

日本木材学会

北海道支部講演集

第54号

令和4年11月

日本木材学会北海道支部

札幌

<口頭発表> 13:10-17:20

【座長】高梨隆也

1. ○岡本涼太郎, 佐々木貴信, 澤田 圭, (北大院農), 大橋義徳, 宮内輝久 (道総研林産試)
林道橋の床版補修における CLT の適用可能性の検討-----1
2. ○佐々木貴信, 澤田 圭 (北大院農), 今井 良, 戸田正彦, 冨高亮介 (道総研林産試)
ラグスクリューボルト (LSB) を用いた CLT の接合部強度に関する研究-----3

【座長】澤田 圭

3. ○高梨隆也, 大橋義徳, 土橋英亮, 石原 亘(道総研林産試)
北海道森町産カラマツ・トドマツ・スギ集成材の強度等級シミュレーション-----5
4. ○冨高亮介, 戸田正彦, 村上 了(道総研林産試)
北海道産トドマツ・カラマツを用いた平パレットの強度性能評価試験-----9
5. 石原 亘, 土橋英亮, 高梨隆也, 大橋義徳 (道総研林産試), 吉田孝久 (長野県林総セ),
松元 浩 (石川農林総研), 長尾博文 (森林総研), 藤本登留 (九大院農)
高温セット条件がカラマツ心持ち正角材の表面割れおよび強度に及ぼす影響-----13

休憩 : 14:25~14:40

【座長】佐々木貴信

6. ○酒井明香, 石川佳生, 古俣寛隆, 前川洋平 (道総研林産試)
北海道における原木輸送の大型車両化に向けた現状と課題-----17
7. ○前川洋平, 古俣寛隆, 石川佳生 (道総研林産試)
北海道産木材による伐採木材製品 (HWP) の炭素蓄積量の算定と
精度向上に向けた課題-----21

【座長】原田 陽

8. ○小黑浩平, 玉井 裕, 幸田圭一 (北大院農)
食用担子菌の菌糸成長に及ぼすヤナギ類樹皮成分の影響について-----25
9. ○米山彰香, 幸田圭一, 玉井 裕 (北大院農)
ヤナギ樹皮成分の特徴づけ-----27

休憩：15:40～16:05

【座長】幸田圭一

10. ○竹内啓一郎, 鈴木 栞, 重富顕吾, 浦木康光 (北大院農)
ナラからアルコール中に溶出した成分の解析-----29
11. ○古賀泰雅, 荒川圭太 (北大院農)
カツラ花芽の原基組織に由来する抗氷核活性について-----30
12. ○中村神衣, 宮崎淳子, 松本久美子, 古田直之 (道総研林産試)
水性高分子-イソシアネート系接着剤の硬化剤添加量が高強度カラマツ集成材の接着に及ぼす影響-----32

【座長】佐野雄三

13. ○豊田真慧, 佐々木貴信, 澤田圭, 佐々木義久, 小泉章夫 (北大院農)
北海道早来山林産カラマツ造林木の材質研究-----34
14. ○村上 了 (道総研林産試)
深層学習によるカラマツ類ラミナの板目面の節検出-----36

林道橋の床版補修における CLT の適用可能性の検討

○岡本涼太郎, 佐々木貴信, 澤田圭, (北大院農), 大橋義徳, 宮内輝久 (道総研林産試)

【はじめに】

CLT (直交集成板) はその軽さの特徴から、建築分野だけでなく土木分野への利用も期待されている。例えば、既設橋梁の劣化したコンクリート (RC) 床版を取替える際、軽量の CLT で代替することができれば、改修時にコンクリート床版の増厚に伴う重量増加に対応するための鋼桁の補強が不要となり、工事費を抑えられる可能性がある。北海道内の道有林に 1980 年に架設された林道橋は施工後 41 年を経過しており、使用部材の経年劣化等により、現在、補修工事が計画されている。この林道橋 (H 形鋼橋梁) には木床版が使用されており、これを一般的な RC 床版へ取替えた場合、死荷重が増加し補修が困難であることから、CLT 床版の採用が検討されている。本研究では、本橋の上部工に注目し、汎用有限要素解析ソフトウェアを用いて、CLT 床版を支持する縦桁の構造を変化させて、支持条件と変形や応力の関係を観察し、最適な改修構造について考察した。

【方法】

汎用有限要素解析ソフトウェア COMSOL Multiphysics® Version 5.6 を用いて、CLT 床版を用いた対象橋梁の補修案の検討を行った。対象となる橋梁は橋長 6.8m、幅員 3.8m の林道橋で、2 本の主桁、6 本の横桁、その上に縦桁 (何れも鋼製) が並んでいる簡易な構造である。補修案では主桁上の枕板をコンクリートとし、鋼材およびコンクリート部材は等方性材料、CLT は 3 軸直交異方性材料として解析した。各材料の材料定数を表 1 に示す。なお、CLT は長さ 4.2m×幅 1.13m×厚さ 180mm、異等級構成の 5 層 5 プライ (Mx60-5-5) のスギ CLT を仮定した。解析では 3D モデル化した対象橋梁に活荷重を載荷、その応答値の最大応力度と CLT 関連告示等解説書に示される方法で算出した床版の設計許容応力度を比較した。

(1) 予備解析

床版支間方向 (幅員方向) が CLT の強軸方向、橋軸方向がヤング係数の低い CLT の弱軸方向となるため、橋軸方向に並ぶ CLT が縦桁のみで支持された場合に、となり合う床版の連続性が問題となる可能性が考えられる。そこで、予備解析として、CLT 床版一枚を取り出し、図 1 に示すように強軸方向のみを縦桁で支える二辺支持モデルと、強軸方向を縦桁で、弱軸方向を横桁でそれぞれ支える四辺支持モデルを作成し、支持条件の違いによる応力と変位の比較を行った。1 等林道橋の設計活荷重の後輪荷重 88kN を床版上面に載荷し、二つのタイプの変位および曲げ応力の応答値を比較した。

(2) 全体モデル解析

表 1 使用部材の材料定数

		CLT	RC	鋼材
密度 (kN/m ³)	ρ	4.5	23.0	77.0
ヤング係数 (N/mm ²)	E_x	6,000	25,000	200,000
	E_y	2,160		
	E_z	240		
せん断弾性係数 (N/mm ²)	G_{xy}	272	11,000	79,000
	G_{yz}	144		
	G_{xz}	400		
ポアソン比	ν_{xy}	0.016	0.20	0.30
	ν_{yz}	0.016		
	ν_{xz}	0.016		

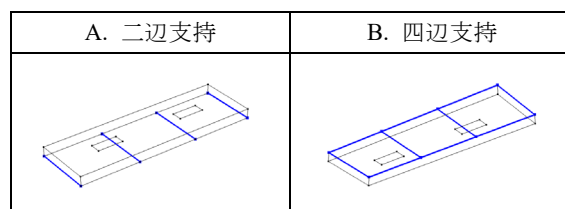


図 1 二辺支持と四辺支持

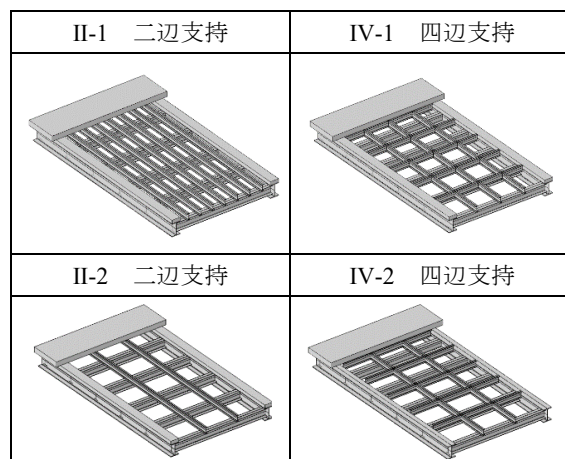


図 2 全体解析モデル

補修案では、既設の縦桁と木床版を撤去し、新たに設置する縦桁に CLT 床版を幅方向に 6 枚敷並べる設計とした。図 2 に示すように、現橋の縦桁を残したまま CLT 床版を支える二辺支持タイプ (II-1)、縦桁を減らし幅員方向に横桁を追加し CLT 床版を四辺全てで支える四辺支持タイプ (IV-1)、また、さらに縦桁を減らした構造で二辺支持と四辺支持の 2 つのタイプ (II-2、IV-2) の 4 つのタイプの解析モデルを作成した。ここで、追加した横桁の断面寸法は縦桁と同じとした。各部材の材料定数、部材同士の境界条件等を設定し、各タイプの 3D モデルをソリッド要素で作製した。解析では、自重による死荷重および、設計活荷重による一組の後輪荷重を床版上面の最も不利になる位置に載荷した。なお、設計荷重は林道規定に示される橋格別の設計荷重を用いた。

【解析結果および考察】

(1) 予備解析

結果の一例として、CLT 床版一枚を取り出した二辺支持モデル (A タイプ) と四辺支持モデル (B タイプ) の解析結果のうち、載荷位置に着目して、CLT の弱軸方向 (橋軸方向) での鉛直変位分布を比較した結果を図 3 に示す。グラフより、四辺支持のほうが鉛直変位が小さいことが分かる。支持されていない CLT (A タイプ) の弱軸方向の鉛直変位が 0.3mm 程度生じており、隣接する CLT の境界部分において鉛直変位の差が生じ、床版の連続性が保てない可能性がある。そのため予備実験から 4 辺支持の必要性が示唆された。

(2) 全体モデル解析

全体モデル解析における結果の一例として、各タイプの鉛直変位を、載荷位置に着目して、強軸方向 (幅員方向) の分布で比較した結果を図 4 に示す。縦桁が最も多い既設の構造の II-1 タイプ (二辺支持) が変位が最も小さく、II-2 タイプ (二辺支持) の変位が最も大きくなった。また、縦桁を減らし、横桁を加えた IV-1 タイプの変位は、II-1 タイプと同等であり、II-2 タイプと同じ数の縦桁に横桁を加えた IV-2 タイプの変位は II-1 タイプの 26% 大きかった。

4 つのタイプの最大変位および最大応力の結果を表 2 に示す。表中に示した許容値は、CLT の設計用許容応力度と、たわみの許容値を $L/500$ として支間長 ($L=6.6\text{ m}$) より求めた参考値である。3 等林道橋に相当する設計荷重 88kN では II-1 タイプおよび IV-1 タイプで許容値を満たしたが、2 等林道橋の設計荷重 137kN および 1 等林道橋の設計荷重 245kN では橋軸 (弱軸) 方向で許容値を上回る結果となった。既設の対象橋梁は設計荷重 88kN の 3 等林道橋であるが、137kN やそれ以上の設計荷重に耐えられるようにするには、CLT の樹種や床版厚、層構成を変えることで対応可能である。要求される強軸および弱軸方向の曲げ強度に対して対応する層構成を選択する、あるいは、カラマツのような曲げヤング係数の高い樹種であれば、上位等級の Mx90 といった CLT の選択も可能であり、設計の自由度は比較的高いと考えられる。

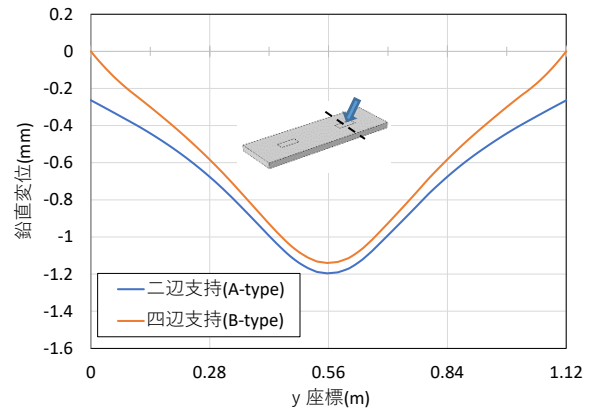


図 3 載荷位置での橋軸方向鉛直変位

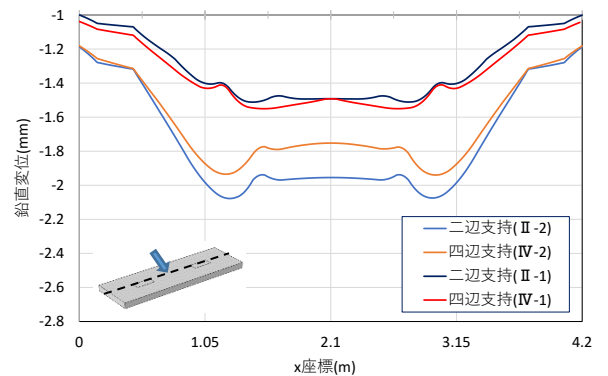


図 4 幅員方向鉛直変位

表 2 全体モデル解析結果

設計荷重	Type	最大応力 (N/mm ²)		最大変位 (mm)
		弱軸方向 (橋軸)	強軸方向 (幅員)	
88kN	II-1	0.56	0.99	1.64
	IV-1	0.53	0.85	1.65
	II-2	0.73	1.56	2.21
	IV-2	0.79	1.45	2.07
137kN	II-1	0.75	1.44	2.28
	IV-1	0.78	1.21	2.31
	II-2	1.09	2.33	3.07
	IV-2	1.18	2.16	2.86
245kN	II-1	1.18	2.42	3.69
	IV-1	1.34	2.02	3.75
	II-2	1.94	4.13	5.08
	IV-2	2.10	3.84	4.72
許容値		0.62	3.24	13.2

ラグスクリューボルト（LSB）を用いた CLT の 接合部強度に関する研究

○佐々木貴信，澤田圭（北大院農），今井良，戸田正彦，富高亮介（道総研林産試）

【緒言】

近年、国産材の需要拡大の取り組みの一つとして CLT（直交集成板）の土木分野での用途開発が進められている。国内で製造される CLT の寸法は様々であるが、最大では幅 3m×長さ 12m の大きさでの製造が可能である。発表者らは CLT の特徴である製品サイズの大きさや軽さに着目し、土木分野での用途の一つとして、橋梁の床版材料としての可能性に着目し、強度や耐久性に関する基礎研究や実証試験による評価を行っている。CLT を床版として採用する際の課題は、木材の含水率変動に伴う寸法変化や湿潤環境下における腐朽劣化であり、これに対しラッピング等による防水処理の検討を行っているが、工場処理された CLT 床版を現場で橋桁と接合したり防護柵を設置する際に、ラッピング処理を傷めない接合方法を開発する必要があった。また、橋梁用 CLT 床版を普及させるためには、車両用防護柵の設置も課題の一つであった。これらの課題に対して、本研究では、ラグスクリューボルト（LSB）を用いた接合方法に着目し、接合部単体の引抜耐力や LSB を用いて CLT 床版へ固定した防護柵支柱の耐荷力の評価を行った。

【実験方法】

（1）LSB 接合試験

幅 145～150mm、厚さ 150mm のスギ CLT（Mx60-5-5 および S60-5-5）に、φ30mm および φ36mm の LSB を深さ 100mm まで打ち込み、引き抜き試験を行った。LSB は、図 1 に示すように外周には雄ネジ加工、内部には雌ネジ加工をしたタイプ（株）トーネジ製、図 1 左）と、外周に埋め込み用とナット固定用の 2 段のネジ加工をしたタイプ（ダイロック（株）製、図 1 右）の 2 種類とした。なお、φ30mm は両タイプ（LSB30t、LSB30d）、φ36mm は後者のタイプ（LSB36d）を供した。表 1 に試験体寸法を示す。試験では LSB を試験機で引き抜いたときの荷重と引き抜き変位を測定し、降伏荷重や最大耐力を測定した。



図 1 LSB（ラグスクリューボルト）



図 2 LSB36d の打ち込み

（2）防護柵支柱試験

防護柵支柱の試験体には、幅 955mm、長さ 978mm、厚さ 150mm の 5 層 5 プライのスギ CLT（S60-5-5）を用いた。防護柵はガードレールの設置を想定し、支柱は C 種とした。鞘管が溶接されたベースプレート（t=30mm）を LSB30d および LSB36d（各 6 本）、φ24mm のボルト 4 本でそれぞれ CLT 上面に接合し、鞘管に φ114mm、高さ 715mm の円柱の防護柵支柱を差し込み φ12mm のボルトまたはドリフトピンで固定した。なお、ボルトで固定した試験体では、下面にベースプレートと同寸の裏当て板（t=12mm）を配置した。支柱の高さ 600mm の部位にジャッキを用いて水平に载荷し、支柱の変位やベースプレートの浮き上がり CLT

表 1 接合部試験体寸法

試験体	LSB 寸法 (mm)				CLT 寸法 (mm)			CLT 強度等級	試験体数
	山径	谷径	ネジ部長	先孔径	幅	厚さ	長さ		
LSB30t	30	25	120	26	150	150	525	Mx60-5-5	9
LSB30d	30	25	110	24	145	150	800	S60-5-5	6
LSB36d	36	31	110	30	145	150	800	S60-5-5	6

のひずみ等を測定した。試験はボルト接合を2体、LSB接合は2段のネジ加工をしたLSB30dおよびLSB36dを1体ずつ行った。LSBは図2に示すように、先孔の位置にシャーレンチを用いて打込んだ。前述の接合部試験体のLSBも同様にして打込んだ。

【結果および考察】

(1) LSB接合試験

図3に一例としてLSB30tの引抜荷重と変位の関係を示す。また、表2に各LSB接合部の引抜試験における初期剛性、降伏耐力、最大荷重の平均値をそれぞれ示す。外径の等しいLSB30tとLSB30dでは初期剛性、最大荷重はほぼ等しいが、降伏耐力はLSB30dの方が大きい。LSB36dは径が大きいため、初期剛性、降伏耐力、最大荷重の全てで径30mmのLSBを上回った。図4に試験終了後のLSB30t試験体を示す。何れの試験体においても、最大荷重到達後にLSBが徐々に引き抜けたが、急激な荷重低下は認められなかった。

(2) 防護柵支柱試験

水平荷重試験では、支柱の水平変位が約150mmまで荷重した。このときの最大荷重は25kN~32kNであった。防護柵支柱は図5に示すように変形し、支柱を差し込んだベースプレートに溶接された鞘管も変形した。図6に荷重とベースプレートの浮き上がりの関係を示す。およそ設計荷重(40kN)をかけた際、ベースプレートの浮き上がりはボルト接合で約1.5mm、LSB接合では2.5~3mm程度であった。なお、径の大きいLSB36dで剛性が低いのは、打込み位置の調整のために、打込みをやり直した影響で嵌合が緩くなった可能性がある。

防護柵支柱へ水平荷重40kNを作用させたとき、ベースプレートの引張側のボルトまたはLSBには1本当たり70.6kNの引抜力が作用する。ボルト接合の引抜耐力は1本当たり95kNであり、LSB接合では表2に示したように設計荷重を下回るため、引張側LSBの本数を増やす必要があった。一方、LSB接合では、LSBの打込み後にCLTの被覆処理やラッピング処理を行うことができ、これら処理を傷めない接合が可能となり防水効果の向上が期待できる。これを検証するために、今後、LSB打込み後に各種の材料でラッピング処理したCLTの耐水性試験を行い、実用化の検討を進めたい。

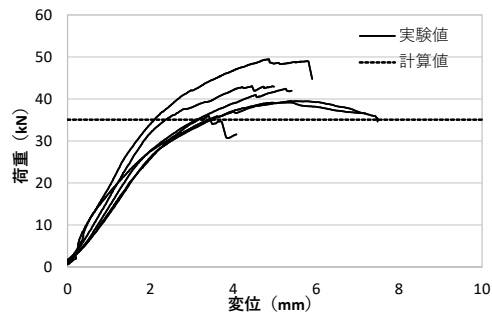


図3 引抜荷重-変位関係 (LSB30d)
表2 LSB引抜試験結果

	初期剛性 (kN/mm)	降伏耐力 (kN)	最大荷重 (kN)
LSB30t	15.6	30.8	39.0
LSB30d	15.6	40.2	41.5
LSB36d	23.0	48.4	49.4



図4 試験後の接合部 (LSB30t)



図5 支柱の変形とベースプレート接合部 (LSB30d)

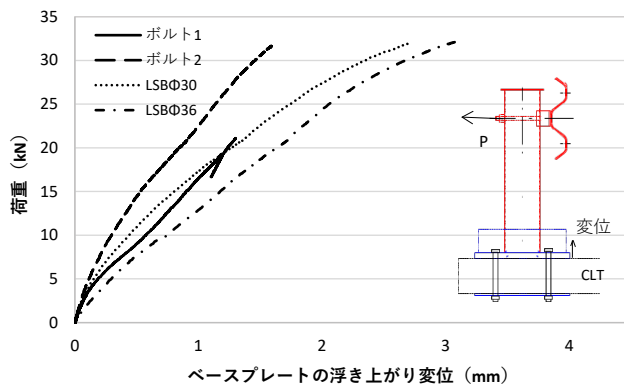


図6 荷重とベースプレート浮き上がり変位関係

【参考文献】1) 豊田淳, 佐々木貴信, 荒木昇吾, 林知行, 有山裕亮, 後藤文彦: CLT床版を用いた小規模橋梁の補修設計と施工, 構造工学論文集, Vol.65A, p799-806, 2019.

【謝辞】本研究はJSPS 科研費 21H01412 の助成を受けたものです。

北海道森町産カラマツ・トドマツ・スギ集成材の強度等級シミュレーション

○高梨隆也，大橋義徳，土橋英亮，石原亘（道総研林産試）

1. 緒言

人工林資源の成熟化や公共建築物の更新需要の高まりなどによって，地域材を用いた木造建築物の建設機運が高まっている。しかし，その実現にあたっては建築コストへの懸念や事例の少なさが障壁となる場面がある。それらを解決する取り組みの一つとして，地域材の材質特性と強度データを整備し，合理的な木造設計を可能とすることが考えられる。そこで本研究では北海道茅部郡森町の人工林材を用いて集成材を製造することを想定して，カラマツ (*Larix kaempferi*)，トドマツ (*Abies sachalinensis*)，スギ (*Cryptomeria japonica*)の集成材用ラミナ原板から収集した縦振動ヤング係数を用いて数値計算を行い，製造可能な集成材の強度等級の検討を行った。

2. 実験方法

2.1. ラミナの採材および縦振動ヤング係数の計測

北海道茅部郡森町産のカラマツ原木 45 本 (径級 26~38 cm, 長さ 3.65~4 m)，トドマツ原木 20 本 (径級 26~34 cm, 長さ 3.65 m)，スギ原木 31 本 (径級 26~36 cm, 長さ 3.65 m)から厚さ 38 mm×幅 118 mm×長さ 3650 mm のラミナを採材した。原木 1 本に対して背板から 2~8 枚のラミナを採材した後，タイコ材から 4~8 枚のラミナを採材した。採材例を図 1 に示す。ラミナ総数はカラマツで 370 枚，トドマツで 176 枚，スギで 300 枚であった。採材したラミナに人工乾燥を施し，その後縦振動法により動的ヤング係数を測定した。



図 1 採材例 (カラマツ)

2.2. 集成材強度等級のシミュレーション

集成材の日本農林規格 (以下，集成材 JAS¹⁾)では樹種群ごとに製造可能な集成材の強度等級が定められている。各樹種で規定された集成材強度等級について以下の条件を設定して対称異等級構成集成材の各強度等級の製造合計を最大化させる数値計算を既報²⁾の方法を参考にして行った。

1. 得られたラミナの動的ヤング係数に 0.90 を乗じた値³⁾を集成材 JAS¹⁾のラミナ強度等級基準に当てはめて区分する。
2. 製造する集成材の層数は 8 プライとする。このとき集成材 JAS¹⁾の規定により，最外層，外層，中間層，内層の構成割合は 2 : 0 : 2 : 4 となる。
3. 最外層ラミナの等級に対して，外層には 1 等級下位，中間層には 2 等級下位，内層には 4 等級下位のラミナを用いる。これにより，各強度等級の最外層，外層，中間層，内層に用いるラミナ強度等級は表 1 のとおりとなる。
4. 集成材の各強度等級の製造合計を最大化させる。

以上の条件は線形計画問題に帰着する。最大化の目的関数およびその制約条件を以下に示す。

目的関数： $\sum x_i$

(1)

$$\text{制約条件 : } \frac{1}{8} \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 \\ 4 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix} x_i \leq y_j \text{ (カラマツおよびトドマツの場合, } i=1\sim 4, j=1\sim 8) \text{ (2)}$$

$$\frac{1}{8} \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 & 0 \\ 4 & 0 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 4 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{pmatrix} x_i \leq y_j \text{ (スギの場合, } i=1\sim 5, j=1\sim 9) \text{ (3)}$$

ここで、 x_i : 集成材の各強度等級の製造割合、 y_j : ラミナの強度等級別出現比。集成材強度等級、樹種、 x_i 、ラミナ強度等級の対応は表 1、ラミナ強度等級、樹種、 y_j の対応は表 2 のとおりとなる。

表 1 樹種別の集成材強度等級と各層のラミナ強度等級の対応

集成材強度等級	カラマツ	トドマツ	スギ	ラミナ強度等級			
				最外層	外層	中間層	内層
E135-F375	x_1	-	-	L160	L140	L125	L100
E120-F330	x_2	-	-	L140	L125	L110	L90
E105-F300	x_3	x_1	-	L125	L110	L100	L80
E95-F270	x_4	x_2	x_1	L110	L100	L90	L70
E85-F255	-	x_3	x_2	L100	L90	L80	L60
E75-F240	-	x_4	x_3	L90	L80	L70	L50
E65-F225	-	-	x_4	L80	L70	L60	L40
E55-F200	-	-	x_5	L70	L60	L50	L30

表 2 樹種別のラミナ強度等級の対応

ラミナ強度等級	カラマツ	トドマツ	スギ
L160	y_1	-	-
L140	y_2	-	-
L125	y_3	y_1	-
L110	y_4	y_2	y_1
L100	y_5	y_3	y_2
L90	y_6	y_4	y_3
L80	y_7	y_5	y_4
L70	y_8	y_6	y_5
L60	-	y_7	y_6
L50	-	y_8	y_7
L40	-	-	y_8
L30	-	-	y_9

3. 結果および考察

条件 1 において区分したラミナ強度等級の出現比を図 2 および表 3 に示す。最頻強度等級はカラマツで L110, トドマツで L90, スギで L60 であった。

表 4 に対称異等級構成集成材の製造シミュレーションの結果を示す。製造割合が最大となった強度等級はカラマツで E105-F300, トドマツで E95-F270, スギで E65-F225 となった。E135-F375 の最外層に用いる L160 の出現が少なかったため、その内層に用いる L100 が残った。また、E120-F330, E105-F300, E95-F270 の内層に用いる L90~L70 のラミナが不足してそれらの強度等級の最外層に用いる L140~L110 のラミナも残った。したがって、カラマツでは L140~L100 のラミナが多く残った。トドマツでは E85-F255 および E75-F240 の内層に用いる L60 および L50 のラミナが不足してそれらの強度等級の最外層に用いる L100 および L90 のラミナが残った。また、E105-F300 の最外層に用いる L125 の出現が少なかったため、その内層に用いる L80 のラミナが多く残った。したがって、トドマツでは L100~L80 のラミナが残った。スギでは最外層に用いる L110 および L100 の出現が少なかったため E95-F270 および E85-F255 の製造は不可能であった。そのためそれらの強度等級の内層に用いる L70 および L60 のラミナが残った。さらに E75-F240 の最外層に用いる L90 の出現が少なかったため、その強度等級の集成材の内層に用いる L50 のラミナも残った。したがって、スギでは L70~L50 のラミナが多く残った。

残ったラミナを樹種群ごとに規定されている製造可能強度等級の同一等級構成集成材の製造に使用するとすれば、カラマツで 96.2%, トドマツで 98.6%, スギで 79.0%のラミナを集成材製造に使用することができる。スギでは集成材製造に用いることができなかったラミナが 21.0%生じており、これはすべて L50 であった。この等級のラミナの想定される用途の一つに CLT がある。L50 はスギ CLT では製造に用いることが可能であり、これにより使用効率を向上させることができると考えられる。

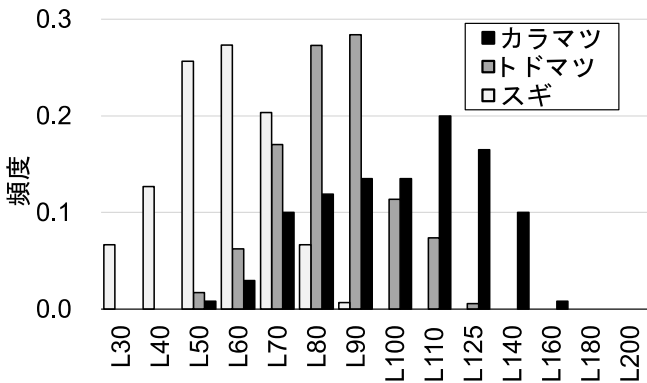


図 2 ラミナ強度等級のヒストグラム

表 3 ラミナ強度等級の出現比 (単位: %)

ラミナ強度等級	カラマツ	トドマツ	スギ
L200	0.0	0.0	0.0
L180	0.0	0.0	0.0
L160	0.8	0.0	0.0
L140	10.0	0.0	0.0
L125	16.5	0.6	0.0
L110	20.0	7.4	0.0
L100	13.5	11.4	0.0
L90	13.5	28.4	0.7
L80	11.9	27.3	6.7
L70	10.0	17.0	20.3
L60	3.0	6.3	27.3
L50	0.8	1.7	25.7
L40	0.0	0.0	12.7
L30	0.0	0.0	6.7

表 4 強度等級別集成材製造割合の計算結果

用途	強度等級	樹種		
		カラマツ	トドマツ	スギ
対称異等級構成集成材	E135-F375	3.2	-	-
	E120-F330	17.0	-	-
	E105-F300	23.8	2.3	-
	E95-F270	20.0	29.5	0.0
	E85-F255	-	12.5	0.0
	E75-F240	-	3.4	2.7
	E65-F225	-	-	25.3
	E55-F200	-	-	13.3
	小計	64.1	47.7	41.3
残りラミナ	L200	0.0	0.0	0.0
	L180	0.0	0.0	0.0
	L160	0.0	0.0	0.0
	L140	5.7	0.0	0.0
	L125	9.7	0.0	0.0
	L110	10.7	0.0	0.0
	L100	5.9	7.7	0.0
	L90	0.0	20.2	0.0
	L80	0.0	23.0	0.3
	L70	0.0	1.4	16.3
	L60	3.0	0.0	21.0
	L50	0.8	0.0	21.0
	L40	0.0	0.0	0.0
	L30	0.0	0.0	0.0
	小計	35.9	52.3	58.7

※単位：(%)

残りラミナの網かけ部は同一等級構成集成材の製造に使用可能な強度等級

謝辞

本研究の実施に際してご協力いただいた北海道茅部郡森町に謝意を表す。

参考文献

- 1) 農林水産省：集成材の日本農林規格 (2019)
- 2) 高梨ほか：カラマツ成熟材部から採材したラミナの特性と製品の強度等級別製造シミュレーション. 木材学会誌 68, 88-96 (2022)
- 3) 日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度マニュアル, p. 60 (2013)

北海道産トドマツ・カラマツを用いた 平パレットの強度性能評価試験

○富高亮介, 戸田正彦, 村上了(道総研林産試)

【緒言】

パレットは荷物を単位数量にまとめて積載する物流資材であり、パレット単位に荷物をまとめることで荷役、輸送および保管等の効率化を図ることができる。とくに、木製パレットは、再生産可能な材料である木材を使用する点や、修理が容易で補修しながら循環利用する点など、環境配慮が求められる社会の中で優位性を有している。材料調達や価格変動への対応力が求められる昨今の情勢において、原材料の選択肢を幅広く有することはメーカーにとって重要であると考えられる。本報では、パレットの上下面を構成するデッキボードについて北海道産カラマツ、北海道産トドマツおよびこれら2樹種の混在仕様である平パレットの強度性能評価試験の結果を報告する。

【試験体】

試験体は木製の平パレット（形式：両面使用形二方差し、最大積載質量：1 t）であり、寸法規格が11型（幅1,100mm）および14型（幅1,400mm）の2種類、デッキボード材の構成樹種がトドマツ、カラマツおよびトドマツ・カラマツ混在仕様の3種類である。デッキボードと桁の接合は、太め鉄丸釘 CN65（長さ63.5mm、胴部径3.3mm）を用い、釘打ち機により打ち込んだ。試験体の仕様を図1および表1に示す。試験体と同じロットのデッキボード材（幅120mm、厚さ144mm）について、平均密度 ρ および平均含水率MCを測定した（トドマツ： $\rho=351\text{ kg/m}^3$ 、 $MC=7.8\%$ 、カラマツ： $\rho=508\text{ kg/m}^3$ 、 $MC=15.7\%$ 、いずれも $n=60$ ）。

表1 試験体の仕様（単位 mm）

試験体名	構成部材樹種			寸法規格
	上下面デッキボード エッジボード※	中間ボード※	桁	
T11	トドマツ(120)	トドマツ(120)	カラマツ	11型 幅1,100 ×奥行1,100 ×厚さ144
K11	カラマツ(150)	カラマツ(120)	カラマツ	
M11	カラマツ(150)	トドマツ(120)	カラマツ	
T14	トドマツ(120)	トドマツ(120)	カラマツ	14型 幅1,400 ×奥行1,100 ×厚さ144
K14	カラマツ(150)	カラマツ(120)	カラマツ	
M14	カラマツ(150)	トドマツ(120)	カラマツ	

※ 括弧内は板幅

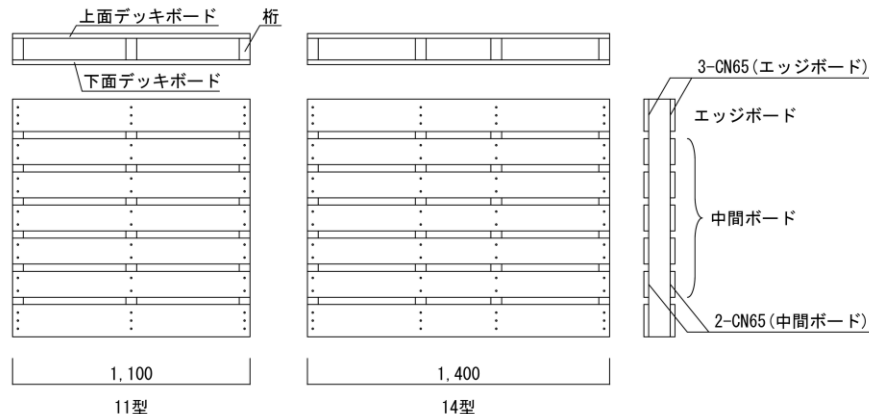


図1 木製平パレットの形状・構成部材名称（単位 mm）

【試験方法】

平パレットの強度性能評価は、日本産業規格 JIS Z 0602-1988「平パレット試験方法」に基づき、曲げ試験、下面デッキボード試験、脚部圧縮試験、落下試験を実施した。

1. 曲げ試験

実大強度試験機（東京衡機製 WU-1000）を使用し、デッキボードを毎分 2mm の速度で単調に加力し、最大積載量（1 トン）の 1.25 倍に相当する 12.5kN を超えたのち除荷した。中央部のたわみ量をひずみゲージ式変位変換機を用いて 2 か所で計測した。得られたデータをもとに、たわみ率および残留たわみ率を以下の式から求めた。試験方法を図 2、試験実施状況を図 3、 $\delta_1 \sim \delta_3$ の例を図 4 に示す。

$$\text{たわみ率(\%)} = \frac{\delta_2 - \delta_1}{l} \times 100$$

$$\text{残留たわみ率(\%)} = \frac{\delta_3 - \delta_1}{l} \times 100$$

l : 曲げ試験長 (900mm (11 型) または 1,200mm (14 型))

δ_1 : 最大積載質量に相当する荷重の 0.1 倍をかけたときのたわみ量

δ_2 : 最大積載質量に相当する荷重の 1.25 倍をかけたときのたわみ量

δ_3 : 最大積載質量に相当する荷重の 0.1 倍まで除荷したときのたわみ量

また、曲げ試験とは別の試験体について、破壊が生じるまで加力を続ける曲げ破壊試験を実施し最大荷重を測定した。

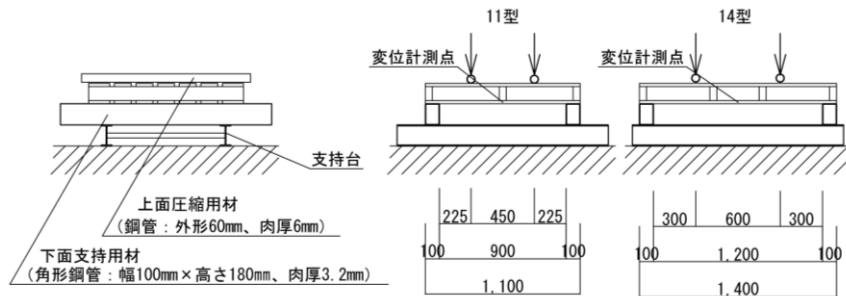


図 2 曲げ試験方法 (単位 mm)



図 3 曲げ試験実施状況

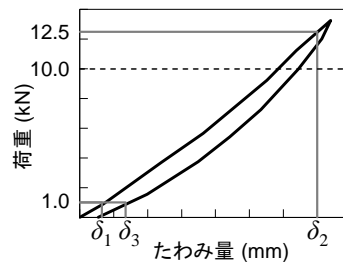


図 4 荷重-たわみ量曲線の例 (曲げ試験)

2. 下面デッキボード試験

実大強度試験機（東京衡機製 WU-1000）を使用した。下面デッキボードを毎分 0.5mm の速度で単調に加力し、最大積載量（1 トン）の 1.15 倍に相当する 11.5kN を超えたのち除荷した。桁材間の中央部（荷重点直下）のたわみ量をひずみゲージ式変位変換器を使用して計 4 か所で計測した。得られたデータをもとに、たわみ率を以下の式から求めた。試験方法を図 5、試験実施状況を図 6、 δ_1 、 δ_2 の例を図 7 に示す。

$$\text{たわみ率(\%)} = \frac{\delta_2 - \delta_1}{l} \times 100$$

l : 曲げ試験長 (475mm (11 型) または 450mm (14 型))

δ_1 : 最大積載質量に相当する荷重の 0.1 倍をかけたときのたわみ量 (4 か所の平均)

δ_2 : 最大積載質量に相当する荷重の 1.15 倍をかけたときのたわみ量 (4 か所の平均)

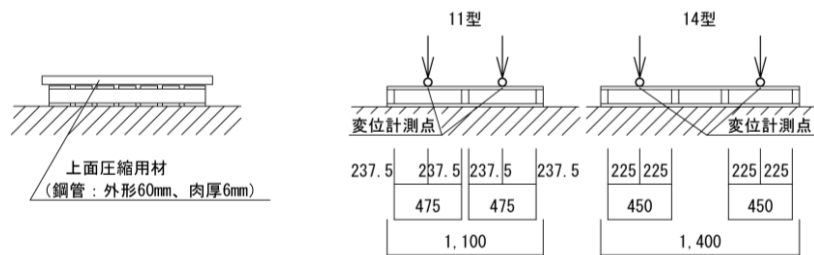


図5 下面デッキボード試験方法 (単位 mm)



図6 下面デッキボード試験実施状況

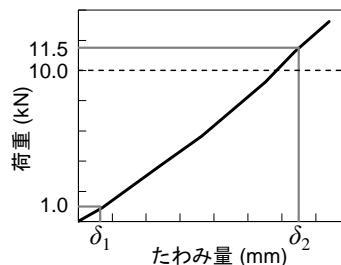


図7 荷重-たわみ量曲線の例
(下面デッキボード試験)

3. 脚部圧縮試験

実大強度試験機 (東京衡機製造所製 WU-1000) を使用した。平パレット隅角部を毎分 0.5mm の速度で単調に加力し、最大積載質量 (1 トン) の 1.1 倍に相当する 11.0kN を超えたのち除荷した。圧縮変位量をひずみゲージ式変位変換器を使用して上面圧縮用材の対角 2 か所で計測した。同様の測定を平パレットの対角 2 か所 (図 2 の A,B) において行った。測定値の平均をもとに、圧縮ひずみ量を以下の式から求めた。試験方法を図 8、試験実施状況を図 9、 δ_1 、 δ_2 の例を図 10 に示す。

$$\text{圧縮ひずみ量(mm)} = \delta_2 - \delta_1$$

δ_1 : 最大積載質量に相当する荷重の 0.25 倍をかけたときの圧縮変位量 (2 か所の平均) (mm)

δ_2 : 最大積載質量に相当する荷重の 1.1 倍をかけたときの圧縮変位量 (2 か所の平均) (mm)

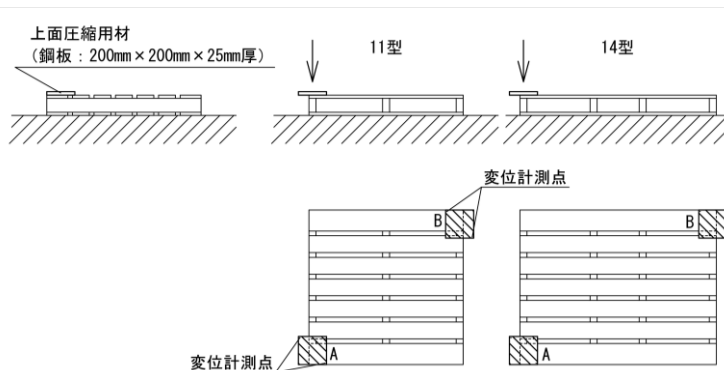


図8 脚部圧縮試験方法



図9 脚部圧縮試験実施状況

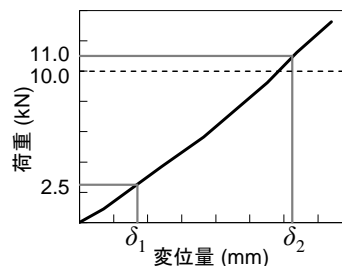


図10 荷重-変位量曲線の例
(脚部圧縮試験)

4. 落下試験

平パレットをつり上げ、コンクリート製の床に 500mm の高さから同一角を 3 回自由落下させた。平パレット積載面の対角線両端から 40mm の位置に測定点 (A, B) を設け、AB 間を測定した。落下前後の AB 間長さをもとに、対角長さの変化率を以下の式から求めた。試験方法を図 11 に、試験実施状況を図 12 に示す。

$$\text{対角長変化率(\%)} = \frac{Y - Y'}{Y} \times 100$$

Y : 落下前の測定点 AB 間長さ (mm)

Y' : 落下後の測定点 AB 間長さ (mm)

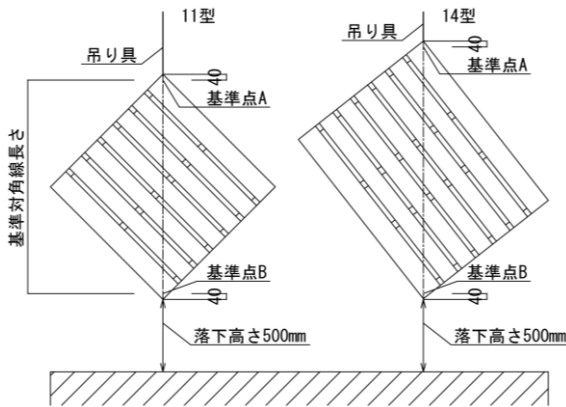


図 11 落下試験方法 (単位 mm)



図 12 落下試験実施状況

【結果】

試験結果を表 2 に示す。試験の結果、デッキボード材を構成する樹種について、たわみ率、残留たわみ率、圧縮ひずみ量および落下前後の対角長変化率の大小関係はカラマツ<トドマツ・カラマツ混在<トドマツとなり、最大荷重の大小関係はトドマツ<トドマツ・カラマツ混在<カラマツとなった。トドマツ仕様およびカラマツ仕様の実験値をもとにデッキボードの樹種構成比で重み付けして得た混在仕様計算値は、混在仕様実験値とおおよそ近似しており、デッキボードを構成する樹種の比率でパレットの性能を概ね推定することが可能と考えられる。試験に供した北海道産トドマツ・カラマツを用いた平パレットの強度性能は、いずれの仕様においても日本産業規格 JIS Z 0604 「木製平パレット」に定められている各種基準値を満たすことが確認された。

【謝辞】

本研究を行うにあたり、株式会社サトウより試験体を提供頂いた。ここに記し、謝意を表します。

表 2 試験結果

試験体名	デッキボード仕様	曲げ試験		曲げ破壊試験	下面デッキボード試験	脚部圧縮試験	落下試験
		たわみ率平均(%)	残留たわみ率平均(%)	最大荷重平均(kN)	たわみ率平均(%)	圧縮ひずみ量平均(mm)	対角長変化率平均(%)
T11	トドマツ	1.04	0.11	37.7	0.33	1.59	2.23
K11	カラマツ	0.86	0.11	51.0	0.26	—	—
M11	混在	0.93	0.10	43.3	0.29	1.33	1.83
	計算値※1	0.99	0.11	41.5	0.31	—	—
T14	トドマツ	1.33	0.18	38.8	0.38	1.64	2.35
K14	カラマツ	1.09	0.15	47.8	0.28	—	—
M14	混在	1.22	0.15	41.5	0.34	1.29	1.71
	計算値※1	1.26	0.17	41.4	0.35	—	—
参考: JIS基準値※2		≤ 2.5%	≤ 0.5%	—	≤ 2.5%	≤ 4mm	≤ 3%

※1 混在仕様計算値=(トドマツ仕様実験値×5+カラマツ仕様実験値×2)/7

※2 JIS Z 0604 「木製平パレット」に定められている基準値

高温セット条件がカラマツ心持ち正角材の 表面割れおよび強度に及ぼす影響

石原 亘，土橋英亮，高梨隆也，大橋義徳（道総研林産試），
吉田孝久（長野県林総セ），松元 浩（石川農林総研），
長尾博文（森林総研），藤本登留（九大院農）

【緒言】

カラマツの心持ち材は割れが生じやすく，利用上の課題となるが，高温セット処理（以下，高温セット）によってこれを大幅に抑制できることが知られている¹⁻³⁾。しかし，カラマツ材は熱劣化の影響を受けやすいことが指摘されており⁴⁾，120～130℃の高温セットを行った場合，曲げ強度および引張強度は天然乾燥材に比べて低下することが報告されている⁵⁻⁷⁾。

こうした背景から，林産試験場では，表面割れを抑制しつつ，強度の低下に配慮したカラマツ心持ち材の乾燥スケジュールの開発を目指し，研究を進めてきた^{8,9)}。その結果，高温セットを行った場合でも，セット時の温度を100℃，セット後の中温乾燥時の温度を70℃とすることで，曲げ強度の低下を抑制できることを示した。ただし，表面割れの抑制効果については，110℃以上の高温セットを行った場合に顕著に高かったため，高温セットの条件（処理時の温度，時間）については，検討の余地がある。

そこで本報では，カラマツ心持ち材について，表面割れと強度低下の双方に配慮した乾燥条件を検討するため，7種のスケジュールにより人工乾燥を行い，表面割れおよび曲げ強度の評価を行った。なお，乾燥スケジュールはすべて高温セットを含むものとし，セット時の温度を100～130℃，処理時間を5～18時間の範囲で設定した。

【試験体および試験方法】

〔原木および製材・乾燥〕

北海道産のカラマツ原木（径級22 cm×長さ3 m）を140本用意し，縦振動法により動的ヤング係数（ E_R ）を測定し， E_R に偏りが生じないように20本ずつ7組に分けた。原木より，145 mm×145 mm，長さ3,000 mmの心持ち正角材を製材し，各組につき異なる条件で乾燥を行った。

乾燥条件は7条件を設定した。各条件の概要を表1に示す。仕上がり含水率は各条件とも12%を目標とした。著者ら⁸⁾は，乾燥温度が70℃であればカラマツの曲げ強度の低下が抑制できることを報告している。このため，本報では1条件（A）を除いて，中温乾燥時の乾燥温度を70℃に設定した。なお，Aは割れの発生を抑えたカラマツ正角材“コアドライ”の高温セット条件³⁾を含む乾燥スケジュールであり，Eは既報⁹⁾において曲げ強度への影響が小さかった条件（100℃18時間の高温セット，70℃の中温乾燥）に準拠したスケジュールである。FおよびGは，Aに比べてセット時の温度を高く（120℃および130℃）設定する一方で，処理時間を短くした条件である。

各乾燥条件における正角材（20本）のうち，2本より長さ560 mmの乾燥サンプル材（以下，サンプル材）を作製し，人工乾燥の終了時期はサンプル材の含水率により判断した。サンプル材は，各条件において，製

表1 乾燥条件の概要

乾燥条件	昇温蒸煮(乾球0)		高温セット			中温乾燥		
	温度 (°C)	時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	時間 (h)
A	95	10	115	85	18	90	60	374
B	85	4	110	90	9	70	40	682
C	85	4	110	80	9	70	40	666
D	85	4	105	80	12	70	40	665
E	85	4	100	80	18	70	40	659
F	95	3	130	95	5	70	40	662
G	95	3	120	95	10	70	40	647

材直後の密度が平均に近い正角材（昇順で 11 番目）と重めの正角材（同 17 番目）から作製した。正角材は乾燥後に修正挽きし、120 mm×120 mm にプレーナー加工を行った。

〔試験体の作製〕

各正角材より、曲げ試験に供する全長 2400 mm の試験体（曲げ試験体）1 体と、実大いす型ブロックせん断試験（以下、せん断試験）に供するせん断試験体 2 体を作製した。ただし、サンプル材を作製した正角材からは曲げ試験体のみ作製した。試験体数は、各条件につき曲げ試験体が 20 体、せん断試験体が 36 体とした。せん断試験体のせん断面は材中心線より 30 mm ずらした位置に設定し、せん断面積は 120×120 mm とした。せん断試験体の形状寸法を図 1 に示す。

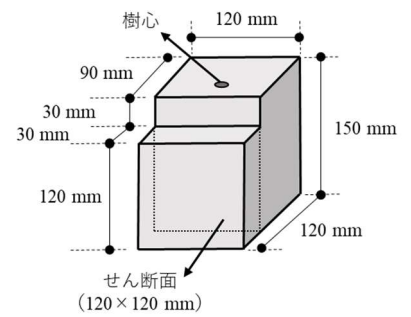


図 1 せん断試験体

含水率は、曲げ試験体およびせん断試験体の作製時に測定用切片を作製し、全乾法により求めた。サンプル材を作製した正角材においては、曲げ試験後に試験体の非破壊部より切片を作製し、含水率を求めた。試験体の作製方法の概要を図 2 に示す。

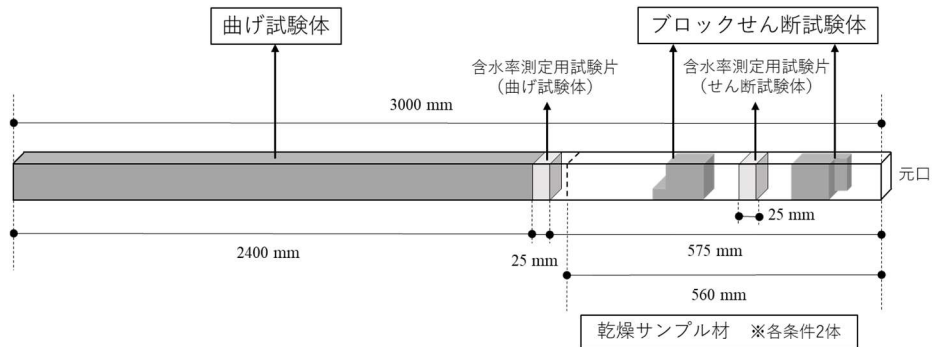


図 2 試験体作製の概要

〔表面割れの測定〕

表面割れは、プレーナー加工後（長さ 3m）の正角材について行った。なお、サンプル材に使用した 2 本は計測の対象外とした（ $n=18$ ）。表面割れは、ひし形（あるいは三角形）とみなして、割れの最大幅と長さから割れ面積（最大幅×長さ÷2）を求めた。

〔曲げ試験〕

曲げ試験は、3 等分点 4 点荷重方式で行い、試験体全長を 2400mm（材せい の 20 倍）、試験スパンを 2160 mm（同 18 倍）、荷重点間の長さは 720 mm（同 6 倍）として実施した。加力は、油圧式強度試験機（(株)東京衡機製、容量 200 kN）を用いて行い、载荷速度 6 mm/min の単調加力とした。変位センサ（(株)共和電業、DTH-A-100）を用い、試験体両側面で支点間中央のたわみを測定し、両側面におけるたわみの平均値を全たわみとした。破壊時の最大荷重と全たわみより、曲げ強度（以下、 σ_b ）および見かけの曲げヤング率（以下、 E_m ）を求めた。なお、 σ_b および E_m の含水率補正は行わなかった。

〔せん断試験〕

せん断試験は、実大ブロックせん断治具を用い実施した。加力は、油圧式強度試験機（(株)東京衡機製、容量 1000 kN）を用いて行い、载荷速度 1 mm/min の単調加力とした。破壊時の最大荷重より、ブロックせん断強度（以下、 τ ）を求めた。なお、曲げ試験と同様に、 τ の含水率補正は行わなかった。

〔結果と考察〕

〔表面割れの測定結果〕

表面割れの測定結果を図 3 に示す。図中のアルファベットは、全条件を対比較（Tukey-Kramer test, $p < 0.05$ ）した結果を示す。強度低下の影響が小さいと考えられる条件⁹⁾である E、および高温セット時の温度が 110°C 以下である条件 B, C, D は、A と比較して表面割れ面積が大きかった。セット時の温度を A より高くし、処理時間を短く設定した条件（F および G）

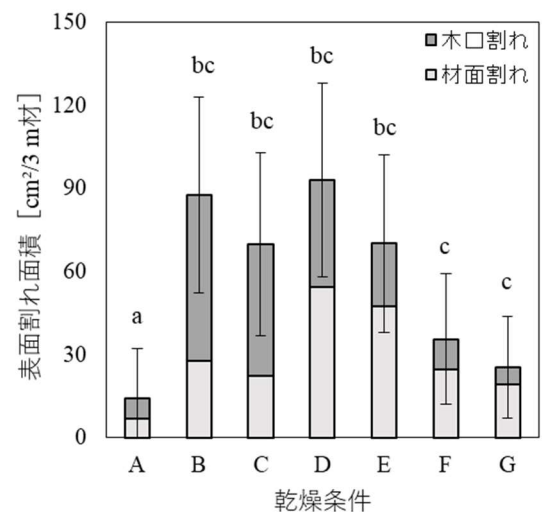


図 3 表面割れの測定結果



写真1 曲げ破壊の代表例

は、A に近い水準まで割れを抑制できることが示された。

[曲げ試験の結果]

曲げ試験の結果，全ての試験体が曲げ破壊を示した。曲げ試験における破壊形態の代表例を写真1に示す。また，各条件における破壊起点の内訳を図4に示す。節やその周辺を破壊起点とする試験体が過半（65%~85%）を占めた。ただし，条件Aについては，脆性的な破壊（チョーク折れ）を示す試験体も比較的多くみられた（20%）。曲げ試験の結果を表2および図5，図6に示す。図中のアスタリスクは，高温セットによる曲げ強度の低下が小さいと考えられる条件E⁸⁾をコントロールとし，各群を比較（Dunnett-test）した結果を示す。Eに比べ，Aの σ_b は低い値を示

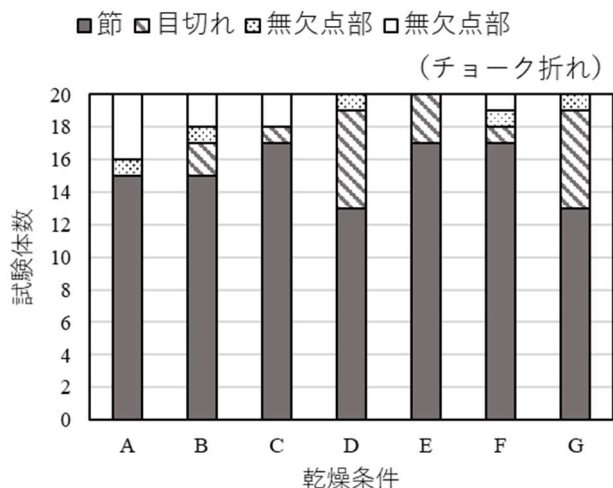


図4 各条件における破壊起点の内訳

表 2 強度試験（曲げおよびせん断試験）の結果

試験	特性値		乾燥条件						
			A	B	C	D	E	F	G
曲げ試験	E_m	平均値	9.8	10.4	10.4	10.5	10.6	10.2	10.3
		[kN/mm ²] 標準偏差	1.1	1.4	1.4	1.2	1.4	1.3	1.1
	σ_b	平均値	29.7	40.0	34.9	37.9	38.1	35.6	37.1
		[N/mm ²] 標準偏差	6.8	9.1	9.9	10.1	9.7	7.2	8.6
	含水率	平均値	10.3	9.8	10.0	9.3	9.6	11.3	11.4
		[%] 標準偏差	2.0	1.3	1.4	1.4	1.7	2.8	2.4
せん断試験	τ	平均値	7.9	8.9	8.5	8.7	8.8	8.4	8.4
		[kN/mm ²] 標準偏差	1.0	1.0	1.4	0.8	1.1	1.4	1.1
	含水率	平均値	7.4	8.3	8.3	7.6	7.9	8.3	8.4
		[%] 標準偏差	0.7	0.5	0.7	0.5	0.6	0.9	0.8

した。割れの抑制において比較的良好な結果を示したFおよびGについては、Eと同等の σ_b を示した。なお、 E_m については、各条件間に差はみられなかった。

【せん断試験の結果】

せん断試験の結果を表 2 および図 7 に示す。図中のアスタリスクは、曲げ試験と同様に、E をコントロールとし、各群を比較 (Dunnet-test) した結果を示す。曲げ試験の結果と同様に、E と比較して A の τ は低い値を示し、F および G については、E と同等の τ を示した。なお、試験時の含水率が曲げ試験のそれに比べて低いのは (表 2)、乾燥終了からせん断試験体の作製までに時間を要し、その間に冬季を経たことが要因と考えられる。

【まとめ】

本報の結果より、カラマツ心持ち材の乾燥において、現行の高温セット条件では、表面割れが大幅に抑制できる一方で、曲げおよびせん断強度の低下がみられること、高温セットの温度を下げると、曲げ強度の低下は抑えられるものの、表面割れの発生が抑えられないことが示された。ただし、高温セット時の温度を高く、処理時間を短く設定することで、表面割れと強度低下の双方を抑制できる可能性があることが示唆された。

【参考文献】

- 1) 吉田孝久ほか：長野県林業総合センター研究報告 7, 97-106 (1993) .
- 2) 中嶋厚：林産試だより 1999 年 12 月号, 10-14 (1999) .
- 3) 清野新一：林産試だより 2015 年 6 月号, 4 (2015) .
- 4) 小椋創平ほか：第 72 回日本木材学会大会研究発表要旨集, D15-P-02 (2022) .
- 5) 土橋英亮ほか：林産試験場報 19(3), 22-26 (2005) .
- 6) 柴田直明ほか：長野県林業総合センター研究報告 29, 75-94 (2015) .
- 7) 山内仁人ほか：長野県林業総合センター研究報告 28, 49-56 (2014) .
- 8) 石原亘ほか：木材工業 77 (9), 345-349 (2022) .
- 9) 石原亘ほか：第 72 回日本木材学会大会研究発表要旨集, E15-P-03 (2022) .

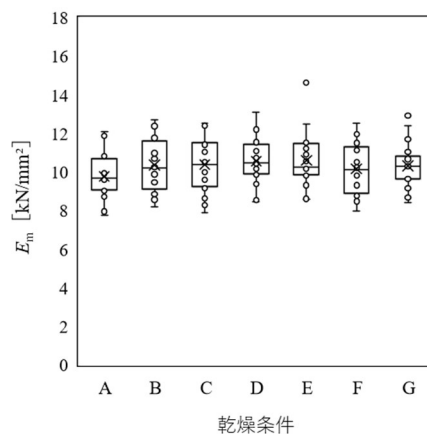


図 5 各条件における E_m の比較

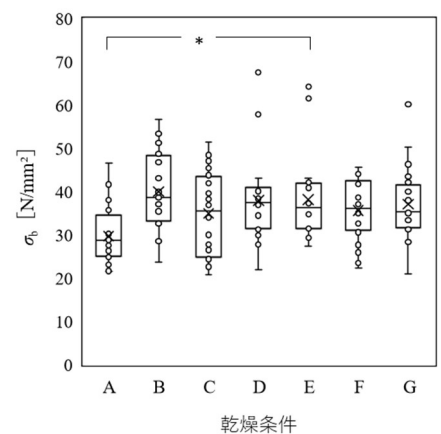


図 6 各条件における σ_b の比較

* : $p < 0.05$

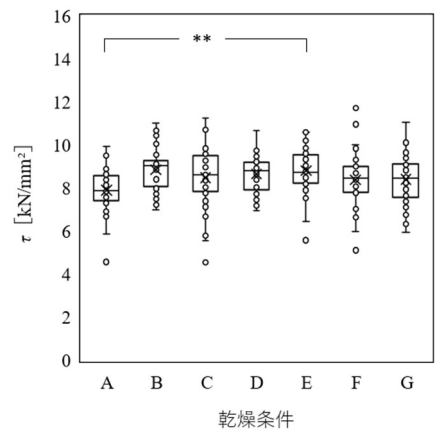


図 7 各条件における τ の比較

** : $p < 0.01$

北海道における原木輸送の大型車両化に向けた現状と課題

○酒井明香（道総研林産試）、石川佳生（同）、古俣寛隆（同）、前川洋平（同）

【緒言】

全国的に人工林資源の成熟が進んでおり、北海道においても主伐材積や木材流通量が増加している¹⁾。木材流通の最も川上部分を担うのが、原木輸送車両である（写真1）。これは荷台に落下防止用の支柱を立てて原木を積載する特別仕様の車両で、近年では複数の荷台を連結させるトレーラ類のような大型車両もみられる。車両の大型化は原木流通の効率化につながる一方、自動車輸送統計調査など既存の統計からは、保有台数の推移や拠点分布等を読み取るのは困難である。そこで本稿では、北海道における原木輸送体制の実態把握を目的として、原木輸送事業者を対象とする郵送アンケート調査と、セミトレーラ等を用いた原木積込試験を実施し、北海道における原木輸送の現状と課題について明らかにした。

【これまでの知見】

椎野²⁾や吉田・酒井³⁾は、原木輸送を含めた木材サプライチェーンについて輸送体制の抜本的な改革や物流マネジメントの必要性を指摘している。遠藤ら⁴⁾は、山間部の細い林道から舗装道に出た時点で大型車への積替えを行うなどのシステム改善により、原木消費量が年間20～30万m³の大型工場への原木物流が円滑化することを指摘している。林野庁木材産業課⁵⁾は、全国規模で原木輸送事業者の運送形態を調査し、一事業者当たりの年間原木輸送量が約4万m³であること、原木輸送事業者の44%で運材車の不足感が強く、61%で運転手の不足感が強いことを示した。一方、同調査は地域別データが未公表となっていることに加え、車両サイズも不明であることから、地域性を加味した新たな調査が必要と考えた。

【調査方法】

- (1)2020年7月から9月に郵送アンケート調査を実施した⁶⁾。北海道トラック協会に加盟している事業者約2,800社のうち、2013～2018年に実際に原木輸送の実績のあった事業者49社を対象とし、42社より返答があった（回答率85%）。調査項目は、①2013年度および2018年度における原木輸送専門車両の種類と台数、年間原木輸送量、②車両の拠点分布、③車両別の一台当たり標準積載量、稼働率等である。車両の種類は、道内で最も一般的な最大積載量9,800～11,200kg級、車両長さ7～12m未満の車両を“10トン運材車”とした。一方、連結部を有する車両を“トレーラ類”とし、ヘッドと荷台が連結するセミトレーラ（車両長さ16.5m未満）、ヘッド付き荷台と後続荷台が連結するフルトレーラ（同18.9m未満）に分類した。
- (2)2021年8月および11月に、道南地方の素材生産事業者A社および原木輸送事業者B社の協力を得て、トドマツ原木の積込試験を実施した。供試車は9トン運材車（いすゞGIGA：最大積載量9,000kg）およびセミトレーラとした（日野プロフィア：最大積載量28,000kg）（写真1）。いずれも原木積込用のクレーンを搭載しない仕様であり、原木積込にはバケットサイズ0.5m³級の林業用グラップルローダを用いた。原木は、函館市内のトドマツ間伐材で、末口径12cmから32cmの製材向け一般材（長さ365cm+延び10cm）を用いた。



写真1 トドマツ積込試験に供試した原木輸送専門車両（左：運材車、右：セミトレーラ）

【結果】

(1) 道内の原木輸送専門車両の種類と台数および一事業体あたり年間原木輸送量について

2013 年度末と 2018 年度末に輸送事業体が保有する原木輸送専門車両の種類と台数を示す (図 1)。車両数は 291 台から 324 台と 5 年間で 11%増加した。車両の種類別に見ると 10 トン運材車が 9%増、トレーラ類が 16%増であった。トレーラ類は、荷台部分を替えて原木以外の荷物も運べるセミトレーラがフルトレーラよりも多く導入されていることが示された。回答のあった 42 社中、運材車とトレーラ類の両方を有する事業体は 23 社 (56%) であった。次に、事業体の年間原木輸送量の分布を示す (図 2)。いずれの年度も年間 2 万 m³ 以上 4 万 m³ 未満の事業体数が最も多かった。一社当たりの平均原木輸送量は 2013 年度に 5.4 万 m³, 2018 年度に 6.4 万 m³ であり、5 年間で 18%増加した。なお、いずれの年度においても、全国調査の平均値 4 万 m³ を上回ることを確認した。

(2) 大型車両の拠点分布について

次に原木輸送専用車両の拠点分布を示す (図 3)。10 トン運材車は全道に保有事業体が分散しており、回答のあった 42 社中 41 社が少なくとも 1 台は保有していた。一方、トレーラ類の保有事業体は 42 社中 25 社 (59%) の保有であった。旭川市・北見市・津別町に全道のトレーラ類の 54%が集中するなど、地域的な導入数には偏りが見られた。苫小牧港・十勝港・函館港周辺など港湾部には特に集中はみられなかった。

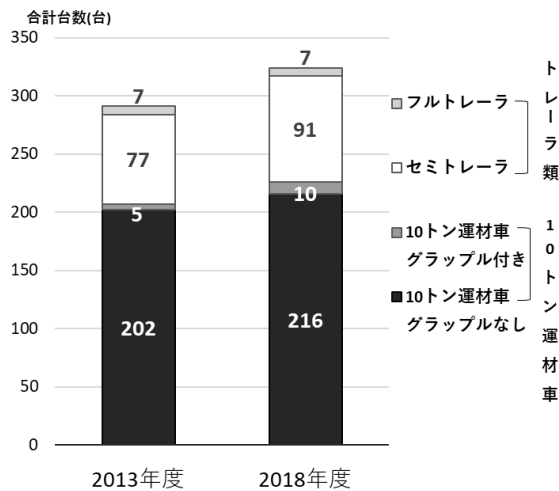


図 1 道内の原木輸送車両の種類と台数

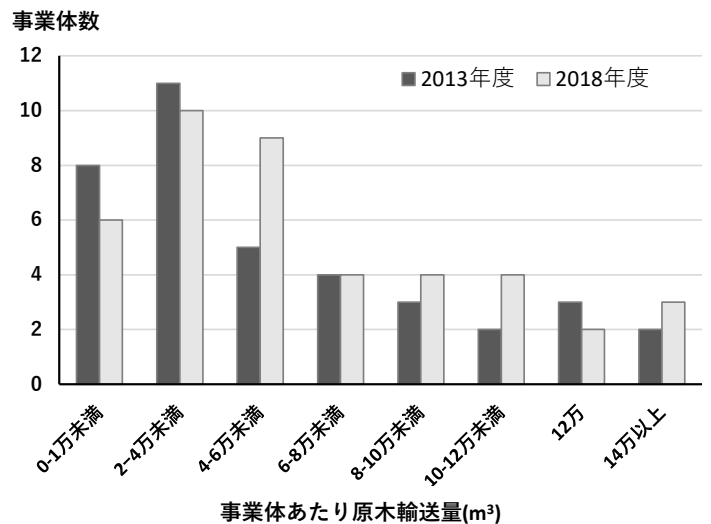


図 2 道内の原木輸送事業体の年間原木輸送量の分布

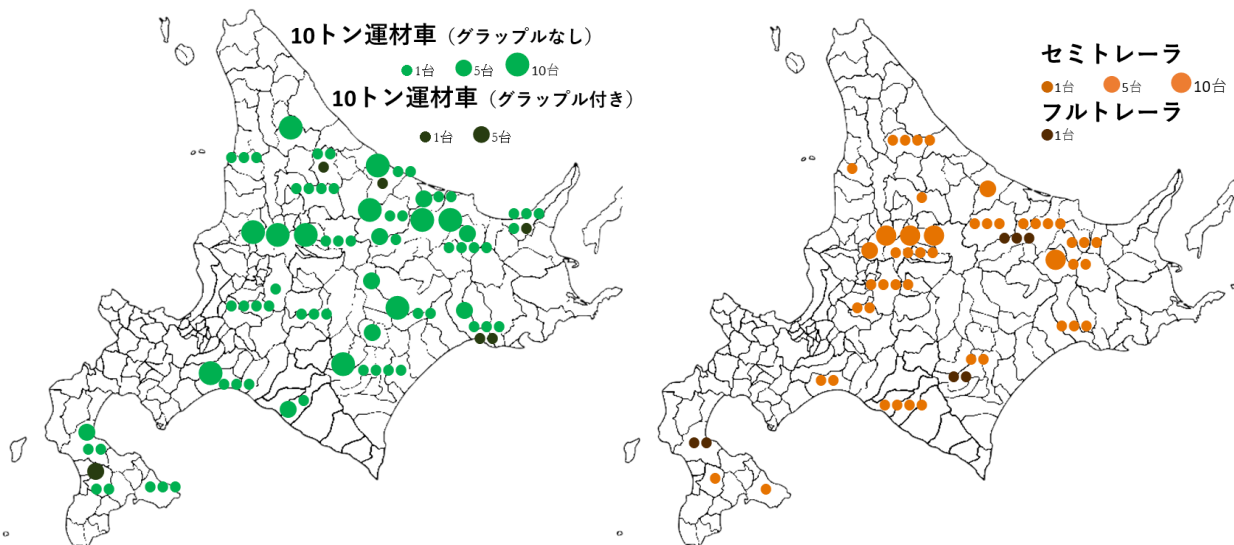


図 3 道内の原木輸送車両の分布 (左 : 10 トン運材車, 右 : トレーラ類)

(3) 大型車両への標準的な原木積載量および稼働率について（郵送アンケート）

トレーラ類の1台あたり標準積載量を10トン車と比較した。トレーラ類の積載量は15~38m³と分散が大きい、10トン運材車積載量平均(n=187)が17.6m³、中央値が17m³に対しトレーラ類(n=94)は29.8m³、中央値が30m³であり、マン・ホイットニーのU検定で1%水準の有意差が認められた(図4)。トレーラ類は10トン運材車の1.7倍から1.8倍の原木を積載し輸送していることが明らかになった。稼働率については、年間作業日数を240日と仮定した場合、10トン運材車の93.9%に対しトレーラ類は63.9%となった(表1)。

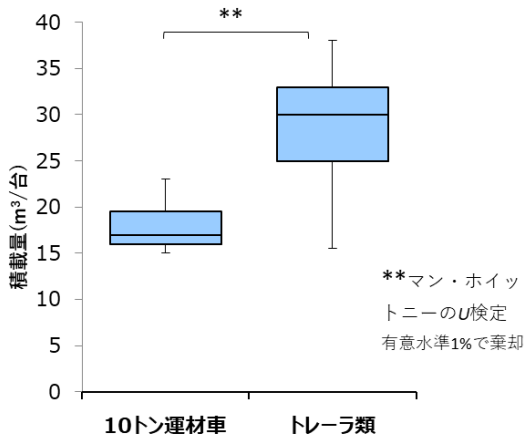


表1 10トン運材車とトレーラ類の稼働状況の比較

	10トン運材車 (n=34)	トレーラ類 (n=24)	備考
標準稼働時間 (時/日)	8.0	8.8	輸送時間に運転手の 休憩を含む
年間稼働日数 (日/年)	225.3	153.4	年間作業日数240日に 対する割合で計算
稼働率 (%)	93.9	63.9	

図4 車両1台あたり標準積載量の分布

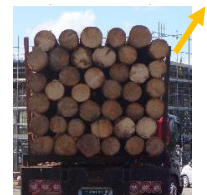
(4) 大型車両への標準的な原木積載量について（実証試験）

函館市内の山土場にて、9トン運材車にトドマツ原木を縦二連積みで満載したところ、末口14~30cmの原木165本、材積19.371m³(写真1左, 表2-①)が積載可能であった。トドマツの容積密度を450kg/m³(湿潤含水率率30%)とした時の積載重量は8,923kgであり、最大積載量9,000kgの範囲内に収まったが、伐採直後の水分率の高い状態で積み込むと過積載になる可能性が高いことが明らかになった。

次に製材工場ストックヤードにて、径級別に仕分けされたトドマツ原木をセミトレーラ(最大積載量28,000kg)に縦三連積みで満載したところ、中径材(末口18~24cm)209本、材積35.217m³が積載可能であった(写真1右, 表2-②)。同様に大径材(26~34cm)では118本、材積38.741m³が積載可能であった(表2-③)。トドマツの容積密度を450kg/m³(湿潤含水率率30%)とした時の積載重量は、中径材で15,848kg、大径材で17,433kgとなり、最大積載量28,000kgの範囲内に収まった。またトドマツの容積密度を伐採から間もない636kg/m³(湿潤含水率50%)とした時の重量は、中径材の場合で22,398kg、大径材の場合で24,639kgとなり、この場合も最大積載量の範囲内に収まった。

表2 運材車およびセミトレーラに積み込んだトドマツ原木の内訳と総材積

①運材車積み込み				②トレーラ積み込み(中径材)				③トレーラ積み込み(大径材)			
末口径級(cm)	本数	長さ(cm)	総材積(m ³)	末口径級(cm)	本数	長さ(cm)	総材積(m ³)	末口径級(cm)	本数	長さ(cm)	総材積(m ³)
12	1	375	0.054	18	12	375	1.458	26	3	375	0.761
13	3	375	0.190	20	82	375	12.3	28	46	375	13.524
14	41	375	3.014	22	98	375	17.787	30	46	375	15.525
16	47	375	4.512	24	17	375	3.672	32	21	375	8.064
18	30	375	3.645	合計	209		35.217	34	2	375	0.867
20	26	375	3.900					合計	118		38.741
22	15	375	2.723								
24	5	375	1.080								
26	1	375	0.254								
合計	169		19.371								



【考察】

北海道においては、2013年度から2018年度の5年間で原木輸送量は事業体1社あたり18%増加しており、原木輸送車両数も全道合計で11%増加したことが示された。特にセミトレーラの増加が顕著で、少なくとも1台のセミトレーラを保有する事業体は全体の過半数となっており、平地における大型輸送キャパシティが増加したことが明らかになった。車両の長いトレーラ類が走行できる林道は、現状では極めて限られることから、トレーラ類は多くの場合、運材車から原木積み替えを経て走行していると考えられる。つまりトレーラ類の増加に合わせて、運材車からトレーラ類への原木の積み替えが可能な“中継地”が増加していると考えられる⁶⁾。

郵送アンケートの回答によるセミトレーラの標準積載量は約30m³であり、10トン運材車の標準積載量17m³の1.7倍であった。28トンセミトレーラ積み込みの実証試験においては、中径材で約35m³、大径材で約38m³の積載が可能であった。大径材で積載量が10%多いのは、空隙率が低下することによるものと考えられる。また、セミトレーラは伐採直後の湿潤含水率の高いトドマツ原木を満載しても最大積載量28,000kgを下回り、標準的な運材車より余裕のあることが明らかになった。このことは、大型車両化は原木の過積載対策にも有効であることを示唆している。

トレーラ類の稼働率は64%で、10トン運材車の94%に対し増加の余地がある一方、車両の拠点分布には偏りがあり、全道各地で大型車を用いた原木輸送が効率的に実施できるわけではないことが示された。特に後志・宗谷・根室地方は今回の調査においては原木輸送事業体そのものが確認できず、相対的に輸送条件が不利と考えられた。ただし、今回の調査の母集団である北海道トラック協会会員以外にも、未加盟の原木輸送事業体もあると考えられるため、より詳細な現状把握が今後の課題である。

今後、原木流通の効率化のために求められることは、長期的には大型車両が山に入れるような林道の整備であるが、現実的には、地形やコストの面から対応困難なケースが多いと考えられる。当面のところは、全日本トラック協会⁸⁾の働き方改革実現に向けたアクションプランに沿うかたちで、中間土場や運転手交代のための中継地を整備し、原木の大型車への積み替えが容易となる環境をつくること、山道と平地の原木輸送車両を分け、運転手の分業を進めること等が課題と考えられる。

【引用文献】

- 1) 北海道水産林務部(2022)北海道林業統計。
- 2) 椎名潤 (2017) ロジスティックから考える林業サプライチェーン構築. 林業改良普及草書. No.186. pp14-20
- 3) 吉田美佳・酒井秀夫 (2016) 燃料用木質チップのサプライチェーン・マネジメントの形態と利害関係者の役割. 山林. 1583 : pp27-36
- 4) 遠藤日雄・酒井秀夫・長谷川尚史・速水亨・田中忠・小林耕二郎・岐阜県森連(2015)中間土場の役割と機能, 林業改良普及双書 No.180, pp22-35
- 5) 林野庁木材産業課 (2019) 原木運送に係るアンケート調査 (結果)。
- 6) 酒井明香・津田高明 (2022) 北海道における原木輸送体制の実態～原木輸送専門車両に着目して. 北方森林研究 vol.70, pp11-14
- 7) 酒井明香・石川佳生・古俣寛隆・渡辺誠二・津田高明・小山内裕司(2019) 原木流通における中間土場の稼働状況 : 府県と北海道の比較 (第一報). 第68回北方森林学会発表要旨.
- 8) 全日本トラック協会 (2018) トラック運送業界の働き方改革実現に向けたアクションプラン. https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta_theme/pdf/rodo/hatarakikata/actionplan_kaisetsu.pdf

北海道産木材による伐採木材製品（HWP）の炭素蓄積量の算定と精度向上に向けた課題

○前川洋平，古俣寛隆，石川佳生（道総研林産試）

はじめに

2015年にCOP21で「パリ協定」が採択、翌年に発効され、2020年以降の気候変動問題に関する新たな国際的枠組みがスタートした。わが国は、2050年のカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現に向け、2030年度に2013年度比-46%の温室効果ガス排出削減を宣言している。気候変動問題への行政の対応として、国は「地球温暖化対策推進法」による計画策定、都道府県や市町村においては、地球温暖化対策計画に則した地方公共団体実行計画（事務事業編）を策定するほか、団体の規模に応じて同計画の区域施策編も策定する必要がある。

北海道では、2021年3月に北海道地球温暖化対策推進計画（第3次）を策定し、「2050年までに「ゼロカーボン北海道」を実現する」ことを表明した。この実現に向け、「北海道森林吸収源対策推進計画」を改定し、森林等による二酸化炭素の吸収量の目標が設定された。

京都議定書第2約束期間以降、伐採木材製品（Harvested Wood Products、以下「HWP」とする）についても炭素固定が認められるようになり、森林・林業基本計画に基づく適切な森林施業による吸収量の“上積み”としての役割が期待されている。

HWPの炭素蓄積量の算定（以下、「HWP算定」とする）に関する先行研究として、次に示す3つの観点から整理できる。一つ目にHWPの炭素蓄積量算定ルール（以下、「HWPルール」とする）の策定経緯と内容を解説するもので、服部ら（2012）や加用（2021）などが挙げられる。二つ目にHWPルールのうち評価手法に関するもので、外崎（2004）や福田（2004）などが挙げられる。これらはHWPルール導入に際し、わが国が主張すべき算定手法について議論されたものである。三つ目に実際の炭素蓄積量の算定に関するもので、橋本ら（2004）や須鎗ら（2020）が挙げられる。一方、都道府県レベルのHWP算定に関しては松本ら（2021）の先行研究があるが、建築物用途に限定されているほか、木材の由来（国産材と輸入材の別）については制限していないなど、これまで都道府県産木材によるHWPを網羅し、算定した研究はない。

そこで本研究の目的を、北海道産木材（以下「道産材」とする）によるHWPの炭素蓄積量を算定することとし、次の3点を検討項目として設定した。すなわち、第一に、道産材によるHWPの炭素蓄積量に係る実績値の算定、第二に、2022年3月に改訂された「北海道森林づくり基本計画」の目標年次におけるHWPの炭素蓄積量の算定、第三に、算定精度を向上させるための課題を抽出すること、とした。

なお、本報告は林業経済学会2021年秋季大会にて報告した内容を加筆修正したものである。

調査方法

まず、道産材によるHWP算定のための諸条件を設定した。原則として、わが国が採用している評価手法や設定条件をそのまま適用することとした（**図1**）。具体的には、評価手法は生産法とし、北海道内の森林吸収源として計上している森林から生産された木材製品を対象とした。なお、わが国のHWP算定は4カテゴリー（建築物・その他木材利用・紙製品・燃料等）に区別され、建築物はTier3（ストック・インベントリ法）、その他木材利用と紙製品はTier2（デフォルト法）、燃料等はTier1（即時計上）にて算定される。今回の算定では、建築物については、投入量と廃棄量の差し引きから現存量を算定することになるが、建築物に使用される道産材の廃棄量が把握できないため、その他木材利用や紙製品と同じTier2（デフォルト法）で算定することとした。Tier2（デフォルト法）は、一次減衰関数と半減期によって算定する方法である。本稿では半減期をわが国の設定方法に準じ、製材を35年、木質パネル（合板・木質ボード）を25年、紙製品を2年とした。

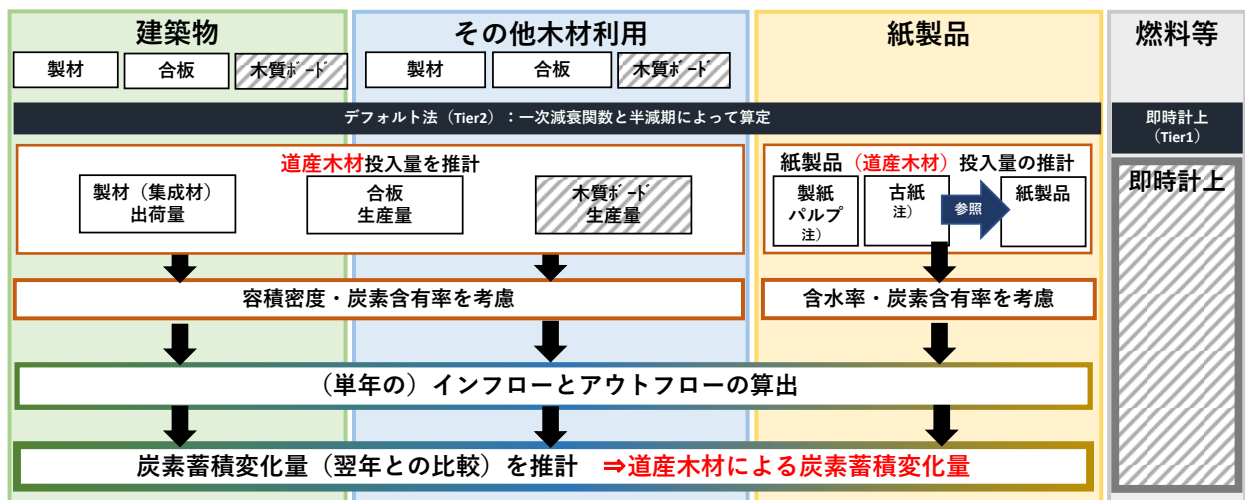


図 1 道産材による HWP の炭素蓄積変化量の算定方法

注：紙製品（道産木材）の投入量は、製紙パルプと古紙の道産材率を参照して求めことになるが、実際にはそれぞれの道産材率が算定できないので、輸入材を含む総量を用いる

各製品の各年における生産量は、北海道水産林務部が公表している北海道木材需給実績（各年）や同部が監修した『北海道の林産業』（1978-1997年の間、3年おきに発行）等により把握した。また、北海道外への素材移出については木材需給報告書（各年）により把握した。

紙製品は、製紙パルプと古紙における道産材率が算定できないことから、輸入材を含む総量から算定した。また、生産量が把握できない各年の生産量・炭素蓄積量については、IPCC2006年ガイドラインの12.6式を準用して算定したほか、直近の2020年生産量は、一部2019年値を代用するなどした。なお、木質ボードは、北海道における生産量ならびに道産材率が把握できないことから算定除外した。

結果と考察

（1）道産材による HWP の炭素蓄積変化量

2019年実績値は約269千t-CO₂の排出となった（図2）。HWPによるCO₂の吸収・排出の状態については、1990年以前より吸収状態が続いていたが、1998年に初めて排出状態に転じたことが明らかとなった。その後、2003～2007年は吸収状態、2008～2016年は吸収と排出の均衡状態、2010年代後半は排出量が増加傾向にあると算定された。炭素蓄積量が減少する要因として、製品生産量が長期的に減少傾向にあること、すなわち、過去に蓄積した炭素の排出量に対する新たな炭素の蓄積量が少ないことが挙げられる。

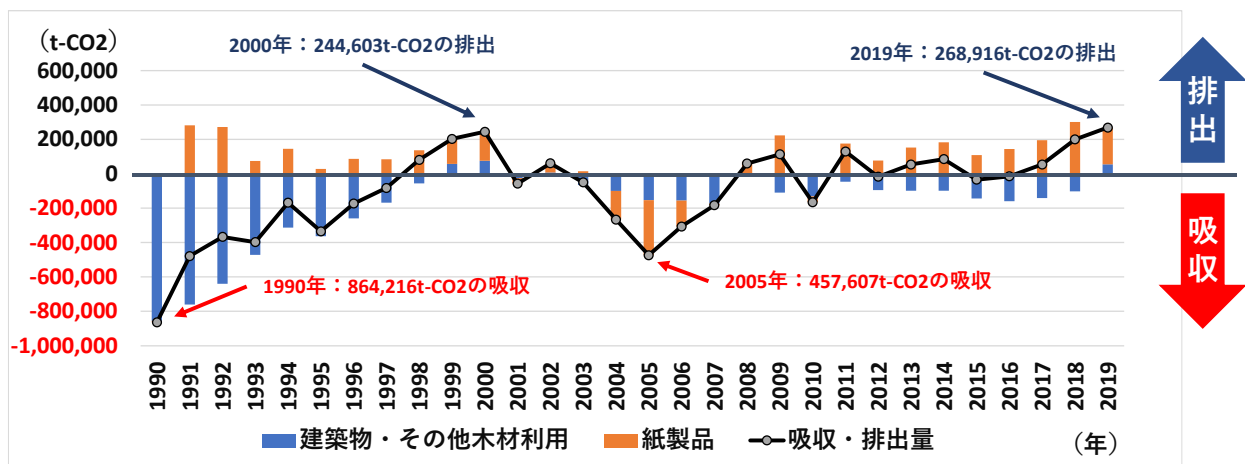


図 2 道産材による HWP の炭素蓄積変化量に起因する排出・吸収量（実績値）

都道府県単位で生産法による HWP 算定を行う場合、都道府県間の素材交流を考慮する必要がある。他県材の素材入荷実績がある場合、輸入丸太と同じく当該分を除外しなければならない一方、他県への素材出荷実績がある場合は、当該分を加算することが可能である。今回の算定においても、2000 年代後半以降は北海道外への素材移出量が増加傾向にあった（特に合板用素材出荷量について、2005 年の 2 千 m³ から 2019 年には 340 千 m³まで増加）ことが、炭素蓄積に寄与したと考えられる。

（２）HWP の炭素蓄積変化量算定値の評価

今回算定した道産材による 2019 年の HWP 算定値（269 千 t-CO₂の排出）に対し、わが国における HWP 算定値は 1,874 千 t-CO₂の吸収であった。通常であれば、道産材による HWP 算定値を国の算定値と比較・評価し、北海道の位置づけや貢献度について考察すべきだが、そもそも算定方法が異なっているため、比較することができない。わが国の算定方法と条件を等しく比較するためには、都道府県レベルの統計資料の充実（具体的には木材製品における自県材の投入量と廃棄量の把握）が必要である。同時に、統計資料の整備状況が、算定そのものや算定値の精度を大きく左右することになる。そのため、現状では HWP による炭素の吸排出は不確実性を含む推計結果であることを十分に理解すべきと考える。

（３）「北海道森林づくり基本計画」の目標年次における HWP の炭素蓄積変化量の推定

「北海道森林づくり基本計画」は「北海道森林づくり条例」に基づき策定されるものである。2022 年 3 月に改訂された同計画は、2022～2031 年を計画期間とし、2041 年までの見通しを示すものである。

目標年次における HWP 推定のための前提条件は、①目標年次（2031 年・2041 年）における用途別木材需要量を基本資料とすること、②予測期間を 2020～2040 年とすること、である。

推定にあたり、各年次における用途別製品生産量を設定する必要がある。そのための手順として、目標年次における原木消費量を設定し、各年の原木消費量を内挿法による線形補間した。さらに製品歩留まりを乗じて各年の製品生産量を設定した。

その結果、目標年次である 2031 年は約 257 千 t-CO₂の吸収、2040 年は約 233 千 t-CO₂の吸収となることを推定した（図 3）。2021 年までは排出状態であるものの、排出量は減少傾向にあり、2022 年以降は吸収状態へ転ずる結果となった。

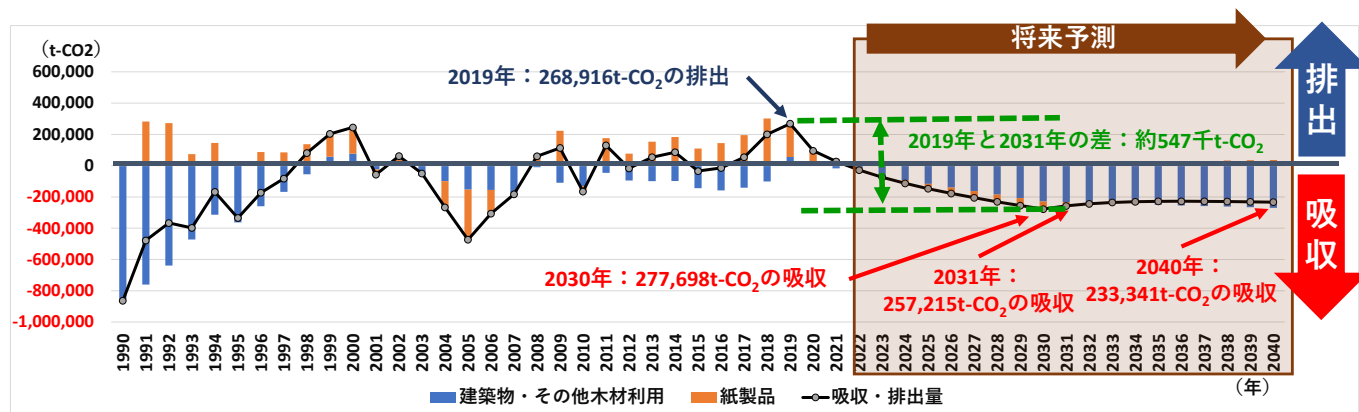


図 3 道産材による HWP の炭素蓄積変化量の算定値（実績値）と将来予測

（４）算定精度向上に向けた課題

算定精度を向上させる課題として、各製品における半減期の細分化・精緻化が挙げられる。わが国においては、木材製品の用途を建築物とそれ以外で区別しているため、半減期の設定を細分化していない。建築物用途を含めて Tier2 にて算定する場合、対象区域における木材利用実態を反映するためには製品の用途に応じた半減期の設定が必要である。

本研究では、製品の用途を問うことなく、国による半減期設定に準じて炭素蓄積量を算定しているが、北海道における製材出荷量の用途別内訳をみると、近年は建築用途よりも梱包・仕組材等の輸送資材用途の方が多くなることがわかる（図 4）。すなわち、道産材の特徴的な利用用途である輸送資材用途も半減

期を 35 年として算定しているため、炭素蓄積量を過大に評価している可能性が高い。今後は製品用途に応じた半減期設定が必要となるが、輸送資材用途の利用実態（製品寿命）の把握が課題といえる。

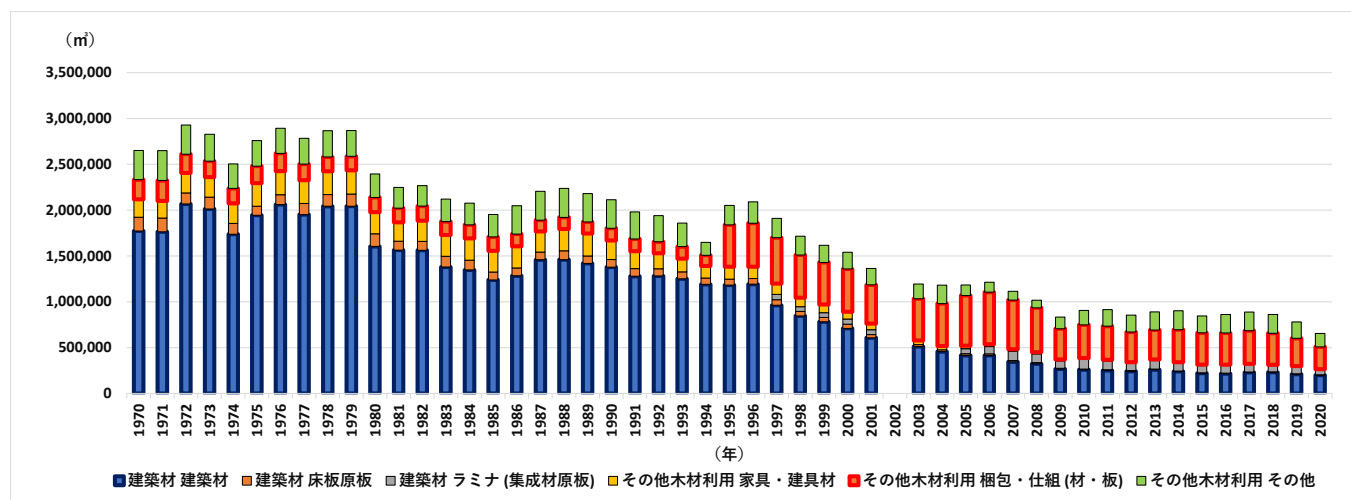


図 4 製材出荷量の用途別内訳

注 1：実績値の把握ができた 1970~2020 年を図示した（2002 年と 2003 年を除く）

注 2：2003 年分は把握できた 2004 年実績値と前年比より算定した

謝辞

本研究は、北海道水産林務部林務局林業木材課と森林計画課より生産実績値に関する情報提供のほか、HWP 算定過程や活用等について有用な意見を戴きました。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 服部浩治・笹井香奈子「気候変動枠組み条約-京都議定書第 2 約束機関に導入された木材製品 (HWP) のルールについて」『木材保存』Vol. 38 (2), 2012 年, 44-51 頁
- (2) 加用千裕「私たちの生活の中にある木材は炭素の貯蔵庫」森林環境研究会編『森林と自然エネルギーを再考する』森林文化協会, 2021 年, 36-39 頁
- (3) 外崎真理夫「伐採木材に関する専門家会合」『木材工業』Vol. 59 (1), 2004 年, 31-35 頁
- (4) 福田淳「気候変動枠組み条約における伐採木材製品の取り扱いに関する考察」『林業経済』Vol. 57 (5), 2004 年, 1-16 頁
- (5) 橋本征二・森口祐一『日本における伐採木材のマテリアルフロー・炭素フローデータブック』国立環境研究所, 2004 年, 1-40 頁
- (6) 須鎗秋桜子・篠田悠心・加用千裕「世界各国における伐採木材製品の炭素貯蔵量」『木材学会誌』Vol. 66 (2), 2020 年, 76-86 頁
- (7) 松本遼斗・加用千裕「都道府県ごとの建築物に使用される伐採木材製品の炭素蓄積量」『木材学会誌』Vol. 67 (3), 138-148 頁
- (8) 国立環境研究所『日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2021 年』国立環境研究所, 2021 年, 6-67 頁
- (9) IPCC (2006) 『2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories』, the Institute for Global Environmental Strategies (IGES), pp.12.17-12.18

(連絡先：前川洋平 maekawa-youhei@hro.or.jp)

食用担子菌の菌糸成長に及ぼすヤナギ類樹皮成分の影響について

○小黑浩平, 玉井 裕, 幸田圭一 (北大院農)

【緒言】

食用きのこの菌床栽培には主に広葉樹材が用いられているが、現在良質な広葉樹材の供給不足や価格高騰が懸念され、代替材料が求められている。ヤナギ（北海道においてはオノエヤナギとエゾノキヌヤナギ）は萌芽更新が旺盛で増殖が容易であり、短伐期で利用することができるため、早生樹バイオマス資源として注目されている。ヤナギのおが粉にはシイタケ菌床栽培において、子実体収量を増加させる効果があることが明らかになっている。本研究では共にヤナギ科 (*Salicaceae*) に属するオノエヤナギ (*Salix sachalinensis*) とドロノキ (*Populus maximowiczii*) の樹皮成分に着目し、食用担子菌数種の菌糸成長に及ぼす影響を検討した。

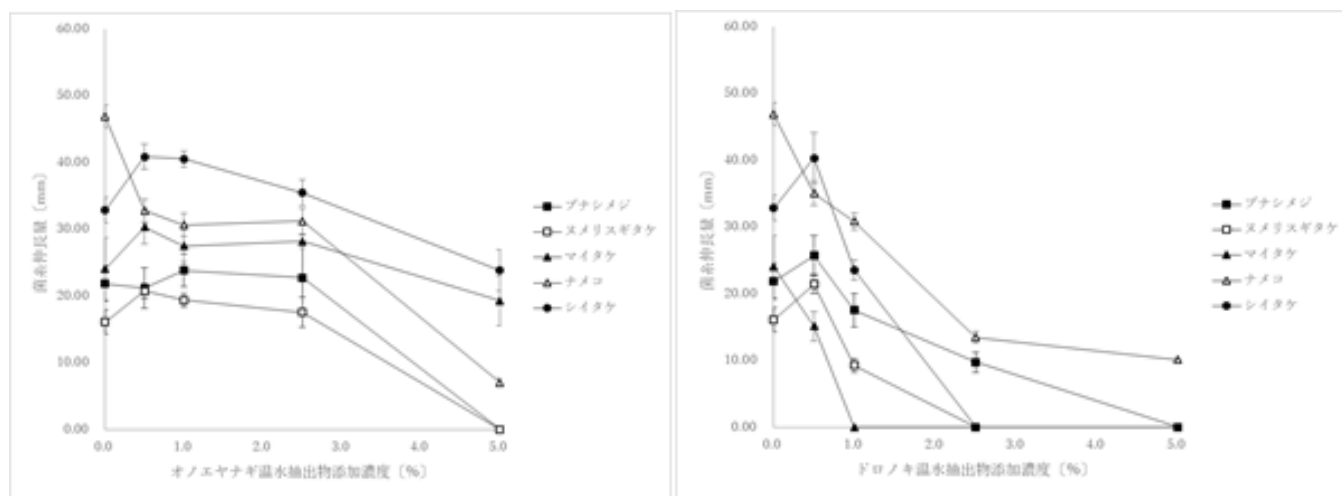
【材料と方法】

試料採取：北大構内で風倒したオノエヤナギとドロノキの樹皮をスクレーパーで採取し、風乾後カッターミルにより粉碎した。抽出条件：樹皮粉末に重量比で5倍量の純水を加え、50℃で4時間攪拌抽出し、濾液として温水抽出物を得た。培養試験：PDA培地に対し各温水抽出物が固形分濃度で0.5, 1.0, 2.5, 5.0%となるように添加した。マイタケ、シイタケ、ブナシメジ、ナメコ、およびヌメリスギタケを接種、暗所でシャーレ上において培養し、2日毎に培養10日目まで菌叢直径測定した。また、培養10日目の培地を電子レンジで加熱溶解し、菌体を濾別し乾燥重量を測定した。試験管に詰めた木粉培地（ナラもしくはカラマツ木粉とフスマを絶乾重量比3:1で混合し、含水率65%に調整）に供試菌を接種し培養した。水分調整には先の培養試験で、最も促進効果が認められた添加濃度（0.5~1.0%）の温水抽出物水溶液を用いた。木粉培地上面から下方向へと伸長する菌叢先端部までの長さを測定した。酵素活性測定：PD液体培地中で、25℃、暗所で培養を行い、濾液について菌体外酵素活性を測定した。

【結果および考察】

樹皮粉末の絶乾重量に対する温水抽出物の収率は、オノエヤナギは約10%、ドロノキは約15%であった。寒天培地上での培養試験により、オノエヤナギの温水抽出物についてはブナシメジ、マイタケ、ヌメリスギタケおよびシイタケに対して菌糸成長促進効果が認められ、0.5~1.0%添加濃度で最も顕著であった。ドロノキについてはブナシメジ、ヌメリスギタケおよびシイタケに対して同様の効果が認められ、添加濃度0.5%で最も顕著であった。ドロノキ温水抽出物を1.0%以上添加した培地では、すべての菌種に対して著しい菌糸成長抑制効果が認められた。また菌体重量に関して、オノエヤナギ温水抽出物はすべての菌種に対し成長促進効果が認められ、その効果は0.5~2.5%の添加濃度で顕著であった。ドロノキについてはブナシメジ、ヌメリスギタケおよびシイタケに対して同様の効果が認められ、0.5%の添加濃度で最も顕著であった。木粉培地の試験において、ナラ木粉培地でオノエヤナギ温水抽出物を添加することにより、ヌメリスギタケとマイタケの成長が促進された。またカラマツ木粉培地ではドロノキ温水抽出物を添加したことによりブナシメジの成長が促進された。液体培地中の試験により、オノエヤナギ温水抽出物0.5%を添加した培地においてマイタケの菌体重量が増加し、促進効果が認められた。しかしその他の条件では成長促進効果は認められず、一部では成長が抑制された。その一方で液体培地の濾液について酵素活性を測定した結果、シイタケ、マイタケはオノエヤナギ温水抽出物を添加することで、そしてブナシメジ、シイタケ、ヌメリスギタケはドロノキ温水

抽出物を添加することによりラッカーゼ活性が高くなった。また、ブナシメジ、シイタケ、マイタケはオノエヤナギ温水抽出物を添加することにより、ブナシメジ、シイタケ、ヌメリスギタケはドロノキ温水抽出物を添加することによりマンガンペルオキシダーゼ活性が高くなった。



図：培養 8 日目の各温水抽出物添加濃度と菌糸伸長量の関係（左：オノエヤナギ、右：ドロノキ）

ヤナギ樹皮成分の特徴づけ

○米山彰香、幸田圭一、玉井 裕（北大院農）

【背景】ヤナギは早生樹として知られ、優れた萌芽再生能を持ち、挿し木による栽培が容易であるといった点からバイオマス資源としての利用が試みられている。その利用方法の一つとして、きのこの菌床培地基材としての利用がある。林産試験場による研究で、ヤナギ材の培地基材としての有用性、ならびにヤナギ樹皮の水溶性成分によるシイタケの増収効果が明らかになった^{1,2)}。今後、特に樹皮のさらなる利用拡大を目指す上で基本的な成分組成を明らかにする必要があることから、本研究ではヤナギ樹皮の主要成分の定量を行った。また、樹皮ではリグニンの定量妨害物質の影響が予想されたため、複数の前処理法や分析法を試みた。

【方法】林産試験場から供与された、オノエヤナギ (*Salix sachalinensis*) とエゾノキヌヤナギ (*Salix petsusu*) の2種混合木粉（樹皮および材）を使用した。これらの試料を60メッシュ以下の粒度まで粉碎し、一部は灰分の定量に使用した。次に、粉碎試料はエタノール・ベンゼン混液（1:2, v/v）によるソックスレー抽出（アルベン抽出）を16時間行った。この脱脂試料に対してホロセルロース、リグニン、メトキシ基の定量とニトロベンゼン酸化、構成糖分析を行った。リグニンはクラークソン法、ならびに組み合わせ法により定量した。また一部の脱脂試料はさらに1%水酸化ナトリウム水溶液中、100°Cで1時間抽出を行った（以下、アルカリ抽出³⁾。そのろ過残渣についても同様に、構成糖分析を除く上記の各定量分析を行った。

【結果と考察】樹皮は材に比べ灰分、アルベンおよびアルカリ抽出物量、クラークソン法によるリグニン定量値が著しく大きい値を示した一方で、ホロセルロースは小さい値を示した（Table 1）。クラークソン法では、アルカリ抽出前後での樹皮のリグニン定量値に16%の差が見られ、材と比べて定量妨害物質が著しく多いと考えられる。また、組み合わせ法によるリグニン定量値はどの試料においてもクラークソン法より小さい値を示した。他方、樹皮のリグニン量について2種の定量法で比較すると、脱脂試料における定量値の差は予想通り大きい（27%）が、一方で、脱リグニンを殆ど伴わず、ポリフェノール成分を効果的に除去するとされる1%アルカリ抽出^{3),4)}を経てもなお、無視できない定量値の差を示した（13%）。このことから、樹皮にはアルカリ可溶性ポリフェノール成分以外にも、樹皮特有の物質群（例：スベリンの一部、など）も含まれ、これらが、クラークソン法のような従来のリグニン定量法では、リグニンとして定量されたと考えられる。

【結論】ヤナギ樹皮の成分を従来の木材分析法で定量した場合、材部と比べ灰分、アルベン抽出物、リグニン含量が多く、ホロセルロースが少ないという特徴をもつ材料と判定される。しかし、アルベン抽出後に1%アルカリ抽出を行った試料について同様に分析した結果や、クラークソン法の弱点を考慮したリグニン定量法（組み合わせ法）を適用した結果を考え合わせると、従来の木材分析法で得られる組成の全体像とは大きく異なることが分かった。すなわち、樹皮はヘミセルロース以外にもアルカリ可溶性成分を大量に含んでおり、メトキシ基やニトロベンゼン酸化生成物を与えるような、本来的な構造を有するリグニンが極めて少ない材料であることが示された。また、樹皮リグニンについて、アルベン抽出後に1%アルカリ処理を履歴し

た試料でもクラソン法と組み合わせ法とで定量値が大きく異なったことから、従来、ポリフェノールを著量含むユーカリ材^{4),5)}、あるいは他の樹種における心材⁶⁾や樹皮⁷⁾⁻⁹⁾のような木質試料に対し、クラソンリグニン定量時の補正操作として行われてきた1%前後の希薄なアルカリによる温和な抽出操作（室温～100℃程度）では、ヤナギ樹皮に含まれる定量妨害物質を完全には除去できず、クラソン法ではリグニンを正確に定量できないと結論付けた。

【引用文献】

- 1) 原田 陽、折橋 健、檜山 亮、宜寿次盛生、棚野孝夫 シイタケ菌床栽培における早生樹「ヤナギ」の利用. *日本きのこ学会誌* 22 (1), 24-29 (2014).
- 2) 折橋 健、檜山 亮、原田 陽 シイタケ菌床栽培における早生樹「ヤナギ」の利用：子実体収量に及ぼすヤナギ樹皮の影響. *日本きのこ学会誌* 26 (3), 112-116 (2018).
- 3) 亀井基和、大江礼三郎：ユーカリ材の抽出成分量とクラフトパルプ化. *紙パ技協誌* 33(9), 592-597 (1979).
- 4) Watanabe Y., *et al.* Histochemical study on heterogeneity of lignin in *Eucalyptus* species II. The distribution of lignin and polyphenols in the walls of various cell types. *IAWA J.* 25(3), 283-295 (2004).
- 5) Morais S.A.L., *et al.*, Studies of *Eucalyptus grandis* lignin. Part I: Estimation of lignin and polyphenols content in *Eucalyptus grandis* by infrared spectroscopy. *Braz. Soc. Chem.* 2(3), 129-132 (1991).
- 6) Lange W. & Faix O. Lignin-polyphenol interaction in Azobe (*Lophira alata*) heartwood. A study on milled wood lignin (MWL) and Klason residues. *Holzforschung* 53(5), 519-524 (1999).
- 7) Labosky P. Jr. Chemical constituents of four southern pine barks. *Wood Sci.* 12(2), 80-85 (1979).
- 8) Harun J & Labosky P. Jr. Chemical constituents of five northeastern barks. *Wood Fiber Sci.* 17(2), 274-280 (1985).
- 9) Kofujita H., *et al.* Characterization of the major components in bark from five Japanese tree species for chemical utilization. *Wood Sci Technol.* 33, 223-228 (1999).

Table 1. Chemical composition of bark and wood meals from willow (percentage of an original oven-dried, undefatted samples).

		Bark	Wood
Ash content		4.5 ± 0.1	0.6 ± 0.01
Alcohol-benzene extractives		11.8 ± 0.6	1.8 ± 0.1
1% NaOH solubles		44.2 ± 1.1	19.9 ± 0.2
Holocellulose	Alcohol-benzene	52.1 ± 1.3	84.0 ± 0.6
	Alben+Alkali	39.8 ± 0.8	61.0 ± 0.1
Lignin 1 ^a	Alcohol-benzene	38.6 ± 0.2	24.4 ± 0.1
	Alben+Alkali	22.3 ± 0.1	21.2 ± 0.2
Lignin 2 ^b	Alcohol-benzene	11.9 ± 0.3	20.7 ± 0.9
	Alben+Alkali	9.1 ± 0.1	16.6 ± 0.6

a: the sum of Klason lignin and acid soluble lignin

b: lignin content determined by a combination method, using nitrobenzene oxidation products yield and methoxy content

Alcohol-benzene: determined after ethanol-benzene extraction [conventional]

Alben+Alkali: determined after ethanol-benzene extraction & alkali extraction with 1% NaOH solution

ナラからアルコール中に溶出した成分の解析

○竹内啓一郎、鈴木 栞、重富顕吾、浦木康光（北大院農）

【緒言】

ウイスキーなどの蒸留酒を貯蔵する樽材には、ホウソウオークと呼ばれる外国産のブナ科コナラ属 (*Quercus* 属) の材が広く用いられる。一方で、国産のナラ材であり、北海道北部に産生するミズナラ (*Quercus crispula*) が近年、注目を集めている。その理由は、ミズナラ樽で蒸留酒を長年貯蔵すると、香木を想わせるオリエンタルな香りを醸し出すようになるためである¹⁾。本研究の目的は、黒糖から作られる蒸留酒である「ラム」を、道産のミズナラ樽で貯蔵した際の成分変化の解明である。本発表では予備研究の一環として、樽で貯蔵していないラム原酒と、アメリカンオーク (*Quercus alba*) 樽で1年間貯蔵したラム酒の含有成分を比較し、ラム酒における樽貯蔵の効果について検討した。さらに、ミズナラ木粉からアルコールで抽出される成分について分析した結果についても、併せて発表する。

【実験方法】

ラム酒の調製： NINE LEAVES 社において、沖縄県産の黒糖を発酵して製造したアルコールを銅製単式蒸留機で2回蒸留した後、アルコール度数を50%に調整したラム原酒をガラス瓶で貯蔵した。このラム酒を“CLEAR”と呼ぶ。また、同様の蒸留工程で調製したアルコール度数63%のラム原酒を、焼き付けを施したアメリカンオーク樽で1年間貯蔵し、加水してアルコール度数を50%とした。このラム酒を、“ANGEL’S HALF”と呼ぶ。

ミズナラのアルコール抽出物： 北海道・天塩研究林産のミズナラ木粉 (42-100メッシュ) を、95%エタノール水溶液を用いる soxhlet 抽出に供した。抽出時間は6時間とした。

成分分析： 各種ラム酒の含有成分、及びミズナラのアルコール抽出成分を、微極性 (BPX-5, SGE Analytical science)、中極性 (TC-17, GL science)、高極性 (TC-WAX, Agilent) の3種のカラムを使用したガスクロマトグラフ質量分析 (GC-MS) 測定により解析した。

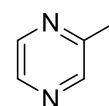
【結果および考察】

CLEAR と ANGEL’S HALF の GC-MS スペクトルから構造を推定した含有成分を比較した。両者は、furfural や propionic acid などの有機酸、ethyl caproate などの有機酸エステルに加え、メイラード反応生成物として知られる 2-methylpyrazine (I) や 2,5-dimethylpyrazine (II) を共通成分として有することがわかった。化合物 I 及び II は、蒸留中に酵母のアミノ酸と発酵残渣の糖から生成したと考えられる²⁾。さらに、アメリカンオーク樽で貯蔵した ANGEL’S HALF は、vanillin や syringaldehyde に加え、3-methyl-4-octanolide (III) などのラクトン類を含み、CLEAR には含まれない樽由来の成分を有することを明らかにした。

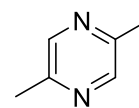
ミズナラ木粉のアルコール抽出物として、アメリカンオーク樽で貯蔵した ANGEL’S HALF と共通化合物である vanillin や化合物 III が含有されていた。加えて、ミズナラ固有の成分として考えられる 5-methyl furfural や pyrogallol など計12種類の化合物を同定した。今後は、現在作製中のミズナラ樽にラム原酒を貯蔵し、ラム酒中に溶出したミズナラ固有の化合物の分析やその量的変化を追跡する予定である。

【参考文献】

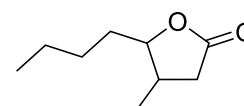
- 1) 古賀邦正、ウイスキーの科学、講談社、p.126 (2018).
- 2) E. Boothroyd et al. *Int. J. Food Sci. Tech.* **28**. 303–318 (2022).



2-Methylpyrazine (I)



2,5-Dimethylpyrazine (II)



3-Methyl-4-octanolide (III)

カツラ花芽の原基組織に由来する抗氷核活性について

○古賀泰雅, 荒川圭太 (北大院農)

【緒言】

樹木は氷点下温度に適応するため、樹体内での凍結を制御する機構を有することが知られている。なかでも、凍結に対する細胞単位での応答様式は細胞外凍結と深過冷却の二つに大別される。この凍結挙動を反映して、細胞外凍結を示す師部からは氷核活性（凍結を誘導する活性）が^(1,2)、深過冷却を示す木部柔細胞からは抗氷核活性（凍結を抑制して過冷却を安定化させる活性）が検出されている^(3,4)。さらには、冬芽を構成する複数の組織や細胞が連携して冬芽全体で凍結に応答する器官外凍結という機構も知られている。器官外凍結する冬芽では、原基組織から離れた芽鱗どうしの間隙やクラウン組織直下の髓が欠落してできた空間に氷晶が形成される。それらの氷晶に隣接する細胞は細胞外凍結する一方で、原基組織は深過冷却する⁽⁵⁻⁷⁾。このような凍結挙動に関与する二つの相反する活性が冬芽内部に局在していると推測されるが、これに関する研究例は十分とは言えない。

以前、我々は凍結を誘導する氷核活性に着目し、複数樹種の冬芽において、過冷却する組織よりも氷晶を蓄積する組織の方が高い氷核活性が検出されることを報告した⁽⁸⁾。今回は、冬芽の凍結制御要因に関する理解をさらに深めるために、冬芽内部で過冷却する組織から抗氷核活性の検出を試みると共に、この活性に寄与する化合物の精製を目指した。なお、実験には、前報⁽⁸⁾にて材料とした樹種の1つであるカツラ (*Cercidiphyllum japonicum*) の花芽を用いた。

【実験方法】

○試料の調製：2022年の冬季に採取したカツラ花芽より原基組織を切り分け、1.0 gを液体窒素下で磨砕した。この磨砕物に対して5.0 mLの80% (v/v) エタノールを加え、超音波洗浄機に10分間かけることでエタノールに可溶性成分を抽出した。抽出液から組織片など不溶物を除くために遠心分離 (14,000 × g, 10分間, 23°C) して、上清を回収した。この沈殿に5.0 mLの80% (v/v) エタノールを加えて攪拌したのち遠心分離し上清を回収する操作を追加で2回行った。得られた上清を乾固させた後、450 μLの超純水に溶解させ、再度遠心分離して、得られた上清をエタノール抽出物とした。

○浸透圧濃度の測定：水溶液の浸透圧濃度は蒸気圧法オズモメーターを用いて測定した。

○抗氷核活性の測定：抗氷核活性は熱分析法によって評価した。0.2 mL マイクロチューブに分注した試料溶液を0.2°C/分の速度で冷却し、温度変化を熱電対で経時的に記録した。潜熱の放出による昇温が始まった時間を凍結開始とみなし、凍結温度と表した。対照区 [0.2% (w/v) *Erwinia ananas*, 50 mM リン酸カリウムバッファー (pH 7.0)] と抽出物を添加した試験区を比べ、抽出物によって凍結温度が低下した場合、その温度差を抗氷核活性とみなした。

○抗氷核活性に寄与する化合物の性質評価：エタノール抽出物の抗氷核活性に寄与する化合物の性質を調べるために、エタノール抽出物に熱処理、プロテアーゼ処理、ポリビニルポリピロリドン (PVPP) 処理を行った。熱処理では試料を95°Cで30分間処理してから遠心分離した上清を回収した。プロテアーゼ処理では終濃度100 μg/mLのプロテイナーゼ K で一晩処理した後、95°Cで15分間の加熱処理で反応を停止させた。PVPP処理では、PVPPを添加して5分間振盪させた後、遠心分離して上清を回収した。各処理後の試料は100 mmol/kgの濃度で速やかに活性評価に用いた。

○抗氷核活性に寄与する化合物の精製：カツラ原基組織20 g FWを液体窒素下で磨砕し、400 mLのメタノールを用いて、冷暗所で1晩抽出する操作を3回繰り返した。得られた抽出液は濾紙で濾過し、濾液を粗メタノール画分とした。続いて粗メタノール画分を乾固させた後、ヘキサン、酢酸エチル、メタノールで順次抽出した。

【結果および考察】

原基組織より得たエタノール抽出物を 100 mmol/kg の濃度で *E.ananas* 懸濁液に添加した試験区では、対照区よりも凍結温度が 5.0°C 低下した。そのため、このエタノール抽出物は 5.0°C の抗氷核活性を示すということを意味する。同濃度のグルコースを添加した場合の凍結温度の低下は 0.5°C とごくわずかであり、エタノール抽出物は凝固点降下とは異なる作用によって凍結温度を低下させていることが示唆された。また、添加する抽出物の濃度を 10 分の 1 に希釈しても 4.0°C の抗氷核活性が検出されたので、この活性に寄与する化合物は低濃度でも作用するものと考えられた。これらの結果から、氷点下温度に曝されても過冷却を維持するカツラ原基組織には、過冷却の安定化に寄与する抗氷核活性を持つ化合物が存在することが推察された。

これまでに、過冷却の安定化に寄与する化合物として、多糖類⁽⁹⁾、フラボノイド配糖体⁽³⁾、加水分解性タンニン⁽⁴⁾、タンパク質⁽¹⁰⁾など様々な物質が報告されている。カツラ原基組織から得られたエタノール抽出物の抗氷核活性がどのような物質に依るものかを調べるため、抽出物に対して複数の処理を行った。まず、エタノール抽出物に対して熱処理やプロテアーゼ処理を行ったところ、抗氷核活性にほとんど影響しなかったため、タンパク質とは異なる物質が活性に寄与するものと考えられた。次に PVPP 処理を行ったところ、抗氷核活性は 2.2°C まで低下した。PVPP はフェノール性水酸基を持つ化合物を吸着する性質を示すため、エタノール抽出物に含まれる抗氷核活性に寄与する化合物として、少なくともフェノール性水酸基を持つ芳香族化合物が含まれている可能性が示唆された。

以上の結果を踏まえ、この化合物の精製を試みることにした。原基組織 20 g FW より得た粗メタノール画分は 4.69 g であり、水 1 mL に対して原基組織 0.10 g FW から得られる抽出物が含まれる濃度で活性測定したところ、4.6°C の抗氷核活性を示した。現在、粗メタノール画分をいくつかの有機溶媒（ヘキサン、酢酸エチル、メタノール）で分画した各画分における活性の分布を調べている。抗氷核活性に寄与する化合物の同定を目指し、随時精製を進める予定である。

【引用文献】

- 1) Kishimoto T, Yamazaki H, Saruwatari A, Murakawa H, Sekozawa Y, Kuchitsu K, Price WS, Ishikawa M: High ice nucleation activity located in blueberry stem bark is linked to primary freeze initiation and adaptive freezing behaviour of the bark, *AoB Plants*, **6**, 1-17 (2014)
- 2) 古賀泰雅, 鉄穴口晃, 鈴木伸吾, 重富顕吾, 荒川圭太: カツラ樹皮由来の氷核活性物質に関する研究, *低温生物工学会誌*, **67**, 141-145 (2021)
- 3) Kasuga J, Hashidoko Y, Nishioka A, Yoshiba M, Arakawa K, Fujikawa S: Deep supercooling xylem parenchyma cells of katsura tree (*Cercidiphyllum japonicum*) contain flavonol glycosides exhibiting high anti-ice nucleation activity, *Plant, Cell and Environment*, **31**, 1335-1348 (2008)
- 4) Wang D, Kasuga J, Kuwabara C, Endoh K, Fukushi Y, Fujikawa S, Arakawa K: Presence of supercooling-facilitating (anti-ice nucleation) hydrolyzable tannins in deep supercooling xylem parenchyma cells in *Cercidiphyllum japonicum*, *Planta*, **235**, 747-759 (2012)
- 5) Sakai A, Larcher W: Frost survival of plants: responses and adaptation to freezing stress, ecological studies, Vol. 62, Springer-Verlag, Berlin (1987)
- 6) Ishikawa M, Ishikawa M, Toyomasu T, Aoki T, Price WS: Ice nucleation activity in various tissues of *Rhododendron* flower buds: their relevance to extraorgan freezing, *Frontiers in Plant Science*, **6**, 1-12 (2015)
- 7) Endoh K, Kasuga J, Arakawa K, Fujikawa S: Cryo-scanning electron microscopic study on freezing behaviors of tissue cells in dormant buds of larch (*Larix kaempferi*), *Cryobiology*, **59**, 214-222 (2009)
- 8) 古賀泰雅, 筒井路実, 山岸祐介, 荒川圭太: 樹木の冬芽が示す凍結挙動と氷核活性の関連性について, *低温生物工学会*, 第 67 回低温生物工学会大会 (セミナー及び年会) 講演要旨集, 27 (2022)
- 9) Yamashita Y, Kawahara H, Obata H: Identification of a novel anti-ice-nucleating polysaccharide from *Bacillus thuringiensis* yy529, *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, **66**, 948-954 (2002)
- 10) Bredow M, Tomalty HE, Smith L, Walker VK: Ice and anti-nucleating activities of an ice-binding protein from the annual grass, *Brachypodium distachyon*, *Plant Cell and Environment*, **41**, 983-992 (2017)

水性高分子ーイソシアネート系接着剤の硬化剤添加量が高強度カラマツ集成材の接着に及ぼす影響

○中村 神衣, 宮崎 淳子, 松本 久美子, 古田 直之 (道総研林産試)

【緒言】

カラマツの成熟材部を用いた高強度集成材では、水性高分子ーイソシアネート系接着剤（API）での接着が難しく、その要因として、カラマツ成熟材部におけるヤニおよび晩材の存在が挙げられた。これまでの報告¹⁾において、晩材の存在を反映する密度に着目したところ、製造した集成材の強度等級（E95, E105, E120, E135）のいずれにおいても、密度 550 kg/m³程度までは剥離率が低かったが、それ以上になると、剥離率が高くなる傾向がみられた。

本発表では、原木から得られるラミナの材芯からの距離ごとにラミナの密度およびヤング係数の出現率を調べるとともに、高密度材における接着不良に対する実行性の高い改善策として、硬化剤の増量と圧縮時間の延長を試みた。集成材の小型試験体を製造し、減圧加圧剥離試験による接着性能の評価を行った。

【実験方法】

材料

ラミナは、末口径 32~34 cmの北海道産カラマツから製造した。得られたラミナの密度とヤング係数を測定した。また、原木の材芯からラミナ中心までの距離を画像上で測定し、60mm以下、60以上120mm未満、120mm以上に区切り、各値の出現率を調べた。

製造試験

ラミナ密度を 550 kg/m³未満とそれ以上で区分し、それぞれを用いて E95~E150 の同一等級集成材を製造した。製造試験の概要を表 1 に示す。圧縮時間は、増量型の硬化が不十分とならないよう 120 分とした。

減圧加圧剥離試験

集成材の日本農林規格²⁾（以下、JAS）に準じて、減圧加圧剥離試験を行った。減圧加圧処理後、各接着層における剥離長さを測定し、JAS に準じて評価した。

表 1 集成材の製造試験および評価方法

集成材試験体	積層数	5層
	寸法	幅105×厚さ150×長さ300 mm
	強度等級 ^{※1}	同一等級 E95,E105,E120,E135,E150
ラミナ ^{※2}	樹種	カラマツ
	寸法	幅105×厚さ30×長さ300 mm
接着剤	塗布量	250 g/m ²
	配合比	主剤：硬化剤 = 100 : 15 主剤：硬化剤 = 100 : 20
	攪拌	3分（攪拌機使用）
圧縮	圧縮圧力	1 Mpa
	圧縮時間	120分
評価	試験方法	減圧加圧剥離試験
	試験体寸法	幅103×厚さ150×長さ75 mm
	試験体数	5個/各条件

※1 ラミナ密度550kg/m³で区分し2体ずつ製造

※2 長さ3650mmラミナの縦振動法によるヤング係数により各機械等級区分に分類

【結果および考察】

原木の材芯からラミナ中心までの距離 60mm 以下, 60 以上 120mm 未満, 120mm 以上に区切った領域ごとに, ラミナの密度とヤング係数の出現率を調べた (図 1)。全ラミナ 150 枚のうち, 材芯からの距離 60mm 以下では 42 枚, 60 以上 120mm 未満では 81 枚, 120mm 以上では 26 枚であった。密度, ヤング係数ともに, 材の外側に行く程大きくなった。密度は, 60 以上 120mm 未満から 120mm 以上の領域になると, 分布が高密度側にシフトしたが, ヤング係数では, 分布が重なる部分が多く, それらの間であまり差はなかった。

減圧加圧剥離試験の結果を図 2 に示す。ラミナ密度 550 kg/m³ 未満では, 硬化剤 15 部でおおむね基準を満たす結果となった。一方, ラミナ密度 550 kg/m³ 以上では, 密度が高くなると剥離率が大きくなった。高密度域において, 硬化剤添加量を 20 部に増量することで, 通常 15 部より剥離率が抑制された。剥離率の平均値が, 従来型で 7.5% に対し, 増量型では 3.0% であった。基準適合率においては, 従来型で 58% であったのに対し, 増量型では 79% であった。これらの結果から, 接着剤中の硬化剤の増量が, カラマツ高密度材の剥離の抑制に有効であることが示唆された。

なお, 今回の供試材料では, ラミナ密度 550 kg/m³ 以上における各強度等級において, E105 が最も密度が高く, 最も多く剥離が生じた。E105 に使用されるラミナ等級 L110 の中でも, 650 kg/m³ を超える高密度材が存在することがあり, そのような場合にも, 接着不良に対する注意が必要なが示された。

参考文献

- 1) 中村ら：水性高分子-イソシアネート系接着剤を用いた高強度カラマツ集成材の接着 (1) ラミナの密度および配列の影響. 第 72 回日本木材学会大会要旨集, J15-P-04 (2022)
- 2) 集成材の日本農林規格, 農林水産省 (2019)

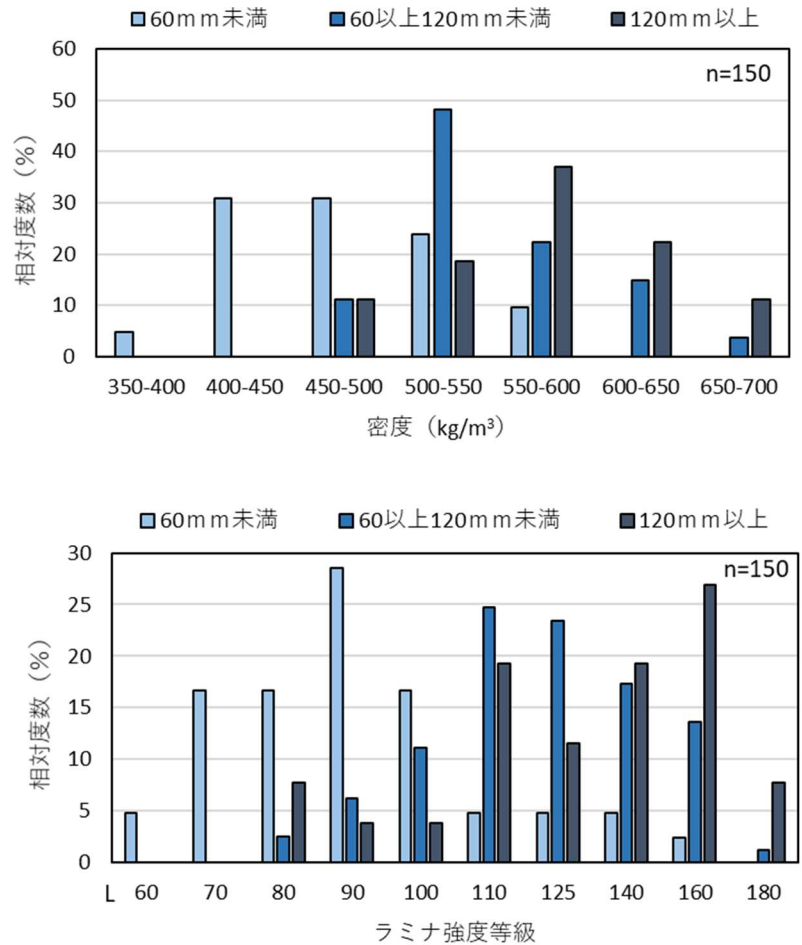


図 1 材芯からの距離ごとのラミナ密度 (上) および強度等級 (下)

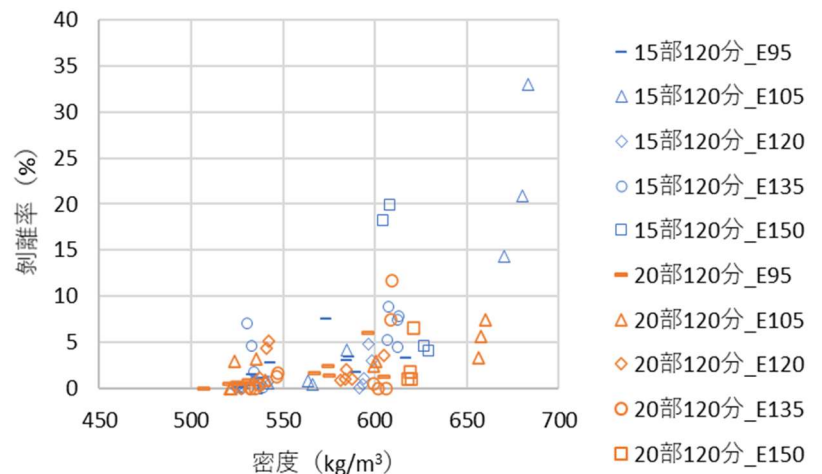


図 2 硬化剤 15 部および 20 部における密度と剥離率の関係

北海道早来山林産カラマツ造林木の材質研究

○(北大院農)豊田真慧、佐々木貴信、澤田圭、佐々木義久、小泉章夫

【緒言】

北海道では針葉樹森林蓄積における約 20% をカラマツ類が占めており、その多くは既に 9 齢級から 10 齢級 (45~50 年生) を迎えている。当初 30~35 年程度の短伐期¹⁾を主伐期として利用するという想定がされていたカラマツではあるが、近年では長伐期施業へと移行しカラマツも大径化が進んでいるとされている。依然として主な用途は、梱包材や仕組板 (パレット材) などに代表される産業用資材である。産業用資材としては未乾燥の生材なども利用でき、乾燥後にねじれや狂いを引き起こすカラマツであっても容易に利用できるため、盛んに利用されてきた。産業用資材としての利用のデメリットは構造用材などに比べて取引価格が低いという点である。一方で、カラマツ材を集成材や合板といった加工品にすることでより付加価値の高い資材として活用する動きも広がりを見せている。取引価格の高い建築用材の一部としてカラマツ材が流通されれば、カラマツの取引価格向上と利用促進につながり、素材生産量第一の北海道においても大きな利点があると考えられる。しかし、集成材や CLT をはじめとする建築用材では JAS (日本農林規格) によって定められた性質や強度基準を満たす必要がある。そのため、集成材としての利用を考える上では、産地ごとのカラマツの基礎材質を明らかにすることは重要である。各産地のカラマツ基礎材質を明らかにすべく、これまでに多くの研究^{2) 3)}が行われてきた。本研究では、道央に位置する早来の民有林から採取した 42 年生・60 年生カラマツを対象として、挽き板による実大材と無欠点小試験体による強度試験を行い、それらの強度的性質を明らかにする。

【実験方法】

北海道勇払郡安平町早来の民有林から 42 年生 (安平) と 60 年生 (新栄) のカラマツ造林木を各 3 個体ずつ採取した (表 1)。伐採後に、各供試木から地上高 30 cm を始点として約 2.5 m おきに円板を採取し、地上高 15 m 程度までの樹幹解析を行った。その後、地上高 280 cm から 10 cm 厚で採取した円盤を用いて、供試木の旋回木理を調査するために、割裂法によって回旋角を求めた。また、各円板から 3.1 mm 厚の切片を採取し、軟 X 線デンシトメトリー法によるカラマツ材の密度解析を行った。その後、各個体の地上高 30~280 cm、280 cm~530 cm、530 cm~780 cm、780 cm~1030 cm、1280 cm~1530 cm から採取した丸太より太鼓挽きで挽き板を製材した。この挽き板は乾燥窯で含水率 12% 程度となるように乾燥させた後に、材せい 30 mm、材幅 100 mm、材の長さ 1400 mm として寸法調整を行った。この挽き板を用いて、縦振動試験・ねじり剛性試験・曲げ試験を行った。また、試験後の材から材せい 20 mm、材幅 20 mm、材の長さ 400 mm の無欠点小試験体を採取した。この無欠点小試験体は恒温恒湿機によって含水率 12% となるように調整した。無欠点小試験体では、

表 1 供試木概要

供試木	所在地	林班	植栽年	樹齢	施業履歴	樹高 [m]	胸高直径 [cm]	枝下高 [m]
No.1	早来 (安平)	48-9	1979 年	42 年生	1991 年除伐	25.8	30.2	16.2
No.2					1996 年間伐	24.4	36.9	9.4
No.3					2022 年間伐	24.1	32.3	9.6
No.4	早来 (新栄)	7-11	1961 年	60 年生	1990 年間伐	23.3	38.7	8.3
No.5					2017 年除伐	20.4	31.7	7.2
No.6						24.2	27.5	8.1

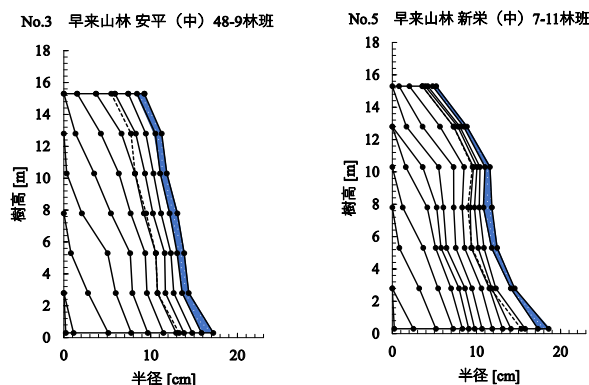


図 1 樹幹解析の結果

縦振動試験、ねじり剛性試験および曲げ試験を行った。

【結果および考察】

各林班で平均的な個体の樹幹解析の結果を図1に示す。いずれの個体においても15年輪程度まで肥大成長がよいことがわかった。次に、割裂法による回旋角の半径方向変動を図2に示す。No.3を除く他の供試木では10年輪までに最大の回旋角（繊維傾斜角）を示していた。この結果は、10年輪までに最大の繊維傾斜角を示すという既往の報告⁴⁾に概ね一致していた。またNo.1とNo.5の個体ではS（左）旋回からZ（右）旋回へと繊維傾斜が変わるねじれ返しを起していることが明らかになった。

次に、軟X線デンシトメトリー法による密度解析より求めた各林班の平均密度と標準偏差の結果を図3に示す。いずれの林班においても20年輪前後まで密度が上昇し、その後安定する傾向が見られる。また、安平林班の供試木は新栄林班に比べて密度が高かった。

表2に実大材試験と無欠点小試験体試験の結果を示す。なお、試験時の平均含水率は12.0%であった。さらに実大材の曲げ試験で得られた挽き板での曲げ弾性係数（E）から集成材の日本農林規格（JAS）の規格に基づき、各ラミナの等級区分を行った。その結果を図4に示す。全102本の挽き板のうちL110未満の挽き板の割合が約80%であった。L110以上に相当する曲げ弾性係数（E）を示した挽き板はいずれも丸太において最も樹皮側にある材であった。一般的に未成熟材の目安とされるのが15年輪程度までであることを踏まえると、それらの材はいずれも20年輪以降に位置していたことから大径化するにつれて増大していく成熟材部であったと考えられる。本研究において、各丸太の最外縁から採材した挽き板は合計で44本あり、そのうち20本がL110以上に相当する曲げ弾性係数であった。すなわち、意図的に成熟材部が多く含まれている樹皮側を採材することで、より高強度なカラマツ挽き板を採材できる可能性が早来産カラマツにおいても示された。

【参考文献】

- 1) 小林正吾:カラマツ人工林の施業の現状と問題点, 北方林業, vol.28, p.312-318, 1976
- 2) 三上進:カラマツの材質育種に関する研究, 林木育種場研報, No.6, p.47-152, 1988
- 3) 小泉章夫:針葉樹造林木のヤング率の変異, 木材工業, 53(5), 206-211, 1998
- 4) 中川伸策:カラマツ樹幹内における旋回木理の分布とその出現型, No.248, p.97-120, 1972

【謝辞】

本研究は三菱マテリアル（株）の社有林から供試木を提供していただきました。ここに深く感謝致します。

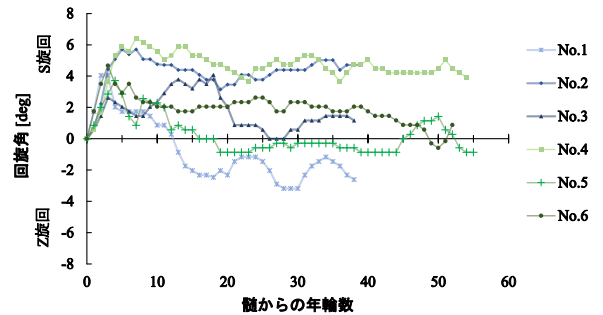


図2 回旋角の半径方向変動

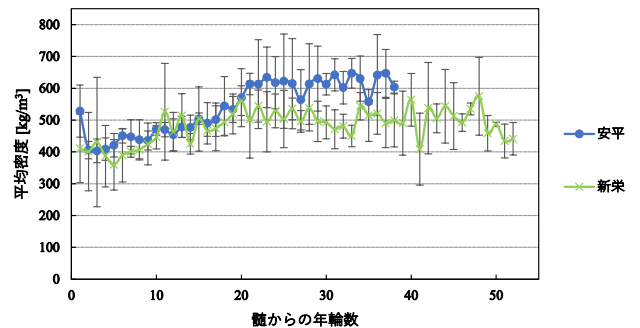


図3 地上高280cm付近の平均密度の半径方向変動

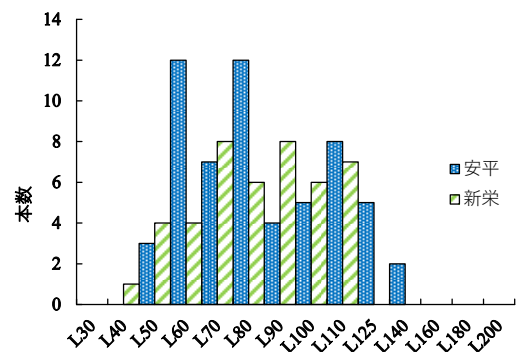


図4 曲げ試験による実大材の等級区分

表2 強度性能に関する試験結果

試験体	林班	試験体数	E_d [GPa]	G [MPa]	E [GPa]	MOR [MPa]	E/G
実大材	安平	58	9.87	855	9.03	62.1	10.6
	新栄	44	9.34	860	8.67	62.0	10.1
無欠点	安平	116	10.4	887	8.29	77.6	9.34
小試験体	新栄	88	10.7	875	8.53	79.5	9.74

E_d : 動的弾性係数, G : せん断弾性係数, E : 曲げ弾性係数, MOR : 曲げ破壊係数

深層学習によるカラマツ類ラミナの板目面の節検出

○村上 了 (道総研林産試)

【緒言】

北海道でカラマツ類は比較的高い密度、強度を持つ針葉樹材料として、構造用材、梱包用材、木製パレット等に利用されている。その強度を下げる欠点の一つである節を自動的に検出する際、カラマツ類において画像の色差から検出することは難しい。これはカラマツ類の晩材の色調が比較的暗く、材面の年輪界やアテを節と誤認識しやすいためである。色差のみで判断しない深層学習であれば、年輪界やアテを誤認識せず、精度高く節を検出できる可能性がある。本研究では、カラマツ類を製材した板目面から深層学習を用いて自動的に節を検出する技術について検討した。

【学習用画像の撮影と学習方法】

・深層学習用画像の撮影方法とその処理方法

寸法 100 (接線方向) × 24 (半径方向) × 600 (繊維方向) mm のカラマツ及びグイマツ雑種 F₁ のラミナの板目面を撮影した。撮影は窓の無い部屋にて行い、自然光の影響を排除した。カメラは The Imaging Source 社の DFK33GX183 を、レンズは富士フィルム社の CF12ZA-1S (焦点距離 12 mm) を用いた。カメラキャリブレーションを行い、レンズのひずみを補正した画像 (5472 × 3648 pixel) を得た。ハフ変換を用いて画像上のラミナ板目面の四隅を検出した後、射影変換を用いて台形補正した画像 (3600 × 600 pixel) へ加工した (図 1)。

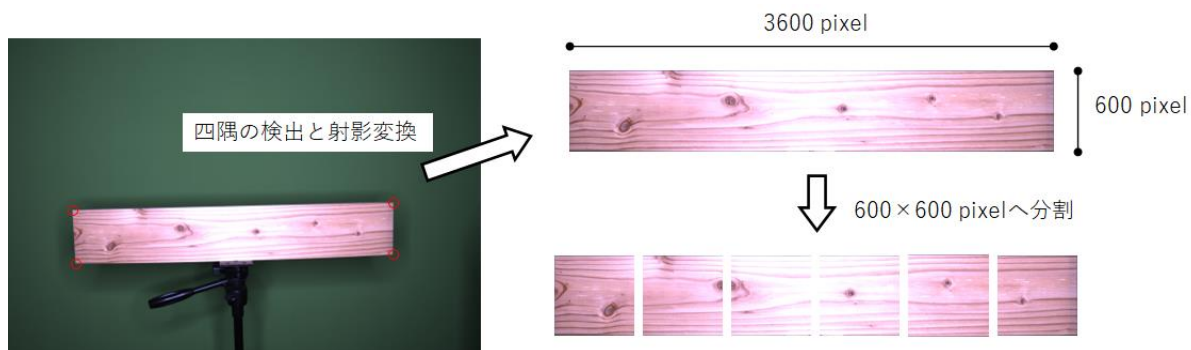


図 1 深層学習用画像の撮影方法とその処理方法

撮影した 2869 枚の画像のうち、髄を含む画像、髄付近でかつ目視で柾目面と判断した画像 381 枚を除いた 2488 枚の画像を元の板目面の画像として用いた。その元の画像を 6 分割して、600 × 600 pixel の画像にし、節の映った画像 6398 枚を節と背景に区別するアノテーションを行った。

・セマンティックセグメンテーションの学習

カラマツ類のラミナの板目面の節を検出するため、深層学習を使用した画像の各ピクセルを節と背景に分けるセマンティックセグメンテーションを行った。学習用のネットワークモデルは VGG19 を用いた。

学習にあたりパーソナルコンピュータは、CPU: Core i7-6950 X 3.0 GHz, GPU: NVIDIA GeForce 1080 × 2, OS: Windows 10 Pro, プログラム言語は Matlab R2022a (要 Computer Vision Toolbox, Parallel Computing Toolbox, Deep Learning Toolbox 及び Image Processing Toolbox) を使用した。

アノテーションを行った画像 6398 枚のうち 6 割を学習用、4 割をテスト用とした。

【結果および考察】

学習結果の正規化混同行列を図2に示す。画像のピクセル単位での節と背景との区分において正解率: 0.92, IoU (Intersection over Union、正解の領域と検出結果の領域が重なる領域の比率): 0.75, BF 値 (適合率と再現率の調和平均): 0.80 を得た。アノテーション時の節と背景との境界において、死節は特に迷うことはないが、生節の場合アテを伴うことが多く、人の判断が揺れる。境界を判断することが難しいため、学習の結果のIoUを下げ、節の寸法の検出精度の低下につながっている可能性がある。

節と背景へ2値化した画像をモルフォロジー処理でノイズを消した後、節の箇所を円で近似し、それぞれの円の中心座標位置、直径を節の位置、寸法とした。一例として図3に検出した結果を示す。今後、ラミナを様々な環境下で撮影し、実際に節を検出できるか確認する。

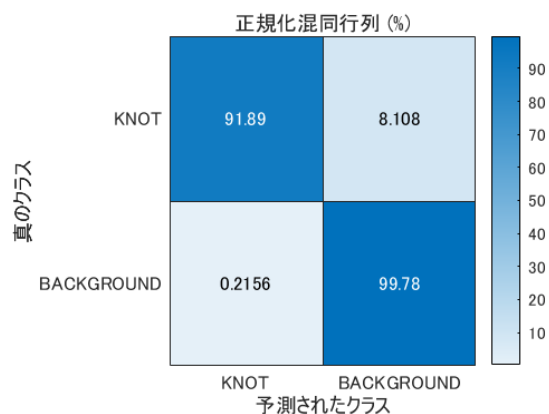


図2 学習結果の正規化混同行列

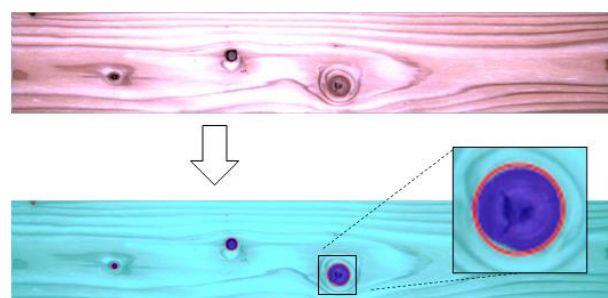


図3 学習結果による節の検出

*本稿は 2022 年 10 月に開催された日本木材加工技術協会第 40 回記念年次大会において、口頭発表を行った内容です。

日本木材学会 北海道支部講演集 第 54 号

令和 4 年 11 月 4 日 発行

編集人 幸田 圭一，村上 了，富高 亮介

発行人 平間 昭光

発行所 日本木材学会 北海道支部

〒060-8589 札幌市北区北 9 条西 9 丁目

北海道大学農学部内
