

日本木材学会

北海道支部講演集

第 50 号

平成 30 年 10 月

日本木材学会北海道支部

旭 川

日本木材学会北海道支部講演集

第50号

目次

<口頭発表> 13:35-15:05

- 0-1) 上川産ケヤマハンノキの材質評価…………… 1
○大崎久司, 村上 了, 秋津裕志, 佐藤真由美, 渡辺誠二 (道総研林産試)
- 0-2) ハイブリッド化による屋外木質構造物の高耐久化技術…………… 2
小林裕昇 (道総研林産試)
- 0-3) 水掛かり処理が木質複合軸材料及の力学特性に及ぼす影響…………… 6
○石原 亘, 古田直之, 大橋義徳, 高梨隆也 (道総研林産試),
李元羽, 成田敏基, 朴智秀 (全国 LVL 協会)
- 0-4) クリープ関数により評価したカラマツ CLT のクリープ限度…………… 10
○高梨隆也, 大橋義徳, 石原 亘, 松本和茂 (道総研林産試)
- 0-5) ブロック状の道産カラマツ CLT に作用する応力方向と各種強度の関係及び破壊性状に
関する実験的研究…………… 14
○横山梓織, 植松武是 (北海学園大学), 石原 亘, 大橋義徳, 高梨隆也 (道総研林産試),
掛 悟史 (竹中工務店)
- 0-6) 電気二重層キャパシタ用セパレータとしてのセルロースナノファイバー強化リグニン
ポリエステルフィルム…………… 18
○平良尚梧, 幸田圭一, 浦木康光 (北大院農)
- 座長 : 0-1~3 平間昭光 (道総研林産試)
0-4, 5 戸田正彦 (道総研林産試)
0-6 本間千晶 (道総研林産試)

<展示発表> 15:10-16:00

- P-1) 当麻町産材を活用した木製学習機の製作・管理支援について…………… 19
○伊藤洋一, 大西人史 (道総研林産試), 山田健四 (道総研森林研究本部)
- P-2) 針葉樹合板の寸法安定性に及ぼす単板積層数の影響…………… 21
○古田直之, 平林 靖 (道総研林産試)
- P-3) 30年間屋外使用された集成材の耐久性評価 (第1報) 採取部位ごとのせん断強度の比較…………… 25
○中村神衣, 古田直之, 宮崎淳子, 平林 靖 (道総研林産試)
- P-4) 長ビスを用いた道産CLT壁-床接合部のせん断性能…………… 29
○富高亮介, 戸田正彦 (道総研林産試)
- P-5) 道産きのこの孢子欠損型変異による食味の変化…………… 32
○齋藤沙弥佳, 米山彰造 (道総研林産試), 東 智則 (道総研本部), 佐藤真由美 (道総研林産試), 富山隆広 (㈱スリービー), 松本晃幸 (鳥取大農)
- P-6) 木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討 (2) -無機微量元素の含有量分析-…………… 33
○折橋 健, 安久津 久 (道総研林産試), 丹羽 忍, 大塚英幸 (道総研環科研)
- P-7) カツラ・ハルニレの組織培養を用いたクローン繁殖法の検討…………… 36
○玉木健也, 佐野雄三, 荒川圭太, 山岸祐介 (北大院農)

○大崎久司, 村上 了, 秋津裕志, 佐藤真由美, 渡辺誠二(道総研林産試)

【緒言】

上川総合振興局南部森林室では平成 27 年度より「地域森林資源利用推進プロジェクト事業」の中で、後継樹の育成方法、間伐による優良木の育成方法、間伐した材の家具用材等への有効利用方法を検討している。林産試験場では南部森林室からの受託研究（平成 29 年度）として、林道沿いに多く自生し、日照を妨げるため林道維持の支障木として伐倒する一方、現状ではパルプ材での利用がほとんどとなっているケヤマハンノキについて、造作材としての利用を想定し材質評価に取り組んだので報告する。

【実験方法】

東川町の道有林上川南部管理区 109 林班で供試木 14 個体を選定し伐採した。長さ 3m で 3 番玉まで玉切りし、1・2 番玉は材質試験に、3 番玉は造作材の性能試験に供試した。供試木は胸高直径に基づき 3 つに区分した（表 1）。高さ 3m 部位の円板で年輪幅測定、1, 2 番玉原木で強度試験、収縮率試験（JIS Z 2101 準拠）、および 3, 4 番玉原木で造作材利用を想定した木ねじ引き抜き試験（JIS A 5908 準拠）と接着力試験（集成材 JAS 準拠）を行った。

【結果および考察】

得られた原木は径級 18~24cm が中心で、合計材積は 6.9m³であった。年輪幅の推移から将来の直径成長を予測すると、現在樹齢 40 年で 1 番玉末口径は 22~26cm だったが、80 年で 34~40cm の 1 番玉が出材されると推測された（図 1）。

曲げヤング率の平均は 9.5GPa で、過去に実施したシラカンバ、ヤチダモと比較すると、年輪幅や樹心からの距離によるヤング率の変動は小さく（図 2）、早く肥大成長した場合でも造作材として利用が可能であると思われた。

造作材を想定した木ねじの引き抜き試験を行ったところ（写真 2）、いずれの試験体も、JIS の基準（パーティクルボード）の 0.5kN を超え、十分な木ねじ保持力を有していた。また、集成材の接着力試験の結果も 13.3MPa と JAS のカバの基準値 9.6MPa を超えるものであり、今回のケヤマハンノキは造作材として利用が可能であると思われた。

表 1 供試木の区分

区分	優勢木	標準木	劣勢木
胸高直径(cm)	34以上	32~28	26以下

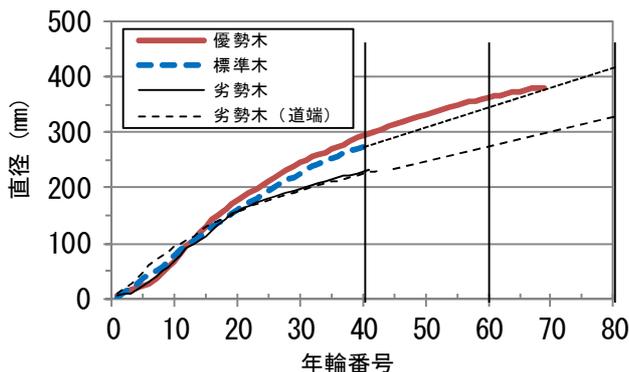


図 1 直径の推移と予測（3m 高さ）

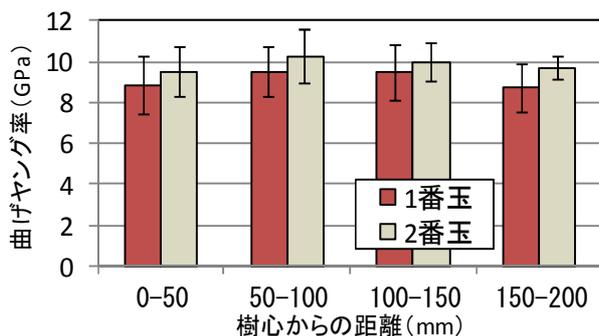


図 2 樹心からの距離による曲げヤング率の変化



写真 1 搬入したケヤマハンノキの原木



写真 2 木ねじ引き抜き試験

O-2 ハイブリッド化による屋外木質構造物の高耐久化技術

○小林 裕昇（道総研林産試）

はじめ

屋外木質構造物の耐久性向上には、腐朽に強い樹種を用い、適切な防腐処理を行うことが効果的である。しかし、樹種によって耐朽性能のランクは異なり、また防腐薬剤の注入性の悪い樹種も存在する。そこで、雨水の滞留や吸水による劣化を抑制する「設計」や接合金具の使用による構造のハイブリッド化、またはこれら両方を併用することで、樹種や防腐薬剤に左右されない屋外木質構造物の耐久性向上を図る技術開発を行った。

耐久性向上のポイントとなる箇所は、柱の地際部と柱頭部、床梁と床材の取り付け部位、そして構造部材への非構造部材の取り付け部位である。

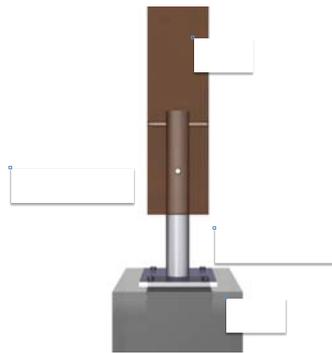
1. 柱脚部のハイブリッド化

木製支柱の脚部は、防腐処理を施していても地面と接する部分の腐朽を避けることはできない。また、表面から均一に腐朽するだけではなく、地際部付近の微細な割れなどから菌が侵入し、内部が腐朽することもある。そこで、支柱脚部は地面に接触させず、地盤面より上の位置で基礎と柱を固定する接合金具Aを考案した（写真1）。

地際側の柱脚木口にφ50mmの開口を設け、φ48.6mmの鋼製丸パイプとベースプレートで構成された金具を挿入し、ドリフトピン2本を十字に交差するように用い、固定する（図1）。木柱の下端は、地盤面より30mm～50mm程度上がった位置（任意）とする（写真2、3）。



【写真1 接合金具A】



【図1 接合金具の納まり】



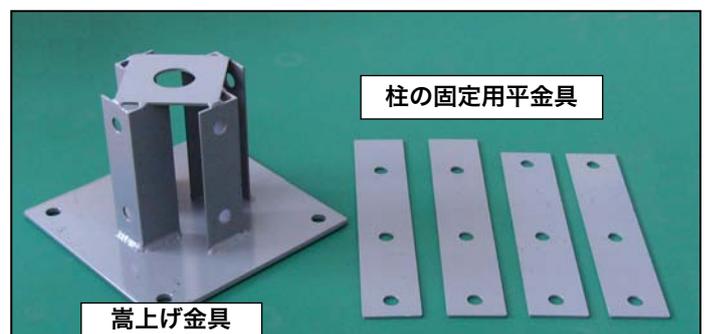
【写真2 施工の様子】



【写真3 埋め戻し後の様子】

木口に開口を設ける加工機械がない場合を考慮し、単純に地盤面より柱を持ち上げるのに必要な高さを確保する接合金具Bも提案する。

この金具は地際部が腐朽した柱の補修に用いることを前提として開発したが、新規構造物への応用も可能である。金具は、柱を地盤面より持ち上げる「嵩上げ金具」と支柱と金具を固定する「固定用平金具」で構成される（写真4）。接合金具Bを用いて補修作業を行った様子を、写真5～7に示す。



【写真4 接合金具B】



【写真5 腐朽した脚部と柱撤去後に金具を設置した様子】



【写真6 柱を設置し平金物で固定】



【写真7 補修終了後の様子】

2. 柱頭部への保護部材取り付け

柱頭部の木口面は、板目面や柾目面と比べ水分の吸収率が高く劣化が進みやすい部位である。構造によっては木口面が直接見えず、気がついたときには劣化が進行している場合もあり、柱を保護するという観点から、柱脚部の耐久性向上だけでなく、水分などの外的劣化要因から柱頭木口面の保護措置をとることが重要と考える。

そこで柱頭部には、柱と同寸または一回り大きい部材を50mm程度の厚さに裁断し木口面に木ダボを用いて取り付け、保護部材とする（写真8）。木口への取り付けはφ10～15mm程度のダボを用い、本数は2～3本とする（写真9）。固定には屋外での使用のため、「水性高分子-イソシアネート系接着剤（水性ビニルウレタン）」などの接着剤を使うことが望しい。部材の大きさは木口が隠れる程度でよく、木口面と部材は密着させず2～3mmの隙間を設けるものとする。

保護部材は、柾目あるいは板目材から製作する。なおコストダウンから、保護する柱材が正角材である場合、その端材を使用しても良いが、心持ち材では割れを生じるため必ず心去り材を使用する。

木口保護については、薄鉄板や再生ゴムの成形品、プラスチックカバーなどの既製品を使っている場合もあるが、異種部材で目立つことからイタズラの対象となることも多いようである。本提案では木の柱に木製の部材を取り付けることから違和感がなく、一体感のある納まりとなっている（写真10）。



【写真8 柱頭の保護部材】



【写真9 固定用のダボ】

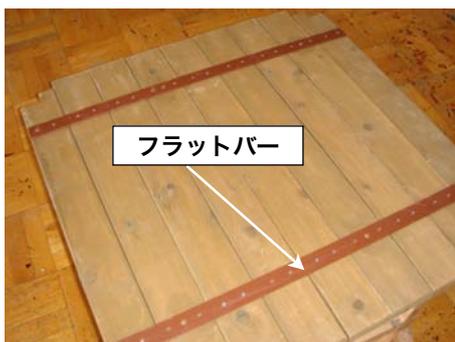


【写真10 遊具への応用事例】

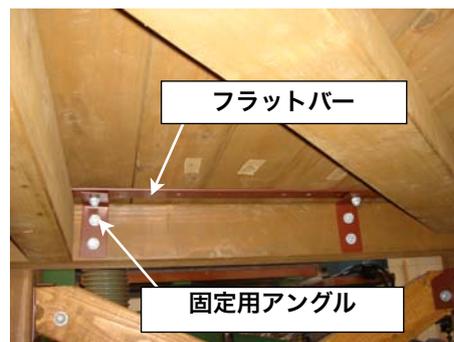
3. 構造材である床梁の劣化要因の低減について

床板は子供たちが土足で上がって遊ぶため摩耗などの劣化が進むが、単体として交換しやすい部位のため、維持管理上の大きな手間はなっていない。一方、床板と床梁の接触面は直接目視できない部位であることから、補修時に劣化が確認される事例が多い。これは梁材に床板を木ねじ（釘）などにより固定するため、狭い間隔で無数のねじ（釘）穴が開き、そこに雨水などが浸入し腐朽を誘発していると推測される。そこで、あらかじめ床の基本モジュールをユニット化し、梁材へは固定金具を用いて取り付ける納まりを考案した。

床面は裏側から鋼材（フラットバー）と木ねじでユニット化（写真11）を図り、梁に取り付けた金具（固定用アンクル）を介して床梁に固定する（写真12）。床材と梁材が接触する部分にはスペーサーを挟み込み、なるべく点に近い形で接触するように考慮するものとする。この納めとすることにより、主要構造部である梁の損傷を最小限とし、木ねじ（釘）が床表面に露出しない耐久性の高い床構造（写真13）を得ることが出来る。



【写真11 床のユニット化】



【写真12 床梁への取り付け (床下)】



【写真13 釘が見えない床面】

4. 主要構造部への非構造部材の取り付け

木質構造に使われる継手や仕口は非常に優れた接合技術であるが、使用する部位が屋外である場合には水が滞留せず排水され易い細工や納まりにするなどの工夫が必要である。また、防腐薬剤処理木材の高い耐久性能と長期安全性を担保するために、腐朽や劣化を誘発する恐れのある欠損部（接合部の仕口や、釘やねじを使用したときに生じる穴など）を、接合金具を用いることで出来る限り少なくすることも必要と考える。

これらの考え方から、主要構造部材に手摺などの非構造部材を取り付ける場合には手摺の交換や補修、柱への固定方法についても考慮することが重要となる。写真14は、柵状構造物などでよく見る支柱に手摺の横木を差し込んだ納まり事例で、四阿（あずまや）などの手摺にも良く用いられているが、柱への横木の差込み口から腐朽するケースが多くあり、また補修時に交換を要しない部分にも解体の手間が及ぶことも考えられる。

そこで手摺の基本モジュールをユニット化（写真15）し、柱への取り付けは金具を用いて固定（写真16）することで、補修交換を容易にするとともに主要構造部である柱の耐久性向上を図った。

なお、柱頭部に保護部材を取り付けたコンセプトに倣い、干割れなどが発生しやすい水平部材（手摺上面部）に対し笠木を取り付け（写真17）、手摺ユニットの耐久性の向上も併せて図る。笠木の納まりは、雨水などの影響を受けない横木下部から木ねじで固定し、笠木自体が劣化した時には交換できるよう考慮した。



【写真14 支柱への手摺取付け事例】



【写真15 手摺のユニット化】



【写真16 金具を用いた手摺の取り付け】



【写真17 水平部材（手摺）の保護】

5. 木製ハイブリッド遊具の試作

本技術のコンセプトや各部納まり詳細・構造について、施工性・耐久性・ライフサイクルコストなどを検証するため木製遊具の試作を行い、旭川市内の保育所に設置した。遊具の各部に接合金物を併用したことから、本遊具の名称は「木製ハイブリッド遊具（以下、ハイブリッド遊具とする）」とする。

2010年設置のハイブリッド遊具（写真18）は、木製支柱の受ける水平力を遊具中央部に設けた8本の鋼製支柱のコアが負担することで、筋かいの必要ない構造とした。また、主要構造部である柱、梁、床材には、防腐剤を加圧注入した道南スギと道産トドマツを使用しているが、ハイブリッド構造の耐久性評価のため、防腐剤を注入していない無処理材を三角屋根の頂点を境にして左側の各種部材に使用した。

2012年設置のハイブリッド遊具（写真19）では、コストダウンのため鋼製支柱によるコア構造を廃止し、筋かいを設ける構造とした。

また床板のユニット化は、本遊具から採用した。



【写真18 ハイブリッド遊具2010年】



【写真19 ハイブリッド遊具2012年】

6. ハイブリッド遊具の劣化調査

2010年に設置したハイブリッド遊具が移設（写真20）されるのに伴い、柱脚部の劣化調査を2018年6月に実施した。調査は支柱を固定していたボルトを基礎から外した段階で、目視と触診にて行った。スギの未処理材（写真21）およびトドマツの未処理材（写真22）には、腐朽が全く見られず、乾燥した状態であることが確認された。これに伴い、2012年設置のハイブリッド遊具の柱頭部、ユニット化した床が取り付けであった床梁についても同様に劣化調査を実施し、腐朽が発生していないことを確認した（写真23、24）。

以上の事から、耐久性能向上に関する本技術の有効性は高いと考えられ、今後も劣化調査は継続して実施する予定である。



【写真20 遊具移設の様子】



【写真21 スギ柱脚部】



【写真22 トドマツ柱脚部】



【写真23 柱頭部】



【写真24 床梁】

まとめ

木材は、ちょっとした一工夫で耐久性能が飛躍的に向上する。本技術に難しいところの一つもなく、防腐薬剤処理された木材と表面保護塗料を併用することにより、屋外木質構造物の更なる耐久性能向上を図るものであり、多くの林業・林産関係者や一般ユーザーへ周知されることで、木材の需要拡大に弾みが付くと考える。

なお、本技術は林産試験場ホームページで公開されており、誰でも自由に活用が可能である。

※林産試験場ホームページ掲載URL

<http://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/manual/mokuyugu/mokuyugu.htm>

【参考文献】

- ・遊具の安全に関する規準（JPFA-S:2008） 社団法人日本公園施設業協会
- ・（社）日本建築学会：”建築設計資料集成3 単位空間I” （社）日本建築学会編、丸善（1980）
- ・遊具事故防止マニュアル 松野敬子 山本恵梨（2006）

(道総研林産試) 石原 亘, 古田直之, 大橋義徳, 高梨隆也
(全国 LVL 協会) 李元羽, 成田敏基, 朴智秀

【緒言】

木質 I 形梁のような木質複合軸材料を構造部材として使用するためには、建築基準法第 37 条が定める国土交通大臣認定を受ける必要があり、認定の取得に際しては建設省告示第 1446 号（以下、告示）に則って性能評価を行う必要がある。様々な性能評価項目の一つに現場施工中の雨水等の事故的な水掛かりを考慮した調整係数があり、現行の評価法では、水掛かりの調整係数は 72 時間の片面散水処理によって求めることとされている¹⁾。北海道立総合研究機構林産試験場（以下、林産試験場）が携わった過去の木質複合軸材料の認定事例では、散水よりも処理が簡便で評価は安全側と考えられる浸せき処理により評価された例^{2,3)}があるが、処理方法の違いが調整係数に与える影響を検討した事例はない。

また、告示では事故的な水掛かりの評価を曲げ試験（最大曲げモーメント及び曲げ剛性）、せん断試験（せん断強さ及びせん断弾性係数）、めり込み試験（めり込み強さ）によって求めるものとしているが、これらの規定については同等以上の評価方法が許容されているため、過去の認定事例では水掛かりの影響を受けやすく、試験体寸法が比較的小さく処理の行いやすいせん断試験によって調整係数を求めている。しかし、I 形梁の実際の使用に当たっては様々な荷重条件が考えられるため、曲げ試験及びめり込み試験についても調整係数を求め、水掛かりの影響を検証することが望ましい。

さらに、木質 I 形梁の実大材の水掛かり処理については、設備面を含めて多くの労力が必要となるが、材料を構成するエレメントと実大材の水分作用による劣化の関係が明確になれば、エレメントの劣化評価のみから材料全体の劣化を予測できる可能性がある。

以上の背景から、本報では LVL と OSB から構成される木質 I 形梁について、散水処理及び浸せき処理による水掛かり処理を行い、各強度試験（曲げ試験、せん断試験、めり込み試験）によりそれぞれについて調整係数を求めた。また、同 I 形梁を構成するエレメント（LVL、OSB）についても、要素試験として散水処理及び浸せき処理を行い、水掛かりの調整係数を求めることとし、実大材より得られた調整係数との比較を行った。

【試験体及び試験方法】

〔試験体〕

試験に用いた木質 I 形梁（以下、実大材）の断面形状は、幅 53 mm、材せい 302 mm である。フランジの材料は厚さ 35mm、幅 53 mm の LVL を、ウェブの材料は厚さ 9.5mm の OSB を使用した。I 形梁の断面概略を図 1 に、構成要素である LVL 及び OSB の規格を表 1 に示す。I 形梁の組立は、レゾルシノール樹脂接着剤を使用した。実大材の試験体数は、実施した全ての強度試験（曲げ、せん断、めり込み（材中央部、材端部））で、各処理条件（無処理試験体（以下、コントロール）を含む）につき 12 体とした。なお、実大材の曲げ試験体については、LVL を同一原板からサイドマッチングして作製し、せん断及びめり込み試験体については、長さ 5750 mm の I 形梁からエンドマッチングにより作製した。

要素試験は、実大材に用いたものと同一規

格の OSB、LVL（以下、エレメント）を用いて行った。要素試験の試験体数は実大材と同様に、実施した全ての強度試験で、コントロールを含む各処理条件につき 12 体とした。

〔水掛かり処理〕

水掛かり処理の方法は、散水処理と浸せき処理の 2 種類により行った。

散水処理は告示に則り 72 時間の片面散水とした。実大材の処理にあたっては汎用的な散水機 2 台、エ

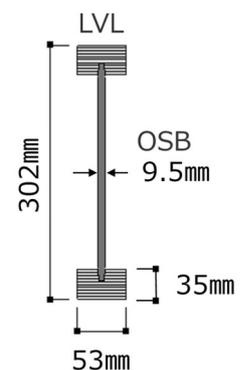


図 1 I 形梁の形状

表 1 構成要素（エレメント）の規格

材料	樹種	厚さ	規格等
LVL	国産カラマツ	35mm	構造用LVL・JAS1級、120E、50V-43H
OSB	アスペン	9.5mm	構造用パネル・JAS4級

レメントの処理にあたっては散水機 1 台を用いて屋外にて実施し、試験体の周囲 4 か所に雨量計を設置した。実大材の散水処理における散水量は平均して 50~55 mm/h 程度、エレメントの散水処理における散水量は平均して 30~40 mm/h であった。告示では散水量に関する規定はないが、これらの散水量を雨量とした場合、気象庁の予報用語における“激しい雨”若しくは“非常に激しい雨”に該当するため、十分な散水量であると考えられた。実大材における散水処理の様子を図 2 に示す。



図 2 実大材（曲げ試験体）の散水処理

実大材の浸せき処理は、浸せき槽（長さ 600cm，幅 100cm，深さ 50cm）を作製し、試験体を槽内に設置後、これに湛水させることにより行った。エレメントの浸せき処理は、恒温水槽を用い行った。いずれも、常温水中において 72 時間浸せきさせた。実大材における浸せき処理の様子を図 3 に示す。



図 3 実大材（曲げ試験体）の浸せき処理

なお、実大材においては、散水処理及び浸せき処理前後に各試験体の重量を測定した。これらの差より、みかけの吸水量を測定した。表 2 に各条件における吸水量を示す。浸せき処理は散水処理と比較し、約 2 倍の吸水があったと推定された。

実大材、エレメント共に、水掛かり処理を行った試験体は、処理前重量を下回るまで乾燥機等で乾燥させた。乾燥後は、無処理試験体と共に、20℃ 65%RH 環境下にて恒量になるまで約 1 か月間養生し、養生後に以下の各強度試験に供した。

〔曲げ試験〕

実大材の曲げ試験の荷重方式は 3 等分点 4 点荷重とし、試験スパンは 5436mm（梁せいの 18 倍）とした。荷重点及び支点の支持長さはともに 200mm とした。

エレメントの曲げ試験については、フランジを構成する LVL（平使い）について行った。試験は JAS に則り、試験スパンを厚さの 21 倍(735mm)とした 3 等分点 4 点荷重とし、試験体寸法は 35×35× 805mm とした。

〔せん断試験〕

実大材のせん断試験の荷重方式は中央集中荷重方式とした。但し、荷重点のめり込みを防止し、せん断破壊が卓越するように載荷板の幅を 300 mm とした。試験スパンは、予備的検討を基に、せん断破壊が卓越するように支点間距離 1600mm（梁せいの約 5.3 倍）とし、支点の支持長さは 130mm とした。ウェブの継ぎ手部がせん断破壊の決定要因となるため、告示のとおり片側せん断区間の中央に配置させた。

エレメントのせん断試験は、LVL と OSB について行った。LVL については JAS に則り中央集中荷重方式とし、支点間距離は厚さの 4 倍(140mm)，試験体寸法は 35×35×210mm とした。OSB については合板の JAS に規定されている Edgewise Shear 法に準じ面内せん断試験を行い、試験体寸法は 85×255mm とした。OSB の面内せん断試験の様子を図 4 に示す。

〔めり込み試験〕

めり込み試験については、加力点が材中央にある場合と材端部にある場合では大きく耐力が異なることから、実大材、エレメント共に両方について実施した。実大材の試験体長さについては、告示では梁幅

表 2 各処理方法における試験体の吸水量

処理方法 試験体タイプ (試験体長さ(mm))	散水処理			浸せき処理		
	曲げ (5636)	せん断 (1800)	めり込み (600)	曲げ (5636)	せん断 (1800)	めり込み (600)
平均吸水量(kg)	5.3	1.6	0.6	10.5	3.2	1.1
変動係数(%)	9.7	9.1	11.7	5.3	6.9	7.5



図 4 OSB のせん断試験

の3倍と例示されているが、梁幅の小さなI形梁では、梁せいに対して試験体が短くなってしまい割裂するおそれがあるため、試験体長さを600mmに設定した。加圧長さは、材中央部では204材を想定した89mm、材端部では根太受け金物の掛かり長さを想定した45mmとした。めり込み強さは、最大荷重もしくはは辺長の5%まで加力した時の荷重によって評価した。

エレメントについてはLVL(平使い)について試験を行った。試験体寸法は35×35×140mm、加圧用鋼材の幅は35mmとした。めり込み強さは辺長の5%まで加力した時のめり込み応力によって評価した。

【結果および考察】

〔実大材の試験結果〕

実大材における各強度試験の結果及び得られた調整係数を表3に示す。処理方法による調整係数の明確な差異は見られなかった。

表3 実大材における強度試験の結果及び調整係数

強度試験項目		曲げ試験		せん断試験		めり込み試験	
特性値		M_{max} (kN・m)	EI_{app} (kN・m ²)	Q_{max} (kN)	EI_{app} (kN・m ²)	(材中央部) F_{cv} (kN)	(材端部) F_{cv} (kN)
無処理 (コントロール)	Ave	16.8	840	20.0	433	28.5	13.6
	CV(%)	7.0	7.9	11.9	4.4	6.6	9.9
散水処理	Ave	16.4	797	17.4	387	28.4	12.7
	CV(%)	9.5	7.1	16.9	4.4	5.0	8.1
	Ratio	0.97	0.95	0.87	0.89	1.00	0.94
浸せき処理	Ave	17.9	782	16.8	362	27.2	12.8
	CV(%)	7.6	7.6	13.5	5.8	5.9	8.0
	Ratio	1.07(1.00)	0.93	0.84	0.84	0.95	0.95

※ M_{max} :最大曲げモーメント, EI_{app} :見かけの曲げ剛性, Q_{max} :最大せん断力, F_{cv} :めり込み強さ, Ave:平均値, CV:変動係数, Ratio:調整係数

実大材の曲げ試験における破壊形態は、コントロールにおいて12体中9体が、散水処理試験体において12体中9体が、浸せき処理試験体において12体中10体が、圧縮側での破壊を示した。破壊形態の例を図5に示す。



図5 実大材の曲げ試験の破壊例

せん断試験における破壊形態は、コントロールにおいて12体中10体がウェブの継手部分の破壊を伴うせん断破壊を示した。また、2体は座屈破壊したためにデータから除外した。散水及び浸せき処理試験体においては、各12体中11体がウェブの継手部分の破壊を伴いせん断破壊を示したが、各条件1体ずつはウェブの継手の無い側でせん断破壊を示した。破壊形態の例を図6に示す。



図6 実大材のせん断試験の破壊例

めり込み試験においては、フランジ部分のLVLがめり込みにより



図7 実大材のめり込み試験の破壊例

降伏する他に、フランジ中央部の割裂を伴う破壊や、ウェブの座屈や圧縮など、多岐に渡る破壊形態が観察された。めり込み試験時の破壊形態の例を図7に示す。

なお、試験体の平均含水率は、マッチング試験体（無処理）で9.2%、散水処理試験体で11.0%、浸せき処理試験体で11.8%であり、水掛かり処理により吸湿しやすくなる傾向が看取された。

〔エレメントの試験結果〕

エレメントにおける各強度試験の結果及び得られた調整係数を表4に示す。なお、各試験における特性値の計算に当たっては水掛かり処理前の試験体寸法に基づいた。

表4 エレメントにおける強度試験の結果及び調整係数

エレメントの種類		LVL(平使い)				OSB(強軸)	
		強度試験項目		曲げ試験	せん断試験	めり込み試験	面内せん断試験
特性値		E_b (kN/mm ²)	σ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	(材中央部) $\sigma_{5\%}$ (N/mm ²)	(材端部) $\sigma_{5\%}$ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)
無処理 (コントロール)	Ave	12.9	63.8	7.51	9.1	5.6	8.11
	CV(%)	10.9	22.2	7.3	12.7	12.4	8.9
散水処理	Ave	11.7	55.8	7.20	7.1	5.0	6.04
	CV(%)	10.0	17.3	10.8	15.9	13.9	16.2
	Ratio	0.91	0.87	0.96	0.78	0.88	0.74
浸せき処理	Ave	12.4	62.2	6.88	7.2	5.0	5.22
	CV(%)	11.6	20.2	10.0	12.0	15.6	7.7
	Ratio	0.96	0.97	0.92	0.78	0.89	0.64

※ E_b :ヤング係数, σ :曲げ強さ, τ :せん断強さ, $\sigma_{5\%}$:5%変形時のめり込み応力,
Ave:平均値, CV:変動係数, Ratio:調整係数

エレメントの破壊形態については、LVLのせん断試験においてせん断の他に曲げ破壊がみられ、全試験体のうち、26体がせん断破壊、10体が曲げ破壊であった。

エレメントについては、水掛かり処理直後及び養生後の重量より含水率を算出した。養生後の無処理試験体の含水率はLVLが10.1%、OSBが10.0%であったが、水掛かり処理後の試験体の含水率は、散水処理でLVLが12.7%、OSBが13.3%、浸せき処理でLVLが12.4%、OSBが12.7%となり、実大材と同様に水掛かり処理により吸湿しやすくなる傾向が看取された。

〔まとめと考察〕

散水処理と浸せき処理を比較すると、処理直後の吸水量に差はあるものの、強度試験の結果については実大材、エレメント共に顕著な差はなく、浸せき処理が散水処理の代替となり得ることが示唆された。また、実大材において、曲げ及びめり込み試験より得られた調整係数は、せん断試験により得られた調整係数より概して高く、後者で得られた調整係数を曲げ性能にも適用すると使用条件が必要以上に制限される可能性がある。

また、実大材とエレメントの試験結果を比較すると、概略的には実大材よりもエレメントで評価をする方が安全側となる可能性が示唆された。しかしながら、特にせん断試験やめり込み試験などで得られた調整係数については、両者の値に隔たりがあった。この要因としては、実大材の破壊モードとエレメントの破壊モードが異なる場合が多かったことが挙げられる。実大材の破壊モードを適切に表現するために、エレメントの強度試験に関するデータの更なる拡充と、要素試験の調整係数から実大材の係数を予測する計算手法の検討が求められる。

【参考文献】

- 1) 日本ツーバイフォー協会：“枠組壁工法・建築物構造計算指針”丸善(2007)
- 2) 大橋義徳, 戸田正彦, 藤原拓哉, 佐藤 司, 平井卓郎：木材学会誌 56(1), 9-16(2010)
- 3) 大橋義徳, 松本和茂：日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 47-49(2009)

O-4 クリープ関数により評価したカラマツ CLT のクリープ限度

○高梨隆也，大橋義徳，石原亘，松本和茂（道総研林産試）

1. はじめに

CLT を含む新規木質材料の性能の基準化に向けては，材料強度等のデータ収集が求められる。その中には長期材料性能データの収集も含まれ，その結果をもとに荷重継続時間 (DOL)の調整係数 (初期の強度に対する，設定した期間が経過した後の強度の比)が定められる。

同係数を実験により求める方法は平成 12 年建設省告示第 1446 号に示されている (以下，告示法とする)。これは，1 を超えない範囲内の数値 (応力レベル)を 3 以上選択し，サイドマッチング用試験体で求めた力学特性値 (曲げ強さやせん断強さ等)に応力レベルを乗じた応力値に対応する荷重を継続させ，破壊に至るまでの時間を記録するという方法である。この方法は，断面寸法が 1 インチ×1 インチのベイマツ試験体での試験¹⁾を基にしており，文献中では応力レベル y と荷重継続時間 x (秒)の関係は Madison Curve と呼ばれる以下の式で表されている。

$$y = \frac{108.4}{x^{0.04635}} + 18.3 \quad (1)$$

式 (1)において，応力レベル $y=0.7$ に対応する x は約 100 日， $y=0.6$ に対応する x は約 28 年となり，この手法を用いた試験では，応力レベルの選択次第で試験に要する期間が著しく長期間となることが起こり得る。7 層 7 プライのカラマツ CLT を対象とした告示法による実験²⁾では，試験終了までに 300 日程度を要する試験体もあった。

この問題を解決するものとして，弾性変形に対するクリープ変形の割合を「クリープ関数」と定義して，応力レベルとの関係からクリープ限度を求める方法³⁾が提案されており，実大製材や集成材⁴⁾，単板積層材^{5,6)}，スギ CLT⁷⁾において，その試験方法の有効性が確認されている。本研究では，7 層 7 プライのカラマツ CLT で面外曲げクリープ試験を行い，クリープ関数の適用可能性を検討した。

2. 試験方法

2.1. 試験体

試験対象とする CLT は強度等級が Mx120 の 7 層 7 プライカラマツ CLT とした。試験体の寸法は幅 300 mm×厚さ 210 mm×長さ 4610 mm とした。親となる CLT パネルは連続式グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数により機械等級区分されたラミナ (断面寸法: 厚さ 30 mm×幅 105 mm)を用いて製造されたもので，外層には曲げヤング係数が 11~13 kN/mm²となるラミナを，内層には 6~11 kN/mm²となるラミナを用いた。ラミナのたて継ぎおよび積層接着には水性高分子イソシアネート系接着剤を用いたが，ラミナの幅はぎ接着は行っていない。

試験体数は，面外曲げクリープ試験での載荷荷重の基準値を決定するための短期強度試験用に 11 体，面外曲げクリープ試験用に 18 体とした。

2.2. 短期強度試験

面外曲げクリープ試験での載荷荷重の基準値を決定するために，実大木材強度試験機 (最大曲げ能力 200 kN)を用いて短期強度試験を行った。試験方法は，支点間スパンを試験体厚さの 21 倍 (4410 mm)とした 3 等分点 4 点荷重方式による面外曲げ試験であり，最外層ラミナの向きが試験体の長さ方向に平行になるようにして加力した。試験開始から最大荷重到達までの時間は約 5~7 分であった。その時の最大荷重は平均値 76.4 kN，最小値 66.6 kN，最大値 95.4 kN，標準偏差 8.5 kN であった。面外曲げクリープ試験の基準載荷荷重は最大荷重の平均値 76.4 kN を採用した。

2.3. 面外曲げクリープ試験

面外曲げクリープ試験は温度 20°C、相対湿度 65% に設定された恒温恒湿室内に設置された長期載荷装置を用いて行った。本載荷装置はモーメントアームの先端に吊り下げられた錘重量の約 17 倍の荷重が試験体に載荷される機構となっている。

荷重条件は短期強度試験と同一条件 (図 1) とした。載荷荷重 P は、基準載荷荷重 (76.4 kN) の 25.0, 30.0, 32.5, 35.0, 37.5, 40.0, 42.5, 45.0, 47.5, 50.0, 52.5, 55.0, 57.5, 60.0, 62.5, 65.0, 70.0, 80.0% とした。以後、載荷荷重と基準載荷荷重 (76.4 kN) の比を推定荷重比とする。試験体数は各推定荷重比に対して 1 体とした。スパン中央のたわみ量は試験体側面に取り付けられた全スパンヨークと変位計 (容量 100 mm) を用いて計測した。載荷完了直後のたわみと、載荷完了後 1, 10, 50, 100, 200, 300, 400, 500 時間経過後のたわみを記録し、次式に代入してクリープ関数を求めた。

$$\text{クリープ関数} = \frac{\delta_t - \delta_0}{\delta_0} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 δ_0 : 載荷完了直後のたわみ、 δ_t : 載荷完了後 t 時間経過後のたわみ。

載荷期間中に破壊に至らなかった試験体では、載荷完了後 500 時間を経過したところで除荷し恒温恒湿室内に 7 日間静置したのち、短期強度試験と同一の条件で曲げ破壊試験を行って最大荷重を記録した。それぞれの試験体について、長期載荷荷重とここで記録された最大荷重の比を実荷重比とした。試験終了後に測定した全乾法による含水率の平均値は 10.1% で標準偏差は 0.2% であった。

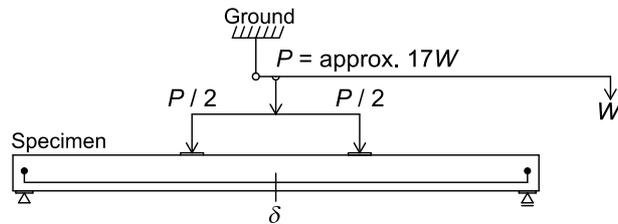


図 1 面外曲げクリープ試験の荷重条件

3. 結果と考察

表 1 に各推定荷重比について、実荷重比とクリープ関数の値を示す。また、1, 10, 100, 500 時間経過後の結果を抜粋して、図 2 に推定荷重比とクリープ関数、図 3 に実荷重比とクリープ関数の関係を示す。推定荷重比を 65, 70, 80% とした試験体は載荷完了後 1 時間経過後から 10 時間経過の間に曲げ破壊が生じ、その時点で試験を終了した。

クリープ関数の評価は、クリープ限度以上の荷重比ではクリープ関数が増大するという考え方であり、荷重比とクリープ関数の関係曲線において、クリープ関数が増大しない最大の荷重比がクリープ限度とされている。図 2 からは 57.5%、図 3 からは 54.9% がクリープ限度と判断された。7 層 7 プライのカラマツ CLT を対象とした告示法による実験⁸⁾では荷重継続時間の調整係数は 55% を下回るとされているが、本研究の結果からは 7 層 7 プライのカラマツ CLT の面外曲げクリープ限度は少なくとも 50% 程度までは安全側評価となると言える。以上より、7 層 7 プライのカラマツ CLT においてもクリープ関数によるクリープ限度の評価は可能であり、その値を 50% 程度と見れば危険側評価とはならないと考える。

表1 荷重比とクリープ関数の関係

推定荷重比 (%)	実荷重比 (%)	クリープ関数 (載荷完了後の経過時間 (hour))							
		(1)	(10)	(50)	(100)	(200)	(300)	(400)	(500)
25.0	27.9	1.27	2.87	4.34	5.61	6.68	7.88	8.22	8.75
30.0	29.4	2.34	3.57	4.91	5.56	6.37	7.13	7.49	8.01
32.5	29.9	1.71	3.21	4.98	5.78	7.02	7.61	8.19	8.68
35.0	28.1	1.48	3.31	4.83	5.80	6.77	7.63	7.99	8.50
37.5	34.1	1.83	3.47	5.26	6.06	7.32	7.79	8.73	9.06
40.0	43.4	2.31	4.15	6.02	7.33	8.56	9.08	9.43	10.39
42.5	42.7	2.16	3.70	5.94	6.84	8.53	8.89	9.67	10.11
45.0	56.2	2.37	4.63	6.68	7.83	9.13	9.89	10.52	11.11
47.5	44.3	1.84	3.65	5.52	6.33	7.55	8.10	8.73	9.17
50.0	49.8	2.30	4.11	5.78	6.98	8.05	8.78	9.45	10.05
52.5	58.8	2.76	4.97	7.05	8.14	9.44	10.09	10.83	11.28
55.0	72.3	2.31	4.30	6.03	7.21	8.14	8.95	10.48	11.22
57.5	54.9	1.92	3.83	5.66	6.72	8.07	8.86	9.39	9.93
60.0	64.8	2.53	4.82	15.53	16.56	19.54	20.01	20.33	20.68
62.5	56.2	2.44	4.52	6.40	7.37	8.63	9.37	10.01	10.57
65.0	-	2.13	-	-	-	-	-	-	-
70.0	-	2.69	-	-	-	-	-	-	-
80.0	-	3.37	-	-	-	-	-	-	-

※ 推定荷重比 65.0%以上の試験体は、載荷完了後 1 時間経過後から 10 時間経過の間に曲げ破壊が生じてその時点で試験を終了した。

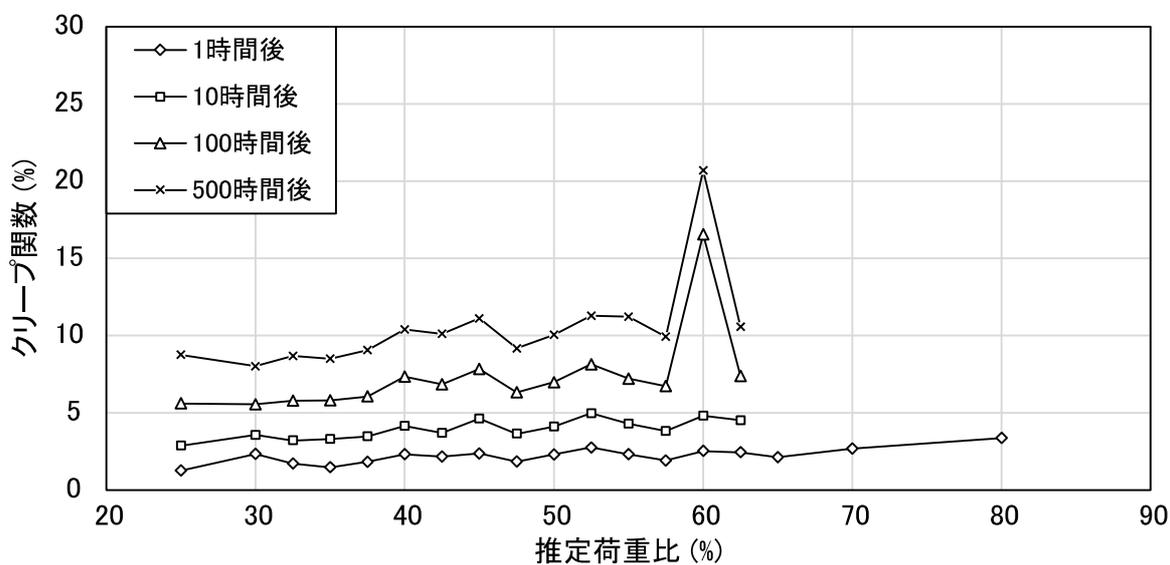


図2 推定荷重比とクリープ関数の関係

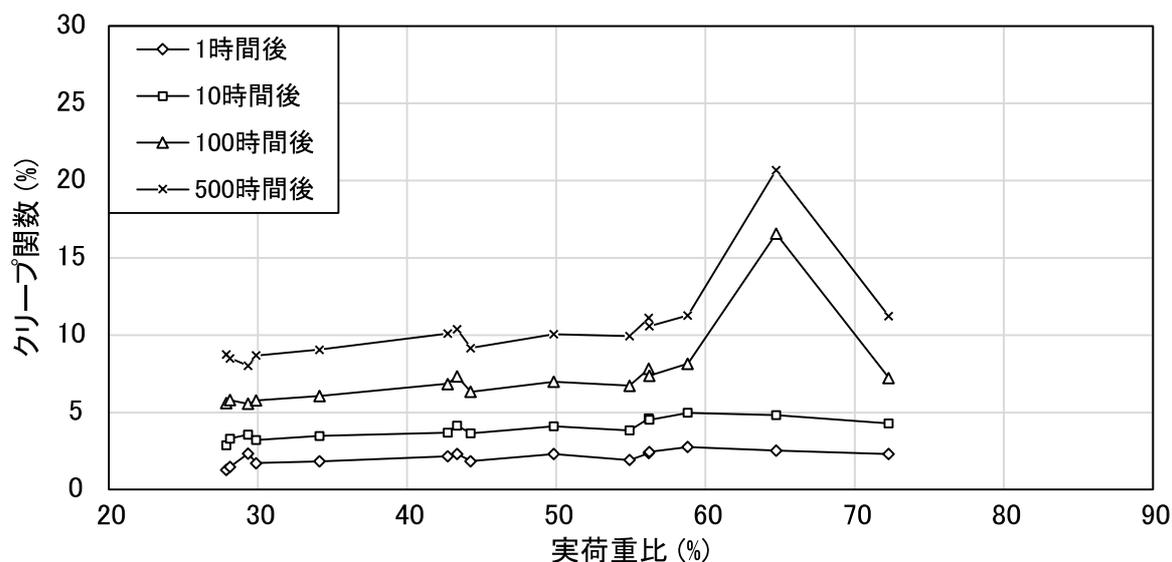


図3 実荷重比とクリープ関数の関係

4. おわりに

本研究では、7層7プライのカラマツ CLT を用いて様々な荷重比での面外曲げクリープ試験を行い、クリープ関数によるカラマツ CLT のクリープ限度の評価を試みた。その結果、カラマツ CLT においても荷重比とクリープ関数の関係曲線で、傾きが変わる点が確認され、クリープ関数によるクリープ限度の評価が可能であることが示された。そしてクリープ限度は荷重比 50%程度とすれば安全側評価となると考察されたが、本研究で得られた傾向が本研究よりも長期間（たとえば数年）経過後に同様となるかは確かめられていない。本研究で用いた手法による試験をさらに長期間継続させ、荷重比とクリープ関数の関係を観察することが今後必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) Wood L.: Relation of strength of wood to duration of load. USDA Forest Service Report No. 1916, Forest Products Laboratory, Madison, 1951
- 2) Ryuya Takanashi, Yoshinori Ohashi, Wataru Ishihara, Kazushige Matsumoto: Long-term bending properties of cross laminate timber with Japanese larch. 15th World Conference on Timber Engineering, Soul, Republic of Korea, 2018
- 3) Hideo Sugiyama: The Creep Deflection of Wood Subjected to Bending under Constant Loading. 日本建築学会論文報告集, 55, 60-70, 1957
- 4) 松本和茂, 大橋義徳: 各種道産部材の実大曲げクリープ試験. 日本木材学会北海道支部研究発表講演集, 第 38 号, 5-8, 2006
- 5) 中島史郎: クリープ関数を用いた荷重継続時間の調整係数試験評価法の適用範囲. 日本木材学会大会研究発表要旨集, D27-07-1100, 2016
- 6) 松本悠杜, 中島史郎: クリープ関数の分析に基づく木質構造材料のクリープ限度の推定法に関する研究. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, 75-76, 2016
- 7) 荒武志朗, 深田学: 宮崎県産スギを用いた CLT の長期性能(その 2)-クリープ関数による荷重継続時間の調整係数の推定(荷重比の検討)-. 日本木材学会大会研究発表要旨集, D18-P1-16, 2017
- 8) 大橋義徳ほか: 北海道産カラマツを用いた CLT の長期曲げ性能 7層7プライの長期荷重試験. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, 133-134, 2017

○横山梓織(北海学園大院工学研究科建設工学専攻) 植松武是(北海学園大工)
石原 亘(道総研林産試) 大橋義徳(道総研林産試) 高梨隆也(道総研林産試)
掛 悟史(竹中工務店)

【はじめに】

構造躯体として使用する CLT パネルは、CLT パネルの原版から所要の大きさや形状に成形される。現在、パネル成形時に生じる端材はバイオマスエネルギーとして再利用されるほか、ベンチや机等への利用例もある。一方で、CLT の端材を本来の構造材として活用する技術開発も進められている。CLT パネル工法に関する告示が公布・施行されているが²⁾、この告示では、構造体として使用する CLT パネルの形状は矩形を原則とし、外層ラミナの繊維方向は長辺方向または短辺方向と平行でなければならないとしている。しかし、耐震補強時等、他の構造体と併用して CLT にも構造耐力を負担させるような場合は、CLT に作用する応力方向と繊維方向に角度が生じる場合もあり、その力学的特性を体系的に検証したデータはあまりない。

著者らは CLT に作用する、応力方向と各種強度との関係を把握するため、ブロック状に成形した道産カラマツ CLT(以下、「CLT ブロック」)に作用する応力方向をパラメータとした圧縮実験、せん断実験、及び接着せん断実験結果の一部を報告してきた³⁾。本報では、これら一連の実験において確認できた弾性係数、破壊性状等を報告する。

【試験体と実験方法】

(1)試験体

CLT と比較用の集成材の 2 種類を準備した。いずれもカラマツのラミナを使用した。CLT のラミナ厚さは 30mm、層構成は 5 層 5 プライであり、外層に M120B、内層に M90B を使用した(Mx120)。集成材のラミナ厚さは 30mm で、5 層構成の異等級の E95-F270 となっている。いずれの試験体も接着加工後に幅 150mm、高さ 150mm、奥行 150mm のブロック状に成形した。試験体の各種仕様を表 1 に一括して示す。

(2)圧縮、せん断、接着せん断実験

ここでは、加力方向の直交方向に対する外層ラミナの繊維方向の傾斜角(以下、「外層ラミナ傾斜角」) θ が 0°、15°、30°、45°、及び 90°となるそれぞれの CLT ブロックに対し、圧縮、せん断、及び接着せん断実験を実施した。また、比較として外層ラミナ傾斜角が 0° 及び 90° となる CLT ブロックと同形状の道産カラマツ集成材試験体(以下、「集成材ブロック」)の各種強度実験を実施した。

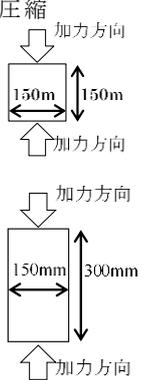
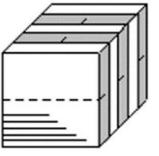
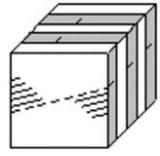
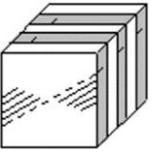
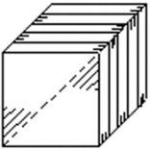
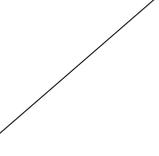
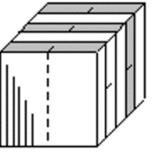
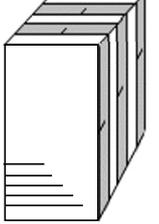
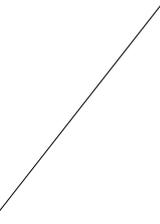
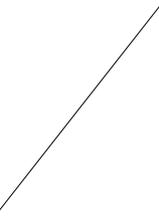
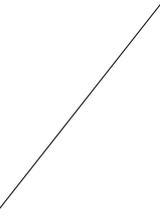
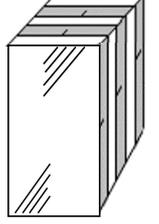
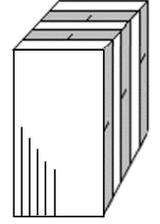
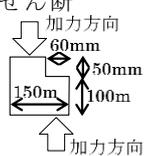
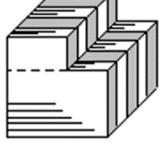
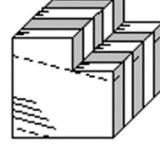
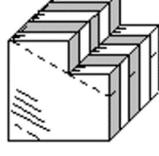
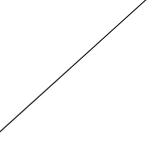
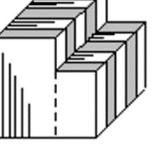
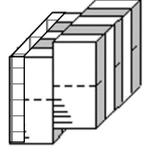
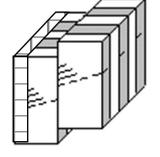
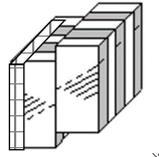
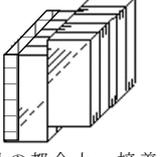
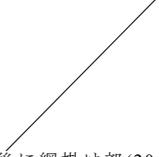
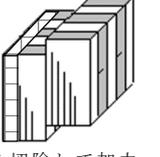
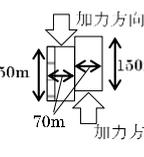
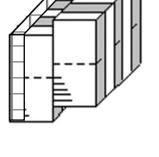
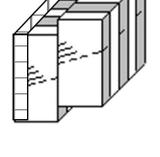
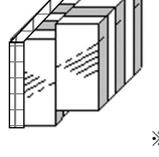
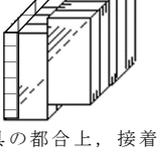
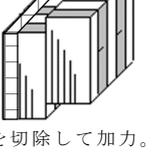
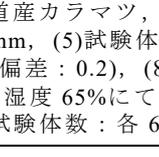
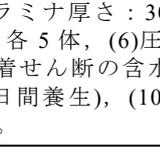
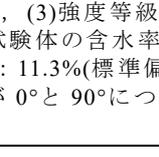
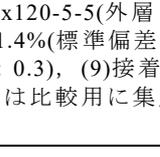
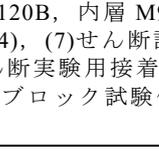
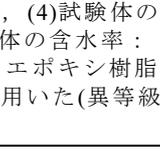
圧縮実験は万能試験機(UH-2000kNC、株式会社島津製作所製)を用いて 2000kN/5V のレンジで実施した。せん断実験と接着せん断実験は木材実大強度試験機(株式会社東京衡機製)を用いてレンジを 200kN/5V として 0.5mm/分で加力を行った。加力に際しては、いずれの実験においても最大荷重に達した後、その最大荷重の 7 割～8 割程度に荷重が低下した時点で実験を終了した。

【結果および考察】

(1)圧縮実験

圧縮実験の結果を図 1 に示す。外層ラミナ傾斜角 θ と平均圧縮強度は θ が 0°～45°の間は線形関係にあり、 θ の増加に伴い平均圧縮強度は低下した。集成材試験体の 0°と 90°の平均圧縮強度の差が 41.9kN/m²であったのに対し、CLT 試験体の両値の差は 10.6kN/m²であり、CLT 試験体では異方が緩和されていることが再確認された。圧縮弾性係数と θ の関係も同様であった。CLT 試験体の圧縮弾性係数は $\theta=0^\circ$ の場合は集成材の 8 倍程度であり、 $\theta=90^\circ$ では集成材の 7 割強程の値を示した。

表 1 実験項目と道産カラマツ CLT ブロック試験体一覧

実験項目と加力方向等	加力方向の直交方向に対する外層ラミナの繊維方向の角度 θ					
	0°	15°	30°	45°	60°	90°
圧縮 						
						
せん断 						
						
接着せん断 						
						

※ 治具の都合上、接着作業後に網掛け部(20mm)を切除して加力。

[備考](1)樹種：道産カラマツ，(2)ラミナ厚さ：30mm，(3)強度等級：Mx120-5-5(外層：M120B，内層 M90B)，(4)試験体の奥行：150mm，(5)試験体数：各 5 体，(6)圧縮試験体の含水率：11.4%(標準偏差：0.4)，(7)せん断試験体の含水率：11.7%(標準偏差：0.2)，(8)接着せん断の含水率：11.3%(標準偏差：0.3)，(9)接着せん断実験用接着剤：エポキシ樹脂(室温 20°C・湿度 65%にて 14 日間養生)，(10) θ が 0° と 90° については比較用に集成材ブロック試験体も用いた(異等級 E95-270，試験体数：各 6 体)。

また、アスペクト比が 2 倍の CLT ブロックの圧縮実験も別途実施した。アスペクト比が 1 から 2 になることにより、平均圧縮強度は 2 割低下したが圧縮弾性係数は 7~8 割程度大きくなった。

写真 1 に試験終了後の破壊状況の一例を示す。 θ が 15° と 30° の試験体においては幅はぎ部における外層ラミナのずれが顕著であったが、 θ が 0°，45°，及び 90° の試験体においては試験終了時に至るまで同様のずれは生じなかった。また、全ての試験体において加圧部の圧壊は発生していなかった。

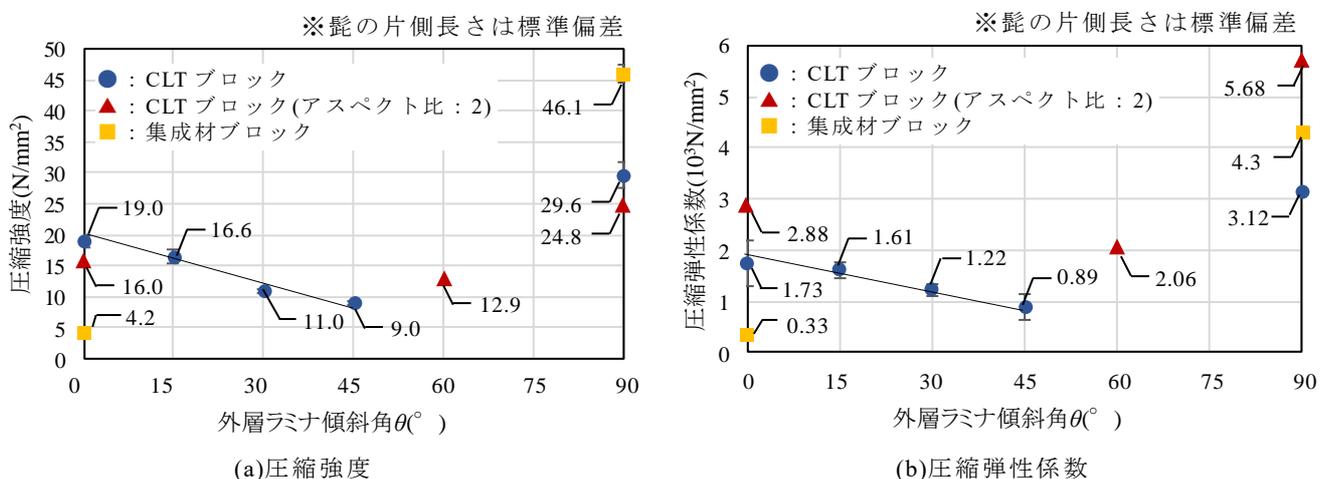


図 1 圧縮実験結果

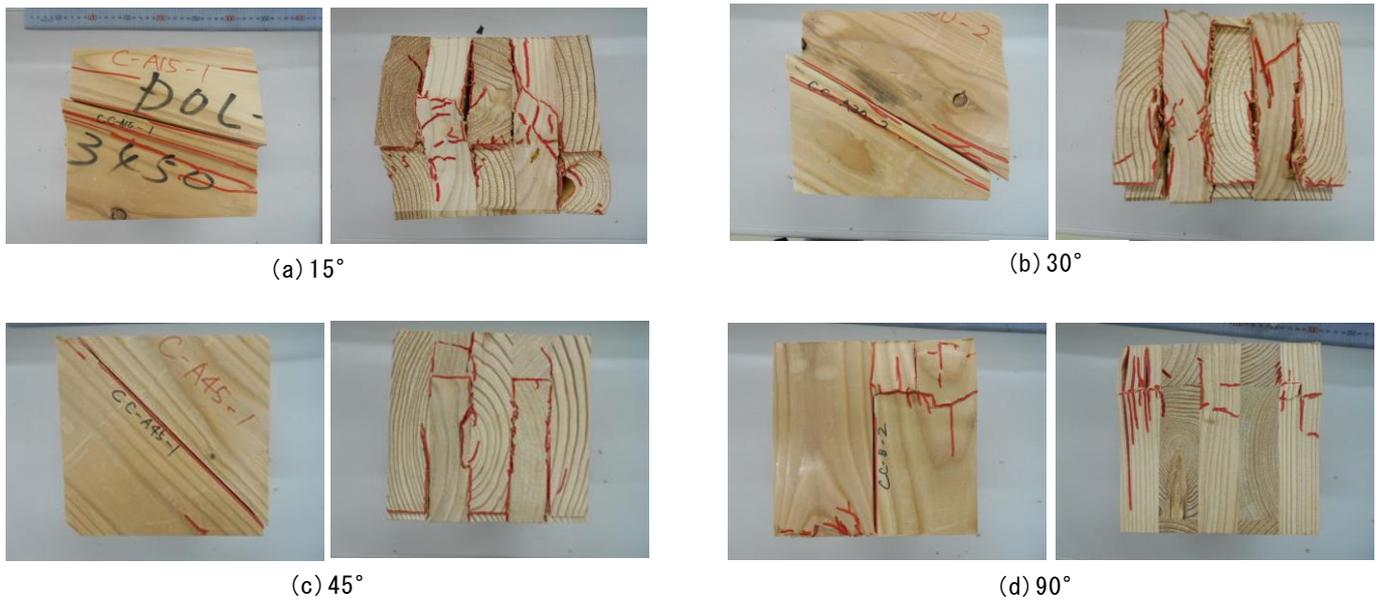


写真1 圧縮実験最終破壊形態の一例：側面

(2)せん断実験

せん断実験結果を図2に示す。CLTブロックの平均せん断強度は $\theta=15\sim 30^\circ$ の間で最大値をとり、 $\theta=90^\circ$ で最小値となり、繊維方向と加力方向とのなす角の小さなラミナが多いほど、平均せん断強度が低くなる傾向を示した。せん断弾性係数は、 $\theta=0^\circ$ と 15° で最大となり、 45° で最小となった。最小値は最大値の8割程度であった。試験終了後の破壊状況の一例を写真2に示す。 θ が 30° と 45° の試験体においては外層ラミナのずれが顕著であったが、 θ が 0° 、 15° 及び 90° の試験体においては試験終了時に至るまで同様のずれは生じなかった。

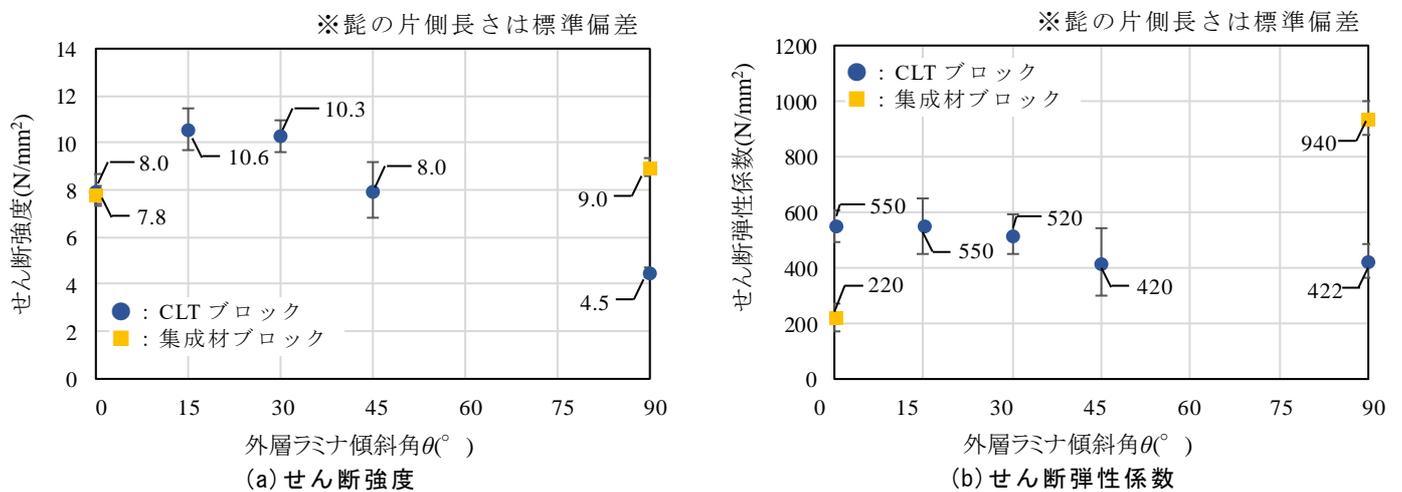


図2 せん断実験結果

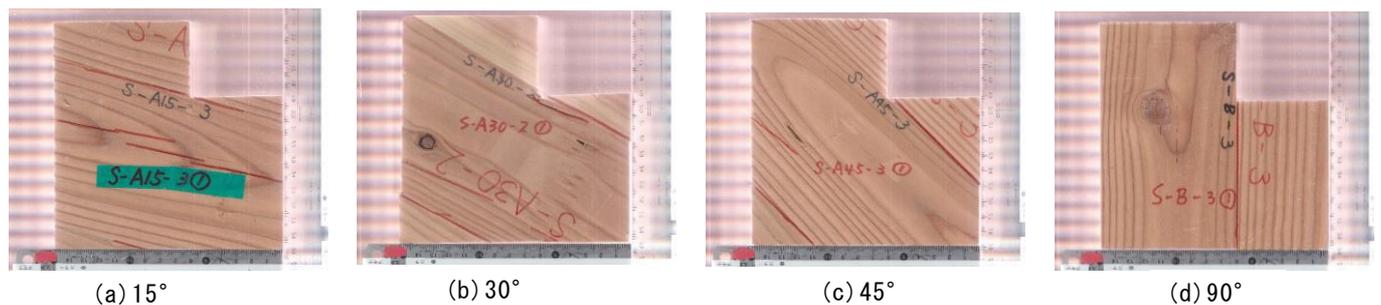


写真2 せん断実験最終破壊形態の一例：側面

(3)接着せん断実験

接着せん断実験結果を図3に示す。CLTブロックの平均接着せん断強度は、 $\theta=15^\circ$ ので最大値をとり、 $\theta=30^\circ$ で最小値となった。接着せん断弾性係数は、 $\theta=90^\circ$ で最大となり、 30° で最小となった。最小値は最大値の5割程度であった。試験終了後の破壊状況の一例を写真3、木部破断率と θ の関係を図4に示す。集成材等では、木口面では界面破断が多く、桁目面では木部破断が多くなる。また、木口面の界面破断より木部破断の方が接着せん断強度は高くなる。CLT試験体は桁目面と木口面が混在しているため、集成材と比べて平均接着せん断強度や接着弾性係数に及ぼす θ の影響が小さくなる傾向がみられた。

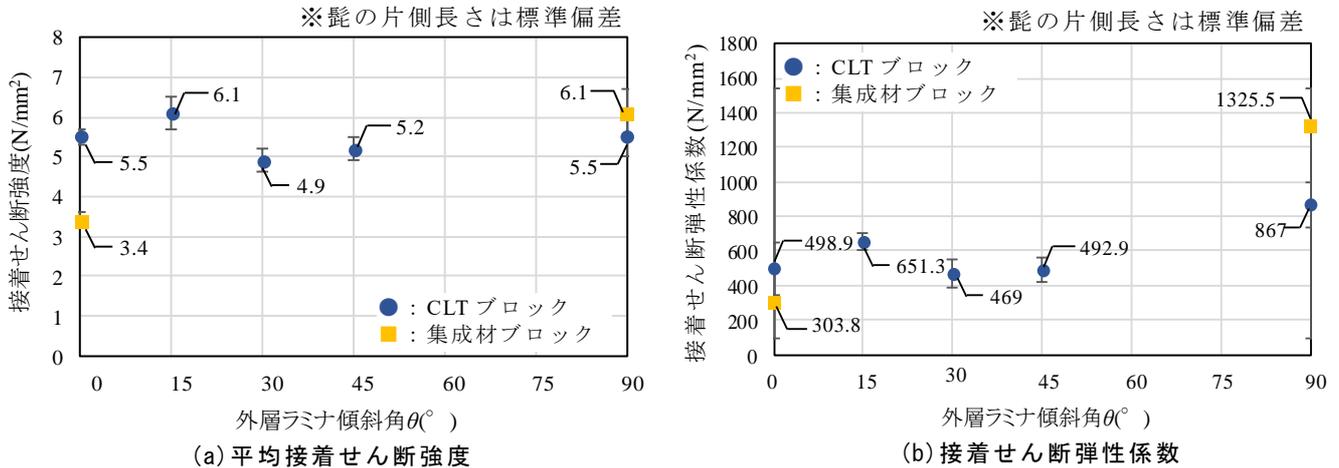


図3 接着せん断実験結果

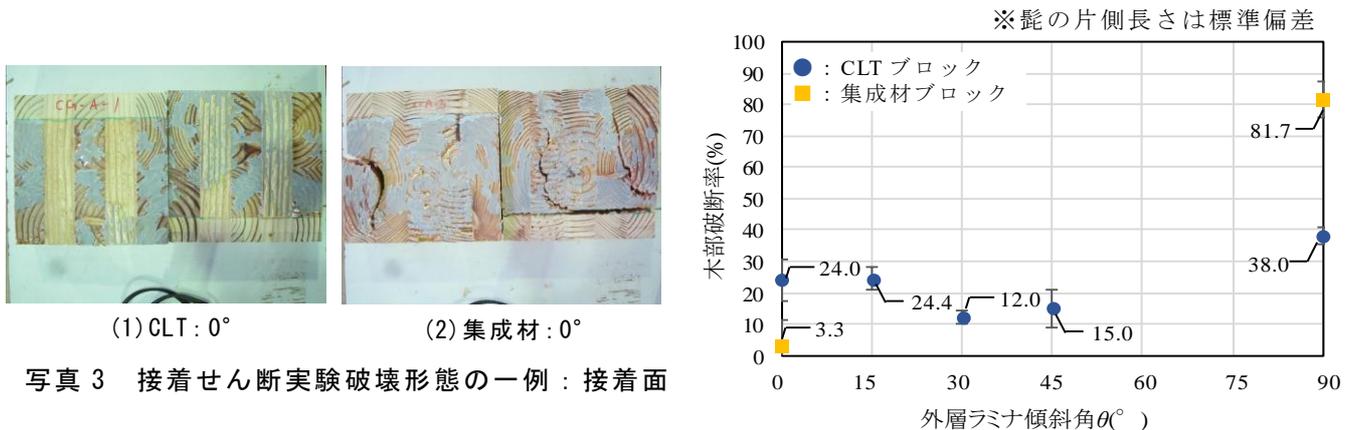


図4 接着せん断実験結果：木部破断率

【まとめ】

CLTパネル成形時に生じる端材を構造体として再利用するためのデータ整備を背景とし、外層ラミナ傾斜角をパラメータとしたCLTブロックの各種強度実験を行い、これら一連の実験において確認できた弾性係数や破壊性状等とラミナ傾斜角との関係を明らかにした。現在、CLTパネル工法においてカラマツ・トドマツの樹種特性を反映することのできるような平成13年国土交通省告示第1024号の改正案が示されており⁴⁾、本成果は道産カラマツやトドマツの利用促進に寄与できるデータとして活用できる。

今後はCLTブロックにおける寸法効果の検証とその評価、CLTブロックを構成要素とする構造体の設計技術の構築、トドマツCLTブロックの評価への拡張、幅はぎの影響の確認等が課題となる。

[参考文献]

- 1) (公財)日本住宅・木材技術センター：2016年度版 CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル，2016.10.pp1-3
- 2) 国土交通省告示第611号：CLTパネル工法を用いた建築物又は建築物の構造部分の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件，2016.4.1
- 3) 横山梓織，植松武是，石原亘，大橋義徳，高梨隆也，掛悟史：ブロック状CLTにおける繊維方向が各種強度に及ぼす影響に関する実験的研究，日本建築学会北海道支部研究報告書，第91巻，pp.79-82，2018.6
- 4) 国土交通省パブリックコメント：特殊な許容応力度及び材料強度を定める件の一部を改正する告示案について，2018.9.20

○平良尚梧、幸田圭一、浦木康光（北大院農）

【緒言】

我々は、リグニンを原料とした電気二重層キャパシタ (EDLC) の開発に取り組んでおり、EDLC の部材の一つであるセパレータが、リグニンポリエステルフィルム (LPF) で代替できる可能性を示唆した。LPF は、ポリエチレングリコール (PEG) 500kDa、オルガノソルブリグニンの一種である PEG-リグニン (PEG-L) と無水マレイン酸 (MA) の熔融重縮合により調製され、柔軟性に富むフィルムであったが、一方、非常に引張強度が低いということが問題点であった。そこで、昨年当支部会において、柔軟性と強度を併せ持つ TEMPO 酸化セルロースナノファイバー (TOCN) 強化 LPF (TOCN-LPF) を報告した^[1]。今回は、このフィルムを EDLC 用セパレータとして利用する際の電気化学的性能を評価した。

【実験方法】

TOCN-LPF および多孔質化 TOCN-LPF の調製: 1% TOCN 水分散液 (日本製紙) (4 g)、PEG500kDa (1.2 g)、PEG-L (ハリマ化成) (1.66 g)、を水中で攪拌混合して、凍結乾燥に供した。凍結乾燥混合物を MA (0.057 g) と混合した後、Teflon 製の枠型に入れ、200°C、5 MPa で 4 時間ホットプレスした。さらに、混合物に NaCl 粉末 (0.04 g) を加えたものからもフィルムを調製し、これを水洗して多孔質化 TOCN-LPF を得た。これらのフィルムの表面を、電界放出型走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) で観察した。

EDLC の作製: 調製したフィルムを円盤状に切り出し、アセトンに 1 日間振盪しながら浸漬・洗浄した。このフィルムと、市販活性炭を用いて自作した電極を有機電解液 (1M triethylmethylammonium tetrafluoroborate / propylene carbonate) に浸漬し、さらに、脱気を行った。これらの EDLC 部材を、市販の EDLC 作製用セルに順次積層して、試験用 EDLC を作製した。

電気化学試験: 作製した EDLC セルの電気化学的性能を、Autolab PGSTAT302N FRA32M (Metrohm Autolab 製) を用いて評価した。Cyclic voltammetry (CV) 法と Galvanostatic charge/discharge (GCD) 法から比静電容量を、Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) 法から固有抵抗、電荷移動抵抗を求めた。

【結果および考察】

電気化学試験に先立ち、TOCN-LPF をアセトンで洗浄し、熔融重縮合の際の未反応物を取り除いた。FE-SEM より、洗浄後のフィルム表面には微細孔が多数形成されていたことが確認されたが、フィルムが完全に溶解することはなかった。このことは、本研究で調製したフィルムは、リグニンが架橋点となる三次元網目構造を有することを示唆し、耐有機溶媒性に富むフィルムであることを意味している。

電気化学試験における CV 測定より、TOCN-LPF をセパレータとする EDLC は長方形のボルタモグラムを示し、電気二重層の形成が確認された。その面積から算出した比静電容量は 92.0 F g^{-1} であり、positive control のセルロースセパレータを用いた EDLC (83.2 F g^{-1}) よりも大きかった。GCD 法によっても、比静電容量に対し同様の結果が得られた。この大きな比静電容量は、アセトン洗浄によって生成した微細孔、さらに、TOCN に存在するカルボキシ基が電解質透過性に関与したことで発現したと考えられる。しかし、TOCN-LPF を用いた EDLC は極めて大きな固有抵抗、電荷移動抵抗を示した。そこで、抵抗値を下げるために、NaCl を用いた更なる多孔質化を試みた。この結果、期待通り EDLC の抵抗値は減少し、加えて、比静電容量も増加した。これは、多孔質化により表面積が増加し、電解質の保持能力が向上した結果と考えている。最後に、GCD 法を用いて、EDLC の耐久性を評価した。GCD 測定を 100 サイクル繰り返すと、多孔質化 TOCN-LPF の EDLC は、セルロースセパレータから作製した EDLC と同程度の比静電容量の低下率 (30%) を示した。よって、この低下率は材料に起因するのではなく、セル作製時の問題と見做され、材料としては問題がないこと、すなわち多孔質化 TOCN-LPF の有用性が明らかとなった。

【引用文献】

[1] 平良尚梧, 齋藤涼, 栗原誠, 幸田圭一, 浦木康光. セルロースナノファイバー添加リグニンポリエステルフィルムの物性評価. 日本木材学会北海道支部講演集第 49 号 29(2017).

P-1 当麻町産材を活用した木製学習機の製作・管理支援について

(道総研林産試) ○伊藤洋一、大西人史、(道総研森林研究本部) 山田健四

【緒言】

上川地域の道総研3機関(上川農業試験場、北方建築総合研究所、林産試験場)は、平成22年より、3機関の連携による競争的研究資金の獲得や、それぞれの強みを活かした研究開発などに取り組んできた。平成28~29年度については、3機関がそれぞれの立場から当麻町のまちづくりを支援するプロジェクトを立ち上げ、取り組んだ。

【支援内容】

当麻町のまちづくり方針「食育」、「木育」、「花育」に基づき、3機関における研究技術・発想で提案等を行い、当麻町が施策・事業主体として実施することとした。各機関の支援内容は、以下のとおり。

林産試 : 「木育」主体の支援 → 町産材を用いた木製学習機の製作支援

上川農試 : 「食育」主体の支援 → 「田んぼの学校」^{注)}で栽培した米について、「食の通信簿」を示す等の分析支援

北総研 : 「花育」主体の支援 → 「まちづくり」の視点から当麻町への移住者向けの活動支援

注) 「田んぼの学校」: 当麻町内の約1.3haの水田で小中学生が田植えから収穫までを体験できるように整備した「食育圃場(ほじょう)」。ここで獲れた米は小中学校の学校給食に全量充てられる。

【林産試の取り組み】

木製学習機のベースとなるデザインは、当麻町産材活用学習機製作担当者合同会議で検討された後、生徒や教職員の意見も取り入れ、デザインと接合方法等の改善を図った。試作は、(福)当麻かたるべの森の「くるみなの木遊館」が担当した。林産試は、机部材の接合方法や教室へ設置するまでの保管方法、学習機設置後の教室内の温湿度管理などについて提案・支援を行った。

当麻中学校の教室の窓は、どの教室もほぼ南西に向いているため、一日を通して直射日光が差し込む時間が長い。教室にはカーテンが設置されているが、放課後や春・夏・冬の休み期間中は全開になっていることが多く、学習機へ長い時間、直接日射が当たることも想定される(写真1)。これとともに教室の扉が閉められたままになっている場合には短時間で温度上昇と湿度低下を招き、机天板に表面割れを生じさせることがある¹⁾。表1の測定結果のように春休み中であっても、日差しと暖房の影響で、平衡含水率は4.5%に低下することもある。したがって、教室が過酷な温湿度条件にならないように管理する必要があり、カーテンの開閉による直射日光の制御、前後2か所の教室扉の開閉及び換気扇の作動による温湿度のコントロール、これらに加えて冬期間には暖房設備の温度管理が必要となる。

表1 教室内の温湿度測定事例

測定日時	H30. 3. 27 13~16時	H30. 7. 31 13~16時
	最小値~平均~最大値	最小値~平均~最大値
温度(℃)	14.4~19.5~23.8	33.6~34.6~35.1
湿度(%)	20.5~28.4~45.5	38.0~47.3~50.0
EMC*(%)	4.5~5.9~8.5	7.9~8.4~8.8



写真1 教室内に配置された学習機
(撮影時期:平成30年3月下旬)

※EMC:平衡含水率

教室内のファンヒーターは、教室内の窓側端部に設置されている（図1）。ファンヒーターの周辺や温風が直接当たる領域では、短時間で室温は高く、湿度は低くなることが想定される。したがって、木材の収縮が急激に進み、学習机天板に表面割れが生じやすくなる。

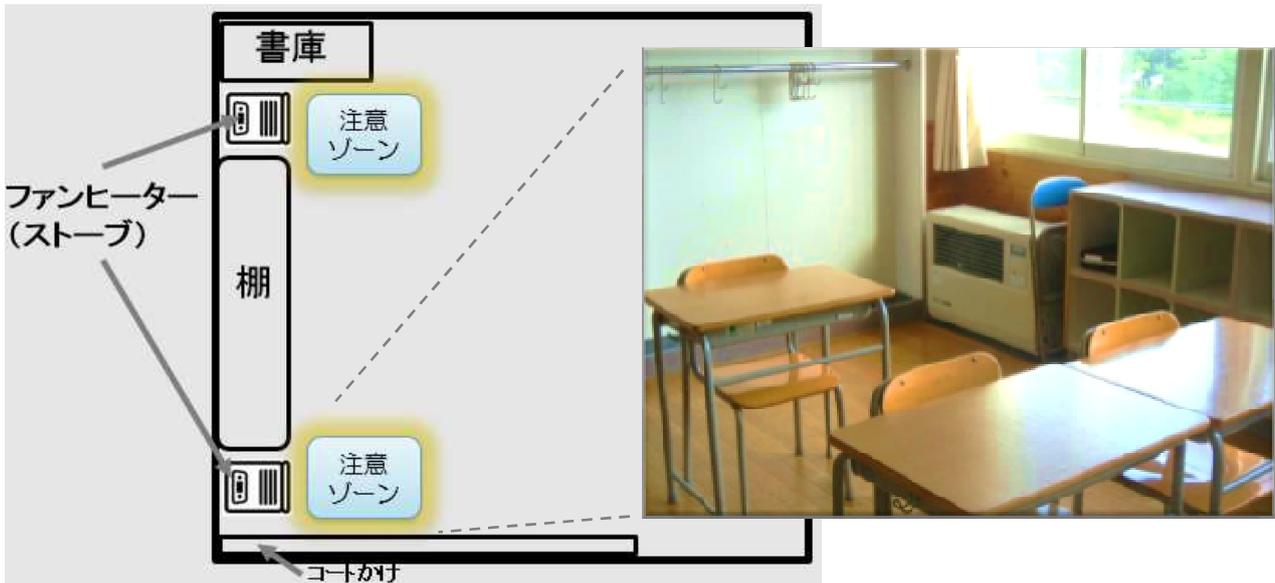


図1 教室内部でのファンヒーターの設置例

このような場所では、ファンヒーターからできるだけ距離をとり、机を配置する必要があります。同時に、窓からもできるだけ距離をとり、カーテンの開閉を行うことで、直射日光の影響を最小限に抑えることができる（写真2）。これらの木製学習机管理のコツを「当麻町学習机管理のてびき」としてとりまとめ、すべての生徒と教職員及び関係者に配布した。

【今後のフォロー】

木製学習机は設置後6か月以上が経過し、細かなキズが目立ってきたものも散見されるようになったが、表面割れが生じた机はない。表面の凹凸の顕著なものは、「くるみなの木遊館」で表面を鉋削し直している。木製の学習机に変更したことで、生徒や教職員に木製品の特徴を正しく理解してもらうとともに、使い方にも配慮してもらうことで、長持ちさせることが可能となる。また、生徒一人一人の体格に合わせて調整することができる脚部を採用し、卒業まで一つの机を使い続けることから、生徒が愛着を持って机を管理することにより、木製品を大切に扱う気持ちを育む教育的効果が期待できる。



写真2 窓から距離をとって配置された学習机（撮影時期：平成30年7月下旬）

平成29年度で本支援プロジェクトは終了したが、林産試験場では学習机の取り扱いに関する学校側からの質問に随時応え、必要に応じて「くるみなの木遊館」など当麻町の方々と連携しながら、フォローを続けていく予定である。

【参考文献】

1) 伊藤洋一：「木製学童用机天板の使用環境と使用感について」, 林産試だより, 4月号, 5-7 (2005)

○古田直之, 平林靖(道総研林産試)

【緒言】

構造用合板の原料は南洋材から針葉樹材への転換が進んできたが、現在の国内の合板供給量に占める国産針葉樹合板の割合は4割程度に留まっている¹⁾。合板の用途別に見ると、構造用合板においては国内消費量の9割以上が国産合板に転換されたが、型枠用合板やフロア台板などの分野においては、依然として東南アジアを中心とした輸入合板に大きく依存している。その要因の一つとして、針葉樹合板は南洋材合板に比べて、材質のばらつきが大きく、水分作用時の反りや狂いなどが生じやすいことが指摘されている。したがって、合板の国産材シェアをさらに高め、森林資源の循環利用を進めるためには、針葉樹合板の水分作用時の寸法変化を抑制することが重要である。針葉樹合板の寸法安定性については、これまで木質ボード類の対照用として調査された事例^{2,3)}があるが、接着条件や単板積層数などの合板製造条件が寸法安定性に及ぼす影響についての報告は見られない。一方で、集成材やLVLなどの積層材料においては、エレメントの積層数が増すと積層効果によって材質のばらつきが小さくなり、強度的に安定した性能が得られることがよく知られている⁴⁾。そこで著者らは、木質積層材料のこのような性質に着目し、単板積層数が合板の寸法安定性に及ぼす影響を調べることにした。本報では、厚さがほぼ一定で単板積層数が異なる針葉樹合板を製造し、合板の高湿度環境での寸法変化や吸水時の反り量などを調べた結果を報告する。

【試験方法】

(1)合板の製造

道産カラマツおよび道産トドマツを用いて、表1に示す5種類の厚さのロータリー単板を製造した。単板はベニヤドライヤーによって含水率5%未満まで乾燥させ、厚さ、寸法、重量を測定し、単板密度を求めた。これらの単板を用いて厚さ12mm(5~17ply)の等厚構成の合板を各条件3枚ずつ製造した。合板の寸法は450×450mmとし、合板製造にはフェノール樹脂接着剤(DIC北日本ポリマ(株)製)を用いた。冷圧条件は0.8MPaで60分、熱圧条件は125℃、0.8MPaとした。接着剤塗布量と熱圧時間は表1に示すように積層条件によって異なり、いずれも熱圧時にパンクが生じないように配慮した。

(2)平衡含水率および吸放湿による長さ変化率の測定

製造した各合板から幅80mm、長さ320mmの試験体(表板の繊維方向に対し0度および90度方向)を切り出し、恒温恒湿器を用いて20℃・65%RHおよび20℃・95%RHにて重量が恒量となるまで調湿した。その後、105℃で絶乾となるまで乾燥させ、各調湿条件下での平衡含水率を算出した。

また、各調湿条件下において、試験体の幅方向の寸法をデジタルノギスで測定し、以下の式により含水率1%あたりの膨張率(α)および高湿度域から絶乾までの収縮率(β)を算出した。

$$\alpha(\%) = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times \frac{m_0}{m_2 - m_1}$$

$$\beta(\%) = \frac{L_2 - L_0}{L_2} \times 100$$

表1. 単板積層数と合板の熱圧条件

単板積層数	単板厚さ (mm)	接着剤塗布量 (g/m ²)	熱圧時間 (秒)
5ply	2.50	211	420
7ply	1.80	211	420
9ply	1.42	189	600
13ply	0.98	167	840
17ply	0.80	156	840

ここで、 L_0 、 L_1 、 L_2 はそれぞれ絶乾、 $20^{\circ}\text{C} \cdot 65\%RH$ 、 $20^{\circ}\text{C} \cdot 95\%RH$ における寸法、 m_0 、 m_1 、 m_2 はそれぞれ絶乾、 $20^{\circ}\text{C} \cdot 65\%RH$ 、 $20^{\circ}\text{C} \cdot 95\%RH$ における重量である。

(3) 吸水時の合板の反り量の測定

製造した各合板から幅 40mm、長さ 300mm の試験体（表板の繊維方向に対し 0 度および 90 度方向）を切り出した。反り量の測定方法は図 1 および図 2 に示すように、水平な測定台の上に試験体を設置し、レーザー変位計（キーエンス製 IL-S100）を用いて合板の表面上 9 点の高さを測定し、測定点の合板厚さを差し引いて各点の変位量を求めた。9 点の変位量の最大値をその試験体の最大反り量とした。反り量の測定は、常態時および常温水に 72 時間浸せきした後に行った。

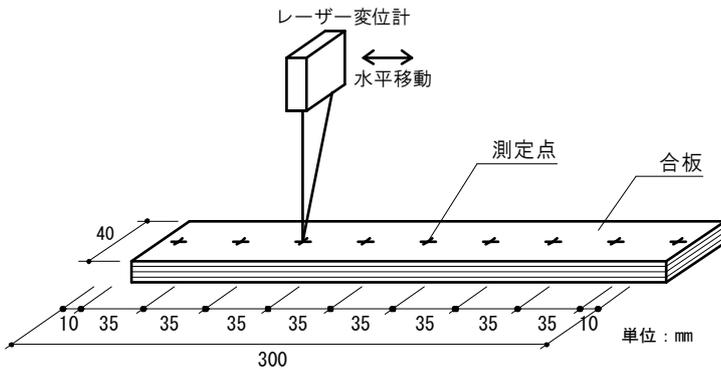


図 1. 試験体概要と反り量の測定方法



図 2. 反り量の測定の様子

【結果と考察】

(1) 合板の密度

合板製造前後の単板および合板の気乾密度と両者の比率を表 2 に示す。5ply 合板における密度増加はカラマツで 17%、トドマツで 24%であったが、単板積層数の増加とともに密度増加が顕著となり、17ply ではカラマツで 45%、トドマツで 54%となった。これは今回の条件では、積層数が多くなるほどパンク防止のために熱圧時間を延長しているため、熱圧による歩減りが大きくなったことに加え、単位体積に占める接着剤量が増加したことの 2 つの要因が考えられる。

表 2. 単板および合板の密度

単板構成	カラマツ			トドマツ		
	単板平均密度 (g/cm^3)	合板平均密度 (g/cm^3)	密度比 (=合板/単板)	単板平均密度 (g/cm^3)	合板平均密度 (g/cm^3)	密度比 (=合板/単板)
5ply	0.48	0.56	1.17	0.33	0.40	1.24
7ply	0.51	0.62	1.22	0.34	0.44	1.29
9ply	0.50	0.62	1.25	0.34	0.46	1.33
13ply	0.48	0.67	1.39	0.35	0.49	1.39
17ply	0.48	0.70	1.45	0.35	0.53	1.54

(2) 合板の平衡含水率

$20^{\circ}\text{C} \cdot 65\%RH$ における平衡含水率を図 3 に、 $20^{\circ}\text{C} \cdot 95\%RH$ における平衡含水率を図 4 に示す。 $20^{\circ}\text{C} \cdot 65\%RH$ の条件では、合板の平衡含水率は 9.7~10.2%の範囲となり、樹種や単板積層数による差はほとんどなかった。一方、 $20^{\circ}\text{C} \cdot 95\%RH$ の条件では、両樹種ともに 5ply 合板の平衡含水率は 22%程度であったが、積層数の増加に伴い平衡含水率が増加し、17ply ではカラマツで 24.2%、トドマツで 25.5%となった。接着剤の化学構造からみて、フェノール樹脂接着剤は硬化反応が進行しても水酸基が残存するため、材料に占める接着剤の割合が増加するほど吸湿性が高まるのが原因であると考えられる。

(3)合板の吸放湿による長さ変化率

合板の含水率 1%あたりの膨張率を図 5 および図 6 に示す。また、合板の高湿度域から絶乾までの収縮率を図 7 および図 8 に示す。樹種の違いに着目すると、含水率 1%あたりの膨張率、収縮率ともにトドマツよりもカラマツの値が大きくなっており、全体としてトドマツの方が寸法安定性に優れていることがわかる。積層数の違いでは、0 度方向（表板の繊維方向と平行な方向）では、カラマツの 5ply の値がやや大きいものの、明確な傾向は認められなかった。90 度方向（表板繊維方向と直交する方向）では、両樹種ともに積層数が増すほど、含水率 1%あたりの膨張率や収縮率が小さ

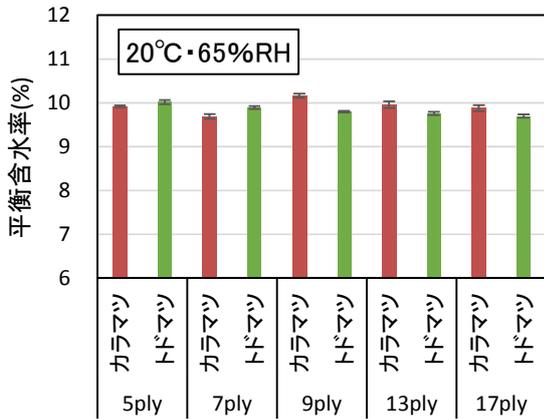


図 3. 20°C・65%RH での合板の平衡含水率

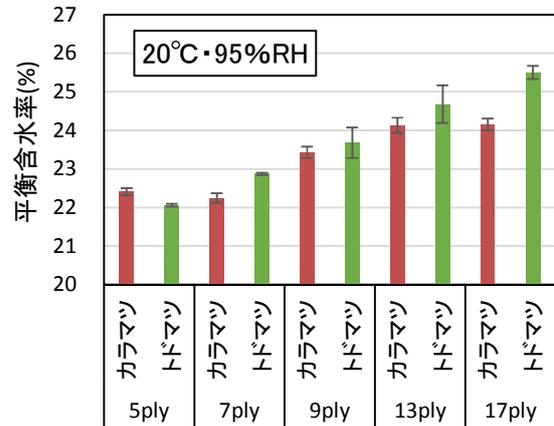


図 4. 20°C・95%RH での合板の平衡含水率

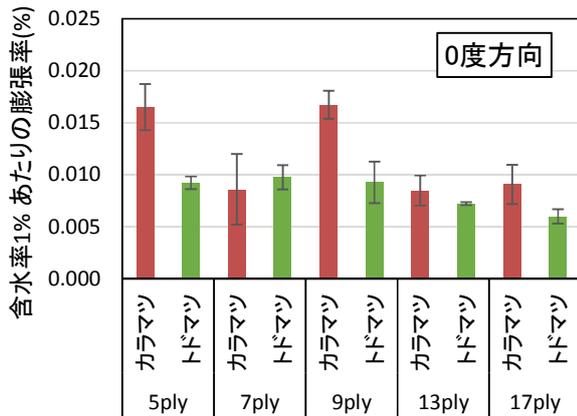


図 5. 含水率 1%あたりの膨張率 (0 度方向)

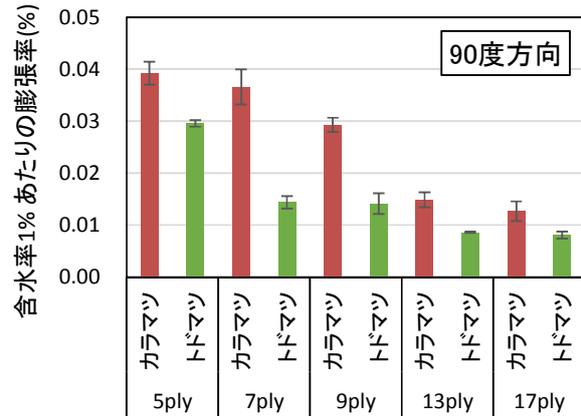


図 6. 含水率 1%あたりの膨張率 (90 度方向)

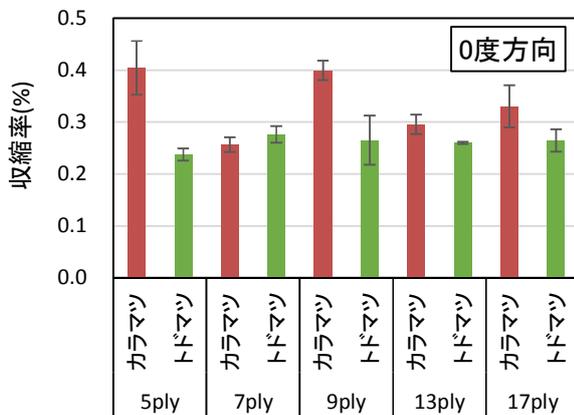


図 7. 合板の収縮率 (0 度方向)

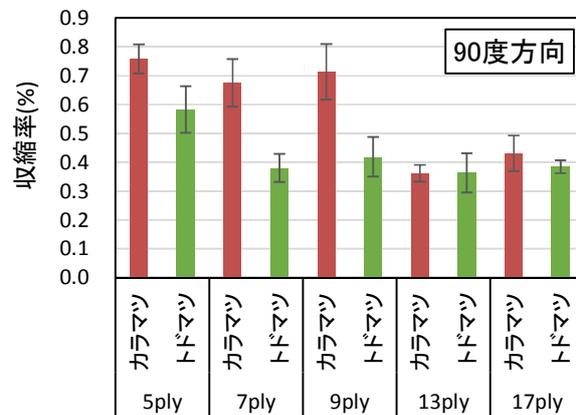


図 8. 合板の収縮率 (90 度方向)

くなる傾向が認められた。この結果は、積層数が少ないと、全体厚さに占める直交単板厚さの比率が少なくなるため、接線方向（単板の幅方向）の寸法変化の影響を受けやすくなることが原因であると考えられる。

(4) 吸水時の合板の反り量

合板の反り量の測定例として、トドマツ 5ply 合板の場合を図 9 に示す。ここで示すように、多くの積層条件において、常態時と比較して水中浸せき後に反り量が増加する傾向を示した。単板積層数と吸水時の合板の反り量の関係は図 10 に示すとおり、いずれの樹種ともに積層数の増加に伴い反り量が減少する傾向が認められた。17ply 合板においては、いずれも最大反り量の平均値は 0.4mm 未満となり、吸水しても合板の反りや変形などはほとんど生じなかった。最大反り量の平均値は、カラマツよりもトドマツの値がやや大きくなり、図 5、図 6 に示した膨張率の傾向とは異なっていた。反り量は、膨張率の大小のほか、表裏単板の膨張率の対称性なども関与すると考えられるため、樹種ごとの反り量の傾向について考察するためには、各単板層における木目や膨張率の傾向を把握するなどの詳細な検討が必要である。

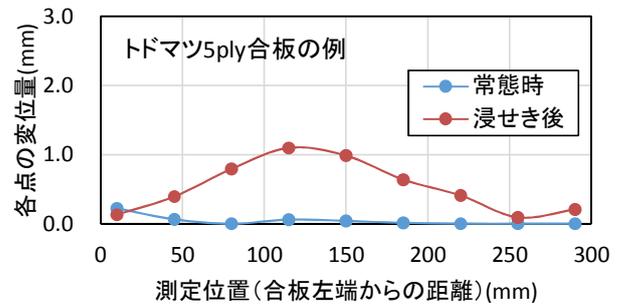


図 9. 合板の反り量の測定例

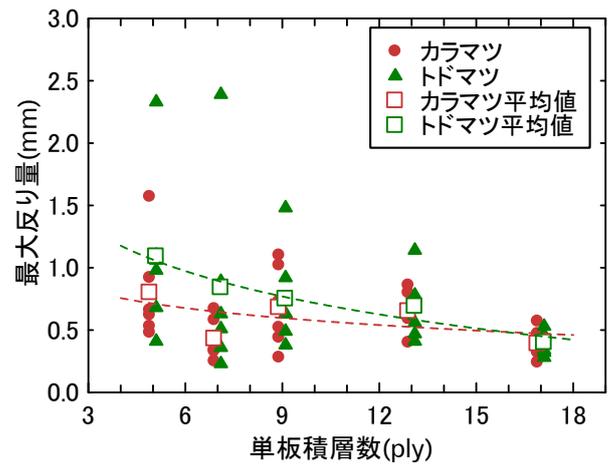


図 10. 単板積層数と合板の反り量の関係

【まとめ】

フェノール樹脂接着剤を用いて様々な単板積層数の合板（12mm 厚）を製造し、水分の作用による長さ変化率や吸水時の合板の反り量などを調べた。その結果、以下の結論が得られた。

- ・ 単板積層数が増すほど合板密度が大きくなり、今回の製造条件における 17ply 合板の密度増加率（単板密度に対する合板密度の増加率）は、カラマツで 45%、トドマツで 54%となった。
- ・ 単板積層数が増すほど高湿度環境（20℃・95%RH）における合板の平衡含水率が増大した。
- ・ 表板繊維方向と平行な方向においては、単板積層数と収縮膨張率の関係に明確な傾向は認められなかった。
- ・ 表板繊維方向と直交する方向においては、カラマツ、トドマツともに単板積層数が増すほど、含水率 1%あたりの膨張率や収縮率が小さくなる傾向が認められた。
- ・ 単板積層数の増加に伴い吸水時の合板の反り量が減少する傾向が認められた。

【参考文献】

- 1) 合板関連統計月報，日本合板工業組合連合会，東京，2017.
- 2) 宮本康太，鈴木滋彦：木材工業 52(7)，342-347(1997).
- 3) 関野登，末松充彦，安井悦也：木材工業 53(9)，408-412(1998).
- 4) 林知行：“エンジニアードウッド”：日刊木材新聞社，1998，pp74-80.

○中村神衣, 古田直之, 宮崎淳子, 平林靖 (道総研林産試)

【緒言】

構造用集成材は、国内において1950年代に製造が開始され、現在広く普及しているが、その耐久性については不明な部分も多く、全国各地の研究機関でデータの蓄積が行われている。これまで、比較的短期間で評価可能な屋外暴露試験¹⁾や促進劣化試験²⁾での検討はなされてきた。しかし、実際の建築構造物での長期使用における経年劣化の実態についての報告は少ない。これまで、全国各地の築後25年以上経過した集成材建築物の劣化実態調査³⁾、築後52年経過した集成材の性能試験⁴⁾などの報告があるが、いずれも屋内使用の例であり、屋外長期使用の実態に関するデータは乏しい。そこで我々は、30年間屋外使用された構造用集成材について、各種強度試験により耐久性評価を行っている。本報では、採取部位ごとの腐朽の発生状況、せん断強さの比較および接着層と木部の比較について報告する。

【試料】

地方独立行政法人北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場敷地内(北海道旭川市)にて、30年間シンボルタワー(写真1)として屋外に設置されていた構造用湾曲集成材を用いた。1986年、林産試験場が旭川市緑町から現在の西神楽に移設された際に、シンボルタワーが建設され翌年竣工した。以後30年が経過し2017年8月に解体された。この建造物は、長さの異なる3種類の構造用湾曲集成材(図1)が6本、放射状に配置され、集成材同士および基礎とは鋼板で接合されていた。平面図を図2に示す。図1で示した集成材ABCが図中に示す通り、北東から南西に向けて高さが増すよう配置されていた。各集成材の方位は、磁北に対する相対角度で示した。周辺環境として、タワー東側に国道が通っていた。



写真1 シンボルタワー外観 (2017年時)

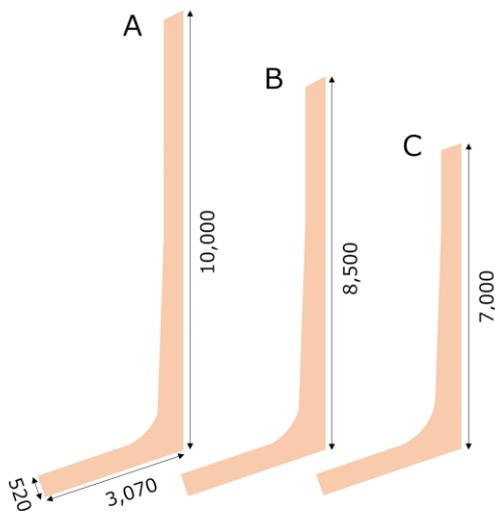


図1 湾曲集成材

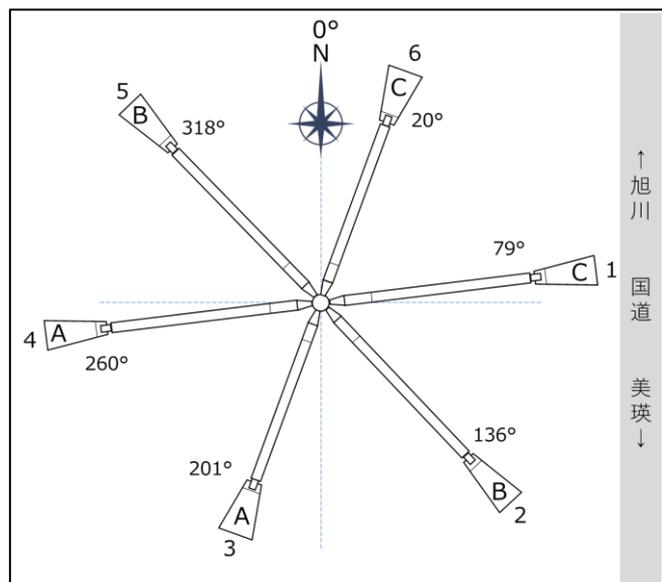


図2 平面図

使用された湾曲集成材の仕様を表1に、竣工から解体に至るまでのメンテナンス履歴を表2に示す。塗装は、竣工から17年目までは3～5年おきになされていたが、前半の3回についての資料は残されていないため詳細は不明である。

表1 湾曲集成材仕様

製造業者	サンモク工業(株)
樹種	エゾトド
積層数	21~25
接着剤	レゾルシノール樹脂
塗装	キシラデコール102# 刷毛塗り3回仕上げ
数量	6本 9.18m ³

表2 メンテナンス履歴

年	内容	詳細
1987	竣工	
1989	塗装①	
1992	塗装② キャップ	最上部木口面をカバーするキャップ取付
1997	塗装③	
2001	塗装④ 補修	塗装(合成樹脂エマルジョンペイント) 下地処理(塗装剥離部分ペーパー掛け) ひび割れ補修(合成エマルジョンパテ)
2004	塗装⑤ 補修	塗装(コンプライマー1回、コンゾラン2回) 下地処理(木部RA種) ひび割れ補修(サシュコ・ログビルダー)
2017	解体	

【実験方法】

6本すべての湾曲集成材の上中下部から1200mmのブロックを切り出した。

1 腐朽の発生状況

各ブロックから図3中の赤点線が示す3か所で断面画像を撮影した。画像上で2cm角メッシュを用いて、4cm²を最小単位とした腐朽または欠損面積の割合を算出した。なお、断面内部に腐朽が発生していた場合、外側の腐朽とは発生原因が異なるため区別して、内部腐朽とした。また次式より健全な面積の割合を求めた。

$$R_h = 100 - (R_a + R_l + R_i)$$

R_h :健全割合[%] R_a :腐朽割合[%]

R_l :欠損割合[%] R_i :内部腐朽割合[%]

2 ブロックせん断試験

切り出したブロックから、せん断力荷荷面が接着層または木部となる試験片をそれぞれ18体ずつ採取した(図3)。

その後20℃ 65%RH 雰囲気中で恒量となるまで静置し、材料試験機(島津製作所(株)製 AUTOGRAPH AG-Xplus 10kN)を用いて、ブロックせん断試験に供し、せん断強さを測定した。加力ヘッドの移動速度は1mm/minとした。接着層の試験片については、木部破断率を測定した。なお、腐朽のため試験片採取が不可能であった場合は、せん断強さを0とし、木部破断率のデータからは除外した。

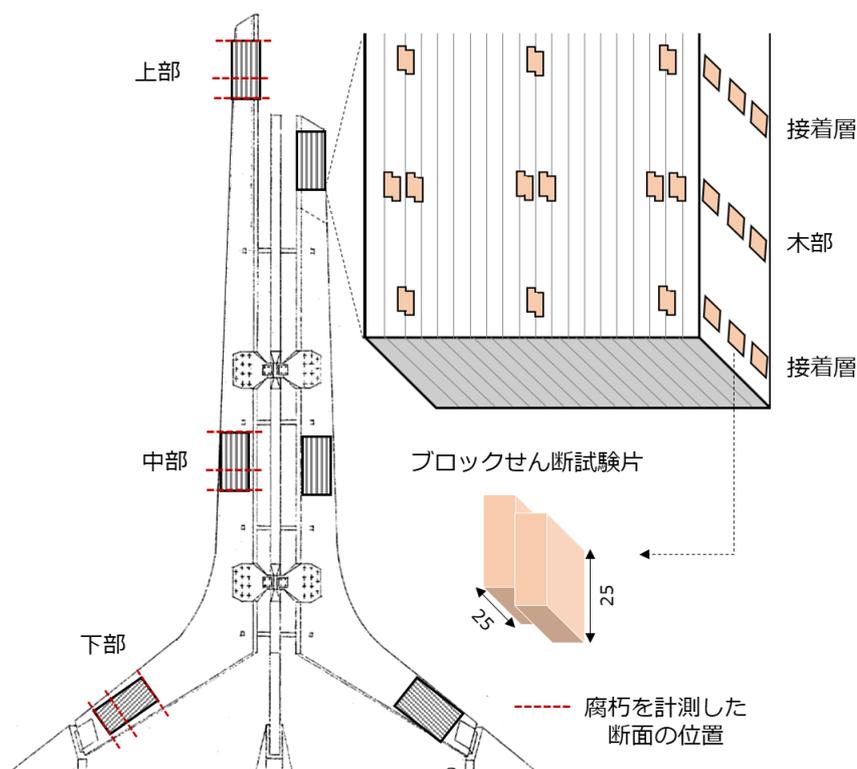


図3 試験片採取部位

【結果および考察】

1 腐朽の発生状況

各集成材の上部および中部（上中部）は、腐朽等は発生していなかった。下部における欠損、腐朽および内部腐朽割合を図4に示す。横軸数字は、図2中に示した集成材の番号で、併せて方角を示した。また、各集成材断面の代表的な写真を写真2に示す。欠損と腐朽を合わせると、1、2、4、6が高いが、4以外はいずれもタワー東側に位置していた。そのうち、最も腐朽が進んでいたのは、2の南東であり、2cm厚さのラミナ3枚分程欠損していた。また西に位置する4は、写真2右端に示したように局所的に内部腐朽が発生しているものがあつた。これは、側面を鋼板で覆われた接合部のボルトと木材の隙間から侵入した水が原因で発生した可能性が高い。

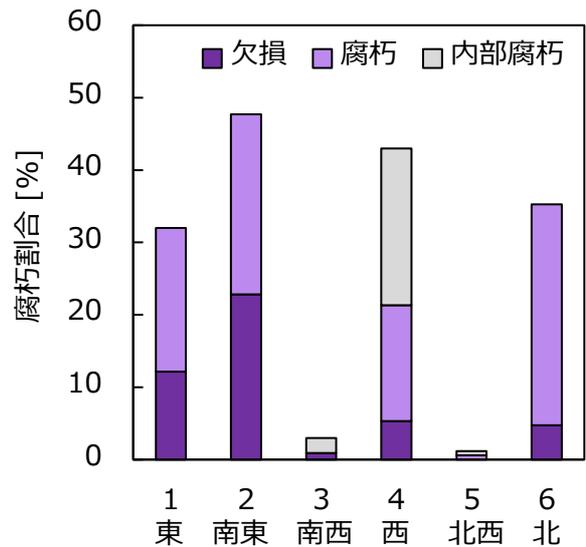


図4 下部断面における腐朽割合

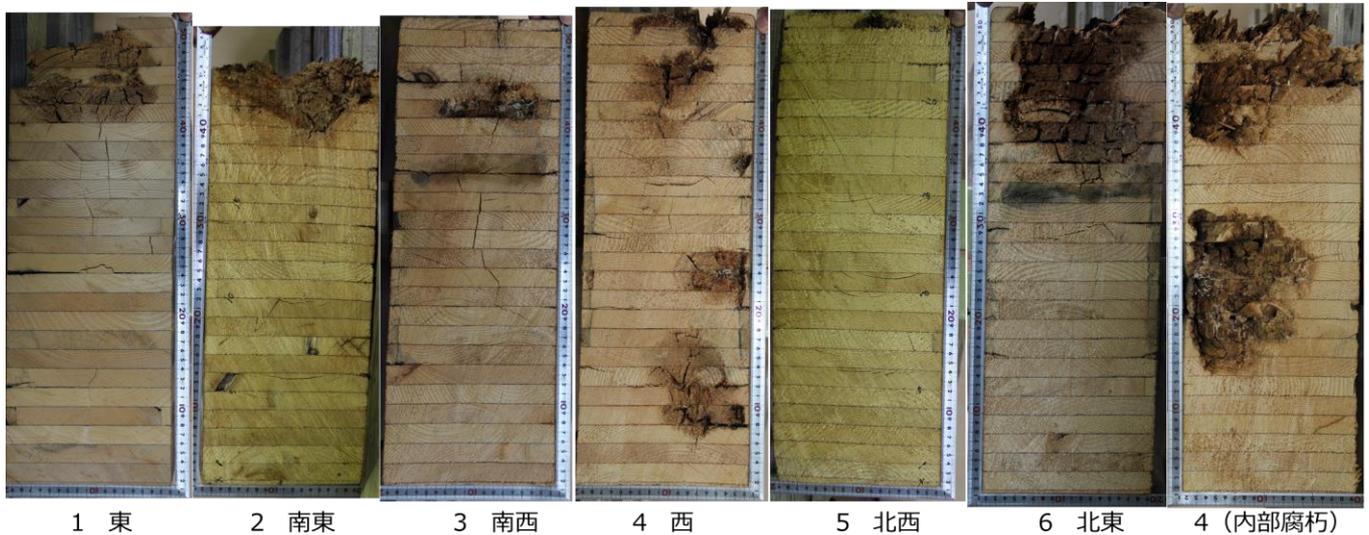


写真2 下部断面写真

2 ブロックせん断試験

各採取部位のせん断強さおよび木部破断率を図5に示す。

2-1 採取部位の比較

上中部においては、木部のせん断強さがどちらも9.8N/mm²であり、エゾマツのせん断強さの文献値(柵目面9.8N/mm²、板目面9.3N/mm²)⁹⁾と比較し、同等の強さを有していることが示された。一方、下部では腐朽により試験片採取不可能な部分が見られ、せん断強さが接着層5.3N/mm²、木部6.7N/mm²と低かった。また、せん断強さのばらつきが大きかった。これは、腐朽部分はせん断強さ0だが、上中部と同等の強さを有する部分もあつたからである。下部において、せん断強さが低い理由は、上中部が地面と垂直であるのに対し、下部では湾曲し地面と約20度の傾斜をなしているため、水分等が集成材上側に滞留しやすかつたこと、さらに冬季

エラーバー：標準偏差
数値：木部破断率[%]

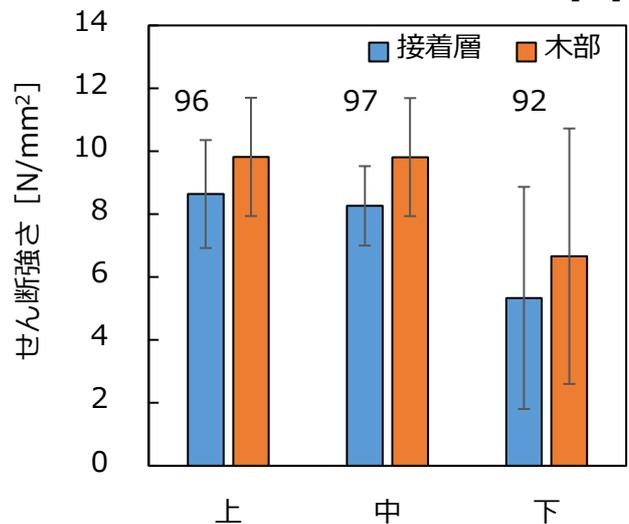


図5 各採取部位のせん断強さおよび木部破断率

には積雪に接触し、凍結融解を繰り返す環境にあったことなどが挙げられる。また上中部が健全であったことの理由に、水が滞留しにくかったこと、表面保護着色剤を塗布し、ある程度塗りなおされていたこと、タワー竣工から5年後に最上部に取り付けたられ木口面を覆うキャップ（表2）により降雨や積雪、日光から保護されていたことなどが挙げられる。

2-2 接着層と木部の比較

上中下部とも、接着層のせん断強さは木部のそれより低く、減少率はそれぞれ12、16、20%であった。一般的に木部破断率が100%に近ければ、接着層のせん断強さは木部の強度に依存する。しかしながら今回、上中部において木部破断率がそれぞれ96、97%と高いにも関わらず、接着層と木部のせん断強さに差が生じた。これは、接着層付近の木部に強度低下が生じたためと考えられる。木部は温湿度などの外部環境の変化により膨潤収縮するのに対し、接着剤の体積変化は少ないため、接着層付近の木部に繰り返し応力が蓄積し、経時的な劣化が生じたものと推察された。とはいえ下部接着層以外では、集成材の日本農林規格(JAS)で定められたエゾマツ集成材のせん断強さの基準値6N/mm²をクリアしており、上中部では30年間の屋外使用後も健全であることが明らかとなった。

3 下部におけるせん断強さと腐朽の関係

下部における各方位のせん断強さおよび集成材断面積における健全割合を図6に示す。接着層および木部のせん断強さは、ともに断面積の健全割合の傾向と類似することがわかった。

【結言】

本報では、集成材の耐久性を明らかにするための実使用時におけるデータ蓄積を目的に、30年間屋外使用された構造用湾曲集成材を用いて、腐朽の発生状況、せん断強さについて採取部位の比較および接着層と木部の比較を検討した。その結果、腐朽については、内部腐朽を除くと東側で多い傾向であった。またせん断強さについて、上中部では、接着層木部ともに健全、下部接着層はJASのせん断強さ基準値を下回ることがわかった。また下部において、断面積における健全な面積の割合とせん断強さが方位ごとで類似した傾向を示すことがわかった。今後、同試料を用いて各種強度試験を進め、さらに詳細な耐久性評価を行う予定である。

【謝辞】

集成材の製造履歴に関する調査を実施するにあたり大変お世話になった空知単板工業(株)の井上弘文氏、また同調査へのご同行および様々な情報をいただいた国立研究開発法人森林研究整備機構森林総合研究所の新藤健太氏に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 柳川靖夫：5種類の木材保存剤でラミナを処理したスギ集成材の屋外暴露試験による接着耐久性評価（第1報）接着せん断強さと木部破断率の変化，木材学会誌 Vol.64, No.4, p.149-155 (2018)
- 2) 柳川靖夫：5種類の木材保存剤でラミナを処理したスギ集成材の屋外暴露試験による接着耐久性評価（第2報）採取部位別の劣化と促進劣化試験との相関，木材学会誌 Vol.64, No.4, p.156-163 (2018)
- 3) 新藤健太，平松靖，宮武敦，中島正夫：築後25～51年経過した建物における集成材柱の耐久性調査，木材保存，36(6)，p.254-259 (2010)
- 4) 松本和茂：長期間使用した集成材の性能試験結果，林産試だより 2012年6月号，p.12
- 5) 木材工業ハンドブック農林省林業試験場編，丸善(株)，p.134，表2・35 (1958)

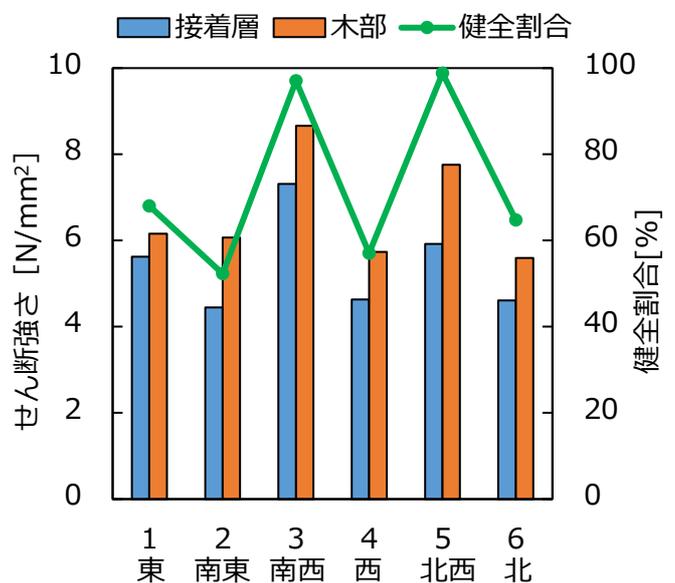


図6 下部におけるせん断強さおよび健全割合

○富高亮介, 戸田正彦 (道総研林産試)

【緒言】

CLT の接合方法は鋼板添え板ビス接合や鋼板挿入ドリフトピン接合, 引きボルト接合など, 多様に提案されており, 要求される性能に応じて選択され使用されている。斜め打ちした長ビスによる接合方法は, 欧州では幅広く用いられているが, 国内では接合性能に関する知見が十分に蓄積されていない。本研究では北海道産のカラマツおよびトドマツを用いた CLT と長ビスで構成される壁-床接合部についてせん断試験を実施し, そのせん断性能を評価した。

【試験方法】

試験体は, カラマツ CLT (JAS 等級 Mx90 相当, 平均気乾密度 480 kg/m^3 , 平均含水率 9.1%) およびトドマツ CLT (JAS 等級 Mx90 相当, 平均気乾密度 377 kg/m^3 , 平均含水率 9.4%) を用いた。層構成は 5 層 5 プライで, ラミナの断面寸法は厚さ 30 mm×幅 105 mm とし, 幅はぎ接着は施していない。使用したビスはパネリード X PX8-230 (シネジック(株), 径 8 mm, 長さ 230 mm) で, 治具を用いて打ち込んだ。

ビスの打ち込み角度は 30° , 45° , 60° の 3 種類とした。床パネルは強軸方向および弱軸方向の 2 種類とした。ビス本数は打ち込み角度 30° で片面 2 本, 打ち込み角度 45° で片面 4 本, 打ち込み角度 60° で片面 3 本とした。打ち込み角度 30° および 60° の試験体には先孔を設けた (打ち込み角度 30° : 直径 8mm かつ深さ 13 mm, 打ち込み角度 60° : 直径 25 mm かつ深さ 15 mm)。試験体数は各 6 体とし, 打ち込み角度 60° で床パネルが弱軸の条件のみ各 3 体とした。試験体の仕様を図 1, 試験体製作状況を図 2, 試験体外観を図 3 に示す。

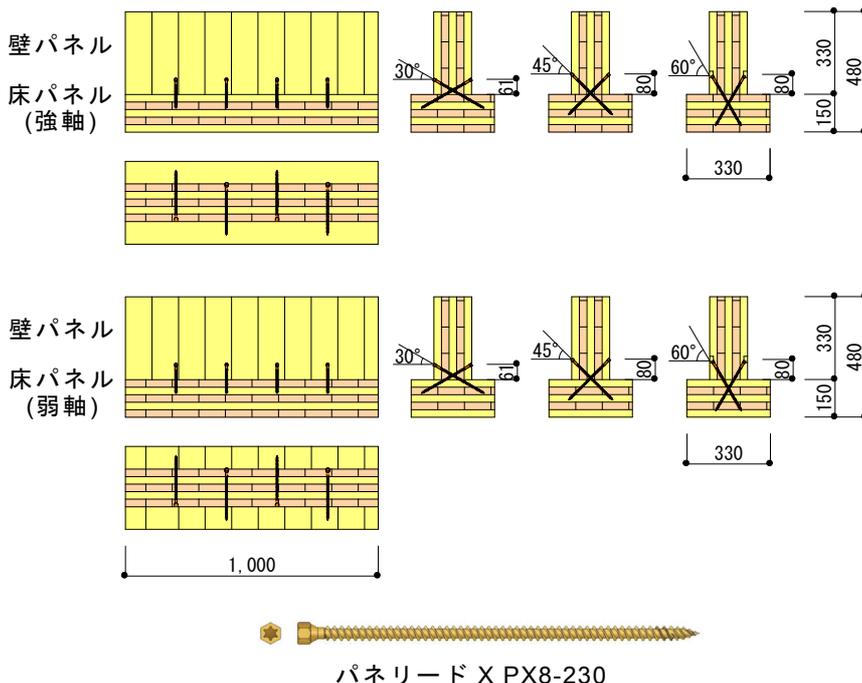


図 1 試験体仕様 (単位 : mm)



図 2 試験体製作状況



図 3 試験体外観

試験は繰り返し荷重試験機（能力 200kN）を使用して行った。荷重の計測は容量 200kN のロードセルで、また壁 CLT パネルと床 CLT パネルの相対変位（表裏 2 箇所）の計測は分解能 1/100mm，最大ストローク 100mm のひずみゲージ式変位変換器を使用して行った。試験方法は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し設定変位は 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32 mm，各 1 回ずつとした。最大荷重の 80%以下に荷重が低下するまで、もしくは変位が 50 mm に達するまで加力を続けた。試験方法を図 4 に示す。

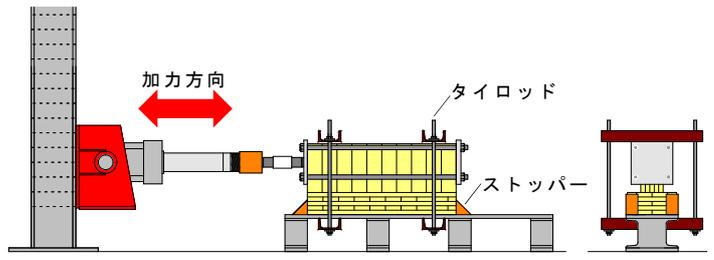


図 4 試験方法

【結果および考察】

試験後の状況を図 5～6，荷重変位曲線のうち代表的な曲線を図 7 に示す。破壊形態として、ビスの破断，ビス頭部のめり込み，床パネルからのビスの引き抜けが観察された。

せん断性能特性値を図 8 に示す。降伏耐力は，最大荷重の 10%と 40%の曲線上の点を結んだ直線と，最大荷重の 40%と 90%の曲線上の点を結んだ直線の勾配で曲線に接する直線との交点の荷重とした。なお，せん断性能特性値は，いずれもビス 1 本あたりに換算した値である。初期剛性についてはカラマツがトドマツを大きく上回ったが，最大耐力および降伏耐力については，初期剛性ほどの違いは見られなかった。最大耐力と降伏耐力は，床パネルが強軸の試験体では打ち込み角度による差が小さく，弱軸の試験体では打ち込み角度 60°の条件で最大となった。初期剛性はいずれの条件でも打ち込み角度 60°で最大となった。



図 5 試験後の状況
ビスの破断



図 6 試験後の状況
ビス頭（試験前），ビス頭のめりこみ（試験後）

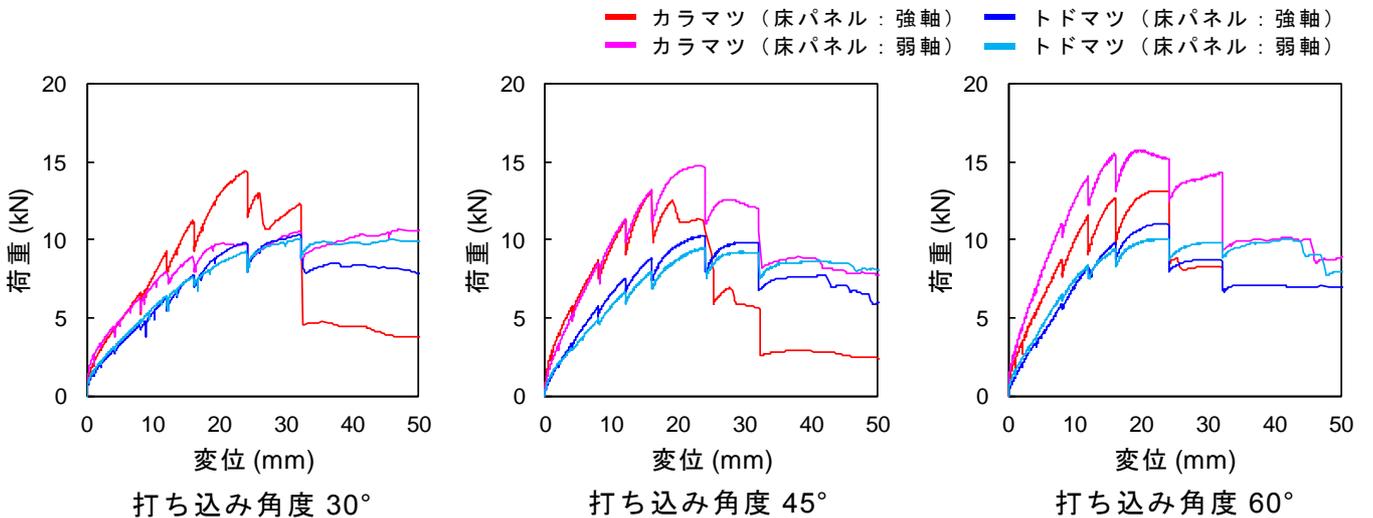


図 7 代表的な荷重変位曲線（包絡処理後，ビス 1 本あたり）

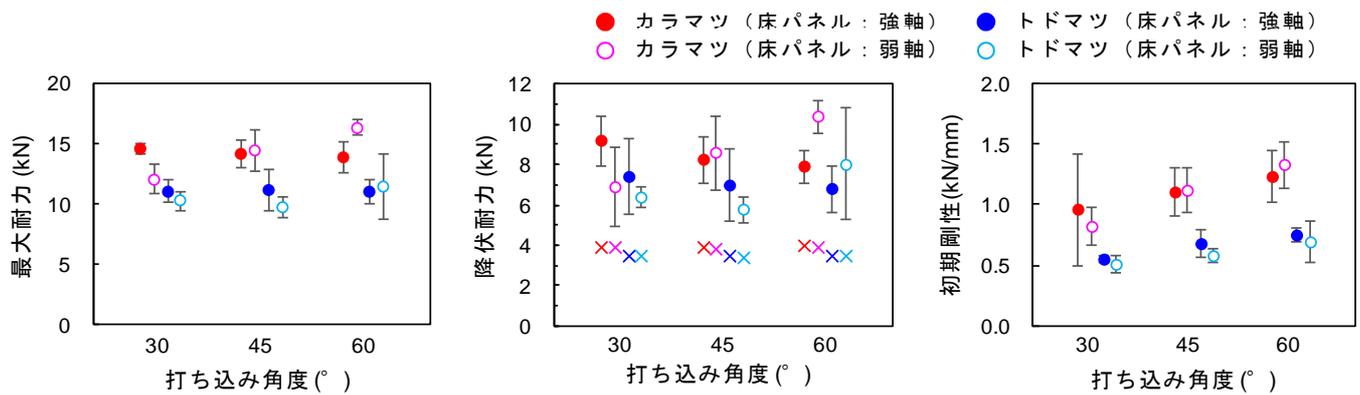


図 8 セン断性能特性値（ビス 1 本あたり）

ヨーロッパ型降伏理論による現行の規準式¹⁾に基づいて求めた降伏せん断耐力 P_y を計算値として図 8 に併せて示す。

$$P_y = C \cdot \bar{F}_e \cdot d \cdot l$$

ただし、 C ：接合形式・破壊形式によって定まる接合形式係数、 \bar{F}_e ：床 CLT パネルの平均支圧強度 (N/mm^2)、 d ：接合具径 (mm)、 l ：床 CLT パネルにおけるビスの有効長さ (mm) である。接合具径は呼び径の 0.75 倍とした。接合形式係数 C の計算に必要な接合具の基準材料強度 F は、使用したビスの 3 点曲げ試験の結果をもとに、曲げ降伏モーメントの平均値から、 $F = 1140$ (N/mm^2) とした²⁾。計算に用いた CLT パネルの支圧強度は、全体の支圧強度がラミナの繊維平行方向および繊維直交方向の割合に応じた各支圧強度の平均であると仮定し、下式と定義した。

$$\bar{F}_e = \frac{l_{\parallel} \cdot F_{e\parallel} + l_{\perp} \cdot F_{e\perp}}{l_{\parallel} + l_{\perp}}$$

ただし、 $F_{e\parallel}$ ：ラミナの繊維平行方向支圧強度 (N/mm^2)、 $F_{e\perp}$ ：ラミナの繊維直交方向支圧強度 (N/mm^2)、 l_{\parallel} ：繊維平行方向ラミナを通過するビスの有効長さ計 (mm)、 l_{\perp} ：繊維直交方向ラミナを通過するビスの有効長さ計 (mm)。 l_{\parallel} および l_{\perp} の模式図を図 9 に示す。ラミナの支圧強度は、Eurocode 5 に準拠し、材料の平均比重 r より求めた $F_{e\parallel} = 82(1 - 0.01d)r$ 、 $F_{e\perp} = F_{e\parallel}/(1.35 - 0.015d)$ をそれぞれ用いた³⁾。側材に相当する壁 CLT パネルの平均支圧強度 \bar{F}_e' についても、同様に定義した。

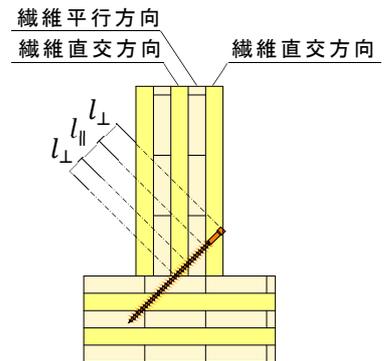


図 9 l_{\parallel} および l_{\perp} の定義

試験体仕様に関わらず、実験平均値は計算値を上回った。ビスが通過するラミナの繊維平行方向・繊維直交方向の割合は、打ち込み角度および床 CLT パネルの加力方向によって、ビス全長に対して $l_{\perp}/l_{\parallel} = 0.77$ から最大で $l_{\perp}/l_{\parallel} = 1.71$ と幅があったが、計算値をビスの打ち込み角度で比較すると、最大でも 3% 程度の差に収まった。このことは、CLT の層構成を計算へ正確に反映させずとも、支圧強度を適当に概算することで降伏耐力を簡便に推定し得ると捉えられる。一方で、実験値は計算値の 1.7 ~ 2.6 倍と開きがあった。この開きは、本研究での EYT を適用した計算において、ビスの軸力の影響を無視していることに起因していると予想される。今後は、斜め打ち接合におけるビスに生じる軸力やビスせん断面のラミナ繊維方向の影響等について検証したい。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－，日本建築学会，pp.222-234，2006.
- 2) シネジック株式会社：試験報告書，2015.
- 3) EN 1995-1-1：2004 Eurocode 5，Design of timber structures Part 1-1，2004.

○齋藤沙弥佳¹⁾, 米山彰造¹⁾, 東智則²⁾, 佐藤真由美¹⁾, 富山隆広³⁾, 松本晃幸⁴⁾
 (1) 道総研林産試, (2) 道総研本部, (3) (株)スリービー, (4) 鳥取大・農)

【緒言】

タモギタケは北海道で国内総生産量の約 70%を生産している食用きのこであり、近年は健康食品素材としての利用が注目されている。一方で、タモギタケは栽培時に大量の孢子を放出することから生産施設や作業環境への影響が問題となっている。本研究では当試験場で開発したタモギタケ孢子欠損性変異株(以下孢子欠損株)に対して呈味成分を測定し、食味試験を実施し野生型品種との比較検討を行った。

【実験方法】

呈味成分として、遊離アミノ酸および5'-ヌクレオチドを所定の方法で栽培したタモギタケ子実体可食部の凍結乾燥試料の水懸濁液から抽出し、定量解析を行った。遊離アミノ酸は室温で10分間ソニケーションによる抽出を行い、遠心分離後の上清を定容したのち、OPA-HPLC法にて測定を行った。5'-ヌクレオチドは100℃で5分間抽出を行い、氷冷した懸濁液を遠心分離後に上清を定容したのち、HPLCによる分離とPDA検出(UV 254 nm)により測定した。食味試験は子実体100gに0.2%食塩水50mLを加え、電子レンジにより加熱(500W・2分間、攪拌操作を挟んで2回)したのち室温まで冷まして供試した。パネラーは15人とし、野生型品種を対照とした比較評価を行った。

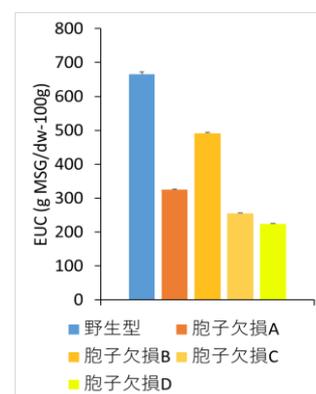


Fig. 1: タモギタケ野生型株と孢子欠損株の旨味指標値(EUC)。Error Bars; SD, n=3.

【結果および考察】

タモギタケの孢子欠損株および野生型品種のアミノ酸含量を測定した結果、孢子欠損性株では野生型のものと比べチロシンの含量が有意に増加しており、その他の苦みを呈するアミノ酸も一部の株で含量が増加する傾向が見られた。また核酸含量を比較したところ、孢子欠損性株の多くでは野生型よりもグアニル酸、アデニル酸、ウリジル酸の含量が少なくなっており、旨味指標値(EUC: equivalent umami concentration, Ref)を算出した結果、孢子欠損株の多くで減少している傾向が見られた(Fig. 1)。

その一方で、食味試験では双方のうま味および総合評価に有意な差は認められなかった(Fig. 2)ことから、食味においては野生型品種と遜色がないことが推察された。また、食味試験の評点から相関係数を算出・解析した結果、食味の総合評価は食感評価と強い正の相関が示され、うま味などの呈味に関する評価よりも、食感の影響を強く受けることが示唆された。

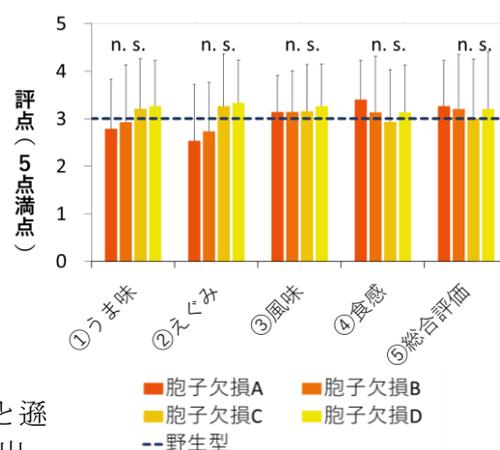


Fig. 2: タモギタケ野生型株と孢子欠損株の食味試験。Error Bars; SD, n=15, Dunnett's test..

【謝辞】本研究は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(27036C)の一部として実施した。

【Reference】

Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S and Ninomiya T (1971), Measurement of the relative taste intensity of some L- α -amino acids and 5'-nucleotides, J. Food Sci., 36, 846-849.

木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討（２） －無機微量元素の含有量分析－

○折橋 健、安久津 久（道総研林産試）、丹羽 忍、大塚英幸（道総研環科研）

【緒言】

木質バイオマスのエネルギー利用は近年伸展が続いており、それに伴って燃焼灰の有効活用も重要な課題となっている。そこで筆者らは、化学物質（塗料や防腐剤等）を含まない無垢材を専焼ボイラーで燃焼した時に得られる灰を対象に融雪資材化を目指した研究を実施している。

これまでに、チップあるいは薪ボイラーから採取した燃焼灰を分析し、その物理的、化学的性状を明らかにするとともに、雪上散布試験²⁾を行って燃焼灰には既存の融雪資材（木炭、もみ殻炭）と同等の融雪効果があることを確認している。また、燃焼灰を雪上散布した際の融雪水の安全性についても検討を行った³⁾。

本発表では、燃焼灰の無機微量元素の含有量について分析結果を報告するとともに、本含有量の観点から燃焼灰の雪上散布にあたっての留意点について考察を行う。

【実験方法】

1) 無機微量元素の含有量分析

道内において、チップ（針葉樹）もしくは薪（広葉樹、針葉樹）を燃料とするボイラー7 か所（200～1200 kW）より燃焼灰 12 試料（主灰 5 試料、飛灰 5 試料、主灰と飛灰のミックス灰 2 試料）^{注)}を採取した。無機微量元素の分析は、Cd、Cr、Hg、Se、Pb、As、B、Cu、Zn を対象とした。Hg の分析は、燃焼灰を秤量後、加熱気化-原子吸光法（日本インスツルメンツ製 MA-1）により行った。その他の元素については、次のとおり分析した。燃焼灰 0.1 g を精秤し、高压分解容器に入れ、そこへ硝酸 6 mL、フッ化水素酸 1 mL、過酸化水素 2.5 mL を加えて高温高压分解（最高 200℃、40 分加熱）を行った。放冷後、分解液をテフロンビーカーに移してフッ化水素酸を飛ばし、硝酸（体積比で硝酸 2 : 水 98 の溶液）で再溶解させた後、沈殿物を除いて定容し検液とした。検液中の元素分析には、ICP-OES（Varian 製 710-ES）及び ICP-MS（Agilent 製 7700x）を用いた。

注) 主灰はボイラー燃焼室の底部から得られる灰、飛灰は排ガスから分離して得られる灰、ミックス灰は両者をまとめたものである。

2) 雪上散布地における燃焼灰散布後の土壌の無機微量元素含有量の計算

雪上散布後の燃焼灰は、融雪に伴って土壌に到達し、土壌の無機微量元素の含有量は、燃焼灰に由来して増加すると考えられる。その際の含有量について、表 1 に示す条件下で計算した。なお、土壌採取の方法については、燃焼灰由来の元素が土壌表層に存在するとし、土壌汚染対策法施行規則⁴⁾における採取方法（汚染のおそれが生じた場所の位置が地表と同一の位置にある場合は、地表から深さ 5 cm までの土壌及び深さ 5 cm から 50 cm までの土壌を採取し、両者を同じ重量ずつ混合した 1 試料について測定する）にしたがって行うものとした。

表 1 燃焼灰散布後の土壌の無機微量元素含有量の計算条件

項目	設定条件	文献
燃焼灰の雪上散布量	1 m ² あたり 20 g	2
燃焼灰中の元素aの含有量	A mg/kg	-
土壌の仮比重	0.5 - 1.3 g/cm ³ (= 500 - 1300 kg/m ³)	5
燃焼灰散布前の土壌中の元素aの含有量	X mg/kg	-
燃焼灰散布後の土壌中の元素aの含有量	Y mg/kg	-

【結果および考察】

1) 燃焼灰中の無機微量元素の含有量

表2に燃焼灰中の無機微量元素含有量に関する分析結果を示す。土壤汚染対策法における含有量基準⁴⁾が定められているCd、Cr、Hg、Se、Pb、As、Bについては全12試料が本基準を満たしていた。なお、本基準でのCrに関する基準値は、六価クロム(Cr⁶⁺)に対するものであるが、本研究では全クロム(Cr⁶⁺を含む全てのクロム)を測定しており、この値が六価クロム基準値を満たしていた。この結果から、間接的ではあるが試料中の六価クロムに関しても基準を満たしていると解釈される。また、Asに関しては農用地に関する基準⁶⁾も合わせて満たしていた。上記の元素を主灰、飛灰、ミックス灰間で比較すると、飛灰において最大値が大きい値となる傾向があった。

農用地に限って含有量規制があるCu⁶⁾、Zn⁷⁾については、表2には個別試料の数値を示していないが、今回測定した全試料でCu、Znの一方もしくは両方の含有量が基準値を超えていた。これに関して堆肥などでは、製品におけるCu、Zn含有量が基準値を超える場合もあるが、使用が認められない訳ではなく、施用にあたり土壤中濃度が上昇する可能性があることを注意事項として製品に表示した上で使用されている。そこで、燃焼灰の農用地での雪上散布に関しても、堆肥などにおけるCu、Znの取り扱いを参考に、燃焼灰中の含有量の把握や散布に伴う土壤中含有量の上昇への注意を徹底し、実施することが重要と考えられる。

表2 燃焼灰中の無機微量元素の含有量 (mg/kg、最小値 - 最大値)

	主灰 5試料	飛灰 5試料	ミックス灰 2試料	土壤含有量 基準	農用地に 係る基準
Cd	ND - 0.85	6.4 - 68	0.41 - 0.63	150以下	-
Cr	21 - 57	9 - 88	44 - 54	250以下 ^{*1}	-
Hg	TR - 0.0005	TR - 0.0121	0.0007 - 0.0018	15以下	-
Se	ND	ND - 4	ND	150以下	-
Pb	ND	ND - 20	ND	150以下	-
As	ND	ND	ND	150以下	15以下 ^{*2}
B	210 - 270	222 - 384	189 - 312	4000以下	-
Cu	132 - 204	125 - 424	89 - 151	-	125以下 ^{*2}
Zn	35 - 100	280 - 1522	290 - 498	-	120以下 ^{*3}

TR: 定量下限 (0.0003) を下回る、ND: 検出されず、*1: 土壤含有量基準においては六価クロムの基準値、*2: 農用地 (田に限る) の基準値、文献6参照、*3: 農用地の基準値、文献7参照

2) 雪上散布地における燃焼灰散布後の土壤の無機微量元素含有量の計算

雪上散布後の燃焼灰が土壤に到達した際の土壤の無機微量元素の含有量について、実験方法にしたがって計算すると以下のとおりとなる。なお、以下の値は全て乾物ベースの値である。

- ① 土壤深さ1cmあたりの重量は、仮比重の1/100、すなわち5~13 kg/m²であり、5cmでは25~65 kg/m²である。
- ② この時、燃焼灰量 (20 g/m²) を含む表層から深さ5cmまでの土壤重量は、燃焼灰量のごくわずかなため土壤の深さに寄与しないとして計算すると、25.02~65.02 kg/m² (= 25~65 kg/m² + 20 g/m²) となる。
- ③ 土壤の採取方法より、採取土壤の重量は②の2倍量 (50.04~130.04 kg/m²) であり、その中の燃焼灰 (20 g/m²) の割合 (w/w) は0.015~0.040%となる。
- ④ 以上より、採取土壤1kgに含まれる無機微量元素aの量は、以下の範囲である。

$$[(1 - 0.00015) \cdot X + 0.00015 \cdot A] \sim [(1 - 0.00040) \cdot X + 0.00040 \cdot A] \text{ mg/kg}$$

- ⑤ ④より、採取土壤1kgに含まれる元素aの量は、下式で近似される。

$$Y = X + kA \text{ (mg/kg)}$$

ここでkは土壤の仮比重により決まる係数であり、表3のとおりとなる。

表3 土壤仮比重と係数kの関係

土壤仮比重 (g/cm ³)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
係数k	0.00040	0.00033	0.00029	0.00025	0.00022	0.00020	0.00018	0.00017	0.00015

$$\text{係数 } k = [\text{燃焼灰量} / (\text{土壤仮比重} \cdot 50000 + \text{燃焼灰量}) / 2]$$

ここで、燃焼灰量は20 g/m²、土壤仮比重の単位はg/cm³

以上のように、燃焼灰の雪上散布後の乾物土壌 1 kg に含まれる元素 a の量 (Y) は、元々の土壌に含まれている量 (X) に、燃焼灰中に含まれている量 (A) の k 倍量を加えたものとして計算される。あらかじめ X と A および k の値が分かれば、個々の元素について燃焼灰散布後の土壌含有量を推計することができる。

先述のように、Cu、Zn については農用地に係る含有量基準を超える場合があるため、燃焼灰中の含有量を把握し、雪上散布に伴う土壌中含有量の上昇に注意する必要がある。これに対して上記の式 ($Y=X+kA$) は、燃焼灰の排出者や利用者が土壌中の Cu、Zn 含有量を自己管理する手段として使用できると考えられる。

表 4 に燃焼灰中の微量元素 a の含有量 (A) と雪上散布後の土壌における元素 a の増加量 (kA) の関係を土壌の仮比重が 0.5、0.8、1.0 の場合について示す。ここで A の範囲については表 2 の Cu、Zn の値を参考に設定した。燃焼灰の雪上散布 1 回あたりの元素 a の土壌での増加量は、A の設定範囲においては 1 mg/kg にも達していない。これは、Cu、Zn の基準値から見れば相当低い値と理解される。したがって、Cu、Zn の含有量が基準値よりも十分に低い農用地では、燃焼灰の雪上散布を行ってもこれら元素の土壌含有量が問題になる可能性は非常に低いと示唆される。

表 4 元素 a の燃焼灰中の含有量 (A) と雪上散布後の土壌における増加量 (kA) の関係

燃焼灰中の含有量 (mg/kg, A)	10	50	100	500	1000	1500	2000
土壌での増加量 (mg/kg, kA)							
土壌仮比重0.5のとき	0.004	0.02	0.04	0.20	0.40	0.60	0.80
0.8のとき	0.003	0.013	0.025	0.125	0.250	0.375	0.500
1.0のとき	0.002	0.01	0.02	0.10	0.20	0.30	0.40

【おわりに】

北海道では、平成 29 年 3 月に「焼却灰（天然木由来）の利用の手引き」を発行し、燃焼灰の排出者や利用者が灰を利用、販売する場合に整理しておくべき事項についてガイドラインを示している。本手引きの要点は、利用目的に合致した適切な方法と量で燃焼灰を使用すること、周囲の生活環境に悪影響を及ぼすことのないよう燃焼灰の管理および使用における安全性を確保すること、上記およびその他の必要な情報を整理し、いつでも説明できる状態にしておくことであり、排出者や利用者はこのガイドラインに沿って情報整理を行うことが推奨されている。

筆者らは、燃焼灰の融雪資材化に向け、適切な利用法や安全性の観点から検討を重ねてきた。今後は、本発表内容も含めて取りまとめを行い、燃焼灰の排出者および利用者が上記の手引きに沿って情報整理を行う際の一助となるよう、技術情報を発信したいと考えている。

【謝辞】

燃焼灰のご提供元、並びに分析にご協力いただきました皆様にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

【引用文献】

- 1) 折橋ら：チップもしくは薪ボイラーより採取した木質燃焼灰の性状分析. 第 68 回日本木材学会大会, Q15-P-11, 2018.
- 2) 折橋ら：木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討. 日本木材学会北海道支部講演集 49, 61-64, 2017.
- 3) 折橋ら：木質燃焼灰の雪上散布における融雪水の安全性の検討. 廃棄物資源循環学会第 29 回研究発表会講演集, B3-8-P, 2018.
- 4) 環境省：土壌汚染対策法施行規則（平成十四年環境省令第二十九号）.
(<https://www.env.go.jp/water/dojo/law/kaisei2009.html>)
- 5) 農林水産省：新潟県における土づくりのすすめ方. 土壌の基礎知識.
(http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/nii01.html)
- 6) 環境省：農用地の土壌の汚染防止等に関する法律施行令（昭和四十六年政令第二百四号）.
(<https://www.env.go.jp/water/dojo/nouyo/law.html>)
- 7) 環境省：農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準について（環水土 149 号）.
(<https://www.env.go.jp/hourei/06/000049.html>)

P-7 カツラ・ハルニレの組織培養を用いたクローン繁殖法の検討

○玉木健也、佐野雄三、荒川圭太、山岸祐介（北大院農）

【緒言】

茎頂培養とは幹枝の先端部にある頂端分裂組織といくつかの葉原基を含んだ部分である茎頂を直接培地に植えることで行う植物体を獲得するための組織培養方法である。茎頂培養を行う利点は1つ目に、母樹と同じ遺伝子型を持つ植物を作出することができる点である。二つ目に、挿し木や接ぎ木と異なり茎頂の切り出し方によってウイルスフリーの状態での個体作出を行うことができる。以上から、茎頂培養は樹木の保存と増殖を行う上で適した手段であると考えられる。

茎頂培養を用いてクローン樹木を再生する試みはすでに行われており、例えば京都府仁和寺に生育するサクラの品種「揚道桜」は母樹が老齢であるため、挿し木による増殖を行うことができなかったが、茎頂培養を用いることで増殖・保存に成功した（日本経済新聞「仁和寺「御室桜」クローン咲いた」2014/4/12 付朝刊）。しかし茎頂の生育、発達に有効な培養条件は樹種によって異なることから、多くの樹種については前述のような組織培養技術を用いた増殖・保存の体制が整っているとはいえない。

そこで我々は北海道に分布し、なおかつ名木や古木が存在する樹種のうちカツラ (*Cercidiphyllum japonicum*) やハルニレ (*Ulmus davidiana* var. *japonica*) の2樹種について、名木・古木の保存と増殖を行うことのできるような茎頂培養の最適な培養条件を探ることを目的に研究を行った。

【実験方法】

北海道大学構内の苗畑で生育するカツラおよびハルニレを供試木とし、カツラは2017/4/7、4/25、11/30の計3回、ハルニレは2017/4/8、12/25の計2回にそれぞれ冬芽の採取を行った。採取した冬芽は当日中に、イソプロピルアルコールと次亜塩素酸ナトリウムを用いて滅菌後、クリーンベンチ内で冬芽から茎頂を取り出し培地に植え付けた。春(4/7、4/8、4/25)に行った実験では基本培地として1/2MS培地とWPM培地の2種類を用い、スクロース20g/Lを添加し、固化剤として寒天8g/Lを添加した。植物ホルモンについてはオーキシンであるインドール酢酸(IAA)またはナフチル酢酸(NAA) 0, 1 μM とサイトカイニンである Zeatin 0.2, 1, 5 μM またはベンジルアミノプリン(BAP) 1, 5, 10 μM を組み合わせて添加した条件および植物ホルモン無添加の培地、合計38種類の条件を検討した。春の結果を受けて冬(11/30)に行ったカツラの実験では Zeatin と IAA の添加条件を除いた合計14条件で検討し、冬(12/25)に行ったハルニレの実験では1/2MS培地とIAA、NAAの添加条件を除いたうえで新たに条件を追加し、WPM培地でサイトカイニンである Zeatin 0.2, 1, 2, 5 μM と BAP 1, 2, 5, 10 μM をそれぞれ単独添加した条件および植物ホルモン無添加の培地、合計9条件で検討した。いずれも25°C、16時間日長で培養を行い、約1ヶ月~2ヶ月間隔で植継ぎを行った。植継ぎには植え付けと同じ条件の培地を使用した。

【結果および考察】

(カツラ) 春(2017/4/7、4/25)に採取した茎頂ではシュートの伸長、および複数の芽の集合体である多芽体の形成がみられた。特にサイトカイニンにオーキシンを組み合わせた場合、1/2MS培地に1 μM の NAA と 5 μM の BAP を組み合わせた条件と WPM 培地で 1 μM の NAA と 5 μM の Zeatin を組み合わせた条件で4/7に植え付けた茎頂から60日後に多芽体形成が見られた。BAP と Zeatin を単独で含む条件では多芽体の形成は観察されなかったものの、シュートの伸長が観察された。またサイトカイニンの種類に着目すると BAP と Zeatin の2種類のサイトカイニンで大きな差は認められなかった。一方で植物ホルモンを添加しない条件では茎頂は生育しなかった。

カツラの冬(11/30)の冬に採取した茎頂では60日後に多芽体の形成が見られたのは1 μM 、5 μM の BAP を単独で添加した条件であった。次に BAP を単独で添加した条件における茎頂を BAP の濃度

ごとの違いで比較すると濃度が高くなるほど葉の萎縮が起こる傾向が観察された（図 1）。次にオーキシシンとサイトカイニンを添加した条件では春の場合と異なり多芽体は見られず、シュートの伸長だけが観察された。そしてホルモン無添加の培地では春の植え付け同様、茎頂の枯死が見られた。

採取時期の間で比較すると、多芽体の形成が春ではオーキシシンとサイトカイニンを組み合わせて添加した条件で認められたのに対し、冬では BAP を単独で添加した条件で認められており、春と冬で最適な植物ホルモン条件が異なっていた。また春と冬の植え付けに共通して、植物ホルモンの添加がカツラの茎頂の生育に必要であった。

（ハルニレ）春(4/8)に採取した茎頂では多くの培地条件でカルスが形成され、カルスの中で一部芽のような構造が生じる様子が観察されたもののシュートの伸長は起こらなかった。

冬(12/25)に採取した茎頂においては春と異なり、植物ホルモン無添加もしくは $0.2 \mu\text{M}$, $1 \mu\text{M}$ の Zeatin を添加した条件でシュート伸長が見られた（図 2）。BAP を添加した条件ではシュートは伸長せず、芽とカルスが混じった状態で発達している様子が観察された。またハルニレでは Zeatin、BAP 共に濃度が高くなるほど枯死率が高まった。

ハルニレにおいては春と冬で茎頂の反応性に違いが見られた。これは茎頂内部の植物ホルモン感受性に差が生じたなどが考えられる。またすべての実験を通して茎頂を取り出す際にメスで傷つけてしまったと思われる部位にはカルスが生じており、このことからハルニレの茎頂は外傷によってカルス化を起こしやすいと考えられる。

【まとめ】

茎頂の採取時期によって、カツラでは多芽体が誘導される植物ホルモン条件に違いが見られた。一方で、ハルニレでは春に採取した茎頂では生育自体が困難であった。このことから茎頂からの植物体のクローン獲得には採取時期の適切な選択が重要であることが分かった。また今回の実験ではカツラで多芽体を、ハルニレではシュートの作出に成功した。今後、さらに発根条件の確立や作製した植物の屋外への馴化を行うことで、安定的にクローン植物を増殖させることが可能である。無菌のクローン植物の増殖系が確立できれば、今後仮に名木や古木が何かしらの病気に感染する、突発的な事故で幹が折れるなどのトラブルに見舞われたとしても茎頂さえ無事であれば茎頂から無菌のクローン植物を確保することができるようになり、歴史的に重要な樹木や貴重な品種などの遺伝資源の損失を防ぐことができると考えられる。

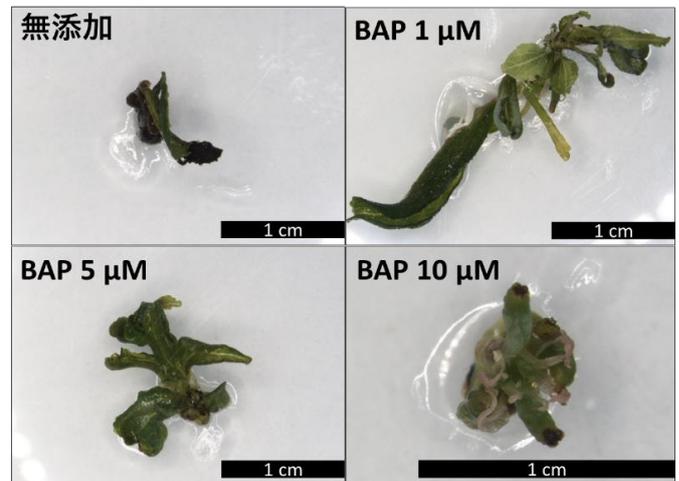


図 1 カツラの茎頂の生育に BAP が与える影響
（WPM 培地、植え付け後 60 日経過）

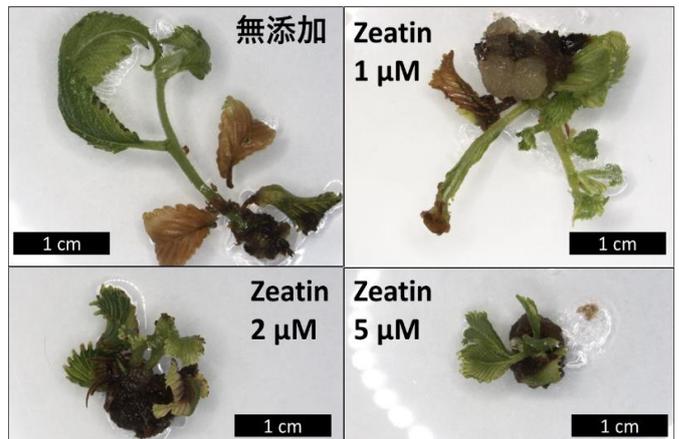


図 2 ハルニレの茎頂の生育に Zeatin が与える影響
（WPM 培地、植え付け後 60 日経過）

日本木材学会 北海道支部講演集 第50号

平成30年10月24日 発行

編集人 玉井 裕, 折橋 健, 今井 良

発行人 森 満範

発行所 日本木材学会 北海道支部

〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目

北海道大学農学部内
