

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 スギ由来タール状物質の耐腐朽性及び抗蟻性等に関する研究 材料開発部 ※東崎無我、須原弘登、岩崎新二

1. 緒言

県内の LVL 製造工場では、木材乾燥工程において大量の蒸気が排出され、周辺への臭気対策のため、排蒸気は湿式スクラバーによる処理がなされている。この排蒸気には、木材由来の抽出成分が含まれており、脱臭処理の過程で、抗菌活性や抗蟻活性を有するフェルギノール^{1,2)}などのジテルペン類を含むタール状物質（以下「ヤニ」と言う。）等が排出されるが、現状では用途がなく全量廃棄されている³⁾。このため、このヤニの活用を図ることを目的とし、ヤニからの有用成分の分離・生成、ヤニそのものの耐腐朽性試験及び耐蟻性試験を実施した。

2. 試験方法

2.1 供試虫：イエシロアリ (*Coptotermes formosanus*)：野生個体または京都大学生存圏研究所居住圏劣化生物飼育棟 (DOL) の飼育個体。

2.2 含有テルペンの分離・精製

ヤニ約 15g をシリカゲル[ワコーゲル(富士フィルム和光純薬) C-200] 約 300g でカラムクロマトグラフィーを行い 6,7-Dehydroferruginol、Ferruginol 及び Sandaracopimarinel を分離した。

得られた 6,7-Dehydroferruginol、Ferruginol 画分はエタノールに溶解し、Pd-C 触媒を用いて水素雰囲気下で 24 時間反応を行い Ferruginol へと還元した。反応物はろ過・濃縮後、再度シリカゲルカラムクロマトグラフィー(ワコーゲル C-300)により精製した。弱い殺蟻活性が知られる Sandaracopimarinel⁴⁾を含む画分は再度シリカゲルクロマトグラフィー(ワコーゲル C-300)に供し精製を行った。

2.3 ヤニの耐腐朽性能試験

JIS K 1571:2010 に準じてヤニの耐腐朽性能試験を行った。供試菌としてオオウズラタケ(*Fomitopsis palustris*、褐色腐朽菌)及びカワラタケ(*Trametes versicolor*、白色腐朽菌)を用い、ヤニのエタノール溶液(3%、5%、10%)を木片(スギ辺材、2×2×2cm)に塗布または加圧含浸処理し試験に供した。

温度 25℃、湿度 75%で 12 週間培養した後、試験体の重量減少率を測定した。

2.4 ヤニの抗蟻性試験

2.4.1 強制摂食試験

JIS K 1571:2010 に準じてヤニの抗蟻性能試験を行った。

ヤニ (3, 5, 10% in EtOH) を木片(2×2×2cm)に含浸処理したもの、及び Ferruginol または Sandaracopimarinel (4, 8, 16 mg) をろ紙小片(2×2cm、約 160 mg)に吸着させたものを用いて強制摂食試験を行った。木片使用時は、職蟻 150 頭及び兵蟻 15 頭を、ろ紙使用時は職蟻 100 頭及び兵蟻 10 頭を使用し、木片は 21 日間、ろ紙は 14 日間食害処理を行った。

試験期間終了後に試験体の重量減少量、死虫率、及び個体重量変化を測定した。

2.4.2 選択摂食試験

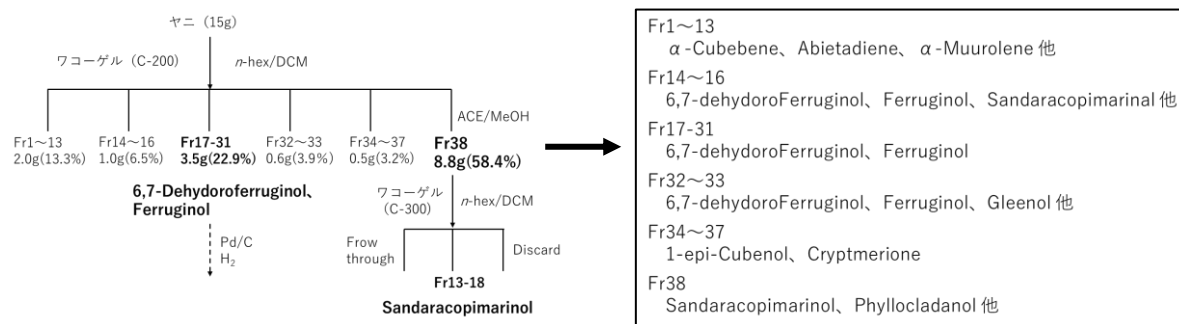
スギ辺材木片(2×2×1cm)にヤニ(3%、5%、10%エタノール溶液)を含浸処理したものを試験体として用いた。コンテナボックス (4 L) に薄く海砂を敷いた容器に試験体を設置し、イエシロアリ(約 4g)を投入し、28 日間食害処理を行った。試験期間終了後に試験体の重量減少を計測し食害量を求めた。

2.4.3 野外試験

JIS K 1571:2010 に準じてヤニの抗蟻性能試験 (野外試験) を行った。スギ辺材で作った 3 cm 角、長さ 60 cm、の杭にヤニ(10%エタノール溶液)を塗布または含浸処理したものを、3 カ所の試験地 (佐土原、串間、赤江) に設置した。

3. 結果

3.1 テルペンの精製



ヤニ 15g をシリカゲルカラムクロマトグラフィーに供し分画を行い、フラクション 17 から 31 において 6,7-DehydoroFerruginol 及び Ferruginol の混合物 3.5g(回収率 22.9%)を得た。これを繰り返し行い、得られた 6,7-DehydoroFerruginol 及び Ferruginol 画分 13.9g を Pd-C 触媒、水素雰囲気下で還元し、生成物 13.8g(回収率 99.0%)を得た。

反応後の生成物 13.8g をシリカゲルカラムクロマトグラフィーで精製を行い、Ferruginol 9.42g(回収率 68.5%、純度 99%)を得た。

Sandaracopimarinol はヤニをシリカゲルカラムに供し分画を行った後、アセトン/メタノールでの洗浄画分に回収されたものを再度シリカゲルクロマトグラフィーに供し分画・精製した。

3.2 ヤニの耐腐朽性能試験

耐腐朽性能試験の結果、オオウズラタケ及びカワラタケともに活性が低く、いずれの試験においても未処理のスギ辺材の重量減少率が 10%未満 (JIS 規格ではオオウズラタケ 30%以上、カワラタケ 15%以上で試験成立) であったため試験成立としなかった。現在再試験を行っている。

3.3 ヤニの抗蟻性能試験

3.3.1 強制摂食試験

2cm 角の木片にヤニを含浸させた試験では (表 1)、無処理の食害量が 266 mg であったのに対し、3%で 171 mg、5%で 122 mg、10%で 78 mg と濃度依存的な低下が見られた。死虫率は無処理の 20.8%に対し、3%は 26.5%、5%は 29.2%、10%は 34.2%と濃度依存的な上昇が見られた。体重減少率は、無処理が 4.3%であったのに対し、3%は 7.8%、5%は 11.4%、10%は 14.1%と濃度に比例し高くなった。

Ferruginol を用いた試験では (表 2)、食害率は無処理の試験体の 54.9 mg に対し、Ferruginol 処理したものは、4mg で 16.8 mg、8mg で 17.1 mg、16mg で 10.0 mg と食害が抑制されていた。死虫率は、無処理の 3.9%に対し、4mg で 7.6%、8mg で 5.5%、16mg で 7.9%で大きな変化は見られなかったが、虫体重量は、無処理の 3.3%減に対し、4mg は 13.5mg、8mg は 19.6%、16mg は 18.7%減少していた。

Sandaracopimarinol を用いた試験では (表 3)、食害量が無処理で 39.9 mg であったのに対し、4mg で 23.6 mg、8mg で 25.3 mg、16mg で 16.7 mg に抑制されたが、Ferruginol と比較すると効果が弱かった。

表 1. LVL工場から得られる廃ヤニを用いた強制摂食試験

	無処理	含浸したヤニの濃度(%)		
		3	5	10
木片重量減少量(mg)	266	171	122	78
死虫率(%)	20.8	26.5	29.2	34.2
虫体重量減少率(%)	4.3	7.8	11.4	14.1

表 2. フェルギノールを用いた強制摂食試験

	無処理	フェルギノール (添加量)		
		4mg	8mg	16mg
ろ紙重量減少量(mg)	54.9	16.8	17.1	10.0
死虫率(%)	3.9	7.6	5.5	7.9
虫体重量減少率(%)	3.3	13.5	19.6	18.7

表 3. サンダラコピマリノールを用いた強制摂食試験

	無処理	サンダラコピマリノール (添加量)		
		4mg	8mg	16mg
ろ紙重量減少量(mg)	39.9	23.6	25.3	16.7
虫体死亡率(%)	16.1	20.6	13.3	15.5
虫体重量減少率(%)	2.7	15.3	13.6	13.2

死虫率は無処理と処理の間であまり差がなかった。
虫体重量は、無処理で 2.7%減であったのに対し、
4mg で 15.3%減、8mg で 13.6%減、16mg で 13.2%
減といずれも無処理よりも高くなった。

3.3.2 選択摂食試験

選択摂食試験の結果を図 1 に示す。無処理の試験
体の食害量が 376 mg であったのに対し、ヤニ 3%処
理では 56 mg、5%処理では 35 mg、10%では 41 mg
といずれも有意に食害を抑制した ($0.01 > p$)。選択
摂食試験は実用的な条件に近いとみなせるため、ヤ
ニ処理木材は実用化に適していると考えられる。

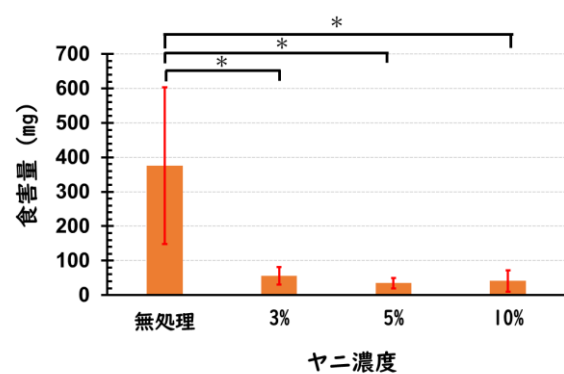


図 1 選択摂食試験の結果 (* : $0.01 > p$ で有意差あり)

3.3.3 野外暴露試験

野外暴露試験に用いる杭（含浸処理、塗装処理）へのヤニの含浸量は平均 25.6 g/本 (47.4 kg/m³)、塗着
量は平均 1.1 g/本 (14.3 g/m²)であった。杭は 2020 年 9 月 6 日（赤江試験地、佐土原試験地）と 24 日（串
間試験地）に打設した。これまでに 3 か月、6 か月目の経過観察を行ったが、処理期間が短く食害の程度が
小さいため、結果は割愛する。試験は 24 か月間行う予定としている。

【参考文献】

- 1: 狩野仁美, 澁谷栄, 林 和男, 飯島泰男, 土居 修一 (2004) スギ心材の抗蟻性におよぼす高温乾燥の影響. 木材学会誌 50:91-98.
- 2: Scheffrahn RH, Hsu RC, Su NY, Huffman JB, Midland SL, Sims JJ. (1988) Allelochemical resistance of bald cypress, *Taxodium distichum*, heartwood to the subterranean termite, *Coptotermes formosanus*. *Journal of Chemical Ecology* 14(3):765-76
- 3: 大平辰朗 (2009) 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 40(6): 400-411
- 4: 在原重信、横山明美、坂東真也、小武家聖哉、伊元信治、小野未架子、吉川和子、網田克明、橋本茂 (2004) スギ (*Cryptomeria japonica*) 黒心材の殺蟻性分. 木材学会誌 50: 413-421

2-1-2 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

材料開発部 ※岩崎新二、須原弘登

1. 緒言

県内にあるLVL製造工場では、木材の乾燥工程で排出される蒸気に含まれる臭気成分を、周辺への環境対策のためスクラバーにより除去処理している。この処理工程で木材成分由来の水懸濁された油分（以下「エマルジョン油」という。）と粘稠なタール状物質（以下「ヤニ」という。）が発生するが、現在のところ用途がなく焼却処分されている。これらの油脂はテルペン類からなり、耐蟻性、抗菌性が報告されるサンダラコピマリノールやフェルギノールなどを多く含んでいる。このことから、エマルジョン油等の有効利用の一つとして、天然物のみを用いた木材用自然塗料として用いる事を検討した。評価としては耐候性（溶脱性）試験、耐蟻性試験、耐腐朽性試験を行い、今年度はこのうち耐蟻性試験の結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 エマルジョン油等の調整

エマルジョン油とヤニに別課題で試験的に回収を行っている「スギ精油」を添加し、塗りやすい粘度に調整した。エマルジョン油はエマルジョン油：スギ精油 1:1（体積比）とし、ヤニはヤニ：スギ精油 1:4（体積比）とした。

粘度調整したエマルジョン油とヤニをスギ辺材杭（3×3×60cm；節2個以下）に塗布した。対照として市販の自然系油性塗料（含浸型）、木材保護塗料（石油系、油性含浸型）を塗布（メーカー推奨回数）したもの及び無塗装の杭を用いた。

表1に試験体一覧を示す。

表1 試験体一覧

試験体名	塗装回数	塗着量
エマルジョン油	1回	5.7g/本
	3回	14g/本
ヤニ	1回	5g/本
	3回	10g/本
自然系油性塗料	3回	9.2g/本
木材保護塗料	2回	6.1g/本
無塗装	—	—

2.2 耐蟻性試験

JIS K 1571「木材保存剤—性能基準及びその試験方法」屋外杭試験に準じ行った。試験地は宮崎（串間市）、鹿児島（日置市）の2カ所選定した。宮崎試験地は平成30年7月、鹿児島試験地は平成30年8月に杭打設を行い、定期的に24ヶ月まで食害度の評価を行った。評価は「雨宮の方法¹⁾」に従い表2により行った。



図1 耐蟻性試験の様子
（宮崎試験地）

表2 食害度評価

食害度	状態
0	健全
1	部分的に軽度の虫害
2	全面的に軽度の虫害
3	2の状態の上に部分的に激しい虫害
4	全面的激しい虫害
5	虫害により形が崩れる

3. 結果及び考察

図2に2試験地の平均食害度を示す。無処理材と自然系油性塗料の24ヶ月後の食害度は2.9と2.7で、JIS規格で定める耐用年数の基準値2.5を超えており、耐用期間を過ぎていることを示した。エ

マルション油、ヤニを塗布したもの（1回及び3回塗り）と木材保護塗料の食害度は、2.5に達せず耐用年数が2年以上となることが確認され耐蟻性が認められた。特に、エマルション油3回塗りと、ヤニ含有液3回塗りの食害度はともに1.2で市販の木材保護塗料の食害度1.8より低く、高い耐蟻性が認められた。

エマルション油、ヤニ含有液は、自然系油性塗料には無い高い耐蟻性や、自然系油性塗料より高い防腐性²⁾を有する結果が得られたことから、木材用塗料として実用性が期待できると考えられる。

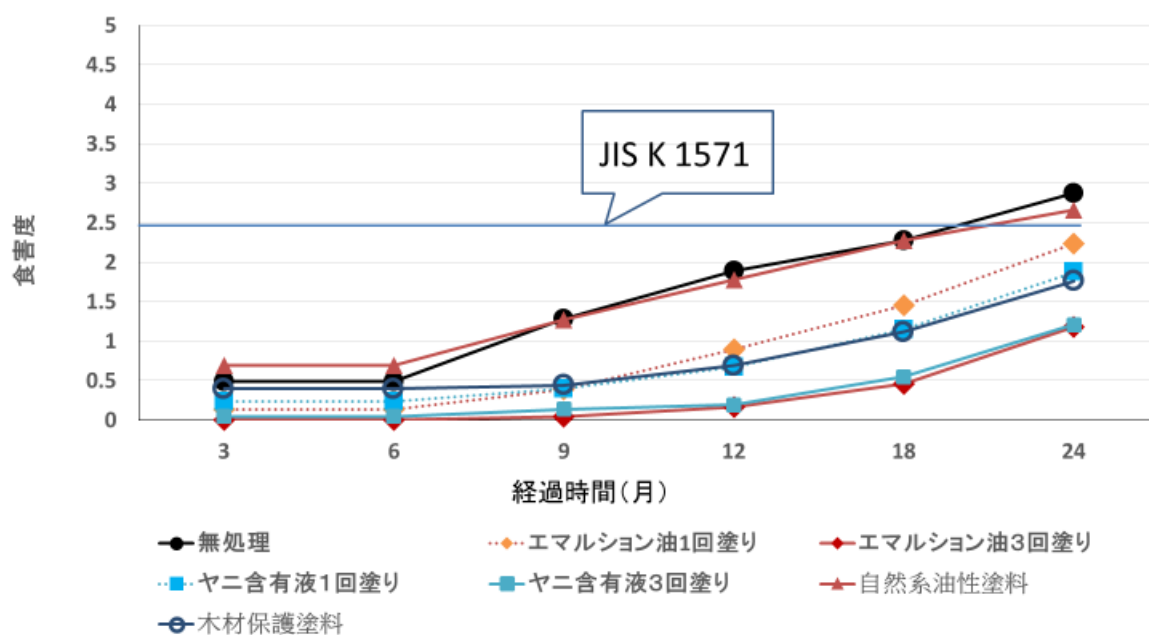


図2 耐蟻性試験評価

参考文献

- 1) 雨宮昭二 浅川実験林苗畑の杭試験(1) 杭の被害程度を評価する方法 林業試験場研究報告 第150号 P143-156 (1963)
- 2) 岩崎新二、須原弘登 木材関連工場より排出されるエマルション油等の有効利用に関する研究 宮崎県木材利用技術センター業務報告書、P32-33 (2019)

1. 背景

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。

製材工場等で使用する木材乾燥機を長期間使用すると、木材由来のタール状物質（スギヤニ）が乾燥機内の壁や床等に付着・蓄積し、扉の開閉や木材の出入を阻害するため、定期的に除去する必要がある（図1）。このスギヤニは有用成分が多く含まれているものの、土砂や木片などのごみが含まれており、これまでのところ用途がなく全量廃棄されている（図2）。

一方で、スギヤニは弓道で用いる滑り止め（ギリ粉）の原料として使用されていたが、スギヤニの流通がほとんどないことから、現在ではスギヤニを原料としたギリ粉の製造・販売はほとんどなく、マツヤニや炭酸マグネシウムを原料としたものが主流となっている。しかし、スギヤニの入手先を探すメーカーもいるため、このごみを含んだスギヤニをギリ粉の原料として利活用するための精製方法について検討を行った。



図1. 乾燥機内に付着したスギヤニ



図2. ごみを含んだスギヤニ

2. 試験内容

2.1 ろ過工程の省力化

スギヤニ精製の省力化のため、今年度はろ過工程について、圧送ポンプ（イワキ TCA10B）及びハウジング（アドバンテック東洋 1TS）を用い、スギヤニ溶液のろ過を試みた。

また、溶媒を使用した場合、ろ過後に溶媒を除去する必要があるため、同じく省力化のために、溶媒を使用せず、金属鍋及び金網によりスギヤニを加熱・融解しごみを除去する方法についても試行した。

2.2 メーカーへの情報提供・協議

昨年度からの検討結果を基に、メーカーへスギヤニの精製方法について提案を行った。また、ギリ粉原料として活用すべく、メーカーとスギヤニの発生源である製材工場との仲介を行った。

3. 結果

3.1 ろ過工程の省力化

濾材をセットしたハウジングと圧送ポンプをホースで繋ぎ（図3）、アセトン及びメタノールの混合溶媒に溶解させたスギヤニのろ過を行った。粘性のある液体であり、吸引ろ過ではすぐに目詰まりを起こしていたが、ろ過器では8 Lのスギヤニ溶液を十数秒でろ過することができ、吸引ろ過と比較し大幅な省力化となることが確認できた。

また、溶媒を使用しない方法として、スギヤニをそのまま加熱し融



図3. ハウジングと圧送ポンプ

解させた。230℃まで加熱することで、金網でゴミをすくえる程度まで粘度を下げることができ、60%程度のごみを除去することができた。

3.2 メーカーへの提案・協議

スギヤニの精製方法について、溶媒に溶解しろ過を行い、その後溶媒を除去する方法、及び金属鍋を用いて加熱し融解後に金網でゴミを掬う方法を、使用した器具等を含め、メーカーに提案した。その結果、メーカーがギリ粉原料としてスギヤニの購入を希望したため、これまでにスギヤニの提供を受けていた製材工場との仲介を行った。

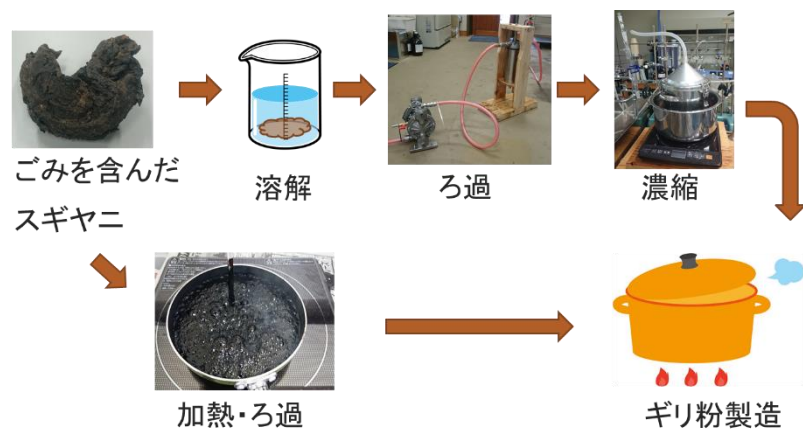


図4. スギヤニの精製工程

2-1-4 糸状菌シトクローム P450 モノオキシゲナーゼ遺伝子組み換え酵母により生産されるテルペノイドを用いた抗蟻成分の探索

材料開発部 ※須原弘登、東崎無我、
一瀬博文（九大・農）、吉村剛（京大・生存圏）

1. 緒言

木質構造物を良好な状態で長期間使用するためには、木材を劣化から守ることが必要である。シロアリ食害は木材を劣化させる大きな原因の一つであり、我が国の白アリ防除市場は推計で 478 億円(2018 年見込)と巨大な市場を形成している。シロアリ防除は化学合成薬剤（農薬）を用いることが主流であるが、脱ケミカルが今後の課題となると考えられる。天然物ではテルペン類をはじめ多くの成分に防蟻効果が報告されているが、生産量が微量である場合が多く、一部を除いて研究・開発が進んでいない。

本研究では糸状菌のセスキテルペン合成酵素（STS）シトクローム P450 モノオキシゲナーゼ（CYP）遺伝子を組み込んだ酵母により生産されるテルペン類の抗蟻性能を評価し、天然物であるテルペンおよびその生物変換物による防蟻処理技術の確立を目指す。

2. 実験方法

2.1 供試生物：本研究では糸状菌（*Phanerochrysis chrysosporium*, *Postia placenta*, *Aspergillus oryzae*）の CYP 遺伝子 425 種をそれぞれクローニングし *Saccharomyces cerevisiae* で異種発現させた酵母ライブラリ（図 1）を用いる。併せて、これに異種発現によりセスキテルペン合成酵素（STS）を組み込んだテルペン合成から代謝までを行うことができる菌株、及び STS のみをクローニングした菌株も用いた¹⁾。生産されたテルペンはイナートシル C18 カラムによる回収・精製後、GC-MS 分析により成分の同定を行った。

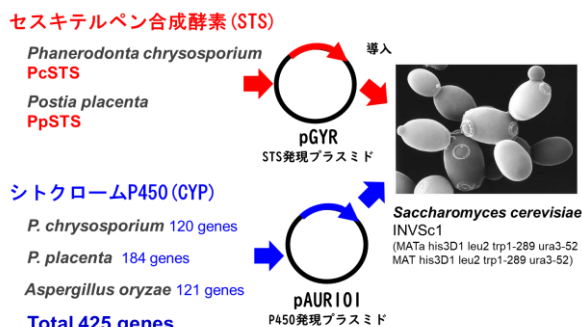


図 1 本研究で用いる酵母ライブラリ

2.2 強制摂食試験：ろ紙（20mm 角、約 160 mg）に遺伝子組み換え酵母により生産されたテルペン（表 1）16 mg を添加したものをを用い、JIS K 1571 に順じて強制摂食試験を行った（今回はサンプル量の都合で n=1）。

3. 結果

本年度はサンプル調製の利便性から STS クローンの代謝テルペンを優先的に用いて試験を行った。各テルペンの強制摂食試験の結果を表 1 に示す。PpSTS-14 の 25 mg 処理及び PcSTS /PcCYP_89b で 50%以上の食害抑制効果が見られた。

表I 供試サンプル及び試験結果一覧

菌株名 (Gene ID)	生産されたテルペン	無処理に対する 食害の割合
PcSTS -01 (Protein ID: 4445)	α -muurolol (33.8%), α -Cadinol (23.7%), Epicubenol (19.1%), etc.	85.9%
PcSTS -02 (Protein ID: 4238)	δ -Cadinene (38.0%), cis-Cadin-4-en-7-ol (17.6%), Epicubenol (17.0%), etc.	59.0%
PcSTS -03 (Protein ID: 4239)	Epicubenol (100%)	94.5%
PpSTS-14 (Acc.No.LC378434)	Sesquithuriferol ? (88.4%), etc.	49.2% (25mg)
PpSTS-08 (Acc.No. LC378430) /CYP5344B1 (Acc.No. AB573273)	Δ^6 -Protoilludene-8-ol (89.8%)*	58.8%
PcSTS (Protein ID: 1803)	Bisabolene (100%)	69.9%
PcSTS (Protein ID: 1803) /PcCYP_35a (Acc. No. AB597850)	Unidentified Bisabolene metabolite 35a (100%)	74.0%
PcSTS (Protein ID: 1803) /PcCYP_89b (Acc. No. AB597885)-1	Unidentified Bisabolene metabolites (42% & 58%)	98.3% (3mg)
PcSTS (Protein ID: 1803) /PcCYP_89b (Acc. No. AB597885)-2	<i>n</i> -Decanoic acid (19.1%), Unidentified bisabolene metabolite 89b-2 (38.0%), cis- Ferruginol (11.1%), etc.	45.9%

*Ichinose & Kitaoka (2018) Microbial Biotechnol 11: 952-965

処理濃度がほかのサンプルより高いものの PpSTS-14 により生産される Sesquithuriferol (推定) に抗蟻性があることが示された。また、PcSTS /PcCYP_89b により生産されるテルペンにはビサボレン代謝物 89b-2 (38%)、デカン酸 (=カプリン酸; 19.1%)、フェルギノール (11%) が含まれており、このうちデカン酸にはシロアリ食害阻害効果が知られており^{2,3)}、シロアリ防除剤の主剤として用いられている。またフェルギノールにも防蟻効果が認められている^{4,5)}ことから、この両化合物の効果により食害が抑制されたと考えられる。

今後は引き続き、他のクローンが生産するテルペンについて抗蟻活性の評価を行い、より活性の高いクローンの選抜を試みるとともに、今回 50%以上の食害抑制が見られたサンプルについて再現性の確認と、抗蟻性に寄与する成分の精製及びこれを用いた抗蟻性能評価を行う予定である。

参考文献

- 1: Ichinose H, Kitaoka T. (2018) Insight into metabolic diversity of the brown-rot basidiomycete *Postia placenta* responsible for sesquiterpene biosynthesis: semi-comprehensive screening of cytochrome P450 monooxygenase involved in protoilludane metabolism. Microbial Biotechnology 11: 952-965
- 2: ファーストガード粒剤 http://www.azuchi.co.jp/03_product/product02/05first_g-01.html
- 3: 吉田慎治. (2005). Anti-termite formulation for soil treatment based on decanoic acid and their efficacy against *Coptotermes formosanus* Shiraki. Japanese Journal of Environmental Entomology and Zoology, 16(2), 71-76.
- 4: 狩野仁美, 澁谷栄, 林 和男, 飯島泰男, 土居 修一 2004. スギ心材の抗蟻性におよぼす高温乾燥の影響. 木材学会誌 50:91-98.
- 5: Scheffrahn RH, Hsu RC, Su NY, Huffman JB, Midland SL, Sims JJ. (1988) Allelochemical resistance of bald cypress, *Taxodium distichum*, heartwood to the subterranean termite, *Coptotermes formosanus*. Journal of Chemical Ecology 14(3):765-76

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、児玉了一

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。今年度は小試験体の強度分布を中心に報告する。

2. 実験方法

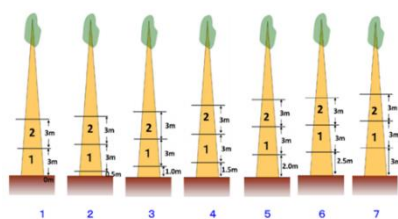


図1 伐採高さと玉切り位置

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7本を選び、図に示すように、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）。

地上高0mで伐採した丸太は髓を含む厚さ10cmのたいこ材に加工し、実験室内で十分に天然乾燥した後、長さ約50cmずつに切断し無欠点小試験体（15×15×240mm）を作成した。曲げ

試験は中央集中（柁目面載荷）で行った。さらに、非破壊部分から長さ30mmの試験片を切り出し気乾時と全乾時の密度を測定した。

3. 結果と考察

小試験体の曲げ試験結果を表1に示す。曲げ強さ（MOR）、曲げヤング係数（MOE）とも地上高が高くなるに従い強くなる傾向が見られる。特に、地上高0.5mの根張り部分では低いことが明瞭である。

表1 小試験体の曲げ試験結果

高さ m	全乾密度kg/m ³		MOR(N/mm ²)		MOE(kN/mm ²)	
	林分A	林分B	林分A	林分B	林分A	林分B
6~5	406	292	87.4	52.0	8.12	4.79
5~4	396	292	86.1	53.1	7.86	4.71
4~3	388	284	84.1	52.9	7.65	4.54
3~2	387	289	81.0	52.7	7.50	4.50
2~1	385	286	81.3	52.4	7.36	4.30
1.0	385	290	78.2	51.3	6.87	4.10
0.5	384	285	70.0	49.6	5.97	3.77
全体	390	288	81.8	52.2	7.41	4.43

注）試験時含水率及び試験体数：林分A 12%、428、林分B 11%、559

次に、両林分の髄からの距離と MOR、MOE 及び全乾密度の推移を図 2 に示す。ここでは胸高位置に相当する地上高 2-1m を示すが、どの位置においても両林分とも同様の推移であった。

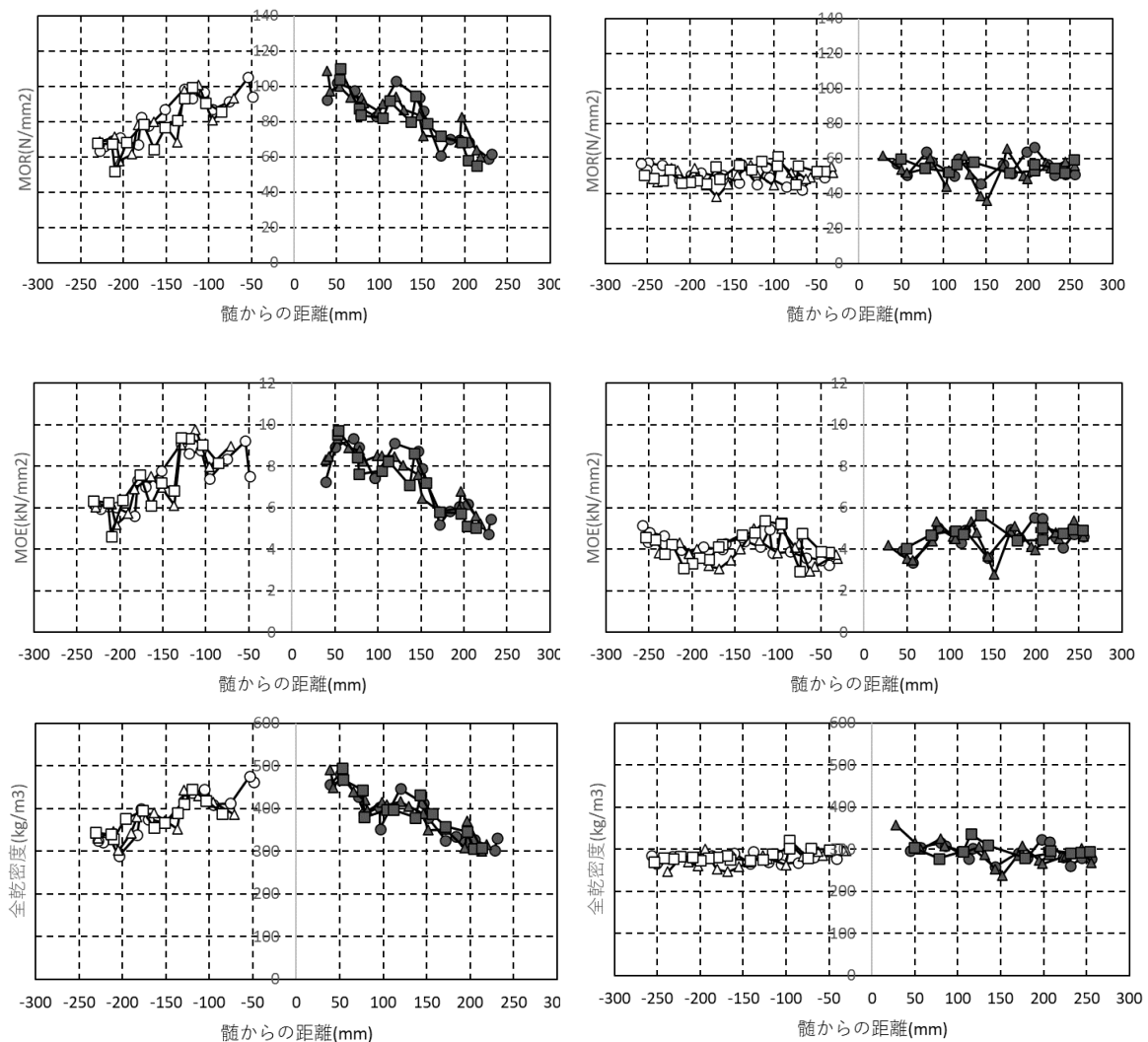


図 2 髄からの距離と MOR、MOE、全乾密度の推移

注 1) 左側は林分 A、右側は林分 B、上から MOR、MOE、全乾密度の推移。注 2) 図中の記号は、試験体を作成する際たいこ材を厚さ方向に 3 分割した各段を示し、白抜きと黒塗りつぶしは髄の左右を示す。

図から分かるように、髄からの距離と強度値の推移は両林分間で大きく異なる。スギ樹幹内の強度分布に関する従来の研究では、強度値は髄付近が最も低く、髄からの距離が増大するに従い増加し、15 年輪から 20 年輪付近、髄からの距離が 80 から 100mm 付近ではほぼ一定に達し、これ以降は安定して推移する傾向であった。本研究の林分 A のように、半径方向の外側に向かって強度値が低下する傾向を示す例は極めて珍しい。そこで、県産スギ材の半径方向の強度分布を広範囲に確認する必要があると考えた。大径材の 1 番玉、すなわち地上高 4 m 位置から厚さ 10 cm の円盤を採取し、圧縮強さを強度値として半径方向の推移を調べることにした。採取は、日南地区と耳川流域の素材生産業、森林組合に協力を依頼し、一伐採か所あたり 3 枚を目安とした。これらの結果は、椎葉県有林の高齢級材の結果と合わせ次年度報告する。

2-2-2 ラミナと木質パネルを組み合わせた新たな木質材料の実用化に関する研究

(1) 最適な接着条件並びに層構成の確立、寸法安定性評価

※児玉了一、田中洋

1. はじめに

製造工程の簡略化及び性能のバラツキを抑えた製品の開発を目的として、ラミナと木質パネル(合板、LVB)を組み合わせた新たな木質材料 Ply Core CLT の実用化に向けた取組を進める中で、今年度は異樹種材料の最適な接着条件を確立する目的でラミナと面材の接着性能を確認し評価を行った。

2. 実験方法

供試体の材質を表 1 に示す。ヒノキラミナ(t=28,30mm)と面材(スギ 構造用合板(t=28),スギ LVB(t=30))を水性高分子-イソシアネート系及びレゾルシノール系の接着剤を用いて接着した。

接着条件は、被着材の繊維方向が同じとなる平行構成とし、面材のみに刷毛で 300g/m²の量を塗布した後、ホットプレスにて 1.2MPa で圧縮した。圧縮時の熱板温度と圧縮時間の組み合わせを水性高分子-イソシアネート系で 30,40,50℃-30,60,120 分、レゾルシノール系で 30,40,50℃-16,24,32 時間とし、それぞれ 9 つの組み合わせで試験体を製作した。また、各条件で製作した試験体から浸せき、煮沸、ブロックせん断試験体を各 3 個準備し、接着性能を直交集成板(CLT)の日本農林規格(JAS)に基づき評価した。

表 1 ヒノキラミナ+スギ 構造用合板、ヒノキラミナ+スギ LVB の材質試験結果

ヒノキラミナ (t=28mm, n=30)				スギ 構造用合板 (t=28mm, n=12)				ヒノキラミナ (t=30mm, n=30)				スギ LVB (t=30mm, n=12)			
密度	含水率	縦振動ヤング係数		密度	含水率	強軸 MOEL	弱軸 MOET	密度	含水率	縦振動ヤング係数		密度	含水率	強軸 MOEL	弱軸 MOET
kg/m ³	%	kN/mm ²		kg/m ³	%	kN/mm ²	kN/mm ²	kg/m ³	%	kN/mm ²		kg/m ³	%	kN/mm ²	kN/mm ²
平均値	512	8.1	12.6	436	11.7	5.81	2.14	平均値	518	8.2	12.6	405	10.5	6.79	0.96
標準偏差	38.4	0.95	1.85	12.8	0.31	0.39	0.25	標準偏差	39.7	0.83	1.46	13.6	0.68	0.42	0.10

3. 結果及び考察

浸せき及び剥離試験結果を表 2、3 に示す。なお、表は剥離が確認された条件のものを 3 個体平均の剥離率で表した。CLT の JAS では、剥離評価平行接着層については、同一接着層の剥離の長さの合計がそれぞれの接着層の長さの 25%以下であることが規定されている。いずれの結果でも剥離が確認されたが全ての条件で基準値を満たした。また、表 3 で最も高い剥離率 22.4%を示した試験体を観察したところ接着不良が発生していたが、これは表面性状の粗い面材料に均一に塗布が出来ていなかったことが要因と推察された。

表 2 浸せき剥離試験結果

被着材 接着剤					ヒノキラミナ + スギ 合板 水性高分子-イソシアネート系					被着材 接着剤					ヒノキラミナ + スギ 合板 レゾルシノール系				
		圧締時間 (m)						圧締時間 (h)											
		30	60	120	16			24	32										
熱板温度 ℃	30	0%	0%	0%	熱板温度 ℃	30	0%	0%	6.3%										
	40	7.2%	0%	0%		40	0%	0%	0%										
	50	0%	0%	0%		50	0%	0%	0%										

表 3 煮沸剥離試験結果

被着材		ヒノキラミナ + スギ 合板				被着材		ヒノキラミナ + スギ LVB			
接着剤		水性高分子-イソシアネート系				接着剤		水性高分子-イソシアネート系			
		圧縮時間 (m)						圧縮時間 (m)			
		30	60	120				30	60	120	
熱板温度 ℃	30	0%	0%	0%	熱板温度 ℃	30	0.3%	5.6%	1.9%		
	40	22.4%	0%	4.1%		40	2.2%	0%	0%		
	50	0%	0%	2.5%		50	0%	0%	0%		

CLT の JAS に規定された試験方法でブロックせん断強さを求めた。CLT の JAS では、異なる樹種同士の接着層(平行接着層)は、せん断強さについての基準が低い樹種区分の数値以上であることと規定されていることから、スギとヒノキの接着においては、せん断強さ 5.4N/mm²以上が必要となる。

破壊形態を観察すると、ヒノキラミナと面材の接着層破壊ではなく、そのほとんどが面材で木部破壊しており、面材の種類(スギ 構造用合板、スギ LVB)による差は認められなかった。つまり、ブロックせん断試験によるヒノキラミナと合板並びに LVB の接着性能評価は困難であった。参考までに試験で得られた最大荷重を接着面積で除して得られたせん断強さを表 4 に示す。

表 4 ブロックせん断強さ

接着剤		水性高分子-イソシアネート系	
		ヒ/キラミナ+スギ ¹⁾ 合板	ヒ/キラミナ+スギ ¹⁾ LVB
全供試体		せん断強さ N/mm ²	
n	21	27	27
平均値	6.2	6.6	6.6
標準偏差	1.0	1.5	1.5

接着剤		レゾルシノール系	
		ヒ/キラミナ+スギ ¹⁾ 合板	ヒ/キラミナ+スギ ¹⁾ LVB
全供試体		せん断強さ N/mm ²	
n	24	27	27
平均値	7.1	8.5	8.5
標準偏差	0.8	1.1	1.1

2-2-2 ラミナと木質パネルを組み合わせた新たな木質材料の実用化に関する研究 (2) ヒノキラミナと韓国カラマツ合板を用いた Ply Core CLT の圧縮性能

田中 洋、兒玉 了一

【緒言】

韓国では、CLT の平行層（外層及び内層）にベイマツ等の輸入ラミナを、直交層に相当する部分に韓国カラマツ合板を配置した新たな木質材料（Ply Core CLT）の実用化が検討されている。本研究では、忠南大学（韓国）及び宮崎大学と共同で、南九州産ヒノキラミナの幅はぎパネルと韓国カラマツ合板を交互に積層接着した Ply Core CLT の縦圧縮性能及びめり込み性能を検討した。

【実験方法】

1 供試材

〔ラミナ〕 南九州産ヒノキ（通しラミナを用いて、幅はぎラミナパネルを製造）

強度等級：《外層用》 $E=11\text{kN/mm}^2$ 以上、《内層用》 $E=9\text{kN/mm}^2$ 以下

〔合 板〕 韓国産カラマツ合板（11ply）

曲げヤング係数¹⁾²⁾：《強軸方向》 10.9kN/mm^2 、《弱軸方向》 5.19kN/mm^2

〔Ply Core CLT〕 ヒノキラミナと韓国カラマツ合板を交互に積層接着した 5 層 5 プライ

原板寸法：幅 1000mm×厚さ 150mm×長さ 4000mm

※ 合板は、その強軸方向がラミナ繊維方向と平行になるように、長さ 2400mm と 1600mm の合板を 2 枚並べて配置（縦継ぎ接着なし）

2 縦圧縮試験（強軸方向：外層ラミナの繊維方向が試験体の長さ方向に平行）

〔試験方法〕 構造用木材の強度試験マニュアル（住木センター）に準拠

〔試験体〕 幅 200mm×厚さ 150mm×長さ 900mm（ $n=12$ ）

3 めり込み試験（強軸方向）

〔試験種類〕 材中間部及び材端部めり込み、全面圧縮（平使い方向及び縦使い方向）

〔試験方法〕 構造用木材の強度試験マニュアルに準拠

〔試験体〕 幅 150mm×厚さ 150mm×長さ 900mm（全面圧縮は長さ 90mm）（ $n=各 10$ ）

【結果及び考察】

1 縦圧縮性能

- ◆ 縦圧縮ヤング係数は平均値 10.0kN/mm^2 （ $SD=0.609$ ）
- ◆ 縦圧縮強度の下限値は 33.7N/mm^2 （CLT：S120-5-5 等級、基準強度 15.1N/mm^2 の 2 倍程度、GLT：E120-F330 等級、基準強度 30.1N/mm^2 と同程度）
- ◆ ただし、合板の無接着突き付け部の有無により、縦圧縮強度の平均値に有意差あり

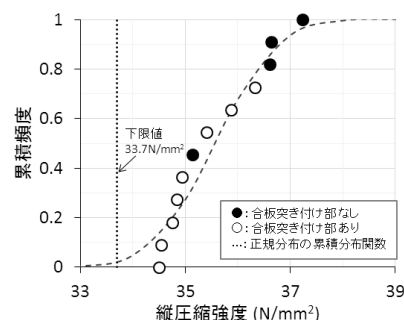


図1 縦圧縮強度の分布

2 めり込み性能

- ◆ 平使い方向に対する縦使い方向の比は、めり込み剛性で 2.8~3.5、めり込み強度で 1.7~2.1
- ◆ 材中間部に対する材端部の強度比は、平使い方向及び縦使い方向ともに 0.8 程度

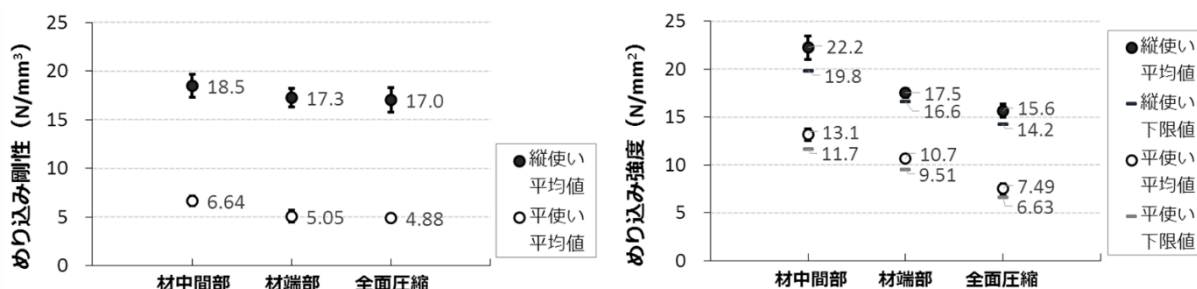


図2 めり込み試験の結果

【文献】

- 1) 田中, 森田, 姜, 藤元：第 26 回日本木材学会九州支部大会講演集，pp. 16-17 (2019)
- 2) Fujimoto, Tanaka, Morita, Kang：J. Korean Wood Sci. Technol., 49(1), pp. 57-66 (2021)

2-2-3 スギ構造材の天然乾燥における表面割れ抑制のための前処理に関する研究

※ 松元 明弘、小田 久人
都城木材株式会社 五十嵐 可久、宮原 大輔、下沖 和佳
AFM JAPAN CORPORATION 沼川 次郎

1. はじめに

木造の住宅や店舗、その他公共建築物等の長寿命化を図るため、薬液による構造材の防腐防蟻処理は一般的となっているが、一部の薬液においては、溶媒等がもたらす効果により、木材の寸法変化や表面割れを抑える働きを有するものがある。薬液による木材の寸法安定化に関しては、ポリエチレングリコール（PEG）による処理がよく知られている。筆者らが市販の米国ナイス社製木材保存剤「ボラケア（2倍希釈）」[日本木材保存協会認定番号：A-5436]の木材への薬液浸透度確認試験を行った際に、試験体の寸法安定化及び表面割れの抑制効果が認められたが、このボラケアにもPEGが溶媒として用いられている。そこで、今回、同薬液の姉妹製品である「ボラケア4D（4倍希釈）」[日本木材保存協会認定番号：A-5473]を用いて、防腐防蟻処理と表面割れ抑制処理を同時に施すための処理条件を検討した。

2. 試験体と実験方法

試験材には、長さ3m、重さが約24～28kgの宮崎県産スギ正角（120mm×120mm）の生材15本を用いた。表面処理の条件としては、薬液への浸せき時間を①瞬時（薬液に浸けて軽く揺さぶってから引き上げる）、②1時間、③4時間、④20時間の4条件設定するとともに、比較のための⑤無処理の計5条件を設定した。各条件につき試験材3本を無作為に振り分けた。また、試験材の浸せき処理にあたり、1条件の本数（3本）が1回で処理できるサイズの処理槽を製作した（写真1参照）。なお、薬液の調整（希釈等）は、製品の説明書の記載に倣って行った。浸せき処理後の試験材は、表面に付着した薬液が垂れなくなるまで、傾けて静置することで滴を切った（写真2参照）。浸せき処理完了後は、試験材を木技センターに搬送し、屋内に栈積みして約1年3ヶ月間（令和元年10月末～令和3年1月末）、天然乾燥を行った。

試験材の測定については、重量、寸法ならびに、材表面（両木口以外の4材面）に発生した各表面割れの長さ及び最大幅を測定した。測定は薬液処理の直前と直後、天然乾燥開始から1週間後、2週間後、1ヶ月後及び2ヶ月後に行い、2ヶ月後以降は任意の間隔で行った。

なお、寸法の測定は試験材の長さ方向中央部にて直交する2材面の幅を測定した（図1参照）。



写真1 浸せき処理槽

写真2 表面処理後の薬液の滴の除去の様子

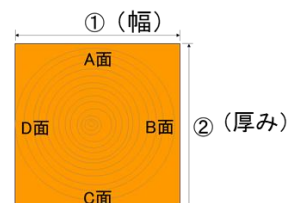
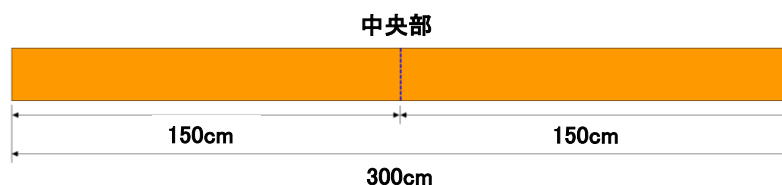


図1 試験体寸法測定位置

3. 結果と考察

浸せき処理後の試験材の天然乾燥期間における重量推移を図2に示す。浸せき直後（R1.10.29）の試験材の重量は約24～28kgの範囲に分布していたが、天乾開始から約半年後（R2.4.30）には、16～19kgに減少し、天乾開始から約半年間で3割ほど重量が減少した。

一方、これ以降は、重量の減少推移が緩やかになり、最終的に重量推移が横ばい（気乾含水率に至る）になるまでに天乾開始から約 1 年を要した。なお、天乾終了後に全乾法により全試験材の含水率を調べた結果、いずれも含水率 14%程度まで乾燥していた。

天然乾燥期間中の試験材の寸法変化及び収縮率の推移を図 3 に示す。図上段の寸法の実測値の推移を見ると、いずれの試験条件とも当初 119~120mm あった幅及び高さが天乾終了時には、一部の

試験材を除き 117~118mm と収縮が進み、処理条件の違いによる差異は認められな

かった。また、天乾終了時の収縮率で見ると約 2~3%の収縮率であった。天然乾燥期間中の各経過日数時点における処理条件ごとの試験材 1 本あたりの表面割れ面積を図 4 に示す。日数の経過に伴い、いずれの条件とも表面割れ面積は増加の推移を示した。また、処理条件ごとの比較では薬液への浸せき

時間が長くなるほど、表面割れ面積は小さくなる傾向を示した。ただし、20 時間処理においても 1 本あたり 50 cm²以上の表面割れが発生しており、今回の薬液処理の条件においては、人工乾燥における高温セットほどの表面割れ抑制効果は得られなかった。冒頭で述べたとおり薬液浸透度確認試験を行った際に用いたボラケアは 2 倍希釈の薬液であり、今回用いた 4 倍希釈の薬液とは希釈の割合が倍異なることから、この希釈割合の違い（PEG の濃度）が要因の 1 つとして考えられる。

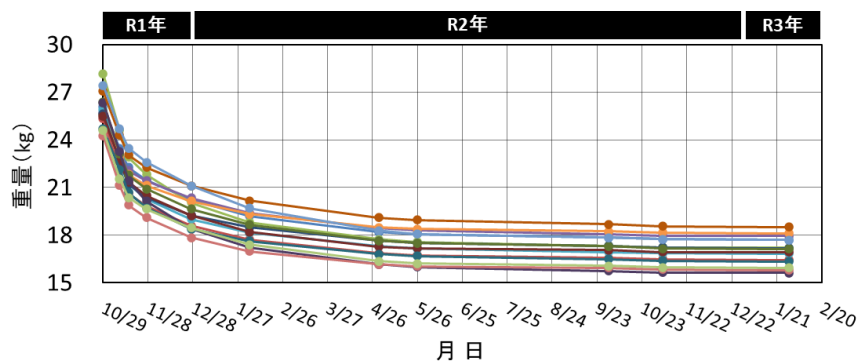


図 2 天然乾燥中の重量推移

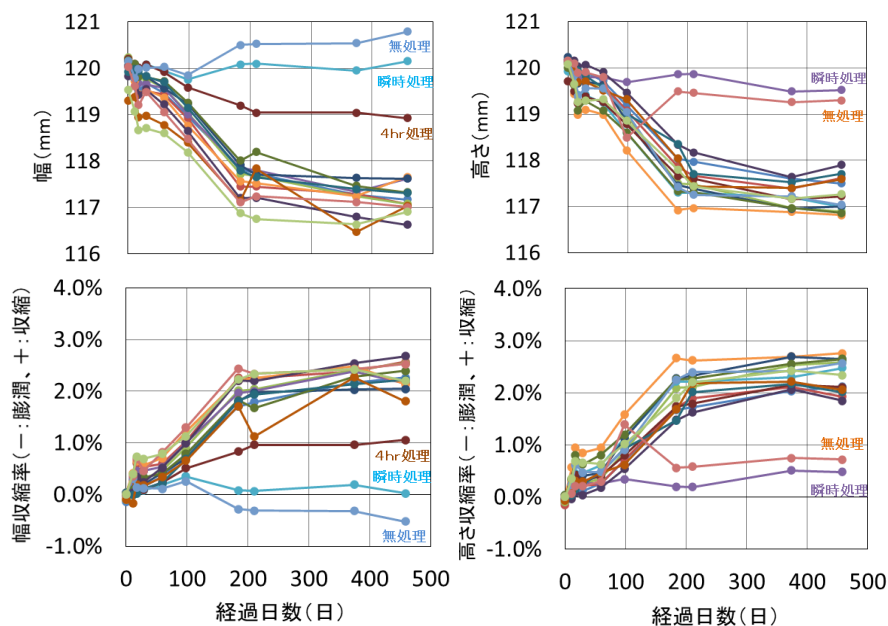


図 3 寸法変化(上段)・収縮率(下段)の推移 (左図:幅、右図:高さ)

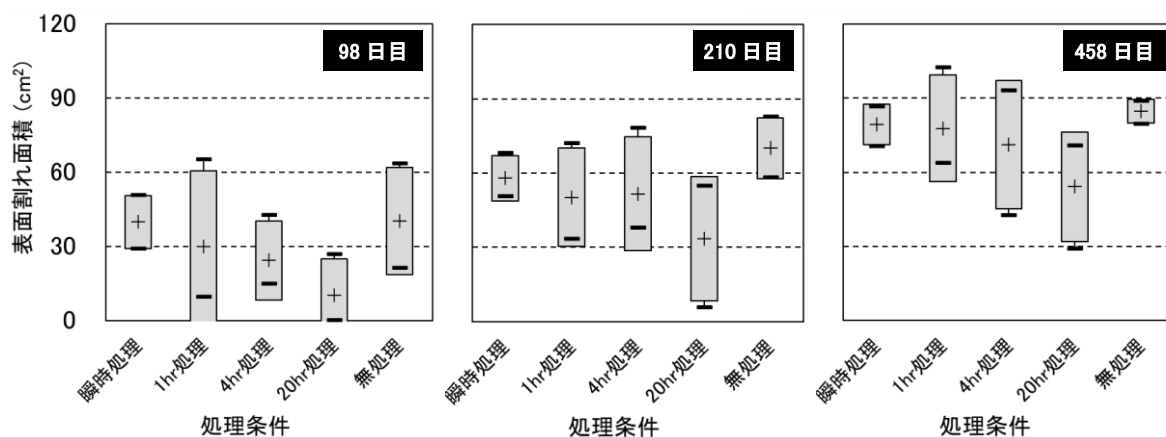


図 4 処理条件ごとの表面割れ面積の比較

2-3 木質バイオマスを活用した産業の育成

2-3-1 廃プラスチック及び廃木材を利用した再生ボードの開発可能性調査

田中 洋

【緒言】

近年、マイクロプラスチックによる海洋汚染問題等を背景に、使用済プラスチック資源（廃プラ）の利用促進が強く求められている。本研究では、廃プラと建設廃材等の廃木材をチップ化して混合した再生ボードを製造し、基礎的な性能試験を行った。

【実験方法】

1 供試材

- ◆ 廃プラ：使用済みの農業用ポリフィルム（ポリエチレン）を高速一軸粉碎機で粉碎後、8mmメッシュを通過したものを原料に使用
- ◆ 廃木材：ナイフリングフレーカーで切削後、1mmメッシュ上に残った小片を原料に使用

2 ホット・コールドプレスによる再生ボードの製造

- ◆ 熱圧時に廃プラが熔融し、冷却により結合力が発現することを利用（接着剤未使用）
廃プラと廃木材を所定の比率で混合してフォーミング ⇒ 熱圧縮した後、冷圧〔図1〕

【ボード仕様】 寸法 300mm×300mm×9mm、目標比重 0.85、ボードの種類：表1

【製造条件】 熱板温度 130℃、圧力 1.5MPa、熱圧時間 9～13min

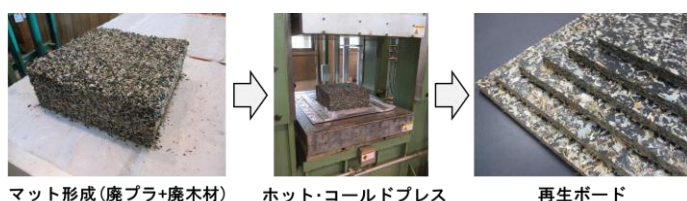


図1 再生ボードの製造

表1 廃プラと廃木材の混合比

ボード タイプ	(乾重量比 %)	
	廃プラ	廃木材
P	100	0
P W1	90	10
P W2	80	20
P W3	70	30
P W4	60	40
P W5	50	50

3 再生ボードの性能試験（JIS A 5908/パーティクルボードに準拠）

- ◆ 曲げ試験、はく離試験及び吸水厚さ膨張率試験

【結果及び考察】

1 再生ボードの曲げ強さ〔図2〕

- ✓ 比重が高いほど曲げ強さが大きい
- ✓ 廃プラのみのボード（Pボード）より廃プラと廃木材を混合したボード（PWボード）の方が曲げ強さが大きい
- ✓ 木材添加による強度向上は、木材混合比 30%以上で顕著

2 再生ボードのはく離強さ〔図3〕

- ✓ PボードよりPWボードの方がはく離強さが大きい
- ✓ PWボードのはく離強さは、パーティクルボード（PB）のJIS基準（0.15MPa以上）を満足

※ 図3の0.6MPa超のデータは、試験ジグとボードの接着面がはく離したもの

3 再生ボードの耐水性〔図4〕

- ✓ Pボードの吸水厚さ膨張率は極めて小さい
- ✓ 木材混合比が高いほど吸水厚さ膨張率が大きい
- ✓ PWボードの吸水厚さ膨張率は、PBのJIS基準（12%以下）を満足

【文献】

- 1) 田中洋、丸田耕正、東郷和也：日本木材加工技術協会 第38回年次大会講演要旨集(2020)、pp. 40-41.

【謝辞】本研究は、(公財)宮崎県産業振興機構「環境イノベーション支援事業」の助成を受けて行った。

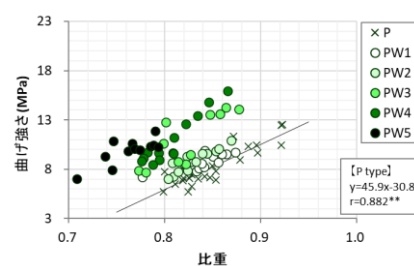


図2 ボード比重と曲げ強さの関係

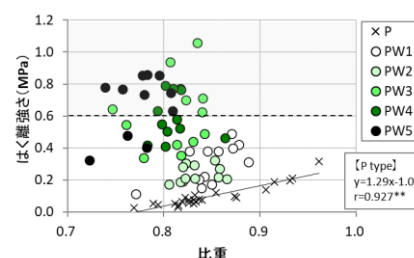


図3 ボード比重とはく離強さの関係

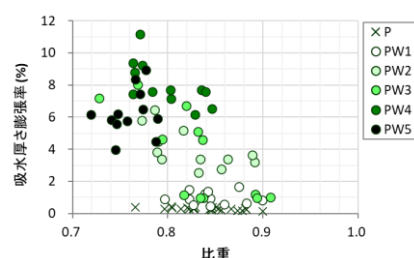


図4 ボード比重と吸水厚さ膨張率の関係

2-4 県産材の需要・販路等の開拓

2-4-1 県産スギ材を用いた小規模建築物用耐力壁の普及に向けた研究

山下 かすみ、中谷 誠、石見 徹

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ことから、CLT より軽量で、なおかつ、CLT 製造機械において製造可能で CLT の生産平準化への寄与が見込まれる MLT (MLT : Miyazaki Laminated Timber) を使用した高耐力で施工性の良い耐力壁の開発を行ってきた。

本研究は、これまでに開発した耐力壁の普及を進めるため、より現実的な施工や納まり等に向けた仕様の検討を目的とした。

※ 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. 県産スギ平行積層集成板 (MLT) 普及・検討会の設置

MLTを用いた小規模建築物用耐力壁の実用化や普及方策について整理・検討することを目的として、「県産スギ平行積層集成板普及・活用検討会」を設置した。委員は本センターの他、設計・施工・材料の各分野から計 13 名の外部委員で構成される。

3. 実験

3.1 試験体と試験条件

耐力壁仕様 (MLT2P-H) 及び床仕様 (MLT-F) の試験を行った。各試験体に用いた 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。耐力壁仕様及び床仕様の各試験体の概要を図 1 及び図 2 に、各試験体の主な仕様を表 1 に示す。

図 1 (左) 耐力壁仕様試験体概要 (MLT2P-H)

図 2 (右) 床仕様試験体概要 (MLT-F)

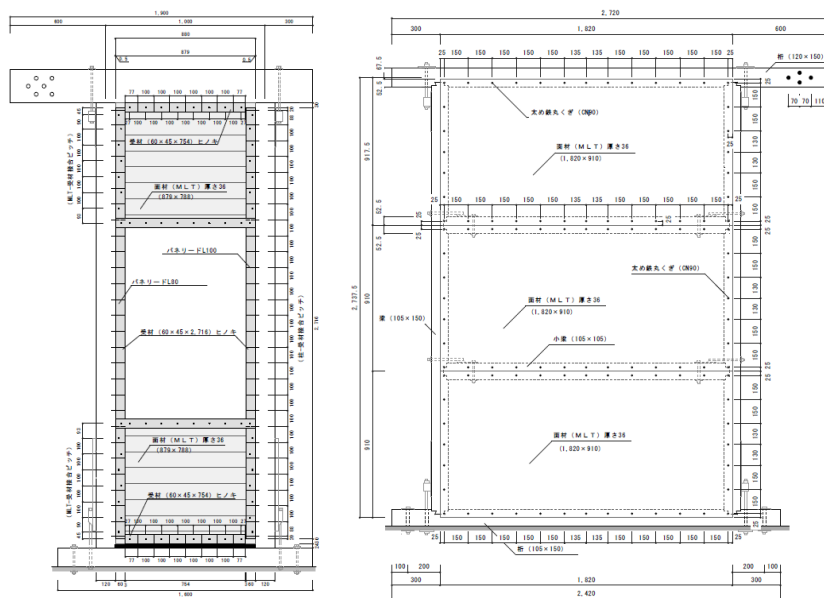


表 1 試験体条件

試験体名	試験体数	MLT 構成	接合方法 (上段 : MLT2P-H、下段 : MLT-F)		
			柱-受材	受材-MLT	横架材-MLT
			桁-MLT	大梁-MLT	小梁-MLT
MLT2P-H	1	2 段組 (ラミナ横)	L100@100	L80@100	上 : L100@100、下 : L135@100
MLT-F	1	3 段組 (ラミナ横) ※	CN90@100		

※桁に垂直方向を縦、水平方向を横とする

耐力壁仕様の MLT2P-H は、これまでに開発した開口部を設けることのできる試験体 MLT2P の耐力向上を目指し、仕様の見直しを行った。これまでの研究では、ラミナ方向を縦から横にすることで耐力が向上することが分かったため、本試験体は縦方向であった MLT2P の仕様を横方向に変えたものである。MLT の接合にはビスを用いた。なお、受材の交差部は相欠きとした。

床仕様の MLT-F は、耐力壁以外の MLT の活用方法として床への活用が考えられたため、根太無し工法による耐力の確認を行った。桁と大梁との接続部分は大入れ蟻掛けに引き寄せ金物締め、大梁と小梁との接続部分は大入れ蟻掛けに羽子板ボルト締めとした。MLT の接合には釘を用いた。

3. 2 試験方法

試験は、柱脚固定式試験法を採用し、土台（床仕様の場合は桁）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（床の場合は 1/50rad まで）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（床の場合は 1 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。

3. 3 試験結果と考察

各試験体の終局状態を図 3 及び図 4 に、加重と見かけのせん断変形角の関係をそれぞれ図 5 及び図 6 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（床）倍率は、試験体数が各条件 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。

破壊性状としては、MLT2P-H は 1/50rad で MLT の割裂が生じ、その後受材（交差部）の割れ破壊、柱の座屈が生じた。MLT-F は加力条件である変形角 1/50rad までに試験体の破壊は見られなかった。最終破壊時である 1/15rad にはパネル及び大梁の割裂、ビスの引き抜けが生じた。

表 2 より、MLT2P-H は壁倍率が低減後で 3.2 倍と、通常の筋交いと同等の壁倍率を有し、耐力壁として使用できることが確認できた。MLT-F は、低減を考慮しない床倍率が 5.7 倍と高耐力で、強度的には床材としても使用できることが確認できた。



図 3 MLT2P-H の終局状態

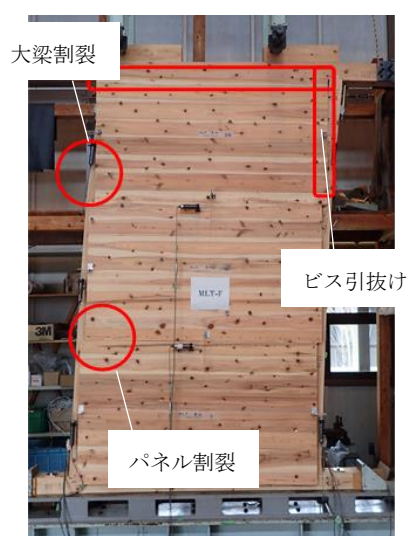


図 4 MLT-F の終局状態

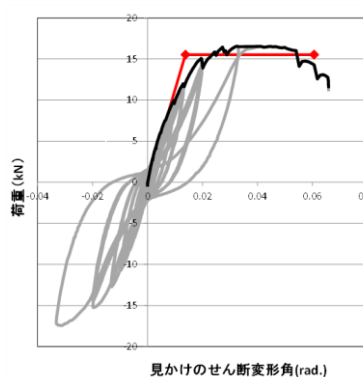


図 5 MLT2P-H の加重と見かけのせん断変形角の関係

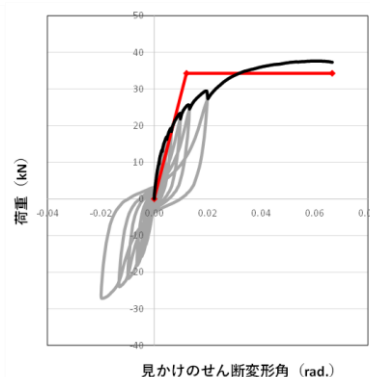


図 6 MLT-F の加重と見かけのせん断変形角の関係

表 2 全試験結果

壁倍率の () 内は $\alpha=0.75$ で計算

試験体名	① P_y (kN)	② $P_u \times (0.2/D_s)$ (kN)	③ $2/3P_{max}$ (kN)	④ P_{120} (kN)	短期基準せん断 耐力 P_o (kN)	壁倍率 床倍率 —	P_{max} 最大耐力 (kN)	P_u 終局耐力 (kN)	K 初期剛性 (kN/rad)	D_s 構造特性係数 —	δ_y 降伏変位角 ($\times 10^{-3}$ rad)	δ_u 終局変位角 ($\times 10^{-3}$ rad)
MLT2P-H	8.26	8.67	11.0	9.08	8.26	4.2 (3.2)	16.6	15.5	1126	0.36	7.33	60.6
MLT-F	20.5	21.7	25.1	22	20.5	5.7	37.6	34.3	2836	0.32	7.23	66.7

1 はじめに

木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」が施行され、国が定めた基本方針では、国や地方公共団体が整備する公共建築物並びに民間事業者が整備する学校、社会福祉施設、病院等については可能な限り木造化又は内装の木質化を図るとの考えが示された。

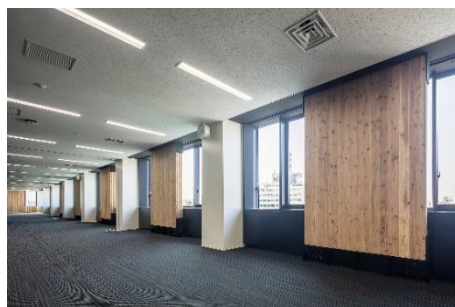
宮崎県木材利用技術センターでは、この法律の施行前から様々な公共建築物等に関する技術支援を行ってきたが、法施行に伴い、公共建築物の整備における木材利用の機会が増え、技術相談も増加することが想定されたことから、平成 25 年度に「木構造相談室」を設置し、公共建築物等の木造化・木質化に関する情報提供や技術支援を行ってきた。

○過年度の技術支援

令和 2 年度に完成した宮崎県防災庁舎の設計において、CLT 耐力壁の圧縮性能試験、接合金物のめり込み性能試験を当センターにて実施した。



(宮崎県防災庁舎 全景)



(宮崎県防災庁舎 内部)

○今後完成予定のプロジェクト

新宮崎県体育館で採用する木造トラス架構における下弦材接合部の引張性能試験を当センターで実施した。



(外観イメージ)



(内観イメージ)

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を踏まえ、地域材活用の効果について認識する必要がある。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る。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となる。

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いかたり、施設整備事業主管部局、

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る。

このため、木材利用技術センターの「木構造相談室」では、市町村が整備する公共建築物の木造化・木質化について、その事業が円滑に推進できるよう、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る。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る。

3 令和2年度の木構造相談室

県内全市町村の施設整備担当部局に木材利用促進に関するアンケート調査を行うとともに、25市町村を訪問し、公共建築物の木造化・木質化の取組状況、今後の建物整備計画、木造化・木質化を推進する上での課題などについてヒアリング調査を行った。

木造化・木質化への取組状況については、各市町村とも木材の利用推進に関する方針を定めており、建設部局と林務部局の定例的な協議は行われていないものの、建物整備においては、まずは木造を検討するとしている市町村が多かった。

また、木造化・木質化への課題や阻害要因としては、外部塗装などのメンテナンスコストや工事コストの他、耐久性や遮音性、耐火性といった木造特有の課題が挙げられた。(図1参照)

その他、公共建築物の木造化・木質化推進のための技術支援マニュアルの別冊として、県内の木造・木質化した公共建築物の事例集(図2)を作成し、県関係各課及び市町村に配布した。

4 成果

各市町村とも木材利用推進に関する方針を定め、ほとんどの市町村において積極的に木材利用の推進に取り組んでおり、公共建築物の木造率(林野庁試算)についても、令和元年度では24.7%(3階建て以下36.2%)と、全国平均13.8%(3階建て以下28.5%)を上回るなど、建物整備における木造化が図られている。

また、公共建築物建設事業担当者向けの「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」及び「県内の木造化・木質化した公共建築物の事例」を全市町村に配布することが出来たことにより、今後は市町村の施設整備担当者と共通の情報として本マニュアルを活用することで、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いる。

さらに、県産材の利用拡大を進めていくため、県内の公共木造(木質化)建築物の図面集を作成し、建築技術者向けに広く公開するとともに、事例集に掲載する施設については定期的に更新することにより、木材利用拡大の取組を支援していく予定である。

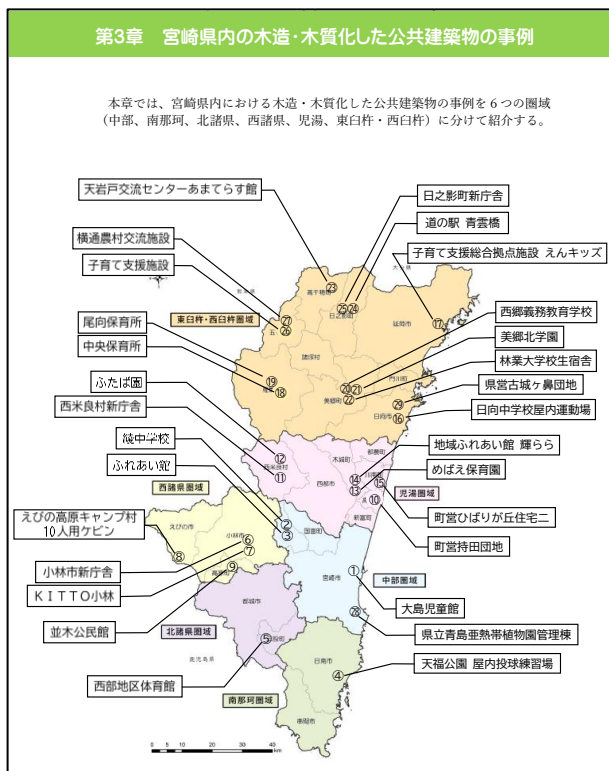
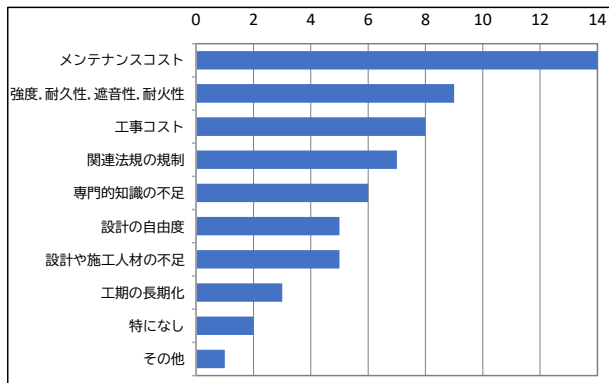


図2 木造化・木質化した公共建築物の事例

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要求されるため、接合部の設計においても短期的のみならず長期的な安全性が求められる。本研究では、中・大規模木造建築物に使用されている大型のネジ型接合具であるラグスクリーボルト（以下、LSB）による接合部、そして鋼棒と接着剤を併用した GIR 工法をについて、その主な耐力発現機構である引張性能に関して、クリープ試験による長期的な変形特性の解明を目的とした。また、長期荷重を 2 年 3 ヶ月負荷した接合部について、荷重除去後の引張強度及び剛性を実験により明らかにすることを目的とした。

【実験方法】

図 1 に試験方法を示す。1 本の木質部材の上下に接合部を設け、テコの原理により長期荷重を各接合部に負荷した。

木質材料はスギ構造用集成材、強度等級が E65-F225、断面寸法が 120mm x 240mm とし、長期試験体と強度試験用のマッチング試験体は 1 本の材料の隣り合う位置から採取した。LSB はネジ山径が 25mm、ネジ谷径が 20mm、ネジ山ピッチが 10mm で、部材中央部に空けた直径 22mm の先穴に深さ 210mm まで埋め込んだ（ネジ有効埋め込み深さ 150mm）。GIR は直径 24mm の中空型全ねじボルトで、部材中央部に空けた直径 27mm、深さ 150mm の先穴に差し込み、その隙間を接着剤で完全に充填することで部材と一体化した。

試験手順について、マッチング材による強度試験結果から試験で負荷する長期荷重（試験による最大荷重の 1.1/3 倍）を決定し、その荷重を 2 年 3 ヶ月間に渡り試験体に負荷して変形量の推移を測定した。その後、荷重を除去して約 2 時間後に万能試験機により引張強度試験を実施した。長期試験の試験体数は各接合形式 2 体（測定部 4 か所）とし、強度試験は各 1 体を供した。

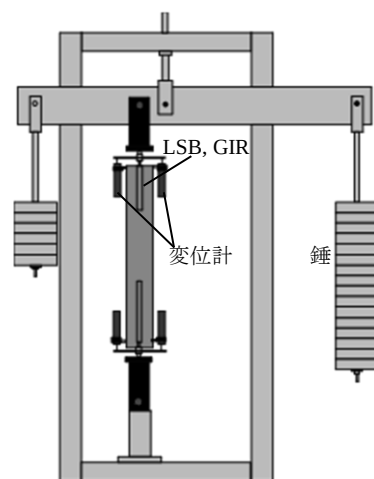


図 1 長期試験方法

【実験結果】図 1 に長期試験の結果を示す。LSB 及び GIR の引張変形量は、試験体の木口面近くの両側面に取り付けた変位計 2 本の値の平均値とした。LSB は、平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1446 号により求めた 50 年後の変形量の推定値を表 2 に示す。GIR は、夏季において大きく変形が進展する傾向となり、その原因を検討中である。

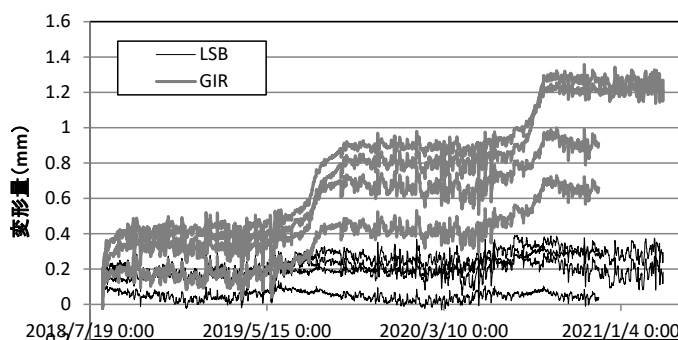


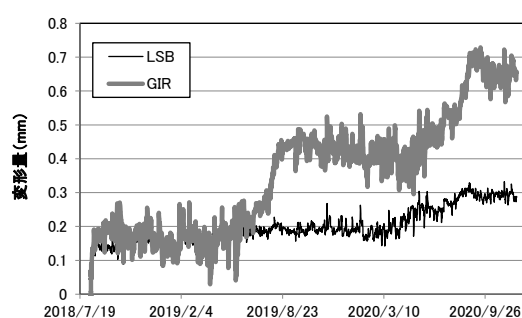
図 1 長期試験結果

表 1 告示法で推定した変形量と変形増大係数

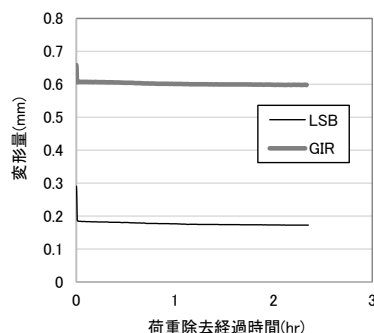
試験体名	50年後の変形量(mm)	変形増大係数
LSB1上部	0.28	2.99
LSB1下部	0.03	0.48
LSB2上部	0.36	3.17
LSB2下部	0.22	1.76
平均値	0.22	2.10

図 2 に引張強度試験に供した試験体の長期変形の推移、そして荷重除去後 2 時間における変形量の推移を示す。荷重除去直後に回復した変形量は LSB が 0.105 mm（長期変形の 36%、初期変形量の 1.1 倍）、GIR では 0.052 mm（長期変形の 7.8%、初期変形量の 1.2 倍）であり、その後 2 時間の間に約 0.01mm と微小な変形回復が見られた。

表 2、3 及び図 3 に、長期荷重を受けた試験体とマッチング試験体（無載荷材）の引張試験結果を示す。長期試験体の変形量は、長期試験開始時からの変形を引き継いだ値である。ただし、長期試験機から万能試験機への入れ替えの際に LSB 試験体で 0.003 mm、GIR 試験体で 0.05 mm 程度のズレが生じている。LSB 及び GIR とともに、最大荷重は長期試験体がマッチング試験体より若干高い値となり、長期荷重を受けたことによる耐力低下は認められない結果となった。最大荷重時の変形量は長期試験体がマッチング試験体よりも僅かに大きくなり、剛性は長期試験体が 1.6 倍程度高くなる傾向となった。



(i) 長期試験の変形量



(ii) 荷重除去後 2 時間の変形量

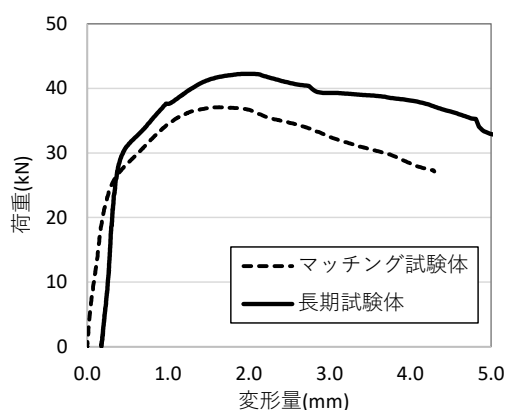
図 2 荷重除去後の変形量の推移

表 2 LSB の長期試験体 vs. マッチング試験体

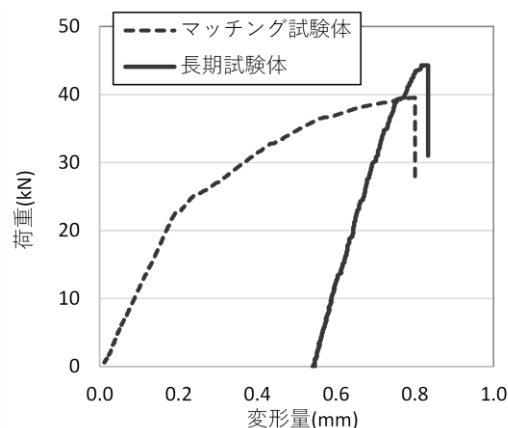
	マッチング試験体	長期試験体
最大荷重(kN)	37.1	42.3
最大荷重時の変位(mm)	1.63	1.97
初期剛性K(kN/mm)	100	159

表 3 GIR の長期試験体 vs. マッチング試験体

	マッチング試験体	長期試験体
最大荷重(kN)	39.6	44.3
最大荷重時の変位(mm)	0.80	0.82
初期剛性K(kN/mm)	122	205



(i) LSB 試験体



(ii) GIR 試験体

図 3 長期荷重後の試験体とマッチング試験体の荷重と変形量の関係

【まとめ】 本試験結果より、長期荷重を受ける LSB 接合の 50 年後の変形量は 0.3mm 程度とごく僅かであり、接合部として問題はならないと考えられる。GIR については、夏季（高温時）に変形が増大する傾向が認められたことから、今後検討が必要である。長期荷重を 2 年 3 ヶ月負荷した LSB 及び GIR による接合部の引張強度性能について、両接合方法ともに耐力の低下は認められず、最大荷重時の変形量は僅かに増加し、剛性は高くなる傾向が見られた。

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

住宅の着工数が減少する中、木造による中・大規模建築物が注目を浴びている。これらの建築物は長期間安全に使用できることが求められるにもかかわらず、接合部の生物劣化による強度低下に関する研究は少ない。今後、中・大規模木造建築物が推進されるためにも、長期利用に関する研究が不可欠である。そこで本研究では、中・大規模木造建築物の接合部に用いられるドリフトピンについて、生物劣化による強度低下と超音波伝播速度の関係を検討する。非破壊での測定が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、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

本研究では、生物劣化を促進させるファンガスセラーを用いて接合部試験体に生物劣化を生じさせ、超音波伝播速度の測定と強度試験を行った。試験体は、木材を寸法 120mm x 168mm、厚さ 30mm の宮崎県産スギ、接合具を直径 12mm のドリフトピンとした。ドリフトピンを木材中央部に設けた先穴に通した試験体を、ファンガスセラー内部の土中に埋め込むことで強制的に腐朽させた（図 1 参照）。試験条件は、ドリフトピンの木材へのめり込み方向として、木材の繊維方に対して平行と直交の 2 条件とした（図 2 参照）。試験体数は各条件 42 体、合計 84 体とした。

ファンガスセラーに設置直後、超音波伝播速度を 4、6、16、21、28 ヶ月目に測定した。支圧強度は 6、16、28、30 ヶ月目に各条件 6 体（28 ヶ月目の繊維直交方向のみ 7 体）をファンガスセラーから取り出し、気乾状態になるまで室内で養生させた後に強度試験を行い、その結果より算出した。また、初期剛性を強度試験における荷重と変位の関係における初期の直線域から算出した。



図 1 28 ヶ月目の試験体

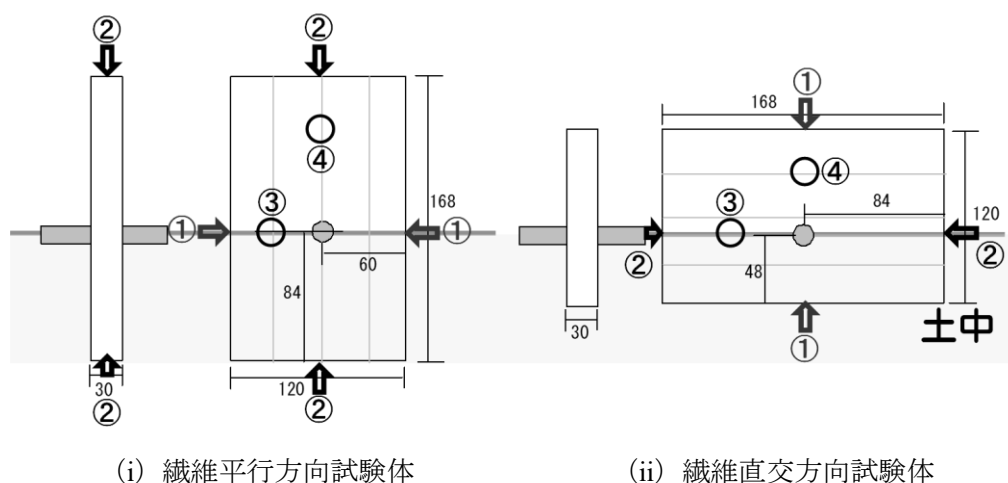


図 2 試験体の詳細（注：各矢印及び○は超音波伝播速度の測定値）

3. 結果および考察

ファンガスセラーにおける試験体の設置期間と超音波伝播速度の関係について、設置期間が長くなるに伴い僅かに遅くなる傾向が見られた（図3、4参照）。支圧強度について、繊維平行方向試験体は超音波伝播速度と支圧強度に明確な傾向が見られなかった。しかしながら、繊維直交方向試験体は超音波伝播速度が遅くなるほど支圧強度が低下する傾向が見られた（図5参照）。初期剛性についても、繊維平行方向試験体は明確な傾向が認められず、繊維直交方向試験体は超音波伝播速度が遅くなるほど初期剛性が低下する傾向が見られた（図6参照）。今後、生物劣化が更に進んだ試験体について測定を実施する。

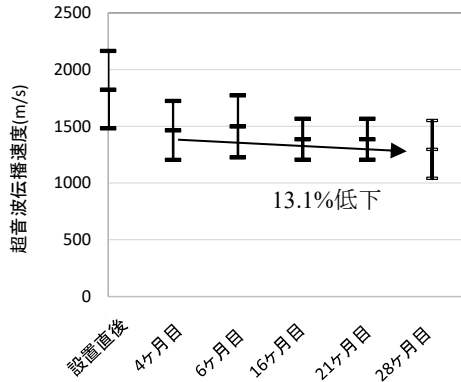


図3 超音波伝播速度の変化(繊維平行方向)

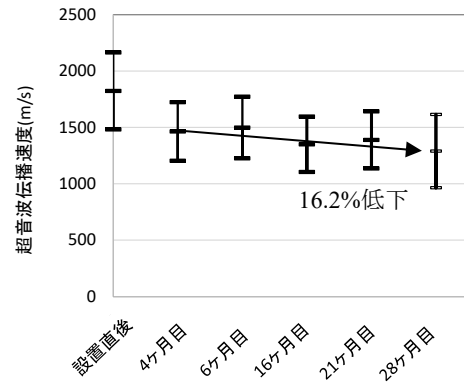
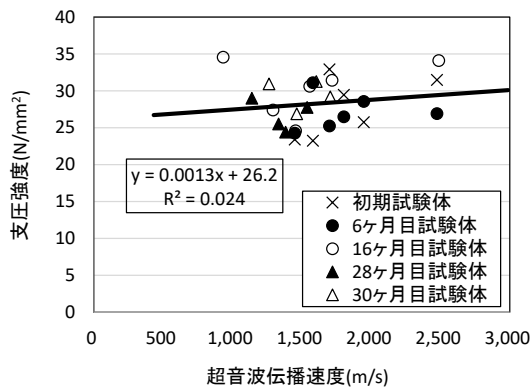
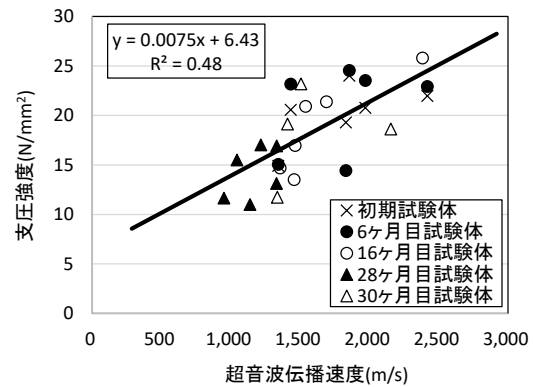


図4 超音波伝播速度の変化(繊維直交方向)

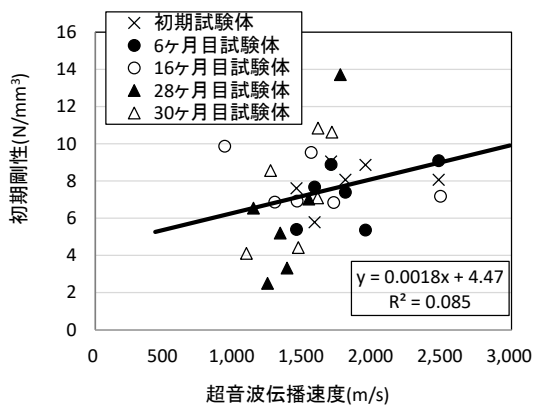


(i) 繊維平行方向

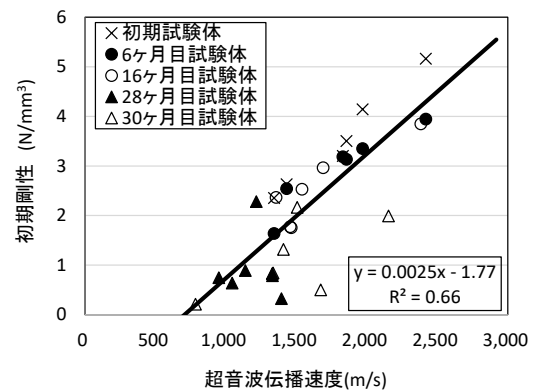


(ii) 繊維直交方向

図5 支圧強度と超音波伝播速度の関係



(i) 繊維平行方向



(ii) 繊維直交方向

図6 初期剛性と超音波伝播速度の関係

木材利用技術センター 水久保孝英、小田久人、岩崎新二

(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

【緒言】

住宅や学校、職場など生活・活動の場や倉庫、書庫など物品を保管する空間において湿度を管理し調節することは、室内の環境管理上、重要な要素といえる。室内に木材を置くことで湿度を調節する効果があることは知られているが、空間内の木質化量と発揮される調湿性能の関係を明確に示した試験結果はこれまでになかった。

そこで、空間内の木質化量を気積率(木質化面積/空間の容積)で表し、十分な調湿性能を発揮する気積率を明らかにして、内装木質化の指標とすることを本研究の目的とする。このため、本研究ではアクリル板等で作られた空間の中に木材を設置し、調湿性能試験を行うこととした。

【材料及び方法】

(1) 試験体

県産スギの板材(心材・KD、長さ 270mm×幅 59mm×厚さ 3.6mm) 38 枚を製作し、試験体とした。この試験体を恒温恒湿器(アドバンテック製 AG-327)内に静置し、温度 $23\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度(以下「湿度」) $50\pm 2\%\text{RH}$ の雰囲気中で恒量に達するまで養生を行い、評価面の木表面以外の 5 面にはアルミテープを貼り断湿した。

(2) 試験方法

アルミフレームとアクリル板で長辺 1146mm×短辺 860mm×高さ 720mm のアクリルボックス(以下「ボックス」)を製作し、恒温恒湿室(サンヨー製 MTH-140HP)内の高さ 50cm の台の上に設置した。ボックス内の長辺の壁 2 面に試験体 38 枚(片側 19 枚)を設置し、木質化面積を 0.61 m^2 とした。ボックス内の容積が 0.71 m^3 であるため、気積率は 0.86 となる。

ボックス内は、住宅で広く採用されている第 3 種換気(自然給気、機械排気)とした。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(山洋電気製 SanAce40

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 0.5~1.0 回換気する設定にして常時稼働させた。

温湿度の測定は、温湿度記録計(ティアンドデイ製 TR-72wf)のセンサーを、ボックス内の床から高さ 3cm と 33cm、ボックス外の高さ 36cm(ボックス中央の高さ)の位置に設置し、10 分間隔で計測した。

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)を参考にした。なお、今回の試験は通常の室内での温湿度変化を想定しているため、湿度条件は中湿域とした。具体的には、恒温恒湿室内を温度 $23\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ とし、湿度 $50\pm 2\%\text{RH}$ の雰囲気中で 12 時間以上調整した後、湿度 $75\pm 2\%\text{RH}$ (以下「高湿」)の雰囲気中で 12 時間試験体に吸湿させた後、湿度 $50\pm 2\%\text{RH}$ (以下「低湿」)の雰囲気中で 12 時間放湿させた。木材の調湿性能は、高湿時にボックス内の湿度が $40\sim 70\%\text{RH}$ (建築物衛生管理基準で環境衛生上良好であるとされている湿度)の範囲内に保たれている時間で表した。

なお、今回は、吸放湿を 5 回繰り返して試験を行った。また、比較対照として非木質化のボックスでも同様の試験を行った。

【結果及び考察】

木質化したボックス内の温度は、恒温恒湿室の設定温度の範囲内にありほぼ一定であった

(図 2)。非木質化でも同様の傾向を示した。



図 1 調湿性能試験(木質化)

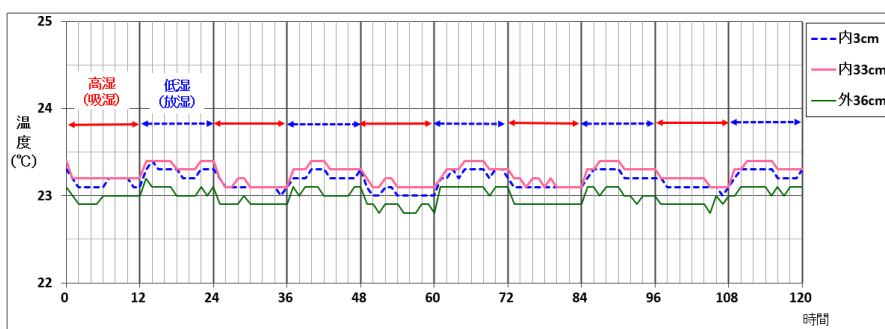


図 2 温度(木質化)

吸放湿 2 回目までの相対湿度の変化を図 3, 4 に示す。高湿時にボックス内の湿度を 70%RH 以下に保持した時間（以下「保持時間」）は、非木質化より木質化の方が長くなっており、木材の調湿効果を確認できた。

保持時間の吸湿回数による推移（図 5）をみると、木質化ボックスの保持時間が、1 回目から 2 回目にかけて大幅に短くなっている。これは 2 回目開始時の湿度が、1 回目の初期値まで下がりきっていない（図 4）ため、2 回目の保持時間が短くなったと考える。その後、3 回目以降の保持時間は少しずつ短くなっており、4 回目と 5 回目はほとんど変わっていない。

1～3 回目の保持時間は本試験の初期条件（養生した試験体を一定の温湿度に静置）が影響していると考えられ、その影響がほぼなくなった 4 回目以降は保持時間が一定になったと推測する。実際の室内は、本試験の初期条件のような環境におかれることはないことから、吸湿 4 回目に示した保持時間を、今回の試験の気積率に対する調湿性能とみなすことが妥当と考える。

一方、非木質化の保持時間ではあまり変化がみられなかった。これは、湿度に影響を与える要素が非木質化にはなかったためと考える。

次年度は、今年度得られた結果を踏まえて試験を行い、十分な調湿性能を発揮する気積率を解明したい。

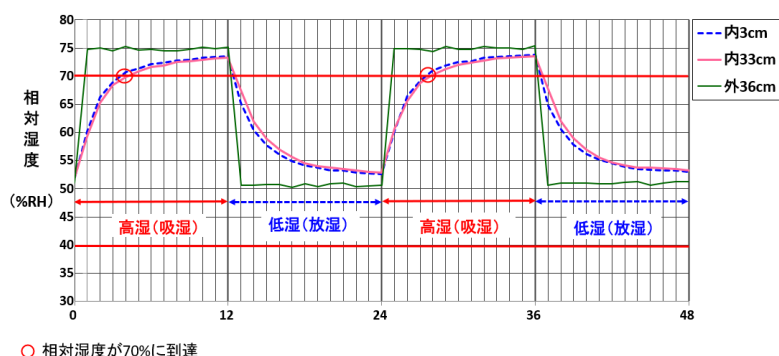


図 3 相対湿度（非木質化）

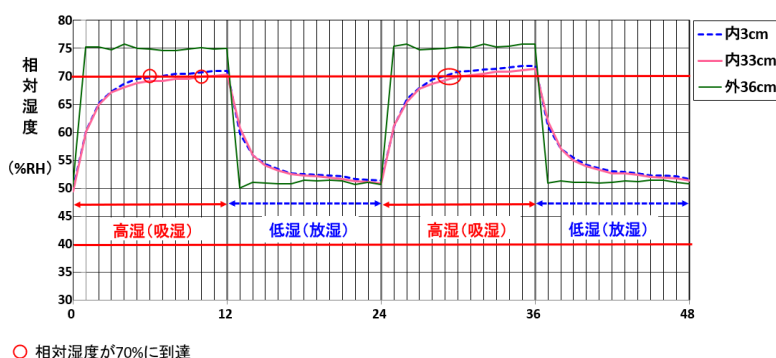


図 4 相対湿度（木質化）

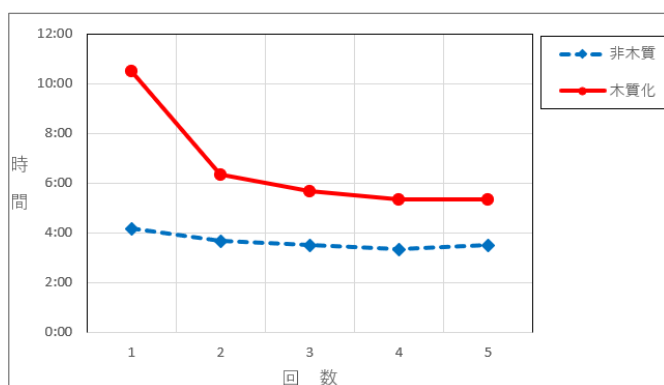


図 5 相対湿度 70%以下を保持した時間
(ボックス内高さ 33cm)

2-5 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

2-5-1 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3）

—季節変動の影響とクリープ調整係数の予測—

※荒武志朗、松元明弘、中谷誠、（森林総研）加藤英雄、（建研）槌本敬大
（道総研林産試）大橋義徳、石原亘、高梨隆也

【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。前報¹⁾では、短期試験で得られた平均破壊荷重(Pmax 平均値)×0.37（後述する乾燥環境の応力レベル）を負荷すると、クリープを適正に評価することが困難な場合があることを指摘した。一方、長期間に渡る試験の過程で、試験開始時と季節変動（周期的な水分変動）の関係がクリープに大きな影響を及ぼす可能性も示唆された。そこで本研究では、冬(1月)と夏(8月)の2回に分けてスギ、カラマツ機械等級区分材(MSR 材)の曲げクリープ試験を開始し、それぞれのクリープ特性を比較、検討した。さらに、前述した負荷荷重の影響も考慮したうえで、クリープ調整係数(50年後のたわみ/初期たわみ)の予測を試みた。

【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(表1参照)。ここで、表1では、0.7E、1.0E、1.3E、1.6Eと略記して添え字(-冬、-夏)を付しているが、-冬は冬スタート試験体(平成30年1月10日開始)、-夏は夏スタート試験体(平成30年8月7日開始)を意味する。

クリープ試験は、建築基準法第37条に関する技術的基準(平成12年5月31日建設省告示第1446号)が定めるクリープ評価法²⁾(告示法)に従って実施した(図1参照)。具体的には以下のとおりである。

負荷荷重は、短期試験 Pmax の平均値に 0.37 を乗じた値とした。なお、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、乾燥環境の応力レベルで、次式により求めたものである。

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

変位は、中央たわみ測定用としてストローク 100mm、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図1に示す位置にセットし、データロガーを用いて自動測定した。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。

【結果および考察】冒頭で述べた様に、Pmax 平均値×0.37 を負荷すると、クリープの適正評価が困難な場合がある¹⁾[試験体によっては実応力レベルがクリープ限度(0.4~0.5³⁾)を超えるため]。そこで、MSR のグレード毎に相対クリープが大きい方の試験体を2年または3年後に除荷し、実応力レベルを求めた。その結果、表1(右端)に示す様にクリープ限度を超える試験体は見られなかった。これを受け、本実験ではクリープ調整係数の予測を試みることに問題はないと判断して考察を進める。

表1 試験体の概要と応力レベル

樹種	種別	密度 kg/m ³	含水率 %	Efr kN/mm ²	短期試験で求めた値			クリープ試験体の値		
					Pmax平均 kN	応力 レベル	荷重 kN	Pmax kN	実応力 レベル	
スギ	0.7E-冬	376	10.2	4.67	10.9	0.37	4.04	10.1	0.40	
	0.7E-夏	370	12.2	5.49	13.2		4.88	実験中		
	1.0E-冬	428	10.9	7.53				実験中		
	1.0E-夏	442	11.0	7.51			13.6	0.36		
カラマツ	1.3E-冬	499	11.0	8.38	11.1		4.11	14.2	0.29	
	1.3E-夏	495	12.3	10.1	14.1		5.22	実験中		
	1.6E-冬	530	11.0	11.8				実験中		
	1.6E-夏	600	13.7	12.7			16.0	0.33		

「Efr」は縦振動ヤング係数、「Pmax」は最大荷重、「クリープ試験体の値」は試験終了後の曲げ試験で得られた値

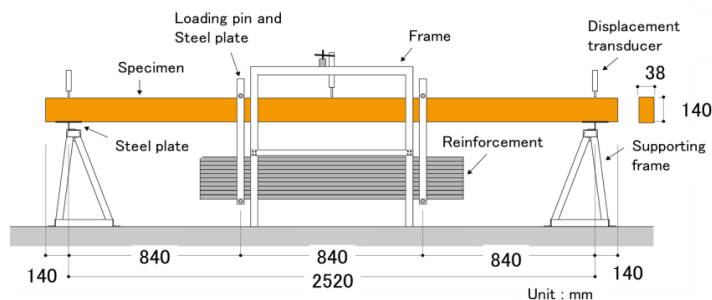


図1 クリープ試験条件

図 2 に相対クリープと重量変動率の推移を示す。まず、冬スタートの相対クリープ(左上図)を見ると、何れも最初の梅雨前後までの増加が顕著である。これは、重量変動率の推移(左下図)から、この時期の水分増減によるメカノソープティブ挙動が顕著に現れた結果と考えて良いだろう。ところが、この急増は2回目以降の梅雨前後には殆ど認められない。この主な原因として、「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⁴⁾」こと(以下、履歴効果⁴⁾)が考えられる。

一方、夏スタートの相対クリープ(右上図)を見ると、冬スタートの様な初期の急増は殆ど認められない。この原因として、スタート時期から最初の梅雨までの期間が長いために(ここでは約10か月)、細かいサイクルで履歴効果⁴⁾を繰り返したことが考えられる。

以上により、本試験条件における相対クリープは、明確な「冬スタート>夏スタート」の傾向を示す結果となった。これを踏まえ、以下では(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 、告示法)によるクリープ調整係数の予測を試みる。

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

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

$$\delta_t/\delta_0 = 1/10^{ef} \dots\dots\dots(4)$$

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則及び告示法²⁾で求めた δ_t/δ_0 の比較を示す。ここで、各予測値の定数は、冬スタートで6か月以降¹⁾、夏スタートでは1か月以降の実測値から算出した。同図を見ると、何れも負荷初期の一定期間を除いて実測値と予測値が非常に良く一致している。

表 2 に、図 3 に示した冬スタートと夏スタートの各曲線からクリープ調整係数を算出した結果を示す(告示法²⁾)。同表を見ると、概ね平成12年5月31日建設省告示第1459号の変形増大係数(=2)の範囲内に入っているが、全体として「冬スタート>夏スタート」の傾向が看取される。

以上の結果から、この種の部材を梁材とする場合、変形増大係数(=2)の適用に大きな問題はないが、たわみがクリティカルな場面では建て方と梅雨時期との関係に配慮することが望ましい。

【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。

【文献】

1) 荒武ら：第69回日本木材学会大会研究発表要旨集，D14-01-1545(HP) (2019). 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. 277-279, 3) 杉山英男：“建築構造学大系 22 木構造”，彰国社，1971，p. 98-101、4) 徳本ら：材料 47(4) 374-379(1998)。

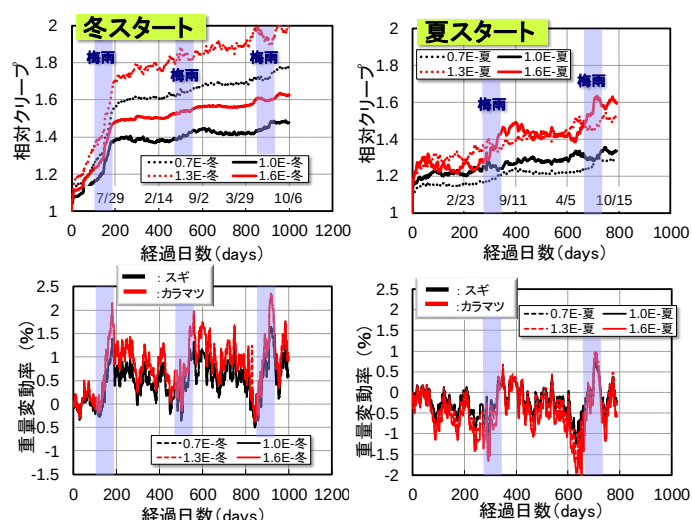


図 2 相対クリープと重量変動率の推移

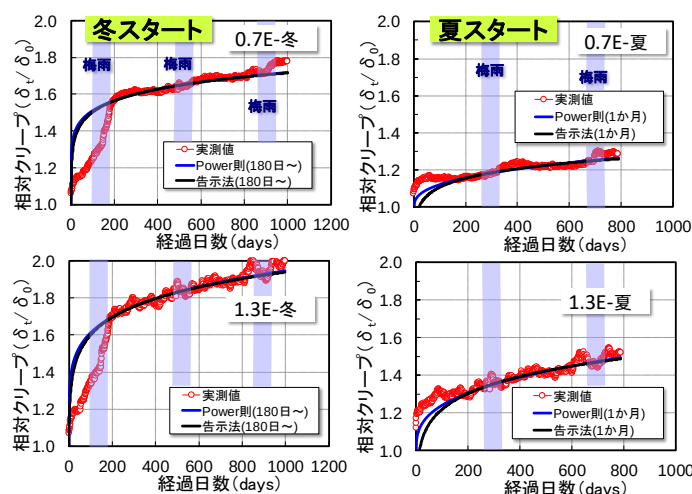


図 3 相対クリープの実測値と予測値の比較

表 2 試験体のクリープ調整係数 (告示法²⁾)

冬スタート	クリープ調整係数	夏スタート	クリープ調整係数
0.7E-冬	1.90~2.12	0.7E-夏	1.26~1.42
1.0E-冬	1.38~1.62	1.0E-夏	1.36~1.49
1.3E-冬	2.43~2.56	1.3E-夏	1.58~1.81
1.6E-冬	1.73~1.89	1.6E-夏	1.50~2.00

冬スタート：6~12 or 33 か月の実測値から定数を算出

夏スタート：1~12 or 26 か月の実測値から定数を算出

スギ大径材から得られた心持ち及び心去り平角材の水分非平衡下における曲げクリープ（第2報）

（宮崎木技セ）○松元明弘、荒武志朗、中谷誠、（森林総研）加藤英雄
 （建研）植本敬大、（道総研林産試）大橋義徳、高梨隆也、石原亘
 （熊本県県北広域本部）荒木博章、（熊本県玉名地域振興局）野口琢郎

【緒言】

近年、市場への出材量が増加傾向にある大径丸太について、構造材としての利用推進を目的に、筆者らは、スギ大径丸太から得られた心持ち及び心去り平角材の曲げクリープ試験（水分非平衡下）を実施している。既報²⁾において、試験開始時期の違い（温湿度変動）によるクリープ挙動への影響が示唆されたことから、本研究においても、試験開始時期を夏期と冬期の2条件を設定して、水分変動の影響を検証している。夏期は令和元年8月から、冬期は令和2年1月から試験を開始し、現在も継続中であるが、本報では、夏期に開始した試験体について、令和3年3月12日時点（585日間）における検討結果を報告する。

【実験方法】

長さ4m程度に玉切りした南九州産スギ大径丸太から図1のとおり心持ち及び心去り平角材を木取り、それぞれにつきE50とE70を1体ずつの計4体を曲げクリープ試験に供した。各平角材からは図2のとおり曲げクリープ試験体1体、重量追跡試験体1体、含水率試験体2体を切り出した。曲げクリープ試験は、建築基準法第37条に関する技術的基準（平成12年5月31日建設省告示第1446号）で定められているクリープ評価法（以下、告示法と記す。）に準じて実施した（ただし、試験環境は水分非平衡下）。具体的には、スパン3,240mmとし、スパン・梁背比18倍の3等分点4点荷重方式とした。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箇所の支点到膨潤、収縮ストローク50mm及び25mmのひずみゲージ式変換器を設置し、データロガーを用いて自動測定した（図3）。なお、負荷荷重は曲げクリープ試験体と同ロットの試験体の曲げ試験によって得られた平均破壊荷重に0.37 $[2/3 \times 1.0 \times 1.1/2]$ を乗じた値（9.41～13.69kN）とした。

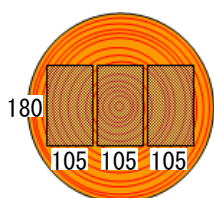


図1 試験体の木取り

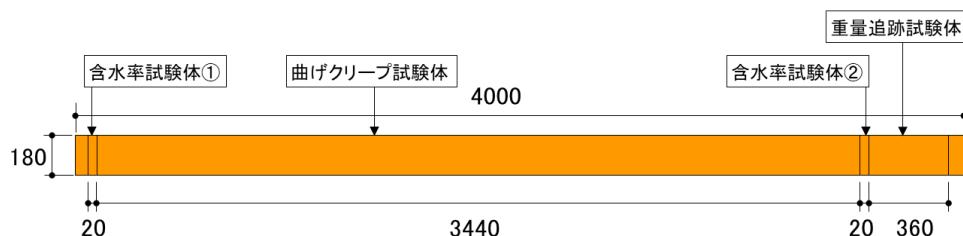


図2 各試験体の採材方法

【結果および考察】

クリープ試験開始前に4体の試験体の含水率を確認した結果、いずれも11.2～13.3%と概ね気乾状態に達していたことから、クリープ変形における初期含水率の影響は小さいと考えられる。

図4に各試験体のクリープ試験中の全たわみの推移を示す。いずれの試験体とも、負荷開始から100日目付近までは1次クリープによるたわみの増加が見られたが、それ以降は変形が落ち着

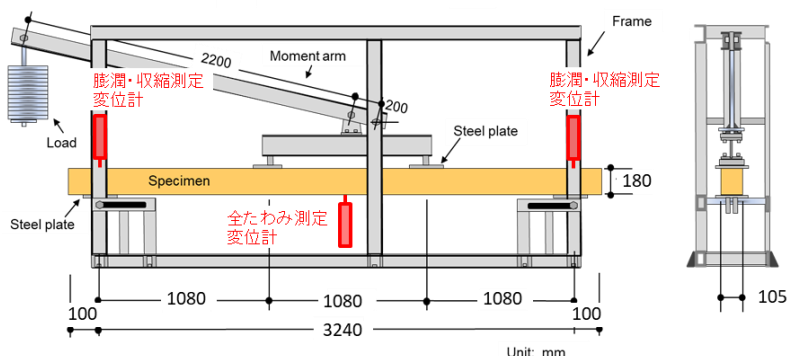


図3 クリープ試験条件

き、230 日目付近まではほぼ横ばいの推移を示した。230 日目以降は、いずれの試験体ともクリープ変形が進行し、280 日目付近で一旦、横ばいになるものの、350～390 日目の間で、再び変形が進み、これ以降は、再び横ばいの推移となっている。図 5 は各試験体からエンドマッチングで切り出した重量変動試験体の重量変動率を示したものであるが、クリープ変形が進んだ 230～280 日目と 350～390 日目の推移（黄色の網掛け部分）を見てみると、いずれの試験体とも重量は減少推移を示していた。このことから当該期間におけるクリープ変形の進行は、脱湿過程におけるメカノソープティブ変形によるものと考えられる。

また、以上の結果から、(1)式に示す Power 則、並びに(2)式に示す曲げ剛性の低減係数(Kt)から求めた値(3)式（告示法）を用いて、相対クリープの予測を行った。

$$\delta t / \delta_0 = 1 + at^N \quad \dots\dots (1)$$

$$Kt = \delta_0 / \delta t \quad \dots\dots (2)$$

$$\delta t / \delta_0 = 1/10^e t^f \quad \dots\dots (3)$$

$\delta t / \delta_0$ は相対クリープ

(δt は全たわみ、 δ_0 は初期たわみ)

t は時間、a,N,e,f は実測値から求める定数

心持ち及び心去りの E50 について、Power 則及び告示法により求めた予測値（ $\delta t / \delta_0$ ）を図 6 に示す。各予測値の定数は試験開始後 1 日目以降の実測値から求めた。いずれの試験体とも実測値と予測値との間に多少のずれはあるものの、概ね近い線形を示すとともに Power 則と告示法の予測値はほぼ一致している。これらの結果をもとに、各試験体のクリープ調整係数を求めた結果を表 1 に示す（告示法のみ）。心持ち E50 及び心去り E70 が「平成 12 年 5 月 31 日建設省告示 1459 号」の変形増大係数 (=2) を若干上回っているが、実際の応力レベルがクリープ限度に近いもしくは上回っている可能性も考えられるため、最終的には、全試験体についてクリープ試験終了後に曲げ試験を行い、実際の応力レベルを確認する必要がある。また、今回、クリープ挙動における季節変動の影響（春～夏）が認められたが、2 年目以降の挙動がどのような動きを示すのか、引き続き試験を継続し検証する必要がある。

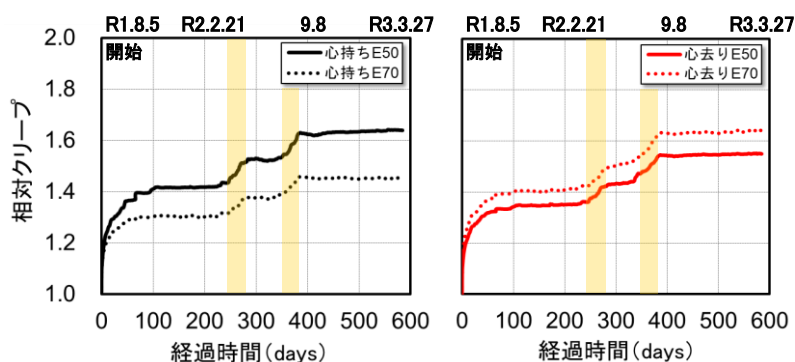


図 4 全たわみの推移

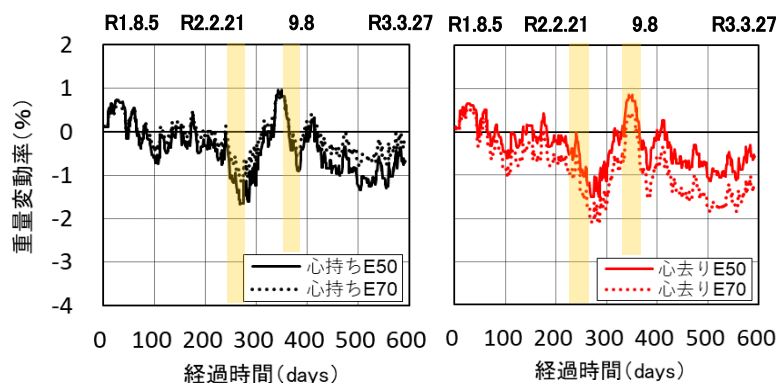


図 5 重量変動率の推移

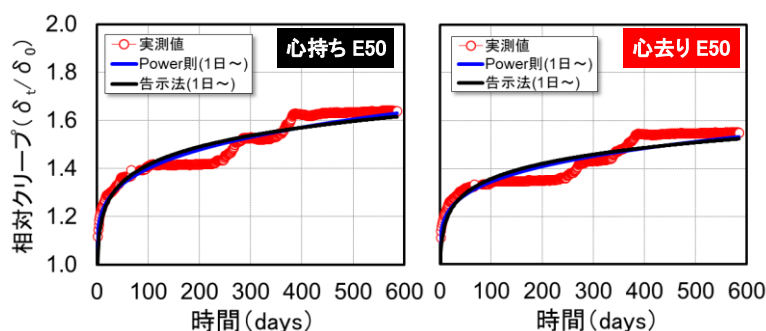


図 6 相対クリープ実測値と予測値の比較

表 1 クリープ調整係数

試験体	クリープ調整係数	試験体	クリープ調整係数
心持ちE50	2.09	心去りE50	1.91
心持ちE70	1.71	心去りE70	2.06

【文献】1) 松元明弘他 7 名：日本木材学会大会研究発表要旨集, D17-P1-10,2020

2) 荒武志朗他 6 名：日本木材学会大会研究発表要旨集, D14-01-1545,2019

【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。

2-6 研究発表(誌上)

発行年月	書籍名	氏名	題名	掲載頁
2020年6月	林業みやざき 4・5・6月 No.563	構法開発部	宮崎県防災拠点庁舎建設への技術支援について	p.12-13
2020年7月	木材保存 Vol.46 No.4 (2020)	須原弘登	木材乾燥機排蒸気からの精油回収の取り組み	p.190-195
2020年9月	木材工業 9月 Vol.75 No.9	松元明弘	公開シンポジウム 「大径材を木材産業のひなたに」の概要	p.379-382
2020年10月	林業みやざき 9・10月 No.565	材料開発部	木材を長持ちさせる塗装	p.12-13
2020年12月	会誌 第54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 一宮崎県産スギを用いて新たな構造材の開発を！ー	p.56
2020年12月	Journal of Wood Science (2020)	Hiroto Suhara	Using phosphate to increase feeding consumption in termite <i>Coptotermes formosanus</i>	ウェブ閲覧
2021年1月	Journal of The Korean Wood Science and Technology 49(1)	Yoshiyasu Fujimoto Hiroshi Tanaka Hideki Morita Seog Goo Kang	Development of Ply-Lam Composed of Japanese Cypress Laminae and Korean Larch Plywood	p.57-66
2021年1月	日本建築学会構造系論文集 Vol.86 No.779 2021・1	瀧野敦夫 室伏祐美 大坪祐介 森 拓郎 中谷 誠 小谷竜城 功刀厚志	ラグスクリューボルト接合部の引抜き時における応力伝達 機構の解明	p.97-106
2021年2月	林業みやざき 1・2・3月 No.567	木材加工部	スギ高齢級木から得た3～4番玉の利用について	p.12-13
2021年3月	European Journal of Wood and Wood Products (2021)	Kohei Komatsu Makoto Nakatani Toru Nakahara Kenji Komatsu Yasunobu Noda	Mechanical performances of finger jointed cross laminated timber (CLT)	p.397-416
2021年3月	大径材の使い方 丸太段階で強度特性を予測して目指す、 要求性能に応じた製材品の安定供給	井道裕史 加藤英雄 長尾博文 原田真樹 小川敬多 荒木博章 野口琢郎 荒武志朗 松元明弘	断面が大きいスギ製材品の曲げ強度の安全性を検証	p.25-26
2021年3月	大径材の使い方 丸太段階で強度特性を予測して目指す、 要求性能に応じた製材品の安定供給	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 高橋隆也	スギの枠組壁工法用部材の長期的なたわみを予測	p.27-28
2021年3月	大径材の使い方 丸太段階で強度特性を予測して目指す、 要求性能に応じた製材品の安定供給	榎本敬大 加藤英雄 大橋義徳 高橋隆也 石原 亘 荒武志朗 松元明弘 中谷 誠	大径材から採材したスギ製材品の長期荷重に対する安全 性を検証	p.29-30
2021年3月	宮崎県総合博物館研究紀要 第41輯	黒木秀一 原田栄津子 亀井一郎 須原弘登	宮崎県産「エナシラシタケ」について	p.23-32
	きりしま通信 2020 Vol.4	木材利用技術 センター	木造公共建築物等の接合部における残存強度性能評価に ついて	p.2

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。

2-7 研究発表(口頭)

開催年月	学会名	場所	氏名	題名	要旨頁
2020年9月	2020年度日本建築学会大会(関東)	千葉県	中谷 誠 井上樹里也 重光紗杜 伊藤大貴 森達 登 田中 圭 森 拓郎 腰原幹雄	接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度 発現機構について その20 GIRが埋め込まれた 集成材の圧縮性能	CD-ROM
2020年9月	2020年度日本建築学会大会(関東)	千葉県	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における応力伝達機構 の実験的検討	CD-ROM
2020年9月	2020年度日本建築学会大会(関東)	千葉県	豊岡嘩 森 拓郎 中谷 誠 大坪祐介 大倉憲峰	ラグスクリューボルト接合部の長期性能に関する 実験的研究	CD-ROM
2020年9月	2020年度日本建築学会大会(関東)	千葉県	伊藤大貴 重光紗杜 森 達登 井上樹里也 田中 圭 中谷 誠 森 拓郎 腰原幹雄	接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度 発現機構について その18 大断面集成材に接合 金物を複数本配置した場合の引抜き性能	CD-ROM
2020年9月	2020年度日本建築学会大会(関東)	千葉県	重光紗杜 伊藤大貴 森 達登 井上樹里也 田中 圭 中谷 誠 森 拓郎 腰原幹雄	接合金物と接着剤を併用した木材接合法の強度 発現機構について その19 大断面集成材に接合 金物を複数本配置した場合のモーメント抵抗性能	CD-ROM
2020年9月	2020年度日本建築学会大会(関東)	千葉県	黒塚ひとみ 森 拓郎 北守顕久 中谷 誠	乾湿繰返しによる実大CLTの含水率変化とそれ による寸法変化 その2 ドリフトピン接合とLSB接合 で固定した試験体の長期計測	CD-ROM
2020年10月	日本木材加工技術協会 第38回年次大会	岐阜県	田中 洋 丸田耕正 東郷和也	廃プラスチックと廃木材を原料としたリサイクル ボードの開発	p.40-41
2021年3月	第446回生存圏シンポジウム 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 (web開催)	石山央樹 須原弘登 森 拓郎	温泉成分によるシロアリ忌避効果の検証	p.19-20
2021年3月	第446回生存圏シンポジウム 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 (web開催)	中谷 誠 須原弘登 森 拓郎 吉村 剛	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.21-22
2021年3月	第446回生存圏シンポジウム 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 (web開催)	須原弘登 東崎無我 一瀬博文 吉村 剛	糸状菌シクロロームP450モノオキシゲナーゼ遺伝 子組み換え酵母により生産されるテルペノイドを用 いた抗蟻成分の探索	p.23-24
2021年3月	第71回日本木材学会大会	東京都 (web開催)	須原弘登	シロアリの食害促進物質の探索	ウェブ閲覧
2021年3月	第71回日本木材学会大会	東京都 (web開催)	荒武志朗 松元明弘 中谷 誠 加藤英雄 槌本敬大 大橋義徳 石原 亘 高橋隆也	スギ、カラマツ梓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(その3)季節変動の影響 とクリープ調整係数に予測	ウェブ閲覧
2021年3月	第71回日本木材学会大会	東京都 (web開催)	槌本敬大 加藤英雄 荒武志朗 松元明弘 大橋義徳 石原 亘 高橋隆也 津田千尋	大径丸太材から採取した構造用製材の恒温恒湿 環境下におけるクリープ特性	ウェブ閲覧
2021年3月	2020年度日本建築学会 中国支部研究発表会	広島市 (web開催)	黒塚ひとみ 森 拓郎 北守顕久 中谷 誠	乾湿繰返しによる実大CLTの含水率変化とそれ による寸法変化 その3 LSB接合の長期計測結果	CD-ROM

開催年月	学会名	場所	氏名	題名	要旨頁
2021年3月	2020年度日本建築学会 中国支部研究発表会	広島市 (web開催)	有木彩乃 豊岡佳樹 井上 涼 森 拓郎 中谷 誠 玉置教司 中川美幸 原田浩司 腰原幹雄	継手接合部を有するCLTの面外曲げ性能に関する 研究 その1 LSBを接合具とした場合	CD-ROM
2021年3月	2020年度日本建築学会 中国支部研究発表会	広島市 (web開催)	豊岡佳樹 森 拓郎 中谷 誠 大倉憲峰	ラグスクリューボルト接合部の引き抜きクリープ性 能に関する実験的研究 その2 553日経過時にお ける引き抜きクリープ挙動	CD-ROM
2021年3月	2020年度日本建築学会 中国支部研究発表会	広島市 (web開催)	坪井航輝 豊岡佳樹 井上 涼 森 拓郎 中谷 誠 伊藤大貴 森 達登 田中 圭 腰原幹雄	大断面集成材を用いたラグスクリューボルト接合 部に関する基礎的研究	CD-ROM

注1 共同研究者の所属は省略しています。

2-8 研 究 発 表 (展 示)

発行年月	学会名	場所	氏名	題名	要旨頁
2020年9月	宮崎大学 産学・地域連携センター 第27回技術・研究発表交流会	宮崎市	田中 洋 丸田耕正 東郷和也 小玉 誠 溝口進一	廃プラスチックおよび廃木材を利用した再生ボード の開発可能性調査	ウェブ閲覧
2021年3月	第71回日本木材学会大会	東京都 (web開催)	中谷 誠 荒武志朗 森 拓郎 田中 圭	長期荷重を受けたLSB 及びGIR の強度特性	ウェブ閲覧
2021年3月	第71回日本木材学会大会	東京都 (web開催)	松元明弘 荒武志朗 中谷 誠 加藤英雄 槌本敬大 大橋義徳 石原 亘 高橋隆也 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 の水分非平衡下における曲げクリープ (第2報)	ウェブ閲覧
2021年3月	第71回日本木材学会大会	東京都 (web開催)	荒木博章 野口琢郎 平田晃久 池田元吉 中村圭子 加藤英雄 荒武志朗	スギ大径丸太から製材した210材の曲げ強度特性 (Ⅱ) -水分平衡下及び非平衡下での曲げクリープ挙動-	ウェブ閲覧

注1 共同研究者の所属は省略しています。