

2 試験研究業務

2-1 木材化学分野

2-1-1 土木資材用スギ材の耐久性評価試験

-8年経過後の地際部の腐朽度-

材料開発部 岩崎新二

【緒言】

スギ材の用途拡大は、地球温暖化防止対策、木材資源循環のために重要な課題であり、外構部材や土木資材への展開が重要視されている。スギ材を屋外で利用する場合には、耐久性向上の処理及び措置が施されるが、木材を長期にわたり使用するために木材の耐久性や劣化状態を把握する必要がある。木材の耐久性評価の1例として野外杭試験がある。野外杭試験では、地際部は、乾燥湿潤を繰り返し栄養分の補給も容易なことから劣化・腐朽が激しいといわれている。耐久性向上の処理は、地際部を中心に行えばよい可能性も考えられる。

そこで、本試験は、土木・建築資材用としてスギ丸棒加工材、角材の利用を想定し、宮崎県産スギ材に防腐処理を地表・地中部全面と地際部のみに行い耐久性の比較を行った。

【実験方法】

供試材料は、宮崎県産スギ材で丸棒加工材（ $\phi 20 \times 160\text{cm}$ 、 $\phi 10 \times 60\text{cm}$ （高温乾燥材、生材））と角材（ $12 \times 12 \times 60\text{cm}$ 高温乾燥材）である。防腐処理は、化学的処理として防腐剤塗布（アゾール系、AAC）と物理的処理としてバーナーによる炭化とした。各処理を地表・地中部全面と地際部のみに行った。試験材と対照区の無処理材を地中部 40cm となるように、木材利用技術センター耐久性試験地に 2004 年 7 月に埋め込んだ。評価は、目視により地際部の腐朽度を雨宮¹⁾の方法により行った。

【結果】

地際部の腐朽は、丸棒加工材では 3 年経過後、角材については 4 年経過後に発生が確認された。目視被害の数値が耐用年数を判断する数値 2.5²⁾を超えたのは、丸棒加工材（高温乾燥材 $\phi 20\text{cm}$ ）は、炭化処理材、無処理材とも 3 年経過後であったが、防腐剤塗布処理材（アゾール系、AAC）は、8 年経過後でも達していない。生材（ $\phi 20\text{cm}$ ）では、炭化処理材、無処理材が 4 年、AAC 塗布処理材が 7 年で達した。高温乾燥材（ $\phi 10\text{cm}$ ）は、炭化処理材が 3 年、無処理材が 5 年、地際 AAC 塗布処理材が 7 年で、生材（ $\phi 10\text{cm}$ ）では、地際炭化処理材が 4 年、炭化処理材と無処理材が 5 年で、AAC 塗布処理が 7 年、地際 AAC 塗布処理材が 8 年で達した。角材については、炭化処理材、無処理材が 5 年で達したが、防腐剤塗布処理材（アゾール系、AAC）は、8 年経過後でも達していない。丸棒加工材、角材とも地際部の腐朽は、地際処理材、全処理材とも同程度であり、また辺材部でとどまっているものが多かった。腐朽の大きさは、無処理材・炭化処理材 > AAC 塗布処理材 > アゾール系塗布処理材の順で、アゾール系塗布処理材が最も効果的であった。

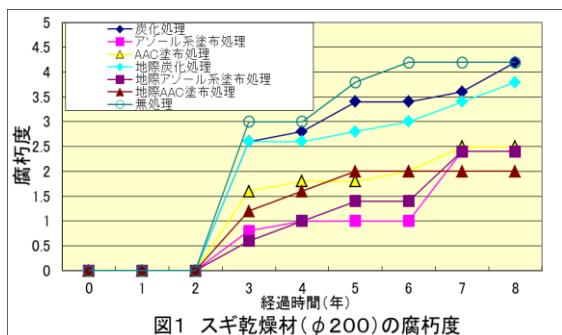


図1 スギ乾燥材（ $\phi 200$ ）の腐朽度

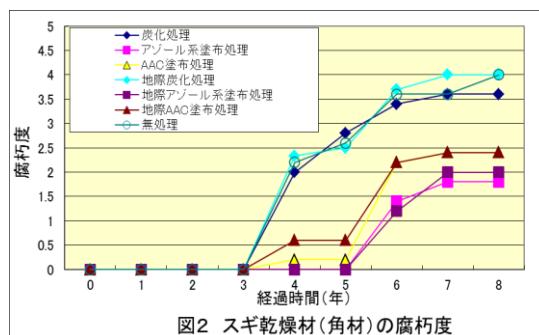


図2 スギ乾燥材（角材）の腐朽度

【引用文献】

- 1) 雨宮昭二：林業試験場研究報告、第 150 号 143-156 (1963)
- 2) (独)森林総合研究所監修(2004):改訂 4 版 木材工業ハンドブック 787

【緒言】

低質材や木炭の有効活用を目的として、異なる温度で焼成したスギ及びヒノキの木炭と竹炭の特性を調べた。特に焼成温度の異なる各炭について収率とpHを測定し、焼成前の各試験材に対する示差熱分析の結果と併せて議論した。また先行研究[1,2]において、林地残材や鶴ふん等のバイオマス資源を燃焼した後に残る燃焼灰の再資源化を念頭に、燃焼灰を原料に用いた水酸アパタイト溶液の調合とその注入処理材を開発してきたが、これを背景として先述の木炭にリン酸カルシウム処理を施し、無機複合型木炭の開発も行った。

【実験方法】

- (1) 供試材料の炭化とpH測定 – 供試材料としてスギ辺材とヒノキの試験体(L50×R30×T30mm)及び竹の試験体(幅20mm×長さ500mm)を用意し、105°Cで72時間乾燥させたものを材料とした。これを製炭装置(KASE-02:弘前機械開発製)により炭化した。炭化条件は、炉内圧が大気圧を0kPaとするゲージ圧で減圧90kPa、炉内最高温度は300°C、400°C、500°C、600°C、700°C、800°Cの6段階で最高温度の保持時間を5時間とした。炭化前後の重量から得られた炭の収率(w/w%)を算出した。pHの測定についてはJISK1474に準拠し、炭粉末1gに蒸留水100mlを添加し、5分間の沸騰後蒸発分の蒸留水を補充し、冷却後にpH測定器でpHを測定した。
- (2) 示差熱分析 – 炭化前の供試材料について、燃焼による重量減少を示差熱分析計TGA-60及びDTA-60(島津製作所製)により調べた。上記の供試材料と同じくスギ辺材、ヒノキ、竹を各々粉碎して目の開きが500μmのふるいに掛け、供試粉末を得た。試料量2.5-3.0mgを乾燥空気中で30°Cから600°Cまで20°C/分の速度で加熱し、熱挙動と重量減少の変化を測定した。
- (3) 水酸アパタイト複合型木炭の試作 – 供試材料としてスギ辺材とヒノキの試験体(L20×R10×T10mm)及び竹の試験体(幅20mm×長さ30mm)を10個1組で7組用意した。上記(1)と同様の炭化処理を炉内温度ごとに1組ずつ施し、炭化温度が300~800°Cの6水準の試験炭を調整した(残り1組は未炭化)。次いでそれぞれの組の試験体を入れたビーカーにリン酸カルシウム処理液を入れ、ゲージ圧で減圧約0.05MPaの状態を48時間保持した後、さらに大気圧に戻して48時間浸漬させた。なおリン酸カルシウム溶液の調合には県内のバイオマス処理場より提供された鶴ふん灰を使用し、鶴ふん灰10gに2M塩酸100mlを攪拌しながら添加後、ろ過して得られた溶液を用いた。含浸処理の後、供試炭試料は1週間程度の風乾後に105°Cで24時間の乾燥を施し、含浸処理前の重量から、得られた複合炭の重量増加率を算出した。また電子顕微鏡(S-3000N:日本電子製)を用いて処理炭試料の表面観察を行った。

【試験結果および考察】

- (1) 供試材の炭化特性 – 異なる炭化温度による炭の収率とpHについて、測定結果を図1に示す。3種類の供試材とも、炭の収率は300°Cで最も高く炭化温度の上昇に伴い減少した。またpHは炭化温度の上昇に伴って増加し、スギ木炭とヒノキ木炭の場合、炭化温度500°Cまでは酸性を示したが、600°C以降は塩基性に転じた。竹炭の場合は、炭化温度300°CからpH7を上回る値を示した。図2に示差熱分析の結果を示す。乾燥空気中での昇温に伴い、300-350°C付近でスギ辺材とヒノキに顕著な重量減少を伴う酸化発熱が検出され、竹の場合は250°C付近からより緩やかな重量減少が認められた。この傾向は、炭化処理の雰囲気は異なるが、炭の収率の結果(図1)と合致した。次いで3種全ての供試体について500°Cまでは残存物の赤熱過程による重量減少と灰化が認められた。一方図1に示した低圧下での炭化処理では、炭が完全に灰化することなく、その収率は800°Cまで緩やかに減少した。

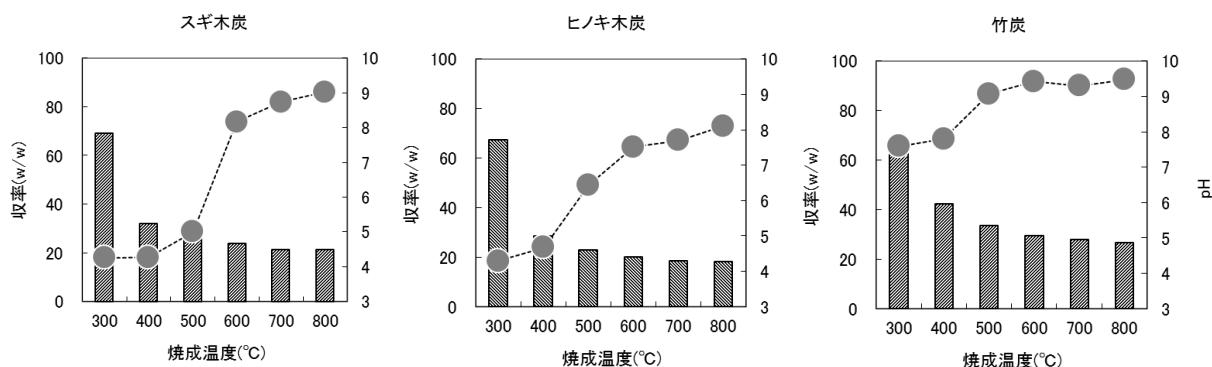


図 1 木炭の収率と pH

(2) 水酸アパタイト複合型木炭の試作 – リン酸カルシウム溶液の含浸処理に伴う供試炭の重量増加率の結果を図 3 に示す。実験の結果、リン酸カルシウム塩の複合率は、炭化温度の上昇に伴い、3 種類の供試験体とも 500 ~ 600°C 付近まで増加し、以降はスギ炭の場合概ね変化せず、他 2 種の炭試料では複合率が減少した。リン酸カルシウムの溶解度はその液性に依存し、結晶種にも依るが一般に酸性が強くなるほど溶解度が高い。従ってリン酸カルシウムが溶存した酸性の含浸液からリン酸カルシウム塩を木炭内部に効率的に沈積複合させるためには、図 1 の pH 測定の結果を踏まえると、炭表面の酸性基が消失し塩基性に転じる焼成温度（スギ及びヒノキ炭で 500 ~ 600°C、竹炭で 300°C）より高温で炭化した供試体が適当であると考えられる。焼成温度の違いにより木炭が含浸できる溶液量も変化するため一概には結論できないが、特にスギ及びヒノキ炭について 600°C まで複合量が増加傾向にある一因として、以上の効果が示唆された。図 4 にはリン酸カルシウム溶液の含浸処理を施した 800°C 焼成スギ炭の電子顕微鏡像を示す。結晶構造は未明であるが、リン酸カルシウム塩が炭化組織の空孔内部に固着充填している様子が観察された。

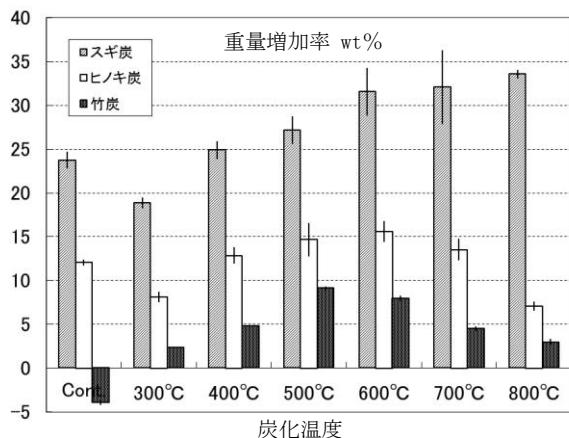


図 3 無機複合炭の重量増加率
(Cont.は未炭化試料)

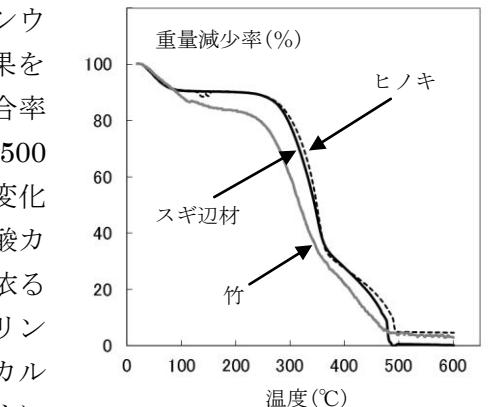


図 2 昇温に伴う重量減少率

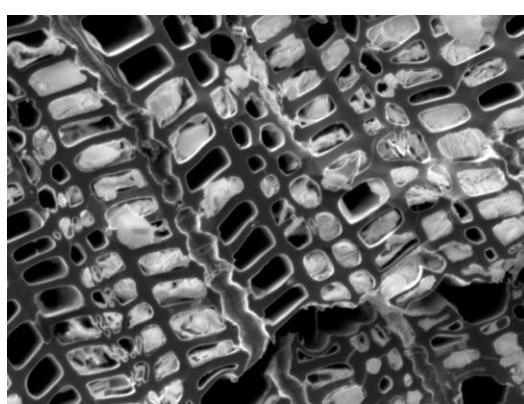


図 4 リン酸カルシウム複合炭の
電子顕微鏡像
(2 次電子像、スケールは 100μm)

【引用文献】

- 1) 赤木剛; 平成 23 年度宮崎県木材利用技術センター業務報告書, pp42-43, 2011
- 2) 赤木剛, 前原弘法, 遠山昌之; Journal of Wood Science, vol.58, No.6, 2012, pp532-537.

2-2 木材乾燥分野

2-2-1 四丁取りしたスギ心去り柱材の寸法変化

* 小田久人、松元明弘

【緒言】

森林資源の充実と長引く材価低迷を受けた長伐期施業指向により原木市場の大径材割合は増加の一途を辿っている。宮崎県内の多くの大型製材工場は、中目丸太から心持ち柱材や間柱材を効率よく製材するために設計されており、大径材は送材車付き帶鋸盤でしか製材できない。過去には単価の高い造作材も需要があり低い製材効率をカバーしていた。現在の大径材は林齡60年生程度が多く化粧用途には不適である。加えて、現在は人工乾燥材であることは建築用材として不可欠の条件である。本研究では、大径材の中でも比較的小径丸太から四丁取りした心去り柱材の乾燥の経過と寸法収縮や曲がりなどの関係を検討したので報告する。

【実験方法】

県内の製材工場で、南九州産スギ丸太（長さ3m）を用い1本の丸太から断面寸法約14×14cmの柱材を4本ずつ製材した。得られた40本の試験材の重量や寸法を測定した後、乾球温度80～100°C、乾湿球温度差5～20°Cで7日間人工乾燥した。この乾燥条件は目標含水率15%という一般的な乾燥に対し不十分であるが、本研究の目標を不十分な乾燥で出荷された柱材の寸法や曲がりがどの時点で変化するのかを把握することにしたためである。人工乾燥終了後一週間の養生期間を置いて所定の120mmにモルダー加工した。実験室内に置き定期的に重量や寸法及び中央部の矢高を測定した後、最終的には全乾法の含水率を求めた。

【結果および考察】

見かけの密度および含水率の推移を図1、2に示す。モルダー加工後に見かけの密度が上昇しているが、人工乾燥で含水率が低下した表層部分が削り取られたためと考えられる。最終の125日経過時の測定値を用い文献1)に記載されている式で求めた含水率15%時の見かけの密度は353kg/m³で、同文献に記載されているスギ材の平均値411kg/m³より14%小さい。これは、スギ材の半径方向密度変動の影響によると思われる。すなわち、同文献に収集されたスギ

構造材の多くが心持ちであり、対する心去り柱材は木口面で密度が低下する外側の占める割合が高いためである。含水率の推移は代表的な5本と高温セットした心持ち柱材のモルダー加工後に行った天然乾燥経過2)も

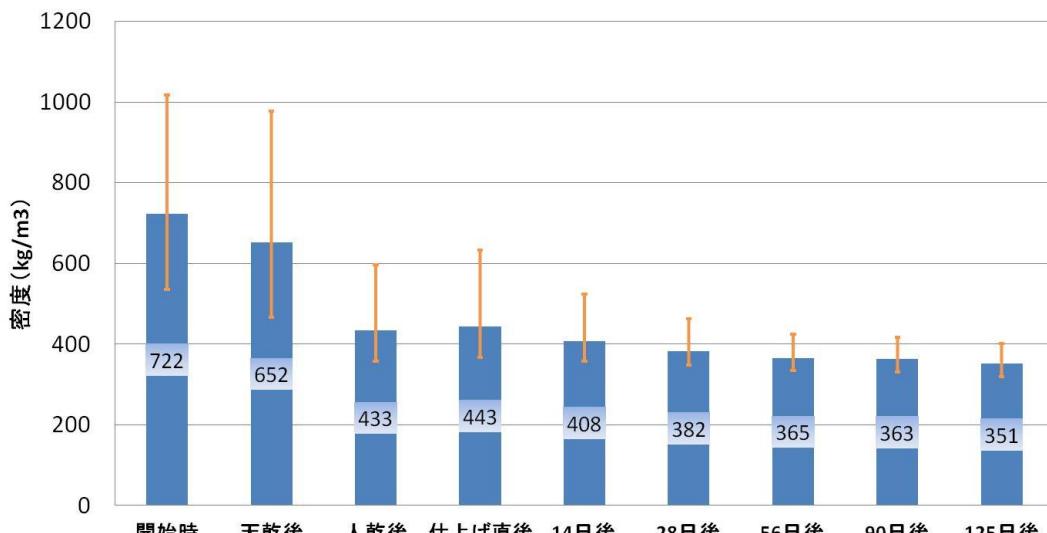


図1 見かけの密度の推移

併せて示す。モルダー加工後の天然乾燥開始時期は本研究の心去り柱材が8月中旬で、心持ち柱材が2月初旬と異なるが、乾燥速度は心去り柱材の方が速い。また、長さ方向中央部の矢高を含水率20%までに発生した量とそれから天然乾燥終了時までに発生した量に区分して検討した結果、矢高の発生は含水率20%までの量とその後に発生した量はほぼ変わらないとみられる。心去り柱材を四丁取りする場合、乾燥を十分に行い、曲がりを修正した上で製品に仕上げなければ、施工後に曲がりが発生する可能性は高い。

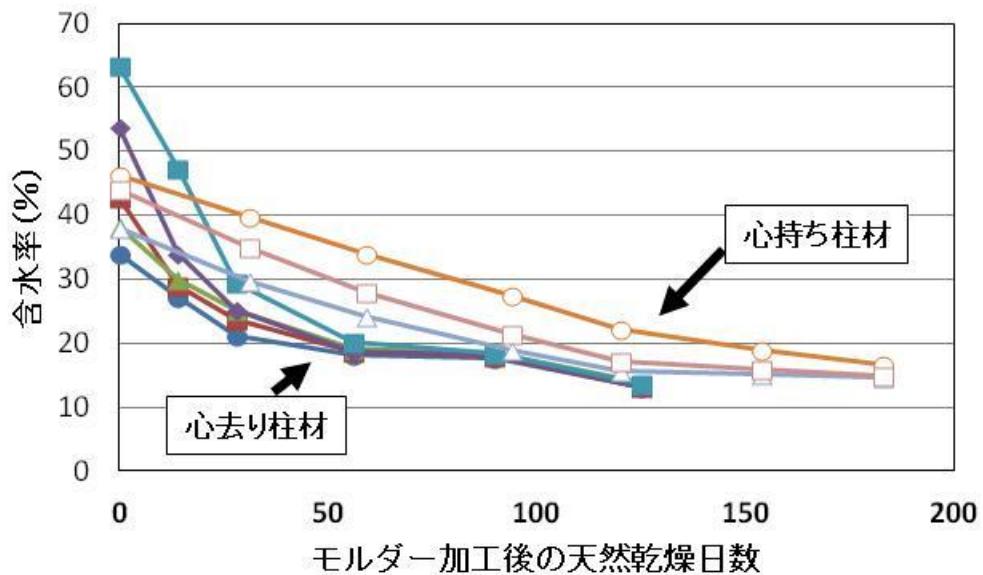


図2 天然乾燥期間の含水率推移

【参考文献】

- 1) 木材の強度等データおよび解説、p130-132、木構造振興株式会社、2012
- 2) 第61回日本木材学会大会研究発表要旨集、CD-ROM(E-19-P-AM09)、京都、2011

※松元明弘、小田久人
サウスウッド宮崎協同組合 河野能成

【はじめに】

スギ心持ち柱材の乾燥について、ホットプレスによる表面割れ抑制処理とビニルハウス乾燥の組み合わせ乾燥を検討した。現在、スギ心持ち柱材の乾燥においては、表面割れを抑制するために、乾燥初期に高温セット処理を行うことが一般的となっている。本研究は、この高温セット処理にホットプレスを用い、木材表面を直接加熱し、極めて短時間でドライニングセットを形成させ、処理後は天然乾燥等により仕上げ乾燥を行うことで、木材乾燥にかかるエネルギー消費量の削減を図るとともに、割れや変色が極めて少ない高品質な乾燥材の生産を図ることを目的としている。本報では、上記の組み合わせ乾燥にかかる乾燥日数や乾燥中の含水率推移および割れの発生状況等について検証した。

【実験方法】

試験には、寸法が $13 \times 13 \times 300\text{cm}$ のスギ心持ち柱材を用い、初期含水率のばらつきを抑えるために、製材直後の重量が $30 \sim 35\text{kg}$ の柱材を 45 本選別した。選別した柱材は、無作為に 15 本ずつ 3 つのグループに分け、それぞれホットプレス表面割れ抑制処理（以後、「ホットプレス処理」という。）を施すグループ、高温乾燥による表面セット（以後、「高温セット」という）を施すグループおよび無処理材のグループに区分した。ホットプレス処理条件は、熱盤温度 200°C 、処理時間 30min で、圧縮圧力は約 0.15N/mm^2 とした。柱材 4 材面の処理手順は、1 回のプレスで 4 材面のうちの上下 2 面を処理した後に、試験材を 90° 回転させ、再度、プレスし、残る 2 面を処理した（図 1）。また、高温セット処理は、蒸気加熱式乾燥機により 90°C の蒸煮を 13 時間行った後、乾球温度 120°C 、湿球温度 90°C で 16 時間の高温乾燥を行い、温度を下げてから試験材を取り出した。それぞれ表面処理を行った後は、無処理材とともにビニルハウス乾燥促進施設（図 2）に入れ、平成 23 年 12 月 13 日から平成 24 年 6 月 13 日までの 183 日間乾燥を行った。試験材の測定は、表面処理前、処理後、ハウス内乾燥期間中および乾燥終了後の各段階において、重量および試験材の長さ方向中央部の幅をデジタルノギスで測定するとともに表面割れ長さを測定した。また、乾燥終了後は試験材の両木口から 50cm の位置で含水率測定試験体を切り出し、全乾法で含水率を求めた。



図 1 ホットプレス処理状況



図 2 ビニルハウス乾燥促進施設

【結果と考察】

・含水率と表面割れ長さの推移

各処理条件における乾燥過程の含水率推移を図 3 に示す。生材時はいずれの試験材とも 70% 前後の含水率であったが、ホットプレス処理後は約 57% 、高温セット処理後は約 39% となっており、特に高温セット処理による含水率減少が大きかった。それぞれの表面処理工程により、無処理材との含水率差が生じたものの、乾燥日数を経るに従い、差は徐々に縮まり、乾燥 99 日目には、いずれの条件とも含水率 20% を下回った。乾燥終了後には、含水率 $12 \sim 13\%$ 程度に乾燥した。

乾燥期間中に発生した表面割れの長さの変化を図4に示す。乾燥6日目には無処理材では、柱材1本当たり約800cmの長さの表面割れが発生し、14日目以降はさらに割れ長さが増加し、1000cmを超える長さで推移した。一方、ホットプレス処理材および高温セット材に関しては、6日目はいずれも200cm前後と無処理材と比べて大幅に小さく、表面処理の効果がうかがえた。しかしながら、14日目以降になると高温セット材の表面割れ長さがその後も200cm前後で推移していく一方、ホットプレス処理材では約500cmと表面割れ長さが増加し、その後も500cm前後の長さで推移した。いずれの処理条件とも、99日目辺りから表面割れが閉じていく傾向が見られたが、特に高温セット材においては、割れの閉じかたが著しく、乾燥終了後は割れ長さ最大時の2割弱まで減少した。

・乾燥過程における寸法収縮率

乾燥過程における試験材の幅寸法収縮率の推移を図5に示す。いずれの試験材とも乾燥日数を経る（含水率の減少）に従い、収縮率が徐々に高くなっている。図を見る限りでは、処理条件ごとの収縮率は高温セット材が最も大きく、無処理材が最も小さく表れているが、幅の測定は材面の両端間の距離を測定しており、乾燥過程で表面割れが発生した後も、そのまま材面の両端間を測定していたために、表面割れが最も少なかった高温セット材が見かけ上、収縮率が最も大きく表れている。乾燥終了後の試験材の寸法収縮率を図6に示す。乾燥終了後の測定では、幅の測定位置に表面割れが発生していた試験材は、材面の両端間の距離から表面割れ幅を差し引いた値を幅の測定値としている。いずれの処理条件とも3%前後の収縮率であったが、ホットプレス処理材と無処理材および高温セット材と無処理材との間に有意水準5%で差が認められた。また、高温セット材の値のばらつきが小さい傾向にあったが、これに関しては、他の2条件は表面割れの有無により寸法収縮率にばらつきが生じた一方、高温セット材では全体的に表面割れが少なかったため、個体によるばらつきが小さかったと考えられる。

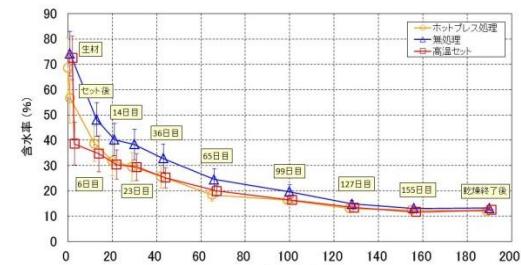


図3 含水率推移

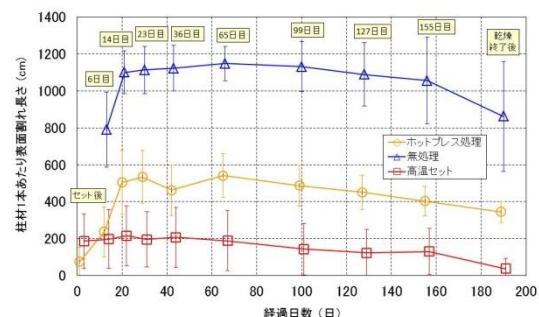


図4 表面割れ長さの推移

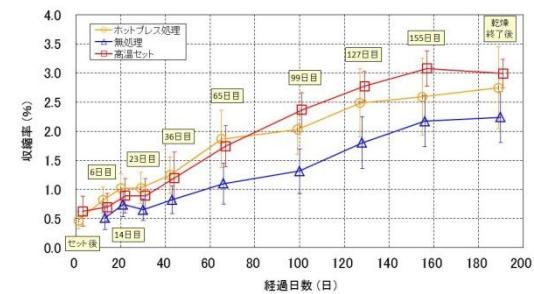


図5 試験材幅寸法の収縮率推移

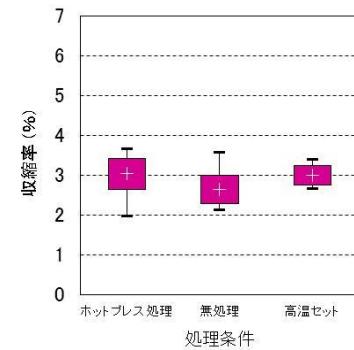


図6 乾燥後の幅寸法収縮率

【まとめ】

スギ心持ち柱材の乾燥におけるホットプレス表面割れ抑制処理とビニルハウス乾燥との組み合わせ乾燥を検討した結果、乾燥後のホットプレス処理材の表面割れ面積が高温セット材よりも大きい傾向にあった。これに関しては、表面処理過程におけるドライティングセットの形成不足が原因と考えられ、熱盤温度を上げるか、もしくは処理時間を延ばすことにより改善可能と思われる。

2-3 木質材料分野

2-3-1 未利用木質資源の半炭化によるエネルギー利用

*須原弘登、小田久人

工業技術センター 小玉誠、落合克紀、久木崎雅人

【諸言】

未利用木質資源である林地残材や樹皮の有効利用のため、低温乾留炭化による半炭化物を作成し再生可能エネルギーとしての利用を検討する（工業技術センター・（株）クレーバーン技術研究所との共同研究）

【調査・試験方法など】

調査：半炭化物の再生得可能エネルギーとしての利用可能性の調査を行った。文献調査、バイオマスシンポ（奈良県五条村）への参加、和歌山工業技術センターでの実用化検討事業の調査、（株）クレーバーン技術研究所及び近畿大学澤井教授との情報交換などにより現状の調査を行った。これにより本技術の利点、欠点、解決すべき課題等を調査した。

炭化試験：材料にはスギの木チップ、樹皮、枝条を用いた。チップは製材工場から譲り受けた一辺2-3cmの切削チップを、樹皮は製材工場で原木よりナイフリングバーカーで剥離されたものを、枝条は当センターに植樹されたスギの剪定枝を乾燥し、手で揉み碎いたものを用いた。炭化処理には105°Cで絶乾したそれぞれの材料を約100g計りとり、ステンレスボウルに入れて、真空炭化炉で所定の温度（200, 250, 300, 350, 400, 500, 600）で5時間の炭化処理を行った（n=3）。炭化処理後、105°Cで絶乾し、重量回収率を求めた。

発熱量測定：炭化物はアブソリュートミル（アズワン）で粉碎し、粒径250μm（60mesh）以下の粉末を用いボンベ式熱量計（Shimadzu CA-4PJ）で発熱量を分析した。

結果・考察

技術概要調査

調査の結果、本技術は木質のエネルギー利用形態として、世界的にも注目度の高い技術であることが分かった^{1,2)}。その理由として「単位重量あたりの発熱量が高い」「エネルギー利用効率（歩留まり）が良い」「燃焼を不安定化させる要因となる含水率が低い」「腐敗しにくく安定保存可能」「ペレットに比べて設備投資費を抑えることが可能」などがあげられる^{2,3)}。また、半炭化物は中～長距離にある石炭火力発電所などで混焼を行う事が理想的であることが示唆された^{2,4,5)}。しかし一方で「原材料の搬出コストの大きさ」「石炭混焼する場合は多量に安定的な供給が必要であること」や「個人（小口）利用向けの場合、燃焼装置が無い」などの問題点も示された。原材料のコスト高はバイオマス利用において、共通且つ最大の問題点といえる。

半炭化物の試作

スギの木チップ、樹皮、枝条を用いモデル的に真空炭化炉で炭化処理を行い、炭化物回収率、炭化物の発熱量を測定した(図1)。炭化物の重量回収率は250°Cから300°Cの間で急激に減少し(図2)，これに対応して単位重量あたりの発熱量は上昇した(図3)。枝条を用いた場合発熱量の上昇は非常に緩やかで、針葉は高温処理には向かないことが示されたが、300°C以下の低温処理ではチップ、樹皮より高い発熱量を示した。これは、枝条の木化が材部や樹皮に比べて低く、高温域で燃焼し高い発熱量を持つリグニンの含有率が低いからと考えられる。一方で、低温処理で高い発熱量を示したのは、低温域で失われる精油などの高発熱成分を多く含むためと考えられた。このことから、枝条は低温で炭化する半炭化処理に適した材料と言える。しかし、枝条は嵩張ることから林地からの搬出の際にウッドチッパーなどで予め破碎するなどの工夫が必要になり、そのコストも考慮する必要がある。コスト試算を行い木質ペレットとの比較を行ったところ、300°C未満の低温処理ではいずれの部位もペレット(¥1.503/MJ)よりも熱量あたりの価格が抑えられ(¥1.23-1.41/MJ)、6-18%程度コストパフォーマンスが向上することが予想された。

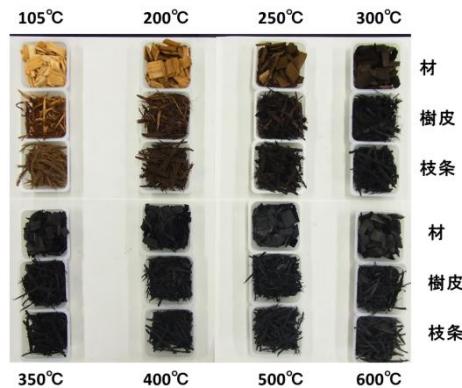


図1 炭化処理により得られた炭化物

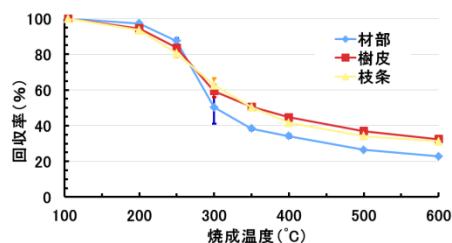


図2 スギの各部位を用いて炭化処理をした際の炭化温度と重量回収率

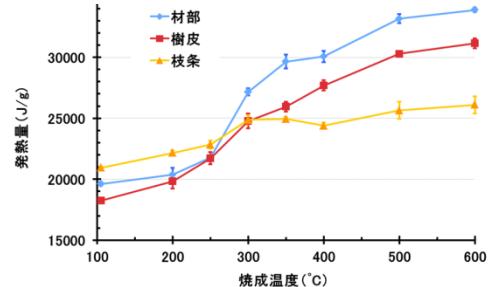


図3 各炭化温度における部位ごとの発熱量

【参考文献】

- 1 吉田貴紘 (2012) 「世界バイオエネルギー会議(World Bioenergy2012)に参加して」 木材工業 67: 440-443
- 2 財団法人わかやま産業振興財団「バイオマス活用に向けた高発熱量ブリケット製造技術開発と低コスト木チップ化実証試験」平成21年度低炭素化社会に向けた技術発掘・社会システム実証モデル事業事業報告書
- 3 吉田貴紘ら(2012) 「トレファクションによる高性能木質ペレット「ハイパー木質ペレット」の技術開発」 木材工業 67: 560-565
- 4 鶴巻峰雄ら (2011) 「間伐材を利用した半炭化燃料の開発と火力発電利用事業の評価」 環境技術 40:10-13
- 5 澤井徹ら (2005) 「輸送用半炭化固体燃料のエネルギー解析による最適化条件」 第24回エネルギー資源学会研究発表会講演論文集 253-256

2-4 木材利用分野

2-4-1 大径材から得られたスギ心去り平角材の性能評価

—柱梁接合部の引張・せん断試験—

※森田秀樹、椎葉 淳、中谷 誠、荒武志朗

【1 緒言】

スギ素材生産量において宮崎県が全国に占める割合は 15.0%であり、九州で見ると 35.5%を占め、最大の地域材産地となっている。また、九州地方は全国に先駆けて大径化が進んでいることから、大径材の利用を進めていくために新たな利用法を模索していく必要がある。

大径化したスギ丸太から心去り材を採材し、柱や梁桁として利用することも選択肢の 1 つである。既にベイマツでは心去り平角材は一般的であるが、国産材、特にスギではいまだに心持ち材の思いが根強い。不安の多くは強度および狂いであるが、ヤング係数および曲げ強度の面で心去り材は心持ち材と同等であるとの報告がなされた¹⁾。一方で、接合性能についても同時に検討する必要があると考え、伝統的木組み接合および金物接合について実験を進めているところである。

本研究では、大径材から得られた平角材を用いて伝統的木組みの柱梁接合試験体を作製し、その引張およびせん断性能評価を行った。

【2 試験方法】

2.1 試験体

供試丸太は 35 年生の宮崎県日之影町産スギ 10 本(長さ 8m)とし、1 番玉(4m)から心去り平角材を、2 番玉(4m)から心持ち平角材を木取りした。人工乾燥後、幅 105mm、材せい 240mm に仕上げ、接合部試験に供した。また、比較材として、市販のベイマツ平角材 10 本(長さ 4m)も試験に供した。

2.2 接合部試験

県内の社寺仏閣および一般住宅の建築を手掛ける工務店において、図 1 に示すえり輪付き胴付き込み栓打ちの柱梁接合部を作製した。

梁はスギ心去り、スギ心持ち、ベイマツの 3 条件各 10 体とし、柱は全て同一等級構成スギ構造用集成材とした。試験は、(財)日本住宅・木材技術センター「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」の試験法に準じて行った。

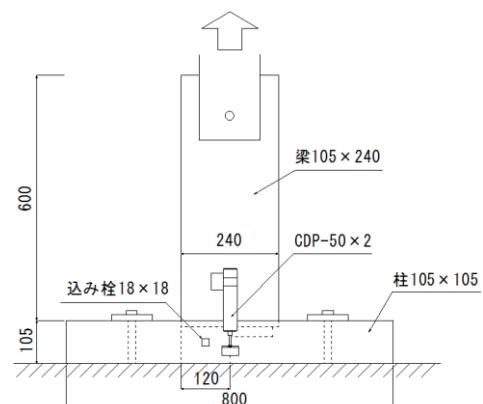
2.3 小試験体による横圧縮試験

スギ心去り材と心持ち材のせん断耐力の違いを明確にするために、供試体の一部から試験片を採取し、横圧縮試験を実施した。試験体は、20mm(L 方向)、20mm(T 方向)、40mm(R 方向)とし、年輪傾角と特性値の関係を把握した。

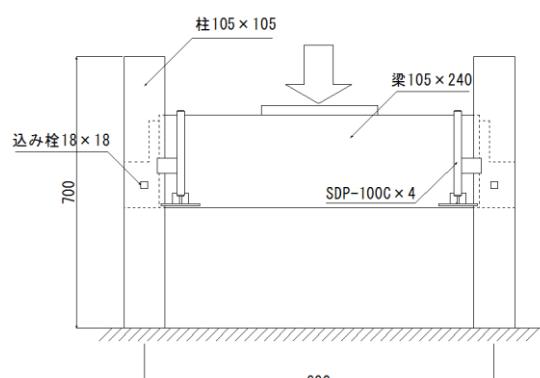
【3 結果および考察】

3.1 引張試験結果

図 2 に P-y 曲線と特性値を示す。最大荷重は、スギ心去り < スギ心持ち < ベイマツの関係となり、特にスギ心去りのばらつきが大きい結果となった。また、ベイマツに比べてスギは心去り、心持ちともに脆性的な破壊を示した。破壊形態は、スギが全てほぞのせん断破壊となり、ベイマツは込み栓の曲げ破壊(4 体)とほぞのせん断破壊(5 体)であった。スギ心去りは柾目面せん断であり、スギ心持ちは板目面せん断となるため、文献値²⁾



(1)引張試験体



(2)せん断試験体

図 1 接合試験体の概要

から予想される最大荷重の比較ではスギ心去りが高い値を示すと考えられた。しかしながら、今回の結果は明らかに異なる結果となり、他の因子が影響していると思われた。

今回、人工乾燥終了後のスギ供試体の多くに内部割れが認められた。スギ心去りのせん断破壊面と内部割れの方向が一致することから、本実験では内部割れの影響を受けたものと推察された。

3.2 せん断試験結果

図3にP-y曲線と特性値を示す。いずれの試験体も降伏後の変形量が大きく、粘りのある破壊性状を示した。特性値は、スギ心去り<スギ心持ち<ペイマツとなった。変形は梁ほどと柱ほど穴のめり込みによって進むが、めり込み量は横圧縮となる梁ほどが大きいと考えられる。また、最終的には梁ほどが引き抜かれて破壊に至ったものの、梁ほどのめり込みが接合部の性能に大きな影響を与えると予想された。そこで、小試験体を用いて、梁ほどの年輪傾角と横圧縮性能の関係について検討した。

3.3 横圧縮試験結果

図4に年輪傾角と横圧縮比例限度荷重および初期剛性の関係を示す。ここでの年輪傾角は、加力方向とR方向中央部付近の年輪方向とがなす角度と定義する。図4より、 0° および 90° に近いほど特性値が高く、 $30\sim60^\circ$ で小さくなる傾向を示すことが分かる。スギ心去りを用いた梁ほどは 45° に近く、心持ちは 90° に近い角度になる。したがって、ほどのめり込みによって抵抗するえり輪付き胴付き込み栓打ちの柱梁接合部の場合、スギ心去りは心持ちはより低いせん断性能になると予想される。なお、内部割れに関しては、横圧縮加力のためその影響は大きなものではないと考えられる。

【4 まとめ】

- 1)スギ心去り平角材を用いた接合部の引張性能は、心持ちは平角材と同等以上と考えられた。
- 2)せん断性能は心持ちは平角材が高い性能を有していた。
- 3)内部割れの影響が無視できないため、乾燥方法に配慮する必要がある。

【参考文献】

- 1) 椎葉、荒武、森田：木材学会誌、57(4)、234-241(2011)
- 2) 中井、山井：日本産主要35樹種の強度的性質、林試研報(1982)

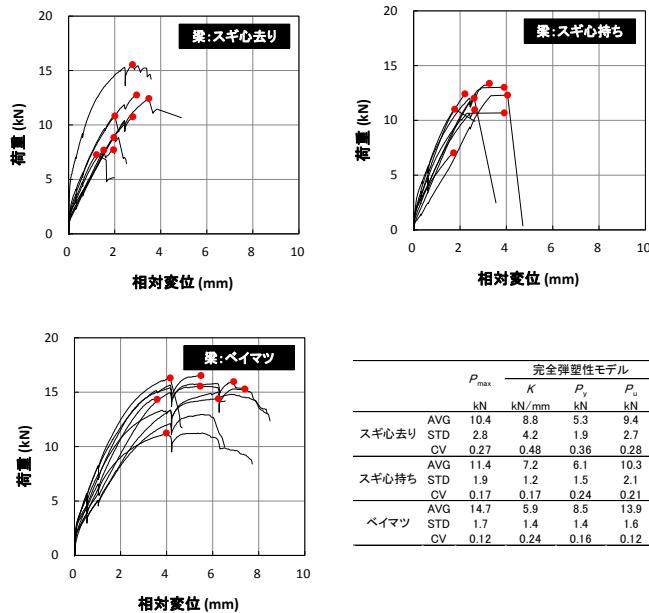


図2 引張試験結果

※赤丸は最大荷重を示す。

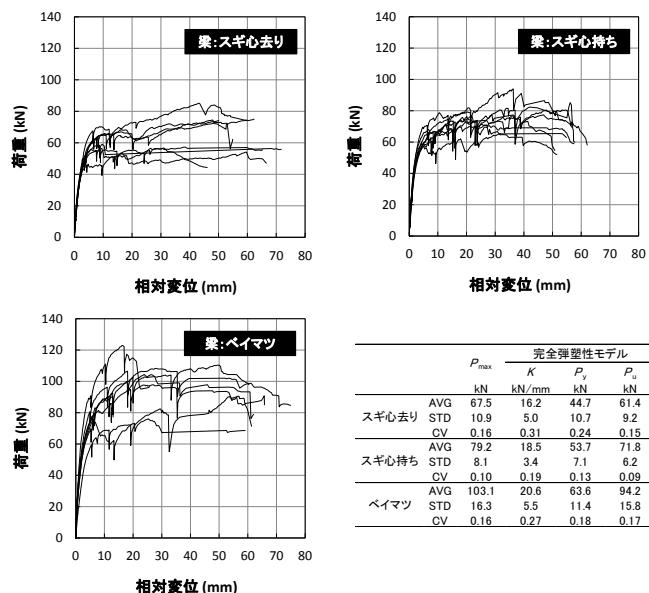


図3 せん断試験結果

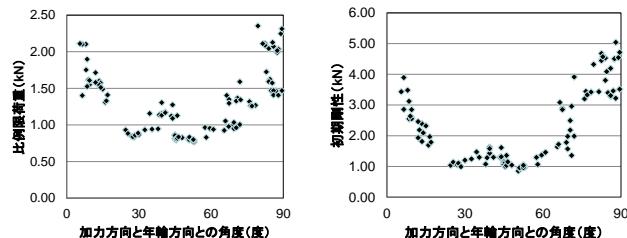


図4 年輪傾角と横圧縮特性値の関係

※椎葉 淳、荒武志朗、森田秀樹、小田久人、松元明弘

【はじめに】

宮崎県を含む南九州地域はスギの一大産地であるが、温暖多雨な気候に伴い大径化が急速に進んでいることにより、その蓄積量は増加の一途をたどっている。これらを有効利用し、林業・木材産業の振興を図るとともに資源循環型社会を構築していくためには、従来とは視点を変えた新たな木取り方法やそれに伴う製品の開発が課題となってくる。このような背景の中、筆者らは横架材について、2番玉からは標準的な製材方法である中心定規挽きにより心持ち材を1丁取り、1番玉からは側面定規挽きにより心去り材を2丁取りし、その強度性能を比較したところ、両者に大きな違いはないことを確認した¹⁾。また実際の現場においても、梁桁に心去り材が徐々に使用されるようになってきている。これに対し、柱などの軸材については、これまで主に柱適寸丸太から得られた心持ち材が利用されてきた背景もあり、関連業界やエンドユーザーの間には「心がある方が強い（心去り材は弱い）」という意識が横架材以上に根深い。このため、大径材から歩留まり良く製材できる心去り材は敬遠され、市場には受け入れ難いのが現状である。そこで本研究では、スギ大径材から心去り正角材を4丁取りし、乾燥の有無、製材方法（中心定規挽き、側面定規挽き）別に力学的性能を検証した。なおここでは、そのうちのめり込み性能について報告する。

【実験方法】

実験には、宮崎県日之影町産スギ丸太15本（末口径37.5～43.0cm、元口径47.3～54.6cm、長さ400cm）を供試した。まず始めに丸太の各材質（年輪幅、密度、縦振動ヤング係数、曲がり、細り率など）を測定し（表1）、心去り正角材（12cm角）を製材した。図1に示すように、1本の丸太から得られる正角材4本のうち、2本は中心定規挽き（以下CRS）、もう2本は側面定規挽き（以下

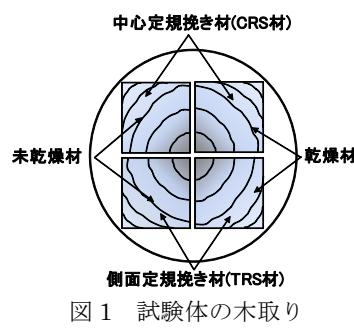


図1 試験体の木取り

表1 丸太の材質

種別	末口径 (cm)	密度 (g/cm ³)	E _t (kN/mm ²)	曲がり (%)	平均年輪幅 (mm)	細り率 (%)
平均値	40.0	0.700	5.26	0.966	5.14	2.36
最大値	43.0	0.868	6.33	1.52	6.24	3.40
最小値	37.5	0.496	3.86	0.496	4.42	1.31
標準偏差	1.62	0.100	0.68	0.339	0.54	0.54

※長さは約400mm、E_tは縦振動ヤング係数、曲がりは（最大矢高／長さ）×100、細り率は（元口径－末口径）／長さ

表2 製材の材質

種別	含水率(%)		密度(g/cm ³)		E _t (kN/mm ²)		曲がり(%)		平均年輪幅(mm)	
	未乾燥材	乾燥材	未乾燥材	乾燥材	未乾燥材	乾燥材	未乾燥材	乾燥材	未乾燥材	乾燥材
平均値	126	14.4	0.696	0.362	5.56	6.41	0.0723	0.144	6.82	7.03
最大値	185	30.2	0.947	0.426	7.70	10.2	0.1480	0.424	10.8	10.1
最小値	37.7	9.28	0.459	0.304	3.43	4.29	0.0476	0.085	3.94	4.50
変動係数	28.8	36.5	16.2	8.20	18.9	19.6	40.2	62.5	23.1	21.7

※含水率は全乾法による値、E_tは縦振動ヤング係数、曲がりは（最大矢高／長さ）×100

TRS）とした。よって、正角材の本数は製材方法別に30本で合計60本となる。次にこれらの各材質（年輪幅、密度、縦振動ヤング係数、曲がりなど）を測定した後（表2）、CRS、TRSの各1本について、未乾燥のまま各種試験体（曲げ・圧縮・めり込み）を採取し、直ちに試験を実施した。なお、めり込み試験体には元口側の材料を用いた。残りの各1本については、人工乾燥（10日間、温度条件：初期乾球温度80°C（乾湿球温度差5°C）、最終乾球温度90°C（同20°C））を施した後に各種試験体を採取し、それらを恒温恒湿室にて養生（34日間、温度条件：乾球温度50°C（同8°C））し、材質測定後に未乾燥材と同様に試験を実施した。めり込み試験は、実大圧縮試験機（前川試験機製A-200-B1）を用い、「構造用木材の強度試験マニュアル」に示された方法に準じて実施し、材中間部におけるめり込み強さ($f_{c,90}$)、めり込み降伏強さ($f_{c,90,y}$)及びめり込み剛性($K_{c,90}$)を求めた（図2）。この場合、加圧板+梁せい（90mm+120mm=210mm）の区間に節等の欠点を含む試験体は用いることができないとされているが、今回は先述のとおり試験体の採取位置に制約があることから、そのまま用いることとした。なお、試験中の加力速度はほぼ一定とし、変位が30mmに達するまで継続した。



図2 めり込み試験

【結果と考察】

試験結果の一覧を表 3 に示す。まず未乾燥材と乾燥材の比較では、全体で見ると $f_{c,90}$ が約 20%、 $f_{c,90,y}$ が約 49%、 $K_{c,90}$ が約 10%程度、いずれも乾燥材が高い値を示したことから、乾燥により各強度性能が向上することが確認された。これを製材方法別に見ると、 $f_{c,90}$ 及び $f_{c,90,y}$ についてはほぼ同様の傾向で、 $K_{c,90}$ については CRS が TRS より約 10%高い値を示した。次に製材方法別の比較では、すべての強度特性値において乾燥の有無に関わらず CRS が高く、TRS を 8~21%程度上回った。

表 3 試験結果一覧

種別	n	めり込み強さ (N/mm ²)		めり込み降伏強さ (N/mm ²)		めり込み剛性 (kN/mm ³)		
		生材	乾燥材	生材	乾燥材	生材	乾燥材	
CRS	15	平均値	6.17	7.38	3.63	5.40	1.86	2.15
		乾／生		1.20		1.49	1.16	
TRS	15	変動係数	15.8	11.7	12.1	11.0	20.9	17.7
		平均値	5.71	6.86	3.31	4.96	1.67	1.78
全体	30	乾／生		1.20		1.50	1.06	
		変動係数	17.9	10.2	12.4	7.5	26.6	13.5
	C/T	平均値	5.94	7.12	3.47	5.19	1.77	1.94
		乾／生		1.20		1.49	1.10	
		変動係数	17.2	11.7	13.1	10.5	24.2	18.0
		1.08	1.08	1.10	1.09	1.11	1.21	

密度とめり込み強さの関係を図 3 に示す。図中には基準強度と乾燥材の 5%下限値に加えて、今回はすべての試験体において受圧面が追柾となることから、基準強度の 2/3 の線(4.0N/mm²)も示した。同図を見ると、乾燥材についてはすべての試験体が基準強度の 2/3 を大きく上回ったものの、3 体が基準強度を下回り、下限値もやや低くなつた。また破壊形態を見ると、木裏側と比較して木表側のめり込みの顕著な試験体が多く、その割合は TRS の方が高い傾向にあった(図 4)。スギ未成熟材部については成熟材部に比べてめり込み性能が高い²⁾ことを考慮すると、今回の試験体は元口側から採取しているため、未成熟材部をより多く含んでいると思われる CRS の方が TRS より

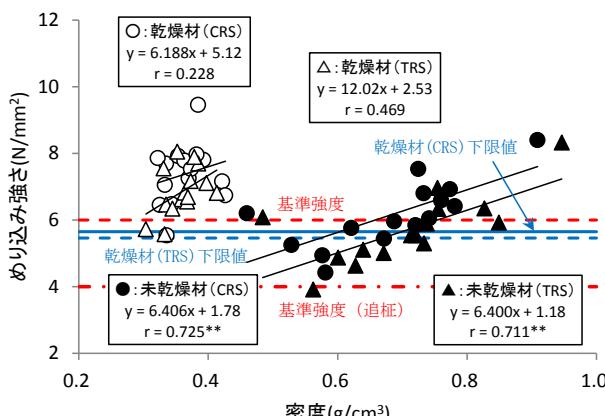


図 3 密度とめり込み強さの関係

高い強度性能を示したものと推察される。ここで、過去に実施された試験結果の一例³⁾と今回の乾燥材を比較した荷重-変位曲線を図 5 に示す。同図を見ると、全体としてオビスギ黒心正角材よりは低いものの、一般的なスギ心持ち正角材と大きな違いはないことが分かる。以上のことから、大径材から 4 丁取りした心去り材のめり込み性能については、未成熟部材をより多く含む中心定規挽きを採用すると同時に、適正な乾燥を行うことにより実用上大きな問題は生じないと考えられる。

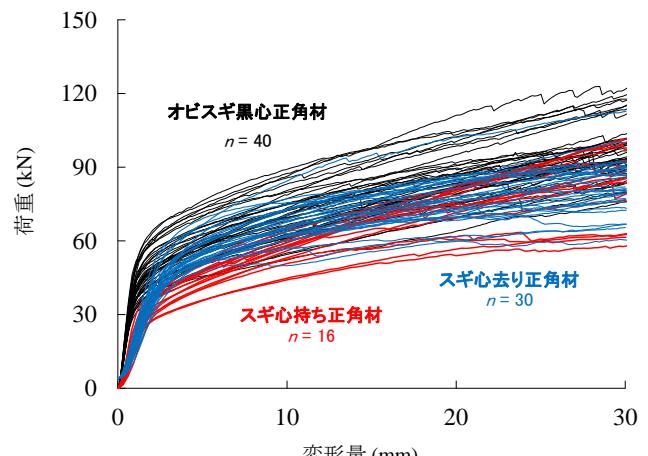


図 5 荷重-変位曲線

最後に、本研究の一部は、日本学術振興会科学技術研究費補助金（基盤研究(C)，課題番号:22580191）によって実施した。また、本研究の実施に当たり、株式会社もくみの佐藤庫司氏に多大なるご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 椎葉淳, 荒武志朗, 森田秀樹:木材学会誌, 57(4), 234-241 (2011).,
- 永石達也, 小林義裕, 雉子谷佳男, 森田秀樹, 藤元嘉安:第 61 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 2011, p115.,
- 森田秀樹, 荒武志朗:平成 21 年度宮崎県木材利用技術センター業務報告書, 28-29 (2009).



図 4 破壊形態の一例

2-5 構法開発分野

2-5-1

スギ3層合せ材の開発（その1）

—大径材から得られたラミナの材質—

※田中洋、荒武志朗、下温湯盛久、(有)サンケイ 川添恵造
(ナイス株) 鈴木淳、戸田俊彦、桃渕崇、小田祐二、(木と住まい構造設計株) 原毅
(農学会) 大熊幹章、(住木セ) 鶴海四郎、(東大院農) 相馬智明

【緒言】

伐採時期を迎えたスギ造林木、特に大径材の利用拡大が喫緊の課題となっている。本報では、ラミナを3枚縦使いにして並べて接着する合せ材¹⁾（同一等級構成集成材）の実用化に向けた研究の一環として、スギ大径材から丸太断面の採材位置に応じて幅の異なるラミナを単純に板挽き製材し、集成材のJASにしたがって機械等級区分を行った結果について報告する。

【実験方法】

試験には、宮崎県北部地域産のスギ大径材（1番玉および2番玉、長さ4m）を50本用いた。丸太の密度、縦振動ヤング係数（Elog）、最大矢高、平均年輪幅、および細り率を測定後、送材車付帶鋸盤を用いて製材厚さ45mm（仕上がり厚さ35mmを想定）で板挽き製材し、丸太断面の採材位置により、仕上がり材幅300mm、240mm、210mm、180mm、150mm、105mmを想定した各種ラミナを合計327枚得た。図1に代表的な木取りの例を示す。全てのラミナについて丸太断面における採材位置を記録した後、約3週間の天然乾燥と約1ヶ月間の低温除湿乾燥（乾燥温度45～60°C）を施し、倉庫内にて1週間養生した。その後、厚さ40mmにプレーナー掛けした一次仕上げラミナ（材幅315mm、260mm、230mm、200mm、170mm、130mm）について、密度、高周波水分計（HM8-WS25型）による含水率、縦振動ヤング係数（Ed）、フラットワイズヤング係数（MOEf_w、スパン2,000mm、中央集中荷重方式）、および幅面の材縁部節径比（Ke）を測定し、集成材のJAS（同一等級構成）に従って機械等級区分を行った。また、仕上がり材幅が210mm以下のラミナについてはエッジワイズヤング係数（MOEf_e、集成材のJAS・曲げA試験の方法による）を測定した。

【結果および考察】

表1および図2に供試丸太の材質とElogの分布を示す。本試験では末口径年輪数39、末口径39cm（いずれも平均値）の大径材を用いたが、Elogの平均値は5.55kN/mm²であり、既往の柱適寸丸太や中目丸太のデータ²⁾と比較して高い値ではなかった。

表1 供試丸太の材質

	材長(cm)	密度(kg/m ³)	元口径(cm)	末口径(cm)	平均年輪幅(mm)	最大矢高(mm)	細り率	Elog(kN/mm ²)
平均値	410	715	47.2	39.0	5.26	20.5	0.0198	5.55
最大値	420	845	66.5	51.0	7.45	57.0	0.0441	7.93
最小値	400	439	35.6	31.0	3.80	3.0	0.0097	3.84
標準偏差	3.73	82.6	6.57	4.76	0.887	11.9	0.0076	0.974

※ 細り率：（元口径－末口径）／長さ

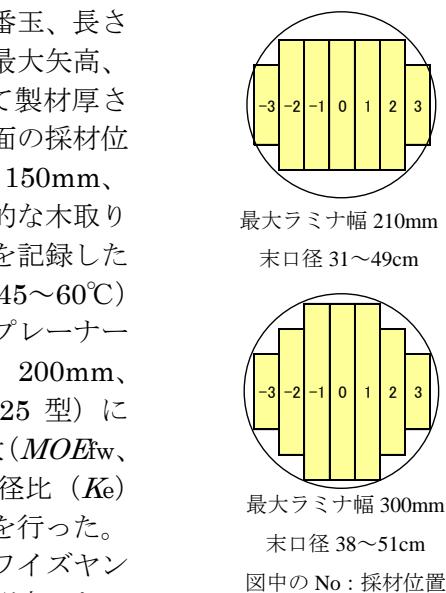


図1 代表的な木取りの例

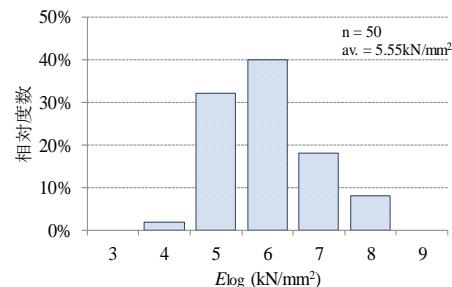


図2 Elog の分布

表2および図3に乾燥後のラミナの材質、ならびにElogとラミナのEdの関係を示す。既往の研究³⁾によると、中目丸太から対称異等級構成集成材用の同一幅のラミナをたいこ挽きした場合、Elogと各丸太から製材したラミナのEdの平均値は概ね等しい関係にあるが、本試験ではElogの平均値よりもラミナのEdの平均値の方が24%高い値を示した。本試験の木取りの場合、ラミナに丸太外周部の成熟材がより多く含まれたためではないかと考えられる。

図4に丸太断面のラミナの採材位置とEdの関係を示す。各採材位置におけるラミナのEdの値は丸太

ごとのばらつきが大きいものの、 E_d の平均値をみると随付近で低く丸太の外周部に向かって高くなる傾向が認められた。ただし、前出の既往の研究³⁾では、心持ちラミナの E_d に対する心去りラミナの E_d の比が1.18であったのに対し本試験では同比1.13であり、丸太内部における E_d の変動は比較的少なかった。一般的にヤング係数が低い隣付近から幅広のラミナを採材することで、随付近のラミナに成熟材がより多く含まれた結果ではないかと考えられる。

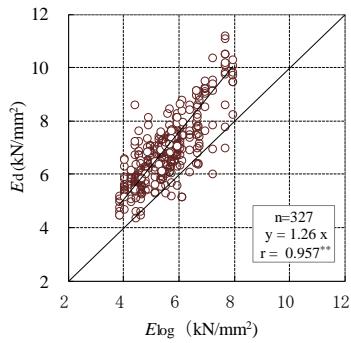


図3 E_{log} と E_d の関係

図5および表3にラミナ幅ごとの MOE_{fw} による等級分布と機械等級区分の結果を示す。集成材のJASでは同一等級構成集成材に適用可能なスギラミナはL60以上に限定されるため、南九州地域における一般的なスギラミナのヤング係数分布⁴⁾を考慮すると規格外ラミナが4割以上生じる可能性が危惧された。しかし、本試験ではL60の出現頻度が最も高い点は従来のデータ⁴⁾と同様であったが、L50以下の出現頻度が24%とかなり低かった。また、集成材のJASにおける同一等級構成集成材の節径比の基準は比較的緩いこともあり、 K_e による歩留りも89%と高く、最終的な機械等級区分による歩留りは69%であった。

図6に MOE_{fw} と MOE_{ew} の関係の一例を示す。ラミナ幅が広い場合にデータがばらつく傾向はあったが、 MOE_{fw} と MOE_{ew} の間には高い相関が認められた。

表3 ラミナの機械等級区分の結果

	ラミナ幅						合計
	300mm	240mm	210mm	180mm	150mm	105mm	
試験体数	51	30	166	18	13	49	327
MOE 適合	86%	57%	75%	72%	85%	80%	76%
K_e 適合	96%	70%	85%	94%	100%	100%	89%
JAS適合	84%	43%	65%	72%	85%	80%	69%

※ MOE 適合:L60以上の割合、 K_e 適合:節径比が基準値以下のラミナの割合

【結言】

スギ大径材から丸太断面の採材位置に応じて幅の異なるラミナを板挽き製材した場合、丸太のヤング係数が低い割には低位等級ラミナの出現頻度が低い傾向が認められた。ラミナは集成材以外の用途にも転用しやすい形状であり、今後、丸太から単純に製材した板材を基本部材として、その寸法や等級に応じてスギ造林木を各種用途に使い切る利用法への展開が考えられる。そのためには、ラミナの反りや曲がり、カップの発生状況についてさらに詳細な調査が必要である。

なお、本研究は、平成24年度林野庁補助事業（地域材供給倍増事業、ナイス株）により行った。

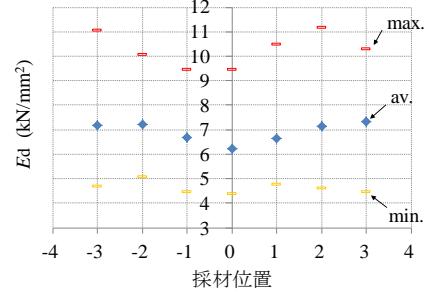
【参考文献】

- 1) 大熊幹章：木材工業 67(1) 2012、2) たとえば、小田久人：日林九支研論集 No.45 1992、
- 3) 荒武志朗ほか：木材学会誌 45(2) 1999、4) 野辺寛成ほか：木材情報 9月号 2009.

表2 ラミナの材質

	含水率 (%)	密度 (kg/m³)	K_e (%)	E_d (kN/mm²)	MOE_{fw} (kN/mm²)
平均値	10.2	358	13.6	6.88	6.86
最大値	25.1	473	69.8	11.2	11.6
最小値	7.4	286	0.0	4.38	4.14
標準偏差	2.03	35.1	14.0	1.28	1.31

※ 材幅の異なる各種ラミナ全体の値



※ 採材位置：図1参照

図4 丸太断面の採材位置と E_d の関係

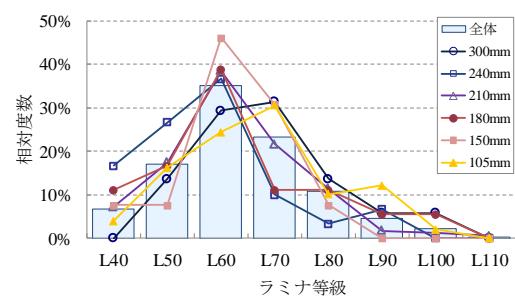


図5 MOE_{fw} を基準とした等級分布

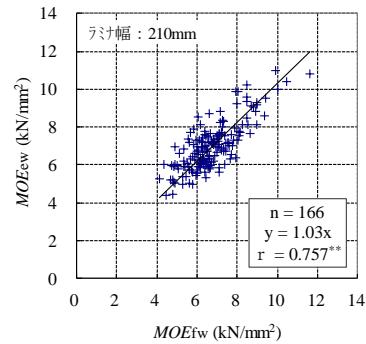


図6 MOE_{fw} と MOE_{ew} の関係

2－6 木質化推進分野

2－6－1 地域産材を用いた大規模木造建築物の設計に係わる技術支援

綾町立綾中学校改築事業

※下温湯盛久、荒武志朗、田中洋、中谷誠、森田秀樹

【1 はじめに】

現在の綾町立綾中学校は、昭和48年から昭和49年までに本校舎が整備され、平成24年度には、建築後39年を迎えた施設の老朽化が著しく学習環境に支障をきたしていた。耐力度調査の結果も、耐力度の低い建物となっており改築の対象となっていた。また、綾町ではまちづくりの指針として、平成23年に定めた第六次綾町総合長期計画の中で学校教育の充実を行う事を目標としており、これらの状況を踏まえ綾中学校の校舎改築が行われることとなった。

【2 建設計画】

綾町は平成24年には人と自然の保全と調和を目指すユネスコエコパークの認定を受けるなど自然環境との共生に力を入れており、世界的に有名な照葉樹林のほか、スギを中心とする人工造林も伐採期を迎えており、本校舎を木造化するための条件が整っていた。このような条件が整う中、どのような学校施設であるべきかハード及びソフト面から検討を行う事を目的とし綾町役場内に綾中学校整備検討委員会が設置され、その検討の結果、プロポーザル方式において本校舎の設計を行う設計事務所を決定することとした。この結果、宮崎県内の設計事務所が設計を担当する事となった。なお、設計期間は平成24年度末までとなっており、木材の調達を考慮すると非常にタイトな期間での設計が要求された。

【3 設計概要】

学校の機能として必要な面積を積み上げていった結果、延べ面積が3,000m²を超える建築基準法の規定により主要構造部を耐火構造とした建築物としなくてはならない特殊建築物に該当することとなった。このため「部分により構造を異にする建築物の棟の解釈について（住防発第14号昭和26年3月6日）」を適用し、木造校舎（北校舎）と木造校舎（南校舎）の間に鉄筋コンクリート造の耐火建築物（中央校舎）を挟み込む平面的混構造を採用し、分棟にすることで建築基準法の規定をクリアすることとした。

次に、構造計画では、木造の特徴と要求される性能や条件をあらかじめ明示し構法や、使用する木材などの条件を絞り込み実現可能な設計を行う事を基本とした。まず、要求される性能として大スパンが必要となるため、材料の特性を踏まえた主要構造の検討を行った。具体的には、町有林から伐採したスギを基本構成要素とする集成材により主要構造を構成することとし、同時に接合部についても検討を行い、既存の接合金物を利用することとした。設計の早期の段階で接合金物についても検討を行うことにより、構造材の経済的な断面サイズを決定でき、木材の調達に要する時間の確保が早い段階で可能となった。さらに、既存のオープンな技術を組み合わせることによりコストの縮減も達成している。

【4 施設概要】

- ① 所在地：宮崎県綾町大字北俣
- ② 敷地面積：26,636 m²
- ③ 構造・階数・延床面積： 北校舎木造 2階建 1,384.42 m²、中央校舎R C造 2階建 687.07 m²、南校舎木造 2階建 1,182.36 m²
- ④校舎・管理棟概要：普通教室 6教室、特別支援教室 2教室、理科室、家庭科教室、図書室、コンピュータ室、少人数教室 3、会議室、校長室、職員室 外
- ⑤建築物の防耐火上の要件：別棟規定による取り扱い
- ⑥設計者：(株)岩切設計
- ⑦スケジュール等 基本・実施設計 平成 24 年 9 月 1 日から平成 25 年 3 月 22 日
- ⑧事業費（計画） 906,835 千円（うち国費 454,050 千円）
- ⑨木材の調達等 地域産材を活用（対称異等級構成集成材含む）



南面パース



東面パース

【5 まとめ】

木造化にあたり、発注者側と木材供給側、建築設計側に接点がなかったため、これらを結びつける必要があった。木材の調達や加工それに必要な期間や方法を始め、大規模木造建築物では既存の工法と比較するとコスト面で高くなる傾向があるため、可能な限りコスト縮減を行う必要もあった。これらの問題点を解決するためのワークショップを開催し、関係各々で意見交換等を行い、それらの調整等を行う建築システムを構築し、さらにメーカー等と協力することにより、新たな技術的要素も設計に織り込むことが可能となった。

2-6-2 CLT (Cross laminated timber) からの LSB の引き抜き性能

中谷誠、椎葉淳、田中洋

【1 はじめに】

現在、中規模木造建築物に適した新たな構造用材料として、ラミナを繊維方向に対して交互に積層した CLT(Cross Laminated Timber)が注目を浴びている。国産材利用の面からも、CLT が大型の面材料であることから低質なスギラミナを使用しやすいと考えられ、さらに CLT による建築物は一般的な木造建築物に比べて木材の使用量が多くなると推定されることから、CLT 建築物が一般化することでその使用量が伸びると期待される。本研究では、これまでの研究実績が多く CLT に適用しやすいと考えられる大型のネジ型接合具であるラグスクリューボルト(以下 LSB)を用いて、その引き抜き性能についての評価を行う。

【2 CLT(Cross Laminated Timber)】

CLT とはラミナを平置きで並列に並べ、一層ごとに繊維方向が交差するように接着積層した大型の面材料である。実験に用いた CLT は、樹種がスギで、ラミナが全て L50 で構成された同一等級のもので、気乾比重は 0.43 であった。写真 1 に実験に使用した CLT の全景を示す。接着剤は積層方向にのみ塗布され、ラミナの幅はぎ方向には塗布されていない。



写真 1 実験に使用した CLT

【3 実験】

3. 1 試験体と実験方法

3. 1. 1 実大引き抜き実験

CLT における実大サイズの接合部を想定し、LSB の引き抜き実験を行った。LSB はネジ山直径が 25mm、谷径が 20mm、ピッチが 10mm のものを使用し、CLT の先穴直径は 22mm とした。LSB の埋め込み深さは、ネジの有効埋め込み長さ（実際にネジが木材にかみ込み抵抗する長さ）を 200mm とした。実験条件は、CLT に対する LSB の埋め込み位置と方向を以下に示す 4 条件設定した。(i) HC 試験体は、試験体の長手方向が中層ラミナの繊維方向であり、その中層ラミナに LSB を埋め込んだ試験体、(ii) HCX 試験体は、HC 試験体と同構成の CLT の中層と一つ外側の層との境界面に LSB を埋め込んだ試験体、(iii) CC 試験体は、試験体の長手方向と中層ラミナの繊維方向が直交方向であり、その中層ラミナに LSB を埋め込んだ試験体、(iv) CCX 試験体は、CC 試験体と同構成の CLT の中層と一つ外側の層との境界面に LSB を埋め込んだ試験

体である。試験体数は(i)HC および (iii)CC 試験体が各 6 体、(ii)HCX と (iv)CCX 試験体が各 3 体の合計 18 体とした。

引き抜き実験は、堅型油圧アクチュエータ式材料試験機を用いて行った。実験は、CLT の両端から LSB を埋め込み、片側から埋め込む LSB を試験用（有効埋め込み長さ 200mm）とし、もう片側の LSB の埋め込み深さを 280mm と深くすることで反力用とした。LSB の引き抜き変位量は、LSB と CLT の相対変位を測定するように取り付けた 2 つの変位計の平均値とした。加力スピードは 0.4mm/min. とした。

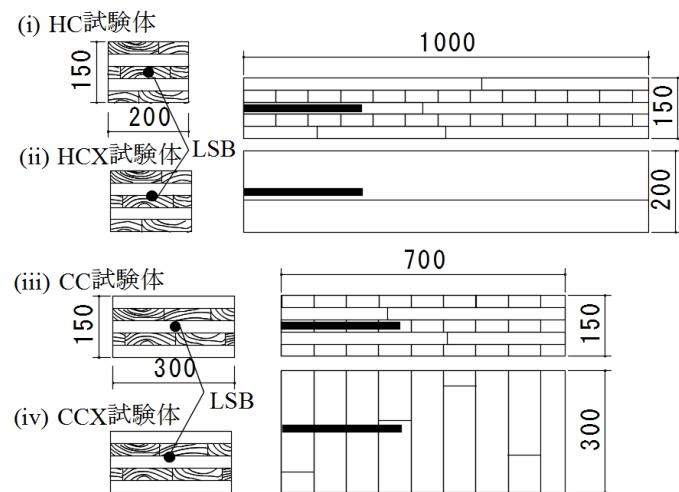


図 1 実大試験体の概要

3. 1. 2 薄板引き抜き実験

CLTにおけるLSBの埋め込み位置と引き抜き性能の関係を詳細に検討するために、薄板を用いた簡単な引き抜き実験を行った。試験体は厚さが20mmで、LSBは実大実験と同サイズを使用した。実験条件は、図2に示すようにLSBの埋め込み位置（図中太線：LSBの中心位置）を段階的に変化させ、LSBの引き抜きに対して隣接するラミナの割合が変化するように設定した。試験体は全75体とした。引き抜き実験は、直径30mm穴があいた鋼板で上部から試験体を挟み込み、上部に引っ張ることで行った（図3参照）。このとき、LSBの引き抜き変位を試験体下部に取り付けた変位計により測定した。加力スピードは1.0mm/minとした。

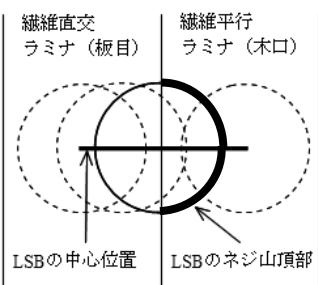


図2 薄板試験体条件

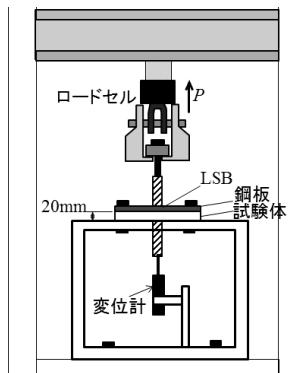


図3 薄板実験法

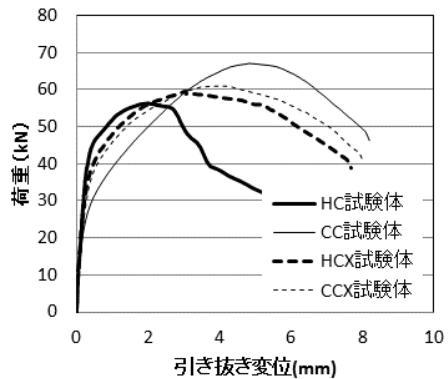


図4 荷重と引抜き変位の関係

3. 2 実験結果

3. 2. 1 実大引き抜き実験結果

表1に各条件の実験結果、図4に典型的な荷重と引き抜き変位の関係を示す。HC試験体はCC試験体と比較して、すべり係数 K_s は高いが最大引き抜き荷重 P_{max} が小さい結果となった。特にすべり係数はHC試験体とCC試験体で2倍程度異なる値となった。HCX試験体およびCCX試験体の最大荷重

とすべり係数は、HC試験体とCC試験体の中間の値となった。

破壊性状は、LSBの引抜き方向に対して纖維方向が平行方向のラミナは、LSBのネジ山とラミナの縦せん断破壊であった。また、纖維方向が直交方向のラミナは表層の浮き上がりを伴う複合的な破壊であった。また、ラミナの積層間が剥離する試験体も見られた。

3. 2. 2 薄板引き抜き実験結果

図5に、実験結果より算出した単位面積当たりのせん断強度 f_v およびせん断剛性係数 Γ と、ネジ山とラミナのせん断面における纖維平行方向ラミナの含む割合（図2でのネジ山の外周における太線の長さの割合）を示す。

f_v と Γ を以下の式より算出した。ここで、 A_s はネジ山とラミナ間のせん断面積である。

$$f_v = P_{max}/A_s \quad \cdots ①, \quad \Gamma = K_s/A_s \quad \cdots ②$$

薄板実験の結果より、引き抜き強度 f_v は纖維平行方向ラミナの割合が増加するほど低下する傾向を示し、引き抜き剛性 Γ は増加する傾向を示した。今後は本結果を用いて集成材のLSB引き抜き理論への適応を試みたい。

表1 実大実験結果（平均値）

試験体名	P_{max}	$\delta_{P_{max}}$	K_s
	kN	mm	kN/mm
HC	54.6	1.98	145.6
CC	68.3	4.87	70.4
HCX	56.2	3.12	105.0
CCX	60.5	2.80	126.7

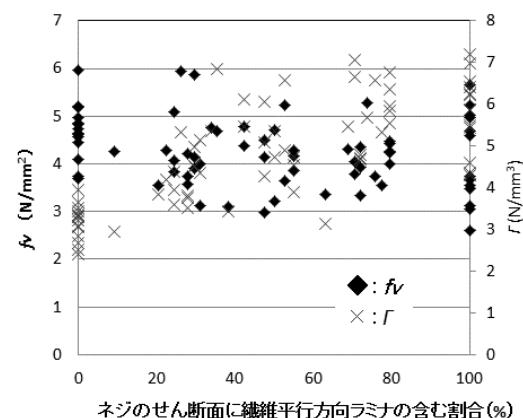


図5 f_v 、 Γ とせん断面に纖維平行方向ラミナの含む割合

【4 考察】

スギCLTからのLSBの引き抜き性能はスギ集成材と比較して同等の性能を示したが、CLTの埋め込むラミナの纖維方向により、すべり係数（引抜き剛性）が大きく変化するため、設計および施行の各段階において注意が必要であることが分かった。

2-7 科研費

2-7-1

スギ大径材から得られた心去り平角材の性能（I）

—乾燥による品質指標の変動—

※荒武志朗、椎葉淳、松元明弘

【緒言】

我が国の人造林面積に占める高齢級林の割合は年々増加しており、数年内には10歳級(46~50年生)以上の面積が6割を超えることが見込まれている。これを反映して原木市場で取り扱われる素材の径も大きくなってしまっており、技術的な側面からこの種の丸太の性能検証を行う必要性が叫ばれる様になってきた。筆者らも、これまでに1本の大径材から2丁取り平角材や4丁取り正角材(何れも心去り材)を採取し、製材方法との関連から力学的性質を中心とした性能の検証を行ってきた。その結果、前者(2丁取り平角材)については、1番玉であっても、少なくとも側面定規挽き材とすることにより2番玉心持ち材に匹敵する強度性能が得られることを明らかにし¹⁾、後者(4丁取り正角材)については、乾燥変形や力学的性能に実用上殆ど問題がないことを確認した²⁾。ただし、前者の場合、同一番玉に対して異なる製材方法(中心定規挽き、側面定規挽き)を採用した場合の力学的性能や乾燥変形等の検証は行っていない。そこで本実験では、大径材から得られた心去り平角材の構造部材としての性能を検証するための第2ステップとして、同一番玉から2種類の心去り材(中心定規挽き材、側面定規挽き材)を製材し、別途製材した心持ち材と併せて乾燥による品質指標(収縮、曲がり、干割れ等)の変動や力学的性能などについて比較・検討した。なお、ここでは前者を中心に報告する。

【実験方法】

実験には、宮崎県日之影町産スギ丸太(末口径30cm以上の大径材)54本を供試した(全て1番玉)。実験の流れは以下のとおりである。①末口径約35cm以下の丸太を1丁取り心持ち材用、同径を超える丸太を2丁取り心去り材用として分類した(各27本、計54本)。この際、両グループの縦振動ヤング係数(以下、Et)や密度に大きな差が生じないように配慮した。また、分類の過程で、曲がり、平均年輪幅、及び細り率等も測定、算出した(表1,2参照)。②各丸太から、図1に示す方法により心持ち材、側面定規挽きによる心去り材(以下、TRS)、及び中心定規挽きによる心去り材(以下、CRS)を製材した(各27本、計81本)。寸法は、何れも概ね12×23×400(cm)である。③全製材について、製材直後から少なくとも含水率が気乾状態に達したと見られるまで、高周波含水率計による含水率、密度、Et、曲がり、及び干割れ長さを測定した。この場合、測定期間は約2年(2010年12月27日~2012年12月3日)、測定間隔は1~3ヶ月である(計12回測定)。④測定結果から、心持ち材、TRS、CRSの乾燥による品質指標変動を比較・検討するとともに、天然乾燥過程での簡易な含水率管理法を検討した。

【結果および考察】

表1,2を見ると、2丁取り用丸太の曲がり、平均年輪幅、及び細り率は1丁取り用丸太の各値よりやや大きいが、前述した理由からEtや密度に大きな差はない。このため、以後の製材に関する考察では、丸太時点での材質が同様であったものとして取り扱う。

図2に含水率の変動を示す。同図を見ると、各製材の傾向に大きな差は認められず、ほぼ同時期に纖維飽和点(以下、FSP)や気乾状態に至っている。この結果を念頭に置いて、以下考察を進める。

表1 丸太の材質(1丁取り用、27本)

種別	末口径(cm)	密度(g/cm ³)	Et(kN/mm ²)	曲がり(%)	平均年輪幅(mm)	細り率(%)
平均値	30.4	0.678	5.82	0.845	4.67	2.21
最大値	35.2	0.823	7.20	1.56	5.94	3.29
最小値	28.2	0.445	4.19	0.440	3.45	1.04
変動係数	6.39	12.1	11.5	30.7	16.1	28.1

※ 長さは約400cm、Etは縦振動ヤング係数、曲がりは
(最大矢高/長さ)×100、細り率は(元口径-末口径)/長さ

表2 丸太の材質(2丁取り用、27本)

種別	末口径(cm)	密度(g/cm ³)	Et(kN/mm ²)	曲がり(%)	平均年輪幅(mm)	細り率(%)
平均値	38.5	0.670	5.68	0.988	5.25	2.56
最大値	43.9	0.787	7.44	1.85	6.93	3.77
最小値	35.6	0.563	3.83	0.537	3.97	0.692
変動係数	6.51	8.62	13.9	34.5	15.8	26.1

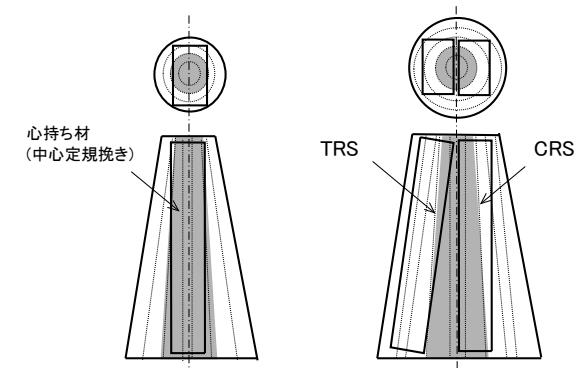


図1 供試材の製材方法

※ TRS: 心去り材(側面定規挽き), CRS: 心去り材(中心定規挽き)

図3に収縮量の変動を示す。同図のうち幅方向を見ると、各製材の値に大きな差は無く、また何れの収縮量も気乾状態に達した時点から殆ど増加していない。一方、梁背方向を見ると、心去り材の収縮量が心持ち材のそれを上回る傾向を示しており、最終的には心持ち材の2倍近く(4mm前後)に達している(収縮率は心持ち材で約1%、心去り材で約1.7~1.8%)。これは、両者の木取りによる年輪構成と乾燥による収縮異方性の相違がもたらした結果と考えられる。

図4に曲がり矢高の変動を示す。同図のうち幅方向を見ると、初期値に関しては心持ち材の値が心去り材のそれよりも明らかに大きいが、その後はTRSの増加傾向が顕著なことから、最終的には『心持ち材=TRS>CRS』となっている。一方、梁背方向を見ると、各製材の初期値は同様であるが、それぞれの増加傾向が異なり、気乾状態付近から明確な『心持ち材>TRS>CRS』の傾向を示している。ここで、心去り材の場合、左右の梁背面が非対象となることから(それぞれ木表面、木裏面)大きな乾燥変形を危惧する声も少なくない。しかしながら、図4の傾向を見る限り、少なくとも心持ち材との比較からこの種の乾燥変形を問題視する必要は殆ど無いと考えて良い。

図5に干割れ長さの変動を示す。同図を見ると、心持ち材では、含水率がFSPから気乾状態に至る過程で著しい干割れを生じているのに対し、心去り材では、TRSとCRSの何れも全期間において殆ど干割れを生じていない。これも、両者の木取りによる年輪構成と乾燥による収縮異方性の相違を考慮すれば、当然に予測できる結果と言えよう。以上の結果から、“乾燥による品質指標”と言う視点から見た場合、スギ大径材から得られた心去り材(特にCRS)は、同材から得られた心持ち材と同等以上の性能を有すると考えて良い。

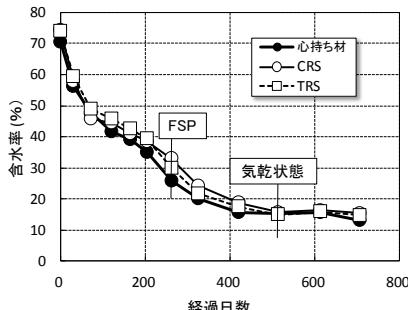


図2 高周波含水率計による含水率の変動
※ FSP: 繊維飽和点、何れも27体の平均値

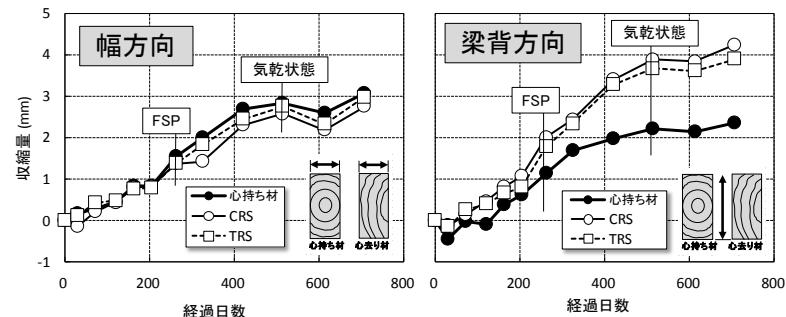


図3 収縮量の変動
※ 何れも27体の平均値

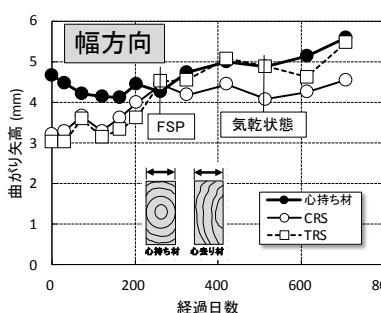


図4 曲がり矢高の変動
※ 何れも27体の平均値

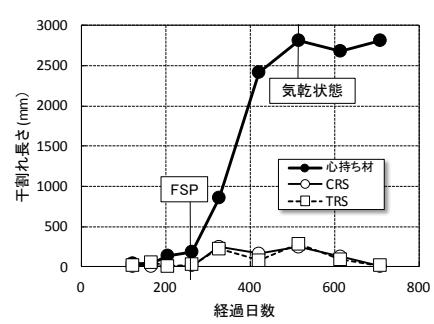


図5 干割れ長さの変動
※ 何れも27体の平均値

縦振動固有振動数(以下、F)は密度に依存するので、乾燥が進行して密度が変動しなくなれば、Fも変動しなくなる筈である。この傾向を確認するために、図6にCRSの密度とFの変動率推移を示す。同図を見ると、何れもほぼ気乾状態に達した時点で0に近似しており、上述の推測を裏付ける結果が得られている。一方、Fは高次数であれば棟積み状態でも振動の拘束を受けにくい³⁾。これらのことから、高次固有振動数を用いた棟積み材の簡易な含水率管理の可能性が考えられる。

最後に、本研究の一部は、日本学術振興会科学技術研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号:22580191)によって実施した。

【文献】

- 1) 植葉淳、荒武志朗、森田秀樹：木材学会誌 57(4),234-241(2011).
- 2) 荒武志朗他4名:第62回日本木材学会大会研究発表要旨集,
- 3) 札幌,2012,Y16-09-1400(CD-ROM).
- 4) 荒武志朗、有馬孝禮、迫田忠芳：木材学会誌 40(5),474-480(1994).

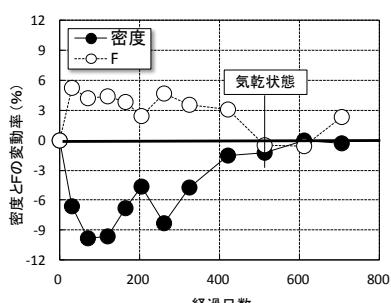


図6 CRSの密度と縦振動固有振動数(F)の変動率の推移

—梁背面を板目取りとした場合の曲げ性能など—

※椎葉淳、荒武志朗、松元明弘

【緒言】

スギの大径化は南九州を中心として進んでいるが、国内の人工林が高齢級側に急速にシフトしている¹⁾ことを考慮すれば、今後全国的に大径材の供給が増加することが容易に予想できる。これらを利活用し需要拡大を図るために、在来軸組住宅における部材別シェアが高く、かつ国産材の割合が低い横架材として使用することは有効な手段のひとつと考えられる。大径材から平角材を採取する上で、歩留まりを考慮すれば心去り材が有利であり、木取りや製材方法を変えれば、心持ち材とは異なり様々なバリエーションの検討が可能である。しかしながら、関連業界では未だに心持ち材指向が根強く、心去り材の普及は進んでいない。この原因として、実際に利用する上での目安となるべき強度データが乏しいことに加え、材質が非対称となることによる変形への不安などが考えられる。そこで本研究では、スギ大径材から異なる方法で心去り平角材を2丁取りし、材質及び力学的性能について心持ち平角材との比較も含めながら、横架材としての適用可能性を検証した。なおここでは、梁背面を板目取りとした場合の曲げ性能などについて報告する。

【実験方法】

①製材方法の異なる2丁取り心去り材と1丁取り心持ち材：実験には宮崎県日之影町産のスギ丸太54本（末口径28.2cm～43.9cm、元口径33.8cm

～56.2cm、長さ約410cm）を供試した。丸太の材質測定（表1参照）後、径級別に振り分け、末口径35cm程度以下の丸太からは心持ち平角材を1本、それ以上の丸太からは心去り平角材を2本製材した。この場合、図1に示すように、1本は中心定規挽き材（以下「CRS」）、もう1本は側面定規挽き材（以下「TRS」）とした。その後、実験棟内にて気乾状態に達するまで約700日間にわたり天然乾燥を行った。この間、定期的な材質測定とともに、乾燥のバラツキを抑えるための配置換えも合わせて行った。最後に、乾燥後の材質を測定し、曲げ試験を実施した。なお曲げ試験は、日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」に従い3等分点4点荷重方式により実施した。また負荷方向は、むくりがある方が上になるよう統一した。

②製材位置の異なる2丁取り心去り材：実験には①と同様に宮崎県日之影町産のスギ丸太8本（末口径36.5cm～46.3cm、元口径47.1cm～58.5cm、長さ約410cm）を供試した。丸太の材質測定（表2参照）後、各丸太から中心定規挽きにより心去り平角材を2本製材した。この場合、図2に示すように、1本は髓付近から木取り（以下「内取り」）、もう1本は髓から3cm程度離して木取った（以下「外取り」）。その後、人工乾燥（14日間：初期乾球温度80°C（乾湿球温度差15°C）、最終乾球温度100°C（乾湿球温度差25°C））を行い、材質測定及び曲げ試験を行った。なお、試験方法は①と同様である。

【結果および考察】

①：表3に乾燥後の平角材の材質を示す。同表をみると、曲がりの平均値は梁背方向及び幅方向ともに心去り材の方が心持ち材よりも小さいことが分かる。こ

種別	末口径 (cm)	密度 (g/cm ³)	E _t (kN/mm ²)	曲がり (%)	平均年輪幅 (mm)	細り率 (%)
心持ち材用 (1丁取り)	平均値	30.4	0.678	5.82	0.845	4.67
	変動係数(%)	6.4	12.1	11.5	30.7	28.1
心去り材用 (2丁取り)	平均値	38.5	0.670	5.68	0.987	5.25
	変動係数(%)	6.5	8.6	13.9	34.5	26.1

※数量は各27本、曲がりは最大矢高／長さ×100、細り率は（元口径－末口径）／長さ×100

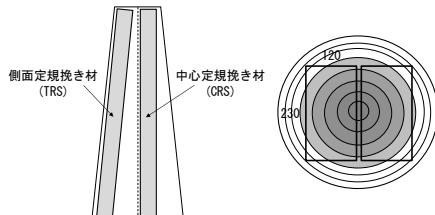


図1 試験体の木取り①

種別	密度 (g/cm ³)	E _t (kN/mm ²)	曲がり (%)	平均年輪幅 (mm)	細り率 (%)
平均値	0.603	5.19	0.785	5.54	2.410
変動係数(%)	15.7	11.3	45.6	10.8	28.4

※数量は8本

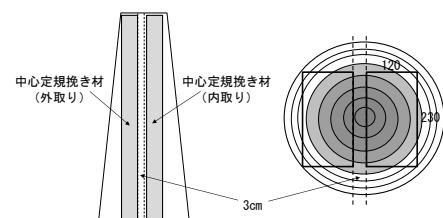


図2 試験体の木取り②

表3 平角材の材質①

種別	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	E _t (kN/mm ²)	梁背方向 曲がり(%)	幅方向 曲がり(%)	干割れ率 (%)
心持ち材	平均値	14.9	0.368	6.22	0.114	0.137
	変動係数(%)	11.7	4.2	14.4	95.6	51.9
心去り材 (CRS)	平均値	14.8	0.362	6.66	0.074	0.111
	変動係数(%)	2.1	6.4	12.9	52.3	41.2
心去り材 (TRS)	平均値	14.7	0.362	6.60	0.091	0.133
	変動係数(%)	1.9	5.8	15.6	61.1	53.2

※数量は各27本、干割れ率は（4材面の干割れ長さの合計）／（長さ×4）×100

れを個別にみても心持ち材の梁背方向 1 本のみが JAS 甲種構造用 II における 2 級の曲がりの基準値である 0.5%を上回ったが、それ以外は全て 2 級をクリアした。次に曲げ試験の結果を表 4 に示す。同表をみると、曲げヤング係数(MOE)については各種別で大きな差はなかったが、曲げ強さ(MOR)については、心持ち材が心去り材よりも 7%程度高い値を示した。

心去り材は流れ筋の出現が避けられず、それが荷重点間の引張り側に位置する場合に大きな弱点となることからこのような結果になったものと考えられる。しかしながら、平角材の MOE と MOR の関係を示した図 3 をみると、全ての試験体の MOR が建設省告示 1452 号における無等級材の基準強度である 22.2N/mm^2 を上回っていることが分かる。なお、心去り材の CRS と TRS の比較では、MOR 及び MOE ともに明確な差は認められなかった。平角材の曲がりと MOR の関係を図 4 に示す。同図をみると、心持ち材については幅方向の曲がりと MOR の間に危険率 1%で負の相関が得られたものの、心去り材については、CRS 及び TRS ともに曲がりと

MOR の間に明確な傾向はみられない。

以上のことから、今回のような木取りにより心去り平角材を 2 丁取りした場合、製材方法に関わらず、少なくとも短期的な曲げ性能においては住宅の横架材として十分な性能を有しており、乾燥による変形及びそれに伴う強度低下の可能性は極めて少ないことが分かった。②：表 5 に乾燥後の平角材の材質を示す。同表をみると、内取り及び外取りとともに曲がり

は少なく、個別にみても全ての試験体が JAS2 級の基準値をクリアした。次に丸太と平角材の縦振動ヤング係数(E_t)の関係を図 5 に示す。同図をみると、両者とも平角の E_t が丸太のそれを大きく上回っているが、外取りの方が内取りよりも 3%程度高い値を示している。これは髓から 3cm 程度離して木取った分、未成熟部分が除去されたためと考えられる。曲げ試験結果を表 6 に示す。同表をみると、平均値で MOE が約 8%、MOR が約 12%程度、それぞれ外取りが内取りより高い値を示しており、ここでも上述の木取り効果が現れている。また平角材の E_t と MOR の関係を示した図 6 をみると、内取りの 1 体が 22.1N/mm^2 で基準強度をわずかに下回ったが、それ以外はクリアした。今回は試験体数が各 8 体と少なく、個別にみると E_t 、MOE 及び MOR それぞれに内取りの方が外取りよりも高い試験体もあったことから、これらの原因解明が必要ではあるが、製材位置を変えることにより力学的性能向上が期待できることが示唆された。最後に、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号: 22580191)によって実施した。

参考文献

- 林野庁：“平成 23 年度森林・林業白書” 2012, 参考付表 p.4.

表 6 曲げ試験結果②

種別	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
心去り材 (内取り)	平均値	33.6
	変動係数 (%)	19.3
心去り材 (外取り)	平均値	37.5
	変動係数 (%)	21.1

表 4 曲げ試験結果①

種別	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
心持ち材	平均値	41.5
	変動係数 (%)	17.1
心去り材 (CRS)	平均値	38.7
	変動係数 (%)	14.6
心去り材 (TRS)	平均値	39.1
	変動係数 (%)	17.9

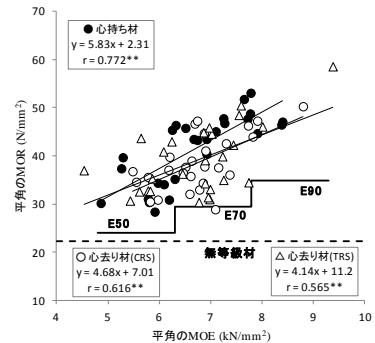


図 3 平角材の MOE と MOR の関係①

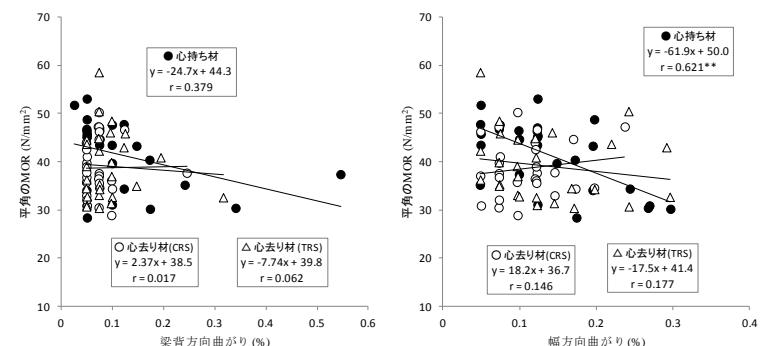


図 4 平角材の曲がりと MOR の関係①

表 5 平角材の材質②

種別	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	E_t (kN/mm ²)	梁背方向 曲がり(%)	幅方向 曲がり(%)
心去り材 (内取り)	平均値	10.5	0.358	6.56	0.088
	変動係数 (%)	23.7	6.6	11.5	71.4
心去り材 (外取り)	平均値	11.2	0.349	6.67	0.143
	変動係数 (%)	27.9	6.7	12.6	81.8

※数量は各 8 本

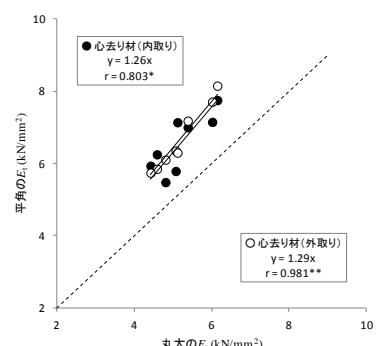


図 5 丸太と平角材の E_t の関係②

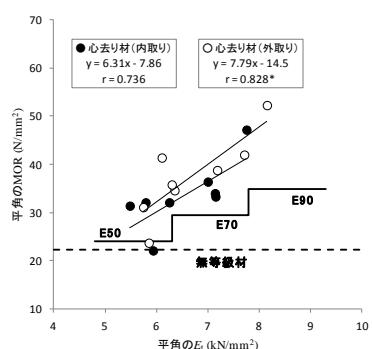


図 6 平角材の E_t と MOR の関係②

—梁背面を追い柾取りとした場合の曲げ性能など—

※松元 明弘、椎葉 淳、荒武 志朗

【緒言】

近年、国内人工林（主にスギ）の大径化が進んでおり、今後、大径材（末口径 30cm 以上）の生産量増加が予想される。これにより 1 本の原木から心去り材の 2 丁取りや 4 丁取りが可能となってくるが、現在、建築現場等で使用される部材においては、正角材、平角材ともに心持ち材が主流であることから、見慣れない心去り材の利用に消極的な意見も聞かれる。しかしながら、今後、大径材の流通量の増加が見込まれる中、森林資源の有効活用の観点からも大径材の利用推進は喫緊の課題であり、そのためにも、心去り材の強度的な性能および寸法安定性等を明らかにし、利用上の懸念を払拭する必要がある。

筆者らは、過去にスギ大径材から 4 丁取りした心去り正角材を対象に曲げ性能における製材方法（中心定規挽きと側面定規挽き）や負荷方向（木表からの負荷と木裏からの負荷）の影響を検討した¹⁾。その結果、製材方法の違いによる影響はほとんどなく、一方、負荷方向に関しては、「木裏から負荷 > 木表から負荷」の傾向があることが明らかになった。そこで、本研究では、曲げ性能が重視される梁桁材を対象として、スギ大径材から梁背面に追い柾面が表れる木取りで 2 丁取りした心去り平角材を用いて、曲げ性能における製材方法や負荷方向の影響を検討した。

【実験方法】

試験には、宮崎県日之影町産スギ丸太 30 本（長さ 4m）を供試した。これらから幅 12cm、梁背 17cm の心去り平角材を図 1 に示すとおりに、梁背面に追い柾面が表れるような木取りで 2 丁取りした。丸太 30 本のうち 15 本は、側面定規挽きで平角材を 2 丁取りし、残りの 15 本は、中心定規挽き材 1 体と側面定規挽き材 1 体を木取るかたちで製材した。

製材した平角材は当センターの蒸気加熱式人工乾燥機にて、初期乾球温度 80°C（乾湿球温度差 5°C）、最終乾球温度 100 °C（乾湿球温度差 25°C）の条件で 14 日間人工乾燥を施した後に曲げ試験に供した。なお、人工乾燥の前後に重量、寸法および打撃振動数を測定した。

曲げ試験は、1 本の丸太から側面定規挽き材を 2 体製材したうちの 1 体は木表面が上面になるように配置し、もう 1 体は木裏面が上面になるように配置して試験を行った。また、中心定規挽き材と側面定規挽き材を 1 体ずつ製材した分に関しては、それぞれ各 15 体のうち 8 体は木表面を上面に配置し、残りの 7 体は木裏面を上面に配置して試験を行った。なお、曲げ試験は日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」に準じて、3 等分点 4 点荷重方式（スパン 306cm、荷重点間距離 102cm）により行った。

大径材丸太 15 本

大径材丸太 15 本

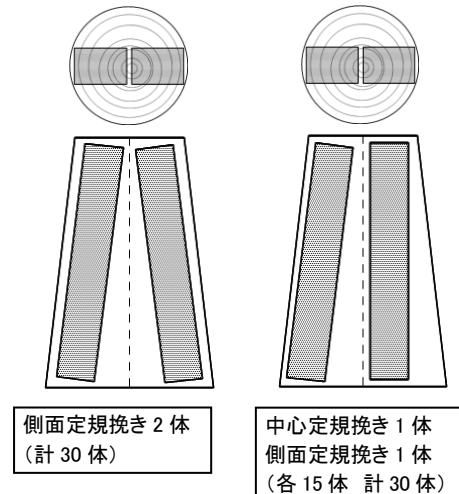


図 1 試験体の製材方

【結果および考察】

製材の材質および曲げ試験結果を表 1、2 に示す。まず、表 1 の荷重方向の違いによる比較で見てみると、木表から負荷した試験体と木裏から負荷した試験体では、両者とも同じ丸太から製材したこともあり、乾燥前後の含水率、密度および縦振動ヤング係数 (Et) にはほとんど差がなかった。しかしながら曲げ強さ (MOR) を見てみると、木表から負荷したものは平均値で 28.4N/mm² であったのに対し、木裏から負荷したものは 34.2N/mm² と木表から負荷した場合に比べて 2 割程度高い値を示した。曲げヤング係数 (MOE) についても、木表から負荷したものが平均値で 5.3kN/mm² であったのに対し、木裏から負荷したものは、6.2kN/mm² と 2 割弱ほど高い値を示した。図 2 は負荷方向の違いにより MOR を比較したものであるが、ほとんどの試験体において、木裏から負荷したものの方が高い数値が出ていることが分かる。

次に、表 2 の製材方法の違いによる比較で見てみると、側面定規挽き材においては、材質的に中心定

規挽き材に比べて、繊維の目切れが少なく、未成熟材を含む割合も少ないとと思われるが、両者の密度およびEtに大きな違いは見られなかった。また、両者の曲げ試験の結果においても、中心定規挽き材のMORが平均値で34.3N/mm²であるのに対し、側面定規挽き材が32.9N/mm²とほぼ同程度の値を示した。図3に示した製材方法の違いによるMORの比較においても、特に明瞭な傾向は認められないことが分かる。

図4に全試験体の曲げヤング係数と曲げ強さとの関係を示す。曲げ強さの傾向としては、全体的に木裏から負荷した方が高い値を示しているが、ほとんどの試験体が建設省告示1452号における無等級材の基準強度を上回っており、木表から負

荷した場合でも実用上はほぼ問題ないものと思われる。

以上の結果から過去に実施した心去り正角材の実験の時と同様に心去り平角材の曲げ性能に関しても、製材方法の違いによる影響はほとんどないものの、負荷方向に関しては、木表から負荷するよりも木裏から負荷した方が曲げ性能に有利に働くと考えられる。

表1 製材の材質および曲げ試験結果（側面定規挽き2体）

負荷方向	試験 体数	種別	含水率(%)		密度(g/cm ³)		Et(kN/mm ²)		MOR (N/mm ²)	MOE (kN/mm ²)
			乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後		
木表から 負荷	15	平均値	126.3	12.4	0.67	0.35	5.4	6.0	28.4	5.3
		最大値	169.6	19.4	0.79	0.40	8.0	8.8	36.6	7.6
		最小値	66.3	8.3	0.48	0.31	4.3	4.7	22.7	4.3
		変動係数	20.1	24.2	12.3	7.16	16.9	16.3	15.4	15.4
木裏から 負荷	15	平均値	123.0	13.3	0.67	0.36	5.7	6.2	34.2	6.2
		最大値	172.8	18.7	0.83	0.40	7.5	8.2	41.8	8.2
		最小値	80.1	8.4	0.51	0.32	4.3	4.3	21.1	4.3
		変動係数	20.4	25.8	14.0	6.00	16.4	16.5	16.9	16.5

表2 製材の材質および曲げ試験結果（中心定規挽き1体+側面定規挽き1体）

木取り方法	試験 体数	種別	含水率(%)		密度(g/cm ³)		Et(kN/mm ²)		MOR (N/mm ²)	MOE (kN/mm ²)
			乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後		
中心定規 挽き	15	平均値	101.7	10.9	0.62	0.36	5.7	6.6	34.3	5.8
		最大値	145.1	18.4	0.81	0.42	7.0	7.9	53.4	7.3
		最小値	43.1	8.0	0.47	0.31	4.2	4.8	25.3	4.6
		変動係数	35.5	28.0	14.3	8.52	13.7	13.0	19.1	11.3
側面定規 挽き	15	平均値	103.3	11.1	0.61	0.36	5.5	6.3	32.9	5.5
		最大値	153.6	19.4	0.84	0.42	6.7	7.8	47.8	6.5
		最小値	40.0	8.0	0.46	0.30	4.0	4.9	18.7	3.7
		変動係数	36.0	30.0	15.8	7.83	14.3	12.8	19.8	13.3

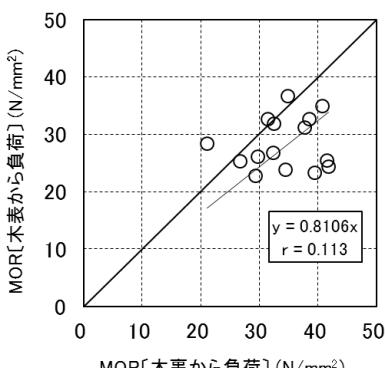


図2 負荷方向の違いによるMORの比較

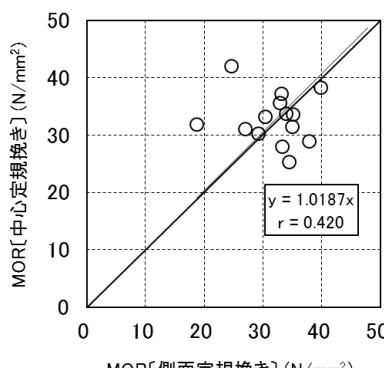


図3 製材方法の違いによるMORの比較

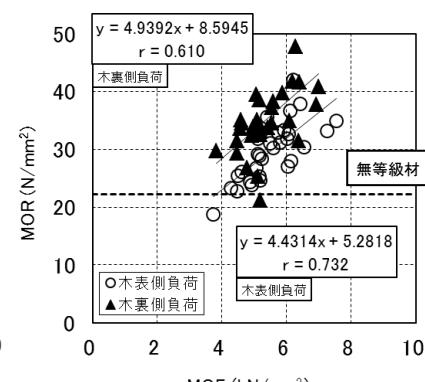


図4 負荷方向別のMOEとMORの関係

本研究の一部は、日本学術振興会科学技術研究費補助金（基盤研究(C)，課題番号:22580191）によって実施した。

【文献】

- 荒武志朗, 椎葉淳, 森田秀樹, 小田久人, 松元明弘: 第62回日本木材学会大会研究発表要旨集, 北海道, 2012, p.92.

木ネジによるモーメント抵抗接合部パネルゾーンのせん断補強効果の検討

※中谷誠、森田秀樹

【緒言】

公共建築物の木造化が促進される中、建物の内部空間を広く設けることのできる木質ラーメン構造を採用するケースが増加している。木質ラーメン構造のラグスクリューボルト（以下、LSB）や鋼製ロッドなどを柱に埋め込み構成するモーメント抵抗接合形式において、LSBなどに挟まれた柱のパネルゾーンに大きなせん断力が発生することが既往の研究¹⁾で報告されている。そこで、本研究ではこれらの接合部の強度性能の向上と安全性を高めることを目的に、柱材のパネルゾーンに長尺の木ネジを斜め埋め込みするせん断補強方法の効果を実験により検証する。

【実験方法】

試験体は、LSBによる実際の柱-梁接合部（図1参照）を想定した柱材のパネルゾーンについて検討するために、図2に示す柱に相当する寸法（断面120x300mm、長さ2000mm）とし、試験体中央部には接合部と同様に図1に示す間隔で LSB を4本埋め込み補強エリア（太線で囲んだ部分）を作製した。材料はスギ異等級構成構造用集成材 E65F225 とし、LSB は山側直径が25mm、谷側直径20mm、長さ300mmとした。

実験方法は、逆対称4点曲げ試験方法を採用し、パネルゾーンを想定した部分にせん断力を加えることで行った。加力は実大強度試験機（容量1000kN：東京衡機製作所製）を使用した。中央2箇所の支点には、2本の LSB を埋め込み、接合部を想定して長さ100mm、幅120mm、厚さ19mmの鋼板を LSB に被せて配した。また、両端の支点部にはめり込み補強用として LSB を1本ずつ埋め込み、長さ200mm、幅120mm、厚さ19mmの鋼板を配した。荷重の測定は、試験機上部に取り付けたロードセルにより測定した。また中央2カ所の支点間の鉛直方向の変形量を変位計（CDP-50 東京測器社製）により測定した。

実験条件は補強の無いもの、木ネジ2本、4本、6本により補強を施したもの4条件とした。各補強試験体の補強位置の詳細を図3に示す。補強用の木ネジ（東日本パワーファスニング社製）は全長が320mm、直径が8mmを用いた（写真1参照）。ネジの斜め埋め込みは、斜め埋め込み専用治具（ウルト社製）を用いて、材料に深さ40mm、直径6mmの先穴をあけた後、電動ドリルにより材料に対して52.5度の角度で埋め込んだ。試験体

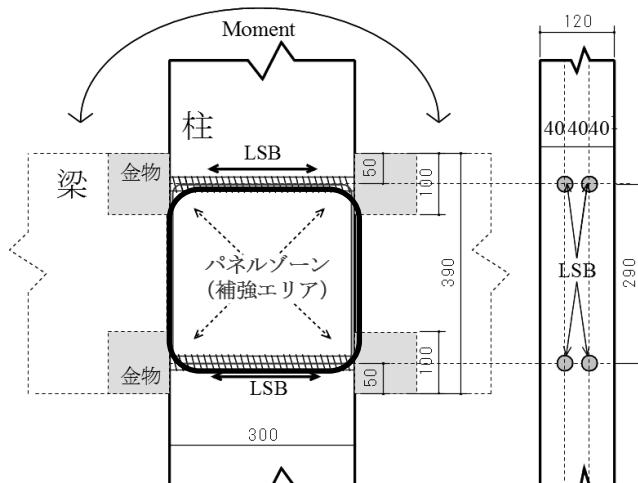


図1 接合形式と補強エリアの概要図

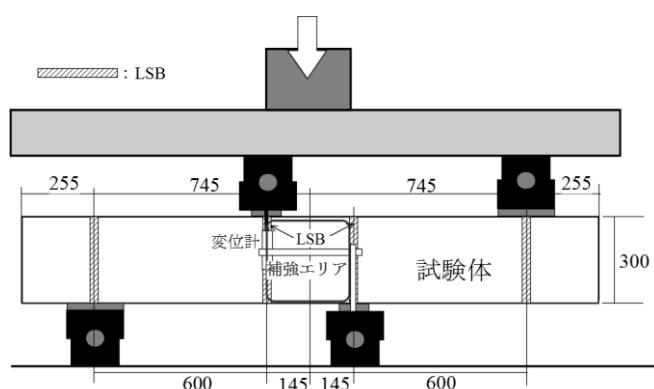


図2 試験体と実験方法の概要図



写真1 木ネジ全景

数は補強の無いものを8体、その他を各4体、合計20体とした。

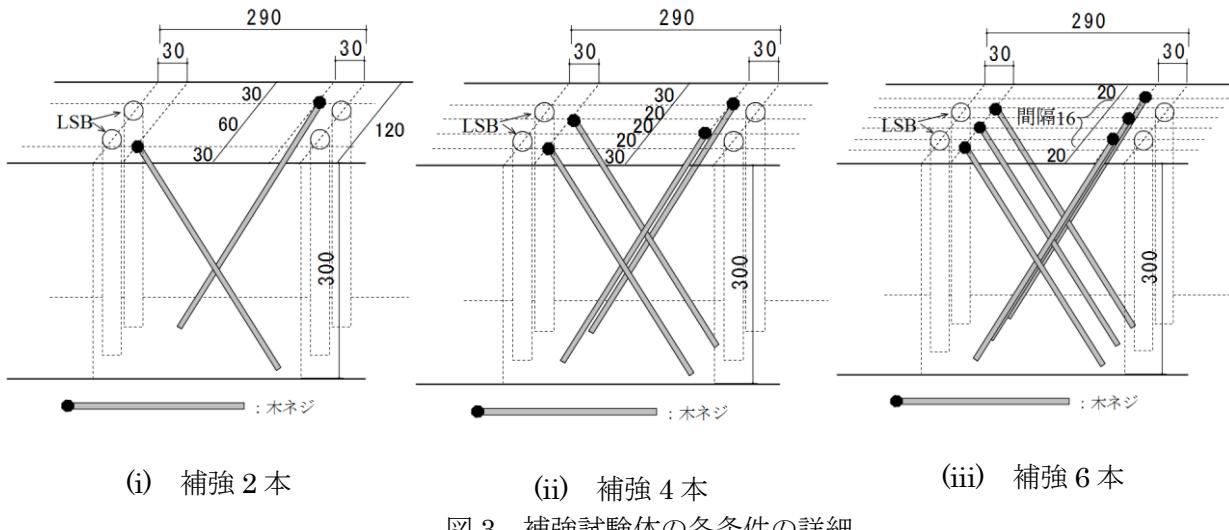


図3 補強試験体の各条件の詳細

【結果と考察】

試験体の破壊は、初期に材中央部付近においてせん断破壊（写真2参照）を起こし、その後 LSB が埋め込まれた位置で材が曲げ破壊を起こした。破壊性状は補強の有無による違いは見受けられなかった。図4に補強本数と最大耐力の関係を示す。補強無しから木ネジによる補強本数が2本、4本と本数が増えると、平均の最大荷重が5%、17%と増加した。しかし、補強用木ネジが6本では最大荷重にばらつきが大きく、平均では補強4本に比べて低下した。この原因として、材料の幅が120mmに対して直径8mmの木ネジが6本と数が多く、木ネジの間隔が狭くて木ネジ同士が木材内部で干渉することによる木ネジ自身の損傷、そして木部の断面欠損が影響を与えた可能性が考えられる。特に、図4の低強度を示した2体については木ネジの埋め込み時に、木材の縁から木ネジの埋め込み位置までの縁距離が短いために材料外部にネジが飛び出すなどの失敗が生じたことから、再度位置をずらして埋め込み直したことにより木材に損傷を与えたことが原因と考えられる。なお、補強無しの場合における平均のせん断強度は 5.61N/mm^2 、4本の補強を施したもののは 6.51N/mm^2 であった。また、中央支点間の変位量の測定結果において、補強用木ネジを埋め込んだことによる荷重と変形量に関する明確な差は認められなかつた。

本研究結果により、木ネジを斜め埋め込みすることでせん断補強効果がある程度見込まれることが明らかになった。本実験では LSB によるモーメント抵抗接合部に着目したが、その他のせん断力が卓越する部分における木ネジによる補強は効果が見込めることが検証できたと考える。



写真2 材中央部のせん断破壊
(補強用木ネジ2本)

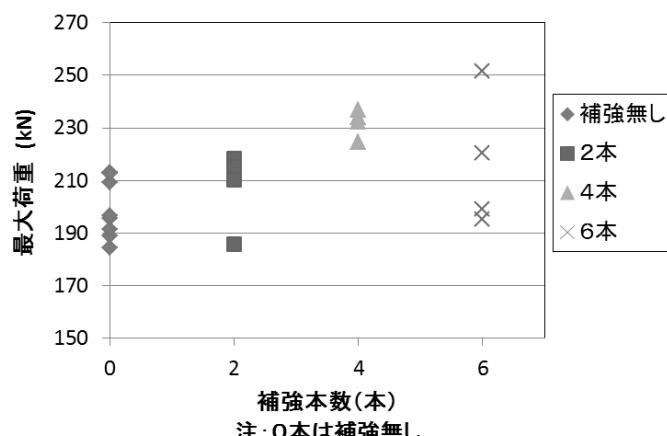


図4 補強木数と最大荷重の関係

【参考文献】

- 1) 鶴海四郎他：日本建築学会大会講演梗概集 構造II pp.81-82 1992年

2-7-5 木質燃焼灰を原料に製造した水酸アパタイト複合材の多機能性評価 —水酸アパタイト複合材の耐シロアリ性能評価—

材料開発部 赤木 剛

【緒言】

木質バイオマス施設では、副産物として生じる燃焼灰の処理が問題となる。燃焼灰は産業廃棄物として捨てるにも費用がかかるため、マネジメントに直結する大変厄介な副産物である。また木質バイオマス活用の促進が図られている昨今において、木材利用の最下流に位置する燃焼灰の再資源化は、環境的な側面からも意義深い。現状では産業廃棄物としてそのほとんどが埋め立て処理されているが、木質バイオマス燃料の利用拡大に伴い今後は燃焼灰の排出量も増加すると考えられ、埋め立て用地の確保や灰から溶出する有害金属元素の処理が問題になると予想される。そのため木質燃焼灰を安全かつ効率的に再資源化する試みは、今後木質バイオマスの利用促進を進める一方で、積極的に取り組まねばならない課題である。

このことを背景として、本研究課題では、燃焼灰を主原料に用いた新製品の開発を軸に据え、木灰を原料に用いた水酸アパタイト複合材の試作と、その機能性評価に取り組んだ。これまで同複合材の燃焼特性評価および耐候性評価について一定の試験結果を得ている[1,2]。そこで今年度は、水酸アパタイト複合材の耐蟻性評価に取り組んだ。無機塩類に乏しい木材を主食とするシロアリの体は、ミネラルの生理循環が高度に発達していると考えられている。従って逆に、水酸アパタイトを多量に摂取することで体内に機能障害を生じさせ、シロアリ本体を死滅させる効果が期待された。そこで水酸アパタイト複合材の耐蟻性能について複数の評価試験を実施した。

【実験操作】

(1) 野外暴露試験 — まず野外暴露による試験杭の食害試験を実施した。スギ辺材の木杭 (L600×R30×T30mm) を 1 組 10 本で計 4 組用意し、うち 2 組に HAp 溶液の加圧含浸処理を施して（同複合処理の詳細は先行報告[1,2]を参照）、 $28.7 \pm 0.8 \text{ kg/m}^3$ の HAp 試験体を得た。次に HAp 処理材と未処理試験体を各 1 組ずつ合わせた 1 セット計 20 本を、それぞれ宮崎県内の試験地においてイエシロアリ及びヤマトシロアリの巣の周辺に深さ方向に約半分ほど埋設した。調査内容は、目視および触診により、試験体の地中部の食害度を JISK1571 の基準 (0:健全、10:表面の一部に浅い食害、30:表面の一部に内部までの食害、50:内部の広い範囲に食害、100:食害により形が崩れる) により評価し、HAp 処理材と未処理材の平均食害度を比較した。調査期間は温暖期(5 月から 9 月)の 5 カ月で 1 月毎に経過を観察した。

(2) 室内喫食試験 — 試験は基本的に JISK7201 に準拠した。まず試験体として二方まさのスギ辺材片 (L10×R20×T20mm) を 24 個用意し、温度 60°C で 48 時間乾燥した。そのうち 6 個に HAp 処理 (2 時間の煮沸後に大気圧下で HAp 溶液に 24 時間浸漬) を施し、HAp 固着量が $31.3 \pm 0.5 \text{ kg/m}^3$ の HAp 処理材を得た。これに残りの未処理材 18 個を加え、供試体とした。

シロアリ喫食試験は、まず直径 8cm、長さ 6cm のアクリル樹脂性円筒の底に硬石膏を厚さ 5mm ほど固めたシロアリ飼育槽を 12 個用意した。さらに各々の飼育槽に厚さ約 1mm のプラスチック製の網を置き、このうち 6 個の飼育槽については、未処理材 1 個と HAp 処理材 1 個を組にして、まさ目面が上下になるよう網の上に並べた。一方残りの 6 個の飼育槽については、未処理材を 2 個ずつ組にして、同様に並べた。その後、無作為に巣から取り出したイエシロアリの職蟻 100 頭と兵蟻 10 頭を各々の飼育槽に投入し、予め湿潤綿を敷き詰めた蓋付きの容器内（温度 $28^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ の暗所）に 21 日間保管した。飼育期間中は毎日死亡したシロアリを数え、死虫率を求めた。また喫食試験前

後の試験体重量から各試験体の重量減少率を算出し、ひとつの試験槽に投入した2つの試験体間での食害の進行の違いを、各々の重量減少率の差で評価した。

【実験結果】

- (1) 野外暴露試験 – 野外に埋設した試験材の平均食害度の推移について、結果を図1に示す。シロアリの食害は水酸アパタイト処理材に著しく、試験開始から5カ月経過した時点では、未処理試験体の平均食害度が10未満であったのに対し、HAp試験体はイエシロアリで77、ヤマトシロアリで57と、材内部にまで広く食害を受けていた。HAp処理材を喫食してシロアリの活性が落ちる様子は観察されず、試験期間を通して食害が進行していた。
- (2) 室内喫食試験 – 実験槽におけるシロアリ喫食試験の結果、試料の質量減少率はHAp処理材と未処理材を組にして供した実験槽の場合、HAp処理材で $8.2 \pm 0.6\%$ 、未処理材で $4.8 \pm 0.6\%$ であった。一方未処理材2個を組にして供した実験槽の場合、計12個の未処理材の重量減少率は平均して $3.5 \pm 0.5\%$ であり、組ごとの2つの未処理材の重量減少率の差の絶対値は、6組平均で $1.9 \pm 0.8\%$ であった。以上の結果、室内試験でもHAp処理材の質量減少率が未処理材に比べて高い傾向にあったが、先述の野外試験ほど顕著ではなかった。また死虫率は、HAp処理材入りの飼育槽で平均 $6.2 \pm 1.9\%$ 、未処理材のみの飼育槽で $3.6 \pm 2.2\%$ と、有意な差は認められなかった。

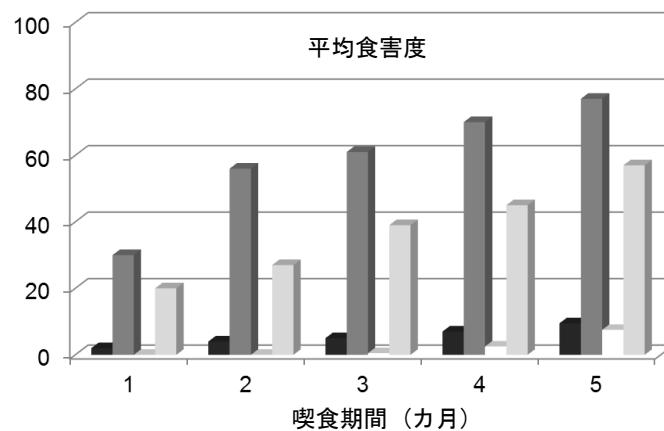


図1 HAp複合材の平均食害度

■未処理-イエシロアリ、■HAp処理-イエシロアリ
□未処理-ヤマトシロアリ、■■HAp処理-ヤマトシロアリ

【考察】

試験の結果、研究当初の目的であったHAp処理による耐蟻性能の付与に関しては効果が認められず、逆に野外試験の結果では、シロアリに対する強い誘引効果を示した。屋外土中で水酸アパタイト処理材が選択的にシロアリの食害を受けた要因としては、材内部に固着した水酸アパタイト結晶以外に、例えば水酸アパタイト溶液を木質燃焼灰から調合するときに用いた酢酸による影響などが推測される。詳細の解明のためには、水酸アパタイト処理材から土中(大気中)に溶出(蒸散)した成分の把握とシロアリに対する効果の検討が今後の課題である。

【引用文献】

- 1) 赤木剛; 平成23年度宮崎県木材利用技術センター業務報告書, pp42-43, 2011
- 2) 赤木剛, 前原弘法, 遠山昌之; Journal of Wood Science, vol.58, No.6, 2012, pp532-537.

※ 本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業（挑戦的萌芽研究:課題番号 23658150）により実施した。

2-7-6 タケからのバイオマスエタノール生産技術の開発

*須原弘登

宮崎大学農学部 亀井一郎、目黒貞利

【諸言】

世界的な経済の発展に伴い、石油等の化石燃料が多量に消費されるようになり、これにより地球温暖化、石油資源の枯渇懸念が問題となっている。オイルショック以降、主にサトウキビ、トウモロコシなどからエタノールを生産する技術が発達し実用化されているが、可食物資を用いていることから、食糧価格の高騰が懸念されている。このことから、現在ではヒトが食用にできないセルロース、特に木質系材料（リグノセルロース）を用いる第二世代バイオマスエタノール生産の実用化が求められている。特にエネルギー資源に乏しい我が国においては、石油代替エネルギーの開発は急務であるといえる。

日本各地に見られるタケ類は他の木材に比べて成長周期が短く、単位面積あたりの年生産重量は熱帯多雨林や常緑広葉樹のおよそ 2 倍に及び毎年多くのバイオマスを生産している。我が国ではかつては様々な用途で盛んに竹が利用されていたが、現在は石油製品に代替され利用が竹工業は衰退している。これにより地方農村部では竹林が多く放置されており、放置された竹林の増加と拡大が問題となっている^{1,2)}。放置竹林の広がりに歯止めをかけるためにも、新たな竹の有効利用法の開発が求められている。

この事から、本研究では未利用資源になりつつあるタケを用いバイオマスエタノールを生産する技術の開発を目指す。

【実験方法】

仕様菌株：*Punctularia* sp. TUFC20056、*Ceriporiopsis subvermispora*

クローニング：1.5% (w/v) マルトエキス寒天培地上で生育させた培養菌糸体から改変 CATB 法³⁾によりゲノム DNA を精製した。International Nucleotide Sequence Database Collaboration (INSDC) より担子菌類のクラス II ペルオキシダーゼ (CIIP) 遺伝子配列を取得し、MEGA Ver.5.0 の Clustal W アルゴリズムを用いて、遺伝子及び蛋白質配列のマルチプルアラインメントを作成した。この配列と CIIP に関する既報文献^{4,5)}をもとに、担子菌類の CIIP の保存領域のプライマーを作成しリグニン分解酵素のクローニングを試みた。

糖化処理：絶乾したタケ、イナワラ、コナラ粉末 (42-100mesh) 500mg を含水率 140% に調整し 30 日の菌処理を行った。処理した木粉を 0.1g 酵素/g 基質のメイセラーゼ酢酸バッファー (50mM, pH5) で 50°C、48 時間処理した。反応溶液の上清を DNS 法⁶⁾での還元糖量の測定に供した。

糖化同時発酵試験：絶乾した市販タケチップ、イナワラ粉末 (42-100mesh) 含水率 140% に調整し 8 週間の菌処理を行った。1 前処理した試料 2g を 0.1% メイセラーゼを含む T 培地 (10 g/L yeast extract, 10g/L KH₂PO₄, 2g/L (NH₄)SO₄, 0.5 g/L MgSO₄·7H₂O) に加え、糖化発酵処理を行った。反応上清にスルホサリチル酸を加え HPLC にてエタノール量の測定⁷⁾を行った。

【試験結果】

本年度の研究では、タケに対して高い選択的リグニン除去能をもつ *Punctularia* sp. TUFC20056 を用いたバイオエタノール生産技術確立のために、本菌が持つリグニン分解酵素の一つであるクラス II ペルオキシダーゼ (CIIP) に着目し、本酵素のクローニングを試みた。既報の文献をもとに、CIIP 保存領域に対するディジェネレートプライマーを作成しクローニングを行ったところ、1 つの CIIP クローンを得ることができた (図 1)。このクローンはその配列から、典型的なマンガンペルオキシダーゼ (MnP) 型であることが示唆された。

タケはイネ科植物であり、本邦では同じイネ科に属するイナワラ・ススキなどもバイオマス資源として期待できることから、*Punctularia* sp. TUFC20056 を用いてイナワラの脱リグニンを試みると同時に、脱リグニン処理後糖化酵素を添加し建機条件に切り替えることで同時糖化発酵が可能かを検討した。基質にイナワラ、対照としてコナラを用いて検討した結果、同菌はコナラよりもイナワラに対して高いリグニン分解選択性を示した。また、前処理したイナワラのメイセラーゼによる糖化では還元糖生成率が無処理区 (11.9%) および対照区として用いた *C. subvermispora* 処理区 (9.7%) の 4 倍近くの 46%まで増加した。イナワラおよびタケの同時糖化発酵試験の結果、タケでは 8 週間の前処理後、360 時間の発酵で理論収率の 25.2%のエタノールを得ることができ、イナワラでは 4 週間の前処理後、360 時間の発酵で理論収率の 37.5%のエタノールを得ることができた。

【参考文献】

- 1) 甲斐、辻井 宮崎大学農学部研究報告(2004)
- 2) 徳永、荒木 京都教育大学環境教育研究年報第 15 号 99-123 (2010).
- 3) Suhara H, Maekawa N, Kubayashi T, Sakai K, Kondo R (2002) Mycoscience 43:477-481
- 4) Morgenstern I, Klopman S, Hibbett DS (2008). Journal of Molecular Evolution 66: 243-257.
- 5) Bödeker ITM, Nygren CMR, Taylor AFS, Olson Å, Lindahl BD (2009) The ISME Journal 3: 1387-1395
- 6) 福井 (1965) 化学と生物 3: 484-490
- 7) Kamei I, Hirota Y, Mori T, Hirai H, Meguro S, Kondo R (2012) Bioresource Technology 112: 137-142

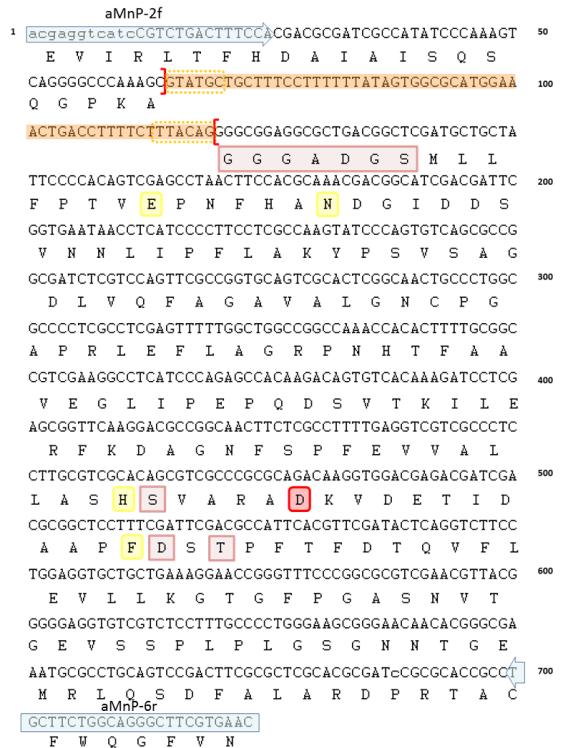


図1 クローニングによって得られた*Punctularia* sp. TUFC20056のクラスIIペルオキシダーゼ部分配列
塩基配列及び推定アミノ酸配列を示した。
■: イントロン、□: スプライシングシグナル、⇨: プライマー、■: ヘムポケット、■: Ca結合部位、■: Mn結合部位。

2-8 受託共同研究事業

2-8-1 輸出ニーズに適応した建築物向け国産材インフィル部材の技術開発

研究期間：2010 年度～2012 年度（3 年間）

中核機関・研究総括者：宮崎県木材利用技術センター 飯村豊

共同機関：（財）日本木材総合情報センター

【研究の概要】

中国では、マンションや商業施設などの非木造建築の建設が年々増加しているが、建築への木材利用技術が確立されていない。本研究では、中国における間仕切壁の利用や施工上の諸条件を踏まえた輸出仕様のスギ下地パネルを開発した。開発にあたり、軽軟なスギに適した「テーパーねじ」を実用化し、部材の合理化とパネルの軽量化を実現した。このパネルは、施工マニュアルにそって現場で容易に精度良く組立てができるとともに、間仕切壁に必要な強度や遮音・断熱特性の性能表示も可能とした。また、既存の間仕切壁と比較して工期短縮と施工コストの削減が図られることから、市場競争力のある商品としてスギの輸出拡大に寄与できるものとなった。

【成果の内容】

- 1) 軽軟スギの材質特性を活かし、軽量かつ組立て容易で、物流コストも最小化する下地パネルキット商品を開発した（図 1）。
- 2) 面材がめり込まない、枠材が割れない、接合耐力に優れた、用途別のテーパーねじを設計し、ねじメーカーと共同で低コストに製造できる転造法で製造、実用化した（図 2）。
- 3) 下地パネルの曲げ性能は、内装壁ユニットに対する要求性能をクリアした（図 3）。また、下地パネルに薄型壁掛けテレビや吊り戸棚を取り付けた際の荷重試験をクリアした。
- 4) 下地パネルの遮音性能は、中国の木骨組壁技術規範に規定された遮音レベル 35db を中・高音域でクリアした。断熱性能は、省エネ基準等級 2 に相当する $0.46\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ をクリアした。
- 5) 高級仕様下地パネルの材工コストを、中国国内の高級仕様ブロック・レンガ組積造に比べて 2 割以上低減することができた。
- 6) 内層に直交単板を用いた LVL (LVB) を使用することで、ねじ打ち込み時の割れを大幅に抑制することができた。また、より径の太いテーパーねじを打ち込むことができるため、既存の平行ねじに比べてパネルの剛性を 27～69% 向上するとともに、ねじの使用本数を削減した。
- 7) テーパーねじの引き抜き耐力が、既存の平行ねじに比べて 15～17% 向上することを明らかにした（図 4）。
- 8) ビジュアルな構成の日本語と中国語の施工マニュアルを完成させ、施工者の技量に左右されることなく、パネルの組立て、取付けを効率的に高精度で行える施工システムを開発した。
- 9) 中国での現地調査の結果、下地パネルの施工時間を、現行のブロック・レンガ組積造に比べて 3 割短縮できることが明らかになった。
- 10) 中国での実証試験の結果、下地パネルの調湿効果を明らかにした。

【成果の活用】

- 1) 下地パネルとテーパーねじを国内の老人福祉施設の建築現場で実用化し。
- 2) テーパーねじは、家具や学童用机・椅子の試作品に使用するなど実用化にめどが付いた。
今後、家具や建具、建築・土木用途など全ての分野で軟らかいスギ材を活用できることが分かり、具体的な利用が始まった。合わせて、金具やねじメーカーと共同で特許を出願（特開 2012-046268 「軽軟材用テーパーねじ」）した。

【主なデータ・図表】



図1 開発した下地パネル



パネル固定用 ①ねじ山径 7.7 - 6.7 首下90mm テーパー比 1/65
軸材組立用 ②ねじ山径 4.5 - 4.0 首下60mm テーパー比 1/70
面材取付用 ③ねじ山径 4.5 - 4.0 首下38mm テーパー比 1/60
④ねじ山径 5.0 - 4.0 首下38mm テーパー比 1/30

図2 用途別のテーパーねじ



(試験方法)
(財)ペターリビング
優良住宅部品性能試験方法書
内装壁ユニット
分布圧強さ試験
水平荷重に対する壁の剛性チェック

図3 下地パネルの曲げ試験

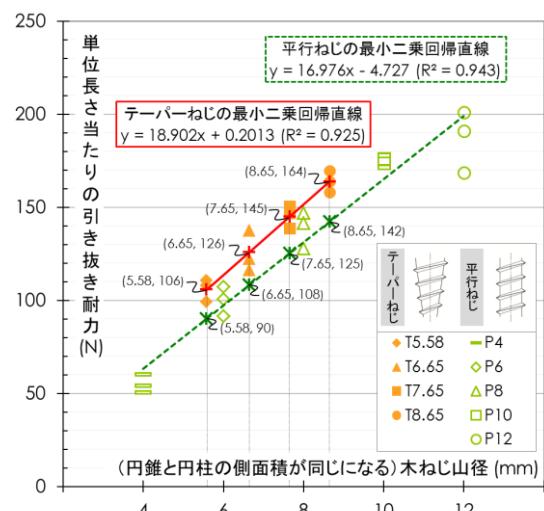


図4 テーパーねじと平行ねじの引き抜き性能

2-9 研究発表(口頭)

開催年月	学会名	場所	氏名	題名	要旨集
2012.5.9	木材活用緑色建築技術国際ワークショップ	韓国	飯村 豊	日本の木材及び木造建築の過去と現在 Part1. 1970年代後半から現在まで	p.1-18
			白 恵琇	日本の木材及び木造建築の過去と現在 Part2. 2005年頃から現在まで	p.19-34
2012.5.29	公開シンポジウム「土木分野での木材利用400万m ³ を目指して！」	東京都	飯村 豊	土木資材のオープンシステム化を目指して	p.1-6
2012.8.24-25	第19回日本木材学会九州支部大会	宮崎県	飯村 豊	中国へのスギ材輸出の取組 一木材・木造の技術ニーズの調査研究一	p.7-10
			森田秀樹、中谷 誠、椎葉淳、荒武志朗	大径材から得られたスギ心去り平角材の性能評価 一柱梁接合部の引張・せん断試験一	p.29-30
2012.9.12-14	2012年度日本建築学会大会(東海)	愛知県	中谷 誠、森 拓郎、中島昌一、小松幸平	CLT(Cross laminated timber)からのLSB の引き抜き性能	p.303-304
			椎葉淳、荒武志朗、森田秀樹、小田久人、松元明弘	スギ大径材から得られた心去り正角材のめり込み性能	p.653-654
2012.10.17-18	日本木材加工技術協会 第30回記念年次大会(東京)	東京都	松元明弘、小田久人、河野能成	スギ心持ち柱材におけるホットプレス表面割れ抑制処理とビニルハウス乾燥との組み合わせ乾燥	p.27-28
2012.12.5-6	第16回木質構造研究会技術発表会	東京都	飯村 豊	中国へのスギ材輸出の取組	p.53-56
2013.2.19	第218回生存圏シンポジウム	京都府	中谷 誠、森 拓郎	大型木造の接合部における生物劣化を評価するための基礎的研究	p.23-24
2013.3.3	第52回日本建築学会九州支部研究発表会	大分県	椎葉淳、森田秀樹、荒武志朗、中谷 誠、井上正文	スギ大径材から得られた心去り平角材の接合性能	p.717-720
2013.3.11	第226回生存圏シンポジウム 木質材料実験棟平成24年度全国共同利用課題研究報告会	京都府	中谷 誠、森 拓郎、椎葉淳、田中洋、中島昌一、小松幸平	CLT(Cross laminated timber)を用いた中・大規模木造建築物の開発	p.7-12
2013.3.27-29	第63回日本木材学会大会	岩手県	Tran Hai Bang, Kuniyoshi Shimizu, Hiroto Suhara, Katsumi Doi, Hiroya Ishikawa, Katsuya Fukami, Gopal Prasad Parajuli, Kazuo Watanabe, Mahesh Kumar Adhikari, HiraKaji Manandhar, Ryuichiro Kondo	Wild Mushroom in Nepal: Some potential Candidates as Antioxidant and ACE Inhibition Sources	(CD-ROM)
			荒武志朗、椎葉淳、松元明弘	スギ大径材から得られた心去り平角材の性能(I) ー乾燥による品質指標の変動ー	(CD-ROM)
			椎葉淳、荒武志朗、松元明弘	スギ大径材から得られた平角材の性能(II) ー梁背面を板目取りとした場合の曲げ性能などー	(CD-ROM)
			松元明弘、椎葉淳、荒武志朗	スギ大径材から得られた心去り平角材の性能(III) ー梁背面を追い粂取りとした場合の曲げ性能などー	(CD-ROM)
			小田久人、松元明弘	四丁取りしたスギ心去り柱材の寸法変化	(CD-ROM)
			中谷 誠、森田秀樹、森 拓郎	木ネジによるモーメント抵抗接合部パネルゾーンのせん断補強効果の検討	(CD-ROM)

注1 共同研究者の所属は省略しています。

2-10 研究発表(展示)

開催年月	学会名	場所	氏名	題名	要旨集
2012.7.8-13	International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Division5 Conference	ボルトガル(エストリル)	Takeshi Akaki	Combustion and Weather Resistant Properties of Wood Composites Treated with Wood Ash Based Hydroxyapatite	p.280
2012.7.15-19	World Conference on Timber Engineering (WCTE)	ニュージーランド(オークランド)	Shiro Aratake, Atushi Shiiba, Hideki Morita	Mechanical Properties of Real-size Beams Sawn up from Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i> D.Don) Curved Logs	p.53-54
			Atsushi Shiiba, Shiro Aratake, Hideki Morita	Bending Performance of Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i>) Lumber Sawn Parallel to the Edge of Large Diameter Logs	p.63-64
			Takeshi Akaki, Hironori Maehara, Masayuki Tooyama	Developing of Wood and Wood-ash Based Hydroxyapatite Composites : Thire Durability and Fire Retarding Properties	p.65-66
			Hei-Soo Baek, Hideki Morita, Atsushi Shiiba, Yutaka Iimura, Fujio Imai	Influence of Shape Factors of Wood Screw on Withdrawal Performance -Development of Wood Screw Used for Soft and Light Wood-	p.354-359
			Makoto Nakatani, Takuro Mori, Kohei Komatsu	Development of Cross Embedded Joint Using Lagscrewbolt	p.360-363
2012.8.24-25	第19回日本木材学会九州支部大会	宮崎県	中谷 誠、田中 洋、椎葉 淳	大径材を用いたスギ心持ち製材によるラーメン構造の性能評価	p.63-64
2013.3.27-29	第63回日本木材学会大会	岩手県	田中 洋、荒武志朗、下温湯盛久、川添恵造、鈴木 淳、戸田 俊彦、桃溪崇、小田祐二、原 穀、大熊幹章、鶯海四郎、相馬 智明	スギ3層合せ材の開発(その1) 一大径材から得られたラミナの材質-	(CD-ROM)
			岩崎新二	土木資材用スギ材の耐久性評価試験 -8年経過後の地際部の腐朽度-	(CD-ROM)

注 共同研究者の所属は省略しています。

2-11 研究発表(誌上)

発行年月	書籍名	氏名	題名	掲載項
2012年4月	Construction and Building Materials Vol.29	Jørgen L. Jensen、Makoto Nakatani、Pierre Quenneville、Bryan Walford	A Simplified Model for Withdrawal of Screws from End-grain of Timber	p.557-563
2012年6月	都城地区木材青壮年会 会報誌 想い -夢や未来を我らの手に- 2012年6月号	飯村 豊	チームみやざきスギ	p.2
2012年6月	林業みやざき 4・5・6月号	増永保彦	県産スギ(軽軟材)用ねじの開発	p.14-15
2012年8月	林業みやざき 7・8月号	中谷 誠	スギ大径材を用いた門型構造の開発	p.14-15
2012年10月	林業みやざき 9・10月号	小田久人	「木材の乾燥」を考える	p.14-15
2012年10月	木科学情報 Vol.19 No.3	飯村 豊	中国へのスギ材輸出の取組 -木材・木造の技術ニーズの調査研究-	p.44-47
		中谷 誠	第19回九州支部大会(宮崎)における研究発表動向(物理・工学分野)	p.51
		須原弘登	第19回九州支部大会(宮崎)における研究発表動向(生物・化学分野)	p.52
2012年11月	International Biodeterioration & Biodegradation Vol.75	Hiroto Suhara、Sayaka Kodama、Ichiro Kamei、Nitaro Maekawa、Sadatoshi Meguro	Screening of Selective Lignin-degrading Basidiomycetes and Biological Pretreatment for Enzymatic Hydrolysis of Bamboo Culms	p.176-180
2012年11月	みやざき 農業と生活 Vol.47 No.4 11・12月号	荒武志朗	オビスギ心持ち材を用いた土台用積層材の開発 柱-土台接合部のめり込み性能	p.56-57
2012年11月	木材保存 Vol.38 No.6	飯村 豊	木質土木資材のオープンシステム化を目指して -「土木分野での木材利用400万m ³ を目指して」-	p.244-250
2012年12月	林業みやざき 11・12月号	松元明弘	スギ心持ち柱材の乾燥における高温セット処理と ビニルハウス乾燥との組み合わせ乾燥	p.14-15
2012年12月	Journal of Wood Science Vol.58 No.6	Takeshi Akaki、Hironori Maehara、Masayuki Tooyama	Development of Wood and Wood Ash-based Hydroxyapatite Composites and Their Fire-retarding Properties	p.532-537
2013年1月	林業みやざき 1・2・3月号	田中 洋	ねじ接合部のせん断試験 -打ち込み角度の影響について-	p.14-15

注1 学会等要旨集は除く

注2 共同研究者の所属は省略しています。