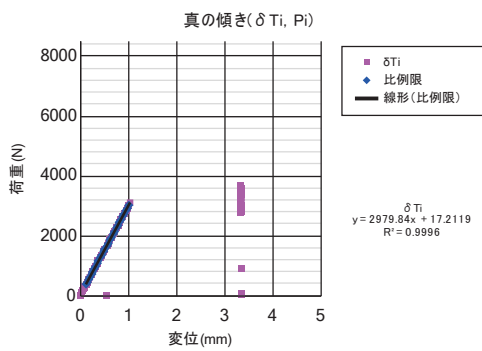
試験体番号: ⑩-1-11



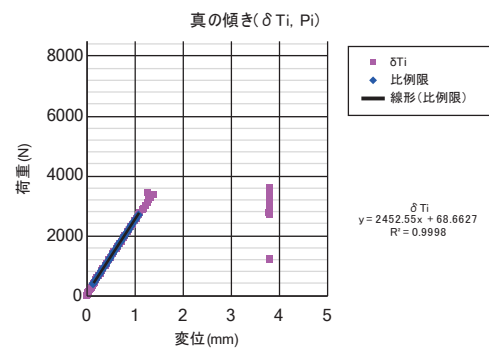
試験体番号: ⑩-1-12



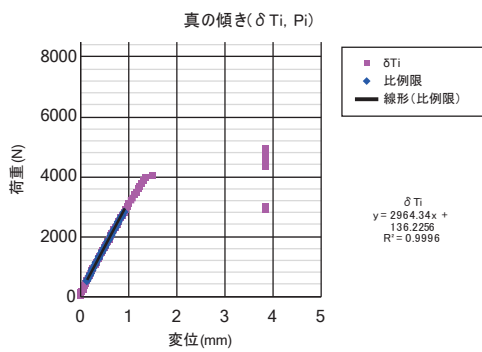
試験体番号: ⑩-1-13



試験体番号: ⑩-1-14



試験体番号: ⑩-1-15



試験体番号: ⑩-1-16

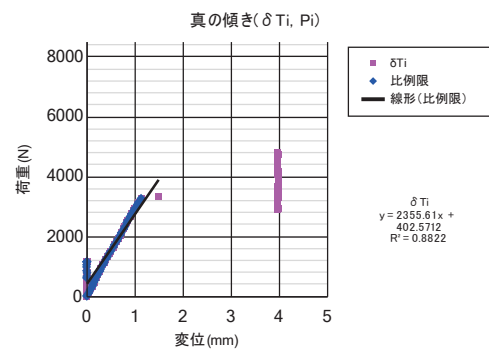
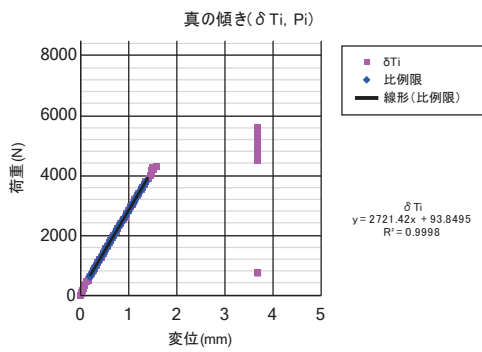
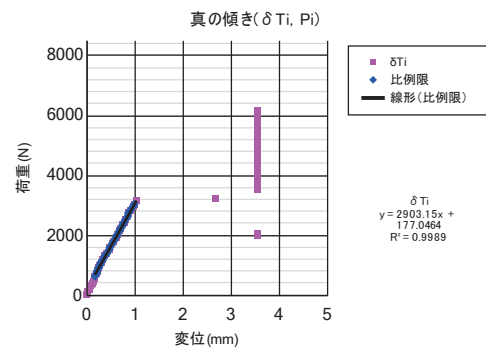


図 4-12 ⑩-1 弱軸 真の傾きグラフ (1)

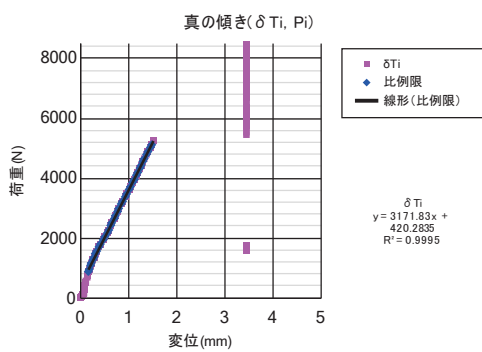
試験体番号: ⑩-2-09



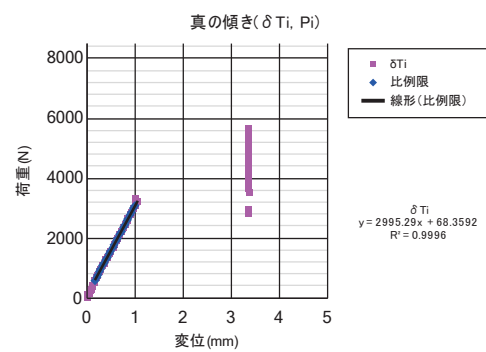
試験体番号: ⑩-2-10



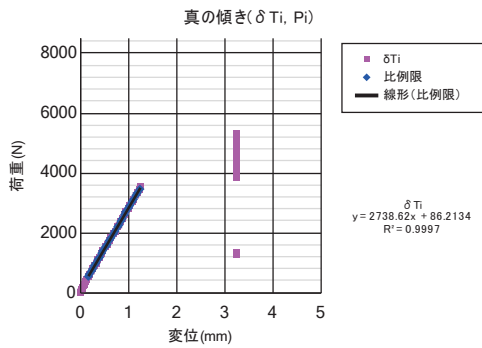
試験体番号: ⑩-2-11



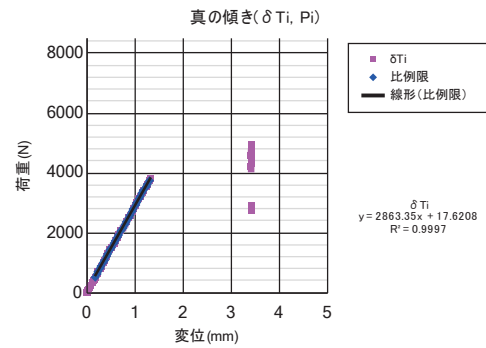
試験体番号: ⑩-2-12



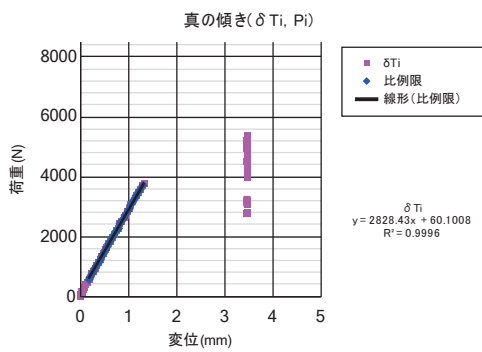
試験体番号: ⑩-2-13



試験体番号: ⑩-2-14



試験体番号: ⑩-2-15



試験体番号: ⑩-2-16

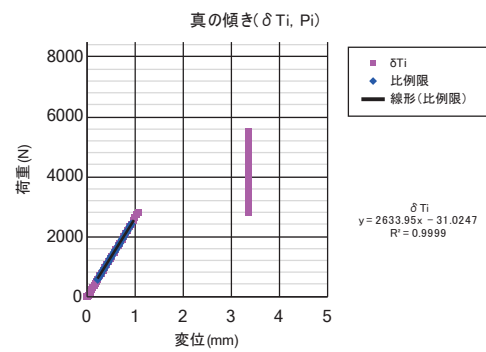
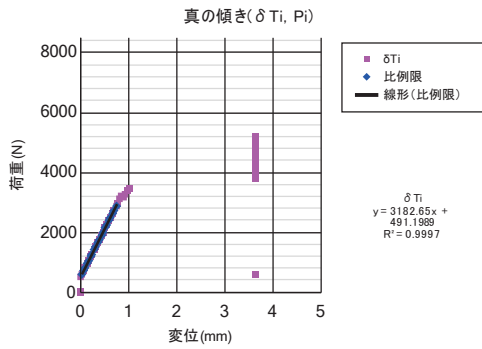
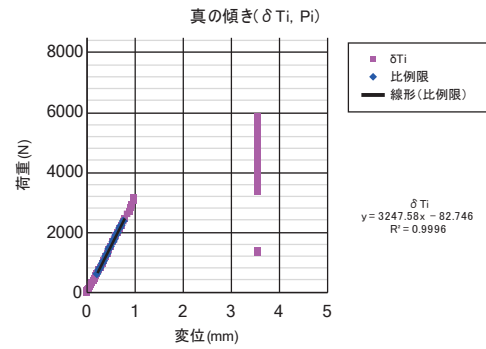


図 4-13 ⑩-2 弱軸 真の傾きグラフ (2)

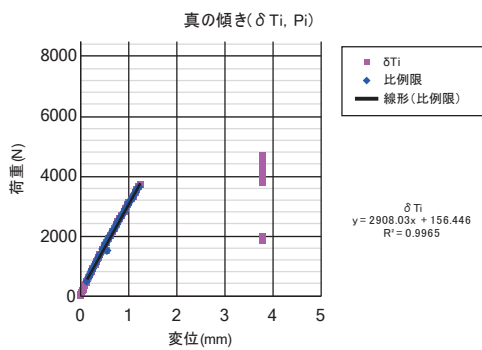
試験体番号: ㊟-1-01



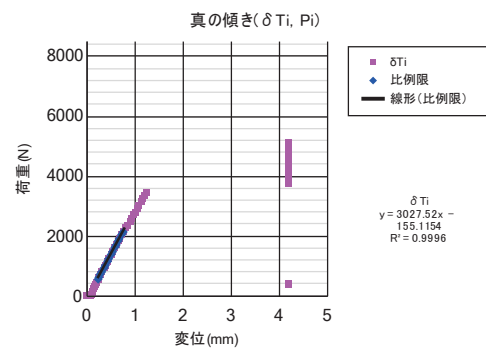
試験体番号: ㊟-1-02



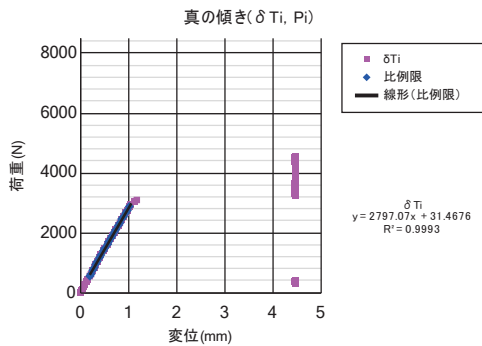
試験体番号: ㊟-1-03



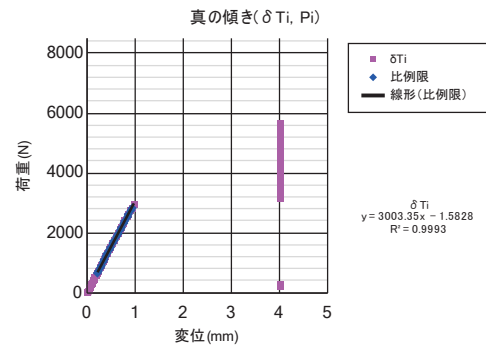
試験体番号: ㊟-1-04



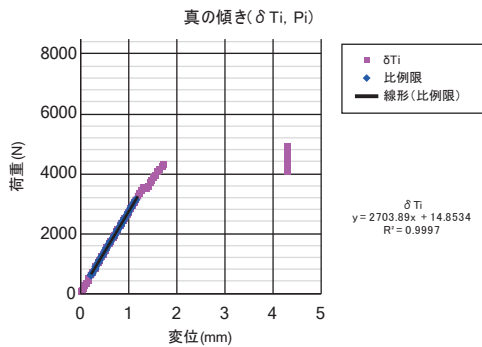
試験体番号: ㊟-1-05



試験体番号: ㊟-1-06



試験体番号: ㊟-1-07



試験体番号: ㊟-1-08

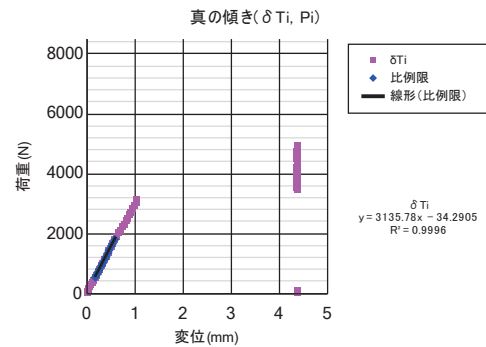
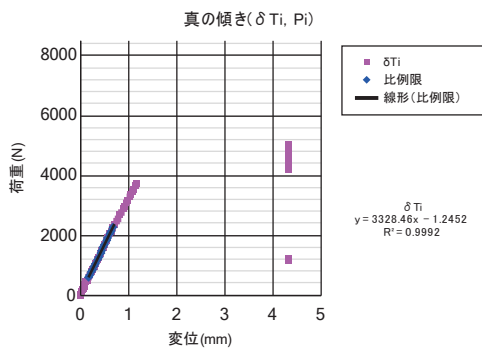
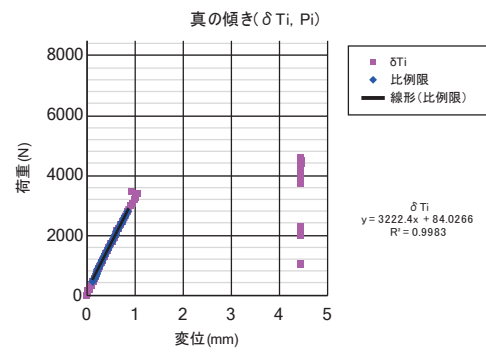


図 4-14 ㊟-1 強軸 真の傾きグラフ (1)

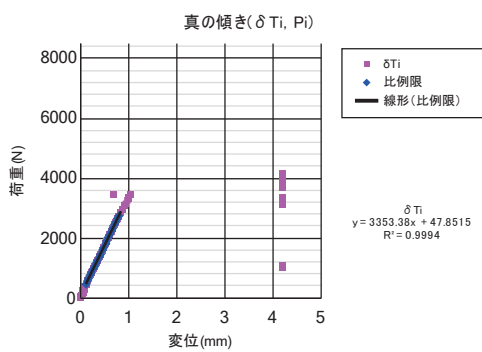
試験体番号: ㊟-2-01



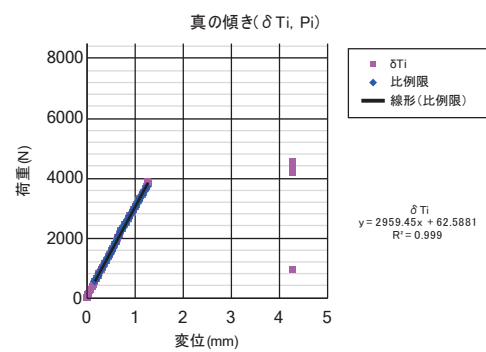
試験体番号: ㊟-2-02



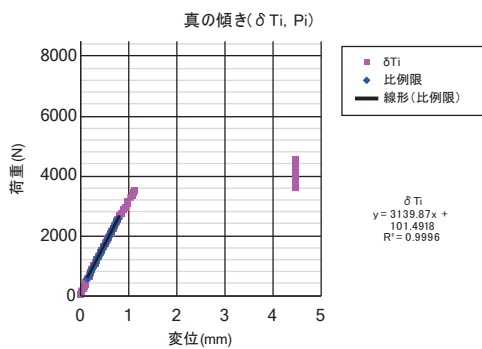
試験体番号: ㊟-2-03



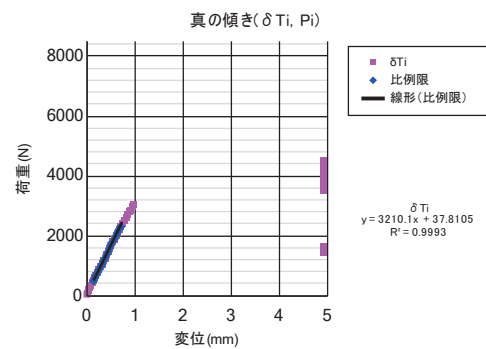
試験体番号: ㊟-2-04



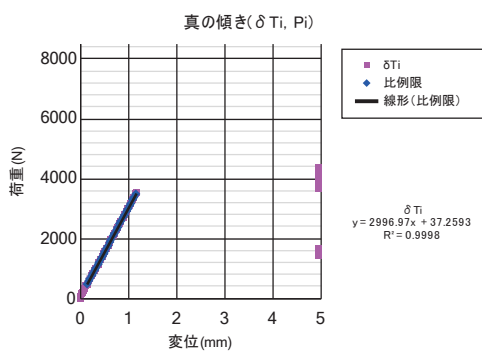
試験体番号: ㊟-2-05



試験体番号: ㊟-2-06



試験体番号: ㊟-2-07



試験体番号: ㊟-2-08

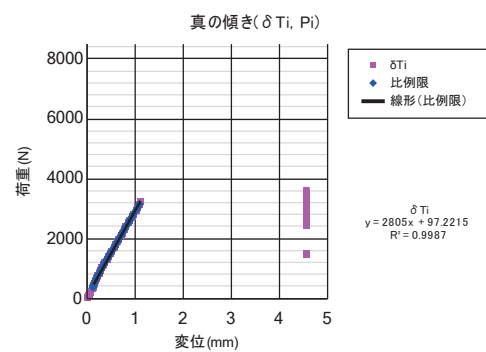
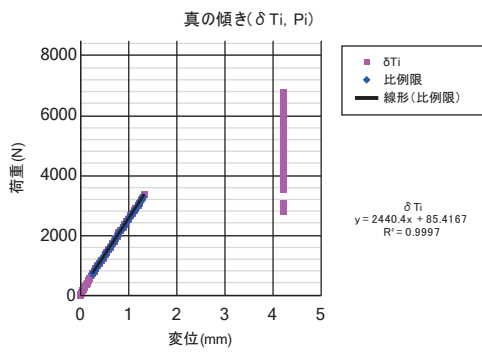
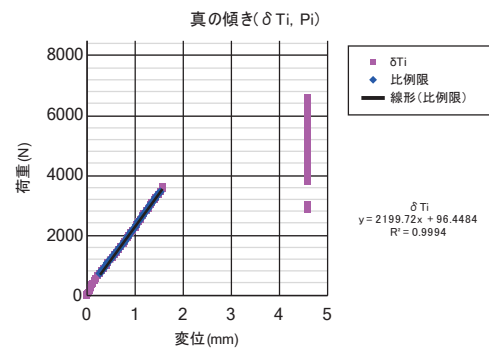


図 4-15 ㊟-2 強軸 真の傾きグラフ (2)

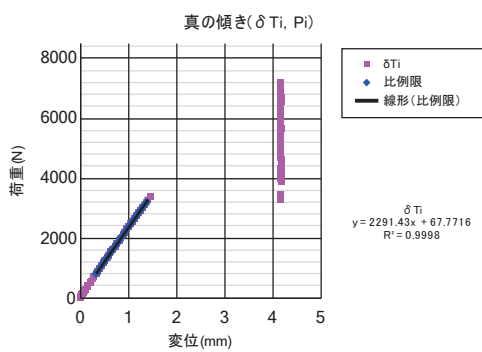
試験体番号: ㊟-1-09



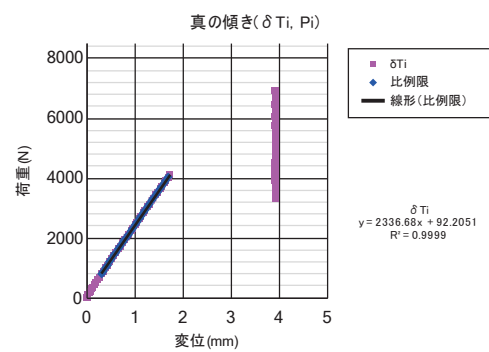
試験体番号: ㊟-1-10



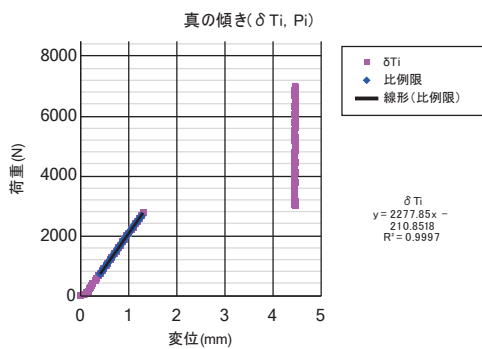
試験体番号: ㊟-1-11



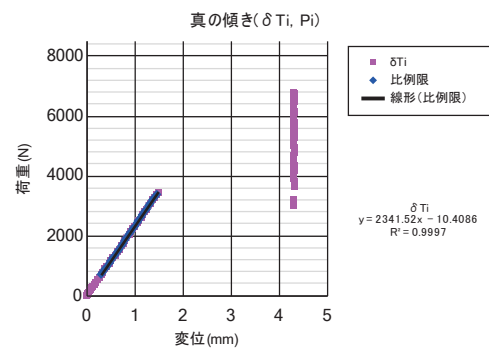
試験体番号: ㊟-1-12



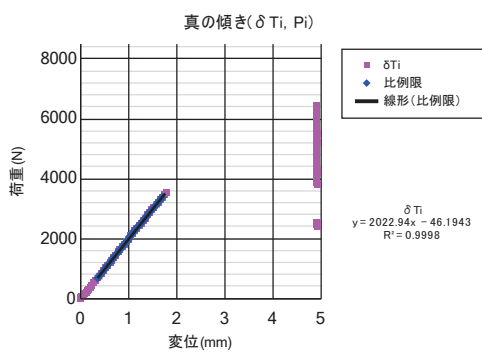
試験体番号: ㊟-1-13



試験体番号: ㊟-1-14



試験体番号: ㊟-1-15



試験体番号: ㊟-1-16

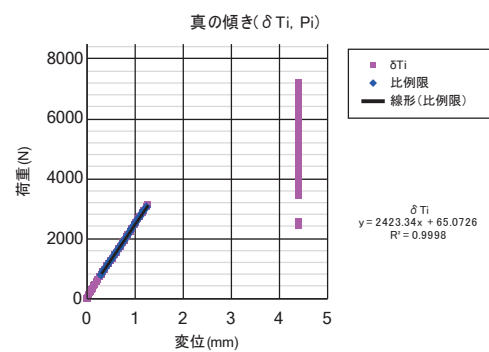
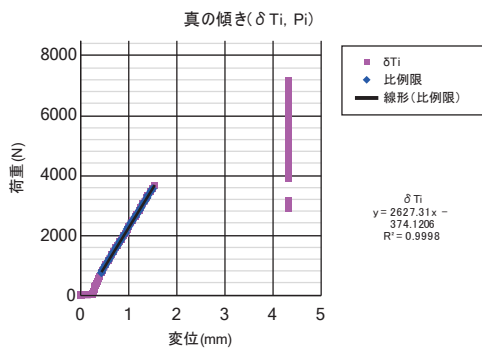
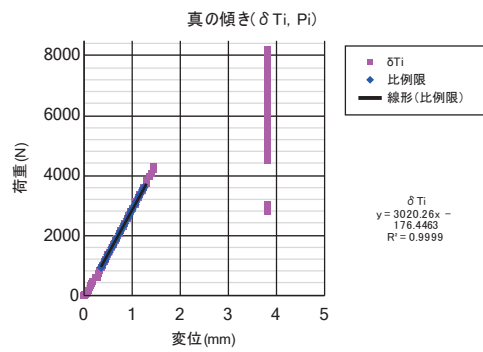


図 4-16 ㊟-1 弱軸 真の傾きグラフ (1)

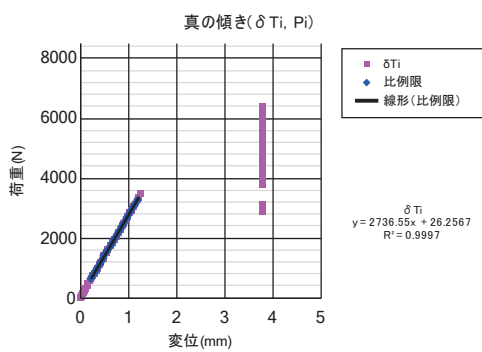
試験体番号: ㊟-2-09



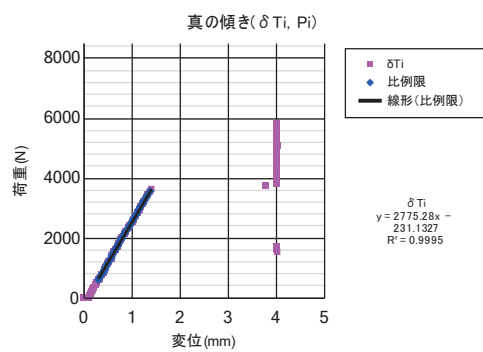
試験体番号: ㊟-2-10



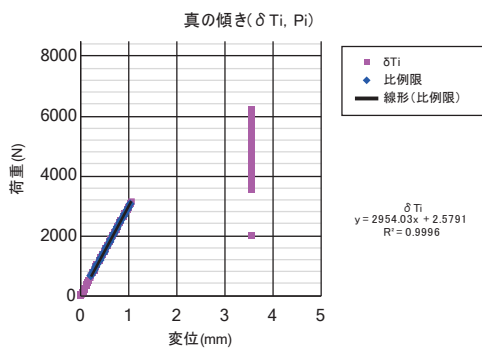
試験体番号: ㊟-2-11



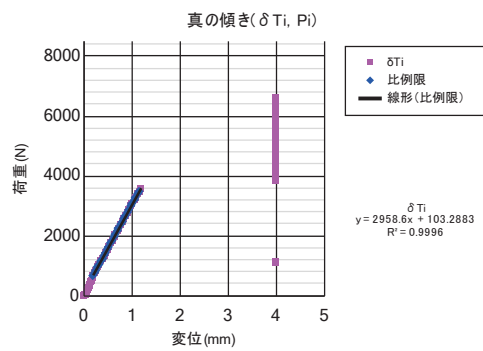
試験体番号: ㊟-2-12



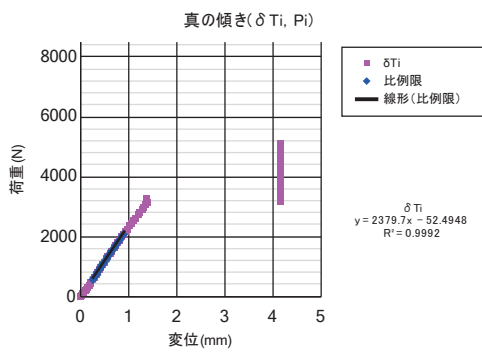
試験体番号: ㊟-2-13



試験体番号: ㊟-2-14



試験体番号: ㊟-2-15



試験体番号: ㊟-2-16

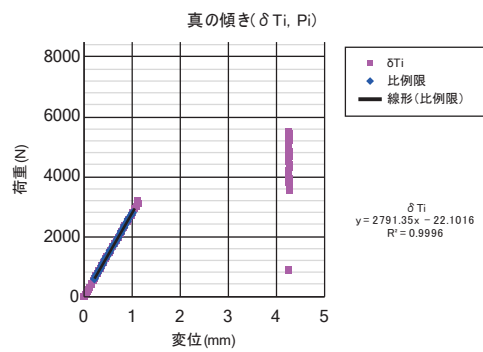


図 4-17 ㊟-2 弱軸 真の傾きグラフ (2)

## 5. 水平せん断性能

### 5.1 緒言

スギ 144mm, 90mm 厚の合板について, 単板構成を違えて短スパンの 3 点曲げ中央集中荷重による水平せん断試験を行った。単板積層材のせん断性能は単板のせん断性能と接着層のせん断性能によって決定されるとされ<sup>1)</sup>, 合板も同様と考え, 品質管理のための試験として実施した。

### 5.2 試料材と方法

スギの厚さ 144mm, 90mm の合板で, 単板構成を表 5-1 のとおりとし, 積層接着方法は二次接着で 3 × 10 板から試料材は各 6 体, 繊維方向を長手方向とする正寸が採取された。

表 5-1 試験体概要

| 原板番号 | 樹種 | 単板選別 | 選別基準  | type  | 方向 | 荷重  | 長さ<br>mm | 厚さ<br>mm | 幅<br>mm | 試料数<br>n |
|------|----|------|-------|-------|----|-----|----------|----------|---------|----------|
| 1    | スギ | 全層   | E60以上 | type1 | 正寸 | 平使い | 1000     | 144      | 144     | 6        |
| 3    | スギ | 平行層  | E60以上 | type2 | 正寸 | 平使い | 1000     | 144      | 144     | 6        |
| 5    | スギ | 表層   | E60以上 | type3 | 正寸 | 平使い | 1000     | 144      | 144     | 6        |
| 7    | スギ | 表層   | 目視C-D | type4 | 正寸 | 平使い | 1000     | 144      | 144     | 6        |
| 9    | スギ | 全層   | E60以上 | type1 | 正寸 | 平使い | 630      | 90       | 90      | 6        |
| 11   | スギ | 平行層  | E60以上 | type2 | 正寸 | 平使い | 630      | 90       | 90      | 6        |
| 13   | スギ | 表層   | E60以上 | type3 | 正寸 | 平使い | 630      | 90       | 90      | 6        |
| 15   | スギ | 表層   | 目視C-D | type4 | 正寸 | 平使い | 630      | 90       | 90      | 6        |

これまで, 合板の水平せん断試験を実施した結果, スパンを短くすると特にスギで加圧部にめり込みを生じ曲げ破壊し, スパンを試験体の鉛直方向の 5-6 倍とすることでめり込みを避けられた<sup>2)</sup>。また, 縦使いでは全て曲げ破壊し, せん断破壊を得られなかったことから<sup>2)</sup>, 品質管理用として平使いのみを行うことにした。

スパンを試験体の鉛直方向の 5 倍として中央集中荷重を与え, 最大荷重からせん断強さを求めた。加圧板を平板 (144mm 厚では接する幅 160mm 下側 R20mm, 90mm 厚では接する幅 90mm 下側 R2mm) として, 144mm 厚では実大試験機 (東京衡機製, 容量 1000kN), 90mm 厚では万能試験機 (SHIMADZU AGX-V2, 容量 100kN) を用い, 最大荷重を求めた。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。

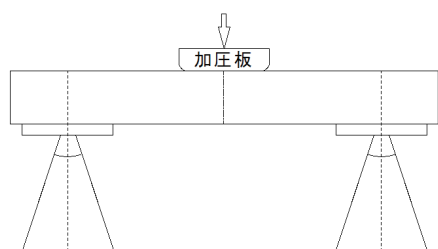


図 5-1 試験方法

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

$P$ : 最大荷重(N)  
 $b$ : 試験体の幅(mm)  
 $h$ : 試験体の高さ(mm)

### 5.3 試験結果

試験結果概要を表 5-2, タイプごとのせん断強さを図 5-2 に示す。

表 5-2 試験結果概要

| 原板番号 | type  | 試料数<br>n | 密度<br>kg/m <sup>3</sup> | 含水率<br>% | せん断強さ<br>N/mm <sup>2</sup> | 破壊形状 |    |    |
|------|-------|----------|-------------------------|----------|----------------------------|------|----|----|
|      |       |          |                         |          |                            | せん断  | 複合 | 曲げ |
| 1    | type1 | 6        | 416 ( 3)                | 7.5      | 1.45 (0.05)                | 4    | 0  | 2  |
| 3    | type2 | 6        | 432 (13)                | 7.7      | 1.52 (0.05)                | 3    | 0  | 3  |
| 5    | type3 | 6        | 409 ( 4)                | 6.9      | 1.44 (0.07)                | 0    | 2  | 4  |
| 7    | type4 | 6        | 411 ( 2)                | 7.2      | 1.35 (0.05)                | 1    | 0  | 5  |
| 9    | type1 | 6        | 428 ( 2)                | 7.5      | 1.64 (0.03)                | 3    | 0  | 3  |
| 11   | type2 | 6        | 415 ( 7)                | 7.4      | 1.47 (0.09)                | 4    | 2  | 0  |
| 13   | type3 | 6        | 402 ( 6)                | 7.2      | 1.28 (0.13)                | 0    | 0  | 6  |
| 15   | type4 | 6        | 428 ( 3)                | 7.1      | 1.64 (0.03)                | 3    | 3  | 0  |

各平均値, ( )は標準偏差, 欄右は破壊形状別の数

- (1) スギ 144mm 厚のせん断強さの各タイプ平均値は 1.35～1.52N/mm<sup>2</sup>であり全層単板選別した type1, 平行層単板選別した type2, 表層単板選別した type3 間に有意差(p<0.05 以下同様)がなく, E60 以上の単板の配置はせん断強さに影響が認められなかった。一方, 表層を目視により単板選別した type4 のせん断強さは type2 のみ有意に低かった。
- スギ 90mm 厚のせん断強さの各タイプ平均値は 1.64～1.28N/mm<sup>2</sup>であり全層単板選別した type1, 表層目視単板選別した type4 が平行層単板選別した type2, 表層 E60 単板選別した type3 に有意に低かった。

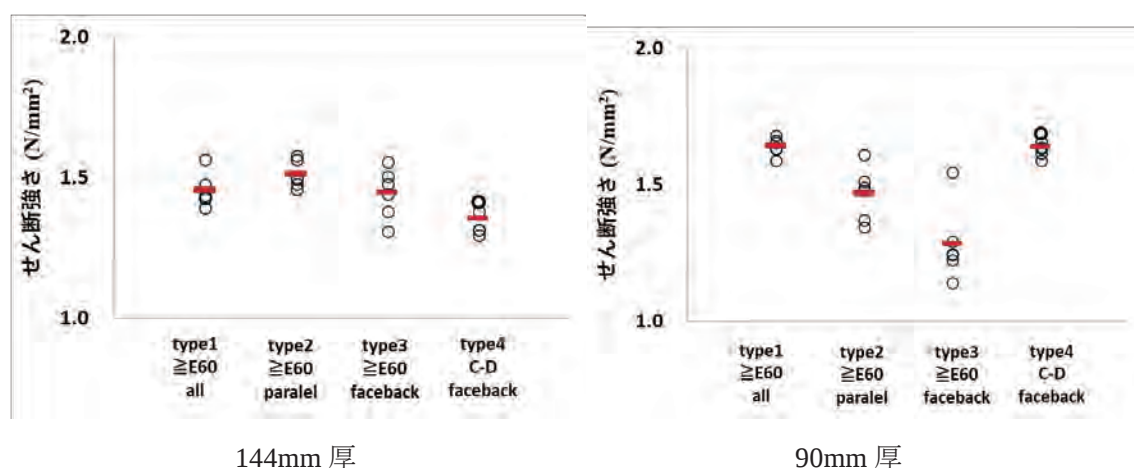


図 5.2 せん断強さ (バーは平均値)

- (2) 破壊形状では, 144mm, 90mm とともに全層単板選別した type1 と平行層単板選別した type2 がせん断破壊した割合が高く, 表層のみ単板選別した type3 が曲げ破壊した割合が高かった。type1 は全層単板選別, type2 は平行層単板選別し性能が均質でせん断破壊し,

表層選別した type3 は表層と内層の性能差と局所的な欠点から曲げ破壊が生じやすかったと考えられる。なお、全ての試験体でめり込みによる曲げ破壊はなかった。

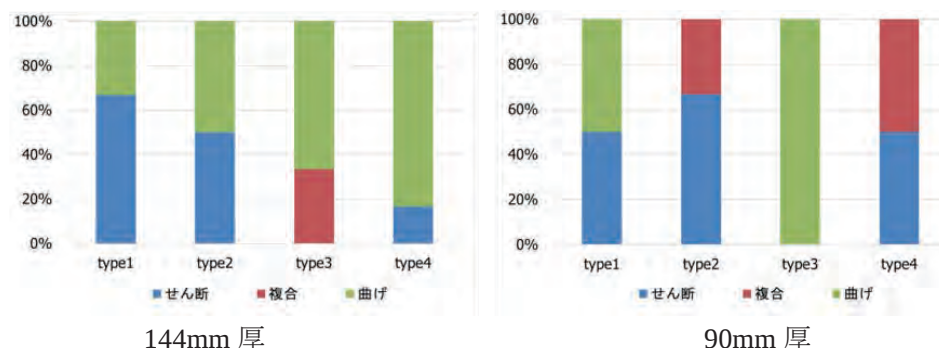


図 5-3 破壊形状

- (3) 各タイプの密度を箱ひげ図で示す。144mm 厚では平行層単板選別した type2 が他と比べ有意 ( $p<0.05$ , 以下同様) に高く, 90mm 厚では type1>type2>type3 の順に有意であり, type4 は type2, type3 と比べ有意に高かった。密度とせん断強さとの関係を破壊形態別に見るとせん断破壊したものが 144mm 厚で相関が高く, 90mm 厚でさらに相関が高かった。単板積層材では密度と水平せん断性能に高い相関が認められることが報告されており<sup>3)</sup>, せん断破壊したもののせん断強さは密度の影響と考えられた。曲げ破壊したものは 144mm 厚でせん断強さの相関が高くなく, 90mm 厚のそれもせん断破壊したもののほど相関が高くない。これは, せん断強さが密度の外にも破壊の端緒となる外層の単板品質に影響されたものと考えられ, 144mm 厚の曲げ破壊したものの相関がさらに低くなったのは, それと併せ単板の積層数が多くなり, 総体の密度より破壊した付近の密度に影響されたことが考えられる。

これらから, 90mm 程度の厚さにおいては, 合板の密度によりせん断強さを予測することができる可能性があり, さらには予測値を外れるものは接着層のせん断性能に原因があるとする品質管理方法が考えられる。

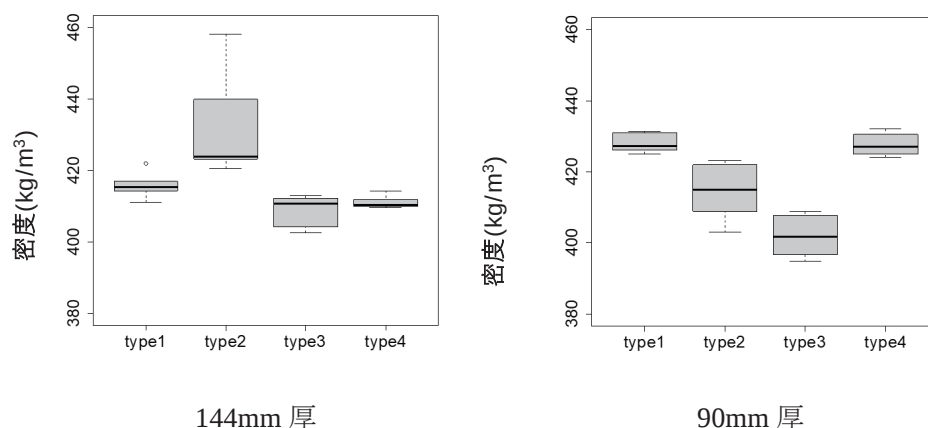


図 5-4 密度

箱は四分位数, 箱内バーは中央値, 箱外バーは最大最小値, °は外れ値

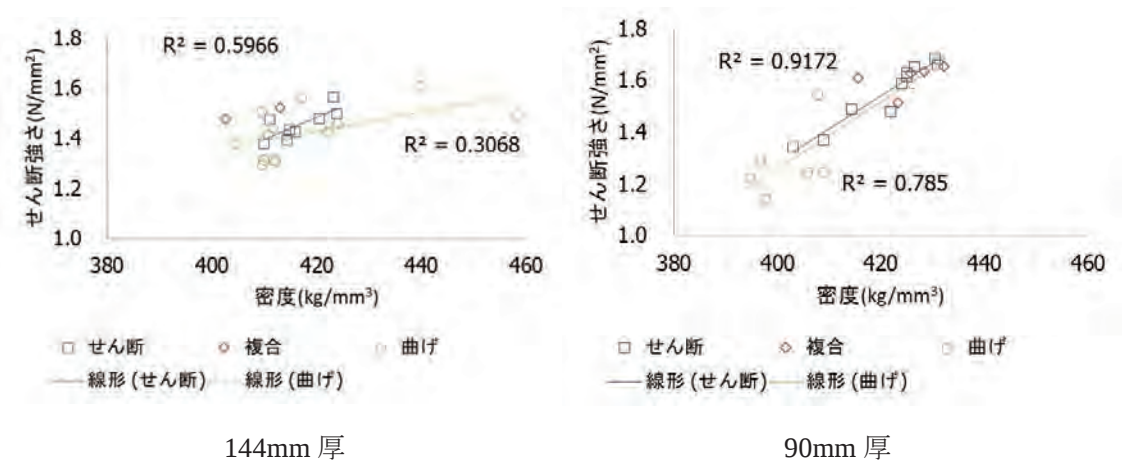


図 5-5 密度とせん断強さの関係

- (4) せん断強さを各破壊形状別に箱ひげ図で示す (図 5-6)。144mm 厚, 90mm 厚でせん断破壊によるものと曲げ破壊によるせん断強さと有意な差( $p < 0.05$ )がなかった。単板積層材では曲げ破壊により得られたせん断強さは真のせん断強さより低いとされ<sup>1)</sup>, 合板についてもこれを適用するならば, 曲げ破壊により得られたせん断強さは安全側の数値と考えられ, せん断破壊が得られなくても品質管理の試験として適当であると考えられる。

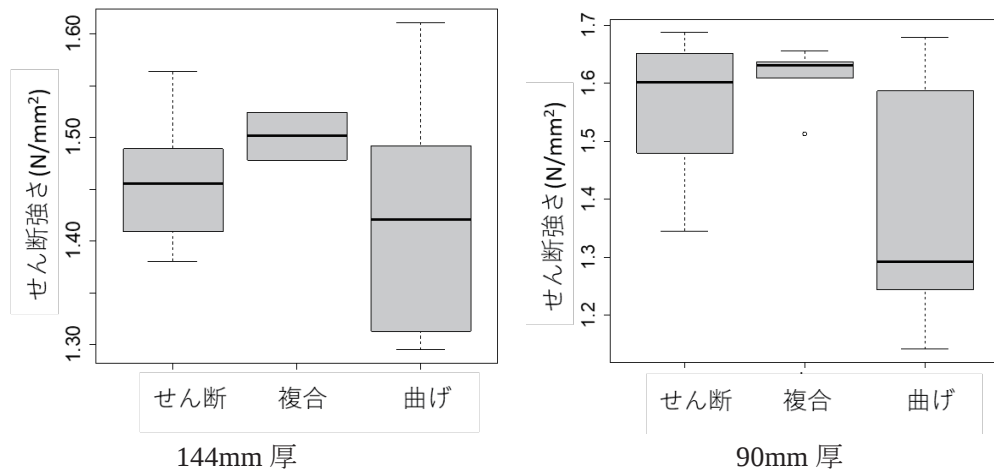


図 5-6 破壊要因別せん断強さ

箱は四分位数, 箱内バーは中央値, 箱外バーは最大最小値, °は外れ値

#### 5.4 結言

試験を実施して, 以下のことがわかった。

- (1) スギ合板から採取した正寸の平使いによるせん断強さは, 144mm 厚では E60 以上の単板の配置による有意差はなかった。90mm 厚では E60 以上の配置が全層>平行層>

表層の順になり、表層目視等級 C-D を配置したものは高い傾向にあったのは 144mm 厚の傾向と違っていた。

- (2) 破壊形状では全層、平行層を単板選別したものが、せん断破壊の割合が高く、表層のみ単板選別をしたものは曲げ破壊の割合が多かった。なお、全ての試験体でめり込みによる曲げ破壊はなかった。
- (3) せん断破壊したものは単板積層材と同様に密度とせん断強さの相関が高く、90mm では特に高かった。90mm 厚程度の厚さでは密度により、せん断強さを予測することができ、予測値を外れたものは接着層のせん断性能に問題があるとする品質管理方法が考えられた。
- (4) 曲げ破壊したものは、せん断破壊したものとせん断強さに有意な差がなく、曲げ破壊したものは安全側の数値と考えられ、せん断破壊が得られなくても品質管理方法として適当であると考えられた。

#### 文献

- 1) Hayashi Tomoyuki , Atsushi Miyatake : Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute357 (1990)
- 2) 日本合板工業組合連合会 “「超厚合板の開発のための性能試験等の実施事業」報告書” p18-26(2024)
- 3) 宮武敦, 井道裕史, 長尾博文, 加藤英雄, 平松靖, 神谷文夫, 槌本敬大: 日本建築学会講演梗概集 (東北) 22002(2009)

## 6. 接着性能の検証

### 6.1 背景・目的

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、その積層接着工程を適切に管理することは、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。そのため、超厚合板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基礎的なデータ収集に取り組む必要がある。

接着の程度や接着性能の評価方法を確立する方策は二つに大別できると考えられる。一つは、既存の木質材料の材料規格における評価方法が超厚合板に適用可能であるかを検証することである。この場合、他の木質材料ではあるが、試験装置や試験手順についての実験的・経験的な知見が多いことが利点であるが、超厚合板に適した評価方法であるかを検証するには、想定される製品仕様についてある程度網羅的に実証する必要がある。もう一方は、新たな評価方法を構築することである。この場合、超厚合板に最適な評価方法が確立できる可能性がある一方で、評価の妥当性のみならず再現性や簡便性も併せて検証する必要がある。

これまで、単板の樹種や強度選別等を製造因子として試作した超厚合板試験体について、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（LVL）の日本農林規格（JAS）に規定される接着剥離試験を用いて、接着性能の検証や評価方法自体の適用可能性を検証してきた。当該評価方法を用いた理由は、超厚合板の接着層数は通常の合板よりも数倍多く、合板の JAS 規格に規定される方法（接着の程度）では時間と労力を要してしまうため、簡便かつ効率的に評価が可能である方法を模索するためである。令和 2 年度には、単板樹種（スギ、カラマツ、ヒノキ）の異なる厚さ 144mm の試作試験体について、スクリーニング的に接着剥離に関するデータを得ることで、評価方法の適用可能性を把握した。これにより今後、同様の手法で検証を進めることの妥当性が得られた。令和 3 年度には、単板樹種（スギ、カラマツ、ヒノキ）、単板ヤング係数の区分及び積層数を影響因子として製造した試験体について、接着剥離試験を実施した。その結果、個々の因子の影響度合いや、接着剥離が発現する場合の特徴について把握した。令和 4 年度には、これまで得られたデータに対して詳細な分析を行うことで、接着剥離の発生頻度等を評価した。また併せて、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、これらの JAS 規格における接着性能に関する試験方法を比較することで、超厚合板に適した接着性能評価方法の確立における課題点の抽出や検討項目を論じた。令和 5 年度には、単板構成・比率及び厚さの異なる試作試験体について接着剥離試験を実施し、平行層率と剥離率の関係や厚さと接着条件の影響などを検証した。これらの取り組みによって、超厚合板の製造因子と接着性能の関係の把握や、接着性能評価方法の確立に向けたデータの蓄積は着実に進められてきている。

本事業では、これまでと同様の評価方法を用いて、超厚合板の接着性能の評価可能性を継続検討する。また接着性能の評価結果を基にして、より良好な超厚合板の製造・接着条件を設定することが可能であるか、検証を行った。

## 6.2 超厚合板の接着性能の検証実験

### 6.2.1 製造条件設定のための検証

超厚合板の試作試験体製造にあたり、事前に製造条件及び接着条件を設定するための予備製造試験を行った。試験体の仕様は、単板樹種：スギ、単板選別：全層選別（ $60\text{tf}/\text{cm}^2$ 以上）、厚さ：144mm、サイズ：3×10 板、圧縮方法：ワンショット、である。今回試作を行う製造ラインで通常の合板を製造する際と同様な製造条件で試作を行った。製造後、75mm×75mm×厚さそのままのサイズの試験片を切り出し、単板積層材の JAS 規格における接着剝離試験（減圧加圧処理。処理条件は JAS 規格の通り。処理は 2 回繰り返し。）を行った（写真 6-1）。試験片数は 4 片とした。



写真 6-1 減圧加圧剝離試験の様子

減圧加圧剝離試験の結果を表 6-1 に示す。試験片全体の剝離率は約 0.1% となった。また、繰り返しによる剝離率の増加もわずかながら見られたが、剝離率として現れるほどではない小さなものであった。仮に、単板積層材の JAS 規格における接着剝離の評価基準 5% を判定基準の目安として比較すると、これらの数値は極めて低いものであるため、今回の製造条件はおおよそ良好であると考えられる。一方、同一接着層における剝離長さについても、単板積層材の JAS 規格の評価基準である、剝離長さが接着層長さの 1/4 以下、を目安とすると、1 試験片における 1 接着層がこれを満たさない結果となった。剝離の様子を写真 6-2 に示す。そこで、剝離を生じた当該接着層の状況を詳細に把握するため、当該接着層を破断して内部を観察した。破断した試験片の様子を写真 6-3 に示す。その結果、当該同一接着層全体で、接着の状態が良好ではないことが確認された。その原因として、部分的に塗布量や圧縮圧力の不足が生じていた可能性が示唆された。

表 6-1 減圧加圧剥離試験による超厚合板試験体の剥離率

| 単板<br>樹種 | 単板<br>ヤング係数<br>(tf/cm <sup>2</sup> ) | 試験片全体の<br>剥離率 (%) |             | 同一接着層において剥離長さが<br>接着層長さの 1/4 を超えた接着<br>層数及び試験片数* |             |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
|          |                                      | 繰返し<br>1 回目       | 繰返し<br>2 回目 | 繰返し<br>1 回目                                      | 繰返し<br>2 回目 |
| スギ       | 60 以上                                | 0.1               | 0.1         | 1 (1)                                            | 1 (1)       |

\* 括弧内は試験片数



写真 6-2 同一接着層における剥離の様子  
(左：試験片側面における剥離（赤枠内）、右：当該接着層を破断した様子)

#### 6.2.2 製造条件確認のための検証

6.2.1 の結果を受けて、本事業における超厚合板の製造・接着条件の一部変更を行うことで、接着性能が改善するかどうかの検証を行った。具体的に変更した内容は、①単板の切削条件の変更（単板厚さをより安定させるために今回使用する原木の状態に合わせたものとした）、②接着剤塗布工程の諸設定変更、③冷圧条件の変更、の3項目である。

この設定条件で 6.2.1 と同仕様の試験体を製造し、6.2.1 と同条件で減圧加圧剥離試験を行って接着性能の評価を行った。表 6-2 に製造条件変更後の試験体における減圧加圧剥離試験の結果を示す。また、写真 6-3 に減圧加圧剥離試験 2 回繰返し後の試験片の様子を示す。試験の結果、接着層の剥離はみられず、試験片全体の剥離率は 0%及び同一接着層において剥離長さが接着層長さの 1/4 を超えた接着層数も 0 となった。現段階では、超厚合板に対する接着性能評価方法やその判定基準は確定していないものの、類似した構造用を企図した材料の評価方法を適用して剥離がみられなかったことから、製造条件変更後の試験体の接着性能は良好であると判断した。この検証により、本事業における試作試験体

の製造・接着条件を決定することができたため、他章での性能評価のための試験体の製造を行うこととした。

表 6-2 製造条件変更後の超厚合板試験体の減圧加圧剥離試験による剥離率

| 単板<br>樹種 | 単板<br>ヤング係数<br>(tf/cm <sup>2</sup> ) | 試験片全体の<br>剥離率 (%) |             | 同一接着層において剥離長さが<br>接着層長さの 1/4 を超えた接着<br>層数及び試験片数* |             |
|----------|--------------------------------------|-------------------|-------------|--------------------------------------------------|-------------|
|          |                                      | 繰返し<br>1 回目       | 繰返し<br>2 回目 | 繰返し<br>1 回目                                      | 繰返し<br>2 回目 |
| スギ       | 60 以上                                | 0                 | 0           | 0 (0)                                            | 0 (0)       |

\* 括弧内は試験片数



写真 6-3 製造条件変更後の超厚合板試験体の減圧加圧剥離試験の様子

### 6.3 まとめ

超厚合板の接着性能に関して、本事業では、まず予備的に試作試験を行って接着性能を詳細に評価した。その結果、試験片全体の接着性能はおおよそ良好であるものの、部分的に軽微な接着不良の可能性が確認できたため、当初の製造条件及び接着条件を変更した。変更後の試作試験体の接着性能は良好であったことから、強度等の評価に使用する試験体の製造を行った。

この一連の検証により、超厚合板と同じく単板をエレメントとする単板積層材の JAS 規格の接着性能評価方法を用いることで、超厚合板の接着性能の評価が可能であることが示唆されるとともに、その評価結果を基にして、製造・接着工程の管理改善が可能であることが示された。本事業では、1 仕様の試験体による検証であったが、さらに確度を高めていくには、他の製造条件や製品厚さなど、特に接着工程が異なる場合について検証を行う必要があると考えられる。

## 7. 強度発現機構の把握

### 7.1 目的

合板はロータリー単板を直交積層接着させて製造される材料である。ロータリー単板には「裏割れ」が存在する。強軸方向の曲げ強度は平行層の単板が強軸方向に配置されることになるため、表層単板の材質、平行層を構成する単板のヤング係数の影響を強く受け、裏割れの影響はそれほど大きくないと考えられるが、せん断破壊は直交層の単板の裏割れから発生するローリングシアにより破壊を起こすケースがほとんどである（参考：写真 7-1）ため、その影響は大きいことが予想される。裏割れは、原木のサイズ・物理的性能（密度・硬さ・未成熟材等）、単板の厚さ、剥き芯の太さ等の影響を受けて、その角度、強さが変化することが予想され、それが接着強度にも影響することが予想される。したがって、強軸方向の曲げ強度と比較するとヤング係数による単板選別の影響をそれほど受けない可能性が考えられる。

本章では、超厚合板のせん断強度発現機構を把握するため、逆対称 4 点荷重方式のせん断試験を取り上げ、試験条件と強度性能の関係を検討した。具体的には単板構成が異なる 4 種類の厚さ 45mm および 90mm のスギ合板に対して、逆対称 4 点荷重方式のせん断試験を行い、単板構成とせん断強度の関係を中心に検討を行った。



写真 7-1 せん断試験時に直交層単板の裏割れから発生したローリングシア

### 7.2 厚さ 45mm 合板のせん断試験

#### 7.2.1 供試体

表 7-1 に示した 4 種類の仕様の供試体に対して、逆対象 4 点荷重方式せん断試験（以下、「逆対称試験」と呼ぶ）法によるせん断試験を行った。樹種は全てスギで、積層方法はワシショットである。表中の「60tf/cm<sup>2</sup>」は単板のヤング係数区分であり、「C-D」は合板の日

本農林規格に定められた板面の品質記号である。原板は各層構成ごとに2枚であり、原板1枚当たり4体の供試体を採取して試験を行った。

表 7-1 供試体の仕様

| 層構成記号 | 樹種 | 構成                                                               | 積層方法   | 原板枚数 |
|-------|----|------------------------------------------------------------------|--------|------|
| A-60  | スギ | 全層にヤング係数区分 60tf/cm <sup>2</sup> 以上の単板を選別して使用                     | ワンショット | 2    |
| P-60  |    | 平行層にヤング係数区分 60tf/cm <sup>2</sup> 以上の単板を選別して使用。直交層はあ無選別の単板を使用。    |        | 2    |
| F-60  |    | 表層単板にヤング係数区分 60tf/cm <sup>2</sup> 以上の単板を選別して使用。それ以外の層は無選別の単板を使用。 |        | 2    |
| F-C-D |    | 表層単板に JAS 規格の板面の品質 C-D 相当の単板を選別して使用。それ以外の層は無選別の単板を使用。            |        | 2    |

#### 7.2.2 試験方法

図 7-1 および写真 7-2 に厚さ 40mm 試験体の逆対称試験の概要を示す。逆対称試験はせん断スパン(S)=135mm (=3h。hは試験体の厚さ)・スパン(a+S)=270mm の条件で行った。試験はミネベア製 AL100kN (最大荷重 100kN) を用い、変位速度 5mm/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(7-1)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、表 7-2 に示した破壊形態の分類規準に基づき破壊形態の分類を行った。

$$\tau = \frac{3aP}{2bh(a+l)} = \frac{3aP}{2bh(2a)} = \frac{3P}{4bh} \quad (7-1)$$

$\tau$ : 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]

表 7-2 破壊形態の分類規準

| 破壊形態       | ケース                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| せん断破壊 (S)  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. BF が発生せず, SH もしくは RS が発生し荷重のピークを迎えた</li> <li>2. SH もしくは RS が発生して荷重のピークを迎えた後 BF が発生した場合</li> <li>3. BF と SH もしくは RS が発生し, BF が破壊荷重に影響していないと判断される場合 (BF が初期に発生した軽微なものである場合/RS による破壊が進行し, 荷重がほぼ横ばい～微増状態で BF が発生した場合)</li> </ol> |
| 曲げ破壊 (B)   | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. 視認できる SH もしくは RS が発生せず, BF が発生し荷重のピークを迎えた場合</li> <li>5. 比較的后期の段階で BF が発生し, BS が破壊荷重に影響したと判断される場合 (BF が発生して荷重低下が起こった後, RS が進行して BF 発生時の荷重を超え荷重のピークを迎えた場合/BF が発生して荷重低下が起こった後 RS が進行したが BF 発生時の荷重を超えなかった場合)</li> </ol>          |
| 複合破壊 (B+S) | <ol style="list-style-type: none"> <li>6. 5 以外のケース以外で, BF および SH もしくは RS がほぼ同時に発生して荷重のピークを迎えた場合</li> </ol>                                                                                                                                                             |

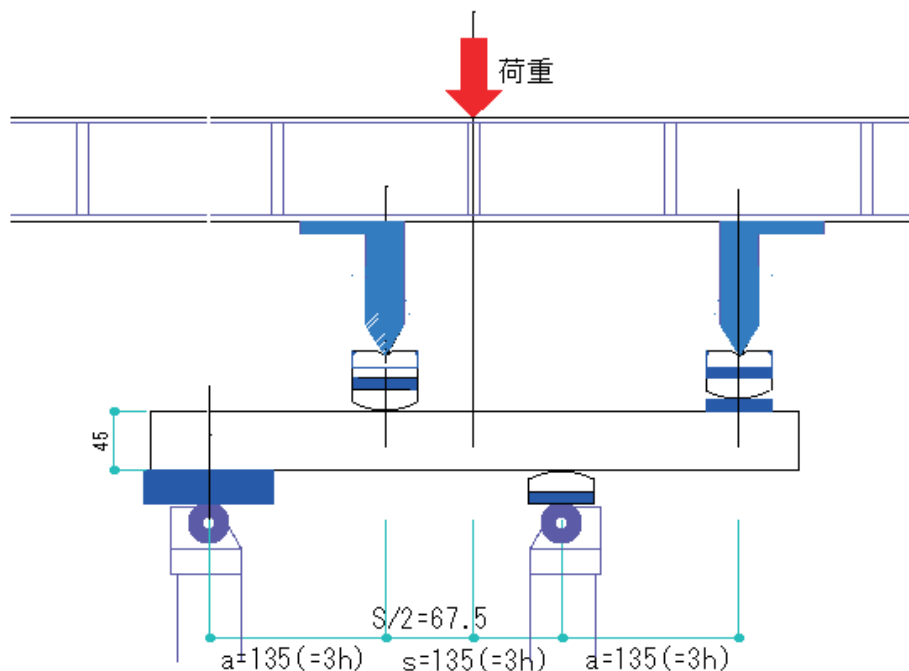


図 7-1 厚さ 45mm 逆対象 4 点荷重方式せん断試験の概要 ( $h=45\text{mm}$   $S=a=135\text{mm}$ )



写真 7-2 厚さ 45mm 試験体 逆対称 4 点荷重方式せん断試験の様子

### 7.2.3 試験結果

45mm 試験体の逆対称 4 点荷重方式せん断試験結果は、表 7-3、図 7-2、及び図 7-3 に示した通りであった。結果を要約すると以下の通りとなった。

- 1) いずれの層構成においても、原板 1 と原板 2 で平均値に差があり、かつ、層構成による明確な違いは認められない。層構成の違いの影響よりも、製造された合板試験体の性能のバラツキの影響の方がせん断強度への影響が大きいという結果となった（図 7-2、表 7-3）
- 2) 試験体密度とせん断強度の関係をみると、全体としては、密度が高くなるとせん断強度が高くなる傾向がなくはないという結果が得られた。層構成ごとに見ると、A-60、F-C-

D については、密度が高い試験体のせん断強度が高くなっていると言ったことができたが、F-60、P-60 についてははっきりとした傾向は認められなかった（図 7-3）。

3) 破壊形態については、A-60 No. 1 試験体以外はほとんどせん断で破壊した（表 7-3、写真 7-3）。逆に A-60 No. 1 試験体は、ほぼ全ての試験体で曲げ破壊が先行していた（写真 7-4）。A-60 No. 1 と同程度の強度であった F-60 No. 1、F-C-D No. 1 は全てせん断で破壊しており、表層のみ選別単板を使用した F-60 と F-C-D、全層に選別単板を使用した A-60 との単板構成の違いが破壊形態に影響した可能性がある。

表 7-3 厚さ 45mm スギ合板（ワンショット）逆対称 4 点荷重方式せん断試験結果

| 層構成   | 原板番号 | 試験体数 | 密度 $\text{kg/m}^3$ |      | せん断強度 $\text{N/mm}^2$ |      | 破壊形態  |
|-------|------|------|--------------------|------|-----------------------|------|-------|
|       |      |      | 平均値                | 標準偏差 | 平均値                   | 標準偏差 |       |
| A-60  | 1    | 4    | 420.5              | 4.07 | 2.12                  | 0.07 | 0/2/2 |
|       | 2    | 4    | 410.4              | 2.88 | 1.73                  | 0.09 | 4/0/0 |
|       | 計    | 8    | 415.4              | 7.34 | 1.88                  | 0.28 | 4/2/2 |
| P-60  | 1    | 4    | 397.7              | 5.28 | 1.71                  | 0.07 | 4/0/0 |
|       | 2    | 4    | 398.5              | 5.07 | 1.98                  | 0.07 | 3/1/0 |
|       | 計    | 8    | 397.7              | 4.89 | 1.79                  | 0.21 | 7/1/0 |
| F-60  | 1    | 4    | 411.7              | 5.95 | 2.20                  | 0.37 | 4/0/0 |
|       | 2    | 4    | 413.3              | 5.49 | 1.72                  | 0.04 | 4/0/0 |
|       | 計    | 8    | 412.5              | 5.37 | 1.91                  | 0.39 | 8/0/0 |
| F-C-D | 1    | 4    | 420.1              | 7.84 | 2.33                  | 0.17 | 4/0/0 |
|       | 2    | 4    | 415.3              | 3.10 | 1.51                  | 0.07 | 4/0/0 |
|       | 計    | 8    | 417.7              | 7.08 | 1.92                  | 0.45 | 8/0/0 |

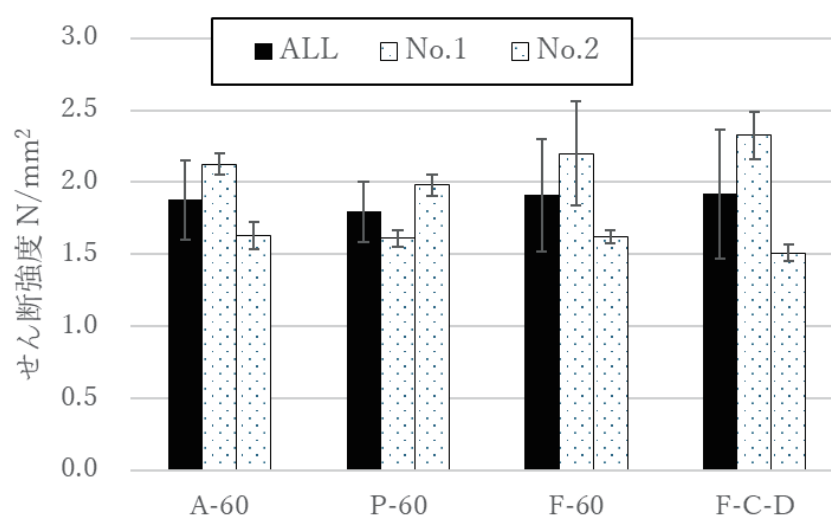


図 7-2 厚さ 45mm スギ合板（ワンショット）逆対称 4 点荷重方式せん断試験結果

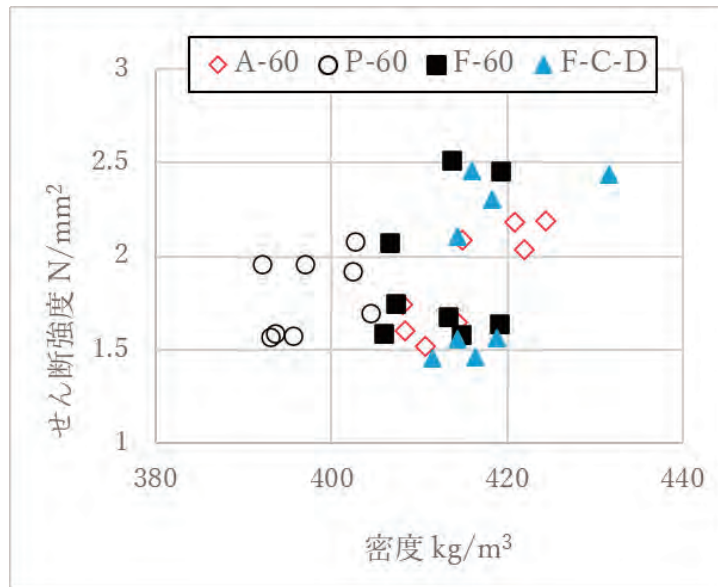


図 7-3 厚さ 45mm スギ合板（ワンショット） 密度とせん断強度の関係



写真 7-3 主な破壊形態－せん断破壊



写真 7-4 主な破壊形態－曲げ破壊

### 7.3 厚さ 90mm 合板のせん断試験

#### 7.3.1 供試体

表 7-4 に示した 4 種類の仕様の供試体に対して、逆対象 4 点荷重方式せん断試験（以下、「逆対称試験」と呼ぶ）法によるせん断試験を行った。樹種は全てスギで、積層方法はワンショットである。表中の「60tf/cm<sup>2</sup>」は単板のヤング係数区分であり、「C-D」は合板の日本農林規格に定められた板面の品質記号である。原板は各層構成ごとに 1 枚であり、原板 1 枚当たり 6 体の供試体を採取して試験を行った。

表 7-4 供試体の仕様

| 層構成記号 | 樹種 | 構成                                                               | 積層方法   | 原板枚数 |
|-------|----|------------------------------------------------------------------|--------|------|
| A-60  | スギ | 全層にヤング係数区分 60tf/cm <sup>2</sup> 以上の単板を選別して使用                     | ワンショット | 1    |
| P-60  |    | 平行層にヤング係数区分 60tf/cm <sup>2</sup> 以上の単板を選別して使用。直交層は無選別の単板を使用。     |        | 1    |
| F-60  |    | 表層単板にヤング係数区分 60tf/cm <sup>2</sup> 以上の単板を選別して使用。それ以外の層は無選別の単板を使用。 |        | 1    |
| F-C-D |    | 表層単板に JAS 規格の板面の品質 C-D 相当の単板を選別して使用。それ以外の層は無選別の単板を使用。            |        | 1    |

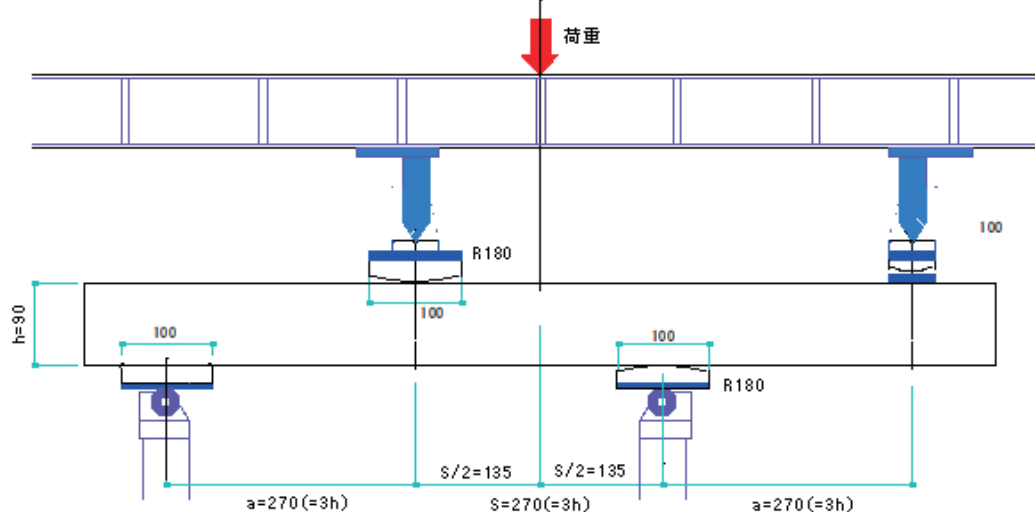


図 7-4 厚さ 90mm 試験体逆対象 4 点荷重方式せん断試験の概要（h=90mm S=a=270mm）

### 7.3.2 試験方法

図 7-4 および写真 7-5 に厚さ 90mm 試験体の逆対称試験の概要を示す。逆対称試験はせん断スパン( $S$ )=270mm ( $=3h$ 。  $h$  は試験体の厚さ)・スパン( $a+S$ )=540mm の条件で行った。試験はミネベア製 AL100kN (最大荷重 100kN) を用い、変位速度 5mm/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(7-1)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、表 7-2 に示した破壊形態の分類規準に基づき破壊形態の分類を行った。



写真 7-5 厚さ 90mm 試験体 逆対称 4 点荷重方式せん断試験の様子

### 7.3.3 試験結果

厚さ 90mm 試験体の逆対称 4 点荷重方式せん断試験結果は、表 7-5、図 7-5、及び図 7-6 に示した通りであった。結果を要約すると以下の通りとなった。

- 1) 層構成によるせん断強度の違いを見ると、F-C-D（表層単板が板面の品質 C-D）、F-60（平行層のみ 60tf/cm<sup>2</sup> 以上の単板）、A-60（全層 60tf/cm<sup>2</sup> 以上の単板）、P-60（表層のみ 60tf/cm<sup>2</sup> 以上の単板）の順番となった。
- 2) P-60 は全試験体早い段階からローリングシアによるせん断破壊が生じ、強度も低くなった（写真 7-1）。個々の試験体の結果を見ると（11.1.3 節参照）、6 体のうち強度が低い 4 体はほぼ全ての直交層でせん断破壊が視認できたのに対し、強度の比較的強い 2 体は 3 つの直交層のみでせん断破壊が視認できた。
- 3) F-60（表層のみ 60tf/cm<sup>2</sup> 以上の単板）は全試験体曲げ破壊が発生した。
- 4) 密度とせん断強度の関係を見ると（図 7-6）、相関関係は見られず、強度が低い P-60 の 4 体は、F-60、F-C-D の同程度の密度の試験体と比較して極端に強度が低くなっていることがわかる。この差が生じた理由としては、接着が不十分であること、もしくは、単板に何らかの問題があることが考えられるが、今回の試験結果からは判然としない。

表 7-5 厚さ 90mm スギ合板（ワンショット）逆対称 4 点荷重方式せん断試験結果

| 層構成   | 試験体数 | 密度 kg/m <sup>3</sup> |      | せん断強度 N/mm <sup>2</sup> |      | 破壊形態<br>S/S+B/B |
|-------|------|----------------------|------|-------------------------|------|-----------------|
|       |      | 平均値                  | 標準偏差 | 平均値                     | 標準偏差 |                 |
| A-60  | 6    | 423.2                | 2.5  | 1.80                    | 0.06 | 4/2/0           |
| P-60  | 6    | 406.4                | 6.5  | 1.39                    | 0.24 | 6/0/0           |
| F-60  | 6    | 402.1                | 4.3  | 1.82                    | 0.06 | 0/6/0           |
| F-C-D | 6    | 415.4                | 5.7  | 2.10                    | 0.09 | 6/0/0           |

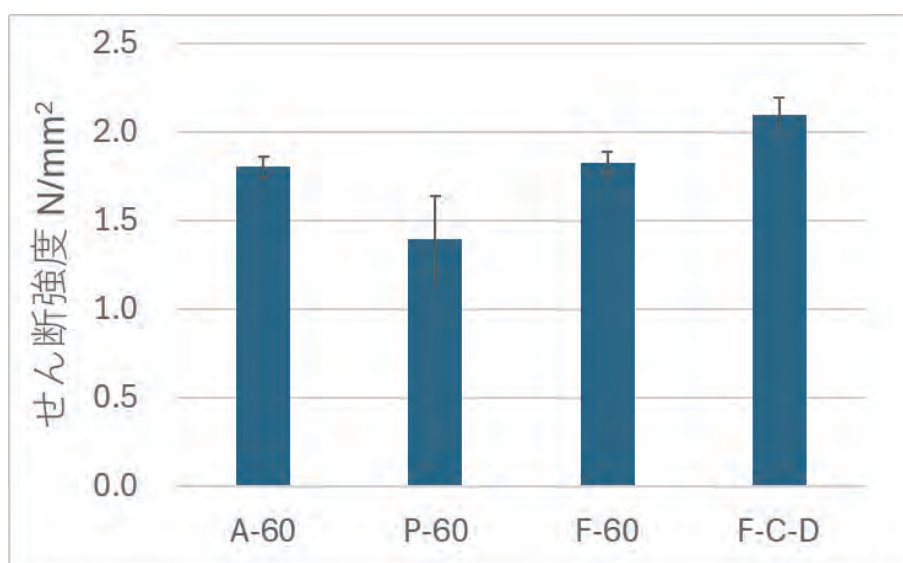


図 7-5 厚さ 90mm スギ合板（ワンショット）逆対称 4 点荷重方式せん断試験結果

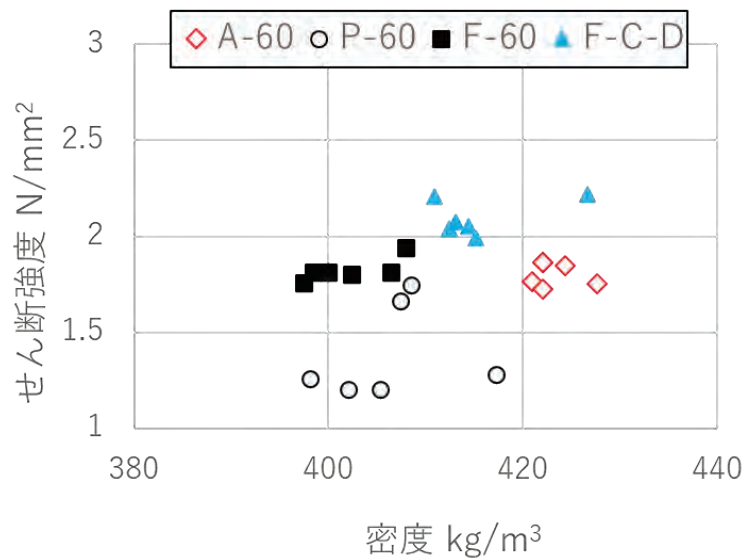


図 7-6 厚さ 90mm スギ合板（ワンショット） 密度とせん断強度の関係

#### 7.4 まとめと今後の課題

今回の検討の結果、45mm 試験体では層構成によるせん断強度の大きな差は認められず、90mm 試験体では、通常考えられる強度の順番の予想（A-60>P-60>F-60>F-C-D）とは異なる結果となっており、層構成の影響よりも製造された合板原板の性能のバラツキの影響の方が大きいという結果となった。合板原板のバラツキの要因の1つとして考えられる密度との関係はほとんどないという結果となっており、

- 1) 接着強度
- 2) 単板の材質
- 3) 裏割れの形状、深さ等の性能

等がその要因として考えられるが、今回の試験の結果からその要因を特定することはできず、接着性能試験結果、曲げ試験との比較検討を行う必要があると考えられる。

また、これまでは層構成、樹種等の仕様が異なる超厚合板原板 1～数枚程度を対象として試験を行ってきたが、ある程度仕様を絞って同一仕様の合板を 20～30 枚程度製造し、その性能を検証する形の試験が必要となってくると考えられる。

## 8. 接合部性能

### 8.1 試験目的

超厚合板のみで構造物を構成する場合の袖壁と垂れ壁・腰壁との接合部や、他構造の軸組に超厚合板を耐力壁として用いた場合の接合部には、モーメント抵抗接合部としての性能が要求される。接合部として鋼板挿入ドリフトピン接合部を用いた場合、モーメントが作用する時の接合具配置は、一方向の荷重が作用する接合部とは異なる接合具配置が要求されるが、その適切な配置に関する知見はまだ得られていない。しかし、超厚合板を構造部材として用いるためには、それらは必要不可欠であり、モーメント抵抗接合部における接合具配置に関する知見を整備する必要がある。本年度はその取り掛かりとして、接合具を表層単板繊維平行方向に1列に配置した場合の縁距離を実験変数とし、縁距離が構造性能に及ぼす影響を検証することを目的とした。

### 8.2 試験体概要

試験体には、構成比率が52.6%である45プライの公称厚さ144mmの超厚合板を用いた。エレメントに用いた単板のヤング係数は平行層及び直交層共に下限値が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。

試験体の大きさは、幅910mm×高さ2,000mmとした。これは、高さ3mの超厚合板耐力壁（反曲点高さを0.5と仮定）に水平荷重が作用した場合の、モーメント抵抗接合部の性能を把握するために、超厚合板試験体木口から高さ1.5m（ $=3\text{m} \times 0.5$ ：反曲点）の位置に水平力を作用させるためである。試験体にはそのためのボルト孔を試験体木口から1.5mの位置に4個設けることを全ての試験体で共通とした。

鋼板挿入ドリフトピン接合部を用いたモーメント抵抗接合部に靱性を付与させる方法は大きく3つに大別することができる。1. ドリフトピン接合のせん断降伏が先行するように設計する。2. 挿入鋼板の曲げ降伏が先行するように設計する。そして、3. 挿入鋼板に溶接された柱脚金物に留め付けた基礎固定用のアンカーボルト軸部の降伏が先行するように設計する、であり、このうち、研究例があるのは、知見の数は多くないが1と3（2はない）である<sup>1)</sup>。集成材を用いた場合の鋼板挿入ドリフトピン接合部では、加力の途中で集成材が割裂し、1の方法で靱性を得るためには、別途割裂補強をする必要があり、多くの場合は3の方法が用いられている。直交集成板を用いたモーメント抵抗接合部においても3の方法を用いた研究が多くなされている。一方、超厚合板は昨年度までの検証で、一方向加力時の接合部において面内割裂破壊はほぼ確認されておらず、モーメント抵抗接合部においても終局時まで超厚合板が面内割裂しない可能性が充分にあり得、従来の木質材料では実現が難しかった1の方法でモーメント抵抗接合部の設計を行うことができる可能性がある。そこで、接合部の納まりは挿入鋼板を溝形鋼で挟み込み、挿入鋼板下部のボルトが試験荷重で弾性範囲内に納まるように設計した。

壁脚部に鋼板挿入ドリフトピン接合部を用いた場合、木質材料と壁脚金物が接すると、両者の間に生じるめり込みにより軸力が発生する。壁脚部の力の釣り合いを考えた場合、その軸力は無視するには大き過ぎるため、めり込みにより生じる軸力を適切に評価する必要がある。しかし、超厚合板木口のめり込み性能について、現時点では十分な知見が得ら

れていないため、その耐力・剛性を適切に評価するのは難しく、また、接合部の純粋なモーメント抵抗を評価することを意図し、超厚合板が  $1/15\text{rad}$  まで回転しても、超厚合板木口が壁脚部金物と接することが無いような試験計画とした。

各試験体には壁脚部片側 6 本、両側で合計 12 本のドリフトピンを配置した。端距離及び表層単板繊維平行方向のドリフトピン間隔は  $5d$  ( $d$ : ドリフトピン径 $=16\text{mm}$ ) で共通とし、縁距離は  $4d$ ,  $5d$ ,  $6d$ ,  $7d$  とした。ドリフトピンは径  $16\text{mm}$  の丸鋼とし、その材質は SS400 である。挿入鋼板も材質 SS400 であり、その厚さは  $9\text{mm}$  とした。超厚合板の厚さ中心に鋼板を挿入するための幅  $11\text{mm}$  のスリットを設け、超厚合板が回転したときに、挿入鋼板が超厚合板と接しないようにスリットと挿入鋼板の面内方向間隔を  $100\text{mm}$  確保した。

鋼板挿入ドリフトピン接合部のモーメント抵抗接合部の特性を実験から適切に得ることが出来るための確認として、挿入鋼板が曲げ降伏及び、座屈を起こさないことの事前解析を行った。また、脚部ボルトが先行降伏しないことの確認も行った。

写真 8-1 に試験体概要、図 8-1 に試験体図、写真 8-2 に接合部納まり、表 8-1 に試験体の基礎物性値一覧、表 8-2 に試験体一覧をそれぞれ示す。

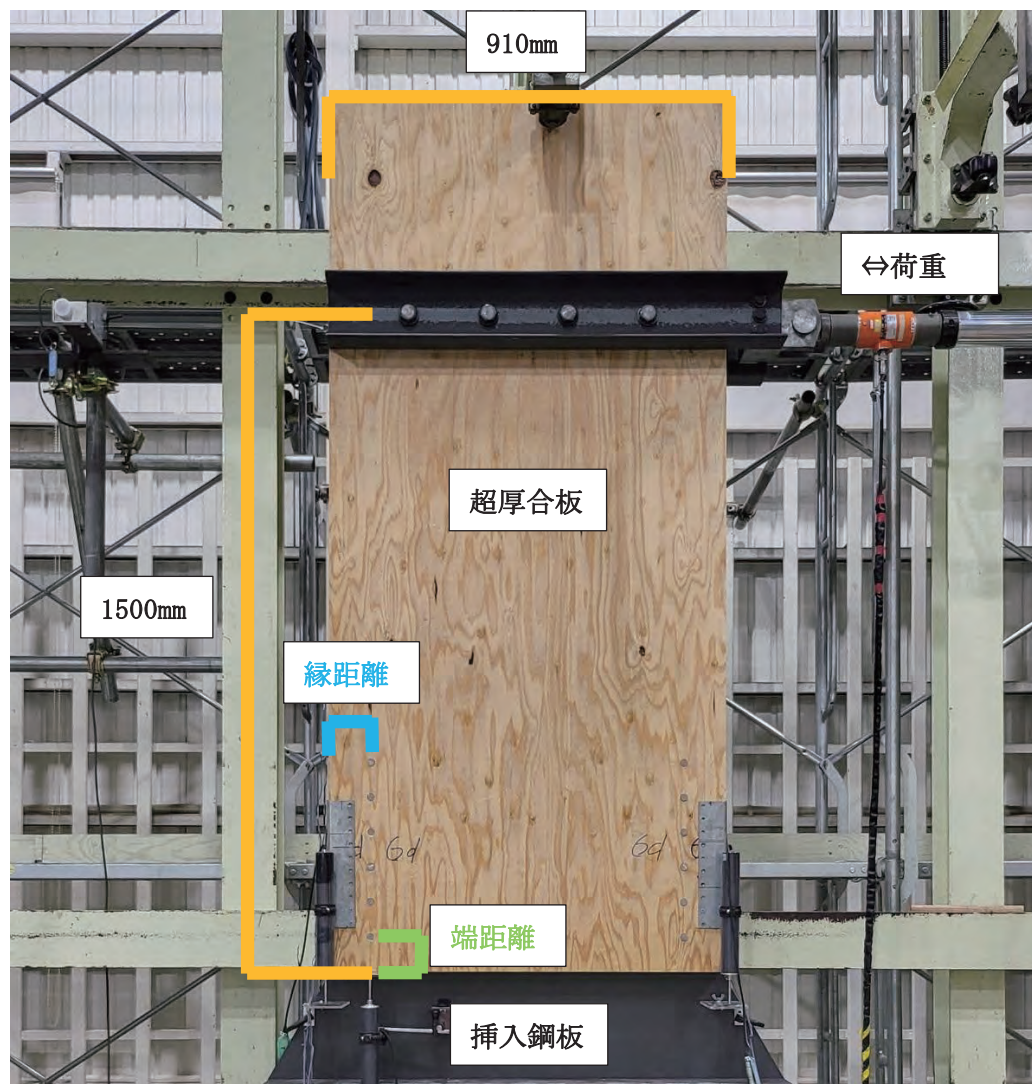


写真 8-1 試験体概要

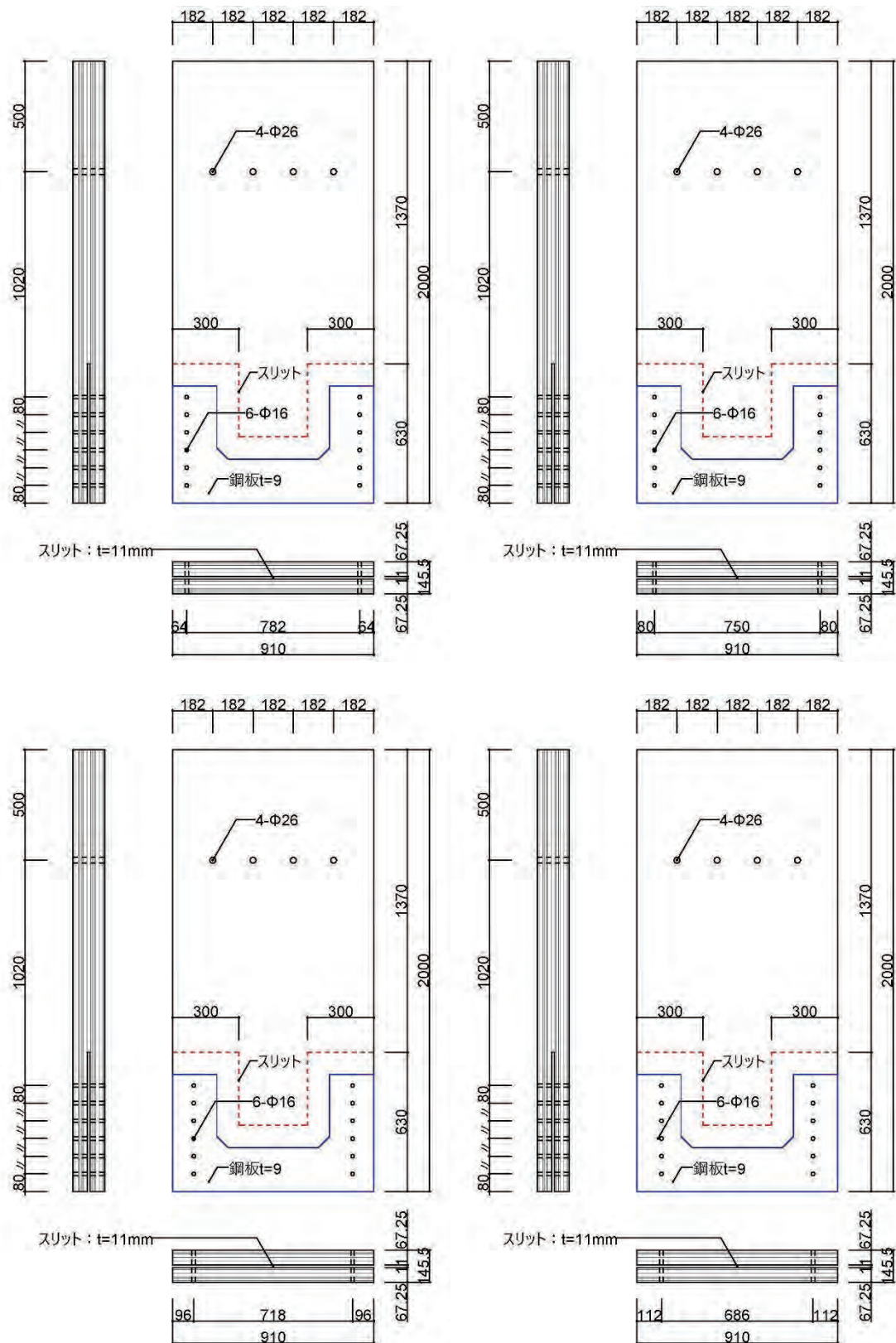


図 8-1 試験体図 (左上: No. 1\_縁距離  $4d$ 、右上: No. 2\_縁距離  $5d$ 、左下: No. 3\_縁距離  $6d$ 、右下: No. 4\_縁距離  $7d$ ) 単位: mm

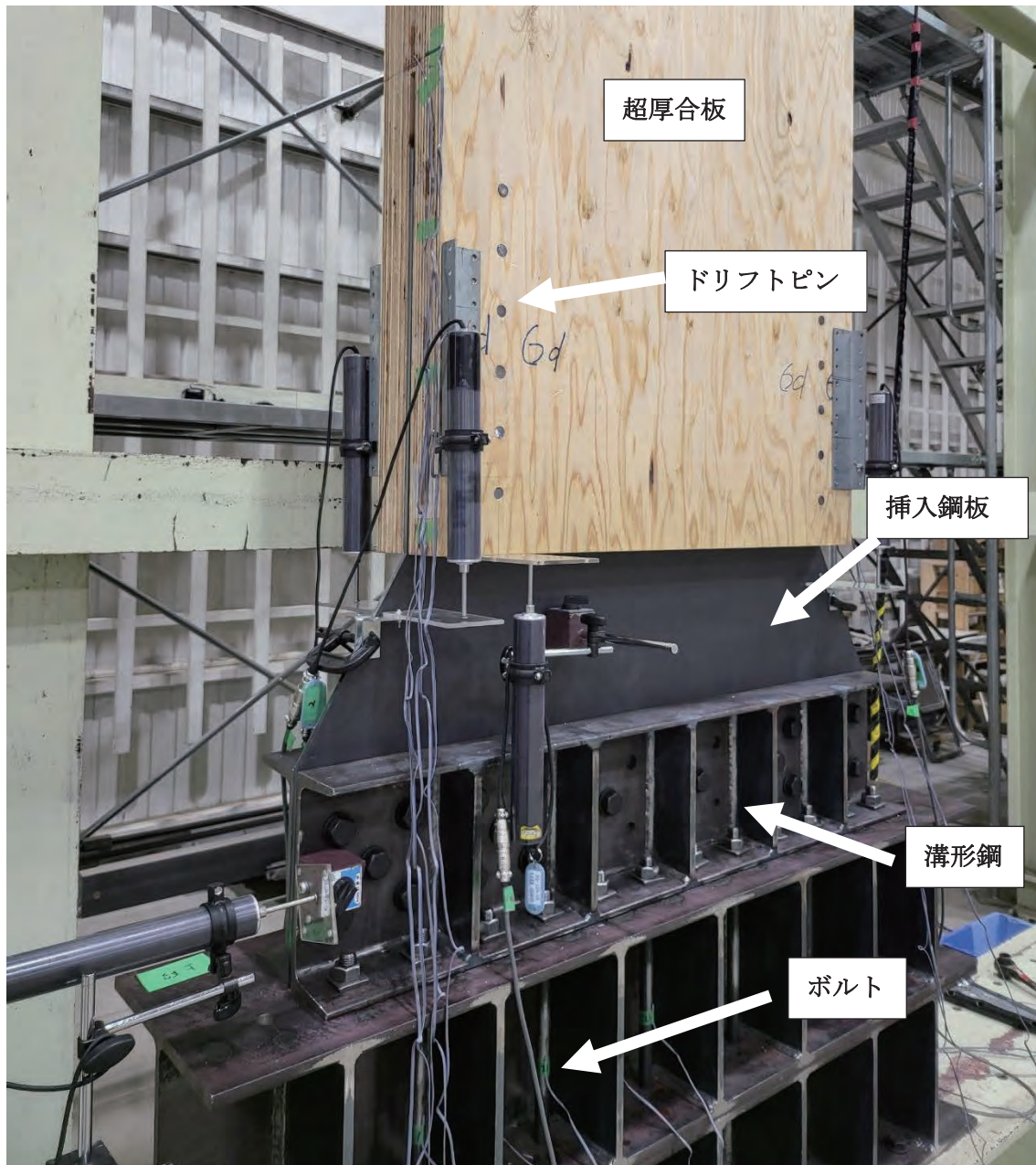


写真 8-2 接合部納まり

表 8-1 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> ] | [%]   | [%] | [%]   |
| 415                  | 3.6   | 9.2 | 6.1   |

表 8-2 試験体一覧

| No. | DP 本数 | 端距離<br>[mm] | 縁距離<br>[mm] |
|-----|-------|-------------|-------------|
| 1   | 6     | 80          | 64          |
| 2   |       |             | 80          |
| 3   |       |             | 96          |
| 4   |       |             | 112         |

### 8.3 試験方法

試験方法は接合部の回転角  $\theta$  が  $1/600, 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50\text{rad}$  の正負 3 回繰り返した後、 $1/30\text{rad}$  を正負各 1 回ずつ行い、正側  $1/15\text{ rad}$  に達するか最大荷重の 8 割以下に低下するまで加力を行うように計画した。回転角は図 8-2 に示した 2 つの変位計によって計測された超厚合板と挿入鋼板の相対変位 ( $\delta_1$  と  $\delta_2$ ) と 2 つの変位計の間の距離  $l$  を式 8-1 に代入して求めた。

$$\text{接合部回転角 } \theta = (\delta_1 - \delta_2) / l \quad (8-1)$$

昨年度までに実施した、一方向加力試験結果からドリフトピンの降伏後に生じる水平分力により、スリット端部を起点とする面外割裂が生じることが確認されている。複数本のドリフトピンを接合部に配置する場合、スリットを開く方向に作用する力により、超厚合板が試験途中で面外に大きく割裂し、適切なモーメント抵抗接合部の評価をすることが難しいことが想定されたので、スリットの開きを抑制するための開き留めを設けて試験を行うことを基本とした。試験は No. 1 から番号順に行ったが、No. 1 と No. 2 の試験ではスリット部の割裂が生じず、開き留めに設けたボルトに生じた軸力も小さかったので、No. 3 では開き留めを設けずに試験を行い、No. 4 では再び開き留めを設けて試験を行った。図 8-2 に試験概略図、写真 8-3 に試験実施状況をそれぞれ示す。

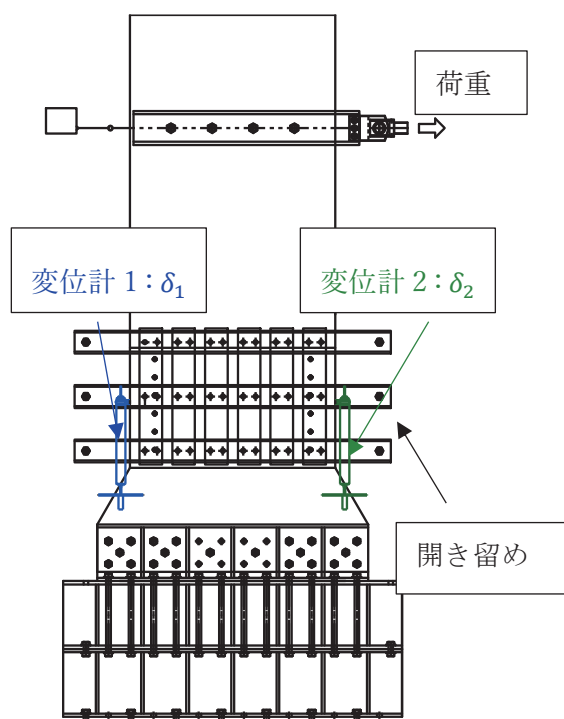


図 8-2 試験概略図

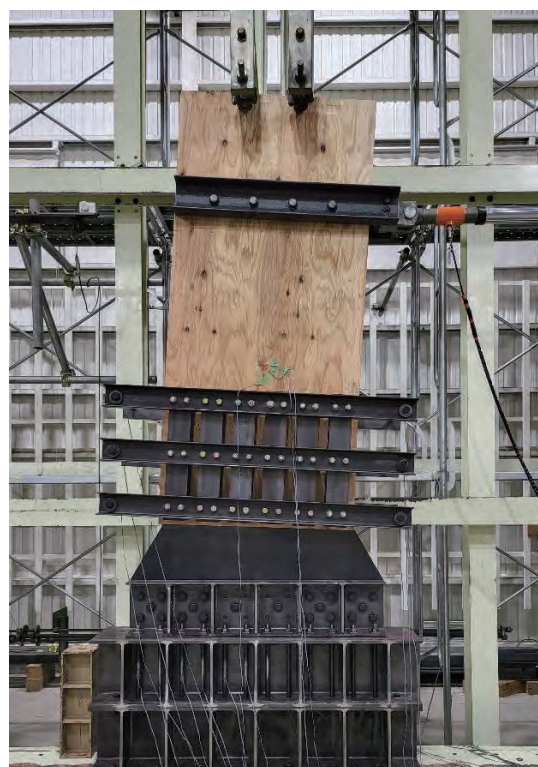


写真 8-3 試験実施状況 (No. 1)

## 8.4 試験結果

### 8.4.1 特性値

接合部のモーメントはロードセルによって計測された水平荷重に加力点から接合部の剛心までの距離を乗じて求めた。得られたモーメントと接合部回転角を用いて包絡線を作成し、完全弾塑性モデル化して特異点を求め、初期剛性：K、降伏モーメント My、終局モーメント Mu、最大モーメント Mmax を算出した<sup>2)</sup>。得られた値を表 8-3 に示す。

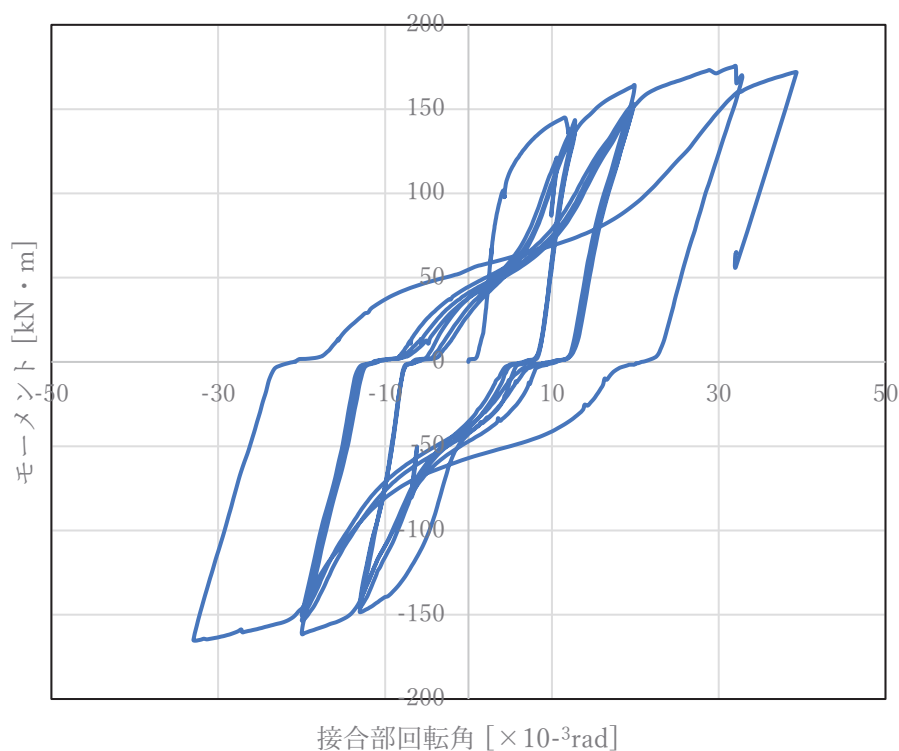
各試験体の最終変形角は No. 1 が 1/25rad、No. 2 が 1/22rad、No. 3 が 1/60rad、No. 4 が 1/50rad であった。No. 1 と No. 2 は超厚合板の引張破壊、No. 3 と No. 4 は挿入鋼板の座屈が生じたため試験を中止した。

表 8-3 試験結果

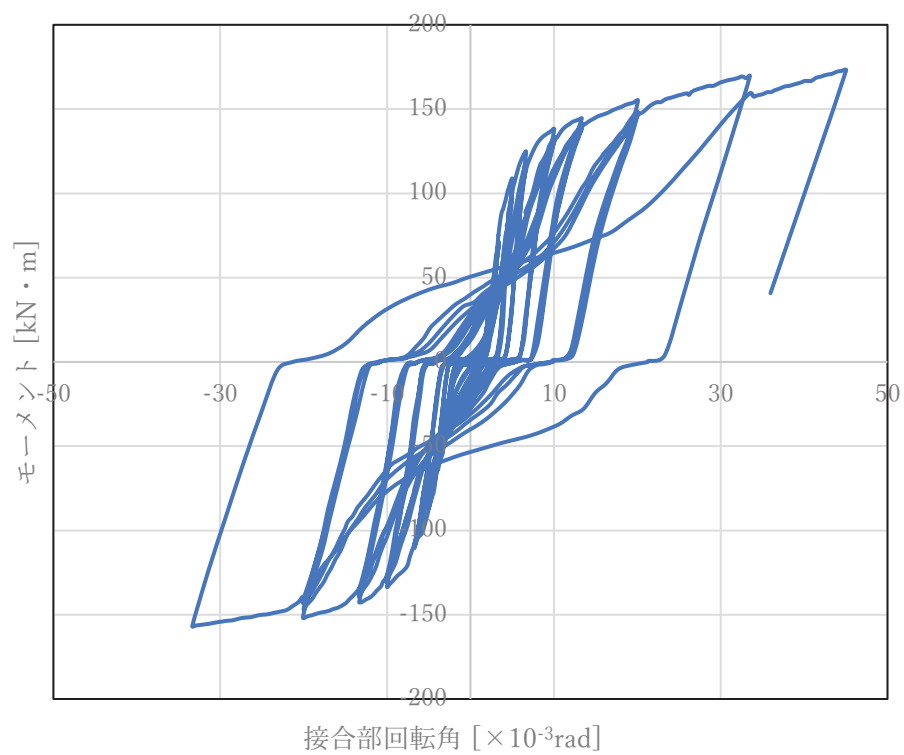
| 試験体 No | K<br>[kN・m/rad] | My<br>[kN・m] | Mu<br>[kN・m] | Mmax<br>[kN・m] |
|--------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| No. 1  | 23445           | 108.0        | 157.5        | 175.5          |
| No. 2  | 19986           | 116.1        | 155.1        | 172.9          |
| No. 3  | 20828           | 98.7         | 148.1        | 169.3          |
| No. 4  | 20075           | 107.9        | 157.1        | 178.8          |

### 8.4.2 モーメントー回転角関係・包絡線

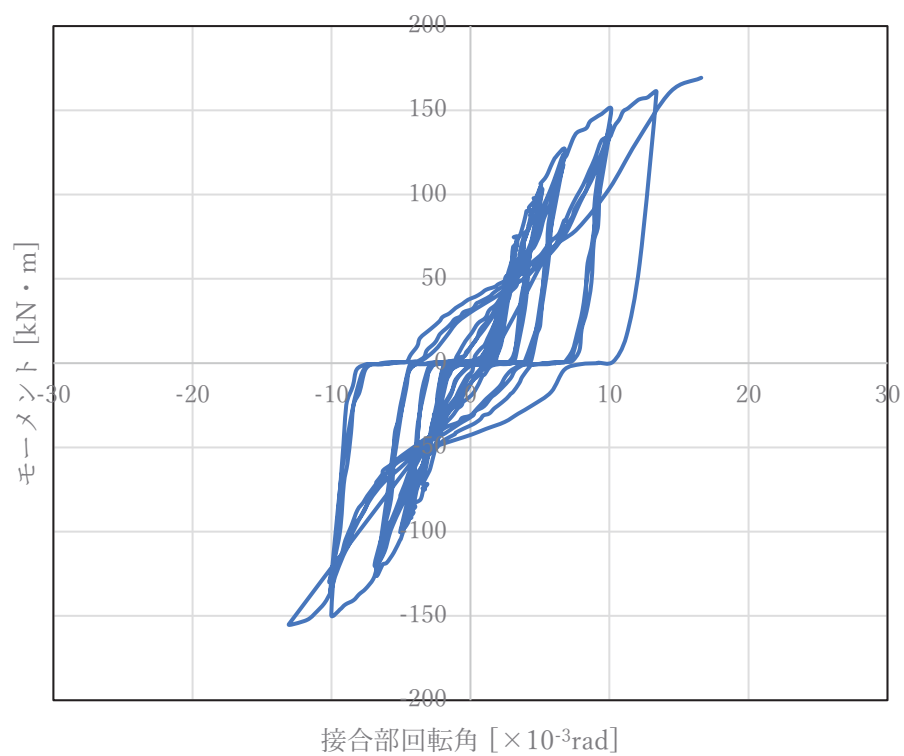
各試験体のモーメントー回転角関係を図 8-3 に、包絡線を図 8-4 にそれぞれ示す。



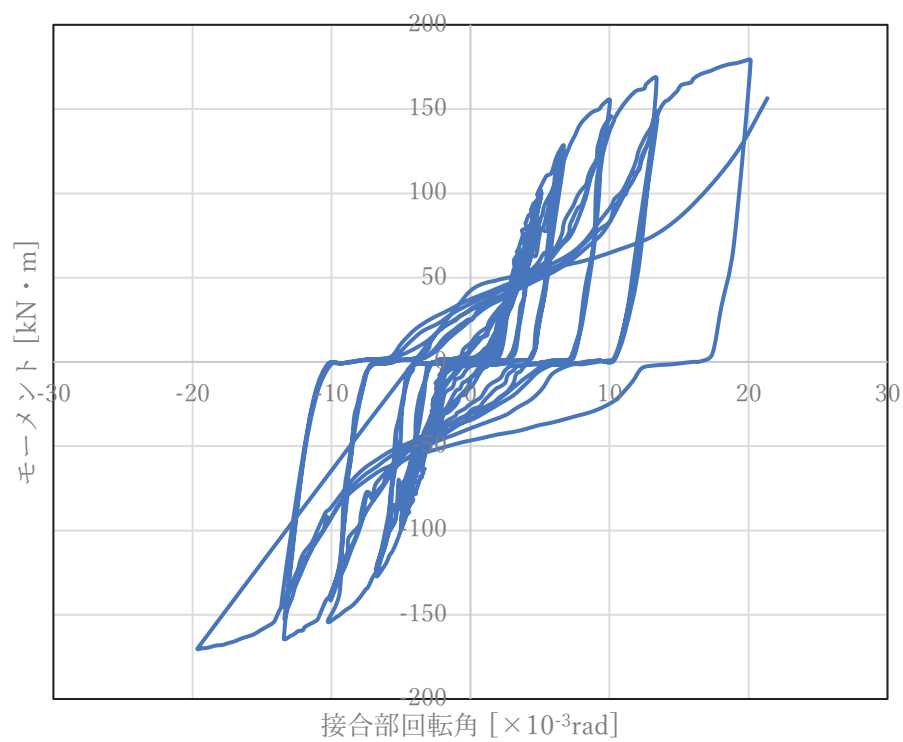
No. 1 試験体モーメントー回転角関係



No. 2 試験体モーメントー回転角関係



No. 3 試験体モーメントー回転角関係



No. 4 試験体モーメントー回転角関係

図 8-3 モーメントー回転角関係

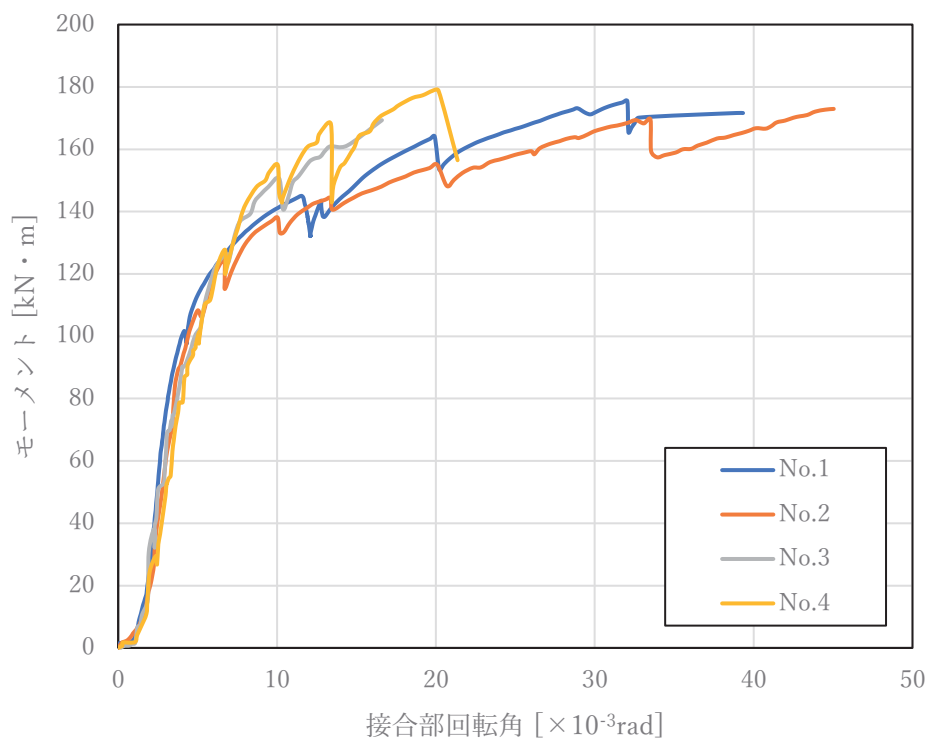
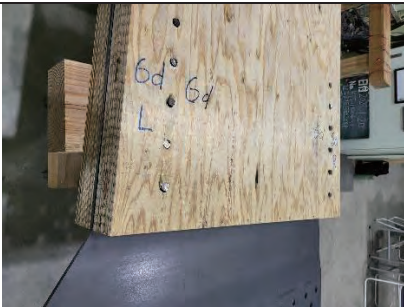


図 8-4 包絡線

#### 8.4.3 破壊性状

各試験体の破壊性状を写真 8-4 から写真 8-11 に示す。

|                                                                                                                  |                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. 1 : 最終変形角 1/25rad                                                                                        |                                                                                                            |
|  <p>写真 8-4 引張破壊：試験体正面</p>       |  <p>写真 8-5 引張破壊：積層面</p>  |
| 試験体 No. 2 : 最終変形角 1/22rad                                                                                        |                                                                                                            |
|  <p>写真 8-6 引張破壊：試験体正面</p>      |  <p>写真 8-7 引張破壊：積層面</p> |
| 試験体 No. 3 : 最終変形角 1/60rad                                                                                        |                                                                                                            |
|  <p>写真 8-8 試験後：超厚合板は損傷無し</p>  |  <p>写真 8-9 プレートの座屈</p> |
| 試験体 No. 3 : 最終変形角 1/50rad                                                                                        |                                                                                                            |
|  <p>写真 8-10 試験後：超厚合板は損傷無し</p> |  <p>写真 8-11 プレート座屈</p> |

#### 8.4.4 ドリフトピン変形状況

各試験体のドリフトピンの変形状況を写真 8-12 から写真 8-15 に示す。

|                                                                                                               |                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. 1                                                                                                     | 試験体 No. 2                                                                                                      |
|  <p>写真 8-12 ドリフトピンの変形状況</p>  |  <p>写真 8-13 ドリフトピンの変形状況</p>  |
| 試験体 No. 3                                                                                                     | 試験体 No. 4                                                                                                      |
|  <p>写真 8-14 ドリフトピンの変形状況</p> |  <p>写真 8-15 ドリフトピンの変形状況</p> |

#### 8.5 まとめ

超厚合板に鋼板挿入ドリフトピン接合を適用し、ドリフトピンを表層単板繊維平行方向に 1 列 6 本配置した実験を行った。縁距離  $4d$ 、 $5d$  では接合部回転角が  $1/25\text{rad}$  程度で超厚合板が引張破壊することが確認された。一方、縁距離  $6d$ 、 $7d$  では縁距離  $4d$ 、 $5d$  で引張破壊が生じた時と同程度のモーメントが作用しても超厚合板が破壊しないことが確認されたが、挿入鋼板の座屈が生じたため、接合部回転角  $1/60 \sim 1/50\text{rad}$  までの性能の確認にとどまった。モーメント抵抗接合部における適切な縁距離は実験条件・方法の改善を行い、追加実験を通して確認する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 一般財団法人 日本建築センター：集成材等建築物構造設計マニュアル、2024 年
- 2) 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター：木造ラーメンの評価方法・構造設計の手引き、2016 年

## 9. 熱・湿気性能、寸法変化

### 9.1 はじめに

近年、地球温暖化防止を目的としたゼロカーボンの流れにより、住宅・建築物の省エネルギーへの取り組みが進んでいる。2017年には大規模建築物から省エネ基準適合の義務化が始まり、2021年には小規模住宅にも省エネ性能の説明義務が導入された。また、2022年には住宅性能表示制度において断熱等性能等級5・6・7が新設され、従来の最高等級であった等級4を上回る水準が提示された。さらに、法改正により2025年4月以降、すべての新築住宅・建築物で省エネ基準（断熱等級4相当）への適合が義務化される。将来的には、2030年に義務基準をZEH相当の等級5へ引き上げる計画も進められている。2025年施行の改正建築基準法では、小規模建築物の確認審査を簡略化していた「4号特例」が縮小され、省エネ基準適合や構造安全性の審査を確実に行う仕組みに改められる。さらに、建築物省エネ法の改正により省エネ適合判定の対象が拡大され、原則としてすべての新築住宅で省エネ基準適合が必須となった。これにより、小規模住宅でも断熱性能や一次エネルギー消費量の計算書類の提出が求められ、設計段階から省エネ性能を確保する体制が強化されている。

このように、ほぼすべての建築物の設計において断熱性能の検討は必須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、その計算に用いられる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り、この場合は熱伝導率とともに透湿抵抗等の湿気に関する性能値が求められる。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言える。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はなっていない。そこで、本事業では断熱性能に関する性能として熱伝導率の測定、湿気に関する性能として透湿抵抗の測定を行うとともに、試験方法の改善点を検討した。また、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おり、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。そこで、超厚合板の吸湿による寸法変化について検討を行った。

### 9.2 断熱性能の測定

本事業では超厚合板の断熱性能を評価するため熱伝導率の測定を実施した。なお、一般に建築物の断熱設計等で使用される合板の熱伝導率の値としては、(一財)住宅・建築SDGs推進センターが示す、 $0.16\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})^{1)}$ が用いられることが多い。

#### (1) 測定方法

令和6年度に本事業で生産された単板構成の異なるスギ超厚合板6種について試験を行った。製造企業において、ベースとなる合板から長さ（表層繊維方向）300mm、幅300mm（一部200mm）の寸法に採寸された供試体を試験体として用いた。納入後の試験体を23℃50%RHの恒温恒湿室内で養生し、1日あたりの質量変化が0.1%以内となったことを確認してから測定に供した。試験体の概要を表9-1に示す。なお、n数は各仕様ごとに5～6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。本測定方法は、試験体の上下に温度を一定に保つ熱板を設置し、両熱板に温度差( $\Delta T$ )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、材料厚さ( $d$ )から熱伝導率を算出する手法である(図 9-1)。本測定においてはネッチジャパン社：HFM-446 を用いた(図 9-2)。メーカー仕様によるサンプルサイズの最大は長さ 305mm×幅 305mm×厚さ 105mm であり、今回の試験体の一部の厚さは試験器のサンプルサイズの最大に近い値となっている。試験体の一例を図 9-3、9-4 に示す。

測定時の材料平均温度は 23℃とし、熱板の温度差を 20℃(高温側 33℃, 低温側 13℃)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), 質量を電子天秤(エーアンドディ社：FZ-5000i, 測定最小値 0.01g)で測定した。また、一連の測定の前に装置付属の校正用標準板(圧縮グラスウール：令和 3 年 8 月校正)を用いて装置の校正を行った。

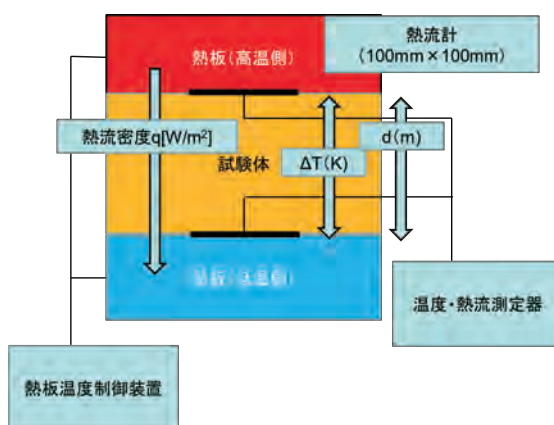


図 9-1 熱伝導率測定概念図



図 9-2 使用した測定装置



図 9-3 試験体の一例(厚さ 90mm)



図 9-4 試験体の一例(厚さ 45mm)

## (2) 測定結果

測定によって得られた結果を表 9-2 に示す。スギ超厚合板の熱伝導率の平均値は 0.091 から 0.099 W/(m・K) の範囲内にあり、すべての厚さの平均値は 0.095 W/(m・K) であった。

表 9-1 熱伝導率測定に用いた試験体（令和 6 年度製造）

| 公称<br>厚さ | 試験体<br>番号 | 単板構成                         | 厚さ(mm) |       | 密度(kg/m <sup>3</sup> ) |      |
|----------|-----------|------------------------------|--------|-------|------------------------|------|
|          |           |                              | 平均     | 標準偏差  | 平均                     | 標準偏差 |
| 90mm     | F9        | 全層60tf/cm <sup>2</sup> 以上    | 89.9   | 0.100 | 424                    | 1.8  |
|          | F11       | 平行層のみ60tf/cm <sup>2</sup> 以上 | 90.4   | 0.144 | 410                    | 3.9  |
|          | F13       | 表層のみ60tf/cm <sup>2</sup> 以上  | 89.5   | 0.300 | 396                    | 5.6  |
|          | F15       | 板面品質C-D                      | 89.9   | 0.267 | 412                    | 7.7  |
| 45mm     | F17       | 全層60tf/cm <sup>2</sup> 以上    | 45.5   | 0.239 | 408                    | 8.1  |
|          | F18       | 平行層のみ60tf/cm <sup>2</sup> 以上 | 45.5   | 0.183 | 398                    | 5.7  |
|          | F19       | 表層のみ60tf/cm <sup>2</sup> 以上  | 45.6   | 0.221 | 409                    | 2.5  |
|          | F20       | 板面品質C-D                      | 45.0   | 0.596 | 418                    | 8.2  |

合板の密度と熱伝導率の関係を図 9-5、9-6 にしめす。一般に木質材料の密度と熱伝導率は正の相関を示すが、今回の密度範囲ではその傾向は明確ではなかった。また、合板の単板の構成ごとの熱伝導率について分散分析を行ったところ、有意水準 0.05 において有意差は公称厚さ 90mm 合板の F9 と F11 および F11 と F13 の間で認められた。

さて、過去において CLT の熱伝導率については測定値の平均に標準偏差の 2 倍 ( $2\sigma$ ) を加えた値を用いて判断した例がある<sup>2)</sup>。今回測定したスギ超厚合板の平均値に  $2\sigma$  を加えた値の最大値は、F11 (90mm：平行層のみ 60tf/cm<sup>2</sup> 以上) の 0.102 であった。この値は、(一財)住宅・建築SDGs推進センターが示す 0.16W/(m・K) より小さい。令和 4～5 年度に測定した 48mm～100mm の超厚合板の熱伝導率の測定値と、スギ超厚合板の令和 4～6 年度の測定値の平均値を表 9-3 に示す。また、令和 4～6 年度生産の超厚合板の密度と熱伝導率の関係を併せて図 9-7 に示す。スギ超厚合板のこれまでの測定値の平均値は 0.097 W/(m・K) であり  $2\sigma$  においても 0.16W/(m・K) 以下であった。このことから、従来合板の熱伝導率として用いられていた値を、今回測定した超厚合板を使用する建築物の設計にそのまま適用することは、断熱性能を過小評価する恐れがあると考えられる。

表 9-2 令和 6 年製造試験体の熱伝導率

| 試験体<br>番号 | 熱抵抗 [(m <sup>2</sup> ・K)/W] |       | 熱伝導率 [W/(m・K)] |       |                |
|-----------|-----------------------------|-------|----------------|-------|----------------|
|           | 平均                          | 標準偏差  | 平均             | 標準偏差  | 平均 + $2\sigma$ |
| F9        | 0.930                       | 0.007 | 0.097          | 0.001 | 0.098          |
| F11       | 0.915                       | 0.013 | 0.099          | 0.002 | 0.102          |
| F13       | 0.935                       | 0.016 | 0.096          | 0.002 | 0.099          |
| F15       | 0.923                       | 0.007 | 0.097          | 0.001 | 0.099          |
| F17       | 0.497                       | 0.008 | 0.092          | 0.001 | 0.094          |
| F18       | 0.497                       | 0.008 | 0.091          | 0.002 | 0.095          |
| F19       | 0.492                       | 0.005 | 0.093          | 0.001 | 0.095          |
| F20       | 0.485                       | 0.016 | 0.093          | 0.002 | 0.097          |

なお、令和 5 年度の熱伝導率測定においては、試験体の厚さが大きくなるにつれて熱伝導率がわずかに増加する傾向が見られた。試験体の厚さが増加すると、高温側の熱盤からの熱が試験体の側面から逃げることで厚さ方向の熱流が減少し、見かけ上の熱伝導率が小さくなる可能性が考えられる。令和 6 年度試験体においても、厚さ 90mm と 45mm の熱伝導率を比較したところ 90mm の値が大きい傾向が認められた。そのため、合板の単板構成によらずに 90mm と 45mm の熱伝導率測定値について分散分析を行った結果、有意水準 0.05 において両者に有意差が認められた。今後は、適切な測定厚さについて再検討する必要がある。また、今後製造される超厚合板は試験装置の熱板間隔の最大値（100mm）を超える場合が想定されるため、試験体を厚さ方向で分割するなどの熱伝導率測定手法の検討も求められる。

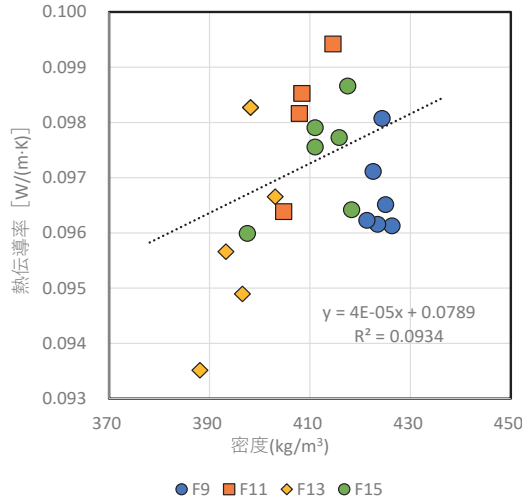


図 9-5 試験体密度と熱伝導率の関係  
(厚さ 90mm)

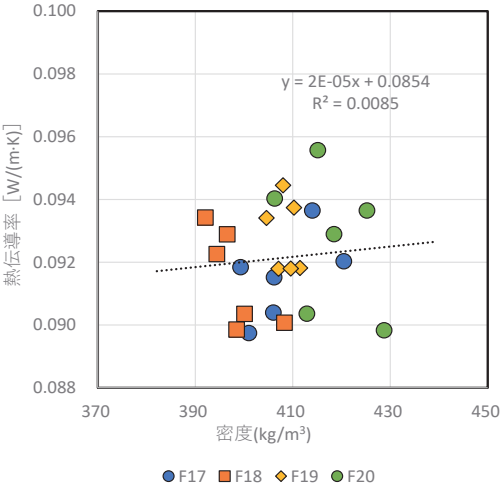


図 9-6 試験体密度と熱伝導率の関係  
(厚さ 45mm)

表 9-3 超厚合板の熱伝導率測定結果（令和 4-6 年度）

| 樹種        | 厚さ(mm) |      | 密度(kg/m³) |      | 熱伝導率 [W/(m・K)] |        |         | 試験体数 |
|-----------|--------|------|-----------|------|----------------|--------|---------|------|
|           | 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   | 0.14 | 418       | 1.7  | 0.097          | 0.0005 | 0.098   | 3    |
|           | 62.3   | 0.72 | 387       | 5.6  | 0.096          | 0.0025 | 0.101   | 3    |
|           | 72.4   | 0.05 | 406       | 3.2  | 0.099          | 0.0026 | 0.104   | 3    |
|           | 97.5   | 0.21 | 413       | 0.7  | 0.100          | 0.0032 | 0.106   | 3    |
|           | 100.4  | 0.75 | 435       | 8.4  | 0.104          | 0.0028 | 0.110   | 12   |
| ヒノキ       | 62.1   | 0.09 | 486       | 10.0 | 0.111          | 0.0069 | 0.125   | 3    |
| カラマツ      | 61.0   | 0.34 | 578       | 12.2 | 0.124          | 0.0029 | 0.130   | 3    |
| スギ (R4-6) |        |      | 414       | 13.5 | 0.097          | 0.0047 | 0.106   | 67   |

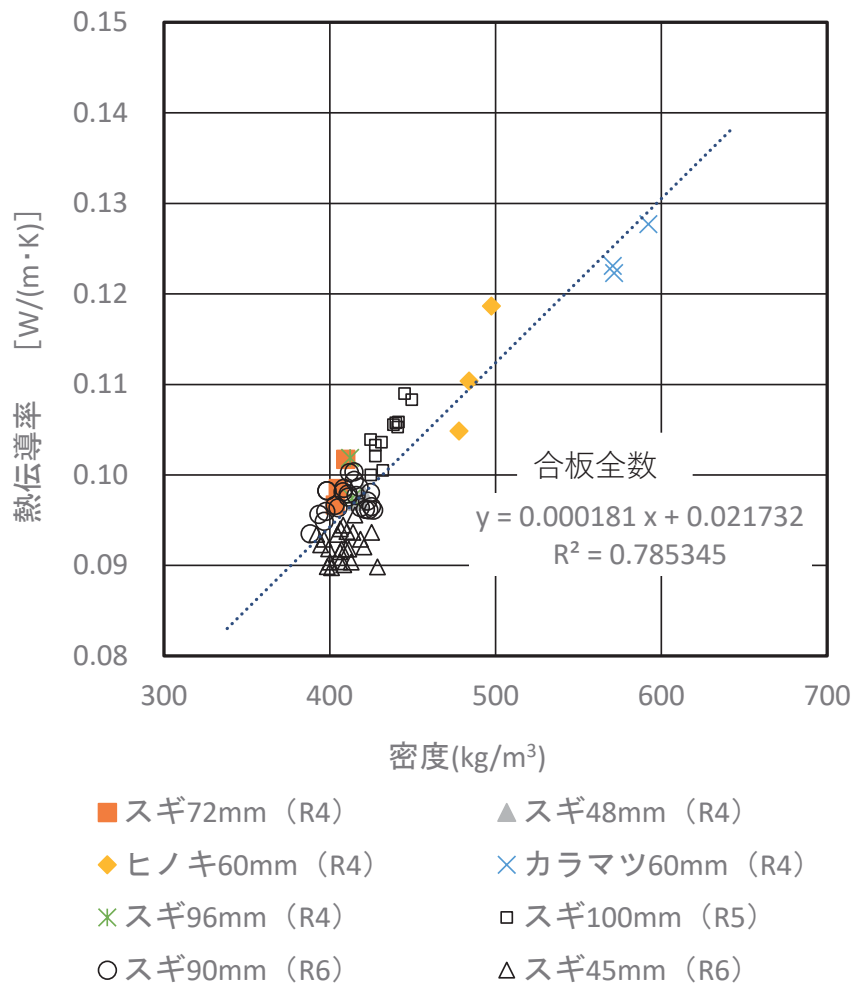


図 9-7 令和 4～6 年度製造の超厚合板の密度と熱伝導率の関係

### 9.3 透湿性能の測定

本事業では、湿気に係る性能のうち透湿性能として内部結露計算等に用いられることの多い透湿抵抗の測定を行った。

#### (1) 測定方法

透湿抵抗の測定には、JIS A 1324「建築材料の透湿性測定方法」に規定される透湿カップ法を用いた。透湿カップ法は、図 9-8 に示すようなアルミ性のカップ状治具内部に、吸湿剤である塩化カルシウムを 500g 充填し、その上に透湿対象部分のみを開放して他の部分をアルミテープで断湿した試験体を設置し、さらに試験体とカップの隙間をアルミテープとパラフィンでシールする。その後、試験体を 23℃50%RH の環境下に置き、質量変化を経時的に測定する。質量増加が一定となった時点で材内の湿気移動が定常状態に達したと

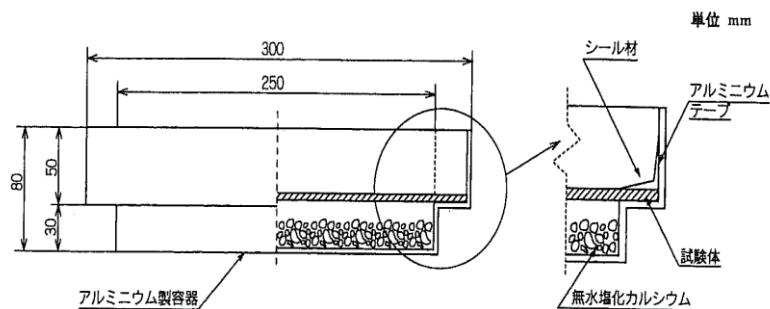


図 9-8 JIS A 1324 における透湿カップの模式図 <sup>3)</sup>

判断し、その時点での質量増加量から透湿抵抗を算出する。なお、試験は質量増加が 50 g を超えた時点で終了することとなっている。これは、吸湿剤である塩化カルシウムの吸湿力が低下するためである。本試験は厚さが 9mm 程度の無機系建築材料を対象として設計されていると考えられるため、近年利用が進む厚物合板や CLT 等の木質材料を測定する場合、試験開始時に材内に存在する水分量が多く、材内の湿気移動が定常状態に達する前に、試験終了の目安である 50 g を超えてしまうことがあった。これを解決するため、森林総合研究所、静岡大学、北海道立総合研究機構林産試験場において、吸湿剤の交換が可能なボルト締め透湿カップが開発された <sup>4)</sup>。本カップは、ステンレス製のカップと試験固定用のボルト締めステンレス枠から構成され、試験体とカップ間のシールにはゴムパッキンを使用している（図 9-9）。

測定に用いた試験体は、令和 3 年度に生産された厚さ 144mm のスギ超厚合板のうち、厚物合板を積層して製造した「2 次接着合板」と、1 回の熱圧で製造する「ワンショット合板」の 2 種類であり、それぞれ n=1、計 2 体である。超厚合板は従来の木質面材料に比べて極めて厚いため、重量変化はカップ内部の吸湿剤による水分移動よりも、試験時の周囲の温湿度変動等による吸放湿の影響を多く受ける可能性がある。また、試験体は試験開始前に 23°C50%RH の恒温恒湿室内で、24 時間あたりの質量変化が 0.1% 以下となるまで養生したが、大断面であるため内部が完全に平衡状態に達していない可能性も考えられる。これらの点から、試験体と同条件で取り扱った合板をブランク試験体として用い、透湿カップ試

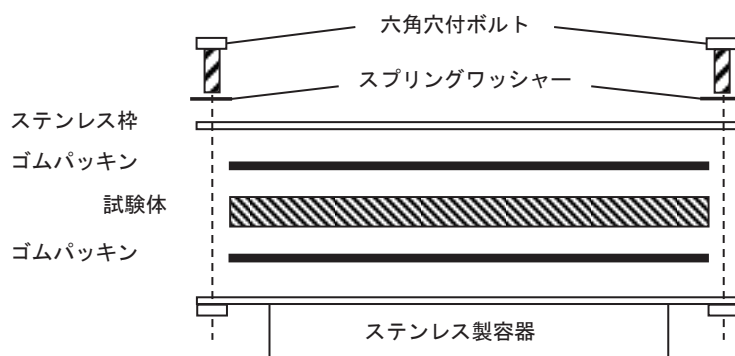


図 9-9 ボルト締め透湿カップの模式図 <sup>4)</sup>

験体と同様に経時的に質量を計測することで、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℃50%RHの恒温恒湿室内に設置し、経時的に質量を測定した(図9-10, 9-11)。質量測定には、電子天秤(エーアンドディ社:GX-32001M, 最小秤量0.1g)を用いた。なお、本試験は令和3年度から継続的に実施している。また、ワンショット合板の試験体については、質量変化量が50gを超えているが、乾燥剤交換による試験期間の延長が懸念されたため、今回はそのまま測定を継続した。

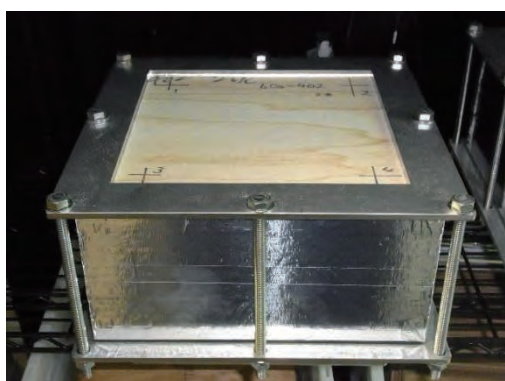


図 9-10 透湿試験体 (透湿カップ)

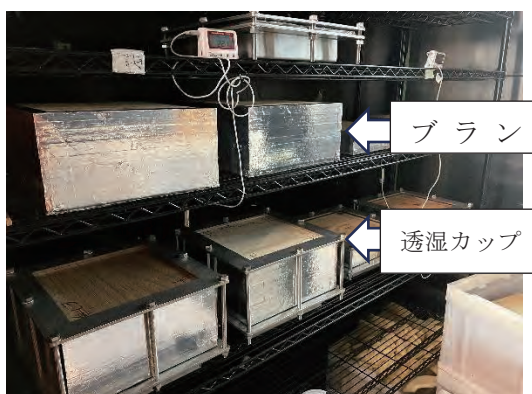


図 9-11 透湿試験の実施状況

## (2) 測定結果

透湿カップ、ブランク試験体の測定値の経時変化を図9-12に示す。2次接着試験体のブランク試験体は吸湿傾向にあったが、600日程度で平衡に達しつつあることがわかる。一方、ワンショット合板のブランク試験体は放湿傾向にあり、1,000日を越えた状態でも平衡に達していない。また、透湿カップの質量変化量からブランク試験体の質量変化量を除

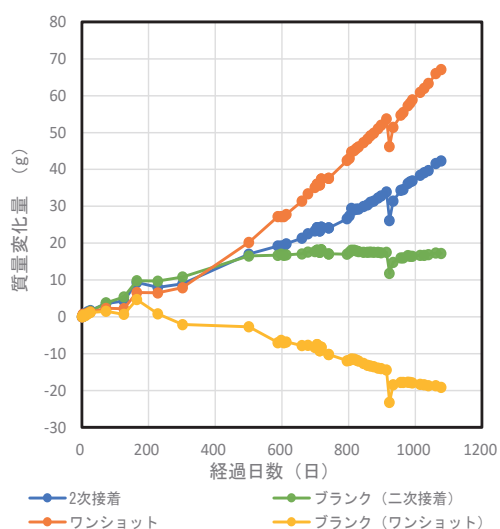


図 9-12 試験体質量の経時変化

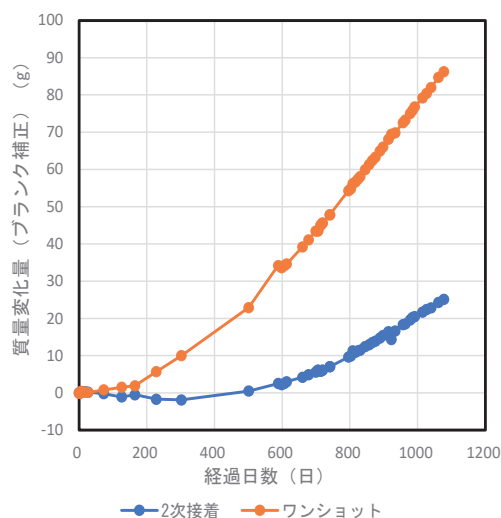


図 9-13 透湿による質量の経時変化

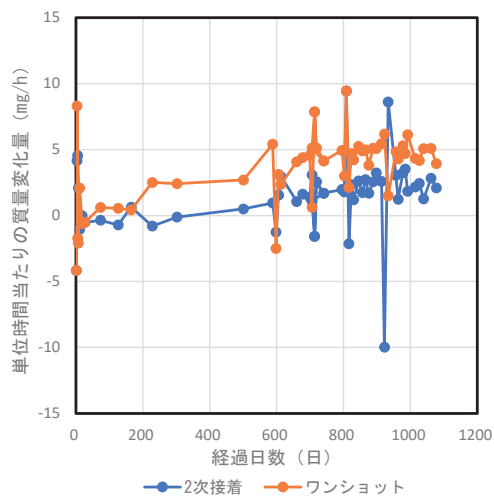


図 9-14 単位時間あたりの質量変化量

したものを透湿による質量変化量として図 9-13 に、測定間隔から計算した単位時間あたり質量変化量を図 9-14 に示す。図 9-14 に示すように 1,000 日を経過した後も単位時間あたりの質量変化は一定にはならず、わずかに増加している。断続的に数値が上下するのは恒温恒湿室の不調・点検によって発生した温湿度の変動によるものである。このように、測定時間が長くなると関連する装置の不調や点検による停止が発生するケースが増え、測定を安定的に行うのが難しい。測定装置の専有時間を含め、厚さ 144mm のような大断面の超厚合板の透湿抵抗の測定は、カップ法では現実的ではないと言える。本測定は今後も継続して行う予定である

が、透湿抵抗の測定手法については他の手法の検討が必要であろう。

#### 9.4 寸法変化の測定

寸法変化の測定として、令和 5 年度生産試験体のうち、公称厚さ 96mm, 72mm, 48mm のスギ超厚合板, 60mm のヒノキ, カラマツ超厚合板（すべて水性高分子イソシアネート系接着剤を使用, ワンショットにて製造）について、温度を 23℃一定のまま相対湿度を 50% から 90% に変化させ、吸湿による厚さ変化を測定した。

##### （1）測定方法

令和 5 年度の試験では、吸湿時間を短縮する目的で、試験体の寸法を「長さ 250mm×幅 20mm×製品厚さ」とした。しかし吸湿による寸法変化を評価した結果、材料寸法の異方性に起因すると考えられるポアソン効果の影響が認められた。そのため本年度は、同じ試験体を用いて寸法を「長さ 95mm×幅 95mm×製品厚さ」に変更した。

ベースとなる合板から製造企業において切り出された供試体から、上記寸法の試験体を各製造条件につき 2 体ずつ作製した。各試験体は加工後、23℃50%RH の恒温恒湿室内に保管し、24 時間あたりの質量変化率が 0.1% になるまで養生を行った。その後、試験体の質量および寸法を測定した。質量測定には電子天びん（エー・アンド・ディ社：FZ-5000i, 秤量最小値 0.01 g）を使用した。

寸法測定では、厚さ方向にリニアゲージ（ミットヨ社：ID-C150XB, 測定最小値 0.001 mm）を用い、中央部および周囲 4 点の計 5 点を測定した。公称厚さが 96～60 mm の試験体では、リニアゲージのストローク外となるため、ブロックゲージ（100 mm, 1 級相当, 新潟精機（株））を基準定規として用い、零点を確保して測定を実施した。表 9-4 に、23℃・50%RH 下での試験体の質量・寸法・密度を示す。

養生後、使用時の吸湿状況を再現する目的で、試験体の側面をアルミテープで断湿処理した。そして加工した試験体を、23℃90%RHの恒温恒湿槽（エスペック社：PR-2J、およびアドバンテック社：THN060FA）に投入し、吸湿試験を行った。吸湿開始から適宜、試験体の質量と厚さの経時測定を実施した（図 9-15）。

表 9-4 試験体番号と層構成の関係

| 樹種   | 公称厚さ | 23℃50%RHでの平均値 |        |        |       |                         |
|------|------|---------------|--------|--------|-------|-------------------------|
|      |      | 質量(g)         | 厚さ(mm) | 長さ(mm) | 幅(mm) | 密度 (kg/m <sup>3</sup> ) |
| スギ   | 96   | 366.1         | 98.03  | 95.2   | 95.1  | 413                     |
|      | 72   | 255.8         | 72.11  | 94.9   | 94.7  | 395                     |
|      | 48   | 183.5         | 48.28  | 95.0   | 95.2  | 420                     |
| ヒノキ  | 60   | 270.9         | 62.30  | 95.1   | 94.6  | 484                     |
| カラマツ | 60   | 330.9         | 61.35  | 95.1   | 95.0  | 597                     |

## (2) 測定結果

図 9-16 に質量の経時変化を示す。途中、測定装置の都合による使用する恒温恒湿器の変更、測定の中断などの事象があったが、試験体の 23℃90%RH の環境下での吸湿状態を維持した。その結果、300 日経過後も大部分の試験体で重量変化が継続していることが確認された。また、図 9-17 に厚さ変化量、図 9-18 に初期厚さに対する厚さ変化率を示す。これらの結果から、重量変化と同様に厚さも増加していることが確認されたが、次第に安定状態に向かいつつあるため、最終的な厚さ変化率は概ね 2.5～3.0%程度になる見込みである。試験が長期となることが明らかとなったため、今後は恒温恒湿器ではなく、飽和塩水溶液で調湿されたデシケータに試験体を移し、測定を継続する方法を検討する。



図 9-15 厚さ測定の様子

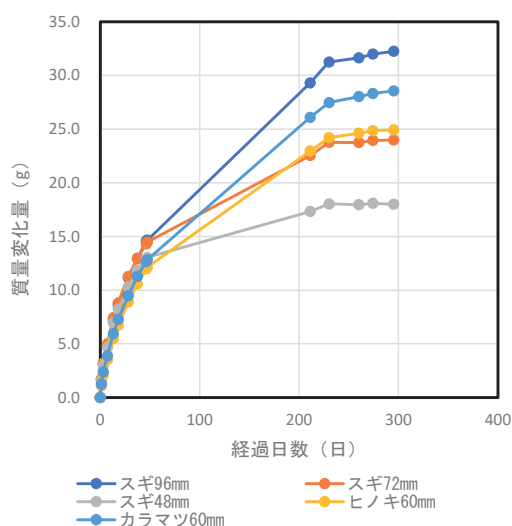


図 9-16 吸湿による質量の経時変化

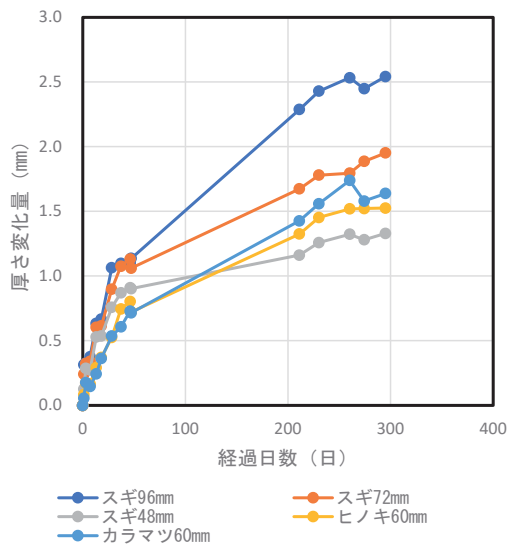


図 9-17 吸湿による厚さの経時変化

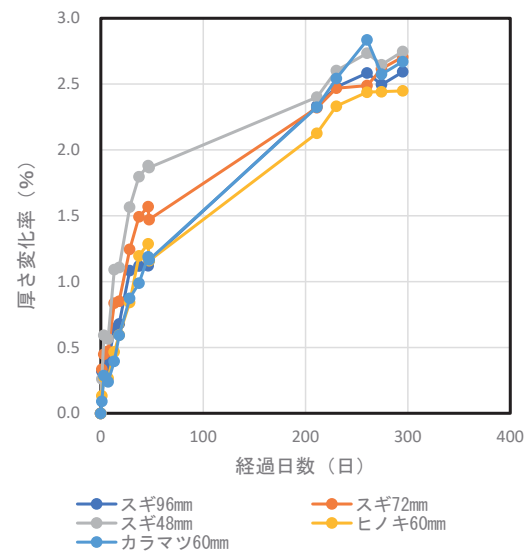


図 9-18 吸湿による厚さ変化率の経時変化

## 9.5 まとめ

- (1) 令和 4～6 年度に製造したスギ超厚合板 68 体の熱伝導率の測定値の平均は  $0.097\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  であり，平均に標準偏差の 2 倍を加えた値は  $0.106\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  以下であった。この値は，一般に建築物の断熱設計等で従来使用される合板の熱伝導率  $0.16\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  よりもかなり小さい。このことから，従来合板に用いられていた熱伝導率を，今回測定した超厚合板を使用する建築物の設計にそのまま適用すると，断熱性能が過小評価される恐れがある。
- (2) 厚さ 144mm のスギ超厚合板について，カップ法による透湿性能の測定では，試験開始から 3 年経過後も安定せず，試験方法の再検討が必要であることが示唆された。
- (3) 側面をアルミテープで断湿した超厚合板の寸法変化は，300 日経過後も微増し安定しなかったが，最終的な寸法変化率は概ね 2.5～3.0%程度になると考えられた。
- (4) 透湿性能測定および寸法変化に関しては，今後も測定手法の検討を行いながら，引き続き測定を継続する予定である。

## 参考文献

- 1) (一財) 住宅・建築 S D G s 推進センター：材料の熱定数表  
[https://www.ibecs.or.jp/best/files/tec\\_info/material\\_3.pdf](https://www.ibecs.or.jp/best/files/tec_info/material_3.pdf) (参照 2024. 3. 19)
- 2) (一財) 住宅・建築 S D G s 推進センター：検討結果回答書  
[https://www.ibecs.or.jp/contact\\_point/files/3-001-1700005.pdf](https://www.ibecs.or.jp/contact_point/files/3-001-1700005.pdf) (参照 2024. 3. 19)
- 3) 日本産業規格：JIS A 1324：1995，建築材料の透湿性測定方法（1995）
- 4) 田中 孝，朝倉靖弘，渋谷龍也：木材工業，79（5），176-181（2024）

## 10. 総括

本事業では、スギを対象樹種とし、全層、平行層のみ、表層のみの単板を  $60\text{tf}/\text{cm}^2$  以上で選別した仕様と表層のみ目視等級区分による C-D で選別した仕様について、厚さ 144、90、45mm の超厚合板を試作し、製造因子の影響について検討した。さらに、超厚合板の曲げ性能、水平せん断性能、強度発現機構、接着性能、接合部性能、断熱・透湿性能および含水率・寸法変化について実験的検討を行い、以下の知見を得た。

### 10.1 試作試験結果について

製品厚さおよび単板の選別水準を変えた超厚合板を試作した。ワンショットにおいても  $3\times 6$  版、 $3\times 10$  板ともに全く問題なく試作できたが、通常の合板仕様の場合、直交層単板が多い構成比率となることから、単板の積層に時間を要することに改善の余地がある。したがって、厚物合板の 2 次接着によって超厚化を図る製造方法も検討すべきである。そのためには、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を考案する等、引き続き検討する必要がある。

### 10.2 曲げ試験結果について

厚さ 45mm のスギ超厚合板の 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(3 等分点)の条件で、曲げ破壊を先行させて試験することが可能であった試験により得られた荷重-変位関係から曲げ強度、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。

供試した試験体の単板の選別程度の影響についてみると、全層選別の場合と平行層選別の場合、強軸方向の曲げ強度、見かけ及び真の曲げヤング係数ともに、大きな差はなかった。表層のみ選別の場合、強度選別、目視選別ともに強軸方向の曲げ強度が低下する傾向が見られたが、強度選別と目視選別では差がなかった。

弱軸方向の曲げ性能については、全層選別と平行層選別では平行層選別において平均値が低い傾向が見られ、単板選別の効果があったものと思われるが、統計的下限值(95%下側許容限界)は一定の傾向が見られなかった。表層のみ選別の場合、弱軸方向の曲げ強度が強軸方向を上回る傾向が見られたが、有意な差ではなかった。測定値の偏差が大きいことが原因であると考えられる。

本年度供試した試験体では、弱軸方向の性能は総じて強軸の 8 割程度であったため、曲げ性能以外の性能に対する単板選別の影響を勘案しながら製品設計を行う必要がある。

### 10.3 水平せん断試験結果について

スギ 144mm、90mm 厚の超厚合板について、単板構成を違えて短スパンの 3 点曲げ中央集中荷重による水平せん断試験を行った。当該試験は、設計用のせん断性能の導出というより、品質管理のための試験として実施した。

その結果、144mm 厚の試験体では、機械選別による仕様ではせん断強さに有意な差がなかったが、目視選別のものは有意に低い値を示した。90mm 厚の試験体では、平行層のみ選別と表層のみ選別の試験体では有意に低い値となり、直交層単板の選別を行っていない影響とも考えられるが、表層のみ目視選別の場合は異なる傾向となった。これについては、

その要因について今後の検討が必要である。また、破壊形態については、概ね選別程度が高いほどせん断破壊を生じる割合が高い傾向となったが、破壊形態によらず測定された強度には有意な差が見られなかった。曲げ破壊したものについては、せん断強度は曲げ強度より高かったと考えられるため、品質管理手法としては短スパン曲げによる方法が適用可能と考えられる。

#### 10.4 接着性能試験結果について

これまでと同様の評価方法を用いて、超厚合板の接着性能の評価可能性を継続検討した。また、接着性能の評価結果を基にして、より良好な超厚合板の製造・接着条件を設定することが可能であるか検証を行った。

減圧加圧剥離試験の結果、試験片全体の剥離率は約 0.1% となり、繰返しによる剥離率の増加もわずかながら見られたが、剥離率として現れるほどではない小さなものであった。単板積層材の JAS 規格における接着剥離の評価基準 5% を判定基準の目安とすると、これらの数値は極めて低いものであるため、今回の製造条件はおおよそ良好であると考えられた。一方、同一接着層における剥離長さについても、単板積層材の JAS 規格の評価基準である「剥離長さが接着層長さの 1/4 以下」を目安とすると、1 試験片における 1 接着層がこれを満たさない結果となった。剥離を生じた当該接着層を破断して内部を観察すると、当該接着層全体で、接着の状態が良好ではないことが確認され、部分的に塗布量や圧縮圧力の不足が生じていた可能性が示唆された。そこで、当初の製造条件及び接着条件を変更して試験体作成を行った結果、変更後の試作試験体の接着性能は良好であったことから、強度等の評価に使用する試験体として供試した。

この一連の検証により、超厚合板と同じく単板をエレメントとする単板積層材の JAS 規格の接着性能評価方法を用いることで、超厚合板の接着性能の評価が可能であること、評価結果を基にして、製造・接着工程の管理改善が可能であることが示された。本事業では、1 仕様の試験体による検証であったが、さらに精度を高めるためには、他の製造条件や製品厚さなど、特に接着工程が異なる場合について検証を行う必要があると考えられる。

#### 10.5 強度発現機構の把握について

合板は、「裏割れ」を有するロータリー単板を直交積層接着させて製造する材料である。強軸方向の曲げ強度は平行層単板が主応力方向に配置されるため、表層単板の材質、平行層を構成する単板のヤング係数の影響を強く受け、裏割れの影響はそれほど大きくないと考えられるが、せん断破壊は直交層の単板の裏割れから発生するローリングシアにより生じるケースがほとんどであるため、裏割れの影響が大きいことが予想される。裏割れは、原木のサイズ・物理的性質（密度・硬さ・未成熟材等）、単板の厚さ、随からの距離等の影響を受け、その角度・程度が変化することが予想され、接着強度にも影響することが予想される。したがって、強軸方向の曲げ強度と比較するとヤング係数による単板選別の影響をそれほど受けない可能性が考えられる。

そこで、超厚合板のせん断強度発現機構を把握するため、逆対称 4 点荷重方式のせん断試験を取り上げ、試験条件と強度性能の関係を検討した。具体的には、単板構成が異なる

4 種類の厚さ 45mm および 90mm のスギ超厚合板に対して、逆対称 4 点荷重方式のせん断試験を行い、単板構成とせん断強度の関係を中心に検討を行った。

その結果、45mm 試験体では層構成によるせん断強度の大きな差は認められず、90mm 厚試験体では、通常考えられる強度の順番の予想（全層選別＞平行層選別＞表層選別＞表層目視選別）とは異なる結果となり、層構成の影響よりも製造された合板原板の性能のバラツキの影響の方が大きい結果となった。合板原板のバラツキの主要因の 1 つと考えられる密度との関係はほとんどなかったことから、

- 1) 接着強度
- 2) 単板の材質
- 3) 裏割れの形状、深さ等

等がその要因として考えられるが、今回の試験の結果からその要因を特定することはできず、接着性能試験結果、曲げ試験との比較検討を行う必要があると考えられる。

また、これまでは層構成、樹種等の仕様が異なる超厚合板原板 1～数枚程度を対象として試験を行ってきたが、ある程度仕様を絞って同一仕様の合板を 20～30 枚程度製造し、その性能を検証する試験が必要となってくると考えられる。

#### 10.6 接合部性能試験結果について

全層選別の 144mm 厚超厚合板を供試し、接合部の性能として鋼板挿入ドリフトピン接合を適用し、ドリフトピンを表層単板繊維平行方向に 1 列 6 本配置した接合部のせん断性能を測定した。

縁距離 4d、5d（d は接合具径）では接合部回転角が  $1/25\text{rad}$  程度で超厚合板が引張破壊することが確認された。一方、縁距離 6d、7d では縁距離 4d、5d で引張破壊が生じた時と同程度のモーメントが作用しても超厚合板が破壊しないことが確認されたが、挿入鋼板の座屈が生じたため、接合部回転角  $1/60\sim 1/50\text{rad}$  までの性能の確認にとどまった。モーメント抵抗接合部における適切な縁距離は実験条件・方法の改善を行い、追加実験を通して確認する必要がある。

#### 10.7 熱・湿気性能、寸法変化に関する試験結果について

熱・湿気性能は建築物の省エネルギー基準の厳格化への対応、寸法変化は建築時の雨掛かりや使用時の吸放湿にともなう寸法の変化を吸収可能な設計の提案にあたって重要である。

熱性能について、熱伝導率を測定した結果、スギ超厚合板の熱伝導率の平均値は 0.091 から 0.099  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  の範囲内にあり、すべての厚さの平均値は 0.095  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  であった。一般に、建築物の断熱設計等で使用される合板の熱伝導率の値としては、（一財）住宅・建築 SDGs 推進センターが示す、0.16 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$  <sup>1)</sup> が用いられることが多いが、本結果では、十分低い熱伝導率となり、断熱設計上、有利であることが示唆された。一方、測定理論上、試験体厚さが増大すると、側面への熱の逃げの影響が生じるため、試験体を薄く裁断するなどの熱伝導率測定手法の検討も必要となると考えられる。

湿気性能について、防露設計に使用される透湿性能を測定した結果、2 次接着型の試験体では、500 日程度で平行に達しつつあったが、ワンショット型の試験体では 1,000 日を

越えても平行に達していないと判断された。2次接着型の試験体の場合、1次製品である台板(厚物合板)は十分な乾燥状態にあり、2次接着層のみが非定常状態であると考えられるが、ワンショット型の場合、全ての接着層が非定常状態にある可能性が高く、湿流が安定しない可能性が考えられる。いずれにしても、透湿経路長(=厚さ)が長い試験体においては、簡便な測定方法の検討が必要と考えられる。

寸法変化について、令和5年度試作試験を行った試験体を用いた測定を継続しており、その結果を検討した。調湿開始後、300日を過ぎても重量変化及び寸法変化は続いているものの、変化量は減少していることから平衡に達しつつあると判断される。最終的な厚さ変化率は2.5~3.0%程度と予測される。

これらの試験項目については測定に長期間を要するため、さらに次年度以降も測定を継続する必要がある。

#### 10.8 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選別程度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、強度発現機構、接合部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・評価をおこな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。透湿性能および含水率・寸法変化については、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(長期使用による耐力性能の低減)およびクリープの影響(長期使用による変形増大係数)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。

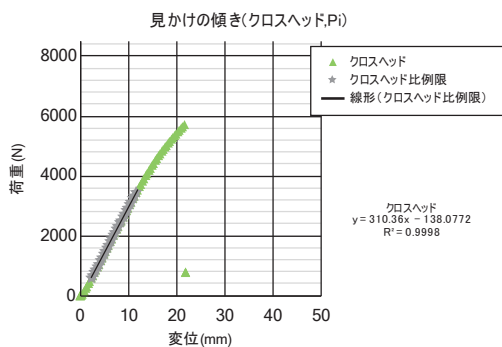
最後に、助成元を始めとする、本事業の実施にあたり多大なご尽力を賜った関係各位に深甚の謝意を表する。

## 11. 付録 11.1 データ、写真

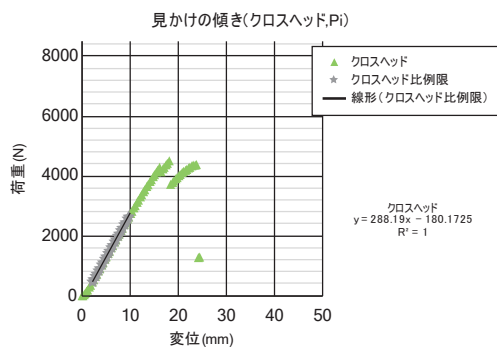
### 11.1.1 曲げ性能

#### 11.1.1.1 見かけの傾きグラフ

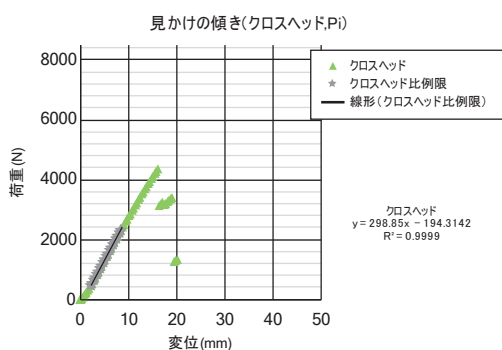
試験体番号: ⑪-1-01



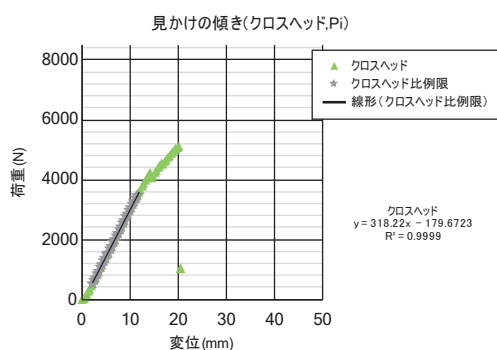
試験体番号: ⑪-1-02



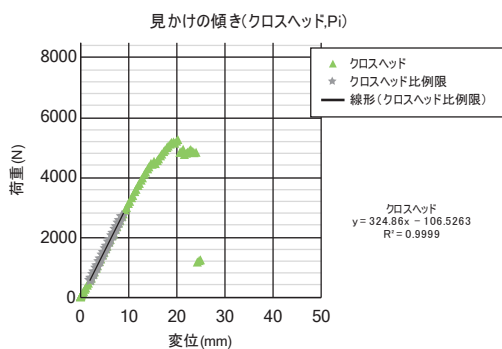
試験体番号: ⑪-1-03



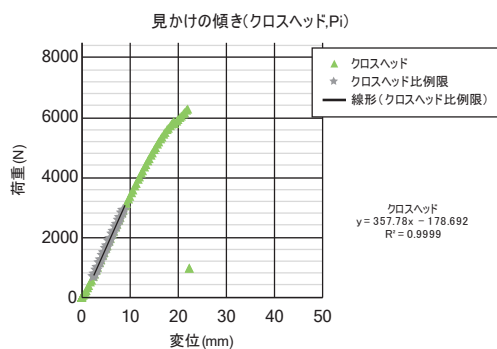
試験体番号: ⑪-1-04



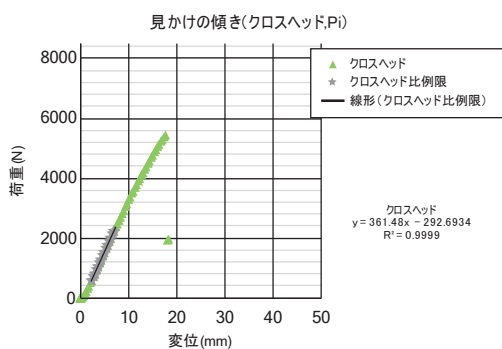
試験体番号: ⑪-1-05



試験体番号: ⑪-1-06



試験体番号: ⑪-1-07



試験体番号: ⑪-1-08

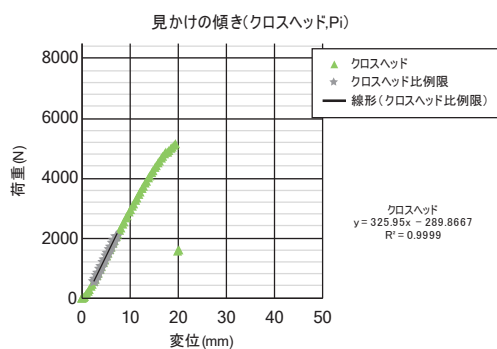
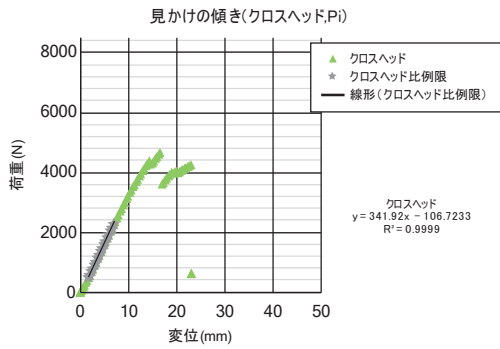
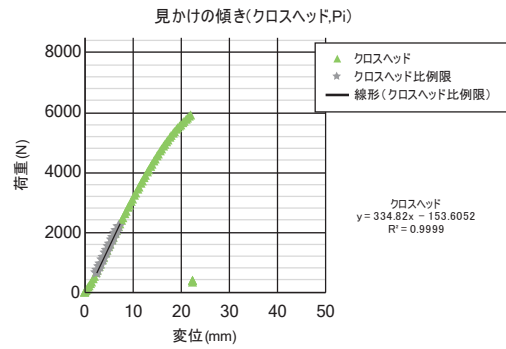


図 11.1.1-1 ⑪-1 強軸 見かけの傾きグラフ (1)

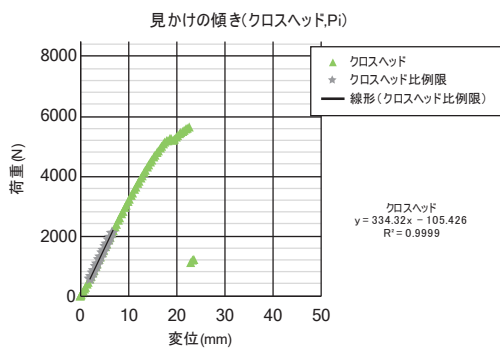
試験体番号: ⑪-2-01



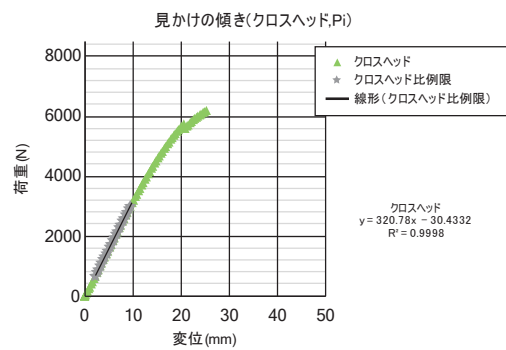
試験体番号: ⑪-2-02



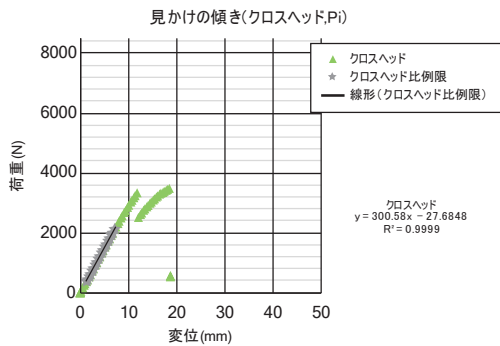
試験体番号: ⑪-2-03



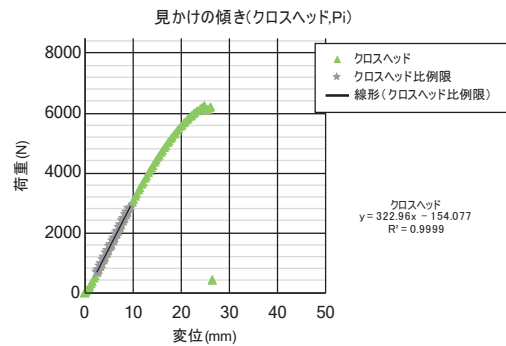
試験体番号: ⑪-2-04



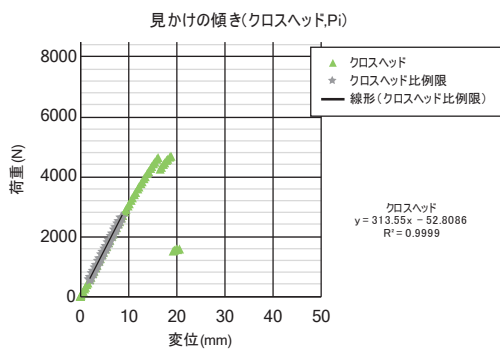
試験体番号: ⑪-2-05



試験体番号: ⑪-2-06



試験体番号: ⑪-2-07



試験体番号: ⑪-2-08

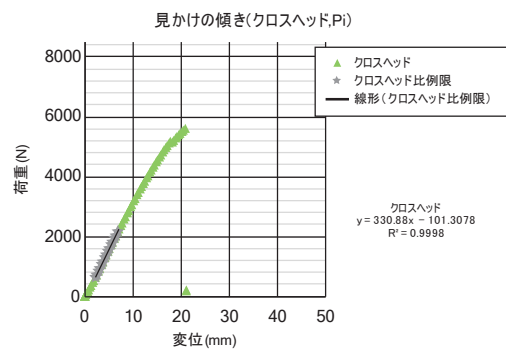
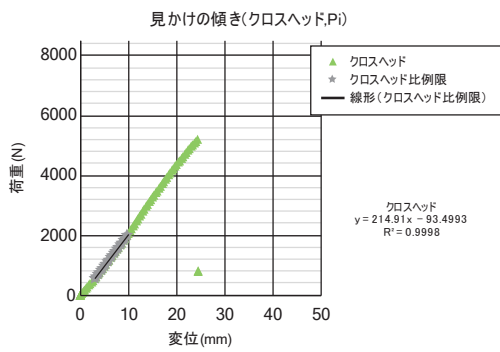
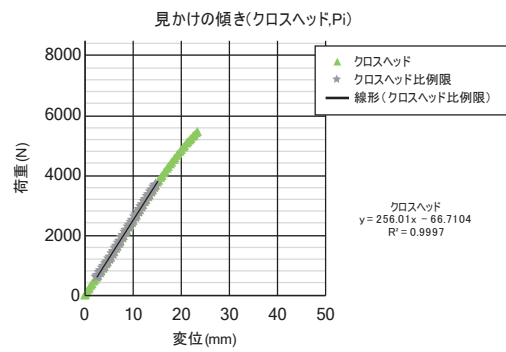


図 11. 1. 1-2 ⑪-2 強軸 見かけの傾きグラフ (2)

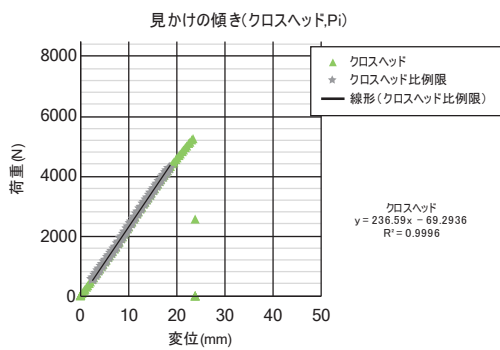
試験体番号: ⑪-1-09



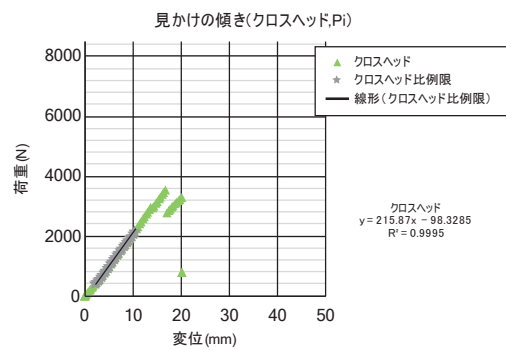
試験体番号: ⑪-1-10



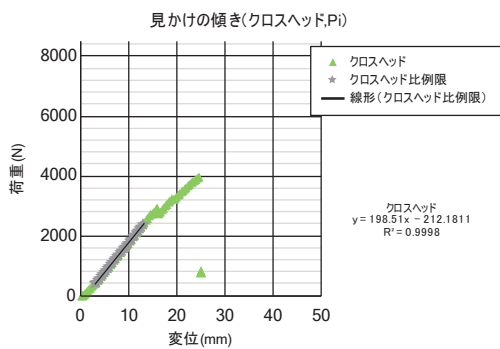
試験体番号: ⑪-1-11



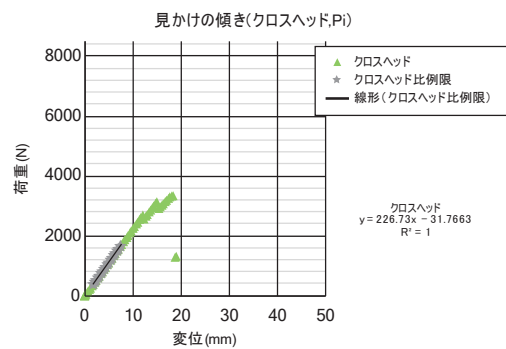
試験体番号: ⑪-1-12



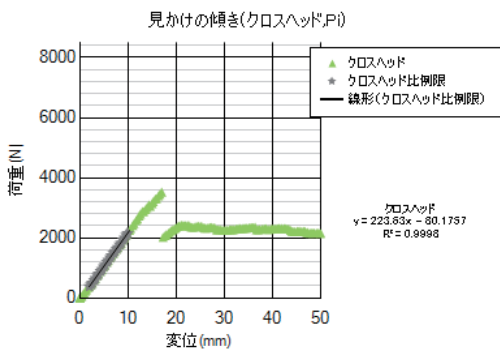
試験体番号: ⑪-1-13



試験体番号: ⑪-1-14



試験体番号: ⑪-1-15



試験体番号: ⑪-1-16

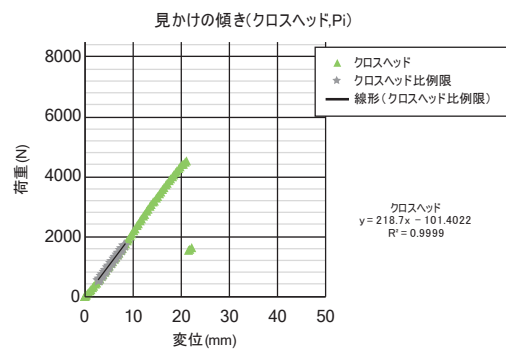
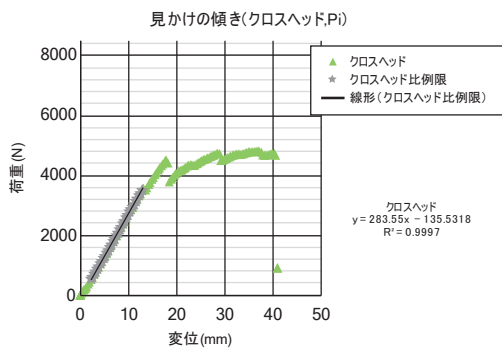
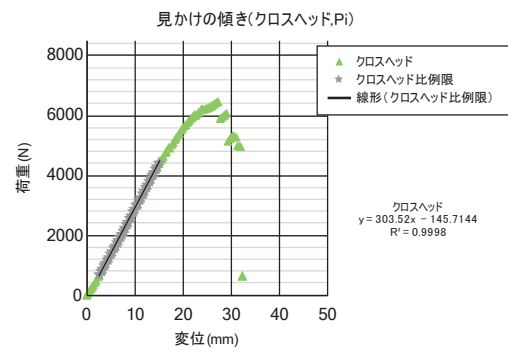


図 11. 1. 1-3 ⑪-1 弱軸 見かけの傾きグラフ (1)

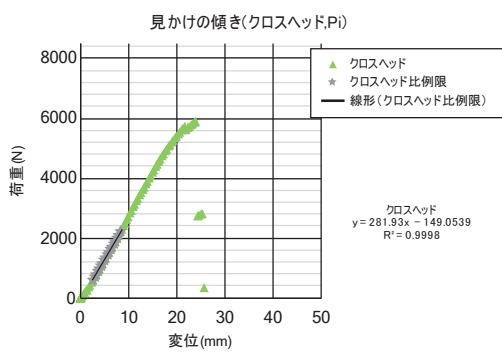
試験体番号: ⑪-2-09



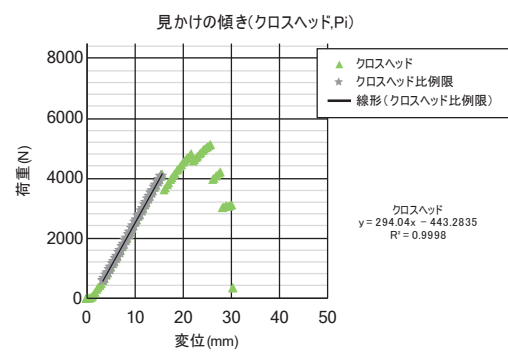
試験体番号: ⑪-2-10



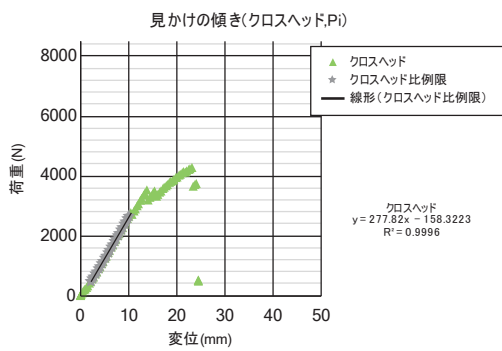
試験体番号: ⑪-2-11



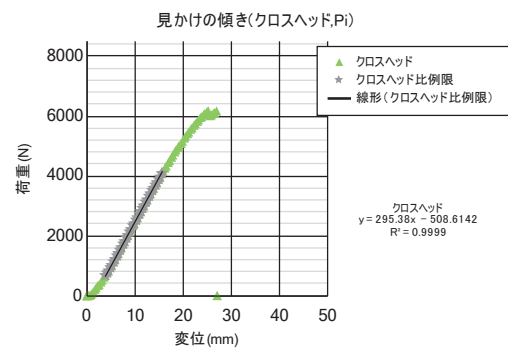
試験体番号: ⑪-2-12



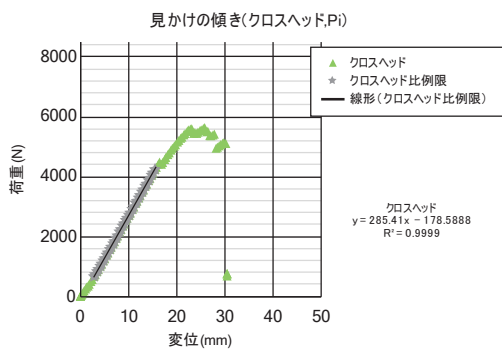
試験体番号: ⑪-2-13



試験体番号: ⑪-2-14



試験体番号: ⑪-2-15



試験体番号: ⑪-2-16

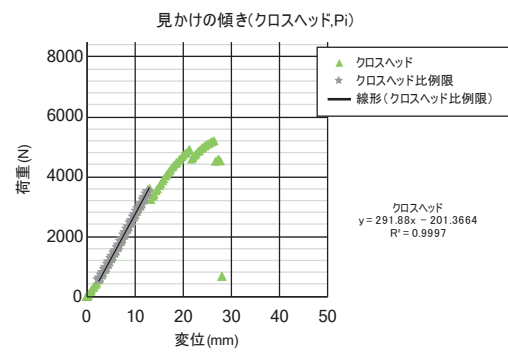
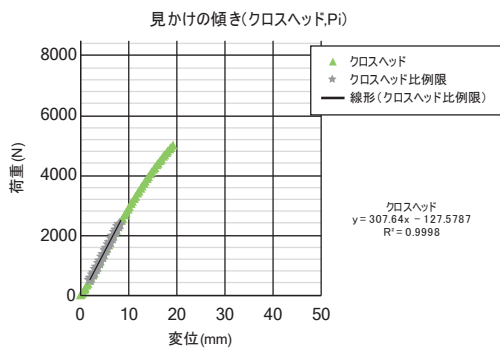
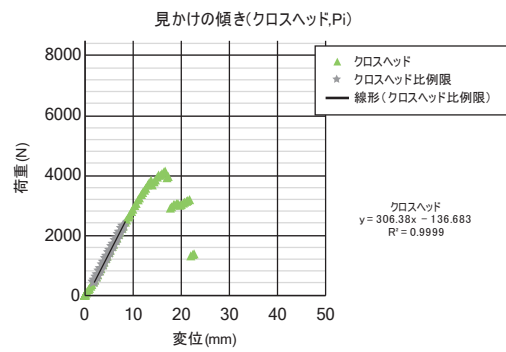


図 11. 1. 1-4 ⑪-2 弱軸 見かけの傾きグラフ (2)

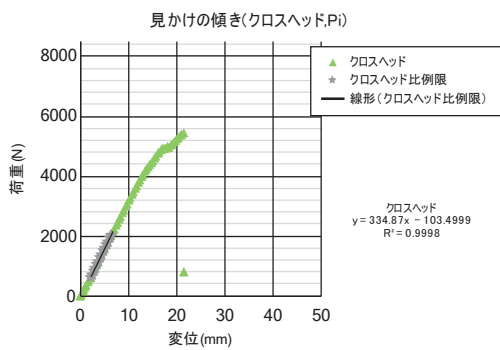
試験体番号: ⑩-1-01



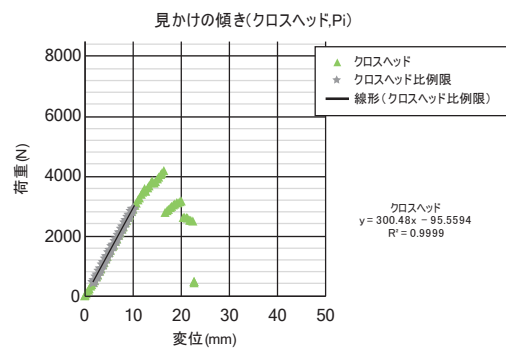
試験体番号: ⑩-1-02



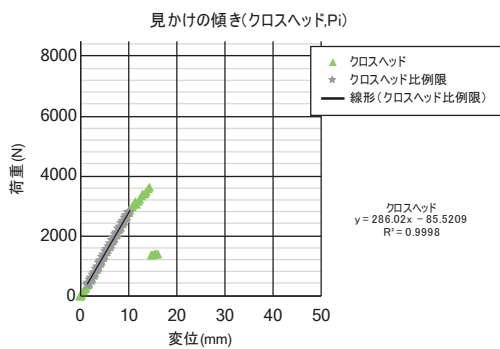
試験体番号: ⑩-1-03



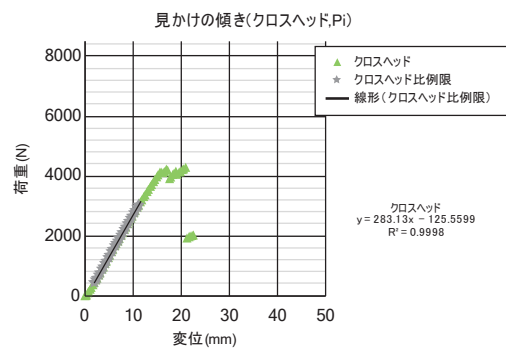
試験体番号: ⑩-1-04



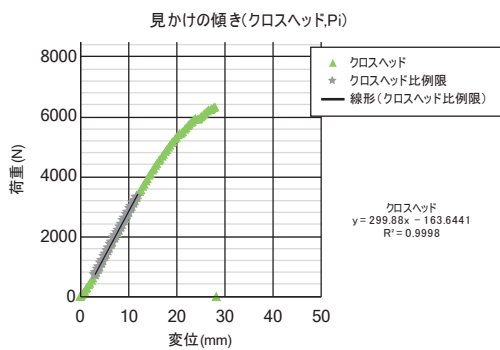
試験体番号: ⑩-1-05



試験体番号: ⑩-1-06



試験体番号: ⑩-1-07



試験体番号: ⑩-1-08

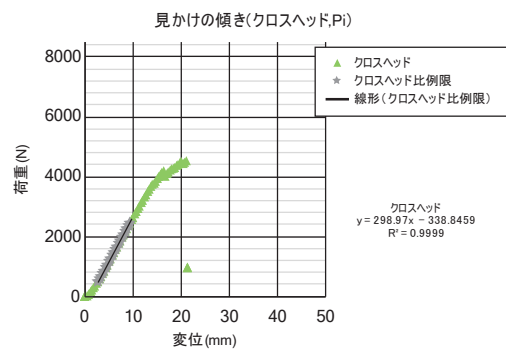
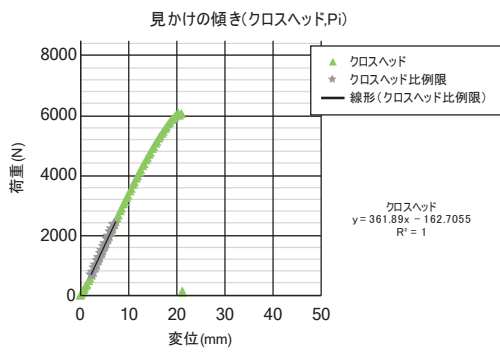
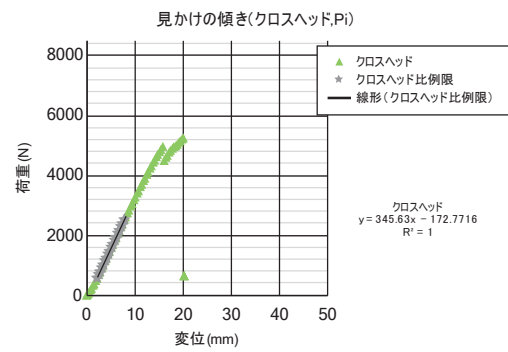


図 11. 1. 1-5 ⑩-1 強軸 見かけの傾きグラフ (1)

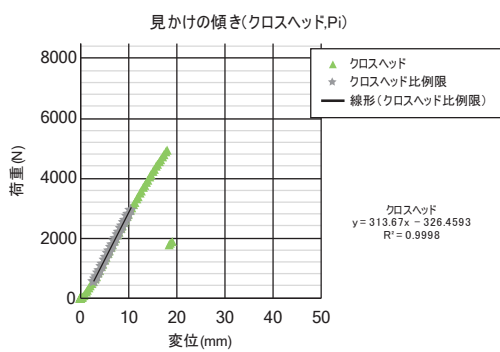
試験体番号: ⑩-2-01



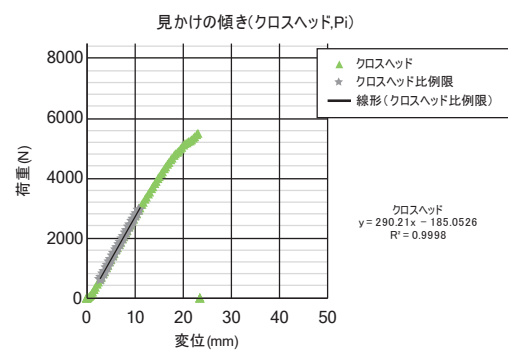
試験体番号: ⑩-2-02



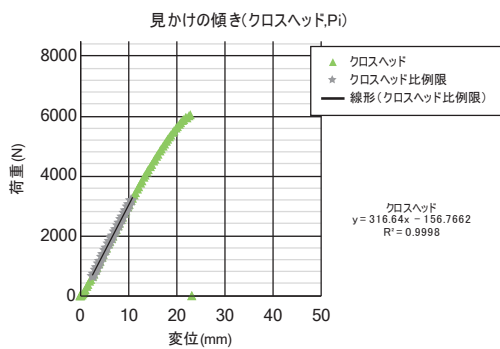
試験体番号: ⑩-2-03



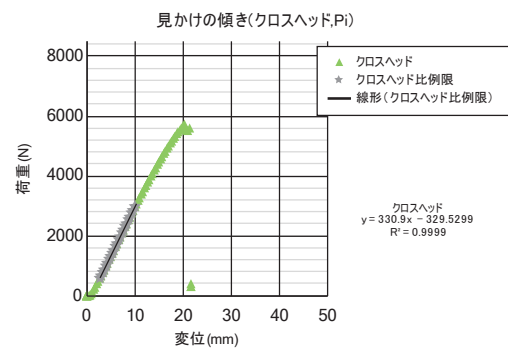
試験体番号: ⑩-2-04



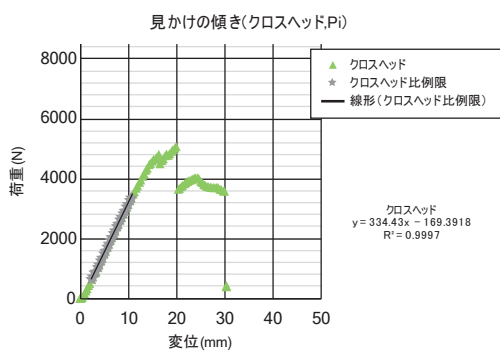
試験体番号: ⑩-2-05



試験体番号: ⑩-2-06



試験体番号: ⑩-2-07



試験体番号: ⑩-2-08

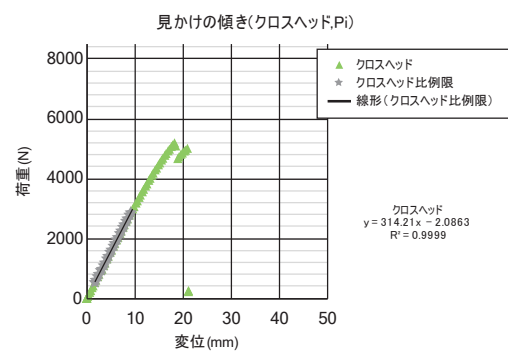
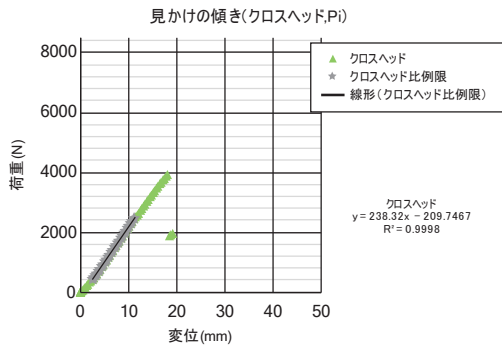
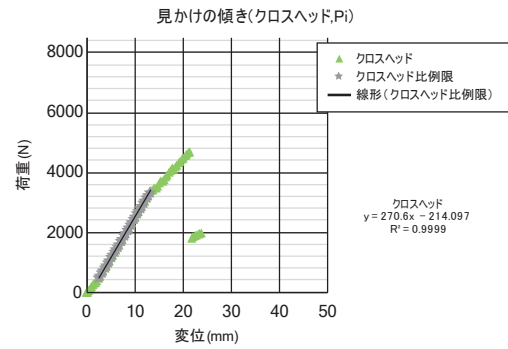


図 11. 1. 1-6 ⑩-2 強軸 見かけの傾きグラフ (2)

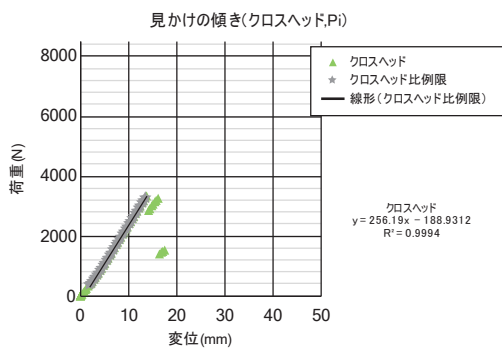
試験体番号: ⑩-1-09



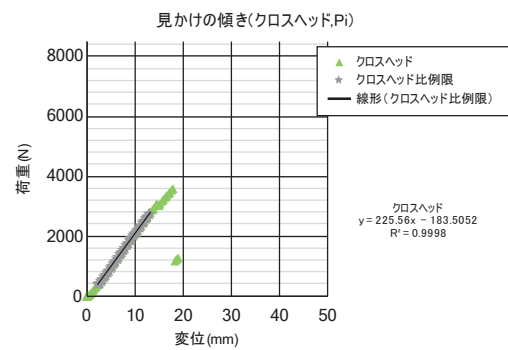
試験体番号: ⑩-1-10



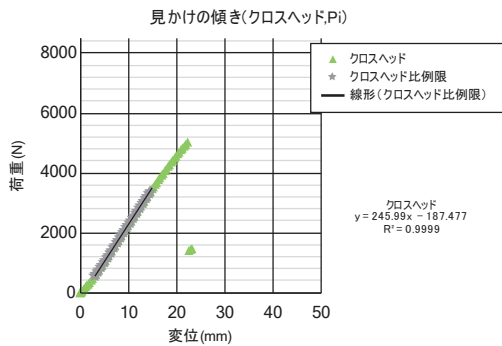
試験体番号: ⑩-1-11



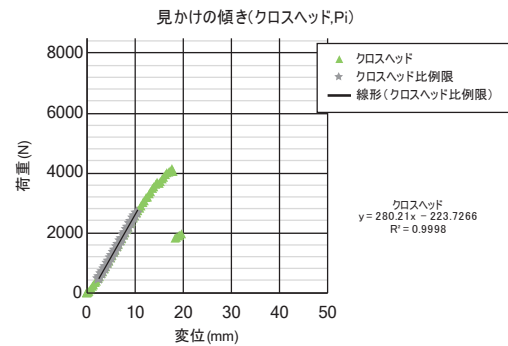
試験体番号: ⑩-1-12



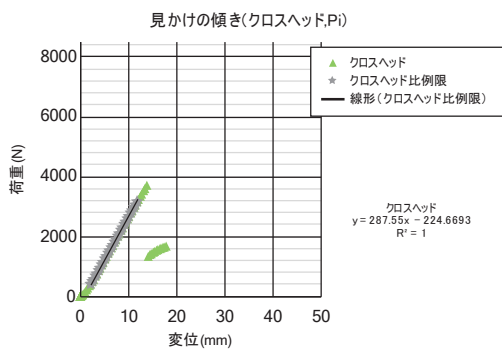
試験体番号: ⑩-1-13



試験体番号: ⑩-1-14



試験体番号: ⑩-1-15



試験体番号: ⑩-1-16

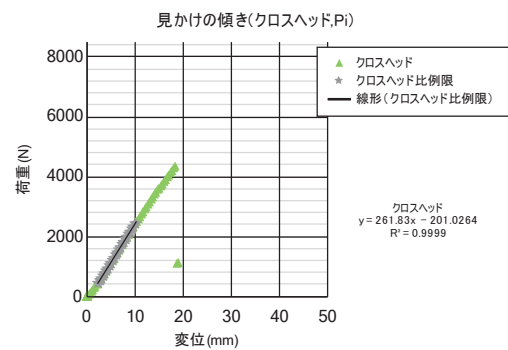
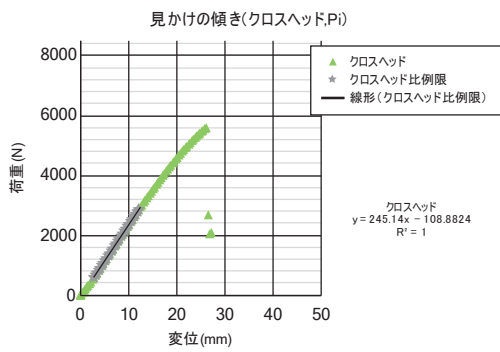
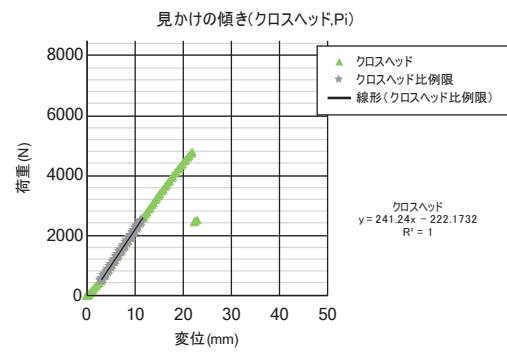


図 11. 1. 1-7 ⑩-1 弱軸 見かけの傾きグラフ (1)

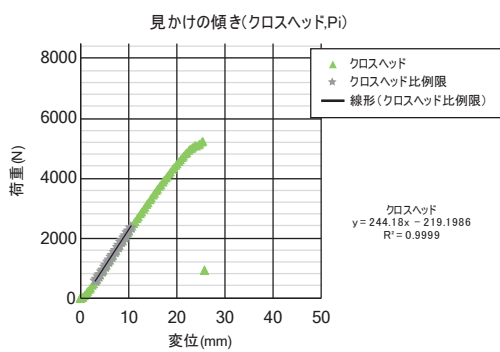
試験体番号: ⑩-2-09



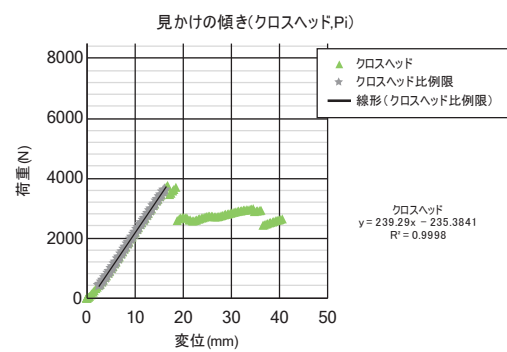
試験体番号: ⑩-2-10



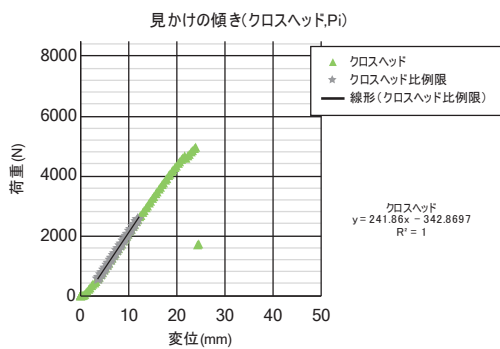
試験体番号: ⑩-2-11



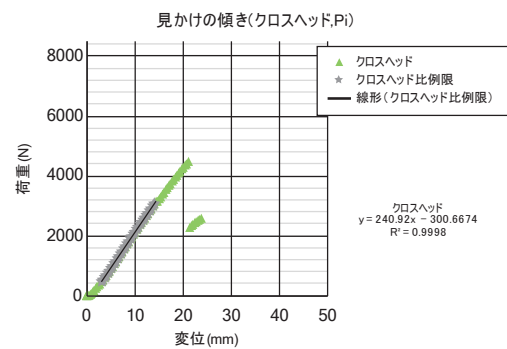
試験体番号: ⑩-2-12



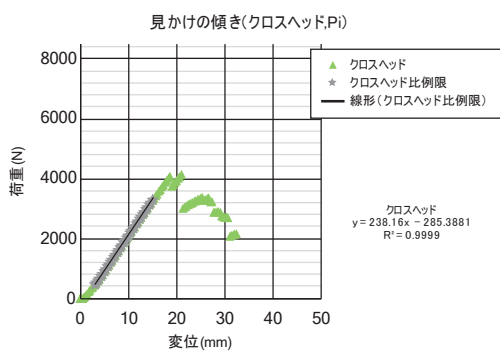
試験体番号: ⑩-2-13



試験体番号: ⑩-2-14



試験体番号: ⑩-2-15



試験体番号: ⑩-2-16

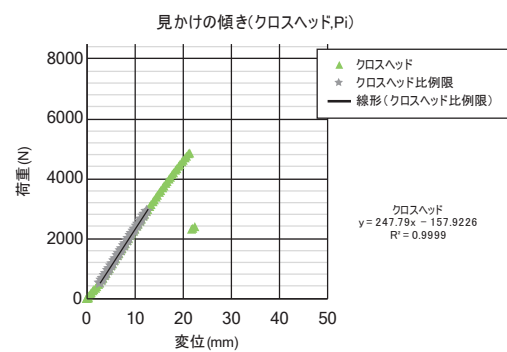
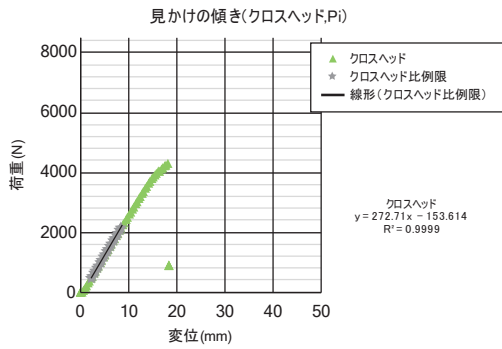
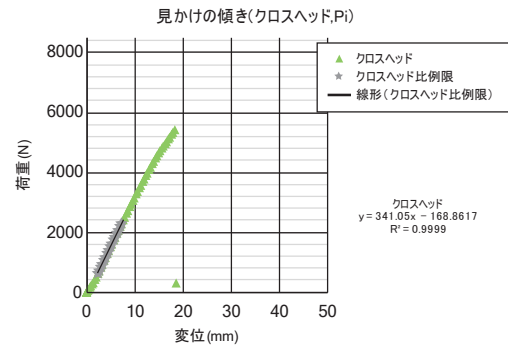


図 11. 1. 1-8 ⑩-2 弱軸 見かけの傾きグラフ (2)

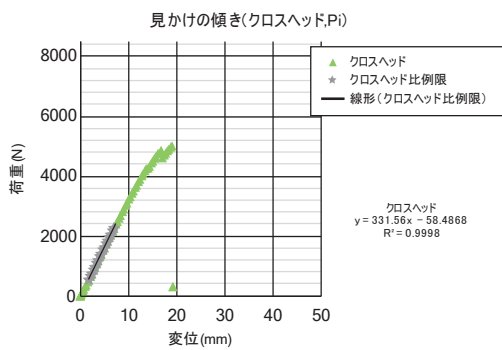
試験体番号: ⑩-1-01



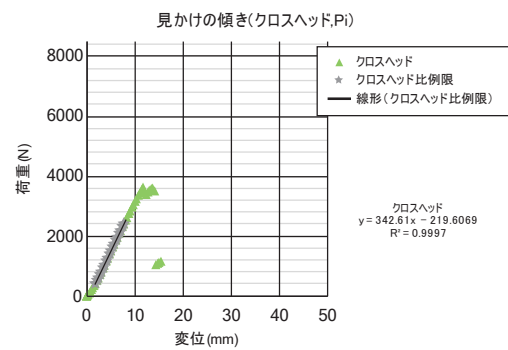
試験体番号: ⑩-1-02



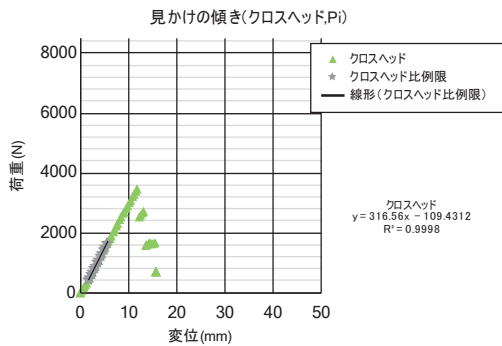
試験体番号: ⑩-1-03



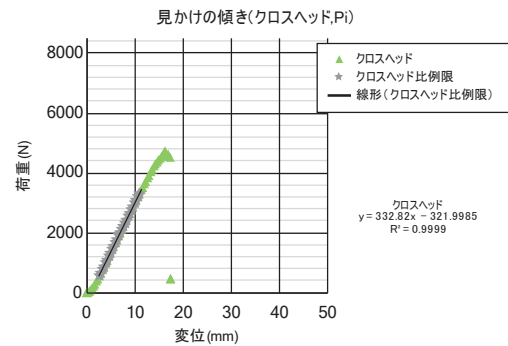
試験体番号: ⑩-1-04



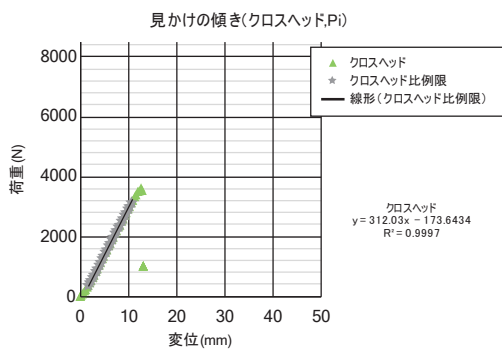
試験体番号: ⑩-1-05



試験体番号: ⑩-1-06



試験体番号: ⑩-1-07



試験体番号: ⑩-1-08

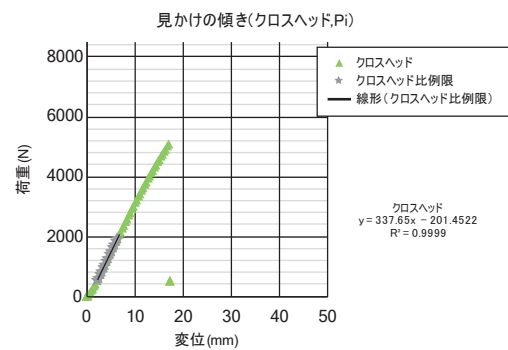
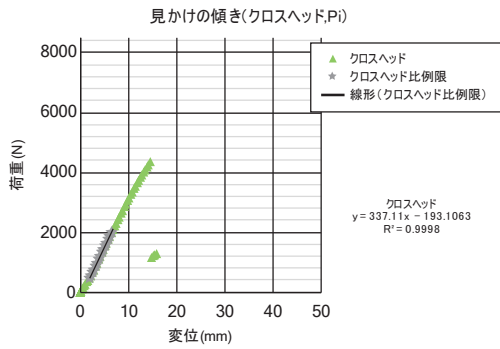
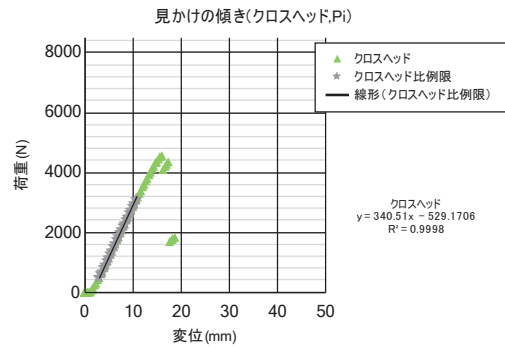


図 11. 1. 1-9 ⑩-1 強軸 見かけの傾きグラフ (1)

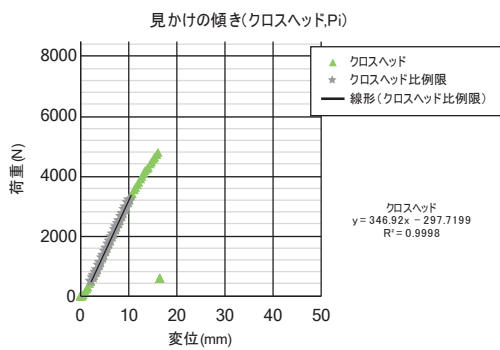
試験体番号: ⑩-2-01



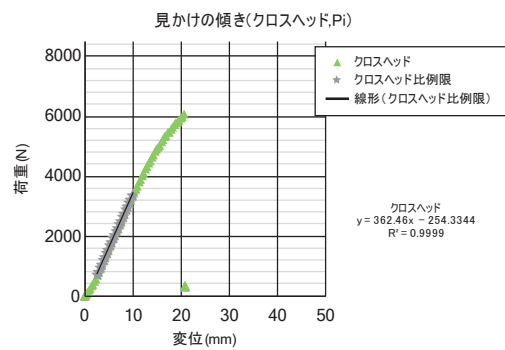
試験体番号: ⑩-2-02



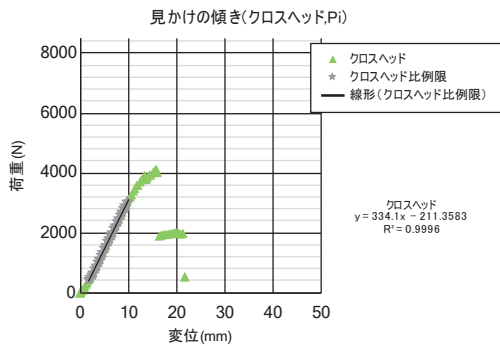
試験体番号: ⑩-2-03



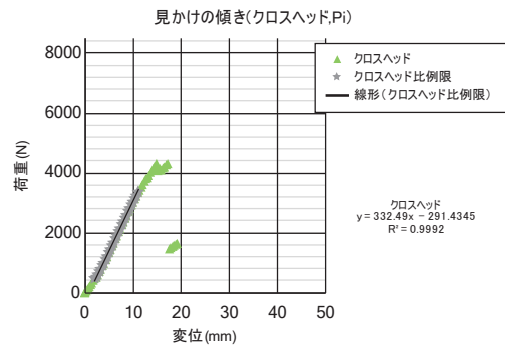
試験体番号: ⑩-2-04



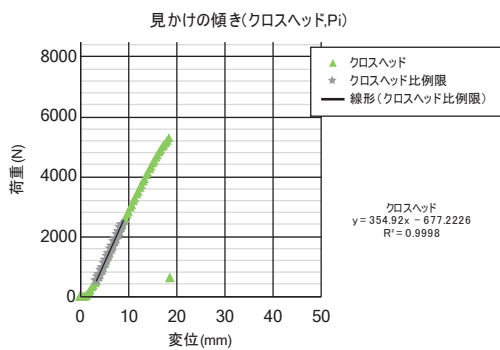
試験体番号: ⑩-2-05



試験体番号: ⑩-2-06



試験体番号: ⑩-2-07



試験体番号: ⑩-2-08

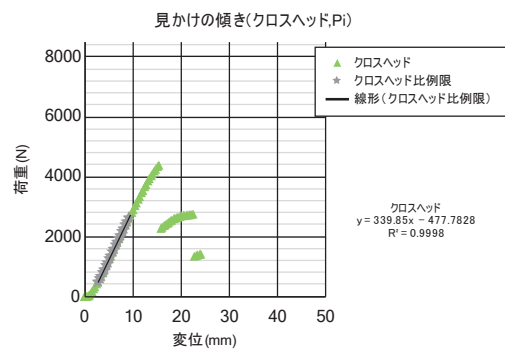
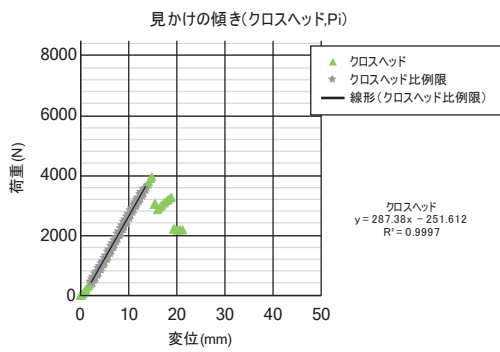
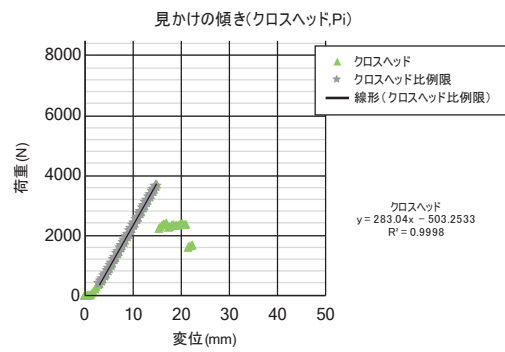


図 11.1.1-10 ⑩-2 強軸 見かけの傾きグラフ (2)

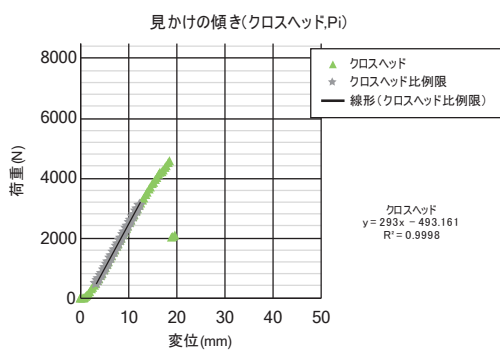
試験体番号: ⑩-1-09



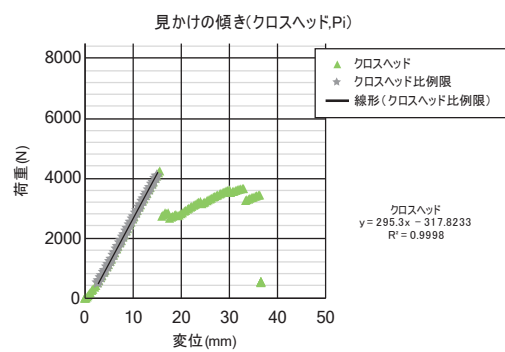
試験体番号: ⑩-1-10



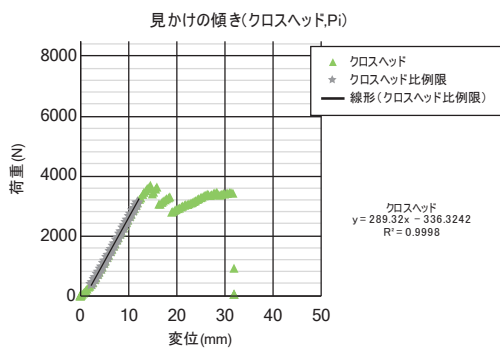
試験体番号: ⑩-1-11



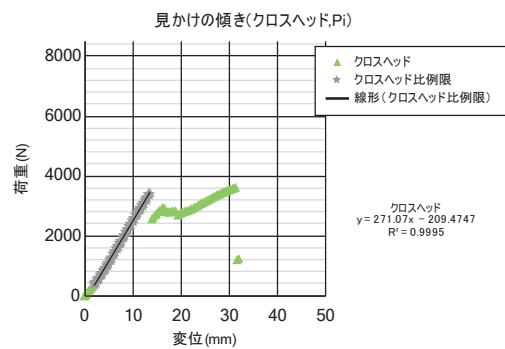
試験体番号: ⑩-1-12



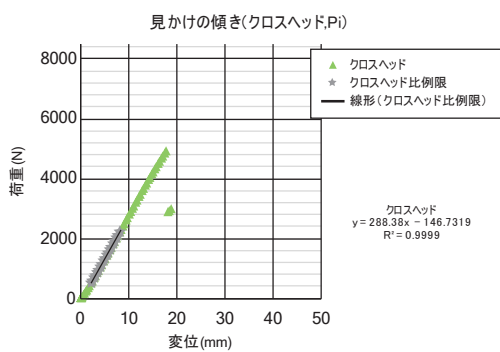
試験体番号: ⑩-1-13



試験体番号: ⑩-1-14



試験体番号: ⑩-1-15



試験体番号: ⑩-1-16

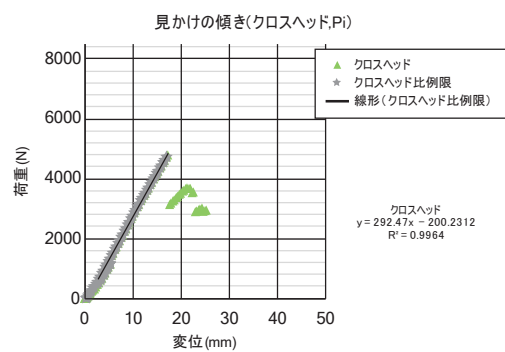
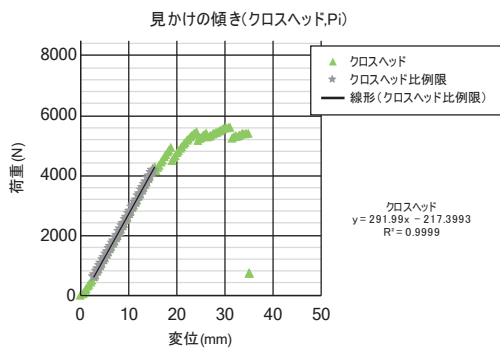
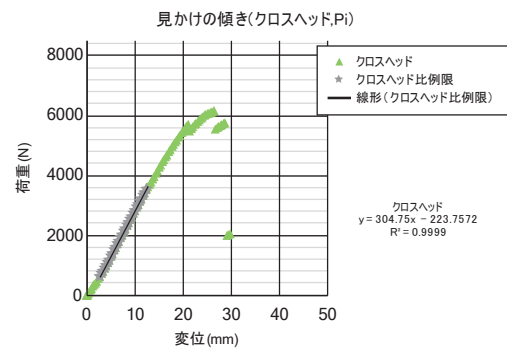


図 11. 1. 1-11 ⑩-1 弱軸 見かけの傾きグラフ (1)

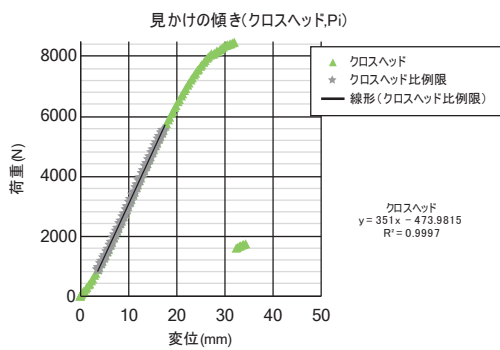
試験体番号: ⑩-2-09



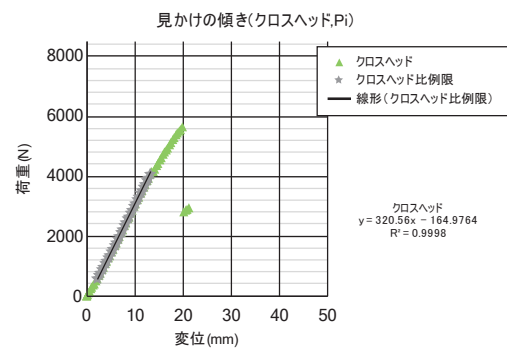
試験体番号: ⑩-2-10



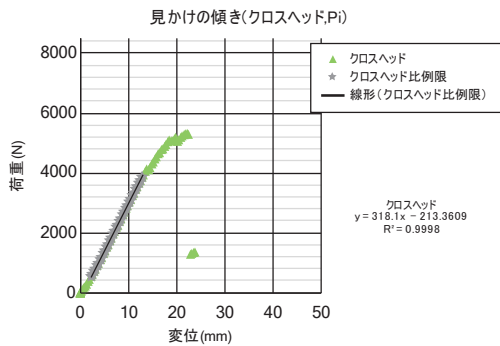
試験体番号: ⑩-2-11



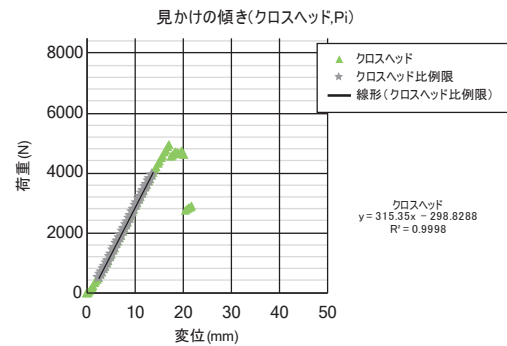
試験体番号: ⑩-2-12



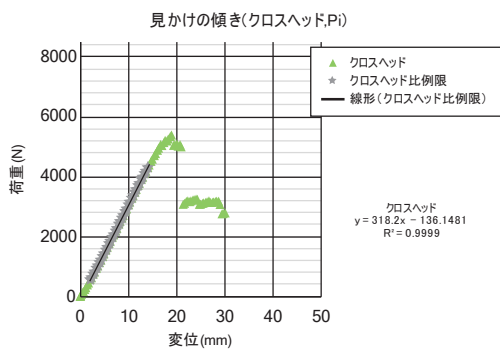
試験体番号: ⑩-2-13



試験体番号: ⑩-2-14



試験体番号: ⑩-2-15



試験体番号: ⑩-2-16

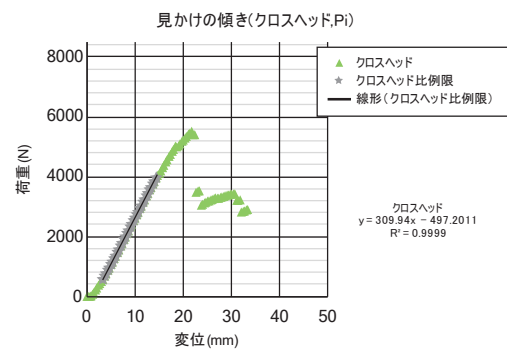
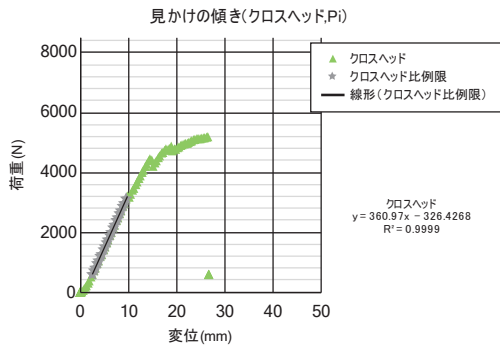
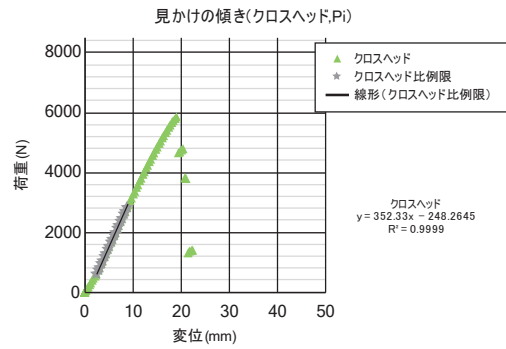


図 11.1.1-12 ⑩-2 弱軸 見かけの傾きグラフ (2)

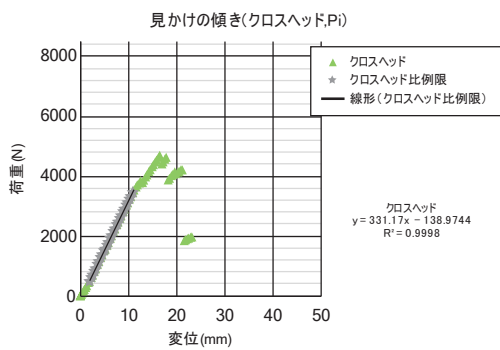
試験体番号: ②①-1-01



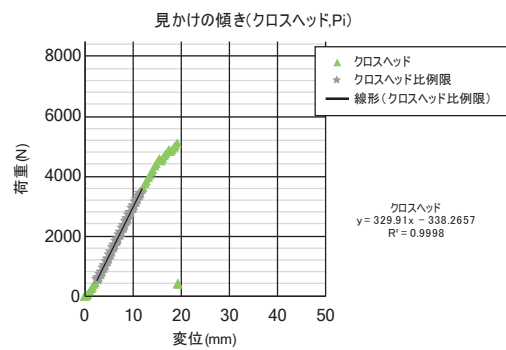
試験体番号: ②①-1-02



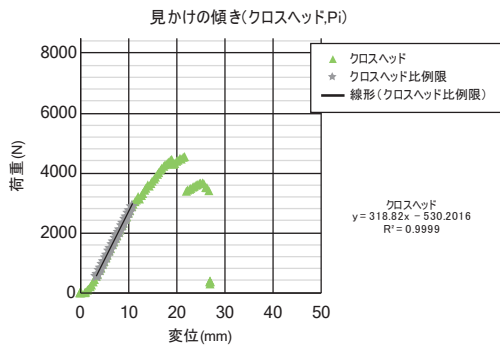
試験体番号: ②①-1-03



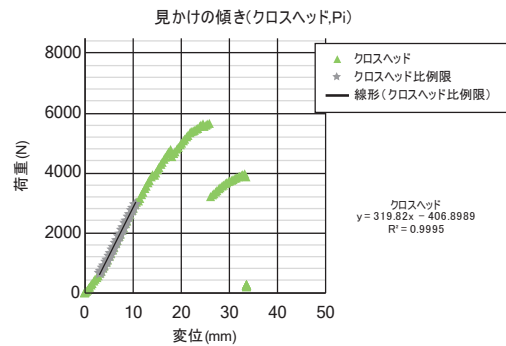
試験体番号: ②①-1-04



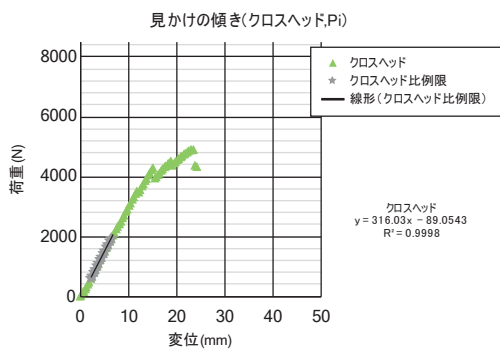
試験体番号: ②①-1-05



試験体番号: ②①-1-06



試験体番号: ②①-1-07



試験体番号: ②①-1-08

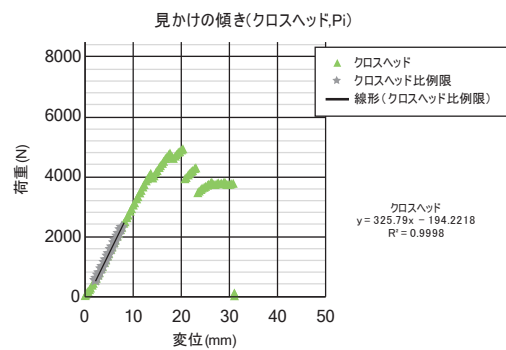
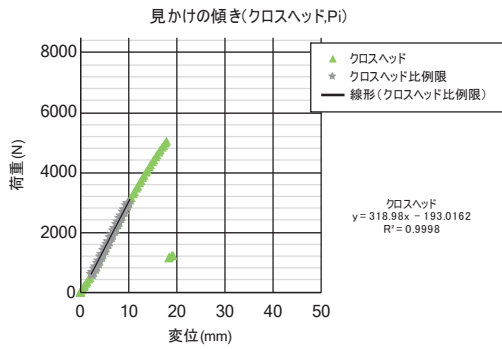
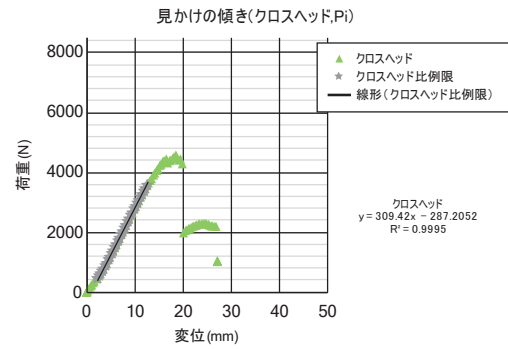


図 11.1.1-13 ②①-1 強軸 見かけの傾きグラフ (1)

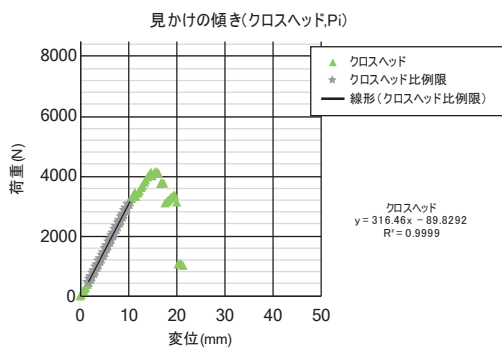
試験体番号: ㊟-2-01



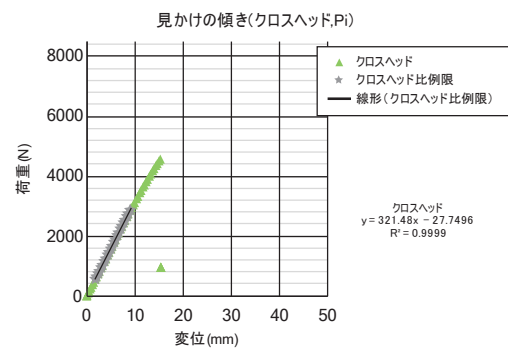
試験体番号: ㊟-2-02



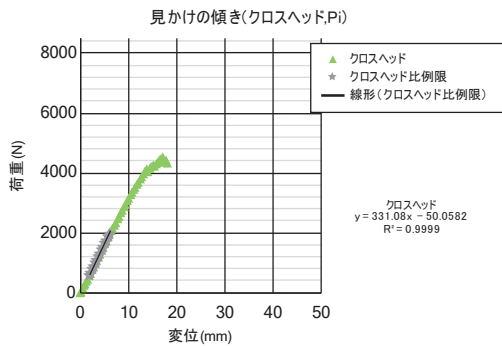
試験体番号: ㊟-2-03



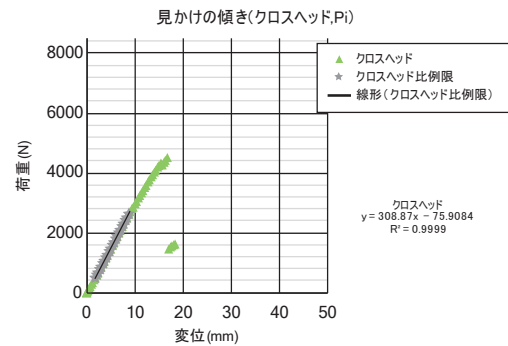
試験体番号: ㊟-2-04



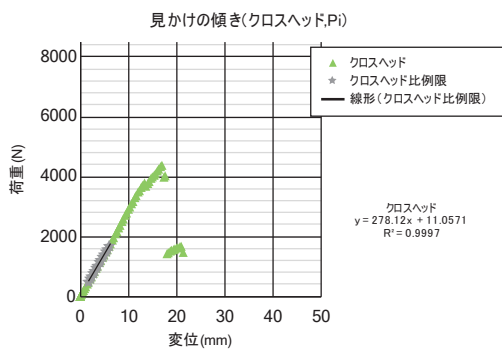
試験体番号: ㊟-2-05



試験体番号: ㊟-2-06



試験体番号: ㊟-2-07



試験体番号: ㊟-2-08

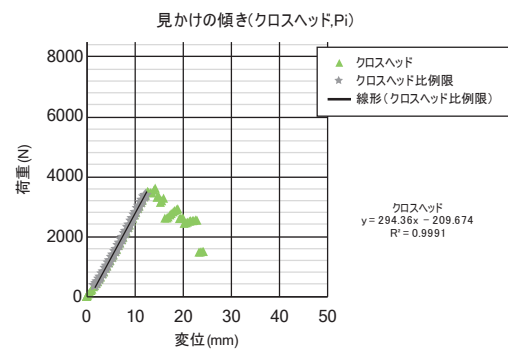
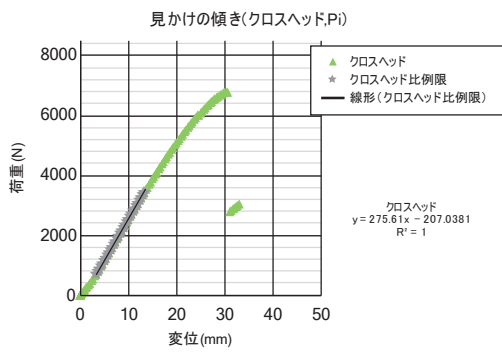
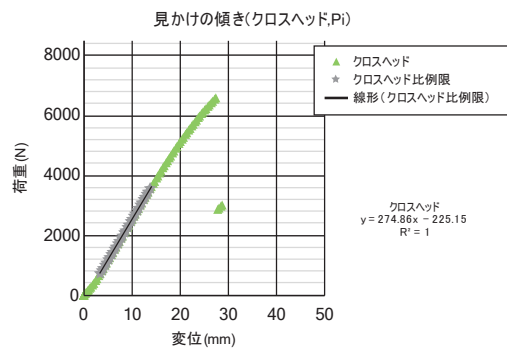


図 11.1.1-14 ㊟-2 強軸 見かけの傾きグラフ (2)

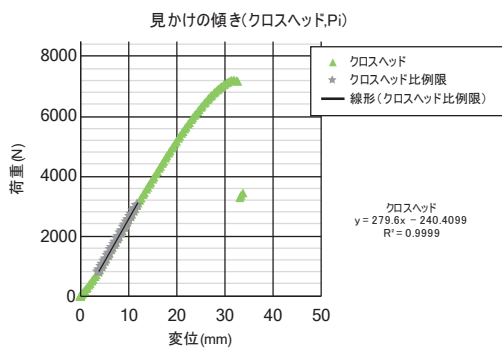
試験体番号: ②①-1-09



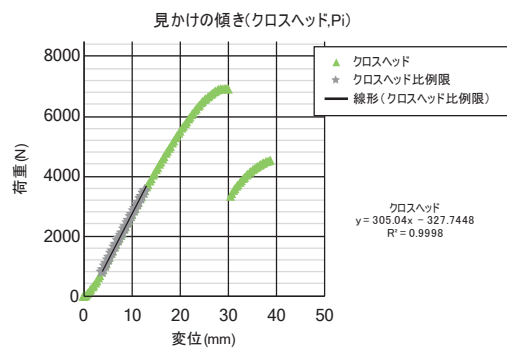
試験体番号: ②①-1-10



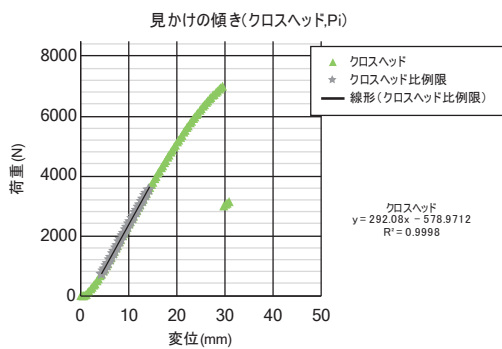
試験体番号: ②①-1-11



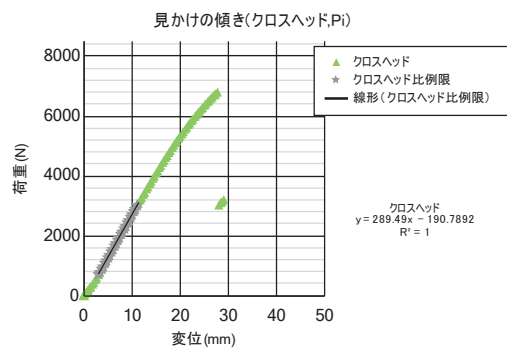
試験体番号: ②①-1-12



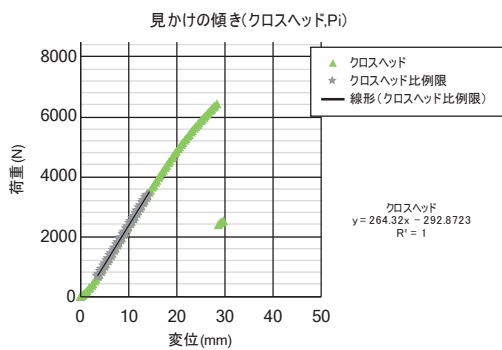
試験体番号: ②①-1-13



試験体番号: ②①-1-14



試験体番号: ②①-1-15



試験体番号: ②①-1-16

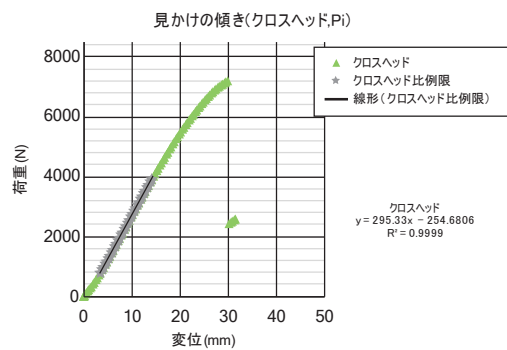
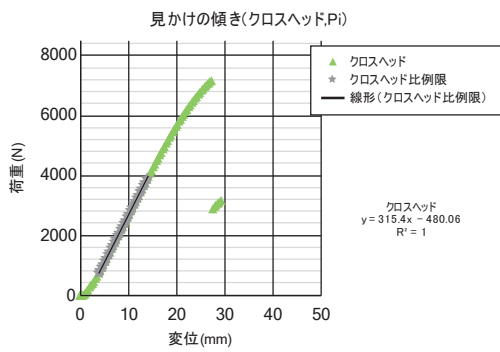
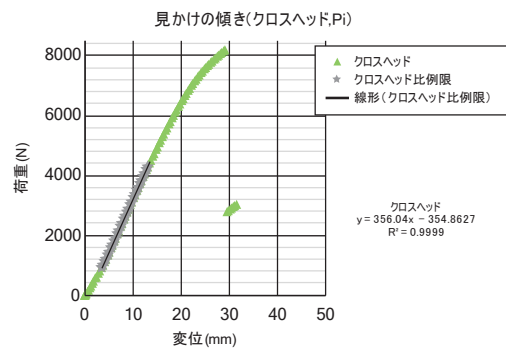


図 11. 1. 1-15 ②①-1 弱軸 見かけの傾きグラフ (1)

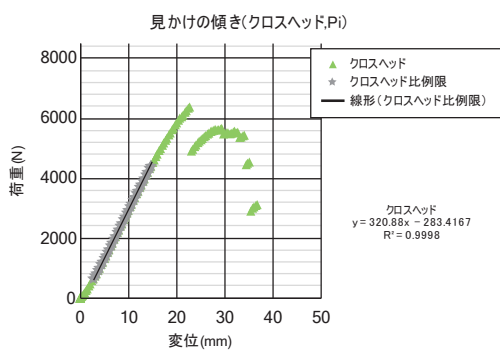
試験体番号: ②0-2-09



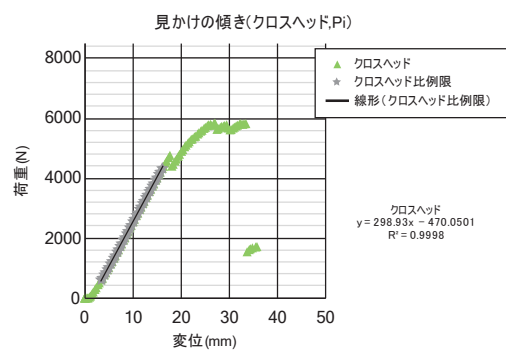
試験体番号: ②0-2-10



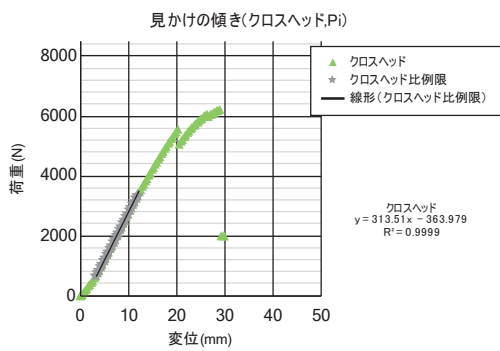
試験体番号: ②0-2-11



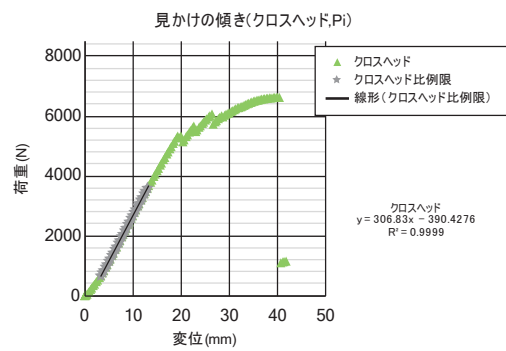
試験体番号: ②0-2-12



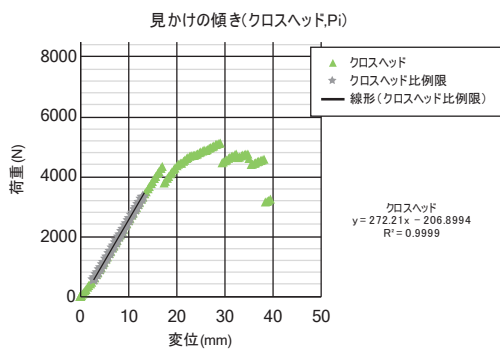
試験体番号: ②0-2-13



試験体番号: ②0-2-14



試験体番号: ②0-2-15



試験体番号: ②0-2-16

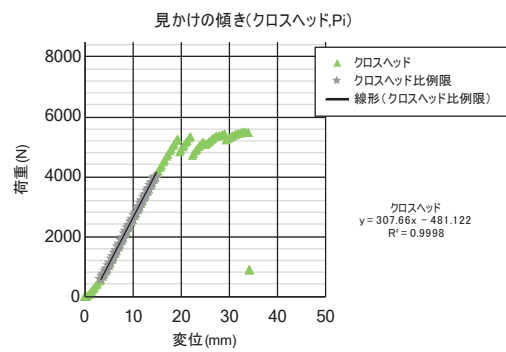
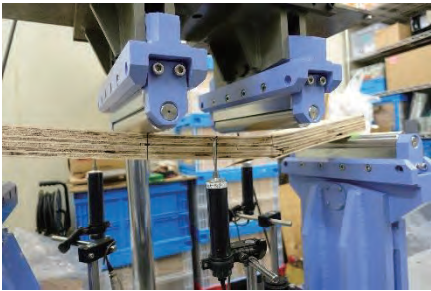
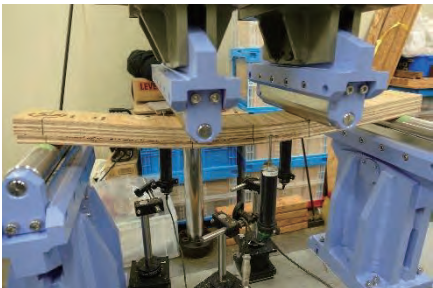
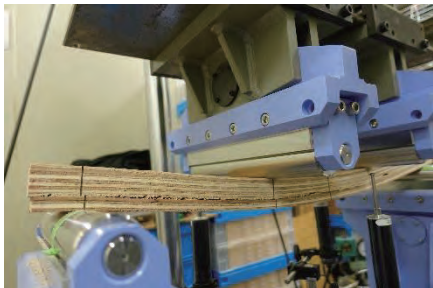


図 11.1.1-16 ②0-2 弱軸 見かけの傾きグラフ (2)

|                                                                                                                     |                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 17 シリーズ (強軸)                                                                                                    |                                                                                                                |
|  <p>写真 11. 1. 1-1 最大荷重後 (概況)</p>   |  <p>写真 11. 1. 1-2 破壊概況</p>   |
| (2) 17 シリーズ (弱軸)                                                                                                    |                                                                                                                |
|  <p>写真 11. 1. 1-3 最大荷重後 (概況)</p>  |  <p>写真 11. 1. 1-4 破壊概況</p>  |
| (3) 18 シリーズ (強軸)                                                                                                    |                                                                                                                |
|  <p>写真 11. 1. 1-5 最大荷重後 (概況)</p> |  <p>写真 11. 1. 1-6 破壊概況</p> |
| (4) 18 シリーズ (弱軸)                                                                                                    |                                                                                                                |
|  <p>写真 11. 1. 1-7 最大荷重後 (概況)</p> |  <p>写真 11. 1. 1-8 破壊概況</p> |

|                                                                                                                      |                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (5) 19 シリーズ (強軸)                                                                                                     |                                                                                                                 |
|  <p>写真 11. 1. 1-9 最大荷重後 (概況)</p>    |  <p>写真 11. 1. 1-10 破壊概況</p>   |
| (6) 19 シリーズ (弱軸)                                                                                                     |                                                                                                                 |
|  <p>写真 11. 1. 1-11 最大荷重後 (概況)</p>  |  <p>写真 11. 1. 1-12 破壊概況</p>  |
| (7) 20 シリーズ (強軸)                                                                                                     |                                                                                                                 |
|  <p>写真 11. 1. 1-13 最大荷重後 (概況)</p> |  <p>写真 11. 1. 1-14 破壊概況</p> |
| (8) 20 シリーズ (弱軸)                                                                                                     |                                                                                                                 |
|  <p>写真 11. 1. 1-15 最大荷重後 (概況)</p> |  <p>写真 11. 1. 1-16 破壊概況</p> |

## 11.1.2 水平せん断性能

表 11.1.2 - 試験結果

| 原板 | 番号 | 樹種 | 単板選別<br>tf/cm <sup>2</sup> | 選別基準    | 積層接着 | 方向 | 荷重  | 重量<br>g | 長さ<br>mm | 幅<br>mm | 厚さ<br>mm | 密度<br>kg/m <sup>3</sup> | スパン<br>mm | せん断強さ<br>N/mm <sup>2</sup> | 破壊形状 | 含水率<br>% |
|----|----|----|----------------------------|---------|------|----|-----|---------|----------|---------|----------|-------------------------|-----------|----------------------------|------|----------|
| 1  | 1  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8891    | 999.90   | 150.13  | 142.03   | 417                     | 720       | 1.56                       | 曲げ   | 8.0      |
| 1  | 2  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8995    | 999.85   | 149.94  | 142.16   | 422                     | 720       | 1.43                       | 曲げ   | 7.3      |
| 1  | 3  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8819    | 549.55   | 149.80  | 141.57   | 416                     | 720       | 1.42                       | せん断  | 7.7      |
| 1  | 4  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8755    | 1000.05  | 150.17  | 141.84   | 411                     | 720       | 1.47                       | せん断  | 7.4      |
| 1  | 5  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8842    | 1000.05  | 150.18  | 141.94   | 415                     | 720       | 1.44                       | せん断  | 7.1      |
| 1  | 6  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8834    | 1000.15  | 150.25  | 141.85   | 414                     | 720       | 1.39                       | せん断  | 7.8      |
| 3  | 1  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 9399    | 999.55   | 147.04  | 145.38   | 440                     | 720       | 1.61                       | 曲げ   | 8.4      |
| 3  | 2  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 9903    | 999.40   | 150.02  | 144.15   | 458                     | 720       | 1.49                       | 曲げ   | 7.5      |
| 3  | 3  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 9139    | 998.90   | 149.92  | 144.16   | 423                     | 720       | 1.56                       | せん断  | 7.5      |
| 3  | 4  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 9245    | 1000.00  | 150.53  | 144.86   | 424                     | 720       | 1.46                       | 曲げ   | 7.9      |
| 3  | 5  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 9211    | 999.80   | 150.41  | 144.54   | 424                     | 720       | 1.50                       | せん断  | 7.4      |
| 3  | 6  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 9138    | 999.60   | 150.41  | 144.52   | 421                     | 720       | 1.48                       | せん断  | 7.8      |
| 5  | 1  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8930    | 999.75   | 150.15  | 144.06   | 413                     | 720       | 1.52                       | 複合   | 7.8      |
| 5  | 2  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8891    | 999.40   | 150.01  | 143.85   | 412                     | 720       | 1.31                       | 曲げ   | 7.0      |
| 5  | 3  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8869    | 998.20   | 149.87  | 143.96   | 412                     | 720       | 1.44                       | 曲げ   | 7.2      |
| 5  | 4  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8730    | 1000.10  | 150.59  | 143.95   | 403                     | 720       | 1.48                       | 複合   | 6.3      |
| 5  | 5  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8741    | 1000.00  | 150.28  | 143.90   | 404                     | 720       | 1.38                       | 曲げ   | 6.1      |
| 5  | 6  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8889    | 999.70   | 150.34  | 144.40   | 410                     | 720       | 1.50                       | 曲げ   | 6.9      |
| 7  | 1  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8835    | 999.90   | 149.68  | 143.72   | 411                     | 720       | 1.41                       | 曲げ   | 7.6      |
| 7  | 2  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8982    | 999.65   | 150.08  | 144.49   | 414                     | 720       | 1.41                       | 曲げ   | 6.2      |
| 7  | 3  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8955    | 999.80   | 150.48  | 144.51   | 412                     | 720       | 1.31                       | 曲げ   | 6.9      |
| 7  | 4  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8823    | 999.55   | 150.25  | 143.34   | 410                     | 720       | 1.38                       | せん断  | 6.8      |
| 7  | 5  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8857    | 999.75   | 149.81  | 144.25   | 410                     | 720       | 1.31                       | 曲げ   | 7.3      |
| 7  | 6  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 8916    | 999.90   | 150.33  | 144.80   | 410                     | 720       | 1.29                       | 曲げ   | 8.5      |
| 9  | 1  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2133.1  | 630.90   | 90.25   | 87.89    | 426                     | 450       | 1.59                       | 曲げ   | 7.5      |
| 9  | 2  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2155.3  | 630.55   | 90.21   | 88.56    | 428                     | 450       | 1.63                       | 曲げ   | 7.8      |
| 9  | 3  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2154.7  | 630.75   | 90.21   | 88.81    | 427                     | 450       | 1.65                       | せん断  | 7.9      |
| 9  | 4  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2174.3  | 630.85   | 90.28   | 88.57    | 431                     | 450       | 1.66                       | せん断  | 7.7      |
| 9  | 5  | スギ | 60以上                       | 全層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2183.2  | 630.95   | 90.16   | 89.00    | 431                     | 450       | 1.68                       | 曲げ   | 7.3      |
| 9  | 6  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2160.1  | 630.60   | 90.16   | 89.42    | 425                     | 450       | 1.63                       | せん断  | 7.0      |
| 11 | 1  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2041.1  | 630.75   | 90.21   | 88.99    | 403                     | 450       | 1.34                       | せん断  | 6.9      |
| 11 | 2  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2104.4  | 630.70   | 90.08   | 89.37    | 414                     | 450       | 1.49                       | せん断  | 7.3      |
| 11 | 3  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2160.2  | 630.40   | 90.09   | 89.86    | 423                     | 450       | 1.51                       | 複合   | 7.7      |
| 11 | 4  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2077.6  | 630.85   | 90.20   | 89.28    | 409                     | 450       | 1.37                       | せん断  | 7.8      |
| 11 | 5  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2146.6  | 630.85   | 90.17   | 89.43    | 422                     | 450       | 1.48                       | せん断  | 7.7      |
| 11 | 6  | スギ | 60以上                       | 平行層単板選別 | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2116.1  | 630.80   | 90.10   | 89.57    | 416                     | 450       | 1.61                       | 複合   | 6.9      |
| 13 | 1  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2021.9  | 630.95   | 90.15   | 89.40    | 398                     | 450       | 1.14                       | 曲げ   | 6.8      |
| 13 | 2  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2082.5  | 630.80   | 90.21   | 89.46    | 409                     | 450       | 1.25                       | 曲げ   | 7.6      |
| 13 | 3  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2076.5  | 630.85   | 90.16   | 89.54    | 408                     | 450       | 1.54                       | 曲げ   | 7.8      |
| 13 | 4  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2060.8  | 630.80   | 90.18   | 89.26    | 406                     | 450       | 1.24                       | 曲げ   | 7.7      |
| 13 | 5  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 1996.2  | 780.85   | 90.04   | 88.56    | 397                     | 450       | 1.29                       | 曲げ   | 6.8      |
| 13 | 6  | スギ | 60以上                       | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 1993.2  | 630.90   | 90.02   | 88.91    | 395                     | 450       | 1.22                       | 曲げ   | 6.5      |
| 15 | 1  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2150.5  | 630.95   | 90.15   | 89.12    | 424                     | 450       | 1.59                       | せん断  | 7.3      |
| 15 | 2  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2170.1  | 631.05   | 90.09   | 88.64    | 430                     | 450       | 1.69                       | せん断  | 7.4      |
| 15 | 3  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2153.4  | 631.15   | 90.13   | 89.06    | 425                     | 450       | 1.61                       | せん断  | 7.5      |
| 15 | 4  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2172.5  | 631.05   | 90.21   | 89.63    | 426                     | 450       | 1.63                       | 複合   | 7.2      |
| 15 | 5  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2200.6  | 631.00   | 90.07   | 89.60    | 432                     | 450       | 1.66                       | 複合   | 6.8      |
| 15 | 6  | スギ | C-D                        | 表層単板選別  | 二次接着 | 正寸 | 平使い | 2180.4  | 631.00   | 90.03   | 89.59    | 428                     | 450       | 1.64                       | 複合   | 6.5      |

写真 11.1.2-1 144mm 厚



1-1 曲げ破壊 1.56N/mm<sup>2</sup>



1-2 曲げ破壊 1.43N/mm<sup>2</sup>



1-3 せん断破壊 1.42N/mm<sup>2</sup>



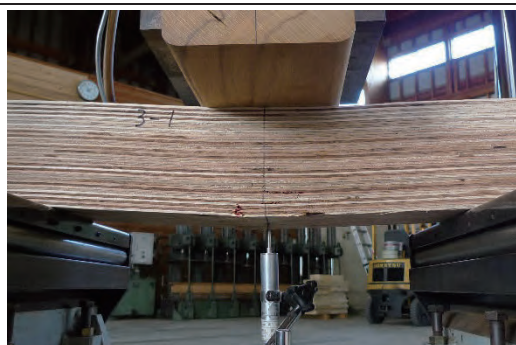
1-4 せん断破壊 1.47N/mm<sup>2</sup>



1-5 せん断破壊 1.44N/mm<sup>2</sup>



1-6 せん断破壊 1.39N/mm<sup>2</sup>



3-1 曲げ破壊 1.61N/mm<sup>2</sup>



3-2 曲げ破壊 1.49N/mm<sup>2</sup>



3-3 せん断破壊 1.56N/mm<sup>2</sup>



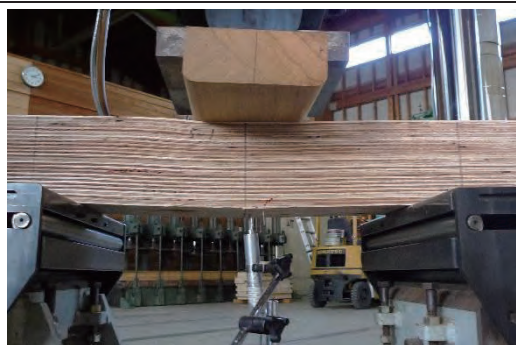
3-4 曲げ破壊 1.46N/mm<sup>2</sup>



3-5 せん断破壊 1.50N/mm<sup>2</sup>



3-6 せん断破壊 1.48N/mm<sup>2</sup>



5-1 複合破壊 1.52N/mm<sup>2</sup>



5-2 曲げ破壊 1.31N/mm<sup>2</sup>



5-3 曲げ破壊 1.44N/mm<sup>2</sup>



5-4 複合破壊 1.48N/mm<sup>2</sup>



5-5 曲げ破壊 1.38N/mm<sup>2</sup>



5-6 曲げ破壊 1.50N/mm<sup>2</sup>



7-1 曲げ破壊 1.41N/mm<sup>2</sup>



7-2 曲げ破壊 1.41N/mm<sup>2</sup>



7-3 曲げ破壊 1.31N/mm<sup>2</sup>



7-4 せん断破壊 1.38N/mm<sup>2</sup>



7-5 曲げ破壊 1.31N/mm<sup>2</sup>

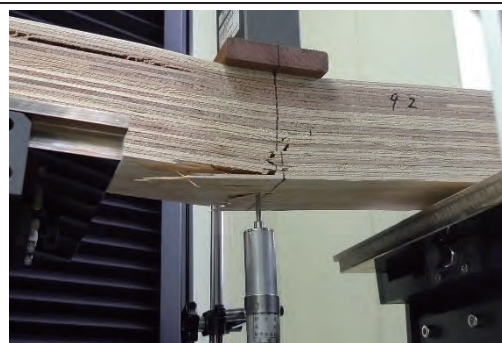


7-6 曲げ破壊 1.29N/mm<sup>2</sup>

写真 11. 1. 2-2 90mm 厚



9-1 曲げ破壊 1.59N/mm<sup>2</sup>



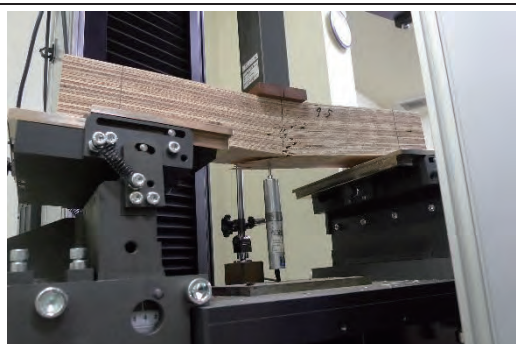
9-2 曲げ破壊 1.63N/mm<sup>2</sup>



9-3 せん断破壊 1.65N/mm<sup>2</sup>



9-4 せん断破壊 1.66N/mm<sup>2</sup>



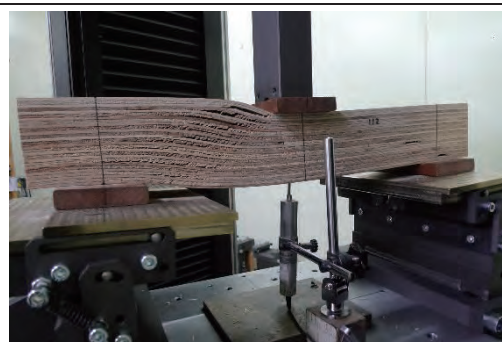
9-5 曲げ破壊 1.68N/mm<sup>2</sup>



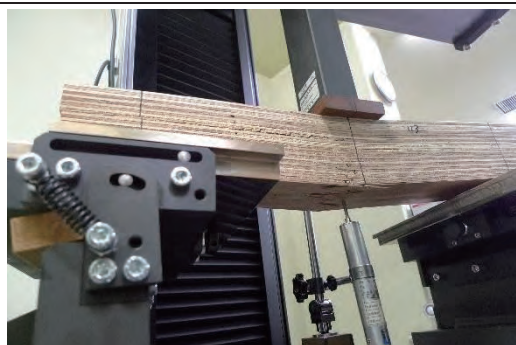
9-6 せん断破壊 1.63N/mm<sup>2</sup>



11-1 せん断破壊 1.34N/mm<sup>2</sup>



11-2 せん断破壊 1.49N/mm<sup>2</sup>



11-3 複合破壊 1.51N/mm<sup>2</sup>



11-4 せん断破壊 1.37N/mm<sup>2</sup>



11-5 複合破壊 1.48N/mm<sup>2</sup>



11-6 複合破壊 1.61N/mm<sup>2</sup>



13-1 曲げ破壊 1.14N/mm<sup>2</sup>



13-2 曲げ破壊 1.25N/mm<sup>2</sup>



13-3 曲げ破壊 1.54N/mm<sup>2</sup>



13-4 曲げ破壊 1.24N/mm<sup>2</sup>



13-5 曲げ破壊 1.29N/mm<sup>2</sup>



13-6 曲げ破壊 1.22N/mm<sup>2</sup>



15-1 曲げ破壊 1.59N/mm<sup>2</sup>



15-2 せん断破壊 1.69N/mm<sup>2</sup>



15-3 せん断破壊 1.61N/mm<sup>2</sup>



15-4 複合破壊 1.63N/mm<sup>2</sup>



15-5 複合破壊 1.66N/mm<sup>2</sup>



15-6 複合破壊 1.64N/mm<sup>2</sup>

### 11.1.3 強度発現機構の把握

#### 【試験体の破壊性状】

※1（層構成記号） A-60：単板選別全層 60tf/cm<sup>2</sup>以上，P-60：平行層のみ 60tf/cm<sup>2</sup>以上，F-60：表層単板のみ 60tf/cm<sup>2</sup>以上，F-C-D：表層単板の板面の品質 C-D

※2 密度の単位は kg/m<sup>3</sup>、せん断強度の単位は N/m<sup>2</sup>

※3 破壊形態の分類記号は 7.2 節の「表 7-2 破壊形態の分類規準」に従う

#### ○ 45mm 試験体

|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 17S1-1 |    |    |
| 原板番号    | 17     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 424.5  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.19   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 17S1-2 |   |   |
| 原板番号    | 17     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 414.8  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.09   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S    |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 17S1-3 |  |  |
| 原板番号    | 17     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 421.9  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.04   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 17S1-4 |  |  |
| 原板番号    | 17     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 420.8  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.19   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S    |                                                                                     |                                                                                      |

|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 17S2-1 |    |    |
| 原板番号    | 17     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 414.3  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.65   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 17S2-2 |    |    |
| 原板番号    | 17     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 408.1  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.74   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 17S2-3 |   |   |
| 原板番号    | 17     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 410.7  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.52   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 17S2-4 |  |  |
| 原板番号    | 17     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 408.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 18S1-1 |  |  |
| 原板番号    | 18     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 404.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.70   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 18S1-2 |  |  |
| 原板番号    | 18     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 393.6  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.59   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |

|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 18S1-3 |    |    |
| 原板番号    | 18     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 395.7  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.58   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 18S1-4 |    |    |
| 原板番号    | 18     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 393.1  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.57   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 18S2-1 |   |   |
| 原板番号    | 18     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 402.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.92   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S+B    |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 18S2-2 |  |  |
| 原板番号    | 18     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 402.7  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.08   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 18S2-3 |  |  |
| 原板番号    | 18     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 397.0  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.96   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 18S2-4 |  |  |
| 原板番号    | 18     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 392.1  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.96   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |

|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 19S1-1 |    |    |
| 原板番号    | 19     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 419.2  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.46   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 19S1-2 |    |    |
| 原板番号    | 19     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 413.7  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.52   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 19S1-3 |   |   |
| 原板番号    | 19     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 407.3  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.75   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 19S1-4 |  |  |
| 原板番号    | 19     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 406.6  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.07   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 19S2-1 |  |  |
| 原板番号    | 19     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 413.3  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.68   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 19S2-2 |  |  |
| 原板番号    | 19     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 419.1  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.64   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |

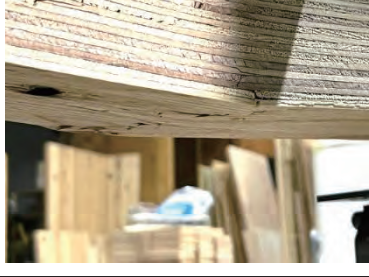
|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 19S2-3 |    |    |
| 原板番号    | 19     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 414.8  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.58   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 19S2-4 |    |    |
| 原板番号    | 19     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 405.9  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.59   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 20S1-1 |   |   |
| 原板番号    | 20     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 431.6  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.44   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 20S1-2 |  |  |
| 原板番号    | 20     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 415.9  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.46   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 20S1-3 |  |  |
| 原板番号    | 20     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 414.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.10   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |

|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 20S1-4 |    |    |
| 原板番号    | 20     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 418.3  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.30   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 20S2-1 |    |    |
| 原板番号    | 20     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 418.9  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.56   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 20S2-2 |   |   |
| 原板番号    | 20     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 414.3  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.56   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 20S2-3 |  |  |
| 原板番号    | 20     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 416.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.46   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 20S2-4 |  |  |
| 原板番号    | 20     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 411.6  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.46   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |

○ 90mm 試験体

|         |       |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 9S1-1 |    |    |
| 原板番号    | 9     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 420.9 |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.77  |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S     |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 9S1-2 |    |    |
| 原板番号    | 9     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 422.1 |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.86  |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S     |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 9S1-3 |   |   |
| 原板番号    | 9     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 422.1 |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.72  |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S   |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 9S1-4 |  |  |
| 原板番号    | 9     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 422.0 |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.86  |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S     |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 9S1-5 |  |  |
| 原板番号    | 9     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 424.3 |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.85  |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S     |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 9S1-6 |  |  |
| 原板番号    | 9     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | A-60  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 427.7 |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.75  |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S+B   |                                                                                     |                                                                                      |

|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 11S1-1 |    |    |
| 原板番号    | 11     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 417.2  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.28   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 11S1-2 |    |    |
| 原板番号    | 11     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 398.1  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.26   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 11S1-3 |   |   |
| 原板番号    | 11     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 408.5  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.75   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 11S1-4 |  |  |
| 原板番号    | 11     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 407.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.66   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 11S1-5 |  |  |
| 原板番号    | 11     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 402.0  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.21   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 11S1-6 |  |  |
| 原板番号    | 11     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | P-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 405.3  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.20   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |

|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 13S1-1 |    |    |
| 原板番号    | 13     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 406.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.81   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S    |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 13S1-2 |    |    |
| 原板番号    | 13     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 408.0  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.94   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S    |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 13S1-3 |   |   |
| 原板番号    | 13     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 402.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.80   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S    |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 13S1-4 |  |  |
| 原板番号    | 13     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 398.5  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.81   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S    |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 13S1-5 |  |  |
| 原板番号    | 13     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 397.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.76   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S    |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 13S1-6 |  |  |
| 原板番号    | 13     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-60   |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 400.0  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.81   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | B+S    |                                                                                     |                                                                                      |

|         |        |                                                                                     |                                                                                      |
|---------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験体 No. | 15S1-1 |    |    |
| 原板番号    | 15     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 426.6  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.22   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 15S1-2 |    |    |
| 原板番号    | 15     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 414.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.05   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 15S1-3 |   |   |
| 原板番号    | 15     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 410.9  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.21   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 15S1-4 |  |  |
| 原板番号    | 15     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 413.1  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.08   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 15S1-5 |  |  |
| 原板番号    | 15     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 412.4  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 2.04   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |
| 試験体 No. | 15S1-6 |  |  |
| 原板番号    | 15     |                                                                                     |                                                                                      |
| 層構成記号   | F-C-D  |                                                                                     |                                                                                      |
| 密度      | 415.2  |                                                                                     |                                                                                      |
| せん断強度   | 1.99   |                                                                                     |                                                                                      |
| 破壊形態    | S      |                                                                                     |                                                                                      |

#### 11.1.4 熱・湿気性能、寸法変化

##### 1) 熱伝導率測定試験



図 11.1.4-1 熱伝導率測定装置  
(試験体設置口開口状態)



図 11.1.4-2 試験体の設置  
(試験体上部の黒いブロックは熱盤)



図 11.1.4-3 断熱シャッターの閉鎖  
(測定状態)



図 11.1.4-4 熱伝導率試験体  
(90mm : 全層 60N/m<sup>2</sup> 以上)



図 11.1.4-5 熱伝導率試験体  
(90mm : 平行層のみ 60N/m<sup>2</sup> 以上)



図 11.1.4-6 熱伝導率試験体  
(90mm : 表層のみ 60N/m<sup>2</sup> 以上)



図 11.1.4-7 熱伝導率試験体  
(90mm 表層のみ板面品質 C-D)



図 11.1.4-8 熱伝導率試験体  
(45mm : 全層 60N/m<sup>2</sup> 以上)



図 11.1.4-9 熱伝導率試験体  
(45mm : 平行層のみ 60N/m<sup>2</sup> 以上)



図 11.1.4-10 熱伝導率試験体  
(45mm : 表層のみ 60N/m<sup>2</sup> 以上)



図 11.1.4-11 熱伝導率試験体  
(45mm 表層のみ板面品質 C-D)



図 11.1.4-12 熱伝導率試験体  
※幅 200mm の場合、スチレンボードを付加

## 2) 透湿抵抗測定試験



図 11.1.4-13 JIS 準拠透湿カップ  
(参考写真)



図 11.1.4-14 JIS 準拠透湿カップ  
※アルミテープとパラフィンで密封

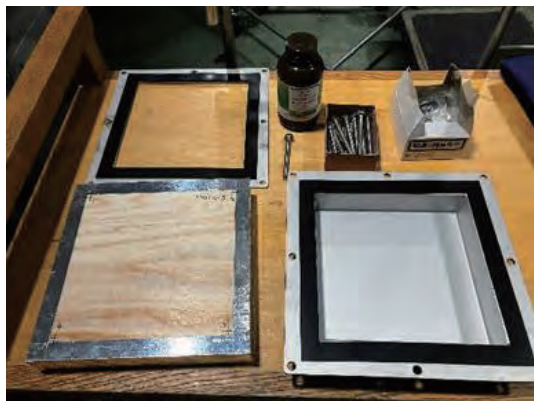


図 11.1.4-15 ボルト締め透湿カップ  
※組み立て前の展開状態



図 11.1.4-16 透湿カップの密封作業  
※ボルト締めにより密封するため、トルクレンチを用いた締付トルク管理が必要



図 11.1.4-17 透湿試験体  
※ワンショット試験体の同等品

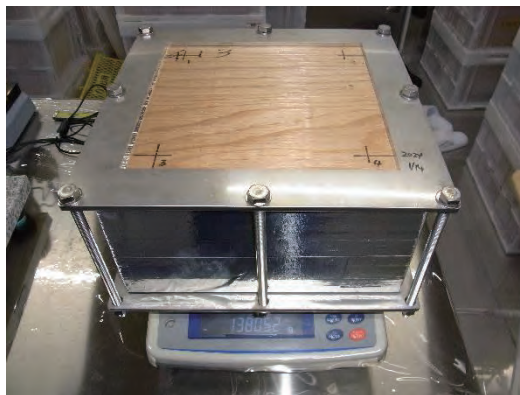


図 11.1.4-18 透湿量の測定  
※2～3 週間間隔を目処に測定を行う

### 3) 吸湿による厚さ変化測定試験



図 11.1.4-19 厚さ変化試験体  
(スギ：公称厚さ 96mm)

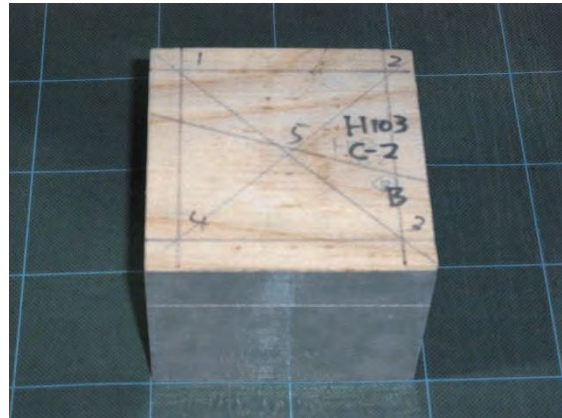


図 11.1.4-20 厚さ変化試験体  
スギ：公称厚さ 72mm)

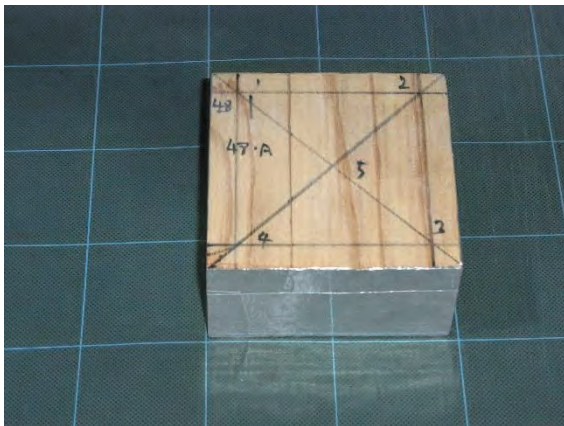


図 11.1.4-21 厚さ変化試験体  
(スギ：公称厚さ 48mm)

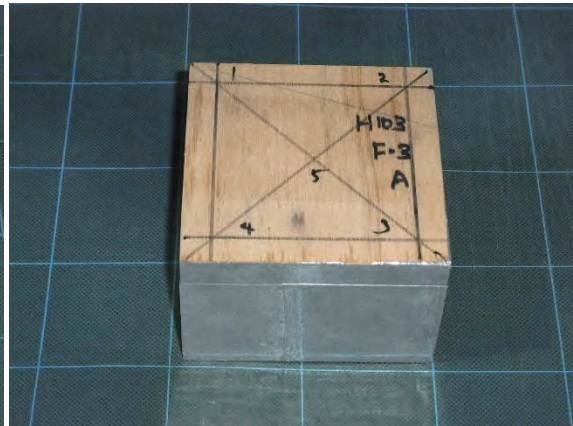


図 11.1.4-22 厚さ変化試験体  
(ヒノキ：公称厚さ 60mm)

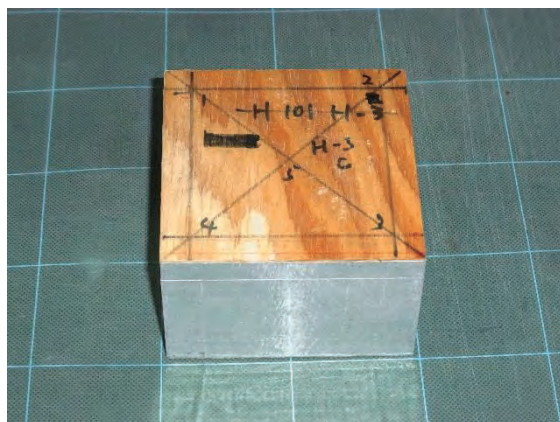


図 11.1.4-23 厚さ変化試験体  
(カラマツ：公称厚さ 48mm)



図 11.1.4-24 恒温恒湿器内の設置状況

## 11.2 技術開発委員会議事録

### 11.2.1 第1回委員会 令和6年5月24日（金）

○委員長 超厚合板に関しては、一つは現状の超厚合板のつくり方に関してワンショットの大判をつくるのは大変なことから、市販流通の厚物合板の2次接着という製造方法を検討していかなければいけないと考えているところです。

その際に問題になるのが、超厚合板はその用途からすると基準強度、許容応力度がないと使えないであろうということです。そこに向かうためには現状の構造用合板2級のままですと期待される性能値を低く見積もらなければいけないということで、少し製造上のたがを厳しくする、または性能評価項目を多くしてディスパッチのところで性能を担保する、いずれかの方向に動かすしかないと考えています。ですので、今後、厚物合板であっても、例えば、単板を強度選別するとか、そういう方向には進んでいく必要があると考えています。ただし、厚物合板の製造方法も少し厳しくしていけば、今度は逆に厚物合板自体の基準強度等の設定もできるということになると思いますので、必ずしも苦労だけが増えるということではなかろうと考えているところです。

それでは、今年度の試作仕様・性能評価項目などというところです。

まず単板の選別水準についてというところで、ヤング係数を10刻みで選別する場合と30刻みで選別する場合、それから選別しない場合、下限値だけ60で取って上は選別しないという場合（and betterの形）、この4つについて検討してきました。

そうしたところ、強度的には60 and better、ヤング係数の下限だけ切ったものが一番高かった。歩留まりについても、選別に関してはより緩い方が歩留まりは高くなるということで、選別として歩留まりが一番高いのは「選別なし」なわけですが、強度性能を見ると下限を切った方がやはり上がっているので、10刻み、30刻みに比べると60 and betterが歩留まりと性能の両面からよいということで、形状はこの選別の水準を基準として実施しています。

ただ下限値が60でよいのか、55がよいのか、50がよいのかということについては、メーカー委員の方々からの要望があれば、それを検討することもあると思っています。

要検討事項として挙げていますが、まず性能の差に関して、これは検定に掛けたところ有意であったことが分かっています。

それから、他のロット・ラインというところですが、こちらは単板選別がヤング係数でできるメーカーが限られているので、その部分に関しては広く検討はできていないということになります。

実際に60 and betterという形で選別した場合の単板選別のレベルを比較すると、かなり効率よく歩留まりが得られており、そうすると原木の段階で粗々の選別を行えば、そこから得られる単板の強度性能についてはある程度選別をかけたことと同じになるのではないかと予測できそうです。これについては、単板を全てメトリガードにかけるのではなくて、原木の段階で重量を量って重いものにするとか、または丸太の段階で固有振動数を取

って丸太のヤング係数を見るというようなことで原木が選別できないかというところですが。ここは技術的にも製造上も試してみる価値はあるかなと思っています。

それから、選別の下限值。これは先ほど申し上げたとおり、60 より下げてメリットが生じるかというところ。現状、提供されたデータでは、60 で9割程度占めているので、下げてもさほどメリットはないかなと思っていますが、これについても要望があれば検討できると考えています。

それから、通常の厚物合板仕様の場合ということで、表層のみを目視して、選別しないという場合の性能については、提供されたデータに関して、先ほど申し上げた基準強度を建築基準法の中で位置付けるには、2級の合板の場合ではなかなか厳しいという状況です。そのため、この部分は実験的に確認するとしても、それをどういう形で位置付けていくかということは要検討です。

それからヒノキ・カラマツです。カラマツについては、試作の検討をしていますが、ヒノキは、現状価格面から入手し難いということで進んでいない状況です。

それから直交方向の性能については、現状、試作のものでは平行方向、0度方向の単板だけを強度選別する場合と全層を強度選別する場合ということで検討を進めています。直交方向の強度性能を測るためには、直交方向の長さがある程度必要になるということで、現状の例えば3×10板だと直交方向の性能評価をし難い面がありますので、逆寸でつくのか、または現状の試作可能な範囲で測定ができるような薄さにするのかというところが検討項目かなと思っています。

それから性能評価項目については、曲げについて、スギは3等分点4点曲げで曲げ破壊ができたが、ヒノキ・カラマツについては少し難しいところがあった。また、水平せん断試験に関してもせん断破砕が生じない場合、これはめり込みで壊れてしまう場合と曲げで壊れてしまう場合があって、水平せん断試験を行う時の試験条件の検討が必要ではないかと考えています。

また、この場合、接着性能についても剥離が若干多くなる可能性も示唆されています。ただし、実験的に測った結果ではLVLのJAS基準値は満足できていたということで、その辺はどれくらい気にする必要があるかということも今後考える必要があります。

R5年度の検討事項としては、一応全て検討しています。構面としての性能評価項目については、昨年度は接合性能を実施したということと、構面としてのモックアップをつくらせて検討しました。

そうすると、先ほども申し上げたとおり、それまでは厚物合板の2次接着製品が中心になってくるかなと思っています。その場合は、厚物合板のたて継ぎ・幅はぎの影響を見るという検討も必要かなというところですが。

それから、昨年度曲げについては、何か補足の情報等ありましたらお願いします。

○委員 今年厚みを上げて引っ張り縁での限界がどのあたりか把握できるとよいと考えています。

○委員長 よく知られていることですが、同じ構成でつくった製品は厚くなるほど見かけ上の強度性能、つまり断面当たりの数値が下がるという傾向があります。従って、例えば

24 ミリで測ったときの性能値と 48 ミリ、96 ミリと厚くしたときのそれを比較すると、断面当たりで耐えられる強度、弾性係数は下がってってしまう可能性があります。これは、破壊を決めているのが縁応力と言って、引張側の最外層の強度が同じ単板であれば同じなので、それが厚くなると縁応力は大きくなっていきますので、その分だけ耐えられる荷重が相対的に下がってしまう傾向があるということです。昨年度は、厚さ 2 水準で測定して、その辺がどのくらいの厚さから出てくるかということを行いました。昨年は 120 が一番厚かったので、今年度はそれより厚いものの試験ができるように装置が整備されますので、どのくらい厚さまで性能が担保できるかが見られるとよいと考えています。

それから、水平せん断について、補足がありましたらお願いします。

○委員 水平せん断に関しては、大体何となく分かってきたのですが、せん断破壊が生じないというのをどう考えるかです。水平せん断試験を接着性能試験の代替として考えるのであれば、曲げ破壊を起こしても問題ないので、スパン 5h でめり込みが起こりにくい条件でやればよいと思います。また、基準強度を出したい、いわゆるせん断強度を出したいということであれば、曲げ破壊が起こらないような条件で、なるべく起こりにくい条件、4h とか、言ってしまうえば逆対称とかでやるしかないという形になってきますので、何を目的にしてやるかというところを考えていくことが重要だとは思いますが。

○委員長 今、2つの指摘がありました。まず、1つ目は、「正しい」という表現が正しいのかと。いつも悩むわけですが、正しい水平せん断性能みたいなものをまずは測っておく必要があります。これは設計上の数値を求めるということです。その際には、大変なのですが、逆対称とかそういう方法を採用して測るということが一つあるだろう。

もう 1 つは、JAS 化を見据えた試験方法みたいな観点でいくと、接着の評価方法としての短スパンの曲げというところであればエイヤでやってしまっただけで破壊したときの強度性能が幾つということを担保する。別の言い方をすると、同じ試験条件で曲げにより壊れたということは、せん断はもっと高い性能があったということになるので、それは曲げで壊してその数値が基準を満たしていれば間接的にせん断性能は OK になるという判断もあるという部分です。この 2 つを方向性として考えなければいけないという指摘だったと思います。

それから、JAS 化を見据えた試験方法というところで、1 つは、合板ですので各接着層に対して本来は引張せん断試験をすることになるのですが、何十層もあると現実的ではないとなると、水平せん断を測ることで接着性能を担保しようということがあります。もう 1 つは剥離系の試験です。この点について、補足がありましたらお願いします。

○委員 これまでは LVL の JAS の方法で試験を行ってきたのですが、評価は可能であるだろうという段階です。先ほどお話にあったヒノキとカラマツでは少し剥離が大きかったというのは、今現在の製造条件ではということですので、この先、製造条件を最適化していけば問題ないことだろうと思っています。

あとは評価方法を確立するということですが、接着があまりよくない試験片でも実施すれば、評価法の刺激の強さというものが分かってくるので、実験的にはなりますが、そ

のような取組みも必要かなと思っています。その部分は基準値を決めていくという観点で必要かなと思います。

○委員長 確かに、測って、全部ばらつきはありつつ OK でしたというのだとどうすればいいか分からないので、接着がわざと低くなるような試験体をつくって、どこで分別できるかというところを、これは基準値の設定で大事ですので、その辺についても検討ができればいいと思っています。

それから、構面としての性能評価というところですが、構面として何をやるかというところが悩ましいです。今年度は検討が進められるといいと思っています。それから、構面として考えた場合に強度性能以外の性能もあって、例えば断熱性能であるとか、透湿性能であるとか、いわゆる基礎物性に関しても要検討ということになるかと思います。そのあたりで補足がありましたらお願いします。

○委員 断熱性能については、当方で測定できる厚さが最大 100 ミリまでなので、100 ミリまでの試験体について熱伝導率を測ったところ、おおむねスギについては厚さによらず、ほぼ一定の  $0.09 \text{ (W/(m} \cdot \text{K))}$  から  $0.1$  ぐらいの範囲で推移しているということが見えてきたところです。引き続きこちらは測定数を増やして、ばらつきも含めてある程度数字を決めていきたいというのが今年度です。

それ以上の大きさのものに関しては、測定の方法等、もしくは薄いものから推定するか、そういう方法の精度を検討していきたい。

透湿抵抗に関しては、144 ミリの測定を 2 年半続けています。ようやく少し安定した状態が見えてきたかなというところがありますが、なかなか測定時間としては難しい面があります。こちらの方こそ例えば薄いもので推定するなり、または別の方法でシミュレーションして推定するなどの手法を検討していく必要があると考えています。

○委員長 厚くなってくると、なかなか既存のいろいろな試験方法が適用し難くなるという問題は非常に大きくて、できれば薄いものの測定結果が厚いものに適用可能だということを出していったら、薄いもので比較的簡単に測った数値で、そのままでよいのか換算するのかといったことを考えながら数値を導出していきたいということです。

それから今具体的に数字を挙げていただいた、熱伝導率が  $0.09$  から  $0.1$  というのは、実は文献値からすると非常に低くて、IBECs が出している基準値だと  $0.16$  とかすごく高い数値が決まっていると思います。それに対して、実際にスギを中心とした国産の針葉樹の合板の場合には低い数値であるということです。この点はもう少し積極的に提案していったら、最終的には IBECs の基準とかそういったところに反映できるといいということがありますので、それに向けたデータの蓄積も図っていききたいと考えています。

また、性能評価側で少し測定をするべきと考えられる仕様についての提案をすると思いますので、よろしくお願いします。

以上

#### 11.2.2 第2回委員会 令和6年9月27日（金）

- ・ 今年度の試作仕様と性能評価項目について、原板の仕様、製造試験体数、試験内容等に係る案を議論した。
- ・ 試験体に使用する単板の厚み、当該事業の成果となる試験データの取扱い、透湿性能の評価方法の方向性と成果データの活用方向等について、質疑を実施した。
- ・ 議論を踏まえた案をベースに試作及び性能評価を進めることとなった。

以上

※ 会議の録音不調により、議事概要として整理。

### 11.2.3 第3回委員会 令和6年12月5日（木）

○委員長 進捗状況の報告で、委員に順番をお願いします。

それでは、モーメントが作用する接合部に関しての検討ということで、ドリフトピンの縁距離、端距離との影響を検討いただいています。

端距離というのは長手方向の端部からの距離、縁距離というのは幅方向の端部からの距離とご理解ください。これと接合部の位置の関係についてご検討いただいているということになります。鋼板挿入型の接合部の挿入される鋼板の形状となっていて、ここにドリフトピンを打ち込んでいって接合部をつくるということになっています。

下側に鋼板が挿入されて上のほうを固定している形です。

コの字型の鋼板ということで、長辺に沿ったところで立ち上がりが大きくなっていて、この部分が壁の脚部の引き抜けに抵抗するような形となっています。このような大きな断面の部材を壁のように使った場合には「壁柱」という言い方をしますが、接合部自体を剛な接合にすることができるので、従来の木造とは違う接合体力が期待できるということで実験をしていただいています。

実際には来年の1月に試験体、加工を終えて実験を行うということで、データの蓄積は年度末に向けてということになりますので、具体の検討の結果に関しては報告書をご参照いただく形になるかと思います。

今日は欠席の委員の代わりに私から概略の説明を申し上げました。

では、続きまして、熱伝導関係の進捗について簡単にご説明いただければと思います。

○委員 現在、今年製造していただいた試験体について熱伝導率の測定を進めています。おおむね熱伝導率は0.09から0.095の間にばらついていますが、合板の熱伝導率の一般値である0.16は十分下回っているという結果が出つつあります。測定は年内には終了します。

それ以外の透湿抵抗の測定も3年間続けていまして、こちらはようやく安定してきたところ です。

また寸法変化、湿度を高湿状態に置いたときの材料の、超厚合板の厚さ変化を1年近く測定しました。こちらはこの間で試験を終了しまして、ただ今データの整理を行っているところ です。以上です。

○委員長 熱伝導率に関しては、IBECの省エネルギー基準の中で合板の熱伝導率が0.16と出ているのですが、今回の測定結果では0.09程度ということで文献値より小さくなっている。すなわち、厚物合板・超厚合板は熱橋としての働きはより断熱的になることが分かったということで、これは非常に大きな成果であると思っています。

透湿抵抗に関しても透湿抵抗比による防露設計とかこのあたりを考えるとときに重要な数値になりますので、さらにデータを蓄積していただこうと思っているところ です。

最後の寸法変化については、「断面が大きくなるとパーセント的には小さくても、実寸法としての変化が大きくなることで収まりに影響があり得る」というご指摘がございました。

たので測定させていただいています。ただ、含水率が一定になるのに時間がかかるので測定に時間がかかっていますが、いずれ取りまとめができる状態になると考えています。

それでは、せん断試験についてご報告をいただければと思います。よろしくお願いいたします。

○委員 せん断試験の概要を簡単に申し上げますと、この試験方法を LVL の JAS に準拠して実施したところ、めり込みが非常に卓越して、何を測っているかすっきりしない状況だということです。

樹種ごとに横軸がスパン／高さ比です。3h だと小スパン、6h だと長いスパン。色分けしているのは破壊要因で、曲げ破壊したのか、せん断破壊したのかです。独自に、目視でめり込みが破壊に影響を及ぼした率を表しています。ヒノキ・カラマツはせん断破壊したのですが、スギは曲げ破壊が優勢だった。スパン比が小さくとも曲げ破壊が見られるというのは先生のご指摘のとおりで、これはめり込みの影響であったということです。よかったのが、5h・6h ぐらいのスパンではめり込みがほぼ回避できたということです。

例えば 6h のヒノキのせん断破壊ではかなりめり込みの影響を受けていたように見受けられます。

実際のせん断強さはどれぐらいかということですが、スパン比が大きくなるとせん断強さは低下していくわけですが、5h・6h ではほぼ安定した値で、スギは 1～2 ぐらいに収まって、ヒノキ・カラマツは 2～3 N/mm<sup>2</sup> です。左側は加圧板曲板、右側が平板だったのですが、加圧板の形状の差はあまりなかったように見受けられます。

まとめますと、スパン／高さ比を 5h・6h にするとめり込みの影響が排除できたので、スギは曲げ破壊はしたのですが、それ以上のせん断強さがあるとすれば安全側の数値を得られているのではないかとということで、この試験方法は真のせん断強さというより、層内の単板や接着性能の品質管理として有効ではないかと思われます。

実際に品質管理として使えるとして、どこにそのボーダーを持っていくかというのはこれから考えていかなければなりません。例えば、測定されたせん断強さで統計を採って下限値を求めるのか、あるいは 144 ミリとか 90 ミリとか 45 ミリでやっていますので、寸法効果による影響はどうか、そのあたりも考えていかなければならないと思っています。

今年ですが、スギの厚さ 144 ミリ・90 ミリは単板選別の 4 仕様について、スパン／高さ比は 5h で平使いのみで実施しようと思います。品質管理が目的ですので、縦使いは何を測っているか分からないので、平使いのみでやります。今 JAS 認証された 50 ミリ厚の合板をつくっているわけですが、実際ユーザーからめり込みの性能はどうかと聞かれましたので、50 ミリ厚合板でめり込み試験をやっています。今、なかなか面白い結果が得られつつあります。以上です。

○委員長 もう一つの水平せん断試験の方法について、ご説明いただければと思います。

○委員 今回は、基本的にはせん断試験については逆対称の 4 点せん断をすべてやる予定にしていまして、逆対称についても支点の形とか、ピン・ローラーの使い方とかもまだ詰

めきれていないところがあるので、その辺の試験方法の検討も含めてやっていく考えです。

○委員長 2つの観点から同じ物性についてではありますが、ご検討いただいているところです。1つは品質管理の方法として考えた場合に妥当な試験方法はどのようなものかということ。もう1つは、測定する目標となっている数値、正しい値は幾つなのかということ、2カ所までのご検討をいただいていることになります。

こちらは先ほどご指摘いただいた、基準値をどうするかということを考えると、そもそも水平せん断の層内せん断強度はどれぐらいなのだろうかということを考えなければいけないので、そのための測定も必要になってくるということです。

もう1つは、先ほどのスパンを変えたときの影響についてですが、スパンを変えるとどのような形の変形が卓越するのかが変わってくるわけですが、例えばそれで測定される数値自体が変わらなければ、測定された数値以上であるということ、モードが変わっていても問題がないと考えられるのですが、今回の結果を拝見すると、スパンが短くなってめり込みが卓越してくると測定される強度は上がってしまう。そうすると、正しくせん断で壊さないと、危険側の判定をし得るところが1つ問題だろうと思っています。

そこで、今年度の5hの結果を拝見して基準値がどれぐらいということを考えていけばよいかを検討できるということと、もう1つは層内せん断の本当の値をなるべく測りたいということをお願いしているところです。

では続きまして、曲げの進捗についてのご報告をお願いできますか。

○委員 実験をスタートして、加力関係の実験のトラブルがあつてなかなかセッティングがうまくいなくて時間を要してしまったのですが、ようやく加力できるようになりました。今のところ128体のうち16体まで実験が終わっているところです。今月も予定していきまして、引き続き実験を進めていきたいと考えています。

○委員長 今のところ、今年度試作いただいた45ミリ厚の測定を進めていただいています。

今年度ご提供いただいた試験体の出荷段階での接着試験結果をメーカーで測定している部分があるかと思います。そのデータを報告書に載せて差し支えなければ、まとめ直していただいたものをご提供いただき報告書に載せたいと考えております。ご検討いただければと思います。よろしくお願いします。

厚くなると試験体を大きくしなければいけないのだけれども、現状の製造の在り方ですと大きなものをつくれないうことがジレンマになっていまして、超厚と言いつつ、そんなにすごく厚いものは試験ができない状況もあるもので、もう少し先に進まないというところかと思っています。

○委員 各委員の先生方が取り組まれていることには大変興味を持って、超厚合板ならではの物性が非常にアピールできる結果が得られればと考えております。また建築的に見

て、接合について今回取り組まれた実験の様子も知ることができたのですが、これを延長してそちらの方面で後押しできるようなことができればと思っています。以上です。

○委員長 もう少し進んだ段階になりましたら、実際の建築に実装していくときの問題点をいろいろ検討しなければいけないと思っています。その折にまたご助言いただければと思います。

○メーカー委員 先ほど委員長から話がありました試験体の資料の件です。少し時間がいただきますが、データを送るようにします。

○委員長 出荷時に測定いただいた項目、接着以外のところももしオープンにしていだけるところがあれば含めていただければと思いますので、ご検討いただければと思います。よろしくお願いします。

○メーカー委員 今回、剥離試験の結果を報告します。

以上

#### 11.2.4 第4回委員会 令和7年2月3日（月）

○委員長 まず、製造因子の検討ということで、製造上のことでお願いします。

○メーカー委員 今年度の製造で苦戦したのは丸太の手配で、令和5年度の密度に対して、6年度の密度は少し低かった点がありました。

○委員長 基礎物性の測定というところで、項目としては曲げ、水平せん断性能、接着の程度、熱伝導率・厚さ・透湿抵抗という順番で、まず曲げ性能にお願いします。

○委員 曲げ性能ということで、試験体としては⑰、⑱、㉑、㉒とありまして、それぞれ単板の選別について4種類ある中で試験を行っています。

試験方法としては5分プラスマイナス2分となるような形で加力速度は毎分10ミリとし、試験体の支点間距離は18t。試験体900の幅から強軸・弱軸を採るものでしたので少し厳しかったのですが、18tという設定で曲げ試験を行っています。

17の試験体については、原板が1枚、2枚とありまして、各8枚ずつ採って試験に供しています。原板1から強軸で採ったものと、原板1から弱軸で採ったものという2段構成で、強軸は強軸で、弱軸は弱軸でまとめて表に記しています。

概略ですが、強軸が弱軸をやや上回るというところはあったのですが、㉑の仕様は強度について弱軸が20と少し高いと出ています。こちらについては、弱軸が強かった、強軸より高い値を示していたという逆転現象ですが、24ミリ・28ミリの厚物合板でも同様な事象が起きていまして、今後の検証が必要ではないかということがあります。

破壊性状としては加力点直下で曲げ破壊をするというのが主だったのですが、試験体下端による引っ張り破断で破壊することがあったのですが、先ほどの逆転現象が起きていた㉑の仕様については層内せん断によって破壊しているものが比較的多く、曲げ破壊に至る梁せいに対するスパンの設定など、18が少し無理があったのかということで、この辺の課題が残ったということが今回の試験で分かっています。

○委員長 ㉑だけが表層だけを目視で選別したという仕様だったかと思います。そうすると、目視で等級区分をしたC-Dという等級のものが必ずしも強くないことが分かったのかなという気がちょっとしています。このあたり、目視等級区分と強度等級区分の関係をきちんと精査する必要があるように思いますが、厚物合板、24ミリ・28ミリ・35ミリの場合も弱軸のほうが強軸より強くなるという現象はしばしば見られていました。確かにそういった場合せん断で壊れることがありまして、引張側の縁応力で壊れていないところから、そこまでの荷重負担能力が最外層の単板になかったということかなとも思っています。

今回は私どもの試験装置の限界がありまして18tでしたが、今後、さらに長尺の試験体をご提供いただける場合ですともう少しスパン梁せい比を大きく取って、物性値としての評価ができるようにしていきたいと思っています。

水平せん断性能にお願いします。

○委員 今回は 45 ミリ厚の試験体と 90 ミリの試験体で、いずれも逆対称 4 点荷重方式せん断試験を実施しています。

結果の前に層構成と試験体の説明をさせていただきます。「層構成記号」とありますが、A-60 が全選別、P-60 が平行層のみ選別、F-60 が表層のみ選別、F-C-D というのが目視による選別のものとなります。

90 ミリは原板 1 枚から 6 体だったのですが、45 ミリは 2 枚の原板から 4 体ずつ採って試験をしたという形で、45 ミリについては 45-1、45-2 という形です。

研究者的には面白い結果になったのですが、よく分からない。層選別の結果よりも、特に 45 ミリは製造された合板のばらつきの影響のほうが大きく出た結果です。ですから、全層選別したものが強いとかそういうことはなくて、数字だけを見るとむしろ目視の C-D が一番高いという結果になっています。

破壊形態だけ簡単に説明します。45 ミリの方はほぼせん断で壊れましたが、全層選別のうち 1 体は曲げ破壊のみで壊れました。残りの 1 個は全部せん断で壊れていますので、全層選別だからということではないという結果になっています。

90 ミリの方は試験体によって破壊形態が変わってしまいまして、特に平行層 60 ミリは非常に低い荷重レベルからせん断破壊が発生、ずぶずぶずぶという感じで発生していつて壊れていき、強度も弱くなっている。表層 60 に関しては、逆に全部曲げ破壊を起こした。ただしこの表層は底にちょうど節がありまして、その影響かなという感じにはなっています。

45 ミリは、左側がせん断破壊ですが、それなりに弱軸層のところでせん断破壊している。右側はせん断と曲げが同時に起こった感じになります。

90 ミリは、先ほど言ったように、P-60 でずぶずぶとせん断破壊が起こったというのが左側で、ほとんど全ての弱軸層でせん断破壊が起こっています。逆に右側が全部曲げ破壊したという F-60 ですが、節が下にあるのが見えるかと思いますが、曲げ破壊を起こしています。とにかく、選別というよりも、試験体のそれぞれの特性に合わせて強度が決まってしまったという感じになっています。

45 ミリでは、相関が何となくあるといえはるかな、でも細かくみるとないという感じの結果になっています。90 ミリが右側になりますが、P-60 はとにかく弱い。ほかはよく分からないけれども大体同じぐらいの感じになっていて、F-C-D だけがちょっと上にぼんと出ている、そんな結果になっています。

○委員長 最外層側直下の直交層は、何となくローリングシェアは起きている。ただ破壊として曲げだったり何だっただりになってしまうという感じに見えましたが、そういう解釈でよろしいでしょうか。

○委員 全くせん断がないという感じで曲げということでは基本的にはないですが、右側なんかはかなり曲げで強度が決まってしまったという感じです。これがなければもっとせん断で強度が上がったという感じです。やはり最外層に欠点があるとそこで決まってしまうので、本来出るはずのせん断強度が出なくなっているということはあったと思います。

○委員長 確かに研究者的には面白いという表現がそのとおりだなというところですね。

○委員 試験の目的は品質管理ということで行いました。144 ミリでは、せん断破壊が起こっていて、典型的なせん断破壊ですが、90 ミリもこのような形です。めり込みのほうは定量的には調べていないのですが、前みたいにめり込んで曲げ破壊というのは見られませんでした。

数字ですが、左側が 144 ミリ、右側が 90 ミリで、横軸が各タイプでストリップチャートです。傾向がよく分かりませんでした。90 ミリのタイプ 3 だけ表層のみ評価をしたのですが、それだけが低かったという結果になりました。

今までせん断強さと密度の関係を調べてなかなか出なかったのですが、90 ミリに限ってはこのような形で高い相関が見られて、原材料の密度が低かったということで、今回は幅が広がったから相関が出たのかなとちょっと思っています。これは詳しくまた考察したいと思います。

破壊の要因ですが、全層 60 以上のタイプ 1 は、全部青色のせん断破壊をした。単板の品質が同じであればせん断破壊をしたのですが、表層を変えたものについては曲げ破壊をした。表層を不連続というか品質を変えると曲げ破壊してしまったという形になりました。

○委員長 破壊要因はすごく分かりやすく、やはりせん断破壊させるためには内層の単板の性能が必要になってきていて、表層だけの選別の場合には、内層の単板品質があまりきちんと押さえられていないので、せん断までいかに曲げで壊れるみたいなイメージなのかなという感じもしましたが、先ほどのせん断試験と同じく、よく分からないという感じではありますね。

○委員 やはり均質であれば、せん断破壊するような試験方法なのかなと思います。

○委員長 そうですね。では続きまして、接着の程度についてお願いします。

○委員 今年度は試験体製造メーカーで取り組まれた試験の結果と、あとは製造でご苦労された点を踏まえて報告書にまとめようかと思っています。

全体の流れですが、試験体の試作 1 回目のものに対して、単板積層材の JAS 規格の接着剥離試験にて接着の評価を行いました。これはこれまでのこの事業での取り組みと同じになります。そうすると、幾分か接着不良が検出されたということで、この点についてはこの試験方法が超厚合板の接着性能の評価方法として適用可能ではないかというまとめ方をしたいと思っています。

これを踏まえて、試験体製造メーカーで一部製造条件等を改善して、皆さんのところに届いた試験体は試作の 2 回目になるのだそうですが、これについても一度接着試験を行ったということになります。その結果が、これまでと同じようにまとめようと思っていますが、剥離は特段なかったということで、今年度についてはこのような流れで試験を行っ

たということと、接着性能の評価方法をこの事業で検証しているのですが、今回行ったこれまでの試験方法でもいけるのではないかとこのままとめたいと思っています。

○委員長 従来、合板の JAS 規格の中では、接着性能を見るに当たりましては、特に構造用の場合、いわゆる接着せん断試験を各接着層に対して、接着層を規定する形で試験片の準備をしてその評価をしてきたわけですが、これが超厚製品になった場合、1つの試験体に対して数十回の試験を行わなければいけないということで、非常に大変になってきます。そうすると、1つには接着の本質的な程度の評価に当たっては剥離試験を実施することがよさそう。

もう1つ、強度性能的なものを担保するためには、先ほどお二方の委員からご説明をいただいた水平せん断性能を取り入れていく必要があるという形になるかと思います。特に水平せん断性能については、そもそも超厚製品の水平せん断性能がどれぐらいなのかという数値を出さなければいけないということと、もう1つは、規格の中に品質管理手法として位置付けるためにはどういう測定条件にしなければいけないかということがありまして、その点をお二方にご検討いただいているということになります。

併せて、より本質的といいますか、接着の程度、ちゃんと着いているかというところは接着剥離試験であろうということで現状は評価をいただいていることにはなりますが、この部分で接着がよくないものがないと逆に接着の評価ができない部分もありまして、そのあたりが評価としてはなかなか困るところではありますが、そんな形で今ご準備をいただいていることになります。

それでは続きまして、熱伝導率・厚さ変化・透湿抵抗についてお願いします。

○委員 熱伝導率・厚さ変化・透湿抵抗ということで試験を行っています。

実施内容は3つです。令和6年度製造試験体の熱伝導率、45ミリと90ミリのものを測っています。それから令和4年度に製造した試験体の吸湿厚さ寸法を令和4年度末からずっと測定していますが、今のところまだもう少しかなというところなんです。もう1つ、これは令和3年度から継続しているのですが、144ミリの透湿性能測定を行っています。

熱伝導率については、うちにある熱流計法（HFM法）と言われる測定方法のものを使っています。材料の両端に熱の傾斜、熱の差を与えて、熱いほうから冷たい方向に熱が流れるわけですが、そのときの熱流を熱流計で測定し、それから厚さで割り返して中の熱伝導率を測定する形です。

若干90ミリのほうが高いかなというところがありますが、これが材料によるのか、それとも測定の機械の特性によるものなのか、検討しなければいけないと考えているところです。

一番上の0.16のところには赤線が引いてあります。こちらが建物の熱貫流率を計算するとき一般的に用いられる合板の数字です。今まで何回も説明していますが、十分低い数字が出ています。今回、製品のある程度安定したものをまとめていただいたところ、どれもこれもとても0.16にまでは達しないことが分かっていますので、今回生産された試験体も、今までの熱貫流率の計算をしても全く安全な方向にいく形になります。

次に厚さの寸法変化を測定しています。こちらは23度の50%の恒温室で調湿を行ったものを23度の90%の環境下に置き、経時的に厚さを測定しています。寸法がどうしても円のままだと厳しいので、このように四角く切ったものを使って、4面をアルミテープでふさいで側面からの吸湿を防いでいます。見えている面とその裏面は開放された形になっています。これで面内5点の厚さ寸法を測って、それを経時的に測定しています。

今のところ300日を通過したところのデータですと、物によってはようやく少し安定してきたというところがありますが、まだまだ測定を続けていかないとちょっと分からないかなというところがあります。

初期に対する厚さ変化率、50%に対しての変化率は、今のところおおむね2.5～3%ぐらいの間で少し変化しているかなという形です。絶対値にしてみると、96の場合はどうしても2.5ミリぐらい動いているということが見えてきています。

次に144ミリの透湿性能測定です。こちらはJISにあるカップ法を改良したボルト締めのカップ法を使って試験を行っています。これを恒温恒湿室の中に入れて経時的に測するという形です。恒温恒湿室の中は温湿度がどうしても変動します。そのときにこれ自体が吸放湿するのと透過した湿気の量とが合わさってしまうのでよく分からなくなってしまう。というので、ブランクカップと言って何もセットしていない、これは2面にアルミテープを貼っています。要はここからの吸放湿を見ている試験体です。こういったものをひたすら測っていくスタイルです。結果ですが、恒温恒湿機は、このとき停電があったのか、1回機械がぐんと落ちました。それで1回低下したのですが、ブランク補正をしてやると、ある程度無視できるというのがあって、ブランクカップはやはり重要だなということが今回の試験で分かります。

こうやって見ていくと、ブランクカップ自体も23度50%の環境下に置いているのですが、こちらはだんだんいって、ようやく600日ぐらいから平行に達しているところがあります。ところがこちらの試験体はまだいってなくて、ようやく900日を超えたあたりから少し寝てきているところがあって、実はこちらは安定していないということがあります。

線を引くと、直線っぽくは見えはいますが、やはり安定していないので、ここで止めてよいのかどうかというところがあります。ですので、まだ来年も引き続きやっていかなければいけないのかなというところで、もう1100日やっています。

1時間当たりの重量変化量は、ミリグラムですが示すと、1つは動いていますが、もう1つも800日を超えたあたりか、900日ぐらいからようやく何となく寝てきたかなという感じです。先ほどのブランクカップもこれぐらいから寝てきていますが、重量変化量もようやく寝てきていますが、これをどこで打ち切るかというのはなかなか自信がないところがあって、2週間に1回ぐらい測定を続けているところです。

○委員 熱貫流率の話ですが、0.16を一つのターゲットにしているようなお話でもあるのですが、せっかくこれだけよい性能が出ているということでは、建築側からすると新たな、これが0.1になるとか、0.1なにがしかになるのか、そういうところで超厚合板の性能はこうであるということが定められるような期待は持ってよいのでしょうか。

建築のカーボンニュートラルの関連にもなるのですが、断熱性能に関する計算のところ  
でかなりシビアな数字を求められるような状況にもなっているものですから、せっかくこ  
れだけよいものが出ているのだったら、超厚とかはこうであるというふうな、答えを早く  
希望しすぎているかもしれませんが、そのあたりをコメントしていただければうれしく思  
いますが、いかがでしょうか。

○委員 私も常々これに関しては数字をもっと低くしてもよいのではないかと考えている  
ところですが、まず一つはうちの試験装置が公的な測定機関の認定は受けていません。で  
すので、まずそういったところで試験をこれから先やっていく必要があると思います。例  
えば、建材試験センターは公的な評価機関としての認定を持っていますので、ここまで安  
定してきたらそろそろそちらに依頼試験のようなもので出して数値をいただく。それをも  
って、さてどこに数字を持っていけば使ってもらえるようになるかというのが、私もそち  
らのほうの知識があまりないものですから、逆に皆さまの知識とかお話を聞かせていただ  
いて、そういった道筋をつけていければと考えているところです。

○委員長 これは、一つはそろそろ安定的な試験体になってきているので、依頼試験のよ  
うな形で建材試験センターにお願いしてみようというのは非常によい試みだと思います。  
そこで得られた数値をどうするのでしょうか。提案する先としては IBEC とかですかね。

○委員 CLT のときには数字を出していますので、ちょっとそこら辺をもう一回精査し  
て、どういったルートでどういう働き掛けをすればよいのかを見ていきたいと思っていま  
す。

○委員長 以前、気密材が問題になったときに、合板パーティクルボードは気密材だけれ  
ども、MDF は気密材にならないと IBEC の本に書かれた時期があって、何でか分からな  
かったのですが、取りあえず気密性の測定をして、そのデータを IBEC に業界団体から提出  
していただいたことがあります。なので、これもそういう方法になるのかなという気もし  
ますが、多分何らかアクションの仕方はあると思いますので、今のご提案は重要だと思  
いますので、日合連と相談をさせていただきながら対応を考えていきたいと思います。

これは超厚だけではなくて、薄い合板も数値はこれぐらいですよ。

○委員 そうです。基本的には変わらないです。

○委員長 合板全体をもうちょっと下げることができるのではないかと考えていますので、  
どういう形で依頼試験をお願いできるかと幾らぐらい掛かるのかというところの兼ね合い  
で考えていきたいと思います。むしろ現状の建築にとっては、超厚よりも比較的薄いもの  
に有用性があるようにも思いますので、その辺も併せて考えたいと思います。貴重なご指  
摘をありがとうございました。

超厚合板構面の接合部に関する基本的性能についてお願いします。

○委員 接合部の実験は、これまでボルト接合を中心として、ボルト1本が超厚合板にめり込んでいくときの支圧性能をまず測って、その後鋼板挿入ドリフトピン接合、ボルトも同じですが、鋼板挿入型の接合部でピンが1本のとき、2本のとき、あるいはもうちょっと多いとき、少しずつ数を増やしながら1本当たりの性能と、それが複数本になったときの引っ張り性能、せん断性能を実験的に検証して、それが紀要のヨーロッパ型降伏理論とか弾性床の梁（はり）理論と適合するかどうか、あるいは集成材などを基準としている建築学会のさまざまな基準類と合うのか合わないのかみたいなところをずっと検証してきました。

今年度はその集大成的な感じでもあるのですが、もう少し大きな構面で耐力壁のような形をつくり、柱脚部分にその接合部、鋼板挿入のドリフトピン接合をつくる形にしています。金物の肩の部分、ここが超厚合板に挿入される側で、下は鉄骨架台に固定する側になっています。

こういう試験をやる理由としては、将来的にCLTと同じような形で超厚合板が耐力壁というか壁柱のような形で使われることを想定すると、これが柱だとしたときに、横から水平力が、地震力とか風圧力が加わって、壁が左から力が来ると右のほうに回転していくような形です。そうすると柱脚部には、上へ単純に引き抜く力ではなくて、引き抜きながら右側に回転していく、引き抜きと回転の両方の力が加わってくるので、単純な引っ張り性能だけを検証していた昨年度までの性能とは少し異なる性能になることが予想されるわけです。なので、ボルトとかピンが入っているところから見た長手方向の端距離とか、短手方向の縁距離とか、そういった距離が単純な引っ張り試験から得られる値とは変わってくるだろう。そういったあたりを検証しようということでこういう実験をしているわけです。壁全体をつかんで、右に行ったり左に行ったりという耐力壁の実験と同じような形です。

そうやって得られた荷重－変位関係が右側に描いてあるわけですが、このときに何をパラメーターにしているかということ、ピンの列の左側の縁距離がどのくらい離せば十分な粘り強い挙動を示すのかを検証しようということで、ピンの直径が16ミリ、これを $d$ と置いて、 $4d$ から $5d$ 、 $6d$ 、 $7d$ と徐々に増やしながら実験をしているところです。

上が $4d$ で下が $5d$ のグラフで、最大耐力あたりで荷重が落ちてしまう、割れてしまう感じの結果が得られています。つい最近、もう少し距離を延ばした、 $6d$ 、 $7d$ の結果ですが、グラフがかなり右のほうまで広がっていているのが分かると思いますが、徐々に粘り強い性状が出てきたことが分かっています。

一方で、これはわれわれとしては予想していなかったのですが、試験体で言うところの右下の部分、圧縮側のところの鉄板が座屈変形をしてしまったということで、鋼材の鋼構造設計基準を基に計算すると座屈しない設計になっていて、鉄骨造の専門家に聞いても座屈しないはずだけだとわれわれながら、実験をするとなぜか座屈してしまったということで、柱脚の固定する部分と接合部の間の距離を短くした金物なんかをつくり替えたものでやり直しをしようかと考えているのですが、実験自体はそんなにおかしな挙動ではないので、どんな差が出るかというのをもう1回ぐらい検証しようかなというところです。おおむね今年度の実験は終わっているのですが、あと1体か2体ぐらい追加でやれないかと考えているところです。

今実験を担当している者は、有効引っ張り幅みたいなものを定義することによって、引っ張りで破断する耐力と、せん断で壊れる耐力を、どちらが大きい・小さいみたいなものが計算できないかと考えているようで、その辺は実験結果を見ながら、こんな計算だったらいけるんじゃないかということが少し見え始めたというところかと思います。

これが従来の集成材とか CLT なんかとどのくらい違う式になるのかとか、そのあたりを今後検証していけばいいかなと思っていますところ。

○委員長 まず、入り口として、単体の接合に対して接合具を複数本にしていった場合に、単純に本数倍の耐力が期待できるというのは非常に木材にとってはよい方法で、集成材なんかですと最大 60%とか 70%を切るぐらいまで下がってしまうという報告もあって、それに対して直交層が入っていることで本数倍になるというところはすごく特長的だと思います。

CLT のときにはそこをどうやって設計するのか、私はまだ読み解けていなくて分からないのですが、CLT の場合も低減を見込むのですかね。

○委員 見込んでいたと思いますが、そこまできちっと出したデータがあったかなと、私もあまりそっちの実験は担当したことがなかったのですが。集成材の値を流用しているのではないかという気がします。

○委員長 そうですね。ざっくり本数を掛けているような気がしているのですが、その 1 本当たりの耐力に低減を見込んでいるのかとかが私はまだ見つけられていないのですが、おそらく超厚のほうで、本数低減は起こりにくいのかなという感じがしました。

それから、柱脚で座屈が起きるというのも、そういう強度を持つ木質材料がようやくできてきたということかもしれないです。

○委員 そうなんですよ。

○委員長 圧縮側のボルトが並んでいるところがスチフナー的な働きをして、むしろ下の鉄板部分が座屈しやすくなるようなことが起こっているのかもしれないし、もう少しこの辺は検討のしがいがある感じなのかなとも思っています。

○委員 鉄骨造の人でも原因がよく分からんという話なので、どういう応力の分布になっているのか、現状がよく分からないんです。研究的にやるのだったら画像相関を採るなどいろいろやりようもあると思いますが、今年度の事業の中ではそこまではできそうもないので、ちょっと金物の形状を変えることで、座屈しない状態で本来の性能の実験データが採ればよいなと思っていますところ。

○委員長 画像相関だったら、森林総研でもできると思います。

○委員 材料の歩留まりがよいということで今回 60 以上の単板を選別して配置したということ工夫したわけですが、60 以下というのはかえって探すような形でご苦労なさったところがあるのかもしれないと思って、そこら辺をお聞きしたいのですが、いかがでしょう。

○メーカー委員 60 以上を探すというよりも、60 以上のもので組み立てをするという解釈で、今年度に関してはざっくり 60 以上が 70%、前年度が確か 90%ぐらいだったかなという記憶です。それぐらい 5 年度と 6 年度の材料の密度が違ったなというような印象で覚えています。

○委員 今回は合板用ということで、前の製材用より品質が落ちたということでよろしいでしょうか。

○メーカー委員 やはり全体的に品質は落ちています。60 以上といえども、なかなか強いのが、5 年度と比較すると少なかったという感じでした。皮辺のほうもかなり早材が痩せていまして、選木に苦労したそういう感じの印象が今思い出されます。

○委員 単板品質、目視の C-D、例えば 60E とかそこら辺の数字と何か関係があったのでしょうか。

○メーカー委員 関係があるかどうかというのは定かではないですが、60 より下回るものはどちらかというと心材部が該当する感じで、よほど皮辺の部分で 60 を下回るようですと、単板を持ったときに感覚的には空に浮くような、乾燥後にふわつとしたようなスポンジ状のものが 60 を下回るようなエレメントになるのかなというイメージで、逆に心材部は節が非常に多くなってくるので、伝達速度の部分で落ちてしまう、低くなるというイメージです。

○委員長 今後、原木の選別がきちっとできる方向がよいなと思うと、現状ですと入り口はやはり重さで分けるようなことになるかと思うのですが、素材の JAS の中ではヤング係数による選別もできることになっているはずですが、流通自体は多分ゼロだと思いますが、そのあたりも今後合板についても必要になってくるのかなという気もしています。60 and better は、歩留まり的にそんなに下げないで強度をある範囲で担保したいと思うと下限だけ切るという方向で考えていたわけですが、当然 and better なので平均値がどの辺にあるかで全体も変わってきます。なので、そのあたりを密度が分かっている、振動数が分かれば丸太のヤングが分かるので、それからむいて取れる単板がどれぐらいのヤングになるのかを今後ちょっと研究的には追い掛けて、最終的に得られる合板がどれぐらいというところを検討してみたいとも思っているところです。

○委員 せん断試験等々の破壊の形状について、厚物になったことで、ただ単純に許容圧縮応力度、圧縮性能に関しては何か今回調べているのでしょうか。やはり超厚にな

ることによって何らか数値的に変化が表れているのではないかということ。また、建築的に見たときに、構造物にしたときにそれが効いてくることがいろいろあるものですから、やはりちょっと知っておきたい。

○委員 体系的にちゃんとやったかと言われるとやっていないと思いますが、少しやったことはあったはずです。というぐらいで、いろいろなパターンを単板構成を替えてという感じではやっていなかったと思います。でも、基準強度の話からするとやらなければいけないのですが。

○委員長 そうですね。

取り立てて超厚化したことで何か従来の合板と違うところは、定性的には見つからないように思います。ただ、数値としてこれまでの考え方が妥当かどうかはもう少し別の事業で行っている部分がありますので、そちらがまとまりましたらまた公表させていただきますので、そちらを見ていただいて、最終的に基準強度としてどういう数値になっていくのかということも検討させていただきたいと思います。

○委員 なかなか合板は難しいのだなと思って聞いていましたが、試験体を増やしたりするとか、単板の選別をもっと細かくやるとか、そういう方法しかないのですかね。

○委員長 まだ作り方がちゃんと決まっていないので、現状ご苦労いただいて試作をしていただいているので、作り方を固めていくともう少し寄ってくる部分があるのかなと思います。それから、やはり合板といえども、思いのほか、原木の性能を拾いますので、そのあたりをどう寄せていくのかということかと思っています。

今回、超厚合板に関しては、当然ですが、この後、強度の指定をいただいてという方向になります。

○委員 強度指定ですか。あまり曲げが整っていないなくても、接続部の性能がちゃんと出れば建築物の設計はできるので、そんなに慌てなくてもいいのかもしれませんが。

○委員長 ありがとうございます。よろしくお願いします。

以上



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  
E-mail : [info@jpma.jp](mailto:info@jpma.jp)