

平成 27 年度
CLT 等新たな製品・技術の開発・普及
事業（CLT 等接合部データ収集）
事業報告書

平成 28 年 3 月

一般社団法人全国 LVL 協会

平成 27 年度事業報告書

目次

| | | |
|-------|----------------|-------|
| 第 1 章 | 序文 | 1 |
| 第 2 章 | 事業内容 | 2 |
| 第 3 章 | 複数本接合部性能検証 | 3 |
| 第 4 章 | 面内せん断性能検証 | 8 9 |
| 第 5 章 | 合わせ梁性能検証 | 1 1 5 |
| 第 6 章 | スクリーネイル接合部性能検証 | 1 4 6 |
| 第 7 章 | まとめと今後の課題 | 1 7 2 |
| 第 8 章 | 添付資料 | 1 7 3 |

第1章 序文

本報告書は、「平成27年度 林野庁 CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業（CLT 等接合部データ収集）」の研究成果を事業報告書として取りまとめたものである。

近年、木造建築の大型化に伴い、LVL も中層大規模建築に適用される可能性が高まってきた。平成25年に単板積層材の日本農林規格に、直交単板を含む B 種構造用単板積層材が追加されたことにより、LVL が従来の小規模住宅から公共建築物や事務所、商業建築など多様な用途に適用されることが期待されている。LVL は、製造上の特徴として、部材の厚さが幅に対して薄くなる傾向があるため、大規模木造に適用する場合には、部材の配置や接合部の特性に注意を払うことが必要となる。特に B 種 LVL では直交単板の存在が部材や接合部の力学特性に影響を及ぼすことが考えられるため、これらの特性を実験的に検証しておく必要がある。

平成26年度の事業では、A 種および B 種 LVL における接合具の支圧強度を求めることにより、接合部の耐力算定に必要な基礎資料を整備した。一方、LVL を中大規模建築に適用するためには、大型の部材の接合が必要となることから、多数本の接合具が使用されることが想定され、接合具の本数や配置が接合部の耐力や破壊性状に及ぼす影響を調べておくことが必要となる。本報告書では、A 種および B 種 LVL のボルト接合部について、1 列の本数および列数を変化させて強度実験を行い、接合具の本数および配置が接合耐力に及ぼす影響を調べるとともに、それぞれの破壊性状を調べることにより、接合部の破壊メカニズムを明らかにするための資料を提供している。

LVL をせいの大きな梁や面部材として用いる場合には、LVL の面内せん断性能が必要となるが JAS ではそのような性能は規定されていない。本報告書では、A 種および B 種の LVL について、2 種類の方法による面内せん断実験を実施し、試験法の検討を行うとともに面内せん断弾性係数及び面内せん断強度に関する資料を整備している。

また、スパンの大きな梁では、せいの大きい部材の使用が要求されることが想定され、LVL を縦に並べて機械的に緊結した合せ梁が用いられることが考えられる。このような部材では、スパン及び梁せいに応じて横座屈に対する補剛が必要となるが、今のところそのような設計に供する資料は整備されていない。本報告書においては、LVL を様々な接合形式により緊結した合せ梁について捻り実験を実施し、設計のための資料を整備している。

本年度の研究では、LVL を中大規模建築に適用するための構造に関する諸問題に関して特に接合部の設計に注目し強度実験を実施し、A 種、B 種それぞれにおける部材及び接合部の特性に関する資料の整備を図った。限られた期間における研究ではあるが、これらの成果が LVL の新たな構造部材としての適用に活用されることを期待したい。

平成28年3月 静岡大学大学院農学領域 教授 安村基

第2章 事業内容

2.1 目的

本事業では、平成26年度林野庁委託事業「CLT等新たな製品・技術の開発促進事業」で行われた成果を受けて、単板積層材のJASで新規格となったB種構造用LVLの接合部データの整合性を検証し、設計者が中層大規模木造でLVLを構造部材として設計できる形で提示することを目的とする。

2.2 実施概要

B種LVLが提供できる薄い構造用面材、梁せいを抑えて断面設計された合せ梁を想定した中層大規模木造建築物で接合部を想定する。B種構造用LVLは、直交層を多く入れることができる幅広の構造部材である。従来の軸材とは違い、面材及び、厚板壁として、壁・床・梁・屋根の構造部材としての使用が想定される。厚 30mm~90mm×せい 600~1200mm×長 12m の断面を持って、大断面集成材とは異なるデザインを意匠設計者が実現可能である。

具体的にはB種LVLを用いた以下の性能項目について検証を行う。

1. 複数本ボルト接合部性能検証

実際の接合部を想定した複数本ボルト接合のB種LVLについて、検証試験を行う。単数本のボルト接合部性能との比較検証を行う。

2. 面内せん断性能検証

面内せん断性能の検証を昨年度に引き続き行い、設計者が設計できるデータを提供する。

3. ビスを用いた合わせ梁の性能検証

B種LVLの板をビスでつないで12m長の大スパンを実現する、LVL合せ梁の一般的な設計手法を提案する。

4. スクリューネイル性能検証

B種LVLとA種LVLの組み合わせで作成されるストレススキンパネルを想定し、ビス及び、釘を用いた接着ビス接合部性能の検証を行う。

2.4 事業全体スケジュール

| 実施時期 | 実施内容 |
|----------|---|
| H27.9 | 全体会議と計画検証、各チームメンバー決定 検証項目、および要求性能を確認 共同研究契約締結 |
| H27.10 | 試験計画・準備 情報整備資料の概略作成スタート |
| H27.11 | 試験継続 |
| H28.1 | 追加実験 |
| H28.2 | 最終全体会議、および最終報告書の作成 予算締め |
| H28.2 末 | 報告書作成 |
| H28.3.11 | 最終報告書提出 |

2.5 事業体制

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

材料強度委員会

| | | | |
|--------|---------------------|-------|-----------------------|
| 委員長 | 静岡大学農学部 | 安村 基 | 環境森林科学科 住環境構造学研究室 教授 |
| 委員 | 宇都宮大学 | 中島 史郎 | 地域連携教育研究センター |
| | 森林総合研究所 | 渋沢 龍也 | 複合材料研究領域 複合化研究室 室長 |
| | 森林総合研究所 | 宮本 康太 | 複合材料研究領域 複合化研究室 主任研究員 |
| | 静岡大学農学部 | 小林 研治 | 環境森林科学科 住環境構造学研究室 助教 |
| | ベターリビング | 岡部 実 | 構造・材料性能試験研究部 主任研究員 |
| | 桜設計集団 | 佐藤 孝浩 | |
| | 島根県産業技術センター | 河村 進 | 材料技術グループ 主任研究員 |
| | 広島県立総合技術研究所林業技術センター | 野沢 浩二 | 林業研究部 総括研究員兼副部長 |
| 協会会員 | オーシカ | 辻 健 | 市場開発推進部 部長 |
| | ウッドワン | 疋田 慎二 | 住宅システム営業部 構造設計課 |
| | インターレックス | 高橋 圭吾 | パネル セールス |
| | 東日本パワーファスニング | 荏部 泰輝 | 代表取締役社長 |
| | 東日本パワーファスニング | 北森 一成 | 営業本部 |
| | キーテック | 李 元羽 | 開発部 次長 |
| | 若井ホールディングス | 橋本 岳史 | 開発本部 |
| | 若井ホールディングス | 森 正樹 | 開発本部 |
| オブザーバー | 林野庁 | 北代 新也 | 林政部木材産業課 木材製品技術室 専門職 |
| | 広島県立総合技術研究所林業技術センター | 藤田 和彦 | |
| | 桜設計集団 | 池谷 聡史 | |
| 事務局 | 全国LVL協会 | 井上 国雄 | 事務局長 |
| | | 成田 敏基 | 技術課長 |
| | | 松里 整 | 建築研究所交流研究員 |
| | | 村山 和繁 | |

2.6 事業結果

本事業を実施した結果、以下の結論を得た。詳しくは第2章以降を参照されたい。

1. 複数本ボルト接合部性能検証

接合部の鋼材側板せん断試験を行った。接合具の本数や配置が接合耐力に及ぼす影響、破壊性状を確認し、接合部の破壊メカニズムを明らかにするための資料を提供した。

2. 面内せん断性能検証

ツーレールシェア型面内せん断試験を行った。B種LVLについては、いずれの樹種も同じ樹種の構造用合板と比較して面内せん断強度はやや低く、面内せん断弾性係数はやや高い結果となった。

3. ビスを用いた合わせ梁の性能検証

合わせ梁のねじり試験及び、実大曲げ試験を行った。木質構造設計規準・同解説（日本建築学会）による設計規準式と弾性論による計算式のいずれも、実際の横座屈モーメントよりも著しく小さい値となった。

4. スクリューネイル性能検証

ビス・スクリューネイルによる接着ビス接合部一面せん断試験を行った。施工に要する時間と性能とを比較したところ、ビスとスクリューネイルとを併用することが望ましいことが明らかになった。

第3章 複数本接合部性能検証

3.1 目的

「構造用単板積層材/鋼板添え板/M16 ボルト接合部のせん断試験」を実施し、構造用単板積層材の種類・厚さ、ボルト本数、ボルト配置によるせん断性能を確認することを目的とする。

3.2 試験体

3.2.1 構造用単板積層材

構造用単板積層材は、単板積層材の日本農林規格に規定する A 種構造用単板積層材と B 種構造用単板積層材の 2 種類で、厚さは 40mm、80mm、120mm の 3 種類とする。構造用単板積層材の仕様を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 構造用単板積層材の仕様

| 項目 | 仕様 | | |
|-----------|---|-------------------------|---------------------------|
| 規格 | 単板積層材の日本農林規格に規定する構造用単板積層材 | | |
| 種類 | A 種 及び B 種 | | |
| 厚さ *1 | 40mm、80mm、120mm (±1.0) | | |
| M16 ボルト穴径 | 17mm | | |
| 水平せん断区分 | 厚さ 40mm (2 次接着無) | A 種 : 55V-47H | B 種 : 60V-40H *2 |
| | 厚さ 80mm,120mm (2 次接着有) | A 種 : 55V-47H | B 種 : 60V-40H *3 |
| 曲げヤング係数区分 | A 種 120E (120E-385F) | B 種 100E (100E-270F) *2 | |
| 単板樹種 | カラマツ | | |
| 接着剤の種類 | フェノール樹脂系接着剤(積層用) 水性高分子イソシアネート系接着剤 (2 次接着用) | | |
| 単板構成 | 40mm | A 種 | 13 層 (直交層なし) |
| | | B 種 | 13 層 (--I---I---I--) |
| | 80mm*1 | A 種 | 13 層 (直交層なし) ×2 |
| | | B 種 | 13 層 (--I---I---I--) ×2 |
| | 120mm*1 | A 種 | 13 層 (直交層なし) ×3 |
| | | B 種 | 13 層 (--I---I---I--) ×3 |

備考 *1 : 80mm 厚さ単板積層材は、40mm 厚さ単板積層材を 2 枚二次接着したものとする。

120mm 厚さ単板積層材は、40mm 厚さ単板積層材を 3 枚二次接着したものとする。

*2 : JAS 認定を受けた材料ではないため、試験結果をもとにした規格相当値である。

*3:厚さ 80mm、120mm の B 種単板積層材は、40mm 厚さの試験結果から推定している。

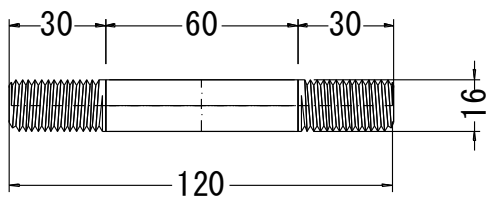
3.2.2 添え板鋼板及びボルト

添え板鋼板及びボルトの仕様を表 3.2.2 に、ボルト詳細を図 3.2.1、ボルト・ナット・ワッシャーを写真 3.2.1 に示す。

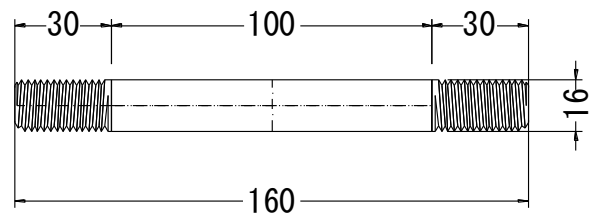
表 3.2.2 添え板鋼板及び接合ボルトの仕様

| 種類 | 項目 | 仕様 |
|-------|----------------------|--|
| 添え板鋼板 | 規格 | JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材 |
| | 種類 | 平鋼 SS400 |
| | 厚さ 及び M16 ボルト鋼板穴径 | 9mm 17mm |
| | 基準強度 | 235(N/mm ²) (平成 12 年建設省告示第 2464 号) |
| ボルト | 規格 | JIS G 3507-2 冷間圧造用炭素鋼 相当品 |
| | 種類 | 棒鋼 SWRCH10R 相当品 |
| | 直径 | 16mm |
| | 引張強さ | 340(N/mm ²)以上 |
| | ねじ部 | 並目ねじ |
| 丸座金 | 寸法 | 直径 45mm 板厚さ 4.5mm |

LVL 40mm厚用



LVL 80mm厚用



LVL 120mm厚用

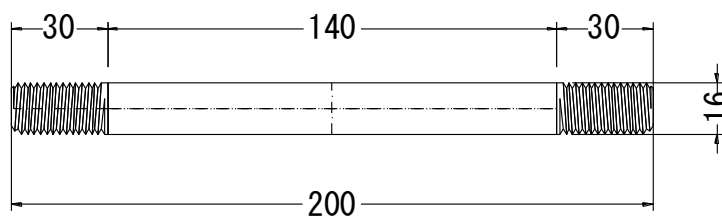


図 3.2.1 ボルト詳細



写真 3.2.1 ボルト・ナット・ワッシャー

3.2.3 構造用単板積層材と添え板鋼板及びボルトの組み合わせ

構造用単板積層材と添え板鋼板及びボルトの組み合わせを表 3.2.3 及び図 3.2.2 示す。なお列数は直交方向にボルト配置した場合の数とする。

試験体搬入状況を写真 3.2.2 に示す。



写真 3.2.2 試験体搬入状況

表 3.2.3 構造用単板積層材と添え板鋼板及びボルトの組み合わせ

| 条件 | 列数 | 1列当たり 本数 | ボルト 総本数 | 列間隔 | LVL 厚さ(mm) | LVL 幅(mm) | 接合具間隔 | | LVL 種類 | 試験体数 |
|----|----|-------------|------------|-----|---------------|--------------|------------------|------------|-----------|------|
| | | | | | | | 左：ボルト径に 対する比率 | 右：中心距離(mm) | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | - | 40 | 300 | 7d | 112 | A種 | 6 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | - | 40 | 300 | 7d | 112 | B種 | 6 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | - | 80 | 300 | 7d | 112 | A種 | 6 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | - | 80 | 300 | 7d | 112 | B種 | 6 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | - | 120 | 300 | 7d | 112 | A種 | 6 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | - | 120 | 300 | 7d | 112 | B種 | 6 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | | 80 | 300 | 7d | 112 | A種 | 6 |
| 8 | 1 | 4 | 4 | - | 40 | 300 | 7d | 112 | A種 | 6 |
| 9 | 1 | 4 | 4 | - | 40 | 300 | 7d | 112 | B種 | 6 |
| 10 | 1 | 4 | 4 | - | 80 | 300 | 4d | 64 | A種 | 6 |
| 11 | 1 | 4 | 4 | - | 80 | 300 | 4d | 64 | B種 | 6 |
| 12 | 1 | 4 | 4 | - | 80 | 300 | 7d | 112 | A種 | 6 |
| 13 | 1 | 4 | 4 | - | 80 | 300 | 7d | 112 | B種 | 6 |
| 14 | 1 | 4 | 4 | - | 120 | 300 | 7d | 112 | A種 | 6 |
| 15 | 1 | 4 | 4 | - | 120 | 300 | 7d | 112 | B種 | 6 |
| 16 | 1 | 6 | 6 | - | 80 | 300 | 7d | 112 | A種 | 6 |
| 17 | 2 | 1 | 2 | 3d | 80 | 400 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 18 | 2 | 1 | 2 | 3d | 80 | 400 | 7d | 112 | B種 | 3 |
| 19 | 2 | 1 | 2 | 5d | 80 | 400 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 21 | 2 | 2 | 4 | 3d | 80 | 400 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 22 | 2 | 2 | 4 | 5d | 80 | 400 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 23 | 2 | 4 | 8 | 3d | 80 | 400 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 24 | 2 | 4 | 8 | 5d | 80 | 400 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 25 | 3 | 1 | 3 | 3d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 26 | 3 | 1 | 3 | 3d | 80 | 500 | 7d | 112 | B種 | 3 |
| 27 | 3 | 1 | 3 | 5d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 29 | 3 | 1 | 3 | 7d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 31 | 3 | 2 | 6 | 3d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 32 | 3 | 2 | 6 | 5d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 33 | 3 | 2 | 6 | 7d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 34 | 3 | 4 | 12 | 3d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 35 | 3 | 4 | 12 | 5d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 36 | 3 | 4 | 12 | 7d | 80 | 500 | 7d | 112 | A種 | 3 |
| 37 | 3 | 4 | 12 | 3d | 80 | 500 | 7d | 112 | B種 | 3 |

備考：条件 20,28,30 は、欠番とする。

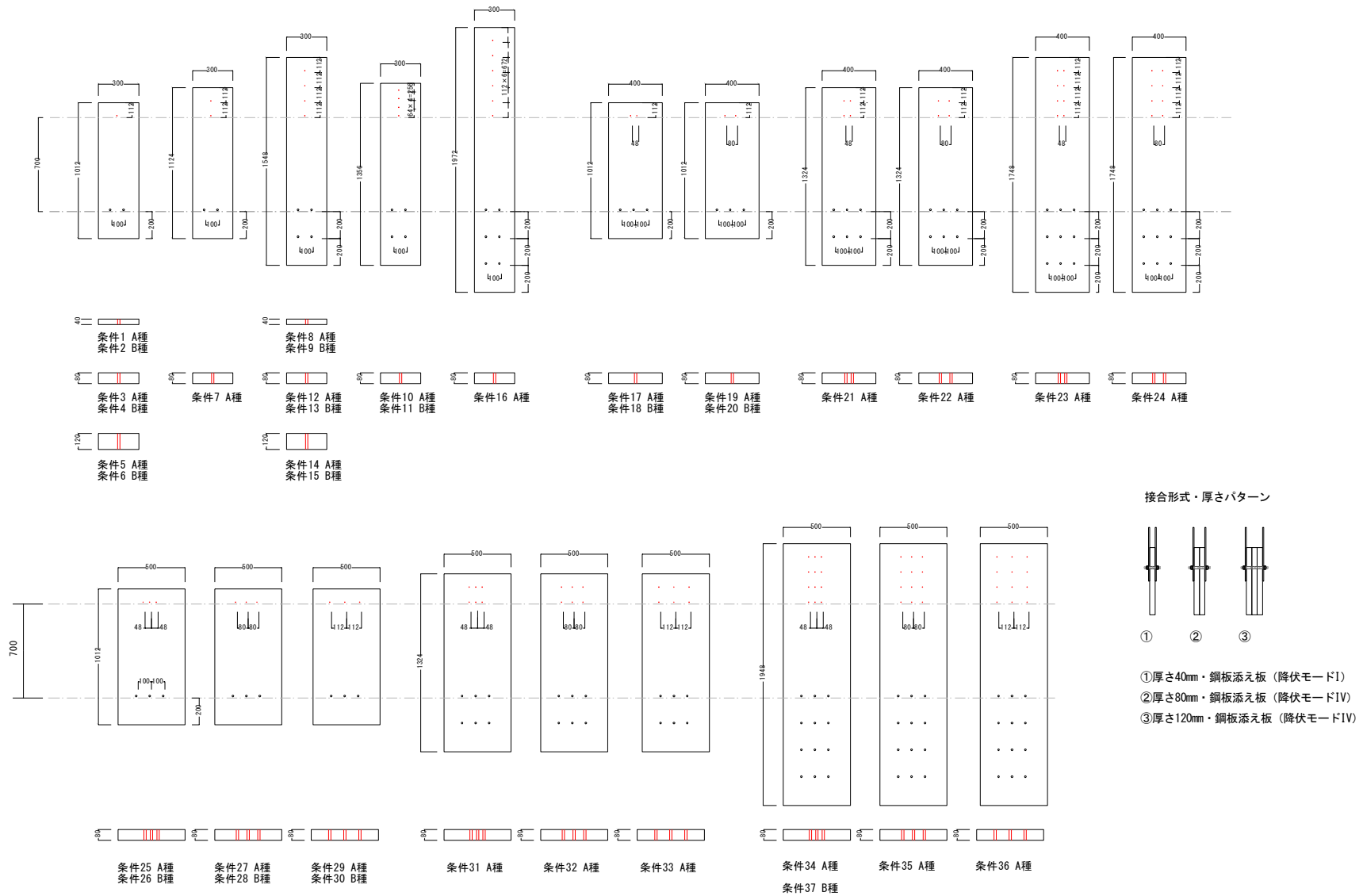


図 3.2.2 構造用単板積層材と添え板鋼板及びボルトの組み合わせ
(M16 ボルト固定用 LVL 穴径は 17mm (図中赤丸部分))

3.2.4 構造用単板積層材の厚さ、密度測定

構造用単板積層材の厚さと質量測定を行い、測定した質量を体積（ボルト穴加工を考慮）で除して密度を算出した。構造用単板積層材の厚さ、密度測定結果を表 3.2.4、
 図 3.2.3 に示す。

表 3.2.4 構造用単板積層材の厚さ、密度測定結果

| 試験条件 | 種類 | 厚さ (mm) | 試験体数 | 厚さ測定値(mm) | | | 密度測定値(kg/m ³) | | |
|------|----|---------|------|-----------|------|---------|---------------------------|------|---------|
| | | | | 平均 | 標準偏差 | 変動係数(%) | 平均 | 標準偏差 | 変動係数(%) |
| 1 | A種 | 40 | 7 | 40.08 | 0.11 | 0.28 | 617 | 11 | 1.8 |
| 2 | B種 | 40 | 7 | 40.12 | 0.03 | 0.07 | 607 | 14 | 2.3 |
| 3 | A種 | 80 | 7 | 80.09 | 0.04 | 0.05 | 595 | 6 | 1.0 |
| 4 | B種 | 80 | 7 | 80.05 | 0.09 | 0.11 | 614 | 10 | 1.6 |
| 5 | A種 | 120 | 7 | 120.14 | 0.08 | 0.07 | 600 | 5 | 0.9 |
| 6 | B種 | 120 | 7 | 120.29 | 0.13 | 0.11 | 601 | 10 | 1.7 |
| 7 | A種 | 80 | 7 | 80.07 | 0.07 | 0.09 | 601 | 4 | 0.7 |
| 8 | A種 | 40 | 7 | 39.99 | 0.10 | 0.26 | 617 | 8 | 1.3 |
| 9 | B種 | 40 | 7 | 40.18 | 0.09 | 0.21 | 607 | 15 | 2.4 |
| 10 | A種 | 80 | 7 | 80.22 | 0.02 | 0.02 | 598 | 3 | 0.4 |
| 11 | B種 | 80 | 7 | 80.37 | 0.10 | 0.12 | 619 | 13 | 2.0 |
| 12 | A種 | 80 | 7 | 80.08 | 0.03 | 0.04 | 601 | 8 | 1.4 |
| 13 | B種 | 80 | 7 | 80.23 | 0.11 | 0.13 | 606 | 12 | 2.0 |
| 14 | A種 | 120 | 7 | 120.33 | 0.04 | 0.03 | 600 | 4 | 0.6 |
| 15 | B種 | 120 | 7 | 120.23 | 0.15 | 0.12 | 600 | 7 | 1.2 |
| 16 | A種 | 80 | 7 | 80.05 | 0.04 | 0.05 | 596 | 6 | 1.0 |
| 17 | A種 | 80 | 4 | 79.99 | 0.10 | 0.13 | 592 | 6 | 1.0 |
| 18 | B種 | 80 | 4 | 80.27 | 0.08 | 0.09 | 616 | 16 | 2.6 |
| 19 | A種 | 80 | 4 | 80.03 | 0.09 | 0.12 | 594 | 5 | 0.8 |
| 21 | A種 | 80 | 4 | 80.25 | 0.05 | 0.06 | 596 | 6 | 1.0 |
| 22 | A種 | 80 | 4 | 80.23 | 0.07 | 0.09 | 588 | 7 | 1.3 |
| 23 | A種 | 80 | 4 | 80.21 | 0.06 | 0.08 | 596 | 9 | 1.5 |
| 24 | A種 | 80 | 4 | 80.22 | 0.08 | 0.10 | 594 | 5 | 0.8 |
| 25 | A種 | 80 | 4 | 79.97 | 0.18 | 0.23 | 593 | 3 | 0.4 |
| 26 | B種 | 80 | 4 | 80.23 | 0.14 | 0.17 | 581 | 6 | 1.0 |
| 27 | A種 | 80 | 4 | 80.00 | 0.03 | 0.03 | 590 | 12 | 2.0 |
| 29 | A種 | 80 | 4 | 80.06 | 0.03 | 0.04 | 583 | 4 | 0.7 |
| 31 | A種 | 80 | 4 | 80.11 | 0.02 | 0.02 | 599 | 7 | 1.1 |
| 32 | A種 | 80 | 4 | 80.16 | 0.10 | 0.12 | 592 | 4 | 0.6 |
| 33 | A種 | 80 | 4 | 80.13 | 0.04 | 0.05 | 599 | 9 | 1.6 |
| 34 | A種 | 80 | 4 | 80.24 | 0.05 | 0.07 | 593 | 6 | 1.1 |
| 35 | A種 | 80 | 4 | 80.27 | 0.10 | 0.12 | 599 | 3 | 0.5 |
| 36 | A種 | 80 | 4 | 80.27 | 0.10 | 0.12 | 599 | 5 | 0.8 |
| 37 | B種 | 80 | 4 | 80.23 | 0.17 | 0.22 | 599 | 15 | 2.6 |

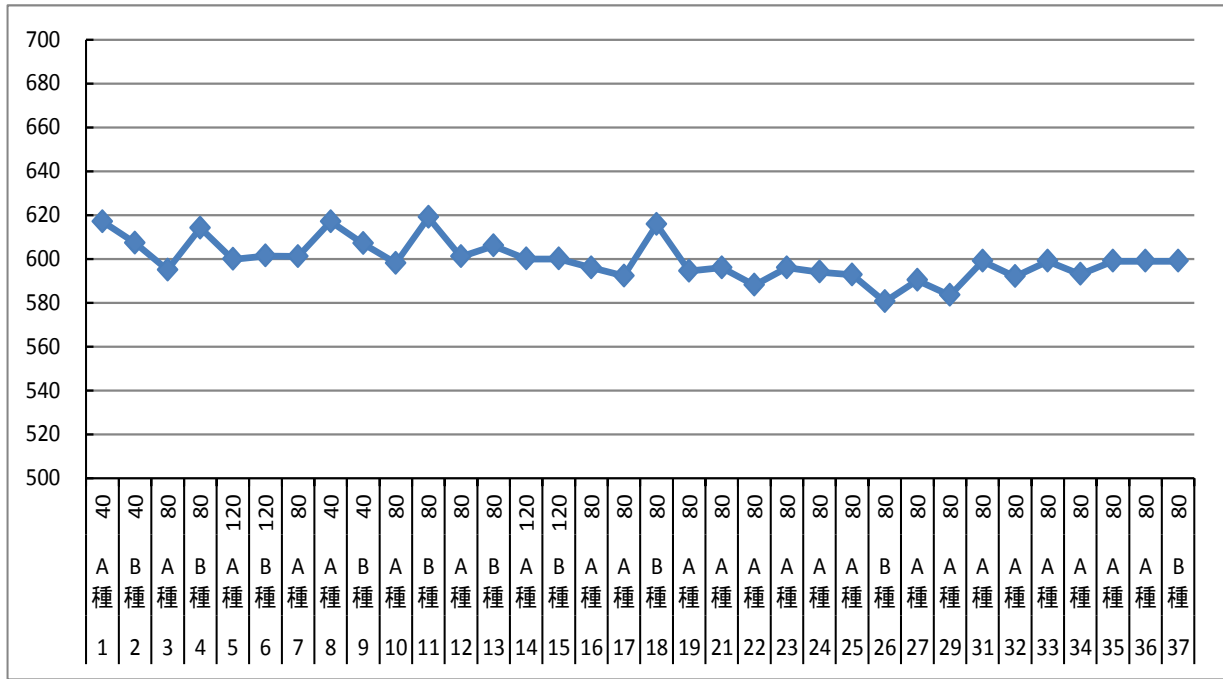


图 3.2.3 密度測定結果

3.3 試験方法

3.3.1 加力方法

ボルト本数 1 本～3 本までの試験体（条件 1～条件 7、条件 17～条件 20、条件 25～条件 30）は、万能材料試験機（島津製作所製）を用いた。鋼板を用いた試験体つかみ部で試験機本体に固定し、試験装置上部は M16 ボルト接合部用添え板鋼板（板厚 9mm）を固定した治具を加力部に設置し、加力部を 1 分当たり 2mm で上部に動かすことで鋼板添え板ボルト接合部にせん断力を加えた。

荷重は万能試験機に設置されている荷重計(250kN)で計測した。変位は鋼板と LVL の相対変位を表裏で測定し 2 点の平均値とした。荷重及び変位の出力は、データロガーを介してパーソナルコンピュータに記録した。

ボルト本数 4 本以上の試験体は、試験体下端を M24 高力ボルト 12mm 鋼板添え板接合で固定し、M16 ボルト鋼板添え板接合部を固定した鋼材を PC 鋼棒とセンターホール型ジャッキを用いて引張上げ、構造用単板積層材/M16 ボルト/9mm 鋼板添え板接合部にせん断力を加える方法とした。

荷重は、センターホール型ジャッキに取り付けた荷重計（ボルト 6 本以上のタイプは 1000kN 荷重計（TML KCE-1 MNA）、ボルト 4 本タイプは 500kN 荷重計（TML KCE-500KNA）とした。）で測定した。添え板鋼板と構造用単板積層材との相対変位は、鋼板両側にマグネットスタンドを用いて固定した変位計（TML CDP-50M）を用いて測定した。

荷重計、変位計の出力はデータロガー（TML TDS-303）を介してパーソナルコンピュータに 1 秒間隔インターバル測定で記録した。加力速度は制御できないが、1 分当たり 5mm を目標とした。

加力は一方向加力で、ボルト接合部のあそびの影響を考慮し予備荷重 P_{pre} （ボルト 1 本当たり 15kN を原則とし、割裂破壊の恐れのある試験体はボルト 1 本当たり 10kN とする。）を加えたのち、予備荷重の 1/4 まで徐荷し、そのあと破壊まで引張った。

万能試験機を用いた試験状況を写真 3.3.1 に、油圧ジャッキを用いた加力装置（ボルト 12 本タイプ）を図 3.3.1 に、油圧ジャッキを用いた試験実施状況を写真 3.3.2 に示す。



写真 3.3.1 万能試験機を用いた試験状況

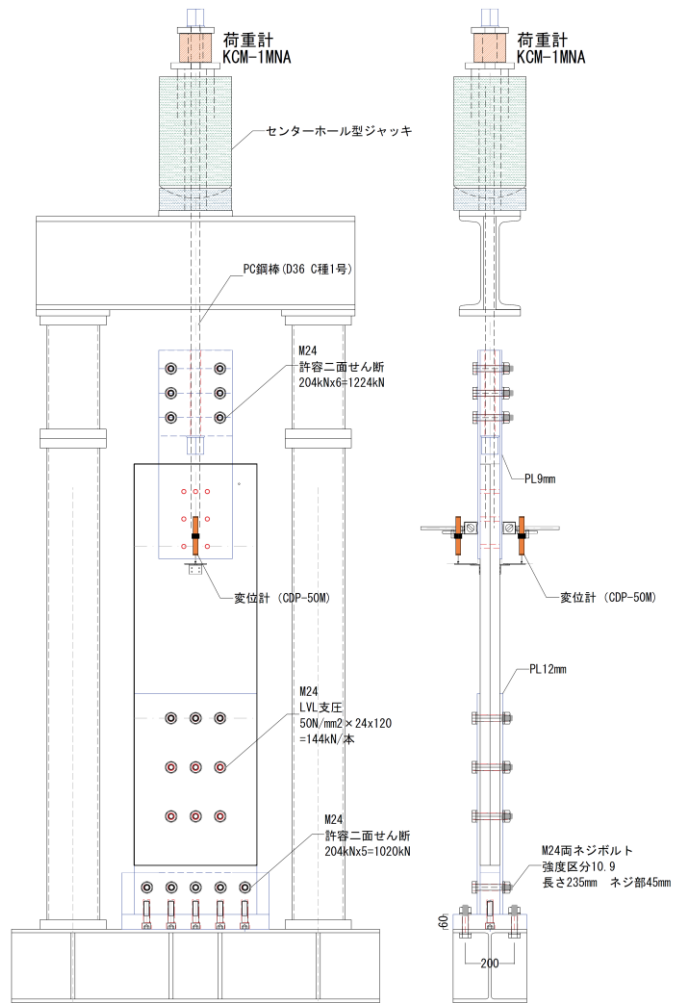


写真 3.3.2 油圧ジャッキを用いた試験実施状況

3.3.2 データ整理方法

構造用単板積層材と鋼板の相対変位 δ は、両側の平均値として下式で計算する。

$$\delta = \frac{DP1 + DP2}{2}$$

脆性的な破壊を示すものと、靱性のある破壊を示すものでは、耐力評価方法が異なるため、最大荷重 P_{max} 及び最大荷重時の変位 $D_{P_{max}}$ で整理することを原則とする。

構造用単板積層材の支圧及び M16 ボルトの曲げにより脆性的な破壊を示すものは、荷重-変位曲線の包絡線から、降伏耐力 P_y 、降伏変位 δ_y 、剛性 K 、終局耐力 P_u 、終局変位 δ_u 、塑性率 μ 、最大荷重 P_{max} 、最大荷重時変位 $\delta_{P_{max}}$ 及び特定変形角時の耐力を求める。

降伏耐力 P_y 、降伏変位 δ_y 、剛性 K は

- (1)最大荷重を P_{max} 、最大荷重時の変位を $\delta_{P_{max}}$ とする。
- (2)包絡線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結び、第 1 直線とする。
- (3)包絡線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結び、第 2 直線とする。
- (4)包絡線に接するまで第 2 直線を平行移動し、これを第 3 直線とする。
- (5)第 1 直線と第 3 直線の交点の荷重を降伏耐力 P_y とし、この点から X 軸に平行な直線を第 4 直線とする。
- (6)第 4 直線と包絡線の交点を降伏変位 δ_y とする。
- (7)原点と降伏耐力 P_y 、降伏変位 δ_y を結ぶ直線を第 5 直線とし、傾きを剛性 K とする。

終局耐力 P_u 、終局変位 δ_u 、塑性率 μ は

- (1)最大荷重後耐力低下域での $0.8P_{max}$ 時の変位を終局変位 δ_u とする。
- (2)包絡線と X 軸及び $X = \delta_u$ で囲まれた面積を S とする。
- (3)第 5 直線、 $X = \delta_u$ の直線、X 軸及び X 軸に平行な直線で囲まれる台形の面積が S と等しくなるよう、X 軸に平行に第 6 直線を引く。
- (4)第 5 直線と第 6 直線の交点の荷重を、完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u とし、そのときの変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とする。
- (5)塑性率 μ は、 δ_u / δ_v とする。

上記特性値の算出方法を図 3.3.2 に示す。

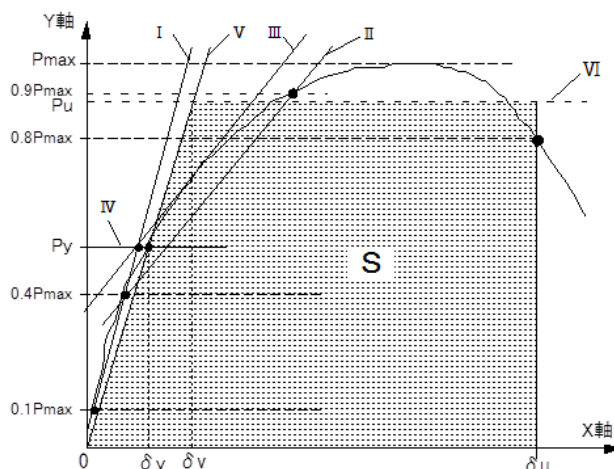


図 3.3.2 完全弾塑性モデルによる降伏耐力 P_y 及び終局耐力 P_u の算出方法

3.4 試験結果

3.4.1 条件1 (A種厚さ40mm-1列1本-7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.1 に、荷重-変位曲線を図 3.4.1 に、破壊状況を写真 3.4.1 に示す。

表 3.4.1 条件1 (A種厚さ40mm-1列1本-7d) 試験結果

| | A40-7d-1-1 | A40-7d-1-2 | A40-7d-1-3 | A40-7d-1-4 | A40-7d-1-5 | A40-7d-1-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 12.53 | 9.35 | 16.89 | 14.58 | 11.80 | 13.11 | 13.05 | 2.55 | 12.29 | 7.08 |
| 0.50mm 時(kN) | 16.17 | 11.68 | 19.59 | 18.13 | 15.01 | 17.15 | 16.29 | 2.76 | 15.47 | 9.85 |
| 1.00mm 時(kN) | 28.14 | 23.71 | 30.92 | 30.59 | 25.82 | 28.39 | 27.93 | 2.77 | 27.10 | 21.45 |
| 2.00mm 時(kN) | 40.70 | 35.42 | 39.62 | 40.54 | 35.85 | 38.02 | 38.36 | 2.32 | 37.67 | 32.94 |
| 5.00mm 時(kN) | 50.68 | 49.57 | 48.11 | 49.54 | 47.29 | 49.80 | 49.16 | 1.24 | 48.80 | 46.28 |
| 2/3Pmax(kN) | 95.99 | 99.49 | 86.85 | 88.37 | 92.77 | 94.47 | 92.99 | 4.74 | 91.58 | 81.91 |
| Pmax(kN) | 143.99 | 149.23 | 130.28 | 132.56 | 139.16 | 141.71 | 139.49 | 7.12 | 137.37 | 122.87 |
| DPmax(mm) | 39.45 | 46.97 | 34.14 | 43.72 | 41.60 | 36.07 | 40.32 | 4.78 | 38.90 | 29.15 |
| Py(kN) | 75.74 | 78.18 | 59.88 | 60.68 | 73.71 | 70.25 | 69.74 | 7.78 | 67.43 | 51.57 |
| Dy(mm) | 12.49 | 13.65 | 10.40 | 9.25 | 12.68 | 11.70 | 11.70 | 1.62 | 11.22 | 7.92 |
| K(kN/cm) | 6.06 | 5.73 | 5.76 | 6.56 | 5.81 | 6.00 | 5.99 | 0.31 | 5.89 | 5.26 |
| Pu(kN) | 135.04 | 139.64 | 117.63 | 118.74 | 130.49 | 131.58 | 128.85 | 8.87 | 126.22 | 108.14 |
| Du(mm) | 48.20 | 49.01 | 35.54 | 46.58 | 43.42 | 37.43 | 43.36 | 5.69 | 41.67 | 30.06 |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

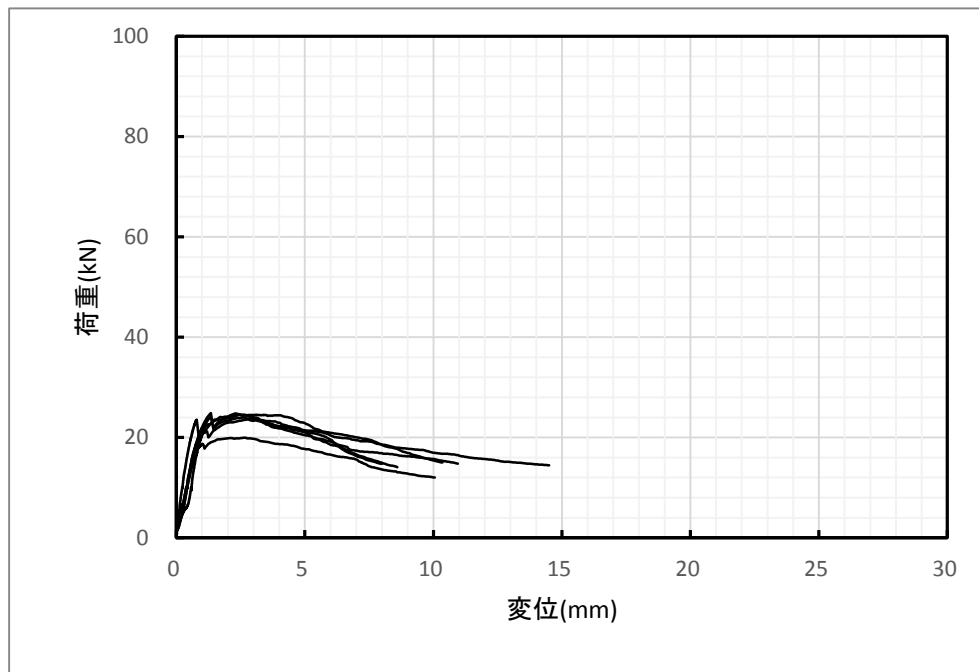


図 3.4.1 条件1 荷重-変位曲線






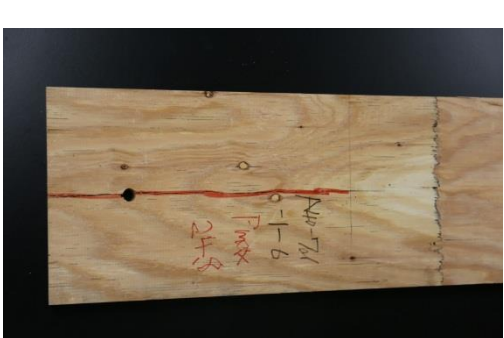
| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.1 条件1 (A種厚さ 40mm-1列1本-7d) 破壊状況

3.4.2 条件2 (B種厚さ 40mm-1列1本-7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.2 に、荷重－変位曲線を図 3.4.2 に、破壊状況を写真 3.4.2 に示す。

表 3.4.2 条件2 (B種厚さ 40mm-1列1本-7d) 試験結果

| | B40-7d-1-1 | B40-7d-1-2 | B40-7d-1-3 | B40-7d-1-4 | B40-7d-1-5 | B40-7d-1-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|-------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 12.14 | 11.43 | 8.13 | 4.77 | 11.37 | 11.32 | 9.86 | 2.86 | 9.01 | 3.17 |
| 0.50mm 時(kN) | 14.97 | 14.20 | 9.50 | 5.58 | 13.58 | 13.77 | 11.93 | 3.65 | 10.85 | 3.40 |
| 1.00mm 時(kN) | 22.68 | 21.35 | 19.89 | 9.15 | 20.40 | 20.63 | 19.01 | 4.93 | 17.55 | 7.50 |
| 2.00mm 時(kN) | 28.23 | 27.29 | 27.64 | 20.16 | 25.81 | 25.53 | 25.78 | 2.95 | 24.90 | 18.89 |
| 5.00mm 時(kN) | 33.39 | 33.09 | 34.65 | 31.54 | 32.64 | 31.63 | 32.82 | 1.17 | 32.47 | 30.09 |
| 2/3Pmax(kN) | 28.60 | 29.71 | 30.00 | 30.38 | 28.79 | 31.06 | 29.75 | 0.94 | 29.48 | 27.56 |
| Pmax(kN) | 42.91 | 44.56 | 44.99 | 45.56 | 43.18 | 46.58 | 44.63 | 1.41 | 44.21 | 41.35 |
| DPmax(mm) | 26.03 | 27.71 | 17.31 | 27.38 | 22.91 | 20.98 | 23.72 | 4.10 | 22.50 | 14.15 |
| Py(kN) | 27.36 | 26.59 | 26.83 | 29.48 | 27.12 | 24.55 | 26.99 | 1.58 | 26.52 | 23.29 |
| Dy(mm) | 1.71 | 1.84 | 1.87 | 3.45 | 2.31 | 1.72 | 2.15 | 0.67 | 1.95 | 0.58 |
| K(kN/cm) | 159.81 | 144.69 | 143.18 | 85.48 | 117.56 | 142.59 | 132.22 | 26.62 | 124.31 | 70.02 |
| Pu(kN) | 38.44 | 40.76 | 39.55 | 40.06 | 38.96 | 40.42 | 39.70 | 0.89 | 39.43 | 37.62 |
| Du(mm) | 43.56 | 34.30 | 44.90 | 42.38 | 27.97 | 27.13 | 36.71 | 8.00 | 34.33 | 18.01 |

備考：試験体数 6 の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

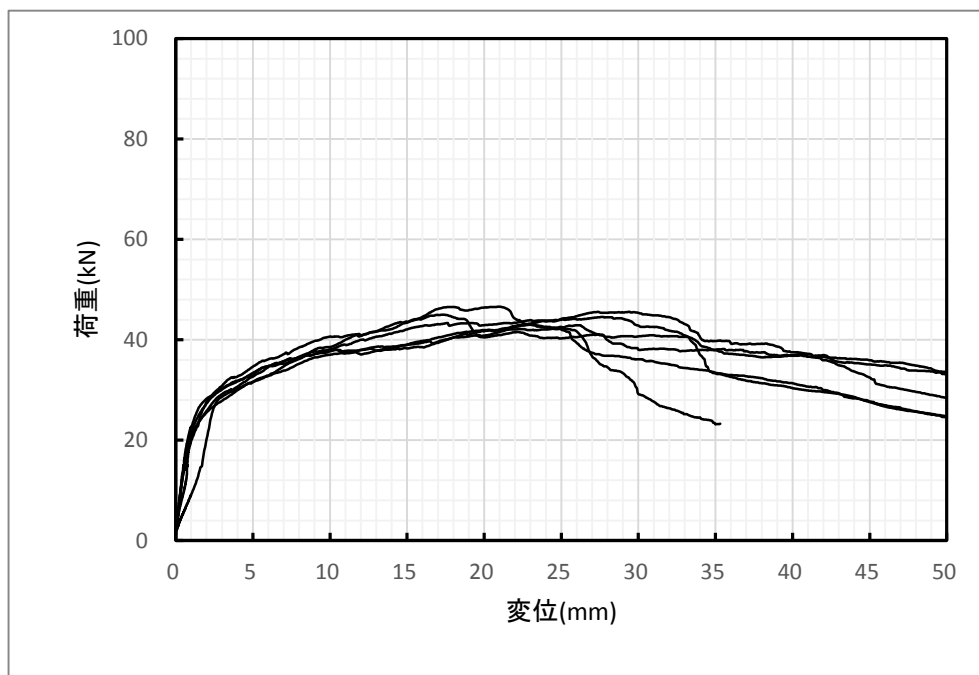


図 3.4.2 条件2 荷重－変位曲線



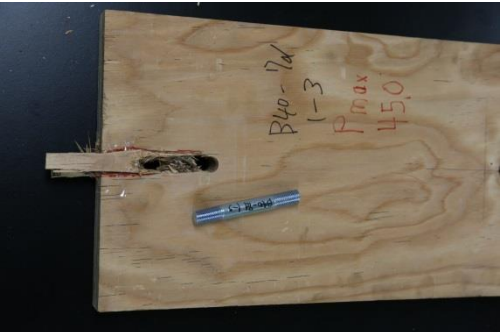

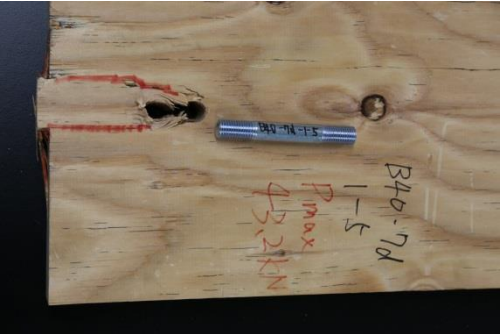

| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.2 条件2 (B種厚さ 40mm-1列1本-7d) 破壊状況

3.4.3 条件3 (A種厚さ80mm-1列1本-7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.3 に、荷重-変位曲線を図 3.4.3 に、破壊状況を写真 3.4.3 に示す。

表 3.4.3 条件3 (A種厚さ80mm-1列1本-7d) 試験結果

| | A80-7d-1-1 | A80-7d-1-2 | A80-7d-1-3 | A80-7d-1-4 | A80-7d-1-5 | A80-7d-1-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 21.04 | 17.25 | 9.96 | 17.64 | 13.68 | 14.61 | 15.70 | 3.82 | 14.56 | 6.78 |
| 0.50mm 時(kN) | 24.11 | 21.41 | 14.14 | 22.25 | 19.43 | 16.96 | 19.72 | 3.67 | 18.63 | 11.14 |
| 1.00mm 時(kN) | 29.49 | 29.56 | 28.77 | 33.34 | 30.88 | 29.95 | 30.33 | 1.62 | 29.85 | 26.54 |
| 2.00mm 時(kN) | 37.60 | 38.53 | 41.84 | 44.21 | 42.93 | 41.63 | 41.12 | 2.56 | 40.36 | 35.15 |
| 5.00mm 時(kN) | 49.26 | 47.52 | 52.29 | 45.02 | 47.71 | 43.70 | 47.58 | 3.05 | 46.68 | 40.45 |
| 2/3Pmax(kN) | 34.21 | 31.69 | 34.96 | 33.35 | 32.99 | 30.68 | 32.98 | 1.58 | 32.51 | 29.28 |
| Pmax(kN) | 51.31 | 47.54 | 52.44 | 50.03 | 49.48 | 46.02 | 49.47 | 2.37 | 48.76 | 43.92 |
| DPmax(mm) | 6.35 | 4.99 | 4.33 | 3.25 | 3.55 | 2.65 | 4.19 | 1.34 | 3.79 | 1.05 |
| Py(kN) | 26.17 | 25.08 | 26.65 | 28.32 | 27.07 | 26.39 | 26.61 | 1.07 | 26.30 | 24.11 |
| Dy(mm) | 0.67 | 0.65 | 0.88 | 0.71 | 0.74 | 0.79 | 0.74 | 0.09 | 0.71 | 0.54 |
| K(kN/cm) | 390.85 | 386.28 | 302.83 | 401.48 | 363.98 | 334.73 | 363.36 | 38.00 | 352.07 | 274.60 |
| Pu(kN) | 43.99 | 42.79 | 47.55 | 44.02 | 44.78 | 41.25 | 44.06 | 2.11 | 43.44 | 39.14 |
| Du(mm) | 9.58 | 8.28 | 9.05 | 7.45 | 7.45 | 9.55 | 8.56 | 0.98 | 8.27 | 6.27 |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

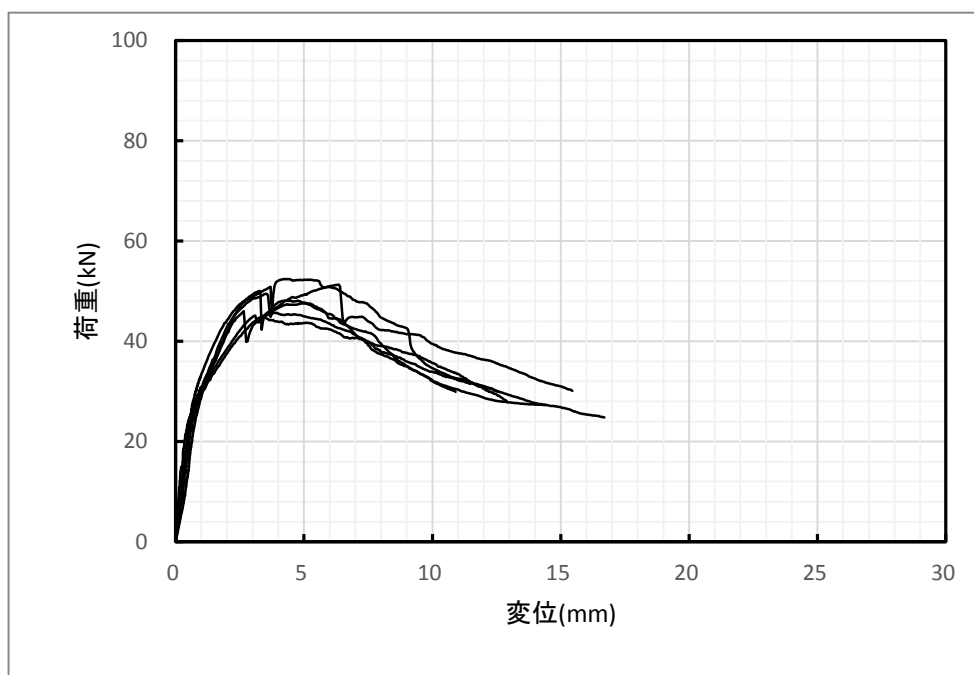


図 3.4.3 条件3 荷重-変位曲線





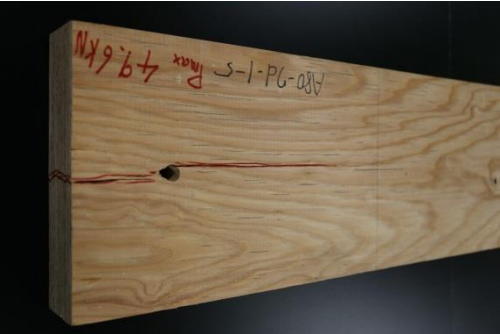
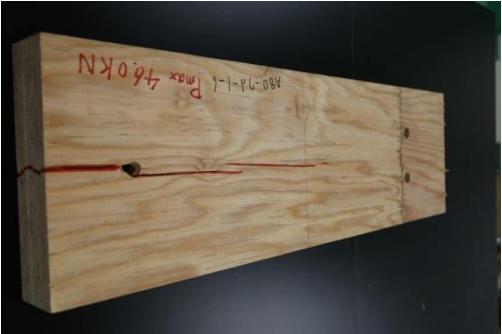
| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.3 条件3 (A種厚さ80mm-1列1本-7d) 破壊状況

3.4.4 条件4 (B種厚さ 80mm-1列1本-7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.4 に、荷重－変位曲線を図 3.4.4 に、破壊状況を写真 3.4.4 に示す。

表 3.4.4 条件4 (B種厚さ 80mm-1列1本-7d) 試験結果

| | B80-7d-1-1 | B80-7d-1-2 | B80-7d-1-3 | B80-7d-1-4 | B80-7d-1-5 | B80-7d-1-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|-------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 15.00 | 16.89 | 14.87 | 10.18 | 12.16 | 13.14 | 13.71 | 2.38 | 13.00 | 8.15 |
| 0.50mm 時(kN) | 20.28 | 20.15 | 19.52 | 13.91 | 16.17 | 17.68 | 17.95 | 2.54 | 17.19 | 12.01 |
| 1.00mm 時(kN) | 33.48 | 31.22 | 29.42 | 24.52 | 30.68 | 29.66 | 29.83 | 2.98 | 28.94 | 22.87 |
| 2.00mm 時(kN) | 45.64 | 43.11 | 41.33 | 35.15 | 43.97 | 41.81 | 41.84 | 3.62 | 40.76 | 33.37 |
| 5.00mm 時(kN) | 57.73 | 54.61 | 53.28 | 52.15 | 56.04 | 55.13 | 54.82 | 1.98 | 54.24 | 50.20 |
| 2/3Pmax(kN) | 62.58 | 62.73 | 68.38 | 61.99 | 61.87 | 62.30 | 63.31 | 2.51 | 62.56 | 57.45 |
| Pmax(kN) | 93.87 | 94.10 | 102.57 | 92.98 | 92.80 | 93.45 | 94.96 | 3.76 | 93.84 | 86.17 |
| DPmax(mm) | 36.68 | 33.18 | 31.28 | 33.00 | 34.85 | 37.12 | 34.35 | 2.28 | 33.67 | 29.03 |
| Py(kN) | 52.51 | 49.51 | 49.71 | 48.19 | 49.01 | 50.85 | 49.96 | 1.52 | 49.51 | 46.40 |
| Dy(mm) | 2.83 | 3.30 | 4.06 | 3.53 | 2.66 | 3.47 | 3.31 | 0.51 | 3.16 | 2.12 |
| K(kN/cm) | 185.69 | 150.24 | 122.42 | 136.63 | 184.17 | 146.56 | 154.28 | 25.62 | 146.67 | 94.43 |
| Pu(kN) | 82.59 | 82.57 | 89.03 | 81.86 | 80.72 | 80.23 | 82.83 | 3.19 | 81.89 | 75.39 |
| Du(mm) | 53.05 | 58.63 | 51.27 | 51.11 | 53.84 | 54.85 | 53.79 | 2.78 | 52.97 | 47.30 |

備考：試験体数 6 の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

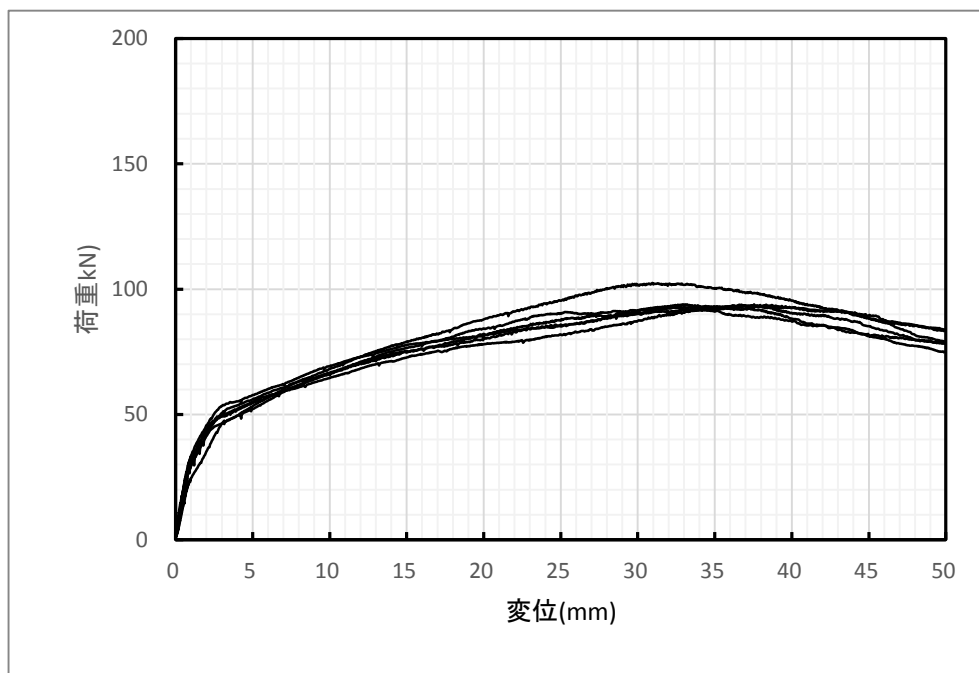


図 3.4.4 条件4 荷重－変位曲線




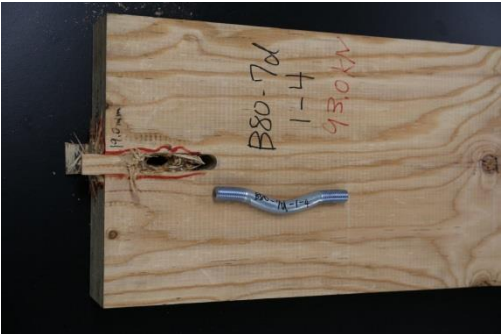


| | | | |
|---------|---|---------|--|
| 1 体目 |  | 2 体目 |  |
| 3 体目 |  | 4 体目 |  |
| 5 体目 |  | 6 体目 |  |

写真 3.4.4 条件4 (B種厚さ 80mm-1列1本-7d) 破壊状況

3.4.5 条件5（A種厚さ120mm-1列1本-7d）試験結果

試験結果を表 3.4.5 に、荷重－変位曲線を図 3.4.5 に、破壊状況を写真 3.4.5 に示す。

表 3.4.5 条件5（A種厚さ120mm-1列1本-7d）試験結果

| | A120-7d-1-1 | A120-7d-1-2 | A120-7d-1-3 | A120-7d-1-4 | A120-7d-1-5 | A120-7d-1-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 15.07 | 15.31 | 13.60 | 13.12 | 9.59 | 17.98 | 14.11 | 2.79 | 13.28 | 7.58 |
| 0.50mm 時(kN) | 20.83 | 20.25 | 18.30 | 17.11 | 11.75 | 22.52 | 18.46 | 3.80 | 17.33 | 9.59 |
| 1.00mm 時(kN) | 37.37 | 35.10 | 31.66 | 32.96 | 24.16 | 33.16 | 32.40 | 4.50 | 31.07 | 21.89 |
| 2.00mm 時(kN) | 48.50 | 47.07 | 44.24 | 49.47 | 42.38 | 45.12 | 46.13 | 2.69 | 45.33 | 39.84 |
| 5.00mm 時(kN) | 56.93 | 54.40 | 51.88 | 58.44 | 54.39 | 53.50 | 54.92 | 2.38 | 54.22 | 49.37 |
| 2/3Pmax(kN) | 57.13 | 54.53 | 51.25 | 55.94 | 60.76 | 58.80 | 56.40 | 3.33 | 55.41 | 48.61 |
| Pmax(kN) | 85.69 | 81.80 | 76.87 | 83.91 | 91.14 | 88.21 | 84.60 | 5.00 | 83.12 | 72.92 |
| DPmax(mm) | 19.25 | 14.60 | 14.55 | 15.70 | 17.60 | 16.35 | 16.34 | 1.83 | 15.80 | 12.07 |
| Py(kN) | 46.32 | 44.18 | 42.78 | 47.67 | 46.59 | 45.58 | 45.52 | 1.77 | 44.99 | 41.38 |
| Dy(mm) | 1.61 | 1.64 | 1.82 | 1.81 | 2.40 | 1.95 | 1.87 | 0.29 | 1.79 | 1.20 |
| K(kN/cm) | 287.01 | 269.40 | 234.99 | 263.26 | 194.15 | 234.01 | 247.14 | 33.09 | 237.31 | 169.85 |
| Pu(kN) | 71.95 | 68.22 | 65.51 | 72.18 | 74.48 | 72.05 | 70.73 | 3.25 | 69.77 | 63.13 |
| Du(mm) | 24.95 | 19.80 | 19.35 | 20.70 | 22.90 | 24.30 | 22.00 | 2.38 | 21.29 | 16.44 |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

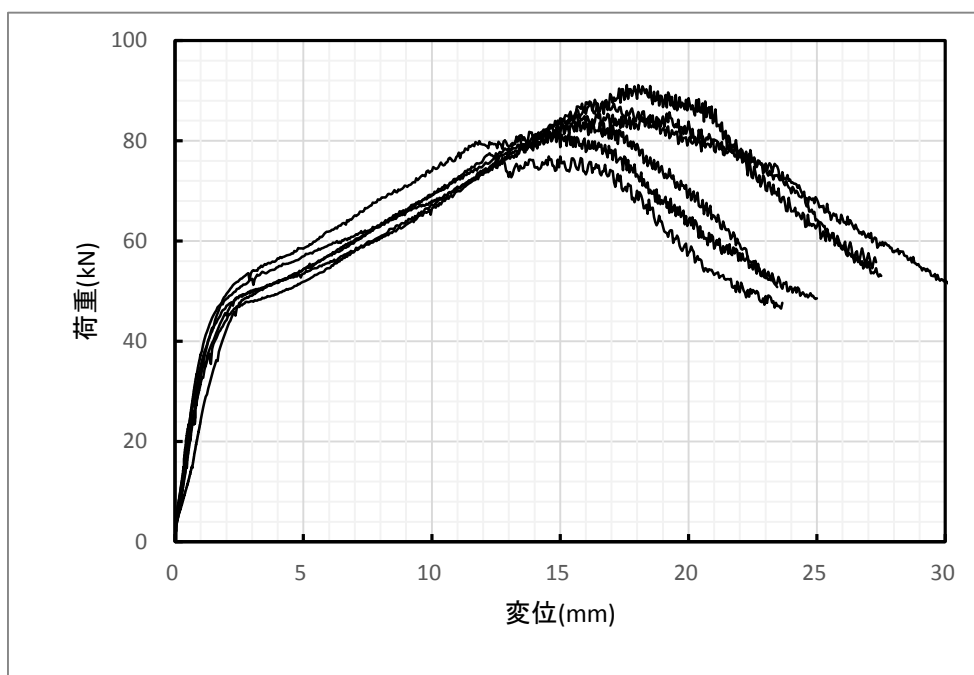


図 3.4.5 条件5 荷重－変位曲線


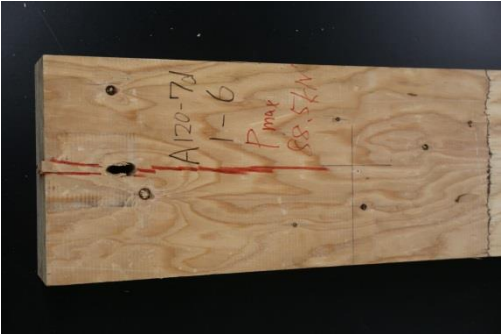
| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.5 条件5 (A種厚さ120mm-1列1本-7d) 破壊状況

3.4.6 条件6（B種厚さ120mm-1列1本-7d）試験結果

試験結果を表 3.4.6 に、荷重－変位曲線を図 3.4.6 に、破壊状況を写真 3.4.6 に示す。

表 3.4.6 条件6（B種厚さ120mm-1列1本-7d）試験結果

| | B120-7d-1-1 | B120-7d-1-2 | B120-7d-1-3 | B120-7d-1-4 | B120-7d-1-5 | B120-7d-1-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 12.53 | 9.35 | 16.89 | 14.58 | 11.80 | 13.11 | 13.05 | 2.55 | 12.29 | 7.08 |
| 0.50mm 時(kN) | 16.17 | 11.68 | 19.59 | 18.13 | 15.01 | 17.15 | 16.29 | 2.76 | 15.47 | 9.85 |
| 1.00mm 時(kN) | 28.14 | 23.71 | 30.92 | 30.59 | 25.82 | 28.39 | 27.93 | 2.77 | 27.10 | 21.45 |
| 2.00mm 時(kN) | 40.70 | 35.42 | 39.62 | 40.54 | 35.85 | 38.02 | 38.36 | 2.32 | 37.67 | 32.94 |
| 5.00mm 時(kN) | 50.68 | 49.57 | 48.11 | 49.54 | 47.29 | 49.80 | 49.16 | 1.24 | 48.80 | 46.28 |
| 2/3Pmax(kN) | 95.99 | 99.49 | 86.85 | 88.37 | 92.77 | 94.47 | 92.99 | 4.74 | 91.58 | 81.91 |
| Pmax(kN) | 143.99 | 149.23 | 130.28 | 132.56 | 139.16 | 141.71 | 139.49 | 7.12 | 137.37 | 122.87 |
| DPmax(mm) | 39.45 | 46.97 | 34.14 | 43.72 | 41.60 | 36.07 | 40.32 | 4.78 | 38.90 | 29.15 |
| Py(kN) | 75.74 | 78.18 | 59.88 | 60.68 | 73.71 | 70.25 | 69.74 | 7.78 | 67.43 | 51.57 |
| Dy(mm) | 12.49 | 13.65 | 10.40 | 9.25 | 12.68 | 11.70 | 11.70 | 1.62 | 11.22 | 7.92 |
| K(kN/cm) | 60.65 | 57.28 | 57.56 | 65.60 | 58.11 | 60.04 | 59.87 | 3.12 | 58.95 | 52.59 |
| Pu(kN) | 135.04 | 139.64 | 117.63 | 118.74 | 130.49 | 131.58 | 128.85 | 8.87 | 126.22 | 108.14 |
| Du(mm) | 48.20 | 49.01 | 35.54 | 46.58 | 43.42 | 37.43 | 43.36 | 5.69 | 41.67 | 30.06 |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

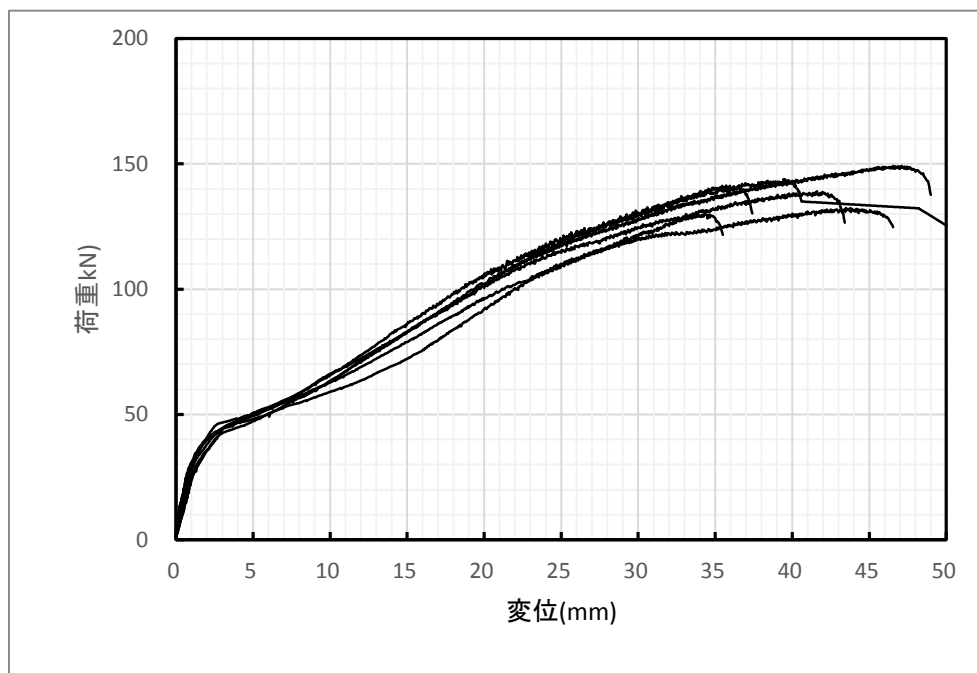


図 3.4.6 条件6 荷重－変位曲線




| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.6 条件6 (B種厚さ 120mm-1列1本-7d) 破壊状況

3.4.7 条件7 (A種厚さ80mm-1列2本-7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.7 に、荷重-変位曲線を図 3.4.7 に、破壊状況を写真 3.4.7 に示す。

表 3.4.7 条件7 (A種厚さ80mm-1列2本-7d) 試験結果

| | A80-7d-2-1 | A80-7d-2-2 | A80-7d-2-3 | A80-7d-2-4 | A80-7d-2-5 | A80-7d-2-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 33.75 | 20.47 | 29.91 | 21.92 | 29.10 | 28.20 | 27.23 | 5.06 | 25.72 | 15.41 |
| 0.50mm 時(kN) | 45.87 | 26.43 | 38.15 | 27.36 | 36.54 | 36.34 | 35.12 | 7.27 | 32.96 | 18.14 |
| 1.00mm 時(kN) | 74.74 | 60.39 | 69.03 | 58.79 | 64.27 | 63.55 | 65.13 | 5.89 | 63.38 | 51.37 |
| 2.00mm 時(kN) | 93.13 | 90.04 | 82.39 | 80.41 | 89.33 | 93.80 | 88.18 | 5.56 | 86.53 | 75.19 |
| 5.00mm 時(kN) | - | - | 58.91 | 67.46 | 67.85 | 71.90 | 66.53 | 5.46 | 64.91 | 53.77 |
| 2/3Pmax(kN) | 62.09 | 61.31 | 55.90 | 54.35 | 60.31 | 63.67 | 59.61 | 3.67 | 58.51 | 51.02 |
| Pmax(kN) | 93.13 | 91.97 | 83.84 | 81.53 | 90.47 | 95.51 | 89.41 | 5.51 | 87.77 | 76.53 |
| DPmax(mm) | 2.00 | 2.20 | 1.85 | 1.65 | 1.75 | 2.10 | 1.93 | 0.21 | 1.86 | 1.43 |
| Py(kN) | 60.54 | - | - | - | 66.97 | 58.25 | 61.92 | 4.52 | 60.58 | 51.35 |
| Dy(mm) | 0.69 | - | - | - | 1.04 | 0.89 | 0.88 | 0.18 | 0.82 | 0.46 |
| K(kN/cm) | 877.78 | - | - | - | 641.80 | 651.16 | 723.58 | 133.63 | 683.89 | 411.43 |
| Pu(kN) | 83.91 | - | - | - | 84.82 | 85.39 | 84.71 | 0.74 | 84.49 | 82.97 |
| Du(mm) | 3.65 | 3.85 | 4.30 | 5.15 | 4.60 | 4.35 | 4.32 | 0.54 | 4.16 | 3.06 |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

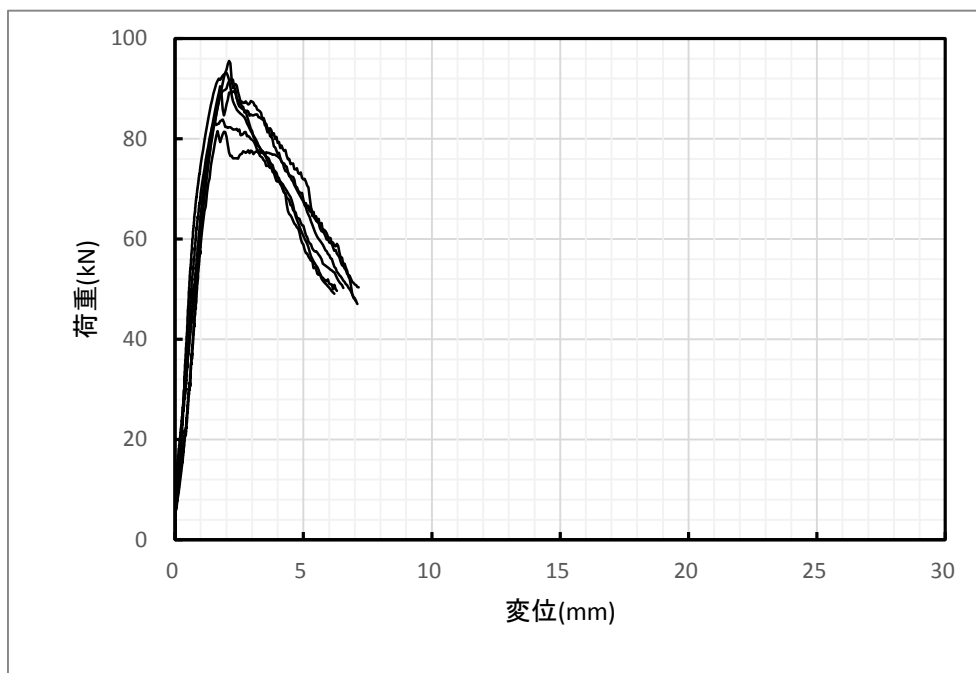


図 3.4.7 条件7 荷重-変位曲線

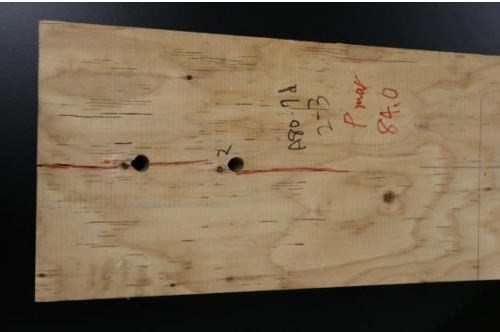
| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.7 条件7 (A種厚さ80mm-1列2本-7d) 破壊状況

3.4.8 条件8（A種厚さ40mm-1列4本-7d）試験結果

試験結果を表 3.4.8 に、荷重－変位曲線を図 3.4.8 に、破壊状況を写真 3.4.8 に示す。

表 3.4.8 条件8（A種厚さ40mm-1列4本-7d）試験結果

| | A40-7d-4-1 | A40-7d-4-2 | A40-7d-4-3 | A40-7d-4-4 | A40-7d-4-5 | A40-7d-4-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|-------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 32.4 | 62.3 | 36.8 | 29.0 | 22.4 | 31.4 | 35.7 | 13.8 | 31.6 | 3.4 |
| 0.50mm 時(kN) | 39.2 | 67.4 | 46.7 | 39.3 | 29.2 | 41.5 | 43.9 | 12.8 | 40.1 | 13.9 |
| 1.00mm 時(kN) | 64.6 | 58.5 | 59.4 | 57.1 | 54.6 | 52.6 | 57.8 | 4.2 | 56.6 | 48.0 |
| 2.00mm 時(kN) | 50.6 | 51.9 | 53.7 | 36.5 | 40.6 | 39.9 | 45.6 | 7.4 | 43.4 | 28.4 |
| 5.00mm 時(kN) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 2/3Pmax(kN) | 43.1 | 45.1 | 43.7 | 40.8 | 36.4 | 35.8 | 40.8 | 3.9 | 39.6 | 31.7 |
| Pmax(kN) | 64.7 | 67.6 | 65.5 | 61.1 | 54.7 | 53.7 | 61.2 | 5.8 | 59.5 | 47.6 |
| DPmax(mm) | 0.99 | 0.51 | 0.72 | 0.84 | 0.99 | 0.97 | 0.84 | 0.19 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 31.3 | ---- | ---- | ---- | ---- | 27.5 | 29.4 | 2.7 | | |
| Dy(mm) | 0.36 | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.23 | 0.30 | 0.09 | | |
| K(kN/cm) | 867.0 | ---- | ---- | ---- | ---- | 1177.3 | 1022.1 | 219.4 | | |
| Pu(kN) | 64.6 | ---- | ---- | ---- | ---- | 51.3 | 57.9 | 9.4 | | |
| Du(mm) | 0.99 | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.97 | 0.98 | 0.0 | | |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

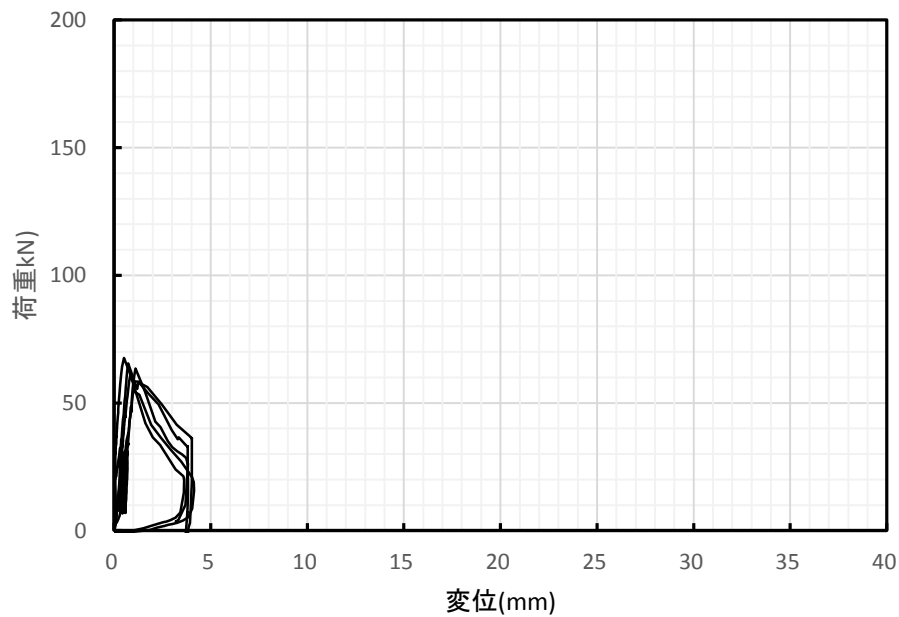


図 3.4.8 条件8 荷重－変位曲線







| | | | |
|---------|---|---------|--|
| 1 体目 |  | 2 体目 |  |
| 3 体目 |  | 4 体目 |  |
| 5 体目 |  | 6 体目 |  |

写真 3.4.8 条件 8 (A種厚さ 40mm-1列 4本-7d) 破壊状況

3.4.9 条件9 (B種厚さ 40mm-1列 4本-7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.9 に、荷重－変位曲線を図 3.4.9 に、破壊状況を写真 3.4.9 に示す。

表 3.4.9 条件9 (B種厚さ 40mm-1列 4本-7d) 試験結果

| | B40-7d-4-1 | B40-7d-4-2 | B40-7d-4-3 | B40-7d-4-4 | B40-7d-4-5 | B40-7d-4-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 23.5 | 36.9 | 37.4 | 43.5 | 30.8 | 34.1 | 34.4 | 6.8 | 32.3 | 18.5 |
| 0.50mm 時(kN) | 32.2 | 44.9 | 44.9 | 49.9 | 37.5 | 41.2 | 41.8 | 6.3 | 39.9 | 27.2 |
| 1.00mm 時(kN) | 56.8 | 80.1 | 74.3 | 81.6 | 68.6 | 69.1 | 71.7 | 9.1 | 69.1 | 50.5 |
| 2.00mm 時(kN) | 93.9 | 112.3 | 99.6 | 105.0 | 98.0 | 107.7 | 102.7 | 6.8 | 100.7 | 86.9 |
| 5.00mm 時(kN) | 110.0 | 131.2 | 115.8 | 125.5 | 114.7 | 132.0 | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 2/3Pmax(kN) | 97.2 | 122.3 | 104.6 | 106.3 | 97.1 | 115.4 | 107.1 | 10.0 | 104.2 | 83.8 |
| Pmax(kN) | 145.9 | 183.4 | 156.9 | 159.4 | 145.7 | 173.0 | 160.7 | 15.0 | 156.3 | 125.6 |
| DPmax(mm) | 26.04 | 20.41 | 23.97 | 21.99 | 21.15 | 21.37 | 22.49 | 2.12 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 93.0 | 109.8 | 97.9 | 101.38 | 92.71 | 107.8 | 100.4 | 7.3 | 98.3 | 83.5 |
| Dy(mm) | 1.94 | 1.8 | 1.88 | 1.78 | 1.70 | 2.0 | 1.85 | 0.11 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 479.5 | 606.5 | 519.8 | 570.78 | 546.19 | 536.9 | 543.3 | 43.4 | ---- | ---- |
| Pu(kN) | 133.6 | 163.9 | 140.6 | 148.73 | 135.95 | 155.9 | 146.4 | 11.9 | 142.9 | 118.7 |
| Du(mm) | 30.3 | 34.7 | 26.0 | 30.01 | 30.71 | 24.6 | 29.4 | 3.6 | ---- | ---- |

備考：試験体数 6 の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

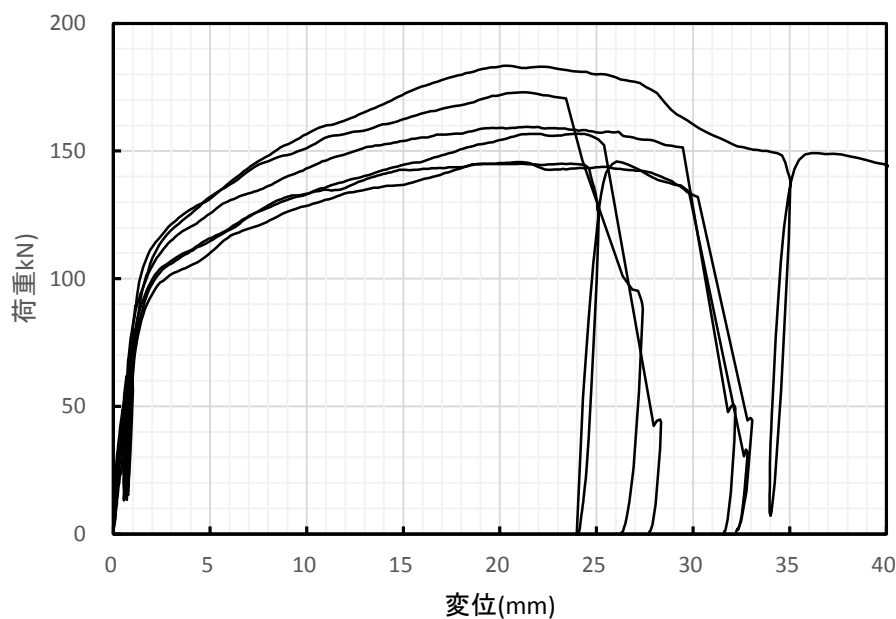


図 3.4.9 条件9 荷重－変位曲線







| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.9 条件 9 (B種厚さ 40mm-1列 4本-7d) 破壊状況

3.4.10 条件10（A種厚さ80mm-1列4本-4d）試験結果

試験結果を表3.4.10に、荷重－変位曲線を図3.4.10に、破壊状況を写真3.4.10に示す。

表 3.4.10 条件10（A種厚さ80mm-1列4本-4d）試験結果

| | A80-4d-4-1 | A80-7d-4-2 | A80-4d-4-3 | A80-4d-4-4 | A80-4d-4-5 | A80-4d-4-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|------|--------|-------|
| 0.38mm時(kN) | 40.0 | 30.0 | 41.1 | 38.6 | 60.1 | 27.1 | 39.5 | 11.6 | 36.0 | 12.4 |
| 0.50mm時(kN) | 52.6 | 40.2 | 52.6 | 49.0 | 75.1 | 36.3 | 51.0 | 13.6 | 46.9 | 19.3 |
| 1.00mm時(kN) | 76.9 | 85.2 | 73.5 | 85.6 | 83.1 | 77.0 | 80.2 | 5.1 | 78.7 | 68.3 |
| 2.00mm時(kN) | 64.6 | 70.5 | 62.0 | 78.5 | 75.8 | 70.6 | 70.3 | 6.3 | 68.5 | 55.6 |
| 5.00mm時(kN) | 37.7 | 36.9 | 0.0 | 47.6 | 42.1 | 41.1 | 34.3 | 17.2 | ---- | ---- |
| 2/3Pmax(kN) | 52.1 | 57.9 | 49.2 | 57.7 | 55.8 | 56.1 | 54.8 | 3.5 | 53.8 | 46.7 |
| Pmax(kN) | 78.1 | 86.8 | 73.7 | 86.5 | 83.8 | 84.1 | 82.2 | 5.2 | 80.6 | 70.1 |
| DPmax(mm) | 1.07 | 1.11 | 1.06 | 1.40 | 0.92 | 1.44 | 1.17 | 0.21 | ---- | ---- |
| Py(kN) | ---- | ---- | ---- | ---- | 34.08 | ---- | 34.1 | ---- | ---- | ---- |
| Dy(mm) | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.13 | ---- | 0.13 | ---- | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | ---- | ---- | ---- | ---- | 2680.58 | ---- | 2680.6 | ---- | ---- | ---- |
| Pu(kN) | ---- | ---- | ---- | ---- | 80.69 | ---- | 80.7 | ---- | ---- | ---- |
| Du(mm) | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.90 | ---- | 0.9 | ---- | ---- | ---- |

備考：試験体数6の場合、50%下限値＝(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値＝(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

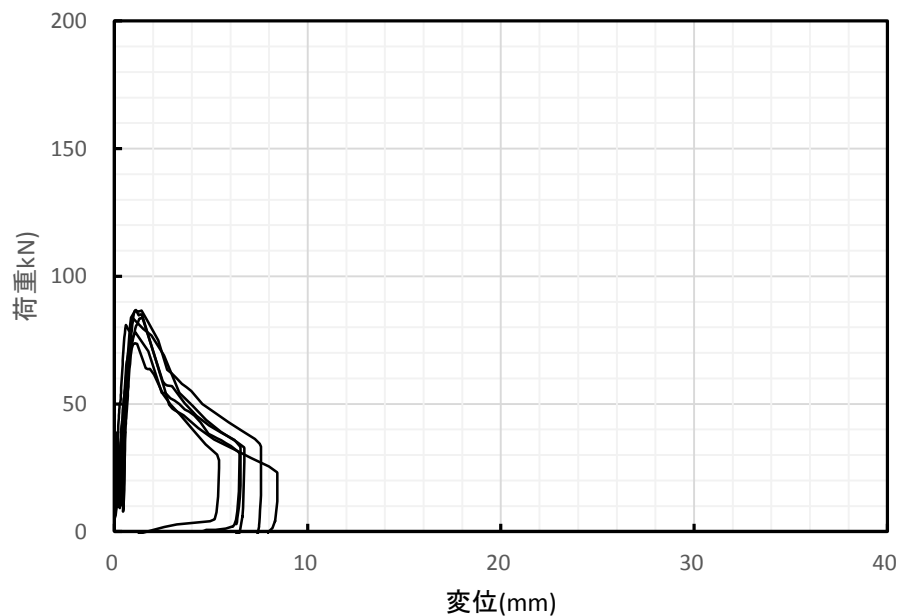


図 3.4.10 条件10 荷重－変位曲線







| | |
|---------|--|
| 1 体目 |  <p>No.10 A80-4d-4-1 Pmax: 78kN A80-4d-4-1 Pmax: 78kN</p> |
| 2 体目 |  <p>No.10 A80-4d-4-2 Pmax: 85kN A80-4d-4-2 Pmax: 85kN</p> |
| 3 体目 |  <p>No.10 A80-4d-4-3 Pmax: 73kN A80-4d-4-3 Pmax: 73kN</p> |
| 4 体目 |  <p>No.10 A80-4d-4-4 Pmax: 86kN A80-4d-4-4 Pmax: 86kN</p> |
| 5 体目 |  <p>No.10 A80-4d-4-5 Pmax: 83kN A80-4d-4-5</p> |
| 6 体目 |  <p>No.10 A80-4d-4-6 Pmax: 84kN A80-4d-4-6</p> |

写真 3.4.10 条件 10 (A種厚さ 80mm-1列 4本-4d) 破壊状況

3.4.11 条件 11 (B種厚さ 80mm-1列 4本-4d) 試験結果

試験結果を表 3.4.11 に、荷重－変位曲線を図 3.4.11 に、破壊状況を写真 3.4.11 に示す。

表 3.4.11 条件 11 (B種厚さ 80mm-1列 4本-4d) 試験結果

| | B80-4d-4-1 | B80-7d-4-2 | B80-4d-4-3 | B80-4d-4-4 | B80-4d-4-5 | B80-4d-4-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 30.6 | 47.8 | 44.4 | 37.9 | 34.9 | 31.0 | 37.8 | 7.1 | 35.7 | 21.2 |
| 0.50mm 時(kN) | 40.4 | 57.6 | 54.9 | 48.0 | 43.2 | 42.4 | 47.8 | 7.1 | 45.6 | 31.2 |
| 1.00mm 時(kN) | 91.5 | 109.6 | 106.6 | 100.3 | 91.9 | 92.8 | 98.8 | 8.0 | 96.4 | 80.2 |
| 2.00mm 時(kN) | 151.8 | 166.5 | 165.1 | 158.6 | 142.3 | 146.5 | 155.1 | 9.9 | 152.2 | 132.0 |
| 5.00mm 時(kN) | 218.1 | 225.8 | 227.9 | 216.5 | 215.9 | 215.4 | 219.9 | 5.5 | 218.3 | 207.2 |
| 2/3Pmax(kN) | 162.3 | 159.2 | 164.2 | 158.9 | 166.9 | 160.2 | 161.9 | 3.1 | 161.0 | 154.6 |
| Pmax(kN) | 243.4 | 238.8 | 246.3 | 238.4 | 250.3 | 240.3 | 242.9 | 4.7 | 241.5 | 231.9 |
| DPmax(mm) | 8.71 | 7.04 | 7.34 | 8.62 | 9.20 | 8.45 | 8.23 | 0.85 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 145.9 | 149.8 | 147.8 | 144.1 | 139.87 | 138.8 | 144.4 | 4.4 | 143.1 | 134.2 |
| Dy(mm) | 1.9 | 1.6 | 1.64 | 1.68 | 1.93 | 1.83 | 1.77 | 0.13 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 779.0 | 915.2 | 903.2 | 856.21 | 723.05 | 757.34 | 822.3 | 80.3 | ---- | ---- |
| Pu(kN) | 219.7 | 221.1 | 223.0 | 219.72 | 226.25 | 216.57 | 221.0 | 3.3 | 220.1 | 213.3 |
| Du(mm) | 14.3 | 11.3 | 10.6 | 13.21 | 12.76 | 14.77 | 12.8 | 1.6 | ---- | ---- |

備考：試験体数 6 の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

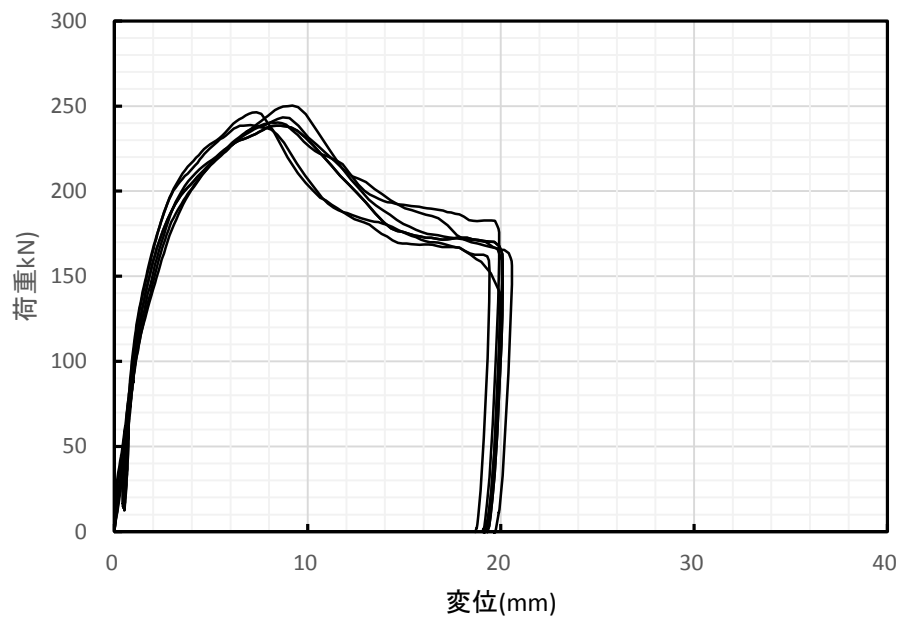


図 3.4.11 条件 11 荷重－変位曲線

| | | | |
|-------------|--|-------------|--|
| 1 体 目 | | 2 体 目 | |
| 3 体 目 | | 4 体 目 | |
| 5 体 目 | | 6 体 目 | |

写真 3.4.11 条件 11 (B種厚さ 80mm-1列 4本-4d) 破壊状況

3.4.12 条件12（A種厚さ80mm-1列4本-7d）試験結果

試験結果を表 3.4.12 に、荷重－変位曲線を図 3.4.12 に、破壊状況を写真 3.4.12 に示す。

表 3.4.12 条件12（A種厚さ80mm-1列4本-7d）試験結果

| | A80-7d-4-1 | A80-7d-4-2 | A80-7d-4-3 | A80-7d-4-4 | A80-7d-4-5 | A80-7d-4-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 43.1 | 57.1 | 34.9 | 18.2 | 51.7 | 23.1 | 38.0 | 15.5 | 33.4 | 1.8 |
| 0.50mm 時(kN) | 53.4 | 70.4 | 44.5 | 29.8 | 52.8 | 35.8 | 47.8 | 14.5 | 43.5 | 14.0 |
| 1.00mm 時(kN) | 102.6 | 123.6 | 100.6 | 71.1 | 113.5 | 83.3 | 99.1 | 19.2 | 93.4 | 54.1 |
| 2.00mm 時(kN) | 114.0 | 121.8 | 112.0 | 111.1 | 114.2 | 116.7 | 115.0 | 3.9 | 113.8 | 105.9 |
| 5.00mm 時(kN) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 2/3Pmax(kN) | 87.7 | 97.2 | 88.2 | 79.9 | 88.1 | 82.0 | 87.2 | 6.0 | 85.4 | 73.0 |
| Pmax(kN) | 131.5 | 145.9 | 132.3 | 119.8 | 132.1 | 123.1 | 130.8 | 9.1 | 128.1 | 109.6 |
| DPmax(mm) | 1.35 | 1.24 | 1.32 | 1.67 | 1.36 | 1.72 | 1.44 | 0.20 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 40.0 | ---- | ---- | 115.1 | ---- | 84.5 | 79.9 | ---- | ---- | ---- |
| Dy(mm) | 0.35 | ---- | ---- | 1.56 | ---- | 1.01 | 0.97 | ---- | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 1145.8 | ---- | ---- | 735.76 | ---- | 834.06 | 905.2 | ---- | ---- | ---- |
| Pu(kN) | 130.1 | ---- | ---- | 119.03 | ---- | 122.48 | 123.9 | ---- | ---- | ---- |
| Du(mm) | 1.35 | ---- | ---- | 1.67 | ---- | 1.72 | 1.6 | ---- | ---- | ---- |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

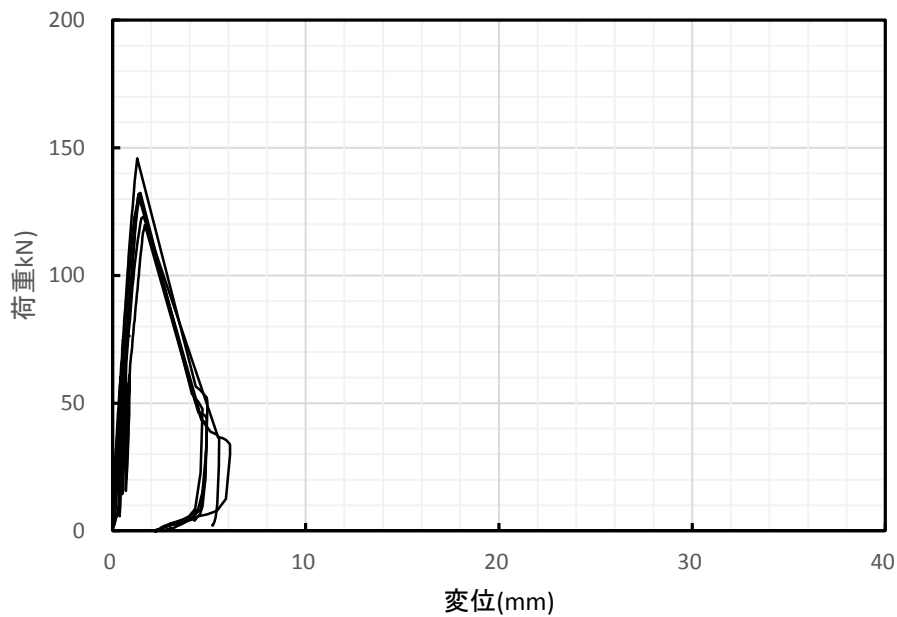


図 3.4.12 条件12 荷重－変位曲線







| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.12 条件 12 (A種厚さ 80mm-1列 4本-7d) 破壊状況

3.4.13 条件13（B種厚さ80mm-1列4本-7d）試験結果

試験結果を表3.4.13に、荷重－変位曲線を図3.4.13に、破壊状況を写真3.4.13に示す。

表 3.4.13 条件13（B種厚さ80mm-1列4本-7d）試験結果

| | B80-7d-4-1 | B80-7d-4-2 | B80-7d-4-3 | B80-7d-4-4 | B80-7d-4-5 | B80-7d-4-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 12.6 | 44.3 | 11.1 | 28.4 | 16.1 | 24.2 | 22.8 | 12.5 | 19.1 | -6.4 |
| 0.50mm 時(kN) | 21.8 | 53.8 | 17.4 | 36.9 | 25.0 | 33.3 | 31.4 | 13.1 | 27.4 | 0.6 |
| 1.00mm 時(kN) | 63.7 | 96.4 | 58.1 | 78.9 | 65.5 | 75.5 | 73.0 | 13.8 | 68.9 | 40.8 |
| 2.00mm 時(kN) | 137.5 | 149.2 | 116.5 | 127.0 | 118.2 | 124.9 | 128.9 | 12.4 | 125.2 | 99.8 |
| 5.00mm 時(kN) | 213.7 | 210.9 | 205.5 | 203.2 | 183.8 | 203.5 | 203.4 | 10.5 | 200.3 | 178.9 |
| 2/3Pmax(kN) | 284.3 | 251.4 | 222.6 | 249.6 | 262.7 | 286.6 | 259.5 | 24.0 | 252.4 | 203.5 |
| Pmax(kN) | 426.4 | 377.1 | 333.9 | 374.4 | 394.1 | 429.8 | 389.3 | 36.0 | 378.6 | 305.2 |
| DPmax(mm) | 34.89 | 30.86 | 36.24 | 38.17 | 36.20 | 35.41 | 35.30 | 2.44 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 206.4 | 194.7 | 189.5 | 189.6 | 201.32 | 199.1 | 196.8 | 6.8 | 194.7 | 181.0 |
| Dy(mm) | 4.51 | 3.75 | 4.1 | 4.04 | 6.01 | 4.79 | 4.53 | 0.82 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 457.9 | 518.7 | 466.4 | 469.69 | 335.00 | 415.33 | 443.8 | 62.7 | ---- | ---- |
| Pu(kN) | 372.9 | 325.3 | 303.9 | 328.37 | 351.83 | 382.52 | 344.1 | 30.3 | 335.1 | 273.4 |
| Du(mm) | 47.4 | 33.8 | 43.7 | 41.94 | 46.90 | 49.90 | 43.9 | 5.7 | ---- | ---- |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

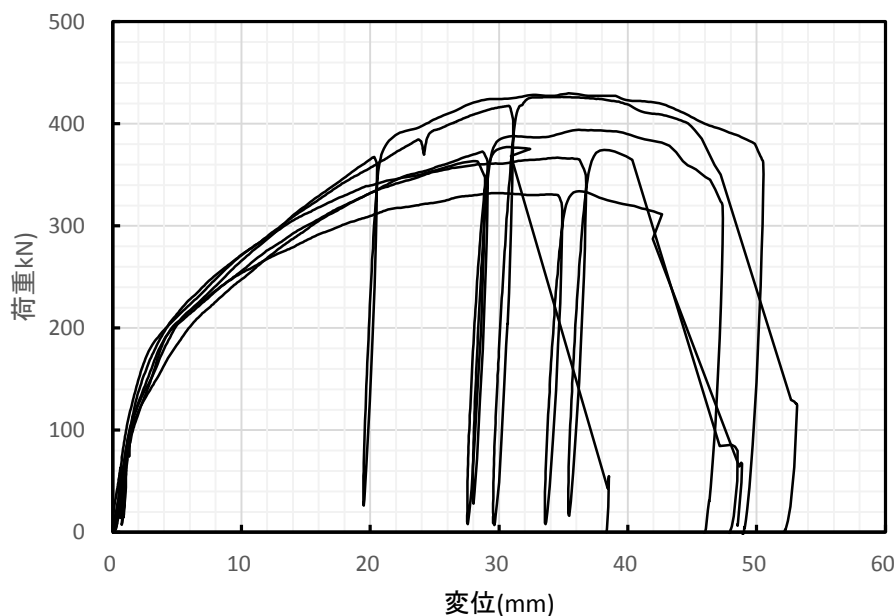


図 3.4.13 条件13 荷重－変位曲線
(変位計盛り換え時に荷重を徐荷した。)







| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.13 条件 13 (B種厚さ 80mm-1列 4本-7d) 破壊状況

3.4.14 条件 14 (A 種厚さ 120mm-1 列 4 本-7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.14 に、荷重－変位曲線を図 3.4.14 に、破壊状況を写真 3.4.14 に示す。

表 3.4.14 条件 14 (A 種厚さ 120mm-1 列 4 本-7d) 試験結果

| | A120-7d-4- 1 | A120-7d-4- 2 | A120-7d-4- 3 | A120-7d-4- 4 | A120-7d-4- 5 | A120-7d-4- 6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限 値 | 5%下限 値 |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|------|------------|-----------|
| 0.38mm 時(kN) | 52.8 | 38.3 | 45.5 | 54.4 | 38.1 | 52.4 | 46.9 | 7.4 | 44.7 | 29.6 |
| 0.50mm 時(kN) | 64.7 | 50.5 | 57.2 | 62.8 | 48.4 | 48.2 | 55.3 | 7.3 | 53.1 | 38.2 |
| 1.00mm 時(kN) | 120.9 | 107.2 | 104.1 | 110.0 | 101.9 | 109.0 | 108.9 | 6.6 | 106.9 | 93.3 |
| 2.00mm 時(kN) | 178.3 | 171.4 | 167.9 | 165.7 | 163.3 | 171.3 | 169.6 | 5.3 | 168.0 | 157.3 |
| 5.00mm 時(kN) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 2/3Pmax(kN) | 129.3 | 125.1 | 116.7 | 111.9 | 121.2 | 118.6 | 120.4 | 6.2 | 118.6 | 106.0 |
| Pmax(kN) | 193.9 | 187.6 | 175.0 | 167.9 | 181.8 | 177.9 | 180.7 | 9.3 | 177.9 | 159.0 |
| DPmax(mm) | 2.53 | 2.61 | 2.19 | 1.92 | 2.60 | 2.38 | 2.37 | 0.27 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 121.6 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 121.6 | ---- | ---- | ---- |
| Dy(mm) | 1.01 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 1.01 | ---- | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 1207.2 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 1207.2 | ---- | ---- | ---- |
| Pu(kN) | 187.6 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 187.6 | ---- | ---- | ---- |
| Du(mm) | 2.5 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 2.5 | ---- | ---- | ---- |

備考：試験体数 6 の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

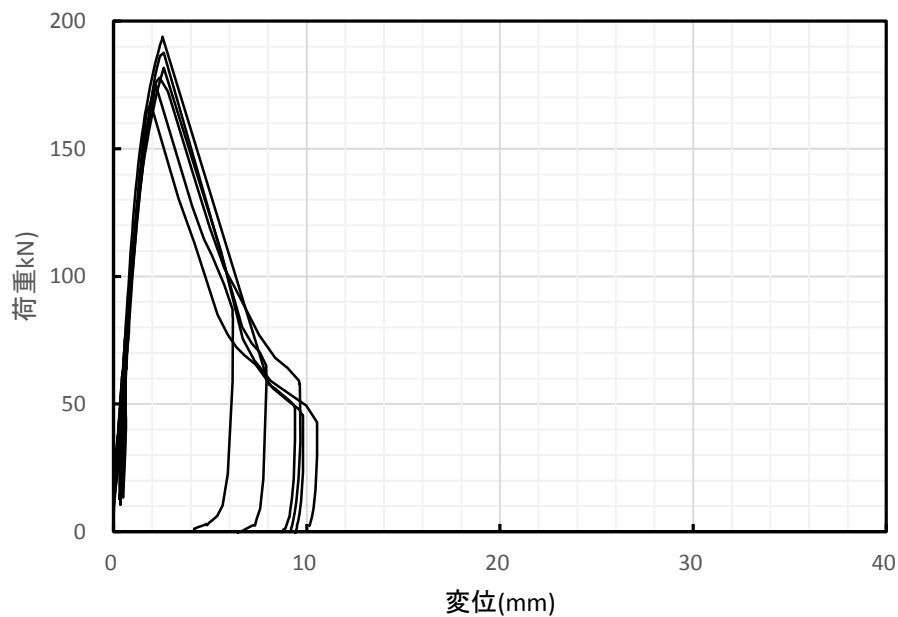


図 3.4.14 条件 14 荷重－変位曲線







| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.14 条件 14 (A種厚さ 120mm-1列 4本-7d) 破壊状況

3.4.15 条件 15 (B種厚さ 120mm-1列 4本-7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.15 に、荷重－変位曲線を図 3.4.15 に、破壊状況を写真 3.4.15 に示す。

表 3.4.15 条件 15 (B種厚さ 120mm-1列 4本-7d) 試験結果

| | B120-7d-4-1 | B120-7d-4-2 | B120-7d-4-3 | B120-7d-4-4 | B120-7d-4-5 | B120-7d-4-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 19.1 | 41.4 | 53.6 | 32.5 | 38.6 | 41.5 | 37.8 | 11.5 | 34.4 | 11.0 |
| 0.50mm 時(kN) | 25.6 | 50.2 | 59.6 | 40.1 | 48.7 | 49.3 | 45.6 | 11.6 | 42.1 | 18.5 |
| 1.00mm 時(kN) | 60.5 | 93.5 | 110.1 | 81.0 | 90.4 | 79.0 | 85.8 | 16.6 | 80.8 | 46.9 |
| 2.00mm 時(kN) | 123.3 | 157.5 | 149.2 | 146.8 | 136.4 | 141.4 | 142.4 | 11.8 | 138.9 | 114.9 |
| 5.00mm 時(kN) | 196.8 | 214.4 | 204.6 | 207.6 | 195.0 | 197.1 | 202.6 | 7.6 | 200.3 | 184.8 |
| 2/3Pmax(kN) | 330.0 | 267.7 | 266.5 | 267.4 | 267.4 | 267.7 | 277.8 | 25.6 | 270.2 | 218.0 |
| Pmax(kN) | 495.0 | 401.5 | 399.7 | 401.0 | 401.0 | 401.5 | 416.6 | 38.4 | 405.2 | 327.0 |
| DPmax(mm) | 24.28 | 20.50 | 20.46 | 19.13 | 20.07 | 20.44 | 20.81 | 1.78 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 201.1 | 185.1 | 173.3 | 179.5 | 169.30 | 170.1 | 179.7 | 12.1 | 176.1 | 151.6 |
| Dy(mm) | 5.29 | 2.68 | 3.0 | 2.85 | 3.14 | 2.83 | 3.30 | 0.99 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 380.0 | 691.8 | 575.7 | 629.80 | 539.49 | 600.38 | 569.5 | 106.2 | ---- | ---- |
| Pu(kN) | 375.2 | 299.7 | 300.1 | 297.11 | 296.36 | 290.60 | 309.8 | 32.2 | 300.3 | 234.6 |
| Du(mm) | 23.9 | 19.9 | 19.9 | 18.90 | 19.90 | 19.90 | 20.4 | 1.8 | ---- | ---- |

備考：試験体数 6 の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

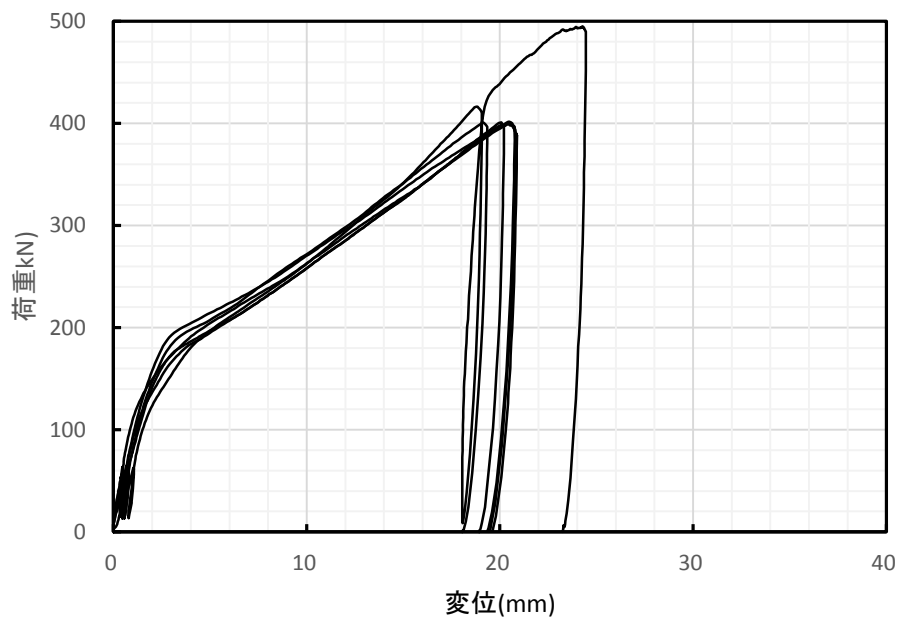


図 3.4.15 条件 15 荷重－変位曲線




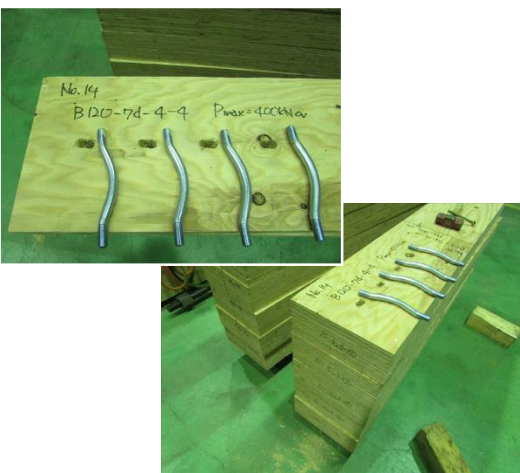


| | | | |
|----------------------|---|----------------------|--|
| <p>1 体 目</p> |  | <p>2 体 目</p> |  |
| <p>3 体 目</p> |  | <p>4 体 目</p> |  |
| <p>5 体 目</p> |  | <p>6 体 目</p> |  |

写真 3.4.15 条件 15 (B種厚さ 120mm-1列 4本-7d) 破壊状況

3.4.16 条件16（A種厚さ80mm-1列6本-7d）試験結果

試験結果を表3.4.16に、荷重－変位曲線を図3.4.16に、破壊状況を写真3.4.16に示す。

表 3.4.16 条件16（A種厚さ80mm-1列6本-7d）試験結果

| | A80-7d-6-1 | A80-7d-6-2 | A80-7d-6-3 | A80-7d-6-4 | A80-7d-6-5 | A80-7d-6-6 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 66.5 | 51.0 | 33.5 | 54.5 | 39.5 | 44.2 | 48.2 | 11.8 | 44.7 | 20.7 |
| 0.50mm 時(kN) | 89.6 | 64.1 | 46.3 | 74.5 | 51.9 | 55.4 | 63.6 | 16.1 | 58.8 | 26.0 |
| 1.00mm 時(kN) | 169.5 | 125.6 | 109.2 | 155.4 | 103.1 | 107.1 | 128.3 | 27.9 | 120.0 | 63.2 |
| 2.00mm 時(kN) | 187.4 | 158.5 | 178.8 | 178.4 | 147.2 | 214.0 | 177.4 | 23.3 | 170.5 | 123.0 |
| 5.00mm 時(kN) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 2/3Pmax(kN) | 146.9 | 110.5 | 128.7 | 133.2 | 98.3 | 153.0 | 128.4 | 21.0 | 122.2 | 79.4 |
| Pmax(kN) | 220.4 | 165.7 | 193.0 | 199.8 | 147.4 | 229.5 | 192.6 | 31.5 | 183.3 | 119.1 |
| DPmax(mm) | 1.49 | 1.80 | 1.79 | 1.55 | 2.02 | 2.25 | 1.82 | 0.29 | ---- | ---- |
| Py(kN) | ---- | 31.20 | ---- | ---- | 27.49 | ---- | 29.3 | ---- | ---- | ---- |
| Dy(mm) | ---- | 0.16 | ---- | ---- | 0.24 | ---- | 0.20 | ---- | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | ---- | 1905.19 | ---- | ---- | 1166.41 | ---- | 1535.8 | ---- | ---- | ---- |
| Pu(kN) | ---- | 151.17 | ---- | ---- | 140.44 | ---- | 145.8 | ---- | ---- | ---- |
| Du(mm) | ---- | 1.80 | ---- | ---- | 2.02 | ---- | 1.91 | ---- | ---- | ---- |

備考：試験体数6の場合、50%下限値=(平均値)-0.297×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-2.336×(標準偏差)で算出した。

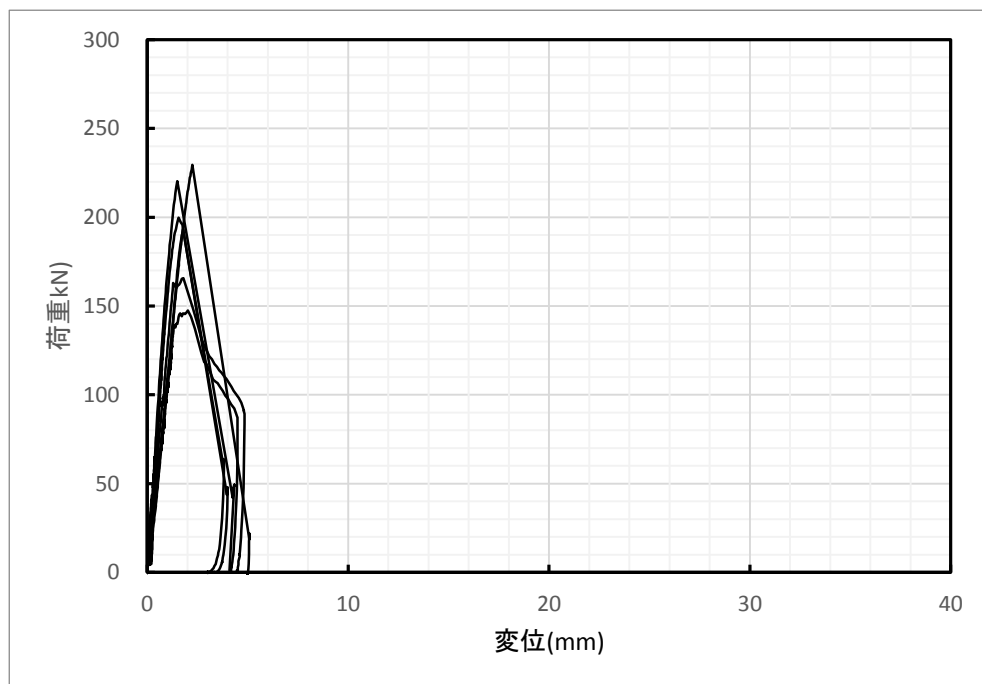


図 3.4.16 条件16 荷重－変位曲線







| | | | |
|-------------|---|-------------|--|
| 1 体 目 |  | 2 体 目 |  |
| 3 体 目 |  | 4 体 目 |  |
| 5 体 目 |  | 6 体 目 |  |

写真 3.4.16 条件 16 (A種厚さ 80mm-1列 6本-7d) 破壊状況

3.4.17 条件 17 (A 種厚さ 80mm-2 列 1 本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.17 に、荷重－変位曲線を図 3.4.17 に、破壊状況を写真 3.4.17 に示す。

表 3.4.17 条件 17 (A 種厚さ 80mm-2 列 1 本-7d 3d) 試験結果

| | A80-7d3d-2x1-1 | A80-7d3d-2x1-2 | A80-7d3d-2x1-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 16.08 | 16.72 | 6.68 | 13.16 | 5.62 | 10.51 | - |
| 0.50mm 時(kN) | 22.90 | 23.63 | 9.40 | 18.64 | 8.01 | 14.87 | - |
| 1.00mm 時(kN) | 55.63 | 51.35 | 31.12 | 46.03 | 13.09 | 39.87 | 4.77 |
| 2.00mm 時(kN) | 84.66 | 80.75 | 72.30 | 79.24 | 6.32 | 76.26 | 59.31 |
| 5.00mm 時(kN) | 103.22 | 102.64 | 93.80 | 99.88 | 5.28 | 97.40 | 83.25 |
| 2/3Pmax(kN) | 72.37 | 69.70 | 65.60 | 69.22 | 3.41 | 67.62 | 58.47 |
| Pmax(kN) | 108.55 | 104.56 | 98.39 | 103.83 | 5.12 | 101.42 | 87.71 |
| DPmax(mm) | 7.75 | 6.25 | 4.70 | 6.23 | 1.53 | 5.52 | 1.43 |
| Py(kN) | 61.64 | 61.54 | 60.40 | 61.20 | 0.69 | 60.87 | 59.01 |
| Dy(mm) | 1.16 | 1.28 | 1.53 | 1.32 | 0.19 | 1.23 | 0.72 |
| K(kN/cm) | 533.32 | 480.06 | 394.51 | 469.29 | 70.03 | 436.31 | 248.56 |
| Pu(kN) | 95.49 | 96.62 | 88.98 | 93.70 | 4.12 | 91.75 | 80.70 |
| Du(mm) | 19.95 | 18.05 | 5.70 | 14.57 | 7.74 | 10.92 | - |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

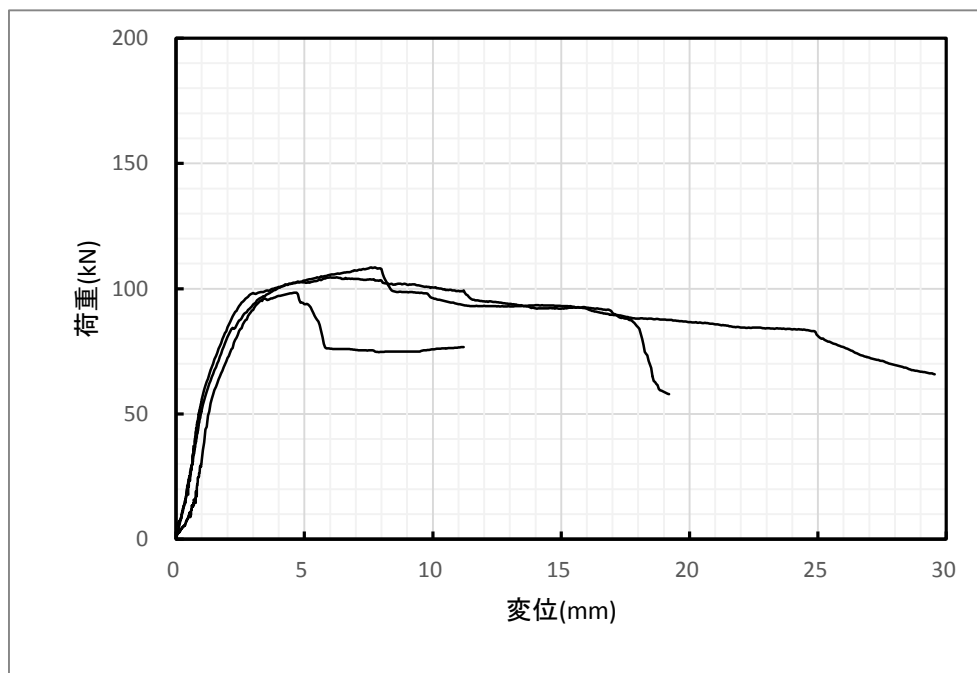


図 3.4.17 条件 17 荷重－変位曲線

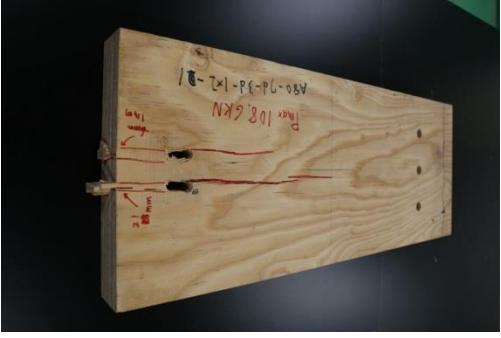

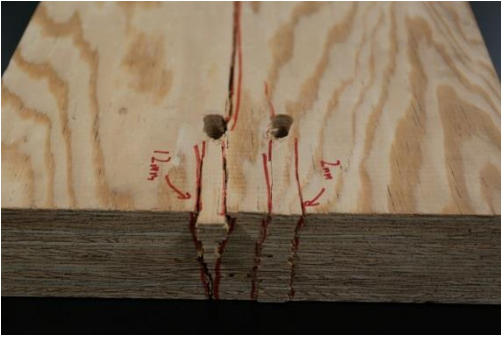


| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.17 条件 17 (A種厚さ 80mm-2列1本-7d 3d) 破壊状況

3.4.18 条件 18 (B 種厚さ 80mm-2 列 1 本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.18 に、荷重－変位曲線を図 3.4.18 に、破壊状況を写真 3.4.18 に示す。

表 3.4.18 条件 18 (B 種厚さ 80mm-2 列 1 本-7d 3d) 試験結果

| | B80-7d3d-2x1-1 | B80-7d3d-2x1-2 | B80-7d3d-2x1-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 21.68 | 23.94 | 27.59 | 24.40 | 2.98 | 23.00 | 15.00 |
| 0.50mm 時(kN) | 30.54 | 29.90 | 32.57 | 31.01 | 1.39 | 30.35 | 26.63 |
| 1.00mm 時(kN) | 58.14 | 58.61 | 58.07 | 58.27 | 0.29 | 58.14 | 57.35 |
| 2.00mm 時(kN) | 85.93 | 82.68 | 79.08 | 82.57 | 3.43 | 80.95 | 71.76 |
| 5.00mm 時(kN) | 116.42 | 108.82 | 108.73 | 111.32 | 4.41 | 109.25 | 97.42 |
| 2/3Pmax(kN) | 129.49 | 117.65 | 118.61 | 121.92 | 6.58 | 118.82 | 101.19 |
| Pmax(kN) | 194.23 | 176.48 | 177.91 | 182.88 | 9.86 | 178.23 | 151.79 |
| DPmax(mm) | 33.26 | 26.72 | 32.03 | 30.67 | 3.48 | 29.03 | 19.71 |
| Py(kN) | 103.40 | 92.79 | 94.84 | 97.01 | 5.63 | 94.36 | 79.27 |
| Dy(mm) | 3.05 | 2.69 | 2.99 | 2.91 | 0.19 | 2.82 | 2.30 |
| K(kN/cm) | 339.35 | 345.14 | 316.85 | 333.78 | 14.94 | 326.74 | 286.68 |
| Pu(kN) | 168.64 | 150.70 | 153.67 | 157.67 | 9.61 | 153.14 | 127.36 |
| Du(mm) | 35.34 | 28.47 | 32.90 | 32.24 | 3.48 | 30.60 | 21.27 |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

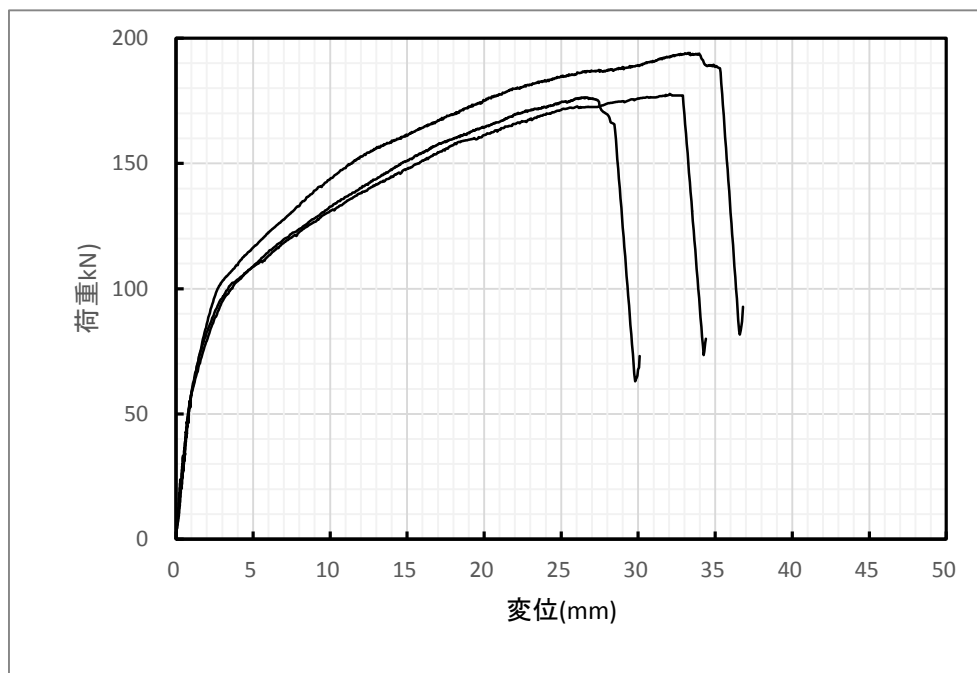


図 3.4.18 条件 18 荷重－変位曲線

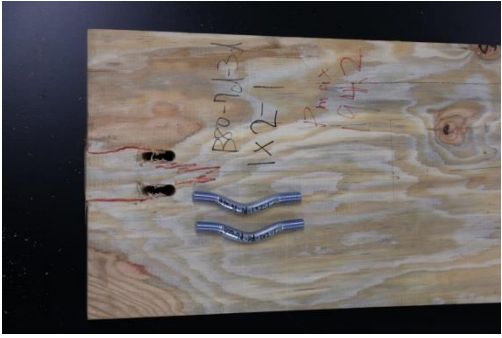

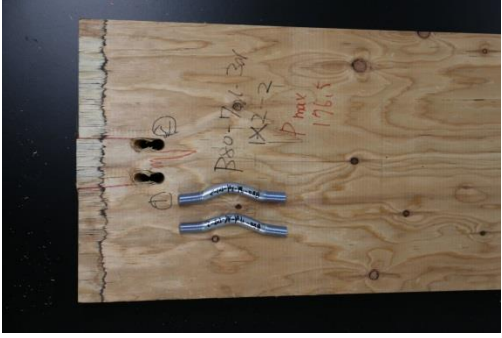
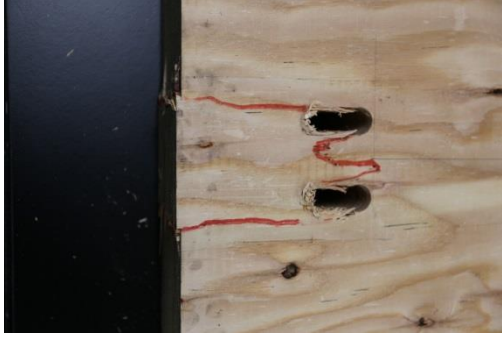
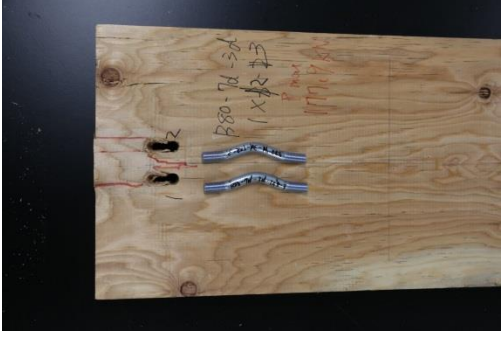

| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.18 条件 18 (B種厚さ 80mm-2列1本-7d 3d) 破壊状況

3.4.19 条件 19 (A 種厚さ 80mm-2 列 1 本-7d 5d) 試験結果

試験結果を表 3.4.19 に、荷重－変位曲線を図 3.4.19 に、破壊状況を写真 3.4.19 に示す。

表 3.4.19 条件 19 (A 種厚さ 80mm-2 列 1 本-7d 5d) 試験結果

| | A80-7d5d-2x1-1 | A80-7d5d-2x1-2 | A80-7d5d-2x1-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 31.08 | 17.90 | 21.21 | 23.40 | 6.85 | 20.17 | 1.79 |
| 0.50mm 時(kN) | 41.31 | 25.62 | 28.73 | 31.89 | 8.31 | 27.97 | 5.71 |
| 1.00mm 時(kN) | 63.80 | 60.48 | 56.20 | 60.16 | 3.81 | 58.36 | 48.14 |
| 2.00mm 時(kN) | 87.16 | 87.49 | 83.25 | 85.97 | 2.36 | 84.85 | 78.52 |
| 5.00mm 時(kN) | 103.42 | 107.13 | 106.66 | 105.74 | 2.02 | 104.78 | 99.36 |
| 2/3Pmax(kN) | 74.67 | 72.42 | 73.37 | 73.49 | 1.13 | 72.95 | 69.93 |
| Pmax(kN) | 112.00 | 108.64 | 110.05 | 110.23 | 1.69 | 109.43 | 104.90 |
| DPmax(mm) | 9.40 | 5.45 | 6.80 | 7.22 | 2.01 | 6.27 | 0.89 |
| Py(kN) | 69.24 | 61.33 | 64.96 | 65.18 | 3.96 | 63.31 | 52.70 |
| Dy(mm) | 1.20 | 1.02 | 1.27 | 1.17 | 0.13 | 1.10 | 0.75 |
| K(kN/cm) | 575.96 | 601.40 | 510.10 | 562.49 | 47.12 | 540.29 | 413.97 |
| Pu(kN) | 101.21 | 100.23 | 101.96 | 101.13 | 0.87 | 100.73 | 98.40 |
| Du(mm) | 15.90 | 13.75 | 18.15 | 15.93 | 2.20 | 14.90 | 9.00 |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

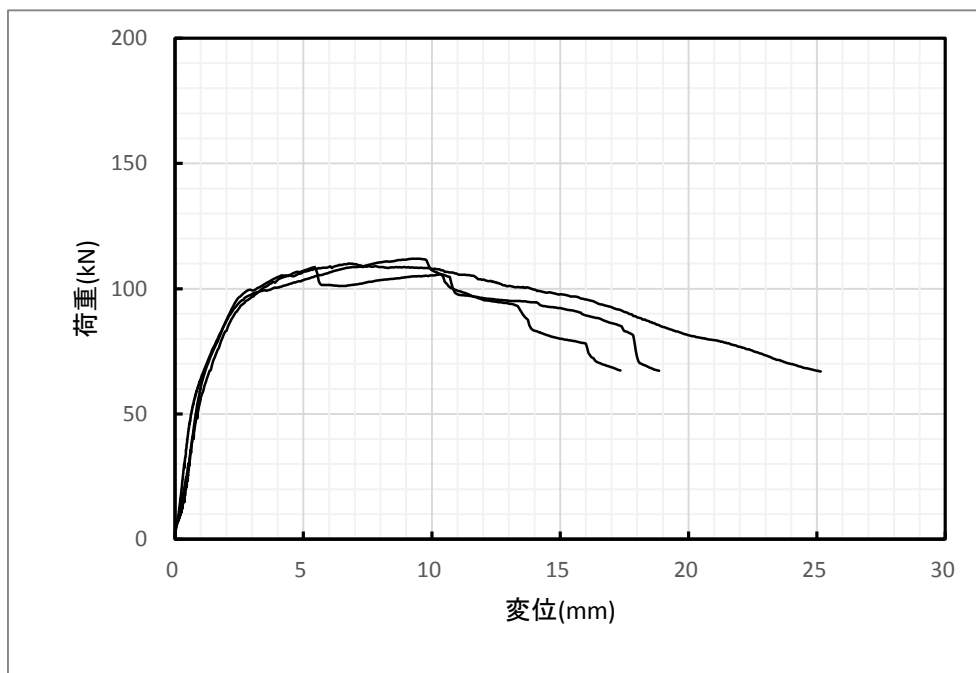


図 3.4.19 条件 19 荷重－変位曲線

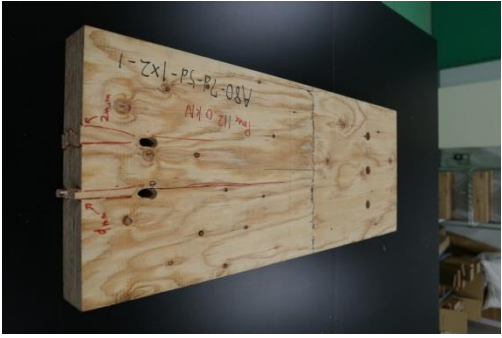

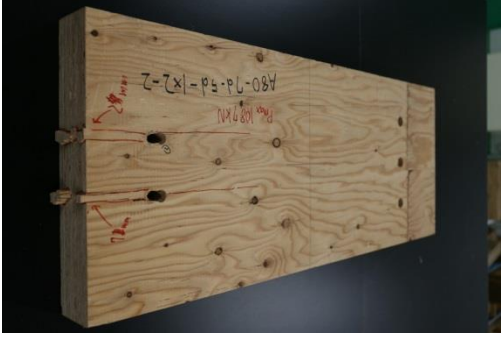



| | | |
|----------------------|---|--|
| <p>1 体 目</p> |  |  |
| <p>2 体 目</p> |  |  |
| <p>3 体 目</p> |  |  |

写真 3.4.19 条件 19 (A種厚さ 80mm-2列1本-7d 5d) 破壊状況

3.4.20 条件 21 (A 種厚さ 80mm-2 列 2 本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.20 に、荷重－変位曲線を図 3.4.20 に、破壊状況を写真 3.4.20 に示す。

表 3.4.20 条件 21 (A 種厚さ 80mm-2 列 2 本-7d 3d) 試験結果

| | A80-7d3d-2x2-1 | A80-7d3d-2x2-2 | A80-7d3d-2x2-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 47.3 | 66.0 | 55.9 | 56.4 | 9.4 | 52.0 | 26.8 |
| 0.50mm 時(kN) | 60.5 | 82.6 | 70.6 | 71.2 | 11.1 | 66.0 | 36.3 |
| 1.00mm 時(kN) | 126.9 | 133.6 | 132.8 | 131.1 | 3.7 | 129.4 | 119.4 |
| 2.00mm 時(kN) | 168.5 | 153.9 | 164.8 | 162.4 | 7.6 | 158.8 | 138.4 |
| 5.00mm 時(kN) | 158.9 | 155.8 | 154.4 | 156.4 | 2.3 | 155.3 | 149.0 |
| 2/3Pmax(kN) | 115.5 | 111.8 | 114.1 | 113.8 | 1.9 | 112.9 | 107.9 |
| Pmax(kN) | 173.2 | 167.7 | 171.1 | 170.7 | 2.8 | 169.3 | 161.9 |
| DPmax(mm) | 2.30 | 3.59 | 2.71 | 2.87 | 0.66 | --- | --- |
| Py(kN) | --- | 114.0 | 301.0 | 207.5 | --- | --- | --- |
| Dy(mm) | --- | 0.76 | 0.76 | 0.76 | --- | --- | --- |
| K(kN/cm) | --- | 1497.9 | 3954.4 | 2726.2 | --- | --- | --- |
| Pu(kN) | --- | 163.3 | 140.2 | 151.7 | --- | --- | --- |
| Du(mm) | --- | 3.59 | 2.7 | 3.2 | --- | --- | --- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

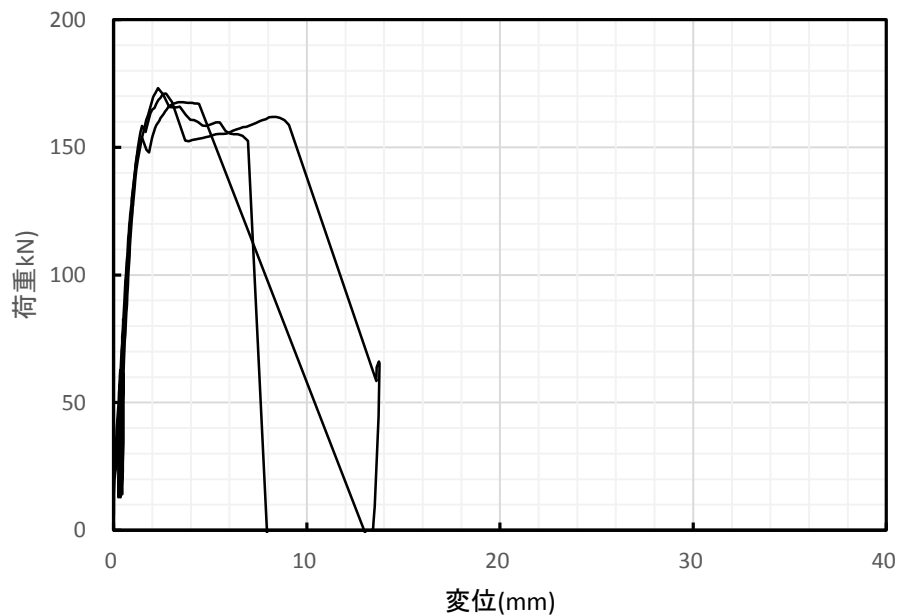


図 3.4.20 条件 21 荷重－変位曲線







| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.20 条件 21 (A種厚さ 80mm-2列2本-7d 3d) 破壊状況

3.4.21 条件 22 (A 種厚さ 80mm-2 列 2 本-7d 5d) 試験結果

試験結果を表 3.4.21 に、荷重－変位曲線を図 3.4.21 に、破壊状況を写真 3.4.21 に示す。

表 3.4.21 条件 22 (A 種厚さ 80mm-2 列 2 本-7d 5d) 試験結果

| | A80-7d5d-2x2-1 | A80-7d5d-2x2-2 | A80-7d5d-2x2-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 92.4 | 37.6 | 51.0 | 60.3 | 28.5 | 46.9 | -29.6 |
| 0.50mm 時(kN) | 109.8 | 47.8 | 80.1 | 79.2 | 31.0 | 64.6 | -18.5 |
| 1.00mm 時(kN) | 146.2 | 102.6 | 130.0 | 126.3 | 22.0 | 115.9 | 56.8 |
| 2.00mm 時(kN) | 165.1 | 157.0 | 167.2 | 163.1 | 5.4 | 160.6 | 146.1 |
| 5.00mm 時(kN) | 171.8 | 160.2 | 164.5 | 165.5 | 5.8 | 162.7 | 147.1 |
| 2/3Pmax(kN) | 116.1 | 112.0 | 120.0 | 116.0 | 4.0 | 114.2 | 103.5 |
| Pmax(kN) | 174.2 | 168.0 | 180.0 | 174.1 | 6.0 | 171.2 | 155.2 |
| DPmax(mm) | 3.97 | 2.80 | 3.10 | 3.29 | 0.61 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 102.9 | 171.3 | 126.9 | 133.7 | 34.7 | ---- | ---- |
| Dy(mm) | 0.45 | 0.45 | 0.96 | 0.62 | 0.29 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 2276.1 | 3790.2 | 1323.9 | 2463.4 | 1243.8 | ---- | ---- |
| Pu(kN) | 161.9 | 149.3 | 167.2 | 159.4 | 9.2 | ---- | ---- |
| Du(mm) | 10.09 | 9.57 | 8.58 | 9.41 | 0.77 | ---- | ---- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

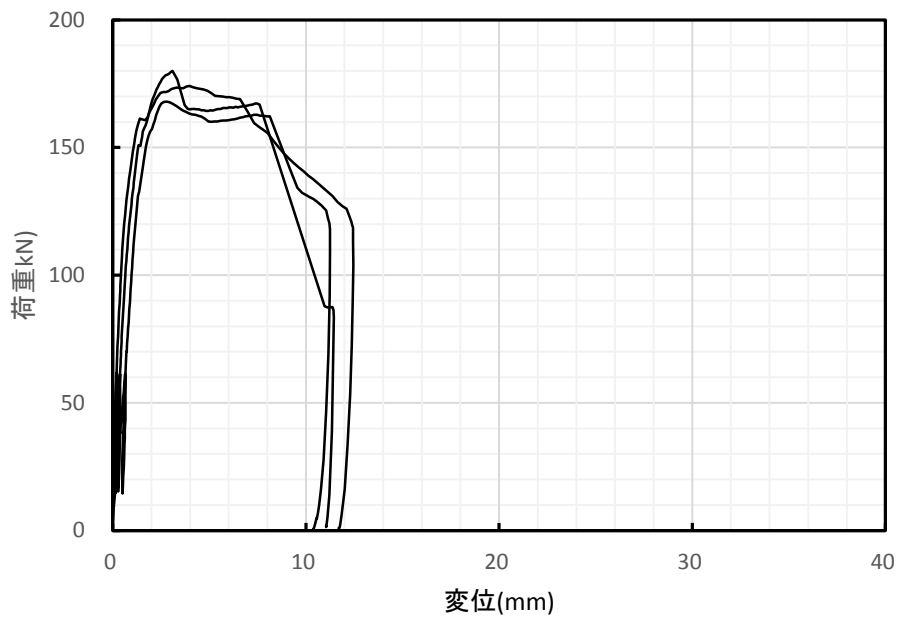


図 3.4.21 条件 22 荷重－変位曲線





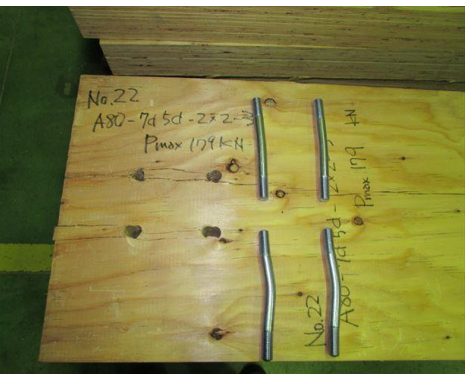
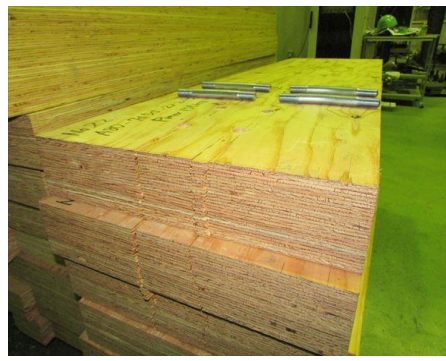
| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.21 条件 22 (A種厚さ 80mm-2列2本-7d 5d) 破壊状況

3.4.22 条件 23 (A 種厚さ 80mm-2 列 4 本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.22 に、荷重－変位曲線を図 3.4.22 に、破壊状況を写真 3.4.22 に示す。

表 3.4.22 条件 23 (A 種厚さ 80mm-2 列 4 本-7d 5d) 試験結果

| | A80-7d3d-2x4-1 | A80-7d3d-2x4-2 | A80-7d3d-2x4-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 41.5 | 56.8 | 81.7 | 60.0 | 20.3 | 50.5 | -3.9 |
| 0.50mm 時(kN) | 53.5 | 72.1 | 89.6 | 71.8 | 18.1 | 63.3 | 14.8 |
| 1.00mm 時(kN) | 108.6 | 117.0 | 159.1 | 128.2 | 27.1 | 115.5 | 42.9 |
| 2.00mm 時(kN) | 188.4 | 190.0 | 225.9 | 201.4 | 21.2 | 191.5 | 134.6 |
| 5.00mm 時(kN) | 176.5 | 214.3 | 190.8 | 193.9 | 19.1 | 184.9 | 133.6 |
| 2/3Pmax(kN) | 157.2 | 161.2 | 161.5 | 160.0 | 2.4 | 158.8 | 152.5 |
| Pmax(kN) | 235.8 | 241.8 | 242.2 | 239.9 | 3.6 | 238.3 | 228.7 |
| DPmax(mm) | 2.89 | 3.43 | 2.78 | 3.03 | 0.35 | --- | --- |
| Py(kN) | 187.5 | --- | --- | 187.5 | --- | --- | --- |
| Dy(mm) | 1.80 | --- | --- | 1.80 | --- | --- | --- |
| K(kN/cm) | 1041.5 | --- | --- | 1041.5 | --- | --- | --- |
| Pu(kN) | 231.1 | --- | --- | 231.1 | --- | --- | --- |
| Du(mm) | 2.89 | --- | --- | 2.89 | --- | --- | --- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

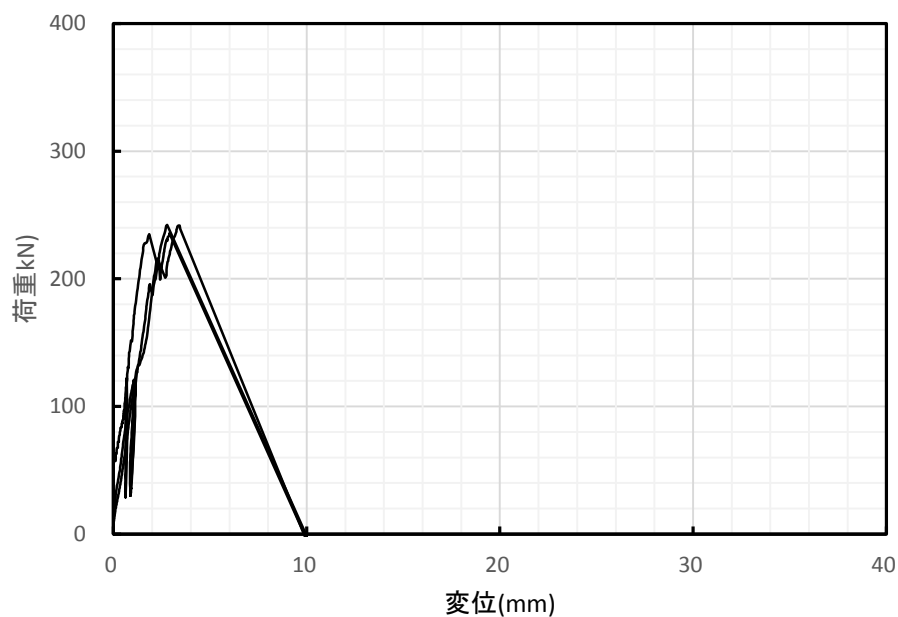


図 3.4.22 条件 23 荷重－変位曲線







| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.22 条件 23 (A種厚さ 80mm-2列4本-7d 3d) 破壊状況

3.4.23 条件 24 (A 種厚さ 80mm-2 列 4 本-7d 5d) 試験結果

試験結果を表 3.4.23 に、荷重－変位曲線を図 3.4.23 に、破壊状況を写真 3.4.23 に示す。

表 3.4.23 条件 24 (A 種厚さ 80mm-2 列 4 本-7d 5d) 試験結果

| | A80-7d5d-2x4-1 | A80-7d5d-2x4-2 | A80-7d5d-2x4-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 97.3 | 71.0 | 48.7 | 72.3 | 24.3 | 60.9 | -4.3 |
| 0.50mm 時(kN) | 113.7 | 87.4 | 62.2 | 87.8 | 25.7 | 75.7 | 6.7 |
| 1.00mm 時(kN) | 171.8 | 135.3 | 109.1 | 138.7 | 31.5 | 123.9 | 39.4 |
| 2.00mm 時(kN) | 259.5 | 230.0 | 189.8 | 226.4 | 35.0 | 210.0 | 116.1 |
| 5.00mm 時(kN) | 305.6 | 287.0 | 285.2 | 292.6 | 11.3 | 287.3 | 257.0 |
| 2/3Pmax(kN) | 204.8 | 195.0 | 203.5 | 201.1 | 5.3 | 198.6 | 184.4 |
| Pmax(kN) | 307.2 | 292.5 | 305.2 | 301.6 | 8.0 | 297.9 | 276.6 |
| DPmax(mm) | 5.67 | 6.04 | 6.82 | 6.18 | 0.59 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 176.3 | ---- | 204.7 | 190.5 | ---- | ---- | ---- |
| Dy(mm) | 1.03 | ---- | 2.13 | 1.58 | ---- | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 1707.6 | ---- | 959.1 | 1333.4 | ---- | ---- | ---- |
| Pu(kN) | 296.1 | ---- | 287.4 | 291.8 | ---- | ---- | ---- |
| Du(mm) | 5.67 | ---- | 6.82 | 6.25 | ---- | ---- | ---- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

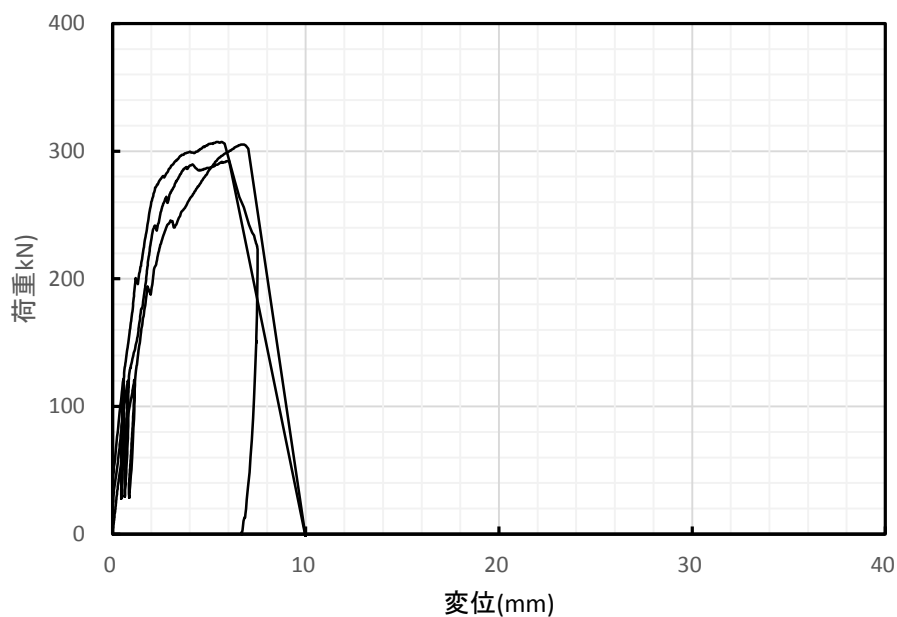


図 3.4.23 条件 24 荷重－変位曲線



| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.23 条件 24 (A種厚さ 80mm-2列4本-7d 5d) 破壊状況

3.4.24 条件 25 (A 種厚さ 80mm-3 列 1 本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.24 に、荷重－変位曲線を図 3.4.24 に、破壊状況を写真 3.4.24 に示す。

表 3.4.24 条件 25 (A 種厚さ 80mm-3 列 1 本-7d 3d) 試験結果

| | A80-7d3d-3x1-1 | A80-7d3d-3x1-2 | A80-7d3d-3x1-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 30.55 | 27.39 | 41.07 | 33.01 | 7.16 | 29.63 | 10.43 |
| 0.50mm 時(kN) | 43.42 | 37.49 | 55.89 | 45.60 | 9.39 | 41.18 | 15.99 |
| 1.00mm 時(kN) | 88.02 | 77.13 | 96.85 | 87.33 | 9.87 | 82.68 | 56.21 |
| 2.00mm 時(kN) | 129.47 | 112.31 | 136.51 | 126.10 | 12.45 | 120.23 | 86.87 |
| 5.00mm 時(kN) | 165.84 | 160.55 | 164.04 | 163.48 | 2.69 | 162.21 | 154.99 |
| 2/3Pmax(kN) | 121.52 | 116.24 | 113.24 | 117.00 | 4.19 | 115.03 | 103.80 |
| Pmax(kN) | 182.28 | 174.37 | 169.86 | 175.50 | 6.28 | 172.54 | 155.69 |
| DPmax(mm) | 10.35 | 9.80 | 6.40 | 8.85 | 2.14 | 7.84 | 2.11 |
| Py(kN) | 110.97 | 99.51 | 99.66 | 103.38 | 6.57 | 100.28 | 82.66 |
| Dy(mm) | 1.47 | 1.62 | 1.04 | 1.38 | 0.30 | 1.24 | 0.43 |
| K(kN/cm) | 755.49 | 612.63 | 954.98 | 774.36 | 171.95 | 693.37 | 232.37 |
| Pu(kN) | 169.77 | 157.91 | 157.96 | 161.88 | 6.83 | 158.66 | 140.34 |
| Du(mm) | 28.25 | 21.10 | 23.55 | 24.30 | 3.63 | 22.59 | 12.85 |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

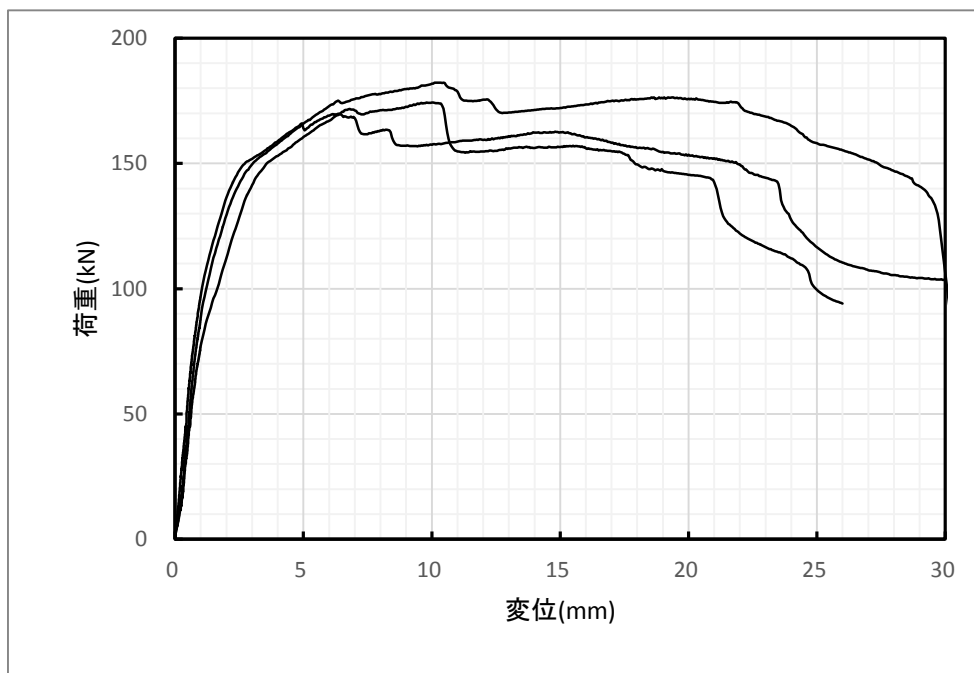


図 3.4.24 条件 25 荷重－変位曲線

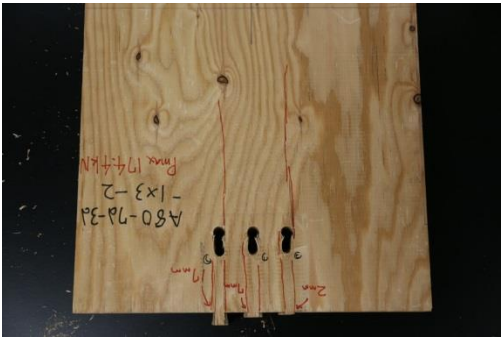
| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.24 条件 25 (A種厚さ 80mm-3列 1本-7d 3d) 破壊状況

3.4.25 条件26 (B種厚さ80mm-3列1本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.25 に、荷重-変位曲線を図 3.4.25 に、破壊状況を写真 3.4.25 に示す。

表 3.4.25 条件26 (B種厚さ80mm-3列1本-7d 3d) 試験結果

| | B80-7d3d-3x1-1 | B80-7d3d-3x1-2 | B80-7d3d-3x1-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 28.75 | 18.44 | 32.91 | 26.70 | 7.45 | 23.19 | 3.22 |
| 0.50mm 時(kN) | 41.54 | 27.11 | 44.36 | 37.67 | 9.25 | 33.31 | 8.51 |
| 1.00mm 時(kN) | 83.19 | 70.21 | 84.95 | 79.45 | 8.05 | 75.66 | 54.07 |
| 2.00mm 時(kN) | 118.69 | 110.11 | 124.07 | 117.62 | 7.04 | 114.31 | 95.43 |
| 5.00mm 時(kN) | 161.92 | 153.74 | 157.40 | 157.69 | 4.10 | 155.76 | 144.78 |
| 2/3Pmax(kN) | 163.20 | 151.61 | 144.38 | 153.06 | 9.50 | 148.59 | 123.13 |
| Pmax(kN) | 244.81 | 227.42 | 216.56 | 229.60 | 14.25 | 222.89 | 184.69 |
| DPmax(mm) | 22.13 | 22.36 | 19.86 | 21.45 | 1.38 | 20.80 | 17.09 |
| Py(kN) | 133.52 | 127.56 | 129.69 | 130.26 | 3.02 | 128.83 | 120.73 |
| Dy(mm) | 2.51 | 2.58 | 2.22 | 2.44 | 0.19 | 2.35 | 1.84 |
| K(kN/cm) | 531.43 | 493.63 | 583.64 | 536.23 | 45.19 | 514.95 | 393.78 |
| Pu(kN) | 210.42 | 196.29 | 190.61 | 199.11 | 10.20 | 194.30 | 166.95 |
| Du(mm) | 22.31 | 22.42 | 24.14 | 22.96 | 1.03 | 22.48 | 19.73 |

備考：試験体数3の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

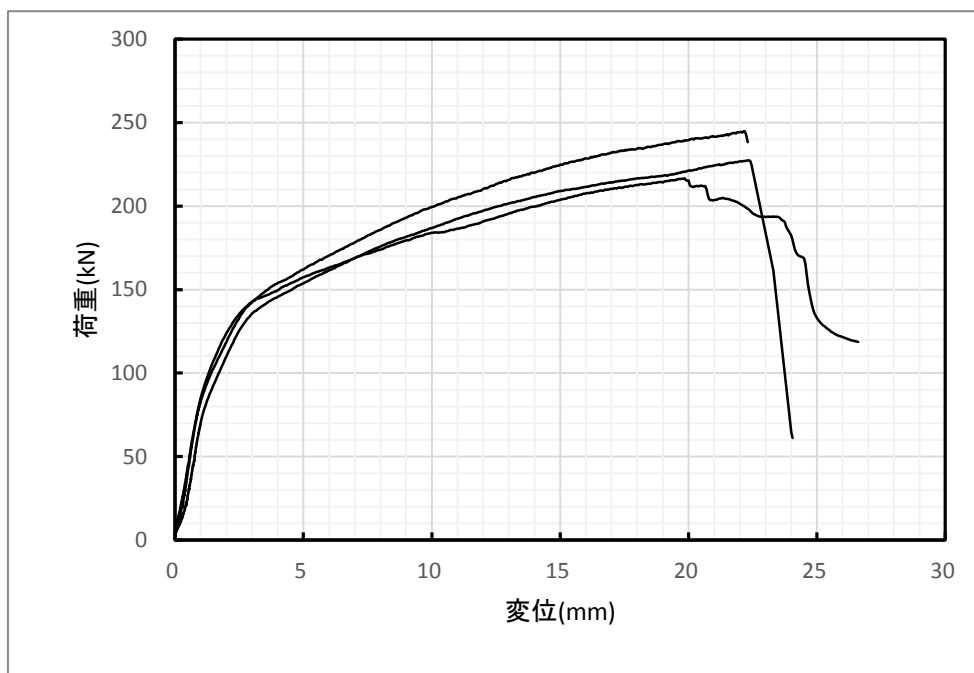


図 3.4.25 条件26 荷重-変位曲線



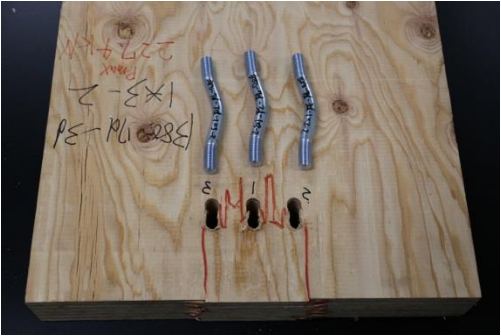
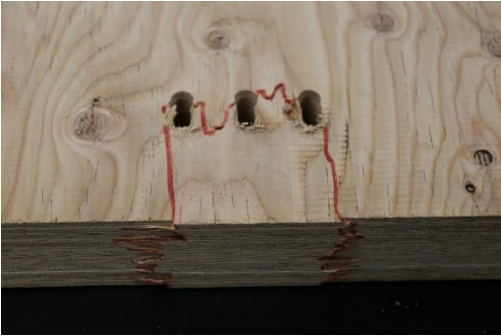
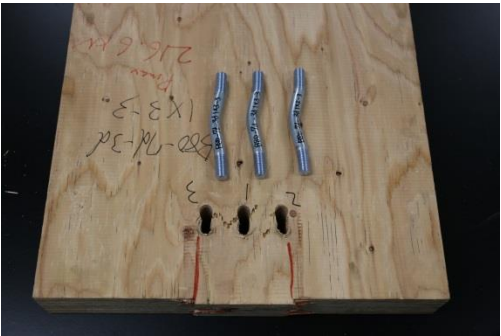
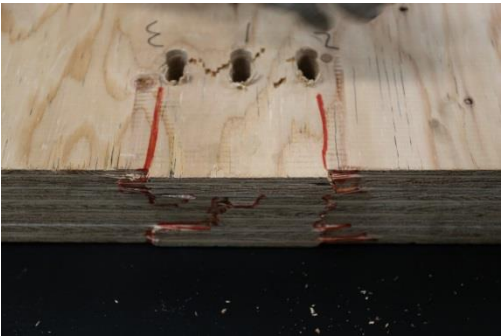
| | | |
|----------------------|---|--|
| <p>1 体 目</p> |  |  |
| <p>2 体 目</p> |  |  |
| <p>3 体 目</p> |  |  |

写真 3.4.25 条件 26 (B種厚さ 80mm-3列 1本-7d 3d) 破壊状況

3.4.26 条件 27 (A 種厚さ 80mm-3 列 1 本-7d 5d) 試験結果

試験結果を表 3.4.26 に、荷重－変位曲線を図 3.4.26 に、破壊状況を写真 3.4.26 に示す。

表 3.4.26 条件 27 (A 種厚さ 80mm-3 列 1 本-7d 5d) 試験結果

| | A80-7d5d-3x1-1 | A80-7d5d-3x1-2 | A80-7d5d-3x1-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 33.54 | 30.75 | 36.84 | 33.71 | 3.05 | 32.27 | 24.09 |
| 0.50mm 時(kN) | 44.86 | 44.08 | 45.82 | 44.92 | 0.87 | 44.51 | 42.17 |
| 1.00mm 時(kN) | 87.88 | 89.09 | 90.60 | 89.19 | 1.36 | 88.55 | 84.89 |
| 2.00mm 時(kN) | 124.27 | 133.68 | 135.41 | 131.12 | 5.99 | 128.30 | 112.23 |
| 5.00mm 時(kN) | 158.37 | 168.67 | 171.57 | 166.20 | 6.94 | 162.93 | 144.33 |
| 2/3Pmax(kN) | 119.26 | 126.72 | 129.67 | 125.22 | 5.37 | 122.69 | 108.30 |
| Pmax(kN) | 178.89 | 190.08 | 194.51 | 187.82 | 8.05 | 184.03 | 162.45 |
| DPmax(mm) | 13.75 | 11.55 | 8.80 | 11.37 | 2.48 | 10.20 | 3.55 |
| Py(kN) | 110.71 | 120.76 | 124.75 | 118.74 | 7.24 | 115.33 | 95.94 |
| Dy(mm) | 1.58 | 1.66 | 1.71 | 1.65 | 0.06 | 1.62 | 1.45 |
| K(kN/cm) | 700.50 | 727.94 | 731.54 | 719.99 | 16.98 | 712.00 | 666.47 |
| Pu(kN) | 167.70 | 174.27 | 176.43 | 172.80 | 4.54 | 170.66 | 158.48 |
| Du(mm) | 24.65 | 19.95 | 20.80 | 21.80 | 2.50 | 20.62 | 13.91 |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

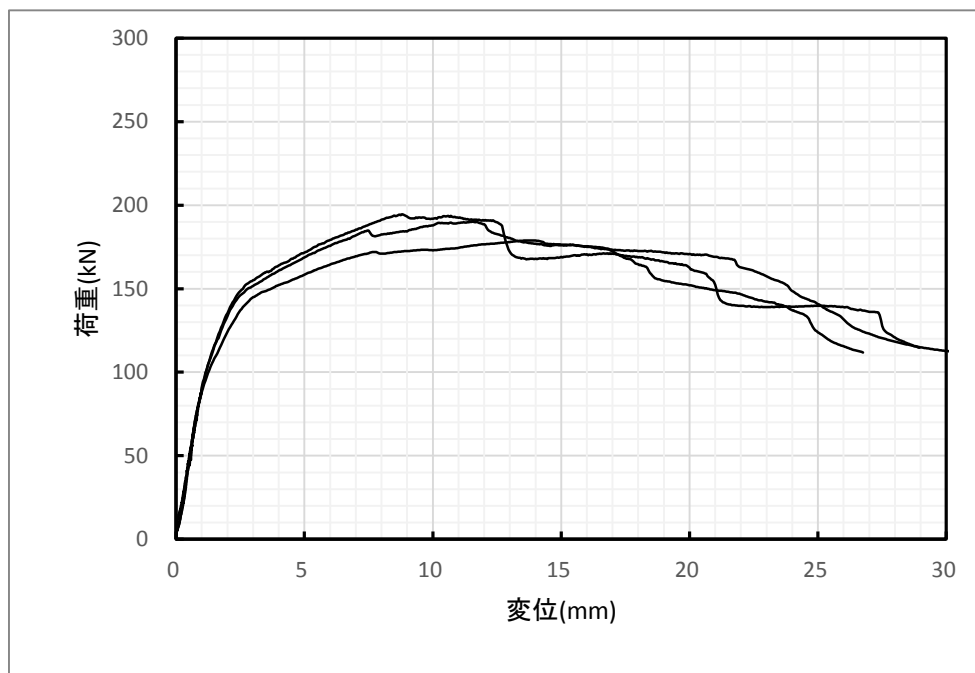


図 3.4.26 条件 27 荷重－変位曲線

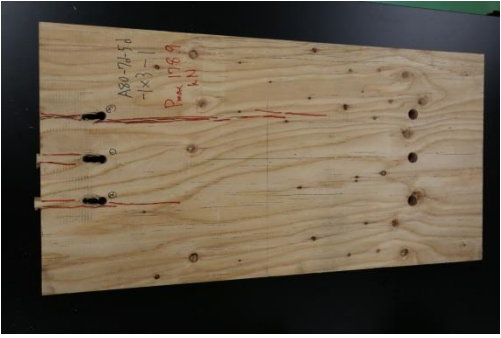
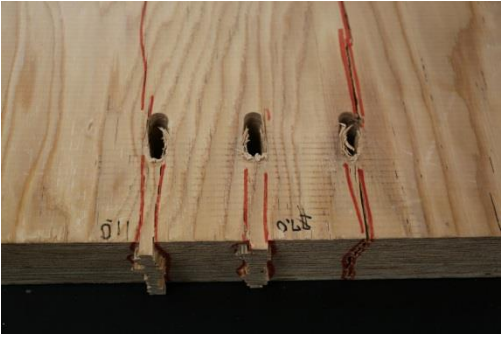
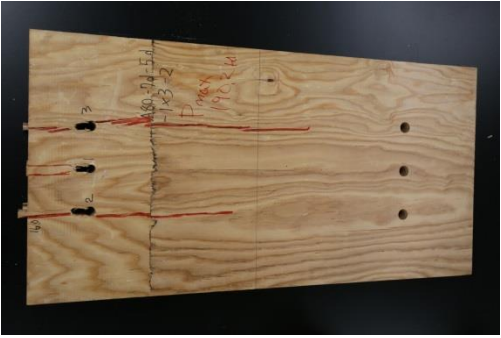
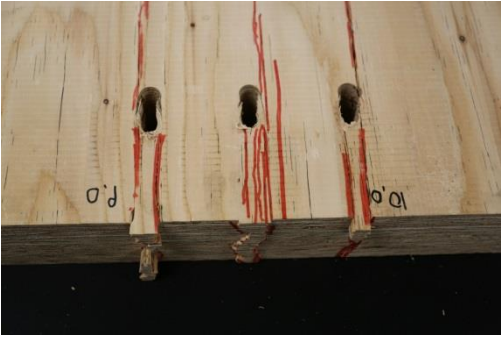
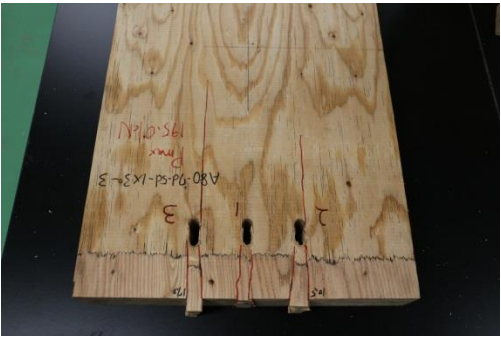
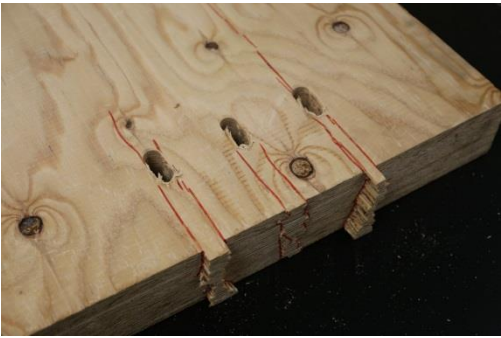
| | | |
|----------------------|---|--|
| <p>1 体 目</p> |  |  |
| <p>2 体 目</p> |  |  |
| <p>3 体 目</p> |  |  |

写真 3.4.26 条件 27 (A種厚さ 80mm-3列 1本-7d 5d) 破壊状況

3.4.27 条件 29 (A 種厚さ 80mm-3 列 1 本-7d 7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.27 に、荷重－変位曲線を図 3.4.27 に、破壊状況を写真 3.4.27 に示す。

表 3.4.27 条件 29 (A 種厚さ 80mm-3 列 1 本-7d 7d) 試験結果

| | A80-7d7d-3x1-1 | A80-7d7d-3x1-2 | A80-7d7d-3x1-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 41.45 | 32.81 | 37.01 | 37.09 | 4.32 | 35.06 | 23.47 |
| 0.50mm 時(kN) | 50.35 | 44.95 | 47.60 | 47.63 | 2.70 | 46.36 | 39.13 |
| 1.00mm 時(kN) | 98.26 | 95.95 | 90.06 | 94.76 | 4.23 | 92.77 | 81.43 |
| 2.00mm 時(kN) | 141.64 | 138.73 | 132.51 | 137.63 | 4.67 | 135.43 | 122.92 |
| 5.00mm 時(kN) | 169.60 | 169.62 | 163.40 | 167.54 | 3.59 | 165.85 | 156.23 |
| 2/3Pmax(kN) | 114.89 | 114.05 | 113.53 | 114.16 | 0.69 | 113.83 | 111.99 |
| Pmax(kN) | 172.33 | 171.08 | 170.29 | 171.23 | 1.03 | 170.75 | 167.98 |
| DPmax(mm) | 9.60 | 5.25 | 7.65 | 7.50 | 2.18 | 6.47 | 0.63 |
| Py(kN) | 111.33 | 101.63 | 106.07 | 106.34 | 4.85 | 104.06 | 91.05 |
| Dy(mm) | 1.21 | 1.09 | 1.34 | 1.21 | 0.12 | 1.15 | 0.82 |
| K(kN/cm) | 918.00 | 933.43 | 792.85 | 881.43 | 77.10 | 845.11 | 638.41 |
| Pu(kN) | 162.39 | 157.75 | 155.23 | 158.46 | 3.63 | 156.75 | 147.00 |
| Du(mm) | 18.50 | 20.65 | 19.30 | 19.48 | 1.09 | 18.97 | 16.06 |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

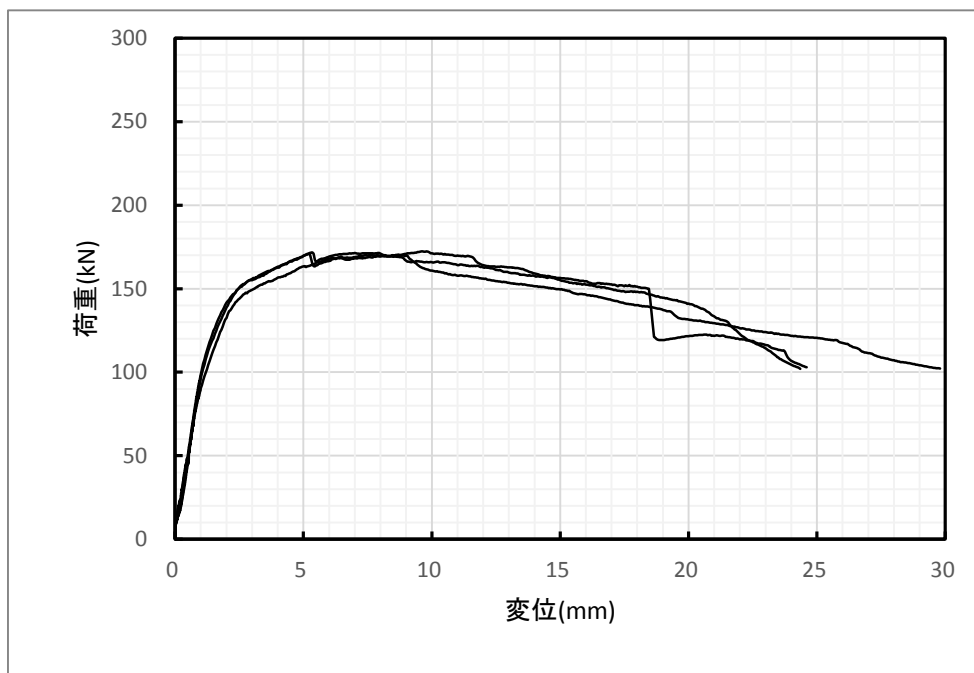


図 3.4.27 条件 29 荷重－変位曲線

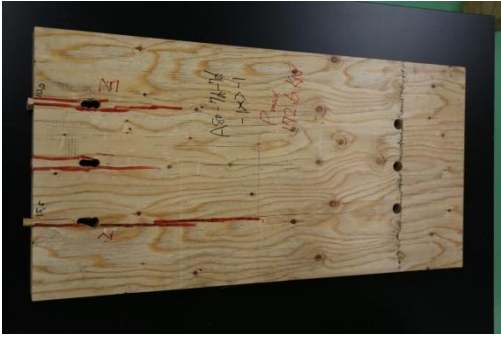

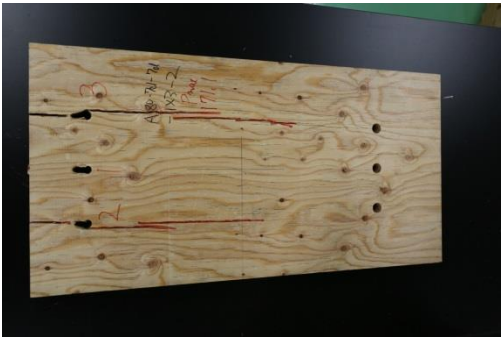
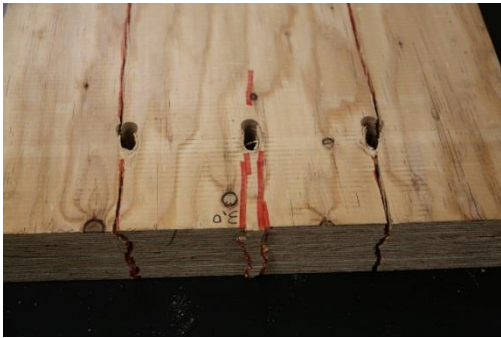


| | | |
|----------------------|---|--|
| <p>1 体 目</p> |  |  |
| <p>2 体 目</p> |  |  |
| <p>3 体 目</p> |  |  |

写真 3.4.27 条件 29 (A種厚さ 80mm-3列1本-7d 7d) 破壊状況

3.4.28 条件 31 (A 種厚さ 80mm-3 列 2 本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.28 に、荷重－変位曲線を図 3.4.28 に、破壊状況を写真 3.4.28 に示す。

表 3.4.28 条件 31 (A 種厚さ 80mm-3 列 2 本-7d 3d) 試験結果

| | A80-7d3d-3x2-1 | A80-7d3d-3x2-2 | A80-7d3d-3x2-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 31.0 | 72.0 | 26.4 | 43.1 | 25.1 | 31.3 | -36.0 |
| 0.50mm 時(kN) | 38.3 | 96.5 | 33.0 | 55.9 | 35.2 | 39.3 | -55.1 |
| 1.00mm 時(kN) | 108.8 | 168.7 | 101.7 | 126.4 | 36.8 | 109.1 | 10.4 |
| 2.00mm 時(kN) | 227.1 | 226.3 | 201.5 | 218.3 | 14.6 | 211.4 | 172.4 |
| 5.00mm 時(kN) | 307.9 | 266.8 | 298.8 | 291.2 | 21.6 | 281.0 | 223.2 |
| 2/3Pmax(kN) | 205.6 | 186.4 | 199.2 | 197.1 | 9.8 | 192.5 | 166.3 |
| Pmax(kN) | 308.4 | 279.6 | 298.8 | 295.6 | 14.7 | 288.7 | 249.4 |
| DPmax(mm) | 5.21 | 3.56 | 4.97 | 4.58 | 0.89 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 210.2 | 155.7 | 165.5 | 177.1 | 29.1 | 163.4 | 85.5 |
| Dy(mm) | 1.73 | 0.88 | 1.48 | 1.36 | 0.44 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 1213.1 | 1766.3 | 1117.5 | 1365.6 | 350.3 | 1200.7 | 261.6 |
| Pu(kN) | 287.1 | 252.9 | 269.9 | 270.0 | 17.1 | 261.9 | 216.0 |
| Du(mm) | 5.21 | 3.56 | 4.97 | 4.58 | 0.89 | ---- | ---- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

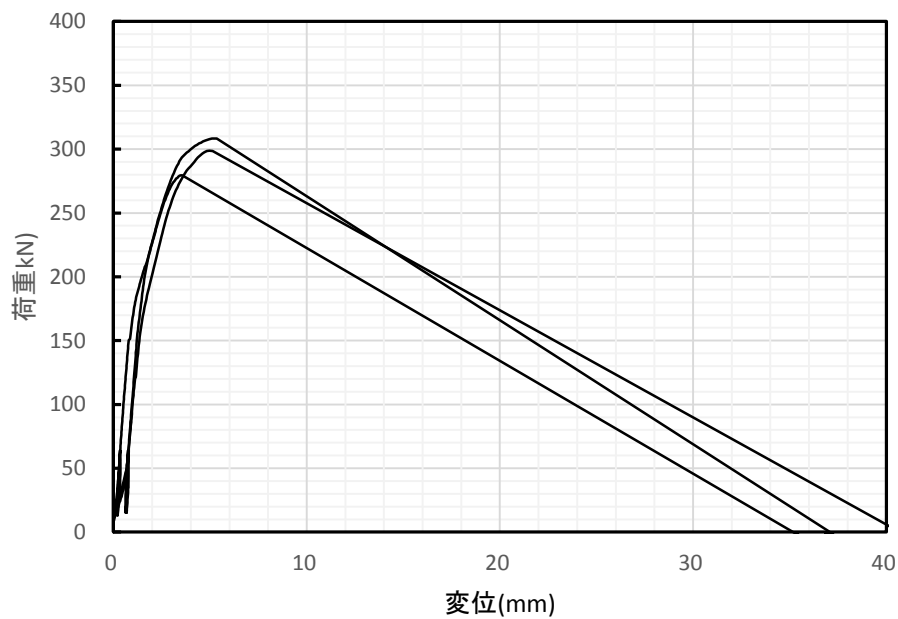


図 3.4.28 条件 31 荷重－変位曲線


| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.28 条件 31 (A種厚さ 80mm-3列 2本-7d 3d) 破壊状況

3.4.29 条件 32 (A 種厚さ 80mm-3 列 2 本-7d 5d) 試験結果

試験結果を表 3.4.29 に、荷重－変位曲線を図 3.4.29 に、破壊状況を写真 3.4.29 に示す。

表 3.4.29 条件 32 (A 種厚さ 80mm-3 列 2 本-7d 5d) 試験結果

| | A80-7d5d-3x2-1 | A80-7d5d-3x2-2 | A80-7d5d-3x2-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 92.7 | 75.2 | 52.2 | 73.4 | 20.3 | 63.8 | 9.3 |
| 0.50mm 時(kN) | 114.2 | 96.4 | 73.9 | 94.8 | 20.2 | 85.3 | 31.2 |
| 1.00mm 時(kN) | 200.2 | 171.1 | 148.7 | 173.3 | 25.8 | 161.2 | 91.9 |
| 2.00mm 時(kN) | 263.7 | 245.5 | 243.9 | 251.0 | 11.0 | 245.8 | 216.3 |
| 5.00mm 時(kN) | 284.8 | 271.2 | 289.6 | 281.9 | 9.6 | 277.4 | 251.8 |
| 2/3Pmax(kN) | 199.4 | 185.6 | 202.2 | 195.8 | 8.9 | 191.6 | 167.8 |
| Pmax(kN) | 299.2 | 278.5 | 303.4 | 293.7 | 13.3 | 287.4 | 251.6 |
| DPmax(mm) | 7.50 | 6.61 | 7.99 | 7.37 | 0.70 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 211.0 | 187.8 | 191.2 | 196.7 | 12.5 | 190.8 | 157.1 |
| Dy(mm) | 1.09 | 1.15 | 1.36 | 1.20 | 0.14 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 1929.9 | 1626.6 | 1404.9 | 1653.8 | 263.6 | 1529.6 | 823.0 |
| Pu(kN) | 273.5 | 266.0 | 281.7 | 273.7 | 7.9 | 270.0 | 248.9 |
| Du(mm) | 18.34 | 13.62 | 22.46 | 18.14 | 4.42 | ---- | ---- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

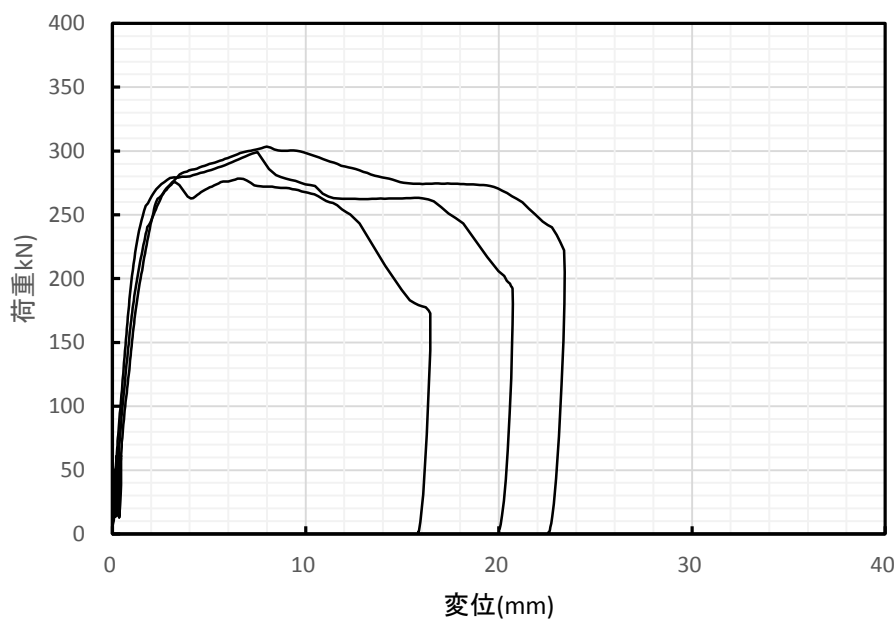


図 3.4.29 条件 32 荷重－変位曲線





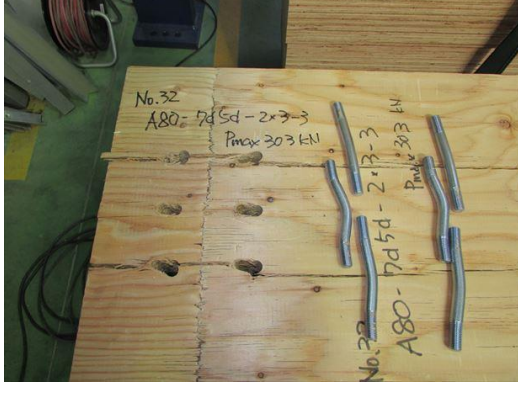

| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.29 条件 32 (A種厚さ 80mm-3列 2本-7d 5d) 破壊状況

3.4.30 条件 33 (A 種厚さ 80mm-3 列 2 本-7d 7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.30 に、荷重－変位曲線を図 3.4.30 に、破壊状況を写真 3.4.30 に示す。

表 3.4.30 条件 33 (A 種厚さ 80mm-3 列 2 本-7d 7d) 試験結果

| | A80-7d7d-3x2-1 | A80-7d7d-3x2-2 | A80-7d7d-3x2-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 35.0 | 52.8 | 100.2 | 62.7 | 33.7 | 46.8 | -43.5 |
| 0.50mm 時(kN) | 54.6 | 41.0 | 121.6 | 72.4 | 43.1 | 52.1 | -63.6 |
| 1.00mm 時(kN) | 148.3 | 152.2 | 194.7 | 165.0 | 25.7 | 152.9 | 84.0 |
| 2.00mm 時(kN) | 255.3 | 254.2 | 258.0 | 255.8 | 2.0 | 254.9 | 249.6 |
| 5.00mm 時(kN) | 283.5 | 271.5 | 290.2 | 281.7 | 9.5 | 277.3 | 251.9 |
| 2/3Pmax(kN) | 194.1 | 183.8 | 193.5 | 190.5 | 5.8 | 187.7 | 172.3 |
| Pmax(kN) | 291.1 | 275.7 | 290.3 | 285.7 | 8.6 | 281.6 | 258.4 |
| DPmax(mm) | 6.71 | 3.73 | 5.93 | 5.46 | 1.55 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 186.1 | 161.1 | 179.9 | 175.7 | 13.0 | 169.5 | 134.7 |
| Dy(mm) | 1.24 | 1.05 | 0.88 | 1.06 | 0.18 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 1495.7 | 1530.9 | 2052.7 | 1693.1 | 311.9 | 1546.2 | 709.9 |
| Pu(kN) | 268.0 | 258.8 | 268.2 | 265.0 | 5.4 | 262.5 | 248.0 |
| Du(mm) | 19.89 | 14.12 | 16.54 | 16.85 | 2.90 | ---- | ---- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

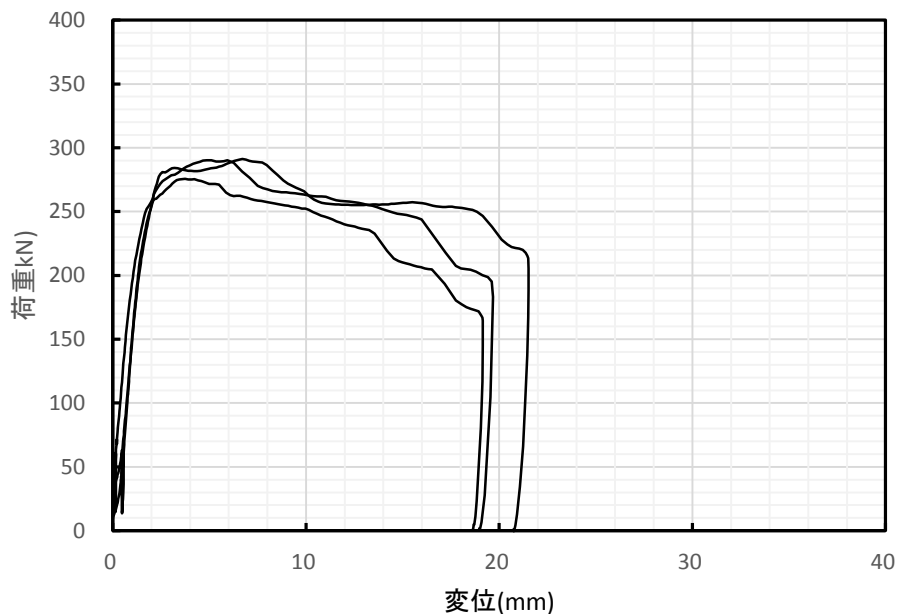


図 3.4.30 条件 33 荷重－変位曲線

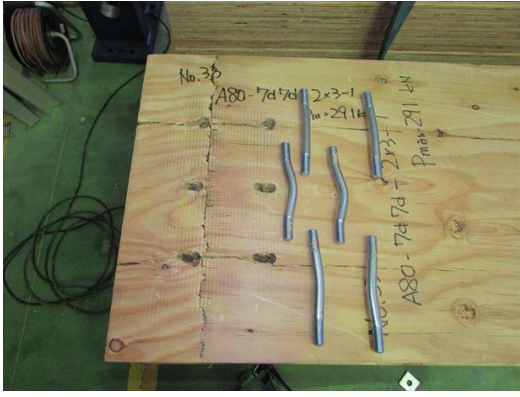

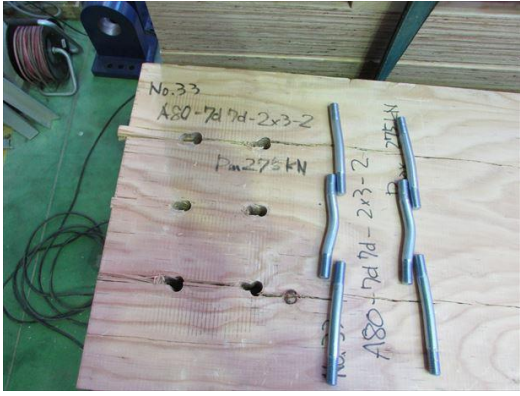



| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3. 4. 30 条件 33 (A種厚さ 80mm-3列 2本-7d 7d) 破壊状況

3.4.31 条件 34 (A 種厚さ 80mm-3 列 4 本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.31 に、荷重－変位曲線を図 3.4.31 に、破壊状況を写真 3.4.31 に示す。

表 3.4.31 条件 34 (A 種厚さ 80mm-3 列 4 本-7d 3d) 試験結果

| | A80-7d3d-3x4-1 | A80-7d3d-3x4-2 | A80-7d3d-3x4-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 107.9 | 98.6 | 110.6 | 105.7 | 6.3 | 102.7 | 85.9 |
| 0.50mm 時(kN) | 133.4 | 119.0 | 131.2 | 127.9 | 7.7 | 124.2 | 103.5 |
| 1.00mm 時(kN) | 234.7 | 199.5 | 224.3 | 219.5 | 18.1 | 211.0 | 162.4 |
| 2.00mm 時(kN) | 339.9 | 347.1 | 365.5 | 350.8 | 13.2 | 344.6 | 309.1 |
| 5.00mm 時(kN) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 2/3Pmax(kN) | 248.9 | 242.0 | 244.7 | 245.2 | 3.5 | 243.6 | 234.3 |
| Pmax(kN) | 373.4 | 363.1 | 367.0 | 367.8 | 5.2 | 365.4 | 351.4 |
| DPmax(mm) | 1.62 | 2.10 | 1.73 | 1.82 | 0.25 | ---- | ---- |
| Py(kN) | ---- | 182.1 | ---- | 182.1 | ---- | ---- | ---- |
| Dy(mm) | ---- | 0.88 | ---- | 0.88 | ---- | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | ---- | 2077.5 | ---- | 2077.5 | ---- | ---- | ---- |
| Pu(kN) | ---- | 347.1 | ---- | 347.1 | ---- | ---- | ---- |
| Du(mm) | ---- | 2.10 | ---- | 2.10 | ---- | ---- | ---- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

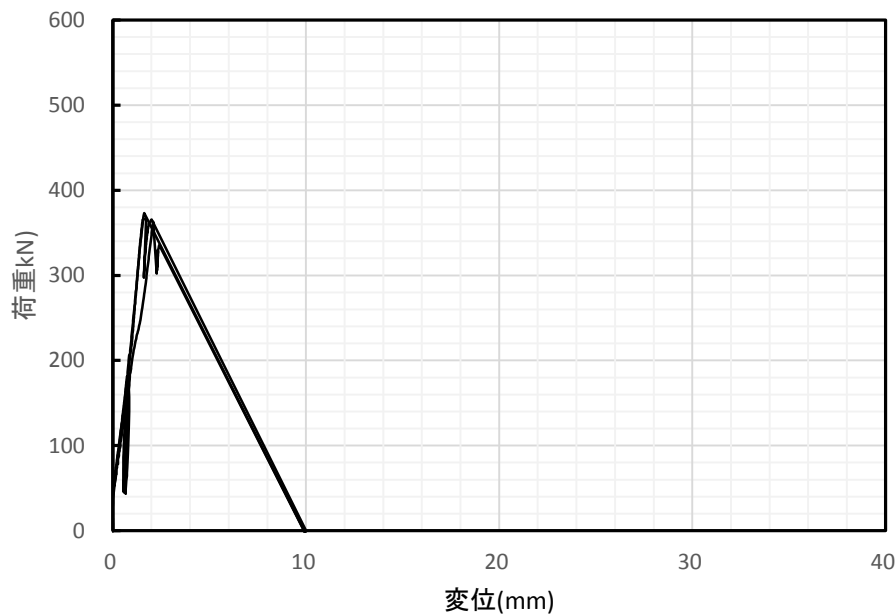


図 3.4.31 条件 34 荷重－変位曲線

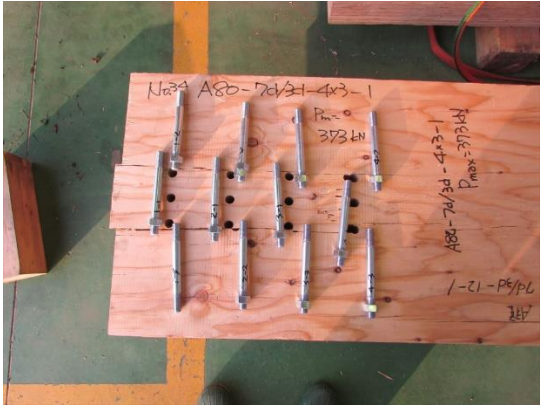

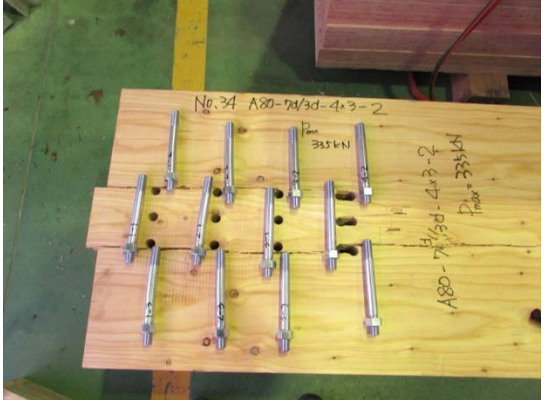



| | | |
|----------------------|---|--|
| <p>1 体 目</p> |  |  |
| <p>2 体 目</p> |  |  |
| <p>3 体 目</p> |  |  |

写真 3.4.31 条件 34 (A種厚さ 80mm-3列 4本-7d 3d) 破壊状況

3.4.32 条件 35 (A 種厚さ 80mm-3 列 4 本-7d 5d) 試験結果

試験結果を表 3.4.32 に、荷重－変位曲線を図 3.4.32 に、破壊状況を写真 3.4.32 に示す。

表 3.4.32 条件 35 (A 種厚さ 80mm-3 列 4 本-7d 5d) 試験結果

| | A80-7d5d-3x4-1 | A80-7d5d-3x4-2 | A80-7d5d-3x4-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-------|------|--------|-------|
| 0.38mm 時(kN) | 83.5 | 81.3 | 75.4 | 80.0 | 4.2 | 78.0 | 66.8 |
| 0.50mm 時(kN) | 107.9 | 107.4 | 101.1 | 105.5 | 3.8 | 103.7 | 93.4 |
| 1.00mm 時(kN) | 197.0 | 247.7 | 191.8 | 212.2 | 30.9 | 197.6 | 114.8 |
| 2.00mm 時(kN) | 408.6 | 469.2 | 368.2 | 415.3 | 50.8 | 391.4 | 255.1 |
| 5.00mm 時(kN) | 490.8 | 444.6 | 508.4 | --- | --- | --- | --- |
| 2/3Pmax(kN) | 372.3 | 359.9 | 361.5 | 364.6 | 6.8 | 361.4 | 343.2 |
| Pmax(kN) | 558.5 | 539.8 | 542.2 | 546.8 | 10.1 | 542.1 | 514.9 |
| DPmax(mm) | 3.84 | 2.68 | 3.44 | 3.32 | 0.59 | --- | --- |
| Py(kN) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Dy(mm) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| K(kN/cm) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pu(kN) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Du(mm) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

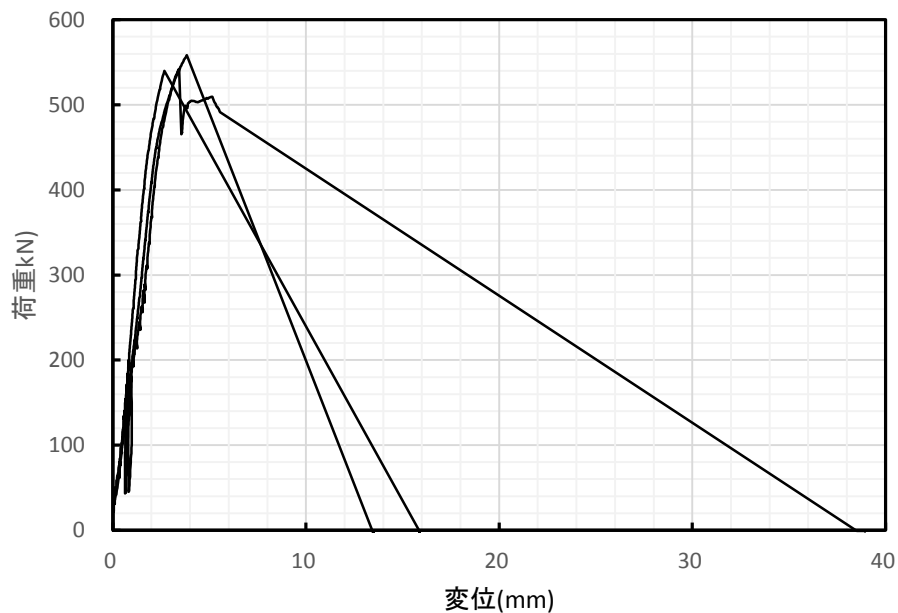


図 3.4.32 条件 35 荷重－変位曲線



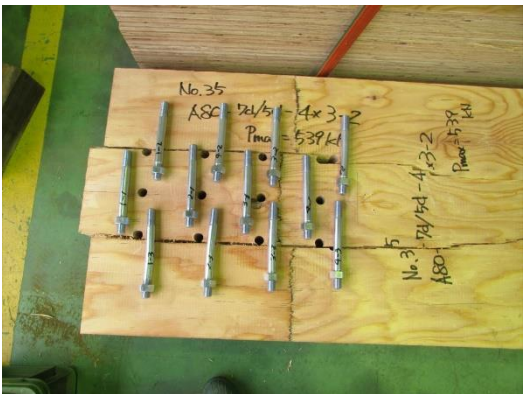



| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.32 条件 35 (A種厚さ 80mm-3列4本-7d 5d) 破壊状況

3.4.33 条件 36 (A 種厚さ 80mm-3 列 4 本-7d 7d) 試験結果

試験結果を表 3.4.33 に、荷重－変位曲線を図 3.4.33 に、破壊状況を写真 3.4.33 に示す。

表 3.4.33 条件 36 (A 種厚さ 80mm-3 列 4 本-7d 7d) 試験結果

| | A80-7d7d-3x4-1 | A80-7d7d-3x4-2 | A80-7d7d-3x4-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 178.7 | 156.2 | 93.1 | 142.7 | 44.4 | 121.8 | 2.9 |
| 0.50mm 時(kN) | 210.9 | 180.3 | 119.8 | 170.3 | 46.4 | 148.5 | 24.2 |
| 1.00mm 時(kN) | 381.7 | 347.4 | 252.1 | 327.1 | 67.2 | 295.4 | 115.4 |
| 2.00mm 時(kN) | 539.5 | 543.5 | 485.1 | 522.7 | 32.6 | 507.3 | 419.8 |
| 5.00mm 時(kN) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| 2/3Pmax(kN) | 412.7 | 404.8 | 389.2 | 402.3 | 12.0 | 396.6 | 364.5 |
| Pmax(kN) | 619.1 | 607.2 | 583.8 | 603.4 | 17.9 | 594.9 | 546.8 |
| DPmax(mm) | 3.64 | 3.00 | 3.34 | 3.33 | 0.32 | ---- | ---- |
| Py(kN) | 376.8 | 389.0 | 418.2 | 394.7 | 21.3 | 384.6 | 327.6 |
| Dy(mm) | 0.99 | 1.12 | 1.58 | 1.23 | 0.31 | ---- | ---- |
| K(kN/cm) | 3822.0 | 3464.1 | 2652.1 | 3312.7 | 599.5 | 3030.4 | 1423.3 |
| Pu(kN) | 588.0 | 589.8 | 546.3 | 574.7 | 24.6 | 563.1 | 497.0 |
| Du(mm) | 3.64 | 3.00 | 3.34 | 3.33 | 0.32 | ---- | ---- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

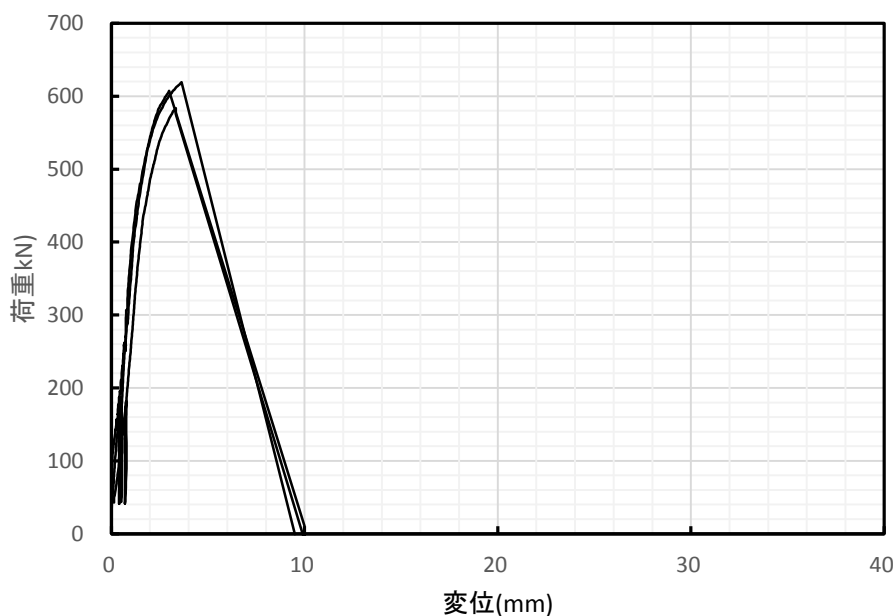


図 3.4.33 条件 36 荷重－変位曲線







| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.33 条件 36 (A種厚さ 80mm-3列4本-7d 7d) 破壊状況

3.4.34 条件 37 (B 種厚さ 80mm-3 列 4 本-7d 3d) 試験結果

試験結果を表 3.4.34 に、荷重－変位曲線を図 3.4.34 に、破壊状況を写真 3.4.34 に示す。

表 3.4.34 条件 37 (B 種厚さ 80mm-3 列 4 本-7d 3d) 試験結果

| | B80-7d3d-3x4-1 | B80-7d3d-3x4-2 | B80-7d3d-3x4-3 | 平均 | 標準偏差 | 50%下限値 | 5%下限値 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 0.38mm 時(kN) | 86.5 | 82.6 | 109.7 | 92.9 | 14.6 | 86.0 | 46.8 |
| 0.50mm 時(kN) | 107.0 | 108.6 | 130.4 | 115.3 | 13.1 | 109.2 | 74.2 |
| 1.00mm 時(kN) | 196.3 | 248.1 | 204.1 | 216.2 | 28.0 | 203.0 | 128.1 |
| 2.00mm 時(kN) | 411.1 | 472.9 | 399.7 | 427.9 | 39.4 | 409.3 | 303.8 |
| 5.00mm 時(kN) | 519.5 | 565.4 | 605.7 | --- | --- | --- | --- |
| 2/3Pmax(kN) | 393.7 | 413.3 | 420.9 | 409.3 | 14.0 | 402.7 | 365.1 |
| Pmax(kN) | 590.6 | 619.9 | 631.4 | 614.0 | 21.0 | 604.0 | 547.6 |
| DPmax(mm) | 3.36 | 3.55 | 4.08 | 3.66 | 0.37 | --- | --- |
| Py(kN) | --- | 405.1 | 110.6 | 257.9 | 208.2 | 159.8 | -398.4 |
| Dy(mm) | --- | 1.61 | 0.39 | 1.00 | 0.86 | --- | --- |
| K(kN/cm) | --- | 2521.7 | 2867.8 | 2694.7 | 244.7 | 2579.4 | 1923.3 |
| Pu(kN) | --- | 579.9 | 489.5 | 534.7 | 63.9 | 504.6 | 333.3 |
| Du(mm) | --- | 3.55 | 4.08 | 3.82 | 0.37 | --- | --- |

備考：試験体数 3 の場合、50%下限値=(平均値)-0.471×(標準偏差)、5%下限値=(平均値)-3.152×(標準偏差)で算出した。

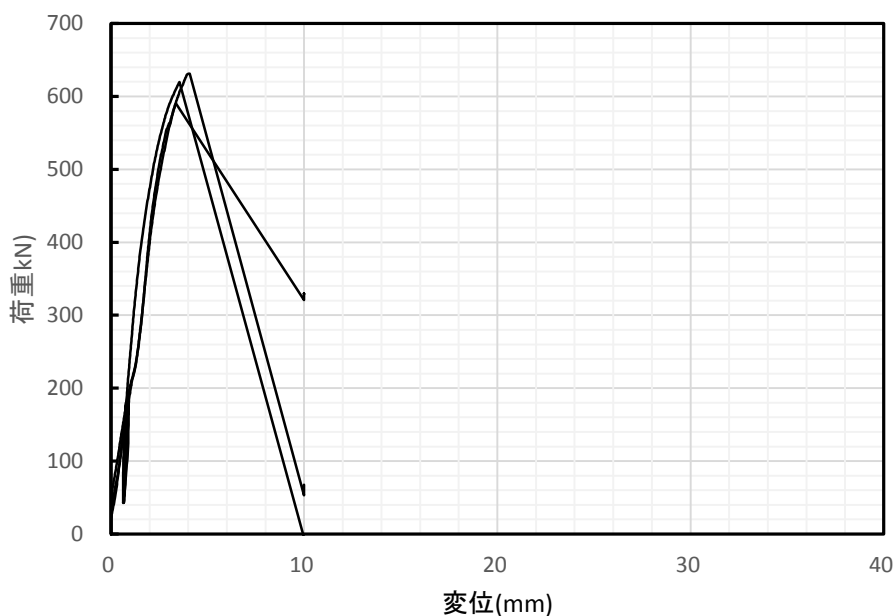


図 3.4.34 条件 37 荷重－変位曲線

| | | |
|-------------|---|--|
| 1 体 目 |  |  |
| 2 体 目 |  |  |
| 3 体 目 |  |  |

写真 3.4.34 条件 37 (B種厚さ 80mm-3列4本-7d 3d) 破壊状況

3.5 まとめ

試験結果のまとめを、表 3.5.1 に示す。

表 3.5.1 試験結果まとめ

| 条件 | 列数 | 1列当り ボルト 本数 | ボルト 総本数 | 列間隔 | LVL 厚さ(mm) | 接合具 間隔 | LVL 種類 | 試験体数 | Pmax(kN) | | | | δ Pmax(mm) | |
|----|----|-------------------|------------|-----|---------------|-----------|--------|------|----------|----------|------------|-------|------------|----------|
| | | | | | | | | | 平均値 | 標準偏 差 | 50%下 限值 | 5%下限値 | 平均値 | 標準偏 差 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | - | 40 | 7d | A種 | 6 | 23.7 | 1.9 | 23.1 | 19.3 | 6.33 | 0.88 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | - | 40 | 7d | B種 | 6 | 44.6 | 1.4 | 44.2 | 41.3 | 36.71 | 8.00 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | - | 80 | 7d | A種 | 6 | 49.5 | 2.4 | 48.8 | 43.9 | 8.56 | 0.98 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | - | 80 | 7d | B種 | 6 | 95.0 | 3.8 | 93.8 | 86.2 | 53.79 | 2.78 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | - | 120 | 7d | A種 | 6 | 84.6 | 5.0 | 83.1 | 72.9 | 22.00 | 2.38 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | - | 120 | 7d | B種 | 6 | 144.0 | 7.1 | 141.9 | 127.4 | 48.20 | 4.78 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | - | 80 | 7d | A種 | 6 | 89.4 | 5.5 | 87.8 | 76.5 | 4.32 | 0.54 |
| 8 | 1 | 4 | 4 | - | 40 | 7d | A種 | 6 | 65.5 | 2.0 | 64.9 | 60.8 | 0.78 | 0.30 |
| 9 | 1 | 4 | 4 | - | 40 | 7d | B種 | 6 | 162.0 | 19.3 | 156.3 | 117.0 | 23.40 | 2.97 |
| 10 | 1 | 4 | 4 | - | 80 | 4d | A種 | 6 | 79.6 | 6.7 | 77.6 | 63.9 | 1.08 | 0.03 |
| 11 | 1 | 4 | 4 | - | 80 | 4d | B種 | 6 | 242.8 | 3.7 | 241.7 | 234.2 | 7.70 | 0.89 |
| 12 | 1 | 4 | 4 | - | 80 | 7d | A種 | 6 | 136.5 | 8.1 | 134.1 | 117.6 | 1.36 | 0.09 |
| 13 | 1 | 4 | 4 | - | 80 | 7d | B種 | 6 | 379.2 | 46.3 | 365.4 | 271.0 | 33.90 | 2.95 |
| 14 | 1 | 4 | 4 | - | 120 | 7d | A種 | 6 | 185.5 | 9.6 | 182.6 | 163.0 | 2.44 | 0.22 |
| 15 | 1 | 4 | 4 | - | 120 | 7d | B種 | 6 | 432.1 | 54.5 | 415.9 | 304.8 | 21.75 | 2.19 |
| 16 | 1 | 6 | 6 | - | 80 | 7d | A種 | 6 | 192.6 | 31.5 | 183.2 | 119.0 | 1.82 | 0.28 |
| 17 | 2 | 1 | 2 | 3d | 80 | 7d | A種 | 3 | 103.8 | 5.1 | 101.4 | 87.7 | 14.57 | 7.74 |
| 18 | 2 | 1 | 2 | 3d | 80 | 7d | B種 | 3 | 182.9 | 9.9 | 178.2 | 151.8 | 32.24 | 3.48 |
| 19 | 2 | 1 | 2 | 5d | 80 | 7d | A種 | 3 | 110.2 | 1.7 | 109.4 | 104.9 | 15.93 | 2.20 |
| 21 | 2 | 2 | 4 | 3d | 80 | 7d | A種 | 3 | 170.7 | 2.8 | 169.3 | 161.9 | 2.79 | 0.53 |
| 22 | 2 | 2 | 4 | 5d | 80 | 7d | A種 | 3 | 174.1 | 6.0 | 171.2 | 155.2 | 3.29 | 0.61 |
| 23 | 2 | 4 | 8 | 3d | 80 | 7d | A種 | 3 | 239.9 | 3.6 | 238.3 | 228.7 | 3.01 | 0.31 |
| 24 | 2 | 4 | 8 | 5d | 80 | 7d | A種 | 3 | 301.6 | 8.0 | 297.9 | 276.5 | 6.00 | 0.63 |
| 25 | 3 | 1 | 3 | 3d | 80 | 7d | A種 | 3 | 175.5 | 6.3 | 172.5 | 155.7 | 24.30 | 3.63 |
| 26 | 3 | 1 | 3 | 3d | 80 | 7d | B種 | 3 | 229.6 | 14.2 | 222.9 | 184.7 | 22.96 | 1.03 |
| 27 | 3 | 1 | 3 | 5d | 80 | 7d | A種 | 3 | 187.8 | 8.0 | 184.0 | 162.5 | 21.80 | 2.50 |
| 29 | 3 | 1 | 3 | 7d | 80 | 7d | A種 | 3 | 171.2 | 1.0 | 170.7 | 168.0 | 19.48 | 1.09 |
| 31 | 3 | 2 | 6 | 3d | 80 | 7d | A種 | 3 | 295.6 | 14.7 | 288.7 | 249.4 | 4.51 | 0.89 |
| 32 | 3 | 2 | 6 | 5d | 80 | 7d | A種 | 3 | 293.7 | 13.3 | 287.4 | 251.6 | 7.37 | 0.70 |
| 33 | 3 | 2 | 6 | 7d | 80 | 7d | A種 | 3 | 285.7 | 8.6 | 281.6 | 258.4 | 5.10 | 1.50 |
| 34 | 3 | 4 | 12 | 3d | 80 | 7d | A種 | 3 | 367.8 | 5.2 | 365.4 | 351.4 | 1.82 | 0.25 |
| 35 | 3 | 4 | 12 | 5d | 80 | 7d | A種 | 3 | 546.8 | 10.1 | 542.1 | 514.9 | 3.32 | 0.59 |
| 36 | 3 | 4 | 12 | 7d | 80 | 7d | A種 | 3 | 603.4 | 17.9 | 594.9 | 546.8 | 3.32 | 0.32 |
| 37 | 3 | 4 | 12 | 3d | 80 | 7d | B種 | 3 | 614.0 | 21.1 | 604.0 | 547.6 | 3.64 | 0.33 |

3.6 M16 ボルト素材の引張試験

3.6.1 目的

構造用単板積層材・鋼板添え板接合部のせん断試験に用いた M16 ボルト素材の引張試験を実施し、降伏点、強度を確認することを目的とする。

3.6.2 試験片

試験片形状は、JIS Z 2241:2011(金属材料引張試験方法) 6.1.3 機械加工されない試験片である。試験片は直径 16mm 長さ 600mm の丸鋼で、材質は JIS G 3507-1 冷間圧造用炭素鋼 第一部：線材（種類：SWRCH10R）相当品である。試験片形状を**写真 3.6.1**に、ミルシートを**図 3.6.1**に示す。



写真 3.6.1 試験片形状

3.6.3 試験方法

試験は、JIS Z2241:2011(金属材料引張試験方法)に準拠して実施した。試験は、1000kN 万能試験機を用いた。計測項目は、応力-ひずみ関係、破断伸びとした。荷重は試験機のロードセルにより計測し、ひずみは試験片に貼付したひずみゲージ(東京測器研究所製：FLA-3-11-5LT)により計測をした。試験状況を**写真 3.6.2**に示す。



写真 3.6.2 試験状況

鋼材検査証明書

INSPECTION CERTIFICATE

商社 (SUPPLIER) : 株式会社 メタルワン 大阪支社
 需要家 (CUSTOMER) : 株式会社協栄製作所 (奈良工場)
 発行年月日 (DATE) : FEB 21, 2014
 証明書番号 (CERTIFICATE No) : 222-00077 頁: PAGE 1
 契約番号 (CONTRACT No) : 248311L27-001
 注文者照合番号 (ORDER No) :
 需要家管理番号 (CUSTOMER No) :
 工事名 (CONSTRUCTION NAME) :

品名 (DESCRIPTION) : BAR IN COIL
 規格 (SPECIFICATION) : JIS G 3507-1 SWRCH10R/コイル
 規格コード (SPEC CODE) : NAGH10T
 脱酸形式 (DEOXIDATION) : KILLED STEEL

〒637-0014

奈良県五條市住川町テクノパーク・なら工業団地8-3

株式会社協栄製作所 (奈良工場)

| 寸法 DIMENSIONS (mm) | 溶鋼番号 CHARGE No | 製品番号 PLATE No & LOT No & COIL No | 数量 QUAN TITY | 質量 MASS Kg | 引張試験 TENSILE TEST | | | | | | | 厚さ 方向 特性 RAZ | 化学成分 CHEMICAL COMPOSITION % | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|---|--------------------|------------------|----------------------|----------------|----------|----------------|---------------|------|------|-----------------------|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------|-------|------|------|----|------------|
| | | | | | 降伏点 YP | 引張 強さ TS | 伸び EL | 断面 収縮 RA | 降伏 比 YR | C | SI | | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Ni+ Cr | Co+Ni +Cr | Mo | Nb | Ti | Al | Coq (W) |
| | | | | | N/mm ² | % | % | % | X100 | X100 | X100 | X1000 | X1000 | X100 | X1000 | X1000 | X1000 | X1000 | X1000 | X1000 | X1000 | X100 | X100 | | |
| 17 | 3605494 | | 6 | 11894 | | | | | | | | | | 8 | 2 | 35 | 16 | 6 | | | | | | | |
| GRAND TOTAL | | | 6 | 11894 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Signed by: _____

上記の鋼材は、検査の結果、御指定の規格または仕様に合格していることを証明します。

WE HEREBY CERTIFY THAT THE STEEL DESCRIBED HEREIN HAS
 BEEN SATISFACTORILY TESTED AND INSPECTED IN ACCORDANCE
 WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE SPECIFICATION.

SURVEYOR TO _____

株式会社中山製鋼所 船町工場
 NAKAYAMA STEEL WORKS, L T D.
 大阪市大正区船町一丁目1番66号
 1-1-66, Funamachi, Taisho-Ku, Osaka, Japan

Signed by: *H. Haraguchi*

生産技術部 品質総括室長
 GROUP MANAGER OF QUALITY ADMINISTRATION SEC.
 PRODUCTION & TECHNICAL CONTROL DEPT.

(注) NOTES GL: 標点距離 Gauge Length... 1=50mm, 2=200mm, 3=4D, 4=8D, 5=5.65√A, 6=2", 7=70mm
 HBW: ブリネル硬さ Brinell hardness HRB/HRC: ロックウェル硬さ Rockwell hardness CH: シャルピー衝撃試験 Charpy Impact Test
 ZN/C: 亜鉛付着量 Zn Coating... 両面三点平均付着量, (*) 一点最小付着量 CB: 曲げ剥離 Coating Bend Test
 RA(Z): 厚さ方向特性 Specification for through thickness characteristics UT: 超音波探傷試験 Ultrasonic Test
 YR: 降伏比 Yield Ratio Ceq(W): 炭素当量(%) = C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14
 RA: 絞り Reduction of Area PCM: 溶接割れ感受性組成(%) = C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

図 3.6.1 ミルシート

3.6.4 引張試験結果

試験結果を表 3.6.1 に、応力—ひずみ関係を

図 3.6.2 に、試験後の試験体状況を写真 3.6.3 に示す。

表 3.6.1 試験結果

| No. | 平均直径 (mm) | 降伏点 (N/mm ²) | 引張強度 (N/mm ²) | 降伏比(%) | 破断伸び (%) | 破断位置 |
|-----|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------|-------------|------|
| 1 | 16.07 | 326 | 455 | 71.7 | 32.9 | C |
| 2 | 16.05 | 320 | 455 | 70.3 | 30.8 | A |
| 3 | 16.04 | 324 | 456 | 71.0 | 33.3 | A |
| 平均 | 16.05 | 323 | 455 | 71.0 | 32.3 | |

備考：破断位置 A：原標点距離内の中央 1/2 の範囲

破断位置 B：原標点距離内の中央 1/2 以外の範囲

破断位置 C：原標点距離外 原標点距離は径 d の 8 倍(=128mm)とした。

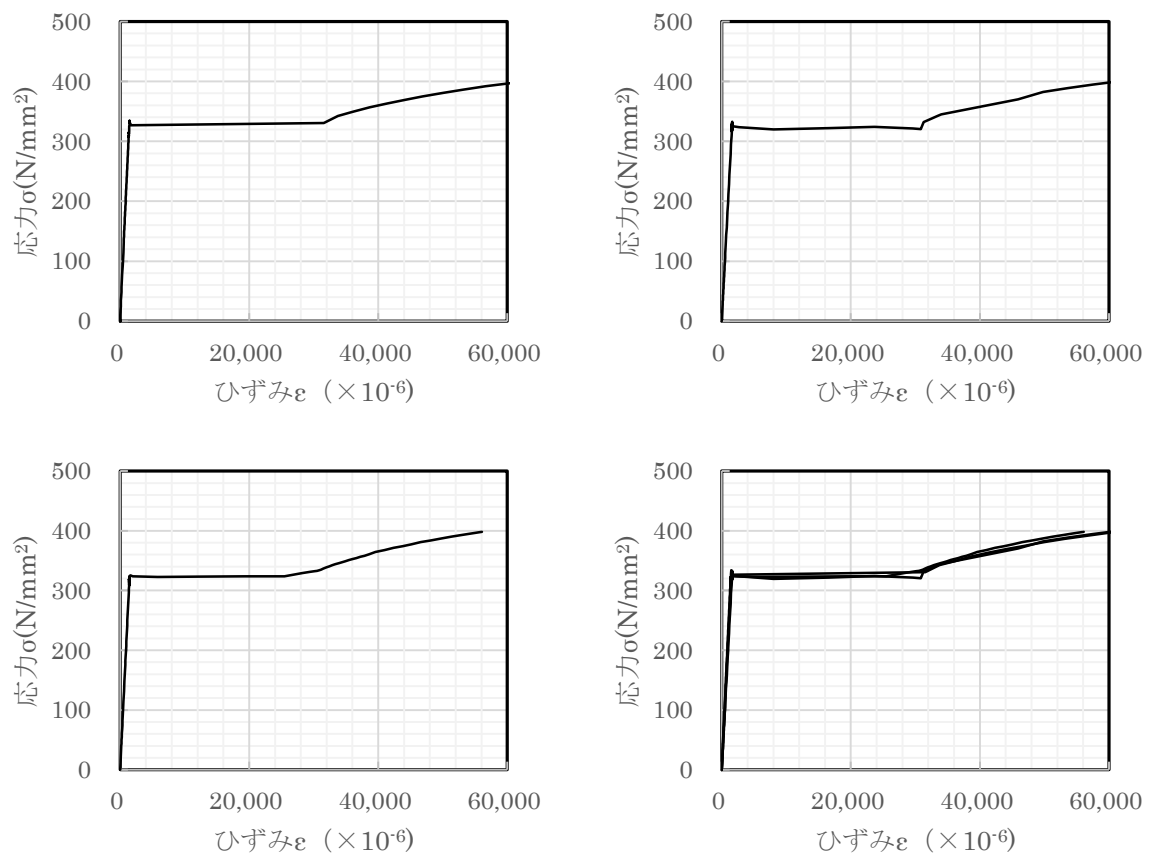


図 3.6.2 応力—ひずみ関係



写真 3.6.3 試験後の試験体状況

第4章 面内せん断性能検証

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

4.1.1 試験

(a) 試験体

Large Panel-Shear Test に供した試験体の名称、種類、樹種、材厚、強度等級を表 4.1.1 に示す。試験体は直交層を有さない A 種構造用単板積層材と直交層を有する B 種構造用単板積層材とした。また、樹種はスギとカラマツとした。さらに、材厚は 34mm と 54mm の 2 種類とし、それぞれ単板構成を以下に示す通りとした。

材厚が 34mm の試験体については、直交層が 0 枚の試験体と直交層が 2 枚の 2 種類の試験体をスギとカラマツの両樹種について用意した。表 4.1.2 に各試験体の単板構成を示す。材厚 34mm の試験体については、最外層から 3 枚目の単板を直交層としている。図 4.1.1 に材厚 34mm の試験体の断面を示す。

表 4.1.1 試験体の名称、種類、樹種、材厚及び強度等級

| 試験体名 | 種類 | 樹種 | 材厚 (mm) | 強度等級* | |
|--------|------------|------|------------|-----------|---------|
| | | | | 曲げ | 水平せん断 |
| S-0-34 | A 種(直交層 0) | スギ | 34 | 60E-225F | 40V-34H |
| S-2-34 | B 種(直交層 2) | スギ | 34 | 60E-160F | 45V-30H |
| K-0-34 | A 種(直交層 0) | カラマツ | 34 | 120E-385F | 55V-47H |
| K-2-34 | B 種(直交層 2) | カラマツ | 34 | 90E-240F | 65V-43H |
| K-0-47 | A 種(直交層 0) | カラマツ | 47 | 120E-385F | 55V-47H |
| K-3-47 | B 種(直交層 3) | カラマツ | 47 | 80E-215F | 55V-36H |
| K-4-47 | B 種(直交層 4) | カラマツ | 47 | 70E-185F | 45V-30H |

* B 種単板積層材は試験結果をもとにした JAS 規格相当値である。

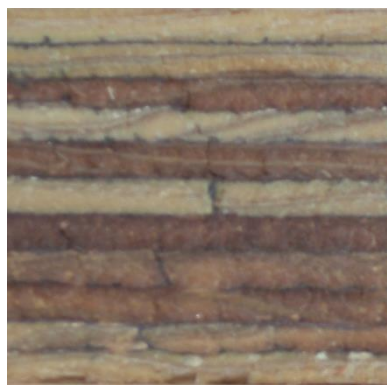
表 4.1.2 試験体の単板構成

| 試験体名 | 全層数 (直交層数) | 樹種 | 材厚 (mm) | 単板構成 |
|--------|---------------|------|------------|-----------------|
| S-0-34 | 11 (0) | スギ | 34 | □□□□□□□□□□□ |
| S-2-34 | 11 (2) | スギ | 34 | □□■□□□□□■□□ |
| K-0-34 | 11 (0) | カラマツ | 34 | □□□□□□□□□□□ |
| K-2-34 | 11 (2) | カラマツ | 34 | □□■□□□□□■□□ |
| K-0-47 | 15 (0) | カラマツ | 47 | □□□□□□□□□□□□□□□ |
| K-3-47 | 15 (3) | カラマツ | 47 | □□■□□□□■□□□□■□□ |
| K-4-47 | 15 (4) | カラマツ | 47 | □□■□□■□□□■□□■□□ |

(注) □は平行層、■は直交層を表す。

材厚が 47mm の試験体については、直交層が 0 枚、3 枚、4 枚の 3 種類の試験体を樹種カラマツについて用意した。表 4.1.2 に示すように材厚 47mm の試験体の単板構成を示す。

直交単板がないもの、最外層から 3 枚目の単板と中央単板を直交層としたもの、並びに、最外層から 3 枚目と最外層から 5 枚目を直交層としたものの 3 種類の単板構成とした。図 4.1.2 に材厚 47mm の試験体の断面を示す。



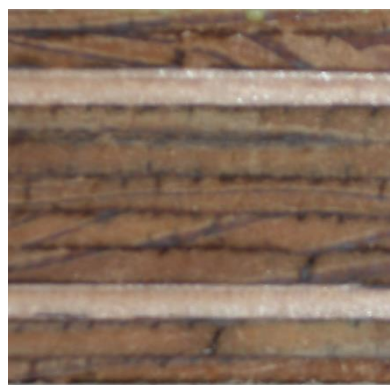
(a) S-0-34



(b) S-2-34



(c) K-0-34



(d) K-2-34

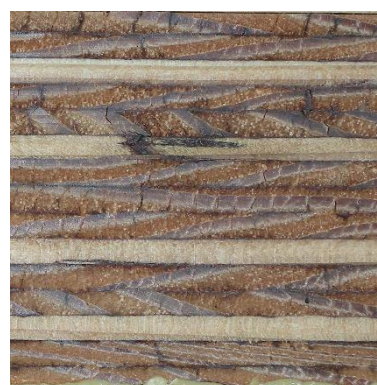
図 4.1.1 層数 11 の試験体 (S-0-34、S-2-34、K-0-34、K-2-34) の断面



(a) K-0-47



(b) K-3-47



(c) K-4-47

図 4.1.2 層数 15 の試験体 (K-0-47、K-3-47、K-4-47) の断面

各試験体の強度等級は表 4.1.1 に示す通りであり、単板相互の接着はフェノール樹脂接着剤による。

Large Panel Shear Test に供する試験体を作製するにあたっては、供試体とする単板積

層材を加工している。600mm×600mm×材厚の大きさの単板積層材を単板積層材の原板から切り出し、さらに600mm×600mmの単板積層材を図4.1.3に示す十字形状に加工した。また、加工した板の四周(十字の出張り部分)を厚さ28mmの構造用合板にて補強した。補強材(28mm厚構造用合板)は接着とビス接合により供試体の単板積層材に接合した。試験体のうち補強をしていない部分の寸法は400mm×400mmである。写真4.1.1にLarge Panel-Shear Testに供した試験体の一部を示す。

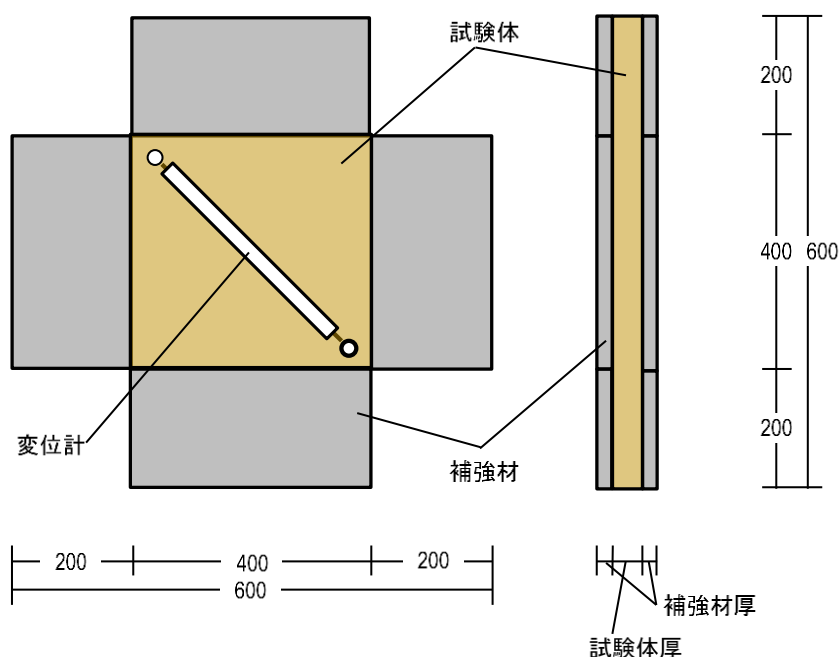


図 4.1.3 試験体の形状と寸法



写真 4.1.1 Large Panel-Shear Test に供した試験体

(b)試験方法

面内せん断試験は、ASTM D2719-89(2007) Standard Test Methods for Structural Panels In Shear Through-the-Thickness¹⁾の中の ” Large Panel Shear Test” に準じた方法により行った。図 4.1.4 に ASTM に示されている加力ジグの形状と試験体の収まり

及び加力方法を示す。また、写真 4.1.2 に試験の様子を示す。加力は補強した試験体の補強部分（図 4.1.4 と写真 4.1.2 を参照）を試験体の四周に沿って約 45° 方向の角度で引張ることによって行った。荷重速度は 3mm/min とした。

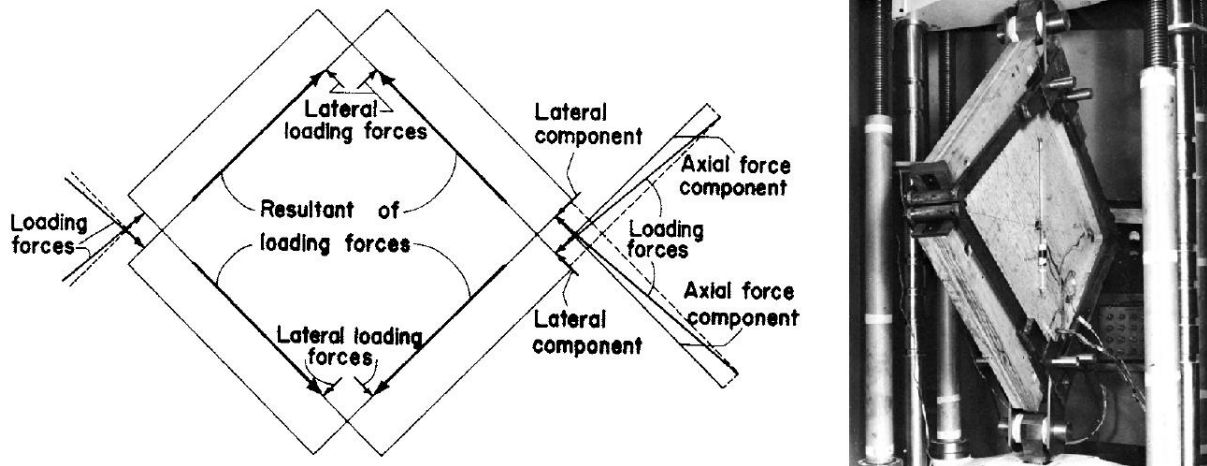


図 4.1.4 ASTM に示されている加力ジグの形状と試験体の収まり及び加力方法

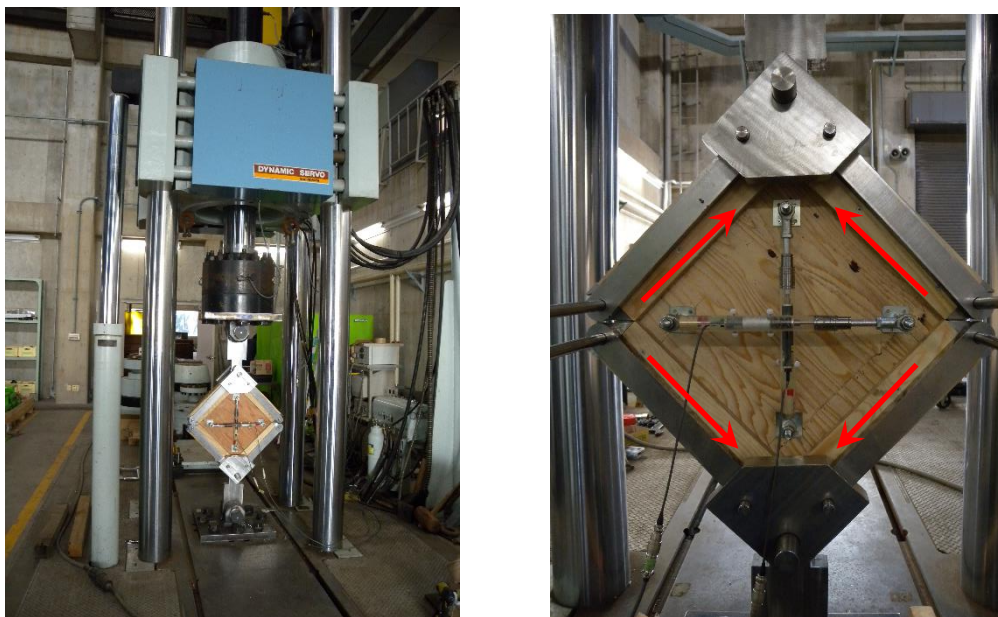


写真 4.1.2 Large Panel Shear Test の様子

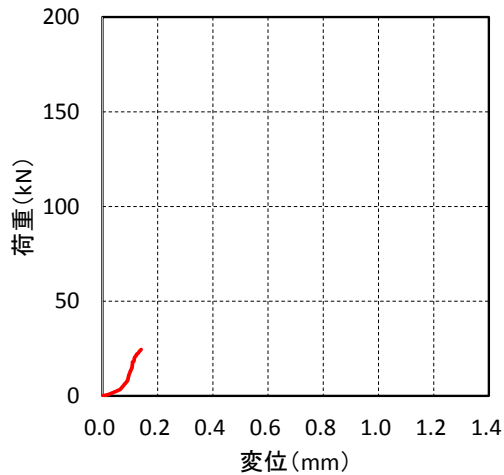
(解説) 2000kN 万能試験装置を用いて、上下方向に引張力を加え、試験体に矢印の方向のせん断力を与える。

試験体のせん断変形量は試験体の対角線上に設置した変位計を用いて測定した。変位計は試験体の片面に 2 体設置し、試験体が縮む方向と延びる方向の両方向の変位を測定した。なお、変位測定の間隔距離は 400mm とした。

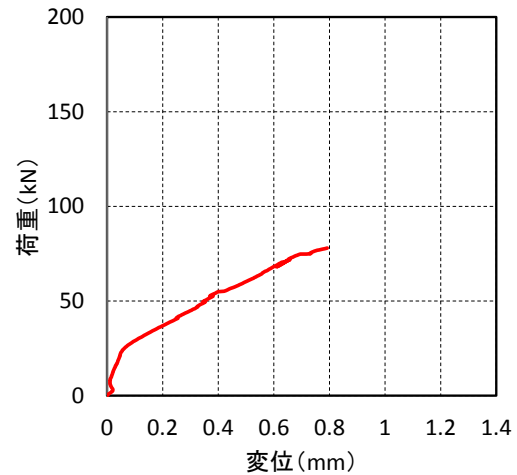
4.1.2 試験結果

(a)厚さ 34mm (単板層数 11 枚) の試験体の結果

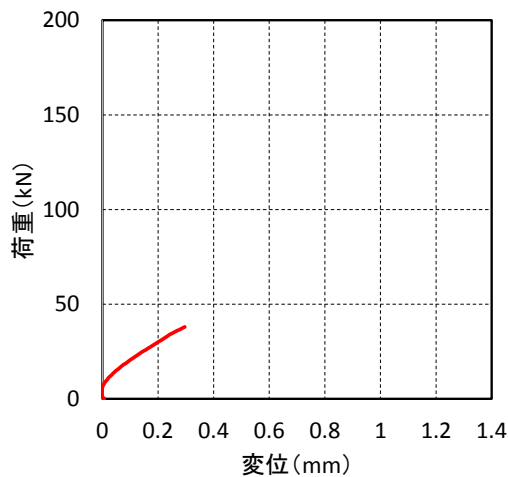
図 4.1.5 に厚さ 34mm の試験体の荷重変位曲線の一例を示す。なお、図中の変位は試験体の引張方向と圧縮方向に設置した変位計によって測定した変位を平均した値である。



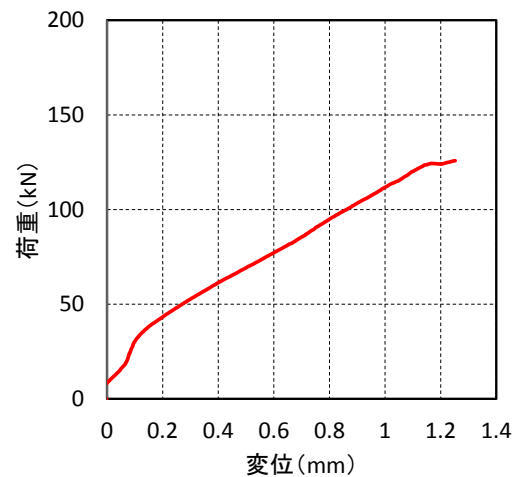
(a)スギ 11 層 (34mm 厚) 直交層 0 層



(b)スギ 11 層 (34mm 厚) 直交層 2 層



(c)カラマツ 11 層 (34mm 厚) 直交層 0 層



(d)カラマツ 11 層 (34mm 厚) 直交層 2 層

図 4.1.5 厚さ 34mm の試験体の荷重変位曲線

各試験結果から算出した面内せん断強度と面内せん断弾性係数の値を表 4.1.3 に示す。なお、面内せん断強度及び面内せん断弾性係数は式 4.1.1 及び式 4.1.2 により求めた。

$$T = 0.707 \times \left(\frac{P}{L \times t} \right) \quad \dots \text{式 4.1.1}$$

$$G = 0.3536 \times \left(\frac{P}{\Delta} \right) \times \left(\frac{L_1}{L \times t} \right) \quad \dots \text{式 4.1.2}$$

ここで、

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

面内せん断強度は、直交層がない場合、樹種がスギの試験体は約 1.3 (N/mm²)、樹種がベイマツの試験体は約 2.0 (N/mm²) であった。直交層がない試験体の面内せん断強度は、該当する強度等級に与えられている水平せん断強度（縦使い）の値、スギの場合 4.0 (N/mm²)、カラマツの場合 5.5 (N/mm²) よりも小さい値であったが、これは試験方法の違いによるものと考えられる。

直交層を 2 枚設けることにより面内せん断強度は、樹種がスギとヒノキのいずれの場合についても、直交層がない場合に比べて約 3 倍となり、スギの面内せん断強度は約 4.0 (N/mm²)、カラマツの面内せん断強度は約 6.5 (N/mm²) となった。

一方、面内せん断弾性係数については、直交層がない場合、樹種がスギの試験体は約 0.7 (kN/mm²)、樹種がカラマツの試験体は約 1.0 (kN/mm²) であった。また、直交層を 2 枚設けることにより面内せん断弾性係数は、樹種がスギの試験体は約 0.8 (kN/mm²)、樹種がカラマツの試験体は約 0.9 (kN/mm²) となり、直交層を設けることにより面内せん断弾性係数が著しく高くなることはなかった。

表 4.1.3 面内せん断強度と面内せん断弾性係数 (34mm厚)

| 試験体名 | 面内せん断強度 | | 面内せん断弾性係数 | |
|--------|-------------------|-----|--------------------|-----|
| | N/mm ² | 比率 | kN/mm ² | 比率 |
| S-0-34 | 1.27 | - | 0.66 | - |
| S-2-34 | 4.05 | 3.2 | 0.80 | 1.2 |
| K-0-34 | 1.98 | - | 1.02 | - |
| K-2-34 | 6.53 | 3.3 | 0.88 | 0.9 |



(a)スギ 11層 (34mm厚) 直交層 0層



(b)スギ 11層 (34mm厚) 直交層 2層



(c)カラマツ 11層 (34mm厚) 直交層 0層



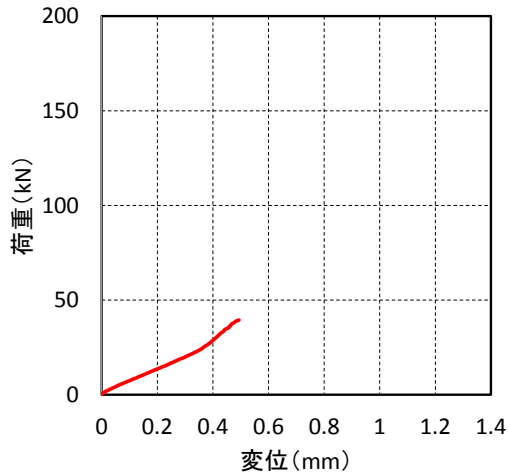
(d)カラマツ 11層 (34mm厚) 直交層 2層

写真 4.1.3 厚さ 34mm の試験体の破壊性状

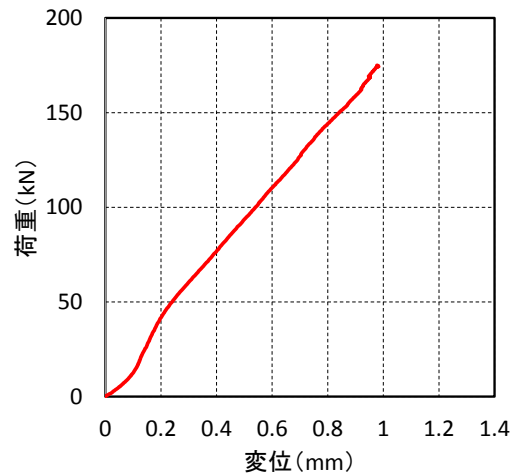
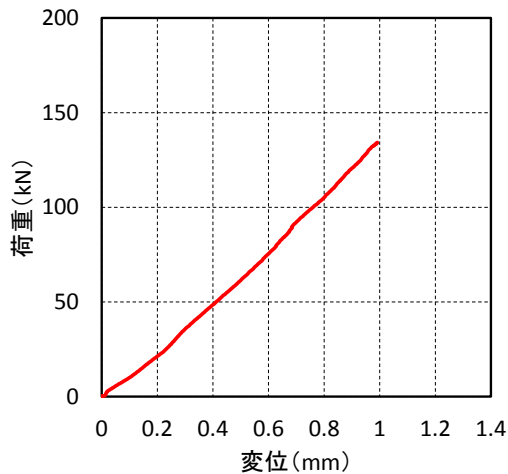
写真 4.1.3 に試験体の破壊性状を示す。いずれの試験体も補強した部分の際において、外層単板の繊維方向（主繊維方向）に平行に破断した。単板積層材の層構成から見て、最も面内せん断強度が小さくなる面においてせん断破壊が生じていた。

(b)厚さ 47mm（単板層数 15 枚）の試験体の結果

図 4.1.6 に厚さ 47mm の試験体の荷重変位曲線の一例を示す。なお、図中の変位は試験体の引張方向と圧縮方向に設置した変位計によって測定した変位を平均した値である。また、各試験結果から算出した面内せん断強度と面内せん断弾性係数の値を表 4.1.4 に示す。



(a)カラマツ 15 層 (47mm 厚) 直交層 0 層



(b)カラマツ 15 層 (47mm 厚) 直交層 3 層 (c)カラマツ 15 層 (47mm 厚) 直交層 4 層

図 4.1.6 厚さ 47mm の試験体の荷重変位曲線

表 4.1.4 面内せん断強度と面内せん断弾性係数 (47mm 厚)

| 試験体名 | 面内せん断強度 | | 面内せん断弾性係数 | |
|--------|-------------------|-----|--------------------|----------|
| | N/mm ² | 比率 | kN/mm ² | 比率 |
| K-0-47 | 1.48 | - | 0.47 | - |
| K-3-47 | 5.05 | 3.4 | 1.06 | 2.3(1.0) |
| K-4-47 | 6.60 | 4.5 | 1.27 | 2.7(1.3) |

(注) 面内せん断弾性係数の比率の欄の括弧内の数値は、厚さ 34mm のカラマツ単板積層材の試験結果との比較を示したものである。

面内せん断強度は、直交層がない場合、約 1.5 (N/mm²) であった。厚さ 34mm の試験体同様に、直交層がない試験体の面内せん断強度は、該当する強度等級に与えられている水平せん断強度 (縦使い) の 5.5 (N/mm²) よりも小さい値であったが、同じく試験方法の違いによるものと考えられる。

直交層を3枚設けることにより面内せん断強度は、直交層がない場合に比べて約3.4倍の5.1 (N/mm²)、4枚設けることによって約4.5倍の6.6 (N/mm²) となった。

一方、面内せん断弾性係数については、直交層がない場合が約0.5 (kN/mm²) と低い値であったが、これは試験体の個体差によるものと考えられる。厚さ34mmのカラマツ単板積層材(直交層0枚)の面内せん断弾性係数1.0を基準として比較すると、面内せん断弾性係数は、直交層を3枚設けることによって約1.0倍、4枚設けることによって約1.3倍となり、直交層を設けることにより面内せん断弾性係数が著しく高くなることはなかった。



(a)カラマツ 15層 (47mm厚) 直交層0層



(b)カラマツ 15層 (47mm厚) 直交層3層 (c)カラマツ 15層 (47mm厚) 直交層4層

写真 4.1.4 厚さ47mmの試験体の破壊性状

写真4.1.4に試験体の破壊性状を示す。直交層が0枚と3枚の試験体については試験体も補強した部分の際において、外層単板の繊維方向(主繊維方向)に平行に破断した。厚さ34mmの試験体同様に、単板積層材の層構成から見て、最も面内せん断強度が小さくなる面においてせん断破壊が生じていた。一方、直交層が4枚の試験体については、試験体の補強部分を起点に破壊が生じたが、単板積層材の広い範囲でせん断破壊が生じた。

4.2 Two Rail Shear Test による構成単板の面内せん断性能の測定

4.2.1 試験

(a) 試験体

Two Rail Shear Test に供した試験体の名称、種類、樹種、材厚、強度等級を表 4.2.1 に示す。試験体の樹種はスギとカラマツとし、単板 3 層構成とし、材厚は 9mm とした。試験体を構成するスギ単板とカラマツ単板の強度等級はそれぞれ、60E と 120E とした。また、加力方向（せん断力が生じる方向）が単板の繊維方向に対して平行になる試験体と直角になる試験体を作製した。

単板相互の接着はフェノール樹脂接着剤による。また、試験体の大きさは、幅 400mm×長さ 600mm×厚さ 9mm とした。写真 4.2.1 に Two Rail Shear Test 試験用の試験体の写真を示す。



(a)スギ試験体（繊維方向加力用）



(b)スギ試験体（繊維直角方向加力用）



(c)カラマツ試験体（繊維方向加力用）



(d)カラマツ試験体（繊維直角方向加力用）

写真 4.2.1 Two Rail Shear Test 試験用の試験体

表 4.2.1 試験体の単板構成

| 試験体名 | 全層数 | 樹種 | 材厚 (mm) | 強度等級 | 加力方向 |
|------|-----|------|------------|------|--------|
| S-H | 3 | スギ | 9 | 60E | 繊維方向 |
| S-V | 3 | スギ | 9 | 60E | 繊維直交方向 |
| K-H | 3 | カラマツ | 9 | 120E | 繊維方向 |
| K-V | 3 | カラマツ | 9 | 120E | 繊維直交方向 |

(b)試験方法

Two Rail Shear Test は、ASTM D2719-89(2007) Standard Test Methods for Structural Panels In Shear Through-the-Thickness¹⁾の中の ” Test Method C—Two-Rail Test” に準じた方法により行った。図 4.2.1 に ASTM に示されている加力ジグの形状と試験体の収まり、及び加力方法を示す。また、写真 4.2.2 に試験の様子を示す。試験は国立研究開発法人森林総合研究所の面内せん断試験装置を用いて実施した。

試験体の幅 400mm のうち両側 100mm (面積では 100mm×600mm、2カ所) を油圧によって掴み、試験体の長さ方向に平行に作用する偶力を加えることによって試験体にせん断力を加えた。なお、荷重速度は 1mm/min とした。

試験体のせん断変形量は試験体の対角線上に設置したひずみゲージ (ゲージ長 30mm) を用いて測定した。ひずみゲージは試験体の両面にそれぞれ 1 枚設置し、加力時の試験体が縮む方向と伸びる方向の両方向に対してひずみゲージが 1 枚ずつ貼られるように向きを異ならせた。

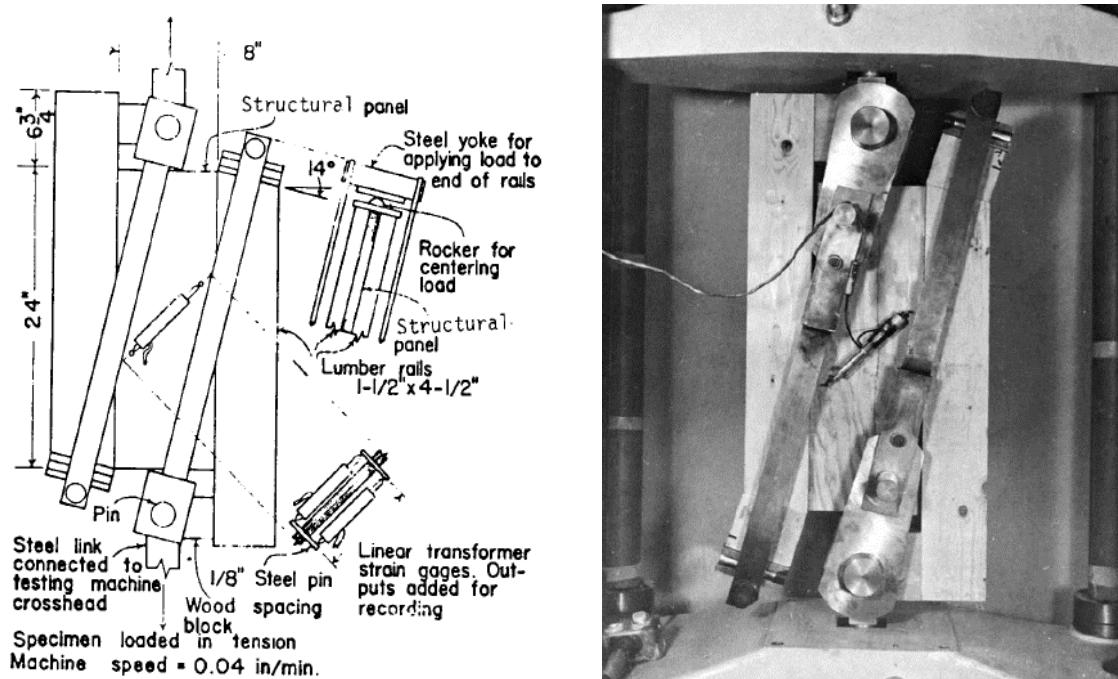


図 4.2.1 ASTM に示されている加力ジグの形状と試験体の収まり及び加力方法



写真 4.2.2 Two-Rail-Shear 試験の様子

4.2.3 試験結果

図 4.2.2 に単板試験体の荷重ひずみ曲線の一例を示す。なお、図中のひずみは試験体の引張方向と圧縮方向に設置したひずみゲージによって測定したひずみを平均した値である。スギ単板、カラマツ単板ともに、繊維直交方向に加力した場合の方が繊維方向に加力した場合よりも面内せん断耐力は大きな値となった。また、面内せん断剛性については、加力方向による違いは面内せん断耐力ほど顕著ではなかった。

表 4.2.2 にスギ単板（繊維方向加力）、表 4.2.3 にスギ単板（繊維直交方向加力）、表 4.2.4 にカラマツ単板（繊維方向加力）、表 4.2.5 にカラマツ単板（繊維直交方向加力）の比重、含水率、面内せん断強度、面内せん断弾性係数の値を示す。なお、面内せん断強度と面内せん断弾性係数は式 4.2.1 及び式 4.2.2 を用いて算定した。

$$T = \frac{P}{L \times t} \quad \cdots \text{式 4.2.1}$$

$$G = 0.5 \times \left(\frac{P}{\Delta} \right) \times \left(\frac{L_1}{L \times t} \right) \quad \cdots \text{式 4.2.2}$$

ここで、

T : 面内せん断強度 (N/mm²)

P : 荷重 (N)

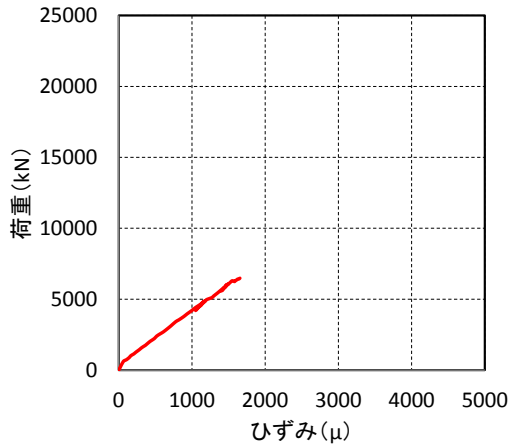
L : せん断長さ (mm)

t : 試験体の厚さ (mm)

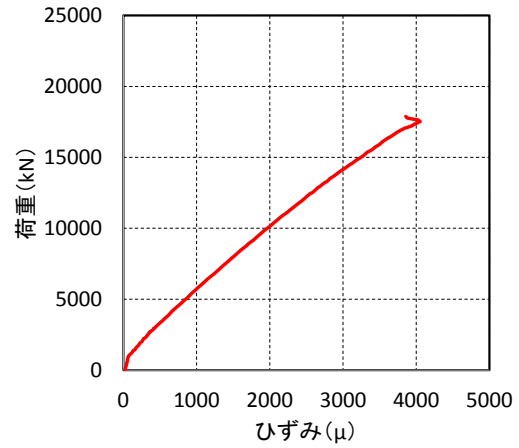
G : 面内せん断弾性係数 (N/mm²)

P/Δ : 荷重変形曲線の傾き (N/mm)

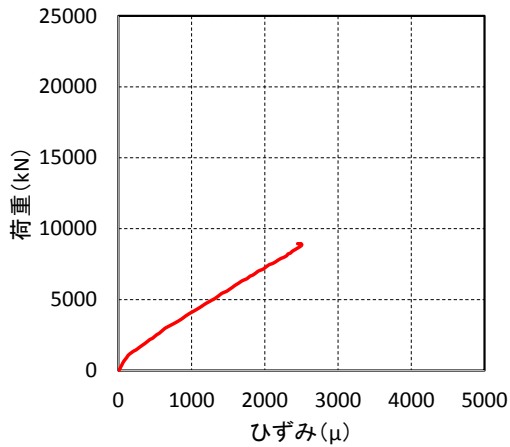
L_1 : ひずみゲージ長 (mm)



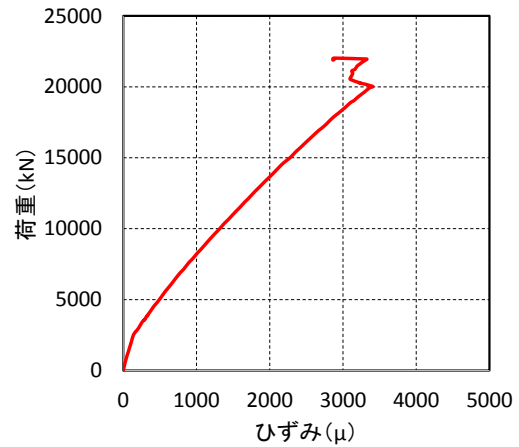
(a)スギ試験体（繊維方向加力用）



(b)スギ試験体（繊維直交方向加力用）



(c)カラマツ試験体（繊維方向加力用）



(d)カラマツ試験体（繊維直交方向加力用）

図 4.2.2 単板の Two Rail Shear Test 試験における荷重ひずみ曲線

表 4.2.2 スギ単板（繊維平行方向加力）の面内せん断に関する特性値

| 試験体 番号 | 材厚 (mm) | 比重 | 含水率 (%) | G (N/mm ²) | τ (N/mm ²) |
|-----------|------------|-------|------------|---------------------------|---------------------------|
| S10-2 | 9.03 | 0.41 | 7.0 | 359.3 | 1.20 |
| S14-2 | 8.96 | 0.39 | 7.5 | 257.4 | 1.10 |
| S19-2 | 9.05 | 0.39 | 8.0 | 243.7 | 1.37 |
| S23-2 | 9.28 | 0.43 | 8.0 | 266.6 | 1.46 |
| S35-2 | 9.12 | 0.43 | 8.0 | 281.1 | 1.50 |
| S10-1 | 9.11 | 0.40 | 7.3 | 362.8 | 1.23 |
| S35-1 | 9.24 | 0.43 | 9.2 | 296.2 | 1.36 |
| S23-1 | 9.11 | 0.44 | 9.0 | 280.9 | 1.60 |
| S14-1 | 9.01 | 0.40 | 7.5 | 272.9 | 1.00 |
| S19-1 | 9.15 | 0.39 | 8.0 | 344.0 | 1.10 |
| 平均 | 9.11 | 0.41 | 8.0 | 296.5 | 1.29 |
| 標準偏差 | 0.101 | 0.021 | 0.690 | 43.274 | 0.196 |
| 変動係数 | 1.1 | 5.0 | 8.7 | 14.6 | 15.2 |

表 4.2.3 スギ単板（繊維直交方向加力）の面内せん断に関する特性値

| 試験体 番号 | 材厚 (mm) | 比重 | 含水率 (%) | G (N/mm ²) | τ (N/mm ²) |
|-----------|------------|-------|------------|---------------------------|--------------------------------|
| S34-2 | 9.04 | 0.42 | 8.5 | 433.4 | 3.31 |
| S33-2 | 8.98 | 0.42 | 8.0 | 396.8 | 3.41 |
| S36-2 | 8.97 | 0.39 | 8.0 | 403.1 | 3.34 |
| S46-2 | 9.20 | 0.44 | 8.5 | 333.8 | 3.02 |
| S60-2 | 9.18 | 0.42 | 9.0 | 442.3 | 2.86 |
| S46-1 | 9.18 | 0.45 | 10.0 | 350.2 | 3.00 |
| S34-1 | 9.03 | 0.42 | 7.8 | 415.0 | 3.49 |
| S60-1 | 9.04 | 0.41 | 8.8 | 364.6 | 2.83 |
| S36-1 | 8.98 | 0.38 | 7.7 | 350.2 | 3.00 |
| S33-1 | 9.05 | 0.42 | 8.3 | 467.7 | 3.28 |
| 平均 | 9.06 | 0.42 | 8.5 | 395.7 | 3.15 |
| 標準偏差 | 0.090 | 0.020 | 0.689 | 44.901 | 0.238 |
| 変動係数 | 1.0 | 4.7 | 8.1 | 11.3 | 7.6 |

表 4.2.4 カラマツ単板（繊維平行方向加力）の面内せん断に関する特性値

| 試験体 番号 | 材厚 (mm) | 比重 | 含水率 (%) | G (N/mm ²) | τ (N/mm ²) |
|-----------|------------|-------|------------|---------------------------|--------------------------------|
| K13-2 | 10.08 | 0.53 | 7.0 | 419.6 | 1.34 |
| K30-2 | 10.01 | 0.55 | 8.0 | 424.0 | 1.83 |
| K6-2 | 10.07 | 0.56 | 6.5 | 411.7 | 1.80 |
| K26-2 | 10.17 | 0.58 | 8.0 | 385.9 | 2.18 |
| K27-2 | 10.02 | 0.54 | 6.5 | 561.8 | 2.11 |
| K30-1 | 10.11 | 0.50 | 6.2 | 343.3 | 1.72 |
| K13-1 | 10.11 | 0.54 | 8.7 | 295.7 | 1.66 |
| K26-1 | 10.17 | 0.58 | 9.0 | 298.3 | 1.53 |
| K27-1 | 10.05 | 0.54 | 6.8 | 474.1 | 1.52 |
| K6-1 | 10.35 | 0.54 | 7.7 | 297.7 | 1.93 |
| 平均 | 10.11 | 0.55 | 7.4 | 391.2 | 1.76 |
| 標準偏差 | 0.099 | 0.023 | 0.976 | 86.328 | 0.264 |
| 変動係数 | 1.0 | 4.2 | 13.1 | 22.1 | 15.0 |

表 4.2.5 カラマツ単板（繊維直交方向加力）の面内せん断に関する特性値

| 試験体 番号 | 材厚 (mm) | 比重 | 含水率 (%) | G (N/mm ²) | τ (N/mm ²) |
|-----------|------------|-------|------------|---------------------------|--------------------------------|
| K20-1 | 10.16 | 0.54 | 5.8 | 548.4 | 3.90 |
| K44-1 | 10.10 | 0.56 | 8.8 | 457.0 | 4.14 |
| K47-1 | 10.03 | 0.54 | 8.5 | 346.7 | 4.68 |
| K45-1 | 10.07 | 0.60 | 8.5 | 660.3 | 4.96 |
| K21-1 | 10.14 | 0.65 | 9.2 | 673.9 | 4.82 |
| K20-2 | 10.05 | 0.55 | 6.0 | 452.1 | 4.13 |
| K44-2 | 10.11 | 0.55 | 7.5 | 548.5 | 3.48 |
| K45-2 | 10.06 | 0.59 | 7.5 | 628.8 | 4.18 |
| K47-2 | 10.00 | 0.55 | 7.5 | 490.5 | 4.29 |
| K21-2 | 10.08 | 0.66 | 10.0 | 713.3 | 4.82 |
| 平均 | 10.08 | 0.58 | 7.9 | 552.0 | 4.34 |
| 標準偏差 | 0.049 | 0.044 | 1.331 | 117.126 | 0.472 |
| 変動係数 | 0.5 | 7.7 | 16.8 | 21.2 | 10.9 |

スギ単板の面内せん断強度の平均値は、繊維方向に対して平行に加力した場合が 1.29 (N/mm²)、繊維方向に対して直角に加力した場合が 3.15 (N/mm²) であった。繊維方向に対して直角に加力した場合の面内せん断強度は繊維方向に対して平行に加力した場合の約 2.5 倍であった。一方、スギ単板の面内せん断弾性係数の平均値は、繊維方向に対して平行に加力した場合が 296.5 (N/mm²)、繊維方向に対して直角に加力した場合が 395.7 (N/mm²) であった。繊維方向に対して直角に加力した場合の面内せん断弾性係数は繊維方向に対して平行に加力した場合の約 1.3 倍であった。

一方、カラマツ単板の面内せん断強度の平均値は、繊維方向に対して平行に加力した場合が 1.76 (N/mm²)、繊維方向に対して直角に加力した場合が 4.34 (N/mm²) であった。繊維方向に対して直角に加力した場合の面内せん断強度は繊維方向に対して平行に加力した場合の約 2.5 倍であった。一方、スギ単板の面内せん断弾性係数の平均値は、繊維方向に対して平行に加力した場合が 391.2 (N/mm²)、繊維方向に対して直角に加力した場合が 552.0 (N/mm²) であった。繊維方向に対して直角に加力した場合の面内せん断弾性係数は繊維方向に対して平行に加力した場合の約 1.4 倍であった。

面内せん断強度と面内せん断弾性係数ともにカラマツ単板のほうがスギ単板よりも高い値を示したが、繊維平行方向に加力した場合に対する繊維直交方向に加力した場合の比率は樹種によらずほぼ同じとなり、面内せん断強度が約 2.5、面内せん断弾性係数が約 1.3～1.4 であった。木材の繊維方向に対する繊維直交方向のせん断強度については、2～3 倍になるとの報告があり、本実験の結果と概ね整合する。

前述の単板積層材と同様に、直交層の有無は面内せん断強度に対して顕著に影響し、面内せん断弾性係数に対しても影響するが、その程度は面内せん断強度ほどではない。

4.3 考察

表 4.3.1、表 4.3.2 及び表 4.3.3 に試験結果をまとめて示す。

直交層を有する構造用単板積層材の面内せん断強度は、スギについては約 4.0 (N/mm²) であった。この値は、スギの構造用合板 (28mm 厚) の面内せん断強度²⁾の約 4.33~5.64 (N/mm²) よりもやや低い値ではあったが、概ね近い値であった。また、直交層を有する構造用単板積層材の面内せん断弾性係数は、スギについては約 0.8 (kN/mm²) であった。この値は、スギの構造用合板 (28mm 厚) の面内せん断弾性係数²⁾の約 0.56~0.69 (kN/mm²) よりもやや高い値であった。

直交層を有する構造用単板積層材の面内せん断強度は、カラマツについては約 5.0~6.5 (N/mm²) であった。この値は、カラマツの構造用合板 (28mm 厚) の面内せん断強度²⁾の約 6.34 (N/mm²) よりもやや低い範囲にあったが、概ね近い値であった。また、直交層を有する構造用単板積層材の面内せん断弾性係数は、カラマツについては約 0.9~1.3 (kN/mm²) であった。この値は、カラマツの構造用合板 (28mm 厚) の面内せん断弾性係数²⁾の約 0.817 (kN/mm²) よりもやや高い値であった。

以上の試験結果より、直交層を有する単板積層材の面内せん断強度と面内せん断係数は概ね同樹種の構造用合板と近い値となる可能性が示唆される。

表 4.3.1 単板積層材 (34mm 厚) の面内せん断強度と面内せん断弾性係数

| 試験体名 | 面内せん断強度 | | 面内せん断弾性係数 | |
|--------|-------------------|-----|--------------------|-----|
| | N/mm ² | 比率 | kN/mm ² | 比率 |
| S-0-34 | 1.27 | - | 0.66 | - |
| S-2-34 | 4.05 | 3.2 | 0.80 | 1.2 |
| K-0-34 | 1.98 | - | 1.02 | - |
| K-2-34 | 6.53 | 3.3 | 0.88 | 0.9 |

表 4.3.2 単板積層材 (47mm 厚) 厚の面内せん断強度と面内せん断弾性係数

| 試験体名 | 面内せん断強度 | | 面内せん断弾性係数 | |
|--------|-------------------|-----|--------------------|----------|
| | N/mm ² | 比率 | kN/mm ² | 比率 |
| K-0-47 | 1.48 | - | 0.47 | - |
| K-3-47 | 5.05 | 3.4 | 1.06 | 2.3(1.0) |
| K-4-47 | 6.60 | 4.5 | 1.27 | 2.7(1.3) |

表 4.3.3 単板 (3mm 厚) の面内せん断強度と面内せん断弾性係数

| 試験体名 | 面内せん断強度 | | 面内せん断弾性係数 | |
|------|-------------------|-----|--------------------|-----|
| | N/mm ² | 比率 | kN/mm ² | 比率 |
| SH | 1.29 | - | 0.30 | - |
| SV | 3.15 | 2.4 | 0.40 | 1.3 |
| KH | 1.76 | - | 0.39 | - |
| KV | 4.34 | 2.5 | 0.55 | 1.4 |

単板単体の面内せん断強度はスギ、カラマツともに、繊維直交方向加力の場合にあっても、直交層を有する単板積層材の面内せん断強度よりも低い値であった。さらに単板単体の面内せん断弾性係数についても、スギ、カラマツともに、繊維直交方向加力の場合にあっても、直交層を有する単板積層材の面内せん断弾性係数よりも低い値であり、約半分の値となった。

このことから繊維を直交させて複数の単板を積層接着させることによって、材料としても面内せん断性能が高められ、面内せん断強度と面内せん断弾性係数が単板に比べて高くなっていることが予測される。

以下、直交層により補強・補剛効果について考察する。層によって繊維方向が異なる場合であっても、平行層と直交層が一体化（接着）されていなければ、面内せん断に対して強度及び剛性が弱い繊維方向に各単板がせん断変形するものと考えられる。この場合、面内せん断強度と面内せん断弾性係数は、単板の繊維平行方向のせん断強度とせん断弾性係数となる。一方、各層を接着することによって、各単板が繊維方向にせん断変形することに対する抵抗要素ができる。この抵抗要素によって生じる補強・補剛効果を評価することができれば、直交層を有する単板積層材の面内せん断強度と面内せん断弾性係数を単板の面内せん断強度と面内せん断弾性係数から計算によって求めることができる。

補強効果と補剛効果を前述の実験結果から求めると表 4.3.4 のように求まる。表 4.3.4 では補強効果と補剛効果を補強比と補剛比という独自の指標を用いて示している。補強効果については、直交層がない場合、補強比がほぼ 1.0 であり、補強効果がないことが看取される。一方、直交層を設けることによって補強比が約 3~4 となり、直交層による補強効果を確認することができる。直交層が 4 層の K-4-47 の補強比が高いことから補強効果は直交層と平行層の割合によって決まるものと考えられるが、定量的な分析については今後の課題としたい。

一方、補剛効果については、層数が 11 層の試験体の補剛比が直交層の有無にかかわらず 2~2.5 程度であった。また、層数が 15 層の試験体の補剛比は、直交層がない場合が 1.2、直交層が 3 層の場合が 2.7、直交層が 4 層の場合が 3.3 と直交層が増えるほど補剛効果が高くなる傾向にあった。なお、定量的な分析については今後の課題としたい。

表 4.3.4 直交層による補強効果と補剛効果

| 試験体名 | 面内せん断耐力 | | | 面内せん断剛性 | | |
|--------|-----------|-----------|--------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| | 実測① kN | 計算② kN | 補強比 ① / ② | 実測① kN/mm ² | 計算② kN/mm ² | 補強比 ① / ② |
| S-0-34 | 17.3 | 17.5 | 0.99 | 9.0 | 4.08 | 2.21 |
| S-2-34 | 55.1 | 17.5 | 3.15 | 10.9 | 4.08 | 2.67 |
| K-0-34 | 26.9 | 23.9 | 1.13 | 13.9 | 5.30 | 2.62 |
| K-2-34 | 88.8 | 23.9 | 3.72 | 12.0 | 5.30 | 2.26 |
| K-0-47 | 41.7 | 49.6 | 0.84 | 13.3 | 10.9 | 1.22 |
| K-3-47 | 142.4 | 49.6 | 2.87 | 29.9 | 10.9 | 2.74 |
| K-4-47 | 186.1 | 49.6 | 3.75 | 35.8 | 10.9 | 3.28 |

4.4 文献

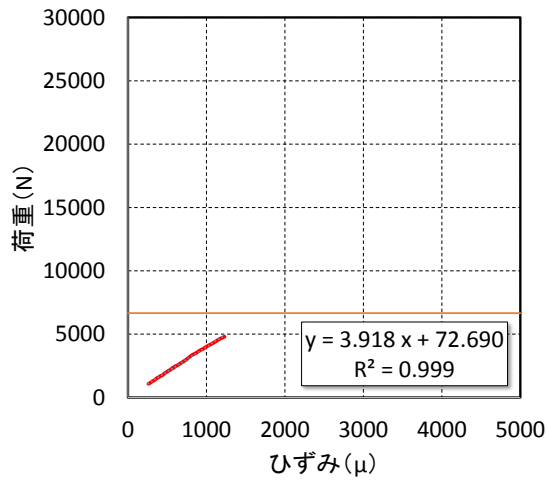
- 1) 単板積層材の日本農林規格，平成 25 年 11 月 12 日農林水産省告示第 2773 号，農林水産省．
- 2) Two Rail Shear Test は、ASTM D2719-89(2007) Standard Test Methods for Structural Panels In Shear Through-the-Thickness.
- 3) 構造用合板の手引き，東京合板工業組合／東北合板工業組合．

4.5 謝辞

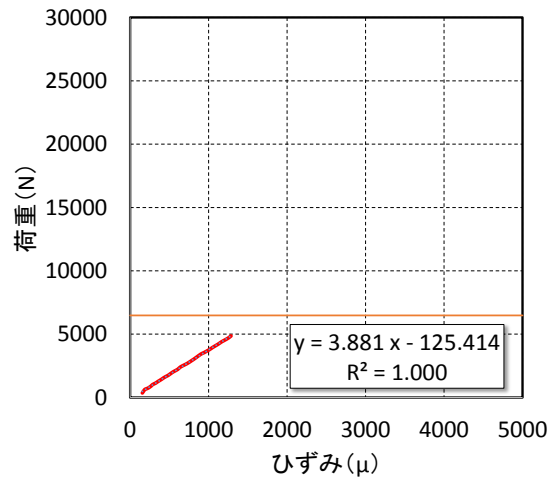
単板の面内せん断試験を行うにあたり、国立研究開発法人森林総合研究所の渋沢龍也氏、宮本康太氏にご指導と全面的なご支援を頂きました。ここに記して心より謝意を表します。

[付録1] 単板の試験体の荷重ひずみ曲線

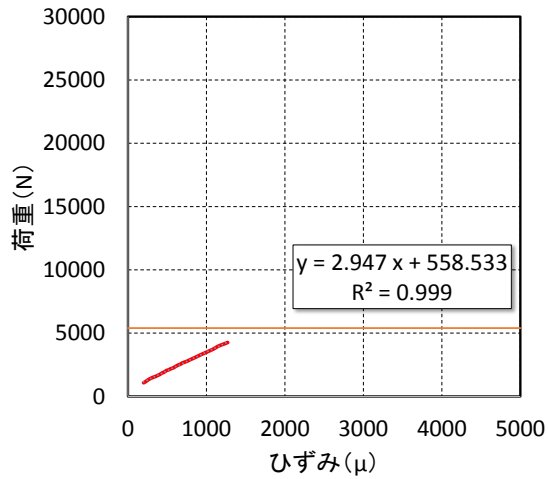
(1) スギ単板 繊維方向加力



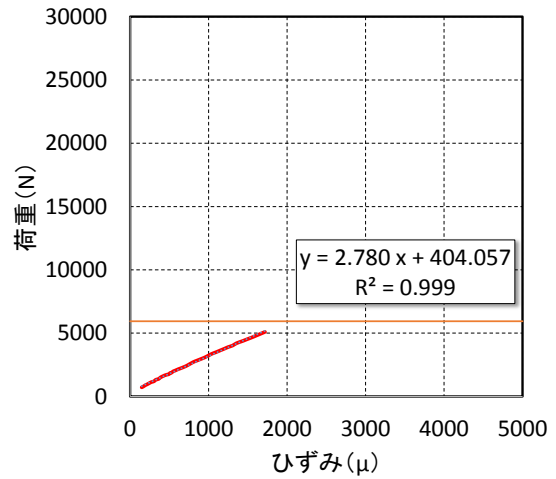
(a)S10-1



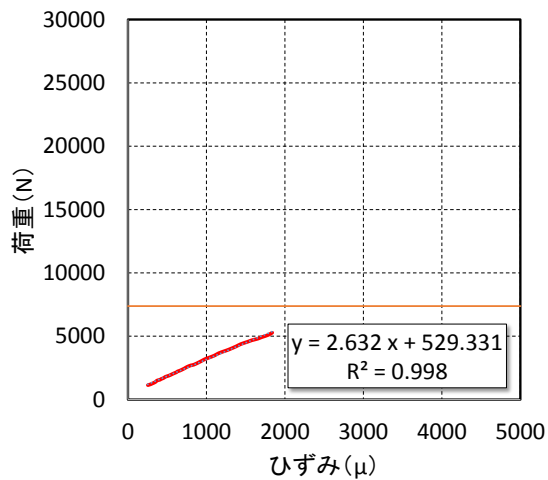
(b)S10-2



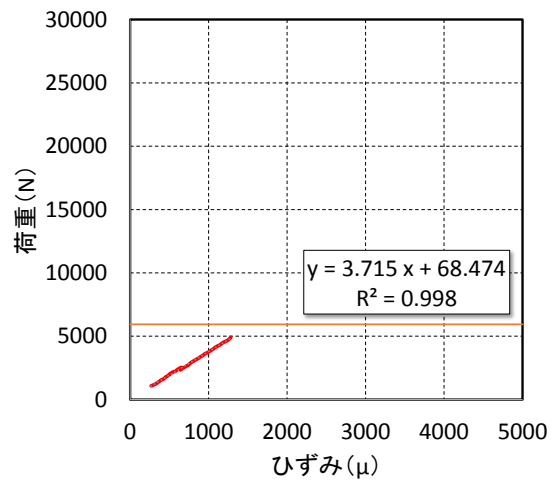
(c)S14-1



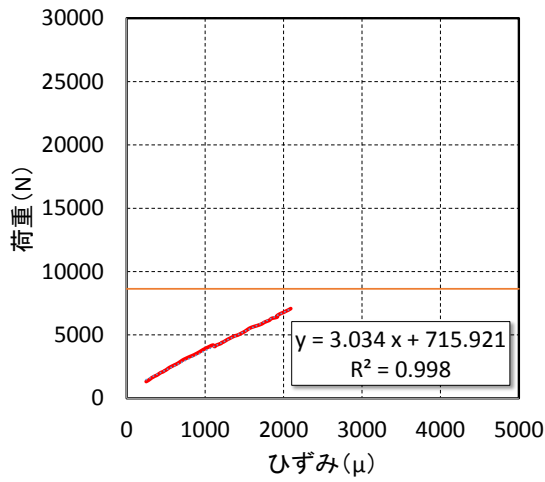
(d)S14-2



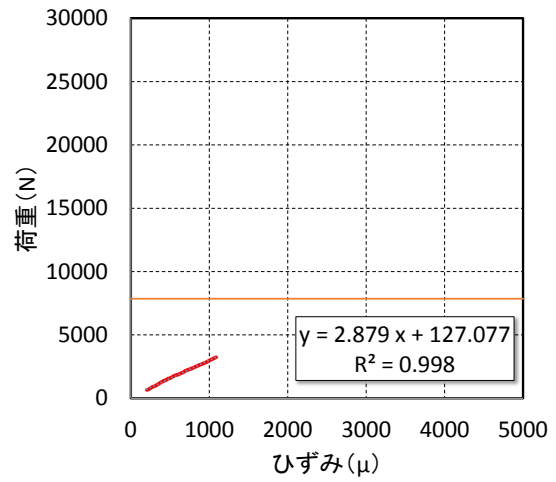
(e)S19-1



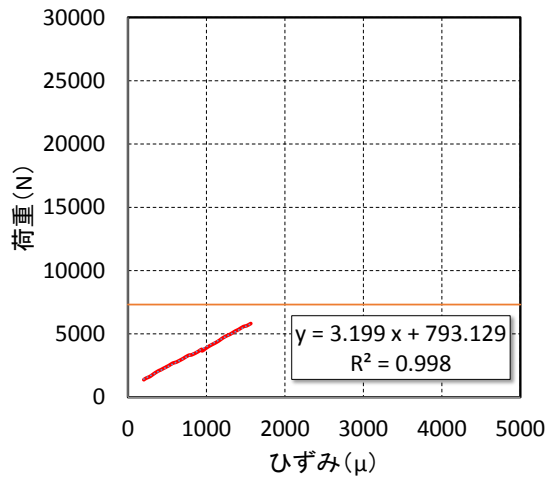
(f)S19-2



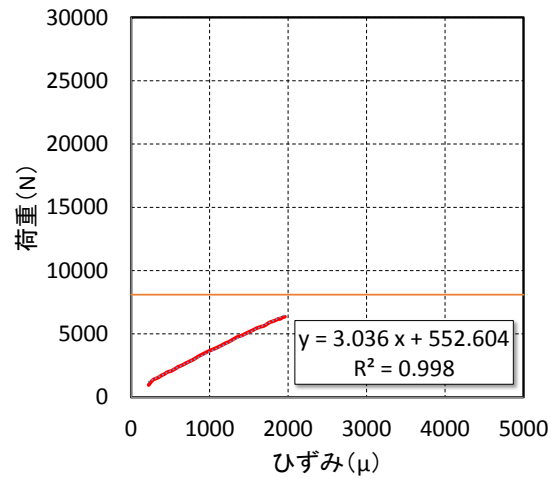
(g)S23-1



(h)S23-2



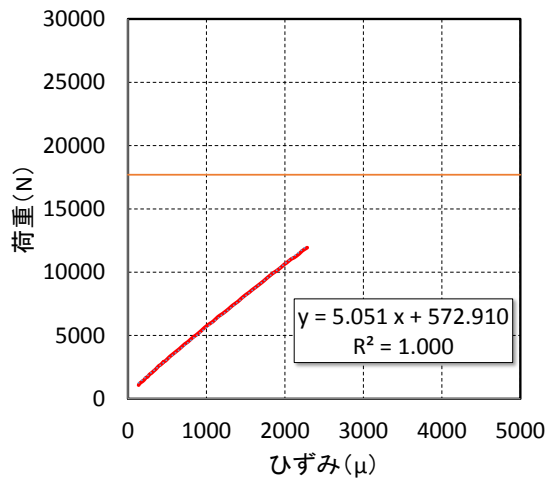
(i)S35-1



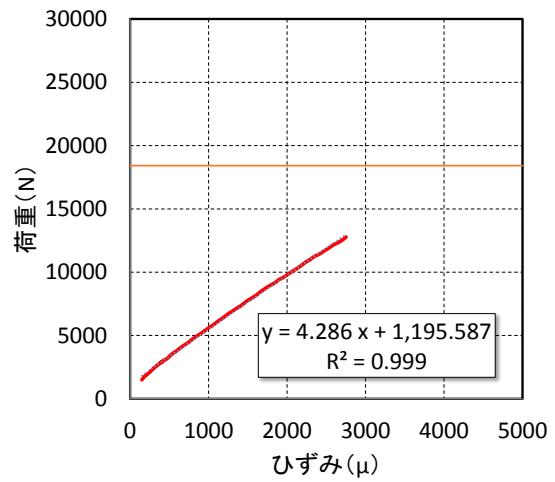
(j)S359-2

(注) 図中の橙色の横線は各試験体の最大荷重を示す。また、図中の赤線は荷重ひずみ曲線の一部であり、面内せん断弾性係数を求めるための P/Δ を同曲線部分より算出した。図中の回帰直線の式の係数が P/Δ となる。

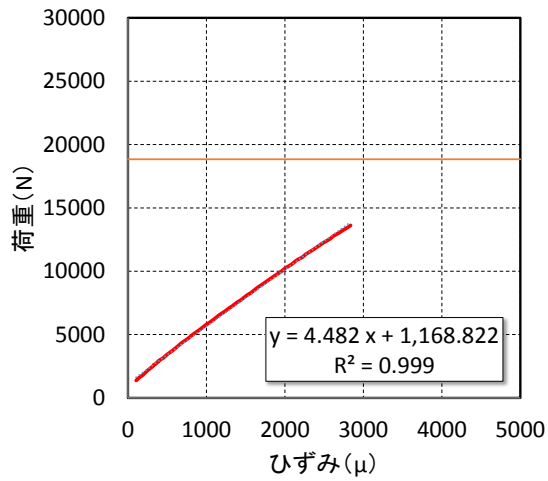
(2) スギ単板 繊維直交方向加力



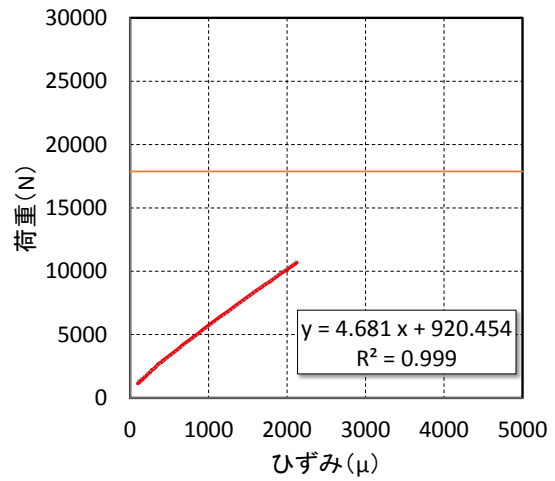
(a)S33-1



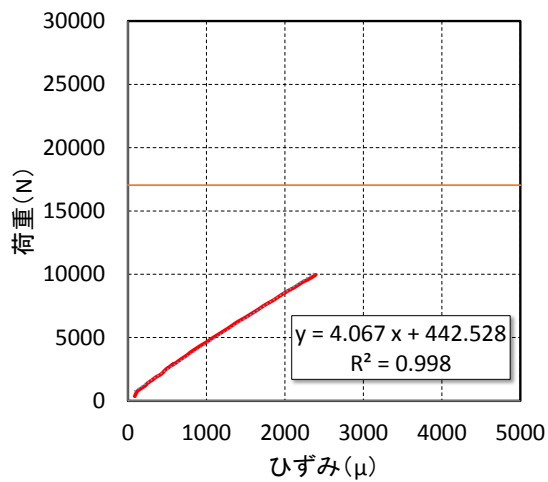
(b)S33-2



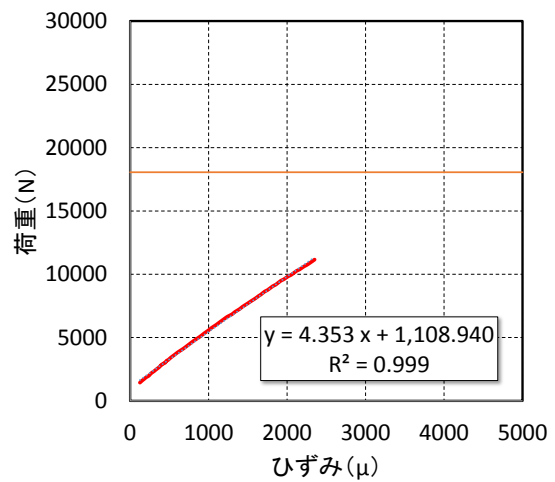
(c)S34-1



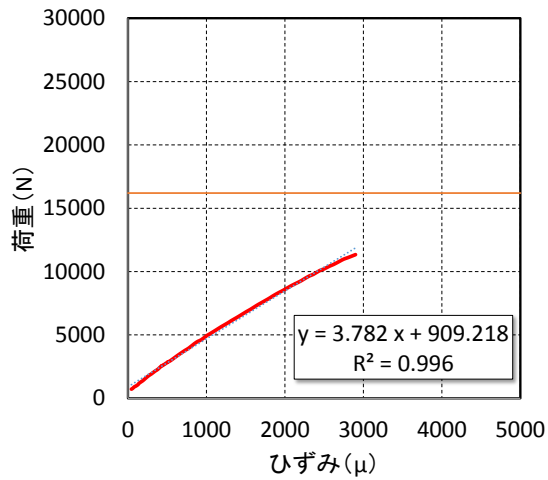
(d)S34-2



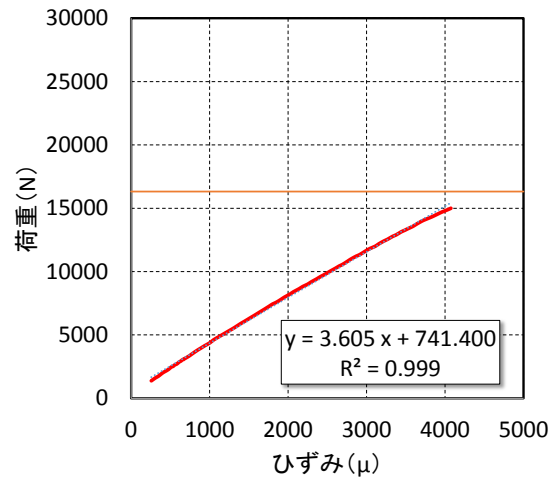
(e)S36-1



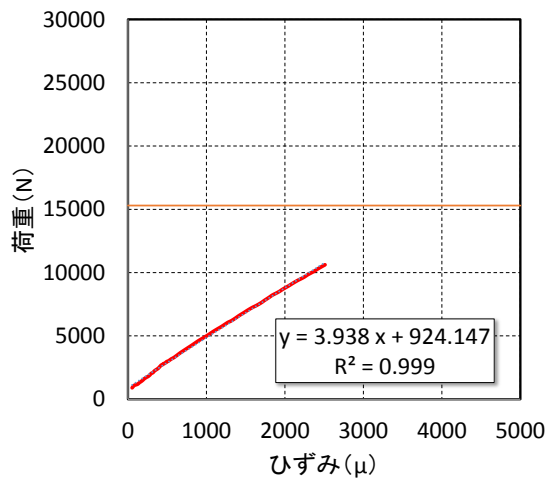
(f)S36-2



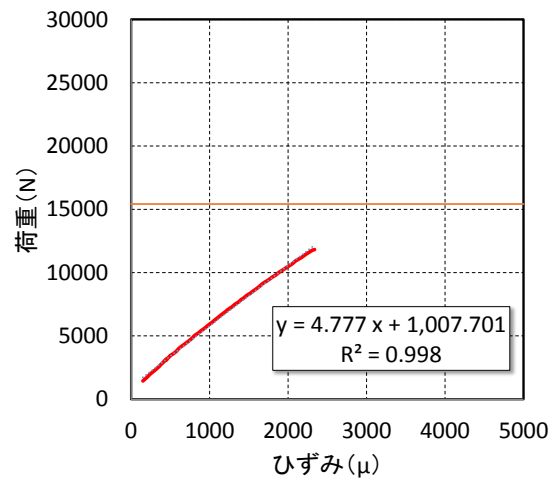
(g)S46-1



(h)S46-2



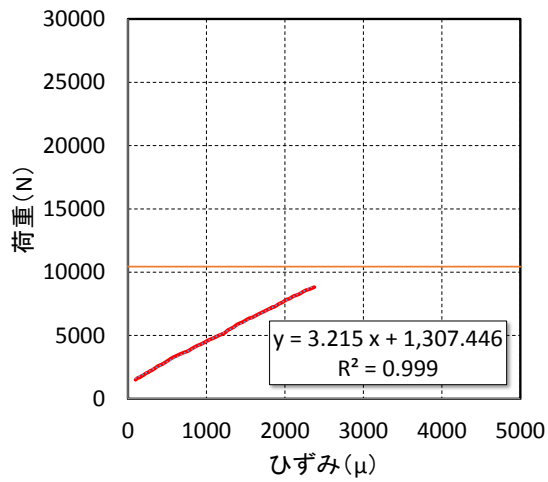
(i)S60-1



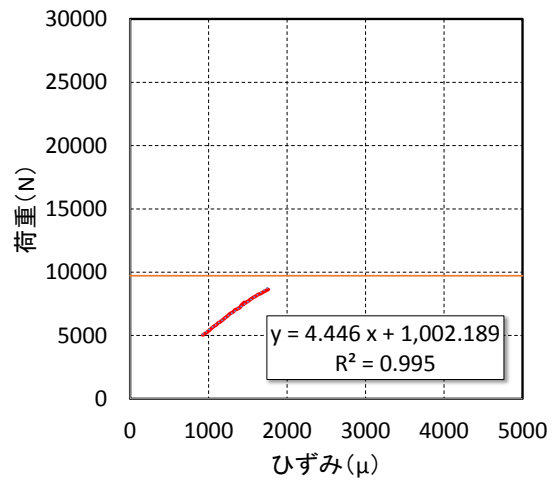
(j)S60-2

(注) 図中の橙色の横線は各試験体の最大荷重を示す。また、図中の赤線は荷重ひずみ曲線の一部であり、面内せん断弾性係数を求めるための P/Δ を同曲線部分より算出した。図中の回帰直線の式の係数が P/Δ となる。

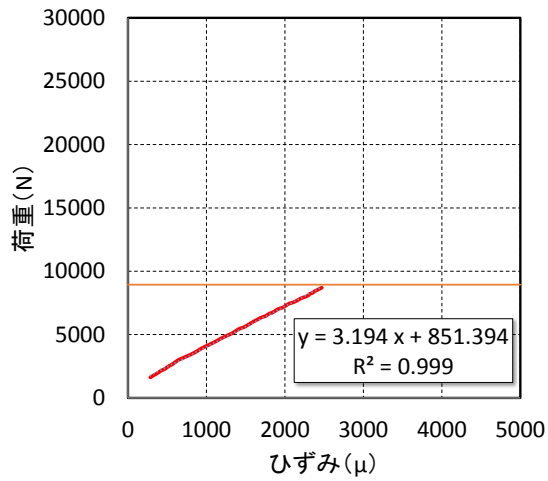
(3)カラマツ単板 繊維方向加力



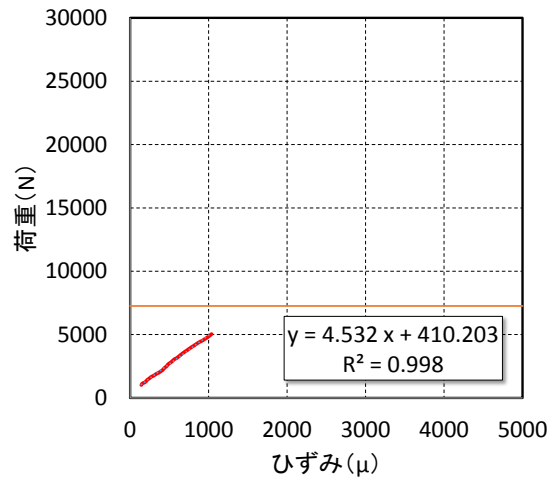
(a)K6-1



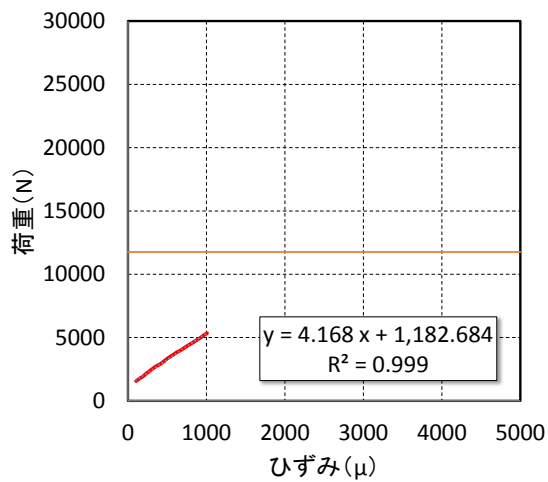
(b)K6-2



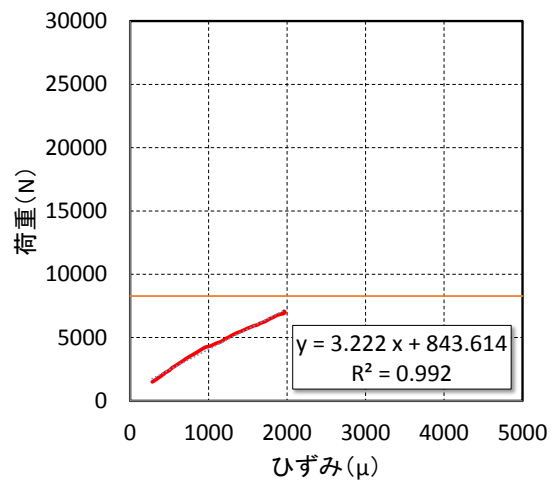
(c)K13-1



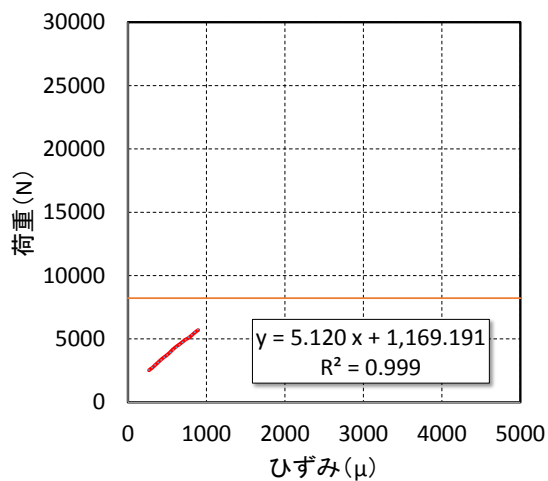
(d)K13-2



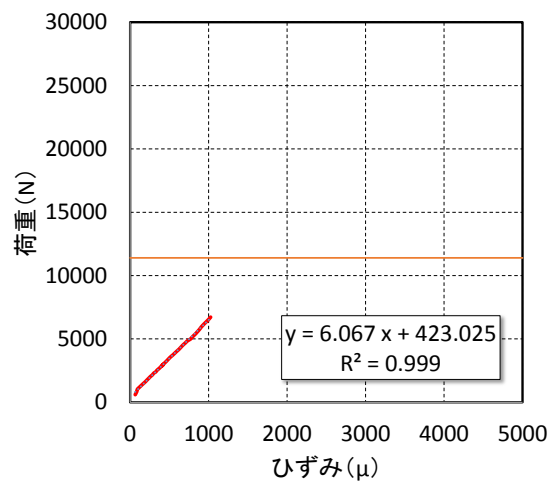
(e)K26-1



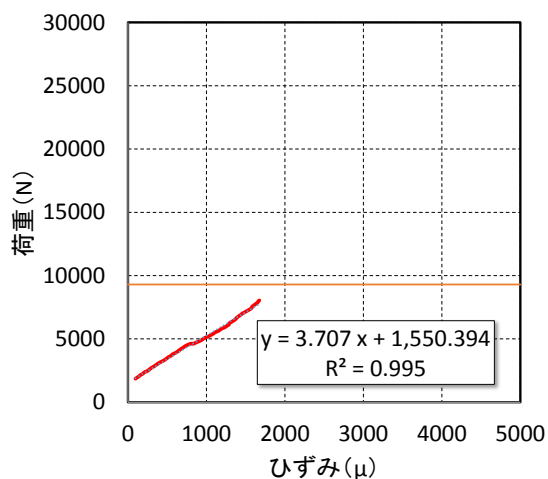
(e)K26-2



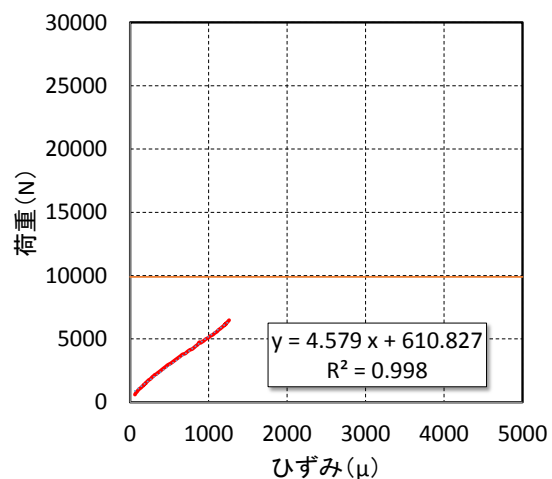
(f)K27-1



(g)K27-2



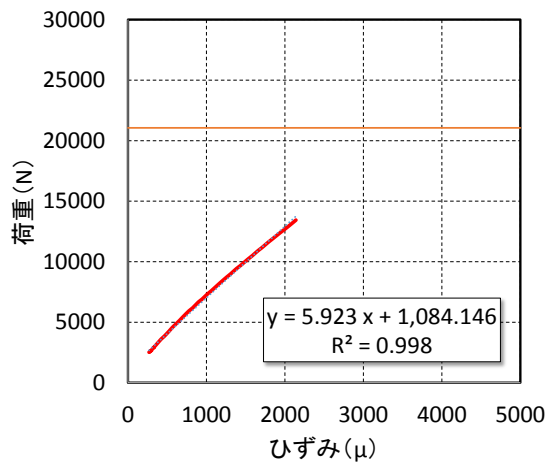
(h)K30-1



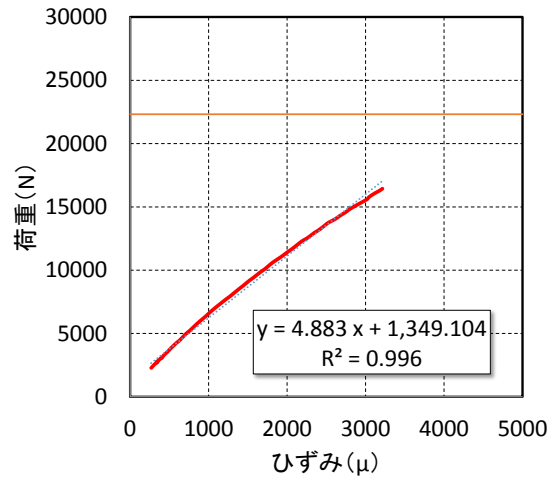
(i)K30-2

(注) 図中の橙色の横線は各試験体の最大荷重を示す。また、図中の赤線は荷重ひずみ曲線の一部であり、面内せん断弾性係数を求めるための P/Δ を同曲線部分より算出した。図中の回帰直線の式の係数が P/Δ となる。

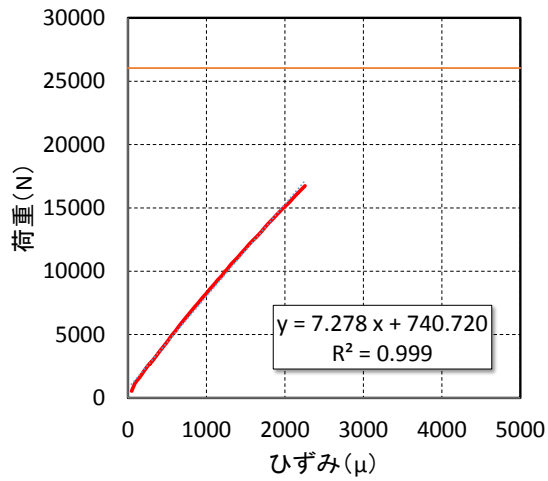
(4)カラマツ単板 繊維方向加力



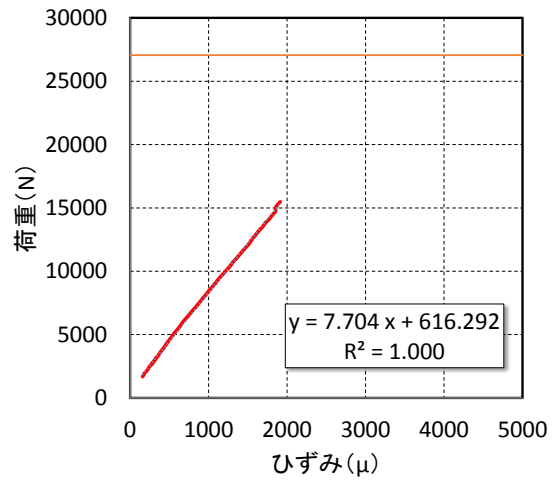
(a)K20-1



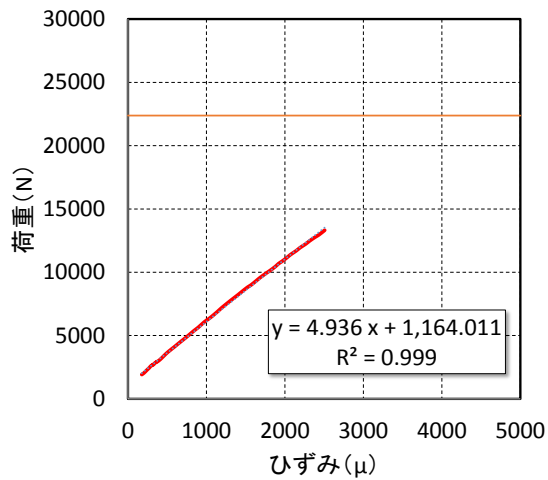
(b)K20-2



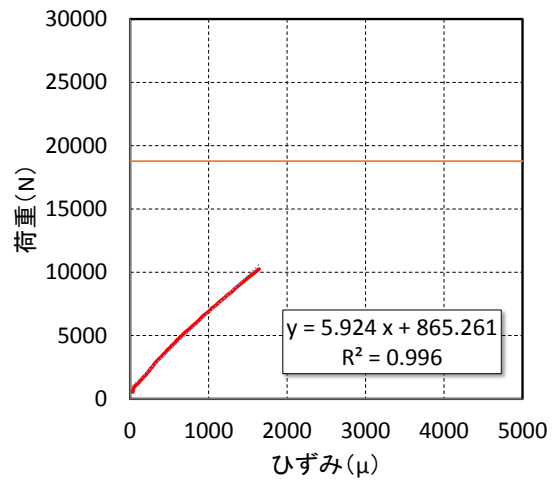
(c)K21-1



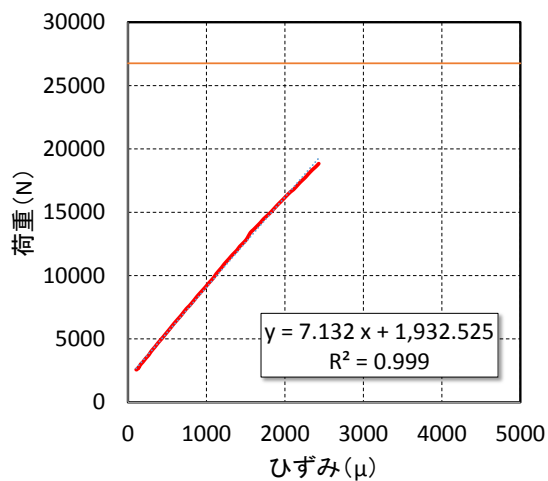
(d)K21-2



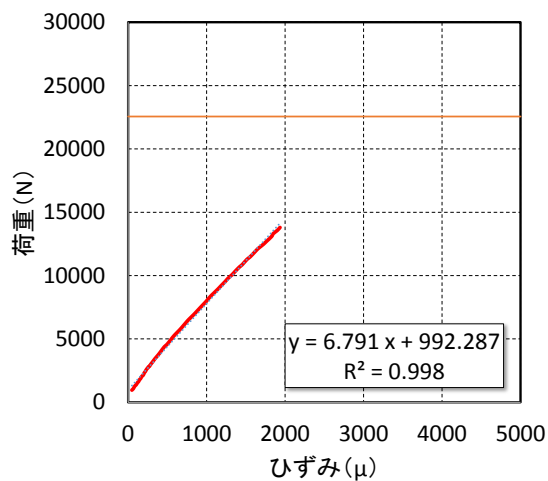
(e)K44-1



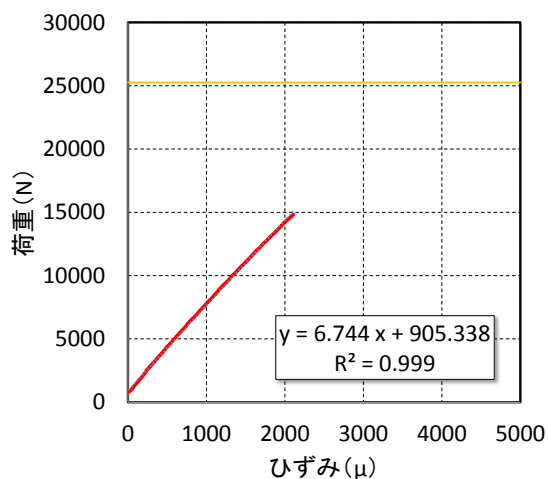
(f)K44-2



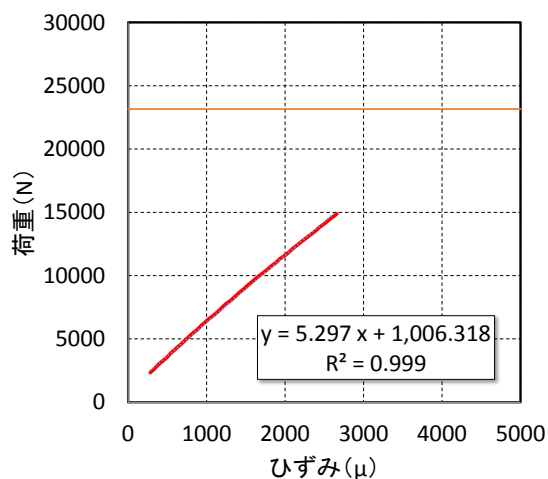
(g)K45-1



(h)K45-2



(i)K47-1



(j)K47-2

(注) 図中の橙色の横線は各試験体の最大荷重を示す。また、図中の赤線は荷重ひずみ曲線の一部であり、面内せん断弾性係数を求めるための P/Δ を同曲線部分より算出した。図中の回帰直線の式の係数が P/Δ となる。

第5章 合わせ梁性能検証

5.1 背景

中大規模木造建築の大スパンを形成する梁材には長尺でかつ梁せいの大きな材料が必要となる。一方でLVL材は、接着剤の硬化時間の制限より、一次接着にて製造が可能な材寸に制限が加わる。すなわち、長尺で、梁せいの大きい材は相対的に材幅が小さくならざるを得ない。

ところが、大スパンでかつ梁幅が小さい部材は容易に横座屈を引き起こしてしまうことが知られている。本章では、梁幅が小さい部材を3枚並べ、互いに構造用ビスで接合した部材を合わせ梁と呼称し、合せ梁の横座屈を含めた曲げ性能を検証する。また、そのために必要な合わせ梁のねじり剛性を測定する試験を実施した。

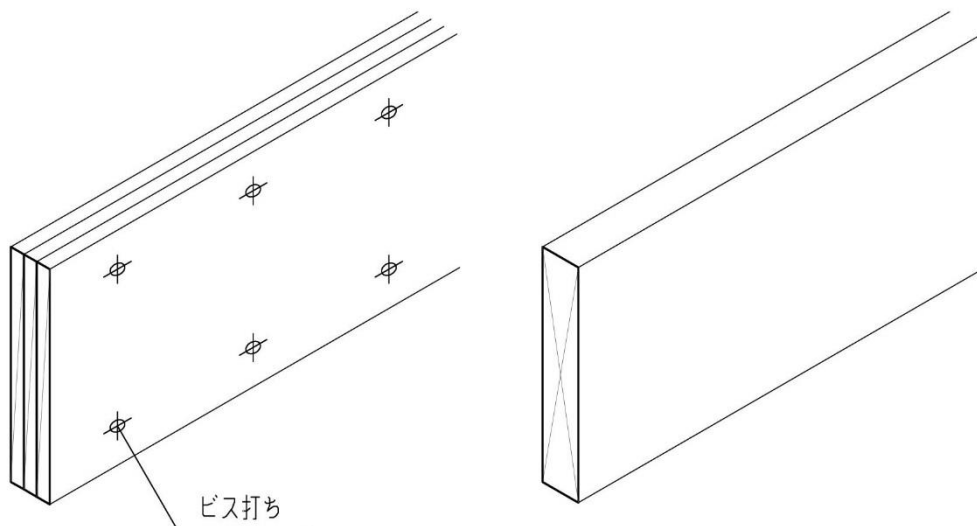


図 5.1.1 : 合わせ梁 (左) と無垢梁 (右)

5.1.1 せん断応力分布と設計規準による評価式

木質構造設計規準・同解説（日本建築学会）では、横座屈を考慮した曲げ許容応力度を低減係数により勘案し、式 5.1.1～式 5.1.5 式を与えている。

$$f_b' = C_b f_b \quad \text{式 5.1.1}$$

$$C_b = 1.0 \quad (C_s \leq 10) \quad \text{式 5.1.2}$$

$$C_b = 1 - \frac{\left(\frac{C_s}{C_k}\right)^4}{3} \quad (10 < C_s \leq C_k) \quad \text{式 5.1.3}$$

$$C_b = \frac{0.4E_{by-y0}}{C_s^2 \cdot f_{bx-x0}} \quad (C_k < C_s \leq 50) \quad \text{式 5.1.4}$$

$$C_b = 0 \quad (50 < C_s) \quad \text{式 5.1.5}$$

ここに、

$$f_b' = C_b f_b \quad : \text{横座屈許容応力度} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$C_s = \sqrt{l_e h / b^2} \quad : \text{横座屈細長比}$$

$$C_k = \sqrt{0.6E_{by-y0} / f_{bx-x0}} \quad : \text{横座屈係数}$$

$$l_e \quad : \text{有効横座屈長さ} \quad [\text{mm}]$$

$$h \quad : \text{材せい} \quad [\text{mm}]$$

$$b \quad : \text{材幅} \quad [\text{mm}]$$

$$E_{by-y0} \quad : \text{弱軸周りヤング係数} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$f_{bx-x0} \quad : \text{強軸周り長期許容曲げ応力度} \quad [\text{N/mm}^2]$$

式 5.1.1 は、木質材料の矩形断面の場合の許容応力度を与えるものであり、横座屈細長比 C_s は弾性座屈と非弾性座屈の境界を示す係数である。弾性座屈式 式 5.1.4 はひずみと境界条件の適合条件から計算により導出され、非弾性座屈式 式 5.1.3 は実験を基にした回帰曲線を用いて計算式を導いているものと推測される。

式 5.1.1 に梁幅を合わせ梁の全幅見込む、すなわち $b=3B$ とできるのはねじり応力により生じるせん断力に対して部材が図 5.1.2(a)のように十分剛である場合に限り、(b) のように境界面にてせん断力が伝達されないような場合には、幅を $b=B$ として許容応力度を計算するのが適切である。

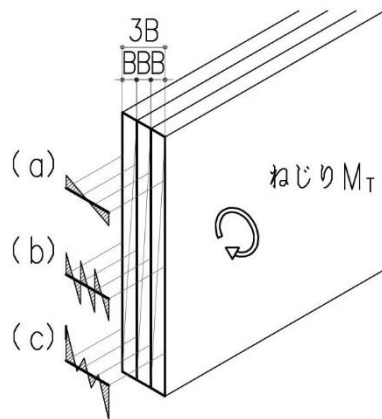


図 5.1.2 : 合わせ梁のねじりモーメントに対するせん断力の分布パターン

5.1.2 弾性論による評価式

ところが、図 5.1.2 (c) のように境界面がせん断剛性を持ち応力を伝達する場合には、式 5.1.1 では横座屈モーメントを適切に評価することができない。そこで、あらゆる弾性体に適用可能な、自由ねじりの一般方程式として、以下の式 5.1.6 を基にした計算方法により、弾性座屈域における横座屈の許容応力を算定することを考える。

$$M_{cro} = \frac{\pi}{l_e} \sqrt{E_{by-y_0} I_y G J_T} \quad \text{式 5.1.6}$$

ここに、

| | | |
|-----------|-----------------|----------------------|
| M_{cro} | : 横座屈モーメント | [Nmm] |
| I_y | : 弱軸周り断面二次モーメント | [mm ⁴] |
| J_T | : 自由ねじり剛性 | [mm ⁴] |
| G | : せん断弾性係数 | [N/mm ²] |

矩形断面の自由ねじり剛性 J_T は、近似値として以下にて与えられる。

$$J_T = \beta h b^3$$

$$\beta = \frac{1}{3} - 0.21 \frac{b}{h} + 0.0175 \left(\frac{b}{h}\right)^5$$

5.1.3 規準式と弾性論式の比較

式 5.1.1 及び 式 5.1.4 は式 5.1.6 を代入計算、およびパラメタを消去することで式を簡略化し、安全係数を乗じたものである。本項にてこれを検証していく。

$$M_{cro} = \frac{\pi}{l_e} \sqrt{E_{by-y_0} I_y G J_T} \quad \text{式 5.1.6}$$

<代入計算 ; $G = E_{by-y_0}/15$, $I_y = b^3 h/12$, $J_T = \beta b^3 h$, $\pi = 3.14$ >

$$M_{cro} = 0.234 \sqrt{\beta} \times \frac{E_{by-y_0} b^3 h}{l_e} \quad \text{式 5.1.7}$$

一方、梁材の長期許容曲げ応力 M_{bL} は以下で与えられる。

$$M_{bL} = \frac{f_{bx-x_0} b h^2}{6} \quad \text{式 5.1.8}$$

式 5.1.7, 式 5.1.8 より、

$$\frac{M_{cro}}{M_{bL}} = 1.405 \sqrt{\beta} \times \frac{E_{by-y_0} b^2}{f_{bx-x_0} l_e h}$$

<代入計算 ; $C_s = \sqrt{l_e h/b^2}$, $C_k = \sqrt{0.6 E_{by-y_0}/f_{bx-x_0}}$ >

$$\frac{M_{cro}}{M_{bL}} = 2.34 \sqrt{\beta} \times \left(\frac{C_k}{C_s}\right)^2$$

<代入計算 ; $C_b = \frac{2}{3} \left(\frac{C_k}{C_s}\right)^2$ >

$$\frac{M_{cro}}{M_{bL}} = 3.51 \sqrt{\beta} \times C_b \equiv S \times C_b$$

これより、設計規準式における安全係数 S は、

$$S = 3.51 \sqrt{\beta}$$

ここで、横座屈の恐れがある梁部材として、 $h/b > 4.0$ と仮定すると、

$$1.857 < S = 3.51 \sqrt{\beta} < 2.026$$

以上より、設計規準式 式 5.1.1, 式 5.1.4 による長期許容応力は、弾性論による横座屈モーメントの解に対して、安全係数として概ね 2 を考慮した値であるといえる。

5.2 自由ねじり剛性測定試験

合わせ梁の式 5.1.6 における自由ねじり剛性 GJ_T を計測するために試験を行う。同時に、合わせ梁を構成する接合具の配置間隔とねじり剛性との相関性を調べるため、A 種 LVL, B 種 LVL それぞれについて接合具の配置間隔を 6 種類ずつ設定し、計 12 体の試験体のねじり剛性を測定した。

自由ねじりにおけるねじり剛性とねじりモーメントの関係は以下式で表現できる。

$$GJ_T = M_s / \frac{d\theta}{dl}$$

ここに、

| | | |
|--------------|------------|----------|
| M_s | : ねじりモーメント | [Nm] |
| $d\theta/dl$ | : 比ねじれ角 | [rad./m] |

5.2.1 試験体

試験に用いた構造用単板積層材は、以下表 5.2.1、表 5.2.2 の通りであり、試験体の構成を表 5.2.3、図 5.2.1 に示す。LVL 材試験体の寸法と数量を表 5.2.4 に、ビス配置を図 5.2.2 に示す。

表 5.2.1 構造用単板積層材の仕様

| 項目 | A 種試験体仕様 | B 種試験体仕様 |
|-----------|--------------|--------------|
| 規格 | 単板積層材の日本農林規格 | 単板積層材の日本農林規格 |
| 厚さ | 38mm | 50mm |
| 水平せん断区分 | 55V-47H | 40V-26H |
| 曲げヤング係数区分 | 120E-385F | 80E-215F |
| 単板樹種 | カラマツ | カラマツ |
| 接着剤の種類 | フェノール樹脂系接着剤 | フェノール樹脂系接着剤 |

表 5.2.2 構造用単板積層材の単板構成

| 区分 | 積層数合計 | 層構成； □：平行層 ■：直交層 |
|-----|-------|------------------|
| A 種 | 13 | □□□□□□□□□□□□ |
| B 種 | 16 | □□■□□□■□□■□□□■□□ |

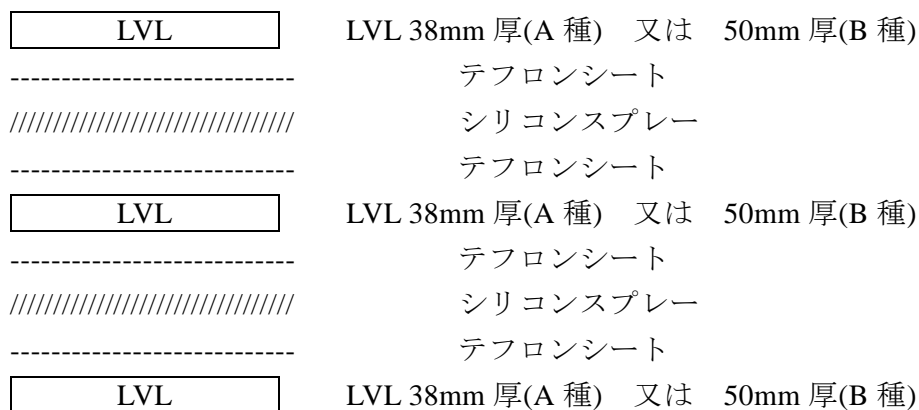


図 5.2.1 : 合わせ梁の構成要素

表 5.2.3 合わせ梁の構成材料

| 項目 | A 種試験体仕様 | B 種試験体仕様 |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 積層枚数 | 構造用単板積層材 3 枚 | 造用単板積層材 3 枚 |
| テフロンシート | ヨドフロン 材質：PTTE t0.05mm×w600mm×L10m | ヨドフロン 材質：PTTE t0.05mm×w600mm×L10m |
| シリコンスプレー | HS シリコンスプレー007 | HS シリコンスプレー007 |
| ビス仕様 | パネリードⅡ+ P6×110 東日本パワーファスニング製 | パネリードⅡ+ P6×135 東日本パワーファスニング製 |
| ビス仕様 | パネリード X P8×110 東日本パワーファスニング製 | パネリード X P8×140 東日本パワーファスニング製 |

表 5.2.4 試験体の寸法と数量

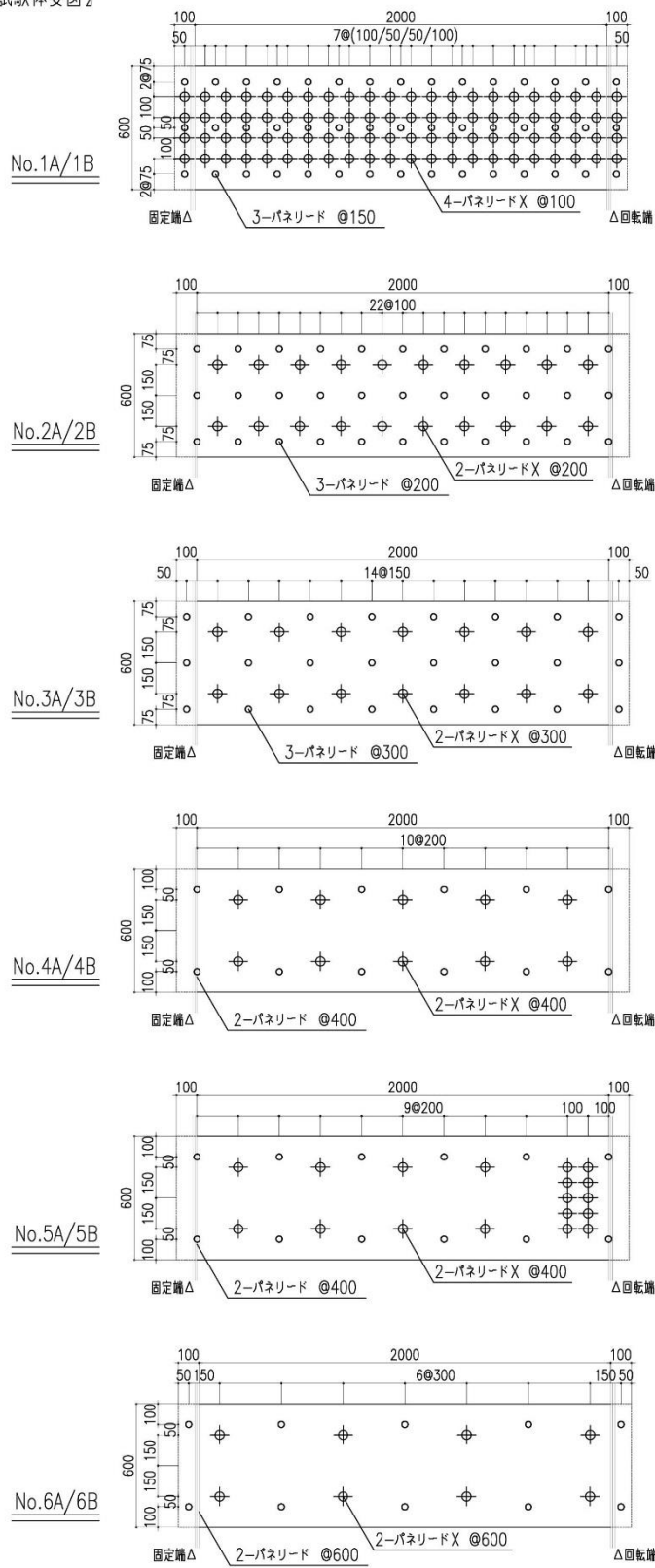
| 試験体名 | 区分 | 試験体寸法 | P _X | P _Ⅱ | 試験体数 |
|------|-----|--------------------|----------------|----------------|------|
| | | 幅×せい×長さ[mm] | [本][mm] | [本][mm] | |
| 1A | A 種 | 114(3×38)×600×2200 | 4 本@100 | 3 本@150 | 1 体 |
| 2A | A 種 | 114(3×38)×600×2200 | 2 本@200 | 3 本@200 | 1 体 |
| 3A | A 種 | 114(3×38)×600×2200 | 2 本@300 | 3 本@300 | 1 体 |
| 4A | A 種 | 114(3×38)×600×2200 | 2 本@400 | 2 本@400 | 1 体 |
| 5A | A 種 | 114(3×38)×600×2200 | 2 本@400 | 2 本@400 | 1 体 |
| 6A | A 種 | 114(3×38)×600×2200 | 2 本@600 | 2 本@600 | 1 体 |
| 1B | B 種 | 150(3×50)×600×2200 | 4 本@100 | 3 本@150 | 1 体 |
| 2B | B 種 | 150(3×50)×600×2200 | 2 本@200 | 3 本@200 | 1 体 |
| 3B | B 種 | 150(3×50)×600×2200 | 2 本@300 | 3 本@300 | 1 体 |
| 4B | B 種 | 150(3×50)×600×2200 | 2 本@400 | 2 本@400 | 1 体 |
| 5B | B 種 | 150(3×50)×600×2200 | 2 本@400 | 2 本@400 | 1 体 |
| 6B | B 種 | 150(3×50)×600×2200 | 2 本@600 | 2 本@600 | 1 体 |

表 5.2.4 において、

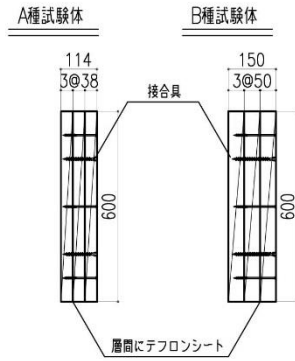
P_X: 構造用ビス「パネリード X」の 1 列の配置本数と間隔

P_Ⅱ: 構造用ビス「パネリードⅡ+」の 1 列の配置本数と間隔

【試験体姿図】



【試験体断面図】



○ パネリドⅡ _L110[A種] 又は 135[B種]
 ⊕ パネリドX _L110[A種] 又は 140[B種]

図 5.2.2 合わせ梁のビス配置図

5.2.2.試験方法

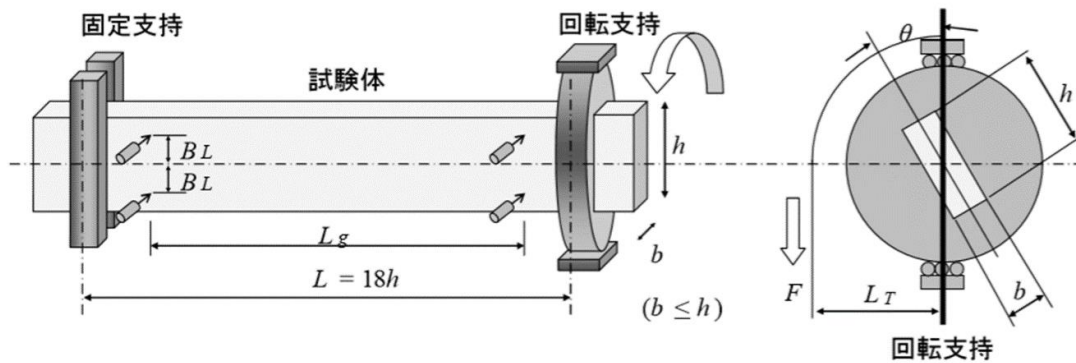


図 5.2.3 : ねじり試験概要

試験概要を図 5.2.3 に示すように、構造用木材の強度試験マニュアル（平成 23 年 3 月財団法人 日本住宅・木材技術センター）の I. 構造用木材の強度試験法の 12.1 静的ねじり試験による方法を参照し試験を行った。ただし、比較的大きな比ねじれ角時の挙動を観察する目的で、試験体長は標準試験体の 10,800mm 以上の代わりに、2,200mm とした。

また、図 5.2.3 における $L_g=1,800$ mm , $BL=200$ mm , $L_T=300$ mm とした。

試験状況写真



写真 5.2.1 試験状況全景



写真 5.2.2 試験体全景



写真 5.2.3 回転側装置



写真 5.2.4 回転側装置



写真 5.2.5 固定側



写真 5.2.6 加力状況



写真 5.2.7 加力時 固定側状況



写真 5.2.8 加力時 固定側状況



写真 5.2.9 加力後パネリードII*変形状況

5.2.3.試験結果

試験体の実測寸法及び最大応力を以下表 5.2.5 に示し、割線剛性を表 5.2.6 にまとめた。

表 5.2.5 試験体実測寸法と最大応力

| 試験体名 | 重量 | 全長 | 幅 | 厚 | 密度 | Pmax | 回転角 | 備考 |
|------|--------|------|--------|--------|----------------------|-------|-------|------|
| | [kg] | [mm] | [mm] | [mm] | [kg/m ³] | kN | rad. | |
| 1A | 94.42 | 2201 | 115.18 | 601.92 | 619 | 26.38 | 0.573 | 破壊なし |
| 2A | 93.94 | 2200 | 115.38 | 601.51 | 615 | 25.00 | 0.569 | 同上 |
| 3A | 93.42 | 2199 | 115.24 | 601.85 | 613 | 23.54 | 0.575 | 同上 |
| 4A | 93.39 | 2200 | 115.41 | 602.45 | 611 | 24.07 | 0.584 | 同上 |
| 5A | 93.06 | 2200 | 115.55 | 602.00 | 608 | 23.75 | 0.580 | 同上 |
| 6A | 90.34 | 2200 | 115.14 | 601.64 | 593 | 22.93 | 0.590 | 同上 |
| 1B | 124.00 | 2200 | 149.24 | 600.38 | 629 | 44.01 | 0.542 | 破壊なし |
| 2B | 117.84 | 2200 | 148.73 | 600.45 | 600 | 38.91 | 0.549 | 同上 |
| 3B | 119.17 | 2100 | 149.05 | 600.35 | 605 | 39.36 | 0.553 | 同上 |
| 4B | 119.96 | 2200 | 149.13 | 600.27 | 609 | 38.26 | 0.552 | 同上 |
| 5B | 121.11 | 2200 | 149.36 | 600.12 | 614 | 37.16 | 0.544 | 同上 |
| 6B | 118.65 | 2200 | 148.85 | 600.29 | 604 | 36.54 | 0.555 | 同上 |

表 5.2.6 試験体仕様と割線剛性

| 名称 | 区分 | 等級 | 梁寸法 | GJ_{T0} | K_i | K_m | γ |
|----|-----|----------|---------|--------------------|-------|-------|----------|
| | | | [mm] | [kNm / (rad./m)] | | | |
| 1A | A 種 | E120-1 級 | 114×600 | 25.3 | 69.1 | 25.9 | 2.73 |
| 2A | A 種 | E120-1 級 | 114×600 | 25.3 | 54.4 | 24.9 | 2.15 |
| 3A | A 種 | E120-1 級 | 114×600 | 25.3 | 46.6 | 25.0 | 1.84 |
| 4A | A 種 | E120-1 級 | 114×600 | 25.3 | 37.4 | 25.1 | 1.48 |
| 5A | A 種 | E120-1 級 | 114×600 | 25.3 | 44.3 | 25.1 | 1.75 |
| 6A | A 種 | E120-1 級 | 114×600 | 25.3 | 37.6 | 23.6 | 1.49 |
| 1B | B 種 | E80-1 級 | 150×600 | 37.9 | 125.3 | 40.9 | 3.30 |
| 2B | B 種 | E80-1 級 | 150×600 | 37.9 | 95.7 | 36.8 | 2.53 |
| 3B | B 種 | E80-1 級 | 150×600 | 37.9 | 88.5 | 37.6 | 2.34 |
| 4B | B 種 | E80-1 級 | 150×600 | 37.9 | 77.5 | 38.4 | 2.04 |
| 5B | B 種 | E80-1 級 | 150×600 | 37.9 | 78.5 | 37.5 | 2.07 |
| 6B | B 種 | E80-1 級 | 150×600 | 37.9 | 70.6 | 37.9 | 1.86 |

表 5.2.6 中の各記号は以下。割線剛性の取り方は後述による。

- GJ_{T0} : 合わせ梁 3 層のねじり剛性の理論値の単純和
ここではせん断弾性係数 $G=E/15$ として算出している。
- K_i : 0.005rad./m 時 - 0.010rad./m 時 の区間を結んだ割線剛性による、
初期ねじり剛性
- K_m : 0.10rad./m 時 - 0.20rad./m 時 の区間を結んだ割線剛性による、
中期ねじり剛性
- γ : 初期ねじり剛性比。= K_i/GJ_{T0}

ねじり剛性

以降図における近似直線の勾配がねじり剛性に相当する。

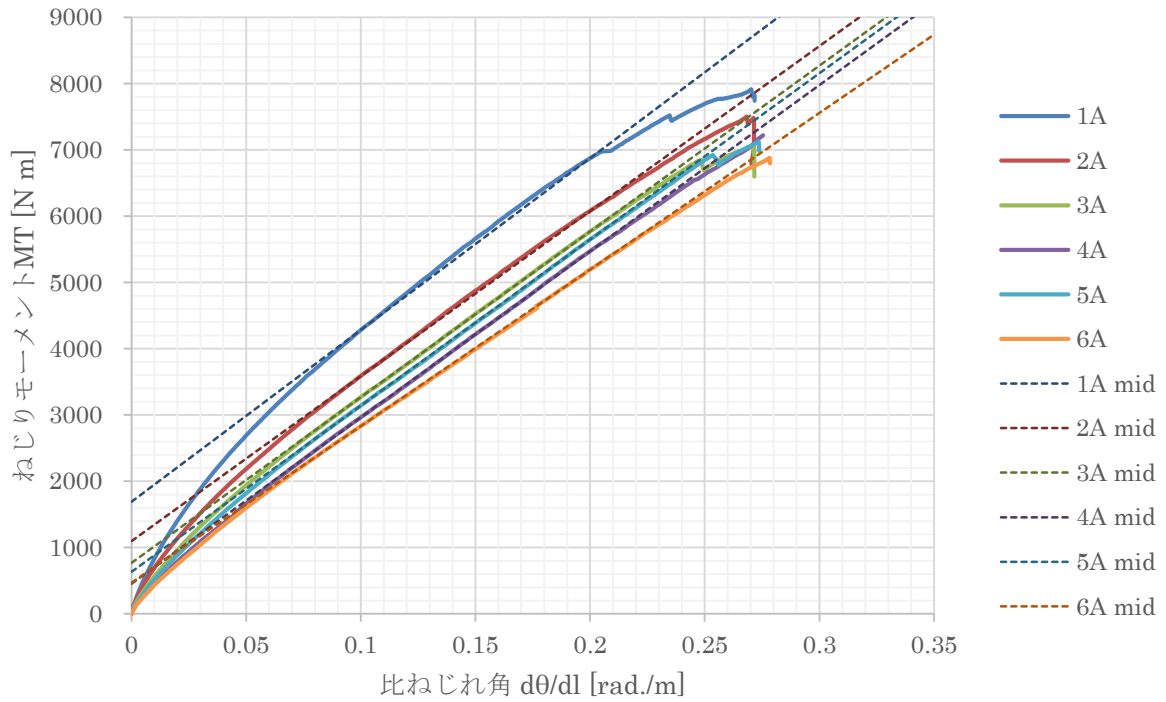


図 5.2.5 試験体 1A - 6A ねじり剛性

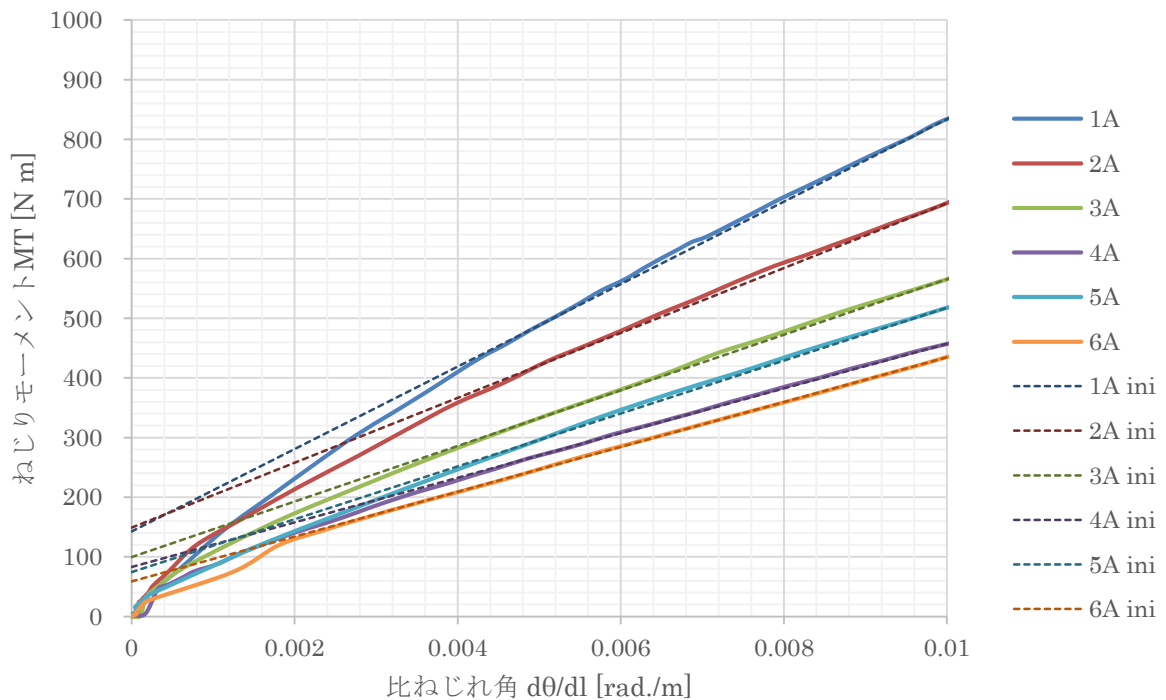


図 5.2.6 試験体 1A - 6A 初期ねじり剛性拡大図

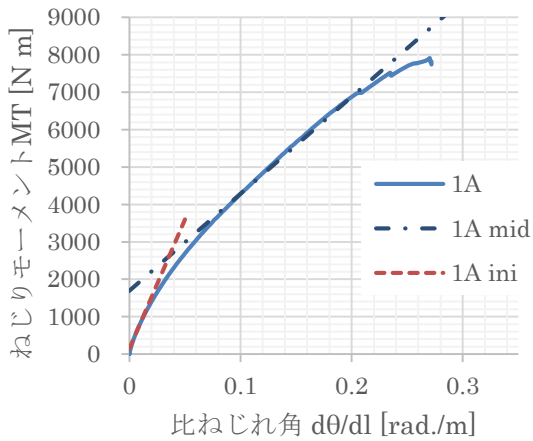


図 5.2.7 試験体 1A ねじり剛性

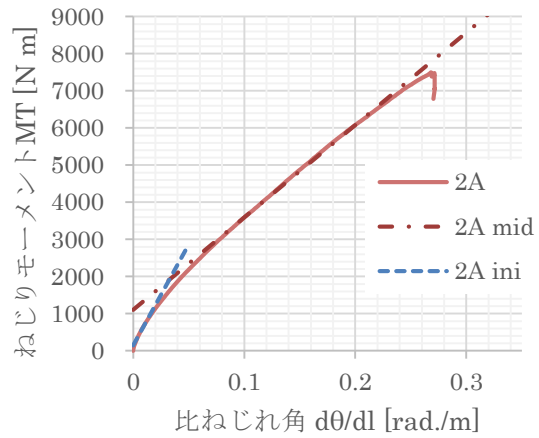


図 5.2.8 試験体 2A ねじり剛性

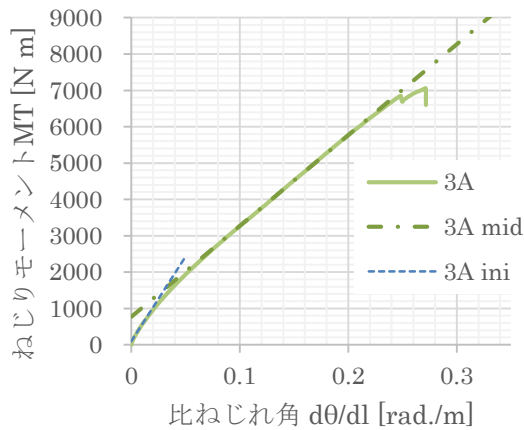


図 5.2.9 試験体 3A ねじり剛性

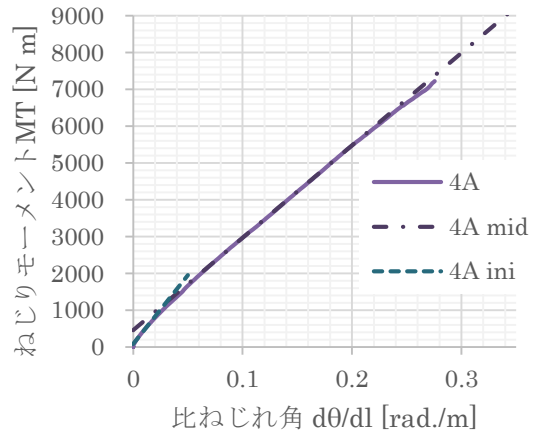


図 5.2.10 試験体 4A ねじり剛性

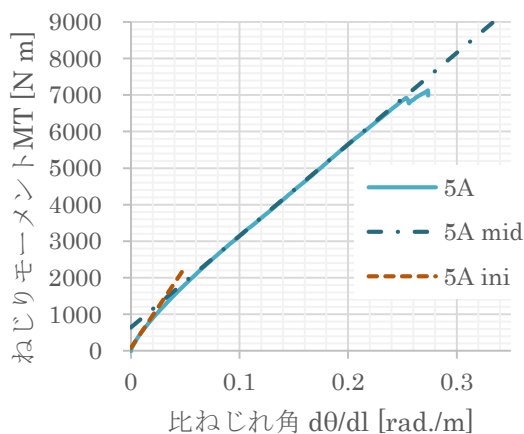


図 5.2.11 試験体 5A ねじり剛性

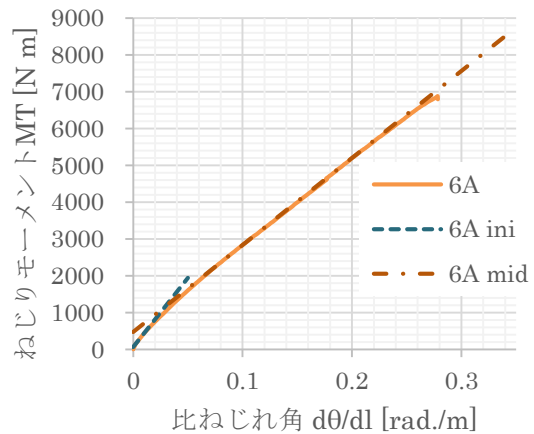


図 5.2.12 試験体 6A ねじり剛性

注) 以上図において、

ini: 0.005rad./m 時 - 0.010rad./m 時

mid: 0.10rad./m 時 - 0.20rad./m 時

の区間を結んだ直線

の区間を結んだ直線

ねじり剛性

以降図における近似直線の勾配がねじり剛性に相当する。

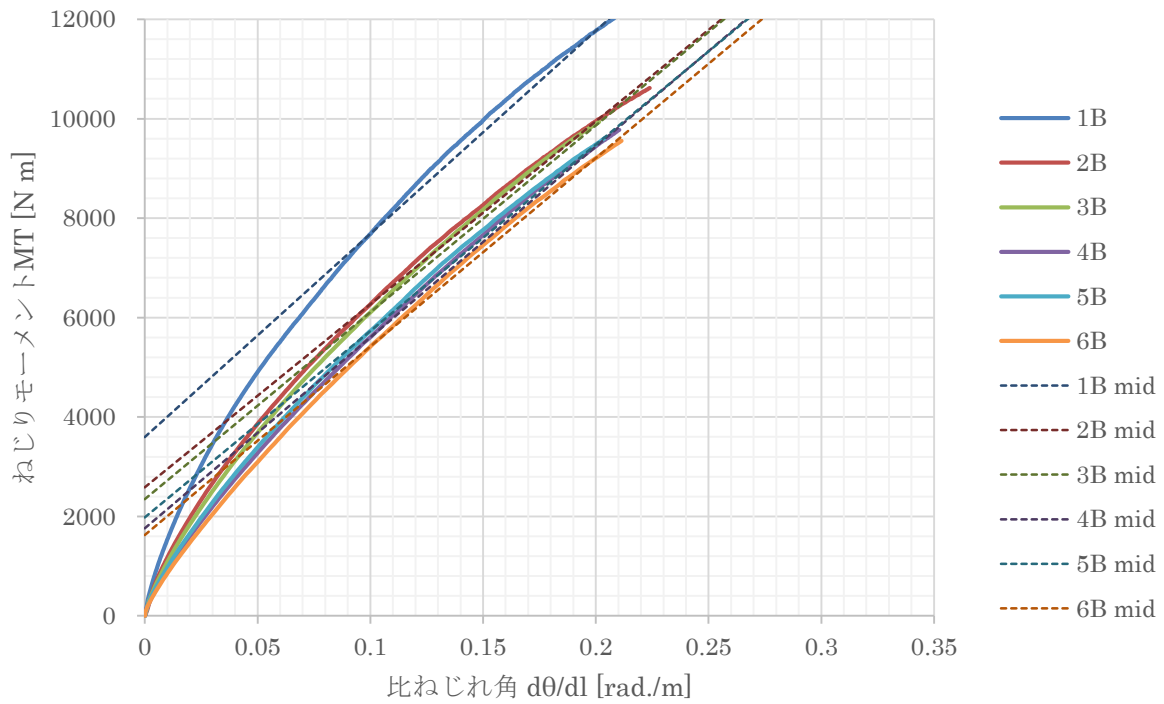


図 5.2.13 試験体 1B - 6B ねじり剛性

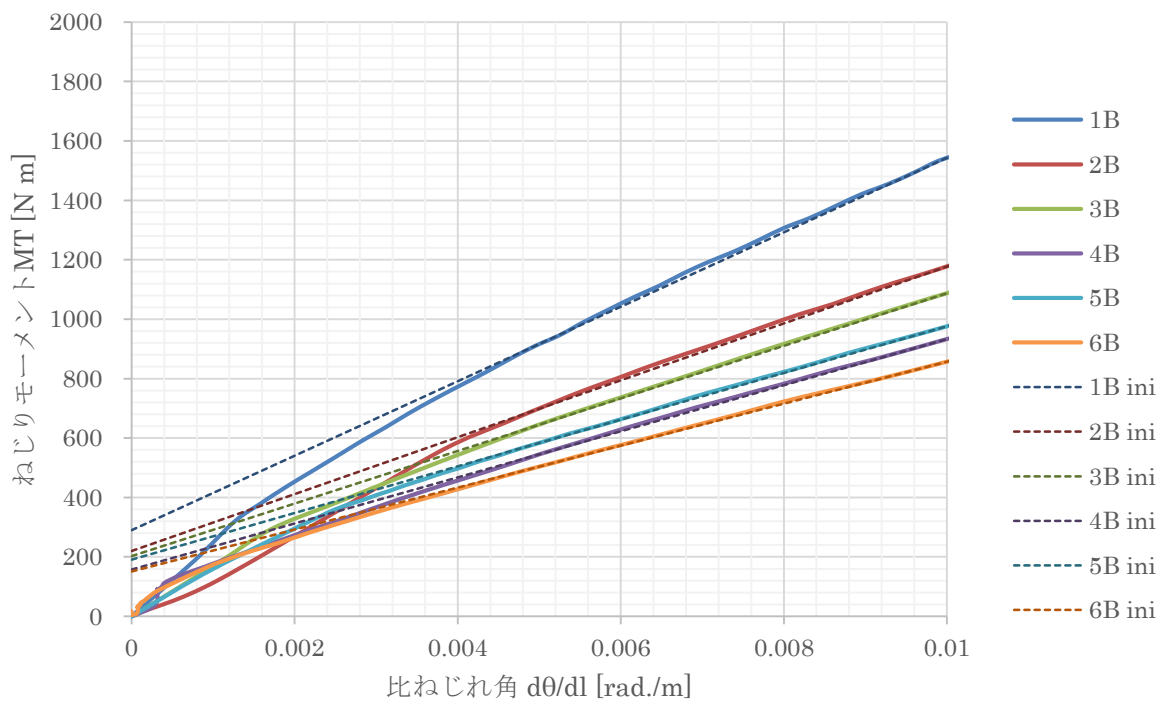


図 5.2.14 試験体 1B - 6B 初期ねじり剛性拡大図

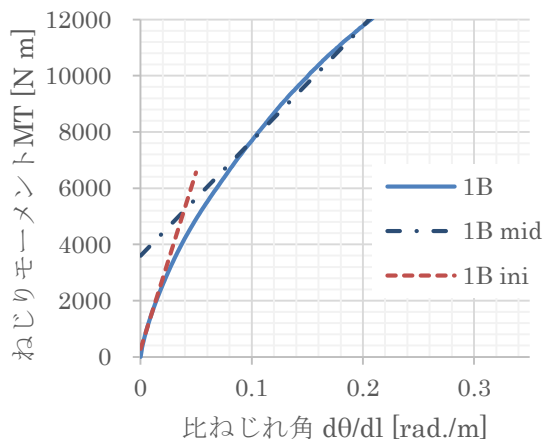


図 5.2.15 試験体 1B ねじり剛性

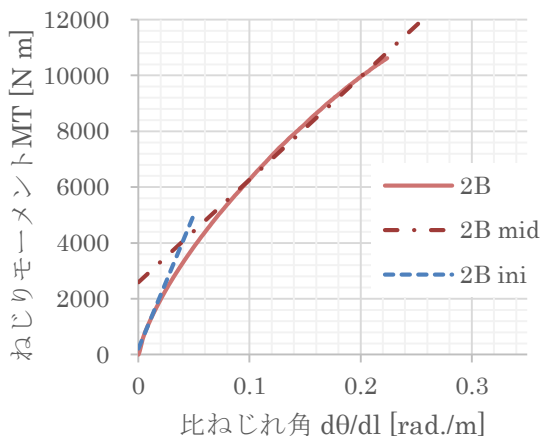


図 5.2.16 試験体 2B ねじり剛性

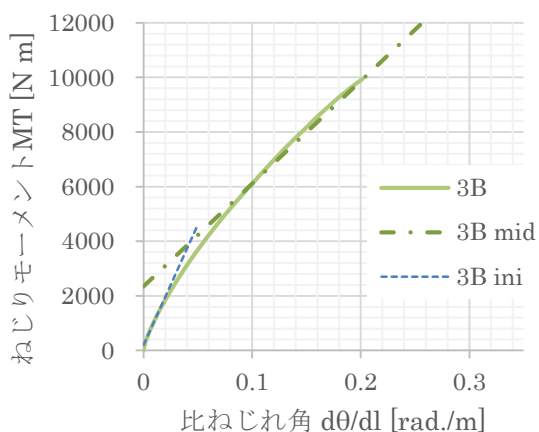


図 5.2.17 試験体 3B ねじり剛性

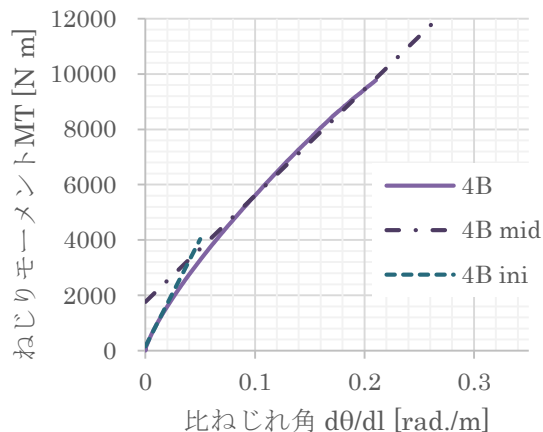


図 5.2.18 試験体 4B ねじり剛性

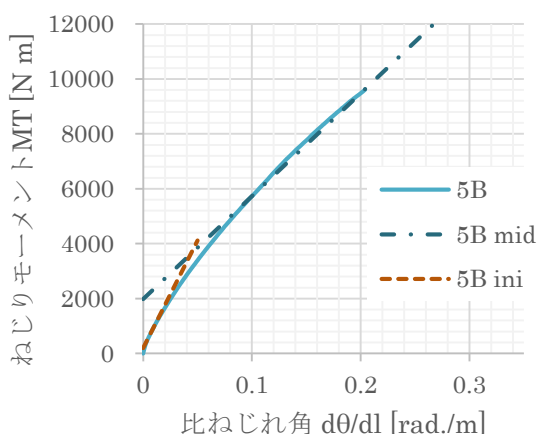


図 5.2.19 試験体 5B ねじり剛性

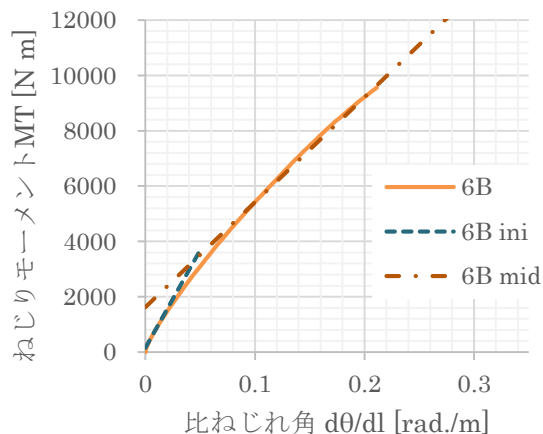


図 5.2.20 試験体 6B ねじり剛性

注) 以上図において、

ini: 0.005rad./m 時 - 0.010rad./m 時

mid: 0.10rad./m 時 - 0.20rad./m 時

の区間を結んだ直線

の区間を結んだ直線

初期ねじり割線剛性比

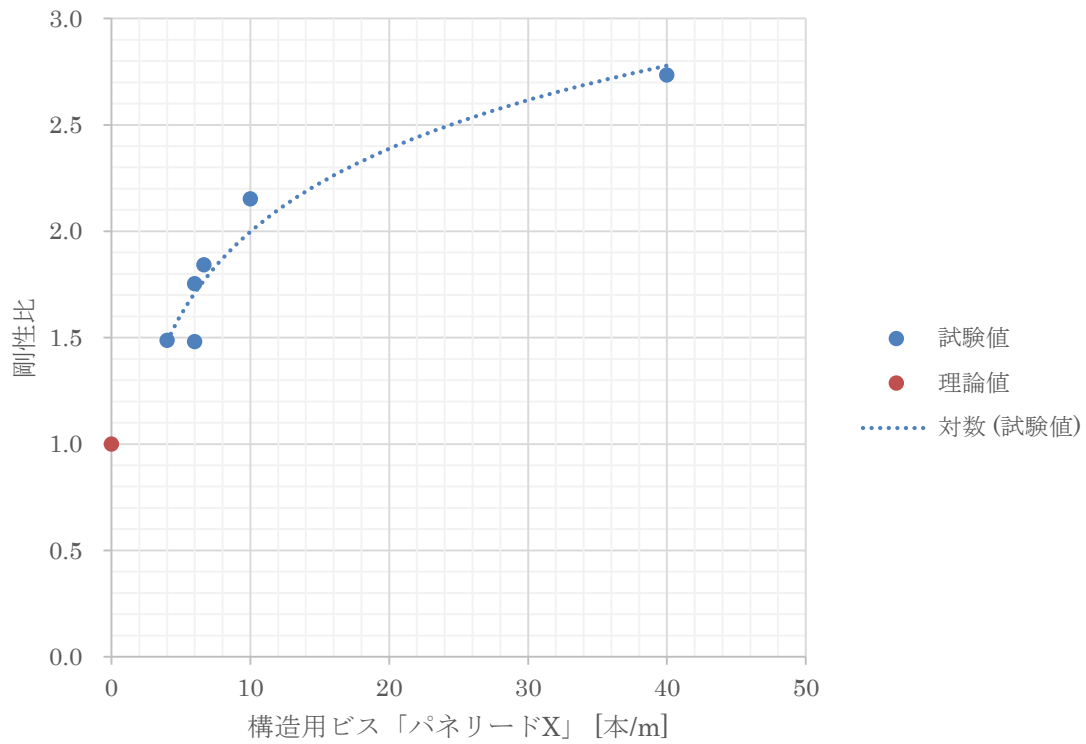


図 5.2.21 試験体 1A-6A 構造用ビス本数に対する初期ねじり剛性比

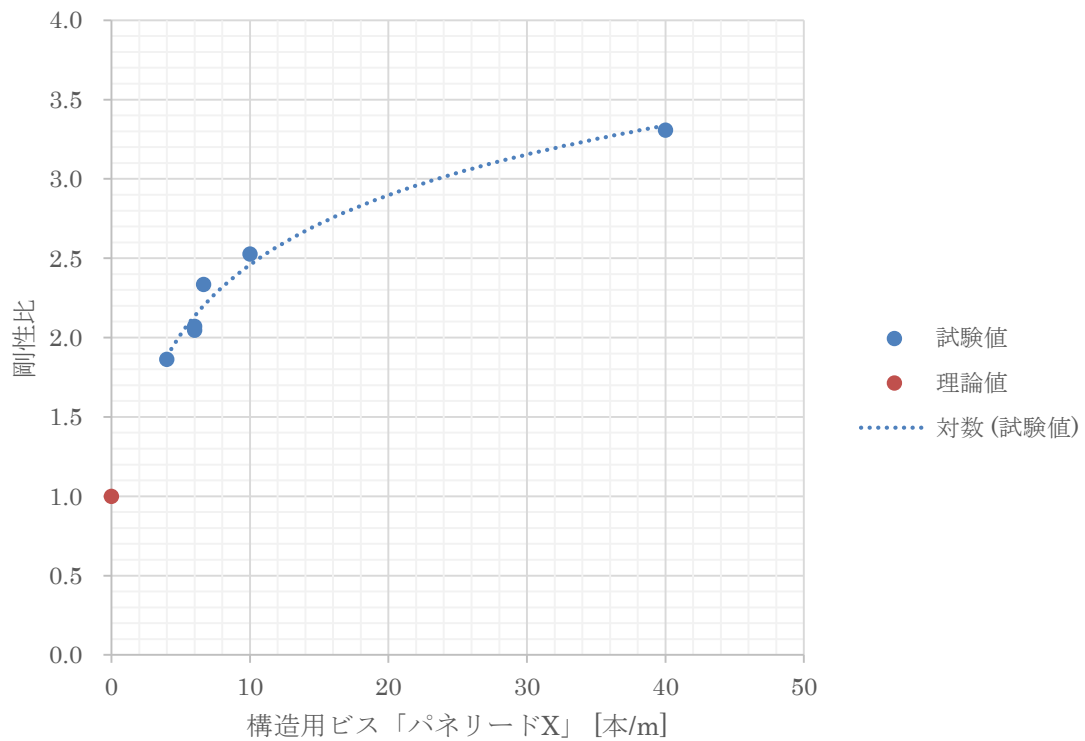


図 5.2.22 試験体 1B-6B 構造用ビス本数に対する初期ねじり剛性比

5.2.4 考察

本報での前提条件として、鉛直荷重のみを支持する梁材の横座屈に関する検討を行っており、半剛接ラーメン架構等により短期荷重として曲げ応力を負担する場合には別途検討が必要である。

荷重変形図 5.2.5、図 5.2.13 を見ると、剛性は初期剛性が最も高く、変形が進行するにつれて接合部の降伏により剛性が低下していく、すなわち横座屈荷重も低下していく。長期荷重のような、常時一定の荷重を想定すると、一旦座屈を生じてしまうと、そこから立ち戻ることなく急激な耐力低下とともに崩壊を生じる機構となることがわかった。なお、変形がある程度進行し、比ねじれ角が 0.10rad./m 程度にまで及ぶと、合わせ梁 3 層のねじり剛性の理論値の単純和に近い値を示した。

以上のような機構から、横座屈モーメント算定用のねじり剛性には最初期の割線剛性を採用し、その計算結果に対して十分な余力を持たせて設計をすることが望ましいと思われる。本報においては、測定データが安定してきた $0.005 - 0.010 \text{ rad./m}$ 間を結んだ割線剛性を横座屈検討用の自由ねじり剛性として採用する。

また、構造用ビス配置による初期ねじり剛性の影響も観測されたが、本試験に使用したビスの場合、単位長あたり 10 本程度までなら線形的にねじり剛性が増大するが、それを超えるとビス 1 本あたりの剛性増大効果が小さくなる結果となった。

5.3 合わせ梁の横座屈検証試験

前節にて実験的に求めたねじり剛性を用いて、理論式との整合性を検証する。

5.3.1 試験体・試験方法

12m長の合わせ梁材を鉛直支点間距離 11,800mm,加力点間 4,000mm の三等分点載荷曲げ試験を実施した。この際、横座屈に対する振れ止めスパンの影響を調べるため、振れ止めスパンを 10,600mm とした曲げ試験 1,振れ止めスパン 3,000mm とした曲げ試験 2 を行った。試験体寸法・数量を表 5.3.1 に示す。接合具配置は前節試験体 4A/4B に準じる。

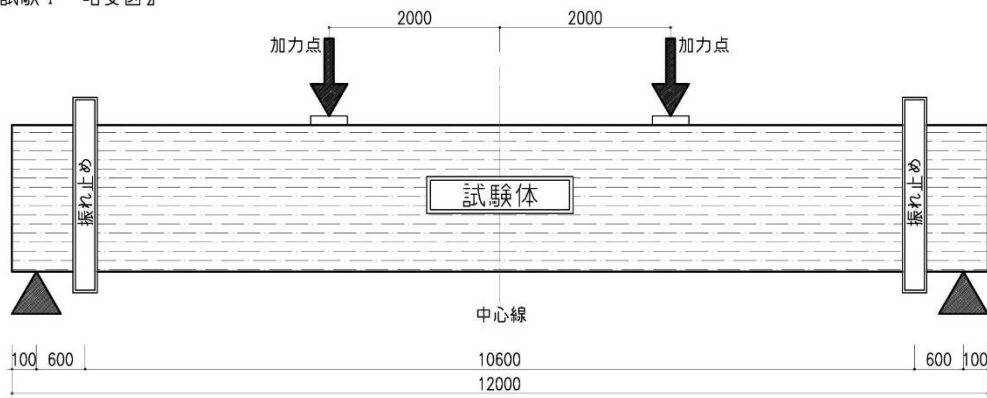
振れ止めスパン 10,600mm の曲げ試験 1 では、横座屈が観測されるかまたは、合わせ梁が完全に一体と見なせる場合の基準曲げ強度の 1/3 倍程度の荷重として、存在応力が 80kNm 近辺に達するまで加力を実施した。このとき、加力点により横座屈が拘束されないよう、加力点には梁幅方向に自由に動くローラーを介して載荷した。

振れ止めスパン 3,000mm の曲げ試験 2 では、梁が曲げ破壊ないしはねじれ破壊するまで加力を継続する計画だったが、試験体の横はらみが大きく、破断時に飛散する危険性があったため、明確な横座屈点が観測された後に除荷した。

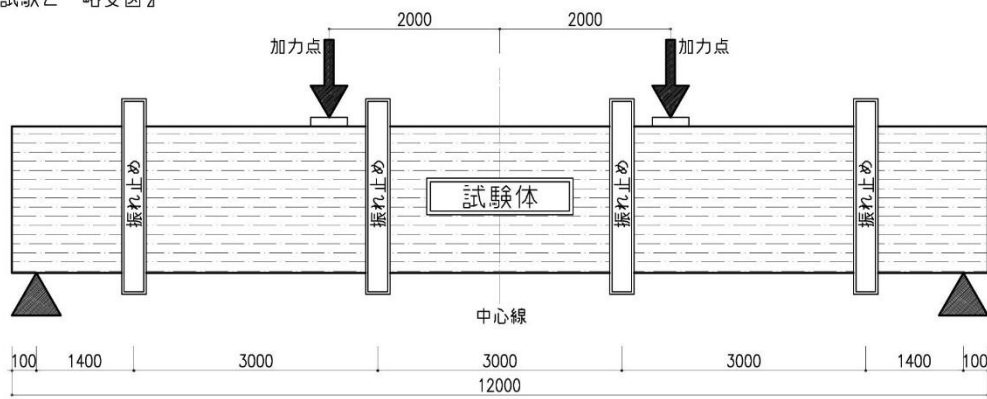
表 5.3.1 試験体寸法と数量 (単位: mm)

| 試験 | 等級 | 接合具配置 | 厚さ | 幅 | 長さ | 試験体数 |
|------------------------------|----------------------------|---|-------------------|-----|--------|------|
| 曲げ試験 1 /曲げ試験 2 (共通) | A 種カラマツ LVL E120-1 級 | P _Ⅰ ; 2 本@400 P _Ⅱ ; 2 本@400 [前節 4A/4B 参照] | 114 (38× 3) | 600 | 12,000 | 1 体 |

【曲げ試験1 略姿図】

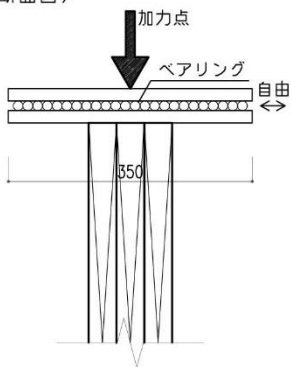


【曲げ試験2 略姿図】

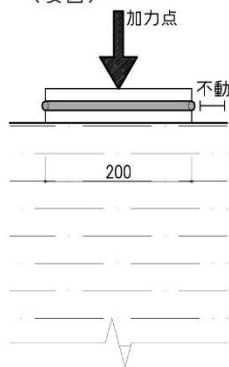


【加力点詳細】

(断面図)



(姿図)



【振れ止め詳細】

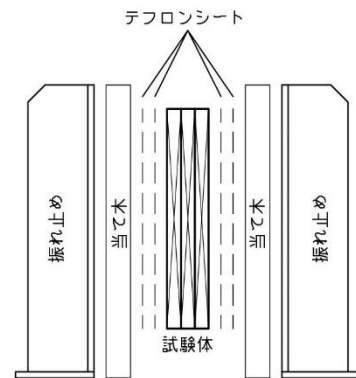


図 5.3.1 試験体・試験概要図

曲げ試験（1）試験状況写真



写真 5.3.1 加力部ローラー



写真 5.3.2 試験装置全景



写真 5.3.3 最大荷重時変形



写真 5.3.4 最大荷重時変形

曲げ試験（2）試験状況写真

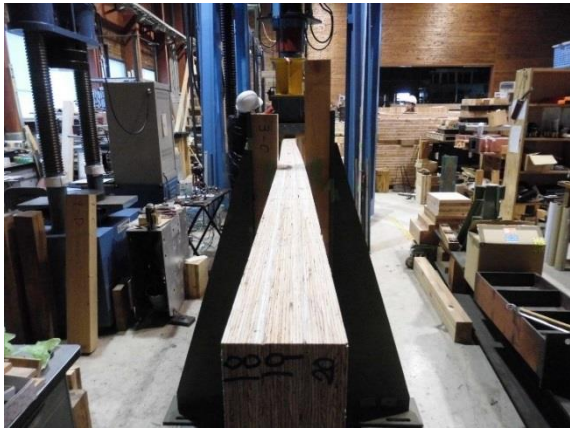


写真 5.3.5 加力前試験体



写真 5.3.6 試験装置



写真 5.3.7 最大荷重時試験体



写真 5.3.8 最大荷重時試験体

5.3.2 試験結果

梁中央部の曲げモーメントと鉛直方向変形の実験値と理論値、及び横座屈の指標として中央回転角を重ねて図 5.3.2、図 5.3.3 にプロットした。曲げ試験 1 では回転角は微小な範囲に留まったが、曲げ試験 2 では最大モーメントを境に回転角が急増する明瞭な横座屈屈点が観測された。鉛直変形に関する試験値は理論値より 1 割程度小さくなる結果となった。

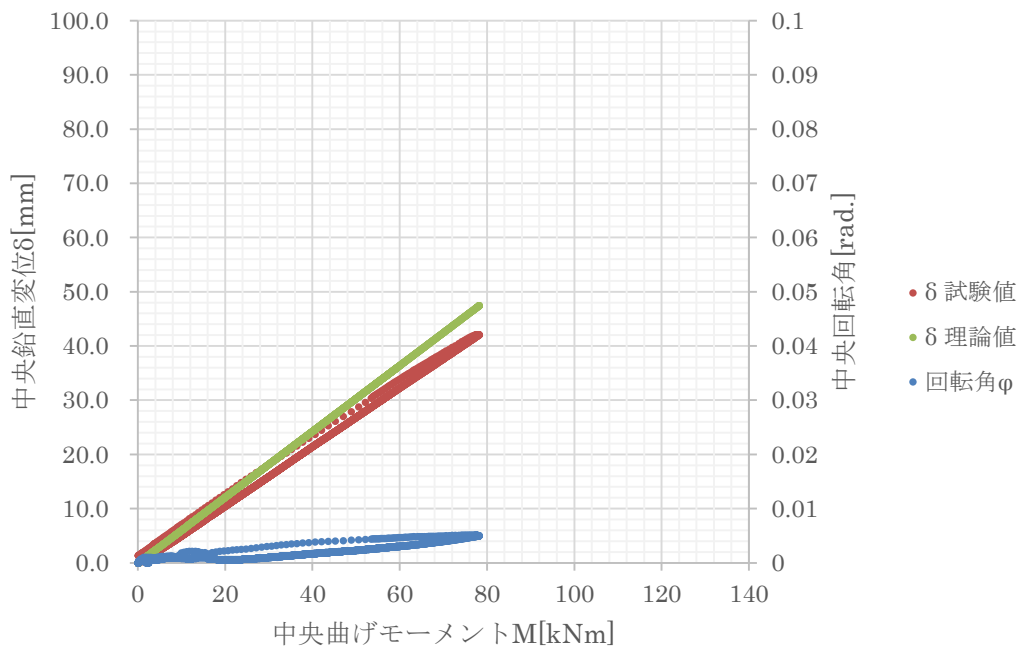


図 5.3.2 曲げ試験（1） 中央部の曲げモーメントと鉛直変位、ねじり回転角

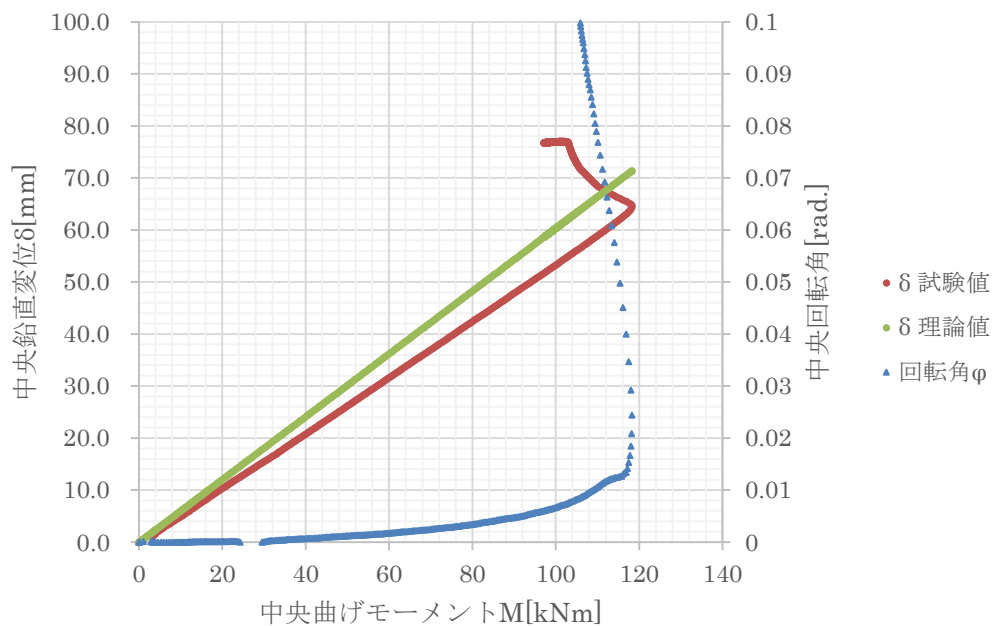


図 5.3.3 曲げ試験（2） 中央部の曲げモーメントと鉛直変位、ねじり回転角

以下表 5.3.2 では横座屈荷重として、5.1.3.での比較を背景に規準式による長期許容応力の2倍の値を想定し、表 5.3.3 では、弾性理論式による横座屈荷重を計算した。図 5.3.4 では試験結果と表 5.3.2 および表 5.3.3 の計算結果を横座屈スパンをパラメタに比較した。

なお、横座屈スパンは、曲げ試験(1)では振れ止めが2点しか存在しないことより、振れ止めスパンを有効横座屈スパン l_e として採用した。曲げ試験(2)においては、3,000mmピッチで計4点振れ止めが存在するため、学会規準に準じ有効横座屈スパンを振れ止めスパンの1.9倍の値として5,700mmとしている。試験時の変形を観測しても、座屈波形は上記の考え方を裏付けるものであった。

表 5.3.2 建築学会規準式 式 5.1.1 に準じた評価方法

| l_e | 層 | b | h | C_s | E_{by-y0} | f_{bx-x0} | C_k | C_b | f_b' | Z | S | M_{cro} |
|-------|---|----|-----|-------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|-----------------|---|-----------|
| mm | | mm | mm | | N/mm ² | N/mm ² | | | N/mm ² | cm ³ | | kNm |
| 10600 | 3 | 38 | 600 | 66.4 | 12000 | 12.1 | 24.4 | - | - | - | - | (0) |
| 5700 | 3 | 38 | 600 | 48.7 | 12000 | 12.1 | 24.4 | 0.17 | 2.03 | 6840 | 2 | 13.86 |

表 5.3.3 弾性理論式 式 5.1.6 による評価方法

| l_e | 層 | b | h | GJ_T | E | I_y | M_{cro} |
|-------|---|----|-----|--------------------|-------------------|---------------------------------|-----------|
| mm | | mm | mm | kN mm ² | N/mm ² | 10 ⁶ mm ⁴ | kNm |
| 10600 | 3 | 38 | 600 | 37400 | 12000 | 8.23 | 18.01 |
| 5700 | 3 | 38 | 600 | 37400 | 12000 | 8.23 | 33.50 |

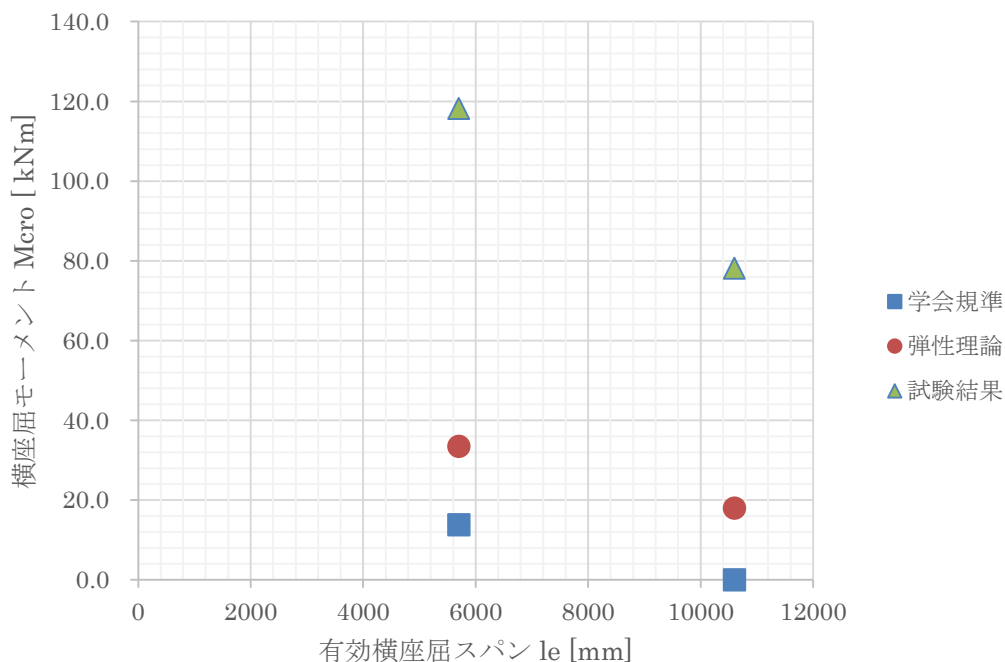


図 5.3.4 有効横座屈スパンと横座屈モーメントの比較

5.3.3 考察

有効座屈長さが 10.60m の場合の曲げ試験 1 と 5.70m の場合の曲げ試験 2 を実施した。いずれの場合も、横座屈モーメントについては

規準式 (1) 式解 < 理論式 (6) 式解 < 試験結果

という結果になった。特に、有効座屈長さ 10.60m の場合については、規準式だと評価対象外になってしまう一方で、加力試験を実施すると最大 78kNm までのモーメントが観測できており、現行の評価方法では安全側に過ぎる場合も有りうることがわかった。

木質材料の力学試験では一般的に母材の強度分布に由来するばらつきが大きいことが想定されるが、弾性横座屈の問題にはばらつきの大きい木質材料の基準強度が影響を与えず、ヤング係数のみがパラメタとなる。ところが、LVL 材料はヤング係数は一定の幅に管理されており、そのばらつきのみで図 5.3.4. の試験結果との乖離を説明しきることは難しい。

以上より、本報では評価しきれていない合わせ梁の弾性横座屈耐力の余力が存在することが明らかとなった。

5.4 まとめ

本報では、材料供給の観点から利便性の高い、梁幅の小さい長尺でせいの大きい材で構成される合わせ梁の曲げに関する性状を把握するために、様々な接合具配置パターンでのねじり試験と曲げ試験を実施した。

ねじり試験では、接合具配置がねじり剛性に与える影響を調べた。ねじり剛性は比ねじれ角に対して単調減少傾向にあることがわかり、横座屈モーメントの計算結果から逆算すると、観測できた初期ねじり剛性は実態よりも小さく評価してしまっているおそれがある。よりスパンの大きい、あるいは荷重速度の小さい試験体で再度調査を行い、初期剛性をより正確に求めることで、横座屈モーメントも適切に評価することが可能になると考えられる。

曲げ試験では、実大の合わせ梁を振れ止めスパンを変えて加力を行い、横座屈モーメントとの理論式解と試験結果との比較を行った。試験結果はいずれの場合も理論式の値を上回り、学会規準式 式 5.1.1 よりも弾性理論式 式 5.1.6の方が試験結果に近く、より正確に合わせ梁の曲げ性能を評価できていることがわかった。

学会規準式 式 5.1.1による場合も、弾性理論式 式 5.1.6の手法による場合も弾性横座屈耐力は安全側に評価ができています。今後、合わせ梁の更なる余力の評価方法と、非弾性横座屈及び限界細長比の評価方法について検討することが求められる。

[付録] 各評価式による場合の合わせ梁による屋根小梁の試設計

本項では、単純梁モデルで表現される屋根小梁を合わせ梁を用いて設計した場合に、各式によるスパンをパラメタとした振れ止め配置を調べる。5.1.3における考察内容から、弾性論式により許容応力を算定する場合は、式 5.付.1 に示すように式 5.1.6 による弾性横座屈モーメントの 1/2 とした。

再掲含む；横座屈計算式

学会規準式 式 5.1.1 ~ 式 5.1.5

$$f_b' = C_b f_b \quad \text{式 5.1.1}$$

$$C_b = 1.0 \quad (C_s \leq 10) \quad \text{式 5.1.2}$$

$$C_b = 1 - \frac{\left(\frac{C_s}{C_k}\right)^4}{3} \quad (10 < C_s \leq C_k) \quad \text{式 5.1.3}$$

$$C_b = \frac{0.4E_{by-y_0}}{C_s^2 \cdot f_{bx-x_0}} \quad (C_k < C_s \leq 50) \quad \text{式 5.1.4}$$

$$C_b = 0 \quad (50 < C_s) \quad \text{式 5.1.5}$$

弾性論式 式 5.1.6 ~ 式 5.付.1

$$M_{cro} = \frac{\pi}{l_e} \sqrt{E_{by-y_0} I_y G J_T} \quad \text{式 5.1.6}$$

$$M_a = M_{cro} / 2 \quad \text{式 5.付.1}$$

設計条件；(A) かつ (B) を満たすこと

(A) 長期荷重時の曲げ応力に対し、長期許容応力以下

(B) 長期荷重時の変形量に対しクリープ係数 2 を考慮し、
変形量がスパンの 1/200 以下 かつ 30mm 以下

使用材料； A 種カラマツ LVL 120E-1 級 3 - 38×600, 接合具配置：4A

想定外力；

・梁自重 : $3 \times 0.038 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 6000 \text{ N/m}^3 = 410 \text{ N/m}$

・屋根面荷重 : 0.5 kN/m^2 , 負担幅 1.82m

>> 梁分布荷重 $w = 410 + 0.5 \times 1.82 = 1.32 \text{ N/mm}$

表 5.付.1 に存在応力と変形の計算表を、表 5.付.2 に学会規準式による、表 5.付.3 に弾性論式による合わせ梁の長期許容曲げモーメントの計算表をまとめた。また、式 5.1.6 より、横座屈モーメントは有効梁スパンに反比例すると推定されるため、第 3 節の試験結果から推定した許容モーメントの計算表を表 5.付.4 にまとめた。ここに、

- l : 振れ止め配置ピッチ [mm]
 l_e : 有効振れ止めスパン [mm] = $1.9 \times l$ (ただし、 $l_e \leq L$)

表 5.付.1 存在応力・変形計算

| L | w | wL ² /8 | 2×5wL ⁴ /384EI |
|--------|--------|--------------------|---------------------------|
| [mm] | [N/mm] | [kNm] | [mm] |
| 8,000 | 1.32 | 10.56 | 5.7 < 30mm OK |
| 12,000 | 1.32 | 23.76 | 28.9 < 30mm OK |

表 5.付.2 学会規準式による長期許容曲げモーメントの計算表

| 層数 | b | h | l | l _e | C _s | E _{by-y0} | l _{fbx-x0} | C _k | C _b | f _b ' | Z | M _a |
|----|----|-----|------|----------------|----------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------------|---------------------------------|----------------|
| | mm | mm | mm | mm | | N/mm ² | N/mm ² | | | N/mm ² | 10 ⁶ mm ⁴ | kNm |
| 3 | 38 | 600 | 8000 | 8000 | 57.7 | 12000 | 12.1 | 24.4 | 0 | 0.00 | 6.84 | 0 |
| 3 | 38 | 600 | 3000 | 5700 | 48.7 | 12000 | 12.1 | 24.4 | 0.167 | 2.03 | 6.84 | 13.86 |
| 3 | 38 | 600 | 2000 | 3800 | 39.7 | 12000 | 12.1 | 24.4 | 0.251 | 3.04 | 6.84 | 20.79 |
| 3 | 38 | 600 | 1500 | 2850 | 34.4 | 12000 | 12.1 | 24.4 | 0.335 | 4.05 | 6.84 | 27.72 |

表 5.付.3 弾性論式による長期許容曲げモーメントの計算表

| 層数 | b | h | l | l _e | GJ _T | E | I _y | M _a = M _{cro} /2 |
|----|----|-----|------|----------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| | mm | mm | mm | mm | 10 ⁶ Nmm ² | N/mm ² | 10 ⁶ mm ⁴ | kNm |
| 3 | 38 | 600 | 8000 | 8000 | 37400 | 12000 | 8.23 | 11.93 |
| 3 | 38 | 600 | 3000 | 5700 | 37400 | 12000 | 8.23 | 16.75 |
| 3 | 38 | 600 | 2000 | 3800 | 37400 | 12000 | 8.23 | 25.12 |

表 5.付.4 試験結果から推定される長期許容曲げモーメントの計算表

| 層数 | b | h | l _e | M _{cro} | M _a = M _{cro} /2 |
|----|----|-----|----------------|------------------|--------------------------------------|
| | mm | mm | mm | kNm | kNm |
| 3 | 38 | 600 | 8000 | 156.6(推定値) | 78.3 |
| 3 | 38 | 600 | 10600 | 118.2(試験値) | 59.1 |
| 3 | 38 | 600 | 12000 | 104.4(推定値) | 52.2 |

表 5.付.2～表 5.付.4 中の薄灰色の網掛けがスパン 8,000mm の場合の横補剛材配置、濃灰色の網掛けがスパン 12,000mm の場合の横補剛材配置である。参考までに以上の結果を図 5.付.1 に示す。

| 各計算方式での 小梁配置の検討 | スパン 8,000mm | スパン 12,000mm |
|----------------------------|--|--|
| 学会規準式 式5.1.1~4 による場合 | <p>合わせ梁 3-38×600 @1820 小梁 (横補剛材) @3000以下 合わせ梁 3-38×600 @1820 3000 2000 3000 8000</p> | <p>合わせ梁 3-38×600 @1820 小梁 (横補剛材) @1500 合わせ梁 3-38×600 @1820 1500 1500 1500 1500 1500 1500 12000</p> |
| 弾性論式 式5.1.6 による場合 | <p>合わせ梁 3-38×600 @1820 小梁 (横補剛材) 不要 合わせ梁 3-38×600 @1820 8000</p> | <p>合わせ梁 3-38×600 @1820 小梁 (横補剛材) @2000 合わせ梁 3-38×600 @1820 2000 2000 2000 2000 2000 12000</p> |
| 試験結果より 推定した場合 | <p>合わせ梁 3-38×600 @1820 小梁 (横補剛材) 不要 合わせ梁 3-38×600 @1820 8000</p> | <p>合わせ梁 3-38×600 @1820 小梁 (横補剛材) 不要 合わせ梁 3-38×600 @1820 12000</p> |

図 5.付.1 各計算方式による小梁配置の比較

第6章 スクリューネイル接合部性能検証

6.1 研究の目的

本章では、中大規模木造建築物において大空間を構成する床版等に用いるストレススキンパネル(SSP)等の構成要素である、スクリューネイルとビス接合部、それに加えて接着剤を併用した接合部について接合性能を調査する。

SSPとは、木質材料の平板によるウェブ材、フランジ材を釘・ビス等の接合具や接着剤あるいはその組合せにより接合し、木質材料の材積に対して高い耐力・剛性を持つ部材である。

ストレススキンパネル(SSP)の設計に際して、接合部に接着剤を用いると振動問題やたわみ性能が大きく改善されることが知られているため、接着剤を併用してSSPを開発することとした。

これまで開発、生産されてきたSSPはビスを多用した設計であった。従来の設計におけるビス留めの主目的はたわみ性能の改善と接着剤が固化するまで必要な圧縮力を得ることであるが、ビス留めは釘打ちと比較して作業効率が低く、ビスを釘に代替すれば作業効率が向上することが期待される。そこで今年度は釘・スクリューネイルを用いたSSPの設計を目指し、釘打ちあるいはビス留めと接着剤を併用した接合部について接合性能を求めた。

接着剤としては、絶対値は低いものの施工管理が不十分な現場接着であっても比較的安定した接着性能を有するとされる床根太用接着剤(JIS A5550¹⁾)を用いた。

6.2 試験方法

6.2.1 試験概要

接合具と接着剤の組合せによる主材-側材間の荷重変形関係を調べる目的で予備試験を行った後、接合具を限定し、接着剤の塗布領域に加え、製作方法をパラメタとした本試験を実施した。試験方法図を図 6.2.1.に示す。試験体の構成概要を表 6.2.1 に、仕様した接合具一覧表を表 6.2.2.に示す。本試験の試験体 NS_B2 , NS_B3 , P6_B2 , P6_B3 の切り出し方法を図 6.2.2 に、NSP6_BS の切り出し方法を図 6.2.3 に、試験体一覧を表 6.2.3.に示す。

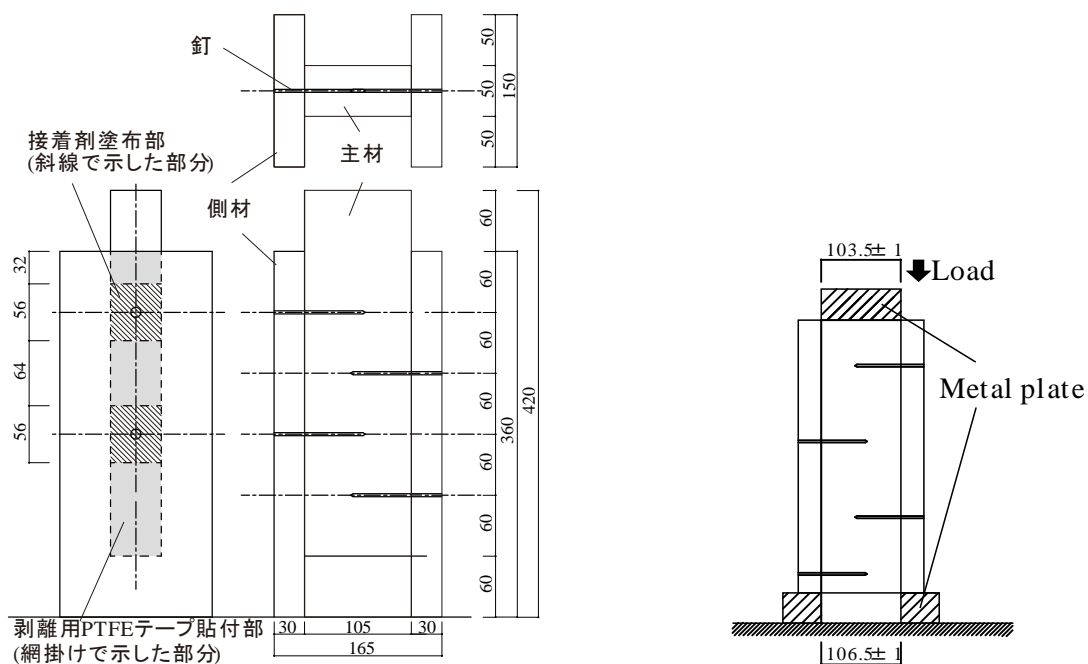


図 6.2.1 試験体図・試験方法図 左：(A) 右：(B)

表 6.2.1 試験体構成材料

| | |
|------------|---|
| 主材 (ウェブ材) | A 種 LVL カラマツ材 16 層 , 50mm 厚 , 120E-385F , 55V-47H |
| 側材 (フランジ材) | B 種 LVL カラマツ材 10 層 , 30mm 厚 , 80E-215F , 40V-26H |
| 側材単板構成* | □□■□□□□■□□ |

※ □は平行層、■は直交層を示す。

表 6.2.2 接合具一覧表

| 製品名称 | 規格 | 概要 | 製造者名 |
|--------------------------|----------------|-------------------------|-------------------|
| WN90002 | JIS A5508 N90 | 釘 3.75 φ × 90mm | ワカイ産業 |
| WV3890 | - | 釘 3.8 φ × 90mm | ワカイ産業 |
| WCN9001 | JIS A5508 CN90 | 釘 4.11 φ × 90mm | ワカイ産業 |
| WNS3290 | | スクリーネイル 3.2 φ × 90mm | ワカイ産業 |
| PANELEAD P6 × 90 II + | | ビス 6 φ × 90 mm | 東日本パワーファスニング グ |

表 6.2.3 作製した試験体の概要

| 区分 | 試験方法 | 試験体名 | 数 量 | 使用した釘/ビス | 接着剤 | 製作方法 | 製作日 | | 試験日 | | |
|------|-------|---------|---------|--|---------------------|--|----------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------|
| | | | | | | | SSP | 要素 | | | |
| 予備試験 | (A) | N_NH | 3 | WN90002 (手打ち) [N90] | なし | | - | 10/29 | 11/5 | | |
| | (A) | FV_NH | 3 | WV3890 (手打ち) | | | - | 10/29 | 11/5 | | |
| | (A) | CN_NH | 6 | WCN9001 (手打ち) [CN90] | | | - | 10/29 ~ 11/6 | 11/5~ 11/12 | | |
| | (A) | NS_NH | 6 | WNS3290 (手打ち) | | | - | 10/29 ~ 12/1 | 11/5~ 12/11 | | |
| | (A) | N_BH | 3 | WN90002 (手打ち) [N90] | | | 釘周辺だけに塗布 | 通常の要素試験体として製作 | - | 10/29 | 11/5 |
| | (A) | FV_BH | 3 | WV3890 (手打ち) | | | | | - | 10/29 ~ 11/6 | 11/5~ 11/12 |
| | (A) | CN_BH | 6 | WCN9001 (手打ち) [CN90] | | | | | - | 10/29 ~ 11/6 | 11/5~ 11/12 |
| | (A) | NS_BH | 7 | WNS3290(手打ち) | | | | | - | 10/29 ~ 12/1 | 12/8~ 12/14 |
| (A) | NS_N | 16 | WNS3290 | なし | 通常の要素試験体として製作 | - | | | 11/26 | 12/8~ 12/14 | |
| (A) | NS_N1 | 8 | | | | - | 12/12 | 12/13 | | | |
| 本試験 | (A) | NS_B0 | 16 | WNS3290 | 釘周辺だけに塗布 | 通常の要素試験体として製作 | - | 11/26 | 12/8~ 12/14 | | |
| | (A) | NS_B1 | 16 | | | | - | 11/26 | 12/8~ 12/14 | | |
| | (B) | NS_B2 | 10 | WNS3290 | 全面に塗布 | 3000mm の SSP として製作後、 300mm に切断して釘 4 本を含む 接合部を要素試験 | 11/26 | 12/8 | 12/10 ~ 12/14 | | |
| | (B) | NS_B3 | 10 | | | | 11/26 | 12/8 | 12/10 ~ 12/14 | | |
| | (B) | P6_B2 | 10 | PANELEAD P6x90II+ | 全面に塗布 | 3000mm の SSP として製作後、 300mm に切断してビス 4 本を含む 接合部を要素試験 | 11/26 | 12/8 | 12/10 ~ 12/14 | | |
| | (B) | P6_B3 | 10 | | | | 11/26 | 12/8 | 12/11 ~ 12/14 | | |
| | (B) | NSP6_BS | 5 | PANELEAD P6x90II+ を 600mm ピッチ、 WNS3290 を 100mm ピ | 全面に塗布後、へ らで薄くのばす | 3000mm の重ね梁として製作 後、300mm に切断して釘 6 本を 含む接合部を要素試験 | 12/4 | 12/10 | 12/10 ~ 12/14 | | |
| | (B) | | 5 | ッチ | | | 12/14 | 1/14 | 1/14 | | |

本年度の試験結果との比較用に、表 6.2.4 に平成 25 年度林野庁補助事業「地域材供給倍増事業（木材利用技術整備等支援事業）」²⁾において実施した試験体の仕様一覧を示す。試験体各部寸法、ビス本数、試験方法は試験方法（A）と同様である。

表 6.2.4 過去試験の試験体概要

| 区分 | 試験方法 | 試験体名 | 数 量 | 使用した釘/ビス | 接着剤 | 製作方法 | 製作日 | | 試験日 | |
|----------|------|-------|--------|-----------------------|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| | | | | | | | SSP | 要素 | | |
| 平成25年度事業 | (A) | P6_N0 | 8 | PANELEAD P6x90III+ | なし | 通常の要素試験体として製作 | - | 2013/ 11/15 ~22 | 2013/ 11/29 | |
| | (A) | P6_N1 | 8 | | | 接合部に 1.6mm 針金をはさんで、接合部にすき間が開くようにして製作 | - | | 2013/11/30 | |
| | (A) | P6_B0 | 8 | | | 釘周辺のみ塗布 | 通常の要素試験体として製作 | | - | 2013/12/5 |
| | (A) | P6_B1 | 8 | | | | 接合部に 1.6mm 針金をはさんで、接合部にすき間が開くようにして製作 | | - | 2013/12/3 ~12/5 |

試験方法（A）では接合具のみ、または接合具とその周囲のみに接着剤が塗布された状態を 1 個の接合部とし、図 6.2.1 に示すロケット型の一面せん断試験体による要素試験を行った。

接着剤を併用する場合には接着面積を制限するため、粘着加工された 0.08mm 厚テフロンシートを主材に貼付した。テフロンシートには釘打ち込み位置を中心とする開口部(釘打ち込み位置より上下各 28mm)を設け、開口部のみに接着剤が塗布されるようにして釘打ちを行った。

材料精度や圧縮不良も考慮して、接合部にφ1.6mm のステンレス(SUS304)鋼線をはさんだ状態ですき間のある試験体(NS_N1/NS_B1)も作成することにより、すき間空け条件による耐力や剛性の低減の検討も行った。試験体作製に際しては JIS A5550 に従った。

試験方法（B）の試験体は、実際の SSP の作製において材料精度や圧縮不良が生じうることを想定したものである。そこで図 6.2.2~6.2.3 に示すような実大 SSP サイズに近づけた接着重ね梁試験体を作製し、接着剤が固化した後に同一接合面積の要素試験体に切断して一面せん断試験を行って、実際の SSP における耐力や剛性を試験体 NS_B0（以降、コントロール試験体と呼称）と比較することとした。

具体的には、①図 6.2.2 に示す実大 SSP においては 120mm ピッチでビス留めまたは釘打ちすることとしたが、長さ方向 350mm の区間に釘打ちまたはビス留めを意図的に省き、接着剤が固化した後で釘またはビスを 4 本含む箇所から 300mm 長さで切り出した要素試験体(NS_B2/P6_B2)、および釘またはビスを含まない箇所から 300mm 長さで切り出した要素試験体(NS_B3/P6_B3)の接合性能を比較した。②図 6.2.3 に示す重ね梁においては釘打ちとビス留めを併用して製作を行った。接合面に接着剤を薄く塗り広げた後ビス留めで位置決めと圧縮を行い、ビス間には 5 本の釘打ちを行って重ね梁を作製した。作製から 1 週間または 1 か月経過した後、300mm 長さで要素試験体(NSP6_BS)を切り出して評価を行った。

6.2.2 一面せん断試験

試験方法（A）では養生の終了した要素試験体について、一軸圧縮試験装置(島津製作所製 AGX-250kN)を用いて一方向加力し、レーザ変位計(キーエンス製 IL-S100)を用いて主材-側材間の相対変位を計測した。クロスヘッド速度は、接着剤を塗布した試験体で1mm/min、釘または木ねじのみによる試験体で7mm/min とした。また接着剤を塗布した試験体においては、最大荷重の80%まで下落した後は試験速度を7mm/min まで増加させ、相対変位30～50mm に達するまで試験を行った。

試験方法（B）では、図 6.2.1 に示すように側材下部および主材上部に圧盤を配置して試験を行い、最大荷重を越えて主材や側材が圧材にめりこむ(相対変位が約 20mm を越える)まで試験を行った。



写真 6.2.1 実大試験体の制作状況

試験状況写真



試験開始時



試験終了時



試験開始時 釘頭の状況



試験終了時 釘頭の状況

写真 6.2.2 釘のみ試験体 加力状況



試験開始時



試験終了時



試験開始時 釘頭の状況



試験終了時 釘頭の状況

写真 6.2.3 接着試験体 加力状況



試験開始時



試験終了時



試験開始時 釘頭の状況



試験終了時 釘頭の状況

写真 6.2.4 接着+すき間あり試験体 加力状況



試験開始時



試験終了時



試験開始時 釘頭の状況



試験終了時 釘頭の状況

写真 6.2.5 釘+全接着試験体 加力状況



試験開始時



試験終了時



試験開始時ビス頭の状況



試験終了時ビス頭の状況

写真 6.2.6 ビス+全接着試験体 加力状況



試験開始時



試験終了時

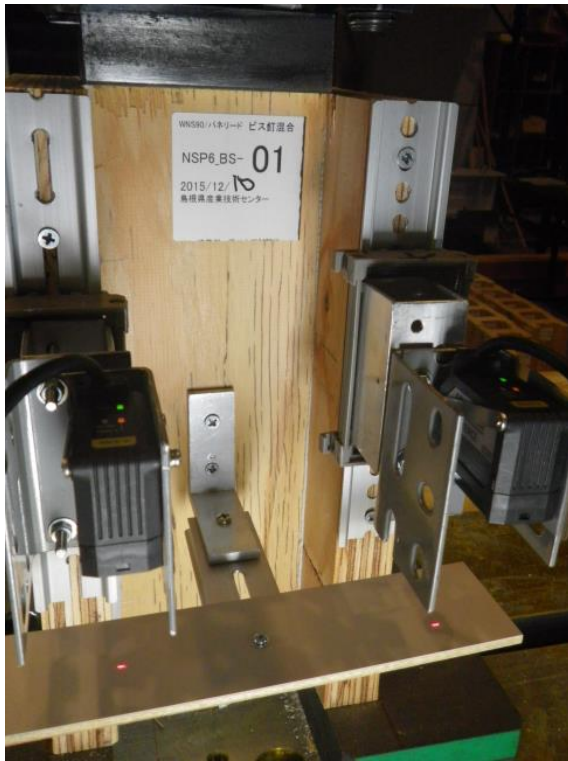


試験開始時



試験終了時

写真 6.2.7 ビス+全接着（ビス接合部なし）試験体 加力状況



試験開始時



試験終了時



試験開始時 釘頭の状況



試験終了時 釘頭の状況

写真 6.2.8 ビス+釘混合接着（釘打ち接合部）試験体 加力状況

6.3 試験結果のまとめ

6.3.1 釘の種類による接合性能の比較

釘の種類による接合性能の違いを比較するため、本試験に先立って手打ちにより作成し

た予備試験体で接合性能を評価した。各試験体シリーズの荷重-変位曲線の平均値を図 6.3.1 に、また完全弾塑性モデルに基づく評価値を表 6.3.1 に示す。なお以下の議論では、表 6.2.4 に示す、文献²⁾の試験結果についても併記して考察を行う(ビスのみ P6_N0、ビス+すき間 P6_N1、ビス+接着剤 P6_B0、ビス+接着剤+すき間 P6_B1)。

今回は相対変位 30mm までの荷重変位曲線について接合部としての評価を行ったが、接着剤を用いない試験体では相対変位 30mm を越えても荷重が増加する傾向がみられた。

釘の胴部径と接合性能の関係を図 6.3.2 に示す。胴部径が増加するほど接合性能もわずかに増加し、特に接着剤を塗布した場合の Pmax や Py は釘の胴部径と比例する傾向がみられる。これは胴部径の増加により釘保持性能が増加し、接着剤を圧縮する効果も増大することが原因として考えられる。ただしビス留めと比較して釘打ち試験体では耐力、剛性ともに低く、特に接着しない場合の釘打ち接合の剛性はビス留めより著しく低い値を示した。

今回の結果からは胴部径が最も太い WCN9001 がビスに近い接合性能を示したが、ゆるみ防止の観点から接着パネルなどではすでにスクリー釘が広く使用されており、スクリー釘(WNS3290)は細身ながら、試験体からの釘の引き抜きが困難であった。釘の選定に際しては釘保持性能の長期的な低下を確認する必要もあるが、今回は接着パネル工場において実績のあるスクリー釘を検討対象とすることとした。

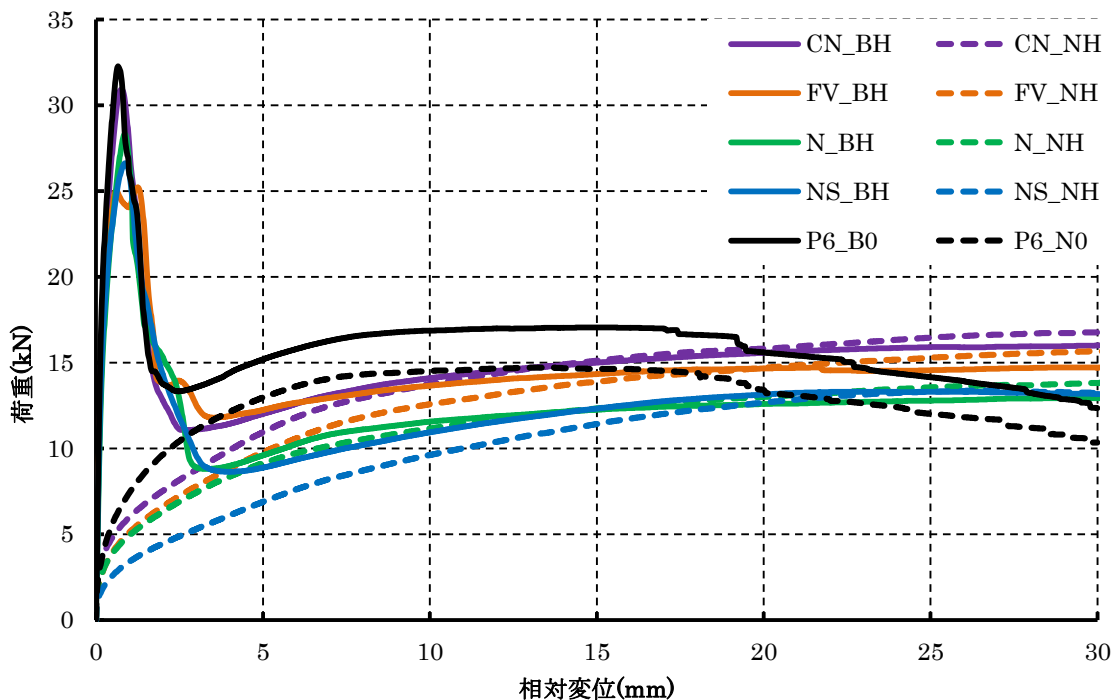


図6.3.1. 荷重-変位曲線(予備試験/手打ち) ※接合部4か所あたり平均

表 6.3.1. 試験結果(予備試験/手打ち) ※接合部 1 か所あたり

| 試験体名 | 数量 | | 胴部径 | Pmax | | | | Py | | | | K | |
|-------|----|------|---------|------|------|------------|------------|------|------|------------|------------|-------|-------|
| | | | | 平均 | S.D | 50%下 限值 | 95%下 限值 | 平均 | S.D | 50%下 限值 | 95%下 限值 | 平均 | S.D |
| N_NH | 3 | 接着なし | 3.75 | 3.46 | 0.20 | 3.36 | 2.81 | 1.96 | 0.07 | 1.92 | 1.73 | 0.57 | 0.06 |
| FV_NH | 3 | | 3.8 | 3.92 | 0.36 | 3.75 | 2.79 | 2.26 | 0.22 | 2.15 | 1.56 | 0.54 | 0.09 |
| CN_NH | 6 | | 4.11 | 4.20 | 0.15 | 4.15 | 3.86 | 2.40 | 0.13 | 2.36 | 2.10 | 0.66 | 0.13 |
| NS_NH | 6 | | 3.2 | 3.39 | 0.30 | 3.30 | 2.68 | 1.78 | 0.17 | 1.73 | 1.38 | 0.35 | 0.07 |
| P6_N0 | 8 | | 4.21 | 3.83 | 0.15 | 3.79 | 3.52 | 2.06 | 0.12 | 2.03 | 1.78 | 1.61 | 0.40 |
| N_BH | 3 | | 釘周辺のみ塗布 | 3.75 | 7.16 | 0.05 | 7.13 | 6.99 | 3.73 | 0.23 | 3.62 | 2.99 | 19.73 |
| FV_BH | 3 | 3.8 | | 7.00 | 0.37 | 6.83 | 5.83 | 3.52 | 0.35 | 3.36 | 2.43 | 23.11 | 4.95 |
| CN_BH | 6 | 4.11 | | 7.91 | 0.90 | 7.64 | 5.82 | 4.30 | 0.48 | 4.16 | 3.18 | 24.26 | 4.63 |
| NS_BH | 7 | 3.2 | | 6.82 | 0.77 | 6.61 | 5.08 | 3.79 | 0.55 | 3.64 | 2.55 | 22.19 | 5.60 |
| P6_B0 | 8 | 4.21 | | 8.48 | 0.76 | 8.30 | 6.87 | 4.56 | 0.5 | 4.44 | 3.47 | 28.10 | 6.74 |

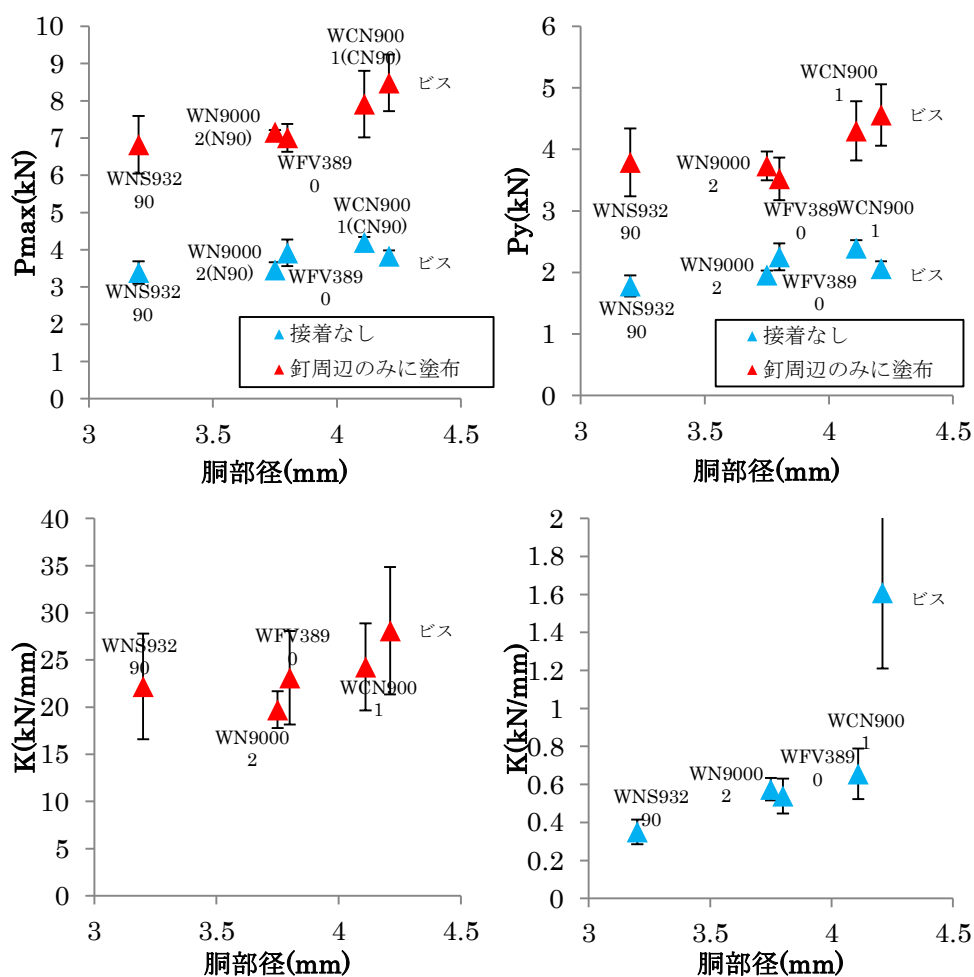


図 6.3.2 胴部径と評価値の関係 ※接合部 1 か所あたり

6.3.2 釘打ち方法による接合性能の比較

予備試験に際して手打ちで作製した試験体と、本試験で機械打ちにより作製した試験体から得られた各試験体種ごとの荷重-変位曲線の平均値を図 6.3.3 に、完全弾塑性モデルに基づく評価値を表 6.3.2 に示す。機械打ちで作製した試験体は耐力が低下し、また接着併用試験体では剛性が低下した。釘打ち・接着併用試験体で機械打ちを行ったとき耐力や剛性が低下した原因として、手打ちでは側材がハンマーで叩かれて主材-側材間のすき間は密着するが、機械打ちでは側材が釘頭のみで圧縮され、圧縮効果が十分でないため主材-側材間にすき間が開いたままになりやすいと考えられる。また接着剤がない場合はすき間は密着しやすいが、接着剤によりすき間の密着を妨げられて、機械打ちでは接着力が低下すると考えられる。

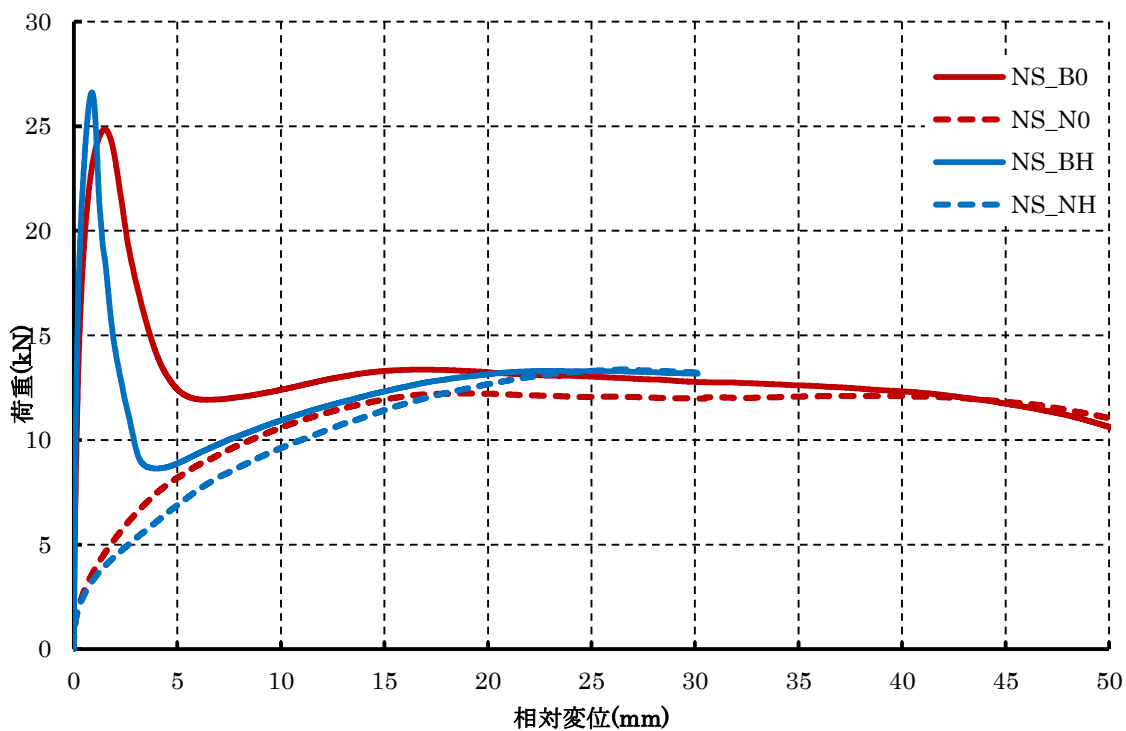


図 6.3.3 荷重-変位曲線(手打ちと機械打ちの比較) ※接合部 4 か所あたり

表 6.3.2 試験結果(手打ちと機械打ちの比較) ※接合部 1 か所あたり

| 試験体名 | 数量 | | Pmax | | | | Py | | | | K | |
|-------|----|--------------|------|------|------------|------------|------|------|------------|------------|-------|------|
| | | | 平均 | S.D | 50%下 限值 | 95%下 限值 | 平均 | S.D | 50%下 限值 | 95%下 限值 | 平均 | S.D |
| NS_NH | 6 | 手打ち/接着なし | 3.39 | 0.30 | 3.30 | 2.68 | 1.78 | 0.17 | 1.73 | 1.38 | 0.35 | 0.07 |
| NS_BH | 7 | 手打ち/釘周辺のみ塗布 | 6.82 | 0.77 | 6.61 | 5.08 | 3.79 | 0.55 | 3.64 | 2.55 | 22.19 | 5.60 |
| NS_NO | 16 | 機械打ち/接着なし | 3.13 | 0.21 | 3.09 | 2.72 | 1.71 | 0.14 | 1.68 | 1.43 | 0.53 | 0.09 |
| NS_BO | 16 | 機械打ち/釘周辺のみ塗布 | 6.31 | 0.46 | 6.23 | 5.40 | 3.50 | 0.28 | 3.45 | 2.94 | 14.85 | 2.07 |

6.3.3 すき間空けによる接合性能の比較

すき間を空けた試験体とすき間を空けずに作製した試験体の各試験体種ごとの荷重-変位曲線の平均値を図 6.3.4.に、また完全弾塑性モデルに基づく評価値を表 6.3.3 に示す。既報³⁾同様、すき間を空けると耐力や剛性は低下した。接着しない試験体においてもすき間を空けると剛性は低下するが、これは釘やビスに生ずる曲げモーメントが増大するのが原因として考えられる。

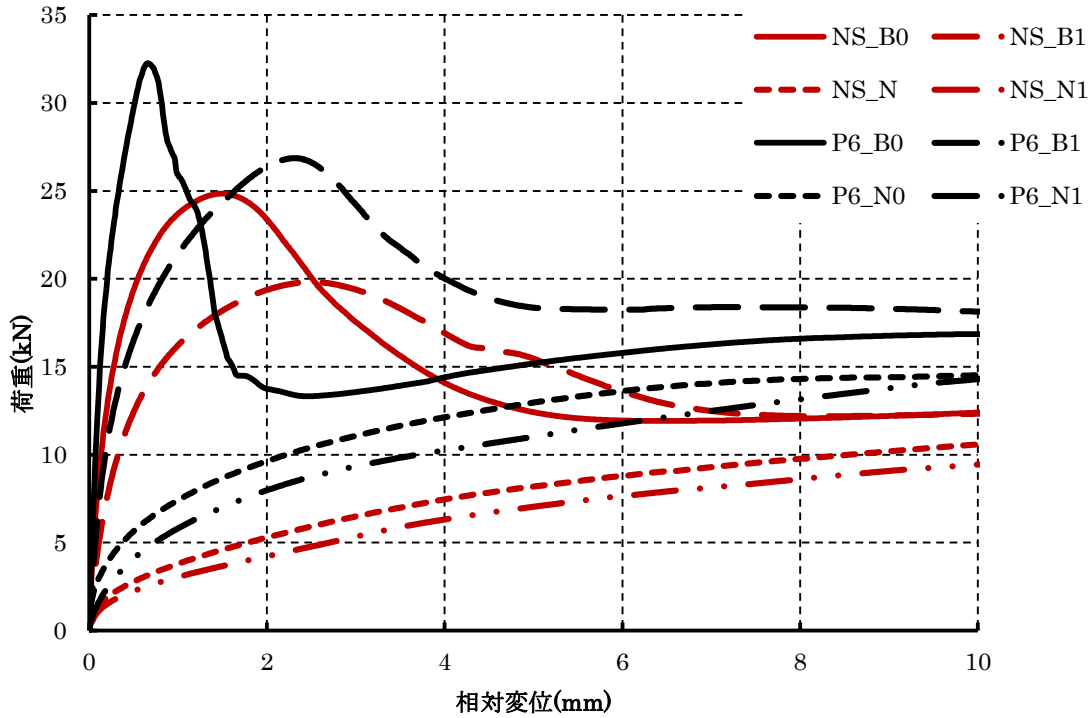


図 6.3.4 荷重-変位曲線(すき間の有無による比較) ※接合部 4 か所あたり

表 6.3.3 試験結果(すき間の有無による比較) ※接合部 1 か所あたり

| 試験体名 | 数量 | | Pmax | | | | Py | | | | K | |
|-------|----|----------------|------|------|----------------|----------------|------|------|----------------|----------------|-------|------|
| | | | 平均 | S.D | 50% 下限 値 | 95% 下限 値 | 平均 | S.D | 50% 下限 値 | 95% 下限 値 | 平均 | S.D |
| P6_N0 | 8 | 接着なし | 3.83 | 0.15 | 3.79 | 3.52 | 2.06 | 0.12 | 2.03 | 1.78 | 1.61 | 0.40 |
| P6_N1 | 8 | 接着なし/すき間空け | 3.98 | 0.36 | 3.89 | 3.23 | 2.01 | 0.10 | 1.98 | 1.79 | 0.99 | 0.10 |
| P6_B0 | 8 | ビス周辺のみ塗布 | 8.48 | 0.76 | 8.30 | 6.87 | 4.56 | 0.5 | 4.44 | 3.47 | 28.10 | 6.74 |
| P6_B1 | 8 | ビス周辺のみ塗布/すき間空け | 6.73 | 0.21 | 6.68 | 6.25 | 3.62 | 0.11 | 3.59 | 3.38 | 9.92 | 1.29 |
| NS_N0 | 16 | 接着なし | 3.13 | 0.21 | 3.09 | 2.72 | 1.71 | 0.14 | 1.68 | 1.43 | 0.53 | 0.09 |
| NS_N1 | 8 | 接着なし/すき間空け | 2.89 | 0.19 | 2.85 | 2.49 | 1.58 | 0.11 | 1.55 | 1.35 | 0.40 | 0.07 |
| NS_B0 | 16 | 釘周辺のみ塗布 | 6.31 | 0.46 | 6.23 | 5.40 | 3.50 | 0.28 | 3.45 | 2.94 | 14.85 | 2.07 |
| NS_B1 | 16 | 釘周辺のみ塗布/すき間空け | 4.98 | 0.42 | 4.91 | 4.14 | 2.78 | 0.26 | 2.74 | 2.28 | 7.01 | 0.75 |

6.3.4 小試験体と実大サイズから切断した要素試験体との比較

小試験体と実際の重ね梁を切断して行った要素試験の結果を比較した。各試験体種ごとの荷重-変位曲線の平均値を図 6.3.5 に、また完全弾塑性モデルに基づく評価値を表 6.3.4 に示す。

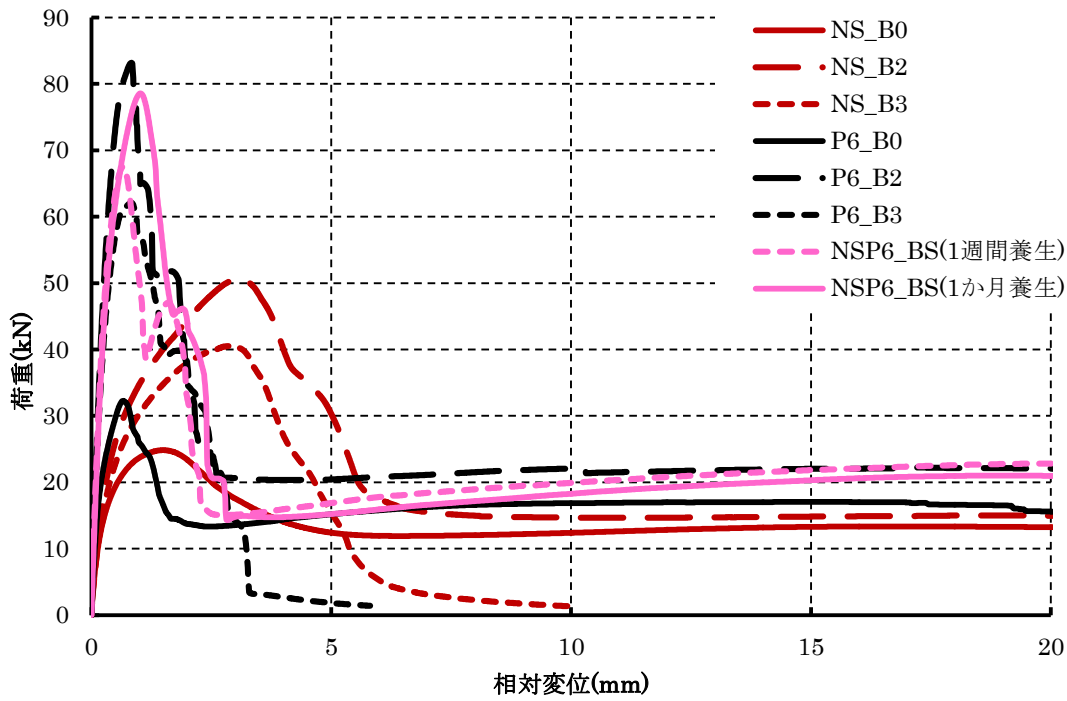


図 6.3.5 荷重-変位曲線(実大 SSP 試作による比較) ※接合部 4 か所あたり

表 6.3.4 試験結果(実大 SSP 試作による比較) ※接合部 1 か所あたり

| 試験体名 | 数 量 | | Pmax | | | | Py | | | | K | |
|---------|--------|------------------------|-------|------|----------------|----------------|-------|------|----------------|----------------|-------|------|
| | | | 平均 | S.D | 50% 下限 値 | 95% 下限 値 | 平均 | S.D | 50% 下限 値 | 95% 下限 値 | 平均 | S.D |
| P6_B0 | 8 | ビス周辺のみ塗布 | 8.48 | 0.76 | 8.30 | 6.87 | 4.56 | 0.5 | 4.44 | 3.47 | 28.10 | 6.74 |
| NS_B0 | 16 | 釘周辺のみ塗布 | 6.31 | 0.46 | 6.23 | 5.40 | 3.50 | 0.28 | 3.45 | 2.94 | 14.85 | 2.07 |
| NS_B2 | 10 | (釘)全面に塗布/釘有り部 | 12.84 | 1.84 | 12.43 | 8.98 | 6.79 | 0.84 | 6.61 | 5.02 | 12.53 | 1.94 |
| NS_B3 | 10 | (釘)全面に塗布/釘なし部 | 10.61 | 1.68 | 10.23 | 7.08 | 5.70 | 0.90 | 5.50 | 3.81 | 11.48 | 2.18 |
| P6_B2 | 10 | (ビス)全面に塗布/ビス有り部 | 21.52 | 2.05 | 21.07 | 17.20 | 11.29 | 1.11 | 11.04 | 8.96 | 50.49 | 9.41 |
| P6_B3 | 10 | (ビス)全面に塗布/ビスなし部 | 16.80 | 0.76 | 16.63 | 15.20 | 8.96 | 0.51 | 8.85 | 7.90 | 43.83 | 8.22 |
| NSP6_BS | 5 | (釘)全面に塗布 後、へらで薄くのばす | 16.98 | 0.74 | 16.74 | 15.17 | 9.67 | 0.50 | 9.51 | 8.45 | 48.64 | 5.32 |
| | 5 | (1週間養生) (1か月養生) | | | | | | | | | | |

表 6.3.5 接合部全面に塗布した試験体の接合具周辺のみ塗布した試験体に対する増加率

| 試験体名 | Pmax | | | Py | | | K |
|---------|------|--------|--------|------|--------|--------|------|
| | 平均 | 50%下限値 | 95%下限値 | 平均 | 50%下限値 | 95%下限値 | |
| NS_B2 | 2.04 | 2.00 | 1.66 | 1.94 | 1.92 | 1.71 | 0.84 |
| NS_B3 | 1.68 | 1.64 | 1.31 | 1.63 | 1.60 | 1.30 | 0.77 |
| NSP6_BS | 1週間 | 2.69 | 2.69 | 2.81 | 2.77 | 2.76 | 2.88 |
| | 1か月 | 3.15 | 3.18 | 3.59 | 3.16 | 3.19 | 3.56 |
| P6_B2 | 2.54 | 2.54 | 2.50 | 2.48 | 2.49 | 2.58 | 1.80 |
| P6_B3 | 1.98 | 2.00 | 2.21 | 1.97 | 1.99 | 2.28 | 1.56 |

小試験体においては接着面積を釘打ちまたはビス留め部のみに制限しているが、実際の重ね梁では接合面全体に接着剤を塗布して製作することから、接合部の面積自体は 300×50mm と同一であっても実際の重ね梁から採取した要素試験では小試験体よりも当然ながら大きな耐力を示し、接着面積を釘打ちまたはビス留め部のみに制限した小試験体で試験を行えば、実際の重ね梁より安全側で評価されると考えられる。

ただし表 6.3.5 に示すように、ビス留め・接着接合と比較して釘打ち・接着接合では、接合部全面に塗布した試験体の、接合具周辺のみ塗布した試験体に対する Pmax や Py の増加率は小さく、特に剛性は増加しなかった。この理由として、切断面から観察される接着状態、および試験後に解体した写真 6.3.1 が示すように、ビス留め接合では接合面全体に接着剤が満たされるのに対し、釘打ちのみでは圧縮圧が不足して接合面全体に接着剤が満たされなかったことや、接着層が厚く、接合面がすき間空け(すなわち NS_B1 試験体)と同様の状態になったことが考えられる。

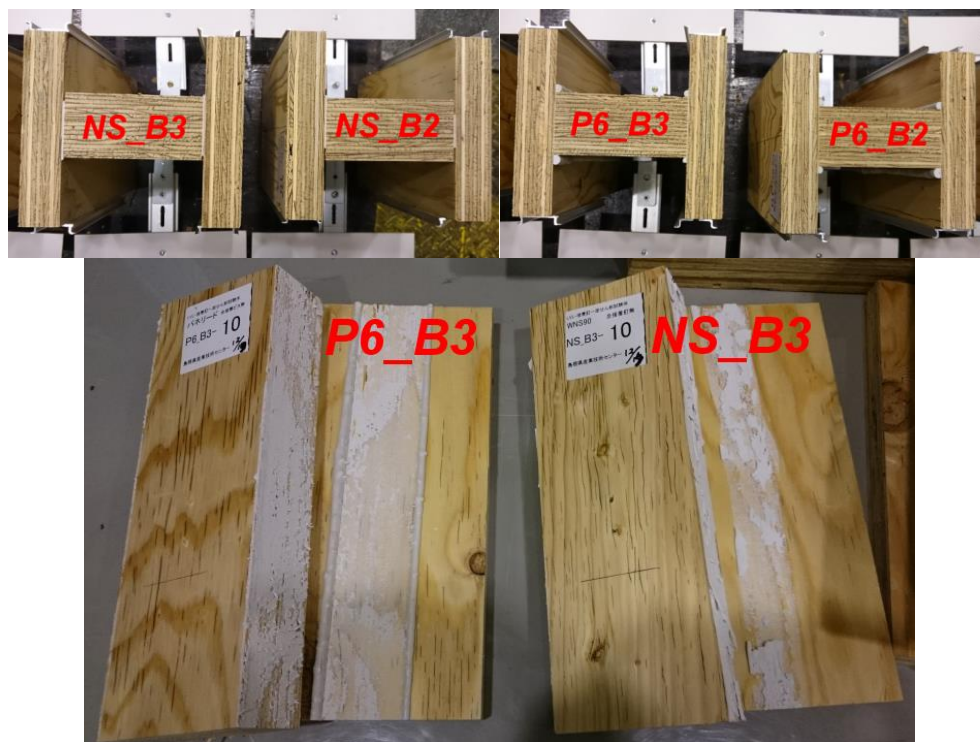


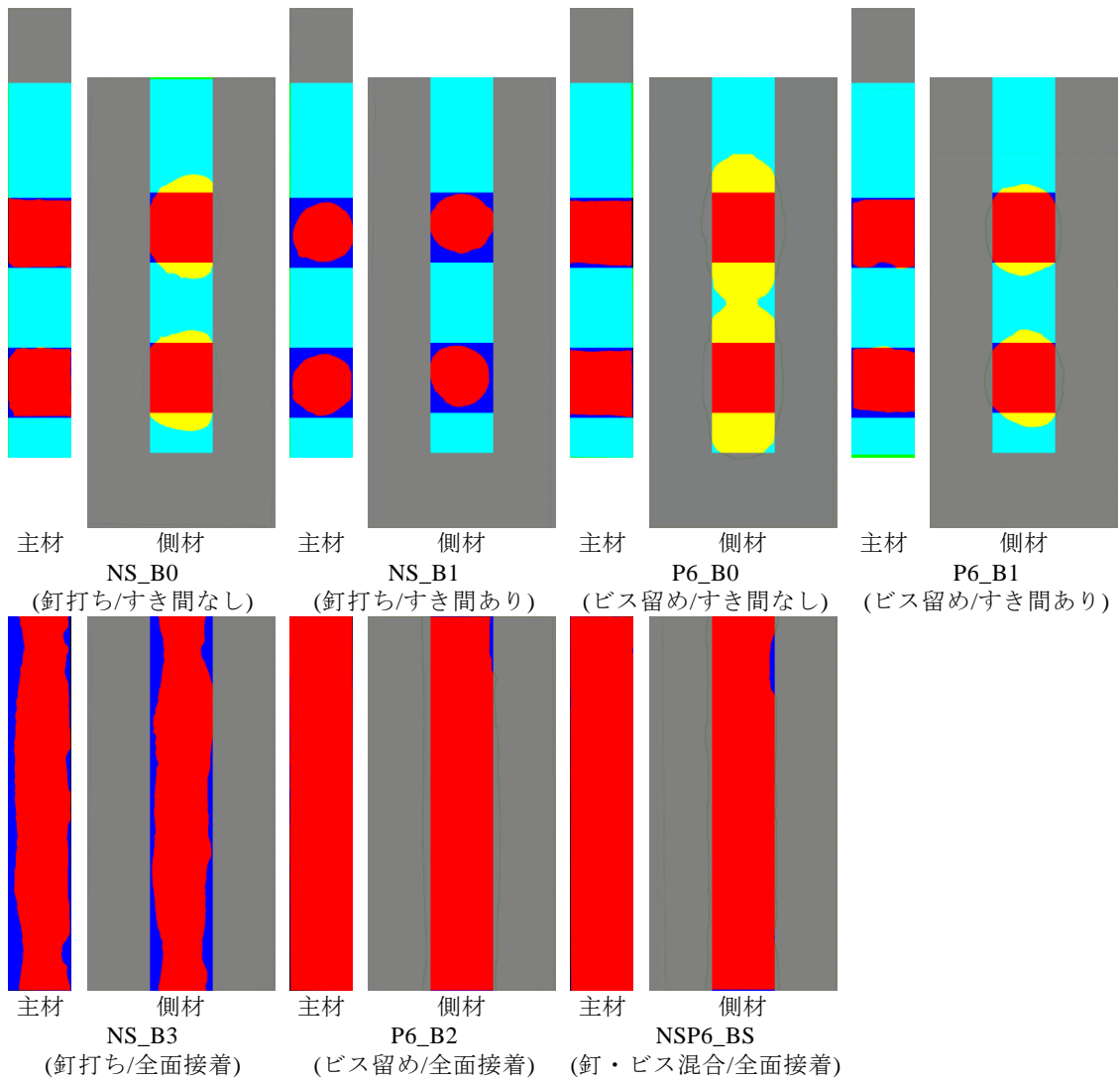
写真 6.3.1 釘打ち接合における接着剤の塗布状況

そこで、試験終了した各試験体を解体して撮影した接合部の写真に画像処理を行って、接着剤の塗布状態を色分けして示した結果を図 6.3.6 に示す。この図においては、主材-側材接合部で接着剤が塗られるべき部分を赤または青で示している。接着剤が接合部をすべて満たせばすべて赤色で示されるべきところ、実際には接合部の接触不良や接着剤の粘性不足により青色の部分が存在することを示している。

ビス留めの場合、すき間の有無にかかわらず接着剤は接合部をほとんど満たしているが、釘打ちですき間を設けた場合や、釘打ちで全面接着した試験体において、接着剤が塗布されるべき部分に接着剤が満たされないことが見て取れる。そこで、各試験体における接着剤が塗布された部分の面積を計測し、塗布面積と強度性能の関係を比較することとした。

各試験体における、実際に接着剤が塗布された部分(すなわち、図 6.3.6 における赤色の部分)の面積を計測した結果を表 6.3.6 に示す。また、接着剤が塗布されるべき部分(図 6.3.6 において、赤色の部分と青色の部分の面積の和)に対する、実際に接着剤が塗布されていた面積(図 6.3.6 における、赤色の部分)の割合を塗布率として計算したものを示す。

NS_B0(釘・接着・すき間なし)と P6_B0(ビス・接着・すき間なし)を比較すると塗布率はほぼ等しいことから、小試験体においては釘とビスいずれを用いても接着剤の塗布面積はほぼ同一になると考えられる。しかしながら、すき間を開けると NS_B1(釘・接着・すき間あり)と P6_B1(ビス・接着・すき間あり)試験体では、NS_B1 で塗布率が大きく低下している。ビスを用いた場合、針金を挟んで接合しても引き寄せ効果によりすき間の距離は針金の太さより密着しやすくなり、すき間に接着剤は十分満たされるが、釘を用いるとすき間は広がりやすくなって接着剤は十分満たされなかったことが理由として考えられる。このことから、接着剤の圧縮に釘のみを用いると接着面積が低下するとともに、すき間が空きやすくなり、接着強度性能が十分には発現されなくなることが明らかとなった。



| | | | |
|--|-----------|----------------------------|----------------------|
| | 接合部 | 接着剤が塗布されるべき部分 | 実際には接着剤が塗布されなかった部分 |
| | | | 接着剤が塗布された部分 |
| | | 接着面積を制限するため、テフロンテープを貼付した部分 | 接着剤がテフロンテープ上にはみ出した部分 |
| | | | テフロンテープの部分 |
| | 非接合部(露出部) | | |

図 6.3.6 接合部に塗布された接着剤の塗布状況の一例

表 6.3.6 各試験体における、実際に接着剤が塗布された部分の面積

| 試験体名 | 試験体の仕様 | n | 塗布面積(mm ²) | 変動係数 | 塗布率(%) |
|---------|--------------------------|----|------------------------|------|--------|
| NS_B0 | 釘打ち/すき間なし | 16 | 2431 | 0.04 | 86.8 |
| NS_B1 | 釘打ち/すき間あり | 16 | 1531 | 0.14 | 54.7 |
| NS_B2 | 釘打ち/全面接着/釘のある部分から切り出し | 10 | 9321 | 0.10 | 62.1 |
| NS_B3 | 釘打ち/全面接着/釘のない部分から切り出し | 10 | 8932 | 0.17 | 59.5 |
| P6_B0 | ビス留め/すき間なし (H25 年度事業) | 3 | 2403 | 0.02 | 85.8 |
| P6_B1 | ビス留め/すき間あり (H25 年度事業) | 3 | 2242 | 0.02 | 80.1 |
| P6_B2 | ビス留め/全面接着/ビスのある部分から切り出し | 3 | 14575 | 0.01 | 97.2 |
| NSP6_BS | 釘・ビス混合/全面接着/釘のある部分から切り出し | 3 | 13512 | 0.05 | 90.0 |

ビス留め・釘打ち・接着併用試験体 (NSP6_BS)では、接着剤が接合面全体に行き渡り、耐力、剛性ともに比較的大きな値を示した。ただし1週間～10日間養生を行った試験体では1か月養生を行った試験体と比較して耐力が低い結果を示した。20℃ほぼ一定の室内で養生したにもかかわらず、ビス留めと比較して接着剤の塗布量が比較的厚くなりがちな釘打ち接着では、1週間程度では接着剤が内部まで十分硬化しなかったことが考えられる。したがって、以降の考察においてNSP6_BSについては1か月養生を行った試験体5体のみを用いて考察を行うこととする。

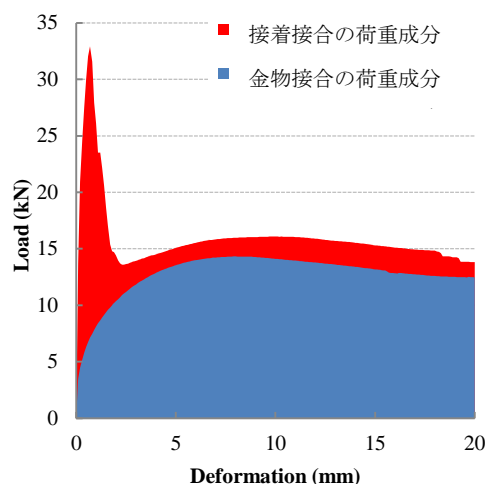


図 6.3.7 接着・金物接合における荷重成分の重ね合わせの模式図

接着面積や接合具本数の異なる各試験体について、接着面積や接合具本数を同一とした比較によって、小試験体で評価した接着・釘接合性能であっても実大 SSP 作成時において同程度以上の接合性能が得られるかどうか確認を行うことにした。ここで接着・金物併用接合は図 6.3.7 に模式的に示すように接着接合と金物接合というメカニズムの異なる接合に起因する荷重成分の重ね合わせであり、接着面積や金物本数の異なる要素試験の結果を比較するには接着面積や金物本数を同一とした検討が必要と考えられる。そこで、塗布面積や金物本数の異なる試験体について、式(6.3.1)によりコントロール試験体における塗布面積と等しくなるよう換算した接着接合による荷重 P_{aso} を仮定して接合性能の評価を行うこととした。

$$P_{aso} = (P_{as} - nP_s) \times \frac{S_0}{S} + nP_s \quad (6.3.1)$$

ここで、

S : 接着剤の塗布面積

S_0 : 小試験体(NS_B0/NS_B1/P6_B0/P6_B1)における接着剤の塗布面積

P_{as} : 塗布面積 S の試験体における荷重

P_s : 金物 1 本のみによる荷重

n : 金物の本数

この式に基づけば、各試験体の接着荷重成分は $P_{aso} - nP_s$ と計算される。たとえば NS_B0 の $P_{aso} - nP_s$ は NS_B0 の荷重から NS_N0 の荷重を差し引いたものとなり、NS_B1 の $P_{aso} - nP_s$ は NS_B1 の荷重から NS_N1 の荷重を差し引いたものとなる。ただし各試験体の塗布面積について、NS_B0/NS_B1/NS_B2/NS_B3 については実測面積で補正を行い、P6_B0/P6_B1 についてはシリーズすべての塗布率を 85.8%、80.1%(すなわち 2403mm²、2242mm²)とした。またビスを用いた実大 SSP 試験体(P6_B2/P6_B3/NSP6_BS)については塗布率を 100%(すなわち 300×50=15000mm²)で計算した。また、全面接着試験体ではすき間が開きやすくなることが考えられるため、N0(すき間なし状態)と N1(すき間あり状態)のそれぞれから差し引いたものを計算した。

相対変位に対する接着荷重成分(すなわち P_{aso-nP_s})の関係を図 6.3.8 に示す。ビス接着の場合、小試験体と全面接着した試験体はビスの有無にかかわらずほぼ一致し、小試験体と全面接着した試験体とを比較すると接着面積に応じて荷重は増加することが再確認された。釘接着の場合も NS_B2, NS_B3 を除き同様の傾向がみられ、特に NSP6_BS 試験体では P6_B0 試験体とほぼ同じ結果が得られた。ただし NS_B1 試験体では NS_B0 試験体より大きな値を示したが、これは NS_B0 試験体に対する NS_B1 試験体の接着面積の比は 0.63 であるにも関わらず表 6.3.3 に示すように NS_B0 試験体に対する NS_B1 試験体の最大荷重の比は 0.92 程度でほとんど変わらず、接着面積の補正が過大に働いたことが理由として考えられる。また NS_B2, NS_B3 試験体については、先にも述べたように接着剤の塗布量が多いにも関わらず養生期間が 1 週間程度だったために接着強度が十分発現せず、面積に比して強度性能は向上しなかったことが理由として考えられる。

以上より、接着・釘併用接合においてもその強度性能は釘接合と接着接合の重ね合わせであらわされ、接着面積を少なくした小試験体で強度性能を確認すれば、正確な精度で施工された実大試験体において安全側に評価可能と考えられる。

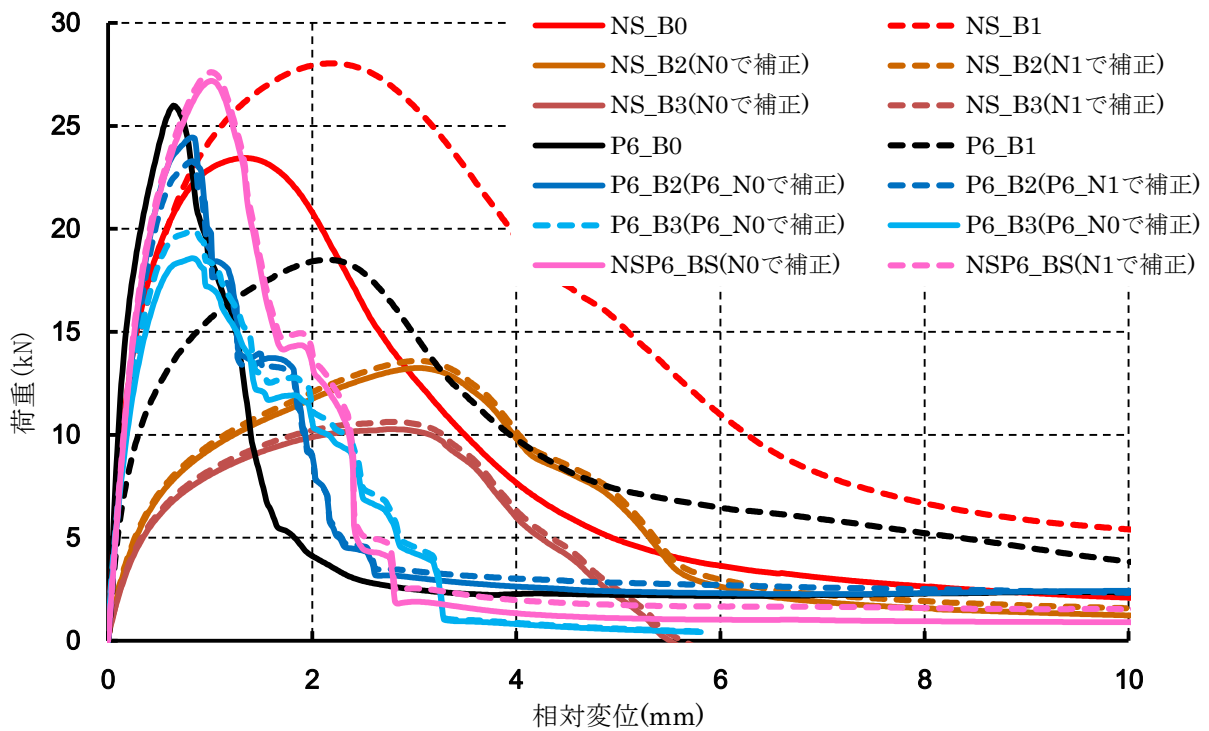


図 6.3.8 荷重-変位曲線(接着荷重成分-実大 SSP で接着面積を同一とした比較)

6.3.5 施工性の比較

接合性能の評価結果からは、接着剤が接合面全体に満たされれば接着・釘打ち接合を行っても接着・ビス留めで製作した SSP 同様接着性能が確保されることから、ビス留めを釘打ちに変更すれば施工性が向上することも期待される。しかし現在の建築基準法においては現場施工接着剤を用いた接着強度は余力としてしか認められない。ウェブのみで(フランジは余力として)設計を行う場合、フランジとウェブとの接合方法としてビス留めを釘打ちに単純に変更しても設計上大きな問題は生じないと考えられるが、フランジとウェブとの接合金物のせん断性能に期待する設計を行う場合、ビス留めを釘打ちに変更すると接合性能が低下するため釘を密に打つ必要がある。接合性能を維持したままビス留めを釘打ちに変更した場合の施工性(施工時間)についての考察を行った。

図 6.2.2～図 6.2.3 の試験体を製作中の録画映像から、ビス留め 166 回、釘打ち 230 回に要した平均作業時間を表 6.3.7 に示す。ドライバの無負荷回転数とビス留めに要する作業時間はほぼ反比例する結果となっており、回転数やトルクが大きなエアインパクトドライバを用いれば施工性はさらに向上することが考えられる。一方、釘打ちの場合釘を打ちこむ時間よりも位置決めに要する時間の方がクリティカルであるので、熟練によって作業時間は短縮されると考えられる。

次に表 6.3.3 の結果からフランジとウェブとの接合金物のせん断性能がクリティカルとなる設計を行った場合に必要となる、ビス留めで接着なしの場合(P6_N)、および釘打ちで接着なしの場合(NS_N)の短期基準せん断耐力を比較した結果を表 6.3.8 に示す。釘打ち接合の短期基準せん断耐力はビス留めの約 0.8 程度であり、500 本のビス留めを釘打ちに変更するには 625 本釘打ちを行う設計とする必要がある。一方、釘打ちの剛性はビス留めの剛性の 1/3 程度であるので、500 本のビス留めの剛性を確保するには 1518 本の釘打ちを行う設計とする必要がある。そこで表 6-8 の結果から 500 本のビス留めを 1518 本または 500 本の釘打ちに変更したときの所要時間を算出した結果を表 6.3.9 に示す。

釘本数をビスと同一(500 本)とすれば作業時間は約 1/7 に短縮され、釘打ちはビス留めより圧倒的に施工性に優れているといえる。しかし釘打ちの剛性を設計に算入する場合に釘本数をビス本数の約 3 倍に増加させると作業時間は 1/2 程度しか短縮されないため、場合によっては回転数やトルクの大きなドライバを用いた場合とほとんど変わらないことも予想される。

表 6.3.7 ビス、釘打ちに要する時間の計測結果

| | | ビス留め/釘打ち作業中の時間 | 作業終了後移動→次の箇所の位置決めに要する行動 |
|----|---|----------------|-------------------------|
| ビス | 電動ドライバ(日立工機 WH12VE) 無負荷回転数 1300min ⁻¹ 、 最大トルク 165N・m | 19634msec | 5992msec |
| | エアインパクトドライバ 無負荷回転数 7000min ⁻¹ 、 最大トルク 353N・m | 4166msec | (未計測) |
| 釘 | | (あわせて)3634msec | |

表 6.3.8 ビス、釘打ち接合における短期基準せん断耐力の算定

| 試験体名 | Pmax | | | Py | | | 2/3Pmax | | | 短期基準せん断耐力 | | 剛性 |
|--------|------|------------|------------|------|------------|------------|---------|------------|------------|------------|------------|------|
| | 平均 | 50%下 限值 | 95%下 限值 | 平均 | 50%下 限值 | 95%下 限值 | 平均 | 50%下 限值 | 95%下 限值 | 50%下 限值 | 95%下 限值 | 平均 |
| P6_N | 3.83 | 3.79 | 3.52 | 2.06 | 2.03 | 1.78 | 2.55 | 2.53 | 2.35 | 2.03 | 1.78 | 1.61 |
| NS_N | 3.13 | 3.09 | 2.72 | 1.71 | 1.68 | 1.43 | 2.09 | 2.06 | 1.81 | 1.68 | 1.43 | 0.53 |
| 釘/ビス 比 | 0.82 | | | | | | | | | 0.83 | 0.80 | 0.33 |

表 6.3.9 500本のビス留めを釘打ちに変更したときの作業時間の推定結果(単位:分)

| | ビス留め/釘打ち作業中の時間 | 作業終了後移動→次の箇所の位置決めに要する行動 | 合計 |
|----------------|----------------|-------------------------|-----|
| ビス留め(電動ドライバ使用) | 164 | 50 | 214 |
| ビス留め(エアドライバ使用) | 35 | 50 | 85 |
| 1518本の釘打ち | | | 92 |
| 500本の釘打ち | | | 30 |

6.4 結論

接着・ビス留め併用接合による SSP の生産効率を向上させるため、ビス留めに替えて釘打ち接合した場合の接合性能の検証を行った。釘打ち接合では生産性は大きく向上するが、釘打ちのみでは接合部にすき間が空くため接着剤が接合部を十分満たさないことが明らかとなった。接合性能を維持したまま生産性を向上するには、引き寄せ効果が高いビス留め接合を適宜配置することが不可欠であると考えられる。

今回用いた湿気硬化型一液性接着剤は流動性が低く、釘打ち接合ではすき間が開いたままになる、1 週間以上経過しても十分な強度性能が得られないなど、工場ラインにおける使用に際して作業性の面であまり適さないと考えられる。本接着剤は床鳴り防止を目的として現場施工を行うため開発されたものであり、接着性能を設計に反映させる上でも実績が十分とはいえない。今後は速乾かつ流動性が高く、接合性能が設計に反映可能な接着剤を利用して開発を進めることが求められる。

6.5 文献

- 1) JIS A 5550: "床根太用接着剤", 日本工業規格(2003).
- 2) 平成 25 年度林野庁補助事業「地域材供給倍増事業（木材利用技術整備等支援事業）」事業報告書
- 3) 河村、稲山、李、成田：木材学会誌 Vol.60, No.4, p.227-234(2014)

第7章 まとめと今後の課題

本報告書は、「平成27年度 林野庁 CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業（CLT 等接合部データ収集）」の研究成果を事業報告書として取りまとめたものである。

第3章では A 種および B 種 LVL のボルト接合部について、1列の本数および列数を変化させて強度実験を行った。

接合具の本数および配置が接合耐力に及ぼす影響を調べるとともに、それぞれの破壊性状を調べることにより、接合部の破壊メカニズムを明らかにするための資料を提供している。本接合方式の普及のため、更なる調査によるデータの蓄積が求められる。

第4章ではスギ、カラマツの A 種および B 種 LVL の面内せん断強度及び面内せん断弾性係数について調査した。

B 種 LVL については、いずれの樹種も同じ樹種の構造用合板と比較して面内せん断強度はやや低く、面内せん断弾性係数はやや高い結果となった。

繊維を直交させて複数の単板を積層接着させることによって、材料としても面内せん断性能が高められ、面内せん断強度と面内せん断弾性係数が単板に比べて高くなっていることが予測されたが、定量的な分析は今後の調査に期待されたい。

第5章では LVL を縦に並べて機械的に緊結した合せ梁の横座屈を考慮した曲げ性能について調査を行った。

横座屈に関係するパラメタとして複数の仕様による接合具配置の場合の合わせ梁のねじり剛性を実験的に測定した。また、横補剛スパンをパラメタとした長尺梁の横座屈を実大試験により観察した。木質構造設計規準・同解説（日本建築学会）による設計規準式と弾性論による計算式のいずれも、実際の横座屈モーメントよりも著しく小さい値を算定してしまった。今後の研究調査により、梁性能をより正確に評価することが求められる。

第6章では大スパンの床版・屋根版として優れた性能を誇るストレススキンパネルを想定し、釘等の接合具、接着剤を用いた接合部の検討を実施した。

ビス・スクリーネイルの圧縮効果による接着剤との複合的な挙動を視野に入れ、施工に要する時間と性能とを比較したところ、ビスとスクリーネイルとを併用することが望ましいことが明らかになった。要求性能と施工のしやすさを考慮した最適な設計となるよう、更なる調査が必要である。

本年度の研究では、LVL を中大規模建築に適用するための構造に関する諸問題に関して特に接合部の設計に注目し強度実験を実施し、A 種、B 種それぞれにおける部材及び接合部の特性に関する資料の整備を図った。限られた期間における研究ではあるが、これらの成果が LVL の新たな構造部材としての適用に活用されることを期待したい。

第 8 章 添付資料

本事業に係る委員会の議事録を添付する。

全国 L V L 協会 技術部会 材料強度委員会

| | | | | | |
|---------|--|-------------------------------------|----------------------------|----|-------|
| 会議名 | 平成27年度 第2回 | 全国LVL協会 技術部会 材料強度委員会 旧) 接合部支圧委員会 | | 確認 | 作成 |
| 日 / 時 | 2015年 | 9月9日 (水) | 13時半～16時半 | 成田 | 村山 |
| 場 所 | 木材会館 6階会議室 | | | | |
| 委員長 | 静岡大学農学部 | 安村 基 | 環境森林科学科 住環境構造学研究室 教授 | | |
| 委員 | 宇都宮大学 | 中島 史郎 | 地域連携教育研究センター | | |
| | 森林総合研究所 | 渋沢 龍也 | 複合材料研究領域 複合化研究室 室長 | | |
| | 森林総合研究所 | 宮本 康太 | 複合材料研究領域 複合化研究室 主任研究員 | | |
| | 静岡大学農学部 | 小林 研治 | 環境森林科学科 住環境構造学研究室 助教 | | |
| | ベターリビング | 岡部 実 | 構造・材料性能試験研究部 部長 | | |
| | 桜設計集団 | 欠) 佐藤 孝治 | | | |
| | 島根県産業技術センター | 河村 進 | 有機材料技術課 | | |
| | 広島県立総合技術研究所林業技術センター | 野沢 浩二 | 林業研究部 | | |
| LVL協会会員 | ㈱オーシカ | 辻 健 | 技術本部 本部長付 部長 | | |
| | ウッドワン | 疋田 慎二 | 住宅システム営業部 構造設計課 | | |
| | インターレックス | 欠) 高橋 圭吾 | パネル セールス | | |
| | 東日本パワーファスニング㈱ | 荻部 泰輝 | 代表取締役社長 | | |
| | 若井ホールディングス㈱ | 橋本 岳史 | 開発本部 | | |
| | ㈱キーテック | 欠) 李 元羽 | 開発部 部長 | | |
| オブザーバー | 林野庁 | 北代 新也 | 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査担当 | | |
| 事務局 | 全国LVL協会 | 欠) 井上 国雄 | 事務局長 | | |
| | | 成田 敏基 | 技術課長 | | |
| | | 欠) 松里 整 | 建築研究所交流研究員 | | |
| | | 欠) 大石 哲也 | | | |
| | | 村山 和繁 | | | |
| 項NO. | 議 事 内 容 | | | | 備 考 |
| | 1. 審議事項 | | | | |
| | 1. 新規メンバー紹介 | | | | 事務局 |
| | 2. 前回議事録 | | | | 事務局 |
| | 3. 林野庁委託事業契約について | | | | 事務局 |
| | 4. 今年度事業案・進捗状況について | | | | 各委員 |
| | ① 複数本接合部検証 | | | | 小林 |
| | ② B種LVLを用いた接着接合の取得 | | | | 河村 |
| | ③ 面内せん断試験計画案 | | | | 中島 |
| | ④ LVL合わせ梁の性能検証 | | | | 事務局 |
| | 5. 次回委員会日程について | | | | |
| | 3. その他 | | | | |
| | 4. 配布資料 | | | | |
| | 1. 前回議事録 | | | | 資料1 |
| | 2. 林野庁委託事業契約書 (抜粋) | | | | 資料2 |
| | 3. 事業全体のタイムテーブル | | | | 資料3 |
| | 4. 複数本接合部検証試験計画案 | | | | 資料4-1 |
| | ULTIMATE PROPERTIES OF BOLTED JOINTS IN GLUED-LAMINATED TIMBER | | | | 資料4-2 |
| | 5. SSPスクリーネイル検証計画案 | | | | 資料5 |
| | 6. 面内せん断試験計画案 | | | | 資料6 |
| | 7. B種LVL 合わせ梁・接合検討 (案) | | | | 資料7 |

| 発言者 | 項NO. | 議 事 内 容 | 担 当 |
|-----|------|--|-----|
| | 1. | 審議事項 | |
| | | 1. 新規メンバー紹介 林野庁委託事業が今回より適応されるため、全メンバーの挨拶を行った。 | 事務局 |
| | | 2. 前回議事録 前回議事録を確認した。 | 事務局 |
| | | 3. 林野庁委託事業契約について 林野庁委託事業契約について説明があった。9/2より適応された旨の説明があった。 | 事務局 |
| | | 4. 今年度事業案・進捗状況について | 各委員 |
| | | ① 複数本接合部検証 小林委員より説明があった。実使用条件を加味する形で考えたいが、木質構造設計規準等の基準式にA種、B種が適応するか確認することが主な目的であるとの説明が事務局よりあった。34条件に試験条件を絞り込んだ。(次ページにまとめる。)当項目に対し、以下の提言があった。①真の終局はPyの倍となる可能性があるため、12本では1000kNでは厳しい可能性がある。②つかみ部を別の形で設定するなら、破壊を防ぐためより接合部に余裕を持った方が良い。③列間隔は少し幅を持たせないで差が表れない。④木質構造設計規準等の基準式と対応させる場合、引張・せん断性能(面内せん断)が必要となる。これまでの実績や中島委員の試験内容を利用する。⑤ボルト本数を増やしてもB種は破壊しない可能性がある。可能なら予備試験を行いたい。⑥鋼板挿入型については数体比較用に行いたい。 | 小林 |
| | | ② B種LVLを用いた接着接合の取得 河村委員より説明があった。ストレススキパネル等の施工性、性能上昇のため、スクリューネールによる接合性能を検討するとの説明があった。内容について以下の提言があった。①構造的に接着性能は期待しないなら、1面せん断試験を行う意味はあるのか?試験体を長くして減衰(動的弾性など)を確認し、接着性能を確認した方が良いのではないか?②タイトルがわかりにくい。方針に即した名称に変更すべき。③接着について期待があるなら、接着剤の種類など条件を再度考えた方が良い。④実用途への適用など目的がわからない。整理してほしい。 | 河村 |
| | | ③ 面内せん断試験計画案 中島委員より報告があった。基本的には前年度からの継続となるが、一部治具改良などが必要との報告があった。内容について以下の提言があった。①理論値計算は難しいとのことだったが、何らかの理論値は計算できるのではないかと?②LVLの単板強度、材料強度はいくつになるかと?確認したい。 | 中島 |
| | | ④ LVL合わせ梁の性能検証 事務局成田より報告があった。実際の仕様については今後佐藤委員と話し合い、定めていくとの説明があった。内容について以下の提言があった。①実際使用時の横座屈、すべりなどを考えた試験を行った方が良い。②準耐火ではビス頭を埋める必要があるため、そういった条件も考えた方が良い。③方針が固まっていない。実使用の条件についても検討が必要。 | 事務局 |
| | | 5. 次回委員会日程について 第3回 12/21 13:30-15:30 第4回 2/1 13:30-15:30 | |
| | 3. | その他 | |
| | | 9/14に行われるLVL厚板壁を使用した物件見学についての案内を行った。 | |

| | | | | | |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|----------|-----------|
| 会議名 | 平成27年度 第3回 | 全国LVL協会 技術部会 材料強度委員会 (旧) 接合部支圧委員会 | | 確認 | 作成 |
| 日 / 時 | 2015年 | 12月21日 (月) | 13時～15時 | 成田 | 村山 |
| 場 所 | 木材会館 6階会議室 | | | | |
| 委員長 | 静岡大学農学部 | 安村 基 | 環境森林科学科 住環境構造学研究室 | 教授 | |
| 委員 | 宇都宮大学 | 中島 史郎 | 地域連携教育研究センター | | |
| | 森林総合研究所 | 欠) 渋沢 龍也 | 複合材料研究領域 複合化研究室 | 室長 | |
| | 森林総合研究所 | 欠) 宮本 康太 | 複合材料研究領域 複合化研究室 | 主任研究員 | |
| | 静岡大学農学部 | 小林 研治 | 環境森林科学科 住環境構造学研究室 | 助教 | |
| | バタリービング | 岡部 実 | 構造・材料性能試験研究部 | 部長 | |
| | 桜設計集団 | 佐藤 孝治 | | | |
| | 島根県産業技術センター | 河村 進 | 有機材料技術課 | | |
| | 広島県立総合技術研究所林業技術センター | 野沢 浩二 | 林業研究部 | | |
| LVL協会会員 (株)オーシカ | | 辻 健 | 技術本部 本部長付 | 部長 | |
| ウッドワン | 欠) 足田 慎二 | | 住宅システム営業部 | 構造設計課 | |
| インターレックス | 高橋 圭吾 | | パネル セールス | | |
| --- | 代) 北森 一成 | | 営業本部 | | |
| 若井ホールディングス(株) | 橋本 岳史 | | 開発本部 | | |
| (株)キヤテック | 欠) 李 元羽 | | 開発部 | 部長 | |
| オブザーバー 林野庁 | 北代 新也 | | 林政部 木材産業課 木材製品技術室 | 木材製品調査担当 | |
| | 桜設計集団 | 池谷 聡史 | | | |
| 事務局 全国LVL協会 | 欠) 井上 国雄 | | 事務局長 | | |
| | 成田 敏基 | | 技術課長 | | |
| | 松里 整 | | 建築研究所交流研究員 | | |
| | 欠) 大石 哲也 | | | | |
| | 村山 和繁 | | | | |
| 項N0. | 議 事 内 容 | | | | 備 考 |
| | 1. 審議事項 | | | | |
| | 1. 前回議事録 | | | | 事務局 |
| | 2. 今年度事業案・進捗状況について | | | | 各委員 |
| | ① 複数本接合部検証 | | | | 小林、岡部 |
| | ② 面内せん断検証 | | | | 中島 |
| | ③ LVL合わせ梁の性能検証 | | | | 事務局、野沢、池谷 |
| | ④ SSPスクリーネイル検証 | | | | 事務局、河村 |
| | 3. 次回委員会日程について | | | | |
| | 3. その他 | | | | |
| | 4. 配布資料 | | | | |
| | 1. 前回議事録 | | | | 資料1 |
| | 2. 事業全体のタイムテーブル | | | | 資料2 |
| | 3. 全体の進捗状況について | | | | 資料3 |
| | 4. 複数本接合部検証 | | | | 資料4 |
| | ボルト接合部予備試験 | | | | 資料4-2 |
| | 5. 面内せん断検証 | | | | 資料5 |
| | 6. LVL合わせ梁の性能検証 | | | | 資料6 |
| | 7. SSPスクリーネイル検証 | | | | 資料7 |
| | 8. ストレストスキンパネル床設計の考え方 | | | | 資料8 |

| 発言者 | 項N0. | 議 事 内 容 | 担 当 |
|-----|------|--|-----|
| | 1. | 審議事項 | |
| | | 1. 前回議事録 | |
| | | 議事録及び、全体の進捗を報告した。報告書作成の目標は2月中旬と連絡があった。 | |
| | | 2. 今年度事業案・進捗状況について | |
| | | ① 複数本接合部検証 | |
| | | 岡部委員より内容と現在の進捗について説明があった。小林委員から予備試験、ボルト試験の報告があった。ボルトの性能は引張試験を追加で行う予定である。以下の提言を頂いた。①応力集中が起きないようにビスなどで部分的な補強を行った方が良い。②学会基準に準じた表を作成する。 | |
| | | ② 面内せん断検証 | |
| | | 中島委員より内容と現在の進捗について説明があった。1/4-5で森林総研にて、薄物LVLの試験を行う予定との連絡があった。 | |
| | | ③ LVL合わせ梁の性能検証 | |
| | | 事務局、池谷様より概要の説明があり、野沢委員より進捗の説明があった。試験は12/24-25で行う予定との連絡があった。つかみ方向の固定条件を確認してから、試験を行う必要がある。これについては、試験前に現地で確認することとなった。 | |
| | | ④ SSPスクリーネイル検証 | |
| | | 事務局よりSSPの床設計の考え方について、説明があった。たわみが小さいので、再度計算した方がよいとの提言を頂いた。 | |
| | | 河村委員から事業内容と進捗について説明があった。以下の意見を頂いた。①接着の強度を見る必要があるのか？②ポリウレタンはJIS規格がないので構造用途では使えない。接着剤は今の物でよいのか？③37条認定をとり、全体で計算できるようにした方がよいのではないのか？④音響性能に不安があるのではないのか？以下事務局の解答、①施工性を重要視していることや現実に使用されているものを使いたいので、ポリウレタンを使う。②接着剤は強度計算には関与しないが、剛性には影響する。③認定も考えるが、まず基本的なデータを集めたい。④音については、東京工業大学との共同研究で振動性状を確認した事例がある。 | |
| | | 3. 次回委員会日程について | |
| | | 2/8 14:00-16:00 新木場タワーB会議室 | |

| | | | | | |
|---------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------|----|-------|
| 会議名 | 平成27年度 第4回 | 全国LVL協会 技術部会 材料強度委員会 (旧) 接合部支圧委員会 | | 確認 | 作成 |
| 日 / 時 | 2016年 | 2月8日 (月) | 14時～16時 | 成田 | 村山 |
| 場 所 | 新木場タワー15階 会議室B | | | | |
| 委員長 | 静岡大学農学部 | 安村 基 | 環境森林科学科 住環境構造学研究室 教授 | | |
| 委員 | 宇都宮大学 | 中島 史郎 | 地域連携教育研究センター | | |
| | 森林総合研究所 | 欠) 渋沢 龍也 | 複合材料研究領域 複合化研究室 室長 | | |
| | 森林総合研究所 | 欠) 宮本 康太 | 複合材料研究領域 複合化研究室 主任研究員 | | |
| | 静岡大学農学部 | 小林 研治 | 環境森林科学科 住環境構造学研究室 助教 | | |
| | ベタリーピング | 岡部 実 | 構造・材料性能試験研究部 部長 | | |
| | 桜設計集団 | 佐藤 孝浩 | | | |
| | 島根県産業技術センター | 河村 進 | 有機材料技術科 | | |
| | 広島県立総合技術研究所林業技術センター | 野沢 浩二 | 林業研究部 | | |
| LVL協会会員 | ㈱オーシカ | 欠) 辻 健 | 技術本部 本部長付 部長 | | |
| | ウッドワン | 定田 慎二 | 住宅システム営業部 構造設計課 | | |
| | インターレックス | 高橋 圭吾 | パネル セールス | | |
| | 東日本パワーファスニング㈱ | 代) 北森 一成 | 営業本部 | | |
| | 若井ホールディングス㈱ | 橋本 岳史 | 開発本部 | | |
| | 若井ホールディングス㈱ | 森 正樹 | 開発本部 | | |
| オブザーバー | 林野庁 | 欠) 大倉 弘二 | 林政部 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐 | | |
| | 林野庁 | 北代 新也 | 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査担当 | | |
| | 広島県立総合技術研究所林業技術センター | 藤田 和彦 | 林業研究部 | | |
| | 桜設計集団 | 池谷 聡史 | | | |
| | ㈱キーテック | 朴 智秀 | 開発本部 | | |
| 事務局 | 全国LVL協会 | 欠) 井上 国雄 | 事務局長 | | |
| | | 李 元羽 | 技術部長 | | |
| | | 成田 敏基 | 技術課長 | | |
| | | 松里 整 | 建築研究所交流研究員 | | |
| | | 村山 和繁 | | | |
| 項N0. | 議 事 内 容 | | | | 備 考 |
| | 1. | 審議事項 | | | |
| | | 1. 前回議事録 | | | 事務局 |
| | | 2. 事業報告書の作成について | | | |
| | | ① 目次案をもとにした各委員の担当について | | | |
| | | ② 事業報告書のフォーマット、締切日について | | | |
| | 2. | 報告事項 | | | |
| | | 1. 試験の進捗状況について | | | 各委員 |
| | | ① 複数本接合部検証 | | | 小林、岡部 |
| | | ② 面内せん断検証 | | | 中島 |
| | | ③ LVL合わせ梁の性能検証 | | | 野沢、池谷 |
| | | ④ SSPスクリーネイル検証 | | | 河村 |
| | 3. | その他 | | | |
| | | 1. 次回委員会日程（総括）について | | | |
| | 4. | 配布資料 | | | |
| | | 1. 前回議事録 | | | 資料1 |
| | | 2. 事業報告書目次案 | | | 資料2 |
| | | 3. 報告書フォーマット案 | | | 資料3 |
| | | 4. 複数本接合部検証（静岡大学実施分） | | | 資料4-1 |
| | | 複数本接合部検証（ベタリーピング実施分） | | | 資料4-2 |
| | | 5. 面内せん断検証 | | | 資料5 |
| | | 6. LVL合わせ梁の性能検証（試験報告書案） | | | 資料6-1 |
| | | LVL合わせ梁の性能検証（性能の検証について） | | | 資料6-2 |
| | | 7. SSPスクリーネイル検証 | | | 資料7 |

