

2-1 材料開発

2-1-1

土木資材用スギ材の耐久性評価試験 －5年経過後の地際部の腐朽度－

岩崎新二

「はじめに」

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視されている。スギ材を屋外利用する場合、耐久性向上の処理及び措置が施されるが、耐用年数向上のためには、補修は欠かせない。

本試験は、土木・建築資材用としてスギ丸太材、角材の利用を想定し、県産スギ材に耐久性を付与し、補修時期を把握することを目的とした。

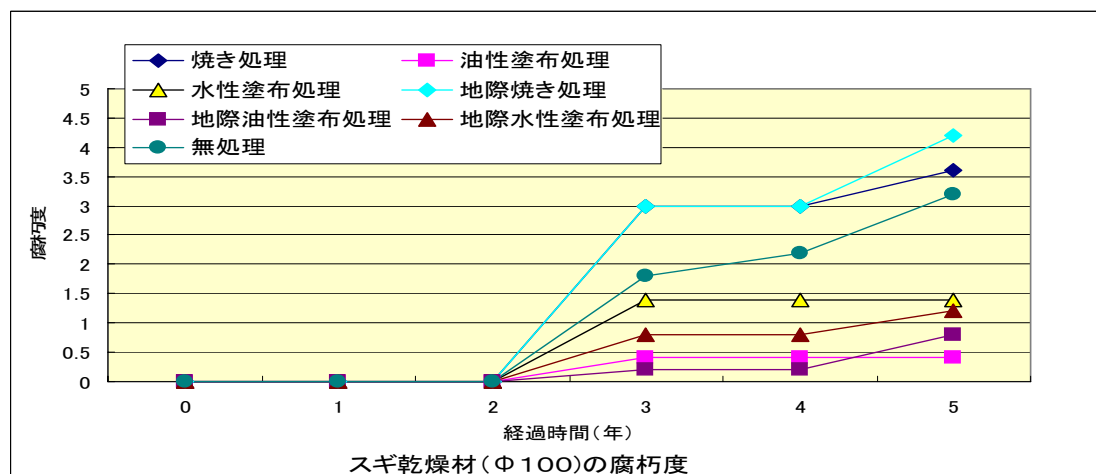
「実験方法」

材料は、スギ丸棒加工材（大径Φ 20 × 160cm、小径Φ 10 × 60cm（高温乾燥材、生材））とスギ角材（12 × 12 × 60cm（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（油性、水性）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、屋外に 2004 年 7 月に埋め込んだ。評価項目は、目視により地際部の腐朽度を、雨宮の方法により評価を行った。

「結果」

地際部の腐朽は、丸棒加工材は3年経過後から、角材は4年経過後から発生が確認され、角材の方が耐腐朽性は高かった。また、地際部の腐朽は辺材部で留まっているものが多かった。腐朽の大きさは、無処理材・焼き処理材＞水性薬剤塗布処理材＞油性薬剤塗布処理材の順で、油性薬剤塗布処理が最も効果的であった。

地際部の腐朽度は、地際処理、全処理材とも同程度であり、有意差は現れなかった。



引用文献 1) 雨宮昭二：林業試験場研究報告、第 150 号 143-156 (1963)

赤木 剛

研究概要 — 木質燃焼灰を原料に調合された水酸アパタイト溶液を用いて水酸アパタイト複合材を製造し、示差熱分析および直接加熱により同複合材の燃焼特性を調べた。示差熱分析の結果、材の全乾重量に対して 10%程度の水酸アパタイトを含浸固着させた同複合材の燃焼特性は、既存のリン酸系難燃剤により処理された木材のものと同様の結果を示した。またマイクロバーナーを用いた直接加熱でも難燃性の向上が認められた。しかし同複合材に耐候操作を施して水酸アパタイト結晶の複合量を 6%さらには 3%まで落とした場合、直接加熱による燃焼試験において難燃性の向上は認められず、示差熱分析でも難燃剤処理特有の燃焼特性は認められなかった。

【緒言】木質バイオマスの活用促進が求められる昨今、木質バイオマス燃料を燃して発電や熱利用に有効活用する取り組みは、従来の化石燃料に代わるエネルギー供給源として注目されている。一方で、木質燃料を燃した後に残る燃焼灰は、産業廃棄物としてコストを掛けて処分しなければならず、木質バイオマスの燃焼施設の経営に負担の掛かる副産物である。この燃焼灰を有効利用しようとする試みは、材料開発の分野においてこれまでも取り組まれてきた。例えば燃焼灰に含まれる肥効成分を活かすために緑化コンクリートに混合する試み(Udoeyo et al., 2006)や、パーティクルボードに混合する研究(Milena wt al., 2008)がなされている。さらにこれを背景として、当センターでは昨年度に燃焼灰を原料とした水酸アパタイト複合材を試作することに成功した。これは、木質燃焼灰の主成分であるカルシウム塩にリン酸塩溶液を作用させて得られる処理液を木材に含浸させ、木質細胞内部に水酸アパタイトの結晶を析出させたものである。水酸アパタイトは難燃処理剤に用いられるリン酸塩の一種であるため、その複合処理材には難燃性の効果が期待できる。そこで今年度は、熱分析機器を用いてこの水酸アパタイト複合材の難燃性評価を実施した。

【実験操作】

- (1) 示差熱分析 — 水酸アパタイト複合材（以下 HAp 複合材）の燃焼特性を調べるために、示差熱分析(DTA-TG)を実施した。分析装置には島津製作所製 TGA-60 及び DTA-60 を用いた。同複合材の粉末を乾燥空气中で 30℃から 600℃まで 20℃/分の速度で加熱し、発熱ピークの様子を調べた。試験対象はスギ辺材とヒノキについて未処理単板、10%HAp 複合材、3%HAp 複合材の 3 種類を用いた。10%HAp 複合材は、水酸アパタイト溶液を含浸処理して、試験体の全乾重量に対し 10%の水酸アパタイト結晶を複合させたものである（但しヒノキの場合は 9%）。また 10%HAp 複合材に JISK1571 に準じて耐候操作を施し、残留した水酸アパタイト結晶の割合が 3%にまで減少した試料を 3%HAp 複合材と記す。
- (2) 直接加熱による難燃性評価 — 試験単板をクランプでマイクロバーナーから高さ 10cm に固定して直接加熱を行い、燃焼の様子を観察するとともに、試験体背面の温度上昇を熱電対により測定した(Furuno at al., 1991 参照)。バーナーの炎に曝される試験体の加熱面は、およそ 500℃になるよう炎の大きさを調整した。試験体には上述の示差熱分析と同様にスギ辺材及びヒノキ単板から、未処理材、10%HAp 複合材（ヒノキは 9%）、3%HAp 複合材を各 6 枚用いた。さらに耐候操作のサイクルを調整して 6%HAp 複合材を各 5 枚準備し、加えて加熱実験に供した。これらの試験体は 60℃で 72 時間加熱した後、乾燥剤のシリカゲルとともにデシケーターで約 2 ヶ月保管して予め調湿してから試験に供した。

【実験結果】

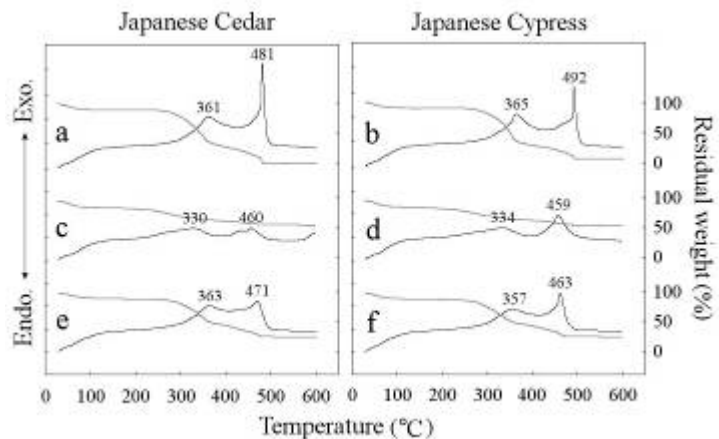
- (1) 示差熱分析 – 結果を図 1 に示す。スギ辺材とヒノキ共に、未処理単板では 360℃付近と、480～490℃の 2 箇所が発熱ピークが認められた(図 1a, b)。また TG パターンではこの温度で目立った重量減少が認められた。この結果は、諸木材の発熱特性を調べた先行研究のものと一致している(Arima1973)。顕著な重量減少を伴う最初の発熱はセルロースの酸化発熱によるもので、その他残存物の赤熱過程を後のピークは示唆している。一方 10%HAp 複合材ではこれらの発熱ピークが鈍化し、600℃までの温度域を通して滑らかな発熱ピークが得られた(図 1c, d)。また発熱ピークの温度は、未処理材の場合に比べて低温側に 20～30℃移動した。この傾向は、リン酸系の難燃処理剤を施した木材

材の発熱特性を調べた先行研究(Arima1974)の結果からも、同様の報告がなされている。しかし難燃材特有のこの発熱特性は、耐候操作により水酸アパタイトの複合量を落とした 3%HAp 複合材からは認められなかった(図 1e, f)。10%HAp 複合材と比較して発熱ピークは鋭くなるとともに、発熱温度は 10～20℃ほど再び高温側に移動した。この結果、耐候操作による水酸アパタイト結晶の剥離が、

図 1 示差熱分析による発熱特性

難燃性の低下に寄与する可能性が 左:スギ辺材 右:ヒノキ

示唆された。 a,b: 未処理材 c,d: 10%HAp 複合材 e,f: 3%HAp 複合材



- (2) 直接加熱による難燃性評価 – 直接加熱による試験体背面の温度上昇を測定した結果を図 2 に示す。未処理検体の場合、スギ辺材とヒノキ共に、加熱開始から約 5 分を経過した段階で背面温度が 280℃に達し、加熱時間 9 分までには炎を出して燃えるか、または試験単板が燃え抜かれた。一方 10%HAp 複合材については、スギ複合材の 1 試験体を除いて加熱時間 20 分間を通して背面温度は 200℃を下回り、材表面の緩やかな炭化は観察されたが燃え尽きることはなかった。この結果から、水酸アパタイトの複合処理による難燃性の向上が示唆された。しかし、耐候操作を施した 6%及び 3%HAp 複合材の場合、未処理材と同様に加熱時間 10 分を経過するまでに燃焼が進み、燃え尽きた。このことは、耐候操作による水酸アパタイト結晶の剥離により、HAp 複合材の難燃性が著しく低下したことを示唆している。直接加熱試験により得たこれらの結果は、先述の示差熱分析による考察結果と同じ傾向を示した。

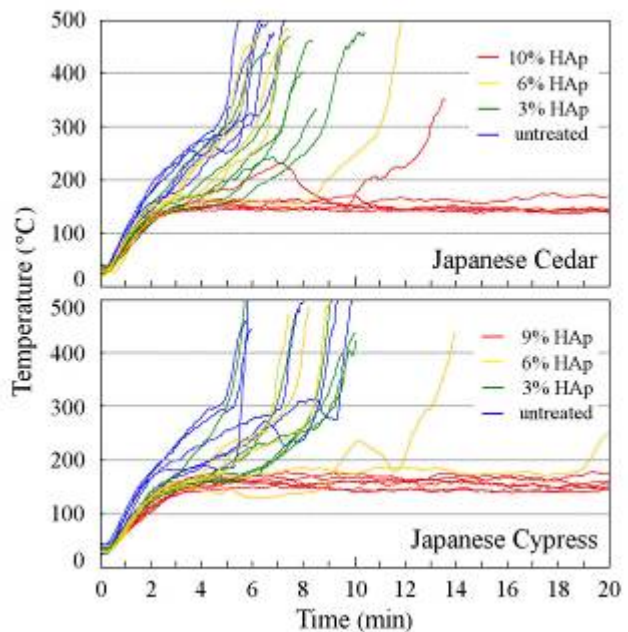


図 2 直接加熱による試験体背面の温度変化

上:スギ辺材 下:ヒノキ

2-2 木材乾燥

2-2-1 高温乾燥したスギ心持ち柱材の寸法変化 — 1 年経過後の様子 —

※小田久人、松元明弘

【緒言】

建築用構造材のうち、柱類は外国産材主体の集成材が半数以上を占めている。この理由の一つに、断面内の含水率がほぼ均一であり使用中の寸法変化がほとんど無いことが挙げられる。一方、スギ心持ち柱材の人工乾燥材は高温低湿乾燥法がほぼ全量を占めていると見られるが、ある程度の含水率傾斜を持った状態で出荷されていると思われる。そこで、意識的に含水率傾斜が生じる乾燥条件で人工乾燥した心持ち柱材の寸法変化を一年にわたり調査したので報告する。

【実験方法】

県内の製材工場において以下の手順で宮崎県産スギ心持ち柱材 25 本を人工乾燥した。すなわち、3 段階ある重量区分のうち、中クラスの柱材を軽量クラスの乾燥スケジュールで乾燥した。この乾燥スケジュールは、初期蒸煮の後、乾球温度 120℃、湿球温度 90℃の高温低湿工程が 24 時間と乾球温度を 100℃以下とした後期乾燥工程からなっている。全体の乾燥日数は約 7 日間である。乾燥後直ちに 4 面ともプレーナー加工し当センターへ搬入した。加工後の寸法は 120mm である。搬入された試験材の両木口から 50cm の位置で厚さ 3cm の含水率試験片と、いくつかの試験材では元口側で含水率分布試験片を切り出した。残る中央部約 1.5m を寸法変化試験材とした。寸法測定位置は試験材中央部付近の節の影響が少ない箇所を選定した。各四辺長はノギスで、また、向かい合う 2 面の上下辺から 40mm の位置の寸法（以下、内測）をマイクロメータで、それぞれ測定した。同時に、重量と高周波式含水率計で 4 面の表面含水率を測定した。試験材のうち 9 本を 1 年経過した時点で測定を終了し、全乾法含水率を中央付近の試験片で求めた。残りの試験体は継続中である。

【結果および考察】

1. 含水率の推移

測定時の試験材重量から含水率を求めた。図 1 に結果を示す。試験開始時の含水率は 50% から 20% の範囲に分布しているが、約 260 日経過した時点で全ての試験材含水率が約 12% と気乾状態に達した。試験開始時の含水率分布は図 2 に示すように、断面の平均含水率が 20% であっても内部の含水率は 50% を超えており、大きな含水率傾斜が見られる。時間の経過とともに内部の水分が減少し、試験材全体の含水率低下として表れている。また、高周波式含水率計で測定した表面含水率の推移は、湿度が高い 7 月上旬に当たる 150 日経過時に一時的に含水率の上昇が見られるほかは、全乾法含水率の推移と同様である。

2. 寸法の推移

2. 1 四辺長の推移

各試験材の四辺長の平均値を用いて、開始時寸法を基準にした収縮率を求めた。収縮率と全乾法含水率の関係を図 3 に示す。多くの試験材は、含水率が 30% を下回ると急激に収縮率が増大する傾向を示すが、これより上下に外れる試験材も見られる。そこで、試験材ごとに回帰直線式を求め、含水率 12% 時の収縮率を求めた。さらに、別の試験で得た心持ち柱材表面層 18 本の自由収縮曲線から同様に含水率 12% 時の収縮率を算出した。これらの収縮率と試験開始時含水率との関係を図 4 に示す。自由収縮した場合の含水率 12% 時収縮率は、図中の赤線で示すように約 2.6% であるが、1 体を除く試験材の収縮率はこれより小さく、高温低湿処理による引張セットの影響と考えられる。

2. 2 四辺長と内測の関係

内測の収縮率は四辺長と同様に求めた。全乾法含水率との関係は四辺長の場合と同様の傾向を示す。幅方向に定規を当てたところ、中心部付近に隙間が観察された。そこで、四辺長と内測の差を求め、含水率との関係で示したのが図5である。四辺長と内測の差は、最終的に最大でも約1 mm となった。四辺長は高温セットによる収縮の抑制が働くのに対し、柱材幅方向の中心部は、初期の含水率が高く、収縮率が比較的に大きくなることによると考えられる。

人工乾燥心持ち柱材は、少なからず含水率傾斜を持っていると考えられる。このため、使用条件に応じて四辺長の収縮や四辺長と内測との収縮差を考慮する必要がある。

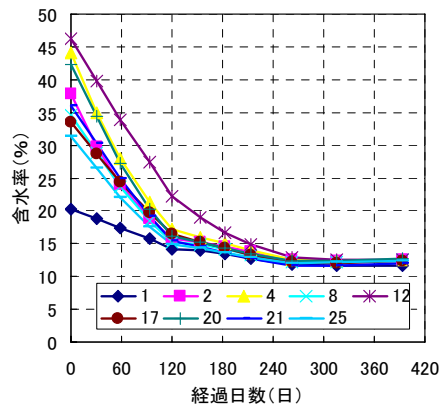


図1 含水率の推移

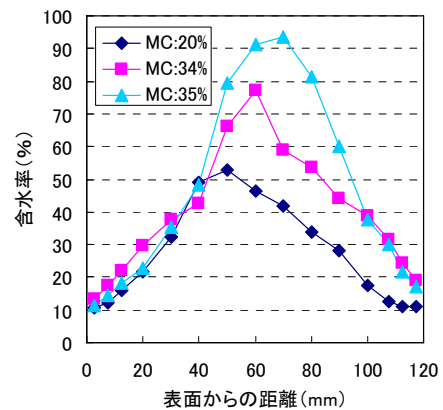


図2 試験開始時の横断面内含水率分布

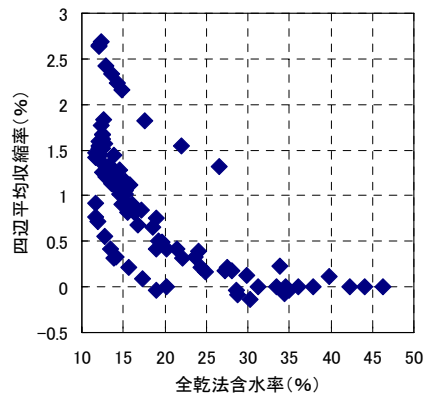


図3 四辺収縮率の推移

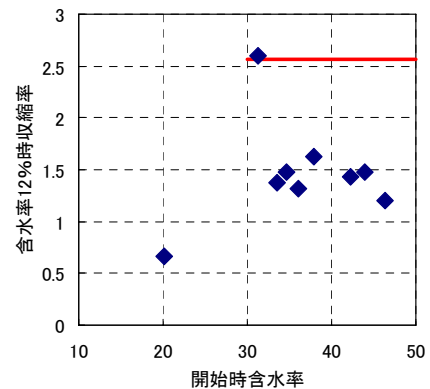


図4 含水率12%時の収縮率

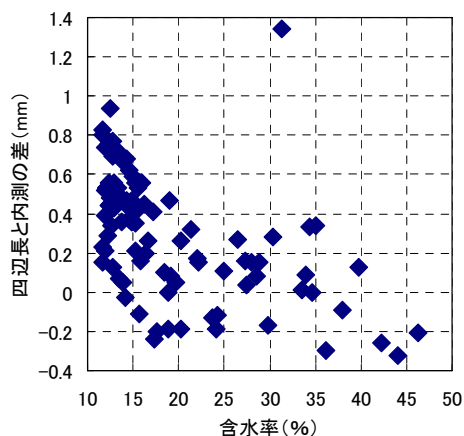


図5 四辺長と内測の差

2-2-2 ホットプレスを用いたスギ心持ち柱材の表面割れ抑制処理

※松元 明弘 小田 久人、有馬 孝禮
九州大学大学院 藤本 登留

研究概要

スギ心持ち柱材の乾燥過程における表面割れの発生を抑制するために、ホットプレスを用いた表面割れ抑制処理を検討した。熱盤温度は 200℃の 1 条件、処理時間を 30min、60min、90min の 3 条件とし、長さ 3m のスギ心持ち柱材における乾燥終了後の表面割れ発生状況および木材の損傷程度を比較検討した。その結果、表面割れ発生量は、いずれの処理条件とも無処理の場合と比較して大幅に少なく、また、処理時間の違いによる大きな差は見られなかった。一方、60min 処理および 90min 処理では、内部割れが発生しており、処理時間が長くなるに従い、内部割れが増加していた。

【緒言】

スギ心持ち柱材の乾燥過程における表面割れの発生を抑制するために、ホットプレスを用いた表面割れ抑制処理を検討した。既報¹⁾において、長さ 3m のスギ心持ち柱材の 4 材面にホットプレス表面処理を施した後に人工乾燥を行った結果、無処理材に比べて処理材で表面割れが少なく、処理材の中でも処理時間が一定の場合、処理温度が高いほど表面割れが少ないことが明らかとなった。今回は、高温での処理に焦点を絞り、熱盤温度を 200℃の 1 条件、処理時間を 30min、60min、90min の 3 条件とし、長さ 3m のスギ心持ち柱材における乾燥終了後の表面割れ発生状況および木材の損傷程度を検討した。

【実験方法】

試験には、寸法が 13×13×300cm で、製材直後の重量が 30～35kg のスギ心持ち柱材 50 本を用いた。表面処理条件は、熱盤温度を 200℃の 1 条件、処理時間を 30min、60min、90min の 3 条件とし、圧縮圧力は約 0.1N/mm² の 1 条件とした。各処理条件につき 12 本の柱材を使用し、残った 14 本を無処理材とした。表面処理は、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。表面処理後は無処理材を含めた全ての試験材を約 1 ヶ月間、屋根のある屋外で天然乾燥した後に、当センター設置の蒸気加熱式乾燥機を用いて、乾球温度 90℃、湿球温度 60℃の条件で、約 2 週間の人工乾燥を行った。試験材の測定は、生材から人工乾燥終了後までの含水率および含水率分布の推移を調べるために、各試験条件につき、4 本の試験材を選別し、生材時、表面処理後、天然乾燥後、人工乾燥後の各段階において、毎回、末口側木口面から 50cm の位置で含水率測定試験片および含水率分布測定試験片をそれぞれ 1 体ずつ切り出した。切り出した含水率分布測定試験片は図 1 のように分割した。含水率はいずれも全乾法で求めた。なお、人工乾燥終了後のみ内部割れ長さおよび幅を測定し、内部割れ面積を求めた。各段階において試験片を切り出した後の木口断面はコーキング材を塗布して塞いだ。残りの 34 本の試験材に関しては、上記の段階ごとに表面割れ長さおよび幅を測定し、表面割れ面積を求めた。

【結果および考察】

1. 含水率および含水率分布の推移

各試験条件における生材時から人工乾燥後までの含水率の推移を図 1 に示す。いずれの処理条件においても、当初、約 80%あった含水率が人工乾燥後には、10～14%に減少していた。表面処理後では、処理時間が長い条件ほど低い含水率を示したものの、その後の推移は処理条件の違いによる差はほとんどなく、無処理材との差も見られなかった。

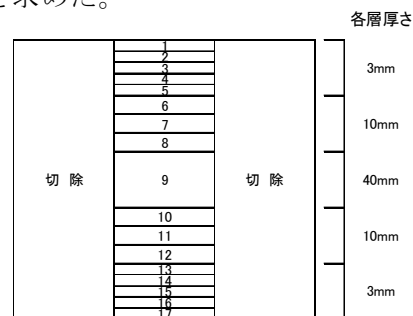


図 1 含水率分布測定試験片(木口断面)

含水率分布の推移を図 3 に示す。図 1 の 1～5 および 13～17 の位置の含水率推移を表している。いずれの処理条件においても、生材時には 40～60% の範囲に分布していた表層部の含水率が表面処理後には表面で 10% 程度に減少し、表面から内部にかけて大きな含水率傾斜が生じた。また、処理時間が長い条件ほど、各層の含水率は低い傾向にあった。天乾後の処理材は内部の含水率が減少した一方で、表面の含水率は上昇していたことから、含水率傾斜が緩和されていた。一方、無処理材では処理材に比べて、表層部の含水率傾斜が緩やかな傾向にあった。人乾後は表層部の含水率は一様に 10% 前後に減少しており、処理条件の違いによる大きな差は見られなかった。

2. 表面割れおよび内部割れ

人工乾燥後の表面割れ面積および発生数を図 4 に示す。表面割れ面積および発生数ともに無処理材が最も大きく、処理材の表面割れは無処理材の約 10 分の 1 以下の面積に抑えられていた。一方、処理材に関しては、いずれも 1 本あたりの表面割れ面積が 10cm² 以下と処理条件の違いによる大きな差は見られず、また、処理時間と表面割れ発生量との間に明瞭な傾向は認められなかった。人工乾燥後の内部割れ面積および発生数を図 5 に示す。処理時間が長くなるに従い内部割れ面積および発生数ともに増加しており、90min 処理では 60min 処理の約 4 倍の面積の内部割れが発生していた。30min 処理では内部割れの発生は見られなかった。90min 処理では表面処理直後においても、複数の試験体で内部割れが発生しており、表面処理によって木材表面に強いドラインゲットが形成されていることがうかがえた。

3. まとめ

今回は、熱盤温度を 200℃ の 1 条件に絞り、処理時間を複数設定して、ホットプレスによる表面割れ抑制処理の検討を行った結果、表面割れに関しては、処理時間の違いによる大きな差は見られなかった。一方、処理時間が長くなると内部割れが発生するとともに、処理時間の長さに伴い、内部割れが増加することが明らかとなった。

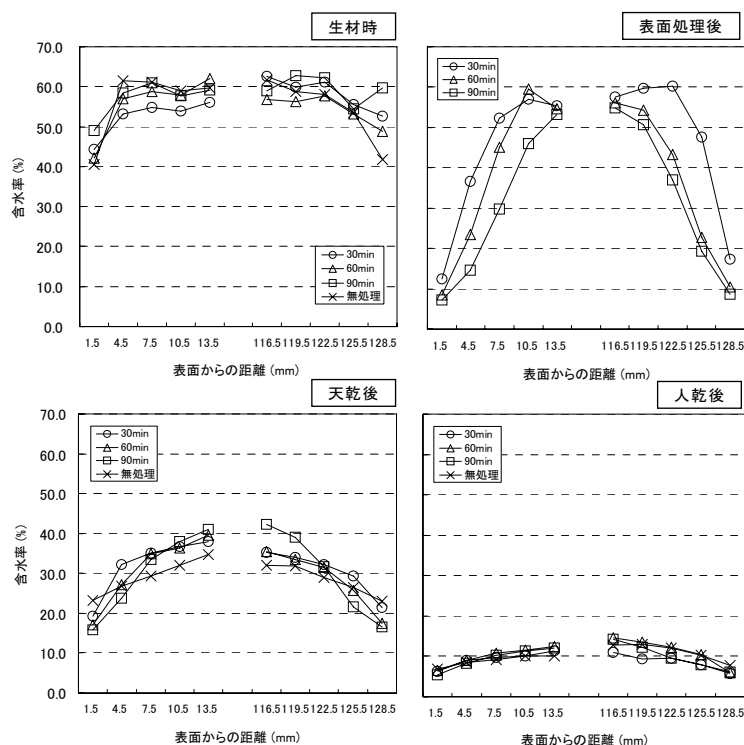


図 3 含水率分布の推移

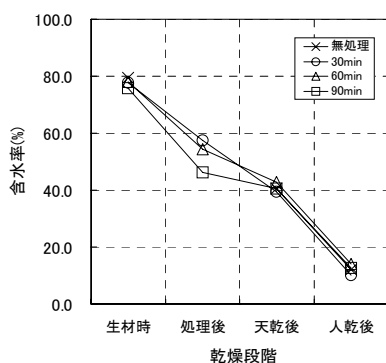


図 2 試験材の含水率推移

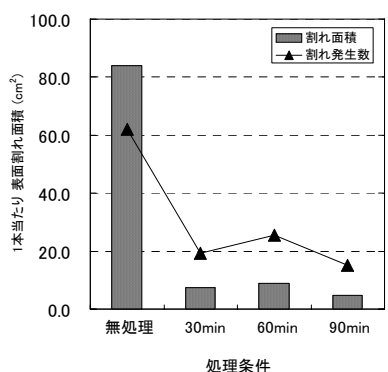


図 4 人乾後の表面割れ発生量

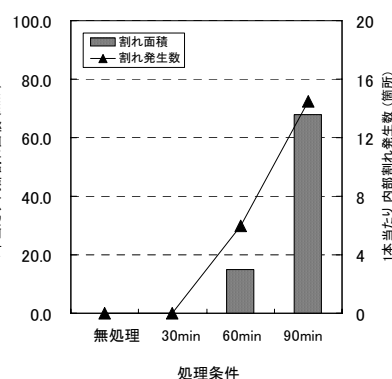


図 5 人乾後の内部割れ発生量

参考文献

- 1) 松元明弘, 小田久人, 有馬孝礼, 藤本登留: 日本木材学会九州支部大会講演集 2010, pp.13-14

2-3 木質材料

2-3-1 5年間屋外暴露された木質パネルの厚さ方向密度分布変化

※藤元嘉安、森田秀樹、松元明弘

1. はじめに

日本木材学会木質パネル研究会では、2004 年春より「第 2 次木質パネル耐久性評価プロジェクト」に取り組んでおり、当センターも本プロジェクトに参加している。構造用パネルとしての耐久性能（寸法安定性、曲げ性能、はく離強度、釘接合性能など）の把握と評価方法の確立を目的として、同時に全国 8 カ所で屋外暴露試験を行っている。試験地都城での 5 年間の屋外暴露において、ボードの種類により基礎物性（曲げ、はく離、吸水厚さ膨張）や釘接合性能（釘頭貫通抵抗、釘側面抵抗、一面せん断抵抗）に異なる傾向が確認された。一例として、暴露による劣化の著しかったアスペン OSB の暴露に伴う各種性能の推移を図 1 に示す。はく離強さや曲げ性能（MOE および MOR）は、1 年目からの劣化が著しいものの、釘接合性能の低減はそれほど大きくないことがわかる。そこで本研究では、これらの低減挙動の違いを考察するための資料を得る目的から、都城において屋外暴露された各種ボードの厚さ方向密度分布の暴露期間における推移について検討を行った。

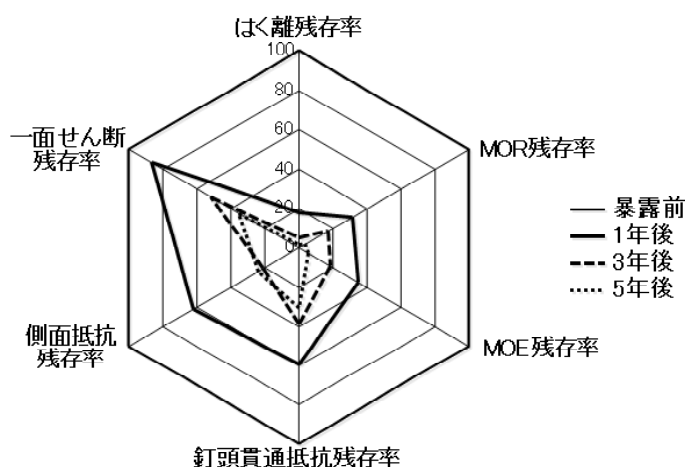


図1 屋外暴露による各種性能の低減状況
(アスペンOSB、都城)

2. 試験方法

供試材としては、厚さ方向の密度分布変化が判別しにくい合板を除き、アスペン OSB、パイン OSB、フェノール樹脂接着剤パーティクルボード (PF-PB)、MDI 接着剤パーティクルボード (MDI-PB)、12mm 厚構造用 MDF および 9mm 厚非構造用 MDF の 6 種類を用いた。いずれのパネルにおいても、暴露開始後、1 年毎に採取し曲げ試験を行った試験体の健全な残部から、軟 X 線撮影用の試験体を採取した。試験体の寸法は、幅 10mm、長さ 50mm であり、幅方向に軟 X 線を照射（出力 30kVA、照射時間 90sec）し、撮影を行った。厚さ方向密度分布は、軟 X 線撮影画像をスキャナにより読取った後、画像解析することにより求めた。なお、軟 X 線撮影においては、九州大学大学院農学研究院サステナブル資源科学講座・藤本登留准教授に多大なご協力をいただいた、ここに謝意を表します。

3. 試験結果

3.1 暴露パネルの厚さ方向密度分布

屋外暴露された木質パネルの厚さ方向密度分布の測定結果の一例として、アスペン OSB の結果を図 2 に示す。暴露前では、両端の表層に比べて、内層部でやや低くなるような密度分布を示している。屋外暴露の進行に伴い、暴露 3 年後までは表層の密度はあまり変化せず、内層の密度が先行して低くなる傾向にあることがわかる。暴露 4 年後以降では、表層の密度低下がやや大きくなるとともに、内層での密度低下が著しくなっている。また、アスペン OSB と同様に暴露によ

る劣化が著しかった PF-PB の測定結果を図 3 に示す。PF-PB では、暴露 5 年後まで表層部の密度低下はあまり見られないものの、内層の密度が暴露に伴い減少している。なお、図中密度を示す線分のパネル厚さ方向における長さが 1 年目以降で暴露前より長くなっているが、これはパネルの暴露による厚さ変化によるものである。

3.2 表層および内層の密度変化

各木質パネルについて、両表層の最も密度の高い部分近辺の厚さ方向 1mm の範囲における密度の平均を求め、屋外暴露に伴う変化を求めた。また、内層についても同様に、内層の最低密度部分近辺の 2mm の範囲における平均密度変化を求めた。アスペン OSB、PF-PB および構造用 MDF についての結果を図 4 に示す。アスペン OSB では、内層の密度低下が暴露 1 年後から著しく、表層においても他のパネルに比べて密度が大きく減少することが確認された。アスペン OSB のはく離強さの低減は、内層密度の著しい減少によるものと考えられる。また、曲げ試験においては、暴露の経過とともに、水平せん断による破壊が顕著に見られたことから、はく離強さと同様に、内層の密度低下が大きく関与しているものと考えられる。また、基礎物性の低減に比べ、釘性能の低減がそれほど大きくないことは、表層密度の低下が内層に比べ緩やかなことによるものと思われる。なお、暴露に伴う基礎物性ならびに釘接合性能の低減があまり認められなかった構造用 MDF については、表層および内層ともに密度の低下が非常に少なかった。

4. まとめ

屋外暴露された木質パネルの 5 年間における厚さ方向密度分布の推移を調べた結果、屋外暴露に伴う木質パネルの基礎物性あるいは釘接合性能の推移には、木質パネルの内層あるいは表層における密度変化が大きく関与していることが認められた。とくに、はく離強さや曲げ性能が大きく低減したアスペン OSB や PF-PB においては、暴露に伴う厚さ変化や重量減少によるパネル内層の密度低減が大きく関与していることが確認された。

なお、本研究の一部は平成 21 年度科学研究費補助金（課題番号：21380108、研究代表者：静岡大学・鈴木滋彦教授）により行った。

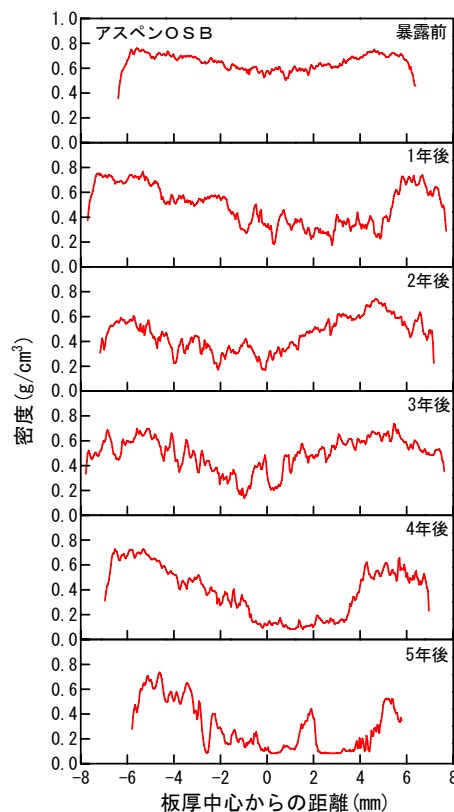


図2 暴露に伴う厚さ方向密度分布の変化 (アスペンOSB、暴露地：都城)

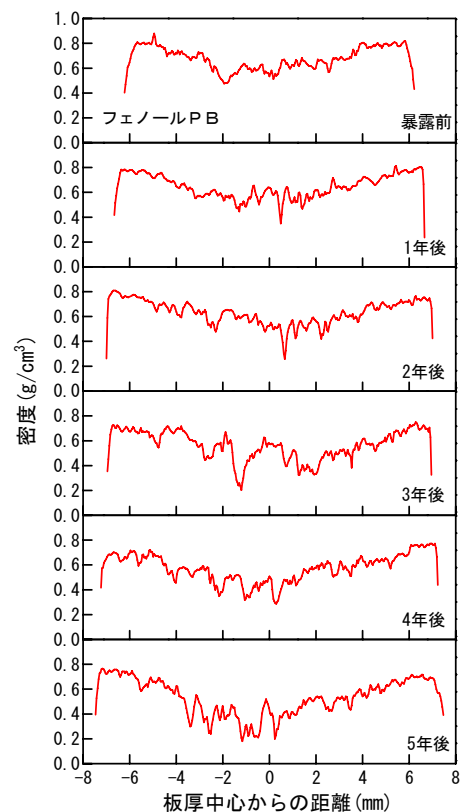


図3 暴露に伴う厚さ方向密度分布の変化 (フェノールPB、暴露地：都城)

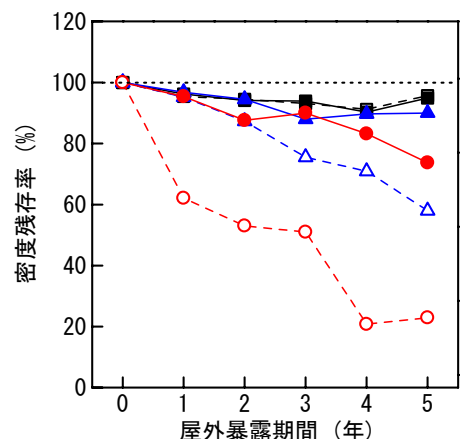


図4 屋外暴露に伴う表層および内層の密度残存率の推移
● : アスペンOSB 表層
○ : アスペンOSB 内層
▲ : PF-PB 表層
△ : PF-PB 内層
■ : 構造用MDF 表層
□ : 構造用MDF 内層

2-4 木材利用

2-4-1 大径材から得られたスギ側面定規挽き心去り平角材の接合性能評価

※森田秀樹、荒武志朗、椎葉淳

【緒言】

本県スギ丸太は大径材の割合が増加してきており、その利用法の1つとして心去り平角材が検討されている。心去り平角材は県北地域の製材工場の一部生産されているが、心持ち平角材と比べて強度及び狂いの面で不安視する声が少なくない。強度については椎葉らによって報告され¹⁾、心去り平角材は心持ち平角材と遜色ない性能を有することが明らかになった。そこで本研究では、在来軸組工法の接合部に対する評価を行った。

【実験方法】

長さ8mの宮崎県北部地域産スギ丸太(西臼杵郡日之影町大字分城下興地、35年生)10本を供試体とした。供試丸太を4mに玉切りし、1番玉から側面定規挽き製材により心去り平角材を、2番玉から中心定規挽き製材により心持ち平角材を得た。

人工乾燥後、幅105mm、材せい240mmに鉋加工し、約6か月間室内で養生した。同一等級構成スギ構造用集成柱と平角材を用いた接合試験体を、県内の社寺仏閣の建築を専門とする企業で作製した。接合部はえり輪付き胴付き込栓打ちとし、込栓は18mm角のカシとした。試験は、「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版) 横架材端接合部の引張試験方法」((財)日本住宅・木材技術センター)に準じて実施した(図1)。1体を予備試験体(単調加力)とし、9体に対して繰り返し加力試験を実施した。また、各特性値はPickPoint((独)森林総合研究所開発)を用いて算出した。



図1 試験風景

【結果および考察】

全ての試験体が、込栓を打ち込んだほぞ部からのせん断破壊を示した(図2)。試験で得られた各特性値を表1に示す。最大荷重の比較では、心去り平角材に比べて心持ち平角材が高い結果が得られた。この中で、平均値を大きく下回った試験体が、心去り平角材で4体、心持ち平角材で1体確認された。その要因として、人工乾燥により平角材に内部割れが発生し、その割れ方向(半径方向)とほぞのせん断破壊面が一致したことが挙げられた。内部割れが影響を受けなかった試験体の比較では、心去り平角材の接合性能は心持ち平角材と同等と考えられ、内部割れを生じさせない人工乾燥が重要であることが明らかになった。



図2 ほぞの込栓打ちこみ部からのせん断破壊

表1 接合部引張試験で得られた特性値

心去り平角材

No.	最大荷重		降伏耐力 P_y	初期剛性 K	終局耐力 P_u	塑性率 μ	構造特性係数 D_s
	P_{max}	$2/3P_{max}$					
1	10.8	7.2	5.4	8.8	9.7	2.2	0.54
2	12.4	8.3	7.7	4.8	11.5	2.1	0.56
3	8.9	5.9	3.9	6.6	7.7	1.9	0.61
4	7.7	5.1	3.7	8.5	6.7	1.9	0.59
5	15.6	10.4	7.9	18.4	14.1	4.7	0.35
6	10.8	7.2	6.7	5.0	10.5	1.3	0.78
7	12.8	8.5	6.4	8.3	11.2	2.2	0.55
8	7.3	4.9	3.2	11.5	6.3	3.0	0.45
9	7.7	5.1	3.3	7.0	6.9	2.0	0.57
平均値	10.4	7.0	5.3	8.8	9.4	2.4	0.56

心持ち平角材

No.	最大荷重		降伏耐力 P_y	初期剛性 K	終局耐力 P_u	塑性率 μ	構造特性係数 D_s
	P_{max}	$2/3P_{max}$					
1	7.0	4.7	3.3	7.5	5.9	2.2	0.55
2	10.7	7.1	5.6	7.3	10.2	2.8	0.47
3	13.0	8.7	7.5	5.6	12.8	1.7	0.65
4	12.4	8.3	7.4	7.4	11.9	1.4	0.76
5	11.0	7.3	5.7	9.1	10.3	2.3	0.52
6	12.3	8.2	-	-	9.2	1.4	0.77
7	13.4	8.9	7.1	8.1	11.9	2.2	0.54
8	12.0	8.0	-	-	-	-	-
9	11.0	7.3	6.0	5.9	9.9	1.6	0.69
平均値	11.4	7.6	5.3	6.3	9.1	1.7	0.55

注)“-”はPickPointで求められなかった特性値。

1) 椎葉淳ほか：第61回日本木材学会大会要旨集、D19-P-AM03(2011)

※本研究は、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。

※荒武志朗、椎葉 淳、森田秀樹
(株)もくみ 佐藤庫司

1. はじめに

梁・桁適材が得られるスギ丸太の中には相当量の曲がりを有する丸太(曲がり材)が含まれているが(矢高 2%までの曲がり材で3割程度¹⁾、これらの丸太は、現状では一般材(直材)よりも安価に流通されており、用途も合板用資材や土木・農業用資材等に限定されている。これらの原因としては、製材手間など実務面での問題も考えられるが、多くは構造材としての性能自体(変形や強さなど)に対する低い評価に基づいている。しかしながら、このような評価は必ずしも明確な実験データに基づいている訳ではない。

一方、近年における法体系の整備などで飛躍的に高まることが予想される国産材ニーズを満たす為には、曲がり材であっても可能な限り(要求性能を満たす限り)構造材としての用途を目指す必要がある。

このような背景の中で、筆者等は曲がり材から得られた製材の力学的特性を明らかにするとともに、その特性を活かした使用法を提案する事を目的として、昨年から製材による挽き曲がり、乾燥後の変形(反り)、曲げ性能、並びに曲げクリープ性能に関する検討を行っている。これまでに、B材(最大矢高1~2%の丸太¹⁾)程度の曲がり材から得られた平角材であれば、製材による挽き曲がりやその後の乾燥による曲がりが実用面で支障を来す可能性がほとんど無いことや、短期的な曲げ性能に関する実用上の問題が生じる可能性が極めて低いことなどを明らかにした²⁾。今年度は、昨年1月に開始した平角材の曲げクリープ試験経過を中心に報告する。

2. 実験方法

実験用の丸太には、宮崎県日之影町産スギ8本(B材)を供試した。実験の手順は以下のとおりである。(1)供試丸太の材質測定。(2)幅120mm、高さ235mm程度の断面に製材し、曲がり矢高、密度、平均年輪幅、縦振動ヤング係数(Et)などを測定(表1参照)。(3)以下の4条件に振り分け。①未乾燥材・製材の曲がり方向に対して凸側から負荷、②未乾燥材・同凹側から負荷、③乾燥材・同凸側から負荷、④乾燥材・同凹側から負荷。この場合、乾燥材の処理条件は、90~120℃

(DBT)、70~90℃(WBT)で約3週間とした。(4)全ての供試体に対して、負荷荷重685kg³⁾、スパン3655mm、ロードスパン1260mmによる曲げクリープ試験を開始。

ここで、前報(曲げ試験)²⁾では、丸太の曲がり方向(製材では繊維方向)に対して凹側(または凸側)から負荷したが、実験の過程で、これらの方向と製材後の曲がり方向の関係はほとんど無いことが明らかになった。そこで、本報(クリープ試験)では主としてこの原因を確認するため、製材後の曲がり(反り)方向に対して凹側(または凸側)から負荷することとした。

3. 結果と考察

図1に相対クリープ(たわみ/初期たわみ)および含水率(高周波含水率計による値)の変動を示す。同図のうち荷重685kg時の相対クリープ(右側)を見ると、乾燥材、未乾燥材ともに、夏頃までは(未乾燥材ではこの時期と含水率が繊維飽和点に達した時期がほぼ一致)殆ど負荷方向による差異が認められないが、それ以降、凹側を上にした場合は増加し続けているのに対し、凸側を上にした場合は、ほぼクリープ休止の状態に至っている。前者の傾向は、一般的であるが、後者の傾向は、脱湿時のメカノソープティブ変形による変位増加が明確には看取されない点や未乾燥材と乾燥材のたわみ増加傾向に大きな差がない点で極めて特異である。ここで、同図における無負荷時の相対クリープ(左側)を見ると、凸側を上にした場合は、むしろクリープ回復の方向に大きく変形している。このことから、凸側を上にした場合に夏以降クリープ休止の状態となったのは、主としてたわみの増加(下向き)を“部材の変形(上向き)”が相当量相殺したためと考えて良い。なお、この“部材の変形(上向き)”は、未乾燥材では乾燥による変形を意味するが、乾燥材の場合は、供試体が気乾材であることを考慮すれば、後述する脱湿時のメカノソープティブ変形による変形の固定⁴⁾が支配的に影響した可能性が高い。

表1 供試材の材質と実験条件

種別	条件		幅 (mm)	高さ (mm)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	Et (kN/mm ²)	平均年輪幅 (mm)	曲がり矢高(mm)	
	部材のセット方向	負荷荷重							未乾燥時	乾燥後
乾燥材		685kg	119	229	0.409	10.5	5.59(4.83)	6.3	5	12.3
		0kg	119	229	0.389	10.4	5.61(5.00)	5.0	2	0
		685kg	117	226	0.353	9.50	5.95(4.79)	6.8	2	5
		0kg	121	230	0.396	10.3	5.33(4.92)	6.3	3	2
未乾燥材		685kg	124	234	0.835	80.0	5.10	5.7	1	—
		0kg	123	234	0.900	56.8	5.13	5.7	3	—
		685kg	124	233	0.658	83.0	5.29	7.0	1	—
		0kg	123	233	0.662	70.5	5.05	5.3	1.5	—

※ 長さは約4000mm、含水率は高周波含水率計による値、Etは縦振動ヤング係数[※()内は未乾燥材時]

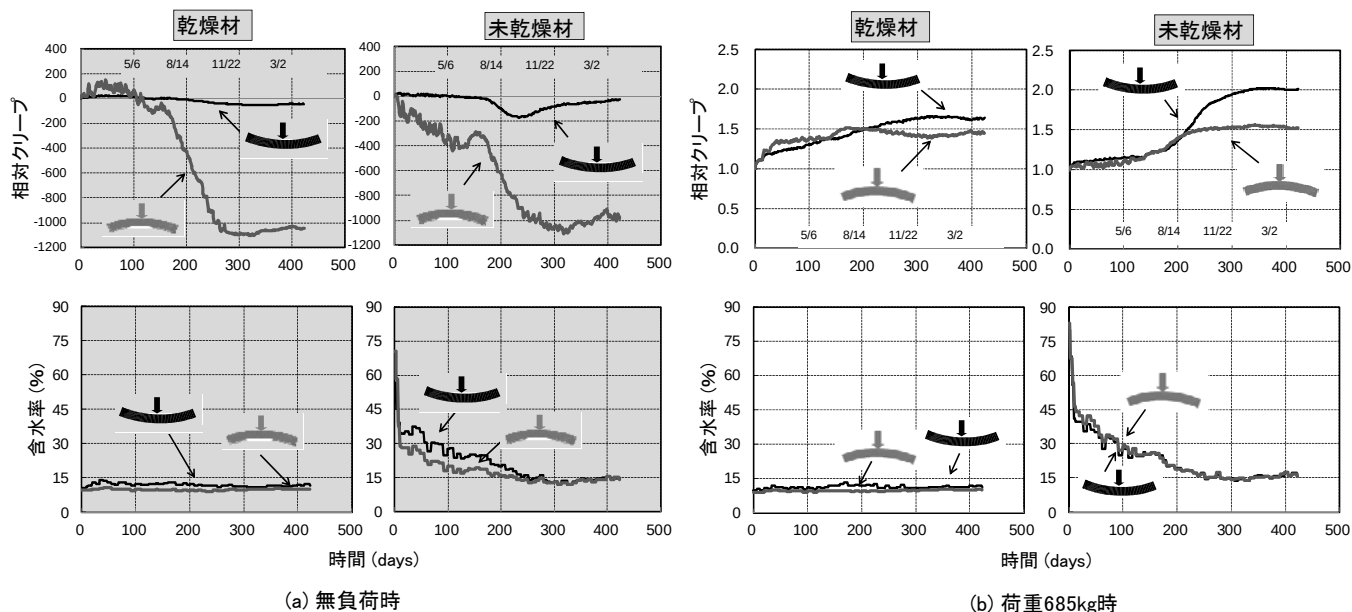


図1 全たわみと含水率の変動

図2に変位変動幅と湿度変動幅の関係を示す。同図を見ると、全体に凹側を上にしたときと凸側を上にしたときでは逆の傾向を示している(前者では『湿度低下→たわみ増加』、後者では『湿度低下→たわみ回復』)。ここで、湿度が低下する時(含水率が減少するとき)のメカノソープティブ変形は、基本的には塑性的な挙動を示すことが知られている⁴⁾。この挙動を考慮れば、凸側を上にした場合はたわみが回復するとき、凹側を上にした場合はたわみが進行するときに変形が固定されやすい、ということになる。本実験では、主としてこのために凸側を上にしたときの方が、凹側を上にしたときよりも安定した傾向を示したのであろう。

ところで、図2と筆者らが別途実施した非対称構成集成材の結果³⁾を比較したところ、同集成材の低ヤング率側(または高ヤング率側)から負荷した場合と凸側(または凹側)から負荷した場合の傾向が非常に類似していた。この結果から、曲がり材の変形(そり)方向は、丸太の曲がり方向(製材では繊維方向)よりも上下(梁背方向)のヤング率の差

異に大きく依存するものと考えられる。

4. まとめ

本実験の結果から、曲がり材から得られた平角材を梁として用いる場合、製材の梁背方向への曲がりに対して凸側から負荷した方が長期たわみを押さえる上では有利なことが明らかになった。また、この条件下では、直材よりも優れた長期性能を示す可能性が示唆された。

【謝辞】

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。

【参考文献】

- 1) たとえば、九州森林管理局“国有林材の安定供給システム販売の取組について” p.1-8, 2009.
- 2) 荒武志朗ほか: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 北陸, 2010, pp. 59-60.
- 3) 荒武志朗ほか: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 東北, 2009, pp. 39-40.
- 4) 有馬孝禮ほか: 建築研究報告, No. 95, 1-24 (1981).

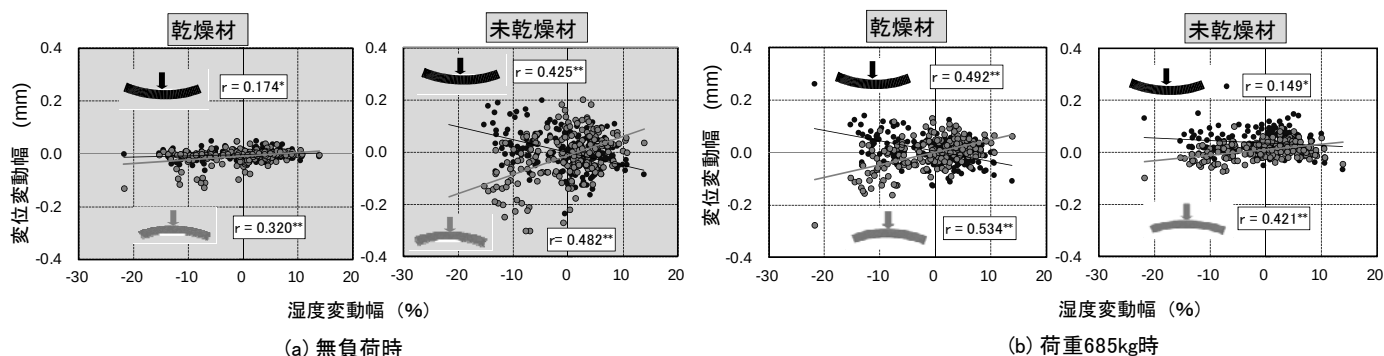


図2 変位変動幅と湿度変動幅の関係

2-5 構法開発

2-5-1

スギ集成材を用いた大型建造物の経年変化 —宮崎県木材利用技術センターの施設—

※ 飯村豊、 椎葉 淳
東臼杵農林振興局 上杉 基

1. 背景と目的

宮崎県木材利用技術センター(以下、センター)は、2001 年の開設当初から大型建造物の構造材に低強度・低ヤング係数のスギを利用する新しい建築構法を研究・開発している。従来の大型建造物は構造材に高強度・高ヤング係数材を使用するのが一般的だが、そうした木材資源は減少傾向にある。一方、戦後植林されたスギが伐採期を迎えている宮崎県では、豊富な人工の森林資源を有効活用して、林業・木材産業を活性化すると共に森林資源の早期循環利用を促すことに力を入れている。その一環として、スギ材を県内の公共施設を中心に構造体に用いる取り組みを推進しており、その技術的な支援をセンターが担っている。従来になかった新しい試みとして低ヤング係数のスギ材を構造材に使用した大型建造物はこれまでに数多く建設されており、そうした建造物の経年変化を観察することは、スギを利用する新しい建築構法のさらなる研究・開発に重要なデータを提供してくれる。ここでは、センター開設に合わせて 2001 年 3 月に完成した分棟型施設 6 棟(写真 1)の内、構造形式がそれぞれ異なる構造実験棟、管理棟、研究棟の 3 棟について 2004 年から構造体の変位を、台風通過後の影響も含めて調査した結果をまとめ、今後のスギ利用を推進するための基礎資料の整備に資する¹⁾。



写真 1 木材利用技術センター

研究棟を中心に、手前(北側)が管理棟(左に大会議室、中央がラウンジ)、奥右手(南側)が構造実験棟。

2. 大型建造物の概要

表 1 にセンター施設 3 棟の構造概要を示す。構造は木造(大断面構造用集成材+一般構造材)が主で、一部を鉄筋コンクリート造とし、集成材にはスギ、一般構造材にはスギ・ヒノキが用いられている。スギ集成材の強度等級は E65-F225 である。

「構造実験棟」は、長スパンと高さが必要な施設のため、低ヤング係数のスギ集成材を利用するに当たり、14.4m に達するスパンの変形を少なくするための張弦梁が採用されている(図 1、写真 2)。スパン 12.6m の「管理棟ラウンジ」には、低ヤング係数スギ集成材の曲げ易さを逆に利用したボックス梁が採用されている(図 2、写真 3)。「管理棟大会議室」にもスパン 12.6m のボックス梁が採用されている(写真 4)。「研究棟」は 6.6m × 6.6m を基本グリッドとした柱割りとし、小屋組には立体トラスが採用されている(図 3、写真 5)。屋根仕上げは「管理棟」が瓦、他 2 施設が金属葺きである。屋根勾配は、構造実験棟が 4/10、管理棟が 4/10、研究棟が 3/10 である。

表 1 3 棟の構造概要

No	名 称	建築面積 (m ²)	スパン (m)	最高高さ (m)
1	構造実験棟	644.40	14.40	12.2
2	管理棟 ラウンジ	1,435.32	12.60	8.94
3	管理棟 大会議室		12.60	8.22
4	研究棟	921.00	6.60	8.55

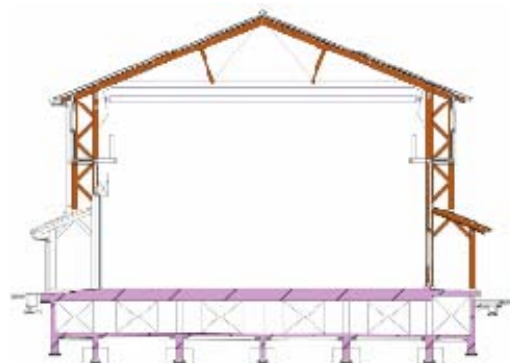


図 1 構造実験棟



写真 2 構造実験棟



図 2 管理棟ラウンジ



写真 3 管理棟ラウンジ



写真 4 管理棟大会議室



図 3 管理棟大会議室



写真 5 管理棟大会議室

3. 変位測定

構造物の変位測定は、小屋組を構成する部材の中で、長期応力や地震、台風による変位が大きく現れると予想される場所を選定し、三次元光波測距儀（トータルステーション GPT-2005F）を用いた。測定回数は施設完成後年 1 回程度の割合である。

「構造実験棟」は、測点を棟位置にある構造部材（9 本の棟木両端）の下端に設定した定点とし、変位計測は Z 方向とした（図 1、4）。

「管理棟ラウンジ」は、スパン方向 15.75m の内、スパン 12.6m のボックス梁が架かる南側を対象とした。測点は、24 本のボックス梁中央部下端に設定した定点とし、変位は Z 方向を計測した（図 2、5）。

「管理棟大会議室」は、測点をラウンジと同様に棟から北側の桁に架かる 18 本のボックス梁中央部下端に設定した定点とし、変位は Z 方向を計測した（図 6）。

「研究棟」の測点は、6.6m×6.6m の基本グリッドのそれぞれの対角を結ぶ 8 本のトラス斜材を中央で受ける鉛直材下端 11 箇所について設定した定点とし、立体トラスであることを考慮して変位計測は X、Y、Z 方向とした（図 3、7）。さらに、測点 5、8、10 の上段にある鉛直材についても Z 方向のみ計測可能であることから計測を加えた（図 3、7）。

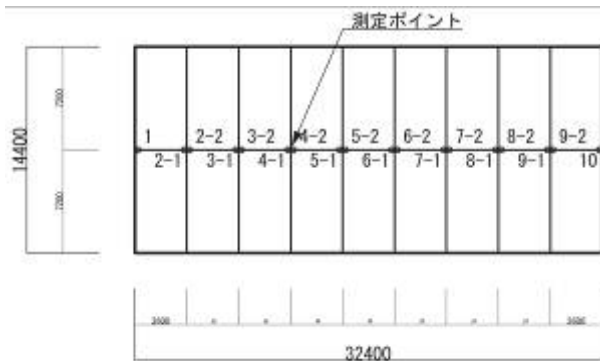


図4 構造実験棟



図5 管理棟ラウンジ



図6 管理棟大会議室

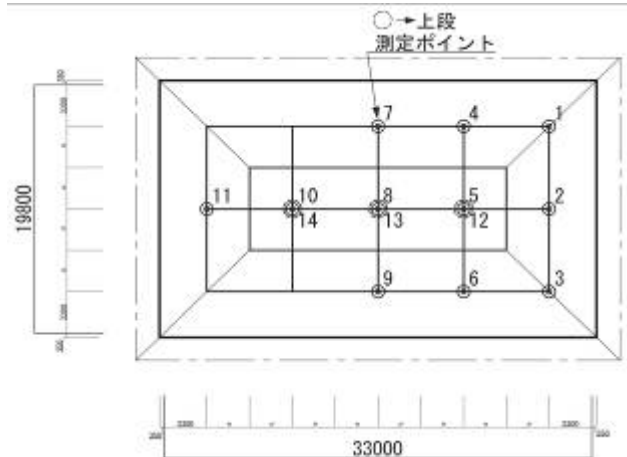


図7 研究棟

4. 測定結果

測定を開始した 2004 年から 2009 年までに、この地域に大きな地震は発生しなかった。表 2 は、宮崎地方気象台（海岸線から 5.1km）の記録である。最大瞬間風速が 35m/s から 45m/s の強い台風が 4 回記録されており、センター（都城市）は宮崎地方気象台から南西約 40km 地点に位置し、センター地点の風速記録ではないが参考までに示した。図 8～11 の測定結果には台風の通過時期（記号①②③④⑤⑥）も併せて示した。

表 2 宮崎地方気象台の記

記号	年	号	月	日	風速 (m/s)	風向
①	2004(H16)	16	8	30	44.3	南東
②	2004(H16)	18	9	7	40.5	南南東
③	2005(H17)	14	9	6	43.1	南東
④	2006(H18)	13	9	17	34.2	東南東
⑤	2007(H19)	4	7	14	38.8	東南東
⑥	2008(H20)	13	9	18	22.5	北東

注) 風速は最大瞬間風速

図 8 の「構造実験棟」は、完成してから約 4 年後（2005.03.21）に測定が始まった。図 8 は X 軸を経過日数、Y 軸を鉛直方向の変位量、測定開始を 0 とし、プラスが上昇、マイナスが下降を示している。19 測点の全てが長期荷重によって下降を続けているわけではなく、上昇するものも多い。最大の上昇量は測点 2-1 の 17mm で、台風③の通過後に発生している。上昇した測点はその後下降を続け、台風⑤の通過後に再び上昇している。1424 日目での 19 測点の平均降下量は測定開始時に比べ 2mm 増えている。

図 9 の「管理棟ラウンジ」は、完成してから約 3 年後（2004.03.19）に測定を開始した。図 9 の計測結果も構造実験棟と同じように整理した。図 9 では、強い台風①、②の通過後（約 2 ヶ月後）の測定では上昇した測点の最大値が 5mm、下降した測点の最大値も 5mm であった。その後（約 4 ヶ月後）の測定では殆どの測点が増えている。

測定開始から 5 年後の測点の変位量は上昇・下降共に 5mm であった。24 測点の変位量の平均値は -1mm であった。

図 10 の「管理棟大会議室」は、完成してから約 2 年後 (2004.03.19) に測定を開始した。図 10 の計測結果も構造実験棟と同じように整理した。図 10 では、強い台風①、②の通過後も多くの測点が増え、測定開始後 1792 日目まで殆どの測定が測定開始時より上昇した状態で留まっている。平均上昇量は 4 mm であった。

図 11 の「研究棟」は、完成してから約 4 年後 (2005.03.21) に測定を開始した。図 11 は X 軸に経過日数を、Y 軸に絶対変位量 (変位量) を 11 の測点について示している。ここでの変位量は、各測点が空間でどのように変位しているかを表すため、空間座標 X、Y、Z 方向の変位それぞれの二乗和の平方根によって変位量を求めている。図 11 では変位量は全体として下降傾向にあり、強い台風③の通過後も変位量が減ることはなく、その後も全体としては下降量が増える傾向を示している。1820 日目の平均降下量は、11 測点で測定開始時に比べて 5mm 増えた。研究棟立体トラスの上段 3 測点の Z 方向の変位量は台風の影響は少なく、全て下降傾向を示し、測定開始から 1453 日目の 3 測点の平均効果量は 2mm であった。

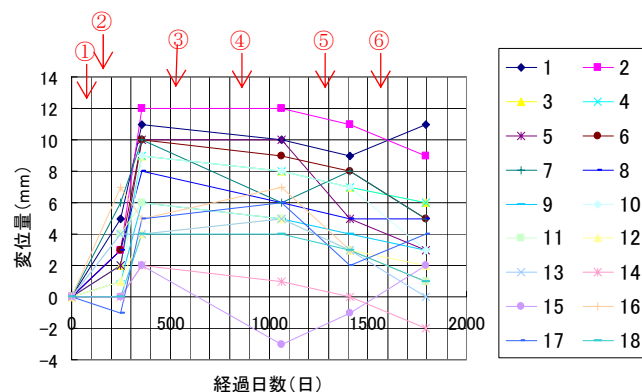


図 10 管理棟会議室

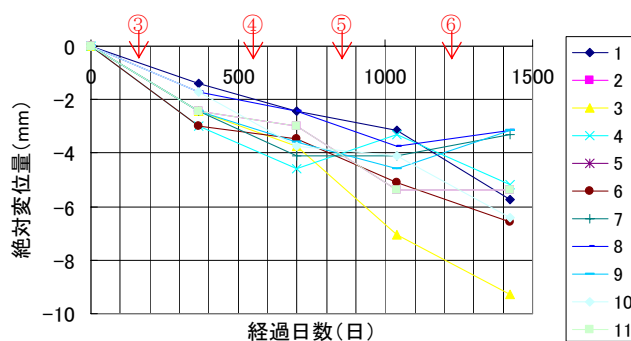


図 11 研究棟

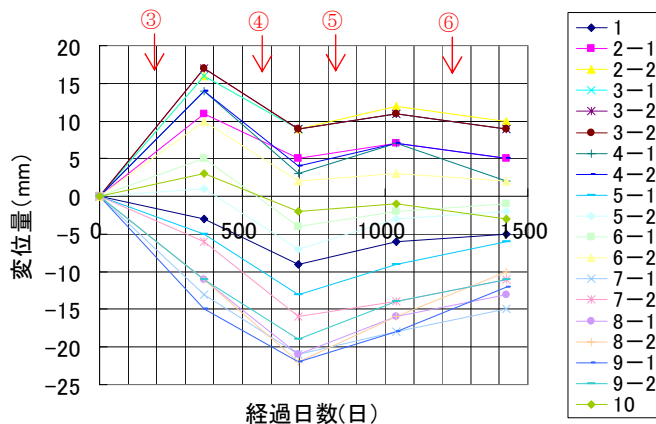


図 8 構造実験棟

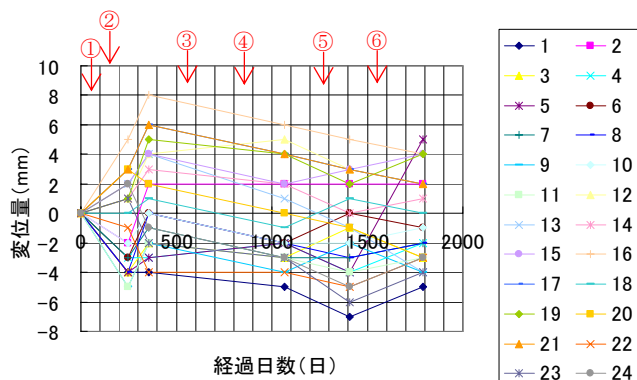


図 9 管理棟ラウンジ

5. 台風の影響

1) 構造実験棟

構造実験棟は、敷地の南面に位置し、南東から南西まで広い空き地に囲まれ、風の影響を受けやすい (写真 1 参照)。屋根仕上げは金属葺きで軽量屋根であり、しかも最高高さも 12.2m と施設の中では最も高い。このことから強い台風襲来時には吹き上げ等の大きな荷重を受けやすい。強い台風通過後に測点上昇が残留変形として現れたのは、部材接合部のガタなどの影響により構造物が完全弾性体となっていないためと考えられる。

2) 管理棟

管理棟ラウンジと管理棟大会議室は、構造実験棟と比べると、屋根に瓦を載せたことで屋根荷重が大きいこと、スパン方向の断面が非対称であることなど、風に対する影響は異なる点が多い。

管理棟ラウンジは、東、南東、南それぞれの方に施設があり (写真 1 参照)、ラウンジ南側に架けられた 24 本のボックス梁には水平方向からの直接の風は当たり難い。反面、ラウンジ屋根は、それら施設によって乱された風が吹き付けたと考えられる。強い台風①、②の通過後も多くの測点が増え、測定開始後 1792 日目まで殆どの測定が測定開始時より上昇した状態で留まっている。平均上昇量は 4 mm であった。

けた多方面からの風荷重により、建設時の偏在荷重などによる歪みが開放され、応力の適正配分が進んだことによると考えられる^{2,3)}。

管理棟大会議室は、東側に盛土や植え込み、南側には南東部まで延びる施設がありラウンジと同様に風は直接吹きつけ難い（写真 1 参照）。ラウンジ同様、18 本のボックス梁に対する台風の影響は建設時の歪み開放現象と考えられる。

研究棟は、周辺施設に囲まれ、しかも寄せ棟であることから風荷重を受け難い（写真 1 参照）。軽量屋根にも拘わらず台風の影響が少なかったことが日数の経過と共に測点の下降が進むという結果に結びついているものと思われる。

6. おわりに

スギ材を用いた大型構造物 3 棟の構造体を約 5 年間に亘って継続測定した結果、鉛直方向の下降量および 3 次元の絶対変位量に増加は見られたものの、その量はスパンや高さに対する割合として計算すると極めて小さかった。低強度・低ヤング係数のスギ集成材であっても大型構造物の屋根架構に十分利用できることを実証している。

7. 引用文献

- 1) 飯村 豊, 中西幸一, 上杉 基, 東口清耕: スギ構造物用集成材を用いた構造物の変形性能, 技術報告集, 第 5 回木質構造研究会技術発表, pp.52-55, 2001
- 2) 飯村 豊, 齊藤 豊: 台風 16 号、18 号によるスギ大規模木造への影響, 日本建築学会九州支部研究報告第 44 号・1(鹿児島), 構造系 pp.437-440, 2005
- 3) 飯村 豊: スギ集成材を用いた大型構造物の経年変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), E-1
pp.1089-1090, 2009

2-5-2 スギラミナ、高強度繊維補強モルタル及び鉄筋を用いた合成構造部材の強度性能

※椎葉淳、 飯村豊

【はじめに】

県産スギ材の土木構造物用途への有効利用を目的として、スギ集成材、鉄筋コンクリート、高強度繊維補強モルタル（HPFRCC）、鉄筋及び鋼板等による合成桁を開発してきた。これらは、いずれも床版をコンクリート系材料、主桁を集成材とし、鋼材で曲げやせん断補強を行ったもので、主に林道等の短いスパンの橋梁を想定していた。これまでに実施した各種実験から、異なる材料の組み合わせによる合成構造は一体化が図られ、設計値を上回る強度があったことから、土木構造物用途に十分適応できることが分かった。今回は、これまでの実験結果を基にして、比較的小規模でシンプルな部材を組み合わせることにより各種土木構造物への適用を目指した、ユニット部材を開発することとした。

【試験体及び試験方法】

試験体は、スギラミナ L60（断面寸法 30mm×150mm）と同厚の HPFRCC による積層構造材である。曲げ補強として各層 2 本の鉄筋、更に端部にはせん断補強の斜め鉄筋を挿入している。積層数は 7 層と 9 層で、それぞれせん断鉄筋が片側 2 本（AN 部材）と 8 本（AD 部材）の 4 タイプとした。サイズは H:150mm×B:210mm(270mm)×L:3,300mm である（図 1）。試験は実大強度試験機を用いて、支点間 3,000mm、荷重点間 500mm の 4 点載荷による曲げ試験とした。なお、中央下部に巻き込み型変位計を取り付け変位を計測し、中央及び両支点部の各層にひずみゲージを貼り、ひずみを計測した（写真 1）。

【結果と考察】

破壊状況の例を写真 2 に示す。各層間に剥離が生じ、HPFRCC が折損して終局するものが多かったが、せん断補強した端部には、損傷や変形は見られなかった。各試験体の降伏荷重(P_y)の平均値は、設計荷重を大きく上回った。またせん断補強筋を増やした AD 部材については、7 層・9 層とも最大荷重(P_{max})及び P_y が AN 部材の 2 倍以上であり、せん断剛性の向上が確認された（表 1）。荷重とたわみ、ひずみの関係の例を図 2 に示す。これらを見ると、降伏後も荷重が落ちず、粘り強い挙動を示しているとともに、弾性域内のひずみは直線でほぼ対称であることから、構造が一体化していると思われる。以上の結果から、今回開発したユニット部材は、土木構造物として十分な強度性能を有していることが分かった。今後は、これらのユニット同士を組み合わせるための接合方法を検討し、様々な構造物としての実用化に結び付けたい。

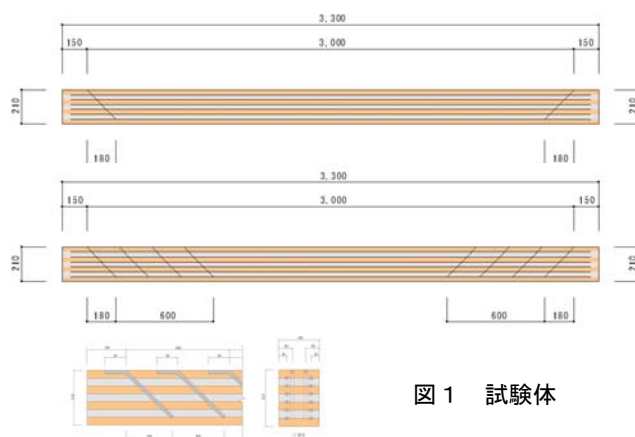


図 1 試験体



写真 1 試験の状況



写真 2 破壊の状況

表 1 試験結果

試験体	P_{max} (kN)	P_y (kN)
7AN-1	25.2	14.5
7AN-2	24.5	16.6
7AN-3	26.8	17.3
7AN平均	25.5	16.1
7AD-1	53.6	31.0
7AD-2	55.7	33.8
7AD平均	54.7	32.4
9AN-1	38.4	29.9
9AN-2	42.0	27.2
9AN平均	40.2	28.6
9AD-1	89.7	66.7
9AD-2	97.7	63.9
9AD平均	93.7	65.3

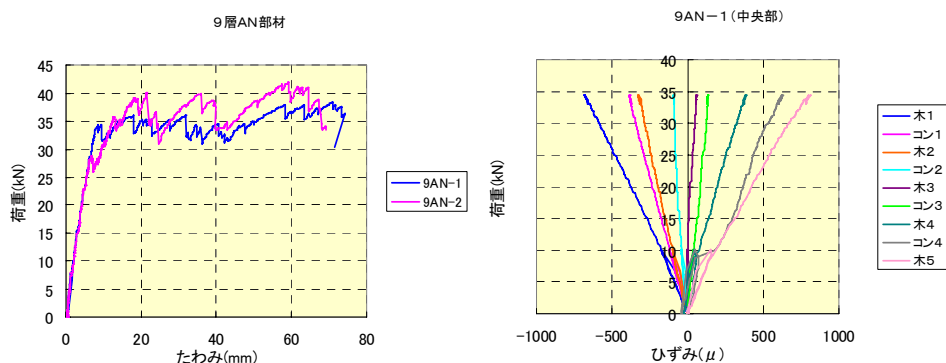


図 2 荷重とたわみ、ひずみの関係

※皆内健二、飯村豊

【事業の背景】

本県では、「公共建築物等木材利用促進法」の施行を踏まえ、「県産材利用推進に関する基本方針」を見直し、公共建築物は原則木造とするなど、具体的には平成32年度までに木造率を倍増させ30%（現在15%）にする数値目標を掲げ、国の「森林林業再生プラン」に整合させた。

この大きな流れの中で、今後木材の利用が急速に推進されると期待する。

ところが、本県における過去の大規模木造公共施設の建設実績から、木造公共建築物は他構造に比べ、コスト高であるとの認識があり、公共建築物木造化への障壁となっている。

一方で住宅分野に目を移すと、木造住宅がコスト面で最も優れているが、部材の標準化・規格化が進み、常時需要に支えられた常時ストックがあり、積算体系が整備されていること、また設計ノウハウが確立されており、設計技術者も多数いることが、この要因として考えられる。

これらから大規模木造公共施設についても同様の状況をつくることで、建設費のコストダウンが図れると考え、事業を実施した。

割高となる特注部材を排し、規格化された標準部材を選定し、これを用い、市販されている住宅用接合金物を用いること、また一方で木質構造設計を敬遠していた建築構造設計技術者の興味をそそり、経済的負担を強くない必要があった。

【事業の目的】

木造大規模公共建築物の建設コスト合理化には、木質構造設計者の育成と、部材・部品の規格化・標準化と併せて常時需要と常時ストックが大きな要素として考えられる。

そこで、建築設計職能団体である(社)宮崎県建築士設計事務所協会にスケルトンの設計を委託し、具体的に大規模木造建築物に取り組む中で、規格材による汎用構法の開発、コスト合理化を追求することとし、木造化することでの経済波及効果及び環境貢献度について整理し、木造の優位性を示すことで今後の木造化の推進に弾みをつけ、流れを加速することとした。

【事業の概要】

県内建築構造設計者の大規模木質構造設計への関心を高め、能力開発・普及の観点から、(社)宮崎県建築士設計事務所協会（以下事務所協会という。）に事業を委託し、生産者から発注者まで木造建築物に関係する、民間・行政、審査機関までを巻き込み、ワーキンググループを設置し協働することで事業を行うこととした。

事業は、事務所協会構法部会を中心に構法を先行させ、コスト積算、経済波及効果、環境貢献度について検討した。

モデルは法的に制約・拘束の少ない公共建築物として15mで500m²弱の武道館等と、スパン長30m、1,000m²の体育館の木造架構方式の検討・選定、コスト積算、経済波及効果の検討、環境貢献度を検証し、同規模同機能の鉄骨造建築物と比較することで木造の優位性を示した。

【架構の決定】

常時需要に支えられた常時ストック体制を図るため、部材を規格化し、このことを前提に事業を実施した。

この規格材の組み合わせにより、県内技術で対応できる種々パターンの架構モデルを考案し、それぞれコンピュータで応力解析し、最も応力が小さくなる架構を今回のモデル架構スケルトンとして決定した。

15mスパン武道館は、妻部の筋交い、袖壁（バットレス）を設けることで張間方向の水平力の負担させ、また桁行き方向は偶各部にブレース（筋交い）を設け水平力を負担させた。（図1）

30mスパン体育館は、鉄骨造と同様に下部構造は鉄筋コンクリート造とし水平力を負担させ、小屋組のみを木造とした。

考案モデルを、コンピュータ解析し最も応力が小さくなる架構を選定し、平行弦山形トラス構造（図2）をモデルスケルトンとして採用した。

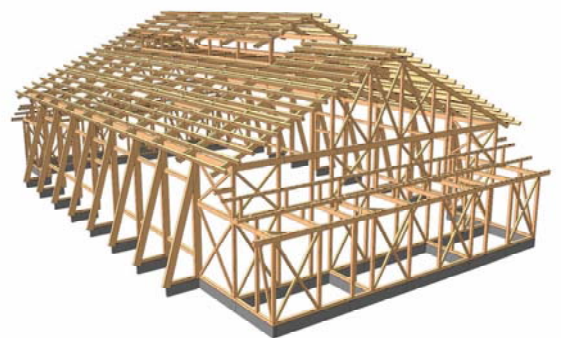


図1 15mスパン武道館

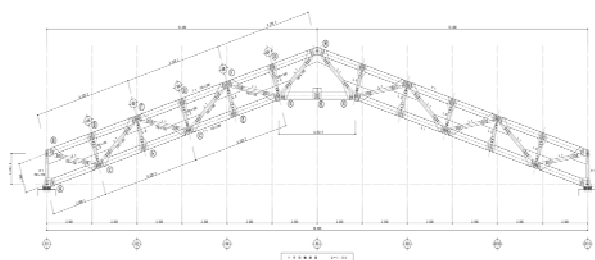


図2 30m 平行弦山形トラス

【建設費積算】

15mスパンのスケルトン建設費は、鉄骨造で建設した場合を100としたとき、木造製材（乾燥材）を用いた場合が97、同集成材を用いた場合は96となり、いずれも鉄骨造より建設費が安くなった。（表1）

木造が安くなった理由は接合金物に既成の住宅金物が使用できたこと、特注部材を用いず、部材を限定し規格化したことによると考える。

一方、製材を用いた武道館が、集成材を用いたものより高くなったのは、製材の梁桁材（大断面）の乾燥コストが影響していると考えられる。

一方スパン30m体育館は、時間的制約もあったが、構法としては、接合箇所が多くなり、既成住宅用金物が使用出来なかったことから、特注接合金物を多数調達する必要を生じ、コストアップに繋がった。

結果小屋架結構体のみで、鉄骨造の4割高となった。比例による試算ではスケルトン建設費で鉄骨造の1割高となった。（表2）

表1 15mスパン武道館コスト比較

名 称	備考	鉄骨造	木造(JAS製材)	木造(中断面集成材)
I 建築主体工事				
1 直接仮設工事		2,319,200	2,129,490	2,129,490
2 土工		1,177,252	1,177,252	1,177,252
3 地盤工事	木造が軽量であることから基礎建設費は、鉄骨造より安価となること推測される。	5,224,625	5,224,625	5,224,625
4 コンクリート工事		2,800,980	2,800,980	2,800,980
5 型枠工事		1,566,990	1,566,990	1,566,990
6 鉄筋工事		1,768,910	1,768,910	1,768,910
7 躯体(鉄骨・木)工事		10,863,628	9,441,732	8,612,688
8 組積工事		1,400,800	1,400,800	1,400,800
9 防水工事		144,636	144,636	144,636
10 タイル工事		38,641	38,641	38,641
11 木(造作)工事		2,246,720	2,246,720	2,246,720
12 屋根工事		5,229,947	5,229,947	5,229,947
13 金属工事		1,685,955	1,685,955	1,685,955
14 左官工事		435,915	435,915	435,915
15 木製建具工事		355,900	355,900	355,900
16 金属製建具工事		9,037,800	9,037,800	9,037,800
17 ガラス工事		355,934	355,934	355,934
18 塗装工事	鉄骨造より製材で3%集成材で4%安い結果がでた。	1,537,283	1,537,283	1,537,283
19 内外装工事		9,873,563	9,873,563	9,873,563
20 ユニットの他工事		2,651,180	2,651,180	2,651,180
21 雨水設備工事		581,480	581,480	581,480
直接工事費計		61,297,339	59,685,733	58,856,689
対鉄骨造コスト比		1	0.97	0.96

表2 30mスパン体育館コスト比較

名 称	鉄骨造	木造(中断面集成材)
直接仮設工事	4,848,000	4,848,000
躯体(鉄骨・木)工事	20,131,000	31,120,000
躯体以外工事	88,628,000	88,628,000
直接工事費計	113,607,000	124,596,000
対鉄骨造コスト比	1	1.1

【経済の地域還元効果】

15mスパン武道館について鉄骨造と木造（製材）のケースでそれぞれの波及効果を試算したのが以下の表である。（表3）

木造の場合、経済の地域還元効果（経済波及効果）は、建設費（最終需要額）59,685千円が投下されたことによる総合効果は105,556千円となっており、177%の地域還元効果があるのに対し、鉄骨造では、129%の地域還元効果しか産んでいないことが確認できた。

言い換えれば、木造の場合1,000千円が1,770千円の効果を生むのに対し、鉄骨造では1,290千円の効果しか生まないことが確認できた。

表3 地域への経済還元効果比較

区分	木造	鉄骨造	備考
1 建設費(最終需要額)	59,685	61,297	最終需要額(共通消費税含まない)
2 直接効果	65,526	49,279	対事業所・対個人サービス
3 第一次間接効果	20,601	14,736	原材料生産費(建設業以外)
4 第一次波及効果	86,127	64,015	Σ直接効果、第一次間接効果
5 第二次波及効果	19,429	15,180	人件費消費に由来する消費波及効果
総合効果	105,556	79,195	Σ第一次波及効果、第二次波及効果

【環境貢献度】

15mスパン武道館スケルトン建築物存命期間中の炭素貯蔵は、鉄骨増が1.9t-Cに対し木造が13.9t-Cと圧倒的に多かった。

また、資材製造時のCO₂排出量は木造で31,437kg-CO₂で鉄骨造の1/8であった。

また、木造の躯体建設時のCO₂排出量は、53,700kg-CO₂で鉄骨造の1/2であった。

表4 環境負荷貢献度比較

区分	木造	鉄骨造	備考
木材使用量	m ³ 73.28	9.78	鉄骨造の7.5倍
原木換算	m ³ 120	t-C 16	鉄骨造の7.5倍
建物存命中炭素貯蔵量	kg-CO ₂ 51,052	13.9 6,813	鉄骨造の約7.5倍
躯体建設時排出CO ₂	kg-CO ₂ 53,700	118,750	鉄骨造の約1/2
生産時排出CO ₂	kg-CO ₂ 31,437	236,122	鉄骨造の約1/8
資材生産、躯体建設中のCO ₂ 排出量-貯蔵量CO ₂	kg-CO ₂ 34,085	348,058	鉄骨造の約1/10

本研究は、(財)宮崎県建築士設計事務所協会に委託した地域材利用推進委託業務の成果物を利用したものである。

2-6-1

スギ厚板張り真壁の面内せん断試験

※田中 洋，椎葉 淳

1 はじめに

地域に根ざした木造軸組構法・技能・部材の活用を推進するための環境整備を目的として、従来建築基準法の壁量計算上は評価されていなかった耐力壁の性能が検証され、平成15年12月国土交通省告示第1543号の改正で、昭和55年建設省告示第1100号に「落とし込み板壁」等の壁倍率が位置づけられた。

ただし、その仕様については法令で細かく規定されており、例えば「落とし込み板壁」は、複数の板材を溝の設けられた柱の間に落とし込んでいく仕様とし、上下に接する板材どうしは規定の寸法・本数の木ダボで接合する必要がある。そのため、板材の孔加工には高い精度が求められ、また、柱の間に板材を落とし込む施工法もそれほど容易ではない。

そこで、本研究では、地域の木造軸組構法より簡便な使用方法を検討するため、材料の加工や施工が容易なスギ厚板張り真壁について各種試験体を作製し、構造耐力上の性能試験を行った。

2 実験方法

スギ製材を用いて図1に示す各種試験体を作製した。厚板張り真壁は、柱・土台(いずれも断面120×120mm)及び桁(断面120×180mm)からなる高さ9尺×幅3尺(2体のみ6尺)のフレームに、3本の受け材(断面30×45mm)を釘着し、それに厚板(断面30×105mm)をCN50釘6本で接合したものである。したがって、柱の溝加工や厚板を柱の間に落とし込む作業は必要ない。なお、上下方向の厚板どうしは接合しなかった。

まぐさ及び窓台(断面120×120mm)を組み合わせた試験体も作製したが、これらの部材にはほぼ加工を施し引き寄せボルトで柱と接合した。また、比較のためフレームの一部に構造用合板(厚さ9mm)を釘着した試験体と筋交い試験体も作製した。

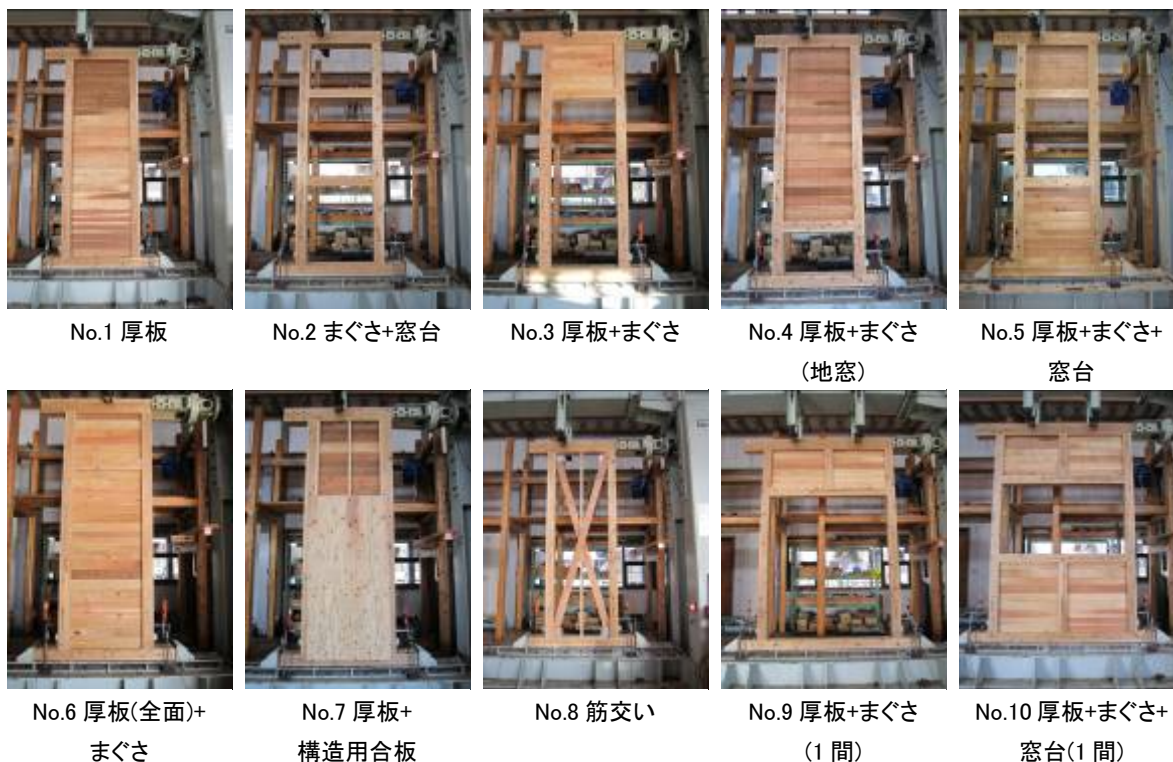


図1 試験体一覧

これらの試験体について、柱脚固定式の面内せん断試験を行った((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」第6章を参照)。加力方法は、特定変形角時の正負交番3回繰り返し加力とし、最大荷重に達した後最大荷重の80%の荷重に低下するか、変形角が1/15rad に達した時点で試験を終了した。変位測定は、桁及び土台の水平方向変位並びに柱の鉛直方向変位をそれぞれ測定した。試験体数は各条件1体ずつとした。

3 結果と考察

図2に試験の状況を、表1に試験結果の概要を示す。本試験で作製したスギ厚板張り真壁各試験体は、荷重の増加に伴い上下方向の厚板どうしにズレが生じた。その結果、合板貼り試験体や筋交い試験体に比べて剛性、耐力ともかなり低い値を示した。

図3に幅3尺の試験体について真のせん断変形角が1/150rad時の耐力を比較した結果を示す。厚板とまぐさ及び窓台を組み合わせた場合に耐力が増加する傾向は認められたが、厚板のみあるいはまぐさ及び窓台のみの場合との差は約1kNでありそれほど大きくはなかった。

図4に荷重変形曲線の一例を示す。変形角が1/15radに達した時点では、筋交いや構造用合板が面外方向に座屈して破壊したのに対し、厚板張り真壁試験体では明確な破壊は確認されず変形性能に優れていることが確認された。

※本研究は、みやざきスギ伝統工芸家づくりの会と共同で実施した。



試験中の様子

厚板のズレ

図2 試験状況

表1 試験結果の概要

試験体	No.1 厚板	No.2 まぐさ+窓台	No.3 厚板+まぐさ	No.4 厚板+まぐさ (地窓)	No.5 厚板+まぐさ +窓台
最大耐力(kN)	6.23	3.96	4.49	7.34	6.89
初期剛性(kN/rad)	161	195	168	134	241
1/120rad時耐力(kN)	1.96	1.91	1.86	1.85	2.70
降伏耐力(kN)	2.85	2.20	2.29	3.54	3.45
$P_u \times 0.2 \div D_s$ (kN)	1.79	1.75	1.63	1.71	2.43

試験体	No.6 厚板(全面) +まぐさ	No.7 厚板 +構造用合板	No.8 筋交い	No.9 厚板 +まぐさ(1間)	No.10 厚板+まぐさ +窓台(1間)
最大耐力(kN)	8.17	12.8	14.0	6.49	13.3
初期剛性(kN/rad)	228	495	894	185	379
P-1/120rad(kN)	2.71	5.24	7.55	1.83	4.32
降伏耐力(kN)	3.69	7.25	7.70	3.35	6.39
$P_u \times 0.2 \div D_s$	2.49	4.99	5.15	2.02	4.15

※ P-1/120rad: みかけのせん断変形角が1/120rad時の耐力

※ P_u : 終局耐力, D_s : 構造特性係数

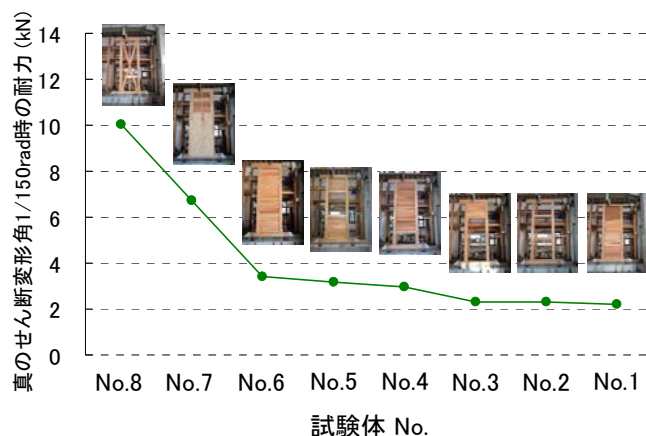


図3 真のせん断変形角 1/150 時の耐力

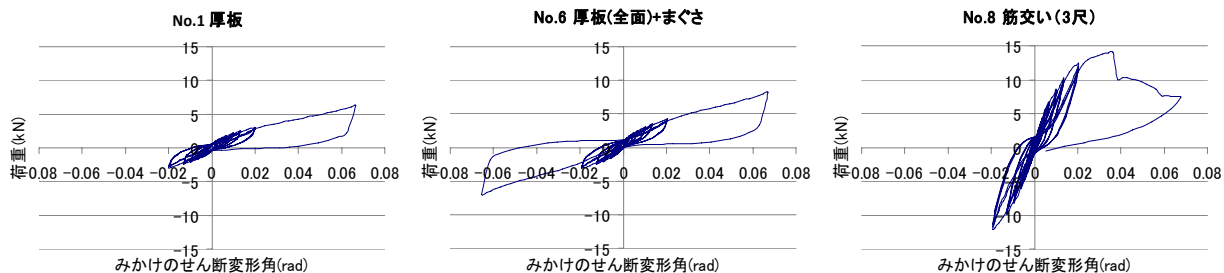


図4 荷重-変形角曲線の一例

2-7 科研費

2-7-1 大径材から得られたスギ側面定規挽き製材の力学的性能 — 短柱縦圧縮強さなど —

※荒武志朗、椎葉淳、森田秀樹
株式会社もくみ 佐藤庫司

1. はじめに

戦後、住宅用柱材の早期大量供給を目的に拡大造林されたスギの成長は著しく、市場に供給される丸太は、九州地方を中心に急速な大径化への道を歩んでいる。中でも、気候の温暖な宮崎県における大径化の速度は極めて著しく、末口径 30cm 以上の丸太(大径材)が占める割合はこの 10 年間で 2 倍以上にも増加している。今後の長伐期施業移行への見通しを考慮すれば、その勢いに拍車がかかるのは確実な情勢であり、あらゆる視点からスギ大径材の利用推進に向けた具体的な対策に取り組んでいく必要があろう。このような中で製材現場に目を向けると、大径化による新たな変化として 1 番玉から 2 体の製材を得ることが出来るようになった。この場合、当然のことながら得られる製材は心去り材となるが、この材を心持ち材と同様に中心定規挽き(丸太の中心軸に対して平行に挽く製材方法)により製材すると、著しい目切れを生じるばかりでなく、その位置によっては樹幹内半径方向の材質変動¹⁾による強度性能低下の原因となる恐れもある。それに加えて、“心去り材は心持ち材よりも弱い”という関連企業(工務店など)の意識も未だに根強く、現状では 1 番玉心去り材の普及はかなり厳しいと言わざるをえない。これに関し、著者の一人²⁾は、ラミナを対象とした例ではあるが、側面定規挽き(丸太の側面に対して平行に挽く製材方法)された材は中心定規挽きされた材よりもヤング係数が高いことや、その傾向が 1 番玉で顕著なことなどを明らかにしている。そこで本研究では、大径材の 1 番玉から得られる心去りのスギ柱材や梁桁材の力学的性能についても、ラミナ同様に側面定規挽きによる力学的性能の向上効果が期待できるかどうかについて検討した。なお、ここでは柱材(正角材)の縦圧縮性能を中心に報告する。

2. 実験方法

実験には、宮崎県西臼杵郡日之影町分城産スギ丸太 5 本(末口径 31.0~35.5cm、元口径 41.9~46.7cm、長さ 820cm)供試した。先ずこれらの丸太の密度、縦振動ヤング係数(以下、 E_t)、平均年輪幅(以下、ARW)、及び細り率を測定、2 等分割した後、図 1 に示すように、1 番玉については側面定規挽きにより丸太の側面に近い部分から心去り材(以下、1 番玉心去り材)を製材し、2 番玉については中心定規挽きにより心持ち材(以下、2 番玉心持ち材)を製材した(それぞれ 10 本、5 本)。なお、この時点での寸法は、10.5cm×10.5cm×410cm である。製材後は、90~120℃(DBT)、60~95℃(WBT)、約 10 日間の条件による人工乾燥処理を施し、寸法、密度、及び E_t を測定した。その後、各製材から長さ 63cm の短柱縦圧縮試験体を 6 体ずつ採取し(15×6 = 90 体)、ARW、最大節径、内部割れ長さ、及び全乾法含水率(※隣接する試験体との間から得た試験片による)を測定した後、短柱縦圧縮試験に供試した。

短柱縦圧縮試験には、最大容量 2000kN の油圧式圧縮試験機を用い、最大荷重に達するまでの時間が 1 分以上となるように加力した。この場合、変位は相対する 2 材面の中央付近(標点距離 165mm)に設置されたひずみゲージ式変換器(50mm)を用いて測定した。これらの測定値をもとに、「構造用木材の強度試験法」³⁾に準じて 縦圧縮ヤング係数と縦圧縮強さを算出した。

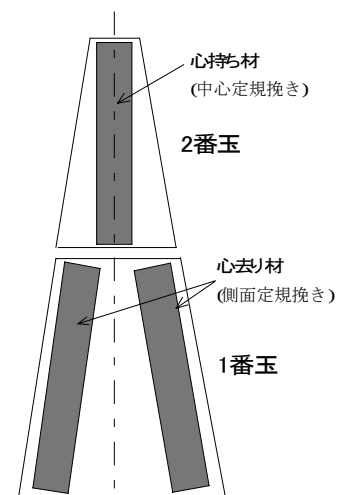


図1 試験体の木取り位置

3. 結果と考察

3.1 丸太と製材の縦振動ヤング係数(E_t)

供試丸太と製材の材質をそれぞれ表 1 と表 2 に示す。これらのうち E_t を見ると、丸太では 2 番玉の方が 1 番玉よりも 19.6%高くなっているが(危険率 5%で有意差あり)、製材では、逆に 1 番玉(心去り材)の方が 2 番玉(心

持ち材)よりも高くなっている。これらは、未成熟部と成熟部の境界が樹幹上部で髓に近づく¹⁾ことや、力学的性質が髓からの年輪数に伴い増大する¹⁾ことなどから概ね推測できる。すなわち、前者の考えに従えば、丸太の時点では、2番玉よりも1番玉の方が未成熟材を多く含むため、そのEtの値は相対的に低くなる。しかし、後者の考えを考慮すれば、製材の時点では、1番玉心去り材は丸太の側面に近い成熟材を多く含むことになり、未成熟材を多く含む2番玉心持ち材よりも力学的性能の面から有利となる。さらに、側面挽きによる目切れ低減効果²⁾も有利に働いて、表1、2に示すように、丸太と製材では逆の結果を示したのであろう。

3.2 縦圧縮性能

表3に縦圧縮試験結果を示す。ここで、本実験では含水率のバラツキが非常に大きいことや(表2参照)、既往の報告⁴⁾から縦圧縮強さに対する含水率の影響が著しい(生材から気乾状態までの含水率減少で57%上昇)ことなど考慮し、ASTMD2915-84による含水率15%換算値を表示している。同表を見ると、縦圧縮ヤング係数(Ec)については、1番玉心去り材の方が2番玉心持ち材よりも13.6%高い値を示しており(危険率1%で有意差あり)、縦圧縮強さ(Fc)についても、僅かながら1番玉心去り材の方が2番玉心持ち材よりも高い値を示している。また、これらは前節で考察した製材のEtにおける両者の比較と概ね一致している。

以上の結果から、1番玉から得られた心去り材であっても側面定規挽き材とすることにより、2番玉から得られた心持ち材と概ね同程度以上の縦圧縮性能を示すと考えてよい。

3.3 内部割れ

本実験における1番玉心去り材の内部割れ長さ(縦圧縮試験体両木口面の最大値の平均)は8.68mmで、2番玉心持ち材の同長さ(38.4mm)の4分の1にも満たなかった。また、図2に示すように1番玉心去り材における内部割れ長さと含水率の関係は2番玉心持ち材ほどには明確ではなく、繊維飽和点以下の領域も含めて全く内部割れのない材が多く存在している(心持ち材の3.45%に対して心去り材では75.0%)。これらは、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差異がもたらした結果であろう。一方、図には示していないが、内部割れ長さと縦圧縮強さや縦圧縮ヤング係数の関係は明確ではなかった。

4. おわりに

今回の実験では、側面定規挽き製材によって得られた1番玉心去り材の縦圧縮性能が2番玉心持ち材と同等以上であることや、同材の高温乾燥による内部割れが比較的生じにくいことなどが明らかになった。今後は、曲げ性能、接合性能、乾燥による変形などについても検討を加える予定である。

5. 文献

1) 中谷浩: 富山県林業技術センター研究報告, 1, 25-33, 1988, 2) 森田秀樹ほか3名: 木材工業, 62(5), 213-216(2007), 3) (財)日本住宅・木材技術センター: 構造用木材の強度試験法, 7-8, 2000, 4) 田中洋, 荒武志朗: 第11回日本木材学会九州支部大会講演集, 福岡, 2004, pp. 47-48.

表1 丸太の材質

種別	密度(g/cm ³)		Et (kN/mm ²)		ARW (mm)		細り率	
	1番玉 (n=5)	2番玉 (n=5)	1番玉 (n=5)	2番玉 (n=5)	1番玉 (n=5)	2番玉 (n=5)	1番玉 (n=5)	2番玉 (n=5)
平均値	0.776	0.767	6.75	8.07	4.39	4.13	0.0197	0.0089
最大値	0.844	0.833	7.70	9.62	5.52	5.04	0.0248	0.0133
最小値	0.729	0.718	5.88	7.28	3.96	3.70	0.0171	0.0060
標準偏差	0.043	0.045	0.59	0.87	0.59	0.51	0.0027	0.0025

※ Etは縦振動ヤング係数、ARWは平均年輪幅、細り率は(元口径-末口径)/長さ

表2 製材の材質

種別	r15(g/cm ³)		Et (kN/mm ²)		ARW (mm)		含水率(%)	
	1番玉 (n=10)	2番玉 (n=5)	1番玉 (n=10)	2番玉 (n=5)	1番玉 (n=60)	2番玉 (n=30)	1番玉 (n=60)	2番玉 (n=30)
平均値	0.379	0.383	7.29	6.87	4.05	5.13	33.9	20.6
最大値	0.399	0.411	8.34	7.06	5.28	6.42	69.0	37.2
最小値	0.335	0.366	6.64	6.53	2.20	4.11	7.34	6.52
標準偏差	0.019	0.018	0.54	0.21	0.71	0.55	13.3	8.65

※r15は密度の含水率15%換算値、含水率は全乾法による値、1番玉は側面定規挽き心去り材、2番玉は中心定規挽き心持ち材

表3 縦圧縮試験結果

種別	Ec (kN/mm ²)		Fc (N/mm ²)	
	1番玉 (n=60)	2番玉 (n=30)	1番玉 (n=60)	2番玉 (n=30)
平均値	7.67	6.75	31.4	29.8
最大値	10.4	8.05	38.8	37.6
最小値	4.87	5.76	21.4	21.4
変動係数	14.4	8.58	10.0	16.1

※ Ecは縦圧縮ヤング係数、Fcは縦圧縮強さ何れもASTMD2915-84による換算値

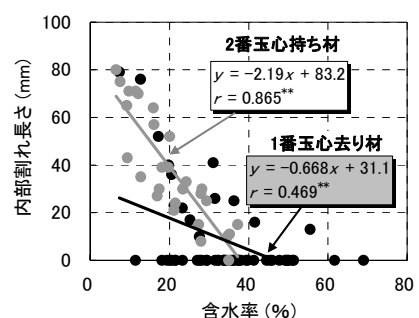


図2 内部割れ長さと含水率の関係
※心持ち材: n=29、心去り材: n=56

※椎葉淳、荒武志朗、森田秀樹
(株)もくみ 佐藤庫司、萩原由香

研究概要

宮崎県産スギ大径材及びそれから得られる平角について、材料特性を把握するとともに曲げ性能を調べた。丸太の縦振動ヤング係数(E_t)は、1番玉は2番玉に比べて約19%低かったが、1番玉から側面定規挽きにより製材された心去り材と2番玉から中心定規挽きにより製材された心持ち材とでは、曲げ強さ(MOR)は2%程度の違いであり、有意差もなかった。丸太の E_t と製材後の E_t の関係をみると、心持ち材(2番玉)では約2%しか増加しなかったのに対し、心去り材(1番玉)では約25%増加した。これらのことから、側面定規挽きは平角の強度性能を向上させる有効な製材方法であることが明らかになった。

1. 緒言

宮崎県のスギ素材生産量は全国一であるが、その集荷実績を径級別に見てみると、24 cm以上の占める割合は20年間で約4倍にも達しており、温暖多雨な気候により大径化が急速に進んでいることが伺える。一方、在来工法における部材別の木材使用量を見ると、梁・桁などの横架材については1割にも満たない状況である¹⁾。したがって、今後スギ材の需要拡大を進めていくに当たっては、この横架材の使用割合を上げていくことが極めて重要である。スギ構造材については、関連業界では心持ち材が心去り材より強いとされる場合が多く、価格面でも差があるのが現状であるが、大径化が進む中、歩留まりを考えれば1番玉からは心去りの2本取りが望ましい。ところが、現在の標準的な製材方法である中心定規挽きによる方法では、目切れによる強度低下や乾燥後の変形などが懸念される。これに対し、筆者の1人は²⁾ラミナの木取りを対象とした例で、側面定規挽きで製材することにより目切れが少なくなり、その結果強度低下が抑えられることを明らかにした。そこで本研究では、宮崎県産スギ大径材及びそれから得られる平角について、材質特性を把握するとともに、側面定規挽きによる1番玉(心去り材)と、中心定規挽きによる2番玉(心持ち材)を供試して強度実験を行い、その曲げ性能を比較した。

2. 実験方法

実験には、宮崎県西臼杵郡日之影町分城産スギ丸太の1番玉と2番玉(元口径33.3~50.0 cm, 末口径28.8~39.0 cm, 材長約430 cm), 各24本, 合計48本を供した。林齢は約40年である。まず、丸太の元口径, 末口径, 長さ, 重量, 元口年輪数, 末口年輪数, 及び縦振動法による一次固有振動数(F_1)を測定し、その後、密度(ρ_g), E_t , 平均年輪幅(ARW), 及び細り率(T_r)を算出した。丸太の材質測定後、図1に示すように、1番玉については側面定規挽きにより心去り材を2本、2番玉については中心定規挽きにより心持ち材を1本、合計72本製材し、人工乾燥(温湿度条件は90~120°C(DBT), 60~95°C(WBT), 乾燥日数10日)を施した後、プレーナーにより幅105 mm, 高さ210 mmの断面寸法に仕上げた。その後、各部寸法, 重量等を測定し、曲げ試験に供した。試験は実大曲げ試験機(東京衡機製造所製1000kN実大強度試験機)を用い、(財)日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験法」に示された試験方法(3等分4点荷重方式)に従い実施した³⁾。

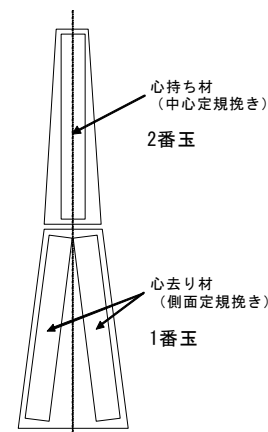


図1 試験体の木取り位置

3. 結果と考察

3.1 丸太及び平角の材質

供試丸太の末口径, ρ_g , T_r , ARW , 及び E_t を表1に示す。 E_t をみると、1番玉は2番玉に比べて平均値で約19%低い値を示しており、両者の間には危険率5%で有意差が得られた。また T_r をみると、1番玉が2番玉の2倍以上にもなっており、同様に両者の間には危険率5%で有意差が得られた。次に、平角の密度(ρ_k), E_t , MOR 及び MOE を、心去り材(1番玉), 心持ち材(2番玉)別に表2に示す。心持ち材については、 MOE が E_t よりも僅かに高い結果となった。これは、これまで同様の実験に供試されてきた材料の多くが正角であることから、材縁部

表1 丸太の材質

種別	末口径 (mm)	ρ_g (g/cm ³)	T_r	ARW (mm)	E_t (kN/mm ²)
1番玉	36.1	0.731	0.023	4.52	5.93
2番玉	31.4	0.743	0.011	4.13	7.33
合計	33.8	0.737	0.017	4.32	6.63

表2 平角の材質

種別	ρ_k (g/cm ³)	含水率 (%)	E_t (kN/mm ²)	MOE (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)
心去り材	0.391	17.3	7.41	7.05	33.8
心持ち材	0.407	18.8	7.53	7.59	34.6
合計	0.396	17.8	7.45	7.05	33.8

が主としてヤング係数の低い未成熟材となるのに対し、今回は梁せいが大きく、主として材縁部がヤング係数の高い成熟材となるため、 MOE の値が高くなったのではないかと推察される。心持ち材と心去り材の比較では、心持ち材の MOE は心去り材のそれよりも 8% 程度高かったが、 MOR や E_t におけるその差は僅か 2% 程度にとどまった。

3.2 平角の MOR と MOE の関係

MOR と MOE との関係を図 2 に示す。同図をみると、心持ち材、心去り材ともに危険率 1% で正の相関が得られているが、両者に明確な傾向の違いは認められない。また、普通構造材の基準強度である 22.2N/mm^2 と比較すると、心去り材の 1 体のみが 21.9N/mm^2 で僅かに下回った。これらの結果や前節の結果から、1 番玉から採取された心去り材であっても、2 番玉から採取された心持ち材と強度的に大きな違いはなく、おおむね同等とみなすことができる。

3.3 丸太 E_t 、 T_r と平角の各因子との関係

丸太時点での E_t と、製材、乾燥後の平角の E_t 及び MOE の関係を図 3 に示す。同図をみると、心持ち材の E_t は 2%、 MOE は 3% 程度丸太の E_t よりも高く、回歸直線の傾きが 1 に近い。これに対し、心去り材では、それぞれ 25%、19% とさらにその差は大きくなっている。次に、丸太の T_r と、製材後の平角の MOR 及び MOE の関係を図 4 に示す。これらのうち MOE との関係を見ると、心去り材では相関は得られていないが、心持ち材では危険率 5% で負の相関が得られている。 MOR との関係を見ると、心去り材では MOE と同様に相関は得られていないものの、心持ち材では危険率 1% で負の相関が得られており、その違いはより顕著に現れた。これらのことから、今回のように心去り材

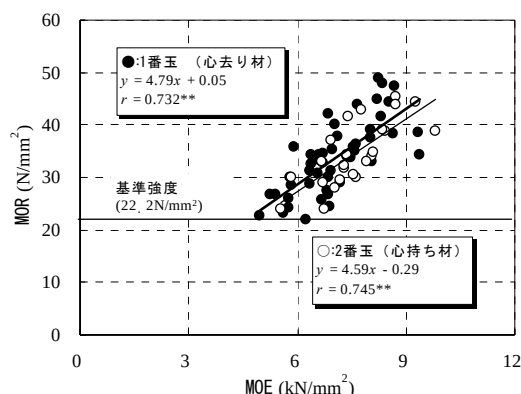


図2 平角の MOR と MOE の関係

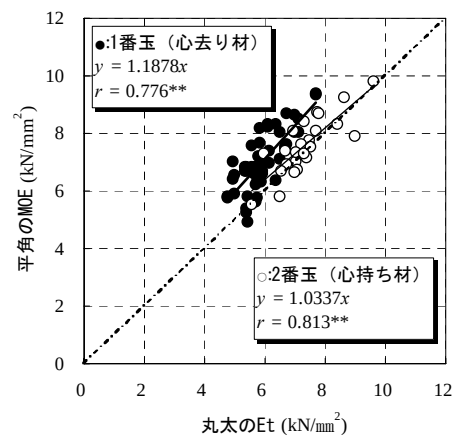
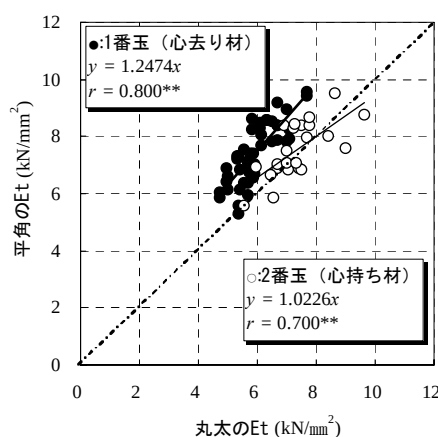


図3 丸太の E_t と平角の E_t 及び MOE の関係

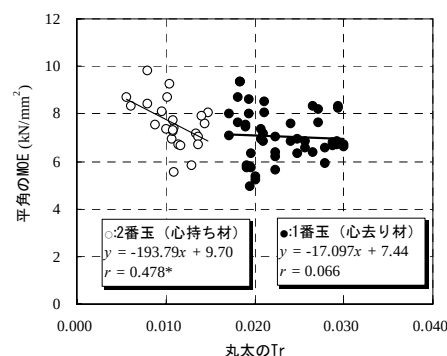
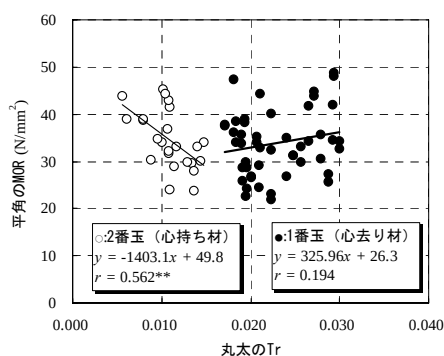


図4 丸太の T_r と平角の MOR 及び MOE の関係

を 2 本取りできるような大径丸太については、これを側面定規挽きすることにより、平角の材軸方向と繊維方向のなす角度を小さくすることができ、かつ強度の高い辺材部分の損失を抑えることができるため、元の丸太の持っている性能を最大限発揮することができると言える。その結果、製材方法によって目切れの影響を除去することができない 2 番玉心持ち材と同等の強度性能を得られることが分かった。最後に、本研究の一部は、(社) 全国木材組合連合会平成 21 年度地域材の水平連携加工システム推進事業、並びに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。

【参考文献】 1) 林野庁: “木材産業の体制整備及び国産材の利用拡大に向けた基本方針” 2008, p.3, 2) 森田秀樹, 小田久人, 藤元嘉安, 有馬孝禮, 村瀬安英: 第 13 回日本木材学会九州支部大会講演集, 熊本, 2006, pp.33-34, 3) (財) 日本住宅・木材技術センター: 構造用木材の強度試験法, 2000, pp.7-8.

2-8 受託共同研究事業

2-8-1 スギに適した木ねじ（スギねじ）の開発ー引抜試験結果ー

※森田秀樹、白 惠琇、椎葉 淳、田中 洋
皆内健二、藤元嘉安、飯村 豊
元住木センター 大熊幹章
㈱カナイ並木 高、並木龍一、濱野裕仁

研究概要

市販の木ねじやビスは、外国産の比較的高い比重を有する材を前提としてねじ形状が決定されている。このような既存ねじを軽軟な国産スギに対して用いることは、比重の小さい分だけ接合耐力が低下し、期待する耐力が得られないことにつながっている。そこで本研究では、軽軟スギに適した木ねじ(スギねじ)の開発を行うことを目的として、形状が異なる 4 タイプの試作スギねじを板目材に打ち込んだ試験体の引き抜き性能評価を行った。その結果、ねじの谷径が大きく、ねじ山の高さが小さい(山径と谷径の差が小さい)タイプの試作スギねじが最も高い引き抜き耐力を示した。

【緒言】

市販の木ねじやビスは、例えばロシアカラマツやラジアタパインなどの外国産の比較的高い比重を有する材を前提としてねじ形状が決定されている。このような既存ねじを軽軟な国産スギに対して用いることは、接合耐力が低下し、期待する耐力が得られないことにつながっている。そこで本研究では、軽軟スギに適した木ねじ(スギねじ)の開発を行うことを目的として、形状が異なる 4 タイプの試作スギねじを板目材に打ち込み、引き抜き試験を行うことでその性能評価を行った。

【実験方法】

スギ板目材(幅 100mm、厚さ 20mm、長さ 500mm)を長さ方向に 4 分割したものを主材とし、その中央部に表 1 に示す 4 タイプのスギねじを打ち込んだ。打ち込みの際には電動インパクトドライバを使用し、また主材に対して直角に打ち込むようにガイドを用いた。引き抜き試験風景を図 1 に示す。用いた主材は、密度が平均値 398kg/m^3 (最小 342～最大 487)、年輪数が平均値 7(最小 3～最大 9)、含水率が平均値 10.0%(最小 9.1～最大 11.6)であった。

引き抜き試験は、主材を治具にセットした後、スギねじの頭部を治具を介して引っ張ることで加力した。なお、クロスヘッド変位を引き抜き変位とし、加力速度は毎分 2mm として、最大荷重を示した後、その 80%程度に低下した時点で試験を終了した。

表 1 試作スギねじの仕様

	スギねじ			
	①	②	③	④
山径 D	7.0	7.0	5.7	7.0
谷径 d	4.4	4.4	4.4	5.7
ピッチ p	2.3	3.0	2.3	2.3



図 1 引き抜き試験風景

【結果および考察】

4 タイプの試作スギねじを用いた引き抜き試験の代表的な荷重変形曲線を図 2 に示し、最大引き抜き耐力の結果を表 2 に示す。最大引き抜き耐力の平均値はスギねじ④>①>②>③の結果となり、ねじの谷径が大きく、ねじ山の高さが小さい(山径と谷径の差が小さい)の試作スギねじ④が最も高い値を示した。最大引き抜き耐力の母平均の差の検定を行った結果を表 3 に示す。スギねじ④はどのタイプのスギねじに対しても危険率 1%あるいは 5%で有意差が認められた。なお、各スギねじ間の初期剛性の違いはほとんど認められなかった。

ここで、各因子の影響を統計的検定により検討した結果を表 4 に示す。谷径が大きいほど有利であること(スギねじ③⇔スギねじ④)、同じ谷径およびピッチの場合にはねじ山が高いほど有利であること(スギねじ①⇔スギねじ③)が明らかになった。

以上のことから、谷径が大きいねじほど軽軟スギに適しており、ねじ山の高さの影響は比較的小さいものの、同じ谷径であればねじ山が高いほど引き抜きに対して有利であることが明らかになった。ただし、スギねじ④を主材に打ち込む際に、主材が割裂する試験体が見られたため、今後複数のスギねじを開発した上で、打ち込む材料に合わせて最適なスギねじを選択するといった検討が必要である。

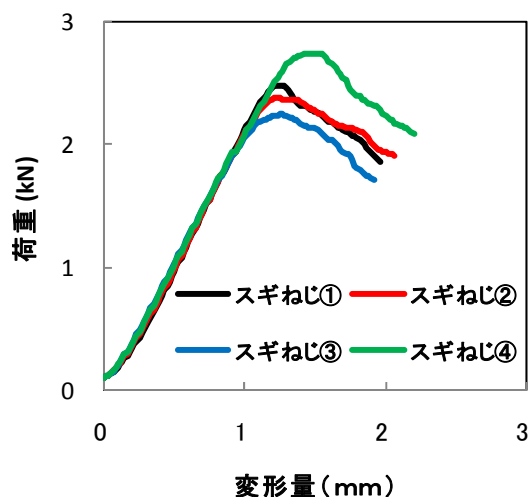


図 2 引き抜き試験による荷重変形曲線例

表 2 最大引き抜き耐力の結果

	最大引き抜き耐力 (kN)			
	スギねじ①	スギねじ②	スギねじ③	スギねじ④
平均値	2.5	2.4	2.3	2.7
最大値	3.0	3.2	3.3	3.3
最小値	1.9	1.7	1.8	2.1
標準偏差	0.33	0.38	0.34	0.37
変動係数%	13.0	15.7	14.6	13.7
試験体数	40	40	40	40
5%下限値	1.9	1.7	1.7	2.0

表 3 最大引き抜き耐力の母平均の差の検定結果

	スギねじ			
	①	②	③	④
①	—	なし	*	*
②	—	—	なし	**
③	—	—	—	**
④	—	—	—	—

** : 危険率1%で有意差あり
 * : 危険率5%で有意差あり
 なし : 有意差なし

表 4 各因子の影響 (太枠は統計的有意差が認められたスギねじの仕様)

谷径の影響			ねじ山の影響		
	スギねじ			スギねじ	
	③	④		①	③
山径 D	5.7	7.0	山径 D	7.0	5.7
谷径 d	4.4	5.7	谷径 d	4.4	4.4
(ねじ山の高さ)	(1.3)	(1.3)	(ねじ山の高さ)	(2.6)	(1.3)
ピッチ p	2.3	2.3	ピッチ p	2.3	2.3

谷径+ねじ山の影響			ピッチの影響		
	スギねじ			スギねじ	
	①	④		①	②
山径 D	7.0	7.0	山径 D	7.0	7.0
谷径 d	4.4	5.7	谷径 d	4.4	4.4
(ねじ山の高さ)	(2.6)	(1.3)	(ねじ山の高さ)	(2.6)	(2.6)
ピッチ p	2.3	2.3	ピッチ p	2.3	3.0

2-9 口 頭 発 表 （ 学 会 ）

2-9 口頭発表（学会）

開催年月	学会名	場 所	氏 名	題 名	要旨集
2010.06.20-24	11th World Conference on Timber Engineering	イタリア	○Shiro Aratake・Hideki Morita・Takanori Arima	Bending creep of glulam using sugi laminae with extremely low Young's modulus for inner layers	○
2010.06.20-24	11th World Conference on Timber Engineering	イタリア	○Akihiro Matsumoto・Hisato Oda・Takanori Arima・Noboru Fujimoto	Effect of using a hot-press to suppress surface checks in sugi boxed heart square timbers during drying process	○
2010.08.23-28	XXIII IUFRO World Congress (Seoul)	韓 国	Takeshi Akaki	Development of hydroxyapatite -wood composites by reusing of wood ashes	
2010.08.30-31	第17回日本木材学会九州支部大会	福岡県	藤元嘉安	5年間屋外暴露された木質パネルの基礎物性変化－パネル厚さおよび密度変化との関係－	○
2010.08.30-31	第17回日本木材学会九州支部大会	福岡県	○松元明弘・小田久人・有馬孝禮・藤本登留	ホットプレスを用いたスギ心持ち柱材の表面割れ抑制処理(第2報)	○
2010.08.30-31	第17回日本木材学会九州支部大会	福岡県	○田中洋・荒武志朗・椎葉淳	宮崎県産スギ製材の縦引張り性能	○
2010.09.9-11	2010年度日本建築学会大会(北陸)	富山県	有馬孝禮	地球温暖化防止における森林成長と伐採木材のC表示	○
2010.09.9-11	2010年度日本建築学会大会(北陸)	富山県	○荒武志朗・椎葉淳・森田秀樹	曲がりを有するスギ丸太から得られた平角材の力学的性能その1 曲げ強さなど	○
2010.10.1-4	第5回日中韓三カ国セミナー	韓 国	Yoshiyasu Fujimoto	Nondestructive Evaluation of Joint Stiffness for T-figured Joint Model by Vibration Test	○
2010.10.1-4	第5回日中韓三カ国セミナー	韓 国	○Shiro ARATAKE・Hideki MORITA・Takanori ARIMA	Bending Creep of Glulam using Sugi Laminae with Extremely Low Young's Modulus for Inner Layers	○
2010.10.1-4	第5回日中韓三カ国セミナー	韓 国	○Hiroshi TANAKA・Shiro ARATAKE	In-Grade Tests for Sugi(Japanese Cedar) Sawn Timber -Influence of Moisture Content on Strength Properties-	○
2010.10.7-8	(社)日本木材加工技術協会第28回年次大会	奈良県	藤元嘉安	屋外暴露された木質パネルの暑さ方向密度分布変化	○
2010.10.7-8	(社)日本木材加工技術協会第28回年次大会	奈良県	○荒武志朗・椎葉淳・森田秀樹・佐藤庫司・萩原由香	大径材から得られたスギ側面定規挽き製材の力学的性能-短柱縦圧縮強さなど-	○
2010.12.20	第20回日本MRS学術シンポジウム	神奈川県	○Shiro Aratake・Atsushi Siiba・Hideki Mirita	Mechanical Properties of Real-Size Beams Sawn Up from Sugi Curved Logs (Part 1 Bending Properties and so on)	○
2011.02.16	第44回林業技術シンポジウム	東京都	小田久人	新しい木材乾燥システムによる低コスト化と有用成分の回収	○
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○有馬孝禮・上杉基・岩崎新二・荒武志朗	外構木材の劣化并非破壊検査への打撃音分析	○
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○荒武志朗・椎葉淳・森田秀樹・佐藤庫司	曲がりを有するスギ丸太から得られた平角材の力学的性能-変形、曲げ強さ、及び曲げクリープについて-	○
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○大内毅・宇野朱理・藤元嘉安	スギ圧縮ダボを用いた木製平パレットの製造(Ⅱ)	○

注 1 ○は要旨集に掲載

注 2 共同研究者の所属は省略しています。

2-10 ポスター展示（学会等）

2-10 ポスター展示（学会等）

発行年月	学会名	場 所	氏 名	題 名
2010.06.20-24	11th World Conference on Timber Engineering	イタリア	Takanori ARIMA	WOODEN CONSTRUCTION AS "URBANFORESTRESERVES"
2010.08.23-28	XXIII IUFRO World Congress (Seoul)	韓 国	○Yoshiyasu FUJIMOTO・Noboru SEKINO・Hideaki KORAI・Hidetaka NOGAMI・Kazuo OHASHI	Nail Joint Performance of Several Wood-based Panels during Five-year Outdoor Exposure
2010.08.23-28	XXIII IUFRO World Congress (Seoul)	韓 国	○Takeshi Ohuchi・Yoshiyasu FUJIMOTO	Manufacture of compressed dowels using sugi wood by hot-extrusion processing method
2010.08.23-28	XXIII IUFRO World Congress (Seoul)	韓 国	○Hideki MORITA・Shiro ARATAKE	Development of Laminated Wood for Sill Plates using Japanese Cedar (sugi).
2010.08.30-31	第17回日本木材学会九州支部大会	福岡県	○大内毅・藤元嘉安	圧密処理法の違いがスギ圧密・回復材のせん断性能に及ぼす影響
2010.11.4-5	2010色材協会研究発表会	東京都	岩崎新二	土木用スギ材の耐久性評価試験－木材保護塗料の3角度別耐候性－
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○藤元嘉安・森田秀樹・矯健・皆内健二・飯村豊・田中洋・椎葉淳・白恵琇・趙川・岡野健	インフィル用スギ間仕切パネルの強度性能
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○小田久・、松元明弘	高温乾燥したスギ心持ち柱材の寸法変化－1年経過後の様子－
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	岩崎新二	土木用スギ材の耐久性評価試験－5年経過後の地際部の腐朽度－
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○森田秀樹・白恵琇・椎葉淳・田中洋・皆内健二・藤元嘉安・飯村豊・大熊幹章・並木高・並木龍一・濱野裕仁	スギに適した木ねじ（スギねじ）の開発－引き抜き試験結果－
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○松元明弘・小田久人・有馬孝禮・藤本登留	ホットプレスをういたスギ心持ち柱材の表面割れ抑制処理（第3報）
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○田中洋・椎葉淳	斜め打ちビスのせん断試験
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○椎葉淳・荒武志朗・森田秀樹・佐藤庫司・萩原由香	大径材から得られたスギ側面定規挽き製材の曲げ性能
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	永石達也○小林義裕・雉子谷佳男・森田秀樹・藤元嘉安	スギ未成熟材部のめり込み性能
2011.03.18-20	第61回日本木材学会大会	京都府	○戸田正彦・小関野登・野上英孝・藤元嘉安	各種市販木質パネルの釘接合性能（第10報）－一面せん断試験結果を用いた壁倍率の推定－

注 共同研究者の所属は省略しています。

2-11 誌上発表

2-11 誌上発表

発行年月	書籍名	氏 名	題 名
2011年1月	木の家リフォームを勉強する本	有馬孝禮	日本の山と木の家リフォーム
2010年9月	木材学会誌 56巻 5号	中村昇・荒武志朗・飯島泰男・堀江和美	荷重継続時間の影響に関する試験法の提案と影響係数の算出
2010年8月	Journal of Timber Engineering No.96	森田秀樹・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
2010年10月	Journal of Timber Engineering No.97	飯村豊	木と船-Hull(船殻)を造る材料と技術-
2010年12月	Journal of Timber Engineering No.98	有馬孝禮	我が山いじり体験記 -山と各地を行き来すると
2011年3月	Journal of Timber Engineering No.100	有馬孝禮	持続性と歴史の重み
2011年3月	Journal of Timber Engineering No.100	飯村豊	90年生スギの利用
2011年3月	Journal of Timber Engineering No.100	荒武志朗	さらなる連携強化を目指して
2011年3月	Journal of Timber Engineering No.100	藤元嘉安	国産材復活を願って
2010年10月	木質パネル第2次耐久性プロジェクト中間報告書(その7)-屋外暴露6年目のデータ解析-	藤元嘉安・森田秀樹・松元明弘	露地”都城”における基礎物性の劣化
2010年10月	木質パネル第2次耐久性プロジェクト中間報告書(その7)-屋外暴露7年目のデータ解析-	藤元嘉安・森田秀樹・松元明弘	露地”都城”における釘接合性能の劣化
2011年3月	住宅分野への地域材供給シェア拡大総合事業報告書	小田久人	大断面無垢材の寸法変化率試験(心去り平角材の天然乾燥試験)
2011年3月	地域材使用住宅の温熱環境試験による省エネ効果の検証	小田久人	RC造共同住宅における内装木質化の効果
2010年6月	日本木材学会九州支部木科学情報	森田秀樹	宮崎大会研究発表動向
2010年11月	全国林業試験研究機関協議機会 会誌第44号	増永保彦	設立10年目を迎えて
2010年11月	全国林業試験研究機関協議機会 会誌第44号	椎葉淳	宮崎県産スギ集成材、高強度繊維補強モルタル及び鉄筋を用いた複合桁の開発
2011年2月	最新データによる木材・木造住宅のQ&A	荒武志朗	梁の大きさはどのように決めているのですか？
2011年2月	最新データによる木材・木造住宅のQ&A	荒武志朗	木材の強さはどのように区分されているのですか？
2011年2月	最新データによる木材・木造住宅のQ&A	荒武志朗	無等級材って何ですか？
2011年3月	木材の強度データおよび解説	荒武志朗	第5章 クリープ
2011年3月	公立林業試験研究機関研究成果選集No.8	森田秀樹・松元明弘・荒武志朗 藤元嘉安	スギとヒノキを用いた異樹種集成材の実用化
2010年6月	建築新技術レポート	有馬孝禮	住宅 Ⅲ-2 木質系住宅構造の評価・評定
2011年1月	木材工業新聞 2011新春特集	有馬孝禮	環境保全と資源持続性の駆動力としての木材利用
2010年10月	木材工業 vol.65 No.10	松元明弘	WCTE2010(Riva del Garda,Italy)に参加して
2010年11月	木材工業 vol.65 No.11	飯村豊	広がる土木資材の用途-スギ利用に向けて-
2010年12月	木材工業 vol.65 No.12	小田久人・有馬孝禮	宮崎県内の製材工場におけるエネルギー消費量
2010年7月	しろあり No.154 7月号	藤本英人	シロアリはヒラヒラしたフィルムに蟻道を作らない-フィルム型シロアリバリアーの効果と限界-

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。

2-1-1 誌上発表（つづき）

発行年月	書籍名	氏 名	題 名
2010年9月	森林技術 No.822 9月号	有馬孝禮	緑のキーワード CLT(クロス・ラミネイテッド・ティンバー)
2011年3月	森林技術 No.828 3月号	有馬孝禮	緑のキーワード ツーバイフォー工法用の製材
2011年2月	平成22年度九州木材青壮年連合会宮崎大会報告書	有馬孝禮	なぜ、いま木の建築なのか -木造、木材利用の流れと国際化の中で-
2011年2月	Rinya No.47 2月号	有馬孝禮	木のまち・木のいえリレーフォーラムの取組
2010年6月	林業みやざき No.513 4.5.6合併号	小田久人	「新たな木材乾燥システムによる低コスト化と有用成分の回収」の主な研究成果
2010年8月	林業みやざき No.514 7.8合併号	藤元嘉安	スギ材の釘引き抜き性能
2010年10月	林業みやざき No.515 9.10合併号	皆内健二	スギを構造体に利用するためのシステム開発
2010年12月	林業みやざき No.516 11.12合併号	岩崎新二	スギ材の屋外水平暴露による耐候性評価
2011年1月	林業みやざき 1・2・3月号	荒武志朗	大径材から得られたスギ側面定規挽き製材の力学的性能-短柱縦圧縮強さなど-
2010年6月	都城地区木材青壮年会会報誌原点回帰6月号	有馬孝禮	問われる木材産業の粘り腰

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。