

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 —スギ精油の効果的利活用に関する研究（その1）—

※兒玉了一、須原弘登

【緒言】

県産オビスギ精油の利活用を図ることを目的として、クロゴキブリに対する忌避効果試験を実施した。スギ精油のゴキブリに対する忌避効果はこれまでも報告されているが、次に示す試験条件のもと、繰り返し試験により効果の検証を行った。

【試験方法】

＜供試材料＞

オビスギ精油は高温蒸気式乾燥機の排蒸気から採取し、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。

また、ゴキブリは試験用検体の成虫クロゴキブリを供した。繰り返し試験を行うため、1 グループを 10 ～15 頭の 3 つのグループ（A, B, C）に分け、試験に供した水及び餌は滅菌した。

なお、敷板へ塗布したオビスギ精油量を 0.0031～0.0033g/cm²の範囲とした。

＜試験装置＞

縦 50.2cm×横 35cm×高 28.4cm（内寸法）の透明ポリ容器 2 個を金網（長さ 40cm，網径 #0.5mm）と穴あきのアクリルパイプ（長さ 82cm，内寸法 φ10cm）で繋いだ。また、2 個の透明ポリ容器内（容量 50 ㍓／個）は 1 時間当たり 30 ㍓の換気を行うエアーポンプを設置すると共に、敷板（トネリコ材：厚 5mm）に精油を塗ったものと精油を塗らないものを設置した。

＜試験環境＞

試験室を暗幕で囲い暗室とした。また、精油を塗布した敷板の揮発成分が無処理の敷板を設置したポリ容器内に移動するのを防ぐため、試験装置中央部の金網部分に外側から風をあて試験装置内の空気を速やかに外へ送り出すとともに、室内の換気を行った。

＜試験内容＞

- I 精油を塗布した敷板を設置したポリ容器及び無処理の敷板を設置したポリ容器内に脱脂綿に水を含ませたシャーレを置き、ゴキブリを試験装置中央部入口から 15 頭投入した。試験はグループ毎に行い合計 3 回実施した。

ゴキブリが存在した場所の留置数を 1 日 7 時間（1 時間置き計測）・2 日連続で観察し、2 日目は装置の位置を反転させた。

- II 精油を塗布した敷板を設置したポリ容器及び無処理の敷板を設置したポリ容器内に脱脂綿に水を含ませたシャーレを置き、ゴキブリを各ポリ容器内に 5 頭ずつ投入した。試験はグループ毎に行い合計 3 回実施した。

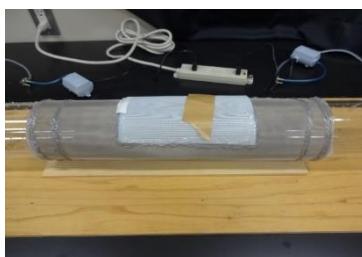
ゴキブリが存在した場所の留置数を 1 日 7 時間（1 時間置き計測）・2 日連続で観察し、2 日目は装置の位置を反転させた。

- III 精油を塗布した敷板を設置したポリ容器及び無処理の敷板を設置したポリ容器内に脱脂綿に水を含ませたシャーレ及び餌を置き、ゴキブリを試験装置中央部入口から 10 頭投入した。試験はグループ毎に行い合計 3 回実施した。

ゴキブリが存在した場所の留置数を 1 日 8 時間（2 時間置き）・4 日連続で観察すると共に、餌の摂食量を測定した。また、日毎に装置の位置を反転させた。



試験装置



装置（中央部：金網）



装置（ポリ容器：エポック設置）

【結果及び考察】

- I 各グループ2日間の平均留置数及び留置割合を表1に示す。精油を塗布した敷板設置のポリ容器内に留置することを避ける傾向が伺え、精油成分を嫌う傾向にあることが認められた。
- II 各グループ2日間の平均留置数及び留置割合を表2に示す。精油を塗布した敷板設置のポリ容器内に留置することを避ける傾向が伺え、精油成分を嫌う傾向にあることが認められた。
- III 各グループ4日間の平均留置数及び留置割合を表3に示す。また、餌の摂食量変化を図1に示す。図1から摂食行動は夜間に活発に行われること、及び、餌が設置してある場合の精油成分効果は認められないことが判明した。

表1 留置数及び留置割合（2日間の平均値）

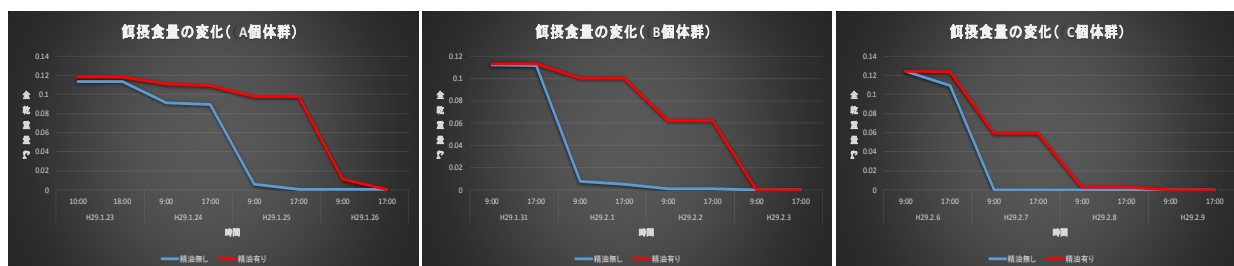
	精油無し	通路	精油有り
Aグループ(15頭)	11.8	2.8	0.4
Bグループ(15頭)	10.6	3.3	1.1
Cグループ(15頭)	5.9	8.4	0.7
平均	9.5 63%	4.8 32%	0.7 5%

表2 留置数及び留置割合（2日間の平均値）

	精油無し	通路	精油有り
Aグループ(10頭)	5	4	1
Bグループ(10頭)	3.9	5.6	0.5
Cグループ(10頭)	5.1	3.1	1.8
平均	4.7 47%	4.2 42%	1.1 11%

表3 留置数及び留置割合（4日間の平均値）

	精油無し	通路	精油有り
Aグループ(10頭)	4.5	5.1	0.4
Bグループ(10頭)	5.8	3.8	0.4
Cグループ(10頭)	5.7	3.7	0.6
平均	5.3 53%	4.2 42%	0.5 5%



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 —スギ精油の効果的利活用に関する研究（その2）—

※須原弘登、堂籠究

諸言

宮崎県は県土の76%を森林が占め、スギ素材生産量が平成3年以降連続して日本一となっており、全国有数の林業県である。このため県内では製材業も盛んであり、県内には大型の製材乾燥機が多く導入され連日稼働している。製材乾燥時に排出される蒸気にはスギの匂い、いわゆる精油成分が含まれている。この精油には様々なテルペン類やアルコール類などの成分が含まれており、未だ未発見の機能性成分の存在も示唆されている。この乾燥蒸気に含まれる精油成分を効果的に回収することが、精油を利用した様々な製品の開発用途が生まれ、製材業者、林産業者の所得向上が期待できる。そこで当センターでは乾燥蒸気中に含まれる精油の効率的回収方法の開発に取り組み、高効率な回収装置を開発、導入してきたが、当該装置は初期導入コストが高いという難点があり、導入が進まなかった。そのため本研究では精油回収装置の低コスト化(企業局支援事業)に取り組み、精油回収量の拡大を目指す。また、スギ精油の機能性解明及び付加価値向上のため、スギ精油に含まれる生理活性物質の探索とその機能解明をおこなう。

製作・試験方法など

精油回収装置による精油回収：精油油回収の実証機を県内製材業者が所有する2機の木材乾燥機に導入した。このうち1台は中温(60℃)乾燥(SK式超省エネ全自動木材乾燥機実証機SKD90HTY、庫内容量92 m³、新柴設備製)で稼働し、昨年より精油回収量の評価を続けている。もう1台は高温(120℃)乾燥(SK式超省エネ全自動木材乾燥機実証機SK1F30HPT、庫内容量40 m³、新柴設備製)で稼働し、本年度より回収量の評価を始めた。高温乾燥機に取り付けた回収装置については、5月に蒸気圧が上がり過ぎた際の排気(ベント)口の取り付けを、11月に放熱部への蒸気導入量を増やすための配管径の拡大工事を行った。

精油成分分析：回収した精油はHP-5MSカラム(長さ30m、内径0.25 mm、膜厚0.25μm、アジレント社製)を装着したGC-MS(GC部7890B; MS部5977msd、アジレント社製)で分析を行い、アロマオフィス ver. 5(西川計測機器社製)及びIdentification of essential oil components by gas chromatography / mass spectroscopy 4th ed. (Allured Books 社版)を組み込んだライブラリーで検索を行い、成分を同定した。

結果

今年度の精油回収試験の結果を表1に示す。今年度、取り付けた高温乾燥機の精油回収装置については、配管の修繕を行った後の12月以降の回収量のみをデータとして勘案した。回収試験の結果、高温乾燥機に取り付けたものでは平均で159 ml/m³、中温乾燥機は10.6 ml/m³であった。既存の精油回収装置での回収量は約600 ml/m³であり、本研究で開発を目指す精油回収装置は、本体設備コストを既存設置分の半分程度(300 ml/m³)、回収率も半分を目標としている。低コスト型の回収装置は既存のものとは比べてランニングコストを大幅に下げることがで

表1 精油回収装置による精油回収量

	材積当たり回収量 (ml/m ³)		備考
	高温(本社)	中温(宮村)	
4月	NT	5.4	本社: 試運転
5月	88.3	8.5	5/13: 本社: 余剰蒸気排出ベントの取り付け
6月	78.4	5.6	
7月	NT	5.2	本社: 集計に含めず
8月	84.1	1.1	
9月	108.3	7.8	
10月	65.8	3.2	10/7: 本社: 散水停止、冷却盤目詰まり・扇風機1台停止
11月	61.2	8.6	11/17: 本社: 修理 11/30: 本社: 冷却盤清掃・扇風機2台再設置
12月*	171.8	2.1	12/2: 宮村: 冷却盤損傷確認 12/7: 本社: 散水再開・冷却盤損傷確認
1月*	161.0	17.9	
2月*	180.0	6.8	
3月*	123.7	41.79	4/5本社・扇風機2台停止
平均*	159.1	10.6	

*配管系の改修を行った12月以降の回収量を平均値とした

きるため、これによりコストメリットを生み出す計画であったが、精油の回収量は収量の多い高温乾燥機でも目標の半分程度にとどまった。回収量が少なくなった理由の一つとして、高温乾燥機では冷却板での冷却が不十分である可能性が考えられた。冷却板通過前後の排気温度を測定したところ、冬場でも排気温度が 60℃程度になることがあり、このことから現在は冷却板表面に水を噴霧することで、気化熱を利用した冷却を行っている。これにより排気温度が冷却板通過前後の 20℃程度まで下げることができた。水噴霧時の蒸気温度の測定は 3 月（気温 16.5℃）に行ったため、今後、夏季でも十分な冷却能が得られるかを検討する必要がある。中温乾燥機での回収量は前年（15.2 ml/m³）に引き続き低い値となった。これは乾燥温度が低いことが主要な原因と考えられる。

今年度の試験ではいずれの回収装置においても冷却板の腐食による損傷が見られた。これにより損傷部より蒸気漏れが起きており、回収率を下げる一因となったと考えられた。損傷の原因は冷却板の蒸気通過部が銅製の円管であるため、蒸気中に含まれる酸（木酢）による腐食と考えられた。現在この円管部をステンレス製に変えるなどの対策を検討しているが、技術的に難しいものが多く有効な打開策を見いだせていない。

高温乾燥機と中温乾燥機での回収された精油成分を比較すると、表 2 に示すように高温乾燥、中温乾燥共に大きな差はなく、両方で 3% 以上含有率が異なるものは trans-Cadina-1(6),4-diene と 1-epi-Cubenol のみであった。回収された成分の中では、高温乾燥機、中温乾燥機のいずれにおいても delta-Cadinene が約 40%と最も多く含まれていた。抗菌活性や抗酸化活性が高いとされる¹⁾フェルギノールをはじめとしたジテルペン類はどちらの乾燥機からもほとんど回収されていなかった。これは高温乾燥においてもジテルペンが揮発する温度には及んでいないか、揮発しても乾燥庫内などで再凝縮し精油回収装置に導入されていない可能性が考えられる。

今後もし引き続き回収能を評価しながら、酸による冷却板の腐食を抑制する方法を検討する必要がある。

参考文献

1 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: 400-411

表2 回収した精油の成分（年平均）

化合物名	成分含有率(％:ピーク面積比)*	
	高温(本社)	中温(宮村)
2-epi-beta-Funebrene	2.0	1>
(E)-Caryophyllene	2.5	1.4
cis-Thujopsene	2.2	1.4
cis-Murrola-3,5-diene	1.1	1>
alpha-Humulene	1.6	1.1
trans-Cadina-1(6),4-diene	6.6	2.3
gamma-Murolene	1.0	1>
Amorpha-4,7(11)-diene	1.6	3.0
trans-Murola-4(14),5-diene	1>	1.5
alpha-Murolene	9.7	9.5
gamma-Cadinene	1>	1.8
delta-Cadinene	41.9	38.0
trans-Cadina-1,4-diene	1.9	1>
C15H20 (RI=1540)	1.1	1.0
Gleenol	1>	1.3
Cedrol	1.5	2.6
1-epi-Cubenol	5.6	9.0
Cubenol	4.4	6.9
alpha-Murolol	1.1	1.9
Pimaradiene	1>	1.5
Abietadiene	1.7	1.3

* ピーク面積で1%以上検出された成分のみ記載

※蛭原啓文、須原弘登

【緒言】

本県は全国有数の林業県であり、近年は人工乾燥材や集成材等への需要に対応するため、各製材業者等において大型人工乾燥施設の導入が進み、連日稼働している。

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等を始めとする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利用されていない。

スギ精油の用途の開発・普及により、回収・利用が進むこととなれば、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。そのため本研究では県内の製材工場に導入した精油回収装置の実証試験を行うとともに、人工乾燥工程で回収された精油の雑草生育抑制効果について検証した。

【低コスト回収法の開発（精油回収装置の性能評価）】

県内製材業者が所有する高温乾燥機と中温乾燥機に導入した精油回収装置から月1回精油を回収し、油液分離・ろ過後回収量を計量するとともに、月ごとの木材乾燥量を集計し、材積あたりの回収量を求めた。

【機能性評価（雑草の生育抑制効果の評価）】

1 材料

(1) スギ精油

スギ製材の高温乾燥工程において排出された水蒸気を水冷式冷却装置で精油を回収し、1年以上常温で保管したものを試験に用いた。

(2) 供試した草本

表1に示す3種の草本を雑草のモデルとして用いた。種子はエスペックミック（株）より購入した。

表1 供試した草本

和名	学名	備考
チガヤ	<i>Imperata cylindrica</i>	イネ科多年草
メヒシバ	<i>Digitaria ciliaris</i>	イネ科1年草
オオバコ	<i>Plantago asiatica</i>	広葉多年草

2 試験方法

表2 発芽抑制処理の区分

赤玉土（中粒）と腐葉土、パーミキュライトを容積比で6:3:1の割合で配合したものをプランター（66.5×24.0×18.0cm 容量13ℓ）に充てんし、表1の種子をは種（100粒/プランター）・かん水し、1日経過後表2の処理を行った。その後、屋外に設置し、適宜かん水するとともに経過観察を行った。

処理区分		散布方法	備考
散布薬剤等	散布量		
スギ精油	200 ml/m ²	所定量を水500mlに懸濁後散布	
	100 ml/m ²		
	50 ml/m ²		
塩化ナトリウム系除草剤	60g/m ²	所定量を散粒	農薬登録なし
トリフルアリン系除草剤	4 g/m ²		農薬登録あり
無処理	—	—	

【結果】

1 低コスト回収法の開発（精油回収装置の性能評価）

材積あたりの精油回収量を表3に示す。なお高温乾燥機の精油回収量については、4・7月は

測定できなかった。

高温乾燥機に設置した精油回収装置については、平成 19～20 年の水冷式回収装置の実績（638 ml/m^3 ）と比べて少ないことから、11 月に配管を改良したところ、12 月以降の回収量が増加したが、引き続き効果の検証が必要であると思われる。

2 機能性評価（雑草の生育抑制の評価）

播種後 14 日までの発芽率を表 4 に示す。

メヒシバの発芽率は、無処理区、塩化ナトリウム系除草剤処理区と比べて低い値を示した。特に高濃度の精油 200 ml/m^2 処理区は発芽率 5～13%となり、トリフルラリン系除草剤処理区とほぼ同程度の効果が得られた。また、オオバコについては、無処理区、塩化ナトリウム系除草剤処理区の発芽率と比べて低く、特に精油 200 ml/m^2 処理区はトリフルラリン系除草剤処理区と比べても低く、また 100 ml/m^2 処理区はほぼ同程度であった。一方、チガヤについては、無処理区においても発芽量が小さく、効果を確認することができなかった。

以上の結果から、メヒシバとオオバコについてはスギ精油による発芽抑制効果が示唆され、散布濃度が高くなるほど効果が高まり、散布量によっては市販の除草剤以上の効果が期待できると考えられるが、単位面積当たりの散布量が多くなることから、散布方法の見直しについて検討する必要があると思われる。

表 3 材積あたりの精油回収量

月	高温乾燥機 (ml/m^3)	中温乾燥機 (ml/m^3)
4	NT	5.4
5	88.3	8.5
6	78.4	5.6
7	NT	5.2
8	84.1	1.1
9	108.3	7.8
10	65.8	3.2
11	61.2	8.6
12	171.8	2.1
1	161.0	17.9
2	180.0	6.8
3	123.8	20.9

表 4 発芽率

試験区		メヒシバ			オオバコ		
		6/29 は種	7/28 は種	9/26 は種	6/29 は種	7/28 は種	9/26 は種
精油	200 ml/m^2	10	5	13	8	14	0
	100 ml/m^2	45	8	23	22	29	15
	50 ml/m^2	63	28	48	44	59	47
塩化ナトリウム系除草剤		88	46	59	49	96	56
トリフルラリン系除草剤		16	0	5	30	38	5
無処理		82	51	43	73	77	43

【参考文献】

藤本英人：地域資源活用型研究開発事業一県産オビスギ材の乾燥凝縮液を有効活用した製品の開発一，平成 19 年度宮崎県木材利用技術センター業務報告書，38-39（2007）

【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}。これら抽出成分は樹木の香りや耐久性に大きな影響を与え、医薬・工業原料として価値の高い物質も含まれる^{*3}。

本研究は、県産オビスギと他地域産スギの抽出成分について、成分量及び成分構成比の比較を行い、宮崎県の代表的な品種群であるオビスギの特性を把握することを目的とした。

【実験方法】

宮崎県飫肥地方、近畿地方、関東地方及び東北地方4地域より、各地の同一流域内で採取したスギ(樹齢 40~60 年)の円盤を試験体とした。試験体の採取は関東地方以外の地域では、2015 年 7 月~9 月及び 2016 年 5 月~10 月に 2 回行い、関東地方は 2016 年に 1 回行った。林地に偏りが出ないように、各年、各地域において 5 林地を選び、各林地から 3 本の木を伐採し、地際から 50cm までの部分から厚さ 10cm の円盤を採取した。

試験体を心材と辺材に分け、心材部について粉砕し 3mm メッシュのふるいを通したものを 60℃のオーブンで 1 昼夜乾燥し、*n*-ヘキサンを溶媒に 6 時間のソックスレー抽出を行った。抽出物は重量測定後、再溶解させ、GC/MS 分析を行った。

【結果及び考察】

各地域のスギに含まれるヘキサン抽出物回収率(試験体絶乾重量に対する抽出物重量の比率)を Fig.1 に示す。心材に含まれる抽出物の回収率は、オビスギ平均 4.1% (2.9~6.2%)、近畿地方 2.8% (0.9~2.8%)、関東地方 2.4% (1.2~4.5%)及び東北地方 1.9 % (0.9~3.9%)と地域差が見られ、オビスギは他地方と比べ高い値を示した。

また、抽出物の GC/MS 分析によると、殺ダ

ニ活性^{*4, *5}などが報告される cedrol や cryptomerione といった成分がオビスギや関東地方産のスギに含まれていた。一方、これらの成分は近畿・東北地方産にはほとんど含まれていなかった。

今回の実験によるとオビスギ心材に含まれる抽出成分量は他地域と比べ多い結果となったが、伐採時期や生育林地などにより量の変動すること考えられる。今後はサンプル数を増やし、さらに他の地域産のスギについても調査を行う予定である。

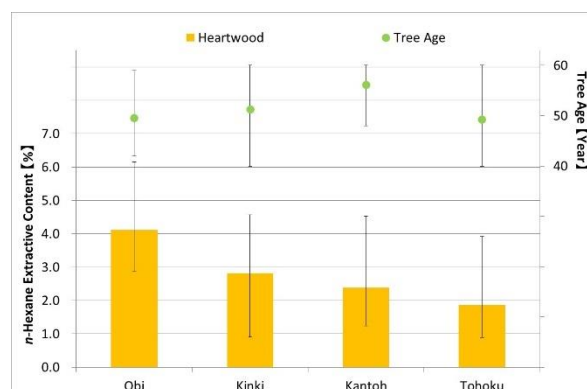


Fig.1. スギ心材抽出成分の回収率。

【参考文献】

- *1 城代進・鮫島一彦, 木質科学講座 4 化学 (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, p. 1077-1083 (1993)
- *3 今村博之他, 木材利用の化学 (1983)
- *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, p. 345-351 (1991).
- *5 森田慎一他, ヤクスギ土埋木ヘキ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).

【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25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*1。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。

【実験方法】

宮崎県内のスギ林から採取したスギエダタケ(*Strobilurus ohshimae*)を供試菌とし、対照菌としてキチリメンタケ(*Gloeophyllum trabeum* IFO-6430)を用いた。シリコ栓をした培養瓶にMA(1.5%(w/v) malt extract, 1.5%(w/v) agar)培地を入れ、供試菌を打ち抜いたディスクを植菌し、培養瓶内で菌糸が伸び始めたことを確認後、スギ枝を配置し、室温25℃、湿度70%で2, 4及び6ヶ月間培養し、重量残存率を測定した。

また、スギ葉を凍結乾燥後粉碎し、篩にかけ40~100meshに分画した。0.3%(w/v) malt extractを加え含水率を調整した後、前培養した供試菌のディスクを植菌し、室温25℃、湿度70%で2, 4及び6ヶ月培養を行った。処理後のスギ葉粉について、菌体を含んだまま抽出成分(*n*-ヘキサン：ソックスレー抽出)の回収率、ホロセルロース量(ワイズ法)並びにクラソンリグニン量(硫酸法)を測定した。抽出成分については、さらにGC/MS分析を行った。

【結果及び考察】

菌処理をしたスギ枝の重量は処理期間が長くなるにつれて減少し、6ヶ月処理後には供試菌・対照菌ともに重量が4/5程度となった。

各成分については、両菌株においても、ホロセルロースやクラソンリグニンといった主要成分の構成比率の変化は小さかったものの、スギエダタケ処理物の抽出成分の回収率は2ヶ月間処理の時点で菌処理を行っていないコントロールの約1/3、6ヶ月処理後においては約1/5となり、供試菌はスギ葉中の低極性抽出成



Fig. 1. Decomposition of branches.



Fig. 2. Decomposition of leaf powder.

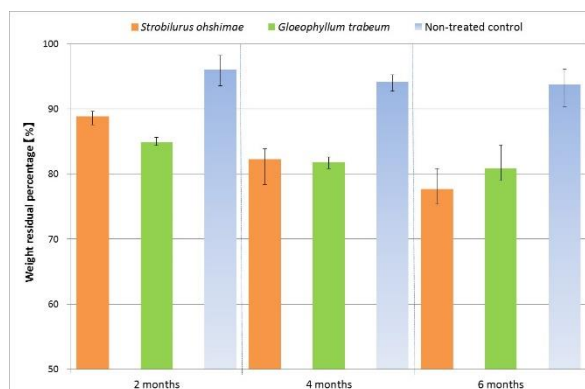


Fig.3. Translation of the weight residual percentage..

分の分解について大きな効果を持つことが示された。また、抽出成分の GC/MS 分析によると、菌処理を行ったものは処理期間 2 ヶ月時点で含まれるピークのほとんどが消失し、(-)-kaurene のピークが残った。一方で、菌処理を行っていないコントロールは 2、4 及び 6 ヶ月後においても(-)-kaurene 以外のピークが検出され、キチリメンタケ処理物も複数の(-)-kaurene 以外のピークが確認された。このことから供試菌は、(-)-kaurene 以外の精油成分(テルペン類)を優先的に分解する能力を保有する可能性が示唆された。

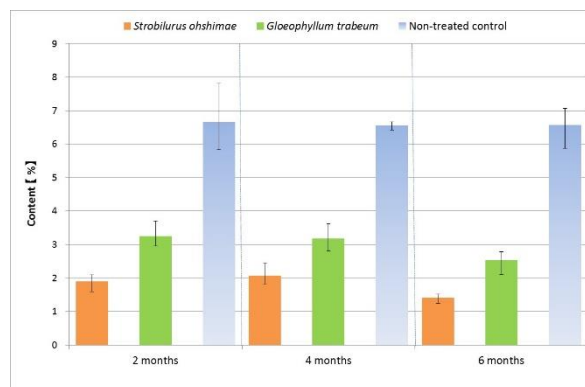


Fig.4. Translation of the *n*-hexane extractive content.

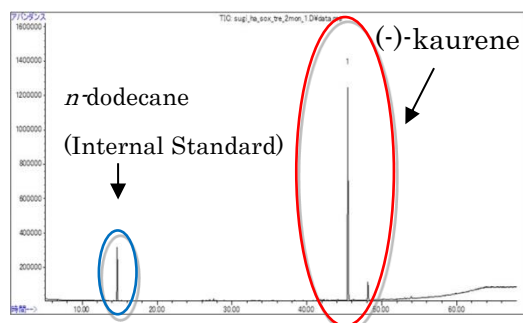


Fig. 5. GC/MS chromatogram of the *n*-hexane extractives from *S. ohshimae* treated sample. (2 months.)

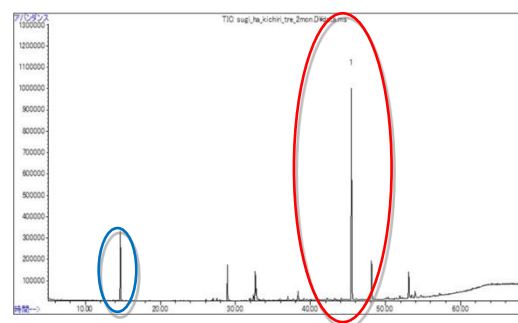


Fig. 6. GC/MS chromatogram of the *n*-hexane extractives from *G. trabeum* treated sample. (2 months.)

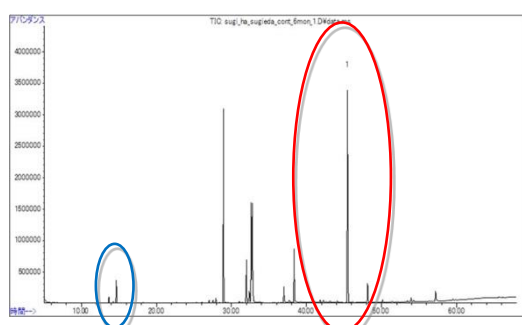


Fig. 7. GC/MS chromatogram of the *n*-hexane extractives from non-treated control. (6 months.)

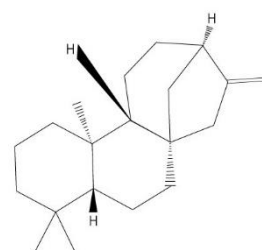


Fig.8. (-)-kaurene.

【参考文献】

*1 宮崎県山村・木材振興課, 宮崎県木質バイオマス活用普及指針 (2010)

2-1-4 シロアリによる間伐材等の生物劣化促進試験

※須原 弘登、中谷 誠

京都大学生存圏研究所（現：広島大学） 森 拓郎

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)}。本研究ではこの現象をより明確に解明するため、これまでと手法を変えて検討を行い、木灰の有効活用法を探るとともに、シロアリ防除についての知見を得ることを目的とする。

実験方法

試験地：生活・森林圏シミュレーションフィールド（LSF；日置市・吹上浜）及び居住圏劣化生物飼育棟（DOL；京都大学宇治キャンパス）。

材料：1 辺 2cm のスギ立方体に、表 1 に示す食害促進処理を行ったものを用いた。試験体は予め絶乾し秤量したものを用いた。

選択摂食試験：不透明のコンテナボックス（ST ボックス W425×D716×H208 mm）底面に 4 カ所孔をあけ、40mm 角（長さ 300 mm）のベイマツの誘蟻杭を打ち、海砂を薄く敷いたのち試験体（1 箱あたり 1 処理につき 6 個づつ）を杭を中心に一定間隔でランダムに配置し LSF 試験地に設置した。蓋を被せ遮光した後、定期的に観察し誘蟻杭通ってシロアリが侵入し試験片が食害されるのを待った。食害が見られたらボックス内の全ての試験体を回収し、清掃を行い絶乾し重量測定をおこなった。食害前後の重量から食害量を求めた。

選択摂食試験：表 1 に示す処理を行った試験体を JISK1571:2010 に従い試験に供した。試験では各試験体に対しイエシロアリの兵蟻 15 頭、職蟻 150 頭を投入し、3 週間の処理を行った。

表 1 試験体の処理方法

処理	濃度	処理方法
リン酸2水素カリウム	5% (w/v)	圧入、1.2Mpa、4H。
塩化カリウム	5% (w/v)	圧入、1.2Mpa、4H。選択摂食試験には使用せず。
酢酸	5% (v/v)	圧入、1.2Mpa、4H。
クエン酸	5% (v/v)	圧入、1.2Mpa、4H。
HAp	5% (w/v)	懸濁液 in 2% agar。
クエン酸カルシウム	5% (w/v)	懸濁液 in 2% agar。
焼成骨灰	5% (w/v)	懸濁液 in 2% agar。
タケ粉末		2% agarに浸した材片に塗す。0.2 mm以下のサイズ。
<i>Gloeophyllum trabeum</i>		選択摂食試験は10週間処理。強制摂食試験は6週と2日処理。
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>		選択摂食試験は10週間処理。強制摂食試験は6週と3日処理。
無処理		
ベイマツ(positive control)		強制摂食試験には使用せず。
ベイヒバ(negative control)		強制摂食試験には使用せず。

結果

選択摂食試験：LSF 試験区に 6 箱のコンテナボックスを設置し、このうち 2 つについてイエシロアリの侵入と食害が見られた（図 1）。この結果、無処理のものに比べて、*Gloeophyllum* 属 2 種の菌処理で顕著な食害の促進が見られ、タケ粉末、リン酸二水素カリウムで処理では食害が増大する傾向が見られた。酢酸及びクエン酸で処理したものでは強い食害の抑制が見られた。

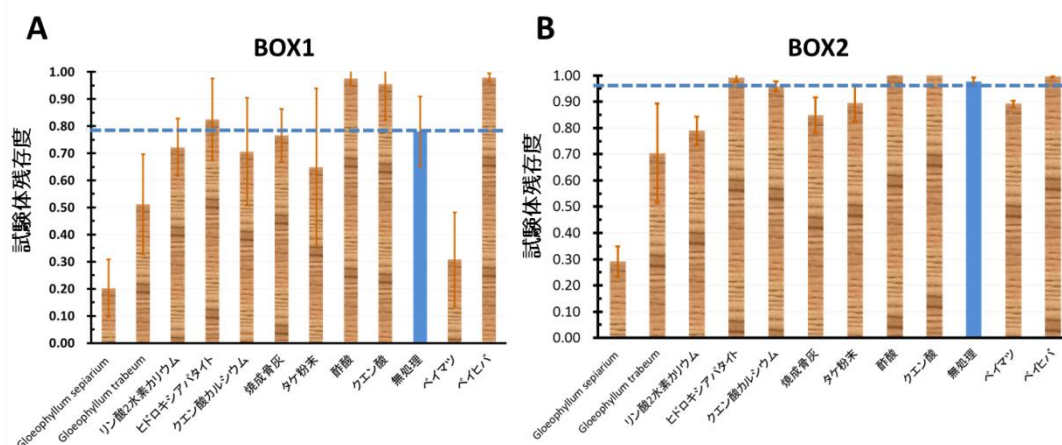


図1 選択摂食試験の結果

A: Box1の食害試験の結果。B: Box2の食害試験の結果。

試験前の重量を1とし、食害試験後の残存量を相対値で示す。無処理を対照区とし、ペイマツをボジコン。ペイヒバをネガコンとして用いた。破線は無処理区の食害量の平均値。

強制摂食試験：試験の結果を図 2 に示す。*Gloeophyllum* 属 2 種による菌処理は選択摂食試験と同様に顕著な食害の促進が見られ、酢酸処理も強い食害の抑制が見られた。腐朽菌処理以外は無処理に比べて食害量が少なくなっており、選択摂食試験で食害の増大が見られたリン酸 2 水素カリウム、タケ粉末処理は食害量が大幅に減少していた。職蟻の死虫率は食害の少なかった酢酸処理区で顕著であり、次いでリン酸カリウム区、塩化カリウム区で高い値となった。

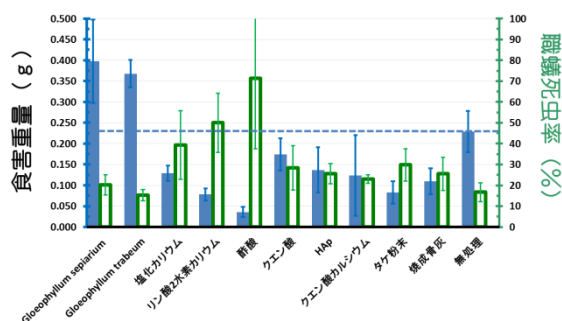


図2 強制摂食試験の結果

■(左側のバー)は食害重量、□(右側のバー)は職蟻の死虫率を示す。無処理を対照区として用いた。無処理区の食害重量の平均値を破線で示す。

まとめ

本研究の結果、いずれの試験方法でも腐朽菌処理で顕著な食害の増大がみられ、酢酸処理で強い食害抑制が見られた。一方で、リン酸 2 水素カリウム、タケ粉末処理については強制摂食試験と選択摂食試験の結果が相反するものとなった。これについては、今後検討が必要であるが、リン酸 2 水素カリウムに関しては職蟻の死虫率が高いことから、カリウム塩（または無機塩）を摂取したことで、虫体または共生原虫の浸透圧調整に影響を及ぼし、消化不良などの原因となり、食害量が低下した、またはリン元素の 1 頭当たりの許容限界量があったため、ある一定以上は食害が進まなかったなどの理由が考えられる。今回の検討では試験体数が少なくばらつきも多いことから、結果の精度を上げるため、引き続き検討が必要である。

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 スギ大径材から得られる心去り構造材の歩留まり向上に関する研究

児玉 了一

【緒言】

スギ大径材を構造材として利用するには、課題である歩留まり低下を解決する必要がある。大径材から得られる心去り構造材（正角材・平角材）は、心持ち構造材に比べ材長方向の曲がり（以後、矢高と表記する）が生じ歩留まりが低下する。このことから、歩留まり向上に資するためのデータ収集を目的に製材後の矢高を矯正する必要荷重を求めた。

【試験方法】

県産スギ大径材から未成熟部を多く含む木取り、成熟部を多く含む木取りで製材し、心去り構造材（正角材・平角材）を得た。製材後に実大曲げ試験機を用いて、中央集中荷重により矢高矯正荷重を測定した。さらに、曲げヤング係数、断面寸法から骨組構造解析により矢高を矯正する 3900mm スパンの 50cm 間隔の 7 点集中荷重値を求めた。

＜供試体＞

末口直径 46cm 以上 1 番玉丸太を 12 本調達し、側面定規挽きにより図 1 の木取りで製材し、心去り正角材（130×130×4000mm）24 本、心去り平角材（130×260×4000mm）12 本を得た。

【結果及び考察】

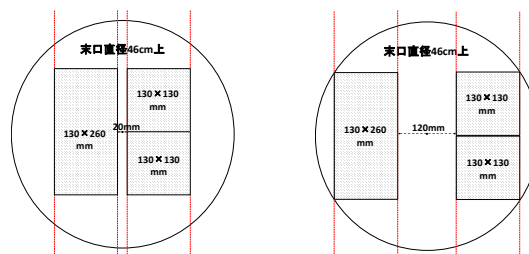
＜丸太の縦振動ヤング係数＞

調達丸太 12 本の縦振動ヤング係数は 3.76～6.03 kN/mm² の範囲であった。図 1 の丸太は両者を比較するため、縦振ヤング係数が同等のものをを用いた。

＜矢高の発生方向、矢高矯正試験の荷重方向＞

正角材 24 本全てで材長方向の矢高は木表側が凹み、平角材 12 本のうち 11 本は幅広面の木表側が凹む形で現れた。

図 1（左：未成熟部の多い木取り，右：成熟部の多い木取り）



矢高を矯正するための中央集中荷重試験は材長方向の凹んだ面を下にしてその反対面から荷重を加えた。

＜矢高、曲げヤング係数、含水率＞

未成熟部を多く含む木取りで製材した正角材・平角材の材質を表 1、成熟部を多く含むものを表 2 に示す。製材後の矢高は成熟部を多く含む木取りで大きくなる傾向にあった。

表 1 未成熟材部の多い木取り材質				表 2 成熟材部の多い木取り材質			
	製材後平均矢高	平均曲げヤング係数	製材後平均含水率		製材後平均矢高	平均曲げヤング係数	製材後平均含水率
	mm	kN/mm ²	%		mm	kN/mm ²	%
正角材 12本	6.5	5.1	156.8	正角材 12本	6.9	5.1	165.8
平角材 6本	3.5	5.0	160.0	平角材 5本	5.6	4.9	148.6

＜矢高矯正に必要な荷重＞

正角材・平角材の矢高を矯正するための必要荷重を表 3 に示す。正角材 1 本当たりの矢高矯正に必要な荷重の平均値は、7 点総荷重で 97kgf、1 点当たり 13.9kgf であり、平角材 1 本当たりの矢高矯正に必要な荷重の平均値は、7 点総荷重で 124kgf、1 点当たり 17.7kgf 必要であることが明らかとなった。今後これをもとに実験による検証を行う必要がある。

表 3 矢高矯正に必要な荷重						
	寸法	中央集中荷重	矢高矯正に必要な荷重（平均値）			
			7 点総荷重		1 点当たり荷重	
			N	kgf	N	kgf
正角材 24本	130×130×4000	2.009	952	97	136	13.9
平角材 11本	130×260×4000	2.578	1218	124	174	17.7

※中央集中荷重は実験値、等分布荷重は解析値。

2-3 多様な需要に対応した加工連携等の製品流通体制の整備

2-3-1 生育環境に適した畜舎用スギ床材等の開発

岩崎新二

「はじめに」

木質バイオマス発電所の稼働が相次ぎ、C・D材等は発電所の燃料として需要が高まり畜産飼料用おが粉の不足及び価格の高騰が深刻化している。このため、畜舎のコンクリート床にスギ材を用いることで、おが粉の使用量を軽減させるスギ床材等の開発を行う。

「実験方法」

宮崎県畜産試験場の牛舎（1頭飼）において平成27年度に製作した畜舎用スギ床材と既存のゴムマットを用いおが粉使用量を変え牛床の快適性の目安となる横臥状態の比較調査を行った。

スギ床材とゴムマットに敷くおが粉量を約2週間毎に全量（200）、半量（100）、1/10量（20）と変化させ、赤外線カメラで30分ごとに牛の状態を撮影し横臥率の測定を行った。横臥率は下式により算出した。

$$\text{横臥率（％）} = \text{横臥している撮影枚数} / \text{総撮影枚数} \times 100$$

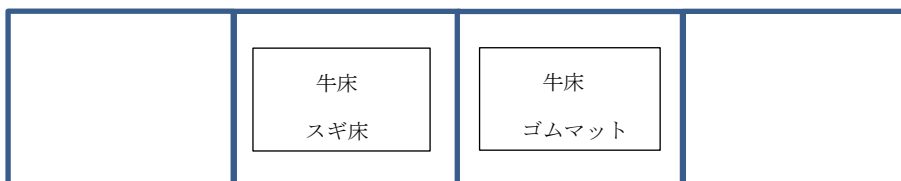


図1 牛床の状況

「結 果」

各床で横臥率を比較するとスギ床材がおが粉全量（200/頭）で約31%、おが粉半量（100/頭）で約36%、おが粉1/10量（20/頭）で約39%であり、おが粉が少ないほど横臥率が高い傾向が見られた。

ゴムマットはおが粉量全量で約19%、おが粉量半量で約24%、おが粉量1/10量で約17%であった。スギ床材の方がゴムマットより、横臥率は高い傾向が見られた。



図2 横臥状態

蛭原啓文

【緒言】

木製構造物を屋外で使用する事例は多いが、構造物である以上部材の接合が必要となる。接合部の設計に当たっては含水率が木材などの強度に及ぼす影響を勘案して、木質構造設計規準の使用環境Ⅰ（常時湿潤状態におかれる環境）を適用し、含水率影響係数は0.7を用いることとされているが、土木構造物など屋外の雨がかり条件下の構造物について同様に扱ってよいか不明である。このため、接合方法ごとの含水率と接合強度の関係について傾向を把握するため、今年度は板材を用いて単位接合部における含水率ごと（繊維飽和点以上・未満）の支圧強度を求めた。

【材料及び方法】

スギ板材（30×120×3000 mm 無等級グリーン材）20体から長さ200 mmの試験体を80体切り出し、ドリフトピン（φ12×118 mm）を打ち込んだ後、40体は生材の状態で、残り40体は屋内で天然乾燥後、繊維方向と繊維直角方向についてそれぞれ20体ずつ万能試験機により支圧試験を行い（図1）、降伏せん断耐力を求めた。また支圧試験後全乾法により試験体の含水率を求めた。

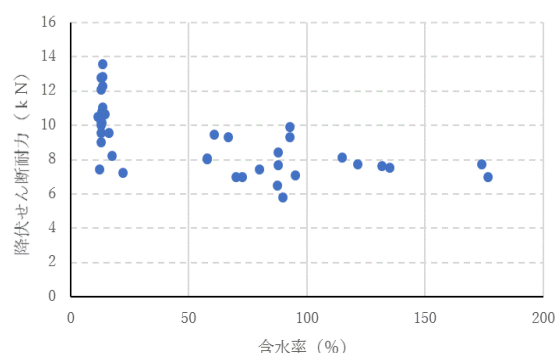
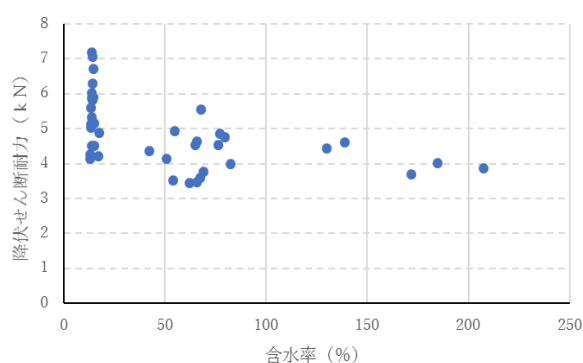


図1 支圧試験方法

【結果】

繊維方向・繊維直角方向における含水率と降伏せん断耐力の関係は図2・3に示すとおり、繊維方向・繊維直角方向とも含水率が高い場合、降伏せん断耐力が小さくなる傾向が見られたが、試験体数が少なく、また測定できなかった含水率域もあることから引き続き試験を行い、精度向上を図る必要があるものと思われる。また今年度は無等級材を供試したが、今後グレーディングされた材についても試験を行う必要があるものと思われる。

なお破壊性状は、繊維方向ではドリフトピンの木材へのめり込み破壊と一部に割裂破壊が、また繊維直角方向では割裂破壊が見られた。

図2 含水率と降伏せん断耐力の関係
(繊維方向)図3 含水率と降伏せん断耐力の関係
(繊維直角方向)

※蛭原啓文、川崎茂樹

南那珂森林組合 匹田 翔、河野通貴（現山村・木材振興課）

【緒言】

本県においては、公共土木事業等における木材利用促進への取組の一つとして、コンクリート構造物の背面（埋戻側）などでスギ板材を用いた木製残存型枠が用いられ、平成23～27年度は治山事業を中心に約1,000 m³（約25,000 m²）が施工されている。しかしながら、施工性やコストの面で課題が残されていることから、せき板の寸法や端太・セパレータの配置について検討した。

【比較の対象】

表1 比較の対象

今回比較を行ったせき板の寸法と端太等の間隔を表1に示す。改良型1はせき板の厚さを従来型の40 mmから32 mmに変更し、軽量化と低コスト化を図ったものである。また改良型2はせき板の高さを従来型の405 mmから452 mmに変更し、セパレータ数の低減を図ったものである。

区分	せき板の寸法 (mm)	端太等の間隔 (mm)				
		縦端太	横端太	セパレータ		
				縦	横	10 m ² 当たりの個数
従来型	40×405×1,970	492	405	405	984	25.1
改良型1	32×405×1,970	492	405	405	984	25.1
改良型2	40×452×1,970	492	452	452	984	22.5

なお、端太とセパレータの間隔はせき板の幅と高さをもとに設定している。

【検討】

表2 使用する材料

1 材料

使用する材料とその性能を表2に示す。なお、木材の曲げヤング係数は製材の日本農林規格に示されている機械等級区分構造用製材E50相当材以上を使用することを想定した。

区分		許容曲げ 応力度 (N/mm ²)	許容せん断 応力度 (N/mm ²)	曲げ ヤング係数 (kN/mm ²)	備考
鋼材	STK400 角鋼管	156	89	200	□60×60×2.3
木材	スギ材	10.3	(省略)	3.9	

2 荷重条件

コンクリートの単位重量23.5 kN/m³、打上がり速度3 m/h、型枠内のコンクリート温度5℃、打込み高さ0.9mとし、コンクリート標準示方書に基づいてコンクリートの側圧を求めたところ、21.15 kN/m²となった。

【結果及び考察】

計算結果を表3・4に示す。なお、せき板の曲げ応力度は切欠き（15 mm）を除いた厚さで、たわみ量はせん断変形の影響を無視できると考えられることから切欠きを含めた厚さで評価した（図1）。改良型1・2のせき板の曲げ応力度・たわみ量や、縦端太・横端太の曲げ応力度・せん断応力度・たわみ量、セパレータの引張力とも許容値を下回っており、強度やたわみの面で問題なく使用できるものと思われる。

以上の結果から、せき板の改良により軽量化と低コスト化、またセパレータの間隔を大きくすることによる施工性の向上が期待されるが、製品化に向けては施工試験等が必要であると思われる。

る。

表3 計算結果（1）

区分	せき板				縦端太（STK400 角鋼管）					
	曲げ応力度 (N/mm ²)		たわみ量 (mm)		曲げ応力度 (N/mm ²)		せん断応力度 (N/mm ²)		たわみ量 (mm)	
	最大値	許容値	最大値	許容値	最大値	許容値	最大値	許容値	最大値	許容値
従来型	4.10	10.3	0.47	3.00	18.6	156	5.96	89	0.04	2.03
改良型1	8.86	10.3	0.91	3.00	18.6	156	5.96	89	0.04	2.03
改良型2	4.10	10.3	0.47	3.00	23.2	156	6.65	89	0.06	2.26

表4 計算結果（2）

区分	横端太（STK400 角鋼管）						セパレータ (W3/8)	
	曲げ応力度 (N/mm ²)		せん断応力度 (N/mm ²)		たわみ量 (mm)		引張力 (kN/本)	
	最大値	許容値	最大値	許容値	最大値	許容値	最大値	許容値
従来型	60.2	156	2.98	89	0.74	5.00	8.5	20.5
改良型1	60.2	156	2.98	89	0.74	5.00	8.5	20.5
改良型2	67.2	156	3.33	89	0.83	5.00	9.5	20.5

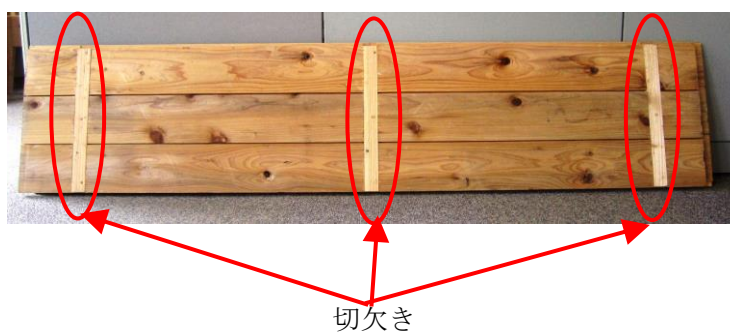


図1 木製残存型枠（従来型）

2-4 県産材の需要・販路等の拡大

2-4-1 宮崎県産スギを用いた CLT の長期性能(その 2)

ークリープ関数による荷重継続時間の調整係数の推定(荷重比の検討)ー

※荒武 志朗、深田 学

【はじめに】

筆者らは、平成 27 年度から宮崎県産スギ CLT (Cross laminated timber)の曲げクリープ破壊試験 (DOL 試験)を実施しているが、1 年 3 ヶ月を経過した現時点においても試験を終了していない。この試験は、木質構造材料の長期荷重に対する許容応力度を求めるために必要不可欠な荷重継続時間の調整係数を求めるためのものであるが(平成 12 年度建設省告示 1446 号)、このように、測定に膨大な時間がかかることが大きなネックとなっている。この問題を解決するものとして、最近、中島らは^{1,2)}杉山³⁾が提案した荷重比とクリープ関数との関係からクリープ限度を求める方法を検討し、一定の有効性を確認している。ただし、これらの試験に用いた供試体は比較的均質性の高いものであり(構造用単板積層材、無欠点小試験体)、この手法が、必ずしも均質性が高いとは言えない CLT にも適用可能か否かは不明である(荷重比推定の困難さが考えられる)。そこで、本報告では、宮崎県産スギ CLT の荷重継続時間の調整係数を求めるための一手法として、適正荷重比に着目した視点から、クリープ関数の適用可能性を検討した。

【試験体】

試験体のラミナには全て宮崎県産スギを供試し、クリープ関数試験、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、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)。試験体は 5 層 5 プライ(幅 100、厚さ 150、長さ 2400 mm)とし、幅はぎありでは 1 枚の CLT パネル(短辺 2000、長辺 3000 mm)から 16 体(クリープ関数試験体とサイドマッチングによる短期試験体、各 8 体)、幅はぎなしでは 2 枚の CLT パネル(短辺 1860、長辺 6030 mm)から 20 体 (クリープ関数試験体 8 体とサイドマッチングによらない短期試験体 12 体) を採取した。

【実験方法】

クリープ関数試験は、スパン 2000 mm の中央集中荷重下で実施した(図 1 参照)。この場合、たわみは、ひずみゲージ式変換器(ストローク 50mm)を試験体中央付近の下面にセットし、所定の期間連続測定した。荷重比は、幅はぎあり、幅はぎなしともに、事前に実施した短期試験結果をもとに決定した。具体的には、前者ではサイドマッチング試験体の曲げ破壊荷重、後者では短期試験体 12 体の平均曲げ破壊荷重に対して、それぞれ 25%、30%、35%、40%、50%、60%、70%、80%を荷重比とした(以下、推定荷重比)。これらの荷重を同時負荷し、1 時間、10 時間、50 時間、100 時間、200 時間、300 時間、400 時間、500 時間経過時点において測定された試験体のたわみを次式に代入してクリープ関数を求めた。

$$\text{クリープ関数} = (\delta_t - \delta_0) / \delta_0 \times 100 \quad (1)$$

ここで、 δ_0 : 負荷直後のたわみ
 δ_t : 負荷 t 時間後のたわみ

なお、試験は、温湿度無調整の試験棟内において、幅はぎなしでは 2016 年 3 月 30 日～4 月 20 日(温度 14.1～19.7℃、相対湿度 47.5～68.8 %)、幅はぎありでは 2016 年 8 月 17 日～9 月 7 日(温度 25.8～30.8℃、相対湿度 48.1～66.7 %)の間に実施した。



図 1 クリープ関数試験の状況

【結果および考察】

図2にクリープ関数と推定荷重比との関係を示す。同図から、何れも推定荷重比が小さい範囲ではクリープ関数の増加は殆ど認められないが、同比が大きい範囲では増加傾向が看取される。しかしながらその傾向は必ずしも一様ではなく、特に、幅はぎありではクリープ限度の指標となる反曲点(クリープ関数が大きな値に変化する点)³⁾の判別が難しい。また、何れの場合も推定荷重比80%のクリープ関数が70%のそれよりも小さい傾向を示している。これらの結果は、この種の本質材料では、短期試験による破壊荷重の推定が容易ではないことを示している。

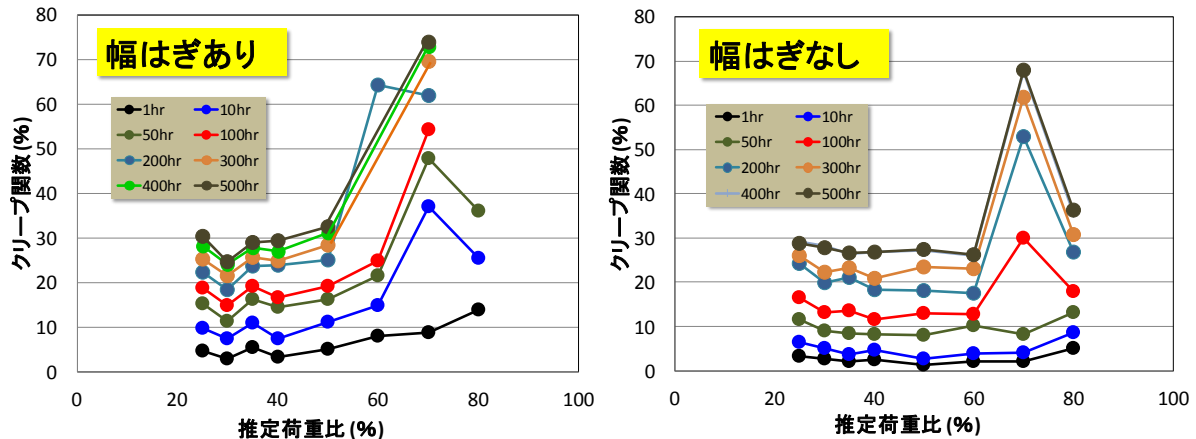


図2 クリープ関数と推定荷重比との関係

図3にクリープ関数と「実際の荷重比」との関係を示す。なお、ここで言う「実際の荷重比」は、クリープ関数試験後に破壊しなかった試験体(非破壊試験体)に対して曲げ試験を実施し、その結果得られた曲げ破壊荷重から求めた荷重比である。この場合は、比較的明確な反曲点が認められ、幅はぎありでは50%、幅はぎなしでは55%前後をクリープ限度と見ることが出来る。また、これらの値は、現在製材等に対して定められている荷重継続時間の調整係数と概ね一致している。ここで、短期試験体と非破壊試験体の曲げ強さを比較すると、幅はぎありでそれぞれ30.1N/mm²、28.5 N/mm²、幅はぎなしではそれぞれ28.3 N/mm²、32.5 N/mm²となり(何れも平均値)、必ずしも「短期試験体>非破壊試験体」とはなっていない。このことは、この方法によって得られたクリープ限度が必ずしも危険側の評価にはならないことを示している。

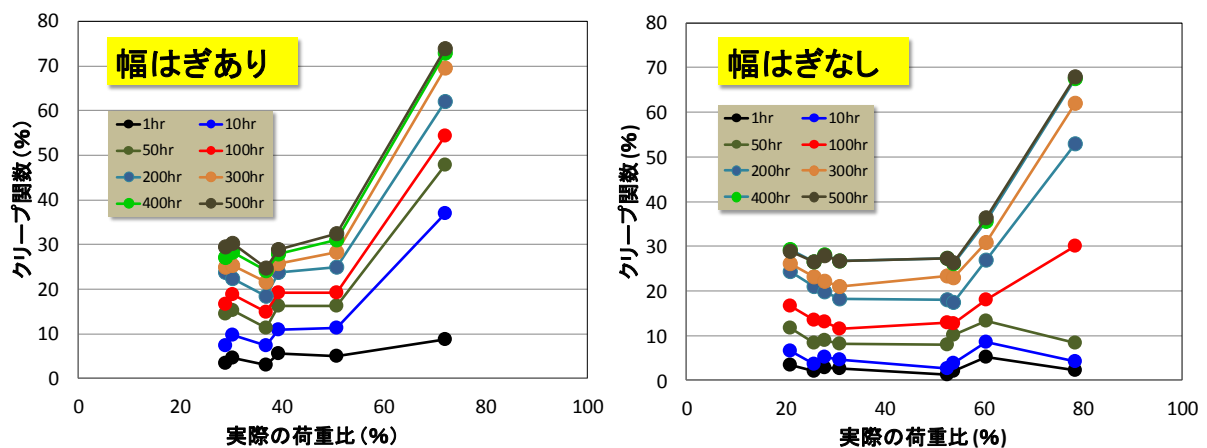


図3 クリープ関数と「実際の荷重比」との関係

【文献】

- 1) 中島史郎: クリープ関数を用いた荷重継続時間の調整係数の試験評価法の適用範囲. 第66回日本木材学会大会(名古屋)講演要旨集, 2016, CD-ROM.
- 2) 松本悠杜, 中島史郎: クリープ関数の分析に基づく木質構造材料のクリープ限度の推定法に関する研究. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, 2016, pp75-76.
- 3) 杉山英男: “建築構造学大系 22 木構造”, 彰国社, 1971, pp28-31.

2-4-2

宮崎県産スギを用いた新たな CLT の開発 —軸組構法と CLT を組み合わせた耐力壁の開発—

※中谷誠、川崎茂樹、桑水流秀一郎

【緒言】我が国特有の CLT の利用方法として、軸組構法に CLT を組み合わせた構法が用いられている。CLT を用いることで強固な耐力壁を構成できることから、鉄骨造で建築されてきた比較的広い空間を有する低層の事務所や店舗、そして住宅への利用が期待される。また、面材を CLT に置き換えるだけであることから、住宅等を手がける工務店等にも比較的容易に取り入れられると考えられる。ただし、大型の面材である CLT は重く、特別な重機を必要とする場合も多く、施工が複雑になるケースが多い。そこで、本研究は高耐力に加えて施工性、そして意匠性を兼ね備えた軸組構法に宮崎県産スギ CLT を組み合わせた耐力壁の提案を目的とした。

【試験】本試験の耐力壁の仕様は 5 条件とした。試験体数は各条件 1 体とした。各試験体の主な仕様は表 1 に示す通りである。表中の L はビス長さ、@ はピッチである。試験体(CP2JDU)の概要を図 1 に示す。CLT は樹種がスギ、ラミナ構成が 3 層 3 プライ（総厚さ 54mm）、強度区分が Mx60 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、CP2JDU 試験体及び CP2KDU 試験体は施工性を考慮し、CLT パネルの構成を上下 2 段組とした。これにより CLT パネル 1 枚当たりの重量が 25kg 程度となり、現場において無理なく施工できる重さとした。また、室内側の CLT があらわしで使えるように、ビス頭などの金物が表に出ない接合とした。そして、連続する他の壁体の仕上げとの納まりを考慮して、CLT は柱面から 27mm ふかして取り付けた。

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。

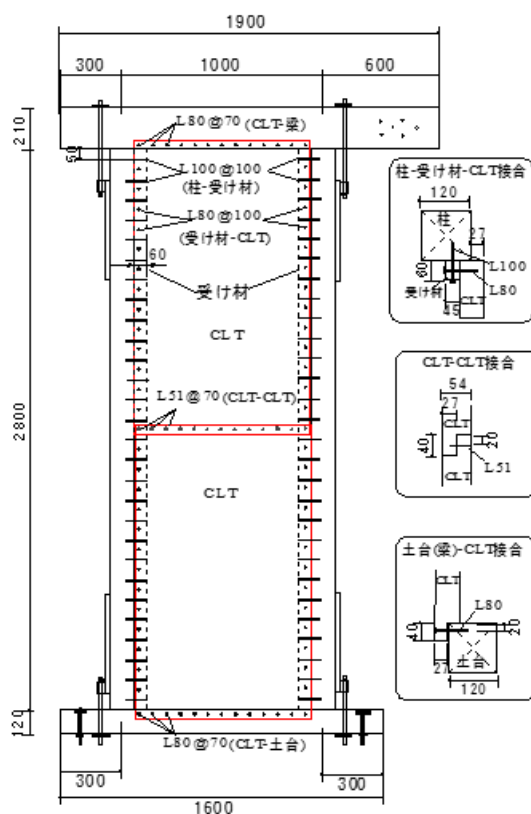


図 1 試験体概要（CP2JDU 試験体）

表 1 試験体条件

試験体名	CLT 構成	CLT 外層繊維方向	ビス接合			
			柱と受け材	受け材-CLT	上段CLT-下段CLT	土台-CLT、梁-CLT
CP2JDU	2段組	水平方向	L100@ 100	L80@ 100	L51@ 70	L80@ 70
CP2KDU	2段組	鉛直方向	L100@ 100	L80@ 100	L51@ 70	L80@ 70
CP1JDU	1枚	水平方向	L100@ 100	L80@ 100	なし	L80@ 70
CP1KDU	1枚	鉛直方向	L100@ 100	L80@ 100	なし	L80@ 70
CP1JD	1枚	水平方向	L100@ 200-4本 (高さ中央部のみ)	L80@ 200-3本 (高さ中央部のみ)	なし	L80@ 35 (千鳥配置)

加力は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は特定の見かけのせん断変形角において繰り返し回数を3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。

【試験結果】試験体の破壊性状は全ての条件で同じであり、受け材とCLTを留めるビスの曲げを伴う引抜け破壊とCLTの割れ破壊、ビスからの土台の割裂破壊であった。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。表2の短期基準せん断耐力 P_0 及び壁倍率は、試験体数が各条件1体のためばらつき係数及び低減係数 α を考慮していないため参考値である。図3及び表2より、CP1JD試験体以外では、壁倍率6.9倍以上の高い性能を示した。CLT構成が2段組であることによる最大荷重及び降伏荷重への顕著な低減は認められなかった。しかし、構造特性係数はCLT構成2段組が1枚よりも大きく、また外層繊維方向が水平方向より鉛直方向が大きくなる傾向が見られた。短期基準せん断耐力 P_0 及び壁倍率は、外層繊維方向が水平方向より鉛直方向が若干大きくなった。ただし、CLTの構成が2段組と1枚について、水平方向では1枚が大きくなる結果となったが、鉛直方向ではCLT構成によらず同等の結果となった。



図2 CP2JDU試験体の終局状態

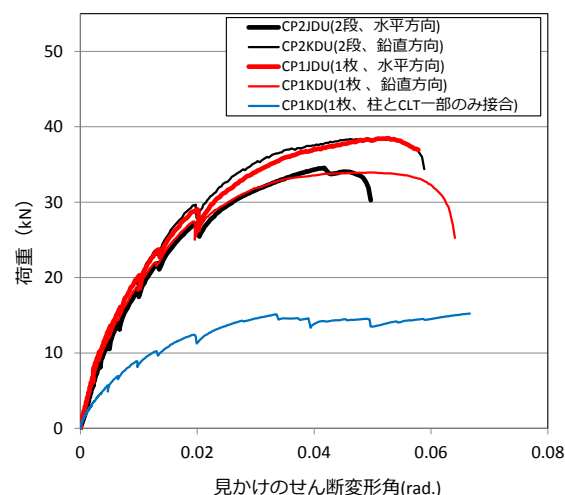


図3 荷重と見かけのせん断変形角の関係

【まとめ】本試験結果より、薄物CLT（厚さ54mm）を上下2段組としCLT1枚当たりの重さを軽減することで、一般的な住宅と同様の施工作业により、参考壁倍率が6.9倍と高い強度性能を有し、また室内をCLTあらわしで使用できる耐力壁を構成できることが分かった。

表2 試験結果

試験体名	①	②	③	④	参考値		Pmax	Pu	K	Ds	$\bar{\delta}_y$	$\bar{\delta}_u$
	P_y	$P_u(0.2/D_s)$	$2/3P_{max}$	P120	Po	壁倍率	最大耐力	終局耐力	初期剛性	構造特性係数	降伏変形角 ($\times 10^{-3}$ rad)	終局変形角 ($\times 10^{-3}$ rad)
CP2JDU	19.0	13.5	23.0	16.4	13.5	6.9	34.6	31.5	1776	0.47	10.7	49.7
CP2KDU	21.3	16.6	25.6	18.1	16.6	8.5	38.4	35.9	1927	0.43	11.1	58.8
CP1JDU	21.0	16.2	25.7	18.1	16.2	8.3	38.5	35.3	1915	0.44	11.0	57.8
CP1KDU	18.4	16.6	22.6	17.2	16.6	8.5	34.0	31.7	1976	0.38	9.32	63.2
CP1JD	8.13	8.06	10.2	8.15	8.06	4.1	15.2	13.9	982	0.34	8.29	66.7

2-4-3 宮崎県産スギを用いた新たなCLTの開発（施工実証）

※川崎茂樹、桑水流 秀一郎

1. はじめに

これまでの木質建材とは異なる形状や木質感、構造特性などを持ち、新たな木質建材として利活用が期待されているCLTは、平成26年1月にCLTのJAS規格が制定されて以降、本格的な国内生産が始まり、昨年4月にはCLTパネル工法の技術基準や構造計算方法などを定めた建築基準法の告示が公布・施行されました。

これにより、CLTパネル工法の建築物が個別認定を受けなくても、一般の建築物と同様に、建築確認申請の手続きにより建設できるようになりました。

当センターでは、県内での施工(使用)実績がほとんど無いCLTが、今後、その特長を生かして身近な木質建材として利活用されるよう、昨年度のパス停のベンチと上屋に引き続き、今年度も小規模な構造物を手加工及び手作業で築造して、CLTの加工性や施工性を検証しました。



昨年度に築造したバス停のベンチと上屋では、CLTパネルの継ぎ部や基礎との接合部の施工性や作業性を検証しました。その中で、外から接合金物が見えない納まりとしました。

2. CLTを使った空調機目隠し壁建替工事

当センター開所当時から管理棟の正門玄関の西側に設けられていた旧空調機目隠し壁が強風により倒壊していました。これは、旧空調機目隠し壁が板倉構法であったため、雨水が土台に設けられた上向きのほぞ穴に入ったことで腐食し蟻害を受けたことが原因と考えられます。

そこで、防腐処理と木材保護塗装を施したCLTで空調機目隠し壁を建て替えました。



新しい空調機目隠し壁には、幅はぎ（ラミナの横どうしの接着）無しのCLTで、壁柱には5層5プライの厚さ150mmのCLT、屋根及び羽板（ルーバー）には3層3プライの厚さ90mmのCLTを使用しました。

構造形式としては、既存の基礎とアンカーを利用し、土台を設けずに既存の基礎に直接壁柱を建て、これに屋根と羽板を取り付けるものとし、風の抵抗を減らした形状としました。

CLTの加工には特殊な機具を用いず、大工が一般的に使用している機具を用いました。

加工後の防腐処理は通常行われている湿式の加圧注入で行い、乾燥後、工場で木材保護塗料（キシラデコール）を2回塗りました。

現場では、クレーンを使用せず、大工が手作業で組み立てました。



壁柱と既存基礎との接合は、壁柱の木口（底）からアンカーボルト用の穴を開け、その穴の先端部分を壁柱の側面から箱形に座彫りし、既存基礎のアンカーボルトを穴に通して、座彫りしたところでナットを締める方法で行い、最後に埋め木をして金物を隠しました。

壁柱と羽板との接合は、壁柱に設けた欠込みに羽板をスライドさせて建て込み、壁柱の両外側からコーチスクリューで固定しました。隣り合う羽板の固定を可能にするため、隣り合う羽板の高さを変えています。

壁柱と屋根の接合は、屋根の天端からコーチスクリューで固定し、その上に金属屋根を葺きました。

最後に各部材の取合部に三角シールを打って雨水の浸入を防止しました。

3. 成果

小規模な構造物であれば特殊な機器を用いず一般的な機器を用いてもCLTの手加工が可能であり、また、手作業による組み立てが可能であることが確認できました。

一方で、防腐処理（加圧注入）を湿式で行うと反りや膨らみが発生しこれらを元に戻すための乾燥（自然乾燥）に時間がかかること、3層3プライのCLTは加工前の平置き段階で反りや捻れなどの変形が生じることがあることが確認できました。



防腐処理等で含水率が高くなると変形は更に大きくなるため、屋外でCLTを現して使用する場合は、対応策として、変形を考慮した納まりにすることや、変形量を抑えるためにCLTを小割パネルにすることも考えられます。

身近な木質建材としてCLTを普及させるためには、今後も加工や施工における課題を見出し、対応策を検討する必要があります。

※桑水流秀一郎、川崎茂樹

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。



(日向市日向中学校木造(一部RC造)校舎)



(小林市南小学校木造校舎)

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 28 年度の木構造相談室

県内全市町村の施設整備関係部局を訪問し、木材利用促進の普及啓発を行い、公共建築物の木造化・木質化の取組や今後の建物整備計画の聞き取り調査を行うとともに、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いました。また、建築物の設計や工事が進捗している市町村については、情報提供や技術指導・助言等の支援を行うとともに課題の聞き取り調査や確認を行いました。



（小林市新庁舎建設工事）



（綾町総合交流促進施設新館建設工事）

3 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。

小林市新庁舎の建設工事では、木材加工方法や養生管理等の問題を設計者や施工業者と協議し、改善等の解決案の提案するなどにより、知見の蓄積ができました。

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、公共建築物の木造化・木質化は促進されと考えます。

なお、H27 年度までの木構造相談室の技術支援の成果として、H28 年度に綾町総合交流促進施設新館（木造 2 階建て約 215 m²）が竣工しました。



（綾町総合交流促進施設新館）

※中谷 誠

須原弘登

京都大学生存圏研究所 森 拓郎

【はじめに】

学校校舎や庁舎などの中・大規模公共建築物を、地域材により建築する事例が増加している。しかしながら、中・大規模木造建築物を長期間安全に利用するための研究はほとんど行われていない。耐震性について、建設時に詳細な構造計算を実施するが、長期利用による生物劣化の接合強度への影響に関する研究はほとんど行われていない。このため、非破壊による劣化診断機器の測定結果と接合部の残存強度の関係が明らかになれば、建物を安全に使用するための重要な指標になると考えられる。そこで本研究では、中・大規模木造建築物の補修計画において残存強度を指標とした診断方法の提案につながる基礎的な研究として、接合部に適用可能な生物劣化の試験方法の考察、そして非破壊診断方法と接合部の残存強度の関係を明らかにすることを目的とした。

本研究では、中・大規模木造建築物に広く使用されているドリフトピン接合について、共同施設であるファンガスセラーを用い、生物劣化の進行状態による超音波伝播速度の測定値と残存強度の関係を明らかにすることを目的とした。特に本年度は、昨年度において改善が求められたファンガスセラーの内部環境を検討し腐朽菌の活性を高め、腐朽が進んだ試験体で測定を実施することを目的とした。

【供試体と試験方法】

試験は、生物劣化を引き起こす腐朽菌の生育環境に適した温湿度（室内温度28度、湿度80%）に設定したファンガスセラーに供試試験体を設置することで実施した。ファンガスセラーは京都大学生存圏研究所の施設を利用した。昨年度、腐朽菌の活性が低かったことから、今年度はナミダタケ、サケバタケなどをファンガスセラーの土壌に再投入して、水分の蒸発を防ぐと共に落ち葉などを敷き詰めて、腐朽菌の活性を高める環境とした(図1参照)。

供試試験体は、支圧試験用の小試験体、ドリフトピン1本の単体試験体、そして実大接合部の3種類とした。試験体数は支圧試験体を72体、単体試験体を28体、実大試験体を9体とした。試験体はドリフトピンが打ち込まれた位置より48mm下部までを土中に埋め込み設置することで、接合部付近に生物劣化を発生させた。実験では、昨年度に引き続き、試験開始後29ヶ月目(2016年5月)、35ヶ月目、37ヶ月目に超音波伝播速度、重量、含水率を測定した。また29ヶ月目に支圧試験体24体、単体試験体4体を取り出し、気乾状態になるよう室内で養生した後、万能試験機により残存強度を測定した。

残存強度試験は万能試験機(島津 オートグラフ、容量100kN)により実施した。支圧試験は試験体を上部から圧縮することでドリフトピンにめり込み力を作用させ、単体試験は試験体上部をボルトで緊結して引張することで下方のドリフトピンに引張力を作用させた。試験荷重は試験機上方のロードセルにより、ドリフトピンと試験体との相対変形量是一对の変位計(東京測器 CDP50、容量50mm)により測定した。



図1 ファンガスセラー内部の状況

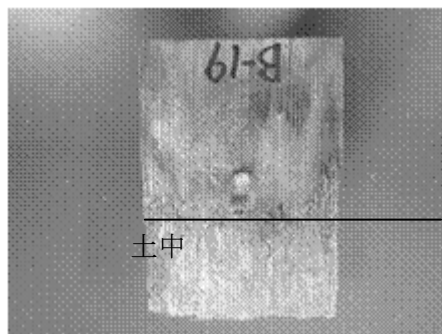


図2 支圧試験体（腐朽期間29ヶ月）

【試験結果及び考察】

試験開始後29ヶ月目（2016年5月）の試験体は図2に示すように、地中に埋め込まれた部分で腐朽による断面の欠損が確認されるなど、昨年度より腐朽が進んでいることが目視で確認できた。

図3に腐朽期間と接合部付近の地際で測定した超音波伝播速度の関係を示す。試験初期から9ヶ月目は含水率の変改により大きく超音波伝播速度は低下したが、その後29ヶ月目までは大きな変化が無かった。しかし、腐朽菌をファンガスセラーに投入した効果により、35ヶ月目と39ヶ月目にかけて低下する傾向が見られた。図4に無処理試験体と腐朽試験体の降伏強度、図5に初期剛性の関係を示す。29ヶ月目において降伏耐力が低下する傾向が見られた。ただし、現在までに測定した全データの超音波伝播速度と降伏強度および初期剛性の関係には明確な傾向が見られていない。

今後、更に腐朽が進んだ試験体を測定し、測定データの蓄積と考察が必要であると考え。

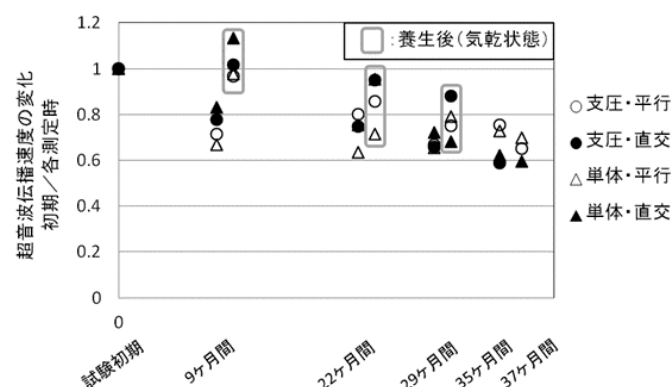


図3 超音波伝播速度と腐朽期間の関係

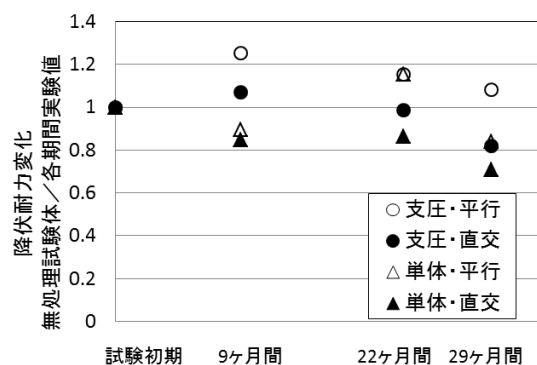


図4 降伏耐力と腐朽期間の関係

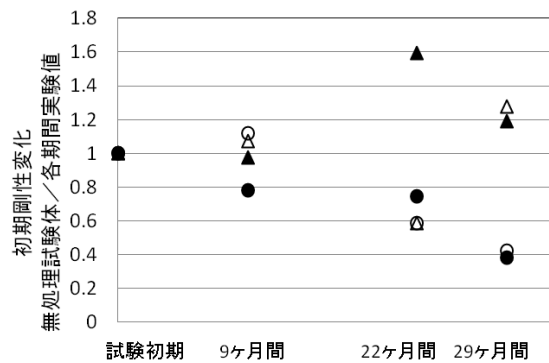


図5 初期剛性と腐朽期間の関係

2-4-6 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 (スギの調湿性能に関する研究)

※平郡雄二

【緒言】

森林資源の充実に伴い、県産材の需要拡大を図るためには、木造化による利用はもとより、法令等の制限により木造化が困難な場所では、内装や家具類の木質化による利用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、このような特性を数値化すれば、スギの魅力が向上し、利用促進につながることから、本研究ではスギの調湿特性を明らかにすることを目的に吸放湿性試験を行った。

【実験方法】

スギKD材板目面木表側における心材及び辺材の試験体（縦横 100mm×厚さ 5・10mm、n=5）について、JIS A 1470-1:2008（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、吸放湿過程における試験体の質量変化から単位面積当たりの吸放湿量の経時変化を計測し、吸放湿性能を評価した。

(1)試験体

試験体は、宮崎県産スギ材の荒板を準備し、平成28年8月2日から22日までの20日間天然乾燥した後、恒温恒湿器内（エスベック製 PR-2KP）で、温度 60℃、湿度 58%の雰囲気中において7日間人工乾燥を行った後に製作した。

試験体は、恒温恒湿器内で温度 $23 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50 \pm 2\%$ の雰囲気中で、恒量に達するまで養生を行い、板目面木表側以外の5面は、アルミテープを貼り断湿し養生した。

(2)試験方法

吸放湿性試験の湿度条件は、通常使用時の居室を想定して中湿域とし、温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $75 \pm 2\%$ の雰囲気中で12時間吸湿した後、温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50 \pm 2\%$ の雰囲気中で12時間放

湿を行った。

(3)吸放湿性試験装置

恒温恒湿器内に風防を置き、内部に電子天秤及び試験体の上部約5cmの位置に温湿度管理用の温湿度記録計（ティアンドデイ製 TR-72wf-H）を設置した。電子天秤とパソコンをケーブルで接続して、自動計測ができるようにシステム設定を行い、10分間隔で試験体の質量を計測した。

【結果及び考察】

スギKD材板目面木表側の心材の吸湿量は、平均で5mm厚が $12.8\text{g}/\text{m}^2$ 、10mm厚が $15.2\text{g}/\text{m}^2$ 、辺材の吸湿量は、5mm厚が $23.4\text{g}/\text{m}^2$ 、10mm厚が $23.0\text{g}/\text{m}^2$ であり、心材に比べて辺材の方が、平均で約1.7倍多い傾向にあった。スギKD材板目面木表側の心材の放湿量は、5mm厚が $8.9\text{g}/\text{m}^2$ 、10mm厚が $7.3\text{g}/\text{m}^2$ 、辺材の放湿量は、5mm厚が $17.9\text{g}/\text{m}^2$ 、10mm厚が $15.7\text{g}/\text{m}^2$ であり、心材に比べて辺材の方が、平均で約2.1倍多い傾向にあった（図1）。今後は試験体数を増やし、さらにデータ収集を行う必要がある。

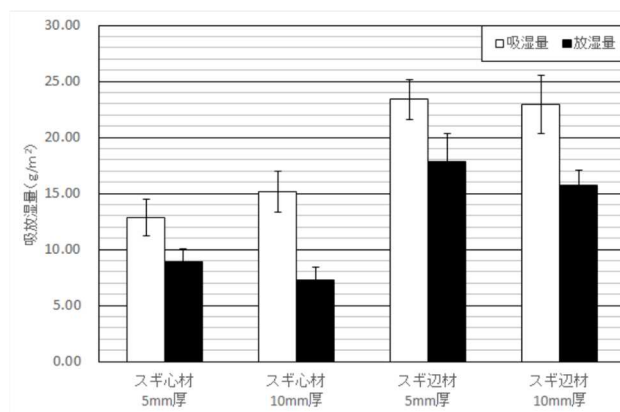


図1 平均吸放湿量

【謝辞】

本研究の実施に当たり客員研究員として御指導いただいた福岡教育大学教育学部の大内毅教授に厚くお礼を申し上げます。

※森田秀樹

(株)メタル・テクノ 山中安志、野間昌記

【緒言】

宮崎県では県産材の需要拡大のために、集成材や CLT 等の構造的利用を推進するとともに、内装木質化や家具・遊具等の造作的利用の拡大も図っている。そのような取り組みの結果、公共施設やオフィス内での木材利用が進みつつあるが、そこで使用される接合金具は例えば住宅向けの既製品を転用しているため、大きな断面の材料しか使用できず、スチール製品に比べて洗練さに欠けると指摘されている。そこで本県では、小型化しながらもスギに適した形状とすることで強度性能を担保した造作向けの金具(以下、造作金具)を開発し¹⁾、その接合性能評価を行った。本研究では、スギ及びヒノキを用いた接合部の剛性係数について報告する。

【理論式】²⁾

両端が弾性支持された構造体モデルにおいて、スパン l の梁の中央に集中荷重 P がかかると、接合部には支持端の剛性による反力でモーメント M_0 が生じ、その大きさは接合部の剛性により変化する。この接合部の剛性を定量化するため、剛性係数 k を用いると、梁の支持条件により k は 0 から 1 までの値をとり、両端の曲げモーメント M_0 は以下で表される。

$$M_0 = -\frac{kPl}{8}$$

支持点より x の位置におけるモーメント M は

$$M = \frac{Px}{2} + M_0$$

で表されるので、曲げの基本式を用いると以下となる。

$$\frac{d^2W}{dx^2} = -\frac{1}{EI} \left(\frac{P}{2}x + M_0 \right) \quad \begin{array}{l} W: \text{支持点から } x \text{ の距離におけるたわみ(下向きを正)、} E: \text{梁の弾性係数、} I: \text{梁} \\ \text{の断面二次モーメント、} EI: \text{梁の曲げ剛性} \end{array}$$

これを、 $W_{x=0}=0$ 、 $(dW/dx)_{x=l/2}=0$ を境界条件として解くと、たわみは以下となる。

$$W_{x=l/2} = \frac{Pl^3}{48EI} \left(1 - \frac{3}{4}k \right)$$

両端単純支持梁とした場合のスパン中央たわみは

$$W_F = \frac{Pl^3}{48EI}$$

であるので、両端弾性支持におけるたわみを W_S とすると、剛性係数 k は以下で求められる。

$$k = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{W_S}{W_F} \right)$$

【実験方法】

幅 60mm、厚さ 70mm、長さ 1500mm の梁材に対して、スパン 1400mm の 3 点曲げ試験を実施し、荷重-変位曲線を求めた。なお、スギ試験体は心去り製材、ヒノキ試験体は集成材とし、弾性域の範囲内で試験を終了させた。その後、長さを 1400mm に切断した後、図 1 に示す造作金具を用いて柱と梁の H 型試験体を作製した。このとき、柱についても同様にスギ心去り製材及びヒノキ集成材を用いた。柱と金具はねじ 4 本または 2 本で締結することを想定しているため、試験についてもこの 2 条件で行った。スギ 6 体(1 条件 3 体)、ヒノキ 6 体(1 条件 3 体) の H 型試験体に対し、治具に固定した状態で梁の中央を毎分 10mm の速度で破壊するまで加力した(図 2)。

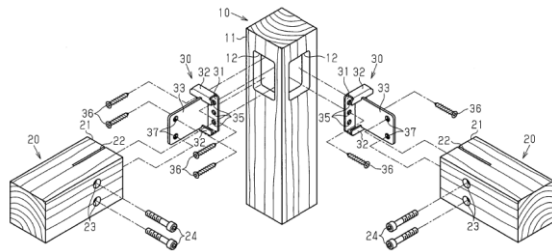
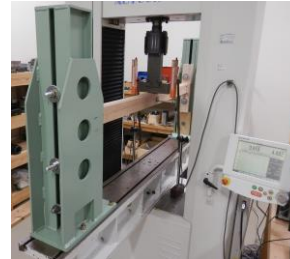


図1 造作金具の外観と接合方法



(a)両端単純支持



(b)両端弾性支持

図2 剛性係数評価のための曲げ試験方法

【結果および考察】

図3に両端単純支持及び両端弾性支持の荷重－変位曲線の一例を示し、表1に剛性係数 k の一覧を示す。開発した造作金具を使用して製品開発を行う場合、 k の目安としては、スギで0.32程度、ヒノキで0.35程度であることが分かった。これは、例えば藤元によるパーティクルボード同士の木ねじ接合部の結果($k=0.4\sim0.6$)²⁾より低く、よりピン接合に近い値であった。また、ばらつきはあるものの、スギよりヒノキの k が高く、ヒノキではねじ本数の増加に伴い k が高くなる傾向が伺えた。

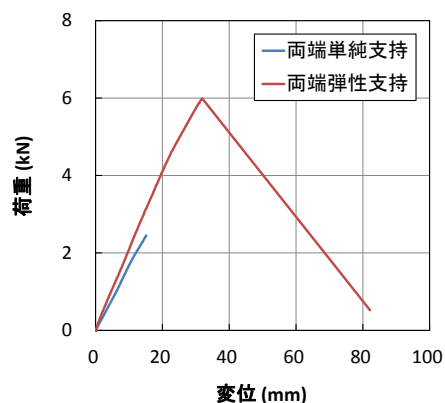


図3 荷重－変位曲線の例
(スギ・ねじ4本)

表1 剛性係数 k の結果

スギ			
ねじ4本		ねじ2本	
No	剛性係数 k	No	剛性係数 k
1	0.30	1	0.32
2	0.32	2	0.31
3	0.32	3	0.36
AVG	0.31	AVG	0.33

ヒノキ			
ねじ4本		ねじ2本	
No	剛性係数 k	No	剛性係数 k
1	0.41	1	0.37
2	0.40	2	0.26
3	0.42	3	0.24
AVG	0.41	AVG	0.29



図4 製品開発事例
(耐荷重の大きいスギラック)

【まとめ】

家具や遊具など造作的利用における一般的な木材製品の開発の流れは、長年の経験で試作した製品に対し、強度試験を実施して合格すれば商品化するというものであり、安全率が不明であるなど合理的であるとは言えなかった。スチール製品や建築物と同様に設計段階から強度性能を予測し、合理的な断面設計や接合方法の選択を行うといった開発手法の確立が木材製品の信頼性向上につながることから、本研究の結果はそのような開発手法の一部に活用できると考える。

【文 献】

- 1)宮崎県、(株)メタル・テクノ：木材の接合構造及び接合金具、特願 2016-196003(2016).
- 2)藤元嘉安：木ねじ、ボルトおよび釘による木質部材接合の剛性に関する研究、九州大学大学院博士論文 122-145(1998).

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 スギ大径材から得られた低ヤング率材の効果的利用に関する研究

—低ヤング率の大径材から得られた製材(JASのE50以下)の長期めりこみ性能からみた土台としての適用について—

※深田 学、荒武志朗
(宮崎大学) 雉子谷佳男

【緒言】

スギ大径材を活用した魅力ある製品や工法等の開発は本県の大きな課題である。しかし、末口径 40cm 以上の丸太では、高いヤング率のものを得ることが困難な状況である¹⁾。

一方、製材の日本農林規格による構造用製材(以下 J A S 材)を使っている大手ハウスメーカー等では、梁桁、柱には E70 以上が要求される傾向があることから、構造材としての E50 以下の用途は、ますます厳しくなる可能性がある。このため、この種の構造材については新たな用途の開発が必要である。

ところで梁桁、柱に要求される性能は、曲げや座屈が主体なので、高ヤング率のものが要求されるのは致し方ないとしても、土台はめり込みが主体なので、別の評価法をとるべきではないかとも考えられる。ここで関連する既往の研究を見てみると、ヤング率の低い未成熟材のほうが高ヤング率の成熟材よりむしろめり込み性能は優れているとの報告²⁾がある。しかしながらめり込みクリープ性能について、ヤング率の差による性能を比較した研究は未だなされていない。そこで本研究では、実際の材に表示されている機械等級区分(J A S)で区分された材がそれぞれどのようなめり込み長期性能を示すかを明らかにする。

【試験方法】

断面寸法が 105×105mm の宮崎県産スギ機械等級区分材(E50 以下、E70、E90 含水率 15%以下)を供試してめり込みクリープ試験、めり込み試験を実施した。この場合、めり込みクリープについては、図 1 に示す I 型の接合試験体を 8 体制作し、その接合部のうち一つは木表から負荷、一つは木裏から負荷となるようにし(合計 16 接合部)、接合条件をつき付けとした。ここで、図中の番号は、ストローク 50mm のひずみゲージ式変換器(以下、センサ)の取り付け位置を示す。負荷荷重はスギの基準強度×1.1/3 に相当する荷重(2473kgf)とした。また短期めり込み試験体については、88 体(一つの製材から 2 体づつ製材)を供し、(財)日本住宅・木材技術センター発行の「構造用木材の強度試験法」に準じて実施した。

図 1 I 型試験体

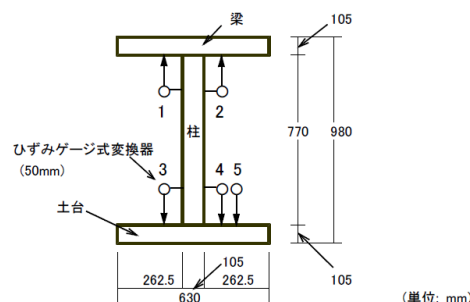


表 1 機械等級区分材のめり込み強さ

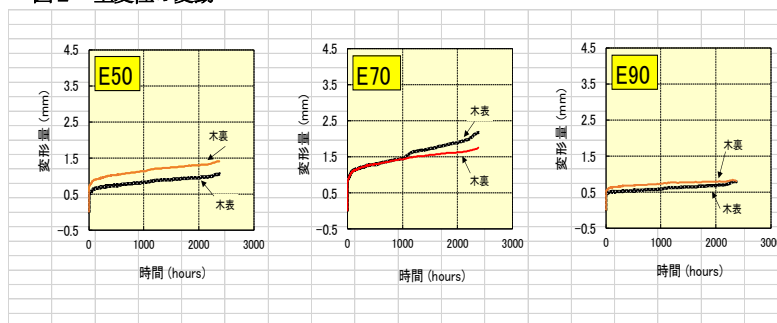
		動的ヤング係数 (kN/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
E50 以下	平均値	4.83	6.73
n=16	変動係数	8.9%	19.0%
E70	平均値	6.74	6.68
n=54	変動係数	7.2%	12.6%
E90 以上	平均値	8.46	6.88
n=18	変動係数	8.6%	9.3%

【結果及び考察】

- (1) めり込み試験の結果を表 1 に示す。同表からめり込み強さにおいて区分間に顕著な差異は認められない。またどの区分においても平均値は基準強度である 6 N/mm²を上回っている。

- (2) めり込みクリープ試験の結果を図 2 に示す。同図を見るとヤング率の区分間におけるクリープ曲線の明確な傾向の差異は示していない。換言すればヤング率が低くても、長期のめり込み性能が劣るといった傾向は示していない。この結果は、スギを土台として用いる際に、必ずしもヤング率を重要な指標と位置付けることは、大きな意味がないことを示している。

図 2 全変位の変動



【文献】 1) 深田学・荒武志朗 (2016) : 宮崎県産スギ大径材等の地域別材質特性 (II)

2) 小林義裕・雉子谷佳男 (2011) : スギ未成熟材部のめり込み性能

目視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)
－負荷2ヶ月までの定性的傾向－

2-5-2

※荒武 志朗、深田 学
 (国研)森林総合研究所 加藤英雄
 (国研)建築研究所 樋本敬大
 (地独)北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場 大橋義徳

【はじめに】本研究は、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一環として、同丸太から得られた枠組壁工法構造用製材の曲げクリープ特性を明らかにするとともに、長期の設計基準値(クリープ調整係数)を確認することを目的として今年度から試験を開始した。具体的には、供試体に宮崎県産スギおよび北海道産カラマツ 206 材の目視等級区分材(甲種特級)を採用し、以下の流れで試験に取り組んでいる。①節と縦振動ヤング係数を測定、②その結果から品質ごとにグループ分け、③短期試験(曲げ試験)を実施してクリープ試験の負荷荷重を決定、④クリープ試験を開始。なお、ここでは負荷約2ヶ月間(2017年1月10日～3月14日)の定性的傾向を報告する。

【試験体】クリープ試験は、表1に示す8試験体を供試して実施した。ここで、表中のS-LE1,2とK-LE1,2は縦振動ヤング係数(Efr)が低く節が多いグループ、S-HE1,2とK-HE1,2はEfrが高く節が少ないグループを意味する。また、曲げ強さ(σ_b)は、予め実施した曲げ試験(スパンー梁背比等の条件はクリープ試験と同じ、図1参照)で得られた値である(13体の平均値)。なお、同表ではカラマツ試験体の長さを3650mmとしているが、クリープ試験時には2700mmに切断して供試した。

【試験方法】クリープ試験方法は、基本的に建築基準法第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に従った(図1参照)。具体的には、スパン2520mm、スパンー梁背比18倍の3等分4点方式の荷重条件である。この場合、負荷荷重は、前述した曲げ試験における平均破壊荷重に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あり、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。併せて、試験室の温湿度測定と試験体端部より切り出した試験片の重量測定も行った。

【結果および考察】図2に相対クリープ(初期たわみに対するその後のたわみの比)の変動を示す。同図を見ると、スギとカラマツのいずれも、一般的な傾向と同様に負荷初期の急増(1次クリー

表1 クリープ試験体の概要と負荷荷重

グループ	記号	ρ kg/m ³	σ_b N/mm ²	節径 mm	Efr kN/mm ²	幅 mm	高さ mm	長さ mm	応力レベル	荷重 kN
スギ	S-LE1	352	32.3	12	6.50	38.2	140	3001	0.37	3.7
	S-LE2	376	32.3	16	6.52	38.1	140	3001		3.7
	S-HE1	424	46.3	14	9.59	38.3	141	3002		5.3
	S-HE2	362	46.3	0	9.38	38.1	141	3002		5.3
カラマツ	K-LE1	530	54.0	26	11.2	38.1	140	3650		5.9
	K-LE2	529	54.0	3	11.9	38.2	140	3650		5.9
	K-HE1	551	77.6	0	15.6	38.1	140	3650		8.5
	K-HE2	568	77.6	0	15.2	38.1	140	3650		8.5

※ ρ :密度、Efr:縦振動ヤング係数、 σ_b :曲げ強さ

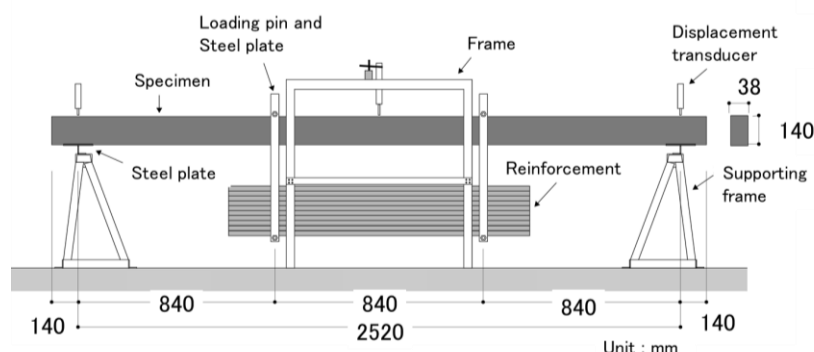


図1 クリープ試験条件

プ)とその後の安定化(2次クリープ)が認められる。また、これまでも指摘されてきたように、ヤング係数¹⁾や節²⁾がクリープに関与している傾向も看取されない。しかしながら、両者の曲線は大きく異なり、スギの相対クリープに対してカラマツの同値の増加が著しい。勿論、現時点では試験期間も短いので、結論づけることは出来ないが、この傾向に対し、現時点で考えられる原因を以下に検討する。

本実験の試験体は 206 材なので、曲げクリープ試験に当たって負荷による横倒れを防ぐために両支点に倒れ止めを設置した。しかしながら、時間の経過に伴い、水平方向への変形が荷重点付近を捻らせるような形で進行した(以後、これを面外変位と記す)。このことから、カラマツの相対クリープが非常に大きい要因を面外変位にあると考え、負荷 17 日後と 36 日後に全試験体の面外変位を測定して相対クリープとの関係を検討した。その結果を図 3 に示す。同図を見ると、予想に反してスギとカラマツの面外変位に大きな差は無く、同時に、相対クリープが面外変位に依存するといった傾向も示していない。このことから、カラマツの相対クリープの傾向に面外変位が影響している可能性は、現時点では極めて低いと考えられる。

カラマツのクリープが著しいもう一つの原因として、初期含水率の関与も考えられる。ここで、短期試験体の含水率は、スギで 10.2%、カラマツでは 12.7%(いずれも平均値)と、若干ではあるが後者の方が大きい。この影響を確認するために図 4 に試験体の重量変動率の変動を示す。ここで、同変動率は、クリープ試験体の端部から切り出した試験片(長さ 325mm、片側木口面をアルミテープでシール)の重量を原則として毎日測定し、以下の式によって求めたものである。

$$\text{重量変動率} = (\text{重量} - \text{最初の重量}) / \text{最初の重量} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (2)$$

同図を見ると、明らかにカラマツの負荷初期からの重量減少(含水率減少)がスギのそれよりも大きい。言うまでも無く、繊維飽和点以下の領域における木材の脱湿時(乾燥過程)のメカノソープティブ変形の増加は極めて著しいことから¹⁾、多少なりともその影響がカラマツのクリープ増加に影響を与えた可能性は否定できないだろう。

以上、現時点(約 2 ヶ月間)におけるスギとカラマツ 206 材の曲げクリープの特性を考察したが、前述したように試験期間が短い中での検討であり、不明確な部分も多い。今後、一定量のデータを蓄積することにより、より明確な考察に結び付けたい。

【文献】1) 例えば、荒武志朗，有馬孝禮：木材学会誌，50(3)151-158(2004)、2) 例えば、有馬孝禮，佐藤雅俊，益田恵吾：建築研究報告，No. 95, 25-80(1981)。

【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。

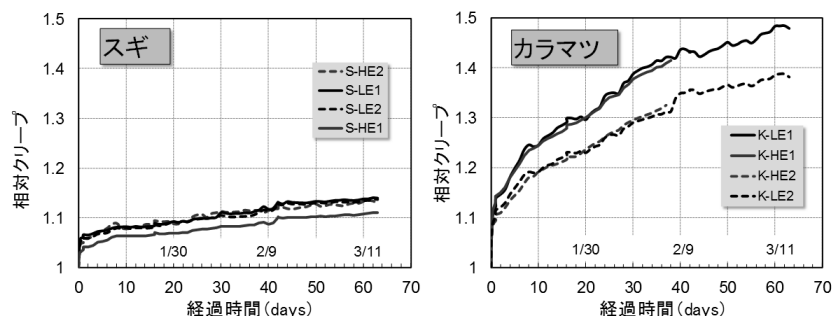


図2 相対クリープの変動

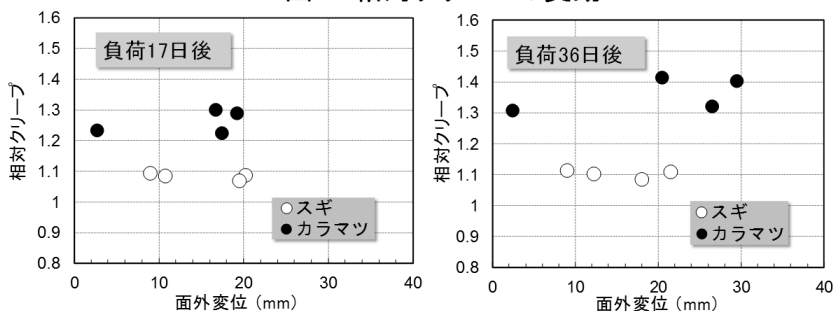


図3 面外変位の変動

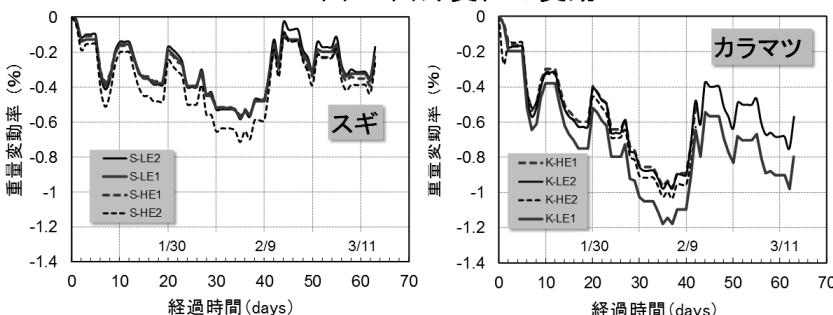


図4 重量変動率の変動

2-6 木質バイオマスの利用拡大

2-6-1 未利用木質資源の半炭化による利用法の開発

須原弘登

諸言

未利用木質資源である林地残材や樹皮の有効利用のため、低温炭化処理による半炭化物を作成し再生可能エネルギーとしての利用を検討する。これまでの検討で木質資源を 300℃以下の低温で炭化することで、経済的に効率の良い炭化物を得られることが示された。今年度は未利用木質資源の一つとして、公園・道路などの整備に伴って廃棄される剪定枝、剪定草木を対象とし、これを燃料として用いる事を検討した。

実験方法

原材料：株式会社黒田工業に搬入される剪定枝・草木を目視による判断で、小径の枝葉類からなる剪定枝と、枝部を含まない主に草本類（主にイネ科）からなる剪定草木に区分し、試験に供した。試料は H27 年 12 月～H28 年 2 月にかけて搬入されたものから剪定枝・草木 3 バッチずつを用意した。

嵩比重の測定：嵩比重の測定は、試料の剪定枝・草木を木材粉碎用チップパー（GS92；大橋製）で粉碎したものを、5000ml 容のビーカーを用いて JIS Z 7302-9 に従い行った。

発熱量測定：チップパーで粉碎した試料を乾燥させ、アブソリュートミル（Osaka Chemical Co., LTD. ABS-W）で粉碎し、105℃で絶乾したのち放冷したもの約 1g 用いて、ボンベ式熱量計（Shimadzu CA-4PJ）により発熱量を測定した。

RPF 製造：収集した剪定枝・剪定草木を用いて RPF 製造を行った。RPF 製造は株式会社黒田工業が有する RPF 製造装置で行い。投入重量比で「枝：ポリ＝2：8」、「草木：ポリ＝3：7」、「草枝混合物：ポリ＝2：8」の 3 種をそれぞれ 50kg 作成した。

吸放湿性試験：含水率の変化は高温・高湿（40℃、95%）、中温・中湿（25℃、60%）、低温・低湿（15℃、55%）、低温・乾燥（40℃、20%）、浸水（25℃）の 5 条件で、試験温湿度を設定した恒温恒湿機（SH-221,espec）の中に RPF を入れ、恒量を計測することで行った。このうち、低温・乾燥（40℃、20%）条件は冷蔵庫にデシケーターを入れることで、浸水条件は RPF の入った容器に容器の半分程度まで水道水を注ぐことで行った。

結果及び考察

本研究では実際に発生する剪定草木などの利用をおこなう事を目的とし、株式会社黒田工業の日向日サイクルセンターに搬入される、剪定枝・剪定草木を原料として用いた。

まずは原料の特性を把握するために、発熱量の測定とかさ比重の測定をおこなった。計測の結果は表 1 に示す通りである。含水率は採取を行ったバッチごとでばらつきが多く、また、今回のサンプルは冬期に収集したため、夏場や梅雨時では、含水率は大きく異ると考えられる。嵩比重（生重量）は剪定枝の平均が約 300kg/m³であったのに対し、剪定草木ではおよそ 110kg/m³と低い値となった。今回は両者ともチップパーで粉碎後に測定していることから、実際にリサイクルセンターに運ばれてくるものでは、これよりもさらに低く、またばらつきが多い事が予想される。絶乾時高位発熱量は剪定枝が 19.9 MJ/kg、剪定草木

表1 剪定枝・剪定草木の諸性質

	剪定枝				剪定草木			
	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均
湿量基準含水率(U _w ;%)	55	38.3	48.6	47.3	56.4	42.3	34.5	44.4
嵩比重(kg/m ³); 生サンプル	281.9	304	312.5	299.5	138	101.1	97.5	112.2
絶乾時高位発熱量 (MJ/kg)	19.5	20.3	19.9	19.9	18.7	18.9	18.5	18.7
有効発熱量(含水率補正有低位発熱量) (MJ/kg)	6.8	10.8	8.3	8.6	6.2	9.1	10.4	8.6
容積あたり有効発熱量(MJ/m ³)	1917	3283	2594	2598	856	920	1014	930

が 18.7 MJ/kg であった。剪定枝・剪定草木の発熱量は原料に含まれる植物種の構成とその混合比に影響されることが予想できるが、これについては土木研究所資料第 4145 号に詳しく報告されており、この中で全国各地で発生した草本系バイオマスの絶乾時高位発熱量は最大 20.4 MJ/kg、最小 12.2 MJ/kg、相加平均値が 17.3 MJ/kg とされていることから、本研究での分析結果は妥当な値と言える。また、今回の分析結果からは単位容積あたりの有効（低位）発熱量は含水率とかさ密度の影響を大きく受けるということが改めて確認された。

この剪定枝・剪定草木を用いて RPF を作成し、これらの RPF について、使用するまでの間の保管の状態が RPF 燃料の性能にどのような影響を及ぼすかを検討するために様々な温湿度環境下での RPF の含水率などを測定した。結果を図 1 に示す。含水率の挙動はどの RPF も同じようになり、剪定枝、剪定草木を混練しても、建築廃材を混合する従来の RPF と吸放湿性が大きく変わることはなかった。含水率は浸水条件以外では高温高湿条件で最も高くなり、およそ 11% であった。これは木質ペレットの品質規格で定められる含水率の上限と同程度だが、RPF の品質規格（5% 以下）からは外れる。RPF 品質規格を満たすのは低温・乾燥条件のみであり、これ非常に乾燥した条件であることから、通常の保管では RPF 品質基準を満たすことは難しいと考えられた。浸水条件下ではいずれの RPF も吸水し含水率が大きく上昇した。剪定草木を混練した RPF は含水率が 78.1% と特に大きくなった。本試験では床置きなどを想定し、RPF が半分水に浸る程度で試験を行ったため、吸水に斑が生じた可能性があり、これにより含水率に大きなばらつきが生じたと考えられた。また、本試験では多くの条件で RPF への糸状菌の発生がみられた。特に剪定草木を混練した RPF ではそれが顕著であった。

本研究から剪定枝・剪定草木を用いた RPF を作成可能で、これらが従来の建築廃材を用いたものと同等の吸放湿性を持つことが示された、吸放湿性は製品の保存性能に影響することから、今回作成したものは、従来品と同等の保存性能を有すると考えられた。ただし剪定草木を混練したものについては、糸状菌の発生頻度が高かったことから、高湿条件での保存を避け、早めに使うことが望ましいだろう。

今後は吸放湿性能や重量当たり発熱量の改善のため、剪定枝・剪定草木を半炭化処理し、RPF などに成型加工することを検討する予定である。

本研究は公益財団法人宮崎県産業振興機構の平成 27 年度「環境リサイクル技術開発・事業化支援事業（可能性調査）」の助成による「廃プラおよび剪定草木を原料とした高発熱量固形燃料等の開発可能性調査」の事業により行われました。

参考文献

岡本誠一郎、桜井健介、尾崎正明、落修一（2009）公共緑地・樹木の管理に由来する草本系バイオマスデータ集。土木研究所資料第 4145 号 ISSN 0386-5878

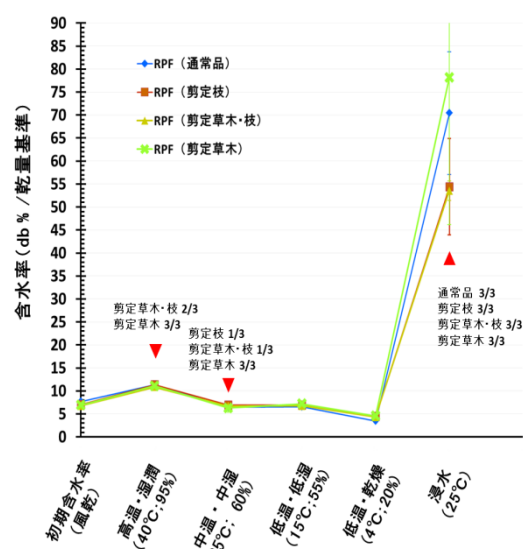


図 1 RPF の含水率(乾量基準)の変化

◆：通常の製造方法で作成した RPF、■：剪定枝を混練した RPF、▲：剪定草木と剪定枝を混練した RPF、×：剪定草木を混練した RPF。▼(矢尻)で付した説明書は、その温湿度条件でカビが発生した RPF の種類とその頻度を示している。

2-7 研究発表(誌上)

発行年月	書籍名	氏名	題名	掲載項
2016年6月	都城地区木材青壮年会 会報誌「継続」-すばらしい伝統を次世代へ- 2016年6月号	小田久人	木材業の戦略	p.3
2016年6月	林業みやざき 4・5・6月号 No.543	平郡雄二	木材の調湿作用について	p.12-13
2016年8月	林業みやざき 7・8月号 No.544	荒武志朗	スギ大径材から得られた心去り正角材の曲げ強さ	p.12-13
2016年10月	Journal of Natural medicine	須原弘登	Antioxidative activities of 62 wild mushrooms from Nepal and the phenolic profile of some selected species	p.767-779
2016年10月	林業みやざき 9・10月号 No.545	川崎茂樹	CLTを使ったベンチと上屋について	p.12-13
2016年11月	GR現代林業 11月号 No.605	兒玉了一	スギ大径材利用に向けたスギ心去り製材の強度性能と乾燥スケジュール	p.30-35
2016年11月	林業みやざき 11・12月号 No.546	須原弘登	木質バイオマスの利用と乾燥	p.12-13
2017年1月	林業みやざき 1・2・3月号 No.547	森田秀樹	スギに適した接合金具の開発と製品開発手法の確立	p.12-13
2017年3月	公立林業試験研究機関研究成果選集 No.14(平成28年度)	荒武志朗、森田秀樹、中谷誠、深田学	宮崎県産スギを用いた新たなCLTの開発	p.65-66

注1 学会等要旨集は除く

注2 共同研究者の所属は省略しています。

2-8 研究発表(口頭)

開催年月	学会名	場 所	氏 名	題 名	要旨集
2016年8月	2016年日本建築学会大会(九州)	福岡県	中谷誠、森拓郎	CLTのラミナ横方向の繋ぎ目がLSBの引抜き性能に与える影響 その1 繊維平行方向について	p.237-238
			加藤千博、宮田雄二郎、中谷誠、青木謙治、稲山正弘	CLT面材を用いた高強度耐力壁の設計 その1 予備試験	p.443-444
			宮田雄二郎、加藤千博、中谷誠、青木謙治、稲山正弘	CLT面材を用いた高強度耐力壁の設計 その2 本試験	p.445-446
2017年2月	第340回生存圏シンポジウム 平成27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	中谷誠、須原弘登、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.11-12
			須原弘登、中谷誠、森拓郎	シロアリによるスギ材の食害促進物質の探索	p.13-14
2017年3月	第341回生存圏シンポジウム 平成27年度木質材料実験棟全国共同利用研究成果報告会	京都府	中谷誠、森拓郎	CLT(Cross laminated timber)を用いた中・大規模木造建築物の開発	p.19-24

注1 共同研究者の所属は省略しています。

2-9 研究発表(展示)

開催年月	学会名	場 所	氏 名	題 名	要旨集
2016年9月	宮崎大学 産学・地域連携センター 第23回技術・研究発表交流会	宮崎県	森田秀樹、山中安志、野間昌記	スギに適した接合金物の開発とそれを用いた製品化事例	宮崎大学産学・地域連携センターWebページ
2016年11月	日本木材加工技術協会第34回年次大会	宮崎県	蛸原啓文、堂籠究、須原弘登	スギ精油による雑草生育の抑制について	p.49-50
			兒玉了一	県産スギ心去り構造材の乾燥技術の開発-品質を伴った乾燥スケジュールの検討-	p.51-52
2017年3月	第67回日本木材学会大会	福岡県	中谷誠、川崎茂樹、桑水流秀一郎	CLTを用いた軸組用耐力壁の開発	CD-ROM
			堂籠究、須原弘登	宮崎県産オビスギ抽出成分の特徴	
			荒武志朗、深田学	宮崎県産スギを用いたCLTの長期性能(その2)クリープ関数による荷重継続時間の調整係数の推定(荷重比の検討)	
			森田秀樹、山中安志、野間昌記	造作向け金具の接合性能評価	

注1 共同研究者の所属は省略しています。