

蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの検討

－カラマツ心持ち正角2 m材の減圧下における高温セット処理試験－

木材部 奥原祐司・吉田孝久・毛受誠

蒸気圧力併用型木材乾燥機によりカラマツ心持ち正角材（2 m材）を減圧下における高温セット処理を2条件（条件A：乾球温度110℃、湿球温度80℃、18時間、条件B：乾球温度120℃、圧力-30kPa【湿球温度90℃】、12時間）で処理し、整形後の材面割れを測定した。その結果、条件Bは条件Aの材面割れの長さが同程度になり、減圧下における高温セット処理による材面割れ防止が可能であることが示唆された。

キーワード：カラマツ、蒸気高温セット、減圧蒸気高温セット、材面割れ

1 はじめに

カラマツの心持ち材を人工乾燥する場合は、強度低下と割れの抑制を両立させ、かつ、蒸気式木材乾燥機の燃料源となる灯油価格は年々上昇していることから短時間の乾燥方法を確立することが求められている。昨年度の結果¹⁾から有望と思われる条件により材長2 mの試験体で材面割れ等を測定した。なお、本研究は県単課題（令和6～10年度）として実施した。

2 試験の方法

試験材は、カラマツ心持ち正角材（130×130×4000 mm）18本のグリーン材を図-1のとおりエンドマッチとし、2条件の高温セット乾燥を実施した。高温セット処理（蒸気高温セット及び減圧蒸気高温セット）条件は、昨年度の試験結果¹⁾の中で材面割れ総延長の平均値が最も少なかった条件（条件B）と対比用として現在推奨されている蒸気高温セット処理（条件A）を実施した（表-1）。

高温セット処理後、昨年度の仕上がり含水率結果¹⁾から条件A及びBの全ての試験材を同時に表-2のスケジュールにより70℃中温乾燥を実施した。その後、モルダーにより105×105×2,000 mmに整形し、材面割れの長さは、コンバックスにより4材面の割れの長さを1 cm単位で測定し合計値とした。

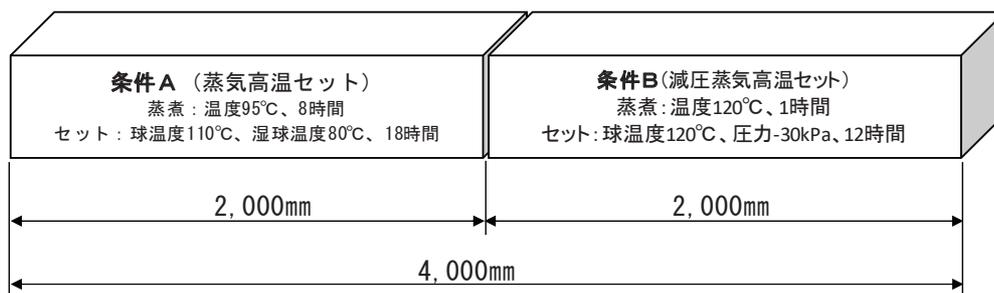


図-1 試験体の採材位置

表-1 高温セット処理条件

条件	蒸煮処理			高温セット処理			
	温度(℃)	圧力(kpa)	時間(h)	乾球温度(℃)	湿球温度(℃)	圧力(kpa)	時間(h)
条件A	90	—	8	110	80	—	18
条件B	120	100	1	120	(90)	-30	12

表-2 中温乾燥スケジュール

ステップ	乾球温度	湿球温度	温度差(℃)	時間(h)
1	70	60	10	9
2	70	55	15	6
3	70	50	20	6
4	70	45	25	6
5	70	40	30	432
6	-	-	-	12

合計471時間（19.6日間）

3 結果

各処理後の条件A及びBの材面割れの長さの結果を表-3に示す。高温セット後よりも中温乾燥後の材面割れの長さが増加していたが、昨年度実施した材長1m材の材面割れの長さを2倍にして、今年度と比較したところ、整形後では大差ない結果となった(図-2)。

整形後の条件A及びBの材面割れの長さを図-3に示す。条件Aよりも条件Bのバラツキは大きい結果となったが中央値では約160cmとほぼ同じ値になった。

したがって、減圧蒸気高温セット処理材(材長2m)は、現在推奨されている蒸気高温セット処理材と同等の割れ抑制効果があったと思われる。次年度は、曲げ強度試験を実施し、熱劣化による曲げ強さの低下の有無を確認するとともに、各処理後の含水率も確認する計画である。なお、中温乾燥における乾湿球温度の経過を図-4に示す。

表-3 各処理後の条件A及びBの材面割れ長さ

材面割れ長さ (2m材4面のcm)	高温セット後		中温乾燥後		整形後	
	条件A	条件B	条件A	条件B	条件A	条件B
平均値	36	35	198	187	142	147
最小値	0	0	18	55	0	26
最大値	215	121	593	268	219	222
標準偏差	47	37	119	50	63	59
変動係数(%)	133	106	60	27	44	40
個数	18	18	18	18	18	18

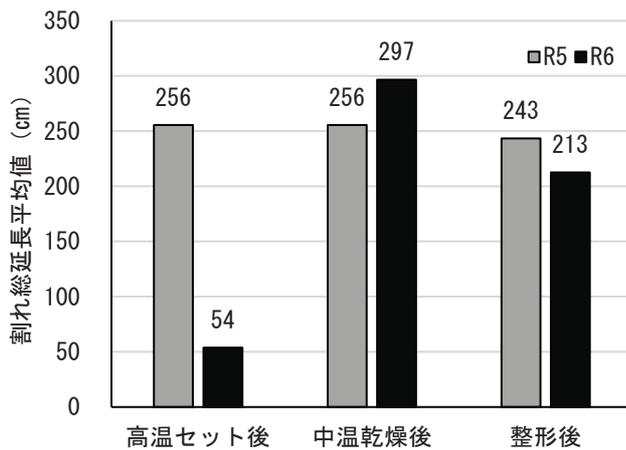


図-2 整形後の材面割れの長さ

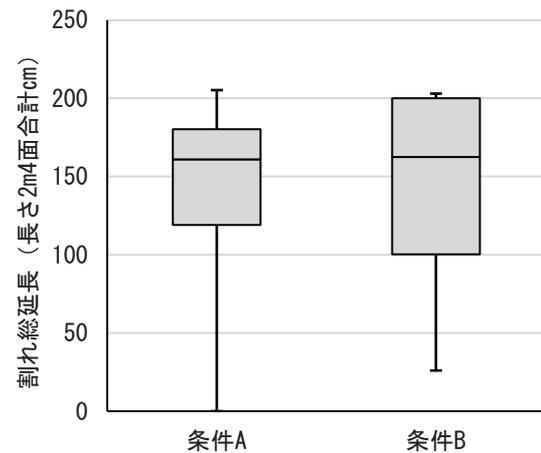


図-3 整形後の材面割れの長さ

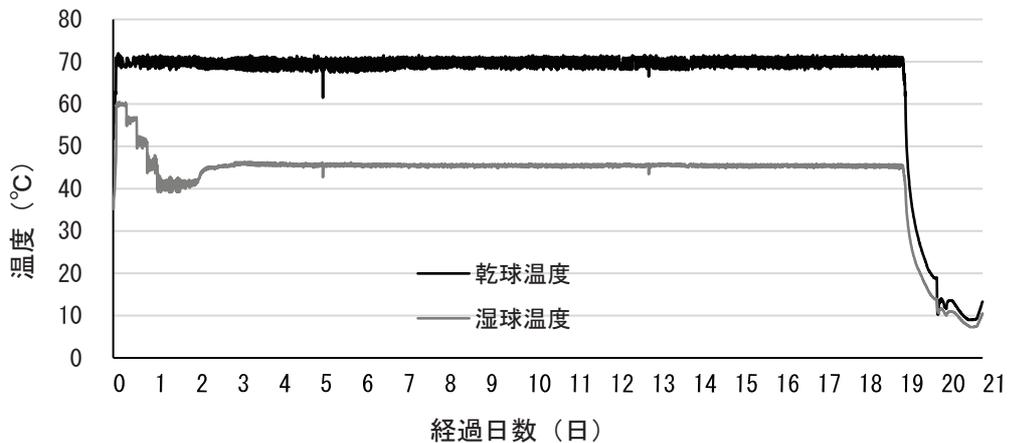


図-4 中温乾燥における乾湿球温度の経過

大径丸太からの 210 材木取りの検討

木材部 小池直樹

大径化に伴い210材の採材可能枚数は増加し、採材率も上昇傾向が期待できることを示した。

キーワード：大径材、枠組壁工法、ツーバイフォー

1 はじめに

長野県のカラマツ人工林は高齢級化が進んでおり今後大径材の流通が増えると予想され、枠組壁工法構造用製材寸法形式 210（以下 210 材）等幅広材を採材するうえでは有利な環境になると考え、木取り案と採材効率を検討したので報告する。

本研究は県単課題「大径A材丸太を活用した高剛性・高強度梁桁材の開発とその性能評価」（令和6年～10年）として実施した。

2 検討方法

採材は心持ちタイコ材を製材したのち小割し、210材を可能な限り多く取る木取りを基本とした。検討対象の大径丸太は末口直径 30cm から 60cm とし、採材寸法は 210；幅 250mm、208；幅 200mm、206；幅 150mm、204；幅 100mm、厚さは全て 50mm とした。また 210材のみの木口面積合計を丸太木口面積で割って 210採材率を、全製材木口面積を丸太木口面積で割って最大採材率を算出した。

3 結果

丸太直径と採材率及び 210材の採材枚数の関係を図-1に、検討した木取り図一覧を図-2に示す。直径 30cm では最大 3枚しか採材できなかった 210材が、直径 60cm になると最大 19枚採材可能になることがわかる。また大径化に伴い最大採材率と 210採材率ともに上昇傾向が期待できることが示された。

なお、丸太の樹幹内ヤング係数分布をもとに採材位置ごとの 210材のヤング係数は推定可能であり、県産カラマツの場合の推定結果については当センター発行のミニ技術情報 No.55 として公開済みである。

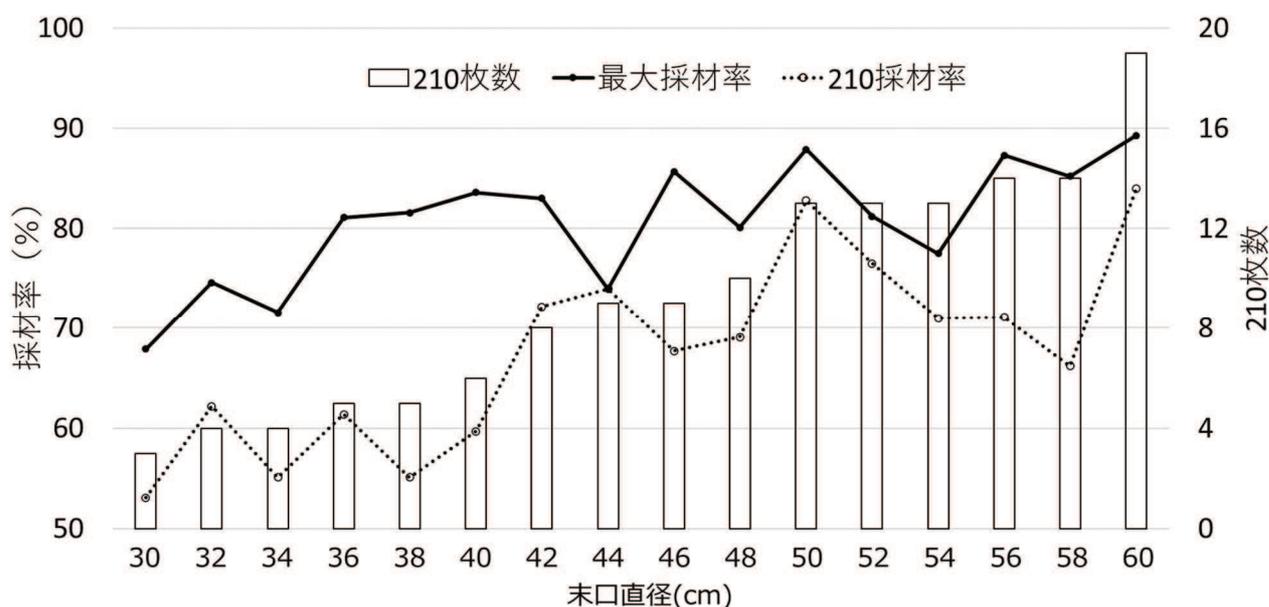


図-1 丸太直径と採材率及び 210材の採材枚数

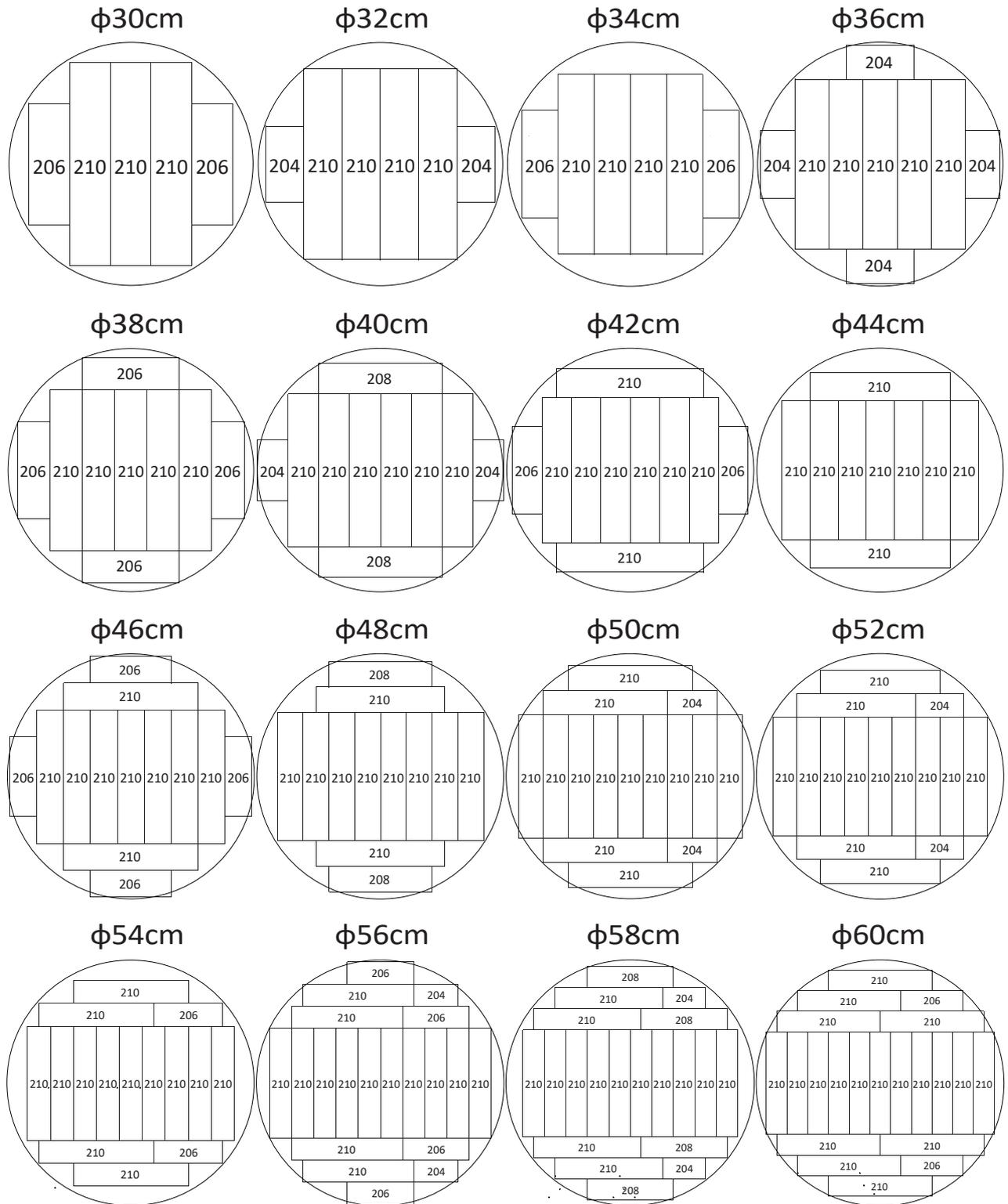


图-2 210 材木取り図

川上採種園のカラマツ精英樹の材質（４） —樹幹解析—

木材部 小池直樹

採種園のカラマツ精英樹の樹幹解析を行った。その結果、信州大学手良沢山演習林のカラマツと比較すると外周部の肥大成長量の低下は顕著でなかった。

キーワード：カラマツ、精英樹、樹幹解析

1 はじめに

長野県が管理するカラマツ採種園精英樹の材質についての調査を昨年度から引き続き実施したので同タイトルで報告する。本稿（４）では強度試験に先立ちクローンごとの肥大成長パターンを明らかにするため簡易な樹幹解析を行った。本研究は県単課題（令和6年～10年）として実施した。

2 試験方法

供試木と玉切り方法については令和4年度業務報告90p.に示した通り、年輪幅は令和5年度業務報告88p.に示した繊維傾斜度測定用円盤を用いて髄を通る直線上でデジタルノギスで計測し髄を挟んだ両側の年輪幅平均値を樹幹解析に供した。解析ソフトはStem Density Analyzer¹⁾を使用した。なお、樹高情報が得られなかったためクローン名「北佐久4」を除き一律樹高を25mとして、断幹されていた「北佐久4」は樹高5mとして解析した。

3 結果

作製した樹幹解析図を図-1～7に示す。なお、付記した年輪数は1番玉元口で確認したものである。

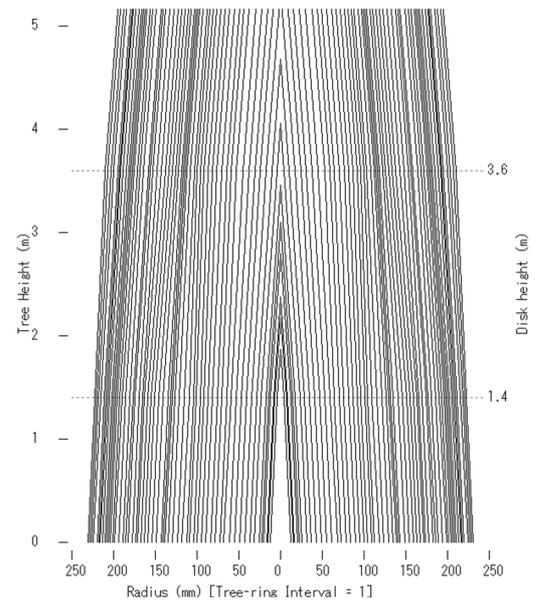


図-1 白田5 (年輪数 55)

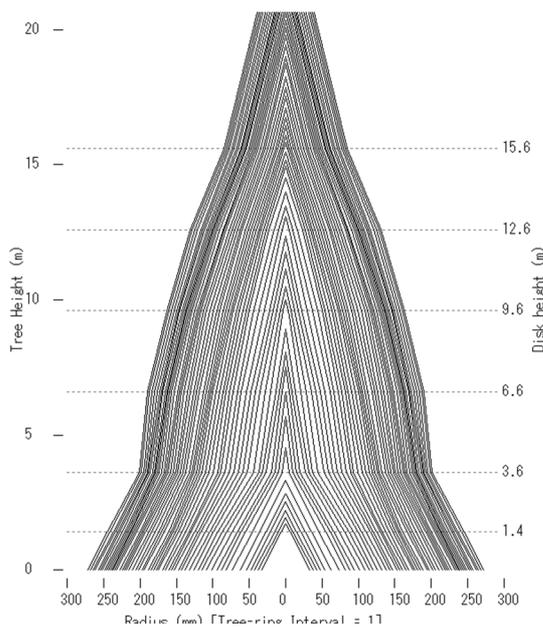


図-2 南佐久2 (年輪数 54)

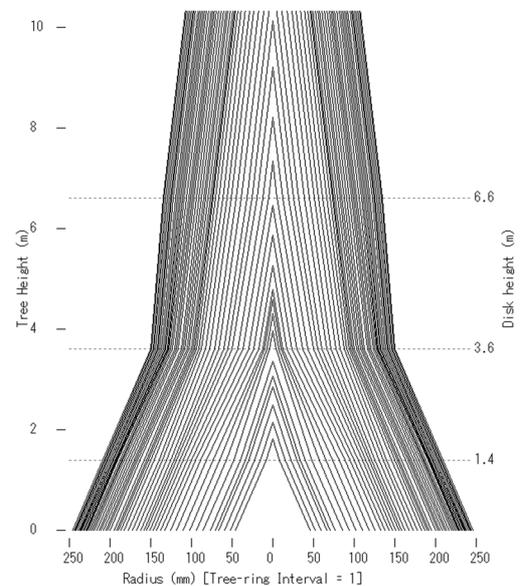


図-3 南佐久12 (年輪数 53)

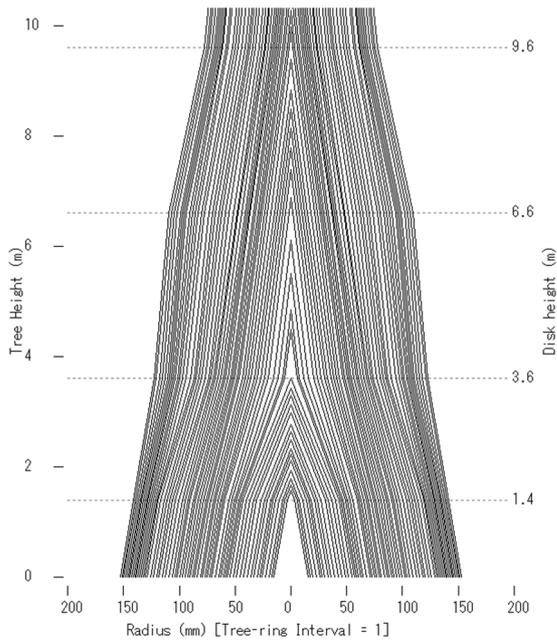


図-4 岩村田 8 (年輪数 62)

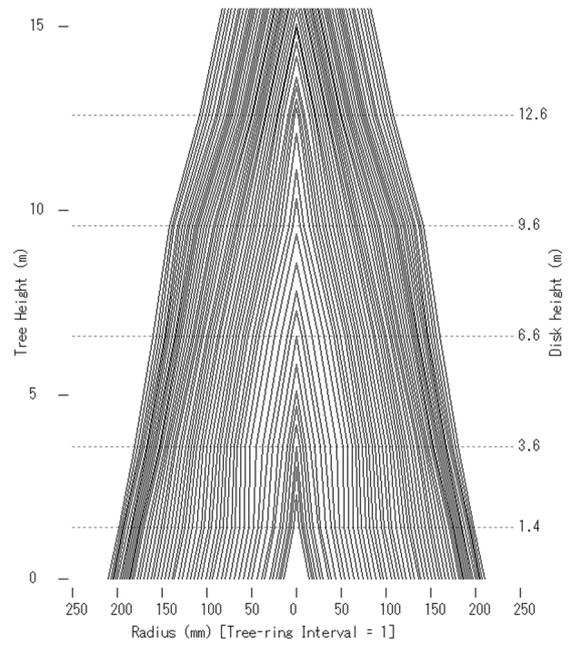


図-5 岩村田 38 (年輪数 55)

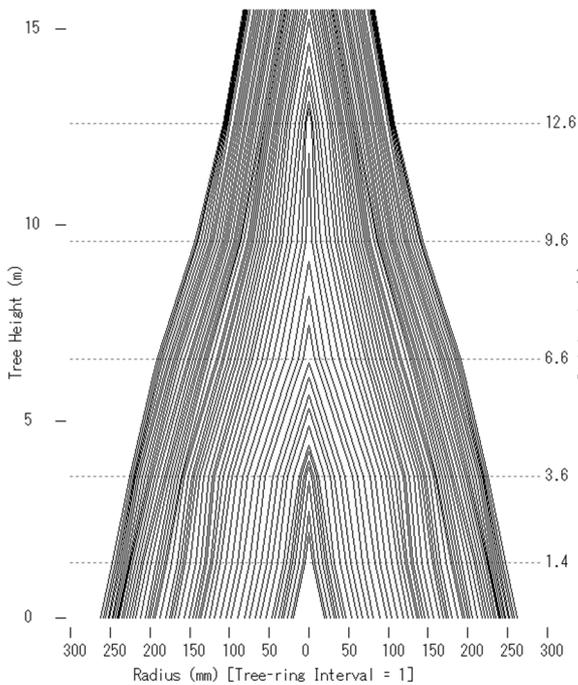


図-6 諏訪 4 (年輪数 55)

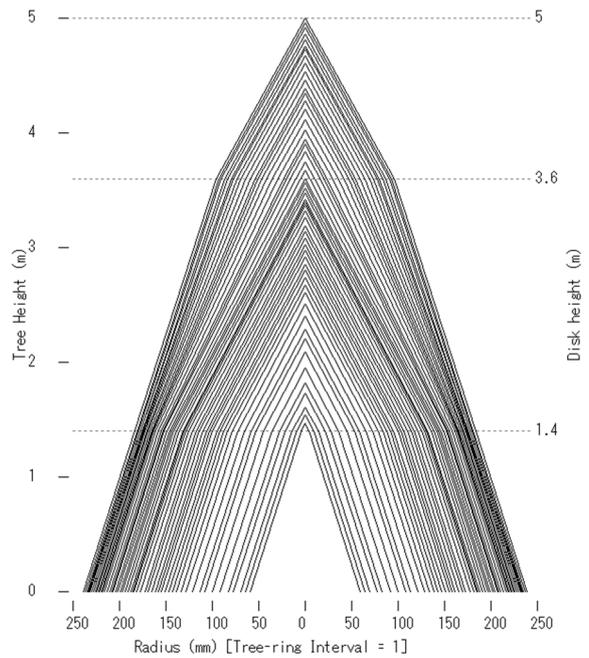


図-7 北佐久 4 (年輪数 53)

本年度業務報告別稿で報告している信州大学手良沢山演習林のカラマツと比較すると外周部の肥大成長量の低下は顕著でなく、臼田 5、南佐久 2、岩村田 38、諏訪 4 ではおおよそ 2mm 以上の年輪幅が最外層まで維持されていた。南佐久 12 では林齢 38 年生以降、岩村田 8 では 47 年生以降、北佐久 4 では 41 年生以降に年輪幅が 2mm を下回ったが 1mm を下回ることにはほぼなかった。また諏訪 4 (図-6) や北佐久 4 (図-7) で顕著だが樹幹方向で肥大成長量の低下の度合いが異なる例が確認できた。極めて疎な立木密度で一律管理されている採種園において、個々の精英樹の近年の肥大成長量の低下率が異なる要因が遺伝的なものかどうかは今後検討されるべきと考える。

引用文献： 1)Nobori, Y. et al. Development of Stem Density Analyzing System Combined X-ray Densitometry and Stem Analysis, Journal of Forest Planning, 2004, 10, 2, pp. 47-51

信州大学農学部附属手良沢山演習林のカラマツ及びヒノキ（6） —樹幹解析—

木材部 小池直樹

カラマツとヒノキの強度等試験用材の樹幹解析を行った。その結果、近接地で生育した両樹種において樹種間の肥大成長パターンの違いが可視化され、カラマツにおいては同一林分であっても肥大成長パターンには若干の個体差が存在することが明らかになった。

キーワード：カラマツ、ヒノキ、樹幹解析

1 はじめに

長野県のカラマツ、ヒノキ人工林は高齢級化が進んでおり今後大径材の流通が増えると予想され、これに対応する各種試験を昨年度に引き続き実施したので同タイトルで報告する。

本稿（6）では強度試験に先立ち試験木の成長履歴を明らかにするために行った簡易な樹幹解析結果を報告する。本研究は長野県と信州大学の包括連携協定に基づき実施し、また県単課題（令和6年～10年）としても実施した。

2 試験方法

信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター（AFC）手良沢山ステーション演習林（伊那市手良沢岡、図-1）のカラマツとヒノキ2立木ずつを供試した。

カラマツは標高 1040m 地点の 1964 年植栽とされる林分において 2023 年 1 月に伐採し、ヒノキは標高 1030m 地点の 1933 年植栽（90 年生）を 2023 年 5 月に伐採した。

伐採木は全て長さ 4.1m で玉切りし 4 番玉までを髄を通る板材に製材後、無欠点部分で曲げ試験用板材を採材した際にデジタルノギスを用いて年輪幅を測定し、髄を挟んだ両側の年輪幅平均値を樹幹解析に供した。解析ソフトは Stem Density Analyzer¹⁾を使用した。

3 結果

作製した樹幹解析図を図-2～5 に示す。なお、付記した年輪数は 1 番玉元口で確認したものである。近接地で生育した両樹種において樹種間の成長の違いが可視化された。カラマツは丸太外側の年輪幅の狭さが際立つ一方、ヒノキは立木最下部髄近くの年輪が狭く、ヒノキは比較的均一な成長が伐採時まで続いていた。

カラマツ 1 は林齢 51 年生以降年輪幅がほぼ 2mm 未満となったが 1mm は下回らず、カラマツ 2 は 32 年生以降年輪幅がほぼ 2mm 未満となり 58 年生以降はほぼ 1mm 未満となった。またカラマツ 1 の 1 番玉から 3 番玉にかけてのみ 24 年生から 30 年生にかけて肥大成長量の低下が見られ、同一林分内における肥大成長パターンには若干の個体差が存在することが明らかになった。

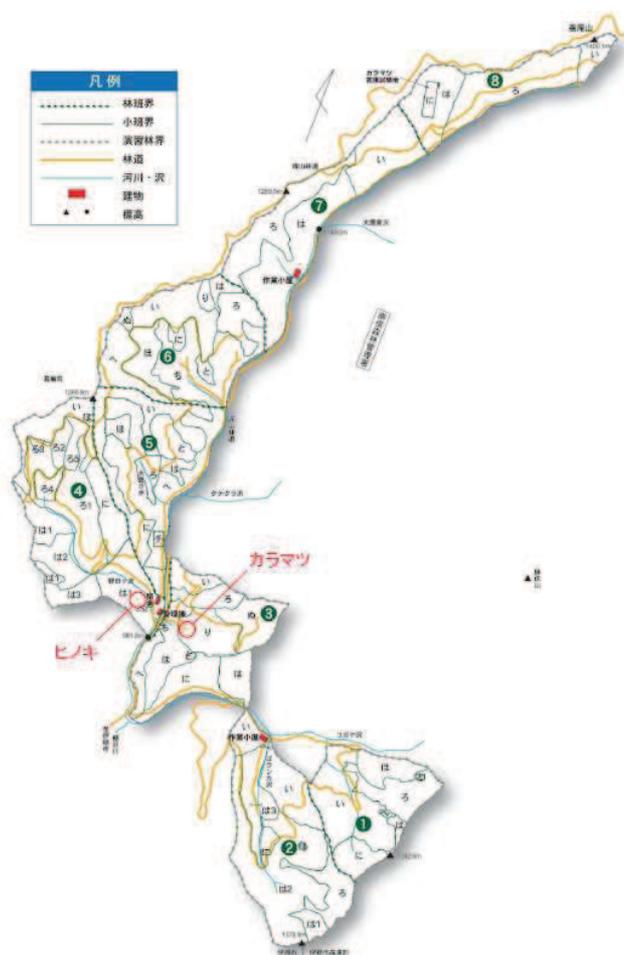


図-1 手良沢山演習林地図と伐採箇所

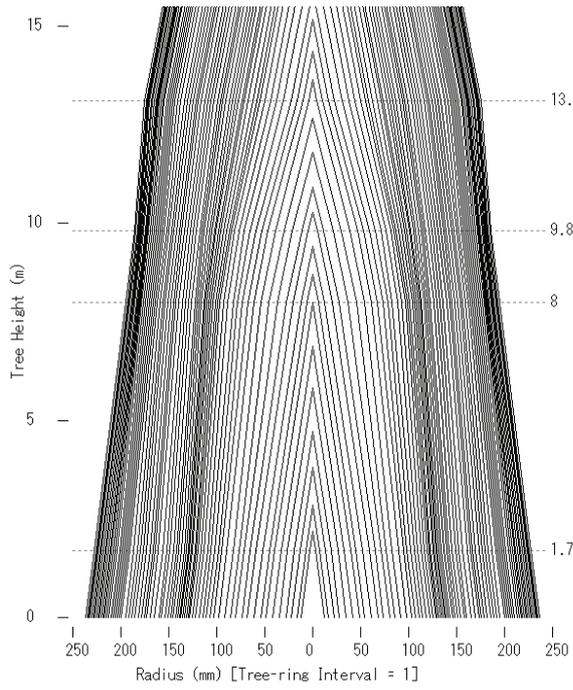


図-2 カラマツ 1 (年輪数 68)

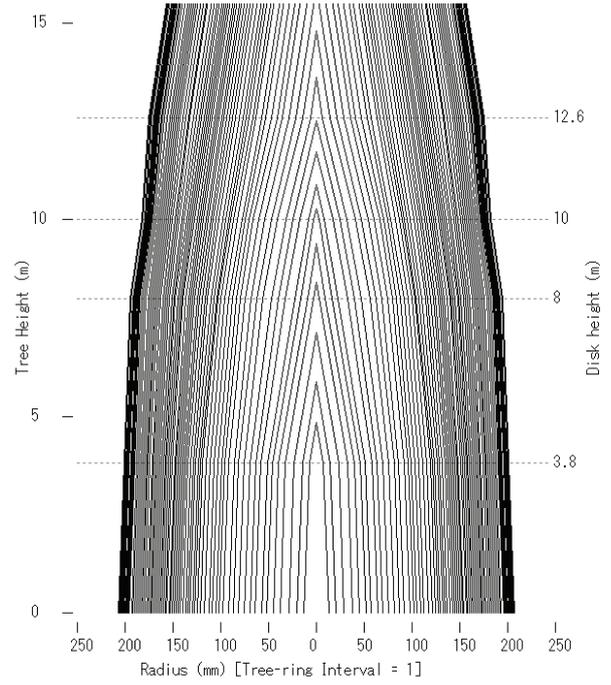


図-3 カラマツ 2 (年輪数 67)

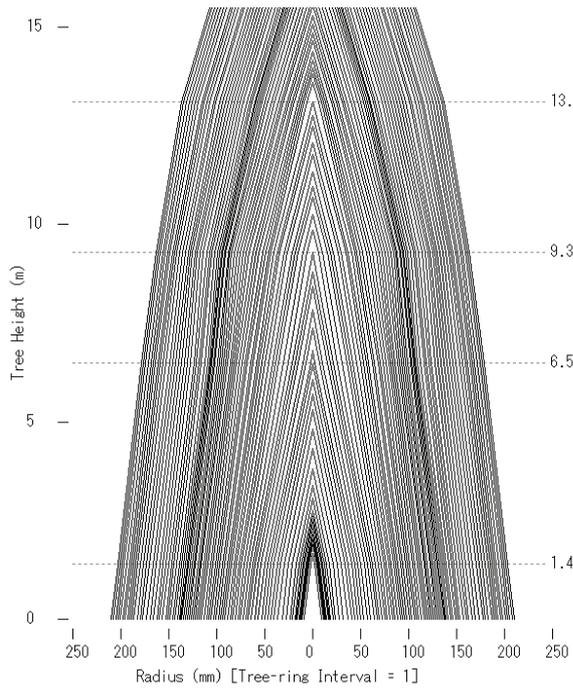


図-4 ヒノキ 1 (年輪数 78)

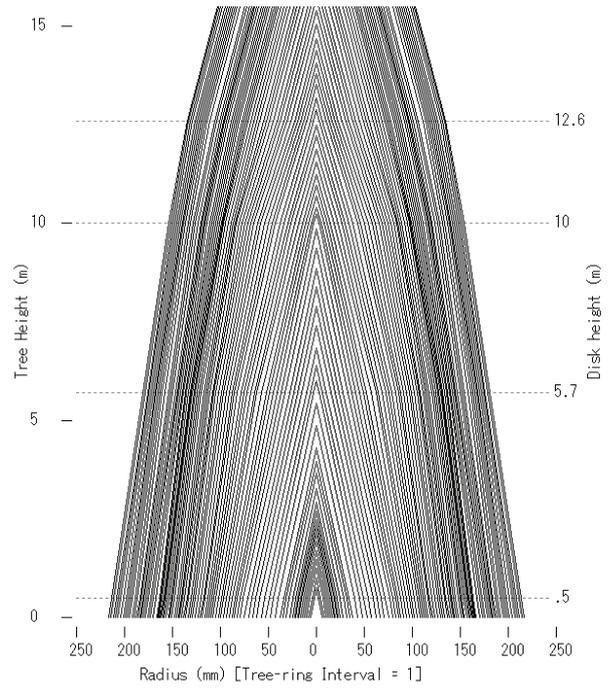


図-5 ヒノキ 2 (年輪数 84)

引用文献： 1)Nobori,Y. et al. Development of Stem Density Analyzing System Combined X-ray Densitometry and Stem Analysis, Journal of Forest Planning, 2004, 10, 2, pp. 47-51

信州大学農学部附属手良沢山演習林のカラマツ及びヒノキ（7） —カラマツの半径方向曲げ強度分布—

木材部 小池直樹

長野県産カラマツの樹幹内曲げ強度分布調査を行った。その結果、全乾密度、曲げヤング係数、曲げ強度は髄から樹皮に向かってほぼ直線的に増大した後に最外または最外から2番目の試験体で減少した。

キーワード：カラマツ、曲げヤング係数、曲げ強度、強度分布

1 はじめに

本稿（7）では長野県産カラマツの樹幹内半径方向曲げ強度分布について報告する。

2 試験方法

供試したカラマツ丸太の諸元は本稿（1）¹⁾表-1の通り、樹幹解析結果は本稿（6）に示した通りである。立木2本から得た4番玉までの計8本の丸太は髄を通る板材に製材後、可能な限り節等の欠点の少ない箇所では長さ50cmにクロスカットし半径方向に連続して無欠点小試験体を作成した。小試験体は恒温恒湿室内に約1か月間静置し重量が恒量に達したことを確認した後JIS Z 2101 (2009)に準拠し静的曲げ試験を行った。曲げ試験体の寸法は25mm (R方向)×25mm (T方向)×400mm (L方向)としたが、樹皮に近く25mm断面で採材できないものについては10mm (R方向)×10mm (T方向)×160mm (L方向)とした。支点間距離は辺長の14倍とした。加力には引張圧縮試験機（ミネベアミツミ株式会社、最大容量：50kN）を用いた。試験体中央両側中立軸にヒートンを設置しワイヤーを介して変位計（東京測器研究所、SDP-50ET）でスパン中央部の両側平均たわみを測定し見かけの曲げヤング係数を算出した。また曲げ試験後、非破壊部から試験片を採取し全乾密度を測定し半径方向の分布を調査した。

諸形質間の相関関係の有意性はスピアマンの順位相関係数検定により確認し、 $p < 0.05$ を統計的に有意であると判断した。

3 結果

立木ごとの諸形質の半径方向分布を図-1、2に示す。なお、図中の値は髄を挟んだ両側試験体の平均値である。2立木とも平均年輪幅は髄から樹皮に向かって狭くなる傾向が確認できた。全乾密度、曲げヤング係数、曲げ強度は髄から樹皮に向かってほぼ直線的に増大した後に最外または最外から2番目の試験体で減少したが、辺材の強度低下²⁾の影響と考えられる。

比曲げヤング係数の分布は立木・番玉によって異なり、立木 No. 2 は全ての番玉で髄から樹皮に向かってほぼ直線的に増大したが、立木 No. 1 は髄付近で外側に向かっていったん増大した後の変動パターンが番玉によって異なり、1番玉では心材部で減少が始まっている。

比曲げ強度は2立木とも4番玉を除いて未成熟材部で外側に向かっての直線的な上昇と成熟材部での安定と考えられる分布パターンが確認できたが、ここでも最外または最外から2番目の試験体では減少した。また2立木とも4番玉では髄付近で外側に向かっていったん減少した後に増大したが、報告例のない分布パターンと思われ原因は不明である。

また全小試験体(n=91)の諸形質間の相関関係を図-3に示す。平均年輪幅と密度、曲げヤング係数、曲げ強度間に負の相関が認められたが、未成熟材部の影響が強く現れたものと思われる。密度と曲げヤング係数および曲げ強度、また曲げヤング係数と曲げ強度間には強い正の相関が認められた。

引用文献：1)小池直樹ほか、長野県林業御総合センター令和5年度業務報告、pp. 78-79 (2024)

2)重松頼生-、木材工業、45、10、2-8 (1990)

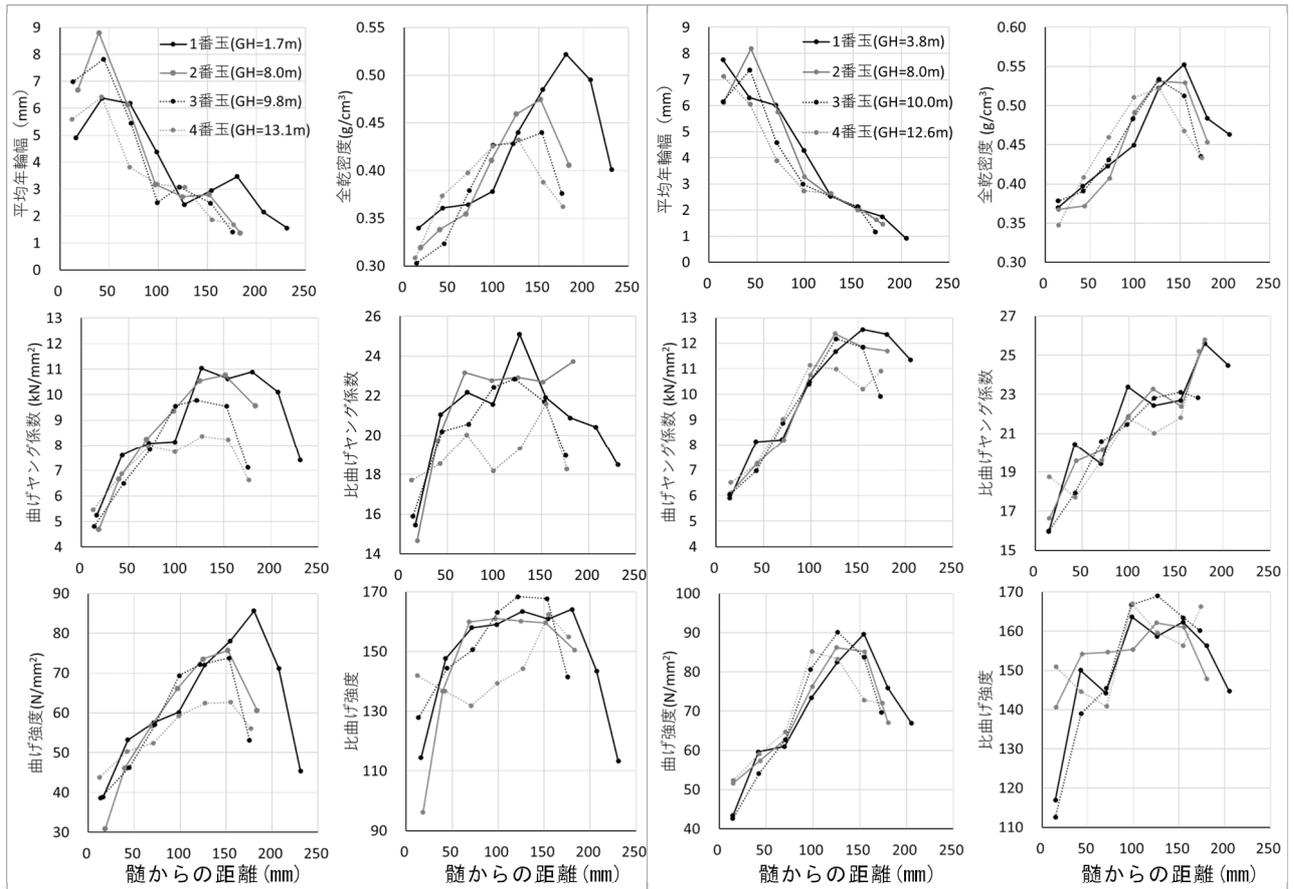


図-1 立木 No. 1 の諸形質の半径方向分布

図-2 立木 No. 2 の諸形質の半径方向分布

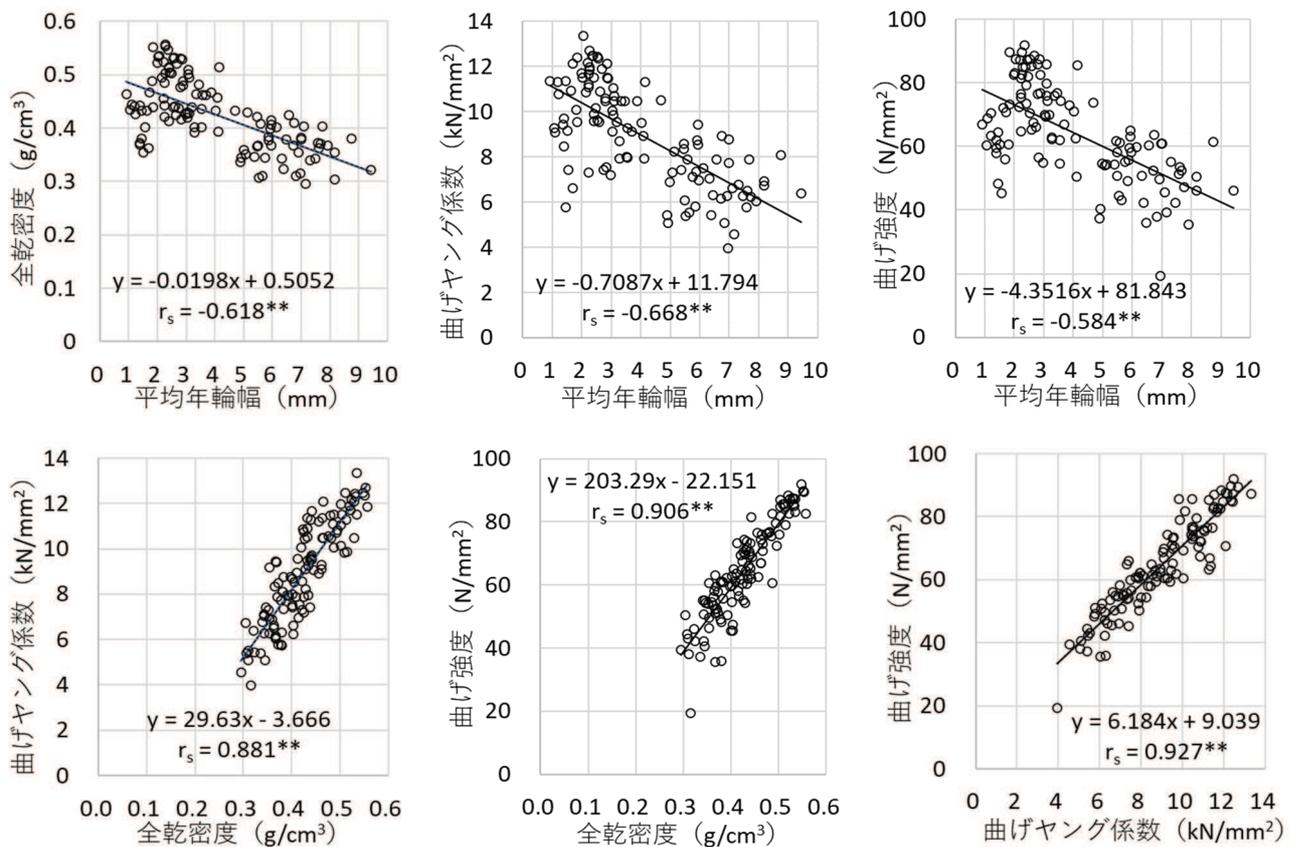


図-3 全小試験体の諸形質間の関係 (**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発（1）

—天然乾燥後のビニールハウス乾燥試験—

木材部 奥原祐司・吉田孝久・毛受誠・山内仁人・小池直樹

天然乾燥した県産広葉樹板材（厚さ 40 mmのクリ、ケヤキ、ナラ、クヌギ）をビニールハウスに季節ごとに設置時期を変更して乾燥試験を実施した。その結果、ビニールハウス内側の平均温度は外側よりも高い温度となり、また、平均湿度は外側よりも内側の方が低い環境となったが、10月から乾燥を開始した4樹種全ての試験材は、5カ月間経過しても推定含水率は10%以上であった。

キーワード：広葉樹、天然乾燥後、ビニールハウス乾燥

1 はじめに

県内の民有林面積の約4割を占める広葉樹の主な用途は薪やチップであり家具用材の利用は少ないことから県産広葉樹材を扱う製材・流通業者が少なく、希望する材の入手が難しいのが現状である。また、家具用材として利用するには、含水率10%未満が望ましいことから、蒸気式木材乾燥機により実施しているが、近年の化石燃料の高騰等により乾燥コストの増大が課題となっている。そこで、低コスト乾燥方法としてビニールハウス（以下、VHと表記）乾燥に着目し、かつ、木工家等の製造者が自ら乾燥することを想定し、4樹種の広葉樹板材を天然乾燥により含水率15%にした後に、VH乾燥による開始時期を季節ごとに変更し、含水率10%以下になる日数を試験した。なお、本試験は国交課題（令和4年～令和8年度）の一環として実施した。

2 試験の方法

4樹種（クリ、ケヤキ、ナラ、クヌギ）の原木をだら挽きより、板材（40mm厚）に製材し、木材試験棟において約1年間の天然乾燥を実施した。4樹種から5枚の試験材を無作為に抽出し、内1枚を図-1のとおり切り出し全乾法による含水率により、3つの含水率試験片の平均値を乾燥前の初期含水率とした。また、質量測定用試験体は、両木口をシリコンでシーリングした後に質量を測定し、10月（秋開始分）、1月（冬開始分）、4月（春開始分）、7月（夏開始分）に区分した。なお、全試験体は屋内に積みみ状態で開始時期まで設置した。

令和6年10月1日からVH内に4樹種の実大材試験体各1枚及び質量測定用試験体各1枚を設置し試験を開始した（図-2）。なお、約2週間ごとに質量測定用試験体の質量を測定し含水率の経過を推定した。

VHは、木材試験棟南側に設置（写真-1）し、寸法は図-3のとおり。ビニールの素材は、農業用POフィルム5層構造（厚さ0.15mm）の1重とし、ビニールはスプリングにより固定した。VHの地面には、防湿シート及び防草シートを設置し、地面には2cmほどの隙間があり完全な密閉状態ではない。また、VH内外の温度及び湿度を5分間隔で測定した。なお、換気用の煙突は作動しないように設定した。

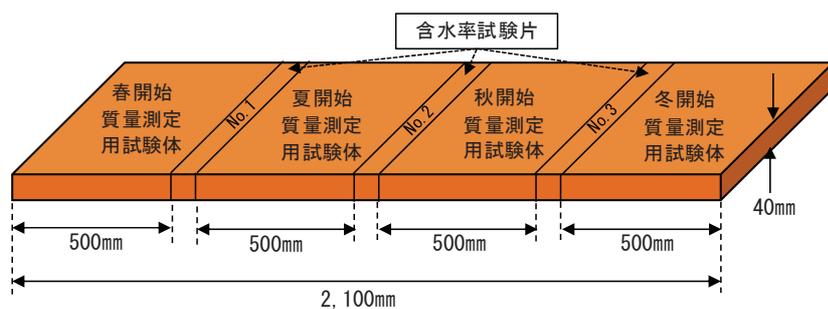


図-1 試験材の切り出し位置

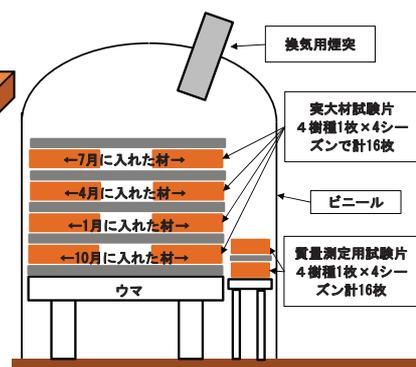


図-2 試験材の設置場所

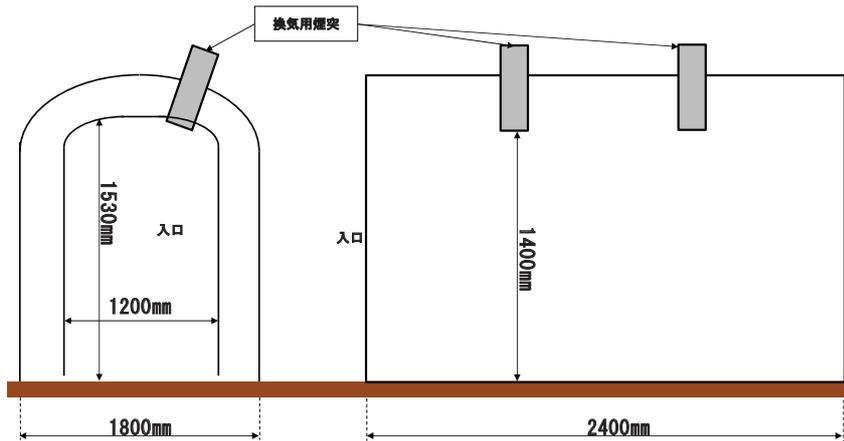


図-3 ビニールハウスの寸法



写真-1 ビニールハウス

3 結果

VH内外の月平均の温度及び湿度を図-4及び図-5に示す。平均温度はVH外側よりも内側が高くなったが、11月から1月までの冬季間は最大2度の差となった。一方、平均湿度は、降雨等による影響が少ないことからVH外側よりも内側が低い結果となった。

10月（秋開始分）から開始した推定含水率の経過を図-6に、1月（冬開始分）から開始した推定含水率の経過を図-7に示す。平均温度が高いことから1月開始よりも10月開始の方が最初の1カ月の含水率低下は、4樹種とも大きくなった。秋開始であっても5カ月経過後の推定含水率10%を下回っていなかった。

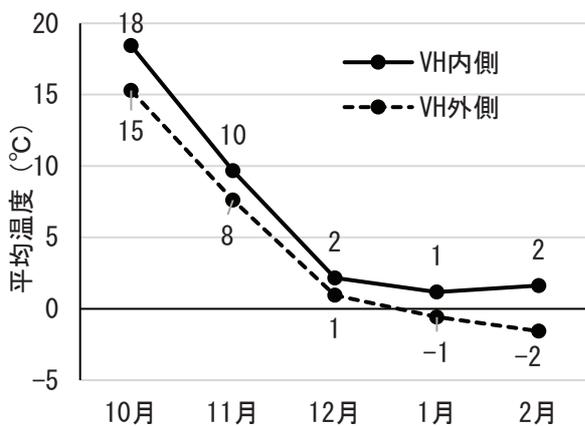


図-4 VH内外の平均温度

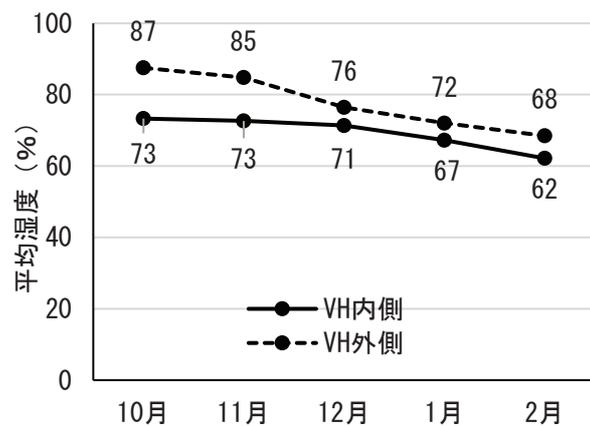


図-5 VH内外の平均湿度

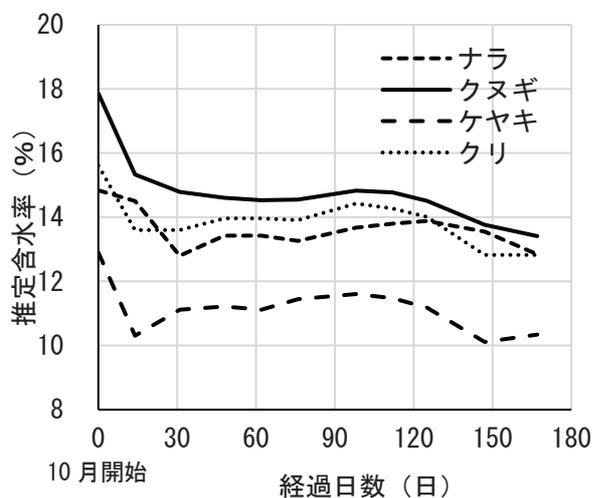


図-6 10月（秋開始分）からの含水率経過

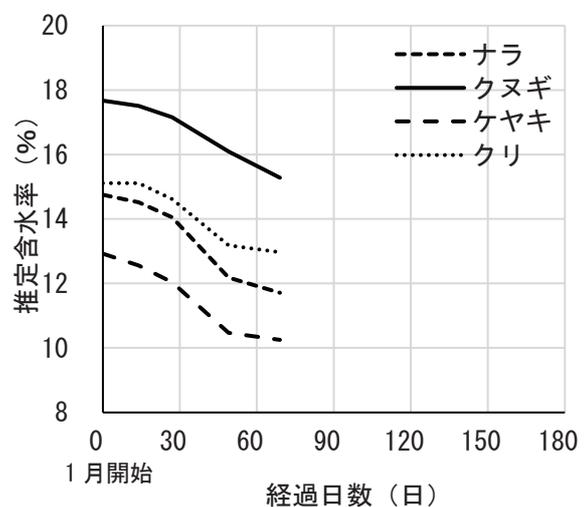


図-7 1月（冬開始分）からの含水率経過

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発（2）

－クリ及びコナラの混載による人工乾燥試験－

木材部 奥原祐司・吉田孝久・山口健太※・毛受誠・小池直樹・山内仁人

広葉樹の資源量が多い大北地域に蒸気式木材乾燥機が導入されたことにより、今後、広葉樹の人工乾燥が実施されるため、クリ板材（厚さ 25、32、36、40 mm）とコナラ板材（厚さ 32 mm）を混載し含水率スケジュールによる人工乾燥を実施した。その結果、クリの 36 mm と 40 mm を除いて目標含水率 8% になっていた。

キーワード：クリ、コナラ、人工乾燥

1 はじめに

県内民有林面積の約 4 割を占める広葉樹の主な用途は薪やチップであるが、県産広葉樹材のニーズが高まりつつある。また、大北地域においては広葉樹の資源量は多く、かつ、蒸気式の人工乾燥機が導入されたことをきっかけに県産広葉樹材の人工乾燥タイムスケジュールの確立が望まれている。そこで、昨年度実施した異樹種混載による天然乾燥後の仕上げ人工乾燥試験（R 5 業務報告 P98-99）において含水率が低下し難く、かつ、大北地域で入手し易いクリとコナラの混載による人工乾燥試験を実施した。なお、本試験は国交課題（令和 4 年～令和 8 年度）及び北アルプス森林組合との技術協力により実施した。

2 試験の方法

供試材は、大北地域のクリ板材（厚さ 25、32、36、40 mm）とコナラ板材（厚さ 32 mm）とした。テストピース等を図-1 のとおり設定し、初期含水率と全乾密度は①②③の平均値とした。乾燥機内の小扉近くにテストピースを設置し、約 24 時間ごとに質量を測定し、推定含水率を求めた。最終目標含水率を 8% にするためのスケジュールは表-1 とした。なお、クリの 32 mm 材の推定含水率を目安とし各ステップの目標含水率以下になったら次のステップに移行した。試験終了後にテストピースの長さ方向の中心部から試験片を切り出し、全乾法による含水率及び水分傾斜（5 分割）並びに全乾密度を測定した。乾燥末期及び調湿終了後に応力を確認するため、テストピースから試験片を切り出し、厚さ方向に 3～4 分割した。乾燥前後において板材の幅及び厚さの寸法をノギスで測定し収縮率を求めた。

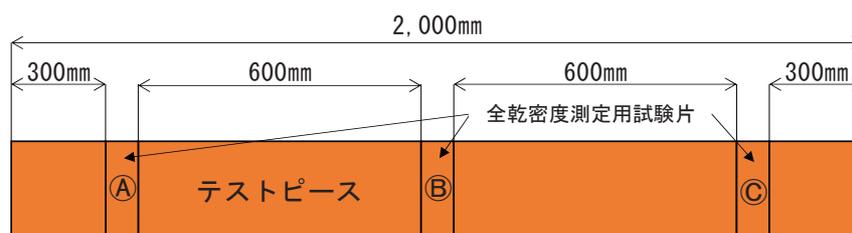


図-1 テストピース等切り出し位置

表-1 乾燥スケジュール

含水率 (%)	DBT	WBT	ΔT	備考
生材～40	55	51	4	14% (EMC)
40～35	55	48	7	10.7%
35～30	60	50	10	8.7%
30～25	65	50	15	6.4%
25～20	70	50	20	4.9%
20～6	75	50	25	3.8%
イコライジング	75	65	10	8.2%
コンディショニング	75	67	8	9.5%
クーリング	0	0	0	

※ 北アルプス地域振興局

3 結果と考察

人工乾燥を19日間実施(図-2)し、調湿後の含水率及び全乾密度を表-2に水分傾斜を図-3示す。クリ36mm及び40mm以外は目標含水率に達しており、また、水分傾斜も少ないことから、クリ及びコナラの25mmと32mmの板材は混載可能と思われる。推定平均含水率の経過を図-4に示す。初期含水率及び全乾密度に違いは見られたが、クリ及びコナラの25mmと32mmの板材は同様に含水率が低下していた。

乾燥末期及び調湿終了時の応力を写真-1に示す。乾燥末期においては、圧縮応力が見られたが、調湿後の仕上がり時には圧縮応力が小さくなっていった。広葉樹の板材を小割にする場合は、調湿(コンディショニング)が必要であるが、今回は、若干、圧縮応力が残存していることから屋内に2週間程度の静置期間が必要と思われる。

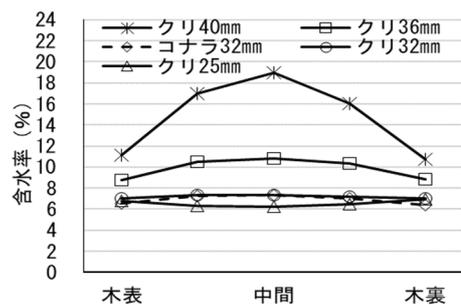
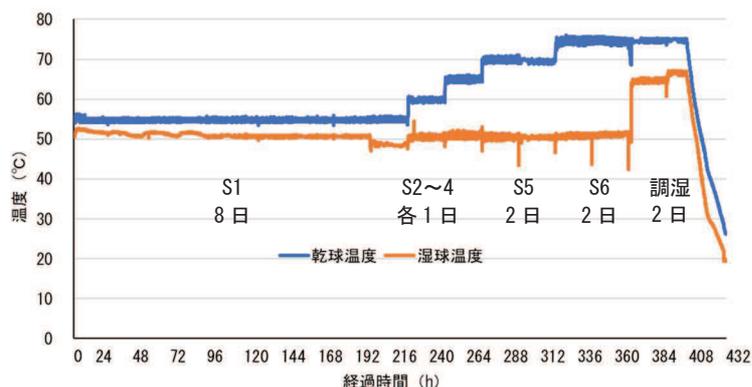


図-3 水分傾斜

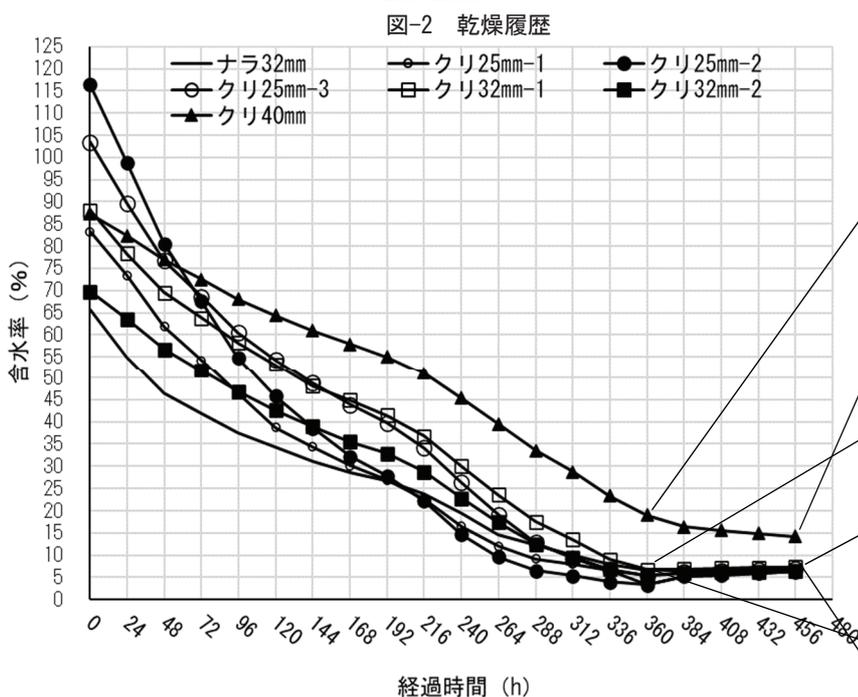


図-4 推定含水率の経過

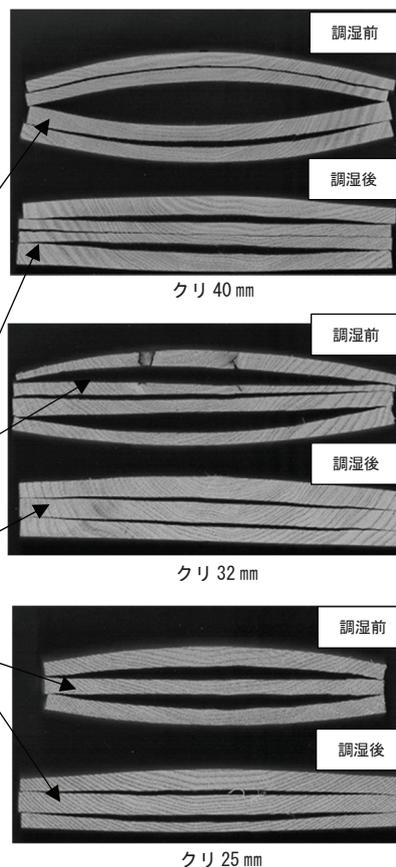


写真-1 応力の状況

表-2 仕上がり含水率と全乾密度

	クリ25mm-1	クリ25mm-2	クリ25mm-3	クリ32mm-1	クリ32mm-2	クリ32mm-3	クリ36mm	クリ40mm	コナラ32mm
仕上がり含水率 (%)	6.2	6.3	6.8	7.0	6.5	7.3	13.0	14.2	6.9
全乾密度 (kg/m ³)	522	500	485	533	496	519	497	531	761

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発（3）

－コナラ及びシラカシ等の混載による人工乾燥試験－

木材部 奥原祐司・吉田孝久・毛受誠

コナラ及びシラカシの板材（板厚 30 mm程度）を混載し、含水率スケジュールによる蒸気式人工乾燥（最高温度 80℃、乾燥工程 12 日、調湿 1 日、クーリング 1 日、計 14 日間）を実施した。その結果、仕上がり平均含水率はコナラ 7.0%、シラカシ 5.8%になり、乾燥応力も無かった。

キーワード：コナラ、シラカシ、人工乾燥、調湿

1 はじめに

広葉樹の板材を人工乾燥する場合、単一の樹種及び厚さによる乾燥は原木確保からも難しい状況にある。よって、異樹種、かつ、複数の板厚を混載することで効率的な人工乾燥が望まれている。そこで、広葉樹の小径木から板材を製材後、異樹種混載による人工乾燥試験により、その乾燥特性を把握した。なお、本試験は国交課題（令和 4 年～令和 8 年度）及び日置電機株式会社との技術協力により実施した。

2 試験の方法

日置電機株式会社周辺から伐採した小径木のコナラ、シラカシ、ケヤキを板材（厚さ 25～35 mm）に製材し試験材とした。試験材からコナラ 3 枚、シラカシ 2 枚、ケヤキ 1 枚をテストピースとし、図-1 のとおり試験片を切り出した。初期含水率及び推定全乾質量は、全乾密度及び含水率試験片の 2 カ所の内、高い数値を採用した。質量測定用試験片を乾燥機内の小扉近くに設置し、約 24 時間ごとに質量から推定含水率を求めた。

仕上げの含水率を 10%にするための含水率スケジュールは表-1 とし、最も高い推定含水率の試験片が各ステップの目標含水率以下になった時点で次のステップに移行した。

乾燥前後に質量測定用試験片の幅及び厚さをノギスで測定し収縮率を求めた。仕上げ含水率を確認するため、乾燥終了後に質量測定用試験片の長さ方向の中心部から試験片を切り出し、全乾法による含水率を求めた。

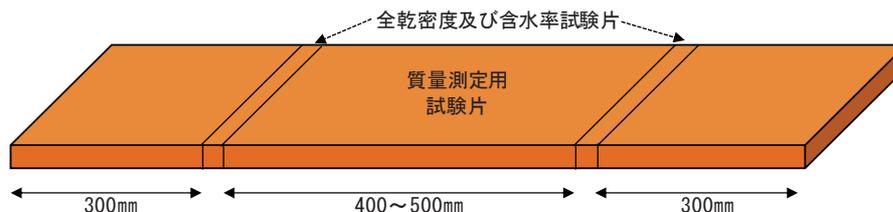


図-1 テストピースから試験片の切り出し位置

表-1 乾燥スケジュール

含水率 (%)	DBT	WBT	ΔT	備考
生材～40	55	51	4	14% (EMC)
40～35	55	48	7	10.7%
35～30	60	50	10	8.7%
30～25	65	50	15	6.4%
25～20	70	50	20	4.9%
20～15	75	50	25	3.8%
15～8	80	50	30	2.9%
イコライジング	80	70	10	8.2%
コンディショニング	80	75	5	11.6%
クーリング	0	0	0	ダンパー閉、スプレー弁閉

3 結果と考察

推定平均含水率の経過及び乾湿球温度履歴を図-2 に示す。

イコライジング終了後に質量測定用試験片の長さ方向の中心部から試験片を切り出し、厚さ方向に 3 分割したところ乾燥応力が見られなかったことからコンディショニングに移行せず送風 (24 時間) に移行し、乾燥日数は 14 日間となった。

初期含水率及び仕上がり含水率等を表-2 に示す。製材から当センターへの試験材の搬入までに時間経過があり、初期含水率が低下していた。コナラ 2 の含水率が最も高いことから乾燥スケジュール移行の基準とした結果、コナラ 2 以外は目標含水率 10% よりも大幅に低い含水率となったが、乾燥終了後、写真-1 のとおり乾燥応力は除去されていた。よって、小割して使用することが可能と思われる。

収縮率 (平均値±標準偏差) を表-3 に示す。シラカシの幅方向の収縮率が低い結果となったが、小径木から板材を製材したことにより板目部分が少なかったことが要因と推測する (写真-2)。

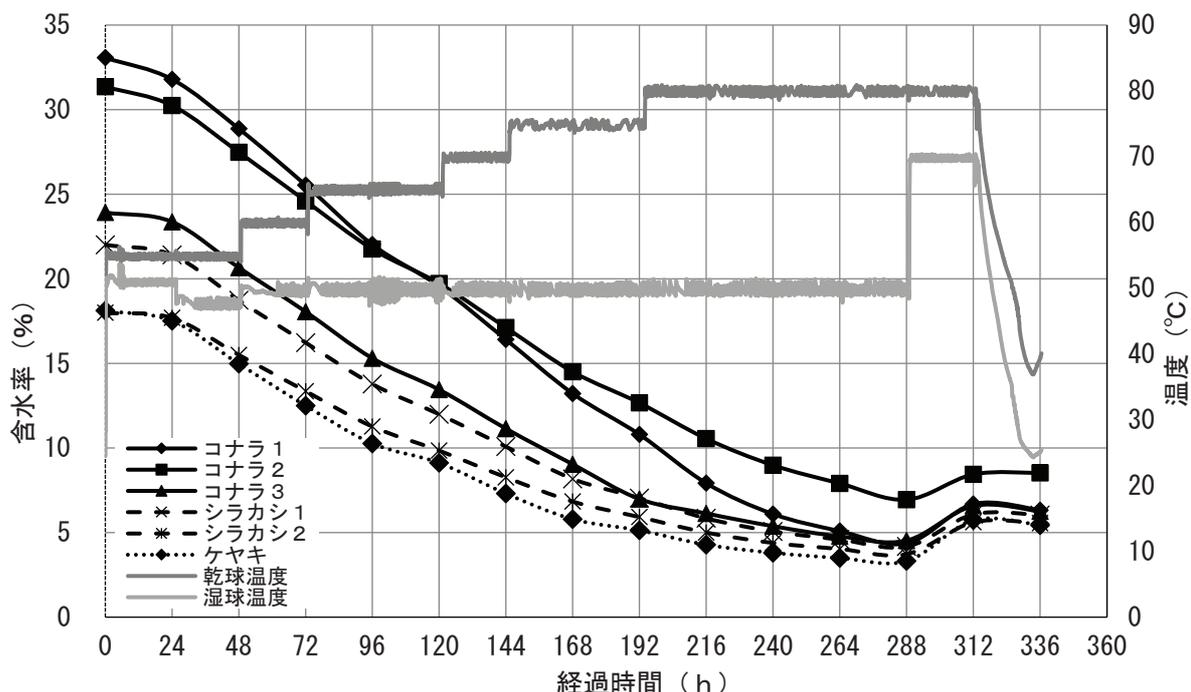


図-2 推定含水率の経過及び乾燥履歴

表-2 含水率及び全乾密度

	コナラ 1	コナラ 2	コナラ 3	シラカシ 1	シラカシ 2	ケヤキ
初期含水率 (%)	30.6	30.9	26.7	25.3	26.6	27.9
仕上がり含水率 (%)	6.3	8.5	6.2	6.0	5.5	5.4
全乾密度 (kg/m ³)	707	756	754	824	813	701

表-3 収縮率

	コナラ	シラカシ
幅方向 (%)	5.1±1.5	3.3±0.8
厚さ方向 (%)	3.1±1.4	3.0±0.1



写真-1 乾燥後の応力状況

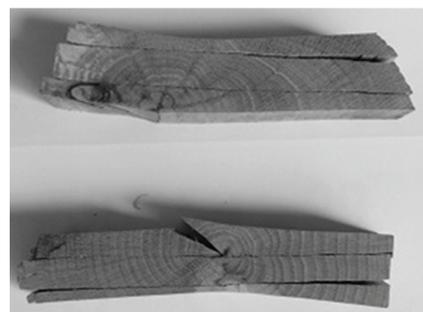


写真-2 シラカシ断面

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発（４）

－ミズナラの天然乾燥後の仕上げ人工乾燥試験－

木材部 奥原祐司・吉田孝久・毛受誠

人工乾燥コストの低減や乾燥日数の時間短縮を目的に、77日間天然乾燥したミズナラ板材（厚さ45mm）を目標含水率8%として仕上げ人工乾燥試験（最高温度75℃、13日間）を実施した。その結果、天然乾燥後の含水率28%のミズナラは人工乾燥により平均含水率は約10%となったことから乾燥日数を3日間延長することが必要と思われる。

キーワード：ミズナラ、仕上げ人工乾燥、45mm厚

1 はじめに

北アルプス地域は広葉樹の資源量が多く、かつ、蒸気式の人工乾燥機が導入されたことをきっかけに広葉樹材の利用拡大とこれに伴う人工乾燥タイムスケジュールの確立が望まれている。しかし、一方では化石燃料の高騰が継続しており乾燥時間を要する広葉樹の人工乾燥コストが課題となっている。そこで、本試験では天然乾燥により含水率を低下させた後に蒸気式乾燥機により仕上げ人工乾燥を実施することで乾燥コストの低減を試みた。なお、本試験は国交課題（令和4年～令和8年度）及び北アルプス森林組合との技術協力により実施した。

2 試験の方法

試験材は、大北地域のミズナラ板材（幅94～216、厚さ45mm、長さ2000mm）18枚を対象とした。天然乾燥は、令和6年7月31日から令和6年10月15日までの77日間、北アルプス森林組合の敷地内において実施した。その後、当センターに試験材を運搬し、内2枚からテストピースを3枚とその隣接部分から初期含水率を求めるための試験片を採材した。

乾燥機内の小扉近くにテストピースを設置し、約24時間ごとに質量を測定し推定含水率を求めた。

最終目標含水率を8%に設定し、表-1の乾燥スケジュールで乾燥を実施した。なお、ステップの切り替えは最も推定含水率が高いテストピースとした。試験終了後にテストピースの長さ方向の中央部において試験片を切り出し、全乾法による含水率と幅方向1/3区間を5分割して水分傾斜を測定した。

表-1 仕上げ人工乾燥スケジュール

含水率（ステップ）	DBT	WBT	ΔT	h	EMC
～20%	50	40	10	(48)	8.6%
18～20%	55	42	13	(24)	7.1%
15～18%	60	45	15	(24)	6.4%
10～15%	65	45	20	(48)	4.8%
8～10%	70	45	25	(48)	3.8%
6～8%	75	45	30	(96)	2.8%
イコライジング	75	60	15	12	6.3%
コンディショニング	75	68	7	12	10.1%
クーリング	—	—	—	24	

※（）内の数値は、実際に乾燥した時間

3 結果と考察

テストピースの天然乾燥から仕上げ人工乾燥までの含水率経過を図-1 に示す。天然乾燥日数 77 日間によりテストピースの推定平均含水率が 28%となった。仕上げ人工乾燥日数を減少するためには、天然乾燥日数を延長することになるが、木口割れを考慮すると適正な日数であったと思われる。

テストピースの含水率及び仕上げ人工乾燥温度の経過を図-2 に示す。

乾燥末期のテストピースの含水率は 7.6~9.3%、調湿後の仕上がり含水率は 9.3~10.5%となった。

今回の全乾燥日数は、13 日間（クーリング 1 日間含む）となったが、目標含水率 8%まで低下させるには乾燥末期の乾燥速度から推測すると 3 日間延長する必要があると思われる。

テストピースの全乾密度の平均値は 692Kg/m³（最小：657、最大 722）であり、密度の高いテストピースほど水分傾斜が見られた（図-3）。

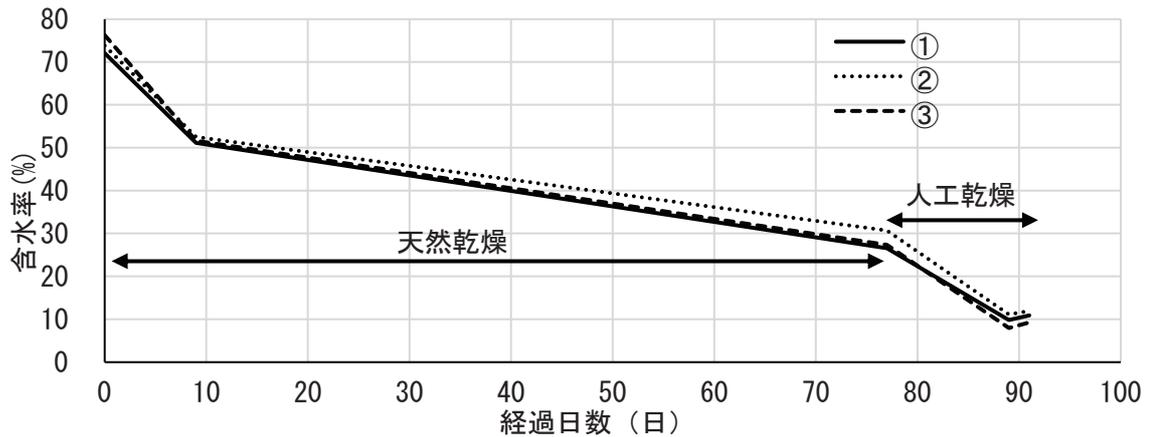


図-1 天然乾燥から仕上げ人工乾燥までの含水率経過

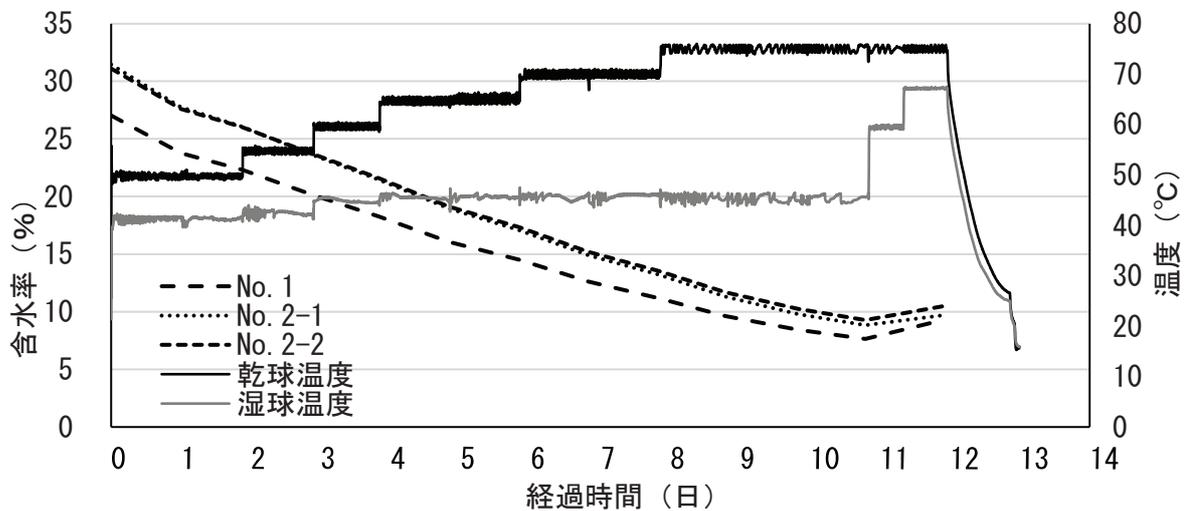


図-2 含水率及び仕上げ人工乾燥温度の経過

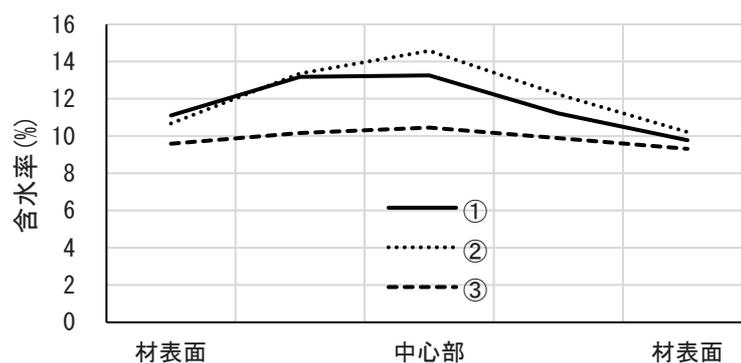


図-3 水分傾斜

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発（5） —広葉樹の木製トレイ製造試験と接線方向の含水率と密度—

木材部 奥原祐司・山口健太^{※1}

県産未利用広葉樹（10 樹種）の短尺丸太から厚さ3及び5mmにスライスした製材品と、ロータリーレースにより厚さ1mmの単板にしたものを蒸煮しプレス成形した。その結果、製材品は厚さが3mmであっても厚すぎで成形出来なかった。また、単板についても多くの割れが発生し成形出来なかった。また、各樹種の接線方向における初期含水率を調べたところ、初期含水率 60%未満のイタヤカエデとサクラについては、割れは発生していたが完成品に近い形になった。

キーワード：広葉樹材、木製トレイ、含水率、密度

1 はじめに

県内の民有林面積の約4割を占める広葉樹は、通直、かつ、長さが約2mあれば家具用材として利用されるが、短尺材となると薪やチップ以外の利用方法は皆無である。そこで、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所（以下、森林総研と表記）が開発した木製トレイに着目し、広葉樹の短尺材をローリーレースによる単板にしたものと、製材により厚さ3及び5mmにしたものを木製トレイに成形可能か試験を実施した。なお、本試験は、森林総研の受託研修（令和6年度）及び国交課題（令和4年～令和8年度）の一環として実施した。

2 試験の方法

北アルプス地域（白馬村等）において10樹種（クルミ、ミズナラ、ミズキ、サクラ、コナラ、クリ、キハダ、イタヤカエデ、バッコヤナギ、ヤチダモ）の原木を図-1により造材した。含水率及び密度測定用試験片を用いて髄を含む板材を作製し年輪を測定後、髄から左右に25mm幅にカットした試験片の含水率及び全乾密度を測定した。なお、年輪は試験片ごとの接線方向の最短部分において年輪が50%以上存在する最小年輪と最大年輪の平均値とした（写真-1）。

製材用の丸太を180～220mm厚さの太鼓材にした後に、厚さ10mmと8mmの板材に製材し、その後、プレーナーにより厚さ10→5mm、8→3mmに加工した。単板用の丸太をロータリーレーサーにより、厚さ1mm程度の単板（幅290mm程度）に加工し、その後、両者とも乾燥しないように冷蔵庫にて保管した。

蒸射及び成形装置は、森林総研が保有する庄内鉄工（株）製のSMT-0250を使用した（写真-2）。

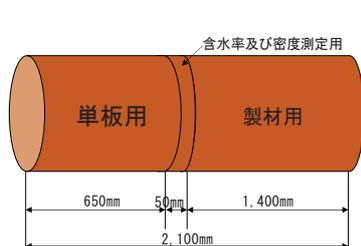


図-1 丸太の造材方法

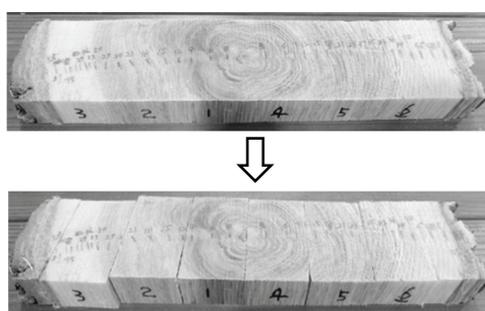


写真-1 年輪数とカット前後の試験片

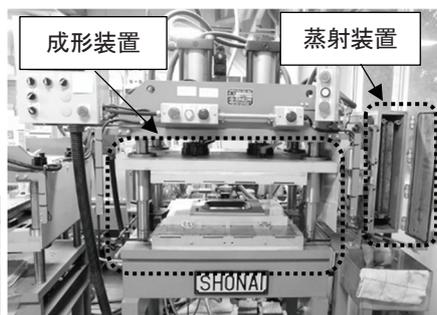


写真-2 蒸射及び成形装置

3 結果

単板用については、蒸射装置に入れることにより、含水率は低下したが、成形時に多くに割れが発生し、特に曲線部分には必ず割れが入って完成品にはならなかった。原因は特定できないが単板製造時に微細な割れが発生していたと思われる。

製材用については、厚さ5mmは厚すぎて成形できなかった。また、厚さ3mmは5mmよりも成形できたが単板と同様の割れが発生した。今回の成形型は、スーパーの食品用のトレイと同様の形状寸法であつ

たが、曲線部分が少なく、かつ、乾燥した製材用の厚さ2mmなら成形可能と思われる(写真-3)。

各樹種の接線方向における初期含水率と全乾密度を図-2から7に示す。なお、X軸の裸数字と()数字の境界が髓であり、何れも数字は年輪数である。

単板については、含水率60%未満のイタヤカエデとサクラでは、全乾密度は600 kg/m³近くあったが割れは発生していたものの成形は可能(写真-4)であった。しかし、含水率60%以上の樹種は、割れが多く発生し成形出来なかった。特に、含水率約100%のクリやバッコヤナギでは水蒸気爆発が発生することがあった。そこで、クリの単板を屋内に1日間放置し、含水率を低下させて成形したところ、水蒸気爆発しなくなった。

単板及び製材用に共通し、節などの欠点がある場合は、必ず割れが発生していたことから未利用材であっても欠点除去しなければならないと思われる。

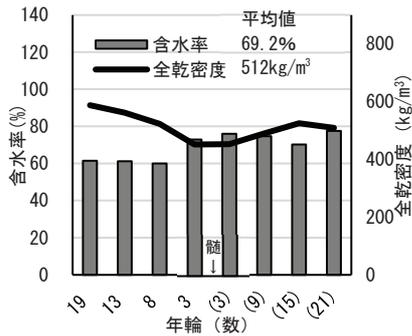


図-2 クルミ

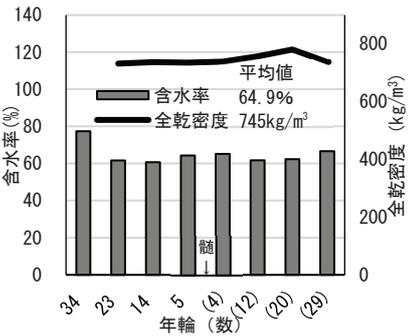


図-3 ミズナラ

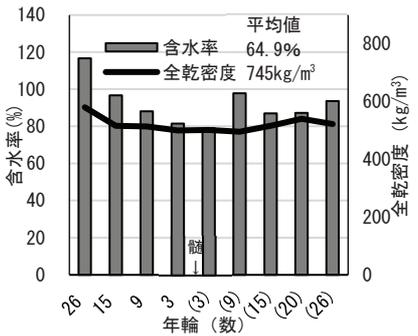


図-4 ミズキ

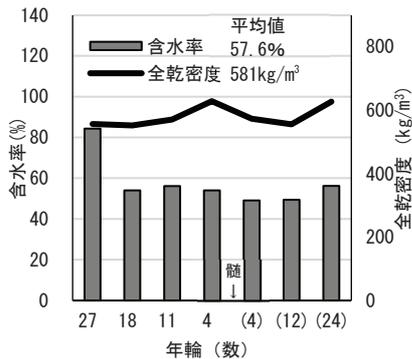


図-5 サクラ

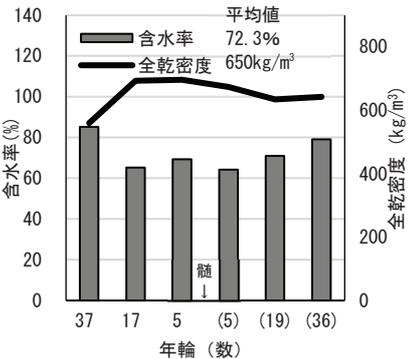


図-6 コナラ

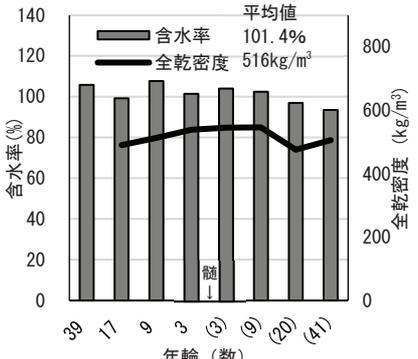


図-7 クリ

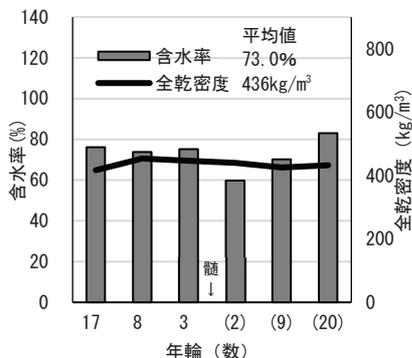


図-8 キハダ

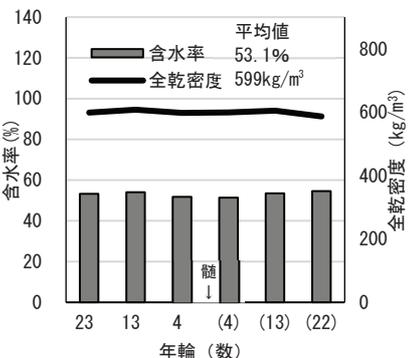


図-9 イタヤカエデ

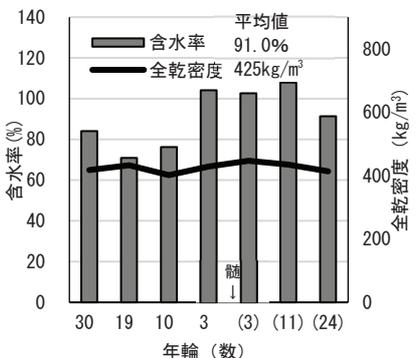


図-10 バッコヤナギ

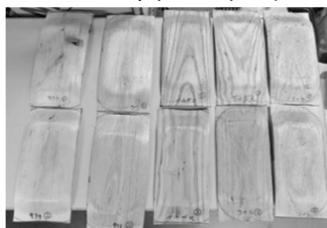


写真-3 製材用厚さ3mmの成形後の裏面状況

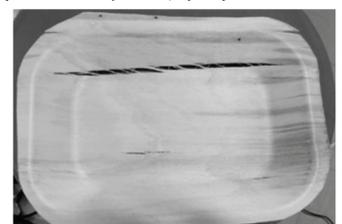


写真-4 単板用イタヤカエデ成形後

新たな技術を活用した高品質木材の開発（1）

—木製治山えん堤部材の劣化調査・アカマツ熱処理材の耐候性試験—

木材部 山内仁人・奥原祐司・毛受誠・吉田孝久

設置後約20年経過した木製治山えん堤の本体部と袖部のカラマツ部材の密度等の調査を行った。流水下にあった本体部の部材の密度低下が1割弱であったのに対し、袖部の部材は平均3割程度密度が低下しており、同一部材内でのバラつきも大きかった。また、松本合同庁舎敷地内に設置後約1年経過したアカマツの熱処理材の耐候性モデル試験体は、灰色化が進行していたものの、腐朽等の物理的な劣化は確認されなかった。

キーワード：木製治山えん堤、カラマツたいこ材、残存密度、熱処理、耐候性試験

1 はじめに

屋外で使用される木材は風雨・紫外線・腐朽菌等に晒され、室内での使用に比べて劣化しやすい。しかし、環境条件や樹種・心材率等様々な要因により劣化の進行速度が異なるため、その耐用年数の予測は困難である。このため、定期的なモニタリングにより、部材の劣化度を把握し、施設の安全性を確認するとともに、補修等の要否を判断する必要がある。しかし、施設の構造・設置状況等によって、現地で実施可能な診断方法が限定される場合も多く、簡易調査で得られた結果から、部材の残存密度・強度等を推定しなければならない。今回、現地機関の協力により、設置後約20年経過した木製治山施設の部材の一部を交換の上、密度・強度試験を実施した。また、熱処理+木材保存剤の注入処理を行ったアカマツ耐久・耐候性試験体の約1年経過時の状況も確認した。なお、本研究は国交課題（令和4～8年度）および諏訪地域振興局・松本地域振興局の依頼・協力により実施した。

2 試験・調査方法

岡谷市横川山萱の沢の木製治山えん堤（H15年度施工：写真-1）の部材（L1.0m・t14cm・D20cm前後のカラマツたいこ材）について、事前に目視およびえん堤正面（下流側）に露出した木口からのマイナスドライバーの刺突による簡易調査を実施し、部材の残存密度・強度が比較的高いと考えられた本体部（写真-1A）と、密度・強度の低下が大きいと考えられた袖部（写真-1B）の部材を2023年9月に各6本ずつ交換した。撤去した既設部材は下方道路の復旧後の2024年5月に林業総合センターへ運搬し、室内で約2か月風乾した後、図-1の木取りでL方向の長さ3cm程度の含水率・密度試験体と長さ20cm程度の圧縮試験体に分割し、全乾法による含水率と密度の測定及び縦圧縮強度試験を実施して、健全材（未使用材）の値と比較した。なお、圧縮試験は、（株）島津製作所CCM-2000kNを用い、最大荷重を部材の両木口の断面積の平均値で除して圧縮強度を求めた。

また、2024年3月に松本合同庁舎に設置したアカマツの高温処理・保存剤注入処理試験体について、2025年2月にスキャナによる色調記録・色差計による L^* ・ a^* ・ b^* 値の測定を行った。

3 結果

今回部材交換を実施したえん堤はハイブリッドタイプと呼ばれる形式で、最上部の部材以外は木口面しか露出していないため、マイナスドライバーの刺突による簡易調査では、部材の断面放射方向の劣化深の定量化等はできなかったが、袖部の常水のない部分は劣化が進行し、部材の密度も低下している可能性が高いと思われた。一方、えん堤中央付近（放水路下）の流水に晒されている期間が長い部分では、比較的初期の密度が維持できていると予想された。

全乾密度試験の結果の概要を表-1に示す。健全材の全乾密度と比較して、本体部の密度低下が1割程度であったのに対し、袖部の部材は平均値で3割近く密度が低下しており、また、中央部より端部の密度低下が著しく同一部材内での差が大きかった。

風乾後の含水率は、本体部は健全材と同程度まで低下したのに対し、袖部の部材の含水率は高いものが多く、腐朽菌が材内に存在していることが伺えた。

縦圧縮試験の結果の概要を表-2に示す。健全材と比較して、本体部の部材の中央部は強度の低下が少なかったのに対し、袖部の部材は強度が平均で7割程度低下しており、バラつきも大きかった。特に、端部の護岸側の土中に埋設されていた部分では、断面の多くが消失し、強度も皆無に等しいものがあった（写真-2）。

松本合同庁舎敷地内に設置後約1年経過したアカマツの熱処理+保存剤注入処理モデル試験体は、吸湿による寸法変化や、灰色化の進行・明度の低下等、色調の変化が認められたものの、比較用の無処理材・熱処理材も含め、腐朽等の劣化は確認されなかった。

表-1 含水率・密度試験結果概要



写真-1 部材交換（試験体採取）位置

		含水率 %	全乾 密度 g/cm ³
健全材	最小値	18.5	0.514
	最大値	25.2	0.615
	平均値	21.0	0.560
本体部	最小値	20.0	0.492
	最大値	26.6	0.548
	平均値	23.4	0.513
袖部	最小値	32.3	0.253
	最大値	68.4	0.601
	平均値	45.1	0.398

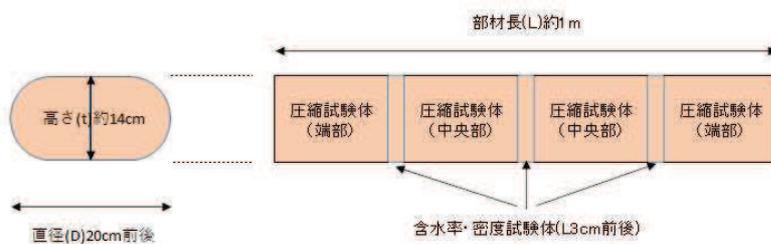


図-1 試験体の木取り

表-2 縦圧縮試験結果概要

	圧縮強さ(N/mm ²)				
	部材平均	中央部平均	端部平均	最大値	最小値
健全材(n=3)	30.5	30.6	30.4	36.2	27.2
本体部(n=6)	25.7	27.9	23.6	32.4	9.1
袖部(n=6)	10.6	11.5	9.7	26.2	0.1



写真-2 袖部の埋設部材
端部の劣化状況

新たな技術を活用した高品質木材開発（2）

－ヒートウッドの経年後の平衡含水率と形質変化－

木材部 奥原祐司・吉田孝久

県産針葉樹のヒートウッドを屋内に3年間設置後の平衡含水率と含水率変化に伴う寸法変化を調査した。その結果、平衡含水率は、アカマツ5.0→6.2%、スギ5.2→6.5%、ヒノキ5.8→7.1%、カラマツ6.4→7.9%の変化であり、中温乾燥材に比べ3～5%低い平衡含水率であった。したがって、寸法においても中温乾燥材と比べ寸法変化は少なかった。カラマツのヒートウッドの105mmの幅方向の含水率1%当たりの膨潤量は0.34mmで文献に近い数値となり、一方、アカマツは、文献よりも低値となった。

キーワード：熱処理、平衡含水率、寸法変化

1 はじめに

これまで過熱水蒸気処理木材（以下、ヒートウッドと標記）の寸法安定性試験を実施し中温乾燥材よりもヒートウッドの寸法安定性が高いことを確認している¹⁾。今回は、3年間屋内に設置した4樹種のヒートウッド及び中温乾燥材の平衡含水率の違いとカラマツ及びアカマツのヒートウッドの含水率変化に伴う寸法変化を測定した。なお、本試験は、国交課題（令和4～8年度）により実施した。

2 試験の方法

平衡含水率試験体は、乾湿繰り返し寸法変化試験¹⁾の試験体の内、屋内に3年間設置していたカラマツ・アカマツ・スギ・ヒノキのヒートウッド及び中温乾燥材の各2体とした（同一の板材からのエンドマッチ材）。長さ方向の中央付近から含水率試験片を切り出し全乾法による含水率を求めた。また、3年前の試験終了時（低湿環境後）の質量から推定含水率を求めた。

含水率変化に伴う寸法変化試験体は、カラマツ及びアカマツの各2体のヒートウッドとした¹⁾。長さ方向の中央付近から含水率試験片を切り出し全乾法による含水率を求め、熱処理後、屋内設置14日後及び35日後、調湿後（温度40℃、湿度65%、EMC11.2%）、低湿環境後（温度40℃、湿度48%、EMC8.1%）、高湿環境後（温度40℃、湿度92%、EMC20.3%）の質量¹⁾から推定含水率を求めた。

3 結果

3年間屋内に設置したヒートウッド及び中温乾燥材の平衡含水率は表-1のとおり。中温乾燥材は、樹種を問わず約11%となっていたが、ヒートウッドは、処理後の含水率と比べアカマツ5.0→6.2%、スギ5.2→6.5%、ヒノキ5.8→7.1%、カラマツ6.4→7.9%の変化であった。

表-1 ヒートウッドと中温乾燥材の屋内設置3年前後の平衡含水率

樹種	No.	処理材区分	3年前の試験終了時の推定含水率 (%)	3年後の全乾法含水率 (%)	差 (ポイント)
カラマツ	112	ヒートウッド	6.5	7.9	1.4
	122		6.4	7.9	1.5
	113	中温乾燥材	9.7	11.2	1.4
	123		9.4	11.0	1.6
アカマツ	122	ヒートウッド	4.7	6.0	1.3
	132		5.2	6.4	1.2
	123	中温乾燥材	10.7	11.4	0.7
	133		9.7	11.3	1.6
スギ	122	ヒートウッド	5.1	6.4	1.3
	212		5.2	6.5	1.3
	123	中温乾燥材	9.8	11.3	1.5
	213		9.6	11.1	1.5
ヒノキ	112	ヒートウッド	5.4	6.7	1.3
	222		6.2	7.5	1.3
	113	中温乾燥材	9.6	11.0	1.3
	223		9.9	11.0	1.1

含水率変化に伴う寸法変化について、カラマツ及びアカマツ（ヒートウッド）を図-1及び図-2に示す。また、含水率1%当たりの膨潤量を表-2に示す。カラマツ（ヒートウッド）の幅方向（接線方向）105 mmに対する含水率1%当たりの膨潤量は、0.34 mmとなり文献²⁾に近い数値であった。一方、アカマツの幅方法は文献よりも低値であり、熱処理による寸法安定性がカラマツよりも高かった。

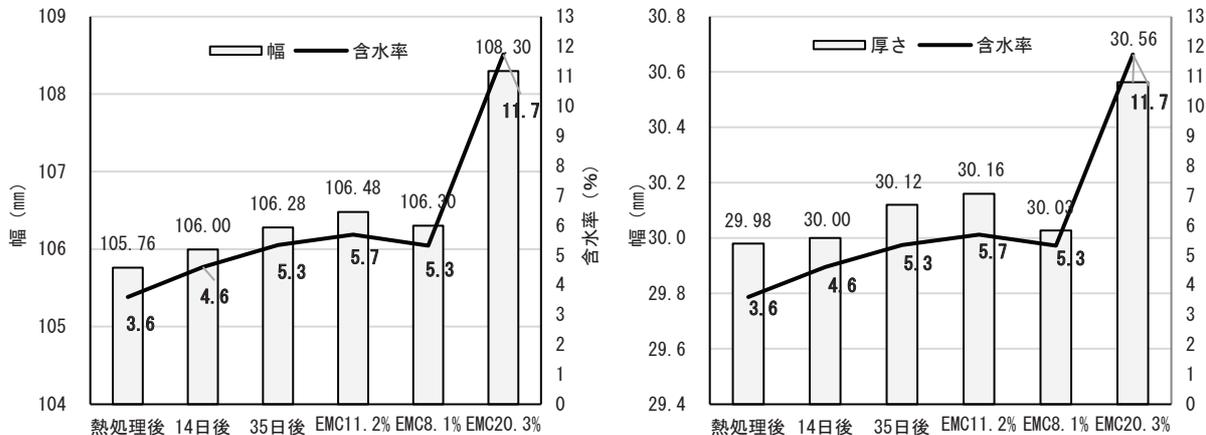


図-1 カラマツ（ヒートウッド）の含水率及び寸法変化（左：接線方向、右：半径方向）

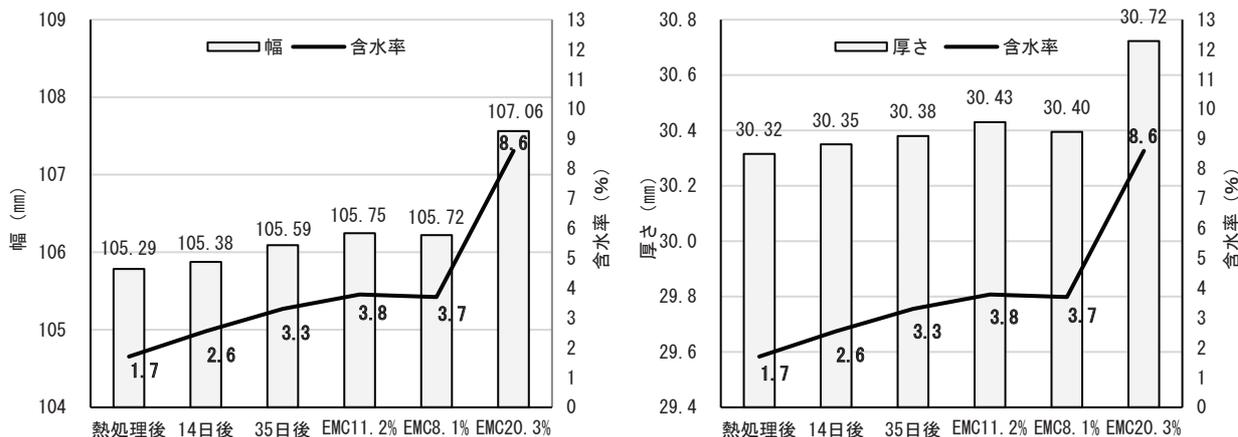


図-2 アカマツ（ヒートウッド）の含水率及び寸法変化（左：接線方向、右：半径方向）

表-2 カラマツ及びアカマツ（ヒートウッド）の含水率1%あたりの膨潤量

区分	熱処理後 (A)	EMC11.2% (B)	B-A (D)	EMC20.3% (C)	C-A (E)	含水率1%当たりの膨潤量 (mm)		文献 ²⁾ の数値 (mm)
						(A) → (B)	(A) → (C)	
含水率 (%)	カラマツ	3.7	5.6	2.0	11.8	8.1		
		3.5	5.7	2.2	11.6	8.1		
	平均値	3.6	5.7	2.1	11.7	8.1		
	アカマツ	1.5	3.5	2.0	8.2	6.7		
	平均値	1.7	3.8	2.1	8.6	6.9		
幅 (mm)	カラマツ	105.68	106.23	0.55	107.99	2.31		
		105.84	106.73	0.89	108.61	2.76		
	平均値	105.76	106.48	0.72	108.30	2.54	0.34	0.31
	アカマツ	105.31	105.7	0.39	106.9	1.59		
	平均値	105.285	105.745	0.46	107.06	1.78	0.22	0.26
厚さ (mm)	カラマツ	29.61	29.85	0.24	30.32	0.70		
		30.35	30.47	0.12	30.81	0.46		
	平均値	29.98	30.16	0.18	30.56	0.58	0.09	0.07
	アカマツ	30.3	30.39	0.09	30.69	0.39		
	平均値	30.315	30.43	0.12	30.72	0.41	0.06	0.06

1) 奥原祐司・吉田孝久・今井信・山口健太・小池直樹・吉川達也・丸山淳治・桑山知子,長野県林業総合センター研究報告第37号(2023),pp.37-57

2) 寺沢真・筒本卓造,木材の人工乾燥-改訂版-,(社)日本木材加工技術協会(1976),p18

無垢構造材の製材・乾燥技術の開発とその性能評価（1）

ーカラマツ板材及び無欠点試験片の蒸煮時間と曲げ強度の関係ー

木材部 毛受誠・奥原祐司・吉田孝久

カラマツ板材とJIS試験体について、蒸煮を4条件で行い、JISZ2101を参考に曲げ試験を実施した。その結果、95℃・48時間蒸煮の板材及びJIS試験体は、0時間蒸煮と比較して曲げ強さの平均値に8から9ポイントの低下が見られた。

また、板材とJIS試験体の95℃・48時間蒸煮は、0時間蒸煮よりMORが有意（ $P \leq 0.05$ ）に低かった。

キーワード：カラマツ、蒸煮時間、曲げ強さ、強度劣化

1 はじめに

カラマツの心持ち材を高温セットで人工乾燥する場合は、強度低下の恐れがあり、より詳細に原因を解明する必要がある。このため、蒸煮のみでの強度の変化の確認を行った。令和5年度に95℃蒸煮0、6、12、24時間（各22枚）の確認を行い、強度低下は見られなかったため、今年度は強度低下が想定される95℃48時間蒸煮を追加し試験を実施した。また、参考に加圧状態における120℃1時間蒸煮も実施した。なお、本研究は国交課題（令和5～9年度）として実施した。

2 試験の方法

試験材は、長野県東信地域で製材された10枚のカラマツ板材（120×30×4,000mm）を用意し、Efrの測定により低い方から順位化後、長さ方向に8枚・500mmでカットし、蒸煮条件を表-1のとおり4条件とした。その後、長さ500mmの板材のなるべく節の無い場所から試験体を58×18×500mm（板材）及び25×25×500mm（JIS試験体サイズ）に整形し、恒温恒湿室（20℃、65%、EMC11.8%）において、質量の変化がなくなるまで調湿し（試験は4カ月後）、JISZ2101（2009）を参考に、図-1により中央集中荷重で曲げ試験を行った。試験後、非破壊部分から試験片を切り出し、全乾法による含水率と全乾密度の測定を行った。

測定した板材及びJIS試験体のMOE（ヤング係数）・MOR（曲げ強さ）・密度について蒸煮の3条件（D条件は参考のため除外）において、相関関係を正規性の検定により正規分布の有無を確認（ $P < 0.05$ ）し、ピアソンの相関係数又はスピアマンの順位相関係数の検定（両側検定）によって確認し、 $P < 0.05$ を統計的に有意であることを確認した。また、MOEとMORを蒸煮3条件においてバートレット検定により母分散が等しいかを確認し、3条件の差を一元配置分散分析法で確認した。一元配置分散分析法が有意だった場合に、群間の多重比較をチューキー・クレーマーの方法によって行った。

表-1 蒸煮条件

条件	A	B	C	D※
温度(℃)	95	95	95	120
蒸煮時間(h)	0	24	48	1

条件AからCまでは蒸気式乾燥機による

※条件Dは蒸気・圧力併用型乾燥機の加圧状態（100kPa）による温度

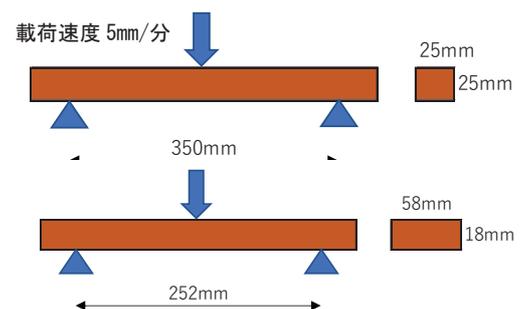


図-1 曲げ試験方法

3 結果

蒸煮時間と曲げ強度試験の結果を表-2、図-2~5 に示す。

全乾密度、含水率は、蒸煮時間による大きな違いは見られないが、95°C48 時間蒸煮の板材及び JIS 試験体は、蒸煮 0 時間と比較して MOE の平均値は約 4 ポイントの低下、MOR の平均値は 8 から 9 ポイントの低下が見られた。

また、板材及び JIS 試験体の 95°C・48 時間蒸煮は、0 時間蒸煮と比較して MOR が有意 (P≦0.05) に低かった。

表-2 蒸煮時間別の曲げ強度試験結果 (試験本数各条件 20 本)

板材	MOE (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)	全乾密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	JIS 試験体	MOE (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)	全乾密度 (g/cm ³)	含水率 (%)		
蒸煮 0 時間 (95°C)	平均値	12.07	94.3	0.542	14.6	蒸煮 0 時間 (95°C)	平均値	12.20	91.6	0.562	14.7
	最小値	10.43	74.7	0.447	14.3		最小値	8.57	70.4	0.464	14.0
	最大値	14.38	112.6	0.629	14.9		最大値	14.63	113.7	0.657	15.3
	標準偏差	1.13	10.9	0.048	0.2		標準偏差	1.65	11.9	0.058	0.3
	変動係数 (%)	9.33	11.5	8.790	1.4		変動係数 (%)	13.55	13.0	10.373	2.2
蒸煮 24 時間 (95°C)	平均値	11.92	93.3	0.546	14.4	蒸煮 24 時間 (95°C)	平均値	12.03	87.6	0.561	14.3
	最小値	9.63	72.9	0.465	14.1		最小値	9.05	68.8	0.457	14.0
	最大値	14.10	110.2	0.597	14.7		最大値	14.06	106.7	0.664	14.6
	標準偏差	1.12	10.2	0.043	0.2		標準偏差	1.47	10.4	0.058	0.2
	変動係数 (%)	9.39	11.0	7.843	1.2		変動係数 (%)	12.25	11.9	10.428	1.3
蒸煮 48 時間 (95°C)	平均値	11.64	86.5	0.545	13.4	蒸煮 48 時間 (95°C)	平均値	11.74	83.3	0.559	14.3
	最小値	9.90	75.9	0.460	13.2		最小値	9.40	67.5	0.463	14.0
	最大値	13.33	100.7	0.642	13.8		最大値	14.20	96.9	0.646	14.7
	標準偏差	0.93	7.4	0.045	0.2		標準偏差	1.49	9.1	0.052	0.2
	変動係数 (%)	8.00	8.6	8.295	1.4		変動係数 (%)	12.72	11.0	9.362	1.5
[参考] 蒸煮 1 時間 (120°C)	平均値	11.75	93.5	0.548	14.3	[参考] 蒸煮 1 時間 (120°C)	平均値	11.79	88.4	0.560	14.4
	最小値	8.87	59.6	0.459	13.9		最小値	9.07	74.8	0.470	13.9
	最大値	14.48	109.3	0.636	14.8		最大値	14.24	105.0	0.649	14.9
	標準偏差	1.34	12.0	0.047	0.2		標準偏差	1.61	10.1	0.054	0.3
	変動係数 (%)	11.38	12.8	8.578	1.7		変動係数 (%)	13.64	11.4	9.594	1.9

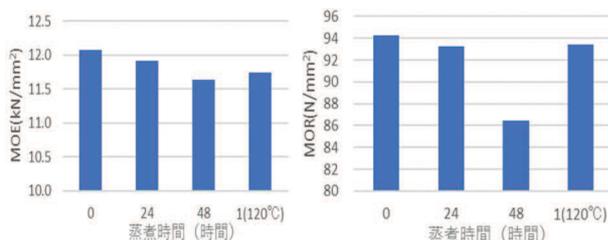


図-2 蒸煮時間別の MOE と MOR (板材) の平均値

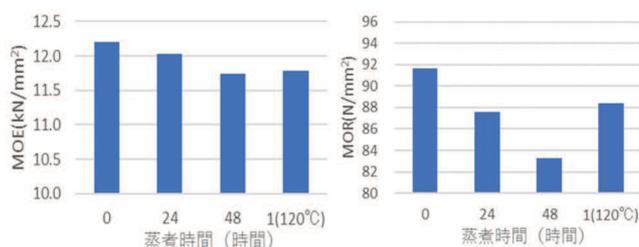


図-3 蒸煮時間別の MOE と MOR (JIS 試験体) の平均値

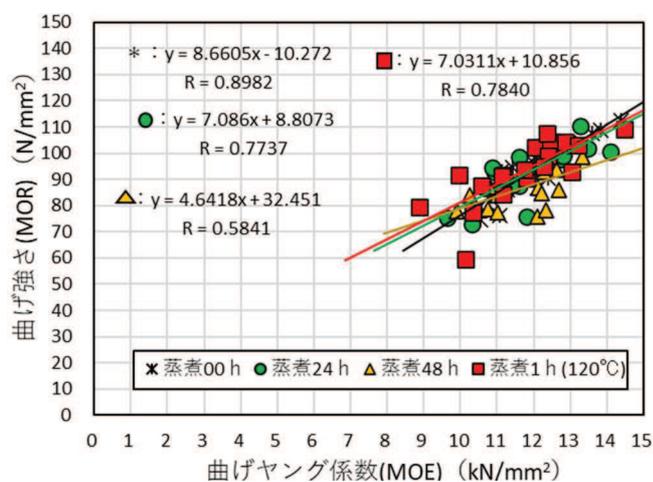


図-4 MOE と MOR の関係 (板材)

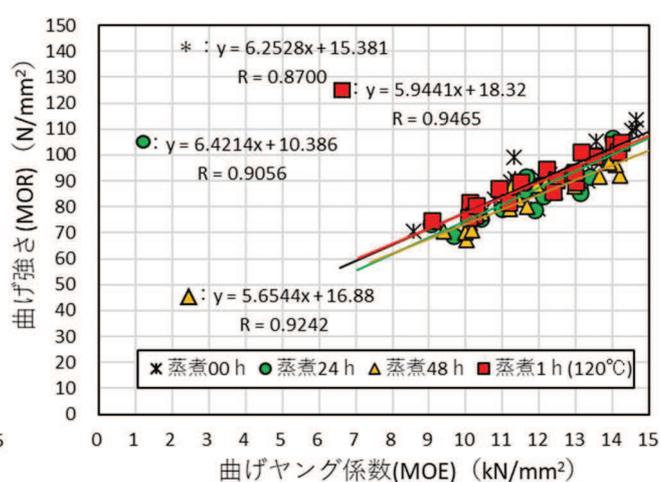


図-5 MOE と MOR の関係 (JIS 試験体)

※参考文献 吉田孝久・橋爪丈夫、第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集、pp.131(2003)

無垢構造材の製材・乾燥技術の開発とその性能評価（2）

－カラマツの基準強度の再評価－

木材部 山内仁人・毛受誠・奥原祐司・小池直樹

高温乾燥したカラマツ材のせん断試験を、JIS（無欠点小試験体）・実大いす型（ブロック試験体）・逆対称4点曲げ（梁せい240mm実大材）の3方法で実施した。いずれの試験方法でも、国交省告示のカラマツのせん断基準強度（2.1N/mm²）を下回った試験体はなかったが、せん断強さは総じてJIS試験の試験結果が高く、次いで逆対称4点曲げ、実大いす型、の順に低くなった。また、逆対称4点曲げ試験の実施の際生じるめり込みの予防に、ねじ補強が有効なことが分かった。

キーワード：せん断強度、カラマツ、実大材、劣化

1 はじめに

近年、中・大規模の木造建築物が増加し、木材・木質材料に対する要求性能及び想定される応力も高くなってきている実態がある。一方、建築物の設計に用いる木材の基準強度は実大材の強度試験の結果に基づき設定しているとされるが、せん断強度については、実大材の試験方法が確立されていないこともあり、これまでに実施された試験の方法・条件等も様々なため、いまだに無欠点小試験体の試験結果に基づく基準強度値が使用されている。そこで、統一した方法で主要国産針葉樹のせん断試験を実施し、その特性・せん断強度を明らかにすることを目的として、試験を実施した。

なお、本試験は国交事業及び令和5年度林野庁補正補助事業のCLT等木質建築部材技術開発・普及事業「木材の基準強度の再検証～特にせん断強度に着目して～」(代表機関：一般社団法人き塾・東京大学)の一環として実施したもので、当センターはカラマツ材の試験を担当した。

2 試験方法

高温乾燥した県内産心持ちカラマツの横架材（W120mm×H240mm×L4.0m）35体を供試材とし、各試験体のせん断面が供試体の中央（H120mmの位置の水平線）に位置するような木取りで各試験体を採取した（図-1）。なお、JIS・実大いす型試験体の採取に先立ち、供試材の中央付近で厚さ25mm程度の試験片を2枚切り出し、内部割れの確認のための断面スキャン及び全乾法による含水率の測定を行うとともに、左右に分割した供試体をL1920mmに調整した上で、縦振動法によるヤング係数の測定やTGH法によるせん断弾性係数の測定等の各種非破壊調査を実施し、左右でヤング係数・密度の差が少ないものの中から、ヤング係数が高め・低め、密度が高め・低め、それぞれの値が中庸の各1組、計5組10体はJIS及び実大いす型試験体を採材せず、逆対称4点曲げ試験におけるめり込みの影響を検討するための予備試験体とすることとした。

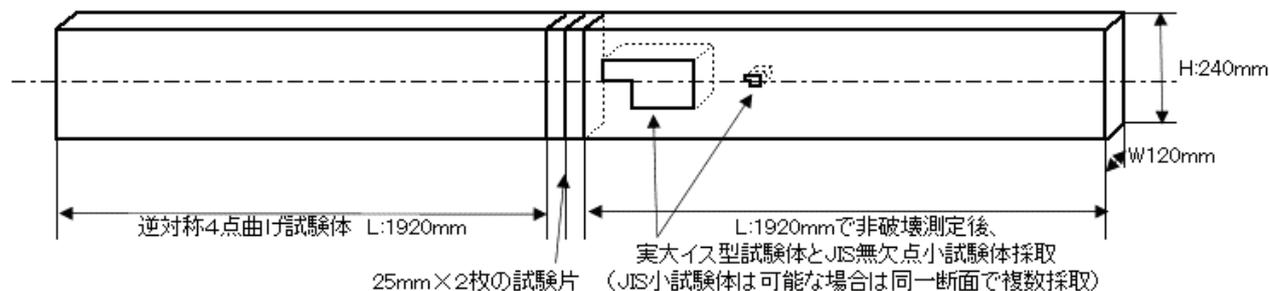


図-1 供試体からの試験体採材木取り

せん断強度試験は、JIS Z 2101:2009「木材の試験方法」に準拠した無欠点小試験体のいす型せん断試験、(公財)日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験マニュアル(平成23年3月)」の「付録 1.2 いす型せん断試験」記載の方法に準拠した実大材のいす型せん断試験、同マニュアルの「I. 構造用木材の強度試験法 11. せん断強さ」記載の方法に準拠した逆対称4点曲げせん断試験の3方法で実施した。各試験体の寸法、加力方法は図-2~4のとおりである。

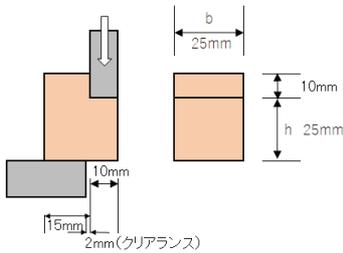


図-2 JIS 試験体の寸法
・加力方法

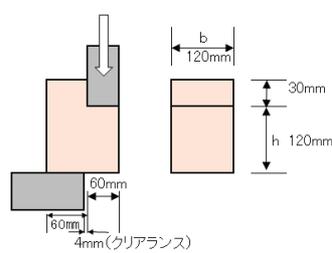


図-3 実大いす型試験体の寸法・加力方法

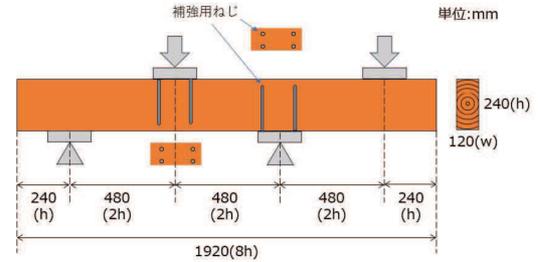


図-4 逆対称4点曲げ試験体の寸法・加力方法

3 結果と考察

試験方法別せん断強さの概要は表-1のとおりで、総じて JIS 試験体が最も高く、次いで逆対称4点曲げ、実大いす型試験の順にせん断強度が低くなった。なお、JIS いす型せん断試験体については、同一の供試体から複数の試験体を採用した場合は、すべての試験体の平均値を用いた。また、逆対称4点曲げ試験の予備試験として、図-4に示すねじ補強あり・なしの比較を各5体ずつ、計10体の試験体で実施したが、ねじ補強なしの試験体5体は、いずれも顕著なめり込みが生じ、せん断破壊に至るまで加力することができなかったのに対し、ねじ補強を施した試験体は、いずれもめり込みの発生が抑止でき、せん断破壊を生じさせることが出来た。このため、本試験の30体については、すべてねじ(Schmid社 RAPID VollgewindeD12.0mm×L220mm)4本打ちの補強を、試験体の中央寄り上下加力面2面に施した。

TGH法により測定したせん断弾性係数と、試験方法別のせん断強さの関係を図-5に示す。せん断弾性係数とせん断強度はいずれも正の相関関係にあったが、割れ・節等を除いて試験体を作製した JIS いす型せん断試験(小試験体)は、決定係数が低かったのに対し、割れを含む実大材のいす型及び逆対称4点まげせん断試験体では決定係数が上昇していることから、密度の測定だけでは数値化できない割れの影響が、TGH法等の非破壊測定結果に、ある程度反映されていると考えられた。

表-1 試験方法別せん断強さの概要

	試験法別せん断強度(N/mm ²)		
	4点曲げ	いす型	JIS
平均値	6.26	4.45	7.86
最小値	4.84	2.53	6.13
最大値	7.71	7.81	10.95
備考(n数)	(30体)	(30体)	(30体)

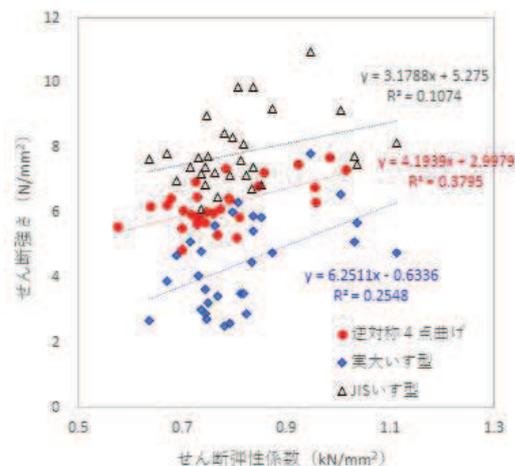


図-5 せん断弾性係数と試験方法別せん断強さの関係

無垢構造材の製材・乾燥技術の開発とその性能評価（3）

ヒノキ構造材における高温セット処理及び中温乾燥後の割れ抑制試験

木材部 奥原祐司・吉田孝久

ヒノキ心持ち正角材を2条件（乾球温度 105℃の 30℃差、110℃の 20℃差）の高温セット処理後に中温乾燥を実施した。その結果、乾球温度 110℃、乾湿球温度差 20℃のドラインセット乾燥材に圧縮応力が見られた。また、仕上がり含水率は 11.8%であり、水分傾斜も少なかった。

キーワード：ヒノキ、高温セット、含水率

1 はじめに

針葉樹の心持ち材の人工乾燥は、樹種を問わず材面割れ防止の高温セット処理（ドラインセット）が必須条件となっており、乾燥現場においては当センターで取り組んできた成果が広く反映されている。しかし、各乾燥現場では、規模や樹種の違いにより、人工乾燥後の色彩や割れ防止などの目的にあった高温セット処理及び乾燥スケジュールは異なる。そこで、本試験では、綿半建材（株）が保有する実機により材面割れ防止に着眼し、2条件の高温セット処理及び中温乾燥により圧縮セットの効果を確認した。なお、本試験は国交課題（令和5年～令和9年度）及び綿半建材（株）との技術協力により実施した。

2 試験の方法

試験材は、図-1 のとおりヒノキ心持ち正角材 117 mmとし、綿半建材（株）が保有する蒸気式木材乾燥機により表-1 のとおり高温セット処理し、その後、2条件とも表-2 のとおり乾燥を実施した。

乾燥後、試験材の長さ方向の中央部において試験片を切り出し、全乾法による含水率と中央 1 / 3 区間を 7 分割して水分傾斜を測定した。また、その隣接部からドラインセット可視用試験片を切り出し、表面から 5 mm 程度の板目材を切り出し可視化した。なお、ドラインセット乾燥材を同様に切り出すと板目材の木表側の圧縮応力が解放され木裏側にカップした形になる（写真-1）。

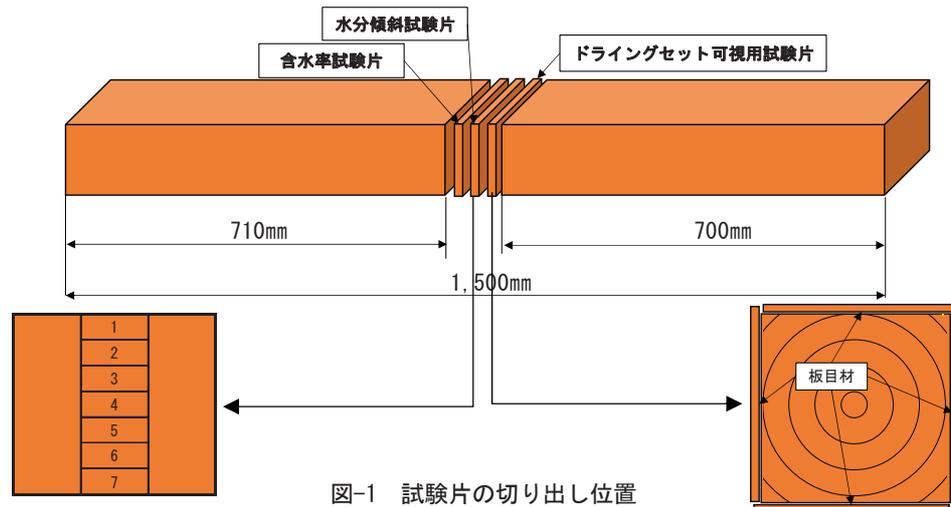


図-1 試験片の切り出し位置

表-1 高温セット条件と試験体数

高温セット条件区分	DBT (°C)	WBT (°C)	時間 (h)	試験体数 (本)
条件 1	105	75	18	1
条件 2	110	90	18	4

表-2 中温乾燥スケジュール

DBT (°C)	WBT (°C)	時間 (h)
70	60	240
80	60	96
80	60	96

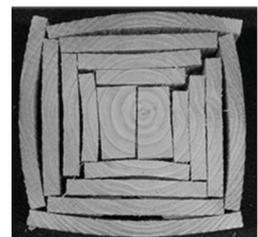


写真-1 ドラインセット乾燥材例

3 結果と考察

2条件の含水率と全乾密度の測定結果を表-3に示す。構造材として利用する含水率15%を全ての試験材が満足していた。

条件1の水分傾斜を図-2、ドラインセット可視用試験片の圧縮応力状況を写真-2に示す。水分傾斜の少ない仕上がりになっていたが、材表面の含水率は10%以上となっていた。また、板目材を切り出したところ直線的になっていたことからドラインセットの効果が小さいと思われる。なお、各切断面を確認したところ内部割れは発生していなかった。

条件2の4本の平均水分傾斜を図-3、ドラインセット可視用試験片の圧縮応力状況を写真-3に示す。水分傾斜の少ない仕上がりになっており、材表面の含水率は10%以下となっていた。また、板目材を切り出したところ木裏側にカップしておりドラインセットによる圧縮応力が見られた。条件1と同様に内部割れは発生していなかった。以上により、条件1よりも条件2の方が乾燥後の表面の圧縮応力が大きく材面割れの防止効果が高いと思われる。

表-3 含水率と全乾密度

条件	No.	含水率 (%)	全乾密度 (kg/m ³)
条件1	No.1	11.7	470
	平均値	11.8	444
	No.1	13.4	417
条件2	No.2	13.3	465
	No.3	10.7	456
	No.4	9.9	438

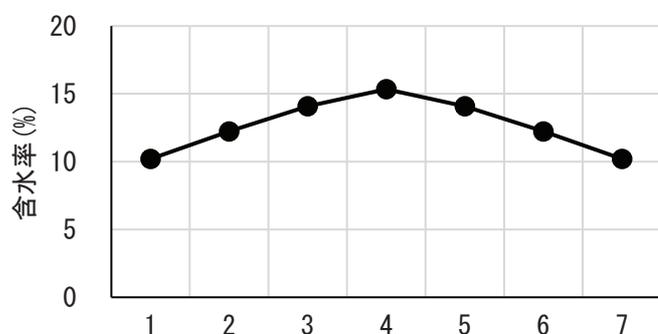


図-2 条件1の水分傾斜

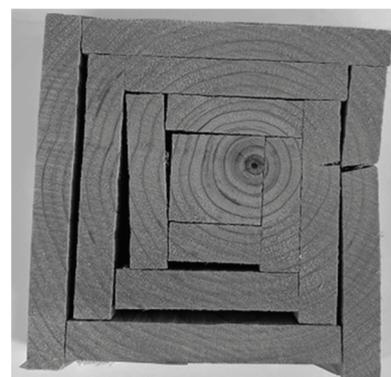


写真-1 条件1の板目材状況

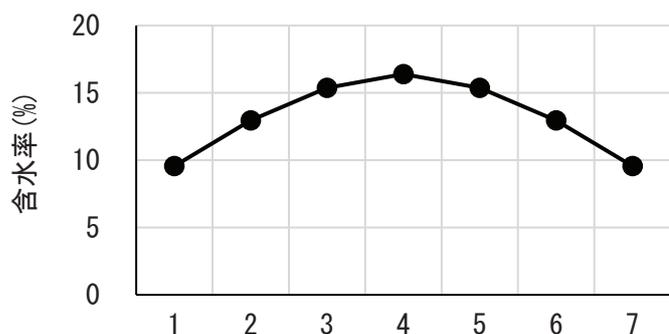


図-3 条件2の平均水分傾斜 (n=4)

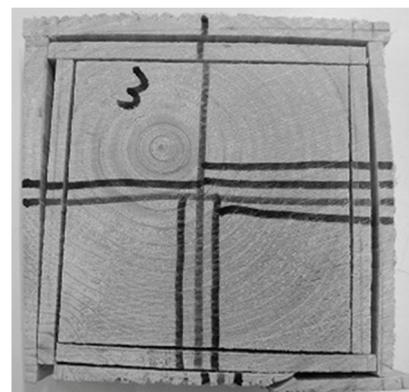


写真-2 条件2のNo.3板目材状況

高層木造を実現する強度・剛性に優れた圧密木質部材の開発

木材部 小池直樹、山内仁人、毛受誠

スギ圧密ラミナを用いた圧密集成材の曲げ試験とせん断試験の結果を報告する。

キーワード：スギ、圧密木材、集成材

1 はじめに

昨年度に引き続き圧密集成材開発のための実大試験を実施した。本研究は令和5年度花粉症対策事業（実施主体：株式会社竹中工務店、地方独立行政法人北海道立総合研究機構）及び県単課題（令和6年～10年）で実施した。

2 試験方法

曲げ試験及びせん断試験に供した実大集成材試験体一覧を表-1に示す。スギ206材を後藤木材株式会社（岐阜県岐阜市）が圧縮率50%で圧密処理し、圧密ラミナを齋藤木材工業株式会社（小県郡長和町）が集成した。

表-1 集成材試験体一覧

	厚さ (mm)	幅 (mm)	長さ (mm)	本数	備考
曲げ試験	120	120	2360	27	3等分点 中央集中
	120	120	1560	4	
	180	120	2360	3	
	240	120	3080	3	
	300	120	3800	3	
	480	120	4000	1	
せん断試験	120	120	680	21	中央集中
	180	120	920	3	
	240	120	1160	2	
	300	120	1400	2	
	480	120	2000	1	

全試験体について各種動的ヤング係数等を測定した後、曲げ試験は材せい120mmの27体を集成材の日本農林規格曲げA試験に準じて行い、高感度変位計を用いて試験体片側面中立軸で全たわみ、反対側の側面中立軸で荷重点間たわみを測定し、見かけ及び真のヤング係数を算出した。材せい120mmの4体及びより厚い試験体計10体については依頼者の指示により中央集中荷重方式で行い、たわみ量は荷重点反対側にヒートンを設置し巻取式変位計を用いて測定した。曲げ試験の荷重速度は破壊までの時間が1分以上となるよう12mm/min.とした。曲げ試験後、試験体下面の曲げ破壊の起点となった節の長径を記録した。

せん断試験は依頼者の指示により中央集中荷重方式で行い、たわみ量は荷重点反対側にヒートンを設置し巻取式変位計を用いて測定した。せん断試験の荷重速度は破壊までの時間が1分以上となるよう4mm/min.とした。

全ての曲げ試験体及びせん断試験体について、試験後全乾法により含水率を測定した。

3 結果

結果を表-2～4に示す。

表-2 材せい120mm3等分点4点荷重曲げ試験結果

No.	密度 kg/m ³	縦振動法	たわみ振動法	TGH法		静的曲げ試験			破壊形態	含水率 %	破壊起点 節径 mm	破壊起点 節径比 %
		ヤング係数 kN/mm ²	曲げヤング係数 kN/mm ²	曲げヤング係数 kN/mm ²	せん断弾性係数 kN/mm ²	曲げ強度 N/mm ²	見かけの 曲げヤング係数 kN/mm ²	真の 曲げヤング係数 kN/mm ²				
A01	665.53	15.18	13.82	15.15	0.75	71.3	13.65	14.98	曲げ	10.0		
A02	657.73	15.76	14.20	15.86	0.69	80.3	14.03	15.35	曲げ	9.6	8.62	7.2
A03	635.87	15.81	13.75	15.03	0.78	75.7	13.55	14.93	曲げ	9.5		
A04	698.19	14.85	13.67	14.78	0.91	76.1	13.35	14.01	曲げ	9.0		
A05	622.77	14.83	13.73	15.10	0.77	57.4	13.37	15.14	曲げ	9.4	3.63	3.0
A06	621.72	14.27	13.67	14.99	0.78	85.0	13.29	14.28	曲げ	9.0	11.86	9.9
A07	618.73	14.93	13.86	15.17	0.71	80.4	13.48	14.66	曲げ	10.2	4.61	3.8
A08	615.55	14.25	13.25	14.77	0.76	87.3	13.29	14.65	曲げ	9.5	9.92	8.2
A09	661.77	16.65	15.12	16.78	0.73	92.4	15.01	16.49	圧縮破壊	11.2		
A10	659.39	17.03	15.36	17.06	0.68	78.5	15.09	16.20	曲げ	10.6		
A11	653.74	17.69	16.03	17.79	0.71	87.3	15.94	17.19	せん断	10.3		
A12	715.09	19.06	17.91	19.77	0.82	101.1	17.26	19.68	曲げ	9.5		
A13	713.81	20.78	18.19	20.28	0.77	107.4	17.93	19.53	せん断	9.8		
A14	663.99	17.87	16.00	17.56	0.73	77.1	15.74	17.67	曲げ	9.4		
A15	698.37	17.31	15.05	16.78	0.71	62.6	14.85	16.37	曲げ	10.6	3.99	3.3
A16	705.80	18.11	17.38	19.39	0.73	93.3	16.67	18.85	曲げ	10.9		
A17	738.47	22.03	19.52	21.90	0.74	105.4	19.33	21.56	曲げ	10.0		
B.01	717.18	16.86	15.48	17.01	0.77	72.3	15.06	17.52	荷重点間外曲げ	9.5		
B.02	635.57	14.82	13.98	15.30	0.78	84.7	13.73	15.46	せん断	9.8		
B.03	719.50	14.66	13.50	15.01	0.90	73.7	13.61	14.19	曲げ	9.8	5.06	4.2
B.04	650.57	15.14	15.16	16.27	0.86	95.3	14.60	16.31	曲げ	9.5		
B.05	668.09	18.66	15.87	17.76	0.63	88.9	15.30	17.32	曲げ	10.5		
B.06	659.86	16.66	15.95	17.53	0.78	83.3	15.50	16.55	曲げ	10.5	3.82	3.2
B.07	637.13	16.64	14.83	16.66	0.68	70.7	14.80	16.54	曲げ	10.3		
B.08	649.58	17.76	15.41	17.14	0.71	81.2	15.45	17.44	曲げ	10.1		
B.09	703.14	20.60	17.94	19.89	0.70	102.9	17.36	19.31	曲げ	9.8		
B.10	765.38	21.21	19.19	21.06	0.93	100.9	18.85	21.78	荷重点間外曲げ	8.2	5.89	4.9

表-3 中央集中荷重曲げ試験結果

材せい(mm).No.	密度 kg/m ³	縦振動法	たわみ振動法	TGH法		静的曲げ試験			含水率 %	破壊起点 節径 mm	破壊起点 節径比 %	
		ヤング係数 kN/mm ²	曲げヤング係数 kN/mm ²	曲げヤング係数 kN/mm ²	せん断弾性係数 kN/mm ²	曲げ強度 N/mm ²	見かけの 曲げヤング係数 kN/mm ²	破壊形態				
120.C.01	649.51	16.01	13.00	15.18	0.74	93.1	12.81	12.81	曲げ	10.1		
120.C.02	661.84	16.01	13.61	16.01	0.78	88.9	12.68	12.68	せん断	10.3		
120.C.03	630.67	15.68	13.08	15.27	0.74	80.1	12.76	12.76	曲げ	9.7		
120.C.04	720.12	20.66	16.48	19.90	0.75	122.3	15.75	15.75	曲げ	10.2		
180.01	622.52	15.54	13.12	15.47	0.70	87.3	12.67	12.67	曲げ	9.8		
180.02	667.24	16.62	14.11	16.72	0.73	84.7	13.70	13.70	せん断	10.5		
180.03	668.19	18.26	15.24	18.29	0.73	79.2	14.14	14.14	曲げ	9.7		
240.01	650.33	16.27	13.60	16.31	0.72	69.2	12.30	12.30	曲げ	10.5	4.30	3.6
240.02	661.36	16.95	14.30	17.22	0.71	84.3	13.08	13.08	曲げ	11.0		
240.03	719.49	20.05	16.57	20.25	0.76	83.7	15.61	15.61	せん断	9.6		
300.01	708.53	17.36	14.48	17.22	0.72	70.9	13.64	13.64	曲げ	11.0	13.65	11.4
300.02	672.24	16.95	14.36	16.99	0.75	68.8	13.30	13.30	曲げ	10.9	9.02	7.5
300.03	738.03	17.84	13.65	16.61	0.70	78.2	14.80	14.80	せん断	9.9		
480.01	701.71	17.53	11.85	17.12	0.75	44.9	9.27	9.27	曲げ	11.1		

表-4 せん断試験結果

材せい(mm).No.	縦振動法				破壊形態	含水率 %
	密度 kg/m ³	ヤング係数 kN/mm ²	せん断強度 N/mm ²	せん断強度 N/mm ²		
120.A.s01	658.02	15.08	6.7	6.7	曲げ	10.1
120.A.s02	655.38	15.33	6.2	6.2	せん断	9.8
120.A.s03	629.52	15.09	6.2	6.2	せん断	9.5
120.A.s04	702.15	13.99	7.6	7.6	せん断	9.3
120.A.s05	624.95	14.88	7.3	7.3	曲げ	9.6
120.A.s06	623.30	13.28	7.1	7.1	せん断	9.1
120.A.s07	633.40	15.20	6.7	6.7	せん断	9.7
120.A.s08	605.57	13.83	6.8	6.8	せん断	9.6
120.A.s09	651.45	16.39	6.7	6.7	せん断	11.1
120.A.s10	649.41	17.07	6.1	6.1	曲げ	10.5
120.A.s11	641.35	17.02	6.5	6.5	せん断	10.2
120.A.s12	706.74	18.70	6.4	6.4	めり込み	9.0
120.A.s13	713.89	20.81	7.2	7.2	せん断	9.5
120.A.s14	671.15	17.68	6.1	6.1	せん断	8.7
120.A.s15	686.48	17.34	6.6	6.6	せん断	10.3
120.A.s16	686.65	16.94	6.5	6.5	せん断	10.4
120.A.s17	731.42	22.04	6.6	6.6	せん断	9.5
120.C.s01	647.79	14.34	7.0	7.0	せん断	9.4
120.C.s02	667.79	15.41	5.9	5.9	せん断	9.5
120.C.s03	623.54	15.50	6.3	6.3	せん断	9.2
120.C.s04	716.77	20.68	8.1	8.1	せん断	9.1
180.s01	626.53	15.79	5.0	5.0	せん断	9.3
180.s02	666.33	16.64	6.3	6.3	せん断	10.4
180.s03	683.36	18.50	5.0	5.0	せん断	9.2
240.s4.1	671.54	16.24	5.4	5.4	せん断	10.7
240.s4.2	697.45	17.27	6.2	6.2	せん断	11.1
300.s4.1	726.02	19.50	6.0	6.0	荷重点外曲げ	10.0
300.s4.2	729.88	19.58	4.9	4.9	せん断	10.4
480.s02	715.93	18.53	4.3	4.3	せん断	10.3

県内産カラマツ丸太のヤング係数

林業総合センター木材部 山内仁人・毛受誠

上田市・長和町及び木祖村産のカラマツ丸太計90本について、縦振動法によるヤング係数の測定を行った。近年の調査結果と同様に、比較的ヤング係数が高い結果が得られ、高齢級化により成熟材率が高まったことでヤング係数も向上していると考えられた。また、上田市・長和町でははい積み状態での測定も行い、1次～3次の固有振動数を用いて検討したところ、2次の固有振動数が1本ずつ吊った状態での測定値と比較的近い値が得られ、山土場等での測定の実用化の可能性が示された。

キーワード：上田地域、木曽地域、カラマツ、縦振動ヤング係数、はい積み

1 はじめに

現在、県産カラマツ丸太は合板用の出荷が多く、他樹種に比べて価格的にも安定しているが、主伐・再造林を進め、持続的な森林経営を行っていくためには、合板以外の用途も開拓し、高付加価値化を図っていく必要がある。ヤング係数の測定は、非破壊で強度性能を推定でき、山元での良質材の選別・出荷等につながる可能性がある。そこで、以前から上田地域を主体に県内各地でカラマツ丸太のヤング係数の調査を実施してきたが、1本ずつ密度と固有振動数を測定する従来の手法は手間がかかり過ぎるため、本年はい積み状態で固有振動数のみ測定し、密度は推定値を用いる方法についても検討を行った（上田地域）。

なお、調査は上田地域振興局（現地適応化試験）・木曽地域振興局（技術協力）と協力して実施した。また、2010年に信州木材認証製品センターのスパン表作成事業の調査結果も併せ、調査年代別のヤング係数の分布傾向についても検討した。

2 試験の方法

調査した丸太の産地及び本数は、表1のとおりである。縦振動ヤング係数の測定は、素材の日本農林規格（JAS）の試験方法を参考に、現地もしくは市場土場で実施し、以下の式により求めた。

なお、本年度は、丸太を吊った状態でクレーンスケールを用い、重量を測定するとともに、木口をハンマーで叩き、反対側の木口付近でATA社製HG-2020spを使用し固有振動数を計測し、密度と固有振動数、材長から縦振動ヤング係数を求める従来の方法に加え、上田地域の2か所の調査地では、はい積み状態で木口を叩き、1次～3次の固有振動数を測定するとともに、式-1の計算およびそのために必要な寸法・重量の測定を省略し、推定密度を用いて縦振動ヤング係数を求め、その精度についての検討も行った。

・式-1： $p = W / (D^2 \times \pi / 4 \times L \times 1 / 10,000)$ ……【見かけの密度 (kg/m³)】

W：重量 D：両木口の短径と長径の平均値 (cm) π：3.14 L：材長 (m)

・式-2： $Ef = (2Lf)^2 p / 10^9$ ……【縦振動ヤング係数 (kN/mm²)】

L：材長 (m) f：固有振動数 (Hz) p：見かけの密度

表-1 令和6(2024)年度調査結果概要

実施年度	調査場所	調査本数	末口		元口		長さ (m)	固有振動周波数 (Hz)	重量 (kg)	見かけの密度 (kg/m ³)	Ef平均 (kN/mm ²)	Ef等級 (本)			
			短径 (cm)	長径 (cm)	短径 (cm)	長径 (cm)						90	110	130	150
2024	(上田)真田	30	30.5	31.5	33.7	34.7	4.105	485.0	284.3	817.9	13.0	4	18	8	
2024	(上田)長和町	30	30.0	31.3	34.5	36.5	4.124	484.2	298.0	821.6	13.1	3	17	10	
2024	(木曽)木祖村	30	25.8	27.0	28.7	29.9	4.139	483.9	190.9	745.3	11.9	2	10	17	1
	計・平均	90	28.8	29.9	32.3	33.7	4.123	484.4	257.7	794.9	12.7	2	17	52	19
	2021-2023上田計・平均	200	25.1	26.2	29.2	30.3	4.108	462.3	227.4	895.4	12.9	8	48	78	66

*末口短径～Ef平均の値は、各調査地の平均値。また、Ef等級の区分はJASIに準じた。

3 結果

本年度の調査結果の概要を表1に示す。測定本数は90本で、内訳は、上田地域が2地区・60本、木曽地域が1地区30本で、ヤング係数の平均値は、 12.67kN/mm^2 であった。いずれの調査地も、Ef等級別の出現本数は130が最も多く、110の出現本数が最も多かった1997～1998年（林齢27～38年）の調査結果^{1)・2)}と比べて、昨年度とりまとめた近年（2016～2023年）の調査結果と同様に、林齢の高齢化に伴い、成熟材の割合が増加したことにより、ヤング係数が増加したと考えられる。

また、はい積み状態で測定した1次～3次の固有振動数を用いて求めたヤング係数と従来同様1本ごとに吊った状態で重量と固有振動数を測定したヤング係数の関係を図-1に示す。なお、はい積み状態の測定値については、2次の周波数については2で、3次の周波数については3で除した値を式-2に代入し、またはい積み状態の材長についても、実測しない仮定で、グラップルの玉切り長設定値（4.1m）を用いてヤング係数を求めた。はい積み状態では、1次・3次の周波数は吊り下げた状態の値に比べ、バラつきが大きく、また3次の周波数については、値が明確に判読できないもの等もあったが、2次の周波数については、バラつきも比較的少なく、1本ずつ吊った状態で測定したヤング係数と近い値を求めることができた。現地土場等で効率的にヤング係数を測定し、用途別等に仕分けることができる可能性が示されたと考えられる。

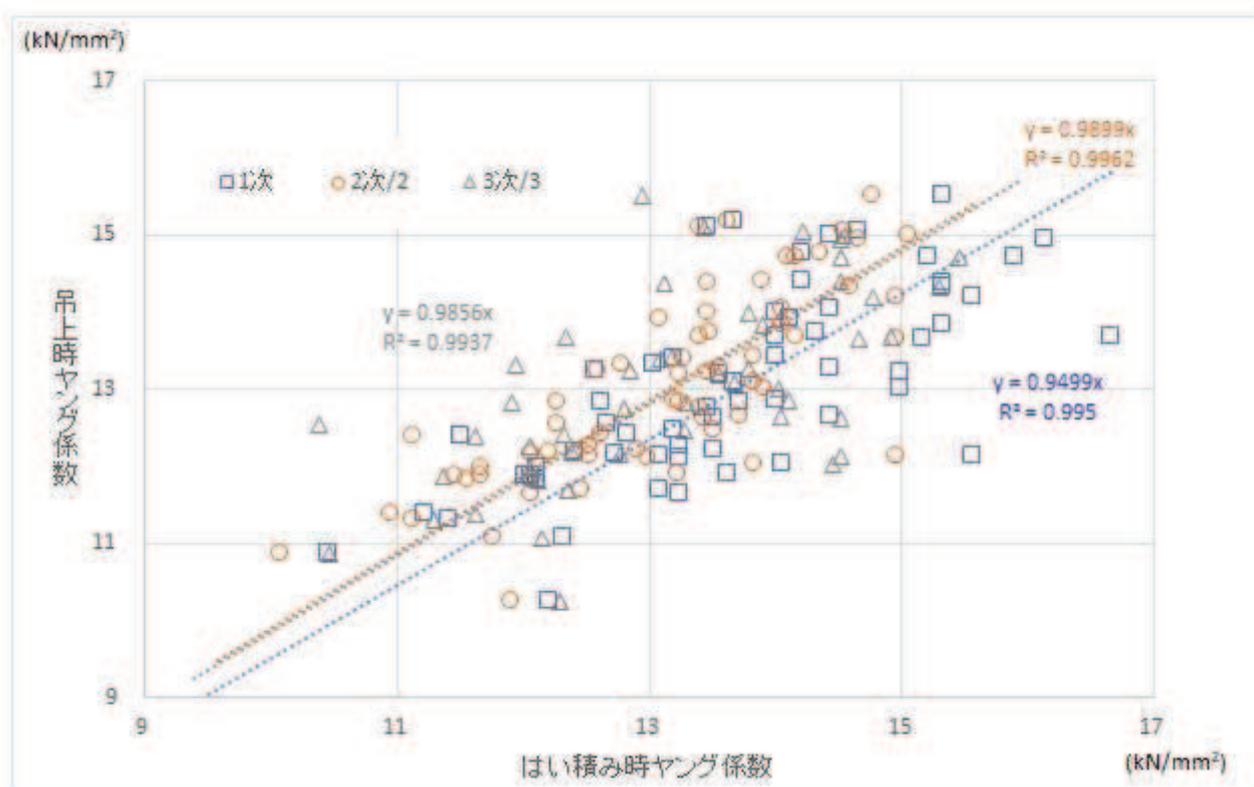


図-1 はい積み状態と吊り上げ状態で測定したカラマツ丸太縦振動ヤング係数の関係

引用文献

- 1) 中田了五・藤澤義武・谷口亨, 林育研報, p85-105 (2005)
- 2) 橋爪丈夫・吉田孝久・武田孝志・東口洋子・藤澤義武・中田了五・谷口亨・中谷幸男, 長野林総セ研報 p107-172 (2011)