

令和5年度建築用木材供給・利用強化対策のうち CLT・LVL等の建築物への利用
環境整備事業のうち CLT・LVL等を活用した建築物の低コスト化の推進のうち
CLT・LVL等を活用した建築物の低コスト化・検証等事業

「構造用製材の含水率の変化による割れ等の発生
及び接合部の強度の検証」報告書

令和6年3月

一般社団法人 全国木材組合連合会

目次

1. 事業の目的等	1
1.1. 事業の目的	1
1.2. 期待される効果	1
1.3. 検討委員会の構成と経過	2
1.4. 事業の実施体制	4
2. 構造用製材の含水率の変化による割れ等の発生に係る試験	5
2.1. 背景	5
2.2. 目的	5
2.3. 試験の実施内容	5
2.4. 試験方法	5
2.5. 割れおよび寸法等の測定結果	13
2.5.1 強制調湿条件の測定結果	13
2.5.2 自然調湿条件の測定結果	30
2.5.3 含水率 20%の木材が使用環境下の平衡含水率に達する間に発生する割れや寸法変化についての総合的な検証結果	40
3. 施工時の含水率の違いが接合部の強度性能に与える影響	43
3.1. 検討の目的	43
3.2. 事業の概要	43
3.3. 試験体木材の種類と調整方法の計画	43
3.4. 含水率の測定結果	45
3.4.1. 作業工程	45
3.4.2. 木材調達	46
3.4.3. 木材カットとサンプル材の全乾法測定	48
3.4.4. サンプル材の全乾法測定結果	50
3.4.5. 試験体重量測定による含水率の推定	53
3.4.6. 接合部試験後の全乾法による含水率測定	54
3.5. 接合部試験の実施内容	57
3.5.1. 合板添え板くぎ接合 一面せん断（繊維平行方向）の接合部	60
3.5.2. 合板添え板くぎ接合 一面せん断（繊維直角方向）の接合部	73
3.5.3. 鋼板添え板ビス接合 一面せん断（繊維平行方向）の接合部	83
3.5.4. 鋼棒挿入ドリフトピン接合 二面せん断（繊維平行方向）の接合部	94
3.5.5. 鋼板挿入ドリフトピン接合 二面せん断（繊維平行方向）の接合部	110
3.6. 接合部試験結果の考察	128
3.6.1. 施工時の含水率が強度性能に及ぼす影響についての検討	128
3.6.2. 木材表面の凹み量が強度性能に及ぼす影響についての検討	135
3.6.3. 多数本の影響についての検討	138

3.6.4.	鋼板挿入ドリフトピン接合における木材収縮による割裂の発生状況	140
3.6.5.	参考データ：施工時に試験体の近傍から採取した厚さ 20 mm×105 mm角のサンプル材から測定した含水率と強度性能	142
3.7.	接合部試験のまとめ	147
4.	まとめ	148

1. 事業の目的等

1.1. 事業の目的

構造用製材は、乾燥に伴う割れや収縮等による接合部の耐力低下のおそれから、平衡含水率 15%以下の製品が求められる場合がある。

含水率 20%の人工乾燥材が平衡含水率に達するまでの割れや変形等の発生、強度との関係については必ずしも十分に明らかにされていない。

本事業では、令和 4 年度に実施した含水率と割れ等の変化の測定を引き続き強制調湿条件と自然調湿条件下で平衡含水率以下にまで乾燥させ、割れや収縮等の変化を検証することとする。

合わせて、4 年度に実施した接合部の強度性能の評価手法の検討結果に基づき、接合部施工時の含水率が 20%、15%及び高含水率の試験体が、施工後の乾燥により平衡含水率以下になった状態で試験を行い初期含水率と接合部の強度変化を評価することを目的とする。

1.2. 期待される効果

含水率 20%程度の乾燥材が平衡含水率に達するまでの間に発生する割れや収縮、接合部の強度の変化を試験結果に基づき検証することにより、含水率と接合部強度の関係が明らかになり、木材を利用する建築事業者や施主の理解が向上し、一般に流通している含水率 20%以下の構造用製材の使用可能な範囲や使用上の留意点等を明確にすることが期待される。

このことにより、部材の調達や設計が容易となるなど、特に品質・性能の確かな部材が求められる中大規模木造建築物の普及の促進に寄与することが期待される。

また、JAS や建築基準法令等を所掌する機関等が基準等を検討する際の基礎的な情報として活用されることも併せて期待される。

1.3. 検討委員会の構成と経過

1.3.1 検討委員会の構成

(委員)

河合 直人 工学院大学 建築学部建築学科 教授
小林 研治 静岡大学大学院農学領域 生物資源科学科 住環境構造学研究室
准教授
川井 安生 秋田県立大学 木材高度加工研究所 准教授
藤本 登留 九州大学大学院農学研究院環境農学部門 サステイナブル資源
科学講座 木質材料工学研究室 准教授
槌本 敬大 建築研究所 材料研究グループ 上席研究員
中島 昌一 建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
加藤 英雄 森林総合研究所 木材研究部門 構造利用研究領域 材料接合研究室
主任研究員
渡辺 憲 森林総合研究所 木材加工・特性研究領域 木材乾燥研究室
主任研究員
大橋 義徳 北海道立総合研究機構林産試験場 技術部 生産技術グループ
研究主幹
松元 浩 石川県農林総合研究センター林業試験場 主任研究員
河崎 弥生 河崎技術士事務所 所長
田尾 玄秀 一般社団法人中大規模木造プレカット技術協会理事／縦建築事務所
功刀 友輔 一般社団法人中大規模木造プレカット技術協会理事
／株式会社マルレーヴ
鈴木 圭 公益財団法人日本住宅・木材技術センター 研究技術部 研究主幹

(オブザーバー (試験実施機関))

栃木県林業センター
長野県林業総合センター木材部
静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター
兵庫県立農林水産技術総合センター 森林林業技術センター
愛媛県農林水産研究所林業研究センター
熊本県林業研究・研修センター
大分県農林水産研究指導センター林業研究部
宮崎県木材利用技術センター

(行政機関)

林野庁 林政部木材産業課 木材製品技術室
農林水産省 大臣官房新事業・食品産業部食品製造課 基準認証室
国土交通省 住宅局住宅生産課木造住宅振興室
住宅局参事官(建築企画担当) 付

(事務局)

(一社) 全国木材組合連合会

1.3.2 検討委員会の経過

第1回検討委員会 令和5年6月15日(木) 10:00~12:00

赤坂スターゲートプラザ RoomB (Web 併用)

- ・事業概要について
- ・令和4年度事業の試験方法・測定結果について
- ・令和5年度の試験計画について

第2回検討委員会 令和6年2月16日(金) 15:00~17:00

TKP 赤坂カンファレンスセンターミーティングルーム 13B (Web 併用)

- ・試験の実施状況及び試験結果報告
 - ① 含水率の変化による割れ、収縮の発生(強制調湿、自然調湿)
 - ② 接合部の強度試験結果

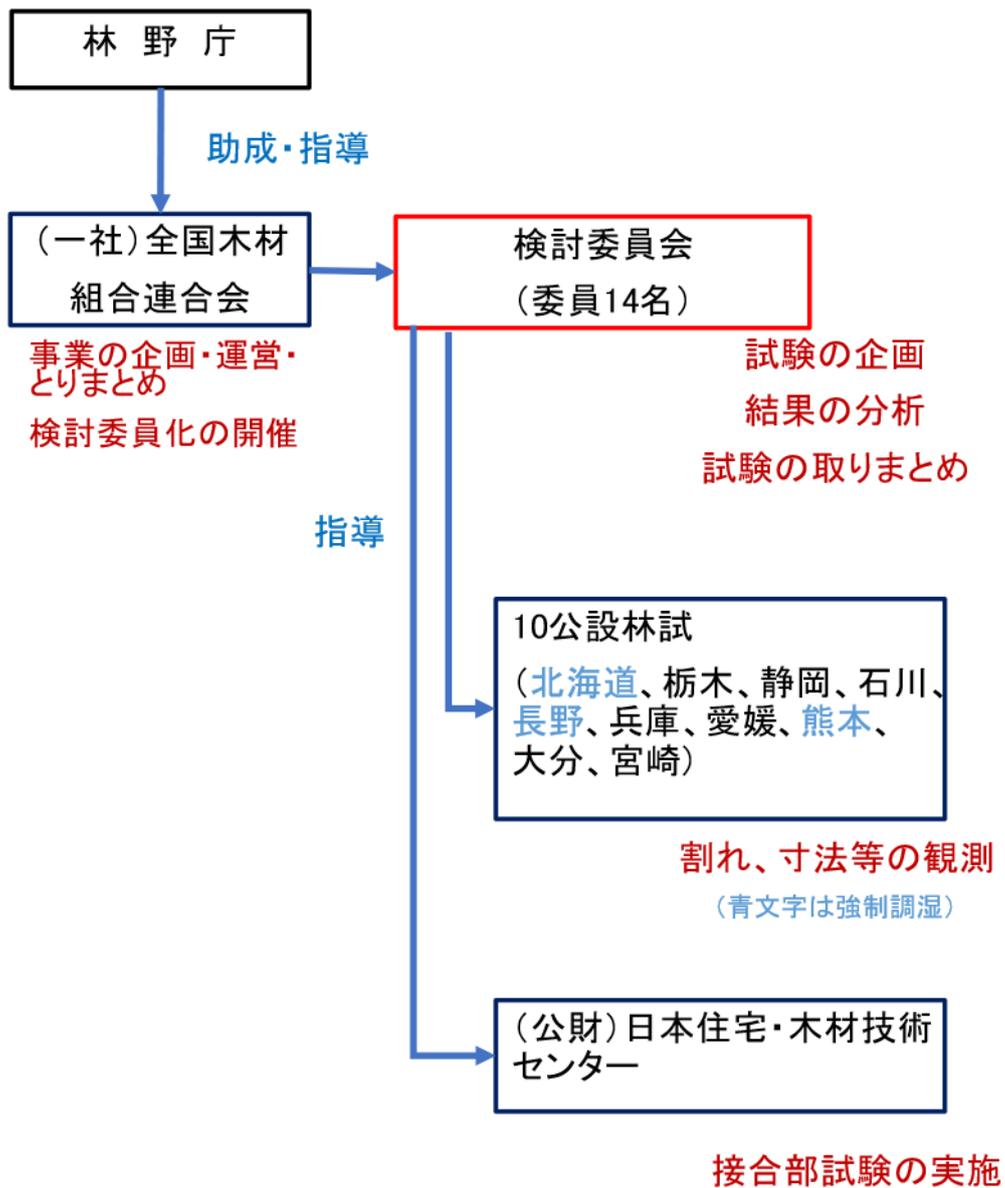
第3回検討委員会 令和6年3月12日(火) 13:00~15:00

赤坂スターゲートプラザ RoomC (Web 併用)

- ・報告書のとりまとめについて

1.4. 事業の実施体制

構造用製材の含水率の変化による割れ等の発生及び接合部の強度の検証（実施体制図）



2. 構造用製材の含水率の変化による割れ等の発生に係る試験

2.1. 背景

構造用製材は、建築物に利用する際、乾燥に伴う収縮や割れ等が発生し、特に接合部において予期しない耐力低下が生じるおそれがあるとされ、含水率 15%以下の規格のものが求められる場合がある。含水率 15%は、日本各地の気象条件を考慮して求めた木材の平衡含水率の平均値に基づくものと考えられる。

構造用製材の乾燥割れによる耐力低下を検証するには、使用条件下の平衡含水率よりも含水率が高い構造用製材が、その使用条件下における平衡含水率に含水率が低下するときに発生する割れがどのようなものかを明らかにする必要がある。また、実際の木造建築で使用していた構造用製材の平衡含水率は一部で 10%という事例がある。これは、小屋裏や壁体内の温度が 50℃のときの環境であると考えられる。そのため、使用条件下における構造用製材の乾燥割れがどのようなものかを明らかにするには、日本各地の気象条件で木材がその地域の平衡含水率に達するまでの過程で発生する乾燥割れはもちろんのこと、実際の木造建築で確認されている平衡含水率 10%に達するまでの過程で発生する乾燥割れについても検討する必要がある。

2.2. 目的

2.1 を踏まえ、含水率 20%の構造用製材が日本各地の気象条件を考慮して求めた木材の平衡含水率や実際の木造建築で確認されている平衡含水率に達するまでの過程で発生する乾燥割れの評価を行う。

なお、試験体の樹種は提案書記載のとおりスギとし、その材種は製材の JAS 格付け実績が多い心持ち正角を対象とした。

2.3. 試験の実施内容

(1) 強制調湿（小屋裏または壁体内の環境を考慮した調湿条件）

- ・最高温度 50～60℃、目標到達平衡含水率 10%（調湿環境は平衡含水率 8.6～4.8%）
- ・実施機関：北海道、長野県、熊本県
- ・測定対象：構造用製材の機械等級区分を想定した 3 水準
- ・試験体数：57 体（19 体×3 水準）
- ・測定項目：重量、寸法、割れ、凹みおよび全乾法による含水率

(2) 温湿度自然条件（地域別、温湿度の繰り返しによる影響評価）

- ・実施機関：栃木県、静岡県、石川県、兵庫県、愛媛県、大分県、宮崎県
- ・測定対象：構造用製材の機械等級区分を想定した 1 水準
- ・試験体数：19 体
- ・測定項目：設置場所の温湿度、重量、寸法、割れおよび凹み

2.4. 試験方法

調達した乾燥材 280 体（105×105×3000mm）について縦振動ヤング係数（E_{fr}）を測定した。その後、図 2.4-1 に示すように、両材端部から 1100mm の位置からそれぞれ

れ厚さ約 30mm の試験片を採取した。採取した試験片は、重量測定後、材端部に近い断面（木口面）画像をスキャナーにより解像度 200dpi で保存した後、全乾法による含水率を求めた。なお、材端部から得られた 1100mm の試験体は、末口側を E1、元口側を E2 とし、残りの中央部は縦圧縮（短柱圧縮）試験体とした。なお、縦圧縮強度試験は令和 4 年度に実施済みである。得られた E_{fr} と含水率データから、試験体調達の考え方（令和 4 年度報告書を参照）に基づき、それぞれの試験に試験体を振り分けた。

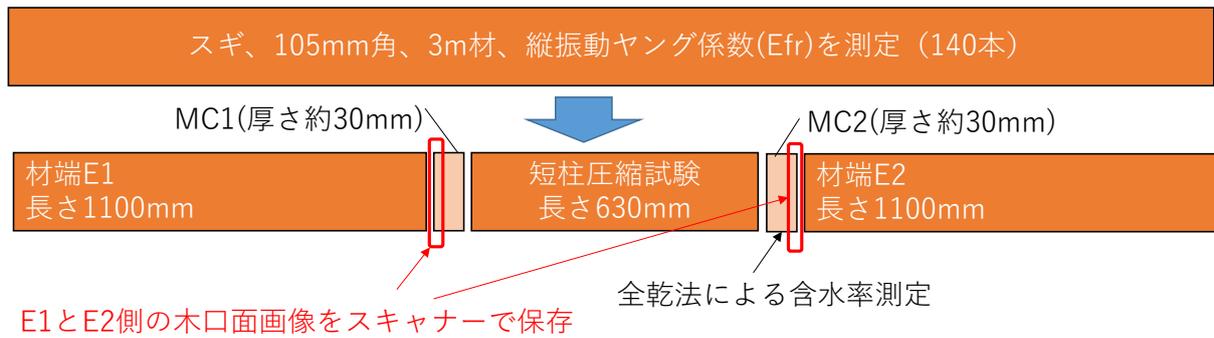


図 2.4-1 試験体の採取方法

含水率 20%のスギ心持ち正角が平衡含水率に達したときの割れおよび寸法の評価用の試験体については、強制調湿、温湿度自然条件のいずれの試験体も、木口面にみられる割れが人工乾燥による変色により観察が困難なため、調湿開始前に以下に示す手順で試験体を 1080mm に調整した。

- ①1100mm 時の試験体重量を測定。
- ②図 2.4-2 に示すように、木口面側の材端部 20 mm切断。
- ③切片および試験体（長さ 1080mm）の重量を測定。
- ④スキャナーを用いて切片の切断された面をスキャン。
ただし、切断時に切片がばらばらになる場合はスキャンを中止する。
また、スキャン条件は 200dpi、カラーとする。
- ⑤全乾法で切片の含水率を測定

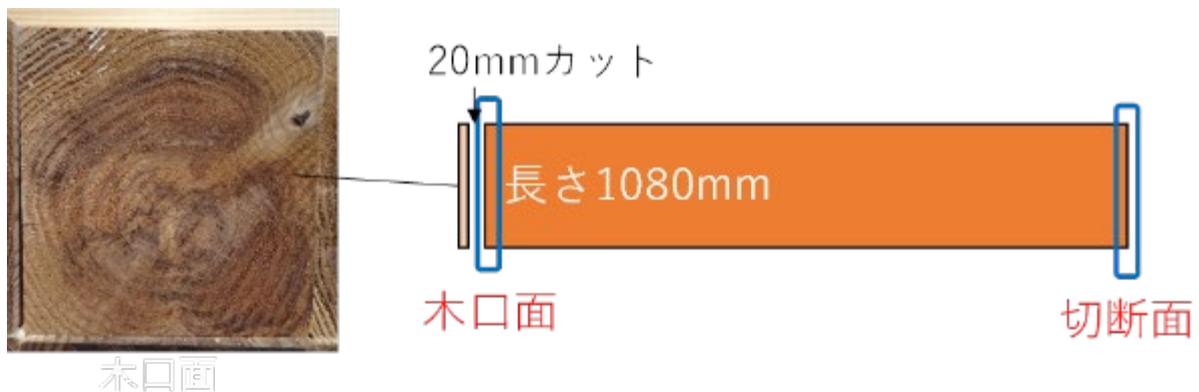


図 2.4-2 木口面に見られる割れの測定方法（調湿開始前）

2.4.1 強制調湿の測定手順

全数について、寸法、重量、割れ、各材面の最大単独節径および最大集中節径を測定後、試験体を棧積みし、写真 2.4.1-1 に示すとおり人工乾燥装置を用いて、乾球温度 50℃、湿球温度 40℃の条件で人工的に調湿した。強制調湿は令和 5 年 2 月でいったん休止し、令和 5 年 9 月または 10 月から再開した。その後約 1 ヶ月で試験体重量の減少がみられなくなったが推定含水率が 10%に達していなかったため、乾燥促進の目的から調湿条件を乾球温度 60℃、湿球温度 40℃に変更し、さらに 2 ヶ月間調湿した。その後はすべての試験体が含水率 10%以下に達したと判断し、強制調湿終了とした。

経過観察は以下の手順で実施した。

①モニター材 5 体（57 体を含水率によって 5 組に分け、その代表となる試験体）について重量を測定

②それぞれの組について、推定含水率が 20%、15%、10%時に寸法、重量および割れを測定。

③調湿終了後、全数について 5 か所（材端部 2 か所、材端部から 300mm の位置 2 か所、中央部 1 か所）から厚さ 30mm の試験片を採取し、全乾法による含水率測定。ただし、材端部の切片は端部の面をスキャンしてから全乾にすることとする。



写真 2.4.1-1 強制調湿条件における棧積みの様子

2.4.2 温湿度自然条件の測定手順

全数について、寸法、重量、割れ、各材面の最大単独節径および最大集中節径を測定後、図 2.4.2-1 及び写真 2.4.2-1 に示す通り、屋内で棧積みした。

経過観察は以下の手順で実施した。

①モニター材 5 体について重量を測定

②全数について寸法、重量、割れを測定

令和 6 年 12 月まで①を週 1 回、②を 2 ヶ月に 1 回実施することとする。

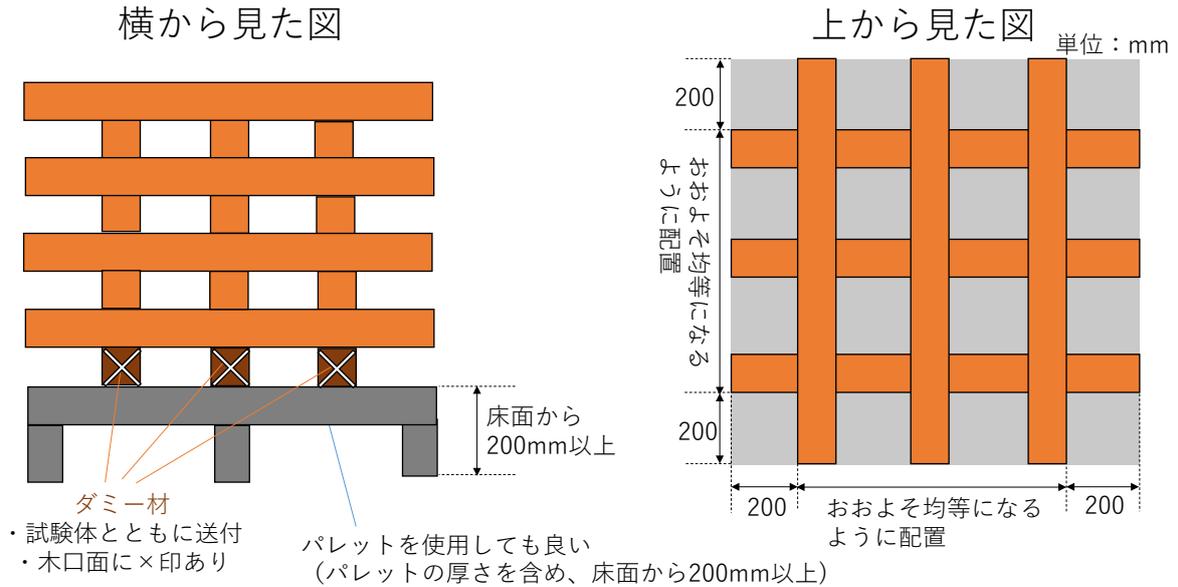


図 2.4.2-1 栈積み方法 (温湿度自然条件)



写真 2.4.2-1 温湿度自然条件における栈積みの様子

2.4.3 割れおよび寸法の測定方法

割れおよび寸法の測定方法について、それぞれ下記に手順を示す。

2.4.3.1 木口面に見られる割れの測定方法

①カメラを用いて木口面の写真を撮影

細かい割れが多数あるため 1 本ずつの測定は行わない (測定可能な場合は測定してかまわない)。カメラから木口面までの距離や画像サイズなどの撮影条件は問わないが、目視で割れが確認できる程度の解像度で撮影すること、1つの画像につき 1 体、複数体どちらでもかまわない。スケール (定規など) と一緒に撮影すること。

②調湿終了後に、写真から「木口面全体として、調湿前後で割れが増加 or 変化なし or 減少」を目視で判定する。

③調湿終了後に、厚さ 30mm の切片を採取し、スキャナーで木口面を再びスキャン

する（切断された面ではないことに注意）。

2.4.3.2 材面割れの測定方法

①割れに1つ1つ番号をつけ、始点と終点に印を記入（図 2.4.3.2-1）

ただし、測定した時期によって印の形と色は適宜変えることとする。

②長さ L と最大幅 A を測定（図 2.4.3.2-2）

ただし、長さ L は始点と終点を結んだ直線とし、物差しやコンベックス等を用いて 1mm 精度で測定。最大幅 A はクラックゲージを用いて測定。幅が大きすぎて測定できない場合は物差しやノギス等を使用。

③木口から伸びた割れか材面単独の割れかを記録

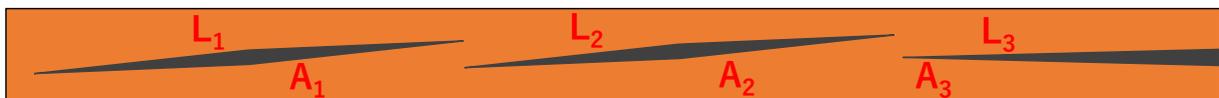


図 2.4.3.2-1 材面割れ長さとの測定方法

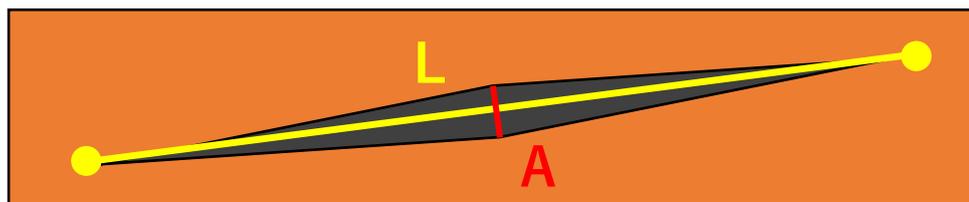


図 2.4.3.2-2 割れ長さとの測定方法

2.4.3.3 切断面に見られる割れの測定方法

①割れに1つ1つ番号をつけ、始点と終点に印を記入（図 2.4.3.3-1）

ただし、測定した時期によって印の形と色は適宜変えることとする。

②長さ L と最大幅 A を測定（図 2.4.3.3-2）

ただし、長さ L は始点と終点を結んだ直線とし、物差しやコンベックス等を用いて 1mm 精度で測定。最大幅 A はクラックゲージを用いて測定。幅が大きすぎて測定できない場合は物差しやノギス等を使用。

③調湿終了後に切片を採取してスキャナーで切断面をスキャン。

ただし、スキャン条件は 200dpi 、カラーとする。

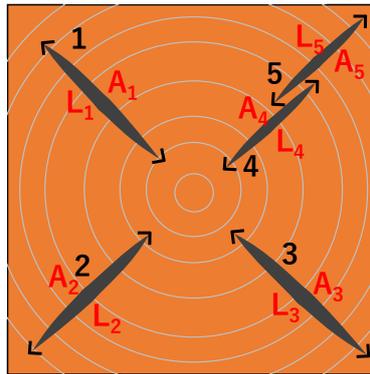


図 2.4.3.3-1 割れ長さとの幅の測定方法（切断面）

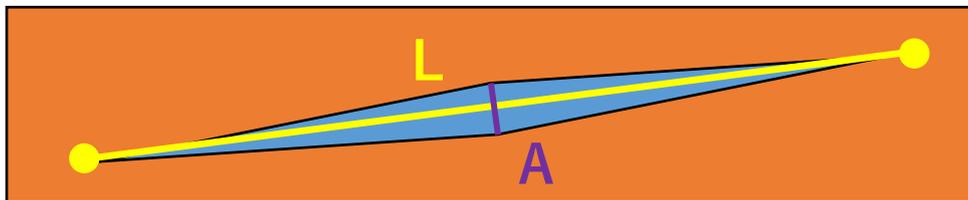


図 2.4.3.3-2 割れ長さとの幅の測定方法

2.4.3.4 測定する割れの対象（どこまで測定するか）

測定対象とする割れの対象は、委員で検討した結果、下記の通りとした。

- ①最大幅がクラックゲージの最小単位 0.05mm 以下の割れは測定しない。
- ②節および節の巻き込み部（節ばかま）は原則測定しない。ただし、節ばかまにかかる割れは、節ばかまから 2 cm 以上伸びているものは測定の対象とし、節ばかまの部分も含めて始点と終点を結んだ直線として測定。

なお、「節ばかま」は製材の JAS に記載されている用語であるが、定義が曖昧で個人差があるため、今回は、判然としない部分を節ばかまと判断することとした。

- ③割れが連なって全体として 1 本に見えるものは、1 本の割れとみなしても別々に測定しても構わない。



図 2.4.3.4-1 測定する割れの対象例

2.4.3.5 寸法の測定方法

寸法の測定方法は下記の手順で行うこととした。

1. 木口面と切断面に A~D と (2、5、12、15 の) ラインを記入
(写真 2.4.3.5-1 左)
2. 中央は測定する箇所にラインを記入
木口面から 540mm の位置とするが、節がある場合は節を避けた位置とする。
3. 測定番号は、木口面が 1~6、中央が 7~10、切断面が 11~16
(図 2.4.3.5-1 参照、A から C、B から D の順)
4. ノギスを使用して測定
(写真 2.4.3.5-1 右)



写真 2.4.3.5-1 木口面と切断面の寸法測定方法

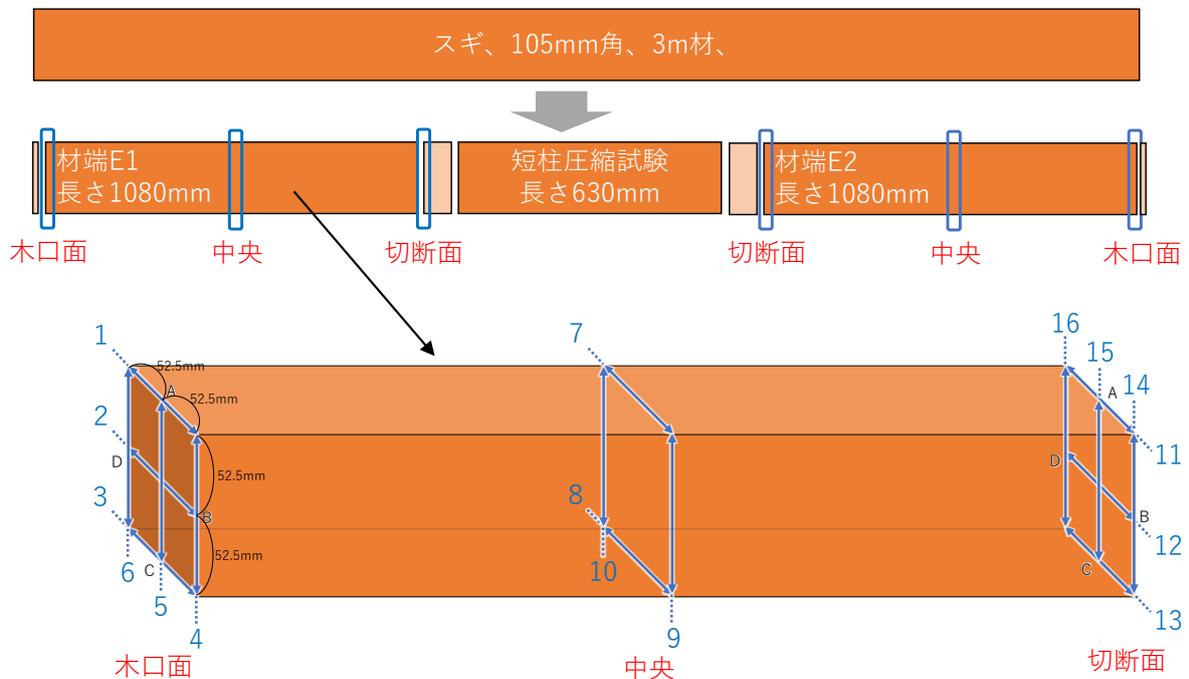


図 2.4.3.5-1 寸法の測定箇所

2.4.3.6 凹みの測定方法

木口面、中央、切断面の A～D 面の中央部の凹み量は、ノギス、デプスゲージ、ダイヤルゲージ等を用いて、図 2.4.3.6-1 または図 2.4.3.6-2 のいずれかの方法で実施することとした。

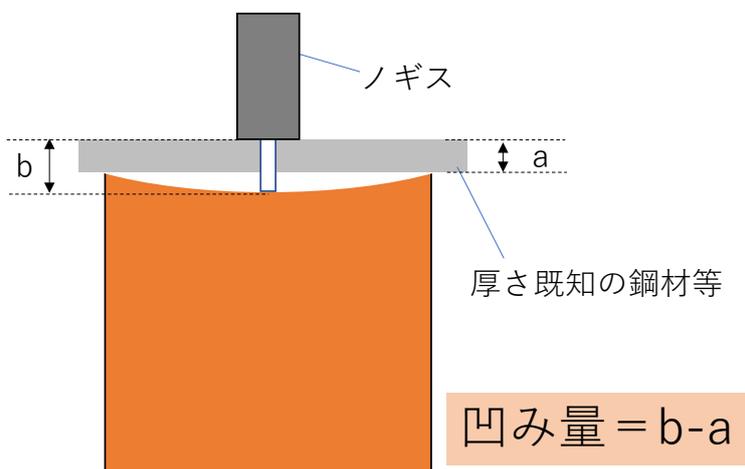


図 2.4.3.6-1 凹みの測定方法（その 1）

①平らな材料の上でゼロ点補正 → ②凹み量を測定

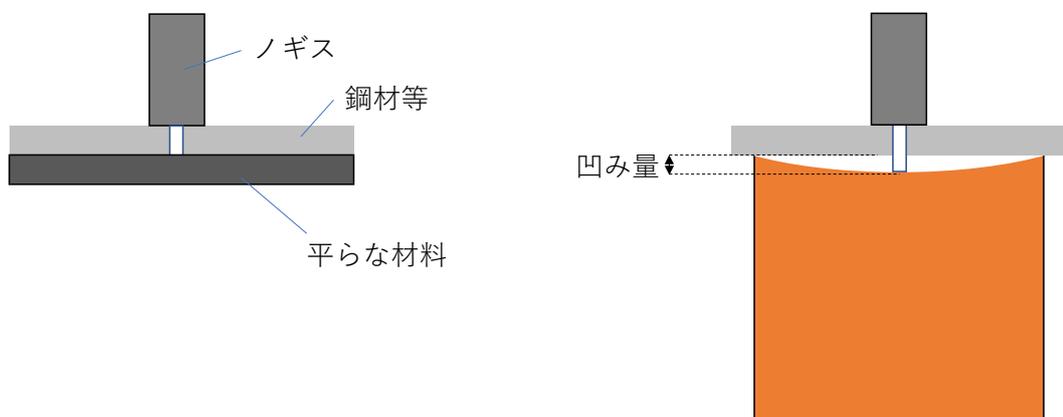


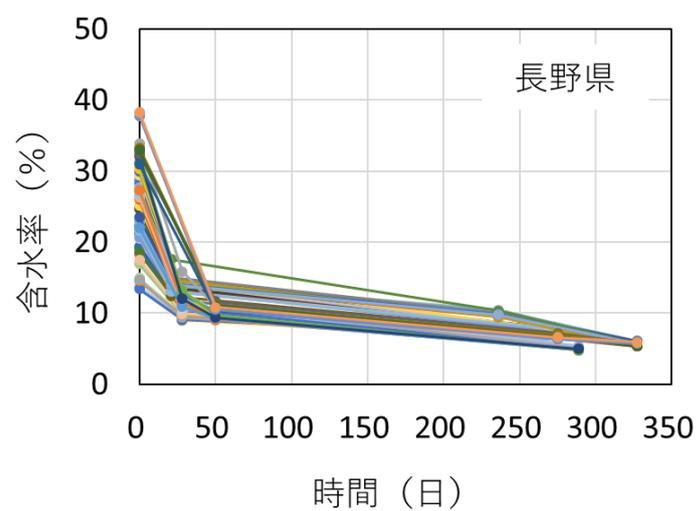
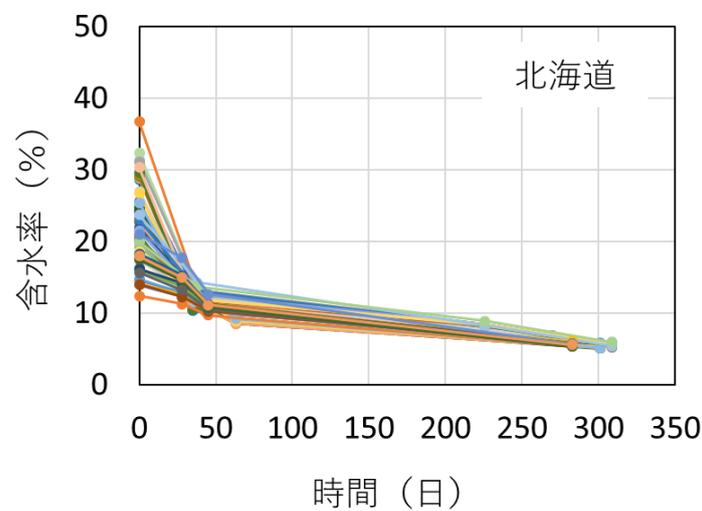
図 2.4.3.6-2 凹みの測定方法（その 2）

2.5. 割れおよび寸法等の測定結果

2.5.1 強制調湿条件の測定結果

2.5.1.1 含水率の推移

調湿終了後に全乾法で試験体の含水率を測定し、この調湿後の含水率と調湿中の重量から調湿中の含水率を算出した。図 2.5.1.1-1 に各試験機関における全試験体の含水率推移を示す。調湿前の含水率は 10～40%のばらつきがあり、50 日経過後にはほとんどの試験体が 10%程度まで低下した。これは昨年度報告した推定含水率より低く、「2.5.2 自然調湿条件の測定結果」で示す推定含水率は全乾法による含水率より高めに見積もられていることがわかる。いずれの試験機関も調湿終了時の含水率は 5%程度に収束し、強制調湿終了時には平衡含水率に到達した。



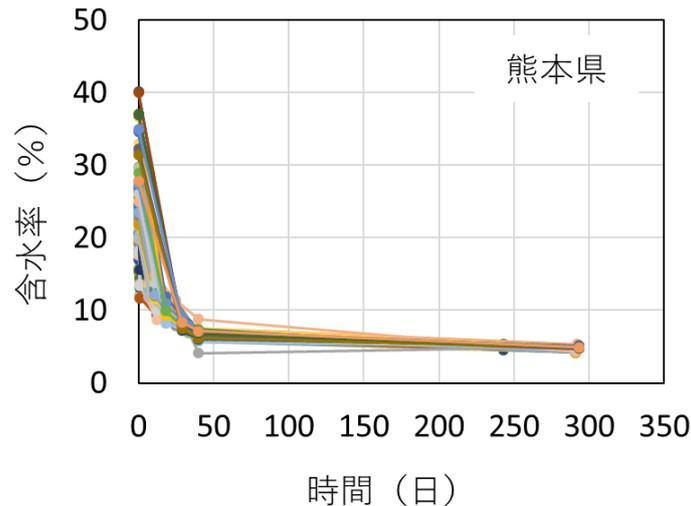


図 2.5.1.1-1 全試験体の全乾法による含水率の推移

2.5.1.2 寸法変化量

2.4.3.5 の図 2.4.3.5-1 に示した測定箇所 1～16 の平均寸法変化量の推移をグループごとに図 2.5.1.2-1（北海道）、図 2.5.1.2-2（長野県）、図 2.5.1.2-3（熊本県）に示す。寸法変化量は調湿前の寸法を基準とし、負の値が収縮を意味する。また、グループごとに試験体数が異なるため平均時の n 数が異なる。測定箇所が木口面の 1～6 を黒色、中央の 7～10 を青色、切断面の 11～16 をオレンジ色の線で色分けした。

調湿中の寸法変化量は全体的に減少傾向、すなわち収縮する傾向がみられた。一部の測定箇所において寸法変化量が増加に転じるものがあり、これは測定箇所に材面割れが発生したことが原因であると考えられる。

木口面、中央、切断面の 3 つを比較すると、北海道、長野県、熊本県いずれも木口面の収縮量が最も小さかった。これは、木口面がもともと工場で人工乾燥した際の材端部にあたり、調湿開始時の含水率が中央および切断面に比べて低かったことが原因であると考えられる。一方、中央と切断面の収縮量は同程度もしくは中央の方が大きい傾向がみられた。

グループ間で比較すると、調湿前の含水率が最も低いグループ 1 の収縮量が相対的に小さく、調湿前の含水率が高くなるにつれて収縮量が増加する傾向がみられた。調湿前の含水率が最も高いグループ 5 の中央で、調湿終了時に平均で約 3mm 収縮した。

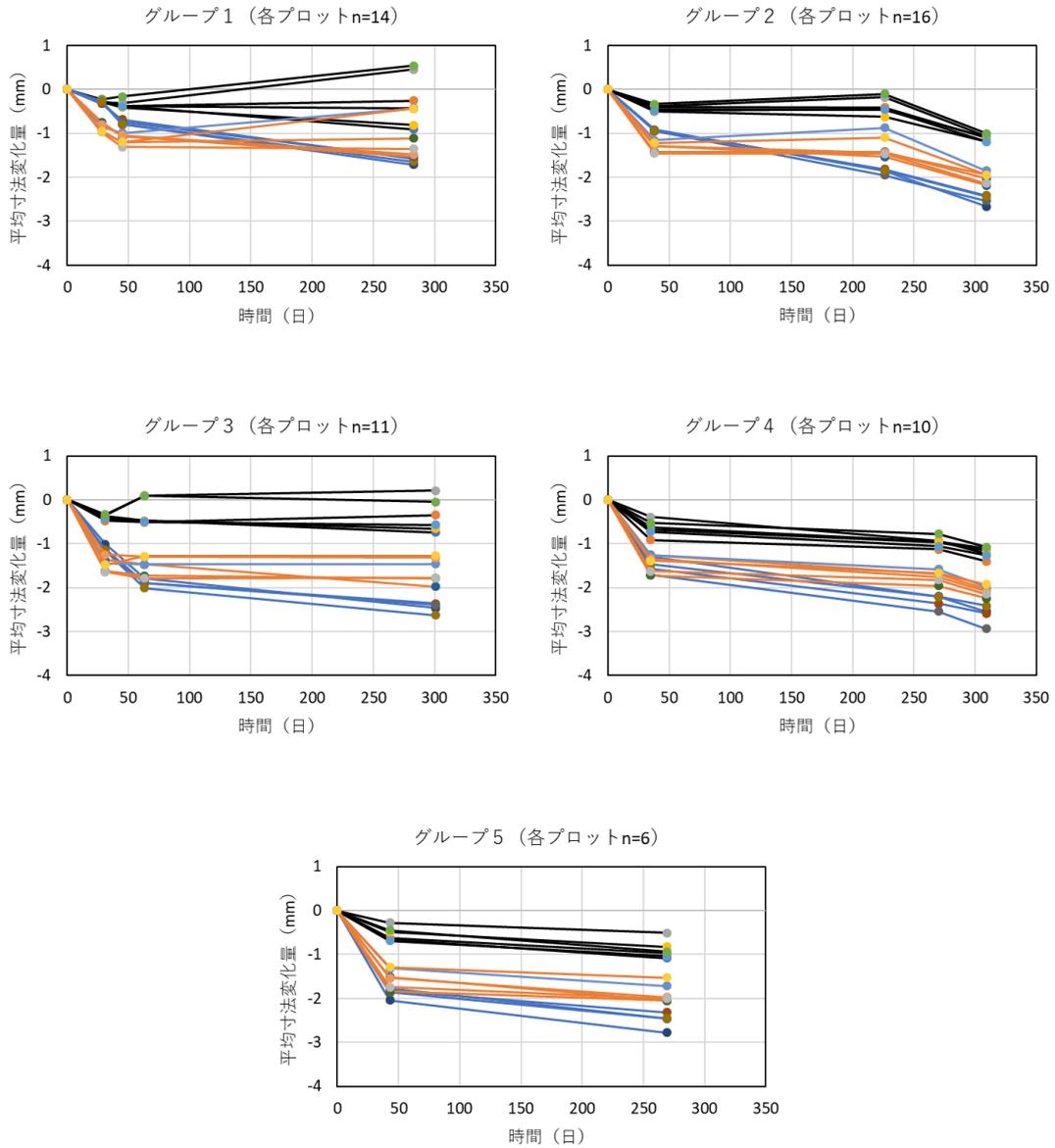
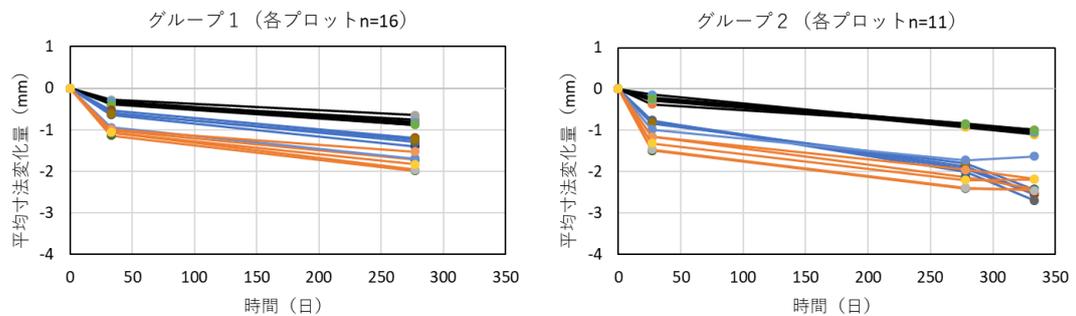


図 2.5.1.2-1 各グループにおける測定箇所ごとの平均寸法変化量（北海道）
 黒線は木口面 1～6、青線は中央 7～10、オレンジ線は切断面 11～16 を表す



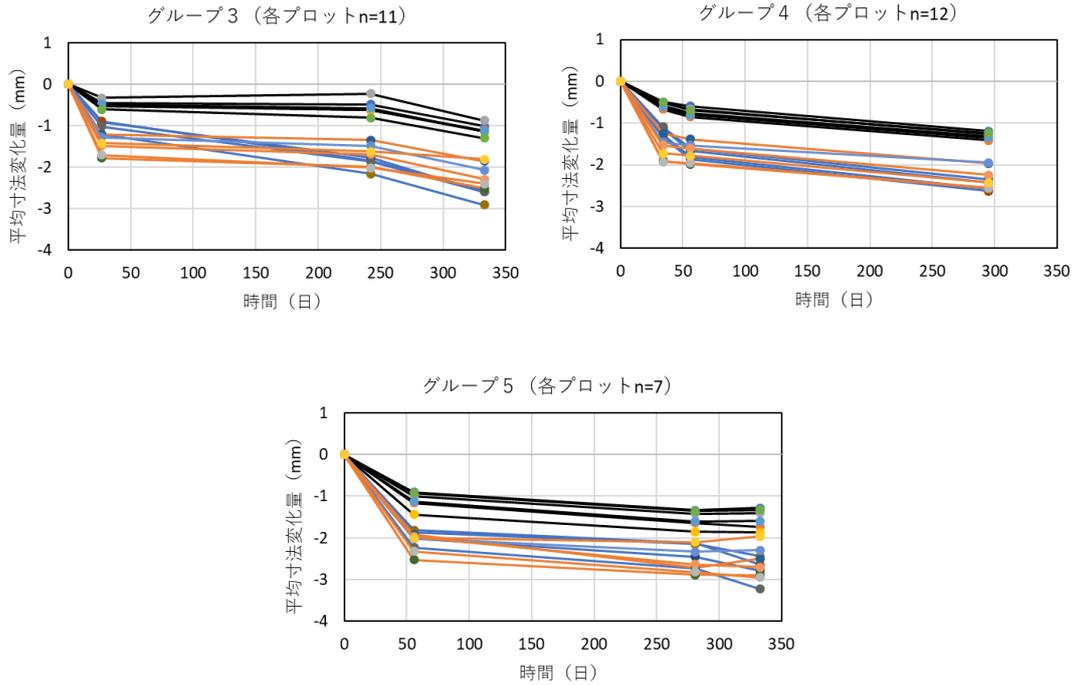
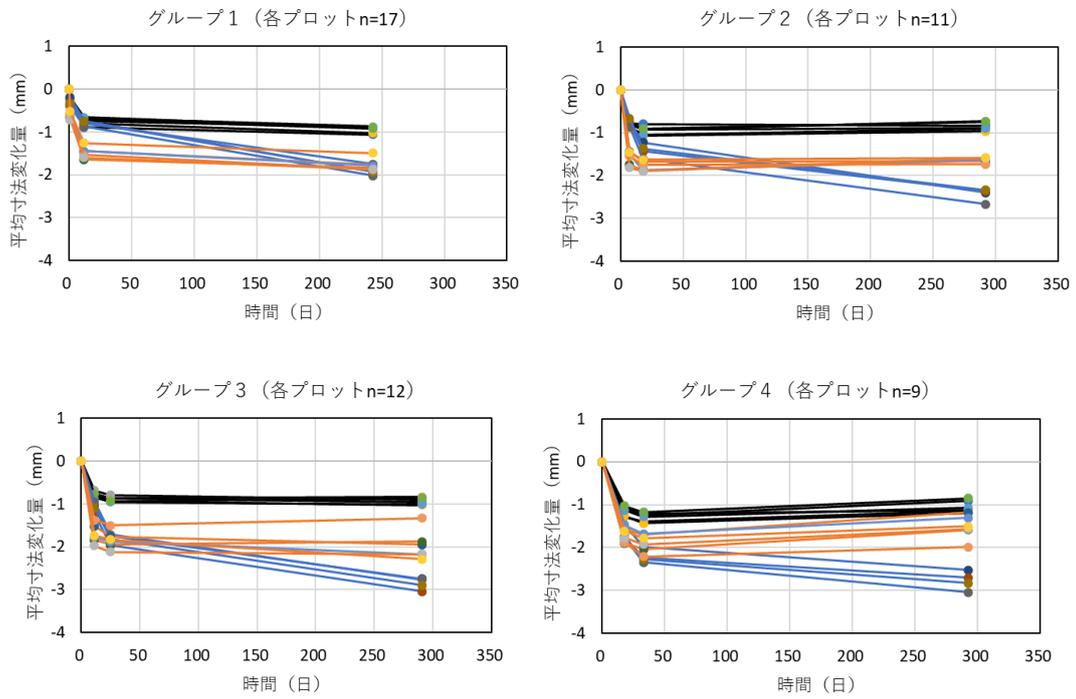


図 2.5.1.2-2 各グループにおける測定箇所ごとの平均寸法変化量（長野県）
 黒線は木口面 1～6、青線は中央 7～10、オレンジ線は切断面 11～16 を表す



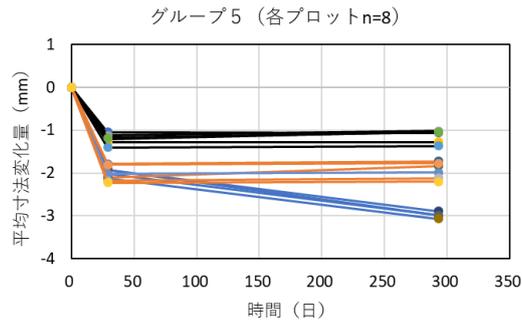
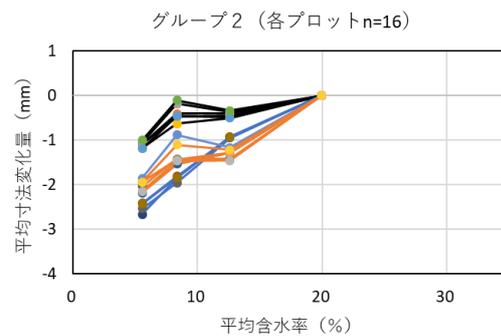
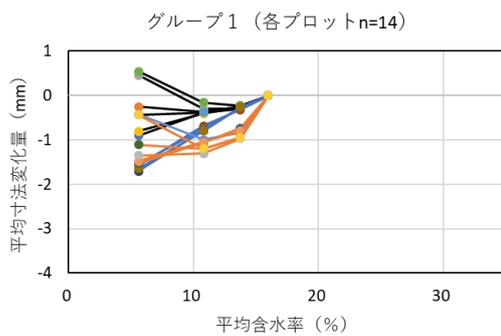


図 2.5.1.2-3 各グループにおける測定箇所ごとの平均寸法変化量（熊本県）
 黒線は木口面 1～6、青線は中央 7～10、オレンジ線は切断面 11～16 を表す

含水率と寸法変化量の関係を調べるため、上図の横軸を平均含水率に変えてプロットしたものを図 2.5.1.2-4（北海道）、図 2.5.1.2-5（長野県）、図 2.5.1.2-6（熊本県）に示す。平均含水率より個々の試験体の含水率を示した方が含水率の影響をより詳細に調べることができるという意見もあったが、ノギスによる寸法測定は測定誤差が大きいため、個々の試験体をプロットすると含水率の影響がわかりづらくなった。そこで、含水率、寸法変化量ともに平均値をとり、測定誤差を小さくすることで全体の傾向を把握できるように配慮した。

含水率が低下するにつれて寸法変化量は低下し、最大で約 3mm 収縮した。また、調湿前の含水率が高くなるにつれて収縮量が増加する傾向が読み取れる。なお、5つのうちグループ 2 の調湿前の含水率が 20%に近かったので、2.5.3 ではグループ 2 のデータを分析に使用した。



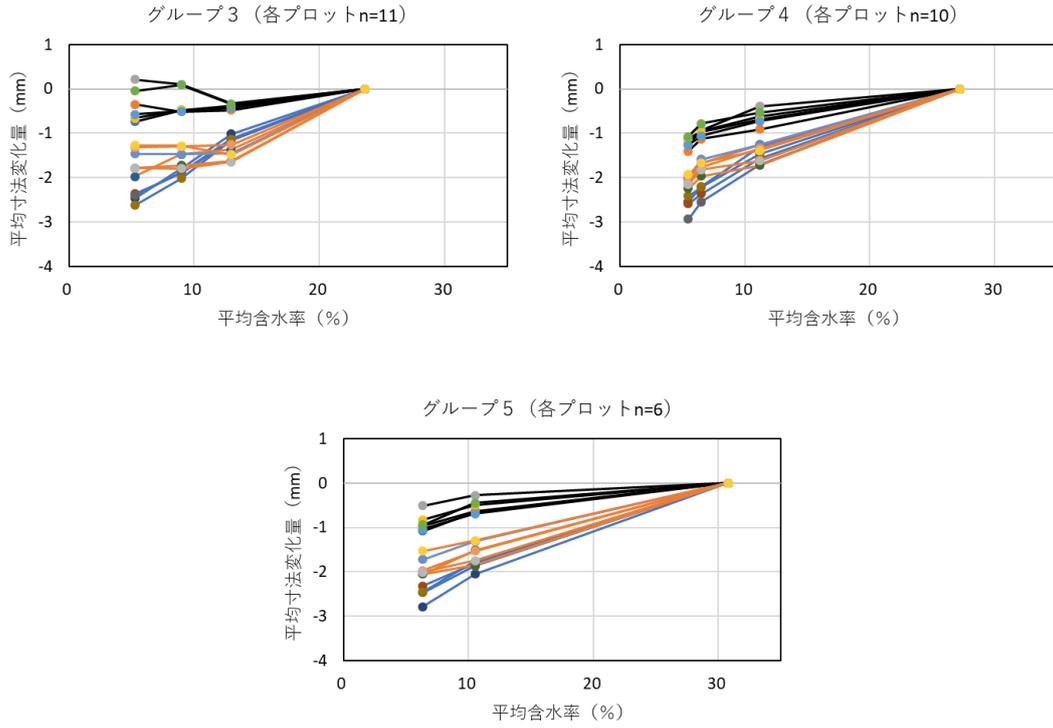
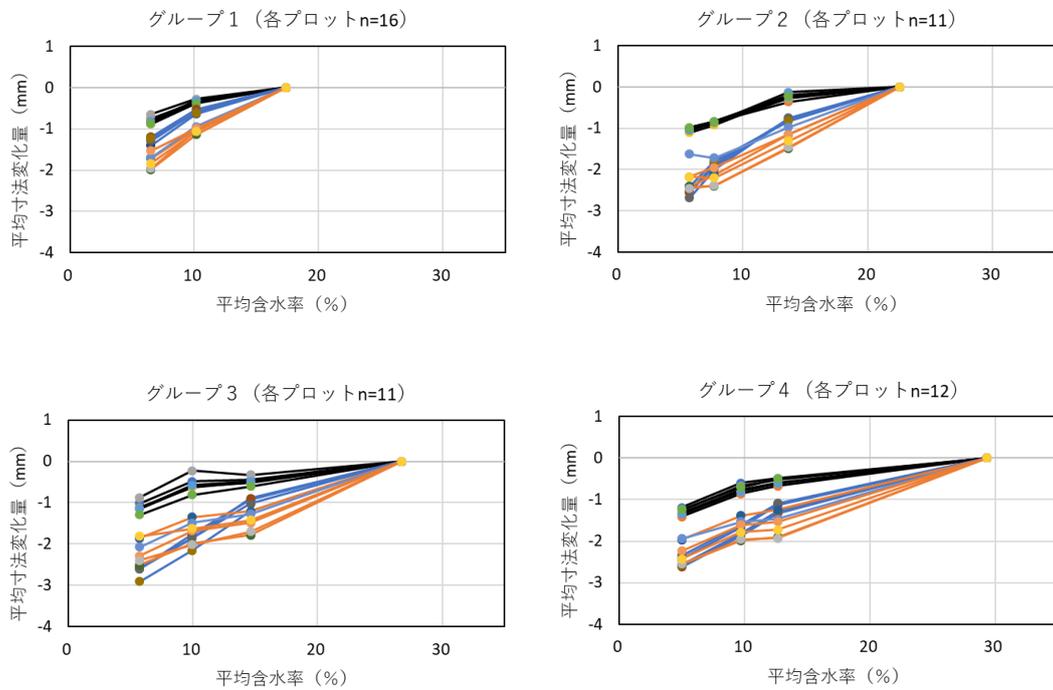


図 2.5.1.2-4 グループ別の測定箇所ごとの平均寸法変化量と含水率の関係（北海道）
 黒線は木口面 1～6、青線は中央 7～10、オレンジ線は切断面 11～16 を表す



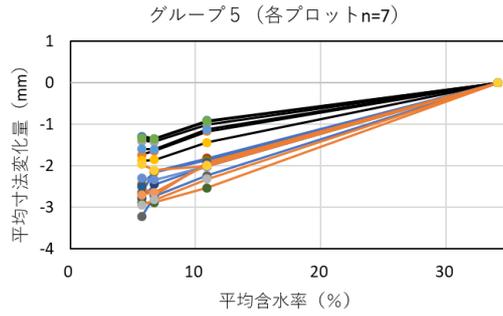


図 2.5.1.2-5 グループ別の測定箇所ごとの平均寸法変化量と含水率の関係 (長野県)
 黒線は木口面 1～6、青線は中央 7～10、オレンジ線は切断面 11～16 を表す

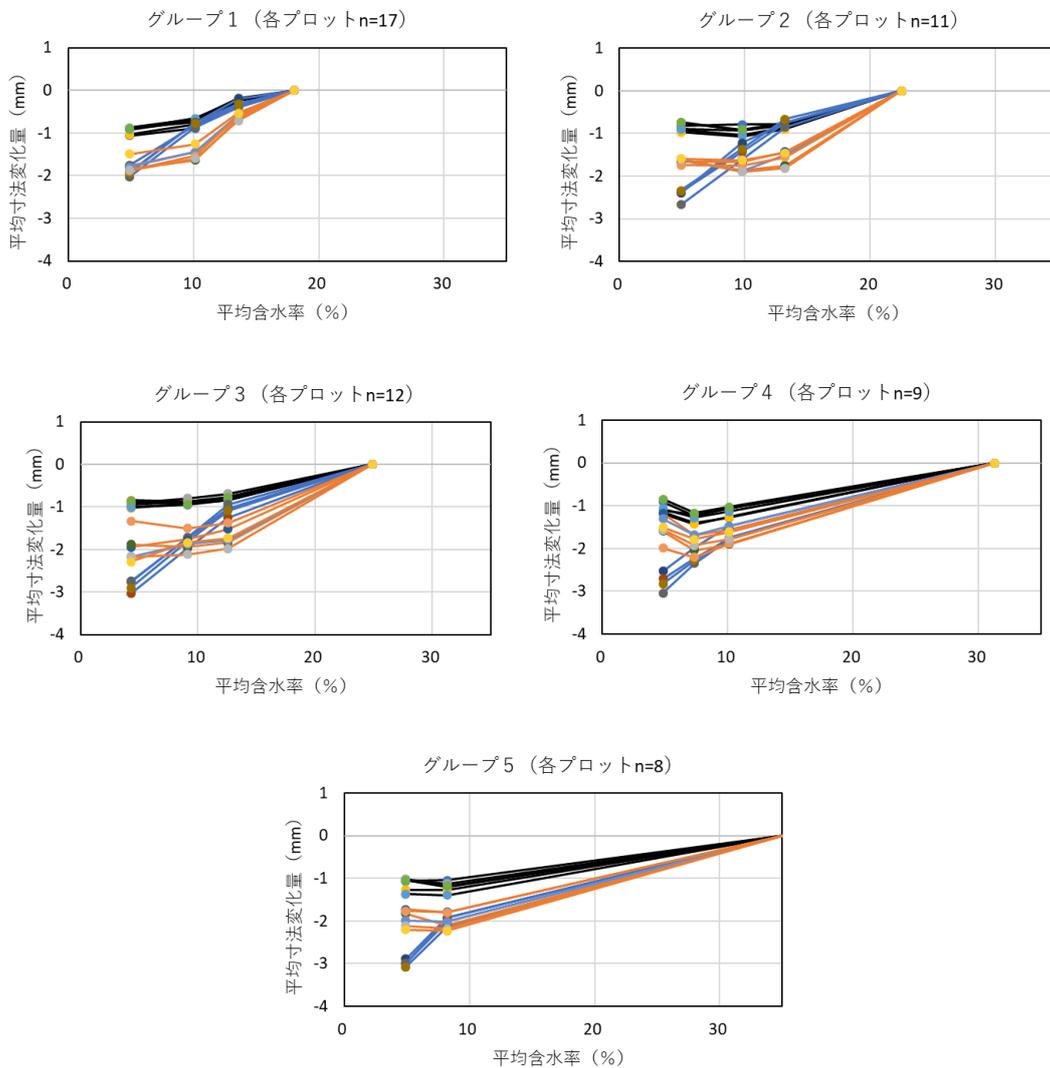


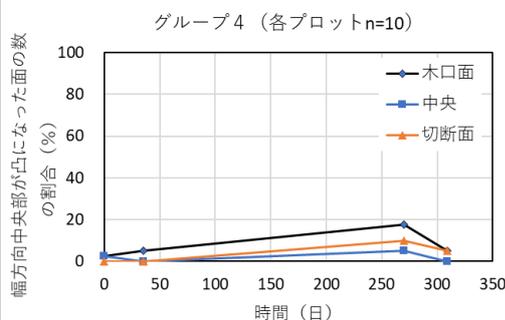
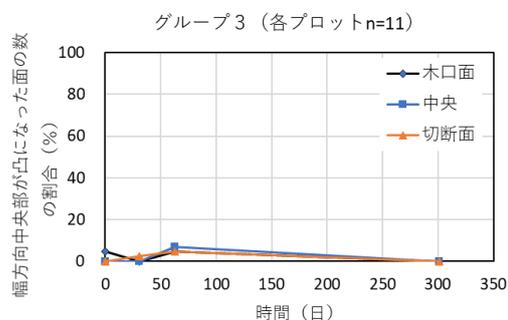
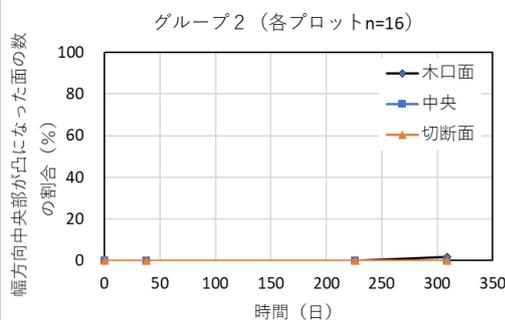
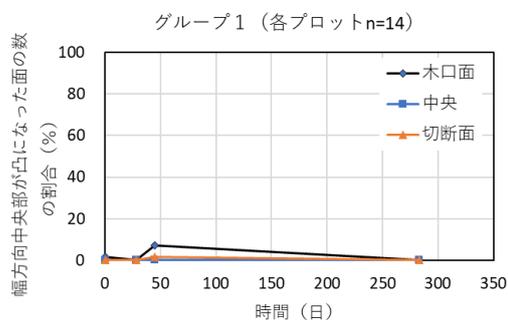
図 2.5.1.2-6 グループ別の測定箇所ごとの平均寸法変化量と含水率の関係 (熊本県)
 黒線は木口面 1～6、青線は中央 7～10、オレンジ線は切断面 11～16 を表す

2.5.1.3 凹み量

測定方法の都合上、材面の幅方向中央部が凸になる場合にはその面の凹み量を測定できないのでプラスと表記した。グループごとに木口面、中央、切断面でそれぞれプラスと表記した面の数をカウントし、幅方向中央部が凸になった面の数の割合を算出した。例えば、グループ1の試験体数が10体の場合、木口面にはABCD4面×10体=40面がすべての面数となり、このうち5面がプラスであると、幅方向中央部が凸になった面の数の割合は $5 \div 40 \times 100 = 12.5\%$ と求まる。

幅方向中央部が凸になった面の数の割合をグループごとに図2.5.1.3-1（北海道）、図2.5.1.3-2（長野県）、図2.5.1.3-3（熊本県）に示す。長野県では凸になった面の数の割合が中央および切断面に比べて木口面で高く、木口面では調湿中に4割を超えることがあった。一方、北海道と熊本県では割合が全体的に低く、部位による違いはみられなかった。これらの試験機関による差は測定方法の違いによるものではないかと推測する。

幅方向中央部が凸にならずに凹み量を測定できた面を抽出し、その平均凹み量と各プロットのn数を図2.5.1.3-4（北海道）、図2.5.1.3-5（長野県）、図2.5.1.3-6（熊本県）に示す。北海道、長野県、熊本県いずれも平均凹み量は中央、切断面に比べて木口面で最も小さく、木口面は比較的凹みにくいことがわかった。これは寸法変化と同様、調湿開始時に含水率が低かったことが原因であると考えられる。また、調湿終了時に中央および切断面の平均凹み量は0.3～0.5mmの範囲に収まるものが多かった。



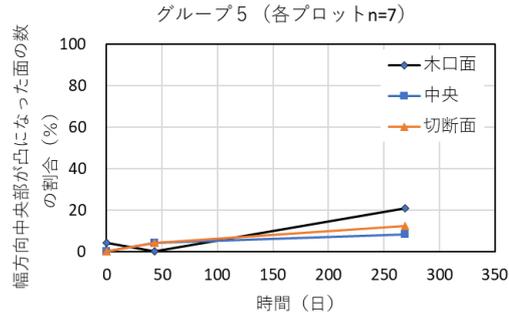


図 2.5.1.3-1 各グループの幅方向中央部が凸になった面の割合 (北海道)

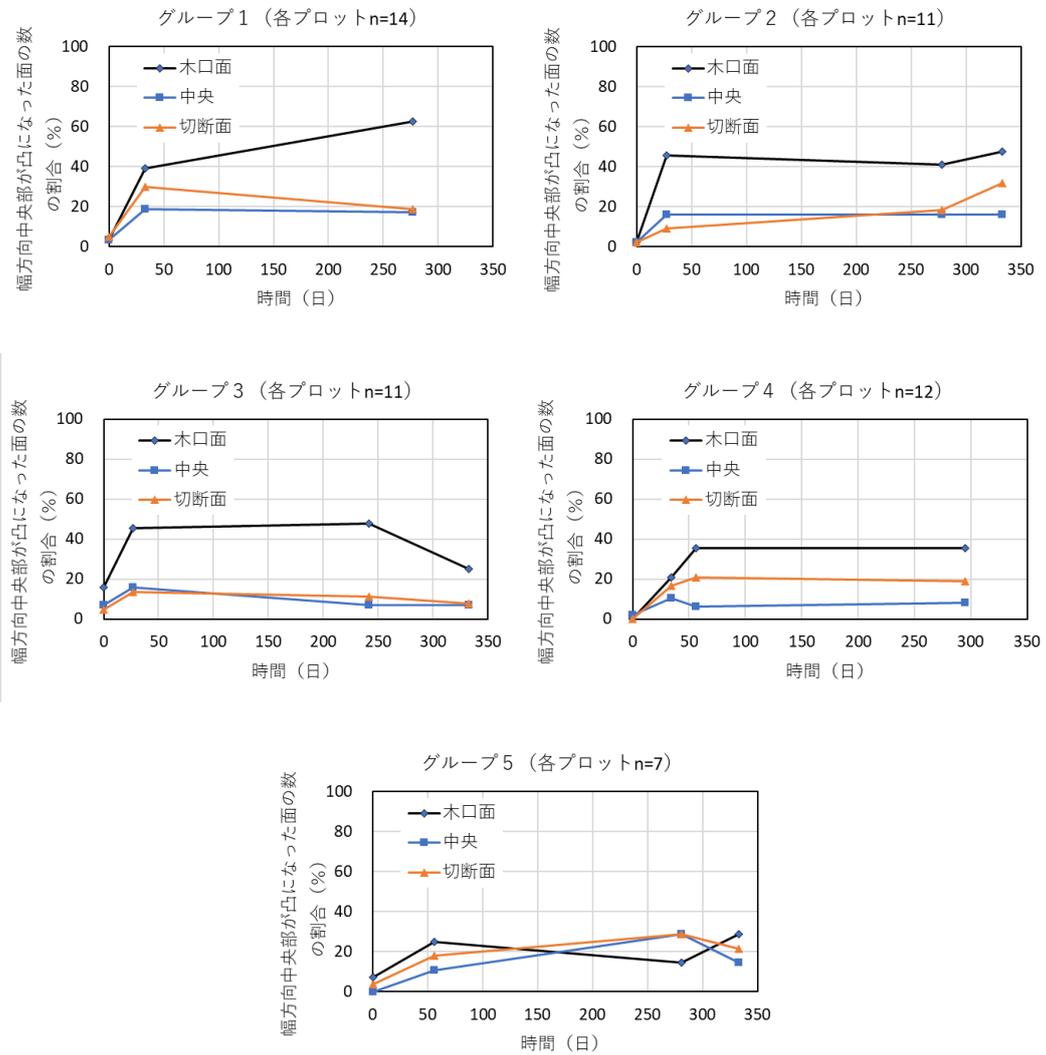


図 2.5.1.3-2 各グループの幅方向中央部が凸になった面の割合 (長野県)

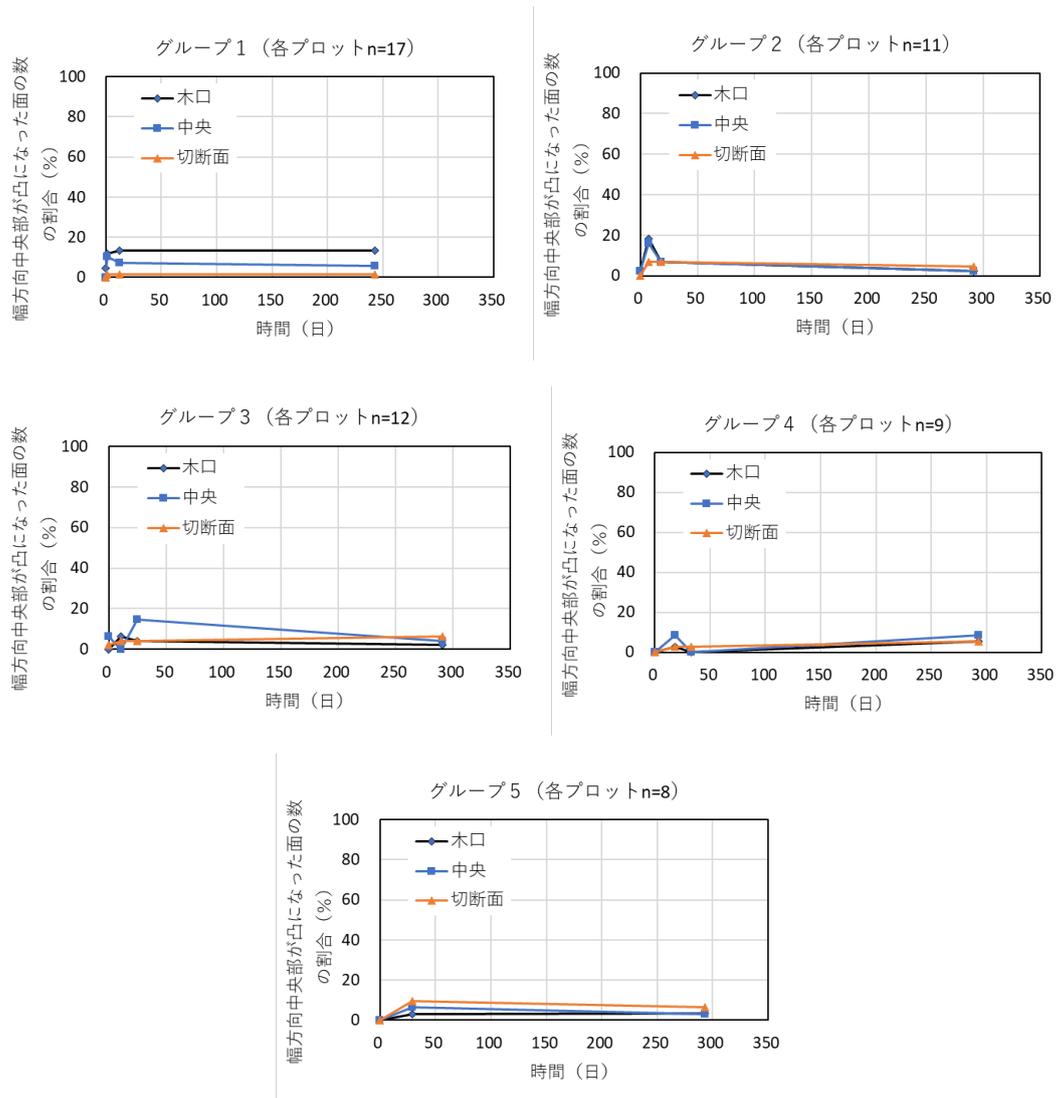
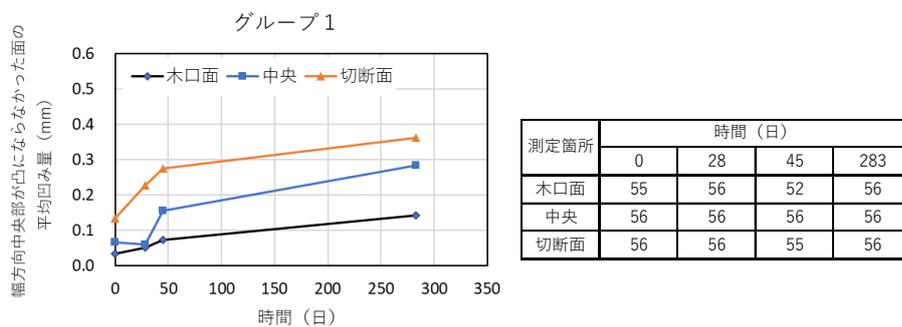
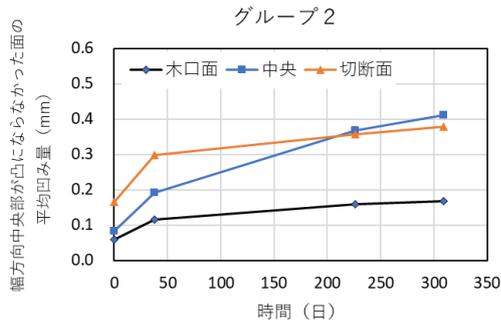
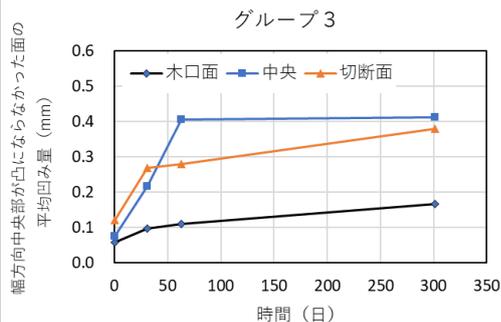


図 2.5.1.3-3 各グループの幅方向中央部が凸になった面の割合（熊本県）

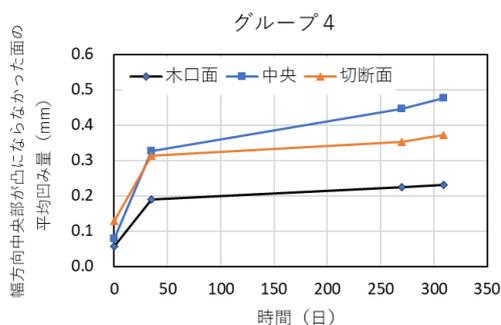




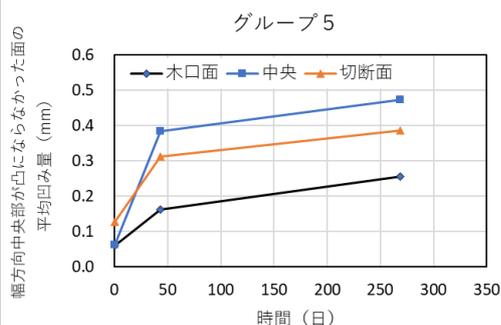
測定箇所	時間 (日)			
	0	38	226	309
木口面	64	64	64	63
中央	64	64	64	64
切断面	64	64	64	64



測定箇所	時間 (日)			
	0	31	63	301
木口面	42	44	42	44
中央	44	44	41	44
切断面	44	43	42	44



測定箇所	時間 (日)			
	0	35	270	309
木口面	39	38	33	38
中央	39	40	38	40
切断面	40	40	36	38

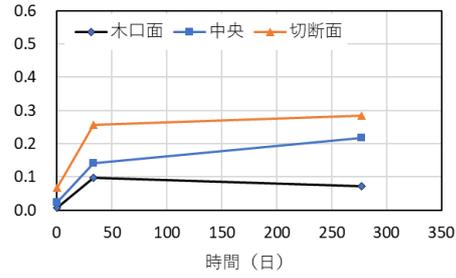


測定箇所	時間 (日)		
	0	43	269
木口面	23	24	19
中央	24	23	22
切断面	24	23	21

図 2.5.1.3-4 各グループの幅方向中央部が凸にならなかった試験体の平均凹み量 (左) と各プロットの n 数 (北海道)

幅方向中央部が凸にならなかつた面の平均凹み量 (mm)

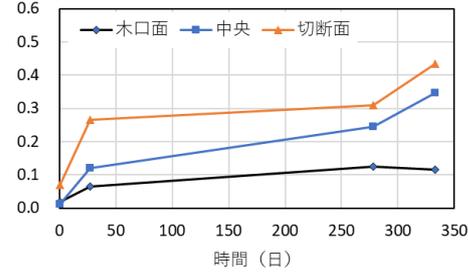
グループ 1



測定箇所	時間 (日)		
	0	33	277
木口面	62	39	24
中央	62	52	53
切断面	61	45	52

幅方向中央部が凸にならなかつた面の平均凹み量 (mm)

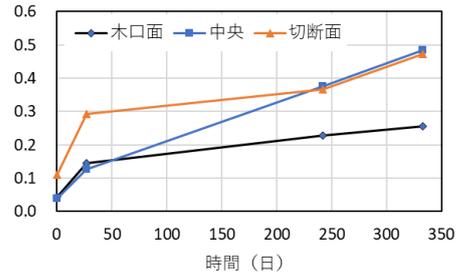
グループ 2



測定箇所	時間 (日)			
	0	27	278	333
木口面	43	24	26	23
中央	43	37	37	37
切断面	43	40	36	30

幅方向中央部が凸にならなかつた面の平均凹み量 (mm)

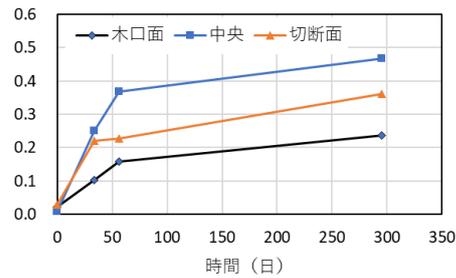
グループ 3



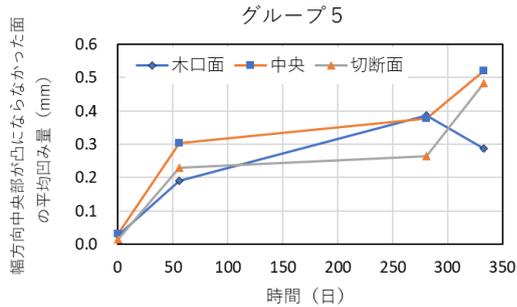
測定箇所	時間 (日)			
	0	27	242	333
木口面	37	24	23	27
中央	41	37	41	39
切断面	42	38	39	35

幅方向中央部が凸にならなかつた面の平均凹み量 (mm)

グループ 4

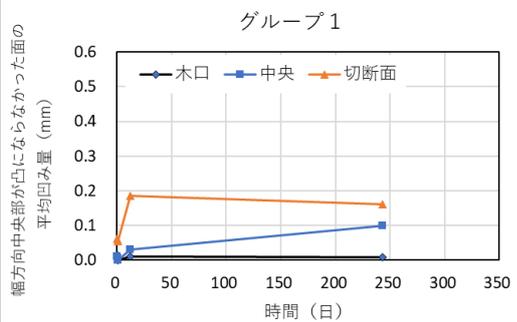


測定箇所	時間 (日)			
	0	34	56	295
木口面	48	38	31	31
中央	47	43	45	44
切断面	48	40	38	39

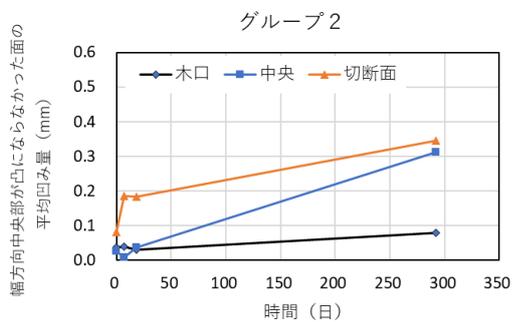


測定箇所	時間 (日)			
	0	56	281	333
木口面	26	21	24	20
中央	28	25	20	24
切断面	27	23	20	22

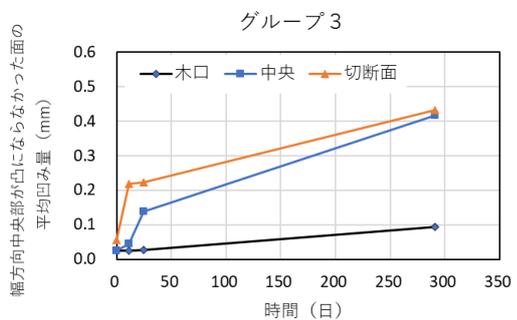
図 2.5.1.3-5 各グループの幅方向中央部が凸にならなかった試験体の平均凹み量 (左) と各プロットの n 数 (長野県)



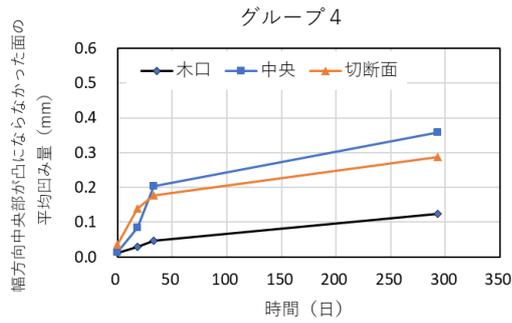
測定箇所	時間 (日)			
	0	1	12	243
木口面	65	60	59	59
中央	68	61	63	64
切断面	68	67	67	67



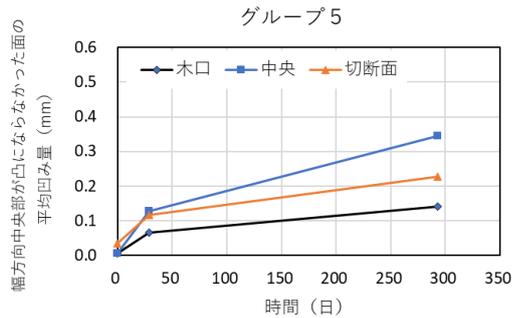
測定箇所	時間 (日)			
	0	7	18	292
木口面	43	36	41	43
中央	43	37	41	43
切断面	44	41	41	42



測定箇所	時間 (日)			
	0	11	25	291
木口面	48	45	46	47
中央	45	48	41	46
切断面	47	46	46	45



測定箇所	時間 (日)			
	0	18	33	293
木口面	36	35	36	34
中央	36	33	36	33
切断面	36	35	35	34



測定箇所	時間 (日)		
	0	29	293
木口面	32	31	30
中央	32	30	31
切断面	32	29	30

図 2.5.1.3-6 各グループの幅方向中央部が凸にならなかった試験体の平均凹み量 (左) と各プロットの n 数 (右) (熊本県)

2.5.1.4 材面割れ発生量

材面割れの長さおよび面積を 1 本ずつ測定し、A 面～D 面の 4 面の合計値を材面割れ総長さおよび総面積とした。これらの平均および標準偏差をグループごとに求め、各試験機関の材面割れ総長さを図 2.5.1.4-1 に、総面積を図 2.5.1.4-2 に示す。いずれの試験機関も調湿開始時にすでに材面割れは一定量生じていた。材面割れ総長さ、総面積ともに全体的に横ばいで推移し、調湿中に材面割れが大きく増減する傾向はみられなかった。また、材面割れの総長さ、総面積ともにグループ間で顕著な差はみられなかった。平均に対して標準誤差が相対的に大きく、材面割れの発生量は個体差が非常に大きいといえる。

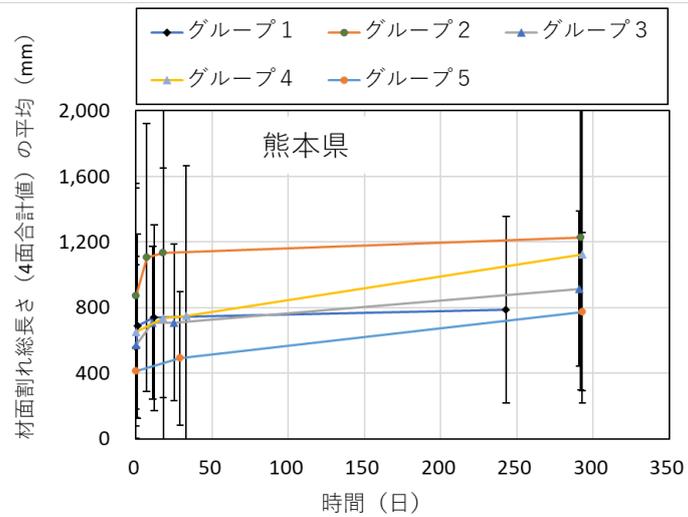
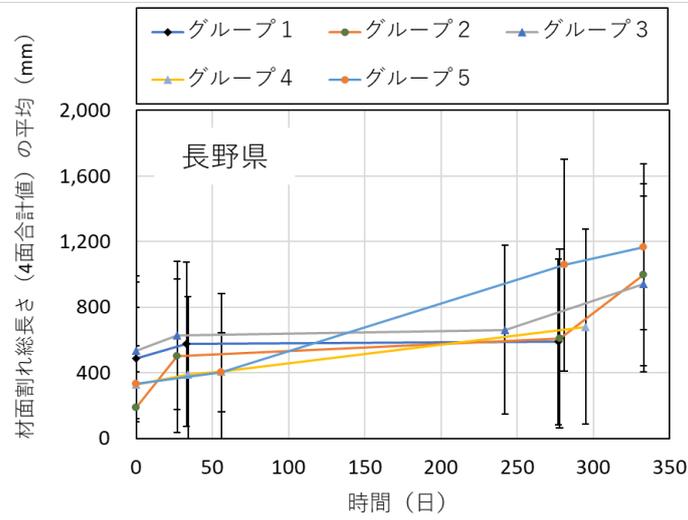
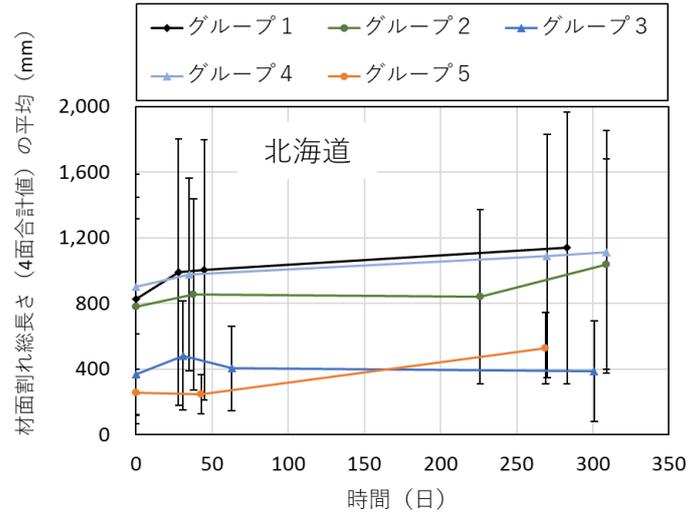
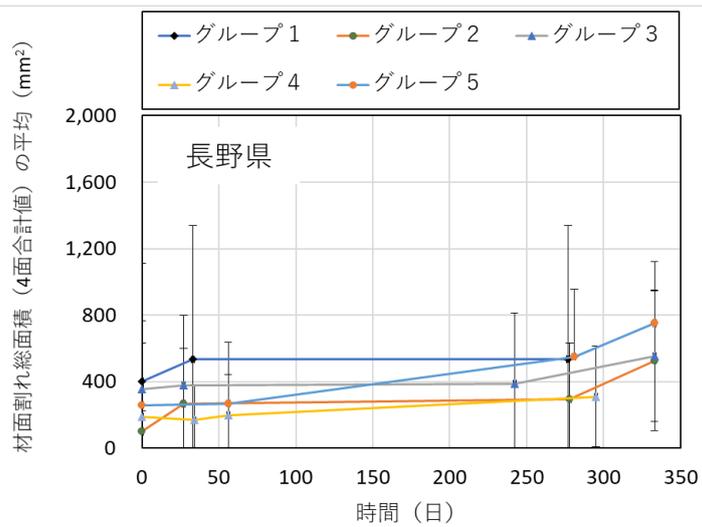
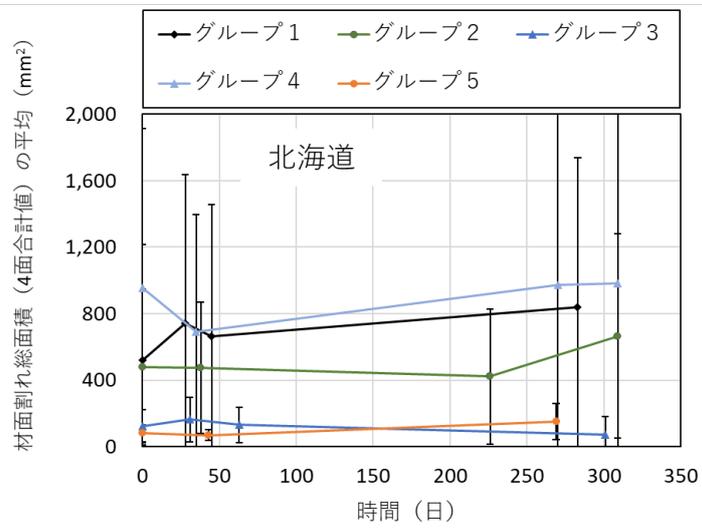


図 2.5.1.4-1 各試験機関における材面割れ総長さの4面合計値の平均および標準偏差



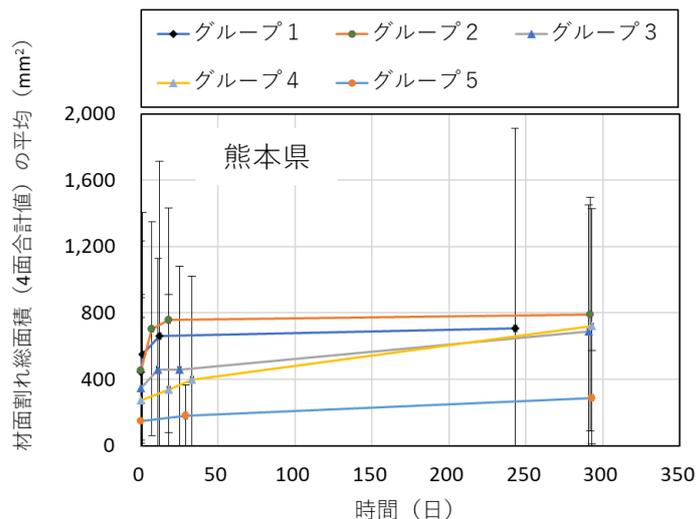
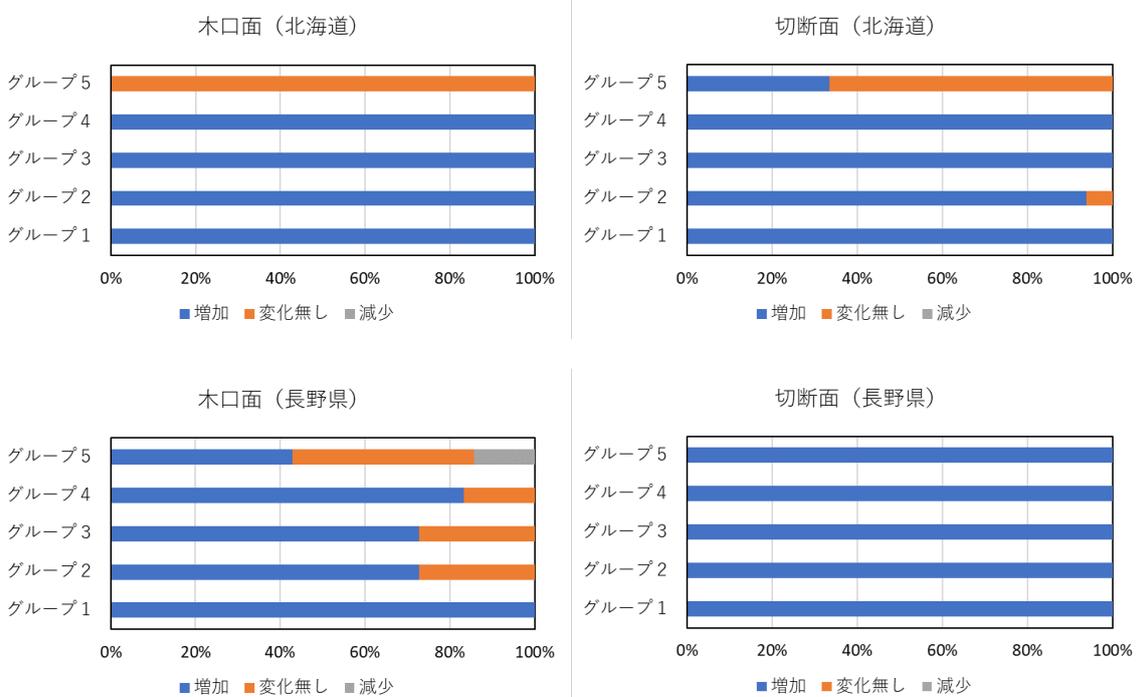


図 2.5.1.4-2 各試験機関における材面割れ総面積の4面合計値の平均および標準偏差

2.5.1.5 木口面および切断面の割れ発生量

調湿前後の木口面および切断面の割れの増減を目視で判定した結果を図 2.5.1.5-1 に示す。全体的に増加もしくは変化無しの割合が大半を占め、木口面に比べて切断面の方が増加する傾向があった。また、北海道と長野県に比べて熊本県は変化無しもしくは減少と判断した割合が若干大きかった。



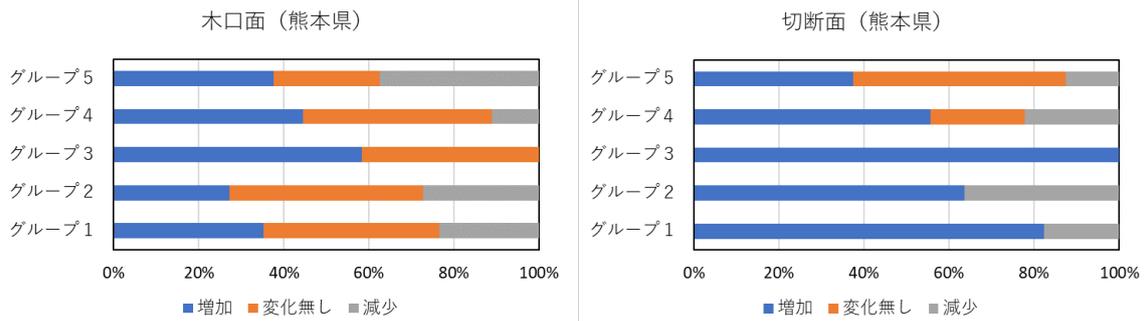
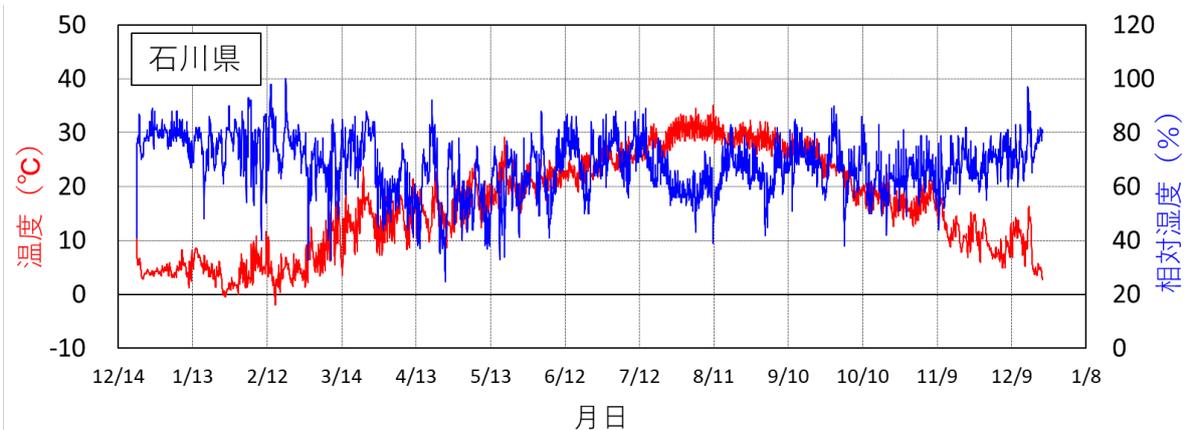
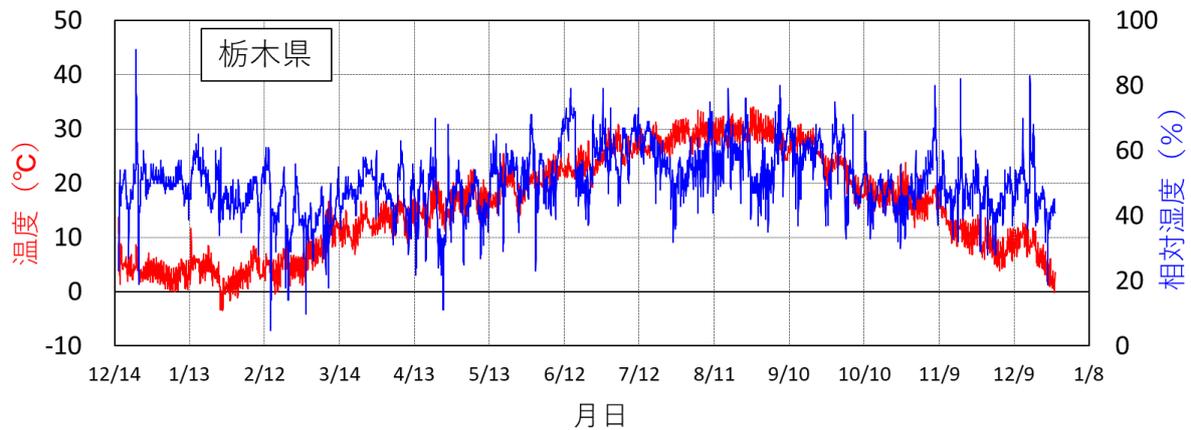


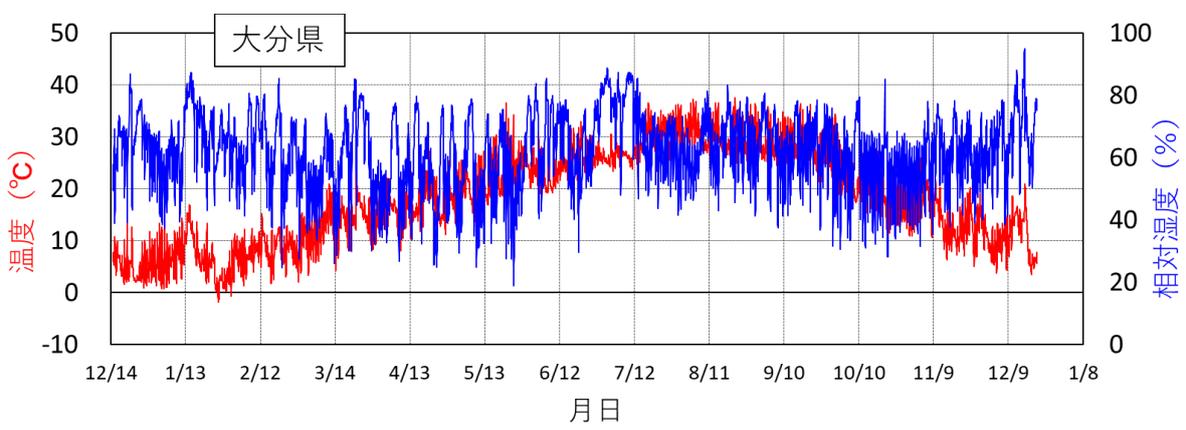
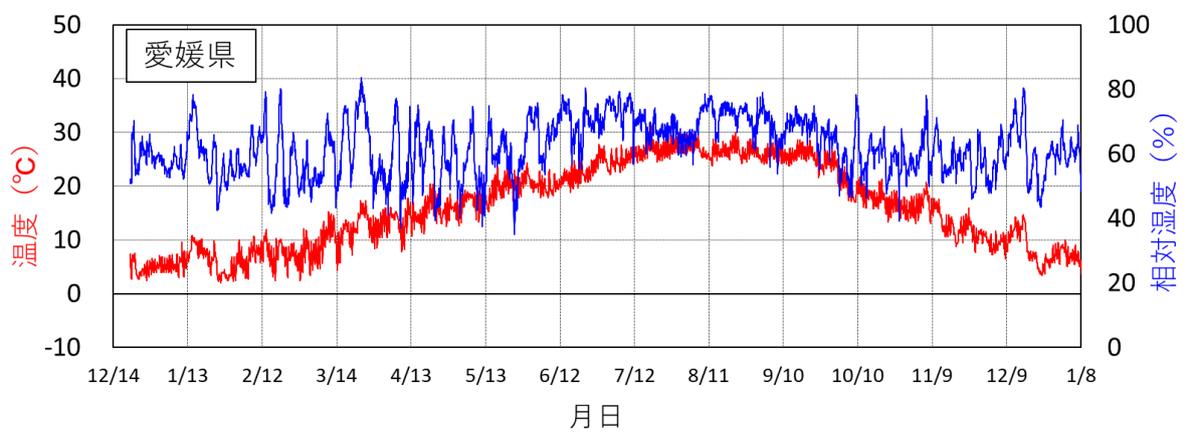
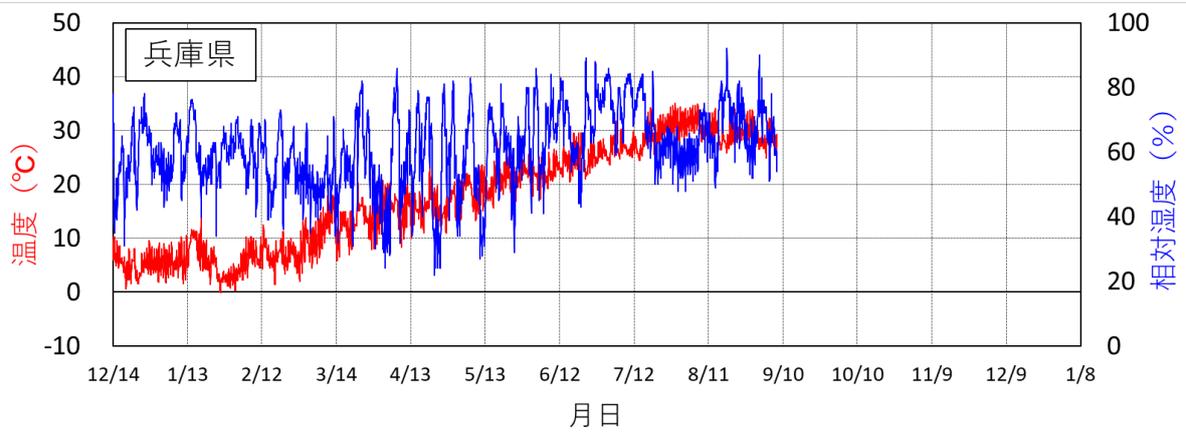
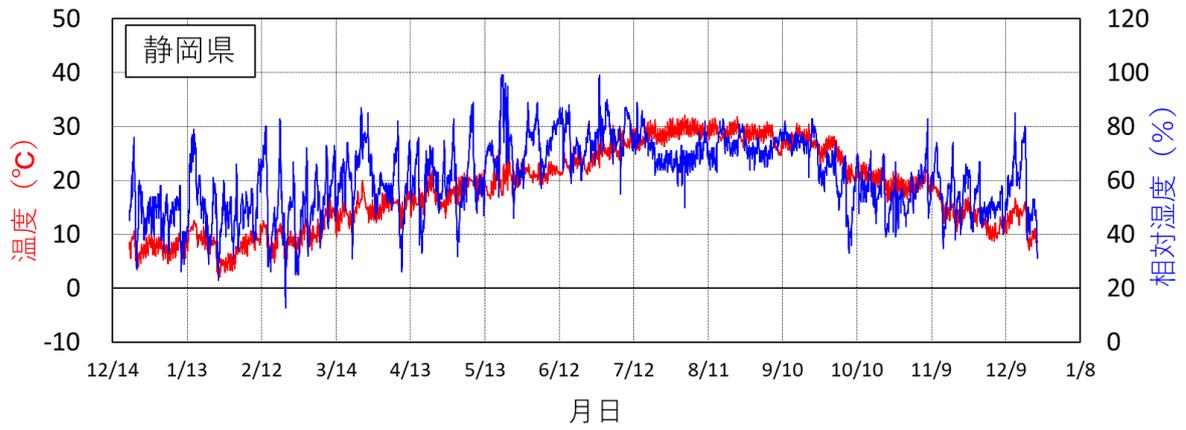
図 2.5.1.5-1 各試験機関における調湿前後の割れ発生量の変化
左：木口面、右：切断面

2.5.2 自然調湿条件の測定結果

2.5.2.1 調湿中の温湿度

自然調湿中の温湿度を試験機関ごとに図 2.5.2.1-1 に示す。2022 年 12 月に調湿を開始し、2023 年 12 月までの測定結果（一部データ収集中）となっている。温湿度は平衡含水率を決定づける重要なデータであり、寸法変化等に影響を及ぼす要因となる。





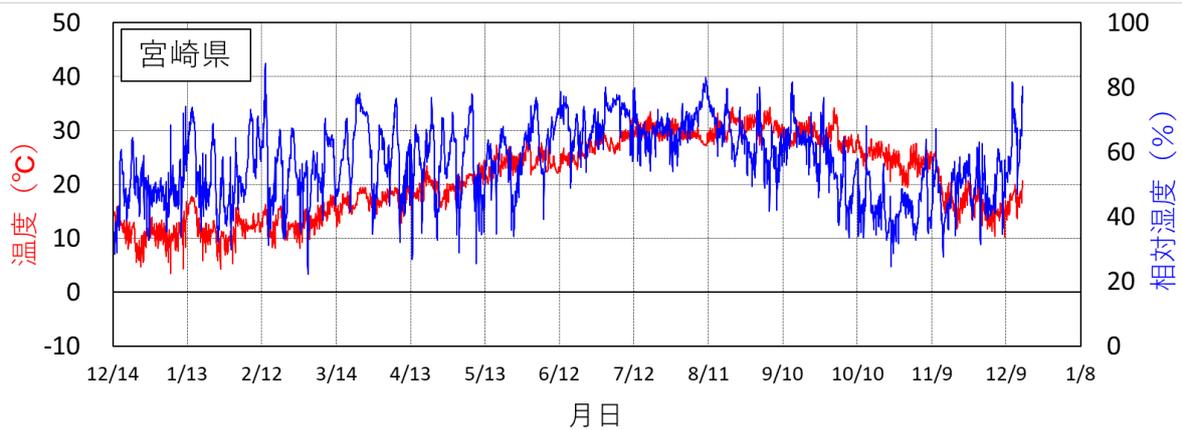
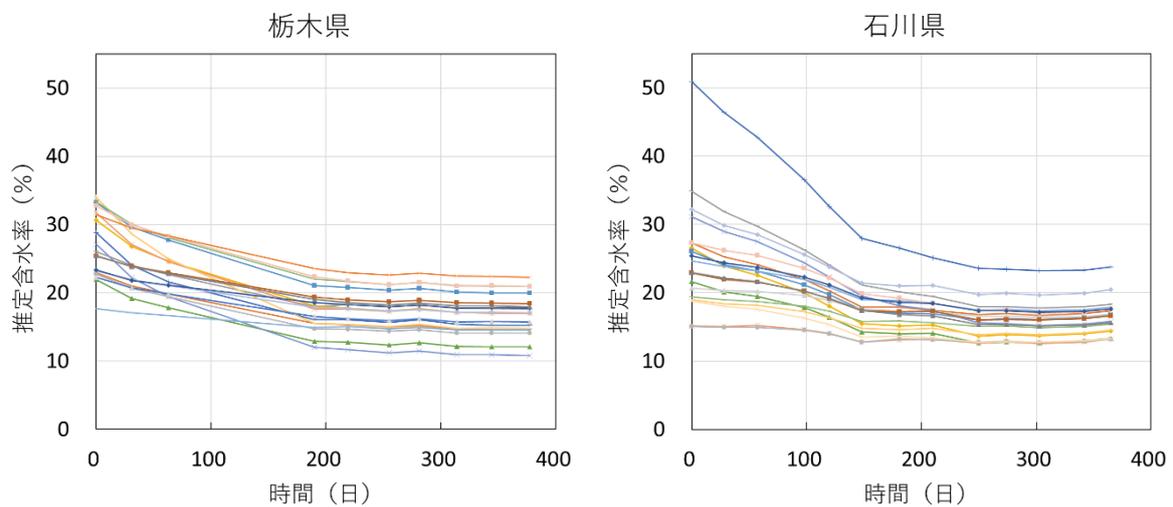


図 2.5.2.1-1 自然調湿中の温湿度の測定結果

2.5.2.2 推定含水率の推移

全試験体の推定含水率の推移を試験機関ごとに図 2.5.2.2-1 に示す。調湿開始から 200 日程度経過したあたりから多くの試験体において含水率が横ばいで推移しており、約 1 年間の自然調湿を経てほぼ平衡含水率に達していることがわかった。ただし、全乾法による含水率で表した図 2.5.1.1-1 に比べて図 2.5.2.2-1 の推定含水率は収束しておらず、誤差が含まれていることがわかる。また、含水率が 20%前後で横ばいになっていることから、2.5.1.1 強制調湿の含水率推移において指摘したとおり推定含水率は全乾法による含水率より高めに見積もられている。



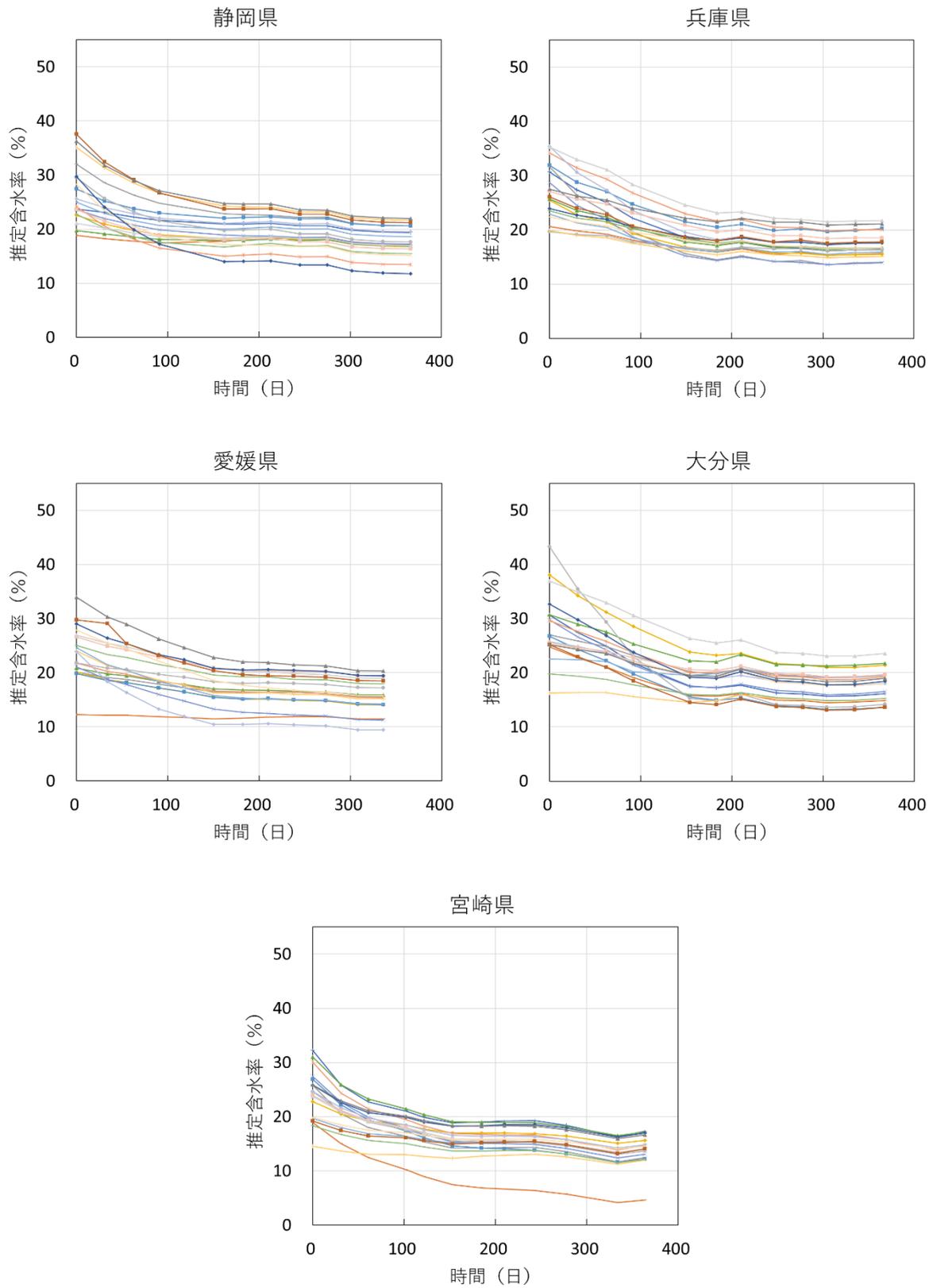
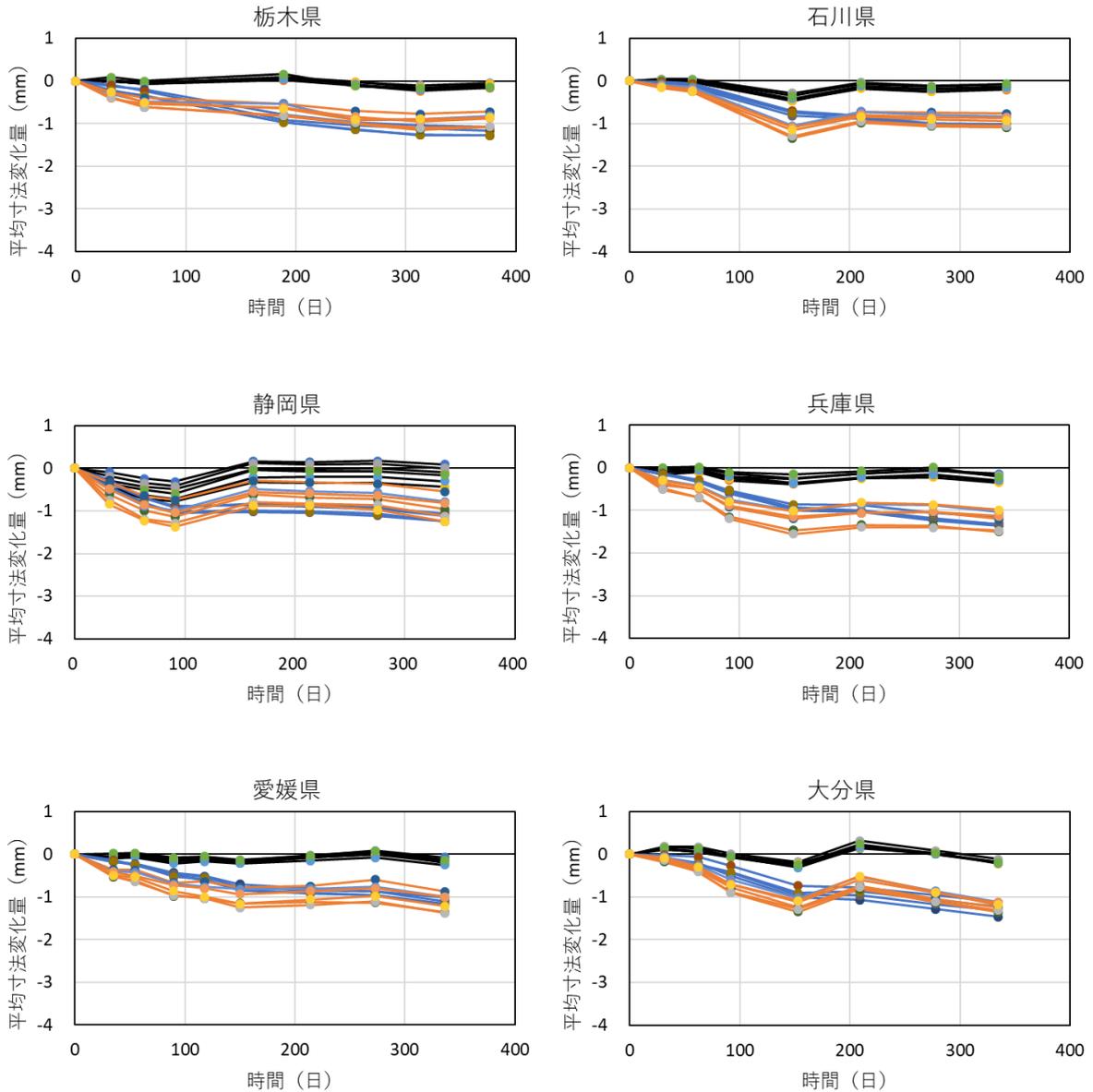


図 2.5.2.2-1 各試験機関における全試験体の推定含水率の推移

2.5.2.3 寸法変化量

各試験機関における測定箇所ごとの平均寸法変化量を図 2.5.2.3-1 に示す。木口面、中央、切断面の 3 つを比較すると、木口面の収縮量が最も小さく、多くの試験機関において調湿期間中の寸法変化量はゼロ付近で推移した。一方、中央または切断面の調湿終了時の収縮量は大きいもので 1.5mm 程度であり、強制調湿 (3mm) の 2 分の 1 であった。



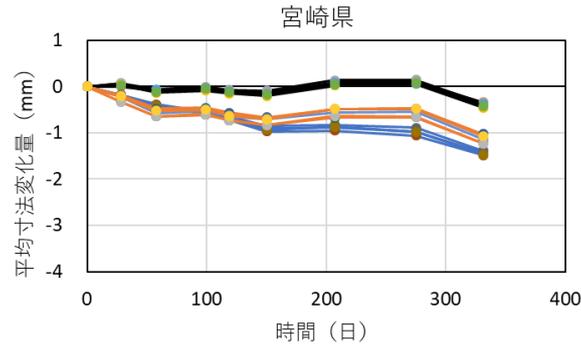
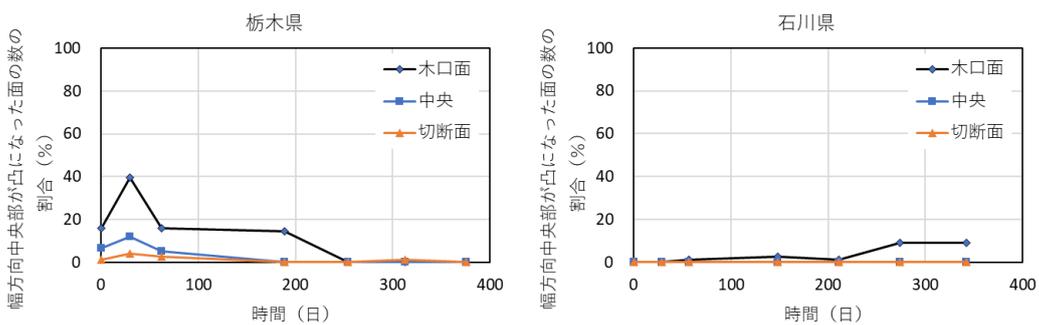


図 2.5.2.3-1 各試験機関における測定箇所ごとの平均寸法変化量
黒線は木口面 1～6、青線は中央 7～10、オレンジ線は切断面 11～16 を表す

2.5.2.4 凹み量

幅方向中央部が凸になった面の数の割合を試験機関ごとに図 2.5.2.4-1 に示す。凸になった面の数の割合は全体的に低かった。ただし、愛媛県や宮崎県の一部の測定箇所において高い値を示し、これらの試験体には材面割れが生じているケースが多かったことから、材面割れの発生によって幅方向中央部が凸になったと考えられる。

幅方向中央部が凸にならずに凹み量を測定できた面を抽出し、その平均凹み量と各プロットの n 数を図 2.5.2.4-2 に示す。いずれの試験機関においても平均凹み量は中央、切断面に比べて木口面で最も小さく、木口面は比較的凹みにくいことがわかった。これは寸法変化と同様、調湿開始時に含水率が低かったことが原因であると考えられる。また、調湿終了時に中央および切断面の平均凹み量は強制調湿に比べて小さく、0.1～0.4mm の範囲に収まるものが多かった。



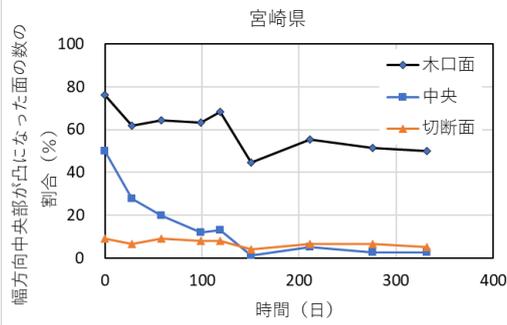
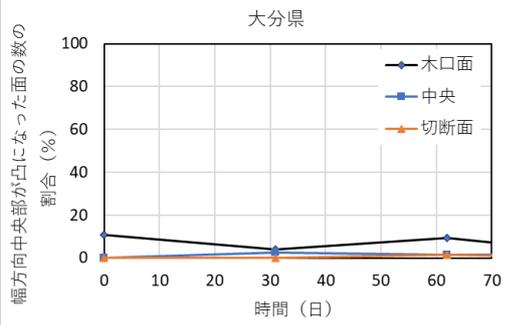
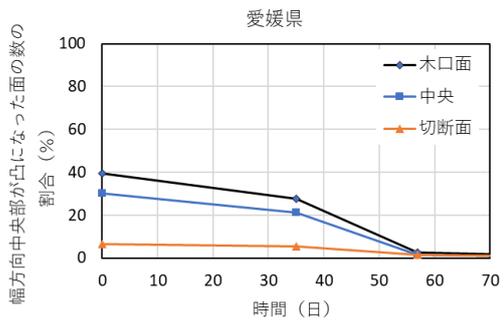
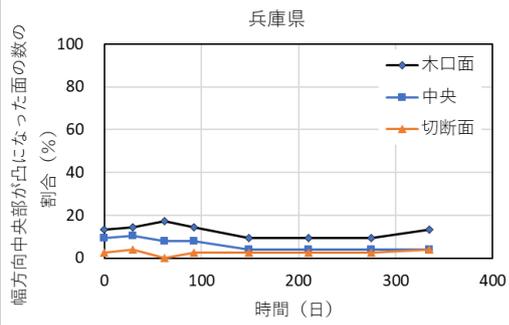
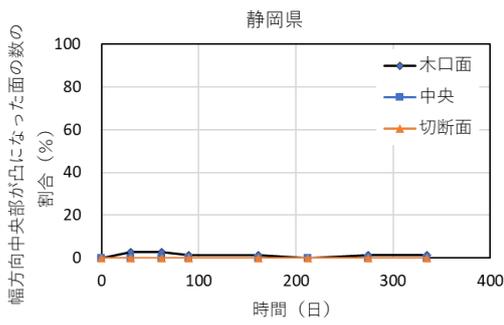
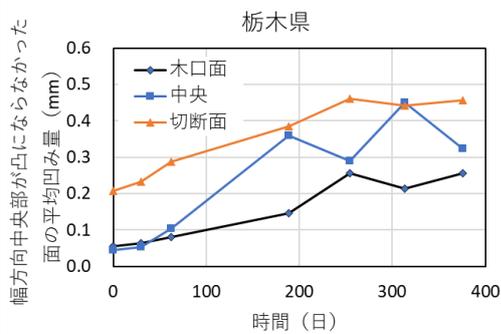
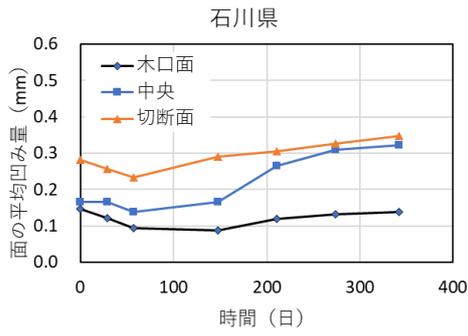


図 2.5.2.4-1 各試験機関における幅方向中央部が凸になった面の割合



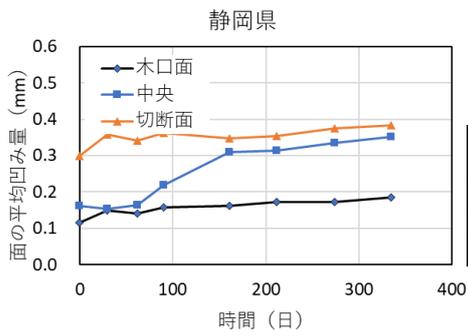
測定箇所	時間 (日)						
	0	30	62	189	254	313	376
木口面	64	46	64	65	76	76	76
中央	71	67	72	76	76	76	76
切断面	75	73	74	76	76	75	76

幅方向中央部が凸にならなかった



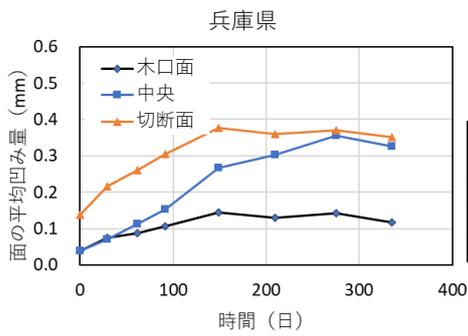
測定箇所	時間 (日)						
	0	29	57	148	211	274	342
木口面	76	76	75	74	75	69	69
中央	76	76	76	76	76	76	76
切断面	76	76	76	76	76	76	76

幅方向中央部が凸にならなかった



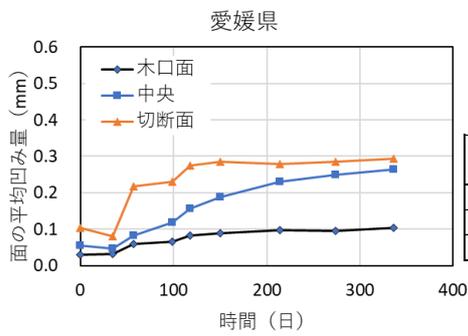
測定箇所	時間 (日)							
	0	30	62	90	161	212	274	335
木口面	76	74	74	75	75	76	75	75
中央	76	76	76	76	76	76	76	76
切断面	76	76	76	76	76	76	76	76

幅方向中央部が凸にならなかった

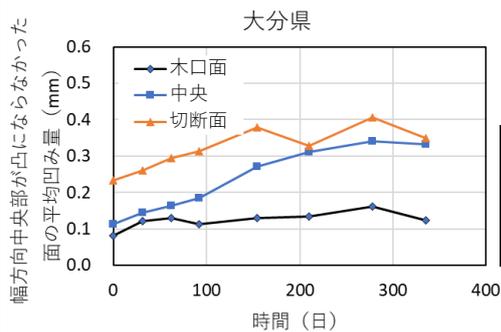


測定箇所	時間 (日)							
	0	29	62	92	149	210	275	335
木口面	66	65	63	65	69	69	69	66
中央	69	68	70	70	73	73	73	73
切断面	74	73	76	74	74	74	74	73

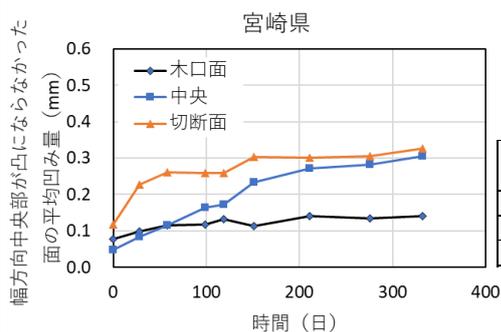
幅方向中央部が凸にならなかった



測定箇所	時間 (日)								
	0	35	57	99	118	150	214	274	336
木口面	46	55	74	76	72	74	71	75	76
中央	53	60	75	76	73	75	76	76	76
切断面	71	72	75	76	75	73	75	74	76



測定箇所	時間 (日)							
	0	31	62	92	154	210	278	335
木口面	67	73	69	75	70	70	62	71
中央	76	74	75	75	72	76	73	75
切断面	76	76	75	76	73	75	73	74



測定箇所	時間 (日)								
	0	28	58	99	119	151	211	276	332
木口面	18	29	27	28	24	42	34	37	38
中央	38	55	61	67	66	75	72	74	74
切断面	69	71	69	70	70	73	71	71	72

図 2.5.2.4-2 各試験機関における幅方向中央部が凸にならなかった試験体の平均凹み量 (左) と各プロットの n 数 (右)

2.5.2.5 材面割れ発生量

各試験機関における材面割れ総長さを図 2.5.2.5-1 に、総面積を図 2.5.2.5-2 に示す。強制調湿と同様、いずれの試験機関も調湿開始時にすでに材面割れは一定量生じていた。材面割れ総長さ、総面積ともに全体的に横ばいで推移し、調湿中に材面割れが大きく増減する傾向はみられなかった。平均に対して標準誤差が相対的に大きく、材面割れの発生量は個体差が非常に大きかった。

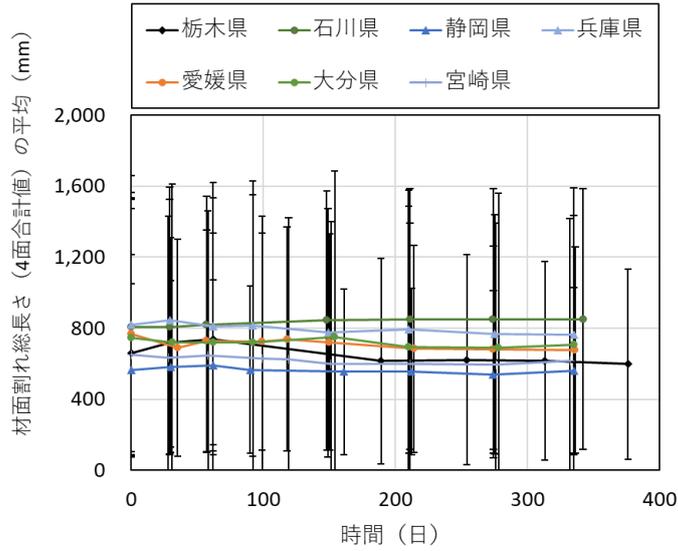


図 2.5.2.5-1 材面割れ総長さの 4 面合計値の平均および標準偏差

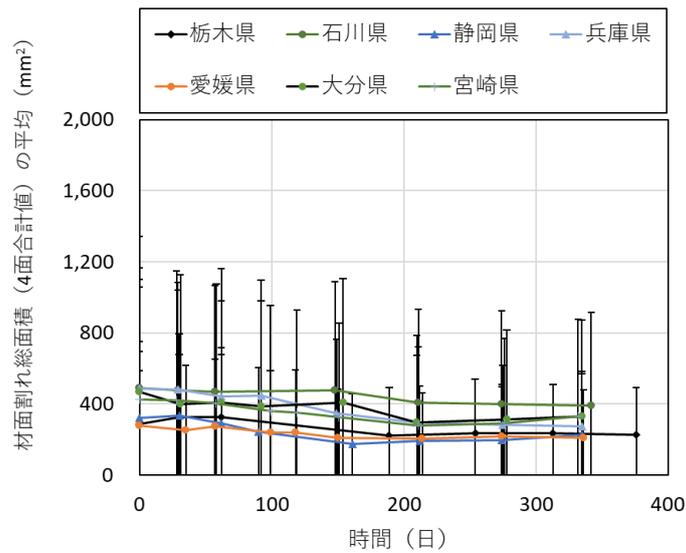


図 2.5.2.5-2 材面割れ総面積の 4 面合計値の平均および標準偏差

2.5.2.6 木口面および切断面の割れ発生量

調湿前後の木口面および切断面の割れの増減を目視で判定した結果を図 2.5.2.6-1 に示す。強制調湿に比べて増加の割合が低く、変化無しもしくは減少が大半を占めた。また、木口面に比べて切断面の方が減少する割合が大きかった。

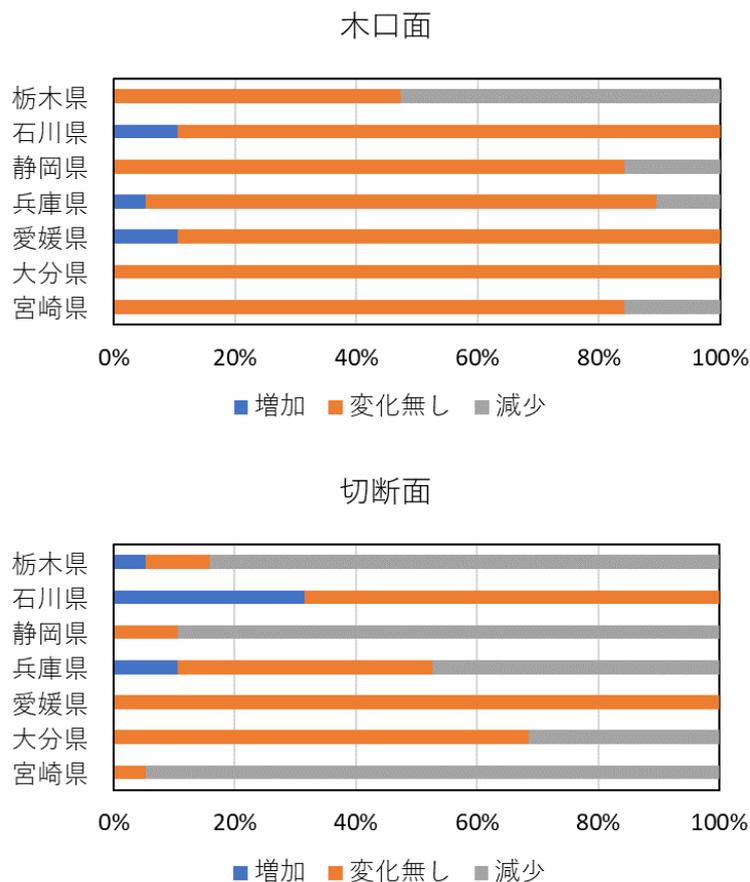


図 2.5.2.6-1 各試験機関における調湿前後の割れ発生量の変化
上：木口面、下：切断面

2.5.3 含水率 20%の木材が使用環境下の平衡含水率に達する間に発生する割れや寸法変化についての総合的な検証結果

2.5.3.1 寸法変化

寸法変化は心持ち正角の部位によって大きく異なり、強制調湿、自然調湿ともに端部（人工乾燥時に木口面として見える部位）の寸法変化は他の部位に比べて非常に小さいことが明らかとなった。

強制調湿において含水率で区分した 5 グループのうち、グループ 2 の含水率が調湿開始時に最も 20% に近かった。そこで、グループ 2 の寸法変化量と含水率のデータ（図 2.5.1.2-4、図 2.5.1.2-5、図 2.5.1.2-6）を用いて、図 2.5.3.1-1 にしたがって含水率が 20% から 15% まで低下したときの寸法変化量を推定し、その結果を表 2.5.3.1-1 に示す。木口面、中央、切断面で比較すると、いずれの試験機関においても切断面の寸法変化量が最も小さい値を示し、収縮量にして 0.7~0.9mm 程度であった。また、北海道と長野県では木口面より中央の方が明らかに収縮量が大きく、熊本県ではほぼ同じであった。

製材 JAS において端部から 30cm の位置の寸法が重要であることから、木口面から 30cm の位置の平均寸法変化量を、木口面と中央の平均値を線形補間することによって推定した。その結果、 $-0.30 \sim -0.48\text{mm}$ (平均 -0.40mm) と推定された。したがって、含水率 20% の心持ち正角乾燥材を含水率 15% まで強制調湿した場合、端部から 30cm の位置では短辺が平均で 0.40mm 収縮することが明らかとなった。この値は製材 JAS のマイナス寸法を議論する際の参考資料になるとと思われる。

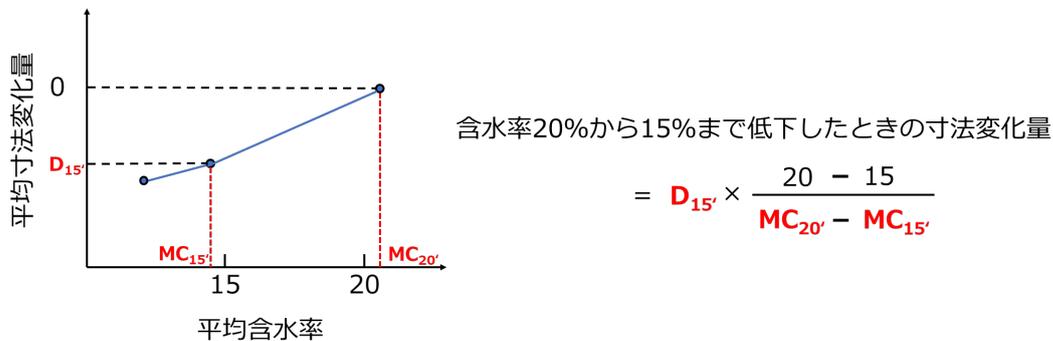


図 2.5.3.1-1 含水率 20% から 15% まで低下したときの寸法変化量の計算方法

表 2.5.3.1-1 強制調湿において含水率 20% から 15% まで低下したときの寸法変化量の推定結果

	北海道				長野県				熊本県			
	木口面	中央	切断面	木口面から30cm*	木口面	中央	切断面	木口面から30cm*	木口面	中央	切断面	木口面から30cm*
平均	-0.29	-0.64	-0.89	-0.48	-0.13	-0.44	-0.70	-0.30	-0.44	-0.41	-0.85	-0.42
標準偏差	0.04	0.01	0.07		0.04	0.02	0.10		0.03	0.04	0.08	
最小	-0.34	-0.65	-0.99		-0.20	-0.46	-0.83		-0.48	-0.46	-0.98	
最大	-0.23	-0.63	-0.79		-0.07	-0.42	-0.55		-0.41	-0.36	-0.77	

*木口面と中央の平均値を線形補間して推定

(単位: mm)

自然調湿 2.5.2.2 の結果から、約 1 年間の自然調湿を経てほぼ平衡含水率に達していることがわかった。そこで、全試験機関のデータを統合し、全試験体について調湿開始時の推定含水率と調湿終了時の平均寸法変化量の関係を図 2.5.3.1-2 にプロットした。推定含水率は過大に見積もられていることを考慮し、全乾法による含水率 20% に相当する推定含水率を仮に 23% と仮定すると、木口面、中央、切断面それぞれ図中の赤矢印の範囲に寸法変化量は収まる。回帰直線を求めて推定含水率 23% の寸法変化量を算出した結果、木口面で -0.1mm 、中央で -1.1mm 、切断面で -1.0mm となり、表 2.5.3.1-1 の強制調湿の結果とある程度近い値となった。この推定結果から、含水率 20% の心持ち正角乾燥材が自然調湿によって平衡含水率に達した場合、端部では短辺が平均 0.1mm 程度、端部から 50cm の位置 (中央) では平均 1.0mm 程度収縮することが示唆された。今後全乾法で含水率を測定すれば、より正確な値が得られることが期待される。

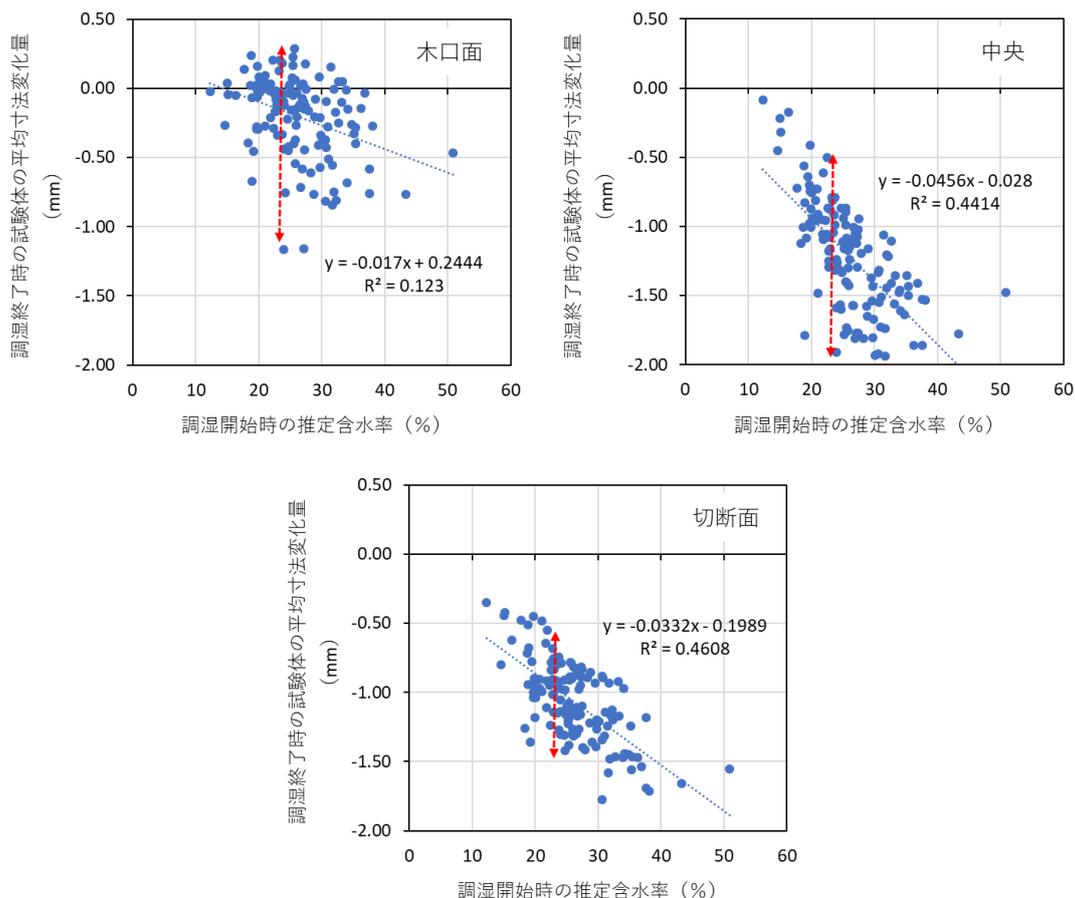


図 2.5.3.1-2 全試験体の自然調湿開始時の推定含水率と自然調湿終了時の平均寸法変化量の関係

2.5.3.2 材面割れ、凹み量、木口面および切断面の割れ

材面割れについては、2.5.1.4 および 2.5.2.5 の結果から、強制調湿、自然調湿ともに調湿中に材面割れの発生量が大きく増減することはほとんどないことが明らかとなった。

凹み量については、寸法変化と同様、心持ち正角の部位によって大きく異なり、強制調湿（図 2.5.1.3-4～6）、自然調湿（図 2.6.2.4-2）ともに端部（人工乾燥時に木口面として見える部位）の凹み量は明らかにその他の部位より小さかった。なお、多くの測定面において幅方向中央部が凸にならず凹み量を測定することができたが、測定方法に制約があり定量的な評価が難しかった。

木口面および切断面の割れについては、自然調湿前後の割れ発生量の変化の結果（図 2.5.2.6-1）において変化無しもしくは減少が大半を占めていた。したがって、含水率 20%の心持ち正角乾燥材が自然調湿によって平衡含水率に達した場合、端部の割れが増加する可能性は低いと考えられる。一方、強制調湿では自然調湿と傾向が異なり、調湿終了時に割れが増加もしくは変化無しの割合が大半を占めた。したがって、50～60℃のやや高い温度で含水率が 5%程度まで下がるような場面では端部の割れが増加する可能性は高いと考えられる。

3. 施工時の含水率の違いが接合部の強度性能に与える影響

3.1. 検討の目的

本検討では、構造用製材の工場出荷時の含水率の違いが、接合部の強度性能に与える影響について実験的な検証を行うことを目的とする。

3.2. 事業の概要

令和4年度「構造用製材の含水率の差異が接合部の耐力にもたらす影響の検証」（以下、「R4年度事業」）で検討を行った接合部の試験方法及び評価方法に基づいて、代表的な接合部の仕様の強度試験を実施し、仕上げ時の含水率と接合部の強度性能の関係について分析を行う。

3.3. 試験体木材の種類と調整方法の計画

試験体木材の種類と調整方法の計画を表3.3-1に示す。

なお、表の右列に令和3年度実施の接合部の要素試験の内容も掲載しているので、参考にされたい。

(1) 樹種

樹種はスギ芯持ち材とする。

(2) 等級、ヤング係数

等級、ヤング係数は指定しない。曲げ降伏型接合部の場合は、木材の支圧強度が影響を与えるので、密度コントロールをする。

(3) 木材の断面寸法

柱を想定し、調達用意な105角とする。

(4) 乾燥方法

流通量の多い高温セットによる乾燥材とした。

(5) 初期含水率

JASの含水率の基準は、試験片の含水率の平均が基準値以下であることとしており、一般流通材から無作為にSD20(JAS)とSD15(JAS)を選んでしまうと両者の含水率に差が出ないことも有り得るため、出荷時のマイクロ波測定による含水率が20～25%程度、10%程度の2条件とする。マイクロ波測定による含水率は高含水率になるほど全乾法との含水率に誤差が生じるので、20～25%仕様は、多めに調達する。

コントロール材として高含水率のものも数体用意する。

試験体選別後は、木材からサンプルを切り出し、全乾法による含水率の測定を行うものとする。

(6) 密度

(2)で述べたとおり、密度は接合部の強度性能に与える影響が大きいため、調湿後の密度がなるべく同じになるように試験体を選別することとする。

(7) 試験体養生・調整方法

木材から切り出した試験体部材はくぎ、ビス、ボルト、ドリフトピン等を用いた金

物をどの試験体も同時期に施工し、平衡含水率に達するまで調湿処理を行う。

調湿処理は、なるべく実際に近い自然乾燥が望ましいが、実施期間が限られている場合は平衡含水率10%の温室条件が設定可能な乾燥装置もしくはチャンバーを用いるものとする。平衡含水率に達する判断は重量変化によるモニタリングによるものとする。

含水率の調整方法が違っていても、応力緩和を考慮し、金物の施工と加力試験の実施時期は一致させる。

(8) その他の注意点

- ・同一個体の木材から、同一試験シリーズの試験体を採らないこととする。例えば1本の木材から合板くぎ試験体の試験部材を2体以上採取しない。必ず1本からは合板くぎ1体、ビス試験体1体、ボルト試験体1体・・・というふうに採取する。

表 3.3-1 試験体木材の種類と調湿方法

検討項目	接合部試験評価方法	参考：R3年度事業として実施した接合部の要素試験の内容	
試験の目的	SD15とSD20の比較（割れの観測と接合部の強度性能）	SD15とSD20の比較（接合部要素試験）	
試験体木材の種類と調整方法	樹種	スギ芯持ち材	スギ芯持ち材
	等級、ヤング係数	指定なし	指定なし（結果的に機械等級E70と稀にE50）
	木材の断面寸法	105角(柱想定)	105角
	密度	0.36～0.43 (KD15) 0.40～0.46 (KD20-25)	0.36～0.43 (KD15) 0.40～0.46 (KD20-25)
	乾燥前の重量選別	指定なし	指定なし
	乾燥方法	高温セット乾燥	高温セット乾燥
	初期含水率（調達時）	KDG15試験体：全数12%以下程度 KDG20-25試験体：全数20～25%程度	KD15試験体：全数12%以下程度 KD20-25試験体：全数20～25%程度
	初期含水率の測定方法（調達後）	試験体周辺木材の全乾法による測定	試験体周辺木材の全乾法による測定
試験体養生・調整方法	KDG15試験体：恒温恒湿室（20℃、65%） KDG20-25試験体：平衡含水率10%の温湿条件が設定可能な乾燥装置もしくはチャンバー	KD15試験体：恒温恒湿室（20℃、65%） KD20-25試験体：太陽熱乾燥システム（処理温度45～50℃）＋クーラー	

3.4. 含水率の測定結果

3.4.1. 作業工程

木材調達から試験実施までの作業工程を表 3.4.1-1 に示す。

7月26日に株式会社ポラス暮し科学研究所へ木材納品を行い、全乾法サンプルのカットと試験体作成を行った。7月31日から一般社団法人全国木材検査・研究協会にてサンプル材の全乾法測定を実施した。8月29日に愛媛県林業研究センターへ試験体を配送し、12月7日まで強制調湿処理を実施した。12月10日から公益財団法人日本住宅・木材技術センターにて接合部試験及び試験体の全乾法測定を実施した。

表 3.4.1-1 木材調達から試験実施までの作業工程

7月12日	協和木材においてマイクロ波含水率計による含水率測定	⇒3.4.2 項
7月13日		
7月14日		
7月15日		
7月16日		
7月17日		
7月18日		
7月19日		
7月20日		
7月21日		
7月22日		
7月23日		
7月24日		
7月25日		
7月26日	株式会社ポラス暮し科学研究所へ木材納品	⇒3.4.3 項
7月27日	木材選別、墨入れ作業実施	
7月28日	木材カット（全乾法サンプルと試験体材を粗切り）	
7月29日		
7月30日		
7月31日	一般社団法人全国木材検査・研究協会にてサンプル材の全乾法測定開始	
8月1日		
8月2日		
8月3日		
8月4日		
8月5日		
8月6日		
8月7日		
8月8日		
8月9日		⇒3.4.4 項
8月10日	サンプル材の全乾法結果報告	
8月11日		
8月12日		
8月13日		
8月14日		
8月15日		
8月16日		
8月17日	試験体加工開始	
8月18日	試験体重量測定	
8月19日		
8月20日		
8月21日	試験体施工	
8月22日		
8月23日		
8月24日		
8月25日		
8月26日		
8月27日		

全乾法測定と試験体施工までに1か月ほど経過。木材はポラスの加工場で保存。

12月11日	公益財団法人日本住宅・木材技術センター納品、接合部試験開始、試験前試験体重量測定	⇒3.4.5 項
12月12日		
12月13日		
12月14日		
12月15日	くぎ試験体全乾法乾燥開始	⇒3.4.6 項
12月16日		
12月17日		
12月18日		
12月19日		
12月20日		
12月21日		
12月22日		
12月23日		
12月24日		
12月25日		
12月26日	接合部試験終了	全乾法乾燥終了
12月27日		
12月28日		
12月29日		
12月30日		
12月31日		
1月1日		
1月2日		
1月3日		
1月4日		
1月5日		
1月6日		
1月7日		
1月8日		
1月9日	ビス、ドリフトピン試験体全乾法乾燥開始	⇒3.4.6 項
1月10日		
1月11日		
1月12日		
1月13日		
1月14日		
1月15日		
1月16日		
1月17日		
1月18日		
1月19日		全乾法乾燥終了
1月20日		
1月21日		

3.4.2. 木材調達

木材は、協和木材から購入した。

調達した木材の寸法、含水率、密度、ヤング係数は表 3.4.2-1 のとおりである。

マイクロ波による含水率測定は、協和木材にて 7 月 12 日に実施した。元口末口の測定位置は木口から約 500 mm の位置である。

- ・ 150%以上の再乾燥材から、マイクロ波含水率 19~21%、密度 450 程度の 3m 材を 20 本購入
- ・ 150%以上の適合材から、マイクロ波含水率 10~12%、密度 420 程度の 3m 材を 10 本購入

※19~21%の調達木材は必要数量の 1.5 倍、10~12%の調達木材は、各試験 1 体分ずつの

予備を見込んだ。

表 3.4.2-1 調達した木材の寸法、含水率、密度、ヤング係数

<<条件>>

寸法 = 3000 x 105 x 105

含水率 = ①19~21% ②10~12%

密度 = ①450±10kg/m³ ②420±10kg/m³

数量 = ①20本 ②10本

*モルダー仕上前粗挽き寸法計測データで検体を抽出

①含水率19~21% 密度450±10kg/m³

No	寸法			含水			含水率 %	重量 kg	密度 kg/m ³	強度	印字No
	幅	厚み	長さ	元	中	末					
	(mm)	(mm)	(mm)	%	%	%					
1	119	119	3011	20.5	21.2	19.1	20.2	19.2	450.3	E90	LGL0075
2	119	119	3011	18.7	23.5	18.2	20.1	18.8	440.9	E70	LGL0117
3	119	119	3011	22.2	22.8	17.6	20.8	19.3	452.6	E90	LGL0161
4	119	119	3011	22.1	20.0	16.3	19.4	19.5	457.3	E90	LGL0248
5	119	119	3011	21.6	20.2	19.7	20.5	19.2	450.3	E90	LGL0253
6	119	119	3011	23.2	21.9	16.6	20.5	19.3	452.6	E110	LGL0288
7	119	119	3011	15.2	22.6	20.4	19.4	19.0	445.6	E70	LGL0349
8	119	119	3011	17.3	21.7	19.7	19.5	19.6	459.7	E90	LGL0358
9	119	119	3011	20.8	20.8	18.8	20.1	19.2	450.3	E90	LGL0615
10	119	119	3011	18.2	21.7	18.9	19.6	19.4	455.0	E90	LGL0647
11	119	119	3011	18.7	22.7	19.0	20.1	18.9	443.3	E90	LGL0654
12	119	119	3011	14.4	23.0	20.6	19.3	19.5	457.3	E90	LGL0681
13	119	119	3011	20.3	21.0	18.9	20.0	19.0	445.6	E70	LGL0865
14	119	119	3011	19.0	22.3	20.3	20.5	19.2	450.3	E90	LGL0870
15	119	119	3011	22.8	20.8	16.0	19.8	19.0	445.6	E110	LGL0884
16	119	119	3011	18.4	19.3	20.8	19.5	19.0	445.6	E70	LGL1888
17	119	119	3011	22.0	23.6	16.8	20.8	19.5	457.3	E70	LGL1900
18	119	119	3011	14.0	21.8	23.4	19.7	19.6	459.7	E70	LGM2634
19	119	119	3011	23.3	22.1	16.1	20.5	19.5	457.3	E70	LGM2661
20	119	119	3011	19.7	24.0	19.0	20.9	19.2	450.3	E90	LGM2678

②含水率10~12% 密度420±10kg/m³

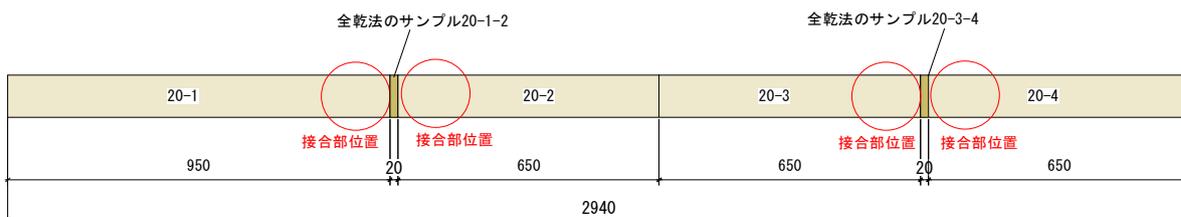
No	寸法			含水			含水率 %	重量 kg	密度 kg/m ³	強度	印字No
	幅	厚み	長さ	元	中	末					
	(mm)	(mm)	(mm)	%	%	%					
1	119	119	3011	9.5	11.0	10.3	10.2	18.1	424.5	E110	LGL0271
2	119	119	3011	9.9	12.2	10.9	11.0	17.9	419.8	E90	LGL0360
3	119	119	3011	9.6	12.3	11.5	11.1	18.0	422.2	E70	LGL0365
4	119	119	3011	10.6	12.6	11.9	11.7	17.9	419.8	E90	LGL0475
5	119	119	3011	11.1	11.8	9.8	10.9	17.8	417.5	E90	LGL0502
6	119	119	3011	9.9	12.1	11.6	11.2	17.7	415.1	E90	LGL0521
7	119	119	3011	9.1	12.2	13.1	11.4	18.2	426.8	E90	LGL0527
8	119	119	3011	9.2	11.1	10.2	10.1	18.1	424.5	E90	LGL0544
9	119	119	3011	9.0	14.0	10.9	11.3	17.6	412.8	E70	LGL0571
10	119	119	3011	9.3	12.8	11.5	11.2	17.6	412.8	E70	LGL0581

3.4.3. 木材カットとサンプル材の全乾法測定

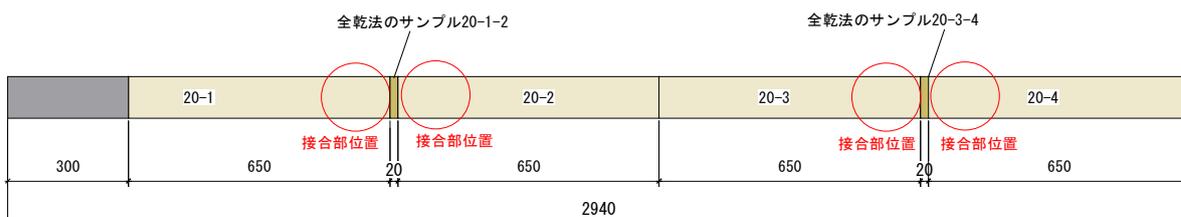
購入した木材(写真 3.4.3-1)は、図 3.4.3-1 のとおり、全乾法測定のためのサンプル材と試験体木材の木取を行った(写真 3.4.3-2)。試験体サイズが異なるため、木取方法を 2 種類に分けて行った。

木取は写真 3.4.3-1 のとおり、節や欠点を避けて材料取りを行った。木取は同一試験体シリーズに同一個体が混じらないように配慮した。

●木取① KDG20材：15本、KDG10材：7本



●木取② KDG20材：5本、KDG10材：3本



試験体材番号 20-●

※●は通し番号

全乾法サンプル番号 20-●-●

※●は両側の試験体の通し番号

図 3.4.3-1 木取り図



写真 3.4.3-1 スギ製材



写真 3.4.3-2 墨入れ作業



写真 3.4.3-3 節がある部分を避けて材料取り



写真 3.4.3-4 カットされた試験体木材

3.4.4. サンプル材の全乾法測定結果

7月31日から実施したサンプル材の全乾法測定結果を表3.4.4-1に、製材工場で測定したマイクロ波の含水率計で測定したものとの比較を図3.4.4-1に示す。

当初の予測どおり、KDG10試験体はばらつきが少なく、KDG20はばらつきが大きくなる結果となった。KDG20のばらつき方については、20%を中心に上下に均等にばらつかず、全体的に低めの値となってしまった。このため、当初予定していたコントロール材としての高含水率試験体は2体分しか用意することができなくなった。

このため、図3.4.4-2のとおり当初の試験計画を変更して高含水率試験体を2体分のみとし、KDG10とKDG20の間であるKDG14試験体を追加した。このとき、それぞれの試験シリーズの全乾法含水率の値は、KDG10を8%以上13%未満、KDG14を13%以上14%以下、KDG20を14%超え20%以下、高含水率試験体を20%超えとした。

表 3.4.4-1 サンプル材の全乾法測定結果

試験結果				
試料番号	乾燥前質量(g)	全乾質量(g)	含水率(%)	適用
1001-12	101.59	92.61	9.6	
1001-34	107.62	98.50	9.2	
1002-12	96.85	87.72	10.4	
1002-34	94.12	85.92	9.5	
1003-12	96.28	88.80	8.4	
1003-34	95.03	86.75	9.5	
1004-12	97.61	88.10	10.7	
1004-34	107.60	97.39	10.4	
1005-12	88.10	79.84	10.3	
1005-34	99.94	91.42	9.3	
1006-12	99.13	88.92	11.4	
1006-34	98.97	89.37	10.7	
1007-12	92.87	84.35	10.1	
1007-34	92.46	83.19	11.1	
1008-23	98.41	90.11	9.2	
1008-34	94.91	87.46	8.5	
1009-12	98.04	88.58	10.6	
1009-34	90.75	82.44	10.0	
1010-12	94.33	86.31	9.2	
1010-34	97.60	89.84	8.6	
2001-12	106.32	93.67	13.5	
2001-34	104.15	89.91	15.8	
2002-12	92.81	77.44	19.8	
2002-34	88.53	74.84	18.2	
2003-12	105.58	86.33	22.2	
2003-34	97.03	81.54	18.9	
2004-12	100.46	87.61	14.6	
2004-34	109.46	94.15	16.2	
2005-12	106.11	90.69	17.0	
2005-34	118.95	103.84	14.5	
2006-12	99.96	87.95	13.6	

2006-34	100.51	88.44	13.6
2007-12	110.27	95.59	15.3
2007-34	103.99	90.13	15.3
2008-12	98.91	85.57	15.5
2008-34	97.08	83.99	15.5
2009-12	95.18	82.30	15.6
2009-34	100.92	88.14	14.4
2010-12	99.99	87.72	13.9
2010-34	102.97	90.59	13.6
2011-12	93.15	81.54	14.2
2011-34	99.32	86.48	14.8
2012-12	98.78	86.54	14.1
2012-34	100.51	88.56	13.4
2013-12	93.32	82.16	13.5
2013-34	95.86	84.82	13.0
2014-12	101.91	88.09	15.6
2014-34	100.74	87.61	14.9
2015-12	96.56	84.17	14.7
2015-34	95.94	82.96	15.6
2016-12	102.91	89.65	14.7
2016-34	95.66	83.47	14.6
2017-12	102.70	88.08	16.5
2017-34	95.60	83.54	14.4
2018-12	103.99	90.72	14.6
2018-34	104.36	90.54	15.2
2019-12	106.61	92.67	15.0
2019-34	100.37	87.49	14.7
2020-12	102.54	90.12	13.7
2020-34	93.27	82.15	13.5

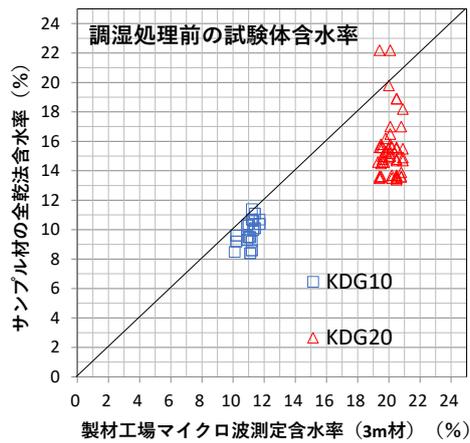


図 3.4.4-1 製材工場でのマイクロ波とサンプル材全乾法の測定含水率の比較



図 3.4.4-2 マイクロ波とサンプル材全乾法の測定位置の違い(単位 : mm)

番号	接合形式		単調	SD15	SD20	高含	合計
				想定	想定	水率	
1	合板添え板くぎ接合	一面せん断（繊維平行方向）	1	6	6	3	16
2		一面せん断（繊維直角方向）	1	6	6	3	16
3	鋼板添え板ビス接合	一面せん断（繊維平行方向）	1	6	6	3	16
4	鋼棒挿入ドリフトピン接合	二面せん断（繊維平行方向）	1	6	6	3	16
5	鋼板挿入ドリフトピン接合	二面せん断（繊維平行方向）	1	6	6	3	16
総合計							80



番号	接合形式		単調	KDG	KDG	KDG	高含	合計
				10	14	20	水率	
1	合板添え板くぎ接合	一面せん断（繊維平行方向）	1	6	3	6	0	16
2		一面せん断（繊維直角方向）	1	6	3	6	0	16
3	鋼板添え板ビス接合	一面せん断（繊維平行方向）	1	6	3	6	0	16
4	鋼棒挿入ドリフトピン接合	二面せん断（繊維平行方向）	1	6	3	6	1	17
5	鋼板挿入ドリフトピン接合	二面せん断（繊維平行方向）	1	6	3	6	1	17
総合計								82

※KDG10 は全乾法含水率 8%以上 13%未満、
 KDG14 は 13%以上 14%以下、
 KDG20 は 14%超え 20%以下、
 高含水率試験体は 20%超え

図 3.4.4-3 試験体の種類の変更

3.4.5. 試験体重量測定による含水率の推定

8月25日に施工を終えた試験体は、愛媛県林業研究センターへ配送し、8月29日に試験体重量を測定した。

強制調湿は、乾球温度 50℃、湿球温度 40℃で実施し、9月11日から乾球温度を 60℃に変更した(写真 3.4.5-1～写真 3.4.5-2)。

重量モニタリング測定は、全ての試験体の中から3体を代表として測定することとした。重量測定日と 3.4.4 項において実施したサンプル材の全乾含水率から推定した含水率の変化を図 3.4.5-1 に示す。

11月から重量変化がなくなったが、接合部試験だけ異なる調湿スケジュールとなってしまったことから、調湿処理を継続することとした。

12月7日に強制調湿を終了し、12月8日に全試験体の重量を測定した。全試験体の含水率の推定結果を図 3.4.5-2 に示す。

なお、重量モニタリングにおける含水率の推定方法は下記のとおりとした。

$$\text{調湿前後の含水率の差(\%)} = \frac{\text{試験体(金物+木材)重量変化(g)}}{\text{全乾サンプルから算出した試験体の絶乾重量(g)}} \times 100$$
$$u_{B-A} = \frac{(W_B - W_A) \times 100}{W_0}$$

ここで、 W_A ：調湿後の試験体（木材+金物）重量（g）

W_B ：調湿前の試験体（木材+金物）重量（g）

W_0 ：全乾法サンプルから推定した全乾状態の試験体（木材のみ）重量（g）

u_{B-A} ：調湿前後の含水率の差（%）



写真 3.4.5-1 強制調湿のための栈積み



写真 3.4.5-2 強制調湿のための栈積み

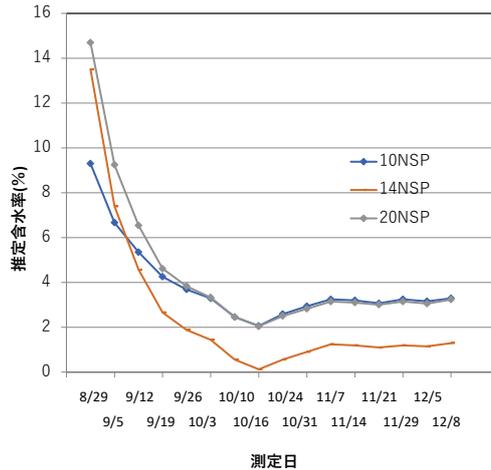


図 3.4.5-1 重量モニタリング測定による含水率の推定(3 体)

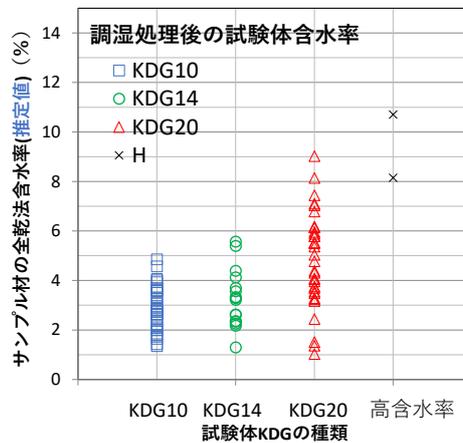


図 3.4.5-2 重量モニタリング測定による含水率の推定

3.4.6. 接合部試験後の全乾法による含水率測定

接合部試験終了後に試験体から長さ 100 mm（断面 105 mm 角）を切り出し、全乾法測定を行った(写真 3.4.6-1)。なるべく節等を含まないものを選んだ。

測定結果と 3.4.4 項のサンプル材全乾法測定結果の重量変化による推定値との比較を図 3.4.6-1 に示す。3.4.5 項の結果から推定されたものより、試験時の含水率に差が無かったことが分かった。

逆に試験体の測定結果から重量変化による推定を行い、強制調湿前の試験体の含水率の推定を行った結果を図 3.4.6-2 に示す。サンプル材から求めた全乾法含水率は 8% から 23% 程度まで広く分布しているが、試験後の全乾法含水率から重量変化を加味することで施工時の含水率を求めたものは 9% から 19% 程度までの分布となっている。後者が低めになった原因としては、試験片の採取場所がサンプル材より両端に近い試験体が存在すること、表 3.4.1-1 に示したとおりサンプル材採取から施工完了までの間に 1 か月の期間を必要としたためにその間に試験体の乾燥が進んだことが考えられる。

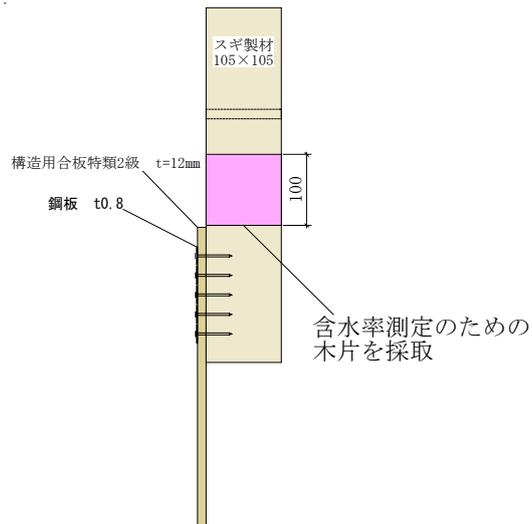


図 3.4.6-1 試験後に試験体そのものから採取した厚さ 100 mm×105 mm 角の木片から測定した全乾法含水率から推定を行う場合



写真 3.4.6-1 全乾法による含水率測定試験体

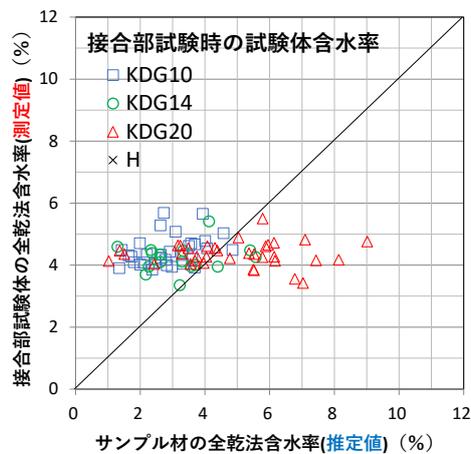


図 3.4.6-2 サンプル材の重量変化による含水率の推定値と試験後の全乾法による測定結果の比較

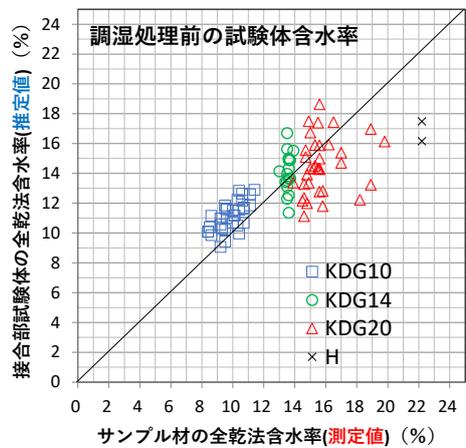


図 3.4.6-3 サンプル材の全乾法測定値と接合部試験体からの重量変化による含水率の推定値の比較

3.5. 接合部試験の実施内容

試験の種類を表 3.5-1 に試験体木材の密度と含水率の測定結果を表 1.5-2 に示す。

図 3.5-1 は、試験時の密度と施工時含水率（重量変化による推定値）の相関を示したものである。本試験においては、どの試験シリーズにおいても比較的同一密度帯で試験することができた。

表 3.5-1 試験の種類

番号	試験体記号※	接合形式		単調	KDG10	KDG14	KDG20	高含水率	合計
1	NSP	合板添え板くぎ接合	一面せん断（繊維平行方向）	1	6	3	6	0	16
2	NSO		一面せん断（繊維直角方向）	1	6	3	6	0	16
3	SSP	鋼板添え板ビス接合	一面せん断（繊維平行方向）	1	6	3	6	0	16
4	RDSP	鋼棒挿入ドリフトピン接合	二面せん断（繊維平行方向）	1	6	3	6	1	17
5	PDSP	鋼板挿入ドリフトピン接合	二面せん断（繊維平行方向）	1	6	3	6	1	17
総合計									82

※試験体記号の先頭に仕上げ時含水率に応じた数値を付すのものとする。

<u>10</u>	<u>N</u>	<u>S</u>	<u>P</u>
施工時含水率の グループ	接合具の種類	荷重の種類	加力に対する繊維方向
10	Nail	Shear	Parallel
14	Screw		Orthogonal
20	Rod Driftpin		
H	Plate Driftpin		

表 3.5-2 試験体の密度及び含水率

試験体記号	製材		合板	試験体記号	製材		合板
	密度 (g/cm ³)	含水率(%)	密度 (g/cm ³)		密度 (g/cm ³)	含水率(%)	密度 (g/cm ³)
10NSP-1	0.387	3.95	0.563	10NSO-1	0.413	4.55	0.544
2	0.428	3.86	0.574	2	0.410	4.02	0.527
3	0.431	4.49	0.520	3	0.407	4.24	0.562
4	0.410	4.09	0.572	4	0.425	3.91	0.542
5	0.415	4.33	0.507	5	0.445	4.09	0.551
6	0.433	4.28	0.527	6	0.460	4.32	0.547
平均	0.417	4.167	0.544	平均	0.427	4.186	0.545
14NSP-1	0.429	4.40	0.567	14NSO-1	0.427	3.36	0.571
2	0.421	4.60	0.531	2	0.438	3.96	0.556
3	0.424	4.49	0.531	3	0.428	3.70	0.549
平均	0.424	4.496	0.543	平均	0.431	3.672	0.559
20NSP-1	0.413	4.61	0.563	20NSO-1	0.432	4.26	0.555
2	0.426	4.64	0.520	2	0.413	4.36	0.551
3	0.407	4.55	0.556	3	0.406	4.14	0.551
4	0.423	4.47	0.560	4	0.437	4.27	0.559
5	0.422	4.64	0.510	5	0.432	4.14	0.562
6	0.446	4.89	0.516	6	0.439	4.56	0.565
平均	0.423	4.632	0.537	平均	0.427	4.286	0.557

試験体記号	製材		試験体記号	製材		試験体記号	製材	
	密度 (g/cm ³)	含水率(%)		密度 (g/cm ³)	含水率(%)		密度 (g/cm ³)	含水率(%)
10SSP-1	0.406	4.25	10RDSP-1	0.417	4.10	10PDSP-1	0.393	5.04
2	0.435	3.93	2	0.415	4.00	2	0.426	4.63
3	0.402	5.69	3	0.441	4.35	3	0.425	4.71
4	0.427	4.49	4	0.389	4.21	4	0.411	5.08
5	0.422	5.66	5	0.429	4.18	5	0.446	4.44
6	0.415	5.29	6	0.459	4.71	6	0.426	4.68
平均	0.418	4.883	平均	0.425	4.257	平均	0.421	4.761
14SSP-1	0.454	5.42	14RDSP-1	0.430	4.01	14PDSP-1	0.442	4.47
2	0.427	4.12	2	0.442	3.95	2	0.446	4.48
3	0.439	3.96	3	0.418	4.11	3	0.463	4.35
平均	0.440	4.500	平均	0.430	4.024	平均	0.450	4.431
20SSP-1	0.417	4.76	20RDSP-1	0.431	4.18	20PDSP-1	0.397	4.16
2	0.430	4.04	2	0.439	4.14	2	0.422	4.39
3	0.438	4.28	3	0.439	4.38	3	0.428	4.36
4	0.456	3.84	4	0.407	3.42	4	0.438	4.72
5	0.432	3.86	5	0.447	3.56	5	0.429	4.66
6	0.458	4.62	6	0.429	4.04	6	0.426	4.82
平均	0.439	4.232	平均	0.432	3.951	平均	0.423	4.517
			HRDSP	0.430	4.26	HPDSP	0.450	5.15

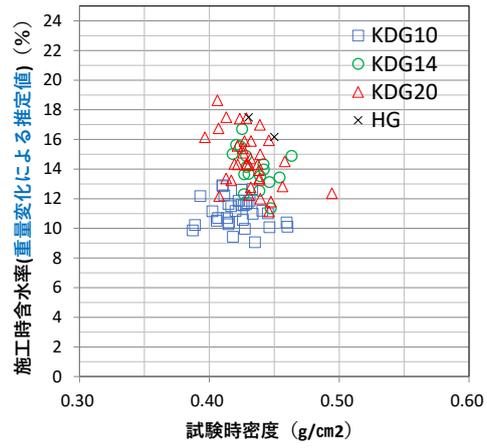


図 3.5-1 試験時密度と施工時含水率（重量変化による推定値）

3.5.1. 合板添え板くぎ接合 一面せん断（繊維平行方向）の接合部

（1）接合部の想定

- ・耐力壁の面材くぎ接合（図 3.5.1-1）を想定している。
- ・くぎの種類については、細い方が割れに対して木材への支圧が効きにくい。太い方が割裂を引き起こしやすいという違いがある。ビスとの差別化を図るため、令和 3 年度事業と同様に N50 を採用する。

N50 $L=50.0\text{ mm}$ 、 $d=2.75\text{ mm}$

CN50 $L=50.8\text{ mm}$ 、 $d=2.87\text{ mm}$ 、

CN65 $L=63.5\text{ mm}$ 、 $d=3.33\text{ mm}$ 、

CN75 $L=76.2\text{ mm}$ 、 $d=3.76\text{ mm}$

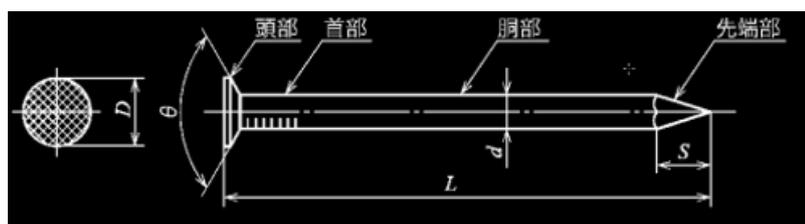


図 3.5.1-1 くぎの寸法

- ・中大規模グレー本（図 3.5.1-2）の耐力壁で想定しているくぎピッチは 50 mm。一方、AIJ 規準は繊維方向加力 12d（N50 は 33 mm）、直角方向加力 10d（N50 は 27.5 mm）。

N50 くぎでは、実際の運用を考えると前者の 50 mm でよく、安全側を取るなら後者の 27.5 mm。

- ・軸組に面材をくぎ打ちした耐力壁に水平力が加わると、図 3.5.1-3 のように軸組が平行四辺形に変形しようとするのに対して、面材は長方形を保とうとするので、面材と軸材を留めているくぎは矢印の方向へと軸組の元あった位置からくぎ頭ずれる「せん断変形」を生じる。面材の中央より上半分では左向きにずれ、下半分では右向きにずれていることがわかる。同様に、中央より左半分では上向きに、右半分では下向きにずれている。このように必ずしも繊維方向に対して平行にくぎ接合部が加力されるわけではない。

接合部試験では加力方向を単純化し、繊維方向・繊維直角方向の 2 方向で検討を行うものとする。3.5.1 項では繊維方向、繊維直角方向は 3.5.2 項とする。

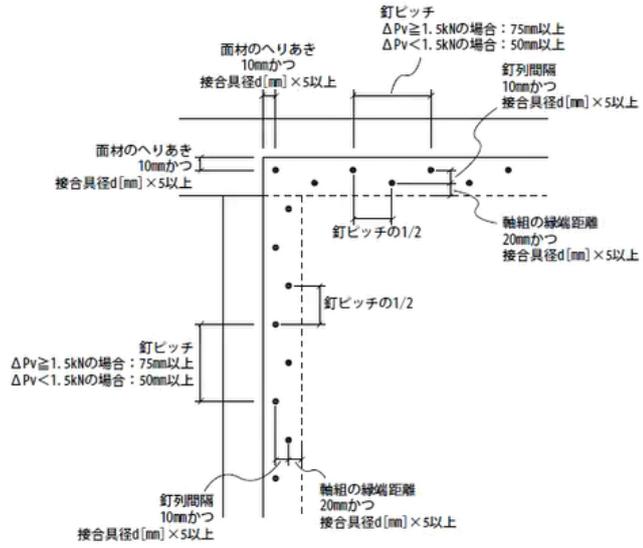


図 3.5.1-2 中高層グレー本のくぎピッチの考え方

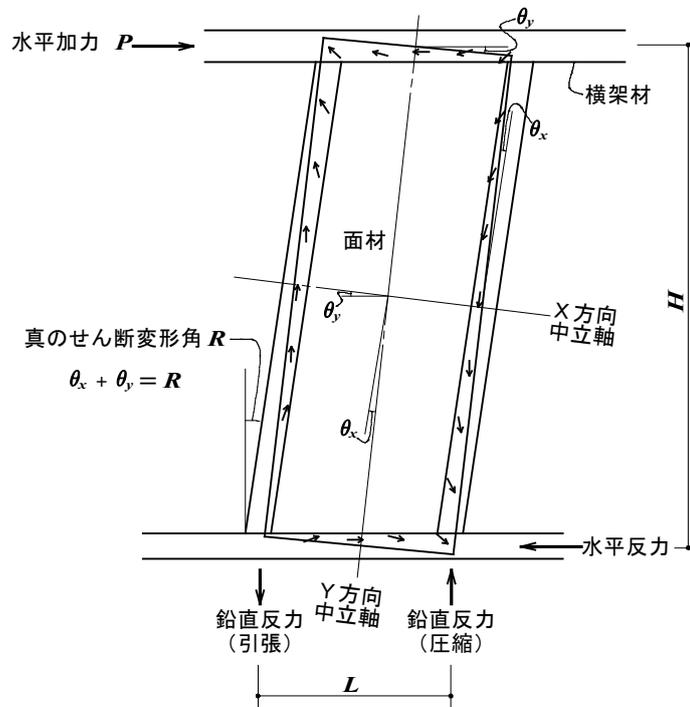


図 3.5.1-3 せん断力作用時のくぎの動き

(2) 試験体仕様

試験体仕様は図 3.5.1-4 のとおりである。

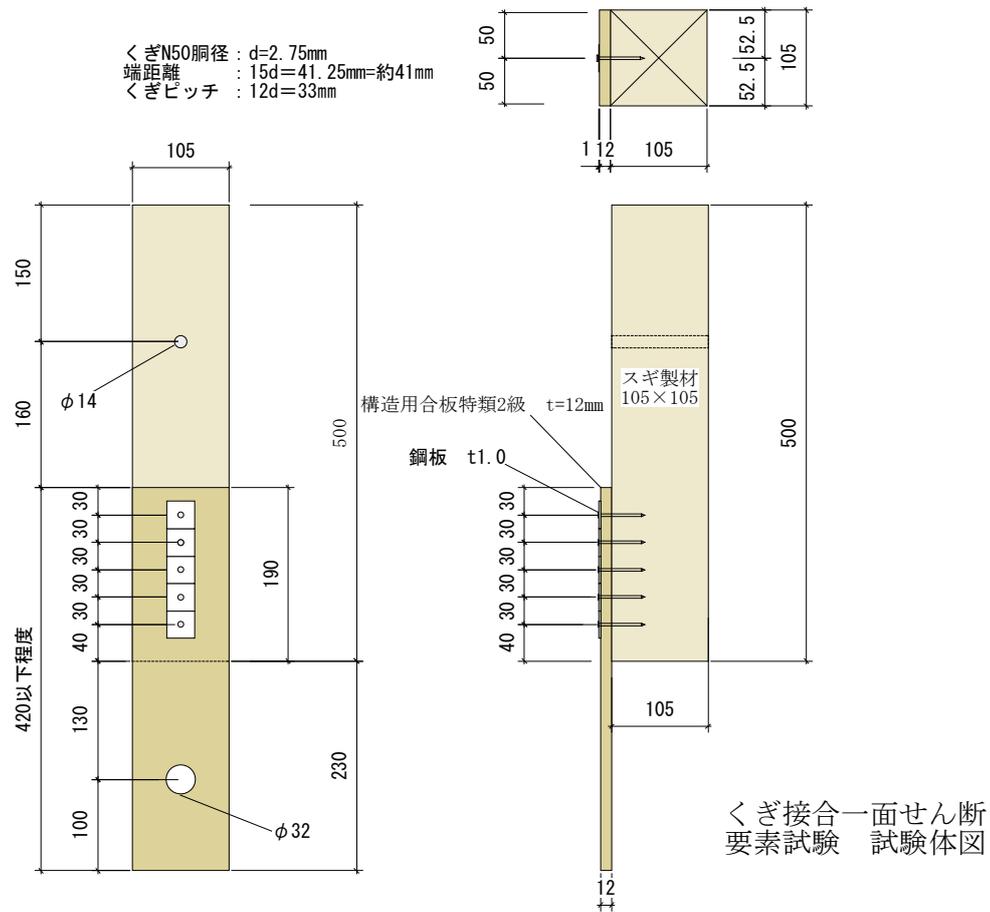


図 3.5.1-4 合板添え板くぎ接合 一面せん断（繊維平行方向） 試験体図(単位：mm)

(3) 加力方法、変位の測定方法

試験方法、変位の測定方法は写真 3.5.1-1 のとおりである。

試験における繰り返しの履歴は、単調加力試験から得た降伏変位 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の変形まで順に 1 回ずつの繰り返し加力を行う。

加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80% に荷重が低下するまで又は仕口の機能が失われるまで行う。

変位計測は、変位計を用い、軸材の軸芯で左右 2 カ所で軸材と面材の相対変位を計測する。変位には、試験による材料の割れ、めり込みによる変位等も含んだものとする。

測定箇所が 2 箇所であるため、変位は平均するものとする。

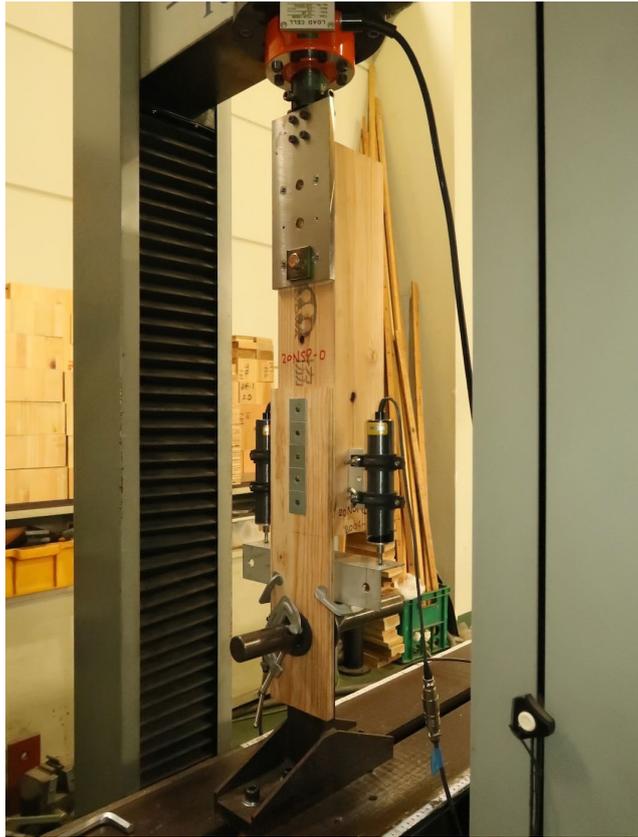


写真 3.5.1-1 試験方法

(4) 試験結果

1) 10NSP

特性値一覧を表 3.5.1-1 に、荷重変位曲線を図 3.5.1-5 に、破壊性状を表 3.5.1-2 及び写真 3.5.1-2～写真 3.5.1-10 に示す。

表 3.5.1-1 10NSP 特性値一覧

試験体記号 項目	10NSP						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	0.71	0.71	0.90	0.62	0.87	0.87	0.78	0.11			
1/10 δ m (mm)	0.13	0.15	0.15	0.08	0.14	0.11	0.13	0.03			
2/5Pm (kN)	2.83	2.86	3.62	2.46	3.50	3.49	3.13	0.47			
2/5 δ m (mm)	0.61	0.91	1.09	0.58	1.26	1.01	0.91	0.27			
2/3Pm (kN)	4.72	4.76	6.03	4.10	5.83	5.82	5.21	0.79	0.152	0.645	3.36
2/3 δ m (mm)	1.90	2.65	4.38	1.67	5.63	5.07	3.55	1.70			
9/10Pm (kN)	6.38	6.42	8.14	5.54	7.87	7.86	7.04	1.06			
9/10 δ m (mm)	6.50	8.22	16.95	3.69	18.58	16.44	11.73	6.34			
Pm (kN)	7.09	7.14	9.04	6.16	8.74	8.73	7.82	1.18			
δ m (mm)	18.03	20.65	22.44	11.77	22.89	21.01	19.47	4.14			
δ u時荷重 (kN)	5.67	5.71	7.23	4.92	7.23	8.69	6.58	1.39			
δ u (mm)	25.74	27.97	29.95	24.85	30.00	21.48	26.67	3.31			
降伏耐力 Py (kN)	4.18	4.23	5.30	3.24	4.88	4.81	4.44	0.72	0.162	0.622	2.76
δ y (mm)	1.36	1.95	2.82	0.95	2.94	2.36	2.06	0.80			
終局耐力 Pu (kN)	6.42	6.46	7.91	5.79	7.49	7.22	6.88	0.79			
初期剛性 K (kN/mm)	3.07	2.17	1.88	3.41	1.66	2.04	2.37	0.70			
降伏点変位 δ v (mm)	2.09	2.98	4.21	1.70	4.51	3.54	3.17	1.13			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	12.32	9.39	7.11	14.62	6.65	6.07	9.36	3.45			
構造特性係数 Ds	0.21	0.24	0.28	0.19	0.29	0.30	0.25	0.05			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

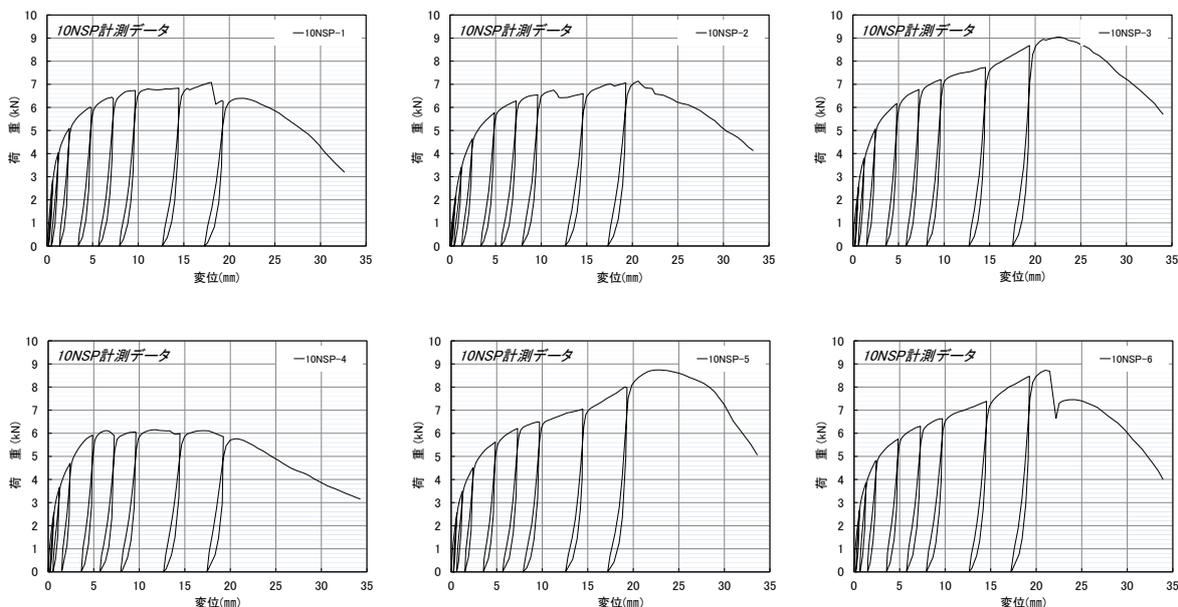


図 3.5.1-5 10NSP 荷重変位曲線



写真 3.5.1-2 10NSP-1 試験後の様子



写真 3.5.1-3 10NSP-4 くぎ列に沿った木材の割れ



写真 3.5.1-4 10NSP-6 くぎの破断



写真 3.5.1-5 10NSP-6 くぎによる木材のめり込み

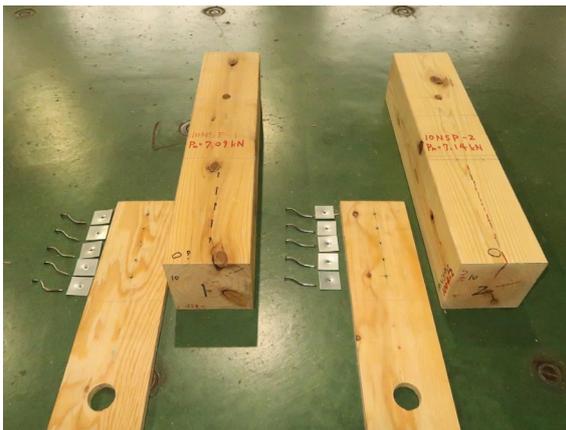


写真 3.5.1-6 1体目、2体目破壊性状

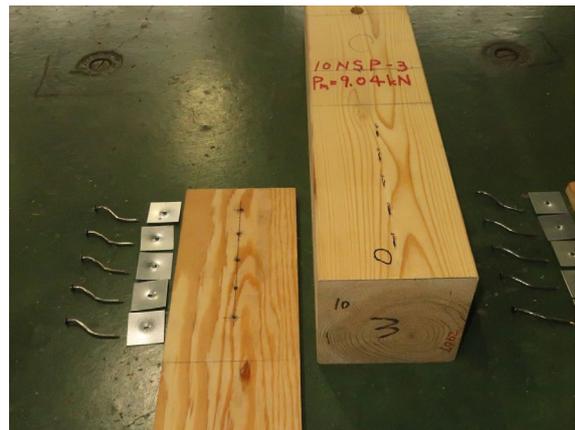


写真 3.5.1-7 3体目破壊性状

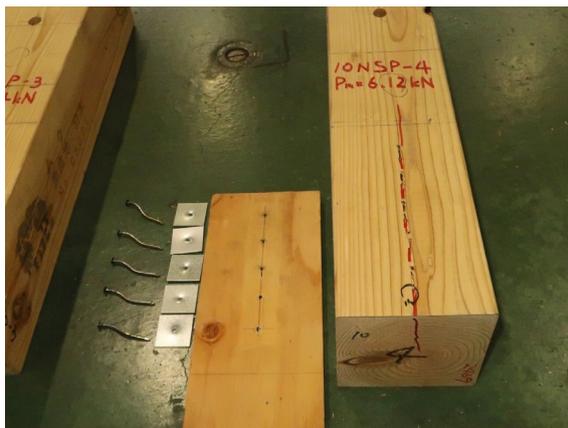


写真 3.5.1-8 4 体目破壊性状

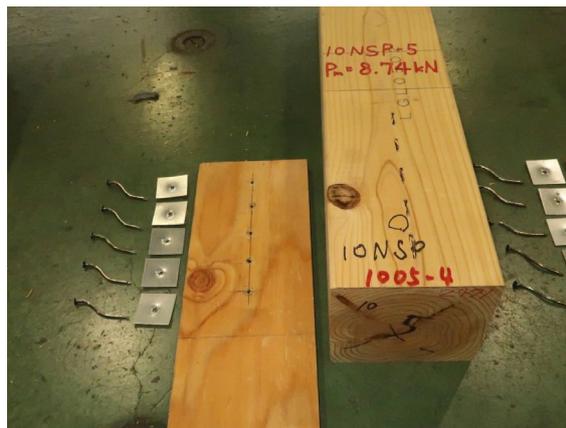


写真 3.5.1-9 5 体目破壊性状



写真 3.5.1-10 6 体目破壊性状

表 3.5.1-2 10NSP 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	くぎの引き抜け・変形	くぎの破断	くぎ列に沿った木材の割れ
10NSP	1	○	
	2	○	○
	3	○	
	4	○	○
	5	○	
	6	○	○

2) 14NSP

特性値一覧を表 3.5.1-3 に、荷重変位曲線を図 3.5.1-6 に、破壊性状を表 3.5.1-4 及び写真 3.5.1-11～写真 3.5.1-17 に示す。

表 3.5.1-3 14NSP 特性値一覧

試験体記号 項目	14NSP			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3					
1/10Pm (kN)	0.64	0.84	0.76	0.75	0.10			
1/10 δ m (mm)	0.06	0.13	0.12	0.10	0.04			
2/5Pm (kN)	2.56	3.35	3.04	2.98	0.40			
2/5 δ m (mm)	0.44	0.91	0.70	0.68	0.24			
2/3Pm (kN)	4.27	5.59	5.07	4.98	0.66	0.133	0.581	2.89
2/3 δ m (mm)	1.20	3.75	2.40	2.45	1.28			
9/10Pm (kN)	5.77	7.55	6.84	6.72	0.90			
9/10 δ m (mm)	2.90	14.63	6.80	8.11	5.97			
Pm (kN)	6.41	8.39	7.60	7.47	1.00			
δ m (mm)	15.61	19.37	11.06	15.35	4.16			
δ u時荷重 (kN)	5.13	8.35	6.08	6.52	1.65			
δ u (mm)	22.99	20.21	16.63	19.94	3.19			
降伏耐力 Py (kN)	3.53	4.90	4.37	4.27	0.69	0.162	0.489	2.08
δ v (mm)	0.76	2.40	1.61	1.59	0.82			
終局耐力 Pu (kN)	5.94	7.24	6.73	6.64	0.66			
初期剛性 K (kN/mm)	4.64	2.04	2.71	3.13	1.35			
降伏点変位 δ v (mm)	1.28	3.55	2.48	2.44	1.14			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	17.96	5.69	6.71	10.12	6.81			
構造特性係数 Ds	0.17	0.31	0.28	0.25	0.07			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

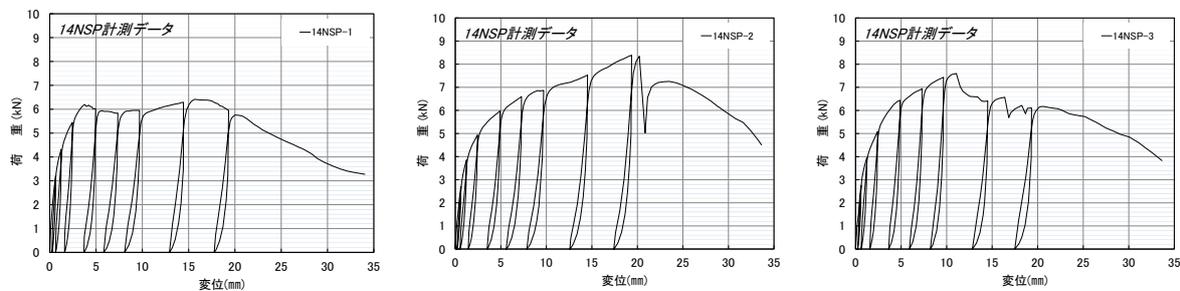


図 3.5.1-6 14NSP 荷重変位曲線



写真 3.5.1-11 14 NSP-1 試験後の様子



写真 3.5.1-12 14 NSP-1 くぎ列に沿った木材の割れ



写真 3.5.1-13 14 NSP-1 面材の浮き



写真 3.5.1-14 14 NSP-1 木口割れ

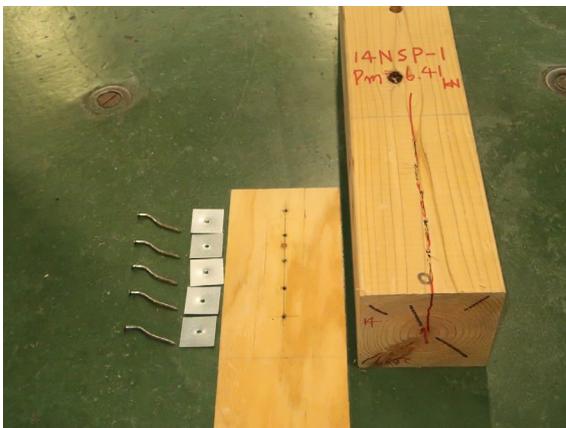


写真 3.5.1-15 1体目破壊性状



写真 3.5.1-16 2体目破壊性状

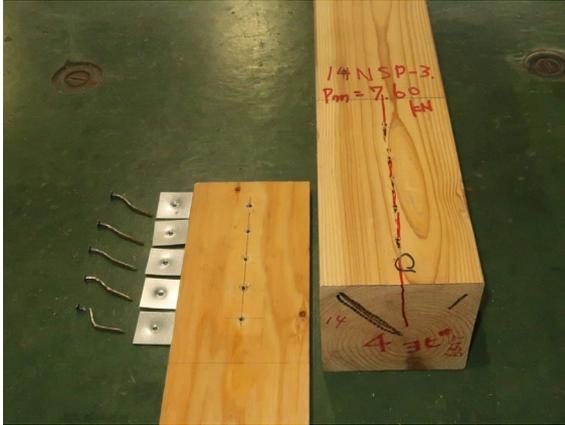


写真 3.5.1-17 3 体目破壊性状

表 3.5.1-4 14NSP 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	くぎの引き抜け・変形	くぎの破断	くぎ列に沿った木材の割れ
14NSP	1	○	○
	2	○	
	3	○	

3) 20NSP

特性値一覧を表 3.5.1-5 に、荷重変位曲線を図 3.5.1-7 に、破壊性状を表 3.5.1-6 及び写真 3.5.1-18～写真 3.5.1-27 に示す。

表 3.5.1-5 20NSP 特性値一覧

項目	試験体記号						20NSP	1	2	3	4	5	6	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6												
1/10Pm (kN)	0.68	0.64	0.86	0.76	0.73	0.83	0.75	0.08										
1/10 δ m (mm)	0.13	0.15	0.19	0.09	0.14	0.23	0.16	0.05										
2/5Pm (kN)	2.73	2.55	3.46	3.03	2.91	3.31	3.00	0.34										
2/5 δ m (mm)	0.79	0.72	1.10	0.74	0.81	1.25	0.90	0.22										
2/3Pm (kN)	4.55	4.25	5.77	5.05	4.86	5.52	5.00	0.57	0.114	0.734	3.67							
2/3 δ m (mm)	2.50	1.91	4.07	2.37	2.65	3.70	2.87	0.83										
9/10Pm (kN)	6.14	5.74	7.78	6.82	6.56	7.45	6.75	0.77										
9/10 δ m (mm)	6.15	9.23	11.25	11.00	7.29	17.76	10.45	4.11										
Pm (kN)	6.82	6.38	8.65	7.58	7.29	8.28	7.50	0.86										
δ m (mm)	16.05	18.48	16.95	18.36	18.04	22.81	18.45	2.33										
δ u時荷重 (kN)	6.82	5.10	7.12	6.06	5.83	7.09	6.34	0.81										
δ u (mm)	16.05	27.62	30.00	23.87	26.41	30.00	25.66	5.25										
降伏耐力 Py (kN)	3.65	4.54	4.77	5.29	4.16	5.56	4.66	0.71	0.152	0.645	3.00							
δ y (mm)	1.42	2.26	2.30	2.65	1.81	3.76	2.37	0.81										
終局耐力 Pu (kN)	6.16	5.93	7.78	6.98	6.56	7.48	6.82	0.73										
初期剛性 K (kN/mm)	2.57	2.01	2.07	2.00	2.30	1.48	2.07	0.36										
降伏点変位 δ v (mm)	2.40	2.95	3.76	3.49	2.85	5.05	3.42	0.93										
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	6.69	9.36	7.98	6.84	9.27	5.94	7.68	1.43										
構造特性係数 Ds	0.28	0.24	0.26	0.28	0.24	0.30	0.27	0.02										

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

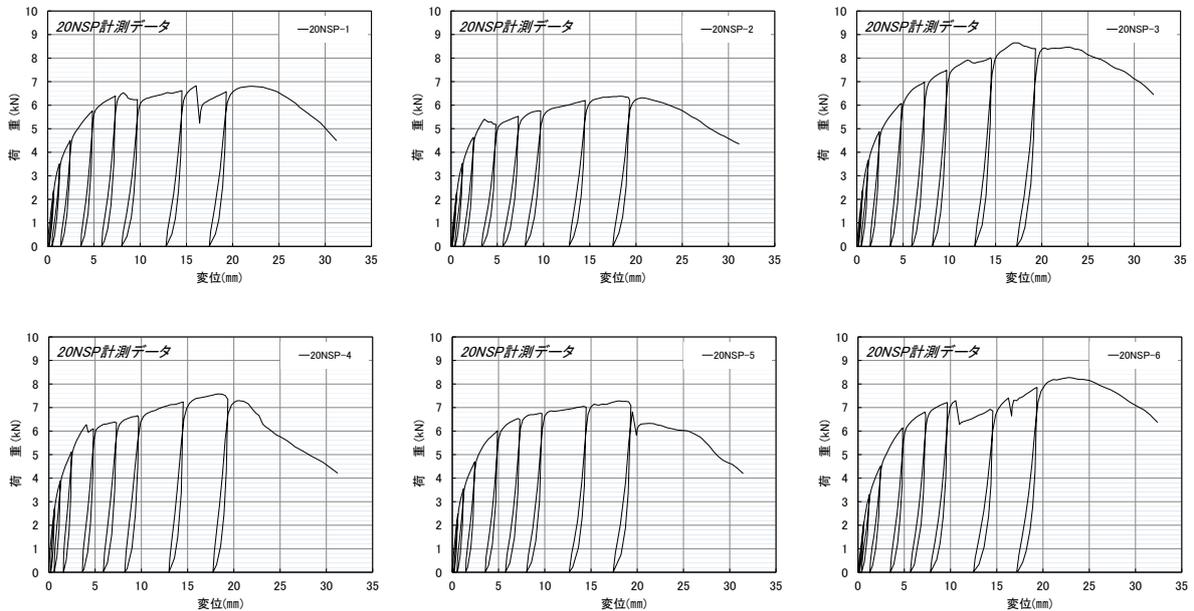


図 3.5.1-7 20NSP 荷重変位曲線

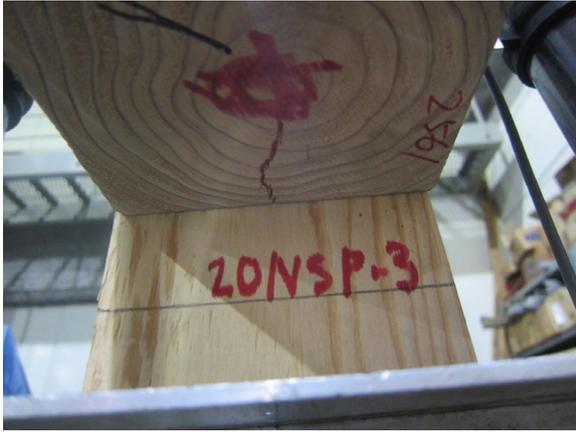


写真 3.5.1-18 20NSP-3 木口割れ



写真 3.5.1-19 20NSP-1 解体後 くぎによる木材のめり込み



写真 3.5.1-20 20NSP-1 くぎの変形・破断

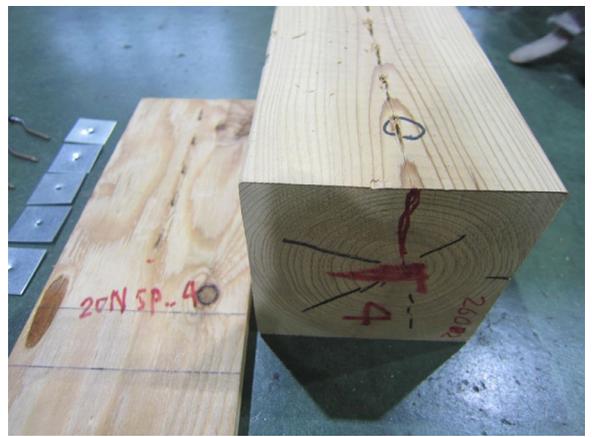


写真 3.5.1-21 20NSP-4 くぎ列に沿った割れ、木口割れ



写真 3.5.1-22 1体目破壊性状



写真 3.5.1-23 2体目破壊性状



写真 3.5.1-24 3 体目破壊性状

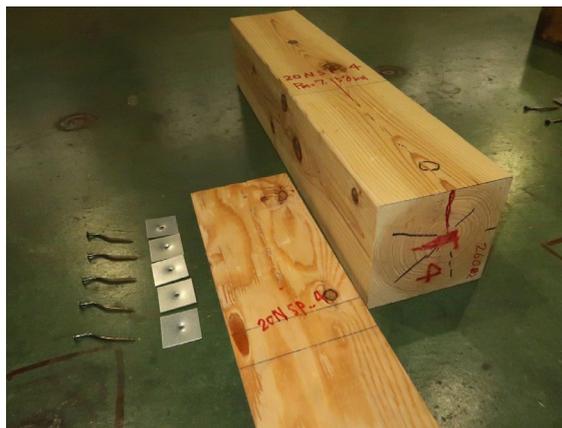


写真 3.5.1-25 4 体目破壊性状



写真 3.5.1-26 5 体目破壊性状

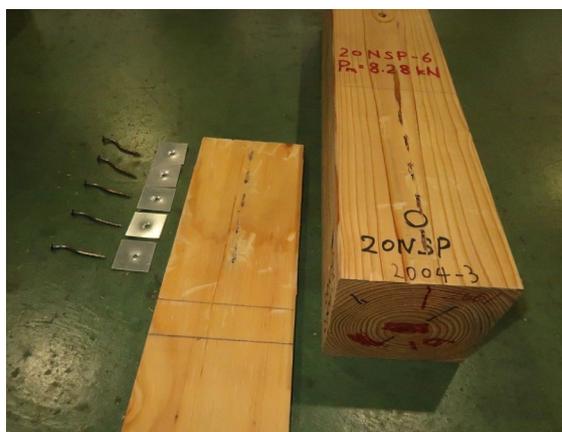


写真 3.5.1-27 6 体目破壊性状

表 3.5.1-6 20NSP 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	くぎの引き抜け・変形	くぎの破断	くぎ列に沿った木材の割れ
20NSP	1	○	
	2	○	○
	3	○	○
	4	○	
	5	○	○
	6	○	

(5) 考察

破壊性状、グラフの形状共に施工時含水率の違いによる影響は見られなかった。

3.5.2. 合板添え板くぎ接合 一面せん断（繊維直角方向）の接合部

(1) 接合部の想定

3.5.1 項 (1) に同じ。

接合部試験では加力方向を単純化し、繊維方向・繊維直角方向の 2 方向で検討を行うものとする。3.5.1 項では繊維平行方向、3.5.2 項では繊維直角方向とする。

(2) 試験体仕様

試験体仕様は図 3.5.2-1 のとおりである。

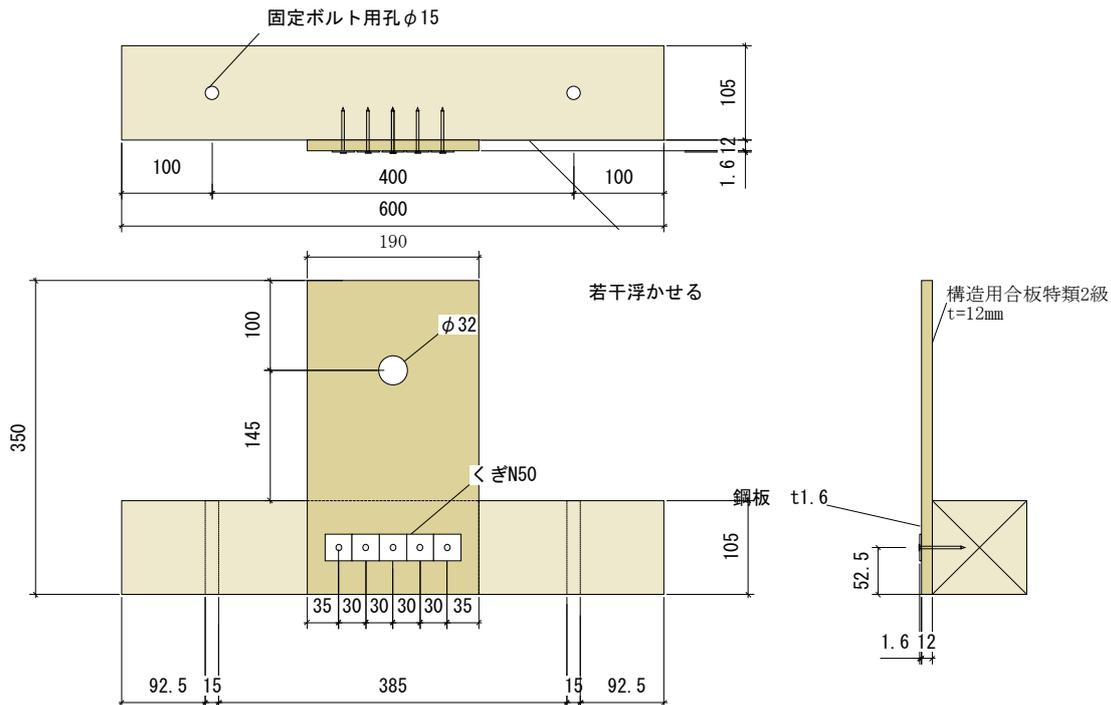


図 3.5.2-1 合板添え板くぎ接合 一面せん断（繊維直角方向） 試験体図(単位：mm)

(3) 加力方法、変位の測定方法

試験方法、変位の測定方法は写真 3.5.2-1 のとおりである。

試験における繰り返しの履歴は、単調加力試験から得た降伏変位 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の変形まで順に 1 回ずつの繰り返し加力を行う。

加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80% に荷重が低下するまで又は仕口の機能が失われるまで行う。

変位計測は、変位計を用い、面材の左右 2 カ所で軸材との相対変位を計測する。変位には、試験による材料の割れ、めり込みによる変位等も含んだものとする。

測定箇所が 2 箇所であるため、変位は平均するものとする。

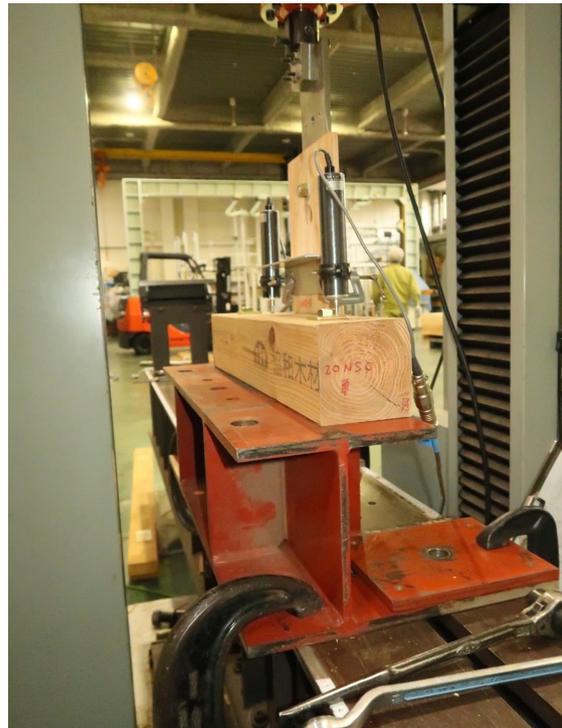


写真 3.5.2-1 試験方法

(4) 試験結果

1) 10NSO

特性値一覧を表 3.5.2-1 に、荷重変位曲線を図 3.5.2-2 に、破壊性状を表 3.5.2-2 及び写真 3.5.2-2～写真 3.5.2-11 に示す。

表 3.5.2-1 10NSO 特性値一覧

試験体記号 項目	10NSO						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	0.62	0.72	0.69	0.75	0.64	0.62	0.67	0.06			
1/10 δ m (mm)	0.06	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02			
2/5Pm (kN)	2.48	2.90	2.77	3.00	2.54	2.47	2.69	0.23			
2/5 δ m (mm)	0.52	0.20	0.36	0.32	0.08	0.35	0.31	0.15			
2/3Pm (kN)	4.13	4.83	4.61	5.00	4.24	4.12	4.49	0.38	0.085	0.801	3.59
2/3 δ m (mm)	3.15	3.98	1.55	3.28	0.38	1.35	2.28	1.39			
9/10Pm (kN)	5.57	6.52	6.23	6.74	5.72	5.56	6.06	0.51			
9/10 δ m (mm)	10.81	16.13	5.86	16.54	2.18	5.45	9.50	5.97			
Pm (kN)	6.19	7.24	6.92	7.49	6.36	6.18	6.73	0.57			
δ m (mm)	16.10	23.35	10.85	21.81	5.40	22.06	16.60	7.23			
δ u時荷重 (kN)	4.95	5.79	5.54	5.99	5.08	4.95	5.38	0.45			
δ u (mm)	24.63	27.73	23.04	28.80	17.52	29.11	25.14	4.44			
降伏耐力 Py (kN)	3.45	4.14	4.04	4.38	3.88	3.79	3.95	0.32	0.081	0.811	3.20
δ y (mm)	1.25	1.06	0.95	1.52	0.23	0.99	1.00	0.43			
終局耐力 Pu (kN)	5.45	6.11	6.14	6.46	5.95	5.75	5.98	0.35			
初期剛性 K (kN/mm)	2.76	3.91	4.25	2.88	16.87	3.83	5.75	5.48			
降伏点変位 δ v (mm)	1.97	1.56	1.44	2.24	0.35	1.50	1.51	0.65			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	12.50	17.78	16.00	12.86	50.06	19.41	21.44	14.28			
構造特性係数 Ds	0.20	0.17	0.18	0.20	0.10	0.16	0.17	0.04			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

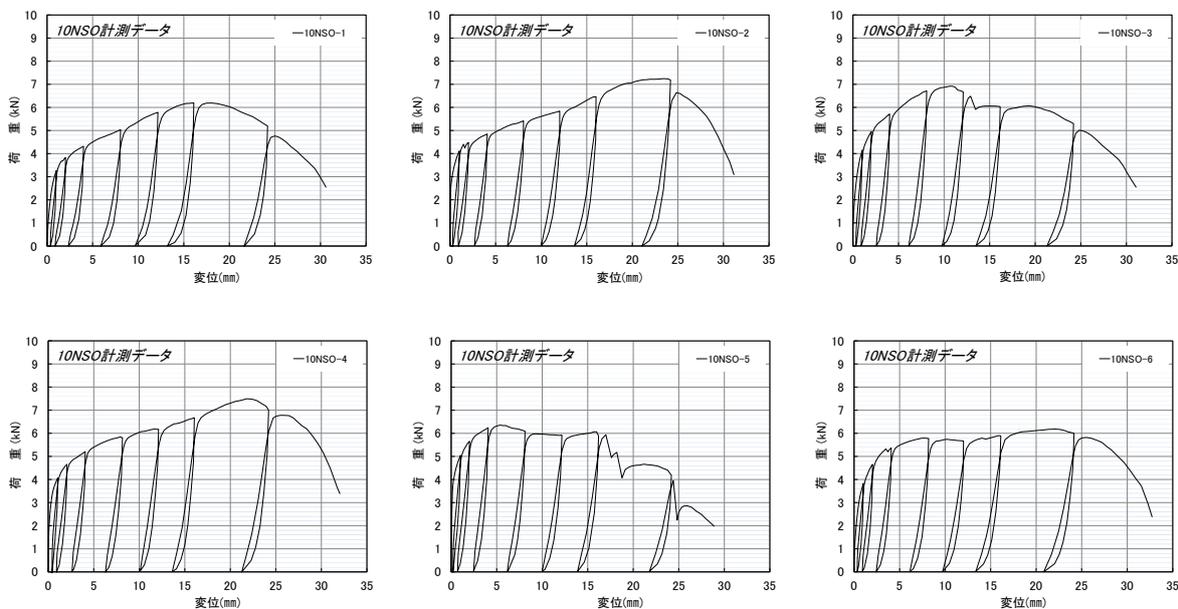


図 3.5.2-2 10NSO 荷重変位曲線



写真 3.5.2-2 10NSO-5 試験後の様子



写真 3.5.2-3 10NSO-5 合板の浮き



写真 3.5.2-4 10NSO-1 くぎによる木材の支圧



写真 3.5.2-5 10NSO-1 くぎの変形



写真 3.5.2-6 1体目破壊性状

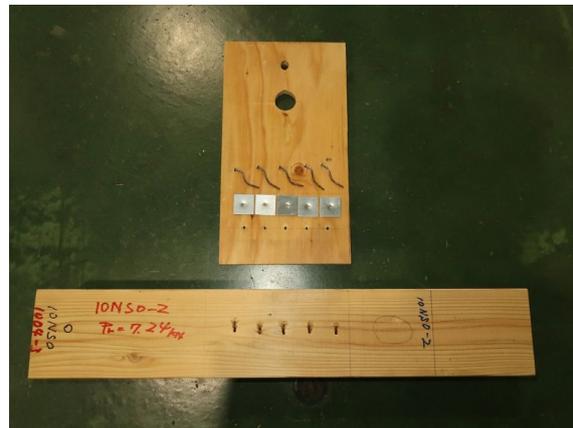


写真 3.5.2-7 2体目破壊性状

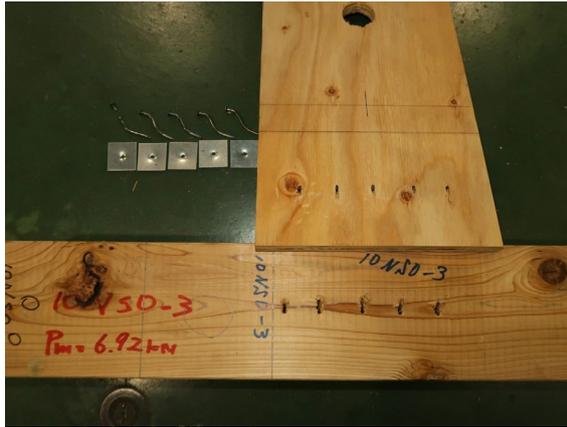


写真 3.5.2-8 3 体目破壊性状



写真 3.5.2-9 4 体目破壊性状



写真 3.5.2-10 5 体目破壊性状



写真 3.5.2-11 6 体目破壊性状

表 3.5.2-2 10NSO 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	くぎの引き抜け・変形	くぎの破断	くぎ列に沿った木材の割れ
10NSO	1	○	
	2	○	
	3	○	○
	4	○	
	5	○	○
	6	○	

2) 14NSO

特性値一覧を表 3.5.2-3 に、荷重変位曲線を図 3.5.2-3 に、破壊性状を表 3.5.2-4 及び写真 3.5.2-12～写真 3.5.2-15 に示す。

表 3.5.2-3 14NSO 特性値一覧

試験体記号 項目	14NSO			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3					
1/10Pm (kN)	0.75	0.74	0.82	0.77	0.04			
1/10 δ m (mm)	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02			
2/5Pm (kN)	3.00	2.98	3.28	3.09	0.17			
2/5 δ m (mm)	0.41	0.16	0.62	0.40	0.23			
2/3Pm (kN)	5.00	4.96	5.46	5.14	0.28	0.054	0.830	4.26
2/3 δ m (mm)	3.06	2.15	3.24	2.82	0.58			
9/10Pm (kN)	6.74	6.69	7.37	6.93	0.38			
9/10 δ m (mm)	15.72	15.56	17.28	16.19	0.95			
Pm (kN)	7.49	7.44	8.19	7.71	0.42			
δ m (mm)	21.00	19.44	23.93	21.46	2.28			
δ u時荷重 (kN)	7.49	7.44	6.55	7.16	0.53			
δ u (mm)	21.00	19.44	29.88	23.44	5.63			
降伏耐力 Py (kN)	4.51	4.62	4.92	4.68	0.21	0.045	0.858	4.01
δ v (mm)	1.91	1.49	2.06	1.82	0.30			
終局耐力 Pu (kN)	6.48	6.30	6.99	6.59	0.36			
初期剛性 K (kN/mm)	2.36	3.10	2.39	2.62	0.42			
降伏点変位 δ v (mm)	2.75	2.03	2.92	2.57	0.47			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	7.64	9.58	10.23	9.15	1.35			
構造特性係数 Ds	0.26	0.23	0.23	0.24	0.02			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

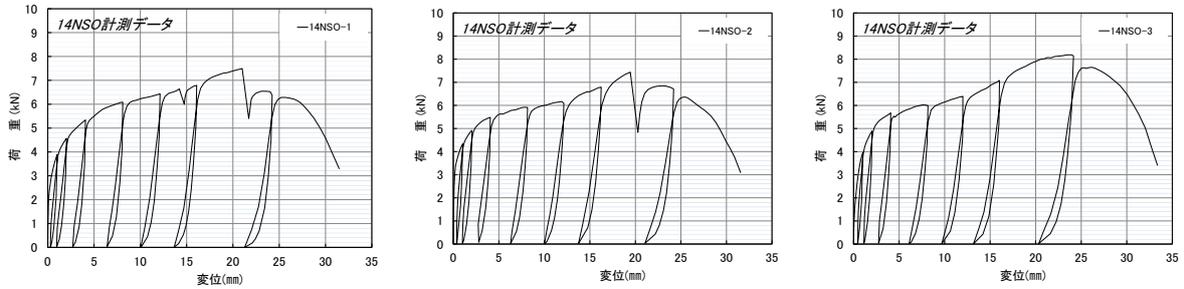


図 3.5.2-3 14NSO 荷重変位曲線



写真 3.5.2-12 14 NSO-1 試験後の様子

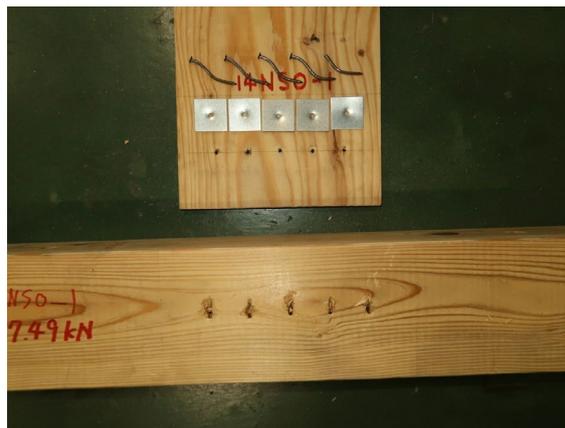


写真 3.5.2-13 1 体目破壊性状



写真 3.5.2-14 2 体目破壊性状



写真 3.5.2-15 3 体目破壊性状

表 3.5.2-4 14NSO 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	くぎの引き抜け・変形	くぎの破断	くぎ列に沿った木材の割れ
14NSO	1	○	○
	2	○	○
	3	○	

3) 20NSO

特性値一覧を表 3.5.2-5 に、荷重変位曲線を図 3.5.2-4 に、破壊性状を表 3.5.2-6 及び写真 3.5.2-16～写真 3.5.2-24 に示す。

表 3.5.2-5 20NSO 特性値一覧

試験体記号 項目	20NSO						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	0.72	0.70	0.77	0.83	0.67	0.76	0.74	0.06			
1/10 δ m (mm)	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.01			
2/5Pm (kN)	2.89	2.79	3.09	3.33	2.66	3.05	2.97	0.24			
2/5 δ m (mm)	0.62	0.46	0.48	0.62	0.46	0.57	0.54	0.08			
2/3Pm (kN)	4.82	4.65	5.16	5.55	4.44	5.08	4.95	0.40	0.081	0.811	4.01
2/3 δ m (mm)	2.90	3.48	3.51	3.29	2.13	2.95	3.04	0.52			
9/10Pm (kN)	6.50	6.28	6.96	7.49	5.99	6.86	6.68	0.54			
9/10 δ m (mm)	14.89	10.61	15.54	18.05	8.54	8.94	12.76	3.93			
Pm (kN)	7.23	6.98	7.73	8.32	6.66	7.63	7.43	0.59			
δ m (mm)	22.71	17.83	21.31	24.03	15.81	13.37	19.18	4.18			
δ u時荷重 (kN)	5.78	6.98	6.19	6.65	6.27	6.10	6.33	0.43			
δ u (mm)	28.89	17.83	26.43	29.49	20.34	28.19	25.20	4.91			
降伏耐力 Py (kN)	4.35	3.90	4.46	5.09	3.86	4.12	4.30	0.46	0.107	0.750	3.22
δ v (mm)	1.93	1.24	1.67	2.37	1.20	1.37	1.63	0.46			
終局耐力 Pu (kN)	6.39	5.98	6.65	7.18	6.01	6.90	6.52	0.48			
初期剛性 K (kN/mm)	2.25	3.15	2.67	2.15	3.22	3.01	2.74	0.46			
降伏点変位 δ v (mm)	2.84	1.90	2.49	3.34	1.87	2.29	2.46	0.57			
塑性率 μ = δ u / δ v	10.17	9.38	10.61	8.83	10.88	12.31	10.36	1.22			
構造特性係数 Ds	0.23	0.24	0.22	0.24	0.22	0.21	0.23	0.01			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

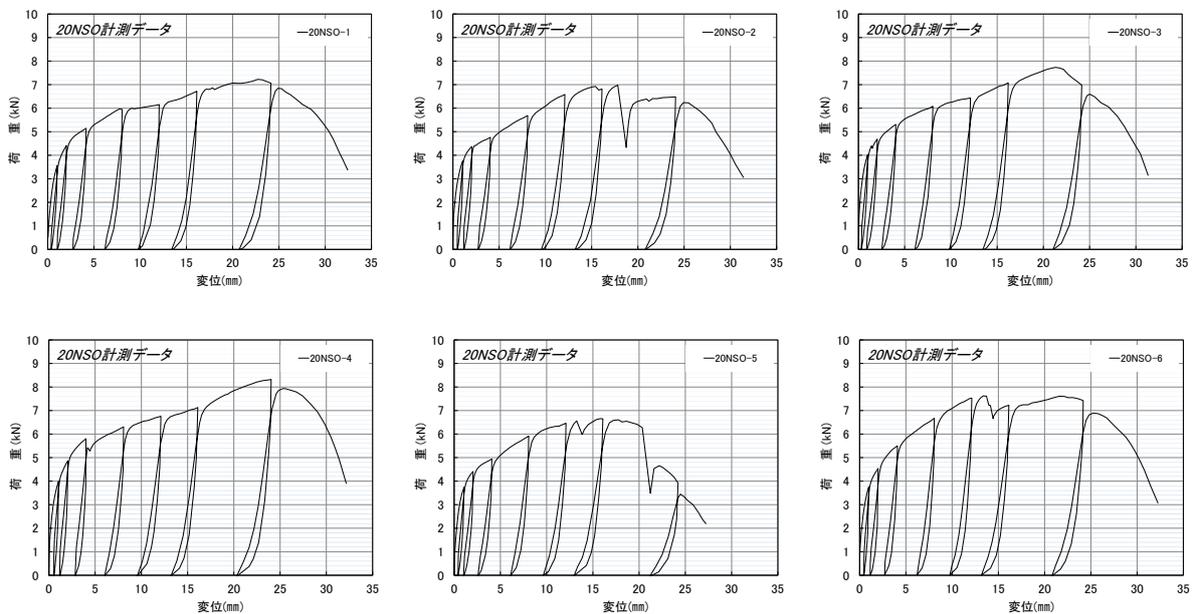


図 3.5.2-4 20NSO 荷重変位曲線



写真 3.5.2-16 20NSO-2 試験終了後



写真 3.5.2-17 20NSO-2 合板の浮き



写真 3.5.2-18 1体目破壊性状



写真 3.5.2-19 2体目破壊性状

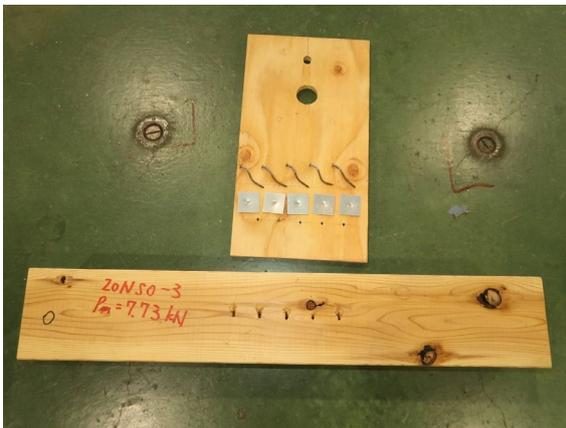


写真 3.5.2-20 3体目破壊性状

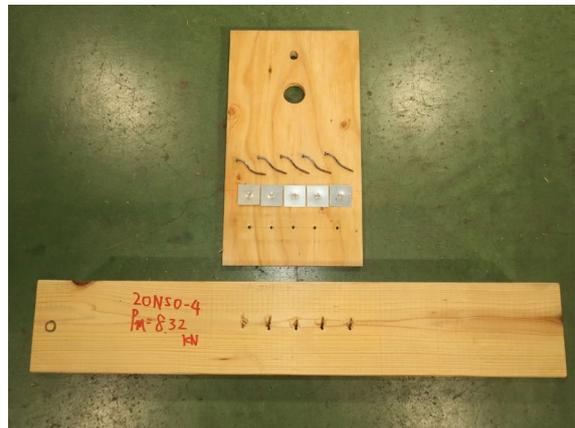


写真 3.5.2-21 4体目破壊性状



写真 3.5.2-22 5 体目破壊性状



写真 3.5.2-23 6 体目破壊性状



写真 3.5.2-24 1 体目 くぎによる木材の
めり込み



写真 3.5.2-25 1 体目 くぎの変形

表 3.5.2-6 20NSO 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	くぎの引き抜け・変形	くぎの破断	くぎ列に沿った木材の割れ
20NSO	1	○	
	2	○	○
	3	○	
	4	○	
	5	○	
	6	○	

(5) 考察

破壊性状、グラフの形状共に施工時含水率の違いによる影響は見られなかった。

表 3.5.2-2 より、10NSO-5 のみ初期剛性及び塑性率が異常に高い結果となった。これは写真 3.5.2-26 の節が原因ではないかと思われる。



写真 3.5.2-26 10NSO-5 節

3.5.3. 鋼板添え板ビス接合 一面せん断（繊維平行方向）の接合部

(1) 接合部の想定

- ・接合部位は、接合金物の柱側を想定。
- ・接合金物はビス止めホールダウン金物（写真 3.5.3-1）を想定。
- ・ビス呼び径はほぼ一緒だが、繊維方向のビスピッチは、メーカーによって差異が見られる。
 - ・タナカ ビス止めホールダウン @50 mm
 - ・カネシン プルースホールダウン 40 @40 mm
 - ・カナイ シークホールダウン @34 mm
 - ・カナイ ロックダウン@35 mm
 - ・住木 ホールダウン @60 mm
 - ・AIJ 規準では $d=6.5\text{ mm}$ の場合 $12d=78\text{ mm}$
→最小値の 35 mm（34 mm）で実施。
- ・ビスの種類は R3 要素試験と同様、図 3.5.2-1 のビスを用いる。



写真 3.5.3-1 ビス止めホールダウンの例

(2) 試験体仕様

- ・R3 要素試験では 1 列 2 本だったが、多数本の影響としたいので 5 本とした。
- ・使用するビスは R3 要素試験と同様、図 3.5.3-1 のとおり Z マーク表示金物用四角穴付きタッピンねじ STS・C65 を使用する。
- ・ビスピッチは、(1) より 35 mm とした。材端からの端距離は AIJ 規準より $15d=97.5\text{ mm} \div 100\text{ mm}$ とした。

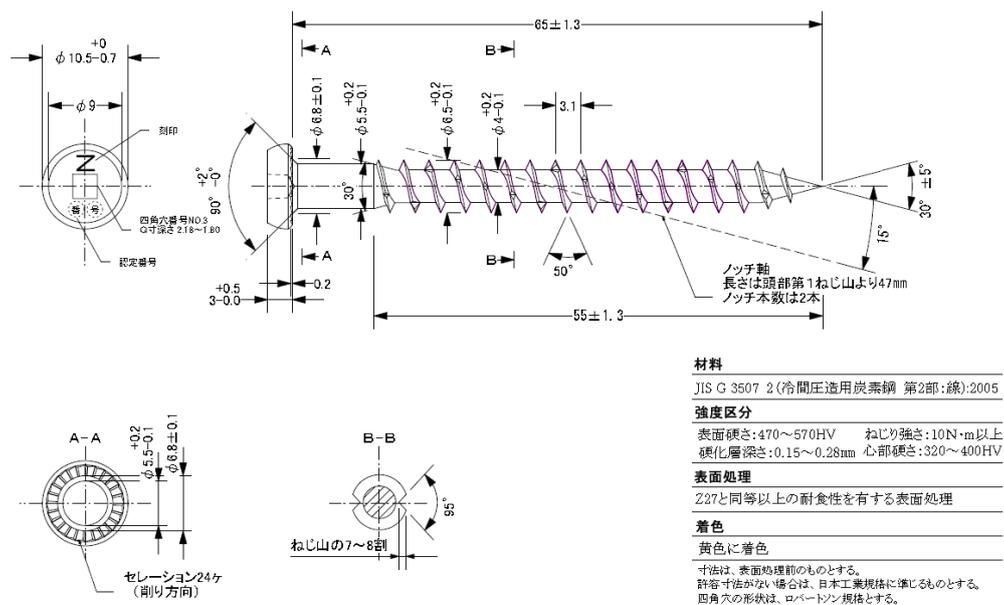


図 3.5.3-1 Z マーク表示金物用四角穴付きタッピンねじ STS・C65

試験体仕様は図 3.5.3-2 のとおりである。

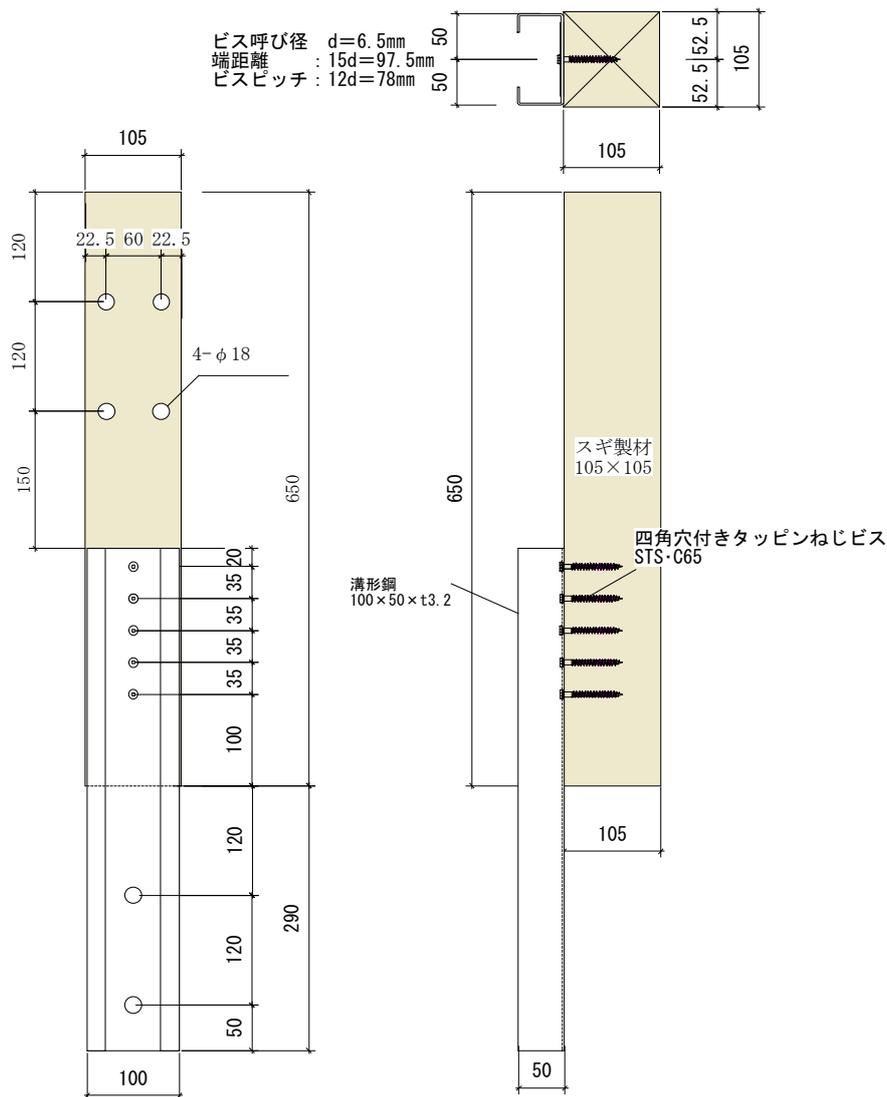


図 3.5.3-2 鋼板添え板ビス接合 一面せん断（繊維平行方向） 試験体図(単位：mm)

(3) 加力方法、変位の測定方法

試験方法、変位の測定方法は写真 3.5.3-2 のとおりである。

試験における繰り返しの履歴は、単調加力試験から得た降伏変位 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の変形まで順に 1 回ずつの繰り返し加力を行う。

加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80% に荷重が低下するまで又は仕口の機能が失われるまで行う。

変位計測は、変位計を用い、軸材の軸芯で左右 2 カ所で軸材と鋼板の相対変位を計測する。変位には、試験による材料の割れ、めり込みによる変位等も含んだものとする。

測定箇所が 2 箇所であるため、変位は平均するものとする。

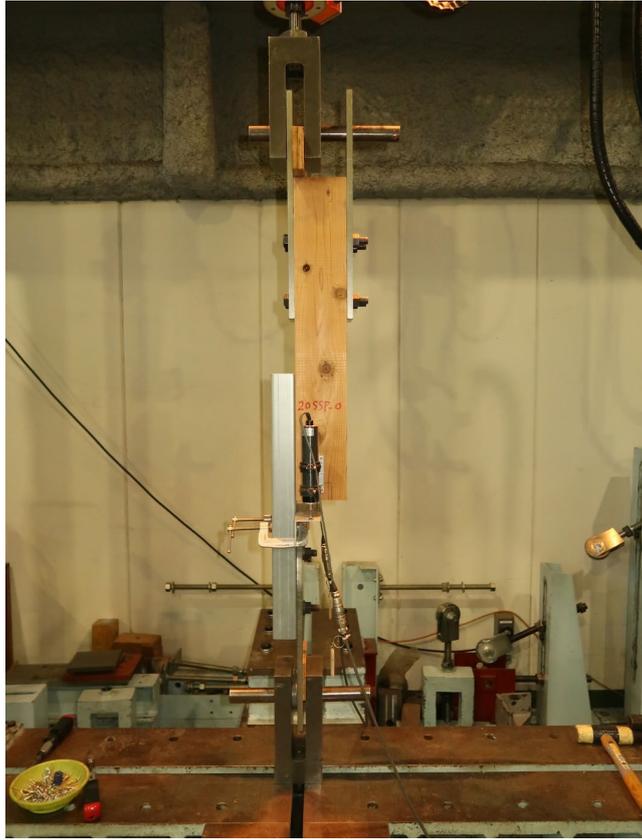


写真 3.5.3-2 試験方法

(4) 試験結果

1) 10SSP

特性値一覧を表 3.5.3-1 に、荷重変位曲線を図 3.5.3-4 に、破壊性状を表 3.5.3-1 及び写真 3.5.3-3～写真 3.5.3-8 に示す。

表 3.5.3-1 10SSP 特性値一覧

試験体記号 項目	10SSP						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	2.03	1.55	1.94	2.06	2.14	1.77	1.92	0.22			
1/10 δ m (mm)	0.04	0.06	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.01			
2/5Pm (kN)	8.13	6.19	7.77	8.24	8.54	7.08	7.66	0.88			
2/5 δ m (mm)	0.54	0.57	0.53	0.50	0.45	0.27	0.48	0.11			
2/3Pm (kN)	13.55	10.31	12.95	13.73	14.24	11.81	12.77	1.46	0.114	0.734	9.37
2/3 δ m (mm)	1.36	1.07	1.35	1.31	1.06	0.71	1.14	0.25			
9/10Pm (kN)	18.29	13.92	17.48	18.54	19.22	15.94	17.23	1.97			
9/10 δ m (mm)	2.33	1.76	2.29	2.20	1.74	1.30	1.94	0.41			
Pm (kN)	20.32	15.47	19.42	20.60	21.36	17.71	19.15	2.19			
δ m (mm)	3.01	2.67	3.60	2.87	3.69	1.83	2.95	0.68			
δ u時荷重 (kN)	16.26	12.38	15.54	16.48	17.09	14.17	15.32	1.75			
δ u (mm)	4.22	3.77	5.03	4.65	5.10	3.63	4.40	0.63			
降伏耐力 Py (kN)	9.68	9.30	9.46	9.49	10.05	8.75	9.46	0.43	0.045	0.895	8.46
δ y (mm)	0.76	0.94	0.76	0.68	0.60	0.41	0.69	0.18			
終局耐力 Pu (kN)	18.28	14.38	17.77	18.45	19.36	15.95	17.37	1.85			
初期剛性 K (kN/mm)	12.74	9.89	12.45	13.96	16.75	21.34	14.52	4.02			
降伏点変位 δ v (mm)	1.43	1.45	1.43	1.32	1.16	0.75	1.26	0.27			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	2.95	2.60	3.52	3.52	4.40	4.84	3.64	0.85			
構造特性係数 Ds	0.45	0.49	0.41	0.41	0.36	0.34	0.41	0.06			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

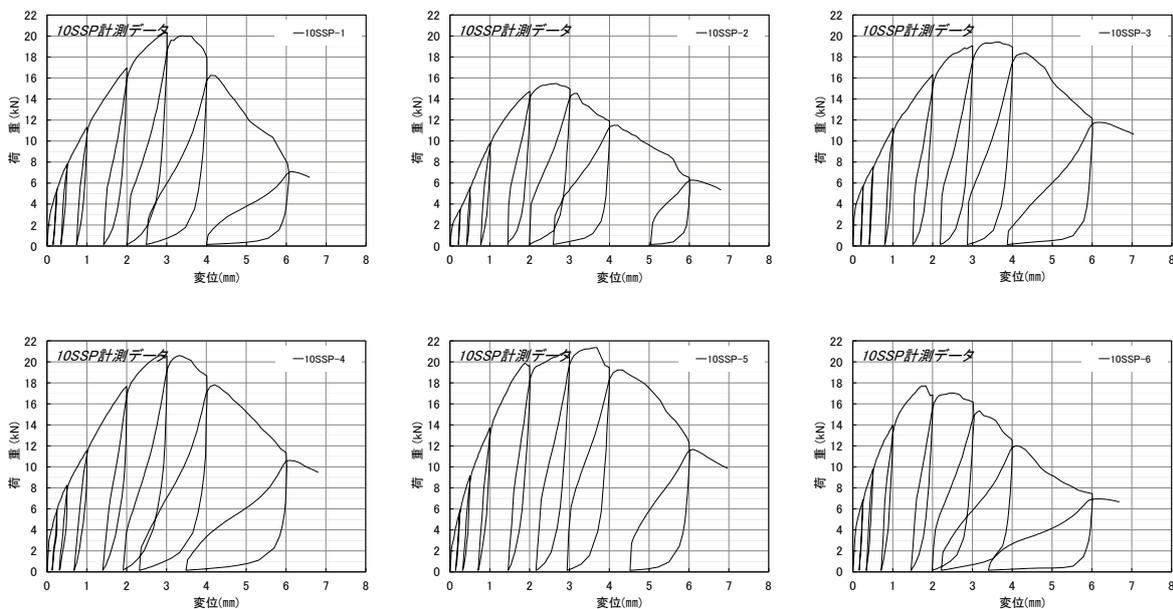


図 3.5.3-4 10SSP 荷重変位曲線

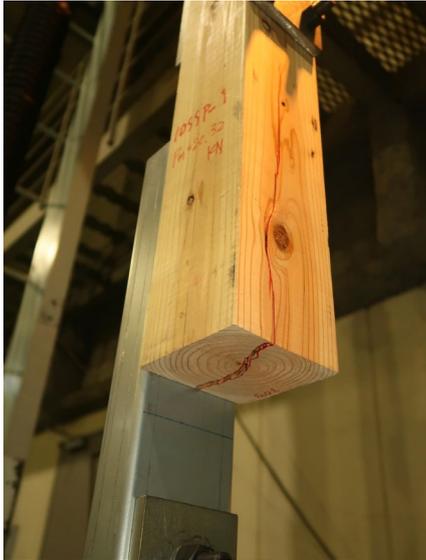


写真 3.5.3-3 10SSP-1 ビス列に沿った割れ



写真 3.5.3-4 10SSP-2 ビス列に沿った割れ

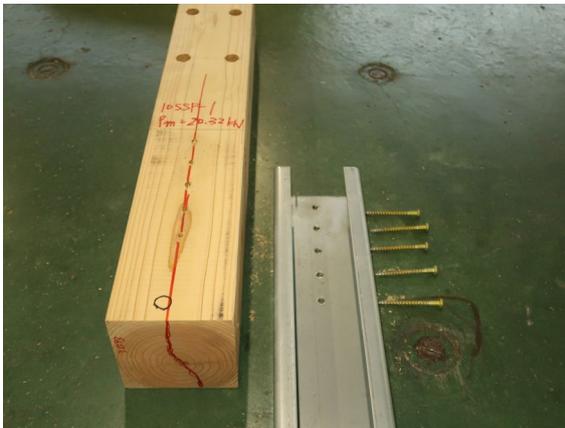


写真 3.5.3-5 1体目破壊性状

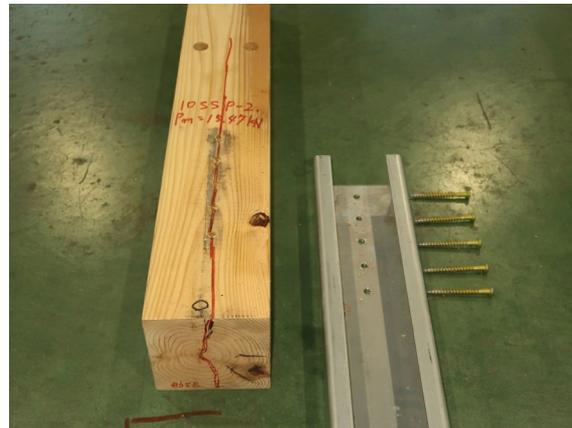


写真 3.5.3-6 2体目破壊性状



写真 3.5.3-7 3体目破壊性状

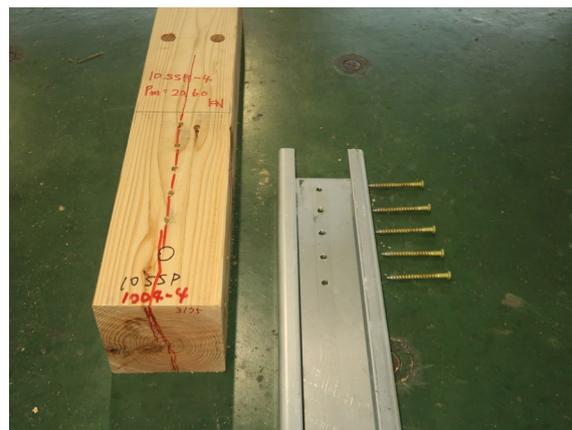


写真 3.5.3-8 4体目破壊性状

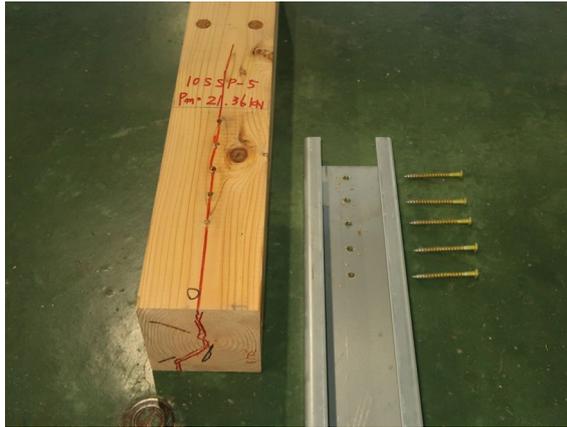


写真 3.5.3-9 5 体目破壊性状

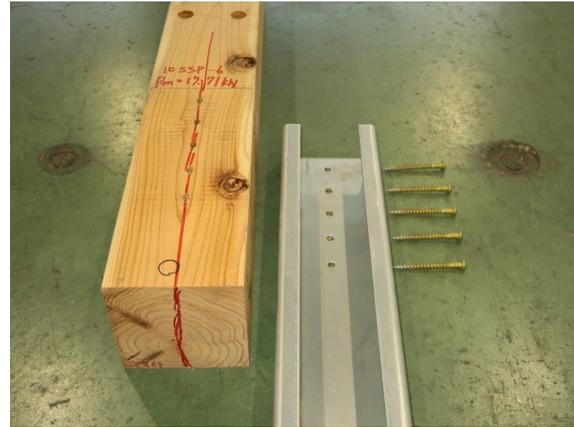


写真 3.5.3-10 6 体目破壊性状

表 3.5.3-2 10SSP 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	ビスの引き抜け・変形	ビスの破断	ビス列に沿った木材の割れ
10SSP	1		○
	2		○
	3		○
	4		○
	5		○
	6		○

2) 14SSP

特性値一覧を表 3.5.3-3 に、荷重変位曲線を図 3.5.3-5 に、破壊性状を表 3.5.3-4 及び写真 3.5.3-11～写真 3.5.3-14 に示す。

表 3.5.3-3 14SSP 特性値一覧

試験体記号 項目	14SSP			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3					
1/10Pm (kN)	1.65	1.79	1.61	1.68	0.09			
1/10 δ m (mm)	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02			
2/5Pm (kN)	6.59	7.14	6.46	6.73	0.36			
2/5 δ m (mm)	0.72	0.21	0.57	0.50	0.26			
2/3Pm (kN)	10.99	11.90	10.76	11.22	0.60	0.053	0.833	9.34
2/3 δ m (mm)	1.46	0.57	1.15	1.06	0.45			
9/10Pm (kN)	14.83	16.07	14.53	15.14	0.82			
9/10 δ m (mm)	2.18	1.15	1.77	1.70	0.52			
Pm (kN)	16.48	17.85	16.14	16.82	0.91			
δ m (mm)	2.87	2.24	3.68	2.93	0.72			
δ u時荷重 (kN)	13.18	14.28	12.91	13.46	0.73			
δ u (mm)	5.40	3.31	5.21	4.64	1.16			
降伏耐力 Py (kN)	7.72	9.13	8.13	8.33	0.73	0.088	0.723	6.02
δ v (mm)	0.90	0.34	0.78	0.67	0.29			
終局耐力 Pu (kN)	15.57	16.34	15.25	15.72	0.56			
初期剛性 K (kN/mm)	8.58	26.85	10.42	15.28	10.06			
降伏点変位 δ v (mm)	1.81	0.61	1.46	1.29	0.62			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	2.98	5.43	3.57	3.99	1.28			
構造特性係数 Ds	0.45	0.32	0.40	0.39	0.07			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

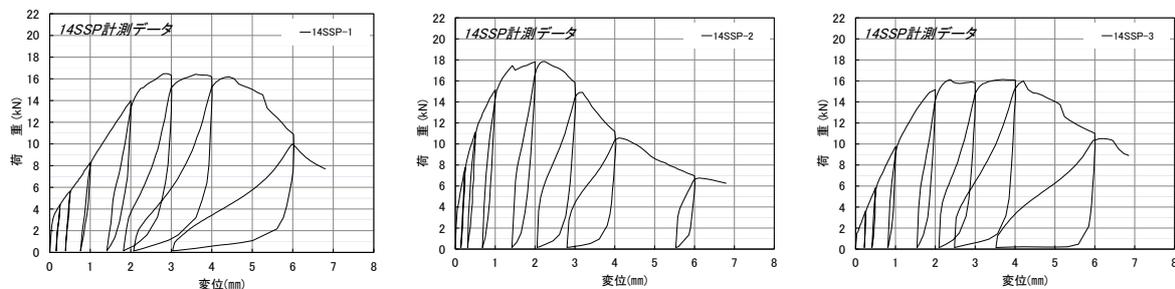


図 3.5.3-5 14SSP 荷重変位曲線

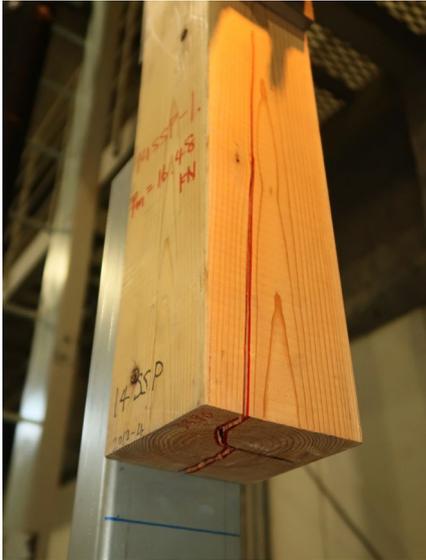


写真 3.5.3-11 14 SSP-1 試験後の様子

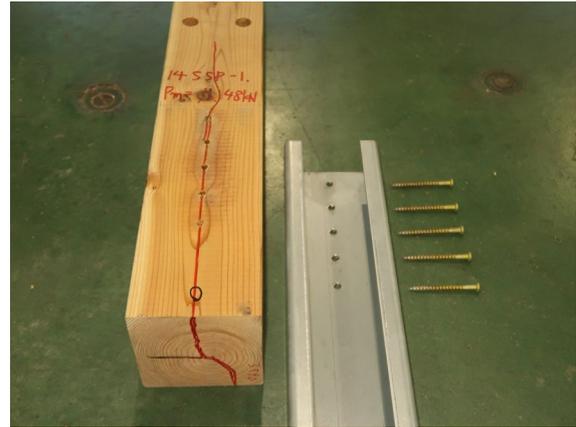


写真 3.5.3-12 1 体目破壊性状

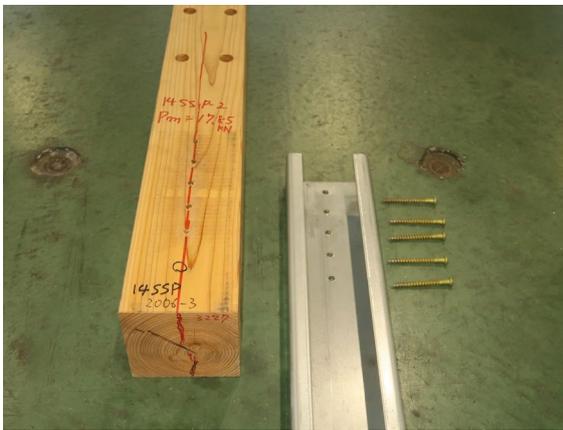


写真 3.5.3-13 2 体目破壊性状

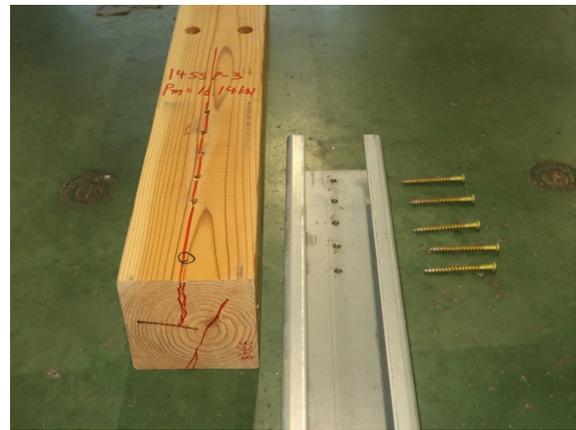


写真 3.5.3-14 3 体目破壊性状

表 3.5.3-4 14SSP 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	ビスの引き抜け・変形	ビスの破断	ビス列に沿った木材の割れ
14SSP	1		○
	2		○
	3		○

3) 20SSP

特性値一覧を表 3.5.3-5 に、荷重変位曲線を図 3.5.3-6 に、破壊性状を表 3.5.3-6 及び写真 3.5.3-15～写真 3.5.3-19 に示す。

表 3.5.3-5 20SSP 特性値一覧

項目	試験体記号						20SSP	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6						
1/10Pm (kN)	1.57	1.59	1.41	1.80	1.72	1.93	1.67	0.18				
1/10 δ m (mm)	0.15	0.04	0.03	0.08	0.03	0.04	0.06	0.05				
2/5Pm (kN)	6.28	6.37	5.64	7.20	6.87	7.72	6.68	0.74				
2/5 δ m (mm)	0.63	0.56	0.44	0.56	0.33	0.37	0.48	0.12				
2/3Pm (kN)	10.47	10.62	9.40	11.99	11.45	12.87	11.13	1.23	0.111	0.741	8.24	
2/3 δ m (mm)	1.11	1.04	1.01	1.05	0.77	0.81	0.97	0.14				
9/10Pm (kN)	14.13	14.34	12.69	16.19	15.45	17.37	15.03	1.66				
9/10 δ m (mm)	1.82	1.71	2.01	1.91	1.39	1.57	1.74	0.23				
Pm (kN)	15.70	15.93	14.10	17.99	17.17	19.30	16.70	1.84				
δ m (mm)	2.80	3.67	3.39	3.39	2.52	2.71	3.08	0.46				
δ u時荷重 (kN)	12.56	12.74	11.28	14.39	13.74	15.44	13.36	1.48				
δ u (mm)	4.39	5.42	5.37	4.71	3.94	4.03	4.64	0.64				
降伏耐力 Py (kN)	10.00	10.57	8.02	11.93	8.92	10.86	10.05	1.40	0.139	0.675	6.78	
δ v (mm)	1.04	1.03	0.74	1.04	0.53	0.62	0.83	0.23				
終局耐力 Pu (kN)	14.52	15.20	12.92	17.02	15.99	17.91	15.59	1.79				
初期剛性 K (kN/mm)	9.62	10.26	10.84	11.47	16.83	17.52	12.76	3.48				
降伏点変位 δ v (mm)	1.51	1.48	1.19	1.48	0.95	1.02	1.27	0.25				
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	2.91	3.66	4.51	3.18	4.15	3.95	3.73	0.60				
構造特性係数 Ds	0.46	0.40	0.35	0.43	0.37	0.38	0.40	0.04				

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

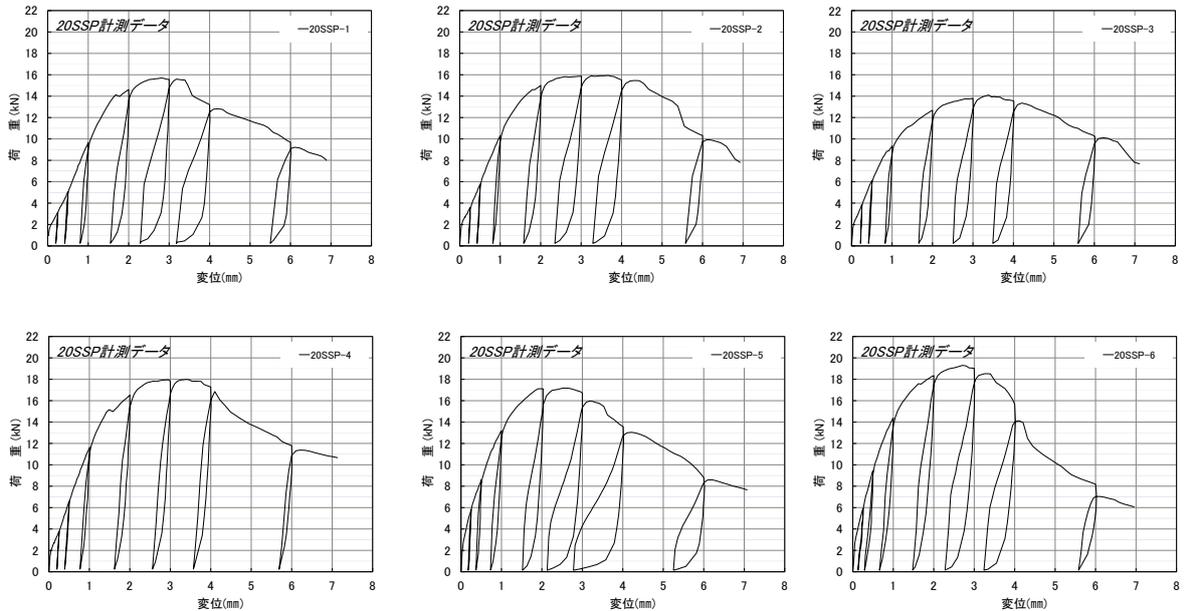


図 3.5.3-6 20SSP 荷重変位曲線



写真 3.5.3-15 20SSP-1 ビス列に沿った割れ (黒マジック部は試験前の割れ)

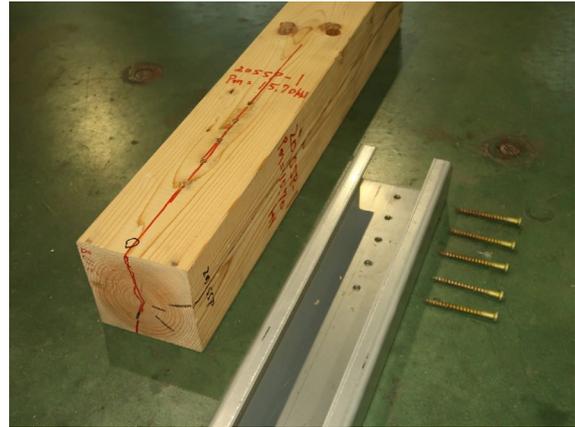


写真 3.5.3-16 1 体目破壊性状



写真 3.5.3-17 2 体目破壊性状

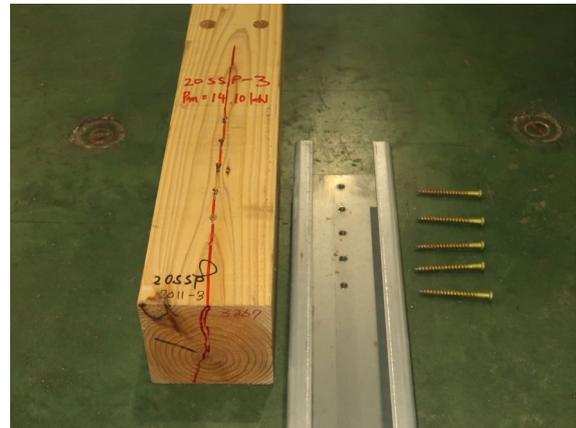


写真 3.5.3-18 3 体目破壊性状



写真 3.5.3-19 4 体目破壊性状

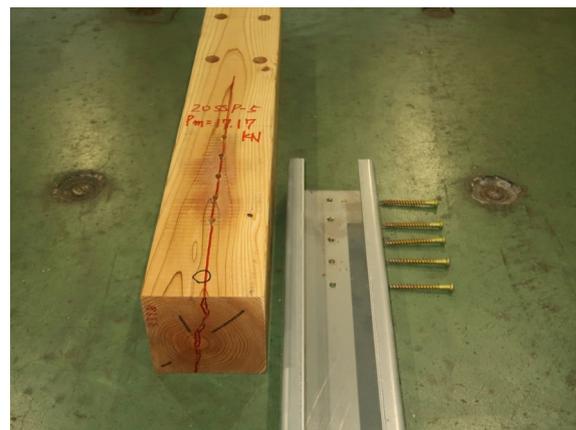


写真 3.5.3-20 5 体目破壊性状

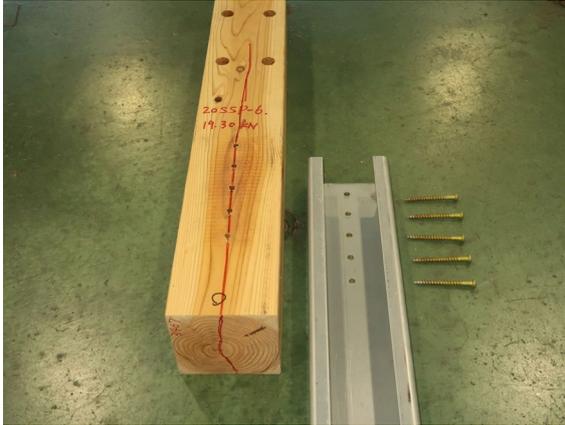


写真 3.5.3-21 6 体目破壊性状

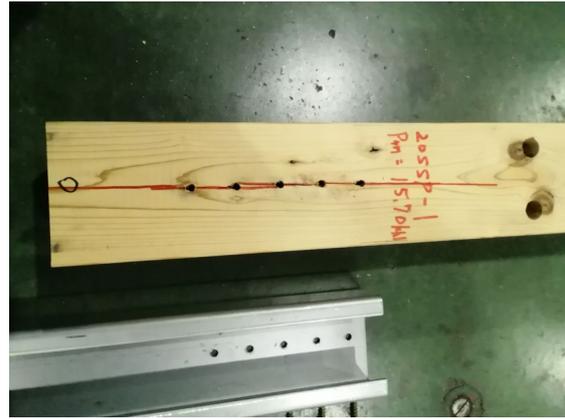


写真 3.5.3-22 20SSP-1 ビス列に沿った割れ（ビスによるめり込みはほぼ無し）



写真 3.5.3-23 木材の割裂



写真 3.5.3-24 ビスの変形なし

表 3.5.3-6 20SSP 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	ビスの引き抜け・変形	ビスの破断	ビス列に沿った木材の割れ
20SSP	1		○
	2		○
	3		○
	4		○
	5		○
	6		○

(5) 考察

破壊性状、グラフの形状共に施工時含水率の違いによる影響は見られなかった。

写真 3.5.3-22 に示すようにビスによる木材のめり込みはほとんどなく、写真 3.5.3-24 のようにビスは曲げ変形せずに木材の割裂破壊が先行する結果となった。

ビス接合金物は一般に 20～30 mm 程度の変形能力を有するが、図 3.5.3-4～図 3.5.3-6 に示すとおり、脆性的な性能となった。ビスピッチと一列のビス本数がほぼ同じ仕様の接合金物が流通していることから、脆性破壊の要因として接合部の形状寸法以外の原因が考える。この一因として施工後の強制調湿処理（含水率が 4% 程度まで低下）の影響が考えられる。

3.5.4. 鋼棒挿入ドリフトピン接合 二面せん断（繊維平行方向）の接合部

（1）接合部の想定

- ・ 鋼板挿入ドリフトピンの場合、鋼板挿入のためのスリットを入れるため、図 3.5.4-1 のように木材が収縮し、割れが起こらない可能性が高い。一方鋼棒挿入ドリフトピン接合は、ドリフトピンが木材断面中心に向かって打ち込まれるため（図 3.5.4-2）、乾燥割れと一致しやすいと考えられる。したがって鋼板挿入ドリフトピン接合ではなく、鋼棒挿入ドリフトピン接合を対象として実験を行う。
- ・ 市販金物 SSLOCK 柱脚金物を使用する（写真 3.5.4-1）。

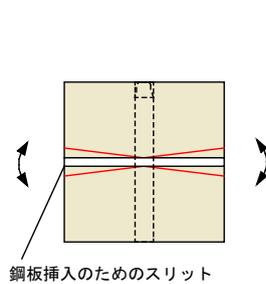


図 3.5.4-1 鋼板挿入ドリフトピン接合の乾燥収縮の想定

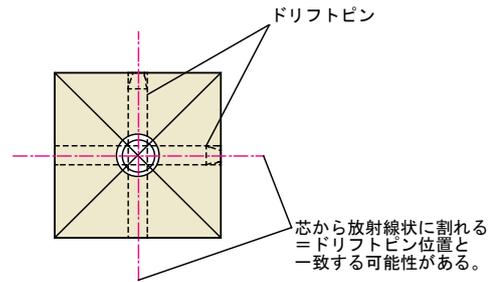


図 3.5.4-2 鋼棒挿入ドリフトピン接合のドリフトピン位置と割れの関係



写真 3.5.4-1 SSKOCK 柱脚金物

（2）試験体仕様

- ・ ピンの端距離は学会規準のドリフトピン接合（7d）に合わせる。
- ・ 接合部試験は R3 要素試験の接合部仕様（ドリフトピン 1 本打ち）に追加で 3 本増し打ちする。
- ・ 木材加工図を図 3.5.4-3、試験体仕様は図 3.5.4-4 に示す。

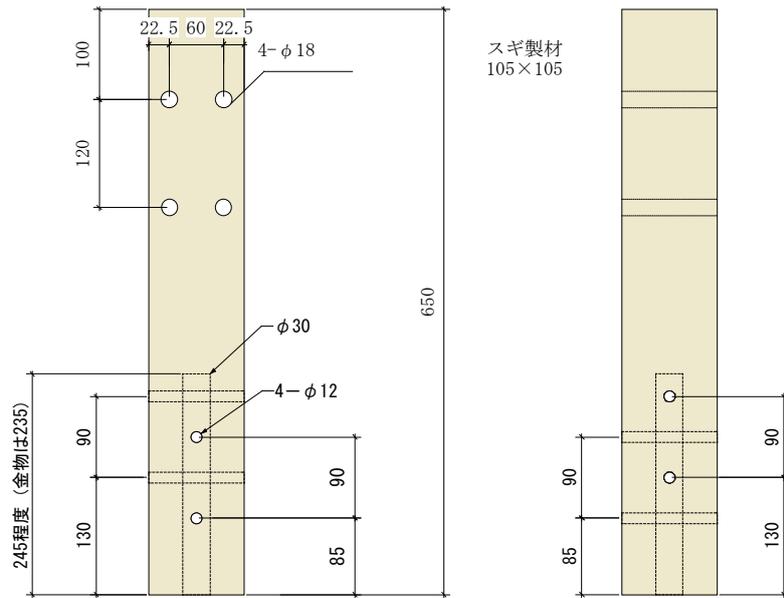
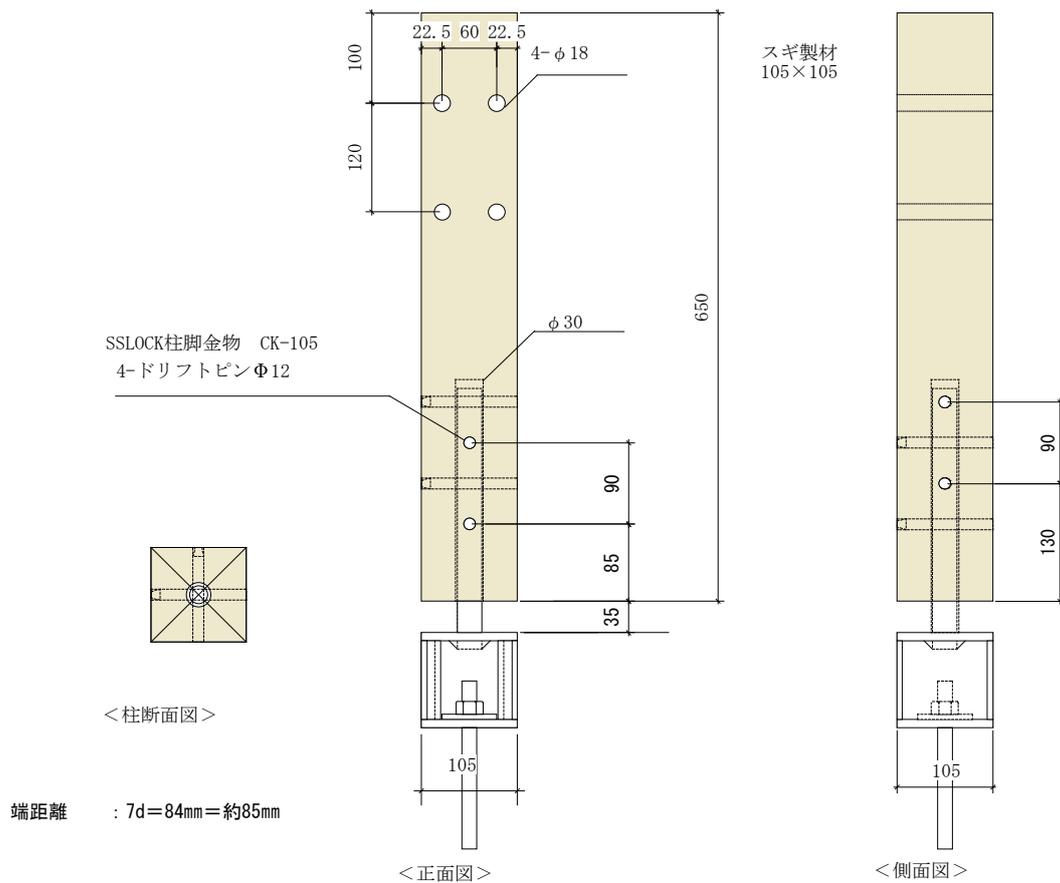


図 3.5.4-3 鋼棒挿入ドリフトピン接合 二面せん断（繊維平行方向）木材加工図
（単位：mm）



※R3 試験では同一の金物を用いたが、ドリフトピン 1 本のみとしていた。
図 3.5.4-4 鋼棒挿入ドリフトピン接合 二面せん断（繊維平行方向）試験体図
（単位：mm）

(3) 加力方法、変位の測定方法

試験方法、変位の測定方法は写真 3.5.4-2 のとおりである。

試験における繰り返しの履歴は、単調加力試験から得た降伏変位 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の変形まで順に 1 回ずつの繰り返し加力を行う。

加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80% に荷重が低下するまで又は仕口の機能が失われるまで行う。

変位計測は、変位計を柱材の軸芯で左右 2 カ所に設置し、柱材の絶対変位を計測する。変位には、試験による材料の割れ、めり込みによる変位等も含んだものとする。

測定箇所が 2 箇所であるため、変位は平均するものとする。

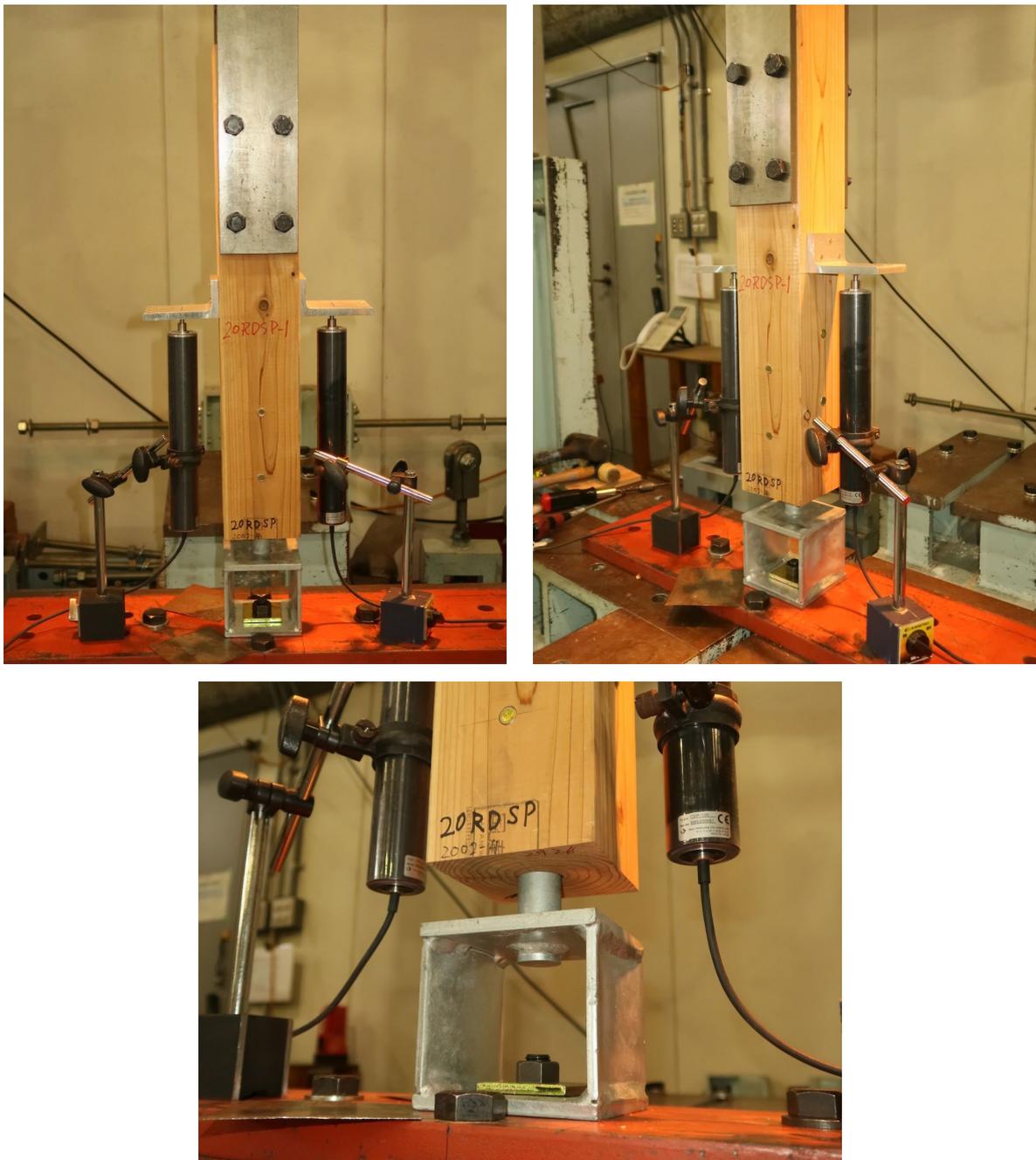


写真 3.5.4-2 試験方法

(4) 試験結果

1) 10RDSP

特性値一覧を表 3.5.4-1 に、荷重変位曲線を図 3.5.4-5 に、破壊性状を表 3.5.4-2 及び写真 3.5.4-3～写真 3.5.4-14 に示す。

表 3.5.4-1 10RDSP 特性値一覧

試験体記号 項目	10RDSP						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	9.1	6.0	8.0	7.0	7.7	7.9	7.6	1.04			
1/10 δ m (mm)	0.52	0.12	0.46	0.13	0.50	0.35	0.35	0.18			
2/5Pm (kN)	36.5	23.9	32.0	28.0	30.9	31.7	30.5	4.23			
2/5 δ m (mm)	2.15	0.77	1.66	1.10	1.73	1.53	1.49	0.49			
2/3Pm (kN)	60.8	39.8	53.4	46.6	51.5	52.8	50.8	7.07	0.139	0.675	34.2
2/3 δ m (mm)	4.59	1.73	3.41	2.34	3.37	3.24	3.11	0.99			
9/10Pm (kN)	82.0	53.7	72.1	62.9	69.6	71.2	68.6	9.53			
9/10 δ m (mm)	12.48	3.08	7.25	4.71	7.81	8.00	7.22	3.23			
Pm (kN)	91.1	59.7	80.1	69.9	77.3	79.2	76.2	10.58			
δ m (mm)	21.83	4.89	10.91	6.99	14.12	13.52	12.04	6.00			
δ u時荷重 (kN)	72.9	56.9	80.1	65.1	75.6	75.0	70.9	8.45			
δ u (mm)	23.71	5.54	10.91	7.84	15.12	13.76	12.81	6.42			
降伏耐力 Py (kN)	55.5	30.6	47.1	41.2	48.3	48.6	45.2	8.49	0.188	0.561	25.3
δ y (mm)	3.87	1.13	2.80	1.90	3.04	2.82	2.59	0.95			
終局耐力 Pu (kN)	82.6	54.4	72.0	64.3	71.5	72.1	69.5	9.42			
初期剛性 K (kN/mm)	14.34	27.08	16.82	21.68	15.89	17.23	18.84	4.72			
降伏点変位 δ v (mm)	5.76	2.01	4.28	2.97	4.50	4.18	3.95	1.30			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	4.12	2.76	2.55	2.64	3.36	3.29	3.12	0.60			
構造特性係数 Ds	0.37	0.47	0.49	0.48	0.42	0.42	0.44	0.05			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

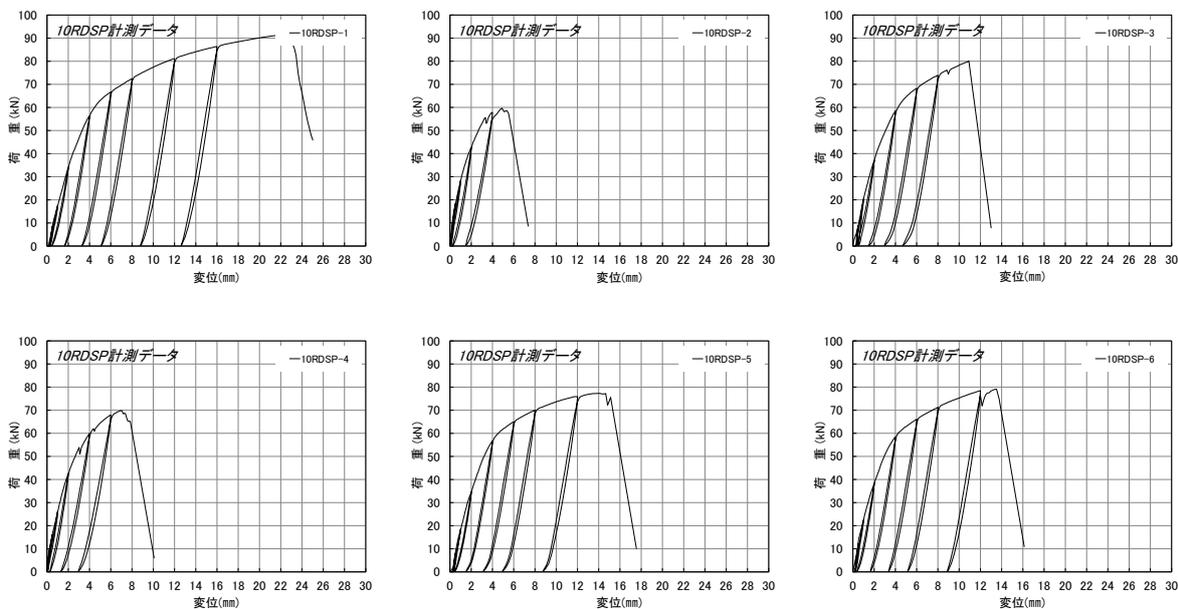


図 3.5.4-4 10RDSP 荷重変位曲線



写真 3.5.4-3 10RDSP-1 試験後

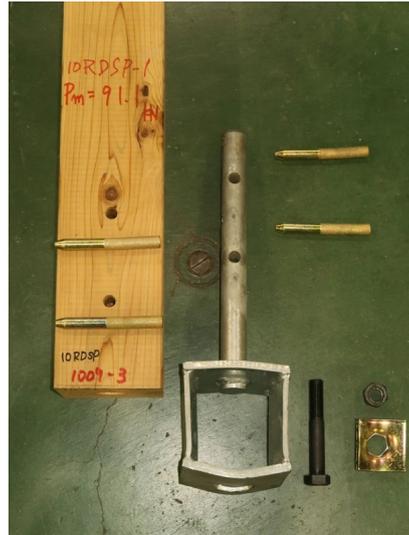


写真 3.5.4-4 10RDSP-1 金物の変形



写真 3.5.4-5 10RDSP-2 試験後

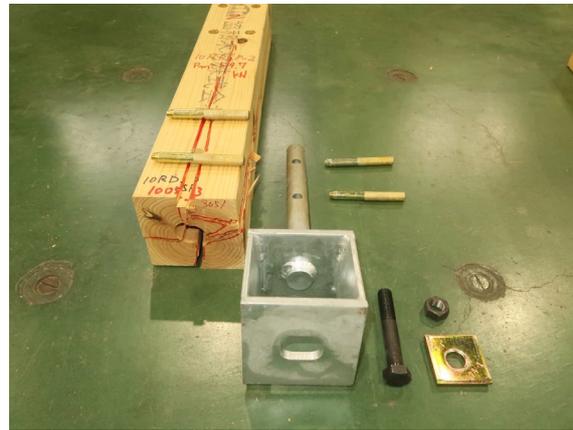


写真 3.5.4-6 10RDSP-2 木材の割れ

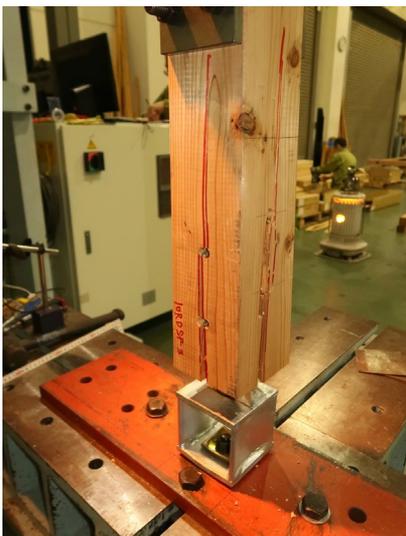


写真 3.5.4-7 10RDSP-3 試験後

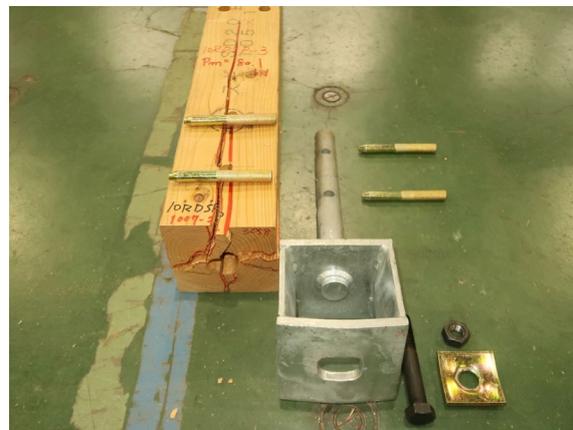


写真 3.5.4-8 10RDSP-3 木材の割れ



写真 3.5.4-9 10RDSP-4 試験後



写真 3.5.4-10 10RDSP-4 木材の割れ



写真 3.5.4-11 10RDSP-5 試験後



写真 3.5.4-12 10RDSP-5 木材の割れ



写真 3.5.4-13 10RDSP-6 試験後



写真 3.5.4-14 10RDSP-6 木材の割れ

表 3.5.4-2 10RDSP 破壊性状

試験体名		破壊性状			
		ドリフトピンの変形	金物の変形	ナットの座金へのめり込み	ピンによる木材の割れ
10RDSP	1	○	○	○	
	2	○	○		○
	3	○	○		○
	4	○	○		○
	5	○	○		○
	6	○	○		○

2) 14RDSP

特性値一覧を表 3.5.4-3 に、荷重変位曲線を図 3.5.4-5 に、破壊性状を表 3.5.4-4 及び写真 3.5.4-15～写真 3.5.4-20 に示す。

表 3.5.4-3 14RDSP 特性値一覧

試験体記号 項目	14RDSP			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3					
1/10Pm (kN)	8.3	8.6	7.9	8.3	0.35			
1/10 δ m (mm)	0.37	0.24	0.13	0.25	0.12			
2/5Pm (kN)	33.4	34.6	31.6	33.2	1.51			
2/5 δ m (mm)	1.44	1.68	1.22	1.45	0.23			
2/3Pm (kN)	55.6	57.6	52.7	55.3	2.46	0.044	0.861	47.6
2/3 δ m (mm)	3.09	3.90	3.02	3.34	0.49			
9/10Pm (kN)	75.1	77.8	71.2	74.7	3.32			
9/10 δ m (mm)	7.42	11.67	6.08	8.39	2.92			
Pm (kN)	83.4	86.4	79.1	83.0	3.67			
δ m (mm)	11.60	20.57	9.94	14.04	5.72			
δ u時荷重 (kN)	83.4	79.0	79.1	80.5	2.51			
δ u (mm)	11.60	21.29	9.94	14.28	6.13			
降伏耐力 Py (kN)	50.6	52.8	42.5	48.6	5.42	0.112	0.647	31.4
δ v (mm)	2.63	3.27	2.04	2.65	0.62			
終局耐力 Pu (kN)	75.4	78.1	71.2	74.9	3.48			
初期剛性 K (kN/mm)	19.24	16.15	20.83	18.74	2.38			
降伏点変位 δ v (mm)	3.92	4.84	3.42	4.06	0.72			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	2.96	4.40	2.91	3.42	0.85			
構造特性係数 Ds	0.45	0.36	0.46	0.42	0.06			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

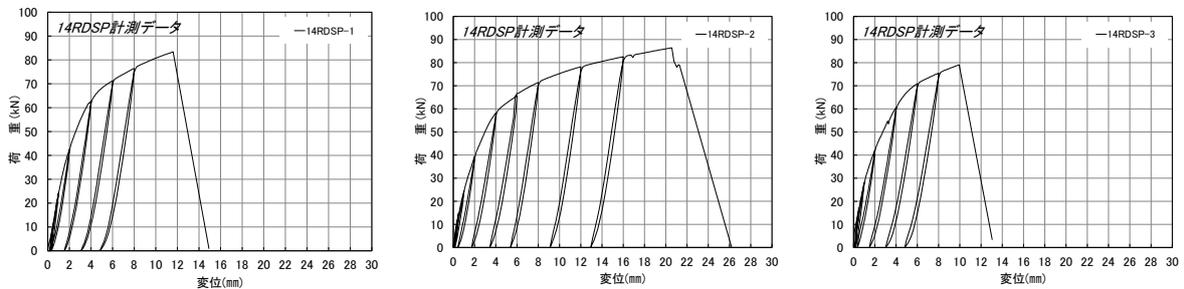


図 3.5.4-5 14RDSP 荷重変位曲線



写真 3.5.4-15 14RDSP-1 試験後



写真 3.5.4-16 14RDSP-1 木材の割れ



写真 3.5.4-17 14RDSP-2 試験後



写真 3.5.4-18 14RDSP-2 木材の割れ



写真 3.5.4-19 14RDSP-3 試験後



写真 3.5.4-20 14RDSP-3 木材の割れ

表 3.5.4-4 14RDSP 破壊性状

試験体名		破壊性状			
		ドリフトピンの変形	金物の変形	ナットの座金へのめり込み	ピンによる木材の割れ
14RDSP	1	○	○		○
	2	○	○		○
	3	○	○		○

3) 20RDSP

特性値一覧を表 3.5.4-5 に、荷重変位曲線を図 3.5.4-6 に、破壊性状を表 3.5.4-6 及び写真 3.5.4-21～写真 3.5.4-36 に示す。

表 3.5.4-5 20RDSP 特性値一覧

試験体記号 項目	20RDSP						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	7.8	7.0	8.4	7.7	7.2	8.6	7.8	0.63			
1/10 δ m (mm)	0.22	0.07	0.36	0.30	0.21	0.17	0.22	0.10			
2/5Pm (kN)	31.2	28.1	33.7	30.7	28.7	34.3	31.1	2.53			
2/5 δ m (mm)	1.48	1.07	1.55	1.67	1.31	1.53	1.44	0.21			
2/3Pm (kN)	52.0	46.8	56.2	51.2	47.8	57.1	51.9	4.22	0.081	0.811	42.0
2/3 δ m (mm)	3.25	2.55	3.49	3.28	2.67	3.73	3.16	0.46			
9/10Pm (kN)	70.2	63.1	75.8	69.1	64.6	77.1	70.0	5.69			
9/10 δ m (mm)	7.03	5.55	8.97	5.86	5.04	11.26	7.29	2.40			
Pm (kN)	78.1	70.1	84.3	76.8	71.7	85.7	77.8	6.36			
δ m (mm)	11.04	9.26	15.47	8.85	6.62	21.19	12.07	5.36			
δ u時荷重 (kN)	75.6	69.6	84.3	76.8	70.0	76.8	75.5	5.40			
δ u (mm)	12.17	9.54	15.47	8.85	7.49	23.11	12.77	5.80			
降伏耐力 Py (kN)	45.9	40.6	51.8	44.2	41.3	52.4	46.0	5.08	0.110	0.743	34.1
δ v (mm)	2.63	1.98	3.01	2.65	2.11	3.11	2.58	0.46			
終局耐力 Pu (kN)	71.7	64.5	76.8	70.3	64.9	78.5	71.1	5.84			
初期剛性 K (kN/mm)	17.45	20.51	17.21	16.68	19.57	16.85	18.05	1.60			
降伏点変位 δ v (mm)	4.11	3.14	4.46	4.21	3.32	4.66	3.98	0.62			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	2.96	3.04	3.47	2.10	2.26	4.96	3.13	1.03			
構造特性係数 Ds	0.45	0.44	0.41	0.56	0.53	0.33	0.45	0.08			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

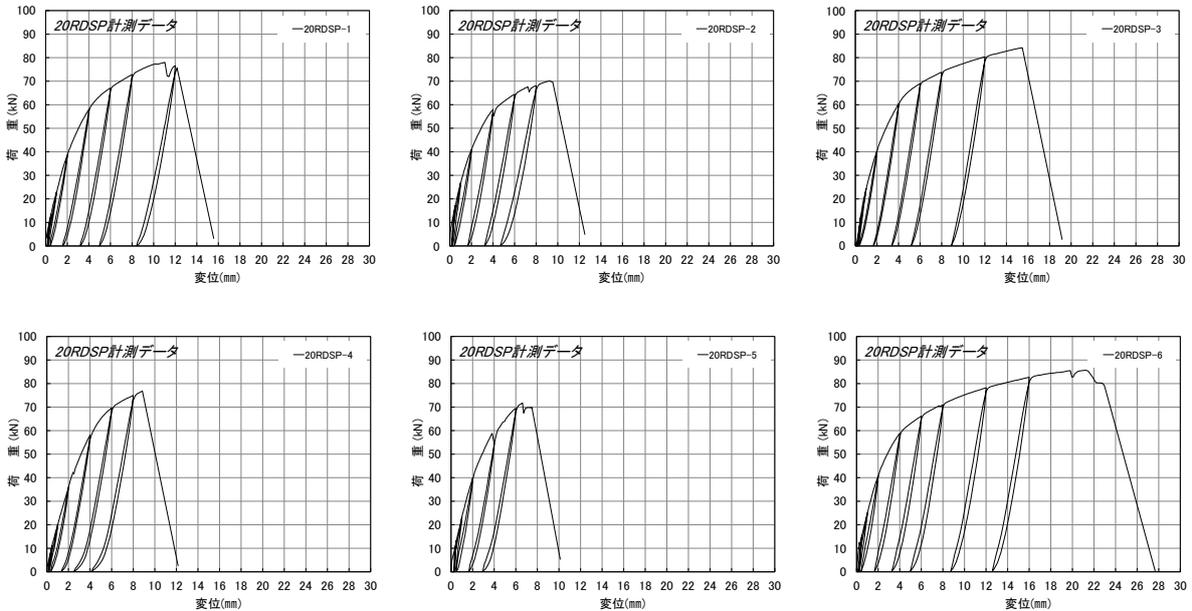


図 3.5.4-6 20RDSP 荷重変位曲線



写真 3.5.4-21 20RDSP-1 試験後

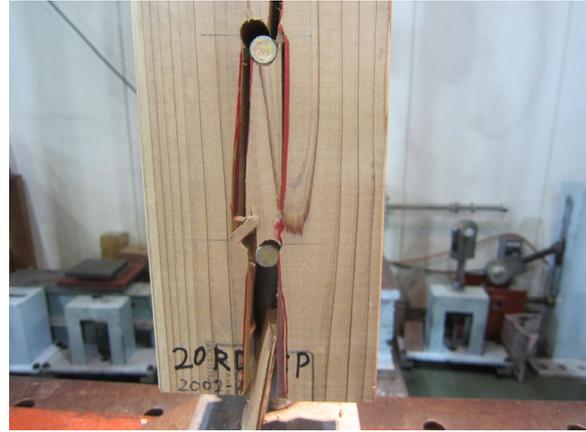


写真 3.5.4-22 20RDSP-1 木材の割れ



写真 3.5.4-23 20RDSP-1 木材の割れ



写真 3.5.4-24 20RDSP-2 試験後



写真 3.5.4-25 20RDSP-2 木材の割れ



写真 3.5.4-26 20RDSP-2 木材の割れ



写真 3.5.4-27 20RDSP-3 試験後



写真 3.5.4-28 20RDSP-3 木材の割れ



写真 3.5.4-29 20RDSP-4 試験後



写真 3.5.4-30 20RDSP-4 木材の割れ



写真 3.5.4-31 20RDSP-5 試験後



写真 3.5.4-32 20RDSP-5 木材の割れ



写真 3.5.4-33 20RDSP-6 試験後



写真 3.5.4-34 20RDSP-6 木材の割れ



写真 3.5.4-35 ドリフトピンの曲げ変形と腐食

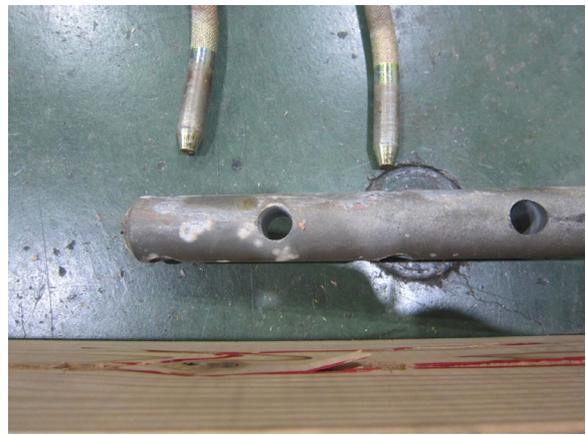


写真 3.5.4-36 鋼棒の腐食

表 3.5.4-6 20RDSP 破壊性状

試験体名	破壊性状			
	ドリフトピンの変形	金物の変形	ナットの座金へのめり込み	ピンによる木材の割れ
20RDSP	1	○	○	○
	2	○	○	○
	3	○	○	○
	4	○	○	○
	5	○	○	○
	6	○	○	○

4) HRDSP

特性値一覧を表 3.5.4-7 に、荷重変位曲線を図 3.5.4-7 に、破壊性状を表 3.5.4-8 及び写真 3.5.4-37～写真 3.5.4-39 に示す。

表 3.5.4-7 HRDSP 特性値一覧

試験体記号 項目	HRDSP
1/10Pm (kN)	7.6
1/10 δ m (mm)	0.15
2/5Pm (kN)	30.5
2/5 δ m (mm)	1.22
2/3Pm (kN)	50.8
2/3 δ m (mm)	2.77
9/10Pm (kN)	68.6
9/10 δ m (mm)	5.69
Pm (kN)	76.3
δ m (mm)	8.73
δ u時荷重 (kN)	76.3
δ u (mm)	8.73
降伏耐力 P_y (kN)	43.3
δ y (mm)	2.08
終局耐力 P_u (kN)	69.2
初期剛性 K (kN/mm)	20.82
降伏点変位 δ v (mm)	3.32
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	2.63
構造特性係数 D_s	0.48

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

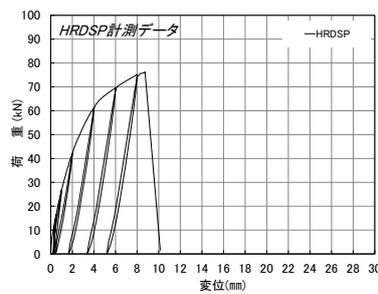


図 3.5.4-7 HRDSP 荷重変位曲線



写真 3.5.4-37 HDRDSP-1 試験後



写真 3.5.4-38 HDRDSP-1 試験後



写真 3.5.4-39 HDRDSP-1 木材の割れ

表 3.5.4-8 HRDSP 破壊性状

試験体名		破壊性状			
		ドリフトピンの変形	金物の変形	ナットの座金へのめり込み	ピンによる木材の割れ
HDSP	1	○	○		○

(5) 考察

破壊性状、グラフの形状共に施工時含水率の違いによる影響は見られなかった。

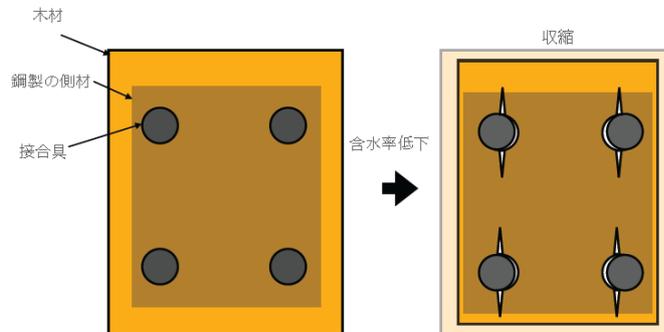
10RDSP-1 は座金が底盤にめり込む破壊が見られたが、既製品金物の仕様どおりであるため、試験のやり直しは行わなかった。

木材の割れにより脆性的に破壊する試験体もあり、降伏後の変形の大小には個体差が見られた。

3.5.5. 鋼板挿入ドリフトピン接合 二面せん断（繊維平行方向）の接合部

(1) 接合部の想定

- ・ 複数列ドリフトピンが配列した場合には図 3.5.5-1 のように木材の収縮によって、割裂が発生する可能性がある。
- ・ 上記の条件を再現するために図 3.5.5-2 のとおり金物を特注した。



接合具の位置関係はかわらず、木材だけが縮むので割れが生じる？

図 3.5.5-1 収縮による割裂発生の可能性

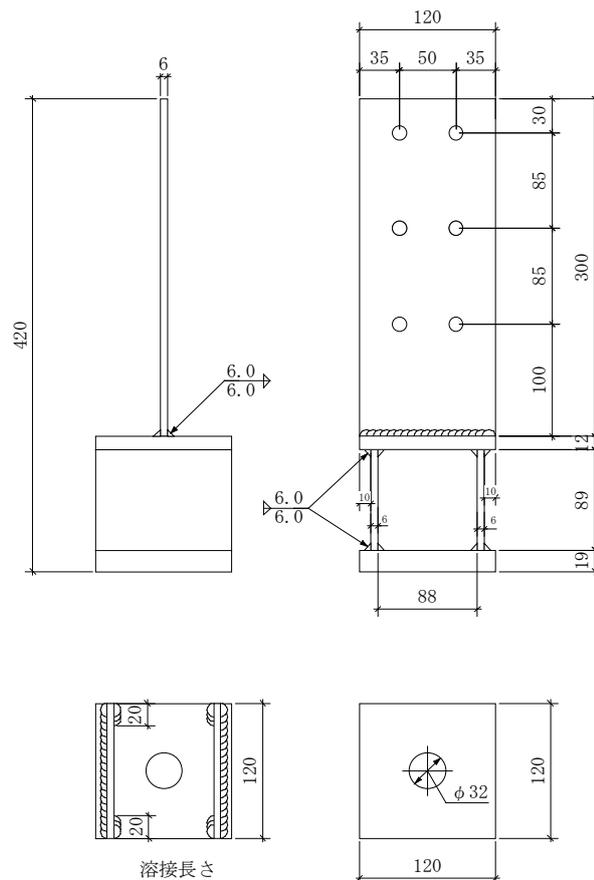


図 3.5.5-2 鋼板挿入ドリフトピン接合金物(単位：mm)

(2) 試験体仕様

- ・ピンの端距離は学会規準のドリフトピン接合 (7d) に合わせる。
- ・R3 要素試験では鋼板挿入ドリフトピン仕様は実施していない。
- ・柱断面の引張強度検定： $(105\text{ mm} - 2 \times 12\text{ mm}) \times 105\text{ mm} \times 17.4\text{ N/mm}^2 = 148\text{ kN}$
ドリフトピンの強度性能を EYT 式から求める。

① 接合形式係数 C

モード I : 1

$$\begin{aligned} \text{モード III} &: \sqrt{(2 + 8/3 \times 235/19.4 \times (12/105)^2) - 1} \\ &= 0.556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{モード IV} &: 12/105 \times \sqrt{(8/3 \times 235/19.4)} \\ &= 0.649 \end{aligned}$$

よって、 $C = 0.556$

② 単位接合部の降伏せん断耐力 p_y (kN)

$$\begin{aligned} p_y &= C \cdot F_e \cdot d \cdot l = 0.556 \times 19.4 \times 12 \times 105 \\ &= 13.5\text{ kN} \end{aligned}$$

③ 接合部の終局せん断耐力(kN)

$$\begin{aligned} &\text{終局強度比 1.5 倍として } 13.5\text{ kN} \times 6\text{ 本} \times 1.5 \\ &= 121.5\text{ kN} \end{aligned}$$

- ・類似の金物としては図 3.5.5-3 の Z マーク表示金物 TB-D6 及び TB-D9 があり、スギを用いた場合の終局耐力を 82.4kN(TB-D6)、133.2kN(TB-D9)としている。
- ・以上を踏まえて木材加工図を図 3.5.5-4 に、試験体図を図 3.5.5-5 に示す。

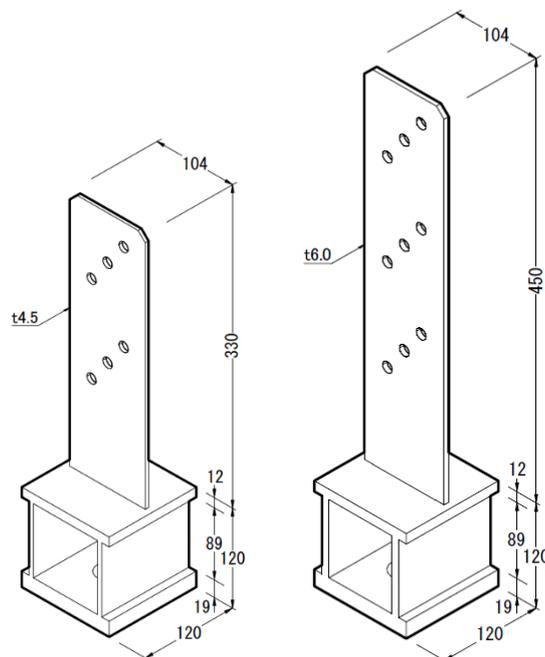


図 3.5.5-3 Z マーク表示金物の引張金物 TB-D6(左)、TB-D9(右)

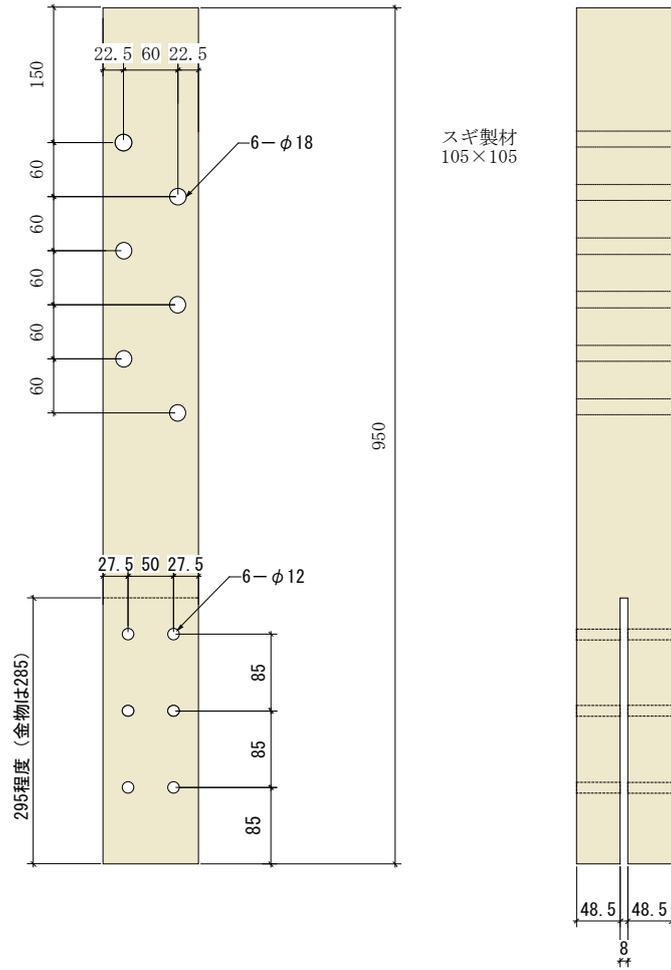


図 3.5.5-4 鋼板挿入ドリフトピン接合 二面せん断（繊維平行方向）木材加工図
 (単位：mm)

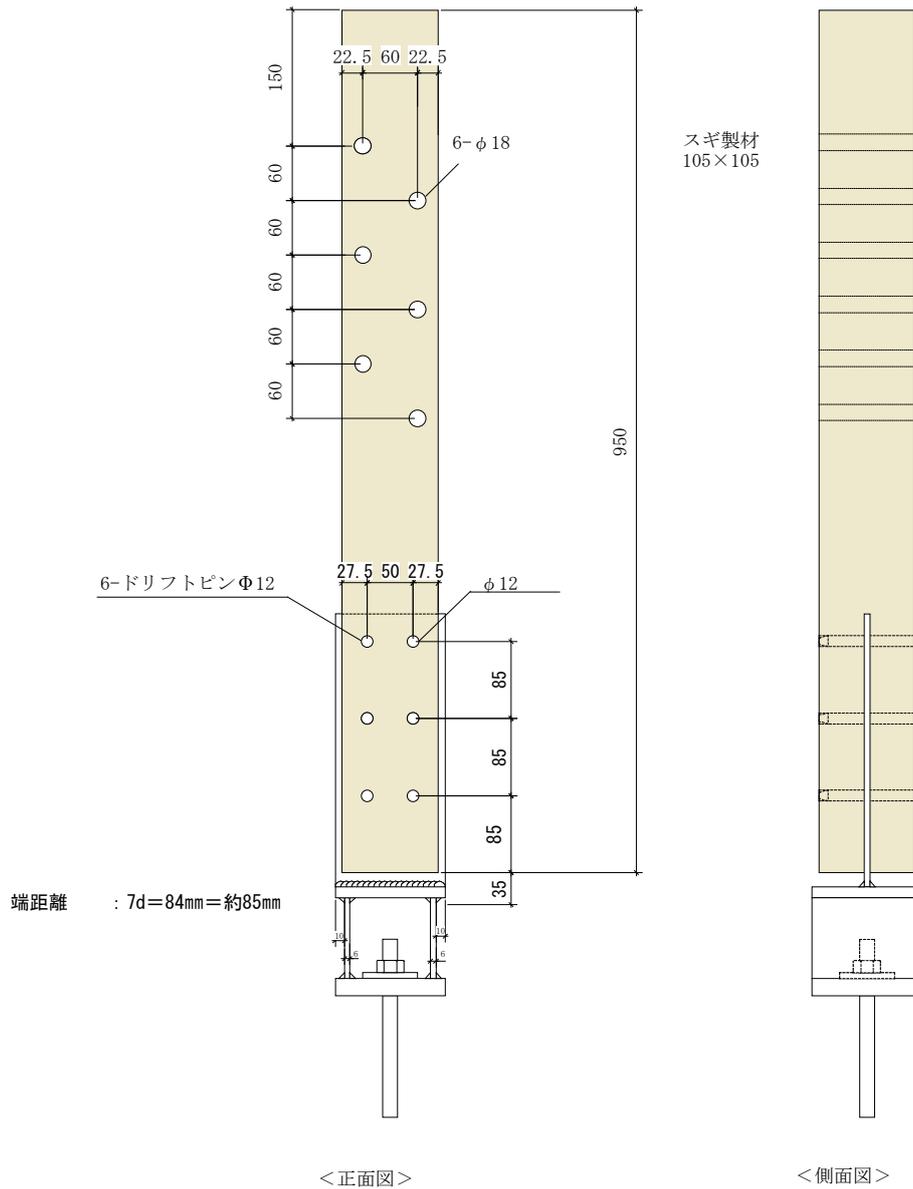


図 3.5.5-5 鋼板挿入ドリフトピン接合 二面せん断（繊維平行方向）試験体図
(単位：mm)

(3) 加力方法、変位の測定方法

試験方法、変位の測定方法は写真 3.5.5-1 のとおりである。

試験における繰り返しの履歴は、単調加力試験から得た降伏変位 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍の変形まで順に 1 回ずつの繰り返し加力を行う。

加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80% に荷重が低下するまで又は仕口の機能が失われるまで行う。

変位計測は、変位計を柱材の軸芯で左右 2 カ所に設置し、柱材の絶対変位を計測する。変位には、試験による材料の割れ、めり込みによる変位等も含んだものとする。

測定箇所が 2 箇所であるため、変位は平均するものとする。

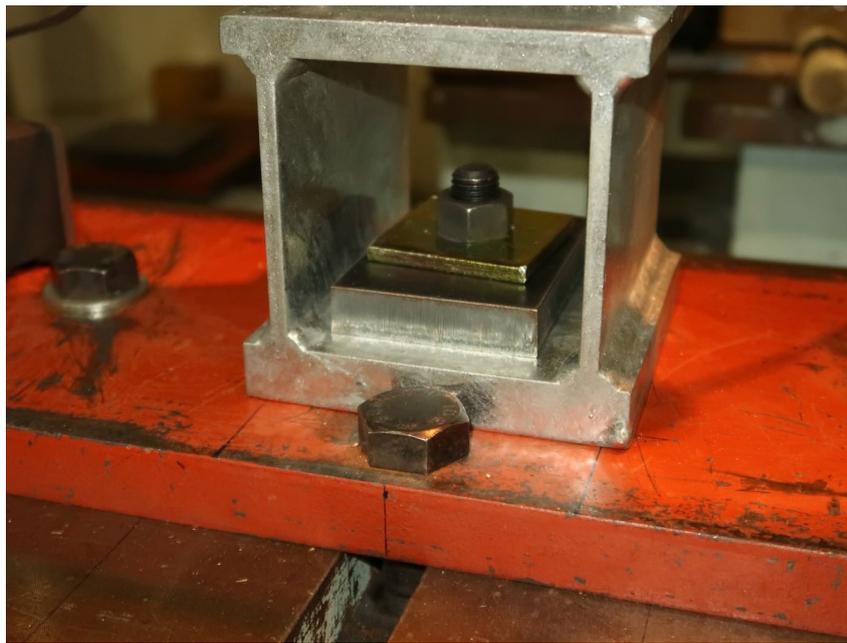
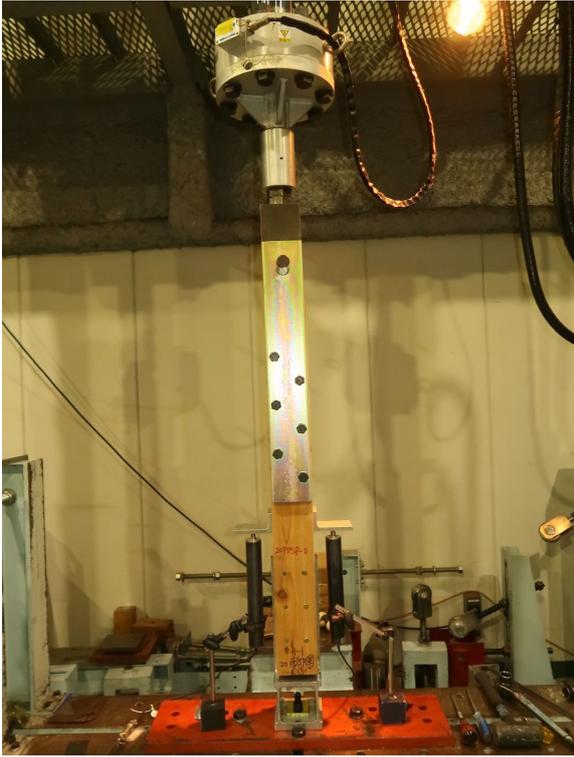


写真 3.5.5-1 試験方法

(4) 試験結果

1) 10PDSP

特性値一覧を表 3.5.5-1 に、荷重変位曲線を図 3.5.5-5 に、破壊性状を表 3.5.5-2 及び写真 3.5.5-3～写真 3.5.5-18 に示す。

表 3.5.5-1 10PDSP 特性値一覧

試験体記号 項目	10PDSP						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	13.3	10.5	11.2	9.9	13.1	14.3	12.1	1.76			
1/10 δ m (mm)	0.39	0.36	0.14	0.21	0.38	0.46	0.32	0.12			
2/5Pm (kN)	53.0	42.1	44.9	39.6	52.4	57.2	48.2	6.98			
2/5 δ m (mm)	1.25	1.08	0.77	0.93	1.35	1.43	1.14	0.25			
2/3Pm (kN)	88.3	70.2	74.9	66.0	87.3	95.3	80.3	11.61	0.145	0.661	53.0
2/3 δ m (mm)	2.20	1.84	1.55	1.63	2.36	2.52	2.02	0.40			
9/10Pm (kN)	119.3	94.7	101.1	89.1	117.8	128.6	108.4	15.68			
9/10 δ m (mm)	3.76	2.82	2.38	2.65	3.51	3.87	3.17	0.63			
Pm (kN)	132.5	105.2	112.3	99.0	130.9	142.9	120.5	17.42			
δ m (mm)	4.81	3.61	2.89	3.51	4.53	5.04	4.07	0.85			
δ u時荷重 (kN)	131.9	103.0	111.3	99.0	130.9	124.7	116.8	14.33			
δ u (mm)	5.15	3.77	3.00	3.51	4.53	5.84	4.30	1.07			
降伏耐力 Py (kN)	78.5	62.2	54.4	61.9	71.9	77.9	67.8	9.79	0.144	0.664	45.0
δ y (mm)	1.91	1.63	1.01	1.52	1.90	2.00	1.66	0.37			
終局耐力 Pu (kN)	121.0	97.7	99.7	88.5	120.1	128.1	109.2	15.91			
初期剛性 K (kN/mm)	41.10	38.16	53.86	40.72	37.84	38.95	41.77	6.07			
降伏点変位 δ v (mm)	2.94	2.56	1.85	2.17	3.17	3.29	2.66	0.57			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	1.75	1.47	1.62	1.62	1.43	1.78	1.61	0.14			
構造特性係数 Ds	0.63	0.72	0.67	0.67	0.73	0.63	0.68	0.04			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

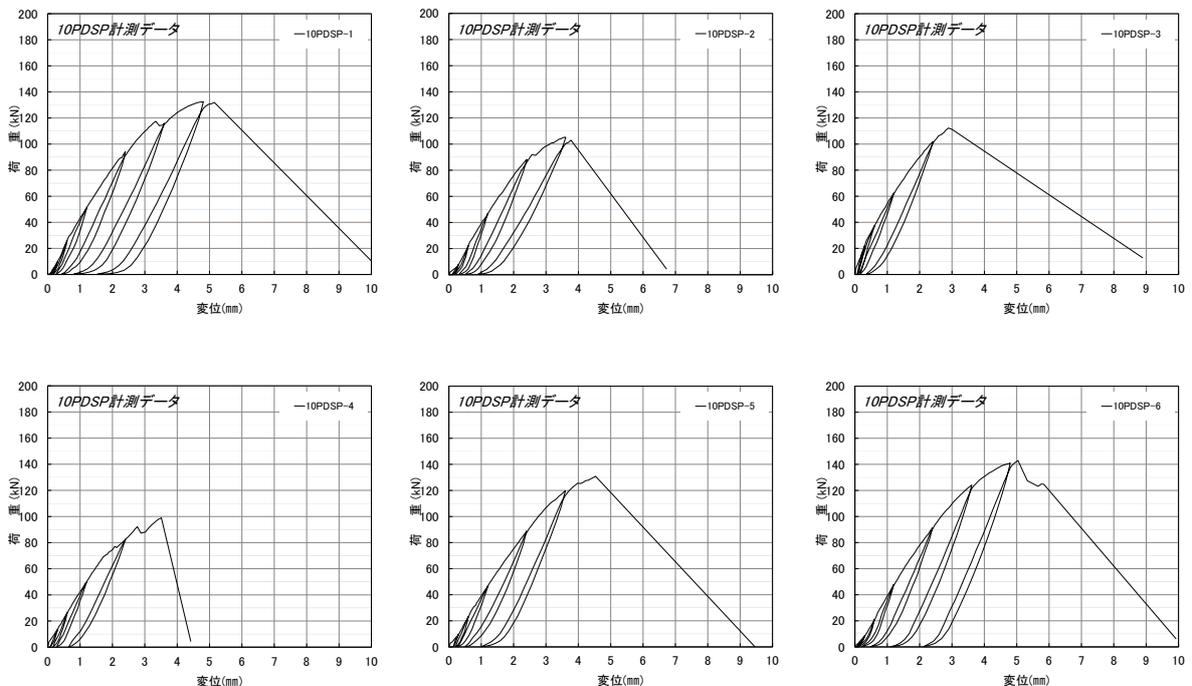


図 3.5.5-5 10PDSP 荷重変位曲線



写真 3.5.5-3 10PDSP-1 試験後

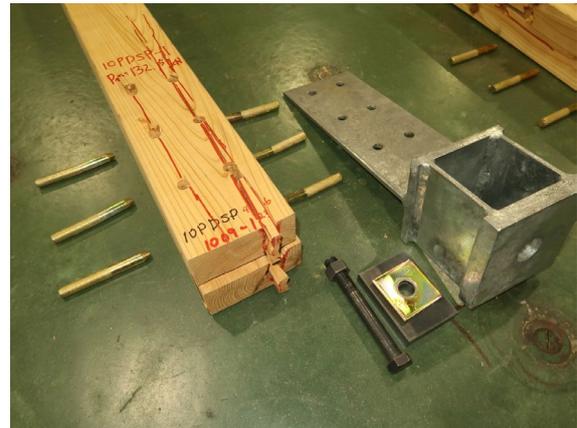


写真 3.5.5-4 10PDSP-1 木材の割れ



写真 3.5.5-5 10PDSP-1 ドリフトピンの変形

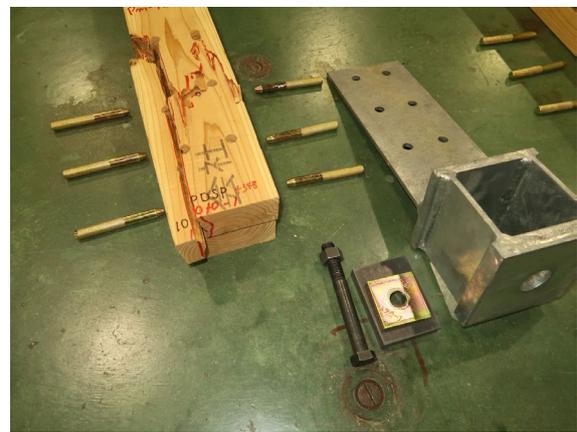


写真 3.5.5-6 10PDSP-2 木材の割れ



写真 3.5.5-7 10PDSP-2 試験後



写真 3.5.5-8 10PDSP-2 木材の割れ



写真 3.5.5-9 10PDSP-3 試験後



写真 3.5.5-10 10PDSP-3 木材の割れ

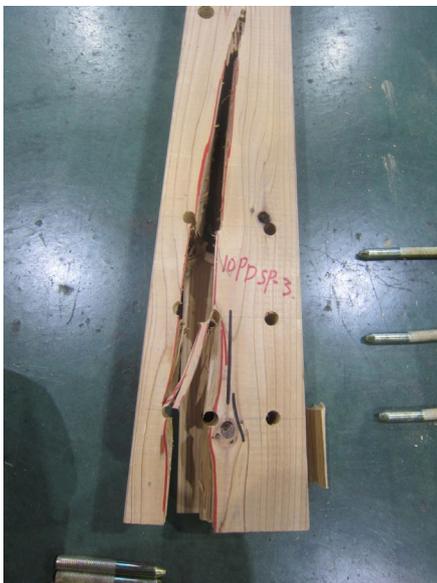


写真 3.5.5-11 10PDSP-3 木材の割れ



写真 3.5.5-12 10PDSP-4 試験後

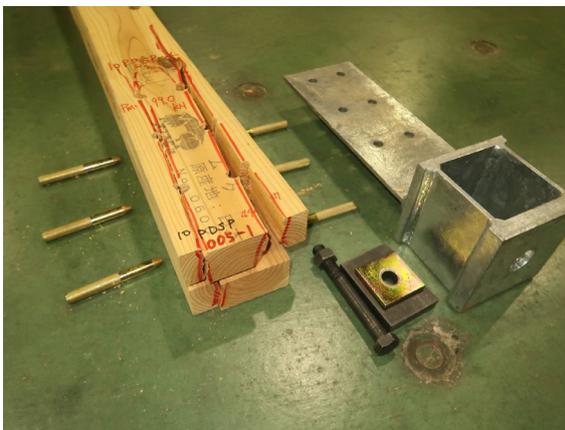


写真 3.5.5-13 10PDSP-4 木材の割れ



写真 3.5.5-14 10PDSP-4 木材の割れ



写真 3.5.5-15 10PDSP-5 試験後

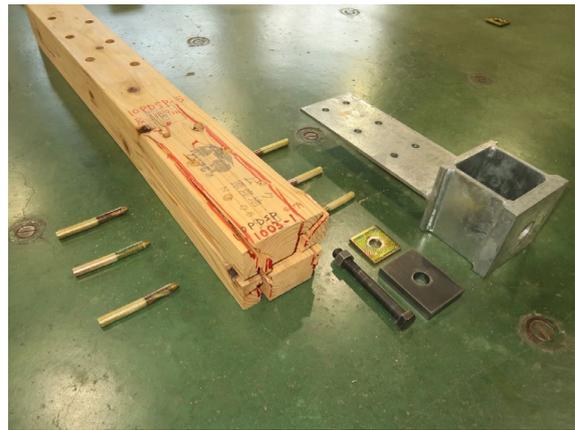


写真 3.5.5-16 10PDSP-5 木材の割れ



写真 3.5.5-17 10PDSP-6 試験後

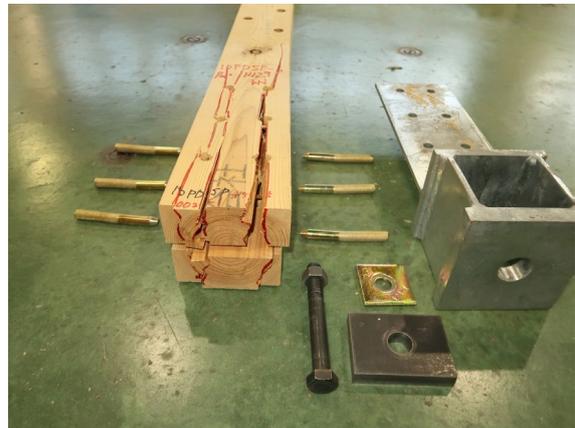


写真 3.5.5-18 10PDSP-6 木材の割れ

表 3.5.4-2 10PDSP 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	ドリフトピンの変形	金物の変形	ピンによる木材の割れ
10PDSP	1		○
	2		○
	3		○
	4		○
	5		○
	6		○

2) 14PDSP

特性値一覧を表 3.5.5-3 に、荷重変位曲線を図 3.5.5-6 に、破壊性状を表 3.5.5-4 に写真 3.5.5-19～写真 3.5.5-28 に示す。

表 3.5.5-2 14PDSP 特性値一覧

試験体記号 項目	14PDSP			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3					
1/10Pm (kN)	9.1	16.0	11.5	12.2	3.50			
1/10 δ m (mm)	0.19	0.30	0.26	0.25	0.06			
2/5Pm (kN)	36.5	64.2	46.0	48.9	14.08			
2/5 δ m (mm)	0.85	1.38	1.02	1.08	0.27			
2/3Pm (kN)	60.8	106.9	76.7	81.5	23.42	0.287	0.095	7.7
2/3 δ m (mm)	1.90	2.56	1.87	2.11	0.39			
9/10Pm (kN)	82.0	144.4	103.5	110.0	31.70			
9/10 δ m (mm)	2.92	4.43	2.77	3.37	0.92			
Pm (kN)	91.1	160.4	115.0	122.2	35.20			
δ m (mm)	3.50	7.84	4.42	5.25	2.29			
δ u時荷重 (kN)	86.9	160.4	92.0	113.1	41.04			
δ u (mm)	3.62	7.84	5.06	5.51	2.15			
降伏耐力 Py (kN)	53.6	95.5	57.3	68.8	23.20	0.337	-0.062	-4.2
δ v (mm)	1.35	2.20	1.29	1.61	0.51			
終局耐力 Pu (kN)	77.8	150.6	103.9	110.8	36.88			
初期剛性 K (kN/mm)	39.70	43.41	44.42	42.51	2.49			
降伏点変位 δ v (mm)	1.96	3.47	2.34	2.59	0.79			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	1.85	2.26	2.16	2.09	0.21			
構造特性係数 Ds	0.61	0.53	0.55	0.56	0.04			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

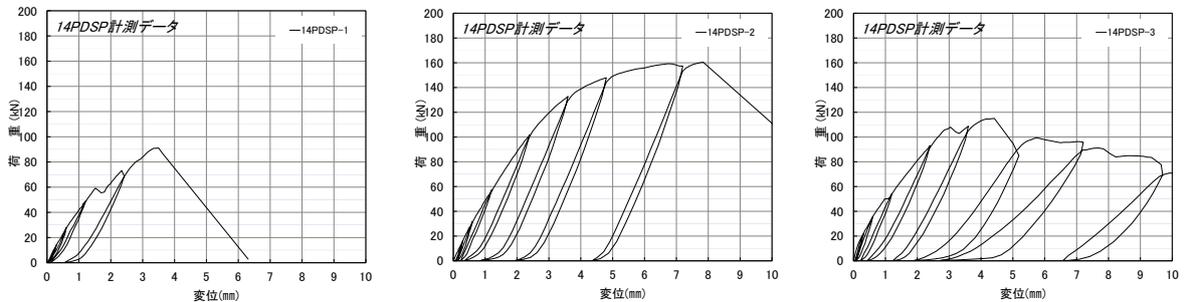


図 3.5.5-6 14PDSP 荷重変位曲線



写真 3.5.5-19 14PDSP-1 試験後



写真 3.5.5-20 14PDSP-1 木材の割れ



写真 3.5.5-21 14PDSP-1 木材の割れ



写真 3.5.5-22 14PDSP-1 ドリフトピン



写真 3.5.5-23 14PDSP-2 試験後



写真 3.5.5-24 14PDSP-2 試験後



写真 3.5.5-25 14PDSP-2 試験後



写真 3.5.5-26 14PDSP-3 試験後



写真 3.5.5-27 14PDSP-3 試験後



写真 3.5.5-28 14PDSP-3 木材の割れ

表 3.5.4-4 14PDSP 破壊性状

試験体名		破壊性状		
		ドリフトピンの変形	金物の変形	ピンによる木材の割れ
14PDSP	1			○
	2			○
	3			○

3) 20PDSP

特性値一覧を表 3.5.5-5 に、荷重変位曲線を図 3.5.5-7、破壊性状を表 3.5.5-6 及び写真 3.5.5-29～写真 3.5.5-42 に示す。

表 3.5.5-5 20PDSP 特性値一覧

試験体記号 項目	20PDSP						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	9.3	7.3	12.0	14.4	13.3	12.5	11.5	2.66			
1/10 δ m (mm)	0.15	0.16	0.17	0.15	0.30	0.16	0.18	0.06			
2/5Pm (kN)	37.1	29.3	48.1	57.5	53.0	50.2	45.9	10.60			
2/5 δ m (mm)	0.91	0.74	1.00	1.13	1.21	1.41	1.07	0.24			
2/3Pm (kN)	61.9	48.8	80.1	95.9	88.4	83.7	76.5	17.68	0.231	0.460	35.1
2/3 δ m (mm)	1.98	1.31	2.21	2.61	2.10	2.72	2.16	0.51			
9/10Pm (kN)	83.5	65.9	108.1	129.4	119.3	112.9	103.2	23.85			
9/10 δ m (mm)	3.47	2.03	3.57	4.41	3.10	4.40	3.50	0.89			
Pm (kN)	92.8	73.2	120.2	143.8	132.6	125.5	114.7	26.52			
δ m (mm)	4.15	3.03	4.50	5.86	3.75	5.86	4.53	1.14			
δ u時荷重 (kN)	76.2	58.6	116.5	143.8	132.6	100.8	104.8	32.86			
δ u (mm)	5.58	4.51	4.61	5.86	3.75	7.30	5.27	1.26			
降伏耐力 Py (kN)	49.2	44.4	57.7	72.0	73.9	73.2	61.7	13.11	0.212	0.505	31.1
δ v (mm)	1.29	1.18	1.29	1.55	1.72	2.31	1.56	0.42			
終局耐力 Pu (kN)	78.9	66.5	102.2	123.6	120.5	119.1	101.8	24.06			
初期剛性 K (kN/mm)	38.14	37.63	44.73	46.45	42.97	31.69	40.27	5.49			
降伏点変位 δ v (mm)	2.07	1.77	2.28	2.66	2.80	3.76	2.56	0.70			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	2.70	2.55	2.02	2.20	1.34	1.94	2.13	0.49			
構造特性係数 Ds	0.48	0.49	0.57	0.54	0.77	0.59	0.57	0.11			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

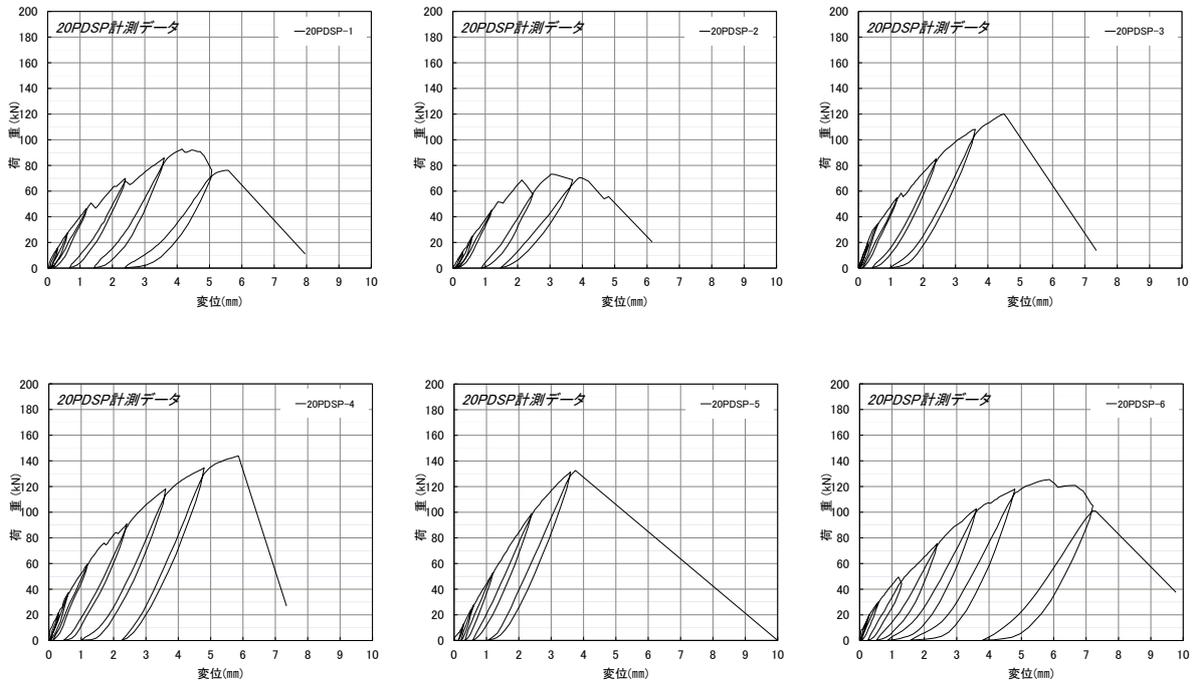


図 3.5.5-7 20PDSP 荷重変位曲線

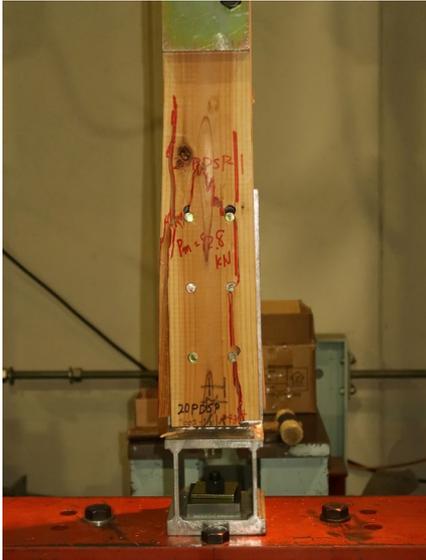


写真 3.5.5-29 20PDSP-1 試験後



写真 3.5.5-30 20PDSP-1 試験後

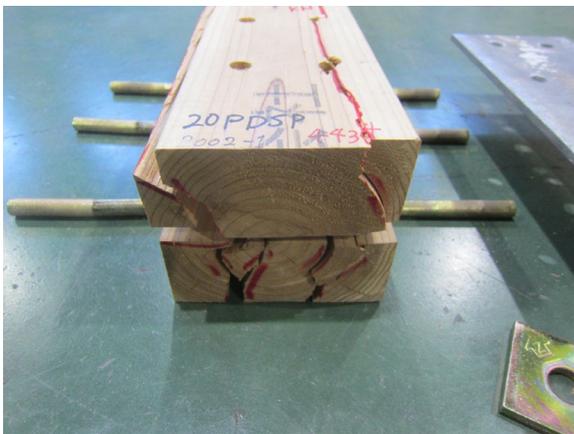


写真 3.5.5-29 20PDSP-1 木材の割れ



写真 3.5.5-30 20PDSP-2 試験後



写真 3.5.5-31 20PDSP-2 試験後



写真 3.5.5-32 20PDSP-2 木材の割れ



写真 3.5.5-33 20PDSP-3 試験後



写真 3.5.5-34 20PDSP-3 試験後

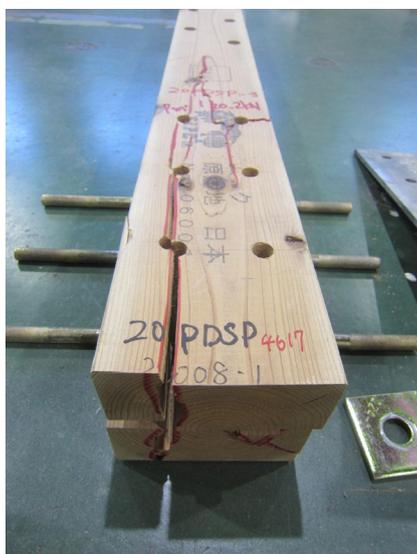


写真 3.5.5-35 20PDSP-3 木材の割れ



写真 3.5.5-36 20PDSP-4 試験後



写真 3.5.5-37 20PDSP-4 試験後



写真 3.5.5-38 20PDSP-4 木材の割れ



写真 3.5.5-39 20PDSP-5 試験後



写真 3.5.5-40 20PDSP-5 試験後



写真 3.5.5-41 20PDSP-5 試験後



写真 3.5.5-42 20PDSP-5 試験後

表 3.5.4-6 20PDSP 破壊性状

試験体名	破壊性状		
	ドリフトピンの変形	金物の変形	ピンによる木材の割れ
20PDSP	1		○
	2		○
	3		○
	4		○
	5		○
	6		○

4) HPDSP

特性値一覧を表 3.5.5-7 に、荷重変位曲線を図 3.5.5-8 に、破壊性状を表 3.5.5-8 及び写真 3.5.5-43～写真 3.5.5-36 に示す。

表 3.5.5-7 HPDSP 特性値一覧

試験体記号 項目	HPDSP
1/10Pm (kN)	11.7
1/10 δ m (mm)	0.17
2/5Pm (kN)	46.7
2/5 δ m (mm)	0.99
2/3Pm (kN)	77.8
2/3 δ m (mm)	2.30
9/10Pm (kN)	105.0
9/10 δ m (mm)	3.35
Pm (kN)	116.7
δ m (mm)	4.33
δ u時荷重 (kN)	100.5
δ u (mm)	5.25
降伏耐力 Py (kN)	63.3
δ y (mm)	1.52
終局耐力 Pu (kN)	104.1
初期剛性 K (kN/mm)	41.64
降伏点変位 δ v (mm)	2.50
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	2.10
構造特性係数 Ds	0.56

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとするが、荷重が大きく低下した場合はその時点とする。

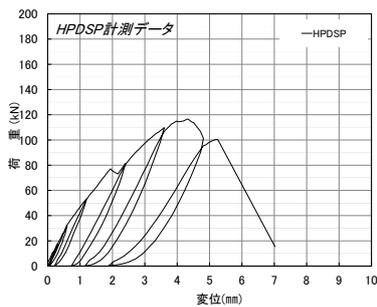


図 3.5.5-8 HPDSP 荷重変位曲線



写真 3.5.5-43 HPDSP-1 試験後



写真 3.5.5-44 HPDSP-1 試験後

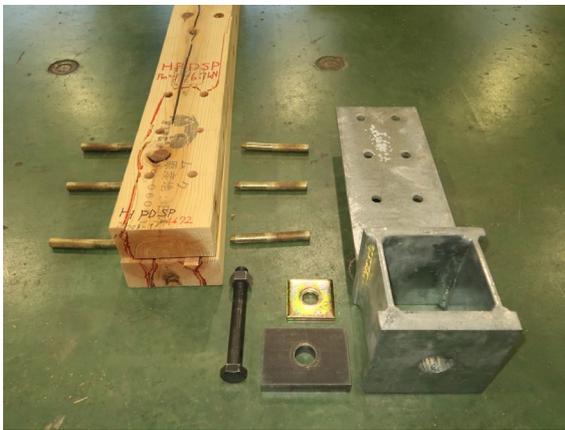


写真 3.5.5-45 HPDSP-1 木材の割れ



写真 3.5.5-46 HPDSP-1 ドリフトピンの腐食

表 3.5.4-8 HPDSP 破壊性状

試験体名		破壊性状		
		ドリフトピンの変形	金物の変形	ピンによる木材の割れ
HPDP	1			○

(5) 考察

破壊性状、グラフの形状共に施工時含水率の違いによる影響は見られなかった。

10RDSP-1 は座金が底盤にめり込む破壊が見られたが、既製品金物の仕様どおりであるため、試験のやり直しは行わなかった。

ドリフトピンが曲げ変形する前に木材の割れにより脆性的に破壊する試験体多かった。(曲げ変形するものもあったが、変形が小さかったため無しとした)

類似の金物の Z マーク表示金物の TB-D9 より残存断面が小さい (120 mm 角→105 角、ピンが 2 列) がピンの数は TB-D9 の 2/3 なので、ここまで脆性的な破壊となるには特別な原因が考えられる。鋼板添え板ビス接合と同様に施工後の強制調湿処理 (含水率が 4% 程度まで低下) の影響が一因として考えられる。

3.6. 接合部試験結果の考察

3.6.1. 施工時の含水率が強度性能に及ぼす影響についての検討

施工時の含水率が強度性能に及ぼす影響について検討を行った。

比較の対象とする含水率は、図 3.6.1-1 のとおり (1) 試験後に試験体そのものから採取した厚さ 100 mm×105 mm 角の木片から測定した全乾法含水率に重量変化を加味した施工時の含水率の推定方法、図 3.6.1-2 は (2) 施工時に試験体の近傍から採取した厚さ 20 mm×105 mm 角のサンプル材を用いた含水率の測定方法である。

上記 (1) (2) の含水率の測定 (推定) 結果を比較したものを図 3.6.1-3 に示す (3.4.6 項の図 3.4.6-2 の再掲)。3.4.6 項で述べたとおりサンプル材から求めた全乾法含水率は 8% から 23% 程度まで広く分布しているが、試験後の全乾法含水率から重量変化を加味することで施工時の含水率を求めたものは 9% から 19% 程度までの分布となっている。

(2) については、サンプル採取から施工まで 1 か月ほどのタイムラグがあるため、参考データとする。

比較する強度性能の特性値は、接合部性能の許容耐力を決定する $2/3P_{max}$ と P_y 、耐力壁として評価する場合に必要な初期剛性 K と塑性率 μ の 4 つの数値とした。

また、接合部試験を実施する上では便宜上 KDG10、KDG14、KDG20、高含水率の 4 区分としたが、ここでは個別の試験体単位で検証を行うこととする。

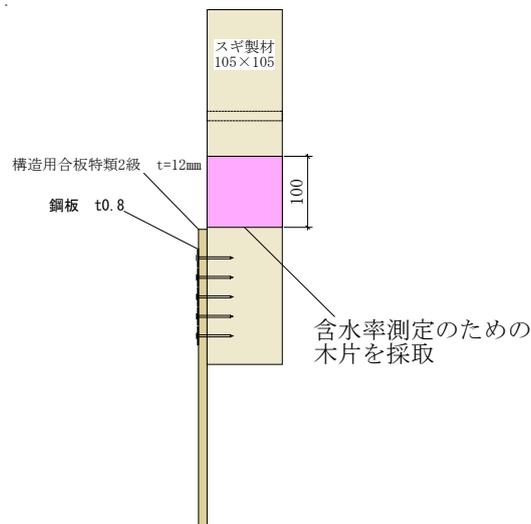


図 3.6.1-1 (1) 試験後に試験体そのものから採取した厚さ 100 mm×105 mm 角の木片から測定した全乾法含水率に重量変化を加味した施工時の含水率の推定方法

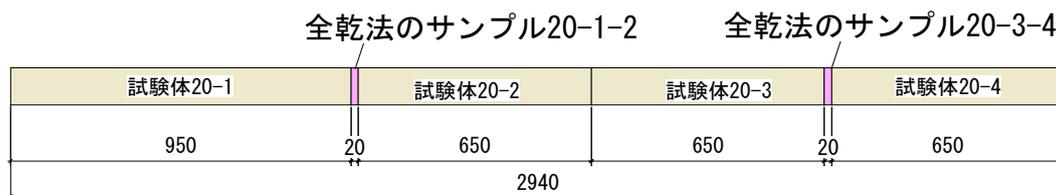


図 3.6.1-2 (2) 施工時に試験体の近傍から採取した厚さ 20 mm×105 mm 角のサンプル材を用いた含水率の測定方法

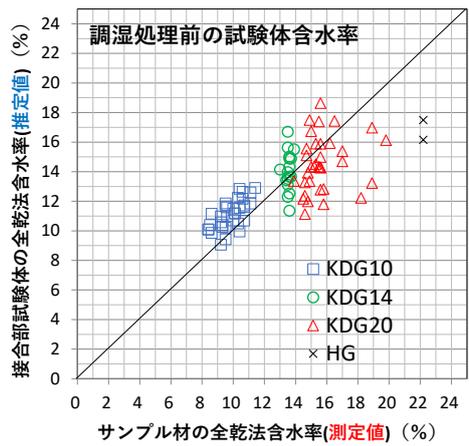


図 3.6.1-3 (1) と (2) の比較 (再掲)

(1) 合板添え板くぎ接合（繊維方向）

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.1-4～図 3.6.1-7 に示す。

どの特性値も含水率によって傾向が見られるほどの違いは認められなかった。

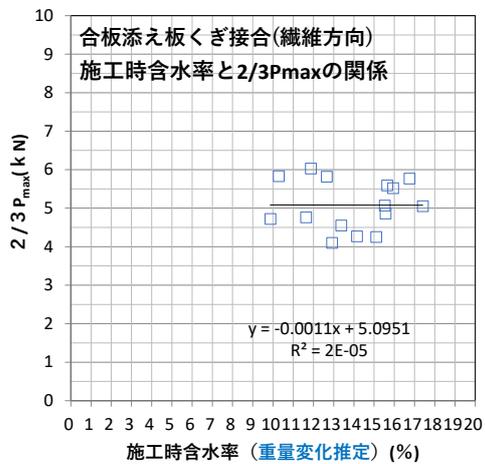


図 3.6.1-4 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

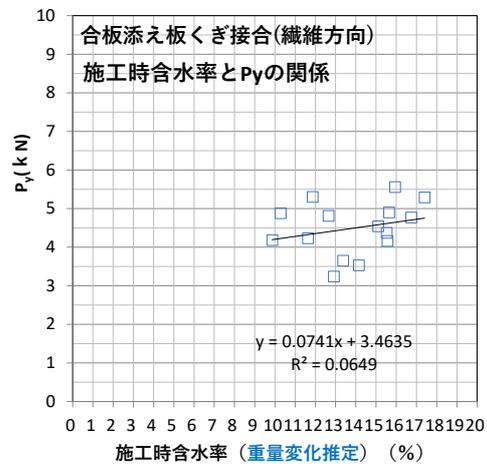


図 3.6.1-5 施工時含水率と P_y の相関

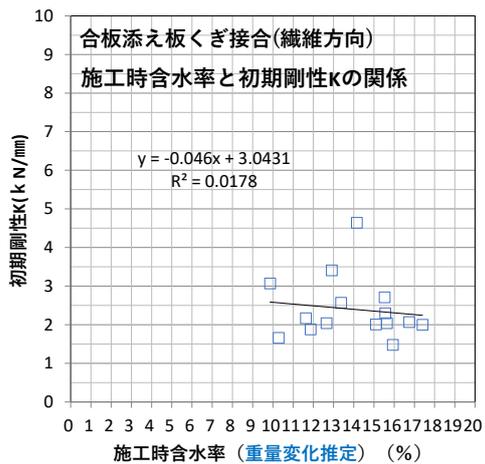


図 3.6.1-6 施工時含水率と初期剛性 K の相関

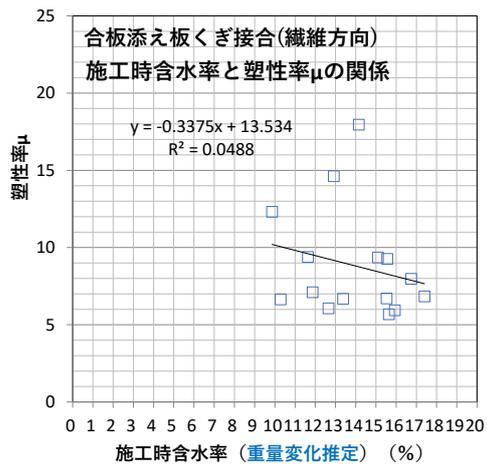


図 3.6.1-7 施工時含水率と塑性率 μ の相関

(2) 合板添え板くぎ接合 (繊維直角方向)

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.1-8～図 3.6.1-11 に示す。

$2/3P_{max}$ 、 P_y 共に施工時含水率が高いほど数値が高くなる傾向が若干見られた。

一方、初期剛性と塑性率については、施工時含水率が高いほど、数値が低下する傾向が見られた。塑性率 μ は終局変位 δ_u の影響ではなく、降伏点変位 δ_y (初期剛性 K) 影響が大きい。

なお、1.5.2 項 (5) に記載のとおり 10NSO-5 試験体については、初期剛性及び塑性率が異常に高く、節の影響が考えられることから検証から除外した。

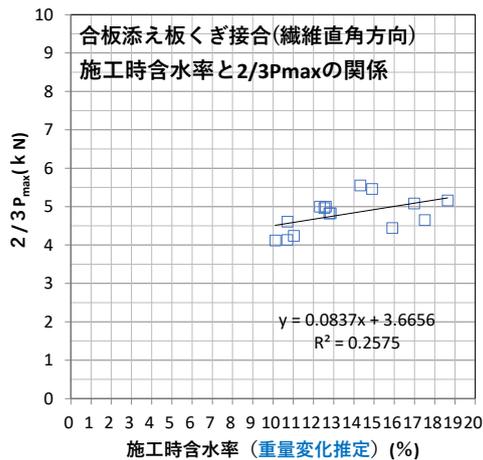


図 3.6.1-8 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

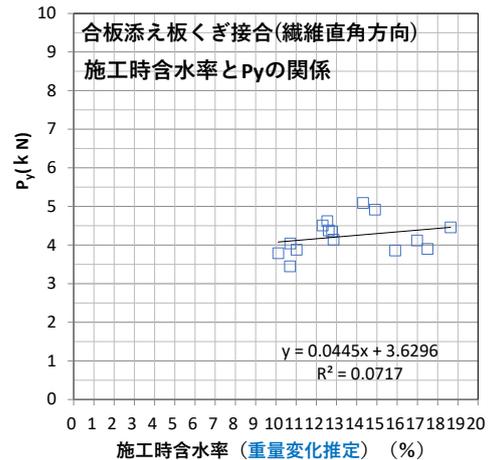


図 3.6.1-9 施工時含水率と P_y の相関

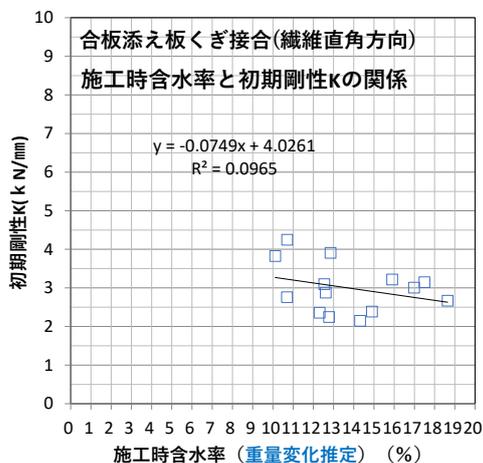


図 3.6.1-10 施工時含水率と初期剛性 K の相関

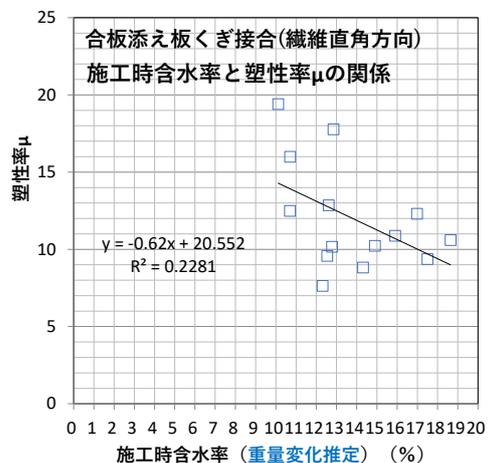


図 3.6.1-11 施工時含水率と塑性率 μ の相関

(3) 鋼板添え板ビス接合（繊維方向）

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.1-12～図 3.6.1-15 に示す。

$2/3P_{max}$ は施工時含水率が高いほど数値が低くなる傾向が若干見られた。塑性率については施工時含水率が高いほど数値が高くなる傾向が若干見られた。

その他の特性値については、含水率によって傾向が見られるほどの違いは認められなかった。

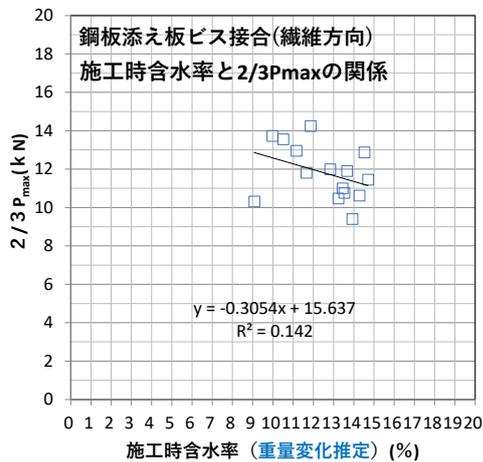


図 3.6.1-12 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

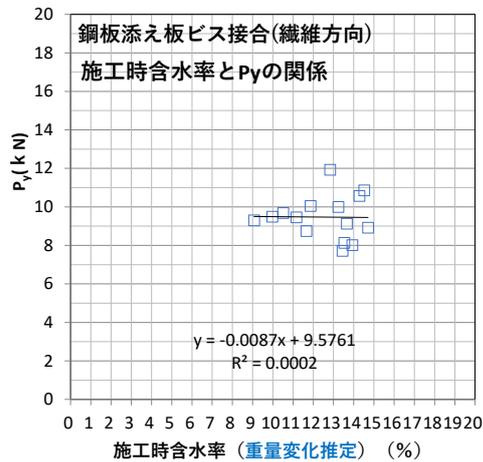


図 3.6.1-13 施工時含水率と P_y の相関

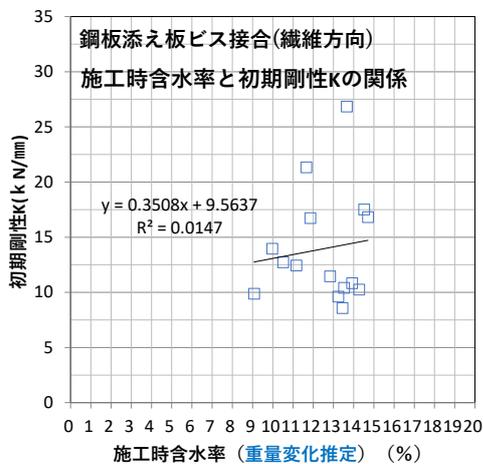


図 3.6.1-14 施工時含水率と初期剛性 K の相関

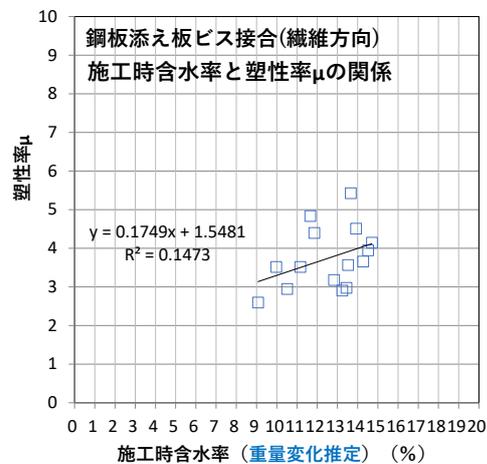


図 3.6.1-15 施工時含水率と塑性率 μ の相関

(4) 鋼棒挿入ドリフトピン接合（繊維方向）

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.1-16～図 3.6.1-19 に示す。

$2/3P_{max}$ 、 P_y 及び塑性率 μ は施工時含水率が高いほど数値が高くなる傾向が若干見られた。

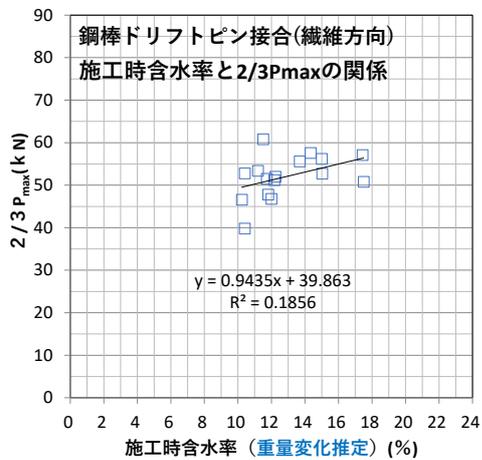


図 3.6.1-16 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

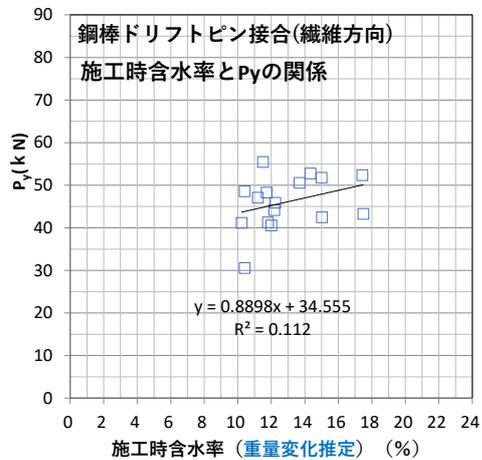


図 3.6.1-17 施工時含水率と P_y の相関

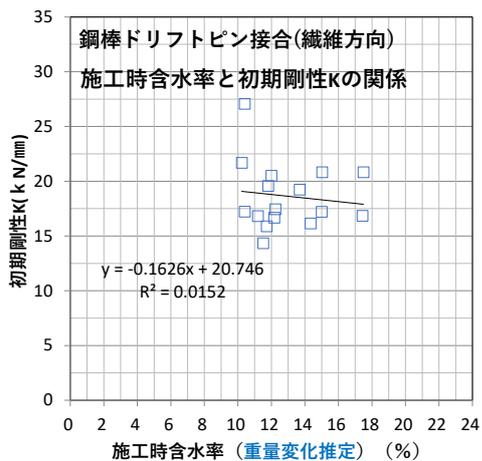


図 3.6.1-18 施工時含水率と初期剛性 K の相関

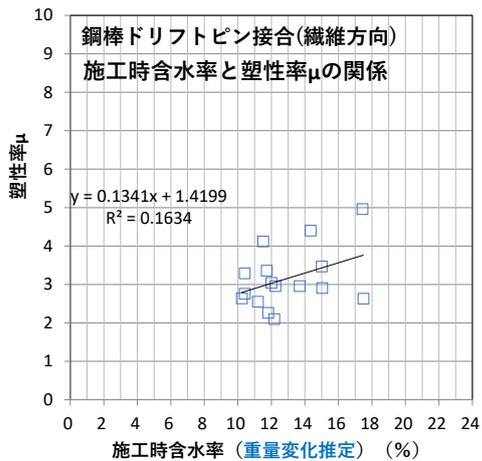


図 3.6.1-19 施工時含水率と塑性率 μ の相関

(5) 鋼板挿入ドリフトピン接合（繊維方向）

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.1-20～図 3.6.1-23 に示す。

塑性率 μ は施工時含水率が高いほど数値が高くなる傾向が見られた。

その他の特性値については、含水率によって傾向が見られるほどの違いは認められなかった。

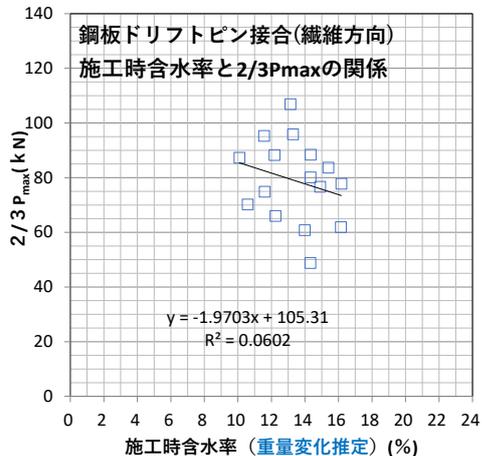


図 3.6.1-20 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

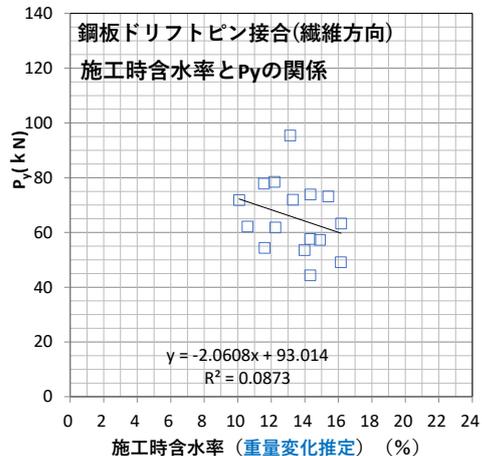


図 3.6.1-21 施工時含水率と P_y の相関

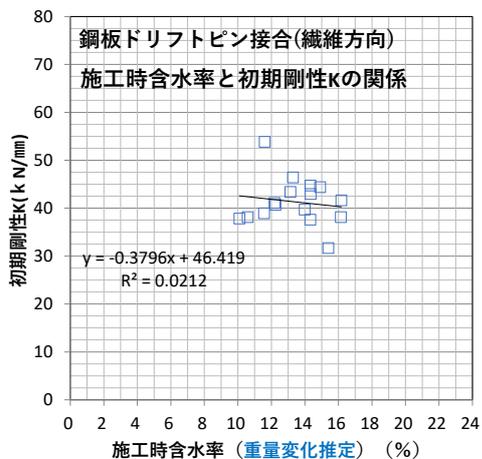


図 3.6.1-22 施工時含水率と初期剛性 K の相関

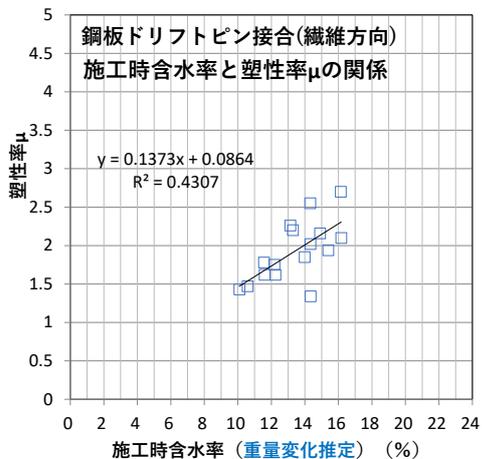


図 3.6.1-23 施工時含水率と塑性率 μ の相関

3.6.2. 木材表面の凹み量が強度性能に及ぼす影響についての検討

仕上げ時の含水率が高いと、十分に乾燥した後は木材表面の平滑さが少なからず失われることになる。この表面の平滑さが、合板または鋼板と木材の間に生じる摩擦に影響し、仕上げ時の含水率が高いことによって剛性等の強度性能が低下する恐れがある。

したがって、本事業における合板添え板くぎ接合、鋼板添え板ビス接合において、接合部の木材表面の平滑さを測定し、強度性能との影響について検証を行うこととした。

(1) 測定方法

試験終了後の木材の合板または鋼板が取りつく側の木材表面の平滑さの測定を行った。測定方法は50mm変位計を用いて写真3.6.2-1、写真3.6.2-2のとおり測定した。数値はプラスが凹側、マイナスが凸側である。測定誤差を少なくするため、インシヤル値をゼロに設定し直す手順を頻繁に行った(写真3.6.3-1)。鋼板ビス接合試験体には割れが生じていたので、割れの左右でそれぞれ測定を行い、平均値を算出した。



写真 3.6.2-1 測定方法



写真 3.6.2-2 測定方法



写真 3.6.2-3 測定中は平滑な鋼板の上でインシヤル値をゼロに戻すを繰り返す

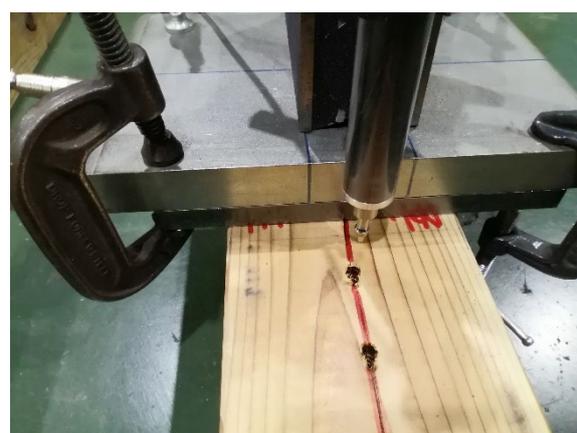


写真 3.6.2-4 割れが生じた場合には割れの左右で測定し、平均値を取る

(2) 測定結果

接合部試験体の施工時含水率と乾燥収縮による木材表面の凹みの関係を図 3.6.2-1 に示す。含水率は接合部試験体から測定した全乾法含水率を重量変化の値を用いて施工時の含水率を推定したものである。決定係数 R^2 は 0.1325 となった。

合板添え板くぎ接合及び鋼板添え板ビス接合について、初期剛性 K と凹み量の関係を図 3.6.2-2～図 3.6.2-4 に示す。なお、図 3.6.2-3 において試験体 10NPO-5 は前述のとおり一体だけ非常に高い値となっており、原因として節の影響が考えられるので除外した。

以上の結果からくぎ接合（繊維方向）（ $R^2=0.0656$ ）及びくぎ接合（繊維直角方向）（ $R^2=0.2035$ ）については一定の相関がみられた。一方鋼板添え板ビス接合（繊維方向）については、凹み量が大きいほど剛性が高くなる結果となったが決定係数の値が低めであること、ねじの存在によりビスの締め付け具合で摩擦が大きくなることから凹み量に対する摩擦の影響は大きくないと考えられる（図 3.6.2-5）

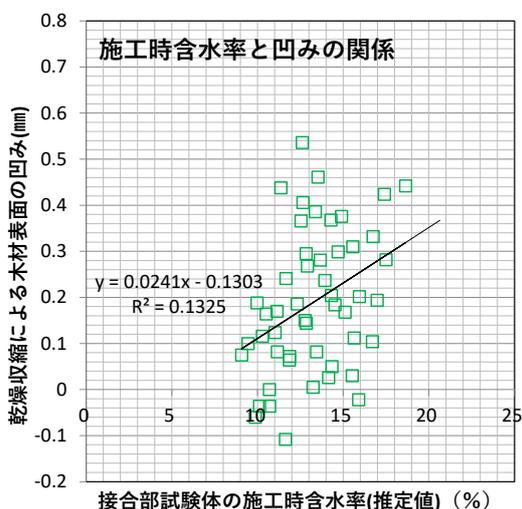


図 3.6.2-1 施工時含水率と凹み量の関係

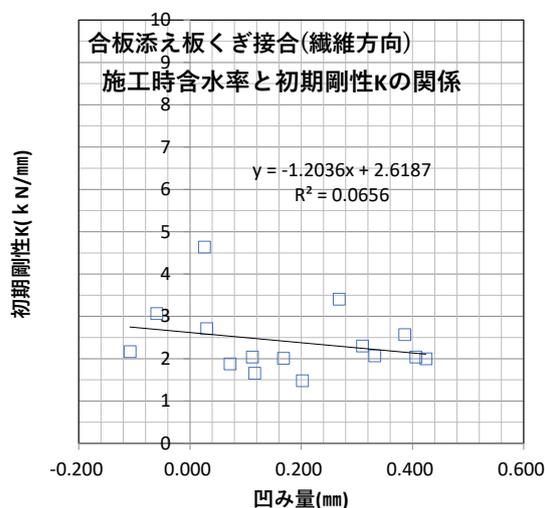


図 3.6.2-2 合板添え板くぎ接合（繊維方向）における施工時含水率と初期剛性 K の関係

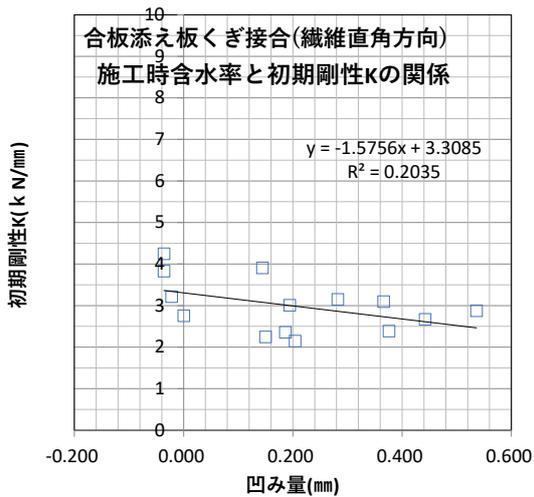


図 3.6.2-3 合板添え板くぎ接合（繊維直角方向）における施工時含水率と初期剛性 K の関係

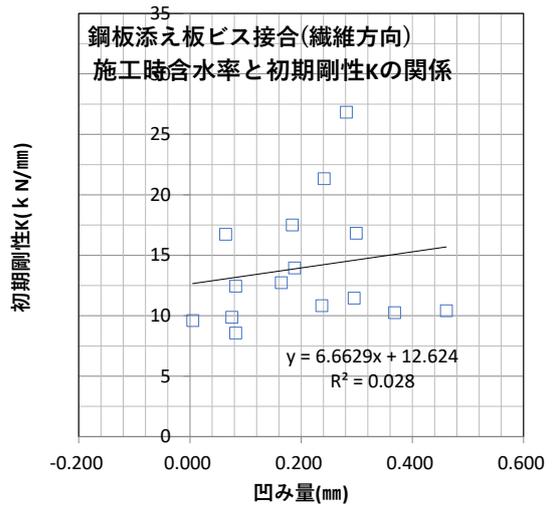


図 3.6.2-4 鋼板添え板ビス接合（繊維方向）における施工時含水率と初期剛性 K の関係

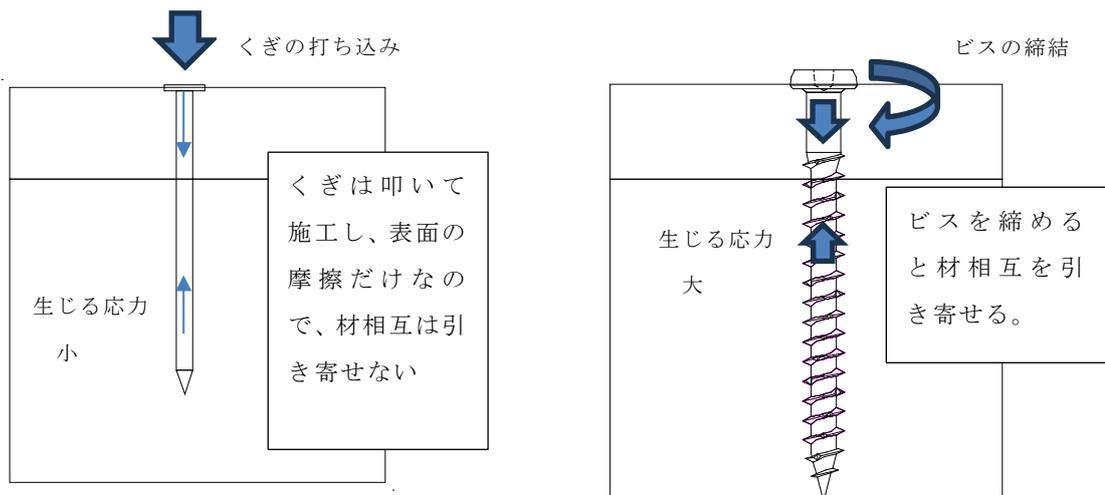


図 3.6.2-5 くぎとビスの引き寄せ機能の違い

3.6.3. 多数本の影響についての検討

鋼板挿入ドリフトピン接合二面せん断を除く 4 種類の接合方法については、R3 年度事業において要素試験を行っている。本事業で実施した接合部試験（多数本打ち）の結果との比較を行った。

接合具 1 本あたりに換算した包絡線を比較したものを図 3.6.3-1～図 3.6.3-4 に示す。

くぎ接合については繊維方向及び繊維直角方向共に荷重変位関係の値はほぼ同性能となった。多数本打ちの方が 15 mm あたりから荷重が上がるという特徴が見られた。

ビス接合については、多数本打ちの方が 1 本あたりの最大耐力及び終局変位が著しく小さくなる結果となった。ビスの曲げ降伏前にビス列に沿った割れが発生し、脆性的に破壊したことが原因と考えられる。

鋼棒挿入ドリフトピンについては、要素試験の方が剛性が高くなる結果となった。ドリフトピンと穴とのクリアランスが原因と考えられる（多数本の場合、ドリフトピン 1 本ごとのピークにずれが生じる）。また多数本打ちの方が終局変位が大きくなる結果となった。4 本のドリフトピンを打ち込む方向が X 方向 Y 方向の 2 方向となることで木材が割裂した後も割れの隙間が拡がりやすかったことにより変位が大きくなった可能性がある。

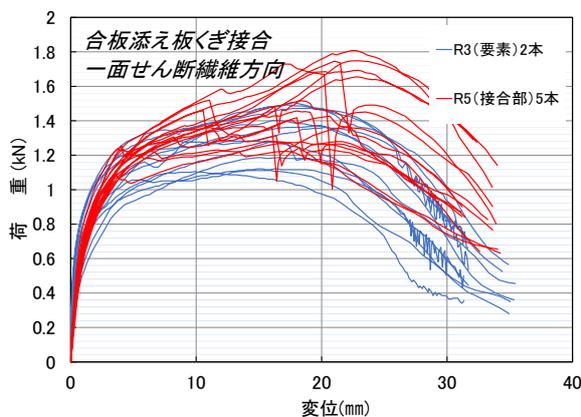


図 3.6.3-1 合板添え板くぎ接合（繊維方向）の 1 本あたりの包絡線

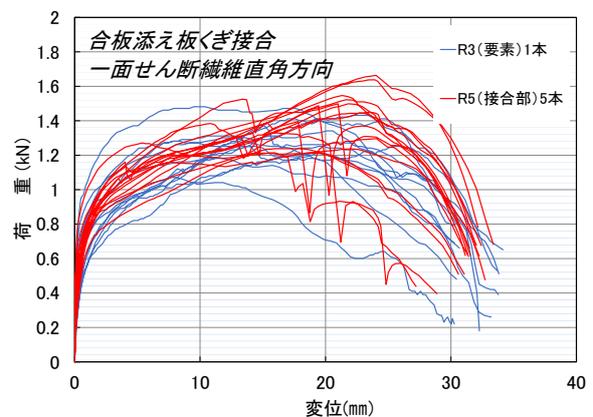


図 3.6.3-2 合板添え板くぎ接合（繊維直角方向）の 1 本あたりの包絡線

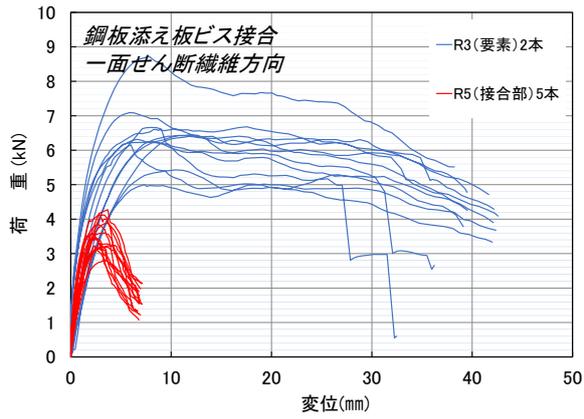


図 3.6.3-3 鋼板添え板ビス接合（繊維方向）の1本あたりの包絡線

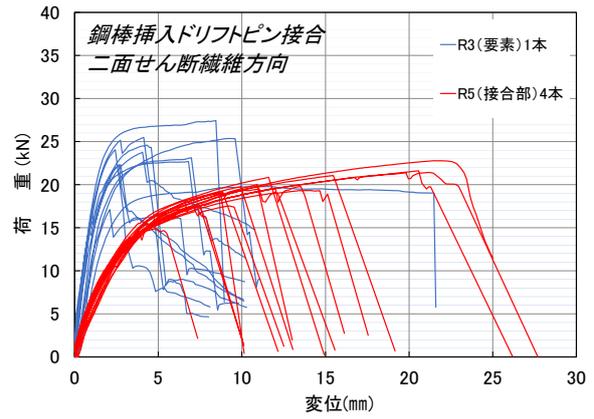


図 3.6.3-4 鋼棒挿入ドリフトピン接合（繊維方向）の1本あたりの包絡線

3.6.4. 鋼板挿入ドリフトピン接合における木材収縮による割裂の発生状況

鋼板挿入ドリフトピン接合においては、図 3.6.4-1 に示すとおり木材の収縮によって割裂が発生する可能性がある。

写真 3.6.4-1～写真 3.6.4-7 に強制調湿後の鋼板挿入ドリフトピン接合試験体の写真を示す。木材の孔とピンのクリアランスの発生については、施工精度の影響もあるので、一概に影響があるとは言えないが、少なくともどの試験体においても強制調湿後に割裂は発生しなかった。

割裂は発生せずとも応力分布に影響を及ぼしている可能性はあるが、3.5.5 項の(5) で述べたとおり施工時含水率の違いによる接合部の強度性能の影響は認められなかった。

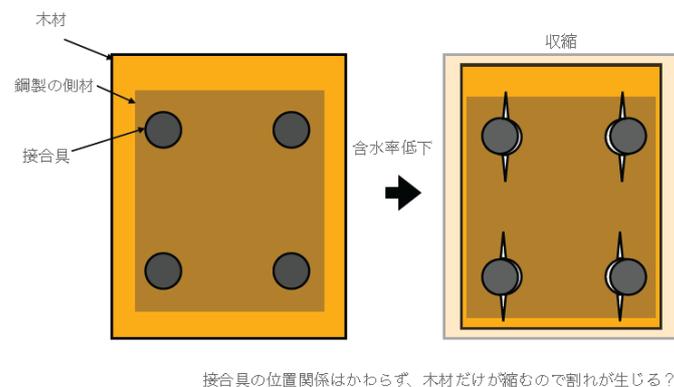


図 3.6.4-1 木材収縮による割裂発生の可能性（再掲）



写真 3.6.4-1 KDG10 試験体の調湿後の様子



写真 3.6.4-2 KDG10 試験体の調湿後の様子



写真 3.6.4-3 KDG14 試験体の調湿後の様子



写真 3.6.4-4 KDG14 試験体の調湿後の様子



写真 3.6.4-5 KDG20 試験体の調湿後の様子



写真 3.6.4-6 KDG20 試験体の調湿後の様子

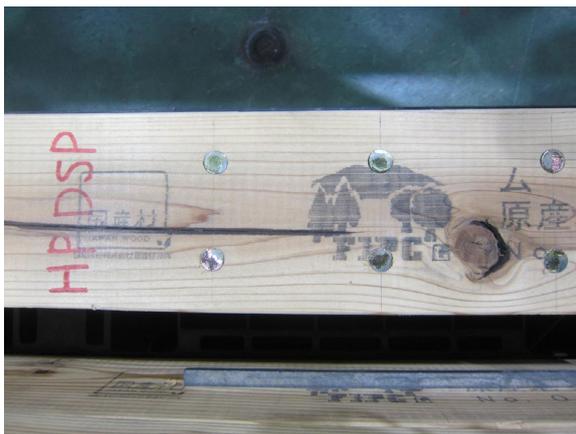


写真 3.6.4-7 高含水率試験体の調湿後の様子

3.6.5. 参考データ：施工時に試験体の近傍から採取した厚さ 20 mm × 105 mm 角のサンプル材から測定した含水率と強度性能

表記の方法で測定した含水率については、サンプル採取から施工まで 1 か月ほどのタイムラグがあるため、参考データとする。

(1) 合板添え板くぎ接合（繊維方向）

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.5-4～図 3.6.5-7 に示す。

どの特性値も含水率によって傾向が見られるほどの違いは認められなかった。

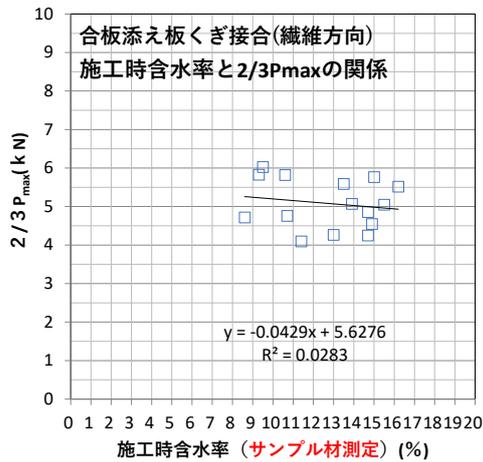


図 3.6.5-4 施工時含水率と 2/3P_{max} の相関

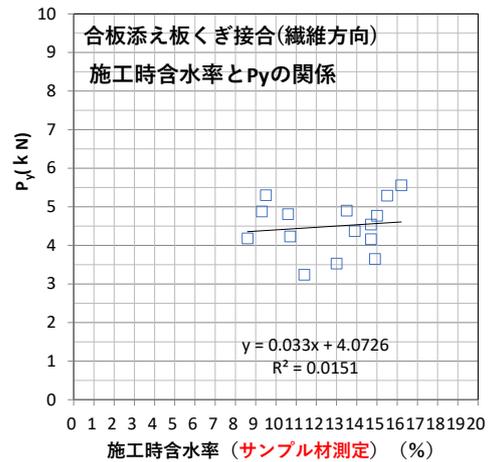


図 3.6.5-5 施工時含水率と P_y の相関

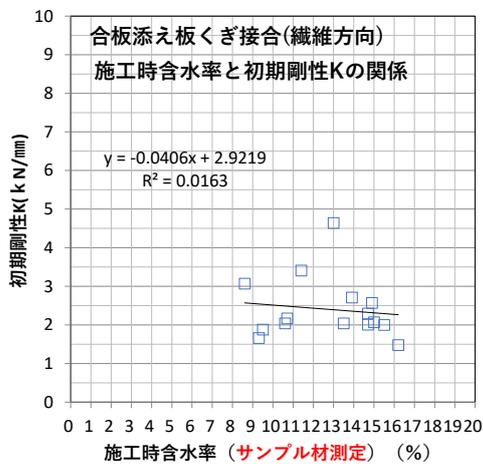


図 3.6.5-6 施工時含水率と初期剛性 K の相関

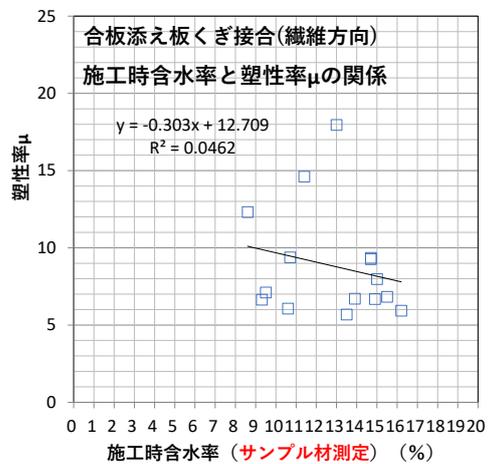


図 3.6.5-7 施工時含水率と塑性率 μ の相関

(2) 合板添え板くぎ接合 (繊維直角方向)

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.5-8～図 3.6.5-11 に示す。

$2/3P_{max}$ 、 P_y 共に施工時含水率が高いほど数値が高くなる傾向が若干見られた。

一方、初期剛性と塑性率については、施工時含水率が高いほど、数値が低下する傾向が見られた。塑性率 μ は終局変位 δ_u の影響ではなく、降伏点変位 δ_y (初期剛性 K) 影響が大きい。

なお、1.5.2 項 (5) に記載のとおり 10NSO-5 試験体については、初期剛性及び塑性率が異常に高く、節の影響が考えられることから検証から除外した。

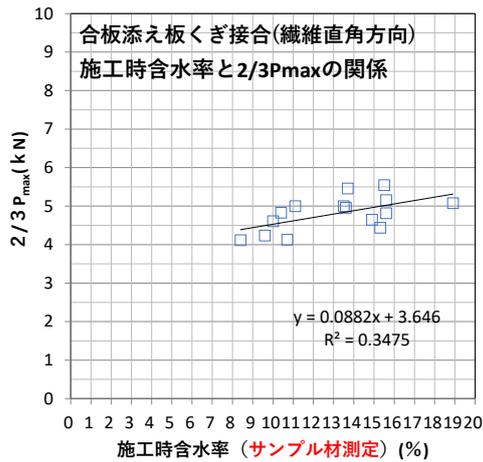


図 3.6.5-8 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

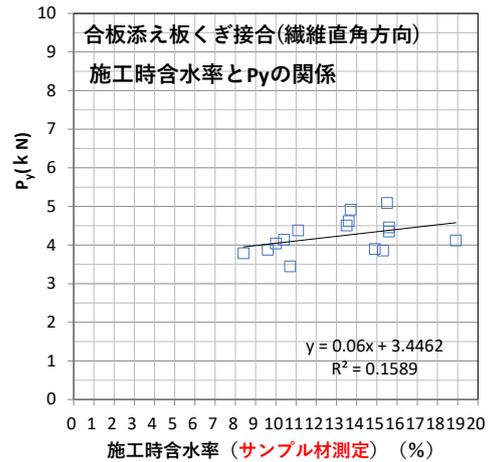


図 3.6.5-9 施工時含水率と P_y の相関

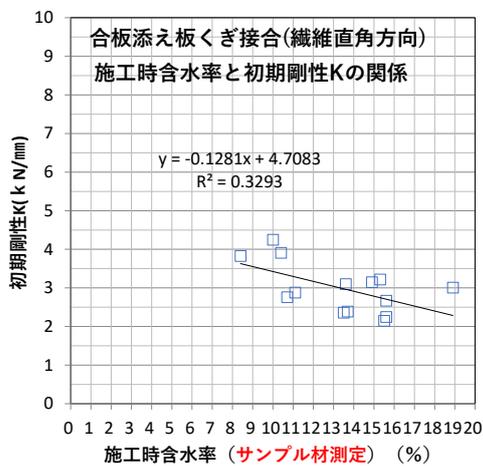


図 3.6.5-10 施工時含水率と初期剛性 K の相関

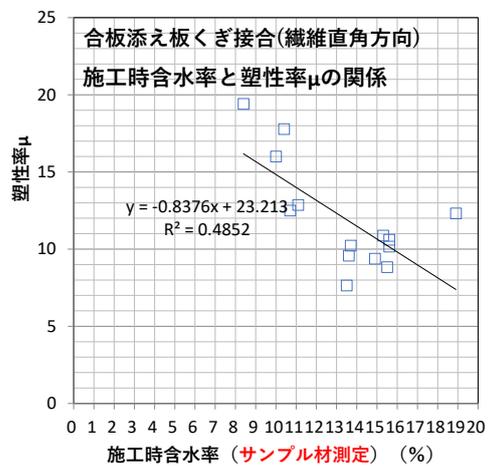


図 3.6.5-11 施工時含水率と塑性率 μ の相関

(3) 鋼板添え板ビス接合（繊維方向）

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.5-12～図 3.6.5-15 に示す。

$2/3P_{max}$ は施工時含水率が高いほど数値が低くなる傾向が若干見られた。

その他の特性値については、含水率によって傾向が見られるほどの違いは認められなかった。

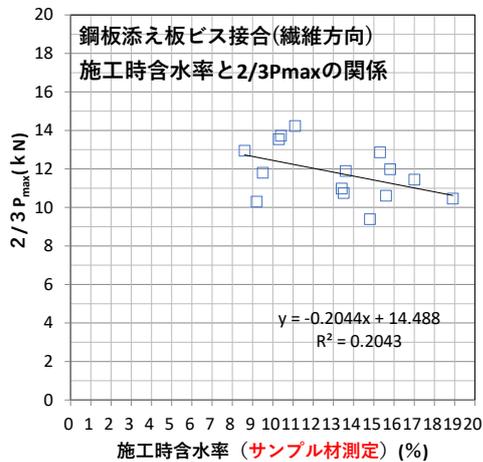


図 3.6.5-12 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

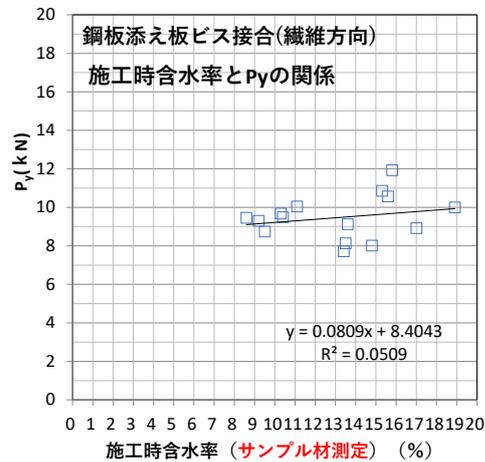


図 3.6.5-13 施工時含水率と P_y の相関

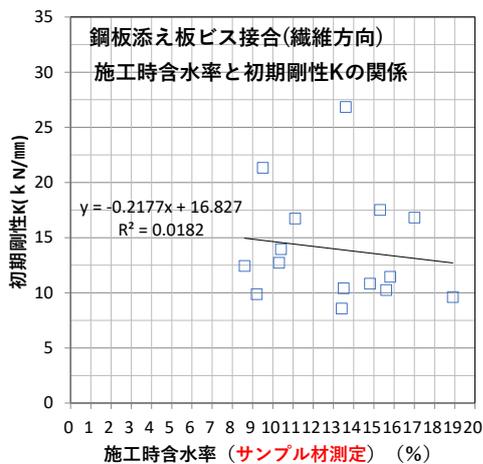


図 3.6.5-14 施工時含水率と初期剛性 K の相関

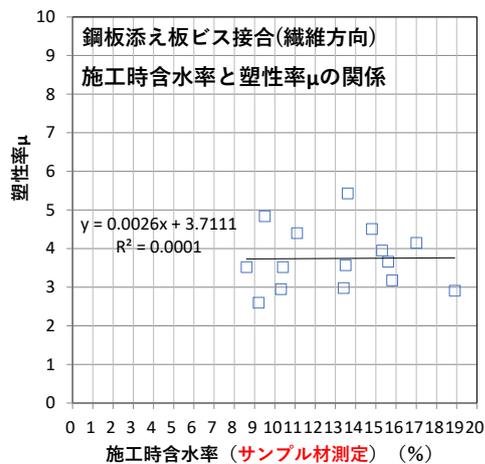


図 3.6.5-15 施工時含水率と塑性率 μ の相関

(4) 鋼棒挿入ドリフトピン接合（繊維方向）

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.5-16～図 3.6.5-19 に示す。

どの特性値も含水率によって傾向が見られるほどの違いは認められなかった。

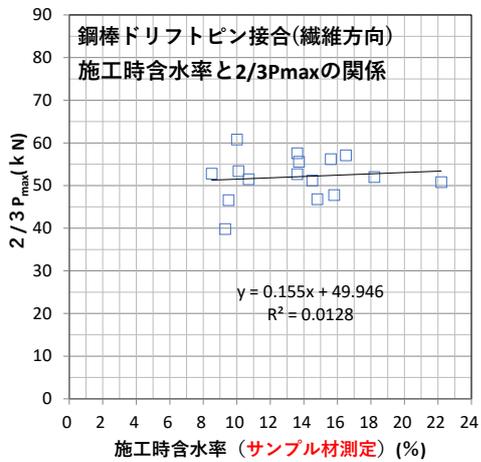


図 3.6.5-16 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

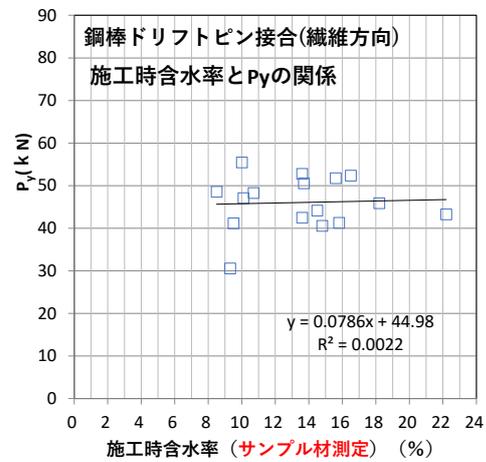


図 3.6.5-17 施工時含水率と P_y の相関

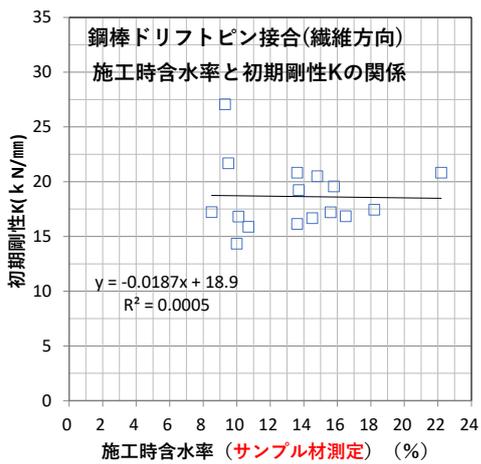


図 3.6.5-18 施工時含水率と初期剛性 K の相関

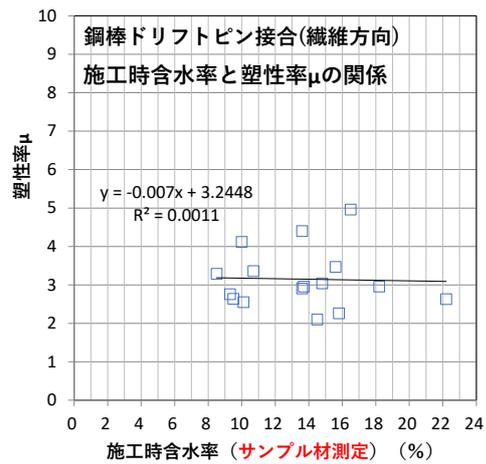


図 3.6.5-19 施工時含水率と塑性率 μ の相関

(5) 鋼板挿入ドリフトピン接合（繊維方向）

施工時含水率と特性値の相関を図 3.6.5-20～図 3.6.5-23 に示す。

塑性率 μ は施工時含水率が高いほど数値が高くなる傾向が見られた。

その他の特性値については、含水率によって傾向が見られるほどの違いは認められなかった。

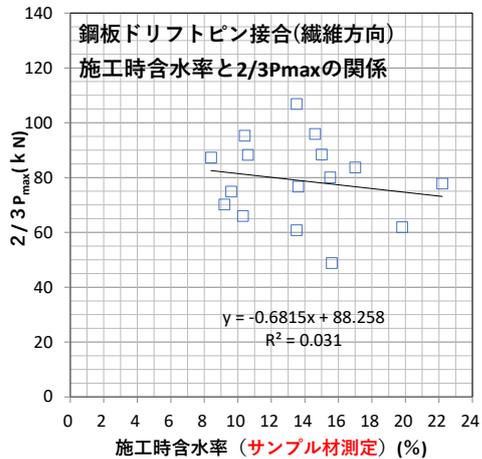


図 3.6.5-20 施工時含水率と $2/3P_{max}$ の相関

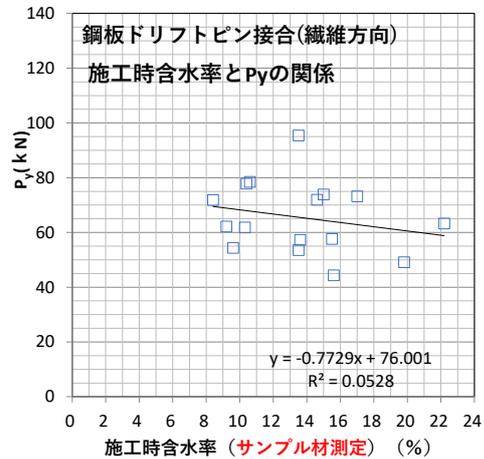


図 3.6.5-21 施工時含水率と P_y の相関

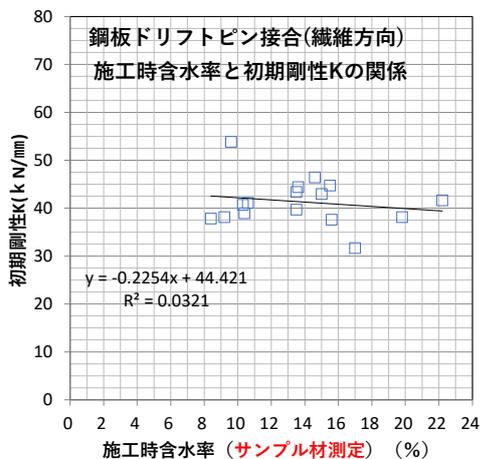


図 3.6.5-22 施工時含水率と初期剛性 K の相関

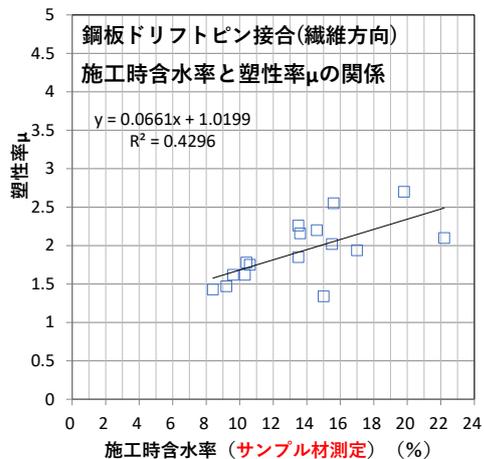


図 3.6.5-23 施工時含水率と塑性率 μ の相関

3.7. 接合部試験のまとめ

本検討では、構造用製材の施工時の含水率の違いが接合部の強度性能に与える影響について実験的な検証を行った。

(1) 施工時の含水率が強度性能に及ぼす影響

含水率は、試験後の試験体から採取した試験片の全乾法含水率から重量変化を加味した推定値とした。

含水率と強度性能特性値にある程度の相関が見られる特性値もあったが、個体差によるばらつきの影響を考えると、施工時の含水率の違いが強度性能に影響を及ぼしていると断定できるほどの差異は見られなかった。

(2) 試験体の破壊性状

鋼板添え板ビス接合、鋼板挿入ドリフトピン接合に脆性的な破壊が見られた。施工後の強制調湿処理（含水率が4%程度まで低下）の影響が考えられる。

(3) 木材表面の凹み量が初期剛性に及ぼす影響

合板添え板くぎ接合(繊維方向及び繊維直角方向)、鋼板添え板ビス接合の3仕様について、木材表面の凹み量を測定し、初期剛性と比較した。

施工時含水率が高いと凹み量が大きくなり、凹み量が大きいと初期剛性が低くなる傾向が見られた。

合板添え板くぎ接合(繊維方向及び繊維直角方向)は凹み量と初期剛性に一定の相関が見られたが、鋼板添え板ビス接合には相関が見られなかった。

(4) 多数本の影響についての検討

R3年度事業では要素試験を行っているので、この時の試験データとの比較を行った。(2)で述べたとおり鋼板添え板ビス接合が脆性的であったため、ビス1本あたりの強度性能は、R5年度事業の方が脆性的となった。

(5) 鋼板挿入ドリフトピン接合における木材収縮による割裂の発生状況

木材の収縮による割裂の発生は確認できなかった。

また、応力分布に影響を及ぼしている可能性もあるが、(1)で述べたとおり施工時含水率の違いによる接合部の強度性能の影響は認められなかった。

4. まとめ

令和4年度事業の「構造用製材の含水率の変化が強度に及ぼす影響の検証」で実施した含水率の変化による割れや収縮の測定試験では、試験材の調達から限られた時間の中で強制調湿及び自然調湿の下で観測を実施することとなり、強制調湿においては、一部に含水率が収束した試験材も見られ、割れ、寸法、収縮等の測定及び縦圧縮試験から、含水率の変化による割れや収縮等の変化について一定の傾向を観測することができたが、大多数の試験材で平衡含水率に達するまでには至らなかった。

構造用製材の乾燥割れ等による耐力低下等を検証するためには、使用条件下の平衡含水率より含水率が高い構造用製材が、使用条件下の平衡含水率まで含水率が低下した場合の割れ等の発生を明らかにすることが必要なことから、前年度に引き続き強制調湿及び自然調湿の下で平衡含水率以下にまで乾燥させ、割れや収縮等の変化を検証した。その結果、強制調湿では、調湿終了時には平衡含水率に到達したことから計測を行い、寸法変化については、調湿前の含水率及び試験材の材端部や中心部など測定部位により大きく異なるという結果が得られた。また、材面割れについては調湿の前後で大きく増減することはなかった。

一方、自然調湿については、約1年間の期間を経てほぼ平衡含水率に到達することが明らかになり、試験材の材端部及び中心部における寸法変化量では、含水率20%の心持ち正角乾燥材が自然調湿によって平衡含水率に達した場合、材端部では短辺が平均0.1mm程度、材端部から50cmの位置（中央）では平均1.0mm程度収縮することが示唆された。今後全乾法で含水率を測定すれば、より正確な値が得られることが期待される。また、材面割れについては、調湿の前後で大きく増減することはなかった。したがって、含水率20%の心持ち正角乾燥材が自然調湿によって平衡含水率に達した場合、端部の割れが増加する可能性は低いと考えられる。

また、接合部の強度の検証については、5種類の接合部の仕様について接合部の強度試験を行い、そのそれぞれで施工時の含水率の違いと接合部の強度性能の検証を行った。その結果、ある程度の相関が見られる特性値もあったが、施工時の含水率の違いが強度性能に影響を及ぼしていると断定できる差異は見られなかった。

本試験で得られた結果は、JAS構造用製材で一般的に生産・流通しているSD20の特性を知る上で有意なデータと考える。木造建築の設計者や建築事業者がこれらの特性を踏まえた部材の調達や構造設計を進め、木造建築物において積極的に構造用製材を活用していかれることを期待したい。また、JASや建築基準法令等を所掌する機関等が基準等を検討する際の基礎的資料として活用いただきたい。

本事業の実施に当たり、試験の企画、結果の分析、取りまとめをいただいた検討委員会委員長をはじめとする委員の皆様、調湿試験を実施していただいた北海道、栃木、静岡、石川、長野、兵庫、愛媛、熊本、大分、宮崎の各公設試験研究機関の皆様、接合部試験の実施及び結果の分析・取りまとめをいただいた（公財）日本住宅・木材技術センターの皆様に感謝いたします。

令和5年度建築用木材供給・利用強化対策のうち CLT・LVL 等の建築物への利用環境整備事業のうち CLT・LVL 等を活用した建築物の低コスト化の推進のうち CLT・LVL 等を活用した建築物の低コスト化・検証等事業

「構造用製材の含水率の変化による割れ等の発生及び接合部の強度の検証」

報 告 書

令和6年3月発行
一般社団法人全国木材組合連合会 編

