

2 試験研究業務

2-1 資源の循環利用システムの確立

2-1-1 オビスギの魅力を引き出す抽出成分に関する研究

その1 (生活害虫に対する忌避効果に関する研究)

※東崎 無我、須原 弘登

【緒言】

本県は全国有数の林業県であり、各製材業者等において大型人工乾燥施設の導入が進んでいる。製材の人工乾燥時に排出される蒸気には、テルペン類やアルコール類をはじめとした精油成分が含まれているが*1、その大半は回収されることなく大気中に放出され利用されていない。スギ精油の用途開発・普及により、回収・利用が進めば、森林資源の有効活用に加え、製材業者等においては新たな収入源として期待される。このことから、本県では乾燥蒸気から精油を回収する装置の開発に取り組んでおり*2、併せて回収したオビスギ精油の利活用を図ることを目的として、その機能性の評価を行っている*3。

スギ精油に対するゴキブリの忌避効果はこれまでも報告されているが*4、科学的な論拠としては内容が不十分と考えられた。そのため本研究では、スギ材精油のゴキブリに対する忌避効果について検証を行った。

【試験方法】

(供試材料)

試験用検体としてクロゴキブリ

(*Periplaneta fuliginosa*) 成虫及びチャバネゴキブリ (*Blattella germanica*) 成虫を用いた。繰り返し試験を行うため、1 グループ 20 頭の 3 つのグループに分け、試験に供した水及び餌は滅菌した。また、精油は県内の製材工場に設置されている SK 式超省エネ全自動木材乾燥機実験機（新柴設備製、18 m³容）の排蒸気から採取したスギ精油を用いた。その主成分は delta-Cadinene、alpha-Murolene などのセスキテルペン炭化水素であった。モノテルペンは確認されず、Abieta-7,13-diene といったジテルペンが微量に確認された。

(試験方法)

試験装置は、容量 50 L の透明コンテナ 2 個を金網及びアクリルパイプで繋ぎ作成した。

各コンテナにはエアーポンプを設置し装置内に 30 l/h で換気するとともに、試験装置中央部に外側から送風し室内の換気を行った。片方のコンテナにはスギ材精油を塗布（32、16、8 及び 4 g/m²）した板を、もう片方のコンテナには無処理の板を設置し、試験を行った（図 1 及び図 2）。アクリルで作成した板を用い、塗布後 24 h 養生を行ってから試験に用いた。

試験は暗室内で行い、各コンテナ内にゴキブリを同数投入し、各コンテナ及び連絡通路に滞在するゴキブリ頭数を 1 時間毎に 1 日 7 回計測した。試験装置内に水のみを設置した場合は 2 日連続で、試験装置内に水及び餌を設置した場合は 4 日連続で計測し 1 日ごとに装置の位置を反転させた。餌を設置した場合は、1 日の計測開始前及び計測終了後に餌の重量を測定した。

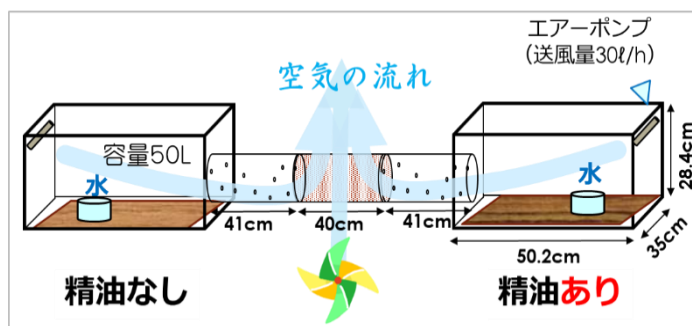


図 1. クロゴキブリ試験装置概要

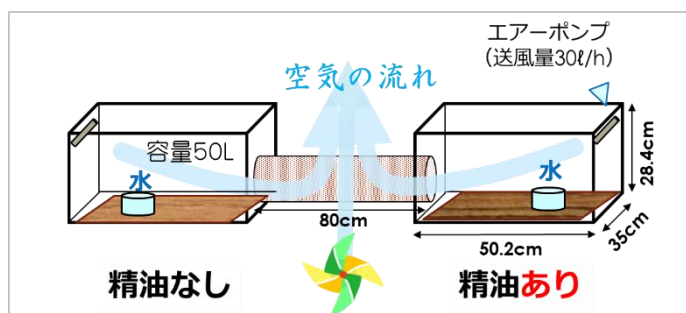


図 2. チャバネゴキブリ試験装置概要

【結果および考察】

試験装置内に水のみを設置した場合の各コンテナ及び連絡通路に滞在するクロゴキブリの割合(2日間平均値)を表1に示す。処理区と無処理区を比較すると精油塗布量 8 g/m²では、いずれも無処理区の滞在率が有意に高く ($P < 0.01$) 精油を忌避する傾向が確認できたが、4 g/m²では処理区と無処理区の滞在率に差はなく ($P > 0.1$) 忌避する傾向は見られなかった。

試験装置内に水のみを設置した場合の各コンテナ及び連絡通路に滞在するチャバネゴキブリの割合(2日間平均値)を表2に示す。処理区と無処理区を比較すると精油塗布量 32~16 g/m²においていずれも無処理区の滞在率が有意に高く ($P < 0.01$) 精油を忌避する傾向が確認できた。

試験装置内に水及び餌を設置した場合の各コンテナ及び連絡通路に滞在するチャバネゴキブリの割合(4日間平均値)を表3に示す。処理区と無処理区を比較すると無処理区の滞在率が有意に高く ($P < 0.01$) 精油を忌避する傾向が確認できた。しかし、餌の残存量を確認すると、図3に示すとおり無処理区の餌が先に摂食された後に処理区の餌も摂食されていた。このことから、ゴキブリは精油を忌避するものの、餌が処理区にしかない場合、その進入は防げないことが示された。

今後はチャバネゴキブリについても忌避効果の限界濃度について検証する予定としている。

表 1. スギ精油のクロゴキブリに対する忌避効果
(2日間平均・餌無し)

精油塗布量 (g/m ²)	虫体数 (頭)	精油無し ^(a) (%)	通路 (%)	精油有り ^(b) (%)	p (^(a) 及び ^(b))
8	20	29	57	14	<0.01
4	20	20	57	23	0.38

表 2. スギ精油のチャバネゴキブリに対する忌避効果

精油塗布量 (g/m ²)	虫体数 (頭)	精油無し ^(a) (%)	通路 (%)	精油有り ^(b) (%)	p (^(a) 及び ^(b))
32	20	46	44	10	<0.01
16	20	56	29	15	<0.01

表 3. スギ精油のチャバネゴキブリに対する忌避効果

精油塗布量 (g/m ²)	虫体数 (頭)	精油無し ^(a) (%)	通路 (%)	精油有り ^(b) (%)	p (^(a) 及び ^(b))
32	20	34	56	10	<0.01

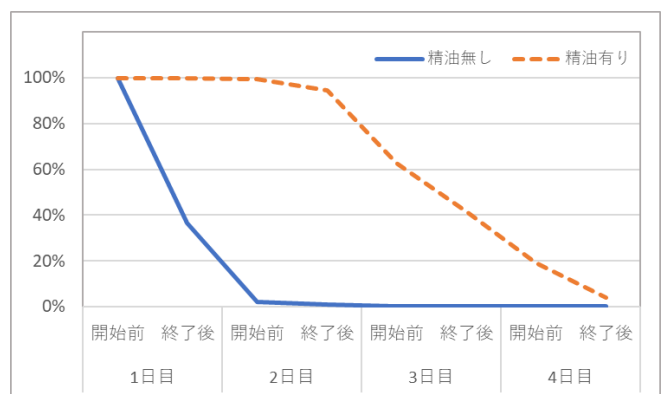


図 3. 餌残存量の変化

【参考文献】

- *1 大平辰朗、木質材料の乾燥工程で排出する凝縮液の有効利用、におい・かおり環境学会誌、Vol.40、No.6、P.400-411(2009)
- *2 須原弘登・蛭原啓文、木材乾燥機排蒸気からの精油回収の取り組み、第 25 回日本木材学会九州支部大会講演集、P.42-43(2018)
- *3 蛭原啓文他、スギ精油による雑草生育の阻害について、日本木材加工技術協会第 34 回年次大会要旨集、P.49-50(2016)
- *4 藤本英人、スギ成分の化学的有効利用に関する研究（スギ材の人工乾燥工程で得られる精油のゴキブリ忌避効果）、宮崎県木材利用技術センター業務報告書、P.17(2006)

2-1-1 オビスギの魅力を引き出す抽出成分に関する研究 その2 (スギ精油の効率的利活用に関する研究)

※田中 洋、須原 弘登

1. 緒言

宮崎県では、スギを中心とする人工林資源の充実と伐採、木材利用の歯車がかみ合い、本格的な収穫期を迎えている。平成 28 年の素材生産量は 198 万 m³、製材品出荷量は 95 万 m³（うち人工乾燥材 43 万 m³）におよび、県内の製材工場等には 338 機の人工乾燥機が導入されている。

ところで、製材乾燥時に排出される蒸気には、木材から揮発したテルペン類やアルコール類などの精油成分が含まれているが、その大半は回収されることなく大気中に放出されている。木材産業の経済循環サイクルの確立が求められる中、スギ精油の用途開発により乾燥蒸気に含まれる精油の回収、利用が進めば、森林資源の有効利用に加え製材工場等の新たな収入源となることが期待される。本研究では、人工乾燥工程で回収されたスギ精油の用途開発¹⁻⁴⁾の一環として、雑草に対する成長阻害効果について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

スギ精油は、県内製材工場の人工乾燥機（SK 式超省エネ全自動木材乾燥機実証機、(株)新柴設備）から回収した。スギ製材の高温乾燥工程において排出された蒸気を水冷式冷却装置で凝縮させ、上層に分離した精油分を回収した。得られたスギ精油を 1 年以上常温で保存したものを供試材料として用いた。

試験雑草には、メヒシバ (*Digitaria ciliaris*、イネ科 1 年草)、チガヤ (*Imperata cylindrical*、イネ科多年草)、オオバコ (*Plantago asiatica*、広葉多年草)を用いた。メヒシバおよびオオバコの種子はエスペックミック (株) から購入し、チガヤの種子は宮崎県都城市内で採取した。

2.2 成長阻害試験

市販の培養土を充填した育苗トレーに各雑草の種子を播き、発芽させた幼苗をプランターに定植して屋外で育成した。プランターのサイズは、容量 13L（長さ 59cm×幅 17cm×深さ 16cm、定植面積 0.1m²）で、赤玉土（中粒）、腐葉土、バーミキュライトを容積比 6:3:1 の割合で配合したもの約 4.6kg を用土とした。

育成した各雑草に対し、表 1 の条件でスギ精油を噴霧により茎葉散布した。なお、対照として市販のグリホサートカリウム塩除草剤を定量処理したもの、および無処理の条件を設けた。

精油等の散布は屋内で行い、その翌日にプランターを屋外に移して生育状況を観察した。散布後 1 週間ごとに地上部の茎葉全体が枯死した本数をカウントし、4 週間経過した時点で試験を終了した。試験は 2018 年 6 月～9 月の時期に行い、繰り返し数は 3 とした。

表 1 精油等散布の処理条件

種類	散布量 (ml/m ²)
スギ精油	200
	100
	50
	25
除草剤	定量
無処理	—

3. 結果および考察

表 2 に試験時の各雑草の生育程度（平均値）を示す。草高が 20cm 程度までの雑草生育初期に試験を行ったが、草高はメヒシバ、チガヤ、オオバコの順で大きかった。また、生育本数はメヒシバおよびチガヤに比べてオオバコが多かった。

図 1 に試験終了時の処理条件ごとの枯死率（平均値）を示す。なお、雑草の種類に関わらず、除草剤処理の枯死率はほぼ 100%、無処理の枯死率は 0%であった。

スギ精油においては、茎葉散布することで葉枯れや変色等の症状が現れ、雑草に対する成長阻害効果が確認された。その効果は散布量が多いほど高く、散布量が少なくなるにつれて枯死率は明らかに低下した。精油散布後の観察では、葉枯れ等は精油が雑草に接触した部位の周辺のみを生じており、散布量が少ない場合には部分的な枯れにとどまるため、枯死した個体数が減少したと考えられる。

精油散布量と枯死率の関係は、雑草の種類に関わらず同様の傾向を示したが、同じ処理条件ではチガヤの枯死率が最も高かった。これは、チガヤはメヒシバに対して草高が小さく、オオバコに対して生育本数が少なかったため、精油が直接付着した部位が相対的に多かったことによるものと考えられる。

図2に精油等散布処理後の枯死率の経時変化について、チガヤの例(平均値)を示す。本試験に用いた除草剤は、散布後徐々に枯死率が上昇し、効果が現れるまでに2週間～3週間程度の期間を要した。一方、スギ精油においては即効性が高く、散布後数時間で葉の変色が始まり、1週間以内に効果が現れ、以降枯死率は変化しなかった。

以上の結果、スギ精油の茎葉散布による雑草への成長阻害効果が認められた。除草剤に匹敵するような高い効果を得るためには、散布量を多くして茎葉全体に精油を付着させる必要があることから、今後、精油回収の

表2 試験時の雑草の生育状況

雑草の種類	草高 (cm)	生育本数 (本/m ²)
メヒシバ	23.2	742
チガヤ	15.8	748
オオバコ	12.3	1,050

※ 草高及び生育本数は18プランターの平均値

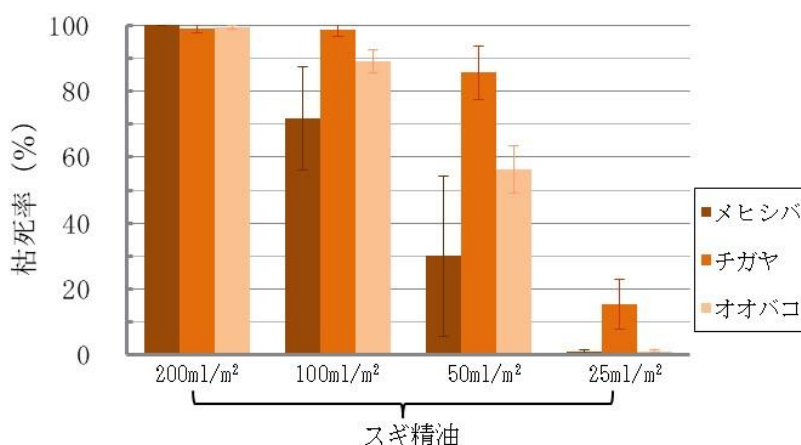


図1 精油散布量と枯死率

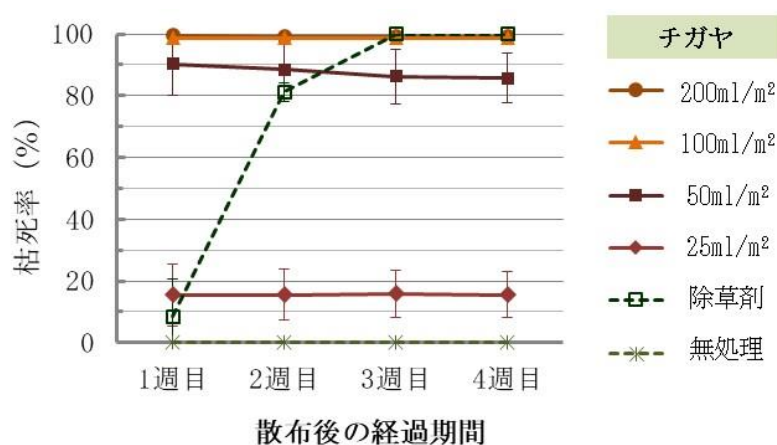


図2 精油等散布後の枯死率の経時変化 (チガヤの例)

低コスト化⁵⁾や精油と除草剤の組み合わせ処理等について検討が必要である。一方、精油散布の適用場面を考えると、精油が付着した部位のみ枯れることから、地下部まで枯殺可能な除草剤に比べて雑草生育地の裸地化をまねく危険性は低いのではないかと推察されたが、詳細は今後の検討が必要である。

参考資料

- 1) 東崎無我、須原弘登、兒玉了一：第69回日本木材学会大会研究発表要旨集、CD-ROM (2019)
- 2) 蛭原啓文、堂籠究、須原弘登：日本木材加工技術協会第34回年次大会講演要旨集、p.49-50 (2016)
- 3) 藤本英人：第60回日本木材学会大会研究発表要旨集、CD-ROM (2010)
- 4) 落合克紀、小田久人、藤本英人：第54回日本木材学会大会研究発表要旨集、p.406 (2004)
- 5) 須原弘登、蛭原啓文：第25回日本木材学会九州支部大会講演集、p.42-43 (2018)

2-1-1 オビスギの魅力を引き出す抽出成分に関する研究 その3 (オビスギ抽出成分の特性に関する研究)

東崎 無我

【緒言】

樹木の構成成分のうち微量成分である抽出成分は、樹種ごとに量や成分構成が大きく異なり⁽¹⁾、同一樹種であっても品種や生育地域により変化が見られる⁽²⁾。宮崎県の代表的なブランド品種であるオビスギは、木造船用の材（弁甲材）として用いられてきた歴史があり、古くから油分が多いとされている。

しかしながら、このことを科学的に裏付ける論拠はなく、物証に乏しい。このことが科学的に立証されれば、オビスギのブランドイメージの向上や PR につながることから、本研究では、宮崎県産オビスギと他地域産スギの抽出成分について、成分量及び組成を比較し、オビスギの化学特性について調査を行った。

【実験方法】

宮崎県飫肥地方、近畿地方、及び関東地方の3地域の同一流域において2～10林地を選び、各林地から樹齢40～60年のスギ3本を無作為に選定した。選定したスギの地際から50cmの間で、厚さ10cmの円盤を作成し試験体とした。試験体の採取は2018年7月～9月に行った。

試験体から心材を切り出し、粉碎後3mmメッシュの篩を通過したものを60℃のオーブンで24時間乾燥させ、*n*-ヘキサンを溶媒として6時間のソックスレー抽出を行った。抽出物は重量を測定し抽出成分量として評価した。

抽出物中に含まれるテルペン類の分析のため、抽出物をアセトンに再溶解させ、HP-5MSカラム（長さ30m、内径0.25mm、膜圧0.25μm）を装着したGC-MS（Agilent 7890B/5977A）で分析を行った。

【結果および考察】

各地域のスギの心材に含まれる抽出物回収率は、飫肥地方は平均4.65%（*n*=5）、近畿地方4.97%（*n*=9）、関東地方3.13%（*n*=30）となり、平成30年度の結果においては、近畿地方のスギが他地域と比べ高い値を示した（図1）。

平成27年度から30年度までの結果では、各地域のスギの心材に含まれる抽出物回収率は、飫肥地方は平均4.5%（*n*=44）、近畿地方3.3%（*n*=45）、関東地方2.9%（*n*=45）及び東北地方1.9%（*n*=30）となり、飫肥地方のスギは他地域産のスギと比べ有意に高い値を示した（*P*<0.01）（図2）。

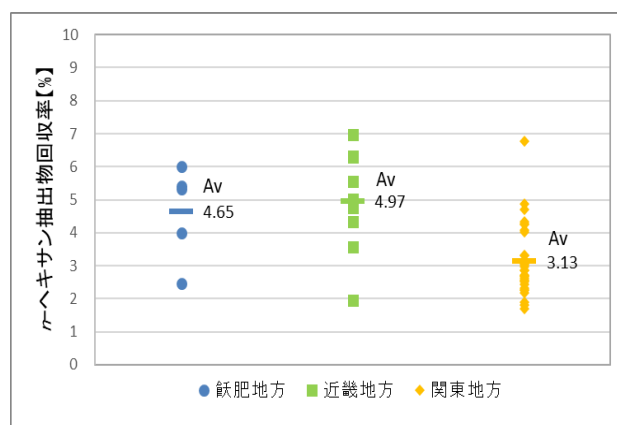


図1. *n*-ヘキサン抽出物回収率（H30）

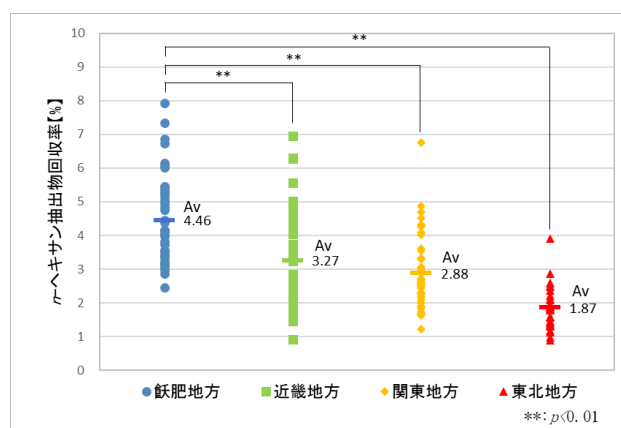


図2. *n*-ヘキサン抽出物回収率（H27～H30）

抽出物のテルペン類のGC-MS 分析結果の平均値を表1に示す。水蒸気蒸留によって得られた奈良県産スギ精油に多く含まれ、抗菌性があるとの報告³のあった β -Eudesmolなどのセスキテルペンアルコールについては、東北地方の試験体において低い値を示したが、その他の地域では同程度(10~12%)含まれていた。飫肥地方及び関東地方のスギには殺ダニ活性^{4,5}などが報告される Cedrol や Cryptomerione といった成分が含まれており、殺蟻性の報告⁶がある Phyllocladanol、Sandaracopimarinal については、すべての地域のスギに見られた。また、全ての地域において、抗蟻性が報告⁷されている Ferruginol が最も多く含まれていた。東北地方においては抽出物量が少なく、ジテルペン類以外の成分が少ないことから、相対的に Ferruginol の割合が特に高くなっていると考えられた。

今後の調査において、各地域のサンプル数をそろえる予定としている。

表 1. *h*-ヘキササン抽出物中に含まれるテルペン類の成分比

成分名		ピーク面積比 (%)			
		飫肥地方	近畿地方	関東地方	東北地方
セスキテルペン	alpha-Cubebene	4.1	4.5	4.1	1.4
	alpha-Murolene	1.2	1.5	1.2	<1
	gamma-Cadinene	8.0	9.2	7.7	4.0
	delta-Cadinene	5.3	6.5	5.8	<1
セスキテルペンアルコール	Cedrol	2.5	<0.1	1.4	<0.1
	1-epi-Cubenol	4.5	4.4	4.4	1.2
	Cubenol	3.2	3.1	3.1	<1
	alpha-Murolol	1.5	1.5	1.4	<1
セスキテルペンケトン	beta-Eudesmol	<1	1.2	<1	<1
	Cryptomerione	1.8	<1	1.1	<0.1
	2,7(14),10-Bisabolatrien-1-ol-4-one	2.7	<1	1.4	<0.1
ジテルペン	Abietadiene	5.0	6.2	6.8	5.7
	Sandaracopimarinal	4.4	3.7	4.1	6.3
ジテルペンアルコール	Phyllocladanol	4.2	5.1	4.8	8.4
	Sandaracopimarinal	12.0	14.2	15.0	18.1
	6,7-dehydro-Ferruginol	10.7	9.4	8.9	4.9
	Ferruginol	18.8	18.5	18.6	39.5
? (RI=2436)		<1	<1	<1	1.2
計		89.8	89.1	89.8	90.7

今後の調査において、各地域のサンプル数をそろえる予定としている。

【参考文献】

1. 城代進・鮫島一彦、木材科学講座 4(1993)
2. 長濱静男・田崎正人、スギ材油のテルペノイド成分・オビスギの特異性について、木材学会誌、Vol.39、No.9、P.1077-1083(1993)
3. 酒井温子他、奈良県産スギ精油及びヒノキ精油の抗菌力に関する成分-奈良県産材の利用拡大をめざして-、第 68 回日本木材学会大会要旨集、Y16-08-10000 (2018)
4. 谷田貝光克他、ヤクスギ土埋木材の抽出成分とその殺ダニ・植物生長制御活性、木材学会誌、Vol.37、No.4、P.345-351(1991)
5. 森田慎一他、ヤクスギ土埋木ヘキササン抽出物の抗ダニ活性成分、木材学会誌、Vol.40、No.9、P.996-1002(1994)
6. 曾我部昭好他、オビスギ(*Cryptomeria japonica* D. DON)の殺蟻成分について、天然有機化合物討論会講演要旨集 40 巻 (1998)
7. Kusumoto, N. 他 Antitermitic activities of abietane-type diterpenes from *Taxodium distichum* cones. Journal of Chemical Ecology , 35 (6), 635-642 (2009)

木材関連工場より排出されるエマルジョン油等の有効利用に関する研究

※岩崎 新二、須原 弘登

「緒言」

LVL製造工場では、木材乾燥で排出される蒸気中に、エマルジョン化された木材成分由来の精油成分と高沸点のヤニ分が含まれているが、全て焼却処分されている。エマルジョン化された精油成分には抗ウィルス性、殺菌作用等があるセスキテルペンが含まれていることから、焼却処分されているエマルジョン油等を有効利用し木工用自然塗料等への活用を図るため、耐蟻性試験、耐腐朽性試験、塗布剤溶脱性試験等の基礎データの収集を行うこととする。今年度は塗布剤溶脱性試験について報告する。

「実験方法」

(試験体)

LVL製造工場より排出されるエマルジョン油とヤニ分に製材工場よりとれるスギ製油を混合しエマルジョン液（エマルジョン油：スギ精油 1:1）及びヤニ含有液（ヤニ分：スギ精油 1:4）を作成した。また市販されている自然系油性塗料、木材保護塗料を宮崎県産スギ材に塗装した。

(試験方法)

供試剤を塗装したスギ材を屋外暴露台上に載架し3ヶ月屋外暴露を行った。1ヶ月ごとに屋外暴露台より試験体を取りだし接触角計（CA-DT 協和界面化学(株)）により接触角を測定し撥水性を観察した。

「結果および考察」

図2に接触角の経時変化を示す。木材保護塗料と自然系油性塗料は、徐々に接触角が低下したが3ヶ月後は木材保護塗料が約58度、自然系油性塗料が約55度と高い撥水性を示した。エマルジョン液、ヤニ含有液は塗装回数に関わらず接触角の低下が大きく、3ヶ月後のエマルジョン液1回塗りが約20度、3回塗りが約18度、ヤニ含有液1回塗りが約23度、3回塗りが21度であり撥水性の低下がみられた。無処理の屋外暴露1ヶ月と3ヶ月の接触角はエマルジョン液1回塗りと、3回塗りと及びヤニ含有液1回塗りと、3回塗りと同程度であり、エマルジョン油とヤニ含有液は溶脱されたものと思われた。エマルジョン液、ヤニ含有液は屋内の腰壁や建具等への使用がよいと思われた。



図1 屋外暴露状況

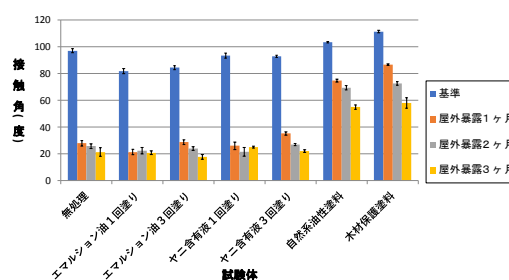


図2 屋外暴露による接触角

1. 緒言

宮崎県は全国有数の林業県であり、特にスギの素材生産量においては平成3年より27年間、全国1位となっている。しかし、スギ材の生産に伴い排出される林地残材、特に針葉の利用は進んでいない。本研究は、木材腐朽菌であるスギエダタケを用いてスギ針葉成分の生物変換を行い、有用な成分を生産しスギ針葉の有効活用を図ることを目的とした。

一昨年度のラボスケールでの試験¹⁾により、スギエダタケなどの白色腐朽菌による処理で、スギ針葉の精油成分の内、カウレンのみが選択的に分解を免れることが示された。そこで、昨年度からこの現象が実証スケールでも再現されるかどうかの検証を行うため、林地残材を模した試験地を設置しここからサンプリングを行い、一般的なキノコの栽培袋を用いた培養試験を行った。

2. 実験方法

【供試菌】スギエダタケ *Strobilurus ohshimae* (Hongo & I. Matsuda) Hongo、20151125-01 株

【試験体】林地残材を想定したスギの枝葉部約200 kgを試験体として用いた。

【試験地】都城市内（宮崎県）の3カ所に試験地を設定した。

・山之口：宮崎県都城市山之口町花木、南方神社敷地内山林（31° 46'40"N 131° 09'42"E）
2017年6月10日設置

・センター：宮崎県都城市花繰町 宮崎県木材利用技術センター（31° 43'30"N 131° 05'12"E）
2017年7月20日設置

・西岳：宮崎県都城市美川町竹山（31° 47'21"N 130° 58'27"E）
2017年7月20日設置

【試験方法】

試験地に堆積したスギ枝葉部から伐採直後及びそれ以降6カ月ごとに、堆積物の全体から満遍なく枝葉約10kgを取り出し試験に供した。枝葉は木材粉碎用チップパー（GS92；大橋）で粉碎したものを、2.5 kg 容滅菌バッグ（S-35N；株サカト産業）に1 kg 充填し、水200mlを添加したのちオートクレーブにて121℃、60分の滅菌処理（伐採6カ月後以降のサンプルはこれを2回）を行った。MA培地（1.5% malt extract；オリエンタル酵母、1.5% agar/植物培地用；Wako）で前培養したスギエダタケを植菌し25℃で培養した。

分析に際してはスギ葉をアブソリュートミル（ABS-W）で粉碎し、篩（3 mmパンチ穴）にかけたものを n -ヘキサンで6時間のソックスレー抽出を行い、抽出物量を求めた。スギ針葉の抽出物中のカウレンの定量については、抽出前にノナデカン定量添加しノナデカンのピーク面積に対するカウレンのピーク面積比を求め、絶乾したスギ針葉1g当たりのノナデカン当量（mg/g）に換算して算出した。

3. 結果および考察

【野外放置期間の違いによる抽出物量と精油成分の変化】

図1に伐採後の抽出物量の経時変化を示す（昨年度行った伐採直後から伐採6カ月後までの試験結果²⁾を含む）。伐採直後と伐採後6カ月では抽出物量に差はないと考えられたが、伐採後12カ月以降は試験地3カ所のサンプルのすべてで抽出物量が減少傾向を示し、伐採直後に対する伐採12カ月後及び18カ月後の抽出物量の減少率は、それぞれ6.5%及び39.1%であった。

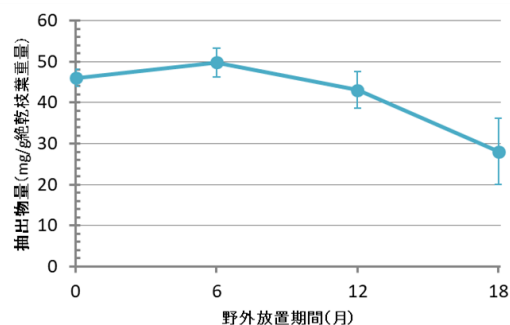


図1 野外放置期間の違いによる抽出物量の変化

表1に抽出成分中の精油成分（テルペン類）及びそれらの含有率の経時変化を示す。経時的に各成分の含有率には若干の変化がみられるものの、伐採直後に最も含有率の高かったカウレンについては、ほとんどの場合野外放置期間に関わらず40～60%の含有率を示した。しかしながら、センター設置分のサンプルについては伐採12カ月後以降カウレン含有率が25%以下に低下しており、野外放置期間が長くなると、試験地の環境条件によってはテルペン類の成分変化が大きくなると考えられた。

図2にスギ針葉中の推定カウレン量の経時変化を示す。カウレン量は伐採後12カ月経過する間ほぼ直線的に減少し、伐採18カ月後もさらに減少した。伐採直後に対する伐採後6カ月ごとのカウレン量の減少率は、それぞれ29.9%、80.5%、86.8%であった。伐採12カ月後以降の減少率が非常に大きいことから、カウレンを効率的に抽出して利用するためには、伐採後できるだけ早い時期にスギ針葉を現場から回収する必要があると考えられる。

なお、図1に示す抽出物量の変化と図2の推定カウレン量の変化から、抽出物中には今回のGC-MS分析で検出可能なテルペン類以外の抽出成分を多く含むことが示唆されたが、詳細については今後検討が必要である。

【菌処理による精油成分の変化】

表2にスギエダタケ処理によるスギ針葉中の精油成分の変化について、結果の一例を示す（伐採12カ月後：西岳設置分の例）。スギ針葉をスギエダタケで処理するとカウレンの割合が80%程度まで上昇した。これは昨年度の伐採6カ月後までの試験結果と同様の傾向であり、伐採後12カ月以上経過したサンプルでも、2カ月程度の処理でカウレンの相対的な含有率を上げることが可能であった。

図3にスギエダタケ処理によるカウレン推定量の経時変化を示す。菌処理によってカウレン量は徐々に減少する傾向を示し、菌処理前（滅菌処理後）に対するカウレン量の減少率は2カ月処理で20～30%、3ヶ月処理で40%程度であった。対照として試験した無処理の場合、データのばらつきが大きいものの、カウレン量が減少する傾向は認められなかった。これらについても、昨年度の試験結果と同様の傾向であり、カウレンを効率的に抽出するためには、2か月程度の菌処理が望ましいと考えられた。

表1 野外放置期間の違いによる精油成分の変化

成分名	成分比(%) *											
	伐採直後			伐採6カ月後			伐採12カ月後			伐採18カ月後		
	センター	西岳	山之口	センター	西岳	山之口	センター	西岳	山之口	センター	西岳	山之口
alpha-Pinene	1.6	6.0	9.6	1.6		2.8			1.9			
Sabinene	2.3	2.4					3.9	3.9	1.5		1.8	5.9
D-Limonene	2.4	2.4										
gamma-Terpinene								2.2				3.3
beta-Elementene									5.3	11.3		7.3
beta-Funebrene								3.1			3.9	
beta-Cedrene								3.4			5.4	
cis-Thujopsene											29.0	
Cuparene	4.1	3.0	4.6	13.1	27.1		4.2	20.6		3.8	4.1	
Elemol	7.6	6.6	3.0	5.8	4.3			3.3				
gamma-Murolene	4.8	4.8				15.5	20.1		18.5	11.9		6.7
unidentified (RI=1576)	6.8	7.8	8.5	1.8	3.9						7.2	
Cedrol	3.3	3.3	3.3	3.3	7.2			4.9			6.0	
beta-Eudesmol	6.3	5.9		6.8		6.9	5.9		6.3	3.9		3.4
alpha-Eudesmol	8.3	7.6		7.9		3.7	6.9		1.2	4.2		
7-epi-alpha-Eudesmol (RI=1663) ?	3.7	3.8				1.6						
Oplopanone			1.7									
Cryptomeridol									3.3			
unidentified (RI=1922)							10.1	8.9		27.3		15.7
Kaurene	44.6	42.4	43.4	45.8	52.0	60.8	24.9	46.6	47.5	14.5	42.7	50.2
Neuzukol	4.2	4.1	5.2	3.2		8.7	15.0		10.2	16.3		6.7
unidentified (RI=2298)			8.9									
6,7-dehydro-Ferruginol			2.4	2.7	1.9		4.8	1.9		3.6		
trans-Ferruginol			3.8	3.8	3.5		4.2	1.3	3.3	3.3		
Pentacosane			2.2									
unidentified (RI=2407)			1.4	2.2								

*成分比が1%以上の成分のみ記載

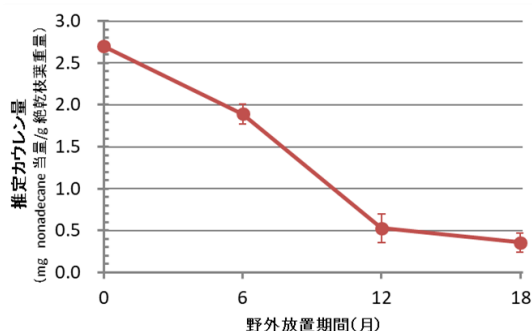


図2 野外放置期間の違いによるカウレン量の変化

表2 スギエダタケ処理による精油成分の変化

伐採後12カ月 西岳設置分	成分比(%)							
	生葉	滅菌	無処理			菌処理		
			1カ月	2カ月	3カ月	1カ月	2カ月	3カ月
Sabinene	3.9	1.8	2.1	2.8	4.0	3.1	5.8	7.9
gamma-Terpinene	2.2				3.1			6.0
Terpinen-4-ol		2.9	1.9	1.4				
beta-Funebrene	3.1	2.6	2.0	1.4				
beta-Cedrene	3.4	2.6	1.9	1.5				
cis-Thujopsene	20.6	19.2	14.1	11.4	10.2		6.9	7.1
Cuparene	3.3	3.8	3.8	3.3	3.0	3.5		
Cedrol	4.9	6.5	7.4	7.2	7.6	2.8		
unidentified (RI=1922)	8.9							
Kaurene	46.6	52.2	58.4	60.7	63.1	75.6	85.2	79.0
unidentified (RI=2298)							2.1	
6,7-dehydro-Ferruginol	1.9	5.9	5.5	6.6	6.0	4.3		
trans-Ferruginol	1.3	2.4	2.9	3.6	3.0			

*成分比が1%以上の成分のみ記載

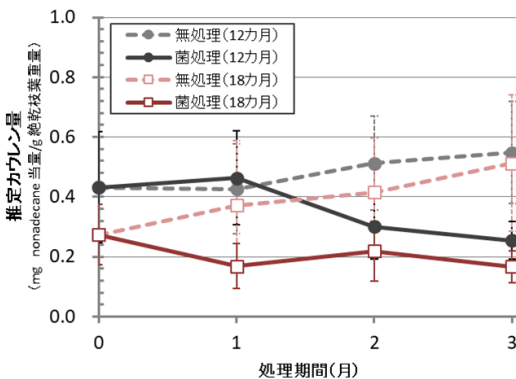


図3 スギエダタケ処理によるカウレン量の変化

参考資料

- 1) 堂籠究、須原弘登：第66回日本木材学会大会研究発表要旨集、CD-ROM（2016）
- 2) 須原弘登：平成29年度業務報告書、p29-30、宮崎県木材利用技術センター（2017）

※須原 弘登、中谷 誠
京都大学生存圏研究所 吉村 剛

諸言

日本の林業では、伐採に伴い多量に産出される林地残材の処理は大きな課題の一つである。これらの未利用木質資源の有効利用については、FIT制度の導入によりエネルギー資源としての利用が進んでおり、宮崎県では木質バイオマス発電所が急速に増えている。これらの焼却施設からは多量の燃焼灰が排出されるが、ほとんど利用価値がなく、多くは産業廃棄物として処分されている。当センターのこれまでの研究で、木灰を原料にヒドロキシアパタイト (HAp) を合成し、これを木質の難燃化に用いる試みが行われてきたが、その過程で当該処理を木材に行うとシロアリの食害を促進する可能性が見出された。

この現象を検証し、林地残材の分解促進や、シロアリのバイオコントロール技術に応用するため、これまで LSF 試験地で HAp を含むいくつかの食害促進効果の期待できる物質を用いた生物劣化促進試験を行ってきた^{1,2)}。しかしながらこれまでの検討では定量的な評価が難しかったことから、昨年度より定量評価可能な小試験体を用いた試験に取り組んでいる。今年度も引き続き小試験体を用いた試験を行い、食害を促進する物質の探索に取り組み、定量的で信頼性の高いデータの取得を試みた。

実験方法

試験用虫体：居住圏劣化生物飼育棟 (DOL; 京都大学宇治キャンパス) で飼育されているイエシロアリ (*Coptotermes formosanus* Shiraki) 虫体を譲り受け、これを用いた。

材料：一辺 2 cm の濾紙を 5 枚重ねにしたもの (約 0.2 g) に表 1 に示す食害促進処理を行ったものを試験体として用いた。試験体は食害促進処理後、絶乾し秤量してから試験に供した。

選択摂食試験：不透明のコンテナボックス (ST7; 内寸 158×283×95 mm, 4L) の中に洗浄滅菌した吹上浜の砂 130 g を敷き、イオン交換水 35ml を加えた。これに食害促進処理 (表 1) を施したろ紙をランダムに配置し、イエシロアリ 3.5-4 g を投入し、適宜霧吹きでイオン交換水を噴霧しながら食害試験を行った ($n=4$)。試験体は 1 週間に 1 回程度、ボックス内の位置をランダムにシャッフルして、シロアリの食害が一カ所に偏在する影響を避けた。無処理の試験体が 3 割程度食害された時点で試験体を回収し、絶乾後、試験体重量を測定し、食害率を求めた。

表1 処理区一覧

食害促進		MW	モル濃度 濃度 (w/v)	%濃度
リン系	リン酸1水素2カリウム	174.2	0.05	0.87
	リン酸1水素2ナトリウム	141.96	0.05	0.71
	5'-グアニル酸(5'-グアノシン-リン酸)	363.22	0.01	0.36
	5'-イノシン-リン酸-2Na・H ₂ O	392.17	0.01	0.39
	ヒドロキシアパタイト			1
窒素系	尿素	60.06	0.05	0.30
	L-グルタミン酸	147.13	0.01	0.15
カルシウム	塩化カルシウム	110.98	0.05	0.55
	硫酸アンモニウム	132.14	0.05	0.66
無処理	塩化ナトリウム	58.443	0.05	0.29
	塩化カリウム	74.551	0.05	0.37
	無処理(イオン交換水)			

結果

選択摂食試験の結果を図 1 に示す。無処理区では食害量が平均 46 mg であったのに対し、最も食害の大きかったリン酸 1 水素 2 カリウム処理では 131 mg と約 3 倍になり、次いで 5'-グアニル酸の 88 mg、リン酸 1 水素 2 ナトリウムの 78 mg の順で食害量が多かった。硫酸アンモニウム処理では食害量が無処理の約半分の 25 mg に抑制された。このほかの処理では、無処理区の食害量との間に有意な差は見られなかった。

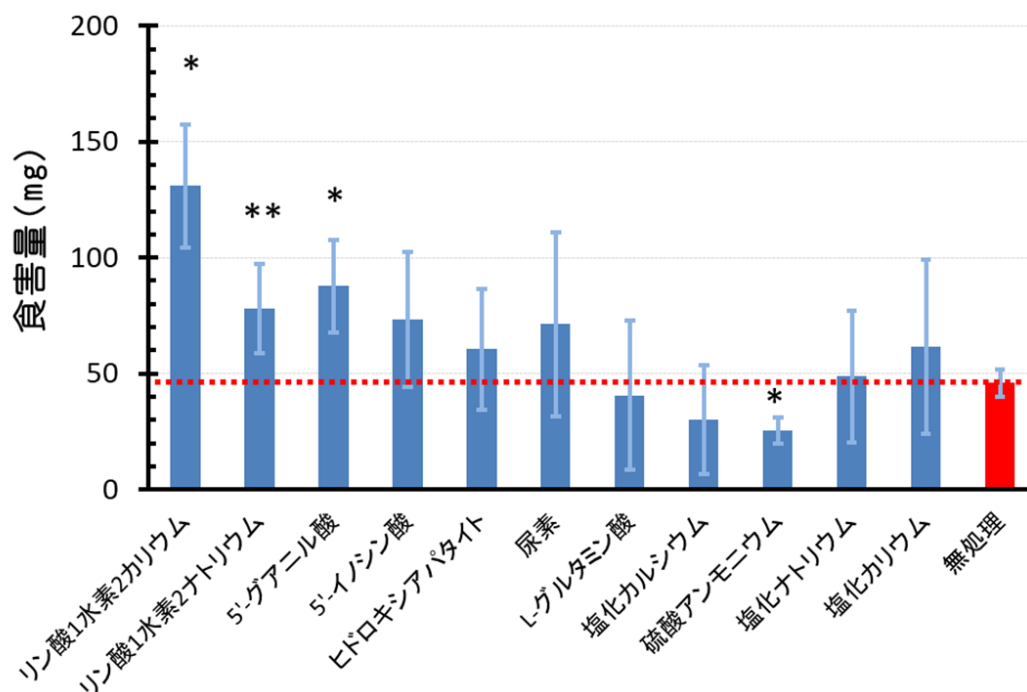


図1 食害促進試験の結果

*は無処理区に対して $0.01 > P$ で有意差あり。

**は無処理区に対して $0.05 > P$ で有意差あり。

今回の試験の結果、シロアリの食害はリン酸系の処理で有意に食害量が増大することが示された。特にリン酸1水素2カリウムでの処理で食害量が増大し、その再現性も高かった。この理由として、シロアリが主食とする木材の元素組成が炭素、酸素、水素がほとんどであるのに対し、シロアリ虫体では核酸やタンパク質を合成するためにその他の多くの元素を必要としており、この中でも核酸を構成するリンが不足していることを示唆していると考えている。

参考文献

- 1) 須原弘登, 中谷誠, 森拓郎, 伊藤貴文(2015) 切り捨て間伐材のシロアリによる生物劣化促進 MOKUZAI HOZON (Wood Protection) 41: 119-128
- 2) 須原弘登・中谷誠・森拓郎・伊藤貴文(2016) 間伐材などの林地残材のシロアリによる劣化促進。第66回日本木材学会大会要旨集。CD-ROM

2-2 品質の確かな製品の加工・供給体制の整備・充実

2-2-1 スギ大径材の伐採高さによる材質の変動と樹幹内強度分布の解明

※小田 久人、森田 秀樹

1. はじめに

スギ人工林の伐採面積は増大しているが高齢級林分も多く、全体としては大径材の生産割合は増加している。スギ材は根元部分の張り出した根張りがあり、従来、材質が不安定であることが指摘されている。大径化に伴い根張り部の大きくなった元玉より製材した構造材の強度や曲がりなどを危惧する声もある。そこで、伐採高さを変えた丸太の材質を検証すると共に、多様な木取りが可能となる大径材で最終用途を考慮した効率的な木取りを検討する基礎資料となる樹幹内強度分布を明らかにする。今年度は、事前に取り組んだ昨年度の結果と合わせ報告する。

2. 実験方法

県内に成育する 46 年生から 50 年生台のスギ民有林 2 か所（林分 A、B とする）においてそれぞれ

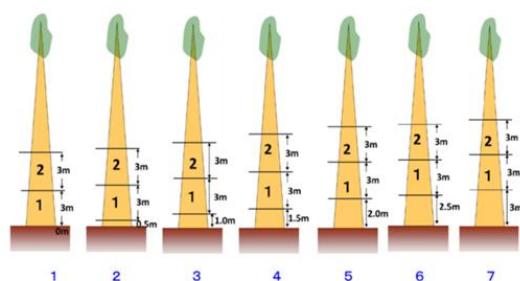


図1 伐採高さと玉切り位置

7本を選び、図1に示すように、伐採高さを0m、0.5mと0.5m間隔に3mまで段階的に伐採し、そこから長さ3mの丸太を連続して2本玉切りした（1番玉、2番玉）。得られた丸太の縦振動ヤング係数（Efr）を測定し、Efrの1番玉に対する2番玉の比を算出した。

3. 結果と考察

得られた丸太の概要を表1に、また、Efrの比を伐採高さとの関係で図2に示す。年輪数は少ないが末口直径がやや大きい林分Bの方が肥大成長は旺盛であると言える。Efrは両林分で差は見られるが、従来報告されているスギ丸太ヤング係数の範囲内である。

Efrの1番玉に対する2番玉の比は、伐採高さ0mの場合、すなわち、地面に接して伐採した場合に林分Aで特に高くなっているが、0.5m、1.0mと地上高が上がるに従い両林分間の差異はなくほぼ一定に推移している。このことは、地上高の低い部位は、それより高い部位に比べてヤング係数が低い傾向にあるが、地上高が0.5mを超えるとほぼ一定していることを示す。

林分	番玉	末口		密度	Efr
		直径 cm	年輪数	kg/m ³	kN/m ²
A	1	39 ~ 46	40 ~ 48	686 ~ 903	5.0 ~ 6.8
	2	34 ~ 40	37 ~ 43	691 ~ 889	6.0 ~ 7.3
B	1	46 ~ 54	37 ~ 42	608 ~ 725	3.2 ~ 5.0
	2	42 ~ 48	33 ~ 38	616 ~ 723	3.6 ~ 5.5

注記：データの範囲（最小値～最大値）

表1 丸太の概要

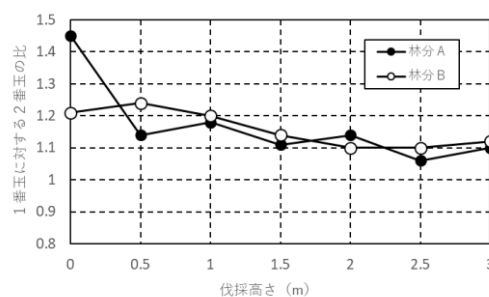


図2 伐採高さと Efr の比の関係

2-2-2 ラミナ及び面材で構成された新たな木質材料 Ply Core CLT の開発 I —Ply Core CLT の特徴と構成部材の強度性能評価—

(宮崎大学) 藤元嘉安、(宮崎木技セ) 森田秀樹、中谷誠 (忠南大学) 姜錫求
(大三商行サンテック事業部) 村杉孝一、黒木誠, (一山木材) 橋口博彌、外山均

【緒言】

近年、欧米を中心として面材料である直交集成板（以下、CLT）の生産量が急増し、2018年には約100万 m^3 と予想されている。CLTは、中高層建築物を木造で実現でき、軽量であることにより輸送・建設経費が削減され、高い断熱性を有するなど多くの利点を有するため、今後ますます普及するものと予想されている。我が国においては、現状でのCLT生産量は年間14,000 m^3 （平成29年木材統計、林野庁）であり、2017年の世界生産量の1.6%を占めるに過ぎず、欧米に比べると極めて少ない。これらの原因として、非効率な生産工程が挙げられる。ほとんどの工場はラミナを幅はぎ（ラミナの幅方向の接着）してCLTを製造しており、この幅はぎ工程が生産性を低下させる要因の1つとなっていると考えられる。そこで、外層をスギあるいはヒノキラミナ、内層をスギLVLあるいは合板等の面材として製造工程を簡略化し、生産性を向上させるとともに、製品の性能のバラツキを抑え、品質をより向上させた新たな木質材料（以下、Ply Core CLT）の開発を進めている。本研究では、Ply Core CLTを構成するスギLVL及びヒノキラミナの強度等級区分及び強度性能の評価を行った。

【Ply Core CLT の特徴】

従来のCLTとPly Core CLTの構成の違いを図1に示す。従来のCLTの弱軸（直交層）には、一般的にラミナを幅はぎした層が用いられるのに対し、Ply Core CLTでは面材が用いられ、製造効率が大きく向上する。また、LVLや合板等の面材は優れた寸法安定性を有しているため、表層のラミナと積層接着したPly Core CLTは、CLTに比べてさらに高い寸法安定性を有することが期待される。

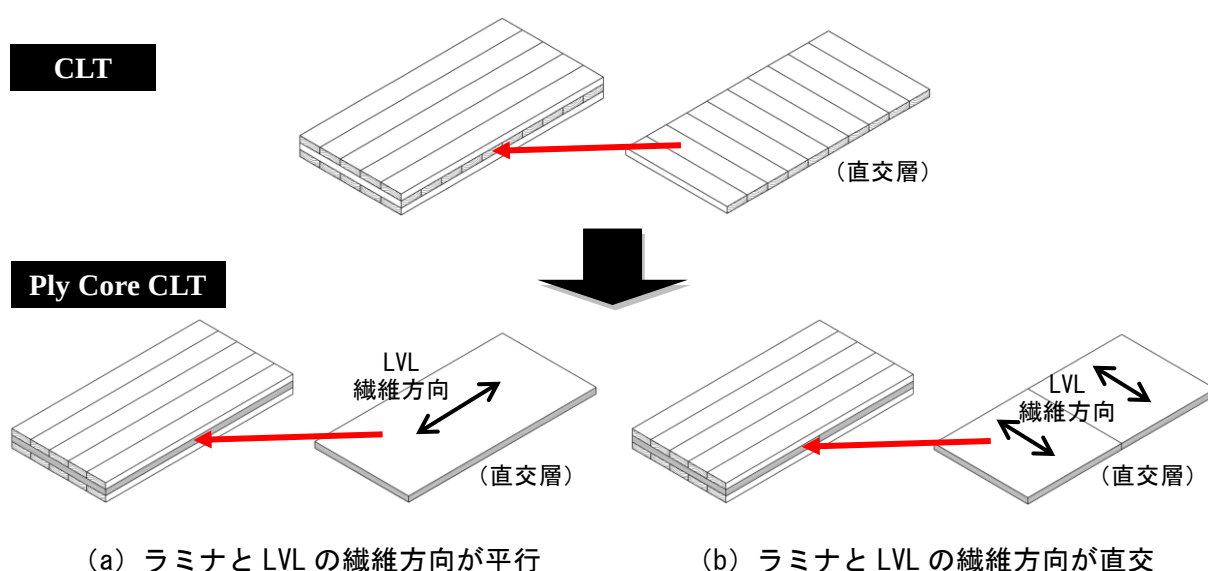


図1 CLTとPly Core CLTの構成の違い

【試験体及び試験方法】

(1) スギLVLの強度等級区分及び強度試験

造作用LVLのJAS認定工場において、宮崎県産スギ丸太を用いた単板厚さ（ロータリーレース切削・乾燥後）4.2mm、8層構成のLVL（幅500mm、厚さ30mm、長さ3,000mm）を製造した。なお、ここでのLVLは、全ての単板の繊維方向が同一であり、直交単板のない構成とした。製造工程において任意に抽出したLVL200枚に対し、縦振動ヤング係数（ E_a ）を基準として強度等級区分を行った。

区分後、 $E_d=2.5\sim7.0\text{kN/mm}^2$ のLVLを20枚選別し、曲げ（繊維方向）、縦圧縮及び縦引張試験に供した。さらには、 E_d を測定した幅1,000mm、厚さ30mm、長さ2,500mmのLVL2枚について、曲げ（繊維直角方向）、横圧縮及び横引張試験を実施した。試験結果を表1に示す。

(2) ヒノキラミナの強度等級区分

九州産ヒノキ丸太を製材・乾燥したラミナ（幅115mm、厚さ34mm、長さ485～798mm）1,313枚に対し E_d を基準に強度等級区分を行った。区分後、 $E_d=10\sim15\text{kN/mm}^2$ のラミナを選別し、フィンガージョイントにより縦継ぎを行い、幅100mm、厚さ29mm、長さ3,000mmに仕上げた。

【結果および考察】

(1) スギLVLのヤング係数分布

スギLVLの E_d のヒストグラムを図2に示す。平均値 7.3kN/mm^2 、変動係数9.1%を示し、過去得られたスギラミナ¹⁾や後述するヒノキラミナと比較してばらつきが小さい。これは、木材をエレメントに細分し再構成した木質材料の特徴であると言え、Ply Core CLTを構成する部材としてスギLVLを E_d で強度等級区分した場合、区分範囲によって

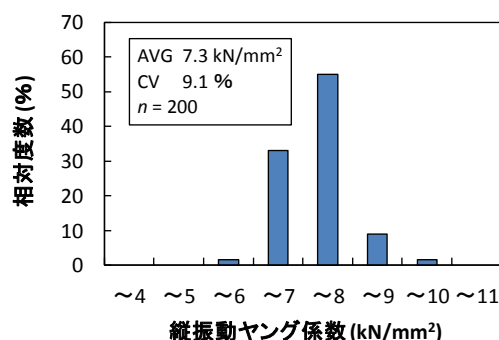


図2 スギLVLのヤング係数分布

は歩留り向上が期待できる。

(2) スギLVLの強度性能

表1にスギLVLの強度特性値を示す。各強度（平均値）の繊維直角方向に対する繊維方向の比（ $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ ）は、曲げが37.6、圧縮が5.6、引張が32.2となり、曲げの異方性が最も大きく、圧縮が小さい結果となった。

E_d と各強度特性値との相関関係については、曲げ（繊維直角方向）及び横引張以外で危険率1%もしくは5%で有意な相関が認められ、特に縦引張で高い相関関係が認められた（単相関係数 $r=0.54$ ）。

(3) ヒノキラミナのヤング係数分布

ヒノキラミナの E_d のヒストグラムを図3に示す。製材であるため比較的大きなばらつきを示すものの、 E_d は過去得られたスギラミナの結果¹⁾を大きく上回り、CLTの日本農林規格に定める外層として使用可能な最上位等級（M120AもしくはM120B）ラミナが歩留り良く得られるものと考えられる。

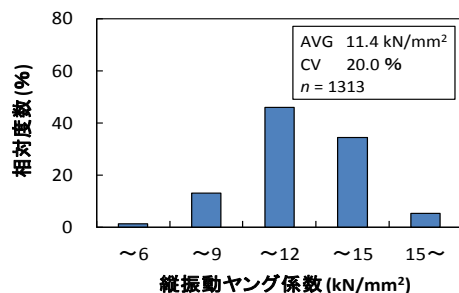


図3 ヒノキラミナのヤング係数

表1 スギLVLの強度特性値

曲げ	繊維方向			繊維直角方向		
	ρ kg/m ³	E_d kN/mm ²	$\sigma_b //$ N/mm ²	ρ kg/m ³	E_d kN/mm ²	$\sigma_b \perp$ N/mm ²
AVG	385	6.7	29.6	390	0.22	0.79
MAX	423	8.1	39.9	413	0.28	1.25
MIN	360	5.6	19.8	371	0.18	0.41
STD	12.7	0.6	5.5	11.7	0.02	0.16
CV(%)	3.3	8.4	18.6	3.0	8.5	20.1
n	40	40	40	33	33	33
圧縮	繊維方向(縦圧縮)			繊維直角方向(横圧縮)		
	ρ kg/m ³	E_d kN/mm ²	$\sigma_c //$ N/mm ²	ρ kg/m ³	E_d kN/mm ²	$\sigma_c \perp$ N/mm ²
AVG	388	6.7	30.3	392	0.22	5.4
MAX	422	8.1	40.2	410	0.28	6.1
MIN	346	5.6	23.1	366	0.18	4.6
STD	15.7	0.6	3.6	12.2	0.02	0.4
CV(%)	4.0	8.4	11.8	3.1	8.7	6.9
n	40	40	40	30	30	30
引張	繊維方向(縦引張)			繊維直角方向(横引張)		
	ρ kg/m ³	E_d kN/mm ²	$\sigma_t //$ N/mm ²	ρ kg/m ³	E_d kN/mm ²	$\sigma_t \perp$ N/mm ²
AVG	381	6.5	14.8	390	0.22	0.46
MAX	404	7.4	18.4	405	0.25	0.58
MIN	351	5.5	11.0	367	0.19	0.31
STD	14.0	0.5	1.7	11.0	0.02	0.07
CV(%)	3.7	8.2	11.6	2.8	8.0	15.6
n	40	40	40	16	16	16

【参考文献】

1) 森田秀樹ほか：木材工業，64(9)，411-415(2009)

2-2-2 ラミナ及び面材で構成された新たな木質材料 Ply Core CLT の開発Ⅱ —Ply Core CLT の製造と曲げ強度性能—

(宮崎木技セ) 森田秀樹、中谷誠、(宮崎大学) 藤元嘉安、(忠南大学) 姜錫求
(大三商行サンテック事業部) 村杉孝一、黒木誠、(一山木材) 橋口博彌、外山均

【緒言】

本研究では、外層をスギあるいはヒノキラミナ、内層をスギ LVL あるいは合板等の面材を利用することにより、製造工程を簡略化し、生産性を向上させるとともに、製品の性能のバラツキを抑え、品質をより向上させる新たな木質材料（以下、Ply Core CLT）の製造条件を検討した。さらには、試作した Ply Core CLT の曲げ強度性能を評価した。

【試験体及び試験方法】

(1) Ply Core CLT 製造のための構成部材の歩留りの検討

日本農林規格(以下、JAS)に定める直交集成板（以下、CLT）に基づき、強度等級区分を行った。強度等級区分は縦振動ヤング係数（以下、 E_d ）により行い、 E_d 以外の基準（材縁部節径比等）は考慮しなかった。

(2) Ply Core CLT の構成

スギ LVL 及びヒノキラミナの強度等級区分結果を考慮し、Ply Core CLT の構成を検討した。なお、プレス熱盤寸法の制限により、想定する Ply Core CLT は幅 500mm、厚さ 88mm、長さ 3,000mm の 3 層 3 プライとした。ここで、表層(ヒノキラミナ)は幅方向に 5 枚並べた構成とし、内層（スギ LVL）は 1 枚のみで構成される。また、ラミナと LVL の繊維方向が平行の構成(以下、平行構成)と、直交の構成(以下、直交構成)の 2 種類とした。

(3) Ply Core CLT の製造

検討した構成に従い、Ply Core CLT を 12 体（平行構成 6 体、直交構成 6 体）試作した。水性高分子イソシアネート樹脂接着剤(オーシカ、ピーアイボンド 5340)を使用し、熱盤温度 50℃としたプレス（山本鉄工所、熱盤寸法 550×3,100mm、総圧力 1,470kN）を用いて、積層方向の圧縮圧力 1.0N/mm²、側圧 0.5 N/mm² で約 1 時間の圧縮を行った。なお、接着剤はヒノキラミナには塗布せず、スギ LVL の両面にそれぞれ塗布量 300g/m² で塗布し、ヒノキラミナの幅はぎは行っていない。

(4) Ply Core CLT の曲げ試験

幅 500mm、厚さ 88mm、長さ 3,000mm の Ply Core CLT から、厚さはそのまま幅 300mm、長さ 2,070mm の曲げ試験体を採取した。その後、万能材料試験機を用いて、スパン 1,890mm、荷重点間距離 630mm の 3 等分点 4 点荷重方式で曲げ試験を行った。

【結果および考察】

(1) Ply Core CLT 構成部材の歩留り

図 1 にヒノキラミナの JAS に基づく強度等級区分結果を示す。JAS には、ラミナのヤング係数に上限値がない A 種構成と、下限値及び上限値がある B 種構成があり、いずれも各等級のヤング係数において重なる範囲が存在するため、図 1 は今回測定した全ラミナ 1,313 枚に対する各等級の適合度（%）

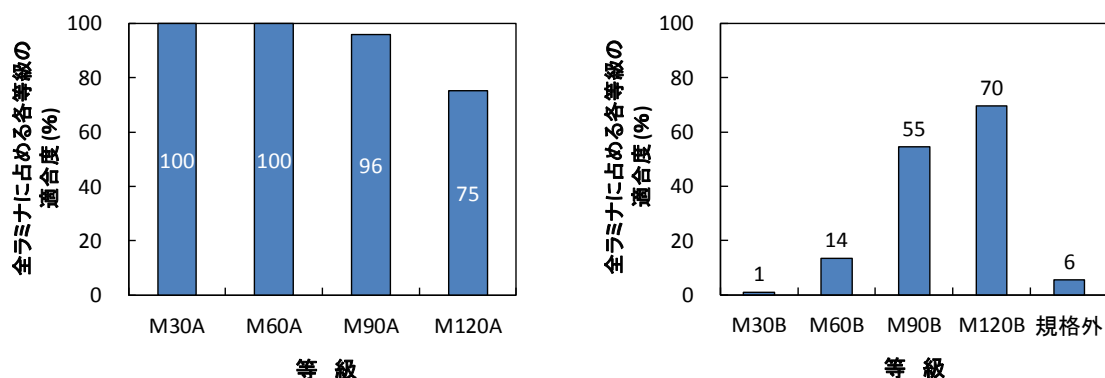


図 1 ヒノキラミナの CLT JAS 規格に基づく強度等級区分結果(左：A 種構成、右：B 種構成)

を示している。今回測定したヒノキラミナは A 種構成の場合、最も高いグレードの M120A 等級でも約 75% が満足する結果となり、高い歩留りを示した。これに対し、上限値がある B 種構成では、M120B 及び M90B 等級が最も高い歩留りを示し、それぞれ 70% 及び 54% となった。JAS で定める最も高い強度等級の CLT は、外層が M120A または M120B である。今回と同等の品質を有するヒノキラミナが常時入手可能であると仮定した場合、M120A または M120B を外層とする Ply Core CLT が十分に製造可能であると言える。

図 2 にスギ LVL の強度等級区分結果を示す。ヒノキラミナと同様に、A 種及び B 種構成での評価としている。A 種構成では、M30B 及び M60B 等級において全てのラミナが適合し、B 種構成では M60B 等級ではほぼ全てのラミナが適合する。すなわち、内層であるスギ LVL の強度等級は、M60A または M60B を用いることが現実的な選択であると言える。

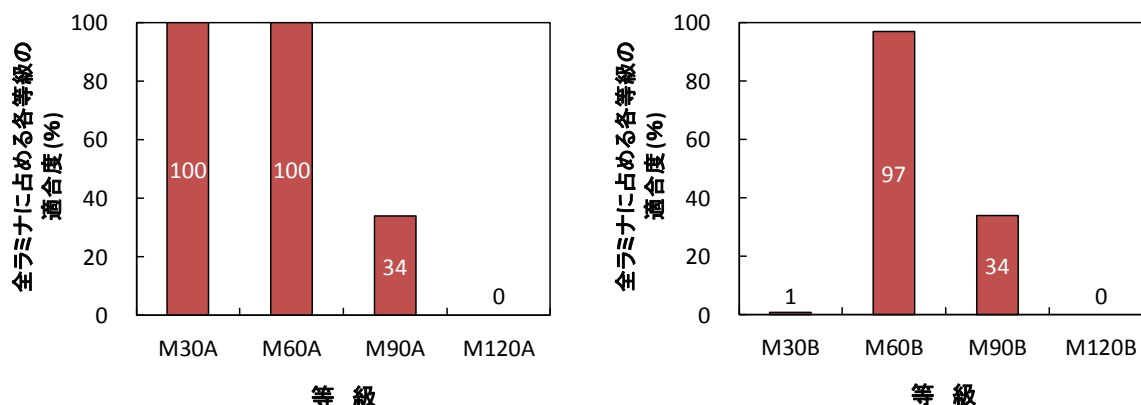


図 2 スギ LVL の CLT JAS 規格に基づく強度等級区分結果(左: A 種構成, 右: B 種構成)

(2) Ply Core CLT の構成

図 3 に本実験で設定した Ply Core CLT の構成を示す。ここでは部材のヤング係数に上限がある B 種構成とし、ヒノキラミナは M120B 等級とした。一方、スギ LVL は、第 1 報の LVL 試験の結果を元に曲げヤング係数の範囲を決定し、平行構成が M60B 等級、直交構成が $0.1 \sim 0.2 \text{ kN/mm}^2$ とした。

①ラミナとLVLの繊維方向が平行構成

L1	L1	L1	L1	L1
L2(1)				
L1	L1	L1	L1	L1

	記号	部材	曲げヤング係数
外層	L1	ヒノキラミナ	$10 \sim 15 \text{ kN/mm}^2$
内層	L2(1)	スギLVL	$5 \sim 9 \text{ kN/mm}^2$

②ラミナとLVLの繊維方向が直交構成

L1	L1	L1	L1	L1
L2(2)				
L1	L1	L1	L1	L1

	記号	部材	曲げヤング係数
外層	L1	ヒノキラミナ	$10 \sim 15 \text{ kN/mm}^2$
内層	L2(2)	スギLVL	$0.1 \sim 0.2 \text{ kN/mm}^2$

図 3 Ply Core CLT の構成

(3) Ply Core CLT の曲げ強度性能

曲げ試験結果を表 1 及び表 2 に示す。平行構成の曲げヤング係数及び曲げ強さは、直交構成を大きく上回った。また、破壊形態は、平行構成ではヒノキラミナの曲げ破壊であったのに対し、直交構成ではスギ LVL の水平せん断破壊であった。

表 1 ラミナとLVLの繊維方向が平行構成の曲げ試験結果

	曲げヤング係数 kN/m^2	最大荷重 kN	曲げ強さ N/mm^2
平均値	11.0	59.1	48.9
最大値	11.3	69.6	57.7
最小値	10.7	54.1	44.8
標準偏差	0.2	5.6	4.7

表 2 ラミナとLVLの繊維方向が直交構成の曲げ試験結果

	曲げヤング係数 kN/m^2	最大荷重 kN	曲げ強さ N/mm^2
平均値	7.3	32.4	26.8
最大値	7.6	35.9	29.7
最小値	7.1	27.6	22.8
標準偏差	0.2	2.9	2.4

2-3 県産材の需要・販路等の開拓

2-3-1 宮崎県産スギを用いた CLT の長期性能(その 4)

一曲げクリープに及ぼす外周条件変動の影響について

※荒武 志朗、松元 明弘

【はじめに】

筆者らは、宮崎県産スギ CLT(Cross laminated timber)の長期設計数値〔クリープ調整係数、荷重継続時間調整係数(以下、DOL 係数)〕を明らかにすることを主な目的として、2015 年から幅はぎラミナと幅はぎを行わないラミナによる CLT の水分非平衡下における曲げクリープ試験¹⁾と曲げクリープ破壊試験²⁾(以下、クリープ試験、DOL 試験)を実施してきた。これらのうち DOL 試験については、DOL 係数の推定の困難さを認めるとともに、同試験に代わる方法としてクリープ関数³⁾の有効性を示した。また、クリープ関数試験で求めた DOL 係数が概ね一般的な製材や集成材と同様の数値を示すことも確認した。ここでは、曲げクリープ特性に及ぼす外周条件変動の影響を検討するとともに、クリープ調整係数推定の可能性についても検討した。

【試験体】

CLT のラミナには全て宮崎県産スギを供試し、長期試験、同試験の負荷荷重を決めるための短期試験ともに同一仕様とした。具体的には、ラミナ構成を異等級構成 Mx60、B 種構成とし、表層ラミナの繊維方向が長さ方向となる強軸仕様とした。接着剤には、ラミナの積層方向、幅方向、縦継ぎともに水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた。ただし、幅方向については、実用上の比較をするために接着しない場合についても検討した(以下、幅はぎあり、幅はぎなし)。クリープ試験体は 7 層 7 プライ(幅 120、厚さ 175、長さ 4000 mm)とし、幅はぎありでは 2 枚の CLT パネル(短辺 2000mm、長辺 4000 mm)から 10 体、幅はぎなしでは 1 枚の CLT パネル(短辺 2232mm、長辺 4030 mm)から 10 体を採取した(何れも長期試験用、短期試験用各 5 体)。

【実験方法】

クリープ試験は、スパン 3675 mm、荷重点間 1225 mm の 3 等分点 4 点荷重の条件で実施した(図 1 参照)。この場合、たわみ量は、材せい方向の収縮や支点めり込みの影響を除去するため、中央たわみから 2 カ所の支点変位の平均値を差し引いた値とした。また、応力レベルは、前述した CLT パネルから切り出したマッチング試験体(各 5 体)による短期試験(曲げ試験)で得られた各破壊荷重の $1.1/3$ (荷重継続時間調整係数 $1.1/2$ に $2/3$ を乗じた値)とした(平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1446 号)。なお、短期試験体の曲げ強さは、幅はぎありで 21.5 N/mm^2 、幅はぎなしで 18.9 N/mm^2 、全乾法による含水率は、幅はぎありで 12.5%、幅はぎなしで 10.6%であった(何れも 5 体の平均値)。



図 1 曲げクリープ試験風景

ここで、後述する様に試験の過程(以下に示す第 1 ステージ)で、一般的な製材や集成材よりもたわみ増減に対する外周条件変動の影響が大きい傾向を示した(図 2 参照)。そこで、この原因を特定するために試験の構成を変更し、第 2 ステージと第 3 ステージを追加した。

第 1 ステージ： 通常の条件(防湿処理なし)で 1 年間載荷(幅はぎありと幅はぎなし各 5 体)

第 2 ステージ： 除荷(1 か月間)

第 3 ステージ： 第 1 ステージ試験体のうち、幅はぎありと幅はぎなし各 2 体を供試、1 体は弱軸木口面に防湿処理を施し(アルミテープ貼り)、もう一体は無処理の状態でさらに 1 年間載荷。

【結果および考察】

1 第 1 ステージ

図 2 に第 1 ステージにおける相対クリープ(全たわみ/初期たわみ)の変動を示す。同図を見ると、幅はぎありと幅はぎなしの差はさほどは認められないが、何れも春頃から夏頃にかけてたわみが著しく増加している。この傾向は、これまでに報告⁴⁾されてきた製材(乾燥材)や集成材よりも明らかに顕著である。原因として、一つには実際の応力レベルがクリープ限度($0.4 \sim 0.5$)³⁾を超えていた可能性も無いとは言えないが、曲線の後

半部における安定した挙動から、その可能性は必ずしも高くない。一方、CLT では、部材構成上強軸と弱軸の両方に木口面が現れる。このため、湿度変動に対する含水率の増減が製材や集成材よりも顕著になり、結果として吸湿過程の剛性低減、あるいは脱湿過程のメカノソープティブ変形の増加を誘導した可能性は否定出来ないだろう。

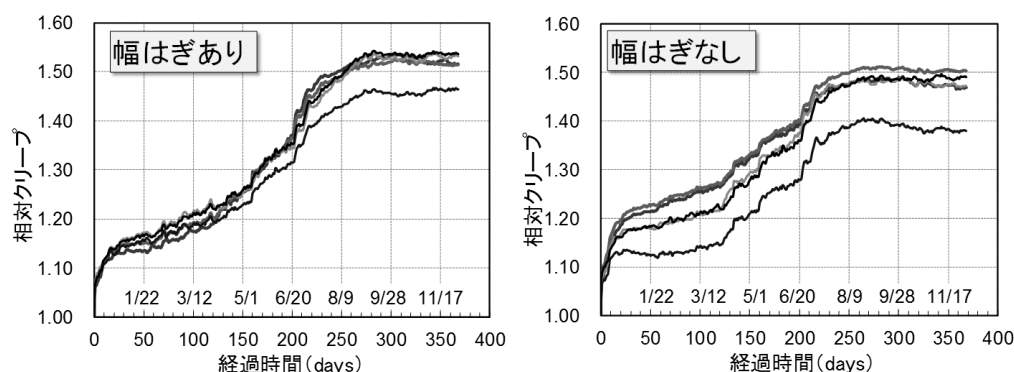


図2 第1ステージにおける相対クリープの変動

2 第3ステージ

図3に第3ステージにおける相対クリープの変動を示す。上述した推察が正しいとすれば、少なくとも弱軸部の木口面(長手方向)に防湿処理を施した試験体(図中の弱軸テープあり)の方が同処理を施していない試験体(図中の弱軸テープなし)よりもクリープたわみが少なく、安定した挙動を示す筈である。ところが、この予想に反して両者の差は殆ど認められず、何れも全期間を通して非常にフラットに近い曲線を描いている。この原因は、「弱軸テープなし」に関して言えば、木材の吸湿過程のクリープが過去の変形履歴の影響を強く受けること⁵⁾、換言すれば長期的には吸脱湿の影響が微少となることが考えられる。この考察が正しいとすれば、「弱軸テープあり」と「弱軸テープなし」の差は、第3ステージではなく第1ステージで顕著に表れることになる。

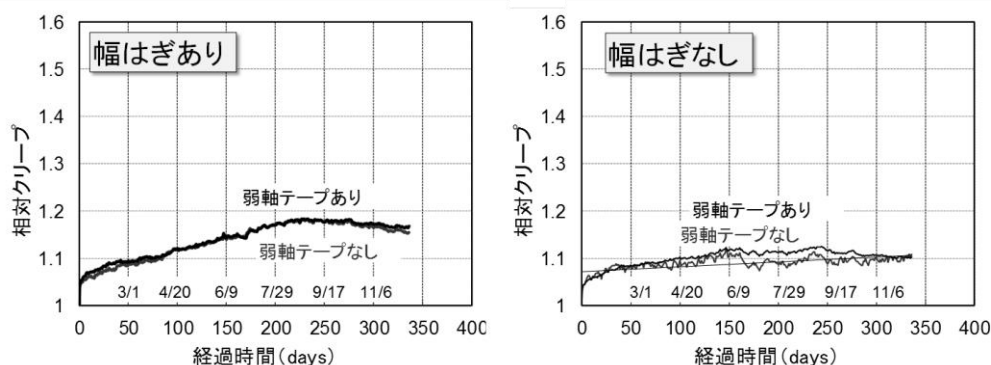


図3 第3ステージにおける相対クリープの変動

【おわりに】

以上示した様に、CLT は吸脱湿過程のたわみ変動が顕著になる傾向を示すが、少なくとも長期的なサイクル(例えば年単位)では、その傾向は次第に収まる様である。ただし、弱軸部の吸脱湿との関連からこの傾向を議論するためには、当初から防湿処理材と無処理材を供試し、傾向の差異を確認する必要がある。さらに、CLT は本来は面材としての利用が本筋であり、本条件のように軸材料仕様でクリープ調整係数を議論することも必ずしも適切とは言えないだろう。これらを踏まえて新たな条件を設定し、現在追加試験を実施中である。結果は次報で報告したい。

【文献】

1)荒武ら:宮崎県木材利用技術センター業務報告書,2015, p.39-40、2)荒武,深田:宮崎県木材利用技術センター業務報告書,2017, p.38-39、3) 杉山英男:「建築構造学大系 22 木構造」, 彰国社, 1971, pp28-31、4) たとえば、荒武ら:木材学会誌,48(4)233-240(2002)、5)徳本ら:材料 47(4)374-379(1998)。

2-3-2 宮崎県産スギCLT普及のための県産スギ平行積層集成板 (〈仮〉MLT:Miyazaki Laminated Timber)を使用した小規模建築物用耐力壁の開発

山下 かすみ、中谷 誠、鈴木 利亮

1. 目的

現在のCLTの主な使用用途は中大規模の公共建築物であり、重機による施工が一般的である。また、CLT(直交集成板)の日本農林規格では、CLTの規格として3層以上の構造を持たせることが適用の範囲とされている。さらに、ラミナの厚さは12mm以上50mm以下とされており、総厚さ36mm(ラミナ厚さ12mmの3層)がCLTの最薄の規格となる。しかし、本県でCLT製造が可能な工場では総厚さ54mm(ラミナ厚さ18mmの3層)が最薄の規格であり、例えば幅1,820mm、高さ2,730mmの耐力壁だとその重量は約100kgとなり、人力での施工は難しい。

以上を踏まえ本研究では、CLTより軽量で、なおかつ、CLT製造機械において製造可能なMLT(MLT:Miyazaki Laminated Timber)を使用した高耐力で施工性の良い耐力壁の提案を目的とした。

※ MLTとは、ひき板または小角材の繊維方向を互いに平行に並べて幅はぎし、各々の幅はぎの位置が重ならないように積層接着したもので、2層構造である。

2. 実験

2.1 試験体と試験条件

本試験の耐力壁は4条件とした。試験体数は各条件1体(1条件のみ3体)とした。各試験体の主な仕様は表1に示すとおりである。表中のLはビス長さ、@はピッチであり、ビスは千鳥配置とした。試験体(MLT3C)の概要を図1に示す。MLTは樹種がスギ、ラミナ構成が2層(総厚さ36mm)、強度区分がM60Aとした。各接合はビス留め接合とした。試験体の特徴として、MLT3C及びMLT3CⅡ試験体は施工性を考慮し、MLTパネルの構成を3段組とした。これによりMLTパネル1枚あたりの重量が軽くなり、現場において無理なく施工できる。また、室内側のMLTがあらわしで使用できるように、受材を配してMLTと柱をビス留めすることでビス頭などの金物が室内側に出ない接合とした。また、MLTⅡ試験体は長さを揃えただけの1枚もののMLTを用いた。MLTと柱の接合は、受材を用いず直接MLTと柱をビスにより接合するだけの容易な仕様とした。なお、全試験体においてMLTの繊維方向を鉛直にして使用した。

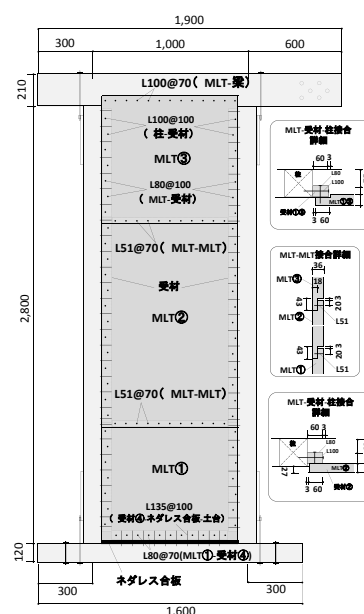


図1 試験体概要 (MLT3C)

表1 試験体条件

試験体名	試験体数	MLT構成	ビス接合			
			柱-受材	受材-MLT	MLT-MLT	梁-MLT、土台-MLT※
MLTⅡ	3	1枚	L80@100	—	—	L80@100
MLT3C	1	3段組	L100@100	L80@100	L51@70	L100@70、L135@100
MLT3CⅡ	1	3段組	L100@100	L70@100、L80@100	L51@70	L100@70、L135@100

※) 3段組の場合、土台-ネダレス合板-受材

2. 2 試験方法

試験は、柱脚固定式試験法を採用し、土台を試験装置に緊結して梁端部を水平方向に加力することで行った。試験は実大壁せん断試験機（（株）理研機器社製、容量押し 500kN、引き 250kN）により行った。加力は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30rad の正負変形時とし、繰り返し回数は、1/450 から 1/50rad までは 3 回、1/30rad は 1 回とした。加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80% に荷重が低下するまで、もしくは見かけのせん断変形角が 1/15rad 以上に達するまで実施した。

2. 3 試験結果と考察

試験体の破壊性状は、ほぼ全ての試験体で MLT の割れ破壊が発生した（MLTC II 試験体 3 体のうち 1 体のみ割れ破壊が発生）。また、MLT3C 及び MLT3C II 試験体においては、受材と MLT を留めるビスの曲げ及びせん断破壊、面材同士のズレやパネルの跳ね出しが見られた。図 2 に終局状態の試験体の全景を示す。

全試験体の荷重と見かけのせん断変形角の関係について、最終加力方向の包絡線を図 3 に示す。また、試験結果より算出した特性値の結果を表 2 に示す。なお、表 2 の短期基準せん断耐力 P_o 及び壁倍率は、試験体数が各条件（MLTC II 試験体を除く）1 体のため、ばらつき係数を考慮していないため参考値である。

図 3 及び表 2 より、1 枚面の MLTC II 試験体では壁倍率 7 倍以上の高い性能を示した。逆に、3 段組の MLT3C 及び MLT3C II 試験体では壁倍率が低位に留まった。一般的には、MLT を 3 段組にしたことにより、1 枚面よりも変位が抑えられ、著しい荷重の低減は考えにくい。が、本試験では MLT の割れ破壊が先に発生したことにより荷重が低下し、その後も荷重回復することなく終局した。また、構造特性係数においては 1 枚面のほうが 3 段組よりも値が小さく、実験においてもほぼ全ての試験体で変形角 1/15rad までに荷重が最大荷重の 80% 以下に低下しないなど、高い靱性を示した。

本試験結果より、1 枚面の MLT 耐力壁は一般的な CLT 耐力壁（壁倍率 7 倍以上）と同程度並の耐力を有する耐力壁として構成できることが分かった。今後は、割裂防止の仕様検討及び 3 段組における仕様改良の検討を行う必要がある。

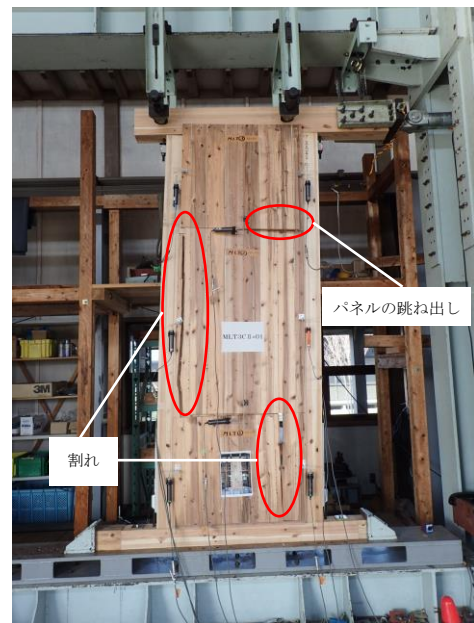


図 2 MLT3C II 試験体の終局状態

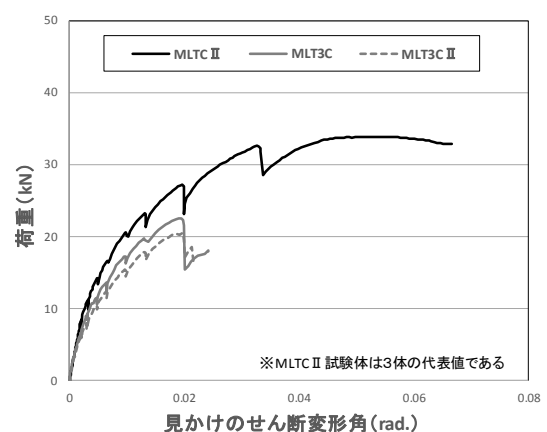


図 3 荷重と見かけのせん断変形角の関係

表 2 全試験結果

() 内は $\alpha=0.75$ で計算

試験体名	① P_y	② $P_u \times (0.2/D_s)$	③ $2/3 \times P_{max}$	④ P_{120}	短期基準せん断耐力 P_o (kN)	壁倍率	P_{max}	P_u	K	D_s	δ_y	δ_u
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	—	最大耐力 (kN)	終局耐力 (kN)	初期剛性 (kN/rad)	構造特性係数	降伏変形角 ($\times 10^{-3}$ rad)	終局変形角 ($\times 10^{-3}$ rad)
MLTC II*	18.2	18.3	22.5	19.1	18.2	9.3 (7.0)	34.5	30.9	2392	0.33	7.73	65.9
MLT3C	12.1	8.56	15.0	16.2	8.56	4.4 (3.3)	22.5	19.2	2364	0.45	5.11	24.2
MLT3C II	10.9	7.22	13.7	14.3	7.22	3.7 (2.8)	20.5	18.0	2119	0.50	5.13	21.3

※ MLTC II 試験体は 3 体の平均値で、その短期基準せん断耐力 P_o 及び壁倍率はバラツキを考慮した数値である

1 はじめに

国産材の利用を促進するため、平成 22 年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」（以下、「法」と記す）が施行され、国や地方公共団体が整備する公共建築物等（庁舎、学校、病院等）については可能な限り木造化又は内装等の木質化に努めなければならないとの考えが示されました。

宮崎県木材利用技術センターでは、法施行前から様々な公共建築物等の設計に関する技術支援を行ってきましたが、法施行に伴い、公共建築物の整備における木材利用の機会が増え、技術相談も増えると考え、平成 25 年度に「木構造相談室」を設置し、公共建築物等の木造化・木質化に関する情報提供や技術支援を行ってきました。

○過年度の技術支援

平成 29 年度に完成した小林市新庁舎において、木材調達、設計プラン等の助言、耐力壁の強度試験を当センターにて行いました。



（小林市新庁舎議会棟 全景）



（小林市新庁舎議会棟 議場）

○今後完成予定のプロジェクト

宮崎県防災拠点庁舎で使用予定の C L T 耐力壁の強度試験（接合部のめり込み確認）を当センターで実施しています。



（正面イメージ）



（エントランスイメージ：県産材による内装木質化）

2 木構造相談室の業務

公共建築物等の木造化・木質化を促進させるためには、発注者が木材利用促進の背景や意義、地域材活用の効果について理解する必要があります。また、発注者が木造建築物の実現に向けての木材調達（地域材活用）の方法、設計（維持管理含む）の手法、施工（品質管理含む）の方法を理解する必要があります。特に木材調達（地域材活用）については、発注者と設計者、林業関係者、施工業者等が連携し計画的に進めることが重要です。

一方で、発注者である市町村の中には、建築技術者が配置されていなかったり、建物整備事業主管部局、建設部局、林務部局の連携が十分とれていないなどの体制上の課題をもつ市町村もあります。

木材利用技術センターの「木構造相談室」では、市町村における公共建築物が木造化・木質化され、その事業が円滑に進捗できるよう、木材利用促進の普及啓発を行うとともに、計画から施工までの一連の工程における適切な情報提供や技術指導、助言等の支援を行っています。また、大規模木造建築物の設計にあたり新たな工法を採用する場合は構造計算において必要となる実証実験を行っています。

3 平成 30 年度の木構造相談室

県内市町村の施設整備関係部局を訪問し、公共建築物の木造化・木質化の取組、今後の建物整備計画など、建物整備事業の執行体制（予算作成から工事完了までの流れ）について聞き取り調査を行うとともに木材利用促進の普及啓発を行いました。なお、建築物の設計や工事が進捗している市町村については、情報提供、課題の聞き取り調査や確認等を行いました。

また、他都道府県の木材利用促進の取り組みを調査したところ、その多くで公共建築物の木造化・木質化に向けたマニュアルを整備おり、本県においてもマニュアルというツールを使用した情報提供が有効であることから検討を進めました。

4 成果

各市町村の建物整備計画と事業執行体制を把握すること、木材利用促進の普及啓発と技術支援を計画的に実施することが可能になりました。

各市町村の公共建築物の木造化・木質化にあたっての課題を把握することができたので、対応策を検討することが可能になりました。

また、他都道府県の木材利用促進の取り組みを参考に、宮崎県内の公共建築物建設事業担当者向けに「公共建築物の木造・木質化推進のための技術支援マニュアル（案）」を作成しました。今後は市町村に本マニュアルを活用して頂くことで、公共建築物の木造化・木質化に向けた検討が進むと考えております。

さらに、今後も事業執行体制、設計及び施工における課題の整理と解決策の検討を行い、普及啓発や情報提供とともに、有効な解決案を示した技術支援等を行うことができれば、公共建築物の木造・木質化は促進されと考えます。

中谷 誠、荒武志朗
 広島大学 森 拓郎
 大分大学 田中 圭

【緒言】

公共建築物の木造化に関する法律が制定されるなど、中・大規模建築物を木造で建築する事例が増加している。これらの建物は、長期間にわたり安全に使用できることが求められるケースが多い。このため中・大規模建築物の設計において、接合部は短期的のみならず長期的な安全性が求められるにもかかわらず、その検討例は極めて少ない。そこで本研究では、中・大規模木造建築物に使用されているラグスクリューボルト（以下、LSB）を用いた接合形式において、その主な耐力発現機構である引張性能についてクリープによる変形特性の解明を試みた。

【実験方法】

実験に使用した LSB はネジ山径が 25mm、ネジ谷径が 20mm、ネジ山ピッチが 10mm、ネジ有効長さが 190mm（全長 250mm）および 240mm（全長 300mm）、そして LSB 内部の雌ネジの直径が 12mm であった(図 1 参照)。木質材料は宮崎県産のスギ構造用集成材、強度等級が E65-F225、断面寸法が 120mm x 210mm を用いた。供試体は、断面中央部に加工した直径 22mm の先穴に LSB を埋め込んだものとした。

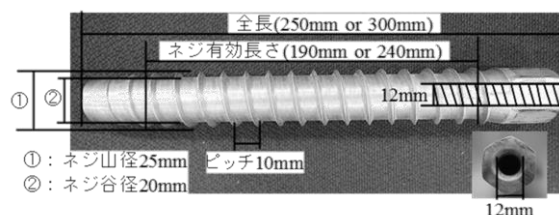


図 1 LSB の概要

実験手順は、まず LSB 接合の短期的な引張試験を実施して最大引張荷重を実験的に求め、その短期荷重に対して長期間負荷する荷重および試験体の仕様を決定した。ここで、短期試験と長期試験で用いる木質材料は 1 本の集成材において、隣り合う材料とすることでマッチングを行った。本試験では、全 2 本の供試材料について、それぞれ短期試験を行い、各試験条件を設定した。

短期試験は図 2 に示すように、LSB の有効埋め込み深さ(L)を 150mm とし、万能試験機(オートグラフ型式 AG-1、島津製作所製)を用いて、加力スピード 0.5mm/min.（最大荷重までの平均加力時間：9.8 分）で行った。その結果を表 1 に示す。長期試験は図 3 に示すように、ひとつの材料について上下 2 つの試験体を設定した。上部試験体の LSB の有効埋め込み深さ(L)は 150mm、下部試験体は 220mm とし、テコの原理により所定の荷重が試験体に負荷されるように試験機に錘を負荷した。試験体には変位計を各 2 台取り付け、その平均値を変形量として定期測定を行った。

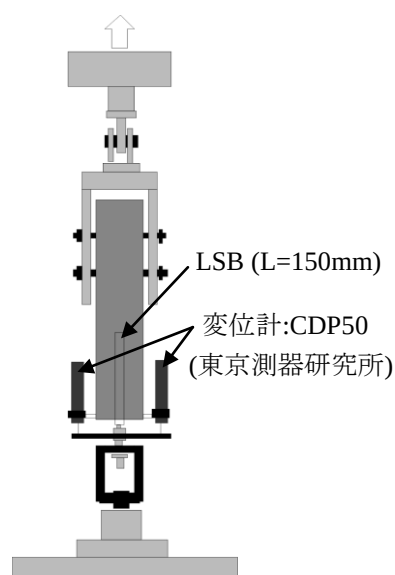


図 2 短期試験方法

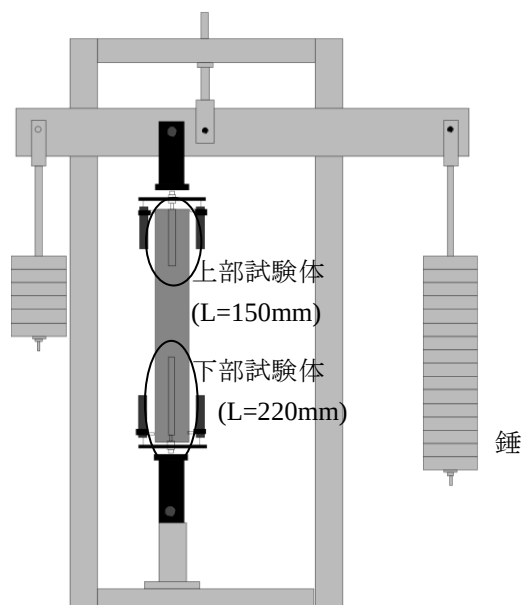


図 3 長期試験方法

表 1 短期試験結果と長期試験条件

試験体		短期試験結果 (kN)	長期載荷荷重 (kN)	有効埋め込み深さ(L) (mm)	想定荷重レベル (載荷荷重/短期結果)
LSB1	上部	37.1	13.6	150	1.1/3
	下部			220	1/4
LSB2	上部	45.5	16.7	150	1.1/3
	下部			220	1/4

【結果および考察】

図 4 に各試験体の変形量と経過時間（140 日間）の関係を示す。変形量は初期の 6 日間に増大し、その後は微少な増加が見られた。また、湿度の変動により、変形が±0.1mm 程度の範囲で増減することが分かった。LSB1 下部試験体について、経過時間と共に変形量が回復する傾向が見られた。これについては、今後考察を行う。告示法による変形量の推定結果を図 5 と表 2 に示す。図 5 から、告示法により荷重継続時間と変形量の関係を推定できることが分かった。また推定結果より、50 年後の変形量は初期に比べて平均で 2.24 倍（LSB1 下部を除く）となり、その変形量は 0.25mm と微少範囲になることが分かった。湿度による影響が見受けられたことから、今後は年間を通じて測定を継続することで、より詳細に検討する。

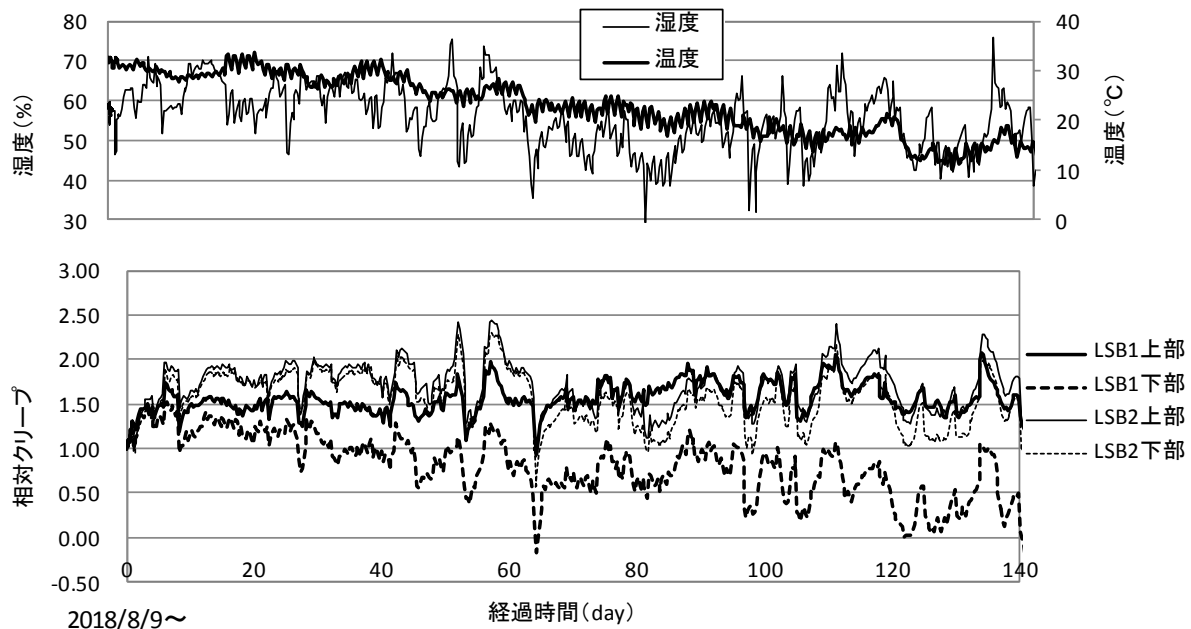


図 4 各試験体の変形量および温湿度と経過時間の関係

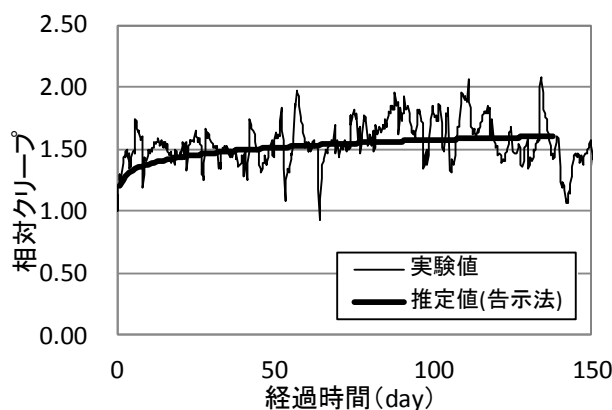


図 5 LSB1 上部の実験値と推定値の関係

表 2 実験結果と告示法による推定値(mm)

試験体名	初期 変形量	139 日目 実験値	50 年後 推定値
LSB1 上部	0.095	0.151 (1.58)	0.201 (2.21)
LSB1 下部	0.069	0.034 (0.49)	0.030 (0.43)
LSB2 上部	0.114	0.204 (1.79)	0.283 (2.49)
LSB2 下部	0.124	0.187 (1.51)	0.253 (2.04)

注) ()内の数値は初期変形量に対する比率

【参考文献】 1) 日本ツーバイフォー建築協会：枠組壁工法建築物構造計算指針(2018)、pp.232-233

中谷 誠、須原弘登
広島大学 森 拓郎
京都大学 吉村 剛

1. はじめに

中・大規模公共建築物を地域産材により建築する事例が増加している。しかしながら、これらの木造建築物の長期利用に対するメンテナンスや生物劣化の診断方法などの資料が不足しており、普及の妨げになっている。特に接合部については設計時に詳細な構造計算を行っているにもかかわらず、長期利用による生物劣化が接合強度へ及ぼす影響に関する研究はほとんど取り組まれていない。このため、中・大規模木造建築物を安全に長期間使用していくためには、接合強度を客観的に数値により評価できる指標が必要であると考ええる。これまでの研究では、欧州アカマツ材を供試材料とし、中・大規模建築物に用いられるドリフトピン接合について、生物劣化により超音波伝播速度が遅くなるほど接合部の強度が低下する傾向を確認した。

本研究では、宮崎県産スギを用いた接合部について検討を行った。非破壊で測定可能な超音波伝播速度と接合部の残存強度の関係が明らかになれば、スギ材を用いた建物を安全に長期間使用するための指標になると考える。

2. 実験方法

2. 1 供試体と実験方法

供試材料を宮崎県産スギとし、寸法は 120mm x 168mm、厚さ 30mm とした（図 1 参照）。ドリフトピンは直径 12mm で、試験体厚さより十分長く、錆止め塗装したものを使用した。試験条件は、ドリフトピンの加力方向が材料の繊維方向に対して平行方向と直交方向の 2 方向とした。試験体数は各条件 42 体、合計 84 体とした。

2. 2 超音波伝播速度測定および強度試験

試験体の一部（各条件 6 体、合計 12 体）は初期の強度を測定し、残りの試験体は共同利用施設であるファンガスセラーに設置した（図 2 参照）。その後、127 日目と 204 日目に超音波伝播速度の測定を行い、204 日目には各条件 6 体（合計 12 体）の試験体をファンガスセラーから取り出し、気乾状態まで乾燥させた後、強度試験を実施した。

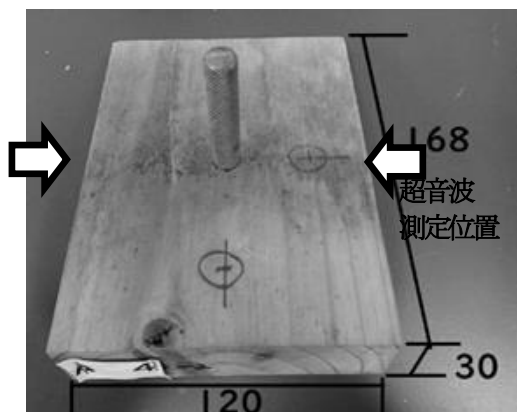


図 1 試験体（繊維平行方向）



図 2 試験体設置状況

強度試験は万能試験機（オートグラフ、島津製作所製）を用い（図 3 参照）、試験結果より支圧強度を算出した。試験は、ドリフトピンを鋼製治具に取り付け、試験体を上部から負荷することで、木材がドリフトピンにめり込む支圧強度の測定を行った。この時、ドリフトピンと木材との相対変位を 2 本の変位計（CDP50、東京測器社製）を用いて測定した。支圧強度は荷重と変位の関係から完全弾塑性モデルの降伏耐力により算出した。

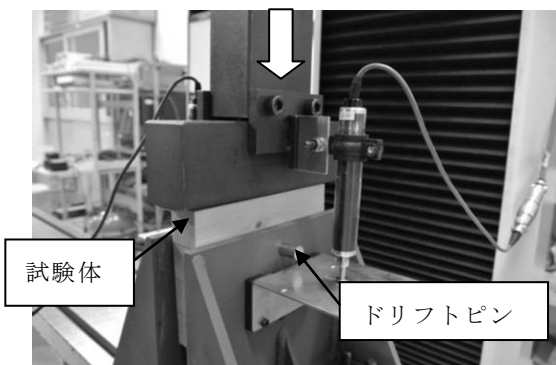


図 3 支圧試験方法

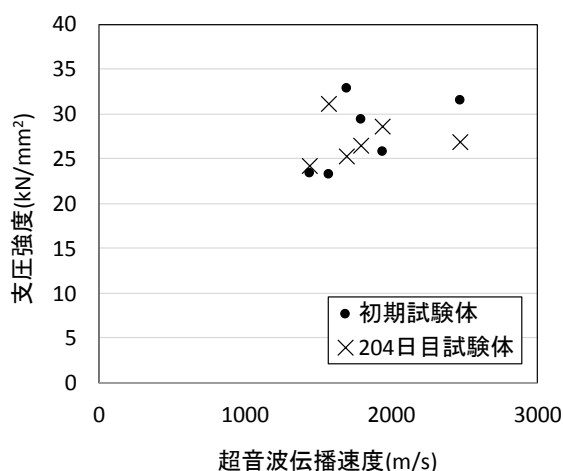
3. 結果および考察

供試体の劣化状況について、ファンガスセラーに 204 日間設置した一部の試験体では、表面に軽微な生物劣化を確認できたが、ドリフトピンが埋め込まれた接合部周りには変色していたが生物劣化による断面欠損等は確認できなかった。

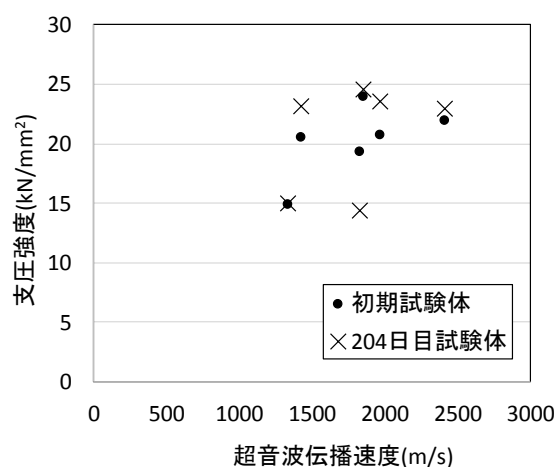
超音波伝播速度について、ファンガスセラーへの設置期間との相関は認められなかった。しかしながら、各材料の密度による影響は見られ、密度が低いほど超音波伝播速度は遅くなる傾向が確認できた。

支圧強度について、未処理の初期試験体とファンガスセラーに 204 日間設置した試験体では、明確な違いが認められなかった。ただし、全試験体の傾向として、超音波伝播速度が遅くなるほど支圧強度は低下する傾向が見られた（図 4 参照）。これは、支圧強度及び超音波伝播速度ともに密度と相関があることによると考える。初期剛性について、強度試験により得られたドリフトピンが木材にめり込む時の剛性も、ファンガスセラーでの設置期間による影響は見られなかった。ただし、試験体の密度とは、支圧強度と同様に、密度が低いものほど初期剛性は低い傾向が見られた。

本研究では、試験体の接合部周りにおいて生物劣化が十分に進んでいない状況であり、超音波伝播速度の低下が確認出来なかった。今後、更に生物劣化が進んだ試験体のデータを蓄積し、支圧強度と超音波伝播速度の関係を考察する必要がある。



(i) 繊維平行方向試験体



(ii) 繊維直交方向試験体

図 4 支圧強度と超音波伝播速度の関係

2-3-6 内装・家具木質化促進のための基礎特性評価に関する研究Ⅰ —スギの調湿性能に関する研究 第3報 長期的な吸放湿性試験—

平郡 雄二

【緒言】

県産材の需要拡大を図るためには、木造化の推進はもとより、内装等の木質化を進めることが重要である。木材には吸放湿性があり、室内の湿度変動を緩和する調湿作用があるが、スギにおけるこのような特性を数値化できれば、本県の主要樹種であるスギの良さを見える化することにより、消費者に対して利用する優位性を示すことができる。このため、本研究では、県産スギ人工乾燥材板目面木表側の心材及び辺材について、部位及び厚さの違いによる長期的な吸放湿性能の経時変化を明らかにすることを目的とした。

【材料及び方法】

(1) 試験体

試験体は、県産スギ人工乾燥材の心材及び辺材を準備し、縦横 100mm、厚さ 5・10・20mm (n=10) に製材して、恒温恒湿器（エスペック製 PR-2KP）内で温度 $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 2\%$ の雰囲気中で、恒量に達するまで養生を行った。また、評価面とした板目面木表側以外の 5 面は、アルミテープを貼り断湿した。

(2) 試験方法

吸放湿性試験の温湿度条件は、温度 $23^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $75 \pm 2\%$ の雰囲気中で概ね平衡状態になるまで 230 日間吸湿した後、温度 $23^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 2\%$ の雰囲気中で 65 日間放湿を行い、経時的に質量変化を測定した。

【結果及び考察】

7 日間の吸湿量は、心材より辺材、薄い方より厚い方が多く、吸湿スピードが速い傾向であった（図 1）。さらに吸湿を続けると、概ね 30 日前後で心材の吸湿量が辺材を上回り、概ね平衡状態に達した 230 日間の吸湿量では、辺材より心材、薄い方より厚い方が多く、キャパシティがある傾向であった（図 2）。一方、放湿スピードは、心材より辺材が速い傾向であった（図 2）。また、吸湿量と密度との関係を調べると、1 日間では密度が小さい方が、230 日間では密度が大きい方が吸湿量が多い傾向であった（図 3・4）。

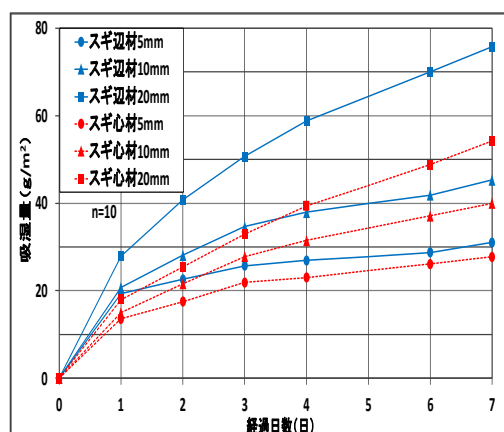


図 1 スギの吸湿量(7日間)

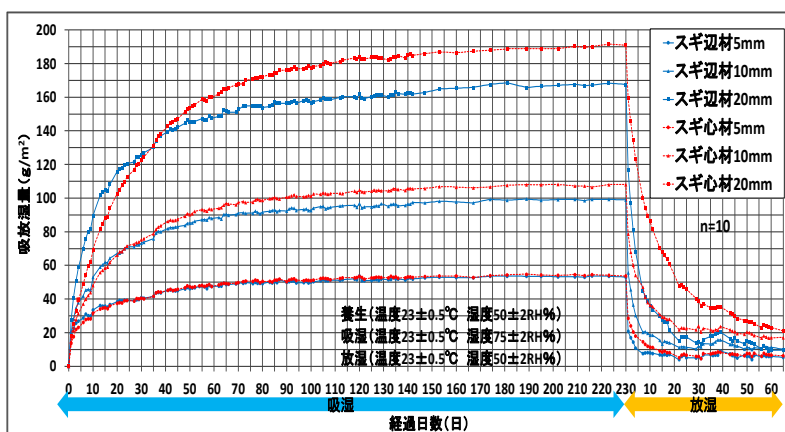


図 2 スギの吸湿量(230日間)及び放湿量(65日間)

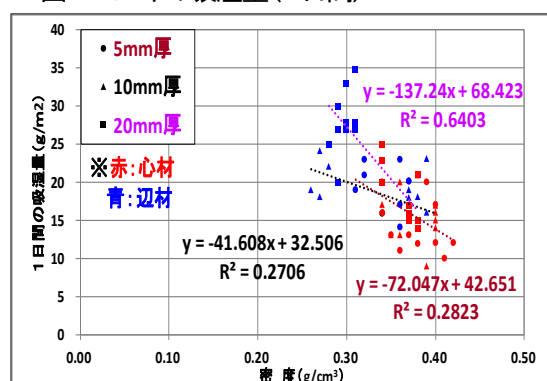


図 3 1 日間の吸湿量と密度との関係

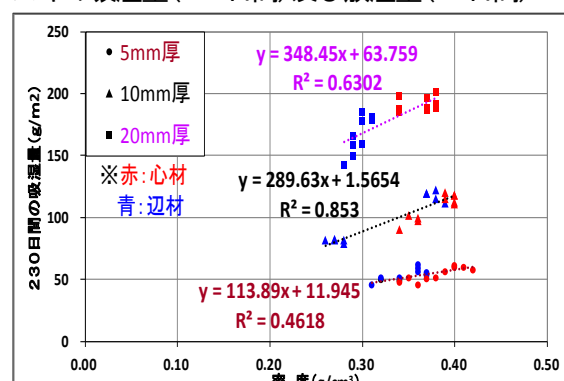


図 4 230 日間の吸湿量と密度との関係

2-3-6 内装・家具木質化促進のための基礎特性評価に関する研究Ⅱ

スギの調湿性能に関する研究 第3報 ミニスケールの室内空間におけるスギの調湿性能試験ー

「宮崎県産スギ材の調湿性能の検証」

材料開発部 平郡雄二 田中 洋

(一社) 木と住まい研究協会 有馬孝禮、宮代博幸、小池 透、岩本景子

ナイス(株) 青木良篤、落合夏人

【緒言】

県産材の需要拡大を図るためには、木造化の推進はもとより、内装等の木質化を進めることが重要である。木材には吸放湿性があり、室内の湿度変動を緩和する調湿作用があるが、スギにおけるこのような特性を数値化できれば、本県の主要樹種であるスギの良さを見える化することにより、消費者に対して利用する優位性を示すことができる。このため、本研究では、スギの加工方法や塗装の有無等の違いによる内装材を用いて、ミニスケールの室内空間にもたらすスギの調湿性能を把握することを目的とした。

【材料及び方法】

試験1 ミニスケールの室内空間におけるスギの調湿性能試験1 (恒温恒湿室内試験)

内装材に県産スギの無垢材や塗装材、表層圧密材、木口スリット材等を用いた際のミニスケールの室内空間における調湿性能を把握するために、24時間換気が行える仮想居室(6畳間の30%モデル)をアクリルボックスで製作し、ボックス外の相対湿度を1日周期(12時間吸湿・12時間放湿)で50%から75%に変化させた時に、ボックス内の相対湿度が健康的な居住水準とされる40%~70%を保持できる時間を測定し調湿性能を評価した。

(1) 試験体

試験体は、表1に示す県産スギの無垢材等を準備し、縦使いの腰板の30%モデルとなるように、高さ270mm(高さ900mmの30%モデル)×幅59mm×厚さ3.6mm(厚さ12mmの30%モデル)のサイズを基本に製作した。試験体は、恒温恒湿器(エスベック製PR-2KP)内で温度 $23\pm0.5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm2\%$ の雰囲気中で、恒量に達するまで養生を行い、評価面以外の5面は、アルミテープを貼り断湿した。

表1 供試材料

樹種・加工等	部位・材面等
1 スギ無垢材	心材・板目面(木表側・KD材)3.6mm厚
2 スギ塗装材(ウレタン塗装)	〃
3 スギ表層圧密材	〃
4 スギ木口スリット材	心材・板目面(木表側・KD材)12mm厚、3.6mm厚(木裏側)
5 ナラ集成材	心材・板目面(木表側・KD材)3.6mm厚
6 ナラ塗装材(ウレタン塗装)	〃
7 レッドバイン無垢材	〃
8 腰板パネル(基材:MDF、 表面材:樹脂化粧シート)	4mm厚
9 木材なし(非木質)	

(2) 試験方法

調湿性能のミニスケール試験は、24時間換気システムを備えた6畳間の30%モデル(長辺1146mm×短辺860mm×高さ720mm)となる仮想居室をアルミフレームとアクリル板でアクリルボックスを製作し、恒温恒湿室(サンヨー製MTH-140HP)に入れ、高さ50cmの台に設置して行った。換気方式は、住宅で広く採用されている第3種換気(給気:自然給気、排気:機械換気)とし、給気口の入り口に風速計(日本カノマックス製4CHANEMOMASTER SYSTEM 6244)のセンサー(プローブ)を設置し、排気口に設置したDCファン(共栄通信製9GA0412P6F001)の回転速度をファンコントローラー(サイズ製KM05-BK)で、1時間に0.5回以上の換気が行えるように調整した。温湿度の測定は、温湿度記録計(ティアンドデイ製TR-72wf-H)のセンサーをボックス内の床上3cm(床上10cmの30%モデル)、床上33cm(床上1.1mの30%モデル)及びボックス外の床上36cm(高さ中央)の位置に設置し、10分間隔で計測した。試験体は、約0.61 m^2 /分(気積率換算で6畳間の概ね長辺の壁1面全面と床全面相当)をアクリルボックス内の長辺方向に2面(片側19枚×2面)設置し、12時間以上、恒温恒湿室内で温度 $23\pm0.5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm2\%$ の雰囲気中で調整した。調湿性能試験の温湿度条件は、JIS A 1470-1:2014(建築材料の吸放湿性試験方法-第1部:湿度応答法)に規定されている内装材などの湿度変動による建築材料の1日周期(12時間吸湿・12時間放湿)における吸放湿性試験を参考に、通常使用時の居室を想定して中湿域とした。すなわち、ボックス外の温湿度を1日周期で、温度 $23^{\circ}\text{C}\pm0.5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $75\pm2\%$ の雰囲気中で12時間吸湿後、温度 $23^{\circ}\text{C}\pm0.5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm2\%$ の雰囲気中で12時間放湿させ、これを2回繰り返した時に、ボックス内の相対湿度が健康的な居住水準とされる40%~70%を保持できる時間を測定し調湿性能を評価した(図1・2)。

試験2 ミニスケールの室内空間におけるスギの調湿性能試験2 (半屋外試験)

上記アクリルボックスを用いて、梅雨時期(梅雨入りH30.5.26頃 梅雨明けH30.7.11頃)の半屋外下で、スギの内装木質と非木質における調湿性能試験を行った。

(1) 試験体

内装木質の試験体は、床が厚さ15mm、壁が厚さ12mmで、板目面木表側以外の5面をアルミテープで断湿した県産スギの無垢材(心材)の人工乾燥材を用い、ボックス内の表面積の50%(木材率50%)となる量をアクリル

ボックス内に設置した。一方、非木質の試験体は、複合フローリング(基材：特殊MDF+合板 表面：特殊強化フィルム)を用い、床に設置した。

(2) 試験方法

試験は、平成30年6月25日から7月17日にかけて、宮崎県木材利用技術センター材料実験棟北側通路の半屋外に、アクリルボックスを2台設置し、第3種換気を行いながら、温湿度の経時変化を測定した。温湿度の測定は、温湿度記録計(ティアンドデイ製 TR-72wf-H)のセンサーをボックス内の床上3cm(床上10cmの30%モデル)、床上33cm(床上1.1mの30%モデル)及び地上1.2mの位置に設置し、10分間隔で計測した。

【結果及び考察】

試験1 ミニスケールの室内空間におけるスギの調湿性能試験1(恒温恒湿室内試験)

試験の結果、ボックス外の相対湿度を75%に上げた時に、ボックス内の相対湿度を70%以下に保持できる時間は、木材がない非木質時や腰板パネル時が2時間半程度であったのに対して、スギ無垢材(心材)時が6~8時間程度となり、約3倍程度長くなることが明らかとなった(図3~5)。また、同様にスギ塗装材(心材)時が3時間程度、スギ表層圧密材(心材)時が4~5時間程度となり、無垢材時に比べて、塗装や密度の影響により調湿性能が低下する傾向が見られた(図6・7)。さらに、スギ木口スリット材(心材)時では、調湿性能の良い木口面が表面に現れることにより、12時間保持することができた(図8)。比較材のナラ集成材やレッドパイン無垢材は、心材の調達が難しく心辺材込みの流通材で試験を行った結果、9~12時間程度であった(図10・12)。なお、ナラ塗装材(心辺材)は、スギ塗装材(心材)と同様に3時間程度であり、塗装により調湿性能が低下する傾向が見られた(図11)。



図1 スギ無垢材設置時



図2 供試材料(左から表1の番号順)

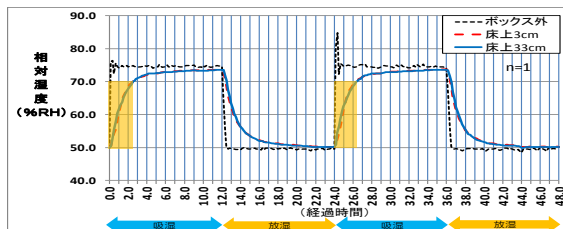


図3 木材なし(非木質)時の湿度変化

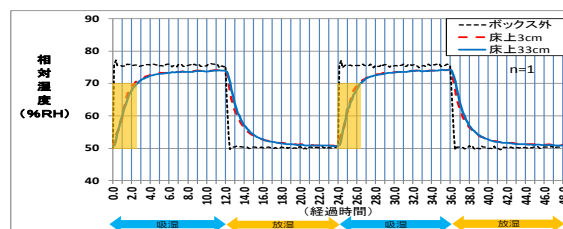


図4 腰板パネル時の湿度変化

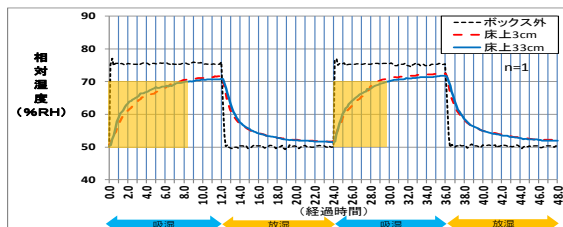


図5 スギ無垢材(心材)時の湿度変化

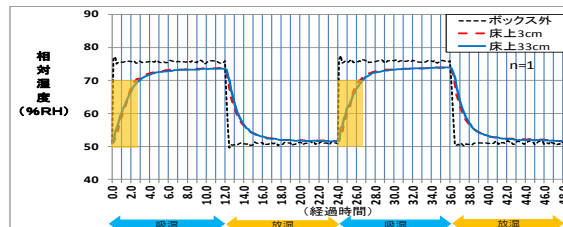


図6 スギ塗装材(心材)時の湿度変化

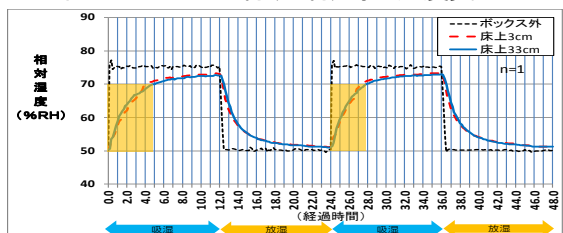


図7 スギ表層圧密材(心材)時の湿度変化

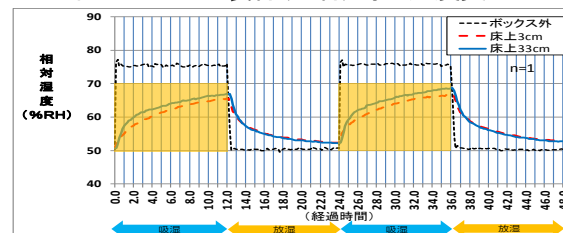


図8 スギ木口スリット材(心材 12mm厚)

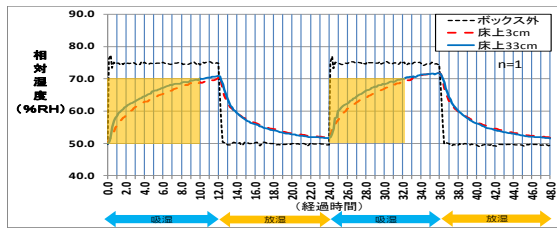


図9 スギ木ロスリット材(心材3.6mm厚)時の湿度変化

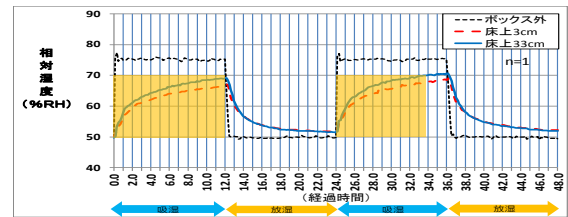


図10 ナラ集成材(心辺材)時の湿度変化

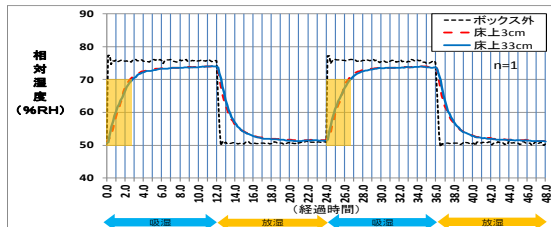


図11 ナラ塗装材(心辺材)時の湿度変化

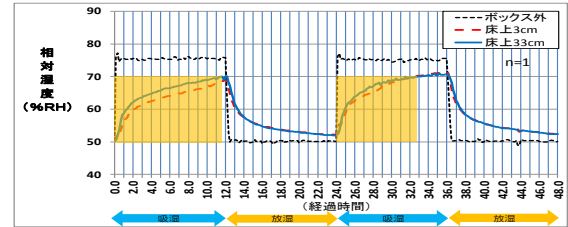


図12 レッドパイン無垢材(心辺材)時の湿度変化

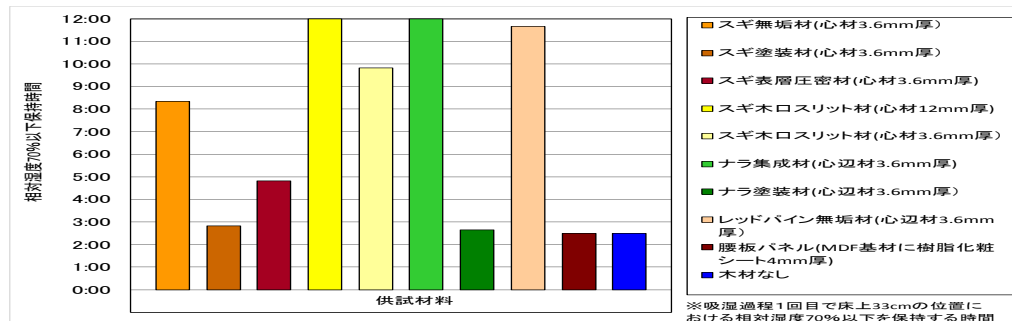


図13 供試材料別による相対湿度70%以下の保持時間

試験2 ミニスケールの室内空間におけるスギの調湿性能試験2(半屋外試験)

アクリルボックス内の床上3cm及び外気における温度の経時変化を図15に示す。内装木質及び非木質のアクリルボックス並びに外気の温度は、近い値であることが分かる。一方、相対湿度の経時変化を見ると、外気や非木質のアクリルボックスに比べて、内装木質化された方は、スギの調湿作用により、相対湿度の変動が小さく抑えられるとともに、1日の最高湿度の概ね10%程度を低下させていることが分かった(図16)。また、温度と相対湿度との関係を図17に示す。外気や非木質のアクリルボックスのグラフの傾きが、急であることにに対して、内装木質化された方は、グラフの傾きが緩やかになり、調湿作用が働いていることが分かる。



図14 半屋外での調湿性能試験

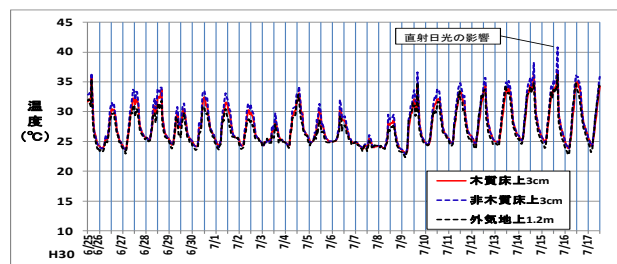


図15 温度の経時変化

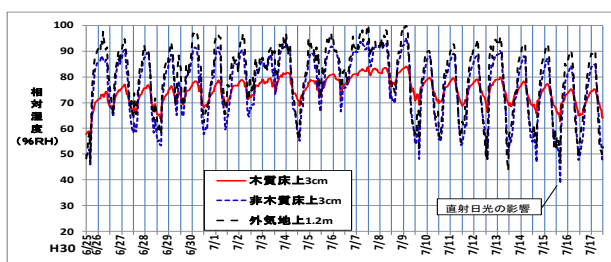


図16 相対湿度の経時変化

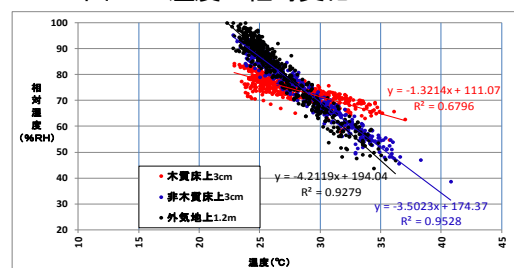


図17 温度と相対湿度の関係

【はじめに】

近年、国内の住宅着工戸数は減少傾向にあり、これに伴い、住宅用の建築部材の需要も縮小することが予想される。このような中、今後、木材利用拡大を図っていくには、公共建築物をはじめとした非住宅建築物も視野に入れた商品展開を図っていく必要があると考えられる。

公共建築物を含めた非住宅の建築物については、その規模の大きさから使用される構造材も断面の大きい部材となるとともに、寸法安定性や強度性能が確保された部材が求められるため、集成材や LVL、CLT といったエンジニアリングウッドの利用が一般的となっている。

そこで、本研究では、このような木材利用情勢に伴い、県産材の更なる利用拡大を図るため、県産ヒノキによる集成材の生産性について検討を行った。

具体的には、県産ヒノキを主体に取り扱っている製材工場において、ヒノキ原木から生産される板材（ラミナ）の目視及び機械による等級区分を行い、その分布を把握することで、ヒノキ構造用集成材の生産性について検討した。

【ラミナの測定結果及び同一等級構成集成材の生産性について】

県産ヒノキラミナ 614 本を供試し、目視及び機械等級区分を行い、それぞれの等級区分におけるヒノキ構造用集成材の生産性を評価した。機械等級区分の結果、ヒノキラミナの等級分布は図 1 に示すとおり L50 から L160 まで幅広い分布を示したが、L90 以上が全体の 9 割以上を占めた。

機械等級区分ラミナを使用した場合の同一等級構成集成材の生産性を検討した結果、表 1 に示すとおり E95-F315 の集成材を生産する場合でラミナの使用歩留まりは 82.5%となった。

ヒノキラミナを目視等級区分した結果を図 2 に示す。目視等級区分の結果、1 等の割合が 38%、2 等の割合が 21%、3 等の割合が 17%と、3 等以上の割合が全体の 8 割弱を占めた。目視等級区分ラミナを使用した場合の同一等級構成集成材の生産性を検討した結果、表 2 に示すとおり E95-F315 の集成材を生産する場合でラミナの使用歩留まりは 75.8%となった。

以上の結果から、同一等級構成集成材の E95-F315 を生産する場合においては、目視等級区分よりも機械等級区分の方が有利になることが確認された。

【対称異等級構成集成材の生産性について】

対称異等級構成集成材の最外層に使用できる機械等級区分ラミナの一覧を表 3 に示す。ヒノキの場合、最外層ラミナに使用できる等級は E110 から E160 までとなるが、これらの全体に占める割合は 67%となった。これらのヒノキラミナについて、ヤング係数の高いラミナを優先的に活用しつつ、余剰材の発生量が最小となるようなラミナ構成を検討した結果を図 3、4 に示す。

なお、図 3 については、外層以内のラミナ等級を要求されるラミナ等級以上で構成した場合を示しており、図 4 については、要求される最低限の等級に限定した場合を示している。外層以内のラミナを要求される等級以上とした場合、図 3 に示すとおりラミナの使用歩留まりが 95.9%とほぼ全量を使用する結果となった。ただし、内層ラミナに関しては、要求される等級の 2～3 グレードほど上位のラミナも用いるような結果となったことから、得られたラミナの強度性能を効率よく活かすには、ヤング係数が低い傾向にある元玉材や曲がり材等の割合を増やすことが考えられる。一方、外層以内のラミナ等級を最低限にした場合では、図 4 に示すとおりラミナの使用歩留まりが 58.6%と 6 割弱にとどまった。今回測定したラミナの等級分布は、4 級未満が 3 割程度と内層に使用できる低位等級ラミナの数が少なかったためにラミナ全体の使用歩留まりが上がりなかった。また、低位等級ラミナの不足により、上位等級ラミナも余りが出たことから、これらを余すことなく使用するには、先述のように低位等級材の割合を増やす等の対応が考えられる。

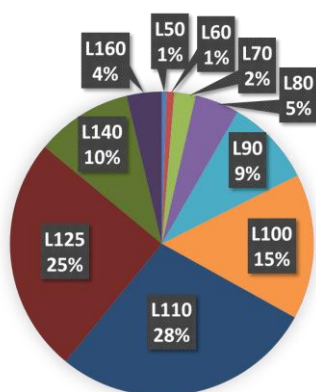


図 1 機械等級区分によるラミナ等級の分布

表 1 同一等級構成集成材の等級区分とラミナ歩留まり

積層数4層以上の強度等級	積層数3層以上の強度等級	積層数2層以上の強度等級	ラミナ等級	本数(本)	割合(%)
E150-F465	E150-F435	E150-F390	L160	23	3.7
E135-F405	E135-F375	E135-F345	L140	63	10.3
E120-F375	E120-F330	E120-F300	L125	154	25.1
E105-F345	E105-F300	E105-F285	L110	171	27.9
E95-F315	E95-F285	E95-F270	L100	95	15.5
合 計				506	82.5

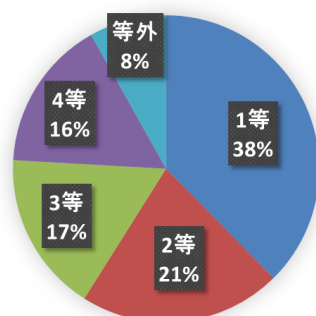


図 2 目視等級区分(集中節径比+材縁部節径比)によるラミナの等級分布

表 2 同一等級構成集成材の等級区分とラミナ歩留まり

積層数4層以上の強度等級	積層数3層以上の強度等級	積層数2層以上の強度等級	ラミナ等級	本数(本)	割合(%)
E120-F375	E120-F330	E120-F300	1等	231	37.6
E105-F345	E105-F300	E105-F285	2等	131	21.3
E95-F315	E95-F285	E95-F270	3等	104	16.9
合 計				466	75.8

表 3 対称異等級構成集成材の最外層ラミナ等級とラミナ歩留まり

強度等級	等級区分機による等級	本数(本)	割合(%)
E135-F375	L160	23	3.7
E120-F330	L140	63	10.3
E105-F300	L125	154	25.1
E95-F270	L110	171	27.9
合計		411	67.0

構成例 1 (外層以内のラミナ等級を要求される等級以上とした場合)
歩留まり 【 95.9% 】

【7層:210mm】		【7層:210mm】		【5層:150mm】	
最外層	L160	最外層	L140	最外層	L125
中間層	L125	中間層	L110	内層	L80
内層	L100	内層	L90	内層	L80
内層	L100	内層	L90	内層	L80
内層	L100	内層	L90	最外層	L125
中間層	L125	中間層	L110		
最外層	L160	最外層	L140		
L160	22 本	L140	62 本	L125	118 本
L125	22 本	L110	62 本	L80以上	177 本
L100	33 本	L90以上	93 本		
合計	77 本	合計	217 本	合計	295 本

図 3 対称異等級構成集成材のラミナ構成例(ラミナ上限なし)

構成例 2 (外層以内のラミナ等級を要求される最低限の等級に限定した場合)
歩留まり 【 58.6% 】

【8層:240mm】		【6層:180mm】		【6層:180mm】		【5層:150mm】	
最外層	L160	最外層	L140	最外層	L125	最外層	L110
中間層	L125	中間層	L110	中間層	L100	内層	L70
内層	L100	内層	L90	内層	L80	内層	L70
内層	L100	内層	L90	内層	L80	内層	L70
内層	L100	中間層	L110	中間層	L100	最外層	L110
内層	L100	最外層	L140	最外層	L125		
中間層	L125						
最外層	L160						
L160	22 本	L140	56 本	L125	28 本	L110	8 本
L125	22 本	L110	56 本	L100	28 本	L70	12 本
L100	44 本	L90	56 本	L80	28 本		
合計	88 本	合計	168 本	合計	84 本	合計	20 本

図 4 対称異等級構成集成材のラミナ構成例(ラミナ上限有り)

2-4 大径材を活用した家づくりなど住宅産業等との連携の促進

2-4-1 構造用製材の強度特性予測技術の開発 I

機械等級区分を想定した枠組壁工法構造用製材の水分非平衡状態における曲げクリープ(その1)

—応力レベルと水分変動の影響について—

(宮崎木技セ) ○荒武 志朗、松元 明弘、中谷 誠、(森林総研) 加藤 英雄
(建研) 植本 敬大、(北林産試) 大橋 義徳、石原 亘

【はじめに】

国産大径材から得られた製材を構造材として普及するための研究の一環として、平成 28 年度から南九州産スギおよび北海道産カラマツ枠組壁工法構造用製材の曲げクリープ試験を実施している。昨年度¹⁾は、目視等級区分材を想定した寸法形式 206 の材(以下、206 材)を供試して試験を実施し、節等の欠点がクリープに影響を及ぼさないことや、クリープ調整係数[50 年後の相対クリープ(たわみ/初期たわみ)]が平成 12 年度建設省告示 1459 号の変形増大係数(=2)の範囲内に入ることなどを確認した。一方で、応力レベルや水分変動のクリープへの影響が無視出来ない可能性も示唆された。本研究は、機械等級区分材(以下、MSR 材)を想定した 206 材のクリープ特性を明らかにすることを目的としているが、そのプロセスで、この様な応力レベルや水分変動(特に季節変動)が長期たわみの増減に如何なる影響を及ぼすかを検討した。

【試験体と試験方法】

クリープ試験には、スギ MSR 材(1200Fb-0.7E、900Fb-1.0E)とカラマツ MSR 材(1450Fb-1.3E、1800Fb-1.6E)各 2 体(計 8 体)を供試した。これらの概要を表 1 に示す。なお、同表では、0.7E、1.0E、1.3E、1.6E と略記して添え字(1、2)を付しているが、1 は相対クリープの高い試験体、2 は同値の低い試験体を意味する。ここで、前者は、相対クリープに対する応力レベルの影響を確認するために約 7 か月間で試験を終了し(平成 30 年 1 月 10 日～8 月 6 日)、短期試験(曲げ試験)を行った。このため、曲げ強さ(σb)と曲げヤング係数(Ea)については短期試験の平均値($\sigma b1$ 、Ea1)と併せてクリープ試験終了後に求めた試験体自体の値($\sigma b2$ 、Ea2)も示している。

クリープ試験は、前報¹⁾同様、建築基準法第 37 条に関する技術的基準(平成

12 年度建設省告示 1446 号)が定めるクリープ評価法²⁾(以下、告示法)に従って実施した(図 1 参照)。具体的には、スパン 2520mm、スパン梁せい比 18 倍の 3 等分 4 点方式の荷重条件である(短期試験も同じ)。負荷荷重は、前述した曲げ試験における平均破壊荷重(以下、Pmax)に 0.37 を乗じた値とした。この値(0.37)は、構造用集成材に関する既往の含水率強度調整係数のうち、乾燥環境の応力比であり、次式により求めたものである。

$$\text{乾燥環境の応力比} = (2/3) \times 1.0 \times (1.1/2) = 0.37 \dots \dots \dots (1)$$

変位は、中央たわみ測定用としてストローク 100mm のひずみゲージ式変換器、2 箇所(の支点における膨潤、収縮測定用としてストローク 50mm のひずみゲージ式変換器を所定の位置にセットし(図 1 参照)、データログを用いて自動測定した。この場合、測定インターバルは、負荷直後は 1 分、2 分、5 分、10 分、100 分、500 分経過時とし、その後は 24 時間とした。

表 1 試験体の概要

樹種	記号	密度 kg/m ³	含水率 %	Efr kN/mm ²	$\sigma b1$ N/mm ²	$\sigma b2$ N/mm ²	Ea1 kN/mm ²	Ea2 kN/mm ²
スギ	0.7E-1	336	9.71	4.72	36.3	20.8	5.31	3.65
	0.7E-2	376	10.2	4.67		試験中		試験中
	1.0E-1	379	10.6	8.03	43.7	32.9	7.25	6.13
	1.0E-2	428	10.9	7.53		試験中		試験中
カラマツ	1.3E-1	540	11.8	8.78	37.5	24.2	9.89	6.28
	1.3E-2	499	11.0	8.38		試験中		試験中
	1.6E-1	536	11.5	11.3	47.8	33.9	11.6	9.74
	1.6E-2	530	11.0	11.8		試験中		試験中

※Efrは縦振動ヤング係数、 $\sigma b1$ と $\sigma b2$ は曲げ強さ、Ea1、Ea2は曲げヤング係数、この場合、添え字1は短期試験結果の平均値(スギは0.7E、1.0Eとも41体、カラマツは1.3E、1.6Eとも40体)、添え字2はクリープ試験終了後の曲げ試験結果

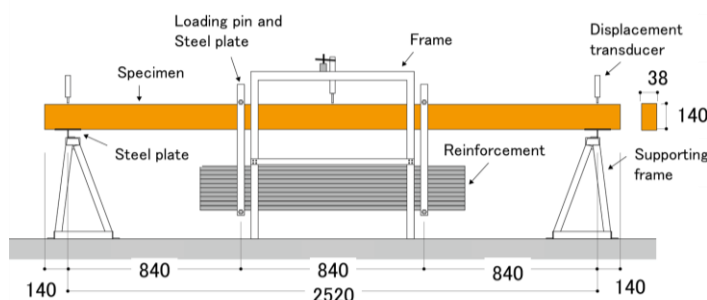


図 1 クリープ試験条件

【結果および考察】

応力レベルの影響：表 1 に示した添え字 1 のグループの σ_{b2} は、何れも σ_{b1} を下回っている。そこで、同グループの相対クリープに及ぼす応力レベルの影響を確認するために、表 1 の σ_{b2} から「実際の応力レベル」を算出した結果(クリープ試験による強度低下を無かったものと見なして計算) 0.7E-1 で 0.651、1.0E-1 で 0.498、1.3E-1 で 0.578、1.6E-1 では 0.517 となり、何れも設定応力レベル(0.37)を大きく上回った。特に、これらのうち 0.7E-1 と 1.3E-1 の値は、杉山³⁾が示したクリープ限度 0.4~0.5 も大きく上回っており、図 2 に示すそれぞれの相対クリープも、それと連動する様に非常に大きい。この結果は、短期試験で得られた $P_{max} \times 0.37$ を負荷してクリープ試験を実施した場合、クリープ曲線を適正に評価することが困難な場合があることを示しており、この種の実験を行う場合には注意が必要である。

水分変動の影響：図 2 のうち、添え字 2 のグループの相対クリープ変動を見ると(点線で表示)、何れの試験体も 6~7 月頃に同値が急増している。この時期は、まさに梅雨時で、相対湿度の高い期間が長く続いたため、同図下の重量変動率の傾向にも示される様に含水率の増減が顕著となり易い。このために、水分非平衡下におけるメカノソープティブ挙動⁴⁾、若しくは曲げ剛性の変動が顕著に現れたのであろう。

グレード(ヤング係数) による傾向の差異：前報¹⁾でも触れた様に、グレード(ヤング係数)が相対クリープに影響する傾向は、必ずしも明確ではない。これは、製材や集成材(平角材)を供試した既往の実験例⁵⁾とも概ね一致する。

クリープ曲線の予測：これまでの結果を踏まえ、ここでは添え字 2 のグループを対象とし、(2)式に示す Power 則と(3)、(4)式に示す曲げ剛性の低減係数(K_t)²⁾から求めた相対クリープ(δ_t/δ_0)による実測値の予測を試みる。

$$\delta_t/\delta_0 = 1 + at^N \dots\dots\dots(2)$$

$$K_t = \delta_0/\delta_t \dots\dots\dots(3)$$

$$\delta_t/\delta_0 = 1/10^e f \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 t は時間、 a 、 N 、 e 、 f は定数である。

図 3 に、相対クリープの実測値と Power 則及び K_t ²⁾から求めた予測値(δ_t/δ_0)の比較を示す。ここで、各予測値は、1 次クリープと梅雨時のたわみ急増時を除いて求めたものである(180 日以降のデータから定数を算出)。同図から、曲線の後半部では実測値と各予測値が非常に良く一致しており、この方法による水分非平衡下におけるクリープ曲線の予測の有効性が示されている。ただし、季節変動を含む周期的な湿度変動を考慮すれば、この結果から直ちにクリープ調整係数を予測するのは早計であり、少なくとも複数年にまたがる傾向の推移を確認する必要がある。

【文献】

1) 荒武志朗他 5 名：平成 29 年度宮崎県木材利用技術センター業務報告書、2017, p.50-51、2) 日本ツーバイフォー建築協会：“2018 年枠組壁構法建築物構造計算指針”，丸善出版、2018, p.226-235、3) 杉山英男：“建築構造学大系 22 木構造”，彰国社、1971, p.98-101、4) 荒武志朗，有馬孝禮：木材学会誌，41(4)359-366(1995)、5) 荒武志朗，有馬孝禮：木材学会誌，50(3)151-158(2004)。

【謝辞】本研究は、農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業(うち先導プロジェクト)」の支援を受けて行った。

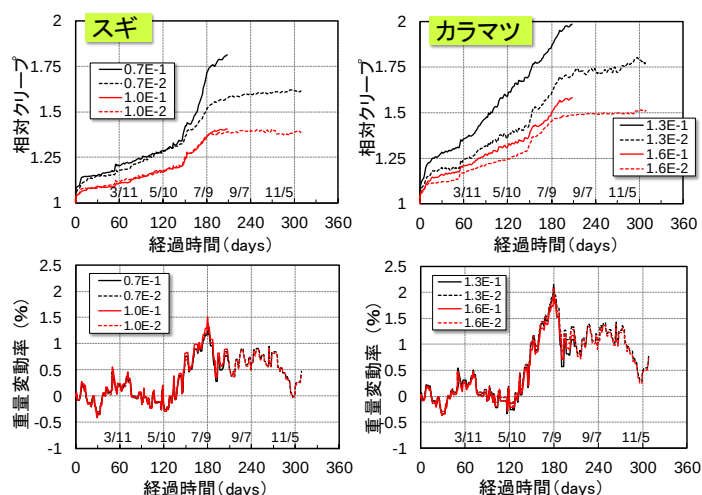


図2 相対クリープと重量変動率の変動

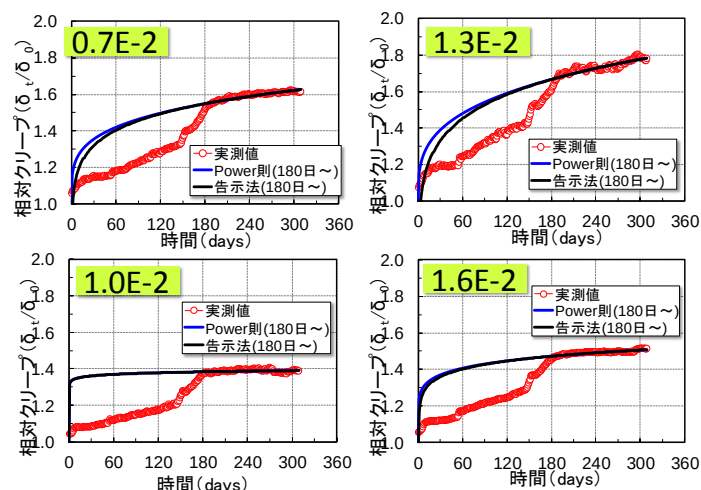


図3 相対クリープの実測値と予測値の比較

2-4-1 構造用製材の強度特性予測技術の開発Ⅱ

—スギ大径材から得られた心持ち及び心去り平角材の強度性能—

(宮崎木技セ) ※松元 明弘、荒武 志朗、中谷 誠、(森林総研) 加藤 英雄
(熊本林研指) 荒木 博章、野口 琢郎

【緒言】

現在、本県の人工林の齢級別面積は、10 齢級以上の立木面積が約 5 割を占めており、今後、供給原木に占める大径材の割合がますます高くなっていくことが予想される。このため、県産材の利用拡大を図るには、大径材の利用推進を図ることが必須となってきた。

現在、流通の主流である小中径材については、正角や平角を製材する場合、心持ち材の 1 丁取りがほとんどである。一方、大径材の場合、心去りの正角や平角、板材等、複数の部材が製材できるが、丸太内の強度特性分布の違いや年輪走行の偏りにより、それぞれの部材は強度特性や寸法変化の様相が異なる。このため、製材工場や建築現場では、大径材から挽いた心去り材の強度性能の確保や寸法安定性等が懸念されている。

そこで、本研究では、スギ大径材から得られた製材の構造材としての利用を推進するための研究の一環として、在来軸組用構造用製材を対象にスギ大径材丸太から得られた平角材（心持ち・心去り）の長期性能について検討した。なお、本報では、長期性能試験の負荷荷重を決定するために実施した短期試験（曲げ試験および短柱縦圧縮試験）の結果を報告する。

【実験方法】

試験には、長さ 4m 程度に玉切りした南九州産スギ大径材丸太を用いた。図 1 のとおり心持ち平角材 1 本とその両サイドから心去り平角材 2 本の計 3 本を製材し、それらのうち、心持ち材 39 本と心去り材 40 本の計 79 本を試験に用いた。各平角材からは、図 2 のとおり曲げ試験体 1 体、短柱縦圧縮試験体 1 体及び含水率試験体 2 体を切り出した。曲げ試験条件はスパン 3240mm とし、スパンー梁背比 18 倍の 3 等分点 4 点荷重方式とした（図 3）。

また、スギの曲げ強さと比較検討するために短柱縦圧縮試験を実施した。試験体の長さは、構造用木材の強度試験法に定められている短辺の 6 倍が確保出来なかったため、枠組壁工法建築物構造計算指針で定められている基準材料強度の評価法に準じて、長辺の 2 倍の 360mm とし、負荷条件は単調増加とした。

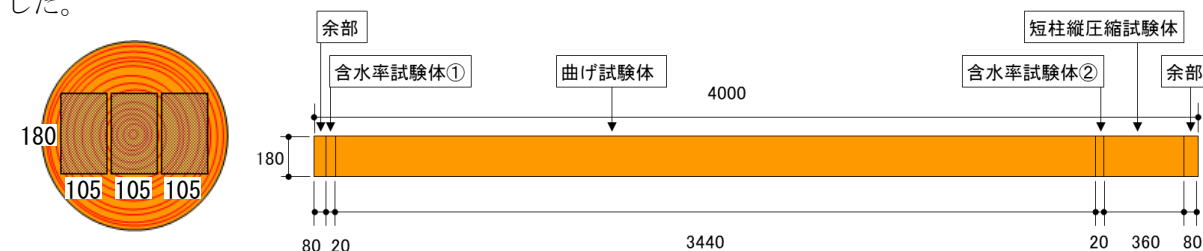


図 1 試験体の木取り

図 2 各試験体の採材方法

【結果および考察】

実験に供したスギ平角材の密度(ρ)、縦振動ヤング係数(E_{fr})、曲げたわみ振動ヤング係数 (E_{afb})、最大荷重(P_{max})、最大荷重時の変位(δ_{max})、破壊時間、曲げ強さ(σ_b)、曲げヤング係数(E_a)、縦圧縮強さ(σ_c)、並びに含水率を表 1 に示す。ここで破壊時間は負荷から最大荷重に達するまでの時間、 E_a は最大荷重に対する 10%から 40%の荷重区間における荷重変位直線から求めた値、含水率は全乾法によって求めた値である。

E_a と E_{fr} の関係を図 3 に示す。両者間には若干のばらつきは認められるものの、極めて高い相関を示した。 E_a と E_{afb} の関係を図 4 に示す。 E_{fr} との相関と比較して、 E_a と E_{afb} との相関は更に高いことが分かる。曲げたわみ振動法によるヤング係数の測定においては、曲げ試験の負荷方向と同じ向きで打撃を与え、曲げ振動を計測することから、試験体の梁背方向のヤング率の分布の影響が反映され、 E_{fr} よりも E_a との相関が高い結果となったと思われる。

表 1 試験体の特性と短期試験結果

区分		ρ kg/m ³	Efr kN/mm ²	Eafb kN/mm ²	Pmax kN	δ max mm	破壊時間 min	σ_b N/mm ²	Ea kN/mm ²	σ_c N/mm ²	含水率 %
心持ち材 【E50】 (n=28)	最大値	520	5.56	6.35	31.0	263.9	11.08	29.4	6.05	25.6	44.5
	平均値	397	4.64	4.89	26.2	88.9	3.94	24.7	4.68	18.0	20.5
	最小値	329	3.32	3.39	17.2	54.1	2.45	16.2	3.15	13.4	11.8
	標準偏差	52.6	0.63	0.73	3.83	38.7	1.59	3.61	0.72	3.1	9.49
	変動係数	13.3%	13.5%	15.0%	14.6%	43.5%	40.4%	14.6%	15.4%	17.0%	46.4%
心持ち材 【E70】 (n=11)	最大値	491	7.89	7.99	35.5	101.6	4.48	33.7	7.82	26.9	41.4
	平均値	402	6.29	6.36	29.5	76.6	3.39	28.0	6.12	19.1	21.7
	最小値	331	5.54	5.57	23.7	54.4	2.52	22.5	5.32	14.2	14.1
	標準偏差	44.0	0.72	0.80	4.28	15.3	0.62	4.07	0.77	4.0	8.24
	変動係数	10.9%	11.4%	12.5%	14.5%	20.0%	18.3%	14.5%	12.6%	21.2%	37.9%
心去り材 【E50】 (n=15)	最大値	472	6.40	6.17	39.0	124.6	5.65	36.4	5.91	23.3	47.4
	平均値	368	5.52	5.36	31.4	94.3	4.22	29.9	5.21	19.3	20.0
	最小値	324	4.81	4.66	25.5	58.2	2.65	24.3	4.55	15.1	12.9
	標準偏差	35.2	0.48	0.49	4.2	18.9	0.83	3.84	0.52	2.4	8.4
	変動係数	9.6%	8.7%	9.1%	13.4%	20.1%	19.7%	12.9%	9.9%	12.7%	42.0%
心去り材 【E70】 (n=25)	最大値	541	9.06	8.92	46.4	158.8	6.98	43.5	8.23	29.6	45.6
	平均値	409	7.14	6.89	37.0	101.7	4.52	35.2	6.60	22.1	22.2
	最小値	321	5.80	5.71	26.4	52.8	2.42	24.7	5.45	17.6	12.8
	標準偏差	58.3	0.87	0.85	4.6	32.6	1.38	4.40	0.78	3.0	9.7
	変動係数	14.2%	12.2%	12.3%	12.4%	32.1%	30.5%	12.5%	11.8%	13.5%	43.6%

σ_b と Ea との関係を図 5 に示す。多少のばらつきは認められるものの、心持ち材、心去り材ともに正の相関を示すとともに、心去り材の曲げ強さが心持ち材に比べて高い傾向を示した。

σ_b と σ_c との関係を図 6 に示す。両者の間にはほとんど相関は認められなかった。また、 σ_b については心持ち材と心去り材で明確な差異が認められたものの、 σ_c に関しては両方で明確な差異は認められなかった。

今回のスギ大径材から得られた心持ち及び心去り平角材の強度性能において、曲げ性能に関しては、心去り材に比べて心持ち材の数値が低い傾向を示した。特に若齢時の肥大成長が著しい大径材から心持ち材を製材する場合、その大部分を未成熟材が占める場合があることから、製材の用途や木取りを決定する際には、このことを十分に考慮する必要があると考えられる。

【謝辞】 本研究は、農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業(うち先導プロジェクト)」の支援を受けて行った。

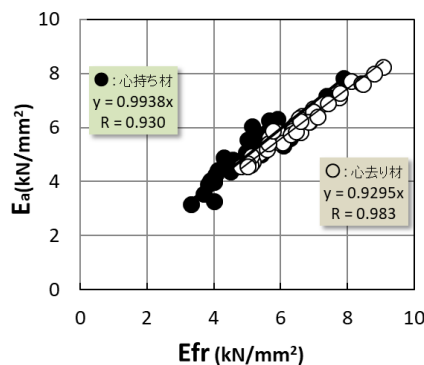


図 3 Ea と Efr の関係

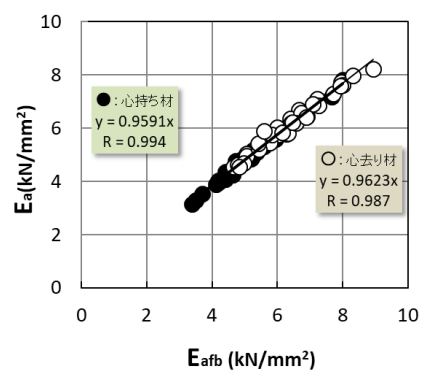


図 4 Ea と Eafb の関係

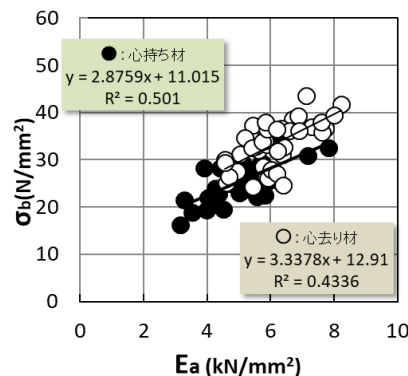


図 5 σ_b と Ea の関係

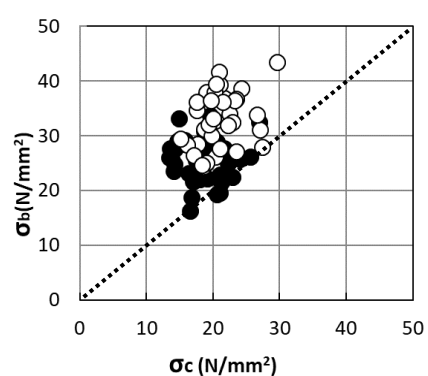


図 6 σ_b と σ_c の関係

2-5 研究発表(誌上)

発行年月	書籍名	氏名	題名	掲載頁
2018年4月	Journal of Natural Medicines	Toshinori Nakagawa Qinchang Zhu Sonam Tamrakar Yhiya Amen Yasuhiro Mori Hiroto Suhara Shuhei Kaneko Hiroko Kwashima Kotaro Okuzono Yoshiyuki Inoue Koichiro Ohnuki Kuniyoshi Shimizu	Changes in content of triterpenoids and polysaccharides in Ganoderma lingzhi at different growth stages	
2018年6月	林業みやざき 4・5・6月 No.553	木材加工部	スギを用いた室内木製遊具の実用化	p.12-13
2018年6月	会報誌 宝もの ～「あたりまえ」に感謝して	下沖 誠	木に想うこと	p.2
2018年7月	しろあり Termite Journal 2018 7 NO.170	須原弘登	切り捨て間伐材のシロアリ食害促進物質の探索	p.17-21
2018年8月	林業みやざき7・8月 No. 554	構法開発部	軸組工法とCLTを組み合わせた耐力壁 (ネダレスタイプ)について	p.12-13
2018年10月	NPO 木の建築 47	荒武志朗	構造用木材のクリープと「水」	p.34-37
2018年10月	林業みやざき 9・10月 No.555	材料開発部	スギの良さ「調湿作用」について	p.12-13
2018年10月	会誌 第52号 全国林業試験研究機関協議会	木材利用技術センター	8 宮崎県木材利用技術センター ー木材抽出成分の効果的利活用ー	p.46-47
2018年12月	林業みやざき 11・12月 No.556	木材加工部	構造用木材のクリープ(長期変形)と「水」	p.12-13
2018年12月	森林バイオマス利用学会誌 Vol.13, No.2	森田秀樹 山中安志 野間昌記 藤元嘉安	鋼板挿入型造作用金物の開発とそれを用いた接合性能評価	p.27-33
2019年3月	木材工業 3月 Vol.74 No.3	森田秀樹 小田久人 青木良篤 落合夏人 岩本景子 若松泰裕	スギ心材の外構材としての特性評価	p.98-103
2019年3月	林業みやざき 1・2・3月 No.557	構法開発部	腐朽した接合部の強度推定方法の開発	p.12-13
2019年3月	公立林業試験研究機関 研究成果選集 No.16	森田秀樹	スギを用いた室内木製遊具の実用化	p.77-78

注1 学会要旨集は除く

注2 共同研究者の所属は省略しています。

2-6 研究発表(口頭)

開催年月	学 会 名	場 所	氏 名	題 名	要旨頁
2018年5月	韓国都市木質化研究会	韓国 大田市	下 沖 誠	日本及び宮崎県における 木材利用の推進について	p.25-59
2018年8月	WCTE 2018	韓国 ソウル	Kohei Komatsu Tomohiro Morimoto Shinsuke Kurumada Hiroaki Tanaka Takeshi Shimizu Shigeaki Kawahara Nobuhiko Akiyama Makoto Nakatani	Development of Glulam Moment-Resisting Joint Having High Initial Stiffness, Clear Yielding Moment and Rich Ductility	ウェブ閲覧
2018年9月	第48回木材の化学加工研究会 シンポジウム	熊本市	須原弘登	未利用木質源の半炭化による利用法の開発+α	p.27-32
2018年10月	公益社団法人 日本木材加工技術協会 創立70周年記念 第36回年次大会	東京都	小田久人 松元明弘 森田秀樹	幅はぎ接着したスギ桎目板等の寸法安定性	p.104
2018年10月	公益社団法人 日本木材加工技術協会 創立70周年記念 第36回年次大会	東京都	森田秀樹 青木良篤 落合夏人 岩本景子	宮崎県産スギ心材の外構材としての特性評価	p.203
2018年12月	第28回日本MRS学術シンポジウム	北九州市	荒武志朗	Bending Creep of Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i> D.Don) and Karamatsu (<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.)Carrière) Dimension Lumber for Wood Frame Construction	E2-020-006
2019年3月	第394回生存圏シンポジウム 平成30年度DOL/LSFに関する 全国・国際共同利用研究成果発表会	京都府 宇治市	須原弘人 中谷 誠 吉村 剛 森 拓郎	シロアリによるスギ材の食害促進物質の探索	p.23-24
2019年3月	第394回生存圏シンポジウム 平成30年度DOL/LSFに関する 全国・国際共同利用研究成果発表会	京都府 宇治市	中谷 誠 須原弘登 吉村 剛 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.25-26
2019年3月	第69回日本木材学会大会	函館市	荒武志朗 松元明弘 中谷 誠 加藤英雄 榎本敬大 大橋義徳 石原 亘	スギ・カラマツ枠組壁工法構造用製材の水分非平衡下にお ける曲げクリープ ーその2 機械等級区分についてー	ウェブ閲覧
2019年3月	第69回日本木材学会大会	函館市	須原弘登 東崎無我 堂籠 究	宮崎県産オビスギ抽出成分の特性	ウェブ閲覧
2019年3月	第69回日本木材学会大会	函館市	藤元嘉安 森田秀樹 中谷誠 姜錫求 杉村孝一 黒木誠 橋口博彌 外山均	ラミナ及び面材で構成された新たな木質材料 Ply Core CLT の開発 I ーPly Core CLT の特徴と構成部材の強度性能評価ー	ウェブ閲覧
2019年3月	第69回日本木材学会大会	函館市	森田秀樹 中谷誠 藤元嘉安 姜錫求 杉村孝一 黒木誠 橋口博彌 外山均	ラミナ及び面材で構成された新たな木質材料 Ply Core CLT の開発 II ーPly Core CLT の製造と曲げ強度性能ー	ウェブ閲覧

注1 共同研究者の所属は省略しています。

2-7 研究発表(展示)

開催年月	学 会 名	場 所	氏 名	題 名	要旨頁
2018年8月	WCTE 2018	韓国 ソウル	Makoto Nakatani Takuro Mori Kei Suzuki	EFFECT OF EMBEDDED CONDITION OF LAGSCREWBOLT IN CROSS LAMINATED TIMBER ON THE PULL-OUT PROPERTIES	ウェブ閲覧
2018年9月	2018年度日本建築学会大会(東北)	仙台市	大坪祐介 森 拓郎 中谷 誠	ラグスクリューボルトの耐力発現機構に関する研究 その1 引抜き性能と押込み性能の比較	CD-ROM
2018年10月	宮崎大学 産学・地域連携センター 第25回技術・研究発表交流会	宮崎市	須原弘登 福村 猛 太田敬一 川崎 修 傳 蓄 加藤功司 島原俊英 重黒木政治 長友優弥	未利用木質資源の半炭化処理による利用法の開発	p.37
2018年10月	宮崎大学 産学・地域連携センター 第25回技術・研究発表交流会	宮崎市	蛭原啓文	屋外で用いる木製構造物の接合強度の評価について	p.42
2018年11月	第25回木材学会 九州支部大会	福岡市	山下かすみ 中谷誠 鈴木利亮 桑水流秀一郎	在来軸組構法とスギCLTを組み合わせた耐力壁の開発	p.30-31
2018年11月	第25回木材学会 九州支部大会	福岡市	平郡雄二	内装・家具木質化促進のための基礎特性評価に関する研究 —スギの調湿性能—	p.32-33
2018年11月	第25回木材学会 九州支部大会	福岡市	須原弘登 蛭原啓文	木材乾燥機排蒸気からの精油回収の取り組み	p.42-43
2019年3月	第69回日本木材学会大会	函館市	松元明弘 荒武志朗 中谷誠 加藤英雄 荒木博章 野口琢郎	スギ大径材から得られた心持ち及び心去り平角材の強度性能	ウェブ閲覧
2019年3月	第69回日本木材学会大会	函館市	中谷誠 荒武志朗 大坪祐介 森拓郎 田中圭	ラグスクリューボルトの引張クリープ性能	ウェブ閲覧
2019年3月	第69回日本木材学会大会	函館市	田中洋 須原弘登	スギ精油の雑草に対する成長阻害効果	ウェブ閲覧
2019年3月	第69回日本木材学会大会	函館市	東崎無我 須原弘登 兒玉了一	スギ精油のクロゴキブリに対する忌避効果	ウェブ閲覧
2019年3月	2018年度日本建築学会 中国支部研究発表会	山口市	大坪祐介 森 拓郎 中谷 誠 小谷竜城	ラグスクリューボルト接合部の引き抜き時における木材ひずみに関する一考察	

注1 共同研究者の所属は省略しています。