

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（1）

－カラマツ心持ち正角 2 m材の曲げ試験－

木材部 奥原祐司・吉田孝久・毛受誠

高温セット処理条件の違いによる曲げ強さを比較するため、長さ 4 m のカラマツ心持ち正角材を 2 m にエンドマッチした 2 m 材を蒸気圧力併用型木材乾燥機により減圧下における高温セット処理し、一方を蒸気式木材乾燥機により現在推奨されている高温セット処理後、同じ栈積み状態で 70℃ の中温乾燥後に曲げ試験を実施した。その結果、曲げヤング係数の平均値は両者に大きな違いは見られなかったが、曲げ強さの平均値は減圧蒸気高温セットの方が低下しており荷重点間の単独節径比が高いこと等が要因と思われる。

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、強度性能

1 はじめに

カラマツの心持ち材を人工乾燥する場合は、強度保持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石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。今年度は、昨年度の試験体¹⁾を用いて、高温セット処理条件の違いによる曲げ強さを比較した。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

試験体は、カラマツ心持ち正角材（105×105×2000 mm）36 本¹⁾を使用した。

高温セット処理は、蒸気式乾燥機を用いて、現在推奨されている蒸気高温セット処理（乾球温度 110℃、湿球温度 80℃で 18 時間処理した 18 本）と、蒸気圧力併用型乾燥機を用いて、減圧蒸気高温セット処理（乾球温度 120℃で想定湿球温度 90℃、12 時間処理した 18 本）の 2 条件で行った。

高温セット処理した試験体を同じ栈積み状態で蒸気式乾燥機により仕上げ含水率 15%以下を目標に 70℃の中温乾燥を 19.6 日間実施した。

曲げ強度試験前に日本農林規格（J A S 1083：2025）の目視等級区分構造用製材の乙種構造材の材面の基準（節）を参考に荷重点間の材縁の節を測定した。曲げ強度試験は、載荷方向は無作為とし、載荷速度 10 mm/分により荷重に対する中央部の変位を測定し実施した（図-1）。破壊後、長さ方向の中央部付近の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水分傾斜を測定した。

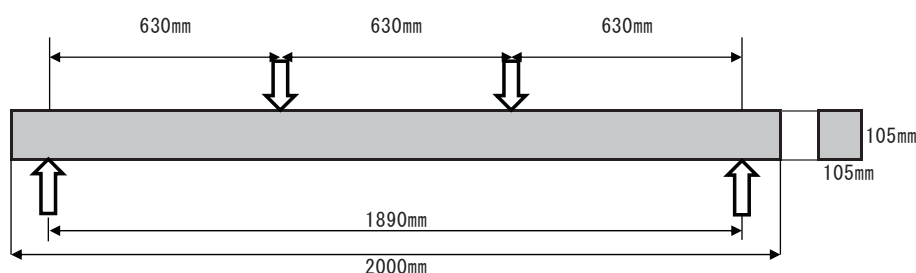


図-1 曲げ試験方法

3 結果

高温セット条件の違いによる曲げ性能を表-1 に、曲げヤング係数と曲げ強さの関係等を図-2～4 に示す。曲げヤング係数の平均値に両者に大きな差は見られなかったが、一部の試験体において、曲げ強さが低下していた。その要因は、両者の含水率及び密度の平均値もほぼ同じ値であったことから、荷重点間材縁の単独節や目切れ等の材質的な影響によるものと思われる（図-5）。

なお、試験体の水分傾斜が少ない仕上がりになっていたが、やや過乾燥であった。

表-1 高温セット条件の違いによる曲げ性能

	曲げ強さ (N/mm ²)		曲げヤング係数 (kN/mm ²)		含水率 (%)		密度 (kg/m ³)	
	蒸気高温セット	減圧蒸気高温セット	蒸気高温セット	減圧蒸気高温セット	蒸気高温セット	減圧蒸気高温セット	蒸気高温セット	減圧蒸気高温セット
平均値	48.4	43.4	11.18	10.66	9.1	8.7	437	432
最小値	29.6	25.0	8.50	7.82	7.4	7.4	322	327
最大値	79.5	67.9	14.90	14.72	11.7	10.3	504	487
標準偏差	12.6	13.0	1.68	1.86	1.2	0.8	44	36
変動係数 (%)	26.0	30.1	15.05	17.44	12.8	8.8	10.0	8.4
試験体数	18	18	18	18	18	18	18	18

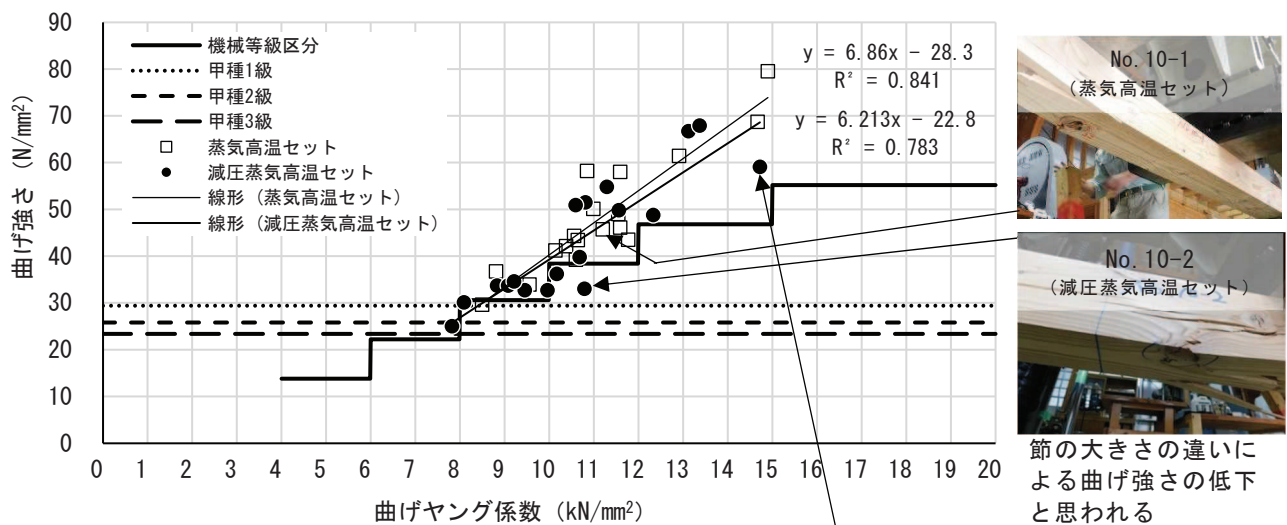


図-2 曲げヤング係数と曲げ強さの関係

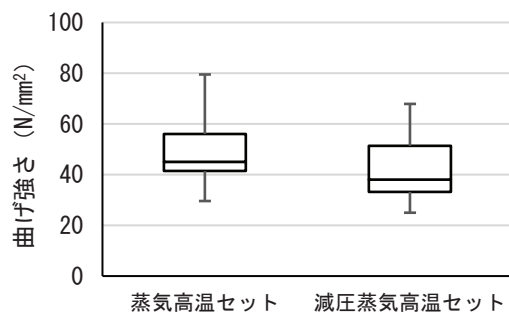
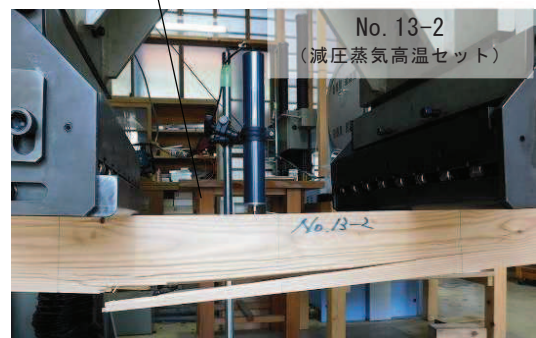


図-3 高温セット条件の違いによる曲げ強さ



目切れによる曲げ強さの低下と思われる

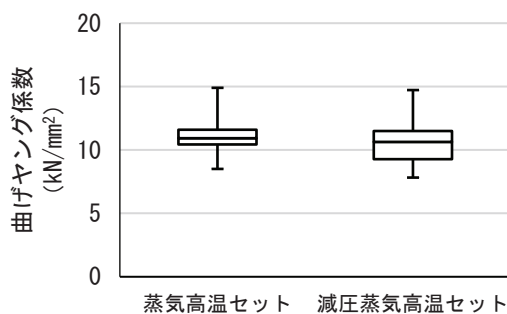


図-4 高温セット条件の違いによる曲げヤング

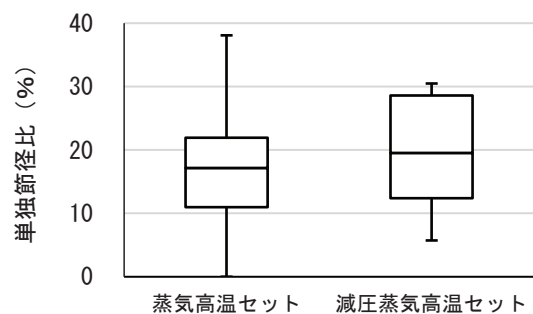


図-5 荷重点間材縁の単独節径比

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（2）

ーカラマツ心持ち正角 4 m材の減圧下における高温セット処理ー

木材部 奥原祐司・吉田孝久・毛受誠

実大材による減圧下における高温セット処理の材面割れ抑制効果を確認するため、カラマツ心持ち正角材を減圧下における高温セット処理と現在推奨されている高温セット処理した後に、同じ棧積み状態で中温乾燥後に材面割れを測定した。その結果、両者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は材面割れ抑制に効果が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、強度保持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石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。本年度はこれまでの試験結果¹⁾から有望と思われる条件により実大材（4 m材）の材面割れ抑制効果を確認した。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

試験体は、カラマツ心持ち正角材（130×130×4000 mm）15本のグリーン材を図-1のとおり質量により昇順に並び替えて、偶数番（7本）を蒸気式乾燥機により現在推奨されている蒸気高温セット（乾球温度 110℃、湿球温度 80℃、18時間、以下高温セットと表記）を、奇数番（8本）を蒸気圧力併用型乾燥機により、減圧蒸気高温セット（乾球温度 120℃、想定湿球温度 90℃、12時間、以下減圧セットと表記）処理を実施した。

高温セット処理した試験体を同じ棧積み状態で蒸気式乾燥機により仕上げ含水率 15%以下を目標に 70℃中温乾燥を実施した（表-2）。なお、前頁の乾燥結果では過乾燥であったことから乾燥日数を 19.1 日間から 15.3 日間に変更した。その後、モルダーにより 105×105×4,000 mmに整形し、コンベックスを用いて 4 材面の割れ幅 1 mm以上の割れ長さを 1 cm単位で測定し、その合計値を材面割れ長さとした。



図-1 乾燥前の試験体（左：蒸気高温セット、右：減圧蒸気高温セット）

表-1 蒸煮及び高温セット条件

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)
蒸気高温 セット	90	—	8	110	80	—	18
減圧蒸気高 温セット	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	340
6	—	—	—	12

合計367時間（15.3日間）

3 結果

各処理後の材面割れの長さの結果を表-3に示す。整形後の減圧蒸気高温セットの材面割れ長さは、蒸気高温セットの2倍程度になっていたが、今回の材面割れ抑制効果を判断するに当たり、既往の試験²⁾における材面割れ長さの平均値は、4 m材における4面の材面割れ長さは300 cmであり、これと今回の試験結果を比較したところ、減圧蒸気高温セットにおいても同程度の割れ抑制効果があったと思われる(図-2)。

蒸気高温セット及び減圧蒸気高温セットの条件について、今までの短尺材(1 m及び2 m)から実大材(4 m)までの試験結果における乾燥後の材面割れ長さを表-4に示す。1 m及び2 mと4 mの材面割れ長さを比較するとバラツキがあり、実大材(4 m)による材面割れ長さで抑制効果を評価する必要がある。

次年度は、この試験体の曲げ強度試験や減圧下における高温セット処理に加えて減圧乾燥まで含めた試験を実施する。

表-3 各処理後の材面割れ長さ(4 m材)

4 m材の4面の材面割れ長さ(cm)	セット後		乾燥後		整形後	
	蒸気高温セット	減圧蒸気高温セット	蒸気高温セット	減圧蒸気高温セット	蒸気高温セット	減圧蒸気高温セット
平均値	173.3	186.0	321.9	251.6	199.0	85.5
最小値	61	24	200	58	43	15
最大値	450	351	484	416	342	201
標準偏差	135.2	108.8	92.2	126.4	107.9	59.8
変動係数(%)	78.0	58.5	28.7	50.2	54.2	70.0
個数	7	8	7	8	7	8

表-4 乾燥後の材面割れの長さ

4 m材の4面の材面割れ長さ(cm)	蒸気高温セット	減圧蒸気高温セット
1 m材 (R5年度)	341	209
2 m材 (R6年度)	395	373
4 m材 (R7年度)	322	252

※1 m材は材面割れ長さを4倍、2 m材は2倍した数値

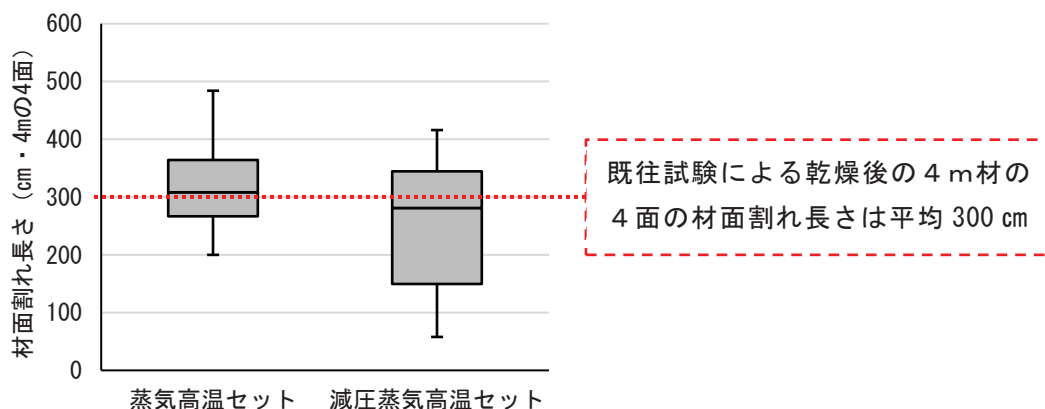


図-2 乾燥後の材面割れの長さ

1) 令和6年度業務報告 P 70-71

2) 吉田孝久, 柴田直明, 今井信, 山内仁人, 松本浩, 安全・安心な乾燥材生産技術の開発 (I) - 材面割れ及び内部割れの少ない乾燥スケジュールの開発 -, 長野県林業総合センター研究報告第27号, pp.111-122, (2013)

無垢構造材の製材・乾燥技術の開発とその性能評価（1） ー心持ちアカマツの正角及び平角材の乾燥特性ー

木材部 奥原祐司・吉田孝久

アカマツ構造材の乾燥特性を把握するため、心持ちアカマツ正角36本及び平角材8本について高温セット乾燥試験を実施した。その結果、養生後の平均含水率は、正角が14.1%で平角が15.4%であった。なお、形質変化（曲がりやねじれ）による削り残しが発生し、製品歩留まりが低下した。

キーワード：アカマツ、心持ち材、高温セット乾燥

1 はじめに

アカマツ林は、松くい虫による被害が深刻化し、被害前の有効活用が課題となっている。これまでアカマツは、住宅用の太鼓材や丸太の横架材として利用されてきたが、プレカット化が進む最近の住宅建築では製材品としての利用は少ない状況にある。そこで、心持ち正角及び平角材が製材のJAS製品として利用可能か乾燥特性について検討した。なお、本試験は、国交課題（令和5～9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

試験体は、心持ち正角材（130×130×4000 mm）36本及び心持ち平角材（130×175×4000 mm）8本とした。

目標含水率を15%とし、正角及び平角材を同じ栈積み状態で表-1及び写真-1のとおり高温セット乾燥を実施した。乾燥後は、当センターの屋内において、21日間（R7.3.14～4.3）の養生を実施し、乾燥による形質変化を測定した。その後、綿半建材（株）において正角は105 mm角に、平角は105×150 mmに整形した（R7.4.4～4.9）。整形後は、図-1のとおり各試験体を切り出した（R7.4.9）。

表-1 高温セット乾燥スケジュール

ステップ	DBT (°C)	WBT (°C)	ΔT (°C)	時間 (h)	EMC (%)	備 考
1	95	95	0	8		蒸煮
2	110	90	20	24	4.6	高温セット処理
3	90	60	30	96	3.0	中温乾燥
クーリング	-	-	-	24	-	ダンパー開、スプレー弁閉

128時間（5.3日間）

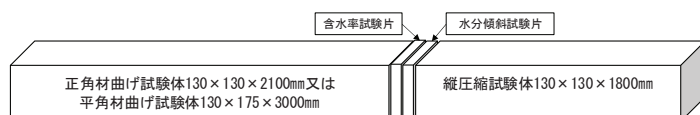


図-1 各試験体の採材位置



写真-1 乾燥前

3 結果

乾燥後の形質変化を表-2に示す。

3.1 含水率

21日の養生後の平均含水率は、正角が14.1%で平角が15.4%であった。この時の一部の材について水分傾斜を図-2及び図-3に示す。正角では中心部と表面側の含水率差は6.4%であり、平角では9.0%であった。なお、目標含水率15%を下回するには更に乾燥時間の延長が必要と考える。

3.2 材面割れ（乾燥後）

正角材の乾燥後の材面割れの平均長さ（4m材の4面の合計）は414 cmであり、既存の試験結果¹⁾から4m材の平均値（500～600 cm）と比較するとほぼ同程度であったと思われる。しかし、こ

の数値は、スギ、ヒノキ、カラマツの材面割れ長さに比べて多く、高温セット乾燥による材面割れ抑制効果は少ないものと思われる。

3.2 曲がりとねじれ（乾燥後、写真-2 及び 3）

正角材（4 m）における、曲がりの平均値は 7 mm（0～30 mm）、ねじれの平均値は 15 mm（0～38 mm）であった。これを整形した時の削り残しは 36 本中 10 本に発生した。これは、曲がりとねじれが複合的に発生することで、それぞれが低値であっても削り残しが発生する場合が想定され、製材寸法を 25 mm 以上アップすると歩留まりが悪く、かつ、高温セット処理部分が整形により削られることから高温セット処理の再検討が必要である。

平角材（4 m）における曲がりの平均値 6 mm（0～18 mm）、ねじれの平均値は広い面で 13 mm（4～23 mm）、狭い面で 10 mm（0～19 mm）であった。これを整形した時の削り残しは 8 本中 2 本に発生した。

表-2 乾燥後の形質変化等

乾燥後	正角材				平角材						
	含水率(%)	曲がり (4m・mm)	割れ (4mの4 面合計cm)	ねじれ (4m・mm)	含水率(%)	曲がり (4m・mm)	反り (4m・mm)	割れ (4m・cm) 狭面2面 広面2面	ねじれ (mm) 広面 狭面		
平均値	14.1	7	414	15	15.4	6	4	340 155	13	10	
最小値	9.9	0	0	0	13.0	0	0	0 0	4	0	
最大値	21.7	30	712	38	18.0	18	9	661 369	23	19	
標準偏差	2.2	6.1	169.4	6.9	2.0	7.3	3.1	171.2 125.5	6.7	5.9	
変動係数(%)	16.0	85.5	40.9	47.5	13.1	116.6	80.9	50.3 80.8	52.8	59.0	
試験体数	36	36	36	36	8	8	8	8 8	8	8	

※含水率は養生後の含水率

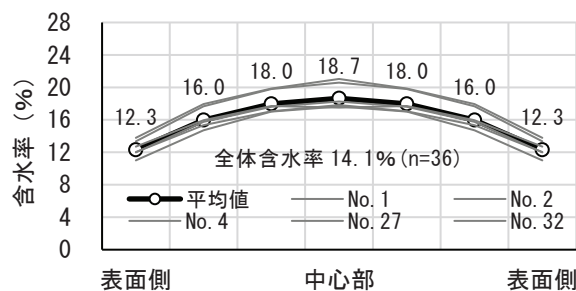


図-2 正角材の水分傾斜 (n=5)

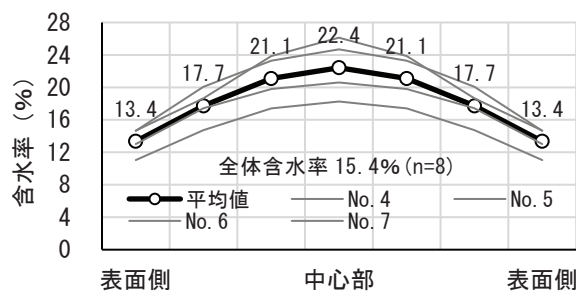


図-3 平角材の水分傾斜 (n=4)



写真-2 左：乾燥前、右：乾燥後のねじれ



写真-3 正角のねじれ

- 1) 吉田ら, 安全・安心な乾燥材生産技術の開発 (I) -材面割れ及び内部割れの少ない乾燥スケジュールの開発-, 長野県林業総合センター研究報告第 27 号, pp.111-122, (2013)

無垢構造材の製材・乾燥技術の開発とその性能評価（2） ー心持ちアカマツの正角及び平角材の強度性能ー

木材部 奥原祐司・吉田孝久

心持ちアカマツ正角36本（105×105×4,000mm）及び平角材8本（105×150×4,000mm）の高温セット乾燥材について曲げ強度試験等を実施した。その結果、目視等級区分構造用製材乙種（正角材）及び甲種Ⅱ（平角材）の材面の基準（節）の評価では3級が5割以上を占めた。また、曲げ強度は、機械等級区分構造用製材の基準強度を正角材及び平角材ともに満足した。

キーワード：アカマツ、心持ち材、節、強度性能

1 はじめに

アカマツ林は、松くい虫による被害が深刻化し、被害前の有効活用が課題となっている。また、これまでアカマツは、住宅用の太鼓材や丸太の横架材として利用されてきたが、プレカット化が進む最近の住宅建築では製材品としての利用は少ない状況にある。そこで、心持ち正角及び平角材が製材の日本農林規格製品として利用可能か検討した。なお、本試験は、国交課題（令和5～9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

試験体は、前頁の心持ち正角材（105×105×2100mm）36本及び心持ち平角材（105×150×3000mm）8本とした。

製材の日本農林規格（JAS 1083：2025）の目視等級区分構造用製材乙種（正角材）及び甲種Ⅱ（平角材）の材面の基準（節）に準じて区分した。また、（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」に準じて、実大材曲げ強度試験機 UH-1000kNA（島津製作所製）を用い、スパン等は図-1（正角：上段、平角：下段）のとおり実施し、載荷方向は、平角はエッジワイズ、載荷速度は、正角材：10mm/分、平角材：15mm/分とした。なお、スパン全体のたわみ量から曲げヤング係数を計算した。

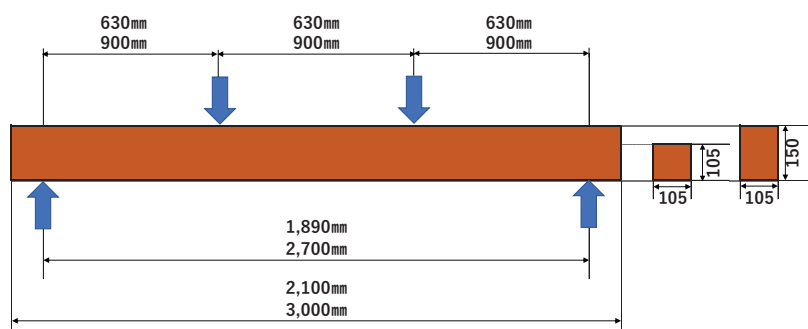


図-1 曲げ試験方法

3 結果

材面の基準（節）による区分を図-2 及び図-3 に示す。正角材及び平角材ともに3級が最も多く、次に2級となった。

曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図-4 及び図-5 に示す。正角材及び平角材ともに概ね機械等級区分構造用製材の基準強度を満足した。

以上のことから目視等級区分構造用製材よりも機械等級区分構造用製材による製品化の方が妥当と思われる。

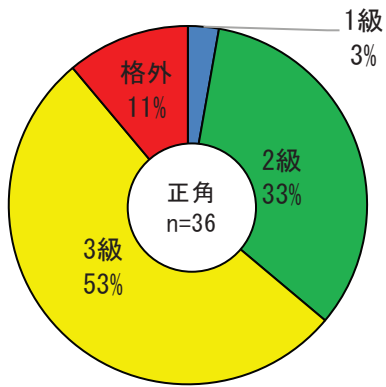


図-2 正角材の節の区分

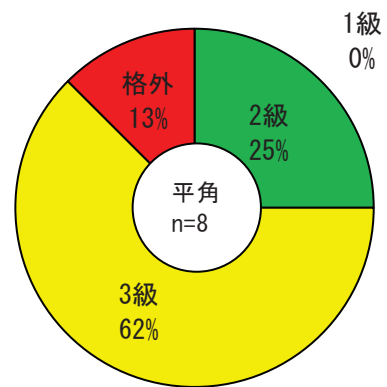


図-3 平角材の節の区分

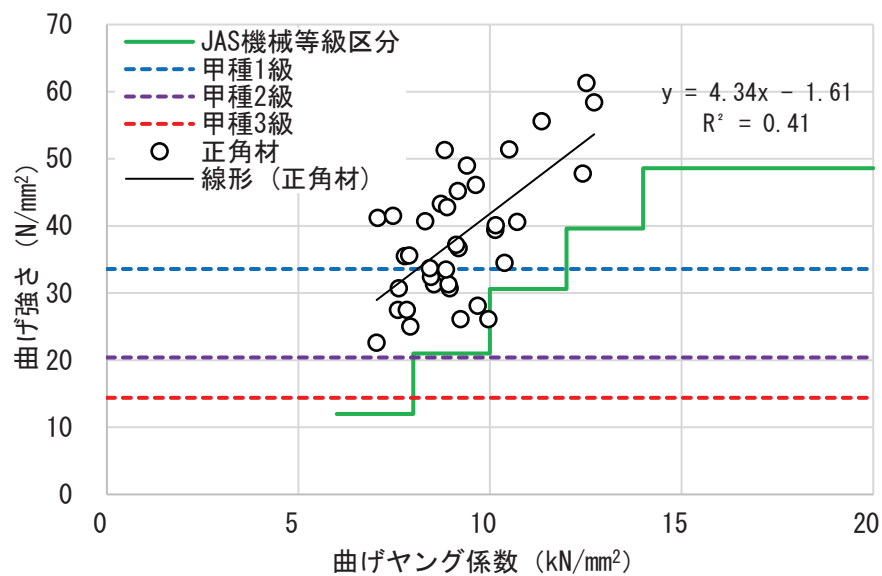


図-4 正角材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係 (n=36)

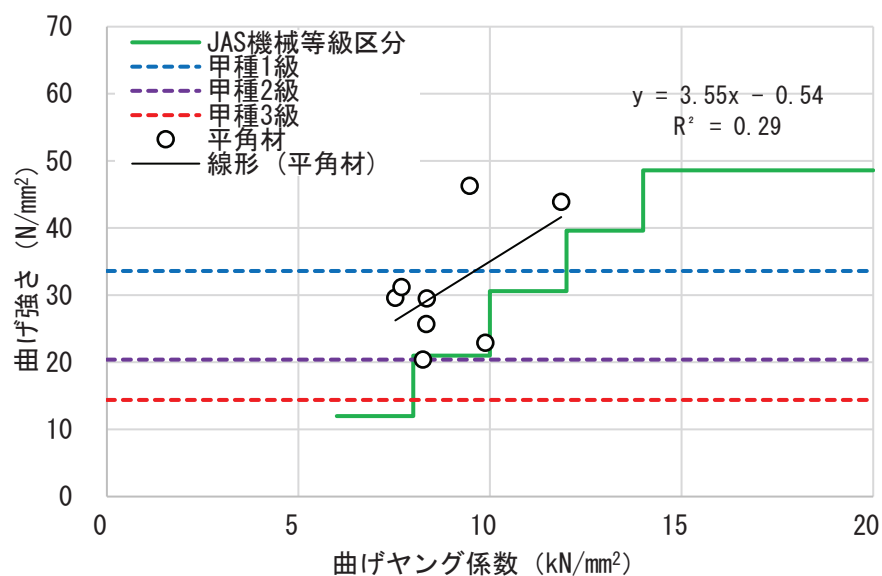


図-5 平角材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係 (n=8)

無垢構造材の製材・乾燥技術の開発とその性能評価 (3)

ーアカマツ心持ち材の縦圧縮強度ー

木材部 毛受誠・奥原祐司・吉田孝久

アカマツ正角材をエンドマッチで無節材と有節材を取り、節サイズを測定し、縦圧縮試験を行った。その結果、有節材は、無節材と比較して縦圧縮強さの平均値に14%有意に低かった ($P < 0.01$)。また、節の占める割合が多いほど、縦圧縮強さが低くなる傾向があり、強い相関 ($r=0.75$) が見られた。縦圧縮強さの平均値は、機械等級区分構造用製材E110の基準値を上回った。

キーワード：アカマツ、節、縦圧縮強さ

1 はじめに

アカマツ林は、松くい虫による被害が深刻化し、被害前の有効活用が課題となっている。また、今までアカマツは、住宅用の太鼓材や丸太の横架材として利用されてきたが、プレカット化が進む最近の住宅建築では製材品としての利用は少ない状況にある。そこで、心持ち正角及び平角材が製材の日本農林規格製品として利用可能か検討した。なお、本試験は、国交課題（令和5～9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

試験体は、前々頁の材面割れ試験体 36 体の内、節があるもの（以下、有節材と表記）と無いもの（無節材と表記）が同時に採材可能な 20 体とし、各 630mm（短辺の 6 倍:105mm×6）にクロスカットし、試験体とした（図-1）。

節の測定は、製材の日本農林規格（JAS 1083 : 2025）の目視等級区分構造用製材の乙種構造材の材面の基準（節）に準じた。なお、節総計径比率は、幅方向 4 面にあるすべての節の合計値を 4 面の幅で除して算出した（髄を含まない節も含めて測定）。

縦圧縮強さ試験は、（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「縦圧縮強さ及び縦圧縮ヤング係数」を参考に載荷速度は 2mm/min とし、写真-1 のとおり節を上部に配置して試験を行った。

節径比と強度の相関関係を正規性の検定により正規分布の有無を確認 ($P < 0.05$)、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、 $P < 0.05$ を統計学的に有意であることを確認した。また、縦圧縮強さを節の有無による 2 群の分散が等しいことを F 検定により確認し、その差をスチューデントの t 検定により確認した。

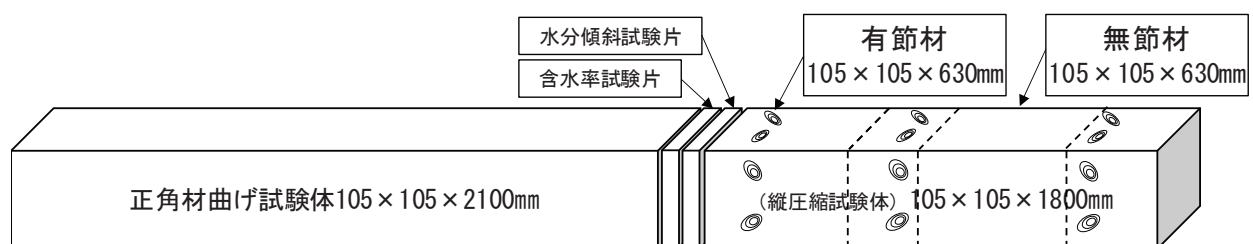


図-1 試験体の採材位置

3 結果

今回の試験では、有節材の方が強かった試験体は、20 本中 1 本のみで、ほとんどの試験体は定説¹⁾どおり無節材の方が強い結果となった（図-2）。検定結果においても無節材の方が有意 ($P < 0.01$) に高

かった。縦圧縮強さの平均値は、有節材の方が平均値で 14%（最大 28%）の強度低下となった。なお、正角材の側面に節が見えていなくても、木口に節の痕跡があると、そこから圧縮破壊しており、無節材の方が弱かった 1 本はこれにあたり、節の痕跡を切除して再試験を行った結果、有節材の強度を上回った（図-2、写真-2）。

試験体の節総計径比率と縦圧縮強さの関係をみると、節の占める割合が多いほど、縦圧縮強さが低くなる傾向があり、強い相関（ $r=0.75$ ）が見られた（図-3）。また、国交省告示のアカマツ無等級材の基準強度 22.2N/mm^2 は、節の有無にかかわらず、全ての材が満たしていた。

上記以外の節と縦圧縮強さとの相関では、単独節最大径比率の相関（ $r=0.63$ ）、集中節最大径比率の相関（ $r=0.71$ ）、死節総計径比率の相関（ $r=0.66$ ）、正角材の角にある節総計径比率の相関（ $r=0.52$ ）などを確認したが、節総計径比率の相関が最も高かった。（図-3）

今回の試験結果から有節材の縦圧縮強さの平均値は、機械等級区分構造用製材 E110 の基準値（ 24.6N/mm^2 ）を上回った。



写真-1 正角材の圧縮試験状況（载荷速度 2 mm/分）

有節材は、節の周辺に割れが入り、無節材は、特定の場所に関係なく、割れが入り圧縮破壊した。

表-1 縦圧縮強さ試験結果

	有節材 (N/mm^2)	無節材 (N/mm^2)	全乾密度 (kg/m^3)	含水率 (%)
平均値	28.4	33.0	422	13.7
最小値	24.2	29.2	366	13.3
最大値	36.7	39.2	553	14.4
標準偏差	3.7	2.9	45	
変動係数(%)	12.9	10.6	11	
試験体数	20	20	20	※

※含水率は、試験20日前の4個体のデータ

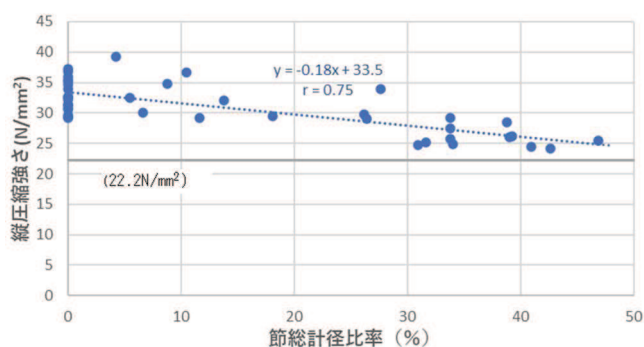


図-3 節総計径比率と縦圧縮強さの関係

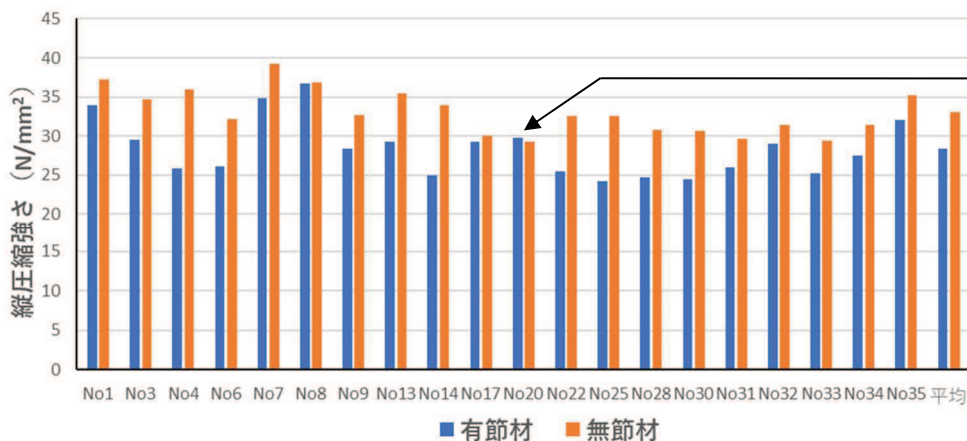


図-2 有節材と無節材の縦圧縮強さの比較

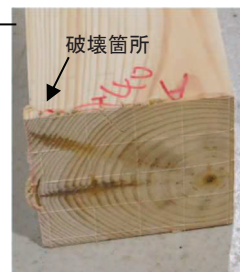


写真-2

上部の節痕跡と
圧縮破壊状況

1) 例えば、木材学—基本編—, 日本木材学会 (2023), p56-57

無垢構造材の製材・乾燥技術の開発とその性能評価（4） ーカラマツのせん断基準強度の再評価のための実大材試験ー

木材部 山内仁人・小池直樹・毛受誠

高温乾燥および高温セット・中温乾燥したカラマツ心持ち正角材のせん断試験を、スパンを変えた2条件の逆対称4点曲げで実施した。結果、すべての試験体で、せん断強さは基準強度を上回ったが、高温乾燥した試験体より高温セット・中温乾燥した試験体の方が高かった。また、試験の際生じるめり込みの予防に、ねじ補強が有効であったが、スパンを長くすると曲げ破壊の割合が増加した。

キーワード：せん断強度、カラマツ、実大材、ねじ補強

1 はじめに

近年、中・大規模の木造建築物の増加に伴い、木材・木質材料に対する要求性能も高くなってきている。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、その試験方法の特性とせん断強度を明らかにすることを目的として、本年度は正角材の実大材試験を実施した。

なお、本試験は国交課題（令和5～9年度）及び令和6年度林野庁補正補助事業の木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業「構造用木材の強度試験・評価法の改訂と実大材に基づくせん断強度の再検証事業」（代表機関：一般社団法人木を活かす建築推進協議会）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

県内産心持ちカラマツ正角（105mm×105mm）の高温乾燥材 17 本と、同高温セット・中温乾燥材 17 本、計 34 本の 3 m 材を供試材とした。各供試材は、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非破壊調査を実施した上で、逆対称4点曲げの中央付近のせん断スパン 2.5d・3d の各試験体を採用した（図-1）。また、3d 試験体を採用した内側から、厚さ 25mm 程度の含水率測定用試験片を採取し、全乾法により含水率を求めた。

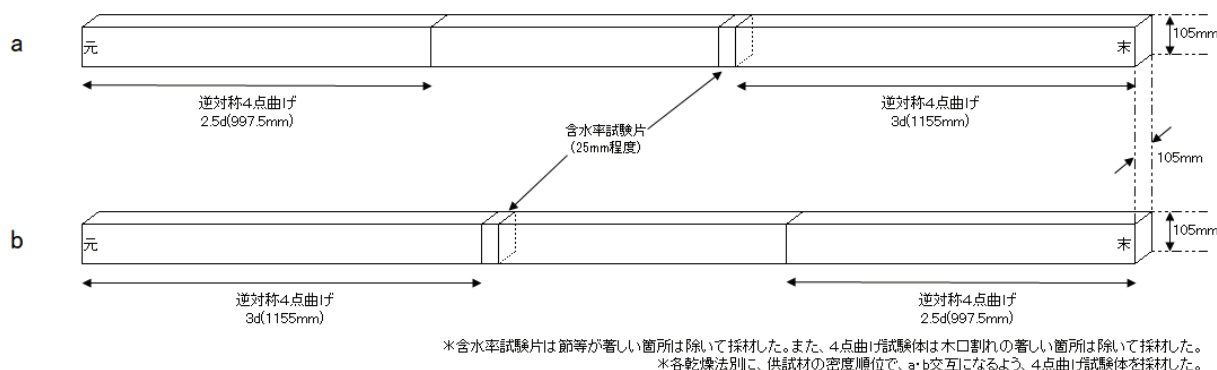


図-1 供試材からの試験体採材木取り

せん断強度試験は、(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「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方法で実施した。各試験体の寸法、加力方法は図-2 のとおりで、めり込み破壊を防ぐため、中央上下の加圧面には、径 8mm・総長さ 80mm・ねじ長 65mm のねじ (Schmid 社 VERBINDERSCHRAUBE) による補強を行った。

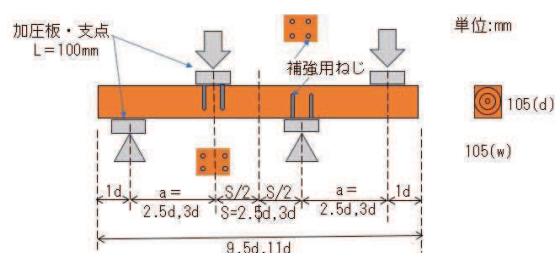


図-2 逆対称 4 点曲げ試験体の寸法・加力方法

3 結果と考察

試験結果の概要は表のとおりで、国交省告示のせん断の基準強度 (2.1N/mm^2) を下回った試験体はなかった。2.5d 試験体より、3d 試験体の方が、せん断強さがやや低く、曲げ破壊等、せん断以外の形態で破壊したものが多かったが、表は、他の破壊形態のものも含めてとりまとめた。スパン条件とせん断強さや、破壊形態の関連性については、より多くの検討が必要と考えられる。また、ねじ補強を施したことで、めり込みの発生はほぼ抑制できたが、ねじ先端付近が、曲げ破壊の発生箇所となった可能性があり、適切なねじ長さ等についても、さらに検討する必要がある。

乾燥方法別の、気乾密度とせん断強さの関係を図-3 に、同縦振動ヤング係数とせん断強さの関係を図-4 に示す。高温乾燥した試験体の方が、高温セット・中温乾燥の試験体よりせん断強さが低かったが、気乾密度・縦振動ヤング係数についても、同様の傾向であったことから、今回の試験体のせん断強さの差の要因として、元々の原木の質に差があったことも考えられる。

表-1 試験結果概要

	3m材						2.5d試験体		3d試験体	
	密度 (kg/m^3)	縦振動法による動的ヤング係数 (kN/mm^2)	曲げたわみ振動法による見かけのヤング係数 (kN/mm^2)	TGH法による真の曲げヤング係数 (kN/mm^2)	せん断弾性係数 (kN/mm^2)	含水率 (%)	最大荷重 (kN)	せん断強さ (N/mm^2)	最大荷重 (kN)	せん断強さ (N/mm^2)
試験体数	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
平均値	509	11.27	11.60	11.98	0.928	12.9	108.12	7.36	96.0	6.53
最小値	397	7.12	7.22	7.65	0.501	10.2	71.20	4.83	61.2	4.24
最大値	633	15.80	17.43	17.99	1.202	15.4	153.5	10.45	139.0	9.41
標準偏差	57.9	2.21	2.50	2.59	0.185	1.49	24.01	1.61	21.49	1.45
変動係数 (%)	11.4	19.6	21.6	21.6	19.9	11.6	22.2	21.8	22.4	22.2

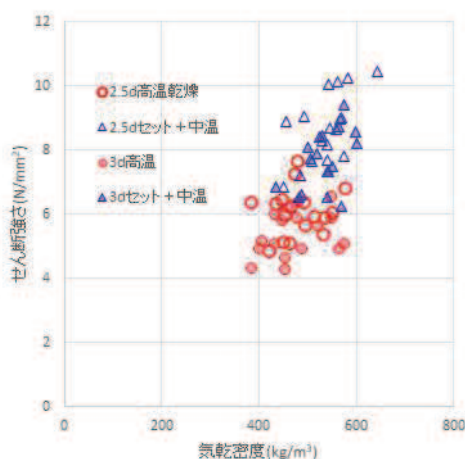


図-3 気乾密度とせん断強さの関係

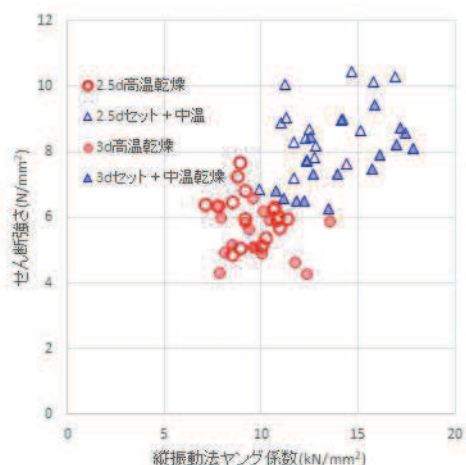


図-4 Efrとせん断強さの関係

大径材の利点を活かした高剛性・高強度梁桁等の開発と性能評価（1） ～県内産カラマツ丸太のヤング係数（はい積み状態での測定）～

木材部 山内仁人・小池直樹

上田市・長和町のカラマツ丸太計60本について、はい積み状態で縦振動法によるヤング係数の測定を行い、1本ずつ吊った状態の測定値と比較・検討した。前年同様、はい積み状態2次の固有振動数を用いた測定が、吊った状態での測定と比較的近い値が得られた。

キーワード：上田地域、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につながる可能性があるが、1本ずつ丸太の重量・寸法・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、昨年度からは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検討を行っている。

本年度は、県単課題及び上田地域振興局との現地適応化実証試験として、同手法の検討を行った。

2 試験の方法

調査した丸太の産地及び本数は、表のとおりである。縦振動ヤング係数の測定は、現地もしくは製材所土場で実施した。

単木状態の縦振動ヤング係数は、素材の日本農林規格（JAS）の試験方法を参考に、クレーンスケールで吊った状態で丸太の重量を測定し、併せて、木口を叩いて1次の固有振動数を測定し、式-1・2により求めた。さらに、その丸太をはい積みし、その状態で木口を叩き、1次～3次の固有振動数を測定して、単木状態の測定値と比較した。なお、単木状態・はい積み状態いずれも、固有振動数の測定には、ATA社製HG-2020spを使用した。

・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

3 結果

本年度の調査結果の概要を表に示す。ヤング係数の平均値は、12.9kN/mm²で、Ef等級別の出現本数は130が最も多かったが、ヤング係数の平均値・Ef等級別出現率ともに、調査地ごとの差がやや大きかった。なお、長和町大門での調査は、本業務報告83～84pで調査対象とした心去り平角用の原木を対象として実施したため、上田市武石の調査と比較すると、原木サイズが比較的大きい。

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・2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、材長は、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、昨年度と同様に、1本ずつ吊った状態で測定したヤング係数に近い値を求め

ることができた。なお、図-1・2 のはい積み状態のヤング係数算出には、単木状態の測定で求めた見かけの密度を用いているが、今後、重量・密度の測定省略による精度低下が、使用目的によってどの程度許容されるか等の検討も行っていきたい。

表 令和 7 (2025) 年度調査結果一覧

実施 月・日	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
10.27	長和町大門	30	36.7	38.2	40.4	42.0	4.136	475.3	395.8	784.0	12.1		12	16	2
11.11	上田市武石	30	24.7	25.3	27.6	28.6	4.120	470.5	210.1	910.5	13.8		6	8	16
計・平均		60	30.7	31.8	34.0	35.3	4.128	472.9	303.0	847.2	12.9		18	24	18

＊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。

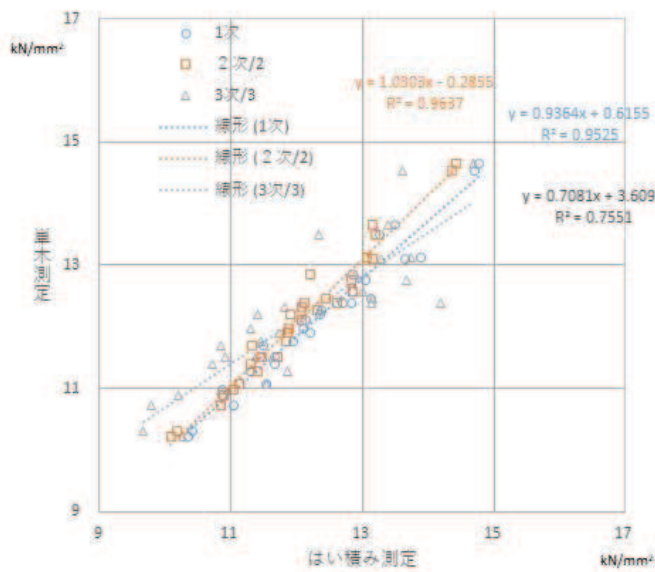


図-1 はい積み状態と吊り上げ状態で測定したカラマツ丸太縦振動ヤング係数の関係（長和）

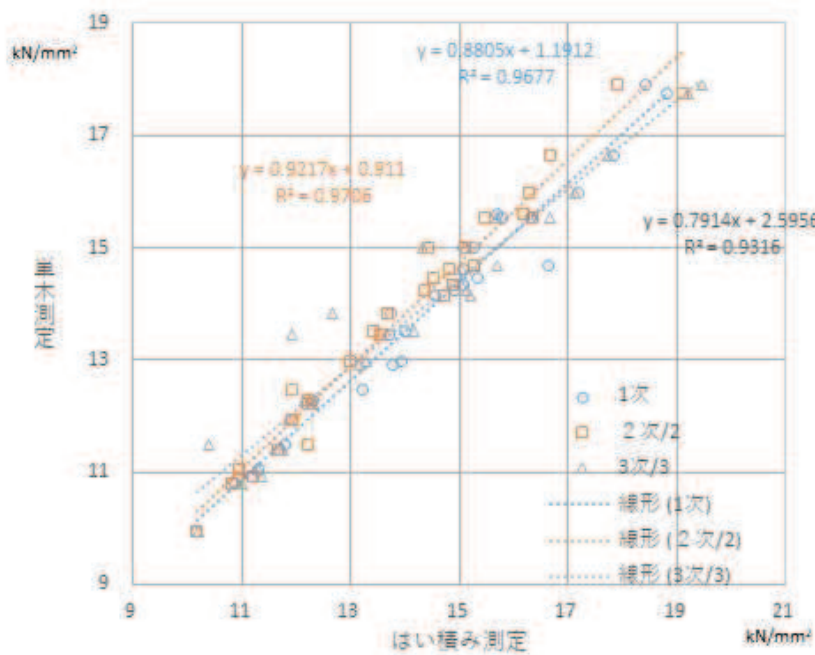


図-2 はい積み状態と吊り上げ状態で測定したカラマツ丸太縦振動ヤング係数の関係（武石）

大径材の利点を活かした高剛性・高強度梁桁等の開発と性能評価 (2) ～カラマツ心去り平角の栈積み状態でのヤング係数の推定～

木材部 小池直樹、山内仁人

栈積み状態のまま縦振動試験を行い、カラマツ心去り平角のヤング係数の推定は可能か調査した。その結果、E等級は精度よく推定可能であり、本手法の実用性を示すことができた。

キーワード：カラマツ、心去り平角、栈積み、振動試験、ヤング係数推定

1 はじめに

栈積み状態のまま縦振動試験を行い、スギ心持ち平角のヤング係数を推定する方法については久保島らの報告¹⁾がある。今回カラマツ心去り平角を用いて、より長野県内の現場に即した条件で固有振動数の測定あるいはヤング係数の推定が可能か調査した。本研究は上田地域振興局の現地適応化実証試験として、また県単課題（令和6年～10年）として実施した。

2 試験方法

長野県小県郡長和町大門より搬出された末口の長短平均径 34~46cm のカラマツ SGEC 認証丸太 30 本より採取された心去り平角 60 本を試験材とした。小林木材株式会社（長和町）で中温乾燥の後、短辺 130mm の仮プレーナー仕上げの状態です。15 段の栈積みとした。栈積みの状態は図 1 の通りであり、複数断面の平角が混載され、かつ栈木位置や形状は一定ではなく、平角の短辺同士は接しているものとそうでないものがあった。縦振動試験は偏心した重し（正角約 500kg 分）あり、なしの 2 条件で実施し、株式会社エーティーエー社製 HG-2020sp と原木木口用センサーを用いて 1~3 次の固有振動数を同定し、単木状態の固有振動数及び重量は株式会社エーティーエー社製 HG-2001 を用いて得た。

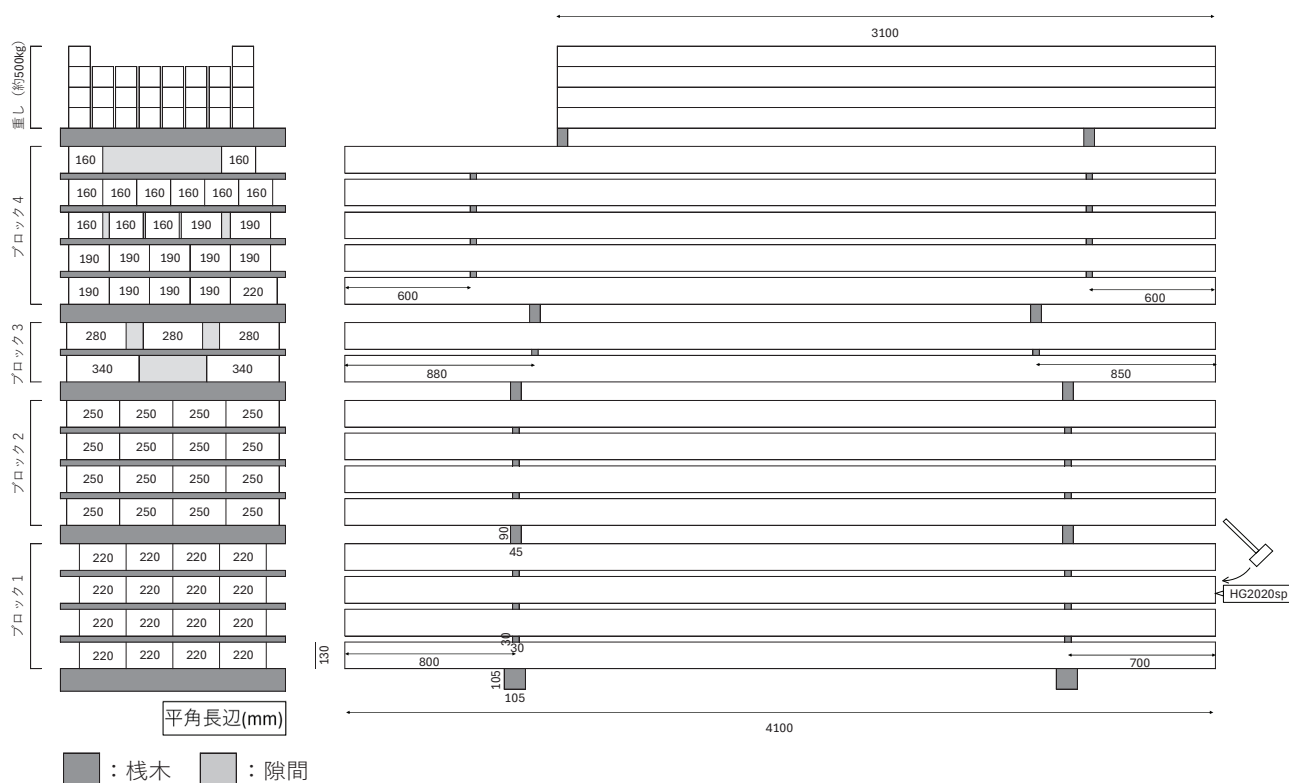


図-1 振動試験時の栈積み状態（不均等重しありの場合）

3 結果と考察

栈積み時の固有振動数を次数で除した値と単木時の固有振動数の関係を図-2 に示す。1 次の振動数ではブロック 1 等栈積み下部で拘束の影響が顕著にみられ単木時より高い値となった。また表-1、2 に固有振動数比（栈積み/単木）とヤング係数比（固有振動数比で補正した推定値/実測値）を示すが、既往研究¹⁾と同様のヤング係数推定精度が得られた。

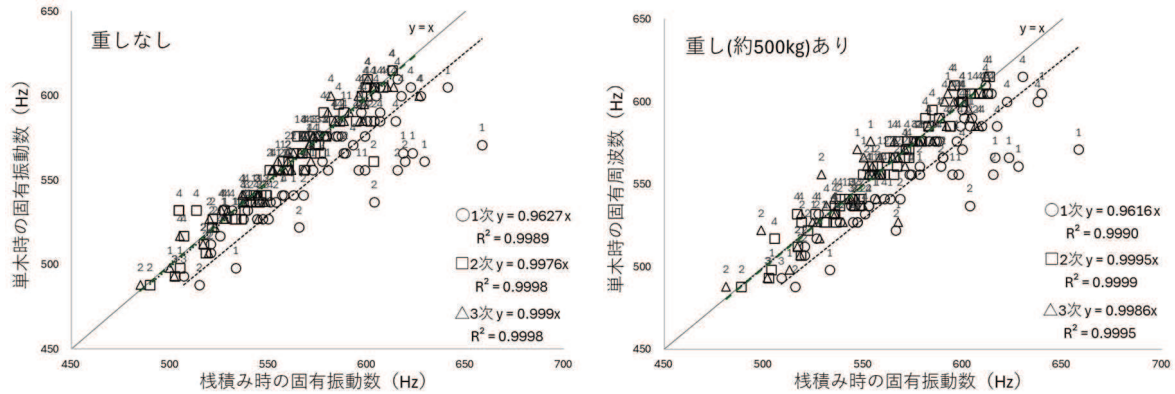


図-2 栈積み時と単木時の固有振動数（マーカー上の値（1-4）は図-1のブロック位置）

表-1 固有振動数比（栈積み/単木）

既往研究 ¹⁾	固有振動数	重し：0	重し：2.03 t
スギ 心持ち	1次	1.08 (0.039)	1.14 (0.068)
	2次	1.03 (0.015)	1.04 (0.016)
	3次	1.03 (0.011)	1.03 (0.017)
本稿	固有振動数	重し：0	重し：約0.5 t
カラマツ 心去り	1次	1.04 (0.035)	1.04 (0.033)
	2次	1.00 (0.016)	1.00 (0.012)
	3次	1.00 (0.015)	1.00 (0.022)

平均値（標準偏差）

表-2 ヤング係数比（推定値/実測値）

既往研究 ¹⁾	固有振動数	重し：0	重し：2.03 t
スギ 心持ち	1次	1.01 (0.13)	1.02 (0.19)
	2次	1.01 (0.12)	1.01 (0.12)
	3次	1.01 (0.12)	1.01 (0.11)
本稿	固有振動数	重し：0	重し：約0.5 t
カラマツ 心去り	1次	1.01 (0.09)	1.00 (0.09)
	2次	1.00 (0.07)	1.00 (0.06)
	3次	1.00 (0.06)	1.00 (0.08)

平均値（標準偏差）

次に栈積み状態での製材の固有振動数と平均密度を用いて算出した E_{fr} を、グレーディングマシンと同じベイマツ用補正式で曲げヤング係数に変換し等級区分したものと実際の E 等級のずれ（＝推定誤差）を図 3 に示す。重しの有無、固有振動数の補正¹⁾の有無にかかわらず、2 次か 3 次の固有振動数を用いることで全ての材が 1 等級危険側までの範囲に収まり、特に 2 次の固有振動数を用いた推定 E 等級の約 90%以上が実際に同一等級以上の材であることがわかった。本手法は栈積みの中から高ヤング係数の平角を簡便に一次選抜する際等には極めて有用と思われる。

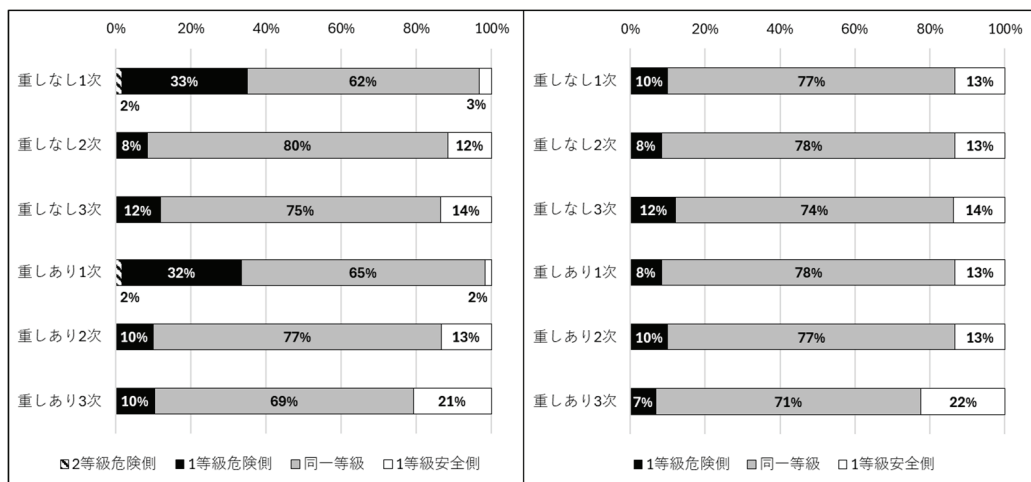


図-3 推定 E 等級と実際の E 等級のずれ（左：固有振動数補正なし、右：補正あり）

引用文献：1)久保島吉貴、加藤英雄：木材工業、80 (9)、336-341 (2025)

大径材の利点を活かした高剛性・高強度梁桁等の開発と性能評価 (3) ～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(8)-せん断強度分布-～

木材部 小池直樹

長野県産カラマツ及びヒノキの樹幹内せん断強度分布調査を行った。その結果、カラマツとヒノキで分布パターンは異なることが分かった。

キーワード：カラマツ、ヒノキ、せん断強度、強度分布

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。今年度実施内容の主要な成果については「木材工業」誌 2026 年 2 月号で発表¹⁾したため、本報ではその概要を報告する。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）の標高 1040m 地点の 1964 年植栽 59 年生カラマツ 2 本(No.1: 樹高 35.2m・胸高直径 52.5cm、No.2: 樹高 39.9m・胸高直径 49.4cm)と、標高 1030m 地点の 1933 年植栽 90 年生ヒノキ 2 本(No.1: 樹高 23.4m・胸高直径 48.0cm、No.2: 樹高 22.7m・胸高直径 45.5cm)を伐採し、長さ 4.1m で玉切りし 4 番玉までを供試丸太とした。

丸太は髄を通る板材に製材し天然乾燥の後、節等の欠点を避けた任意の 2 箇所半径方向に棒状材を採取し、半径方向に連続していす型せん断試験体を採取し、一方のせん断面を柢目面（LR 面、 τ_{TL} 試験体）、他方のせん断面は板目面（LT 面、 τ_{RL} 試験体）になるよう加工した。柢目面・板目面せん断の定義は石丸ほか編（2017）²⁾に従った。試験体の寸法は 25mm (R 方向)×25mm (T 方向)×35mm (L 方向)とした。作成した試験体の数はカラマツ柢目面試験体 104 体、同板目面試験体 101 体、ヒノキ柢目面試験体 88 体、同板目面試験体 94 体であった。調湿の後、せん断試験に先立って密度を測定した。

せん断試験には JIS Z 2101 に記載のある専用治具を用いた。加力は引張圧縮試験機（ミネベアミツミ株式会社製 TG-50kN、最大容量 50kN）を用いて荷重速度 0.5mm/min.で行い、最大荷重とせん断面積よりせん断強度（ σ ）を算出した。せん断試験終了後、全乾法により各試験体の含水率を求めた。

3 結果と考察

せん断強度と密度の半径方向分布を図-1 に示す。なお密度データの欠損箇所は試験体作成後に節等の欠点が多くなり試験を行わなかった箇所であり、せん断データの欠損は上記に加え支持台側に破壊が生じたため不採用とした箇所である。板目面の髄付近でせん断強度データの欠損が目立つが、2 樹種とも柢目面・板目面を問わずせん断強度分布は密度分布とおおよそ相似し、カラマツは髄付近のせん断強度が低く、ヒノキは逆に高いことが確認できた。また 2 樹種とも番玉間の強度差は比較的僅少で、樹幹内繊維方向のせん断強度の変動は顕著でないことが示唆された。

密度とせん断強度の平均値と下限値(正規分布と仮定した場合の信頼水準 75%における 95%下側許容限界値、以下同様)について、文献値と今回の結果の比較を表-1 に示す。2 樹種すべての平均値・下限値が文献値を下回った。

今回得られたせん断強度の低さについて、カラマツの柢目面・板目面の両せん断面平均値については試験体密度の平均値の低さがある程度影響していると考えられるが、ヒノキについては密度が

より小さい中井と山井の報告⁴⁾よりもせん断強度平均値が小さいため、試験体採取位置もしくは立木レベルの個体差等が影響したものと思われ、今後さらなる検討が必要である。また JIS Z 2101 :2009 に「物性質の変動係数の平均値」としてせん断強度は 20%という値が示されているが、今回得られた変動係数は 2 樹種両せん断面全てで 20%を上回り下限値の低さに大きく影響しており、半径方向のせん断強度のばらつきを正確に把握することの重要性が示されたと言える。

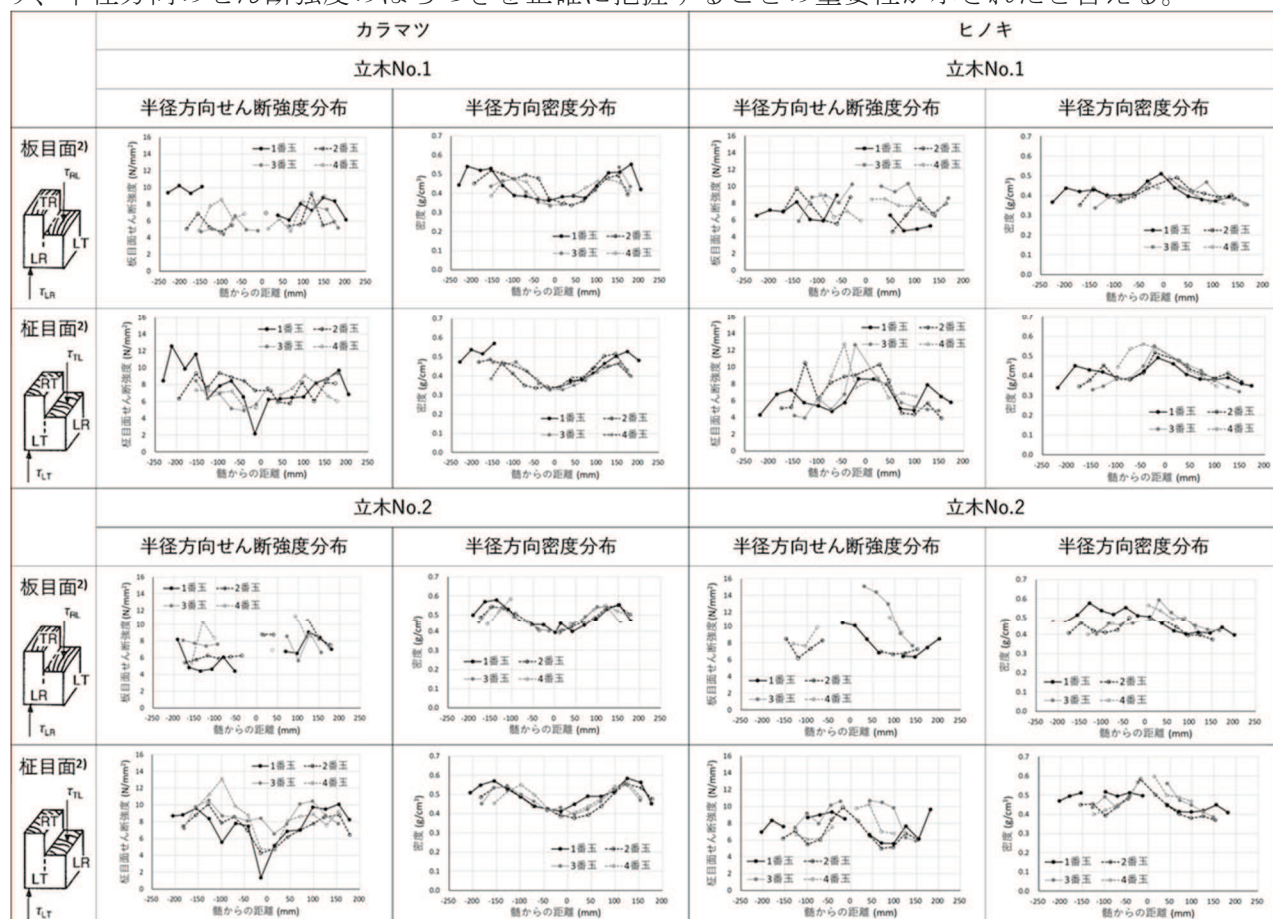


図-1 せん断強度と密度の半径方向分布

表-1 文献上のせん断強度（単位は N/mm²、括弧内は試験体密度 kg/m³）

文献		カラマツ	ヒノキ
安藤ら1971 ³⁾ 天乾、2立木分	平均値 下限値	板目面7.68 (535), 柁目面8.82(535) 板目面5.05, 柁目面5.95	
中井、山井1982 ⁴⁾	平均値 下限値	板目面10.1 (569), 柁目面12.7(569) 板目面7.7, 柁目面10.3	板目面10.1 (380), 柁目面9.6(380) 板目面8.4, 柁目面8.2
井道ら2012 ⁵⁾	平均値 下限値		9.29 (462) -
本報 天乾、2立木分	平均値 下限値	板目面 7.01 (467), 柁目面 7.82 (459) 板目面 4.02, 柁目面 4.65	板目面 7.94 (419), 柁目面 6.91 (433) 板目面 4.38, 柁目面 3.81

引用文献：1)小池直樹、木材工業、81、2、48-53(2026) 2)石丸優、古田裕三、杉山真樹：木材科学講座 3 木材の物理、海青社、139(2017) 3) 安藤賢吾、小林善重、三村典彦：長野県林業指導所昭和 45 年度業務報告、292-324 (1971) 4)中井孝、山井良三郎：林業試験場研究報告、**319**, 13-46 (1982) 5)井道裕史、長尾博文、加藤英雄：森林総合研究所研究報告、**11**(3), 121-133 (2012)

大径材の利点を活かした高剛性・高強度梁桁等の開発と性能評価（4） ～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（9）-せん断強度分布-～

木材部 小池直樹

長野県産カラマツ及びヒノキの樹幹内せん断強度分布調査を既往文献調査も含め行った。その結果、樹種により分布パターンは異なり、また年輪晩材部の強度への寄与率も異なることが分かった。

キーワード：カラマツ、ヒノキ、せん断強度、強度分布

1 はじめに

本報（9）では他産地カラマツの結果¹⁾を再掲し県産カラマツのせん断強度分布パターンを考察し、また諸形質間の関係について既往研究¹⁻³⁾も踏まえ報告する。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

せん断試験方法については本報（8）の通り、曲げ試験方法・結果については既報^{2,3)}の通り、浅間山産カラマツのデータは安藤らの報告¹⁾のものを利用した。諸形質間の相関検定は外れ値の存在を考慮し Spearman の順位相関係数検定を行った。

3 結果と考察

まず安藤らの報告¹⁾にある浅間山産カラマツ2立木分のせん断強度及び密度の半径方向分布を再プロットし図-1に示す。立木 No.1 においてはせん断強度分布の傾向が不明瞭ではあるものの、密度分布と立木 No.2 の分布パターンは伊那カラマツと概ね相同とってよく、県産カラマツのせん断強度及び密度の分布は髄で低く、外周に向かって上昇し、最外層で若干低下するパターンを示すことが示唆された。

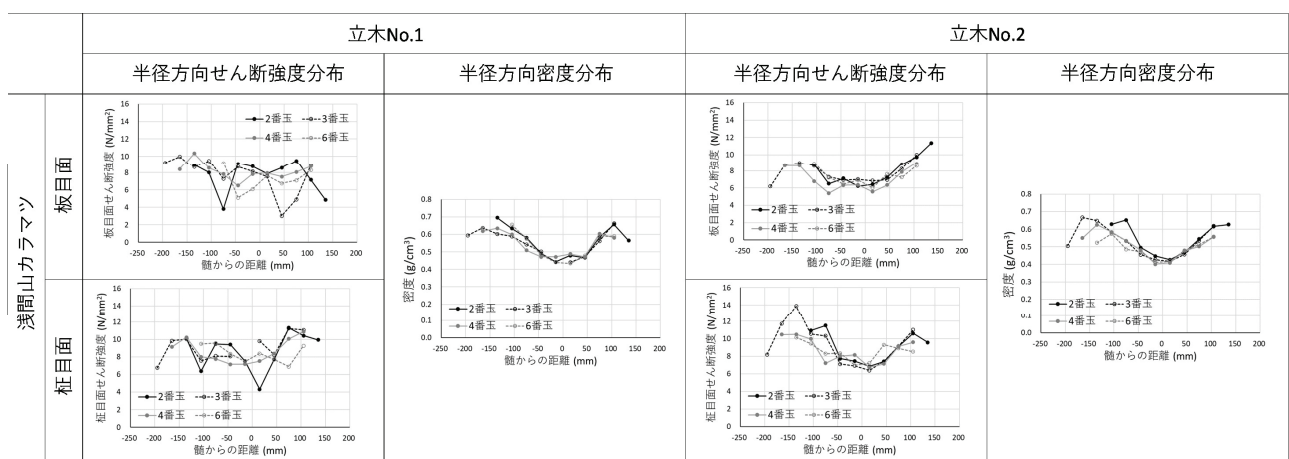


図-1 せん断強度と密度の半径方向分布

次に各樹種・各産地2立木分の全小試験体の諸形質間の関係を図-2に示すが、図中空欄部分は試験を行っていない。採材位置とせん断強度の関係について、カラマツは正の、ヒノキは負の相関が確認できたが、伊那カラマツ板目面については相関関係が認められなかった。採材位置と密度の関係については、全て採材位置とせん断強度間の相関より強い相関が確認できた。曲げ強度とせん断強度の関係について、全て正の相関が確認できた一方で、曲げヤング係数とせん断強度の関係についてはヒノキ柁目面のみ相関関係が認められなかった。せん断された年輪（晩材部）数とせん断

強度の関係について、伊那カラマツでは柾目面でのみ相関が認められたのに対し伊那ヒノキでは板目面においてのみ相関が認められた。

これらの結果より、県産カラマツとヒノキはせん断強度分布パターンが異なることは明らかであるため、せん断力が働く箇所での使用は樹種とその採材位置（木取り）に注意すべきといえる。また、樹種により年輪晩材部のせん断強度に対する寄与率も異なることが示唆された。

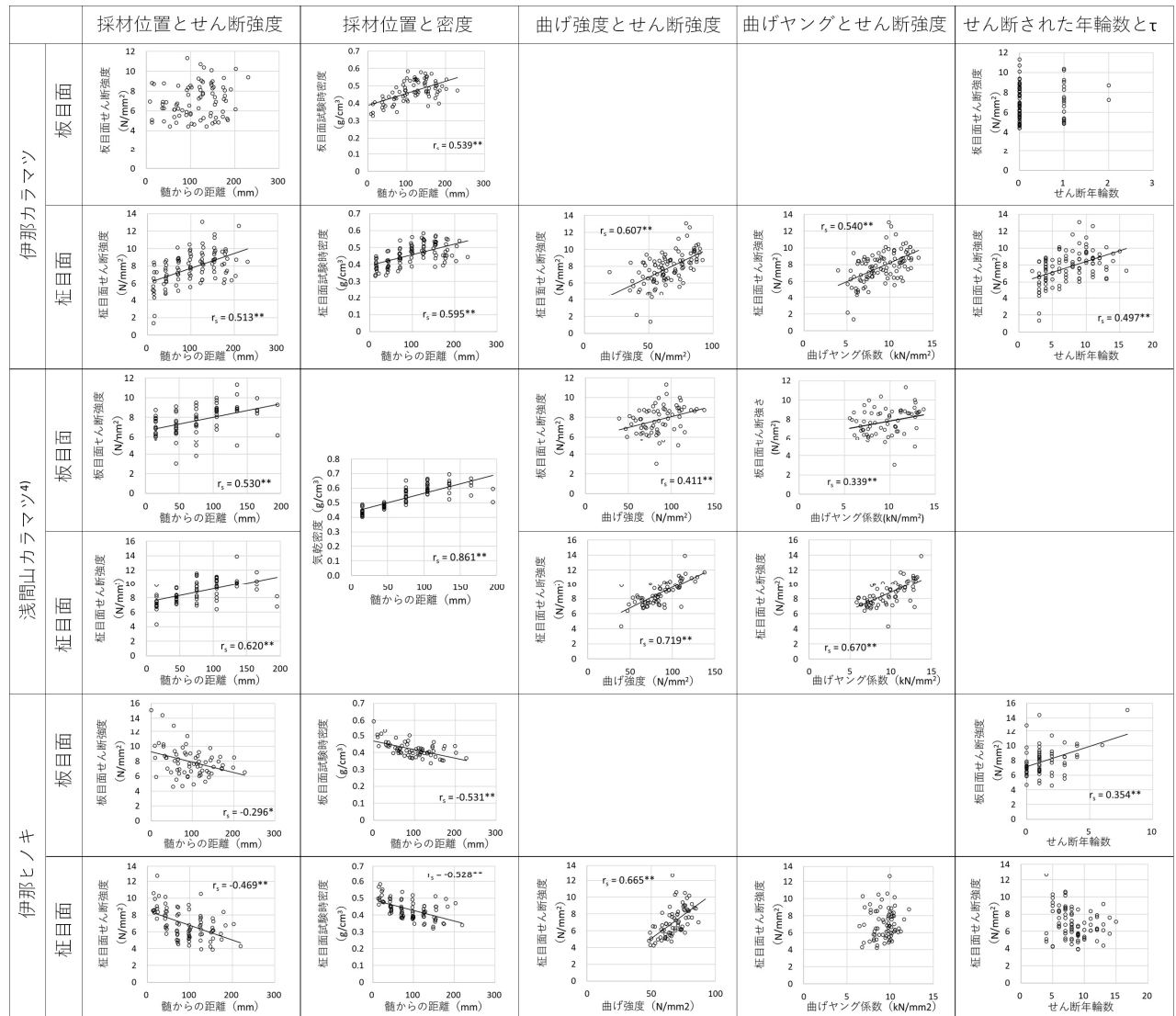


図-2 全小試験体の諸性質間の関係 (**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)

引用文献：1) 安藤賢吾、小林善重、三村典彦：長野県林業指導所昭和 45 年度業務報告、292-324 (1971)、2) 小池直樹、長野県林業総合センター研究報告、39、121-124(2025)、3) 小池直樹、令和 6 年度長野県林業総合センター業務報告、78-79(2025)

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

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）をビニールハウス内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、夏に設置した実大材試験体は約 1 カ月間で含水率 10%未満になった。

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困難である。また、家具用材として利用するには、含水率 10%以下が望ましいことから、人工乾燥する広葉樹材は、その量がまとまらず一般の乾燥機における人工乾燥は不向きであり、かつ、近年の石油価格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できる乾燥方法の開発を目的とした。今回は、天然乾燥により含水率 15%程度にした厚さ 40 mmの広葉樹を VH 乾燥により含水率 10%以下にするため、開始時期を季節ごとに変更し、効率的な乾燥適期を検討した。なお、本試験は県単課題（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

令和 6 年度業務報告 P80 の試験体（質量測定用試験体及び実大材試験体）を使用し、試験は秋（2024.10.1～）、冬（2025.1.7～）、春（2025.4.4～）、夏（2025.7.1～）から開始し、2025.10.3 に終了した。約 2 週間ごとに質量測定用試験体の質量を測定し、試験終了後に全ての試験体の長さ方向の中央付近の含水率と水分傾斜を全乾法により測定した。

3. 結果

実大材試験体の設置前と仕上がり含水率を表-1 に、質量測定用試験体の含水率変化を図-1 に示す。夏から設置を開始した試験体は、3 カ月間で4 樹種とも含水率 10%以下になっていたが、夏以外の季節から設置を開始した一部のクリとクヌギは含水率 10%以上となっていた。また、含水率低下の平均値を見ると全季節で約 5 %ポイント減少しており、夏から開始すれば全ての試験体は含水率 10%以下になると思われる。なお、今回の試験結果から下側に設置した試験体の含水率が高い傾向があり、設置時期が早かった秋や冬の試験体が春や夏の試験体の下側に設置されており、天地返しを行わなかったことが要因と思われる。

従って、40 mm厚の広葉樹板材を 1 年間の天然乾燥後、VH に 7 月から約 1 カ月間設置（クヌギ以外は 1 カ月未満）することで含水率 10%以下にすることが可能と思われる。また、水分傾斜も少ない結果となった。

なお、今回の広葉樹の全乾密度は、クリ 517 kg/m³、ケヤキ 660 kg/m³、クヌギ 775 kg/m³、ナラ 742 kg/m³であった。

表-1 実大材試験体の仕上がり含水率

設置時期	樹種	設置前含水率(%)	仕上がり含水率(%)	含水率低下(point)	同左平均値(point)
春 2025. 4. 4～	クリ	15. 4	10. 3	5. 1	5. 4
	ケヤキ	13. 2	8. 5	4. 7	
	クヌギ	14. 4	8. 9	5. 5	
	ナラ	15. 2	8. 8	6. 4	
夏 2025. 7. 1～	クリ	15. 0	8. 9	6. 1	5. 7
	ケヤキ	12. 8	8. 5	4. 3	
	クヌギ	14. 2	7. 6	6. 6	
	ナラ	14. 6	8. 9	5. 7	
秋 2024. 10. 1～	クリ	16. 1	11. 4	4. 7	5. 8
	ケヤキ	13. 6	9. 2	4. 4	
	クヌギ	16. 2	9. 4	6. 8	
	ナラ	18. 6	11. 2	7. 4	
冬 2025. 1. 7～	クリ	15. 6	11. 1	4. 5	5. 6
	ケヤキ	13. 6	8. 6	5. 0	
	クヌギ	16. 9	10. 1	6. 8	
	ナラ	15. 5	9. 3	6. 2	

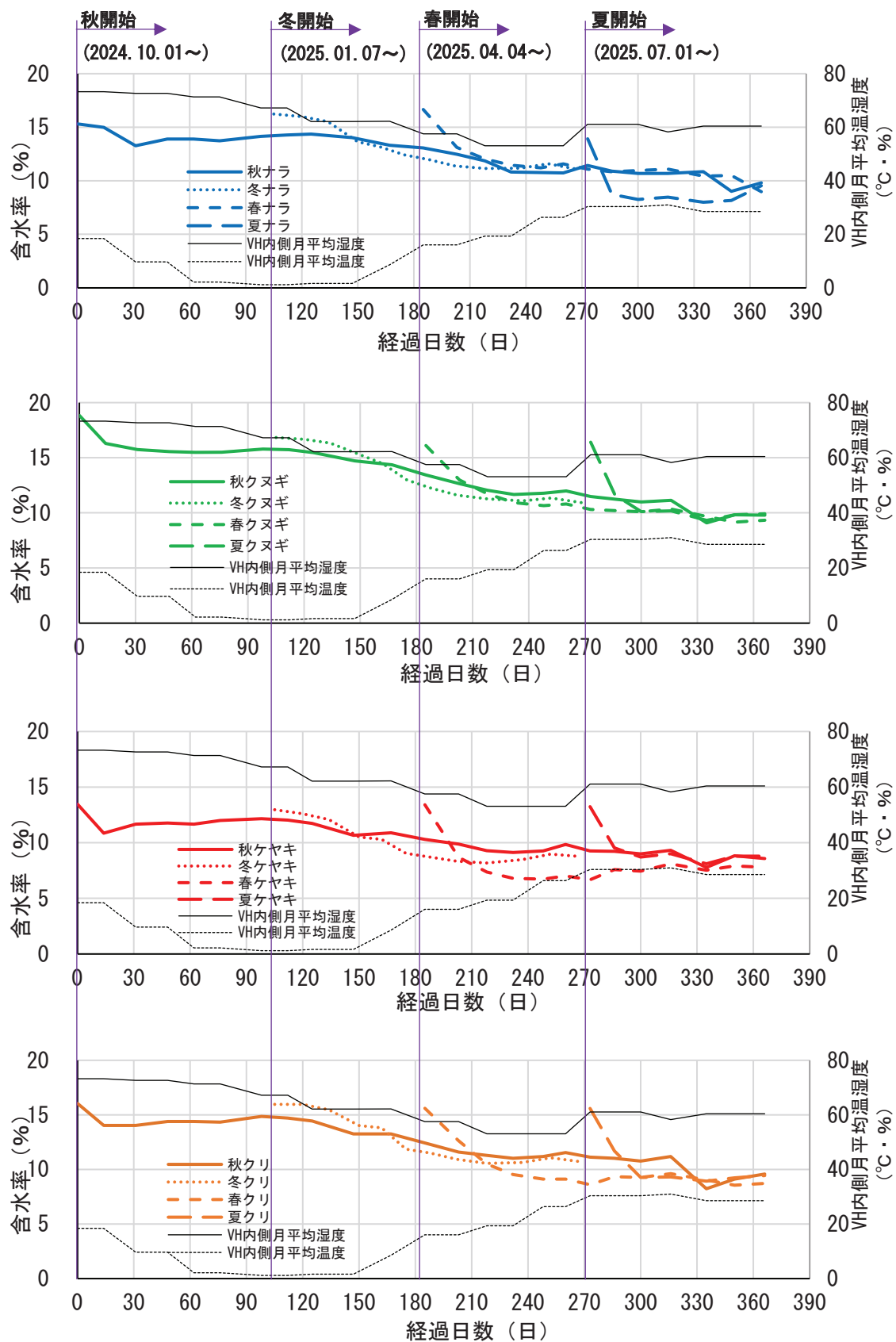


図-1 質量測定用試験体の含水率変化とVH内の温湿度

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発 (2) —天然乾燥後の水稻育苗用ビニールハウス乾燥試験—

木材部 奥原祐司・毛受誠・山口健太^{※1}

県産広葉樹板材（厚さ 10 mmと 20 mmのコナラ、バッコヤナギ、ブナ、ミズキ、ホオノキ）について、7 月から 1 カ月間の天然乾燥を実施したのち、水稻育苗用ビニールハウスの未使用期間を有効活用し乾燥試験を実施した。その結果、乾燥開始から 40 日目（天然乾燥 30 日+ビニールハウス乾燥 10 日）の 9 月時点で推定含水率質量測定用試験体及び実大材試験体は含水率 10%以下になり、広葉樹の仕上げ乾燥として有効であることが示唆された。

キーワード：広葉樹、天然乾燥、水稻育苗用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困難である。また、家具用材として利用するには、含水率 10%以下が望ましいことから、人工乾燥する広葉樹材は、その量がまともらず一般の乾燥機における人工乾燥は不向きであり、かつ、近年の石油価格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、今回は、含水率 20%程度に天然乾燥した厚さ 10 mmと 20 mmの広葉樹を含水率 10%以下とするため、水稻育苗用 VH の未使用期間（6 月～翌年 3 月）を有効活用し乾燥試験を実施した。なお、本試験は県単課題（令和 4 年～令和 8 年度）及び北アルプス地域振興局との現地適応化実証試験（令和 7 年～9 年）の一環として実施した。

2. 試験の方法

令和 7 年 7 月上旬に伐採された径 30 cm長さ 200 cmの表-1 の各樹種の丸太(写真-1)を、7 月 10 日に厚さ 10 mmと 20 mm、幅 110 mm～340 mmに製材し、質量測定用試験体及び実大材試験体を作製した。7 月 10 日から風通しの良い屋根の付いたストックヤード内で、約 1 tを載荷し、天然乾燥を開始した(写真-2)。その後、8 月 7 日から大町市内で酒米の生産を行う農業法人が所有する水稻育苗用 VH（幅 7m×長さ 30m×高さ 3m、写真-3）内に移動し、無載荷で令和 8 年 1 月 15 日まで乾燥試験を実施した(写真-4)、なお、地面からの湿気を抑制するため、全面にブルーシートを敷いた。VH 内には温湿度計を設置するとともに、質量測定用試験体については、約 4 週間ごとに 11 月末日まで質量を測定し、また、実大材試験体については、天然乾燥終了後 8 月 7 日及び 9 月 9 日に質量を測定し、令和 8 年 1 月 20 日に長さ方向の中央付近の含水率と水分傾斜を全乾法により測定した。



写真-1 丸太の状況（ホオノキ）



写真-2 天然乾燥状況



写真-3 ビニールハウス外観

3. 結果

実大材試験体の密度及び含水率経過について表-1 に、20 mm厚板の水分傾斜について図-1 示す。今回の広葉樹の全乾密度は、コナラ 742 kg/m³、バッコヤナギ 479 kg/m³、ブナ 629 kg/m³、ミズキ 560 kg/m³、ホオノキ 560 kg/m³であった。試験体は、天然乾燥開始から 1 カ月で 5 樹種とも含水率 20%以下となり、

※1 所属：北アルプス地域振興局林務課普及林産係

その後 VH 乾燥によりすべての試験材が、9 月時点で 10%以下となっていたが、1 月の測定時には、含水率の上昇が見られた。水分傾斜は、中心部分と表面部分の差が 0.5%程度であり、少ない結果となった。割れ、幅反り、ねじれ等の形質変化は、目視による調査を行ったが、特に問題は見られなかった。

質量測定用試験体の含水率変化と日平均温湿度の推移を図-2 に示す。含水率が、VH に移動後 10 日間で 6.7%~7.8%減少し、その後 20 日間で、全ての樹種が最小含水率となり、以降徐々に増加していった。ちなみに、9 月における VH 内は、最高温度は 58℃、最小湿度は 20.4%を記録している。

今回の結果から広葉樹の仕上げ乾燥として、VH 乾燥が有効であることが示唆された。今後は、VH 内から材を取り出すタイミングや重石の有無、地面からの湿気対策、夜間の保温対策、更には積み替えの手間を省くため、最初から VH 内で乾燥できるかについても、検討する必要がある。

表-1 実大材試験体の密度及び含水率経過

厚さ (mm)	樹種	全乾密度 (kg/m ³)	生材 含水率(%)	天然乾燥後 含水率(%)	9月時点 含水率(%)	1月仕上がり 含水率(%)
10	コナラ	—	68.0	17.2	8.0	12.3
	バッコヤナギ	—	90.3	18.2	8.3	13.0
	ブナ	—	90.9	17.8	8.8	13.6
	ミズキ	—	91.6	19.0	8.0	13.3
	ホオノキ	—	91.6	17.2	7.9	13.3
20	コナラ	0.742	67.9	19.7	8.9	13.4
	バッコヤナギ	0.479	89.0	18.4	8.8	13.1
	ブナ	0.629	87.0	18.2	8.8	13.3
	ミズキ	0.560	93.4	17.9	8.4	12.3
	ホオノキ	0.445	91.0	20.3	8.2	12.2

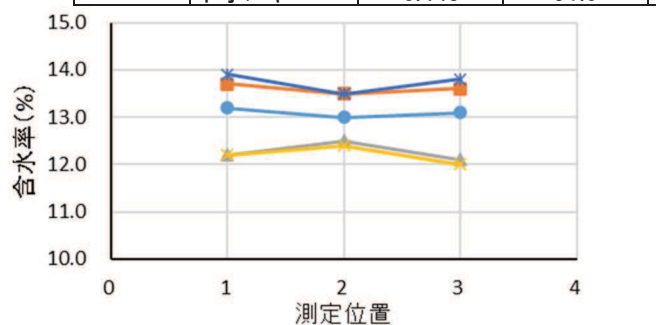


図-1 20 mm厚材の水分傾斜



写真-4 ビニールハウス内試験状況

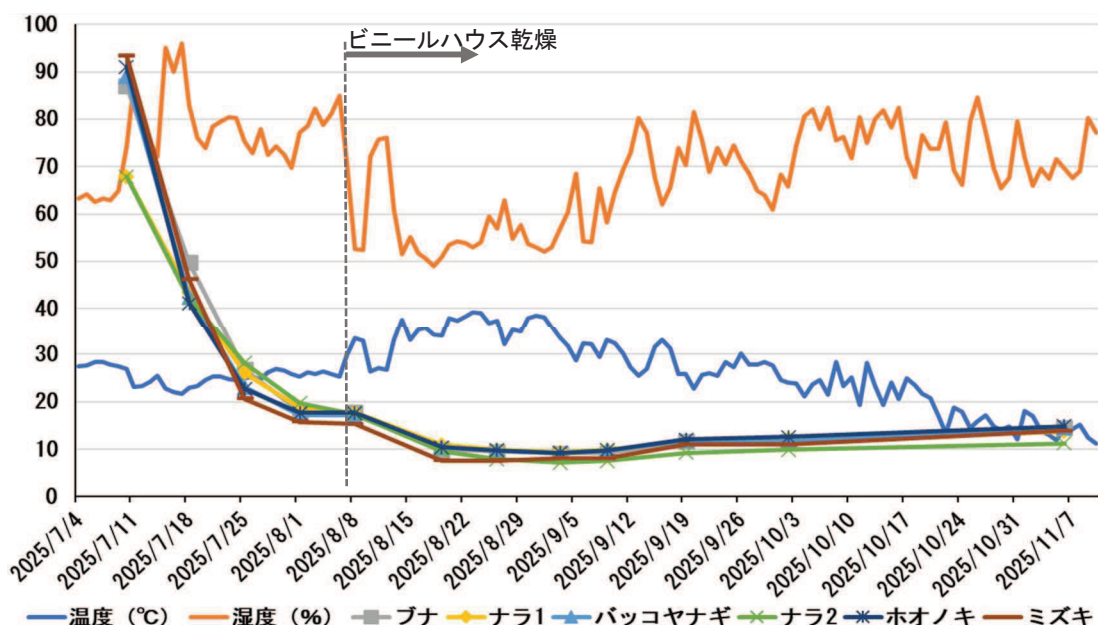


図-2 質量測定用試験体の含水率変化と日平均温湿度の推移

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発 (3)

－ブナの中温乾燥試験－

木材部 奥原祐司・吉田孝久

ブナ板材の人工乾燥タイムスケジュールを開発するため、ブナの板材（150×26×2000 mm）360枚を70℃の中温乾燥（15日間）を実施した。その結果、仕上がりの平均含水率は7.6%であり目標含水率10%に達していた。その後、屋内において11日間の養生を実施したところ水分傾斜含は少なかったが、過乾燥であったことから約2日間の短縮が可能（13日間）と思われる。

キーワード：ブナ、中温乾燥、26 mm厚

1. はじめに

ブナ材の乾燥は、含水率のバラツキや狂いの発生により他の広葉樹よりも人工乾燥が困難である。また、北アルプス地域及び北信地域にはブナ林が存在することから今後の生産が見込まれ、ブナ材の人工乾燥タイムスケジュールの確立が必要と思われる。そこで、本試験では蒸気式木材乾燥機を用いて含水率スケジュールによる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

試験体は、ブナ板材（150×26×2000 mm、栈木間隔450 mm、写真-1）360枚を対象とし、その内、10枚をテストピースとした。テストピースは、図-1のとおり、各試験片に切り出し、初期含水率及び全乾密度用テストピースからは、初期含水率を求めた。乾燥機内の小扉近くに入乾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。

最終目標含水率は10%に設定し、100℃急速乾燥試験により決定した表-1の乾燥スケジュールで乾燥を実施した。試験終了後に入乾テストピース及び2 m材について、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。

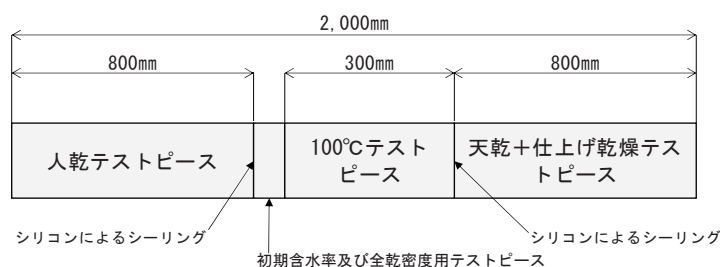


図-1 テストピース採取位置



写真-1 試験体 360枚

表-1 中温乾燥スケジュール

含水率 (%)	DBT	WBT	ΔT	EMC (%)
生～50	45	42	3	15.9
50～40	45	41	4	14.2
40～35	47	41	6	11.5
35～30	48	38	10	8.6
30～25	50	33	17	5.3
25～20	55	30	25	3.0
20～15	66	41	25	3.7
15～	70	40	30	2.7
イコライジング	70	60	10	8.5
コンディショニング	70	62	8	9.6
クーリング	0	0	0	

急速乾燥による推定法による試験結果は、以下のとおりである。

初期割れ・・・・・・損傷の段階判定4

断面の糸巻状変形・・・損傷の段階判定5

内部割れ・・・・・・損傷の段階判定2

3. 結果と考察

テストピースにおける含水率経過等を図-2 に示す。テストピースの初期含水率の平均値 58.0%（最小値 46.3%、最大値 68.5%）であり、また、乾燥末期における含水率が 8 %を下回っていたため調湿に移行し、乾燥時間 360 時間（15 日間）であった。

2 m材の仕上がり含水率と水分傾斜を図-3 に示す。クーリング後に 2 m材の材面割れや落ち込みは見られなかったが、一部の試験体において曲がりや波打ちが発生していた（写真-2 及び 3）。平均含水率は 7.6%であり目標含水率 10%に達していたが、中心部の含水率が低いことから屋内において 11 日間の養生を実施した結果、水分傾斜が少なくなっていた（図-3）。また、過乾燥であったことからテストピースの乾燥末期の乾燥速度を考慮すると乾燥末期で約 40 時間の短縮が可能と思われる（乾燥日数 15→13 日間）。

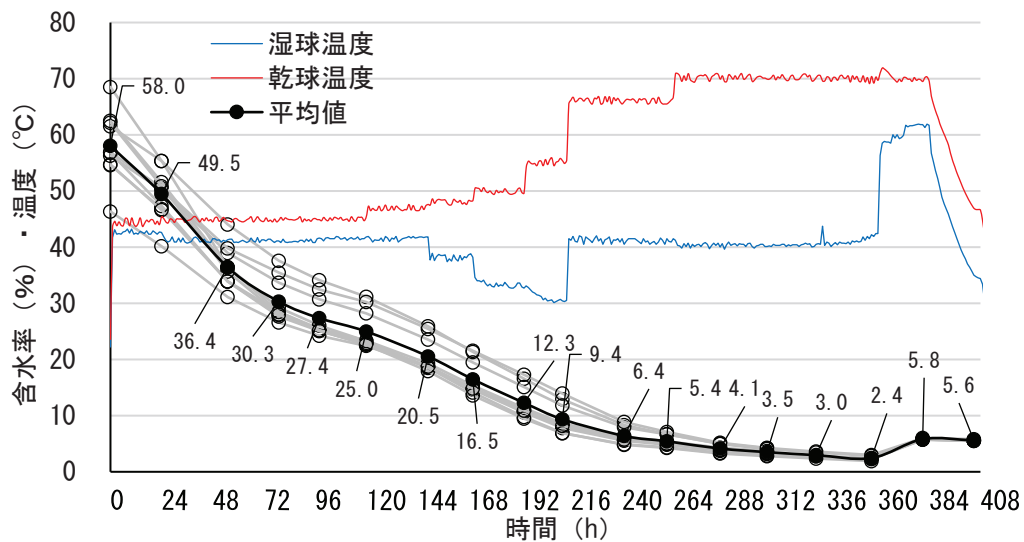


図-2 テストピースにおける含水率経過 (n=10)

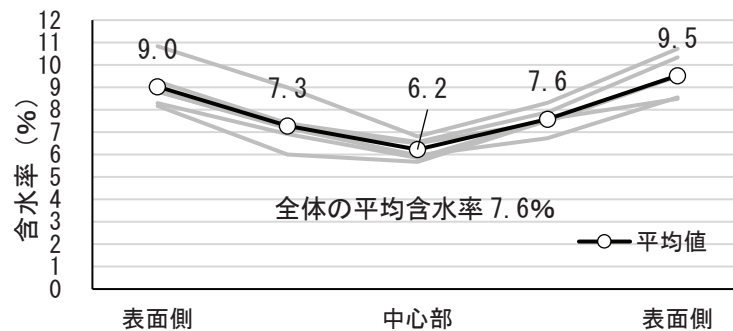


図-3 2 m材の水分傾斜 (n=6)

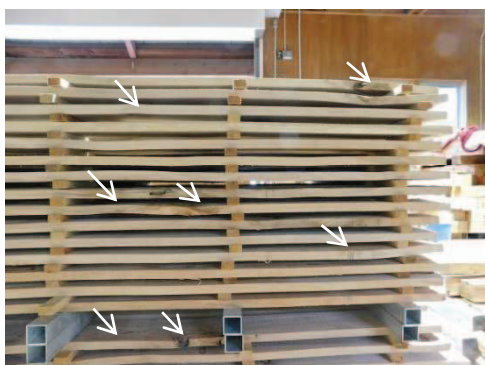


写真-2 波打ちの状況



写真-3 曲がり状況

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発（4）

ブナの天然乾燥後の仕上げ人工乾燥試験ー

木材部 奥原祐司・吉田孝久

未利用広葉樹の効率的な乾燥スケジュールの確立を目指して、ブナ板材（厚さ 26 mm）を天然乾燥後に仕上げ人工乾燥試験を実施した。その結果、37 日間天然乾燥したテストピースの平均含水率は 16.4%、人工乾燥したテストピースの平均含水率は 7.7%となり、また、2 m 実大材の人工乾燥後の平均含水率は 8.2%であった。

キーワード：ブナ、仕上げ人工乾燥、26 mm 厚

1. はじめに

ブナ材の乾燥は、含水率のバラツキや狂いの発生により他の広葉樹よりも人工乾燥が困難とされている。また、北アルプス地域及び北信地域にはブナ林が存在することから今後の生産が見込まれ、ブナ材の人工乾燥タイムスケジュールが必要と思われる。また、石油価格の高騰により今後の乾燥コストが課題になる。そこで、本試験では、未利用広葉樹の効率的な乾燥スケジュールの確立のため、天然乾燥により含水率 15%程度にした後に蒸気式木材乾燥機を用いて仕上げ人工乾燥試験を実施し、その評価を行った。なお、本試験は国交課題（令和 4 年～令和 8 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

試験体は、ブナ板材（150×26×2000 mm）117 枚を対象とし、前頁図-1 の「天乾＋仕上げ乾燥テストピース」10 枚をテストピースとした。テストピースは、天然乾燥時（写真-1、R7.6.2～R7.7.4）には上段から 3 段目に設置し、また、仕上げ乾燥時には乾燥機内の小扉近くに設置した（図-1）。また、テストピースの切断面はシリコンによりシーリングをした。

天然乾燥の目標含水率は 20%とし、約 10 日間ごとに質量を測定し、また、仕上げ乾燥の目標含水率は 10%とし、約 24 時間ごとに質量を測定し推定含水率を求めた。

仕上げ乾燥スケジュールを表-1 のとおり示した。試験終了後に天乾＋人乾テストピース及び 2 m 材について、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の中央部分を厚さ方向に 5 分割して水分傾斜を測定した。

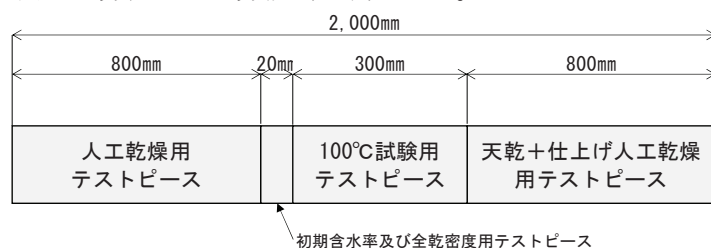


図-1 テストピース採取位置



写真-1 天然乾燥（R7.6.2～7.4）の様子

表-1 仕上げ人工乾燥スケジュール

含水率（%）	DBT （℃）	WBT （℃）	ΔT （℃）	EMC（%）
20～18	50	40	10	8.6
18～16	55	42	13	7.1
16～14	60	45	15	6.4
14～12	65	45	20	4.8
12～8	70	45	25	3.8
イコライジング	70	54	16	6.0
コンディショニング	70	63	7	10.3
クーリング	0	0	0	ダンパー及びスプレー閉

3. 結果と考察

天然乾燥時のテストピースの含水率経過を図-2 に示す。天然乾燥開始 25 日目には、平均含水率は 19.4%（最小 17.0%～最大 22.4%）となった。

テストピースの仕上げ含水率の経過を図-3 に示す。クーリング後のテストピースの平均含水率は 7.7%（最小 7.1%～最大 9.1%）、一方、2 m実大材（n=3）の平均含水率は 8.2%（最小 8.1%～最大 8.4%）であり、水分傾斜も少ない仕上がりとなっていた。また、前頁の波打ちした試験材があったため、栈木間隔を 450 から 300 mmに変更した結果、波打ちの変形は抑制された（写真-2）。

乾燥終了後の一部のテストピースは過乾燥になっていたことから 9 日間（R7.7.14～7.23）の養生を実施した結果、平均含水率 9.6%（9.1%～10.8%）となった。

板目方向（接線方向）における乾燥前と養生後の収縮率は 7.3%となり、製材時の板幅 150 mmは乾燥により 139 mmとなった。一方、柃目方向（半径方向）における乾燥前と養生後の収縮率は 4.9%となり、製材時の板厚 26 mmは乾燥により 24 mmとなった。なお、今回の試験体の曲がりとは、2mで 10～15 mm程度であった。

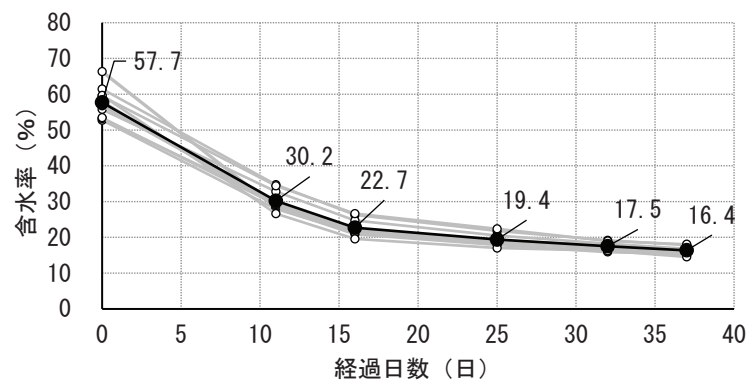


図-2 天然乾燥時の含水率経過

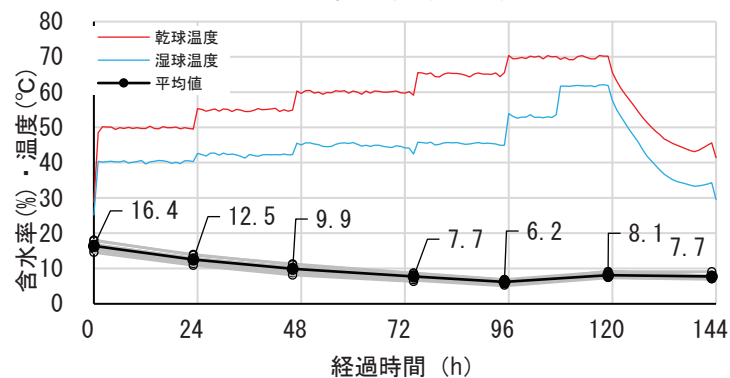


図-3 人工乾燥時の含水率経過と温度の関係



写真-2 栈木間隔 300 mmとした乾燥

暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発 (5)

ー未利用広葉樹材（小径木）の収縮率試験ー

木材部 奥原祐司・吉田孝久

ナラの未利用広葉樹（小径木）を木工品として利用するため、木取りや平均年輪幅等の違いによる含水率 1 % 当たりの収縮率を試験した。その結果、含水率 1 % 当たりの収縮率は、幅方向（接線方向）0.28～0.30%、厚さ方向（半径方向）0.18～0.24%、長さ方向（繊維方向）0.02% となり、ミズナラの含水率 1 % 当たりの収縮率※と同程度であった。

キーワード：ナラ、収縮率

1. はじめに

小径の未利用広葉樹は、木取りが制限され、かつ、歩留まりが悪いことから木工品の材料には敬遠されることが多い。そこで、木取り（板目及び柾目）及び平均年輪幅（目つまり及び目荒）並びに髓側と樹皮側の違いによる収縮率試験を実施した。なお、本試験は県単課題（令和 4 年～令和 8 年度）及び「株式会社やまとわ」との技術協力により実施した。

2. 試験の方法

試験体は、ナラの未利用材から製材された人工乾燥材を使用し、椅子の部材である吸付棧（すいつきざん）に加工した 15 個の内 13 個とした（図-1 及び写真-1）。長さ方向の中央付近から試験片を切り出した（厚さ 25 mm、幅 56 mm、長さ 100 mm）。

乾燥前後に寸法及び質量を測定した。また、乾燥前に平均年輪幅を測定した。

乾燥方法は、電気定温乾燥機により温度 70℃により 7 日間実施し、その後、103℃で 1 日間実施した。

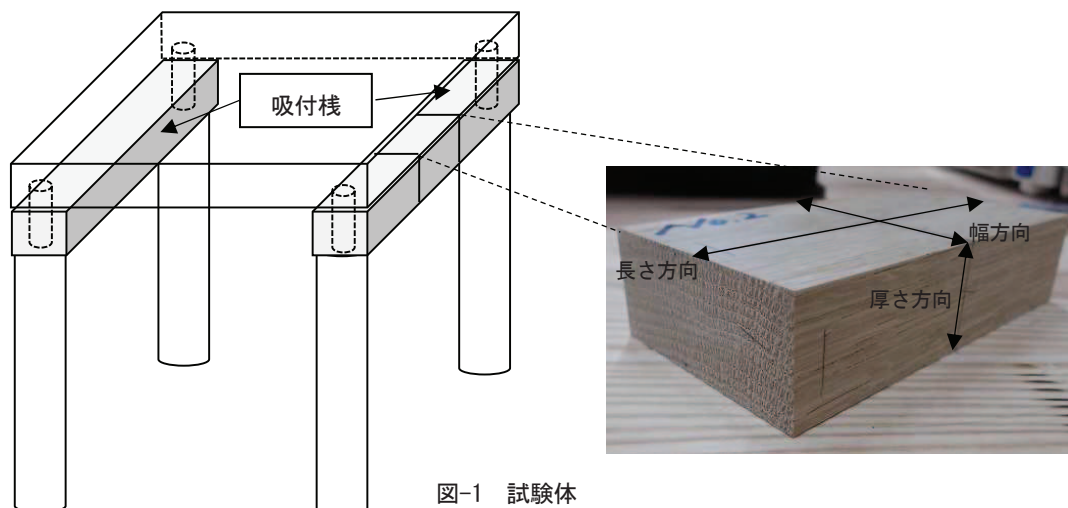


図-1 試験体

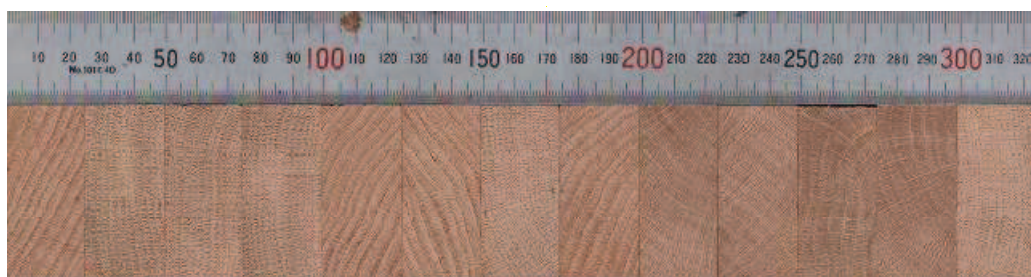


写真-1 試験体の木口面（左から No. 1～13）

3. 結果と考察

平均年輪幅3.5mm以上を目荒、それ以外を目つまり、木取りを板目と四方桁に区分し、含水率1%当たりの平均収縮率及び全乾密度を表-1に示す。ミズナラの含水率1%当たりの収縮率※は、幅方向（接線方向）0.30%、厚さ方向（半径方向）0.16%、長さ方向（繊維方向）0.016%であり、今回の試験結果の幅及び長さ方向と概ね同じ値となった。また、平均年輪幅及び木取りによる収縮率に大きな違いは見られなかった。今回の試験結果からは、収縮率からは、木取り方法や平均年輪幅を考慮する必要はないと思われるが、今回はサンプル数が少ないことから今後は追加試験が必要と思われる。なお、今回の試験体の平均初期含水率は11.4%であった。

各試験体における含水率1%当たりの収縮率等を表-2に示す。木口写真は、乾燥前のスキャナー画像であり、乾燥後の収縮率に対応していない。

表-1 含水率1%当たりの平均収縮率等

平均年輪幅	木取り	方向	含水率1%当たりの平均収縮率(%)	全乾密度(kg/m ³)	供試材数
目荒	板目	幅方向	0.30	780	2
		厚さ方向	0.23		
		長さ方向	0.02		
	四方桁	幅方向	0.28	776	5
		厚さ方向	0.24		
		長さ方向	0.02		
目つまり	板目	幅方向	0.28	677	6
		厚さ方向	0.18		
		長さ方向	0.02		

表-2 全供試材の含水率1%当たりの収縮率等

No.	平均年輪幅		木取り	木口写真	方向	含水率1%当たりの収縮率(%)	全乾密度(kg/m ³)
1	3.51	目荒	四方桁		幅	0.33	799
					厚さ	0.22	
					長さ	0.02	
2	2.22	目つまり	板目		幅	0.30	690
					厚さ	0.19	
					長さ	0.02	
3	1.99	目つまり	板目		幅	0.27	671
					厚さ	0.15	
					長さ	0.02	
4	1.92	目つまり	板目		幅	0.27	675
					厚さ	0.18	
					長さ	0.02	
5	3.21	目荒	四方桁		幅	0.30	769
					厚さ	0.19	
					長さ	0.02	
6	3.70	目荒	四方桁		幅	0.30	778
					厚さ	0.23	
					長さ	0.01	
7	1.72	目つまり	板目		幅	0.28	677
					厚さ	0.18	
					長さ	0.02	
8	3.78	目荒	四方桁		幅	0.30	785
					厚さ	0.26	
					長さ	0.01	
9	4.74	目荒	四方桁		幅	0.23	760
					厚さ	0.23	
					長さ	0.02	
10	4.39	目荒	四方桁		幅	0.24	767
					厚さ	0.29	
					長さ	0.01	
11	3.64	目荒	板目		幅	0.31	782
					厚さ	0.17	
					長さ	0.03	
12	4.00	目荒	板目		幅	0.30	778
					厚さ	0.29	
					長さ	0.02	
13	1.66	目つまり	板目		幅	0.28	674
					厚さ	0.21	
					長さ	0.02	

※ 信田聡・河崎弥生編、木材科学講座7木材の乾燥I基礎編、海青社（2020）、P91

新たな技術を活用した高品質木材開発（1）

－ 熱処理木材の平衡含水率調査 －

木材部 奥原祐司・吉田孝久

県産カラマツ及びアカマツの熱処理木材を恒温恒湿室（温度20℃、湿度65%、平衡含水率12%）内に約10カ月間設置し含水率を調査した。その結果、平均含水率は約6%であった。また、屋外において4年間壁板として使用した熱処理木材の平衡含水率を調査した結果、平衡含水率の平均値は、カラマツ6.5%、アカマツ6.3%、スギ7.6%、ヒノキ7.0%であった。

キーワード：熱処理木材、ヒートウッド、平衡含水率、恒温恒湿室、屋外

1 はじめに

これまで熱処理木材（過熱水蒸気処理木材：以下ヒートウッド）の寸法安定性試験を実施し、ヒートウッドは中温乾燥材に比べ寸法安定性が高いことを確認した¹⁾。この寸法安定性は使用中での含水率変化が少ないことを意味し、実際の使用環境下における平衡含水率（以下、EMC と表記）を知ることは、製造時の含水率を調整する意味から非常に重要なことである。

本調査では、恒温恒湿室内と屋外におけるヒートウッドの平衡含水率を調査した。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

2.1 EMC12%環境下におけるヒートウッドの平衡含水率

試験体は、カラマツ（幅 160 mm×厚さ 30 mm）及びアカマツ（幅 150 mm×厚さ 30 mm）のヒートウッドを各 6 枚、比較用の中温乾燥材は、乾湿繰り返し寸法変化試験¹⁾ で使用したカラマツ及びアカマツ並びにスギ（幅 105 mm×厚さ 30 mm）とした。これらの試験体を恒温恒湿室（温度 20℃、湿度 65%、EMC12%）内に設置し、定期的に質量、幅、厚さを測定した（写真-1）。

2.2 林業総合センター屋外に4年間設置されたヒートウッドの平衡含水率

試験体は、屋外にある小屋の壁板として令和 3 年から 7 年までの約 4 年間使用していたカラマツ、アカマツ、スギ、ヒノキのヒートウッド（34×110×1900 mm）各 1 枚¹⁾ とした（写真-2）。雨が当たらない上部、雨が直接当たり跳ね返りがある下部、その中間部の 3 カ所から試験片を切り出し、令和 7 年 7 月 11 日に全乾法による含水率を調査した。



写真-1 各樹種と試験体



写真-2 各樹種と試験体の採取位置
（○印の材を調査）

3 試験の結果

3.1 EMC12%環境下におけるヒートウッドの平衡含水率

恒温恒湿室内に設置した約9カ月後の平均含水率を表-1に、経過日数と含水率の関係を図-1に示す。ヒートウッドの平均含水率はカラマツが約5%、アカマツが約6%となっていた。約9カ月経過したヒートウッドは、中温乾燥材の平均含水率約12%に対して半分の約6%となっており、ヒートウッドは、中温乾燥材よりも吸湿機能が低下していることが示唆された。

表-1 恒温恒湿室に約9カ月経過後の含水率

単位：%		
区分	樹種	含水率
ヒートウッド	カラマツ	5.2
	アカマツ	6.1
	平均値	5.6
中温乾燥材	カラマツ	11.9
	アカマツ	11.8
	スギ	11.8
	平均値	11.8

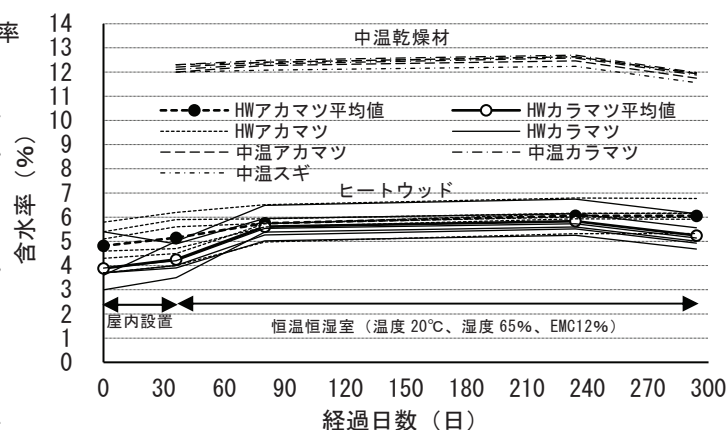


図-1 経過日数と含水率経過

3.2 林業総合センター屋外に4年間設置されたヒートウッドの平衡含水率

各試験体の含水率を表-2に示す。カラマツ及びスギは上部から下部に向けて含水率が高くなっていた。アカマツは上部から下部まで同じ含水率であった。ヒノキは上部から下部に向けて低くなっていた。

カラマツとアカマツのヒートウッドの平均含水率は、6.5%と6.3%となっており、木材の気候値平衡含水率の全国平均は15%^{2, 3)}と比較すると半分程度であった。

ヒートウッドの製造直後の含水率は1～2%¹⁾になっていたことから、屋外でヒートウッドを使用する場合は、カラマツ及びアカマツは含水率を6%程度に、また、スギやヒノキは含水率を7%程度に調湿する必要がある。

表-2 各樹種の平衡含水率

単位：%				
	スギ	カラマツ	アカマツ	ヒノキ
上部	7.0	6.3	6.3	7.7
中間部	7.4	6.4	6.3	6.9
下部	8.3	6.8	6.3	6.5
平均値	7.6	6.5	6.3	7.0

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,高耐久性部材の開発-過熱蒸気処理木材の寸法安定性・強度性能・材色について-,長野県林業総合センター研究報告第37号(2023),pp.37-57

2) 吉田孝久・三村典彦・向山繁人・橋爪丈夫,長野県下における木材平衡含水率について,長野県林業総合センター業務報告V研究報告(1982.3),pp.224-228

3) 斎藤周逸・信田聡,日本各地における木材の気候値平衡含水率,森林総合研究所研究報告16(3)(2017),pp.163-211

新たな技術を活用した高品質木材開発（2）

ー熱処理木材の製造工程における含水率調査ー

木材部 奥原祐司・吉田孝久

各製造工程における熱処理木材の含水率を把握するため含水率試験を実施した。その結果、カラマツの熱処理直後の平均含水率は 1.9%であり、その2週間後の養生中の平均含水率は 3.7%であった。また、熱処理後1週間べた積みした状態で、加工したカラマツ壁板の平均含水率は 4.5%、アカマツデッキ材の平均含水率は 2.6%であり、バラツキの多い結果となった。

キーワード：カラマツ、アカマツ、含水率

1 はじめに

熱処理木材（過熱水蒸気処理木材：以下ヒートウッド）の各製造工程において、含水率を把握することは製品管理上、必要不可欠である。そこで、熱処理後、製品加工後、養生後の含水率を調査した。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

2.1 熱処理直後の含水率

ヒートウッドを製造する工程で、熱処理を終了した木材を装置内で冷却及び吸湿処理を行うため、最終工程においてスプレーにより水蒸気を入れている（今回は13時間）。このヒートウッドの出庫後の含水率を調査した。処理装置内の図-1に示す位置からNo.1～No.6のカラマツ4m材を取り出し、長さ方向の中央付近の節の無い場所から含水率試験片を切り出し全乾法により含水率を調べた。



写真-1 熱処理装置の外観

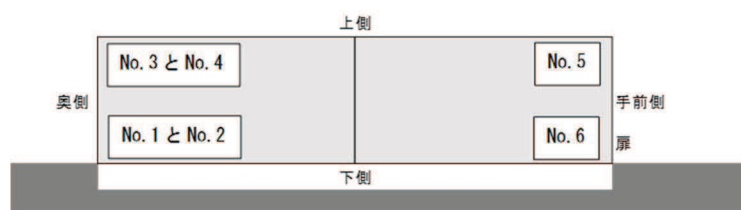


図-1 各試験体の乾燥庫内の配置

2.2 壁板及びデッキ材の加工時の含水率

熱処理後べた積みした状態で約1週間保管したヒートウッドを加工した時の含水率を調査した。15×145×4,000 mmのカラマツ壁板21体及び30×140×4,000 mmのアカマツデッキ材21体を試験体とした。試験体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測定した。

2.3 製品製造後の養生中の含水率経過

製品製造後の吸湿状態を確認するため、2.1でカラマツ含水率試験片を採取した両サイド（図-2）を試験体として、その後の含水率変化を調査した（写真-2）。

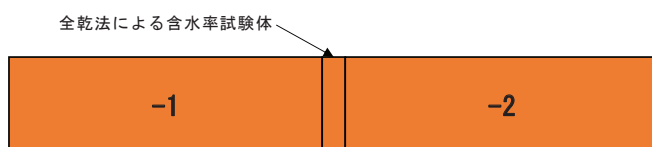


図-2 試験体の採材位置



写真-2 屋内における養生

3 試験の結果

3.1 熱処理直後の含水率

カラマツ 6 体の含水率と全乾密度を表-1 に示す。含水率は装置内の配置状態でほとんど差はなく平均値は 1.9%であり、これは、既往の報告¹⁾の 1～2 %の範囲内であった。また、今回の 13 時間のスプレーによる吸湿効果は確認できなかった。

表-1 含水率結果

単位：%、kg/m³

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
含水率	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	2.1
全乾密度	509	488	403	439	444	460

3.2 製品加工時の含水率

カラマツ及びアカマツの含水率結果を表-2 に示す。含水率は、カラマツ壁板が平均 4.5% (3.2～5.6%)、アカマツデッキ材が平均 2.6% (1.9～4.8) であり、バラツキの多い結果となった。

表-2 製品加工時の含水率結果

単位：%

	カラマツ壁板 (15mm厚)	アカマツデッキ材 (30mm厚)
平均値	4.5	2.6
最小値	3.2	1.9
最大値	5.6	4.8
個数	21	21

3.3 製品製造後の養生中の含水率

カラマツの含水率と養生経過日数の関係を図-2 に示す。約 2 週間養生しても平均含水率 3.7% (3.1～4.2) であった。なお、平均含水率 3.7%を経過日数で除した場合、1 日当たり 0.26%増加しており、例えば、含水率 6 %にするには、更に約 9 日間の延長が必要と思われる。

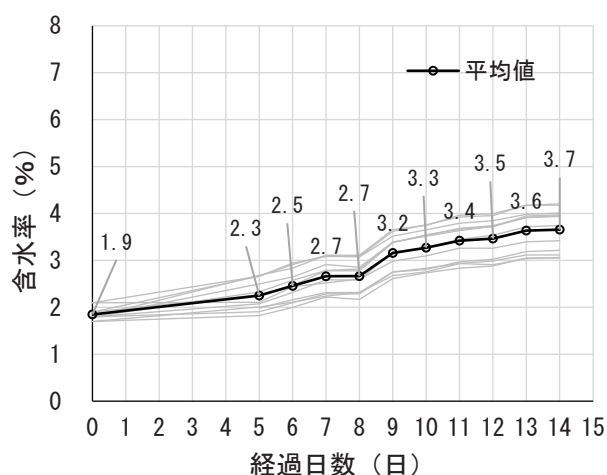


図-2 製品製造後の養生中の含水率

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,高耐久性部材の開発-過熱蒸気処理木材の寸法安定性・強度性能・材色について-,長野県林業総合センター研究報告第 37 号 (2023) ,pp.37-57

新たな技術を活用した高品質木材開発（3）

— 熱処理木材の吸放湿性能評価 —

木材部 奥原祐司・吉田孝久

熱処理木材の公的認証に必要な基準値を把握するため、熱処理木材の①熱処理条件の違いによる乾湿繰り返し試験、②全乾状態からの吸放湿試験、③吸水及び放湿試験を実施した。その結果、①熱処理時間の違いによる膨潤率及び収縮率に大きな違いは見られなかった。②全乾状態にした熱処理木材を屋内に設置後 21 日にほぼ平衡状態になり、その含水率は、熱処理木材 6.2%、中温乾燥材 9.7%となった。③13 日間の浸漬による平均含水率は、カラマツ 16.6%（増加率 11.1%ポイント）、アカマツ 61.3%（増加率 54.0%ポイント）であった。

キーワード：熱処理木材、吸放湿、浸漬、平衡含水率

1 はじめに

これまで熱処理木材（過熱水蒸気処理木材：以下ヒートウッド）の寸法安定性試験を実施し、ヒートウッドは中温乾燥材に比べ寸法安定性が高いことを確認した¹⁾。今回は、ヒートウッドの熱処理条件の違いによる含水率変化や吸放湿変化を調査検討することで、公的認証に必要な基準値の参考資料とした。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

2.1 熱処理条件の違いによる乾湿繰り返し試験

試験体は、減圧乾燥後に 7.5 時間又は 15 時間の熱処理を行ったカラマツ（21×150×200 mm）のヒートウッド各 5 体とし、その後、屋内に 6 カ月以上設置した。最初に高湿環境下（温度 40℃、湿度 92%、平衡含水率【以下、EMC と表記】20.3%）、次に低湿環境下（温度 40℃、湿度 48%、EMC8.1%）に試験体を設置し、連続 2 回の質量測定差が約 0.1 g 以内の場合、次の環境下に移行し 2 回繰り返した。なお、それぞれの環境下において 2 回の平均質量から含水率及び板目方向の平均寸法から膨潤率と収縮率を求めた。

2.2 熱処理木材の全乾状態からの吸放湿試験

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 年間べた積み状態としていたカラマツ・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 1 体とした。試験体から質量測定用試験体と含水率測定用試験片を切り出し、質量測定用試験体は、電気定温乾燥器に試験体を入れてほぼ全乾状態になるまで 70℃の乾燥を実施した。その後、令和 7 年 7 月 24 日から屋内に設置して、定期的に質量を測定した。

2.3 熱処理木材の吸水試験と放湿試験

試験体は、カラマツ（20×138×375 mm）及びアカマツ（30×92×375 mm）の各 3 体のヒートウッドとし、その試験体の一部を切り出し全乾法による含水率から各試験体の全乾質量を求めた。その後、試験体の両木口をシリコンによるシーリングを行い、13 日間の浸漬→26 日間の天然乾燥→2 日間の 70℃電気定温乾燥器→1 日間の 103℃電気定温乾燥器→7 日間の浸漬（計 49 日間）の順で処理し、定期的に質量を測定した。

3 試験の結果

3.1 熱処理条件の違いによる乾湿繰り返し試験

高湿環境下及び低湿環境下を 2 回繰り返した後の平均膨潤率と収縮率を表-1 に示す。

熱処理時間の違いによる膨潤率及び収縮率に違いは見られなかった。

表-1 乾湿繰り返し試験における膨潤率と収縮率

(n=5の平均値)

条件 (EMC%)	高湿環境下 (20.3)		低湿環境下 (8.1)	
	7.5	15	7.5	15
熱処理時間 (h)				
設置前含水率 (%)	5.9	4.6	13.7	12.0
設置後含水率 (%)	13.7	12.0	6.7	6.1
平均膨潤率・収縮率 (%)	1.4	1.5	-1.3	-1.3
平均膨潤量・収縮量 (mm)	2.2	2.2	-2.0	-2.0

※板幅150mm

3.2 熱処理木材の全乾状態からの吸放湿試験

屋内に3年間設置していたヒートウッド及び中温乾燥材の含水率を表-2に示す。平均含水率はどの樹種であってもヒートウッド約6%、中温乾燥材約9%となり、ヒートウッドは、中温乾燥材よりも平衡含水率が低下していた。

全乾状態から吸湿した各試験体の含水率変化を図-2に示す。1日経過時の平均含水率はヒートウッド2.5%、中温乾燥材3.6%となっていた。7日経過時の平均含水率はヒートウッド4.9%、中温乾燥材7.4%になっていた。21日経過時の平均含水率は、ヒートウッド6.2%、中温乾燥材9.7%となり、43日経過時も同様の含水率になっていたことから21日間ではほぼ平衡含水率に達したと思われる。

表-2 3年間放置したヒートウッドの含水率
単位：%

区分	カラマツ	アカマツ	スギ	ヒノキ
ヒートウッド	6.3	6.4	5.6	5.9
中温乾燥材	9.0	9.2	8.9	8.7

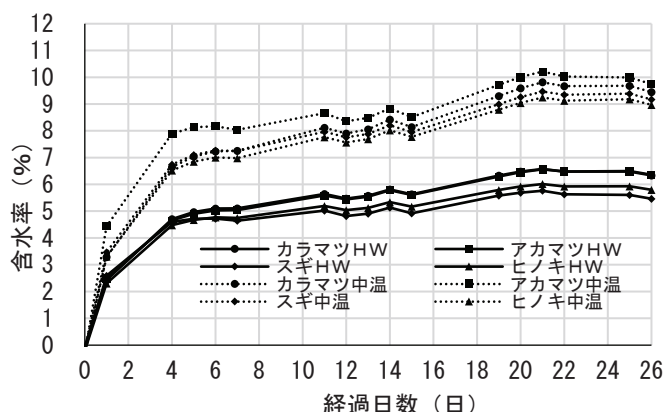


図-2 ヒートウッドと中温乾燥材の含水率変化

3.3 熱処理木材の吸水試験と放湿試験(含水率と寸法変化)

浸漬(給水)及び乾燥(放湿)による含水率変化を図-3に示す。浸漬前の平均含水率は、カラマツ5.5%、アカマツ7.3%、1回目の13日間の浸漬による平均含水率は、カラマツ16.6%(増加率11.1%ポイント)、アカマツ61.3%(増加率54.0%ポイント)であった。その後の天然乾燥(放湿)では、1週間でカラマツが6.7%、アカマツが20.8%となった。さらに天然乾燥を終了した26日間後には、カラマツ5.5%、アカマツ10.3%となった。

このことより、カラマツのヒートウッドはアカマツのヒートウッドに比べ吸放湿機能が鈍いものと思われる。

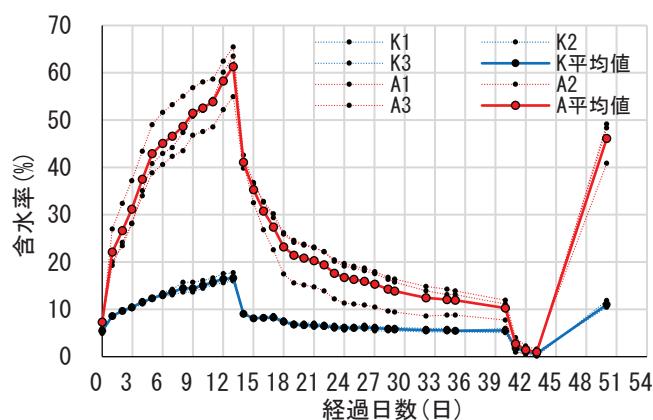


図-3 給水と放湿による含水率変化

(K: カラマツ, A: アカマツ)

新たな技術を活用した高品質木材の開発（4）

ー木製治山えん堤部材の劣化調査ー

木材部 山内仁人・小澤岳弘・毛受誠

設置後約20年経過したカラマツたいこ材および同角材製治山えん堤の部材劣化調査を行った。たいこ材の施設では、本体部の部材の劣化が袖部より遅く、従来の調査結果（経過年数15年未満）と同様の傾向であった。一方、角材の施設は、前回調査時（設置後8年目）は本体部・袖部とも劣化がほとんど生じていなかったが、今回の調査では、袖部の部材で劣化が進行しており、たいこ材の施設と同様に、本体部との差が認められた。

キーワード：木製治山えん堤、カラマツ、たいこ材、角材、心材腐朽

1 はじめに

屋外で使用される木材は、室内での使用に比べ、腐朽菌等による劣化が生じやすい。しかし、環境条件その他、劣化の要因は様々で、劣化の進行速度も大きく異なるため、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で部材の劣化状況を把握し、施設の安全性や、補修等の要否を判断する必要がある。平成24～26年度には、県下18箇所・30施設の劣化調査を実施したが、その大半は、調査時の設置後経過年数が15年未満で、20年を超える施設はわずかであった。今回、約20年経過した木製治山施設の部材の劣化調査を実施したので、その結果を報告する。なお、本研究は国交課題（令和4～8年度）により実施した。また、現地調査では、北アルプス地域振興局林務課の協力を得た。

2 試験・調査方法

本年度調査を実施した施設は表のとおりで、樹種は全てカラマツであった。たいこ材使用の2施設の調査は、2025年5月に、刃先の端部巾が4mmのマイナスドライバーの刺突による劣化深の簡易調査手法を主体とし、一部、レジストグラフ（IML-RESI-F500SX：以下同）の穿孔による調査法も併用して実施した。また、角材使用施設の調査は、2026年11月に、同箇所6基の施設のうち、1基のみレジストグラフによる詳細調査を実施し、他の5基は目視および各基本体部・袖部数か所程度のマイナスドライバー刺突による簡易調査により概況を把握した。

3 結果

たいこ材使用の2施設では、調査時は越流水がなく、一見したところ、堤体部に大きな損傷は認められず、また、蟻害等により、急激に劣化が進行したと思われる痕跡も認められなかった。しかし、マイナスドライバーの刺突を行ったところ、袖部ではドライバーの刃長（200mm）いっぱいまで刃が押し込める部材も存在し、腐朽による劣化の進行が確認できた。また、本体部の部材は全般的に袖部より劣化が遅い傾向であったが、一方で、袖部においても劣化深が数mm程度の部材も存在し、劣化速度のバラつきが大きかった（図-1・2）。

角材使用施設の簡易調査では、袖部では一部部材が消失するなど、全般的に劣化が目立ったのに対し、本体部では顕著な劣化は認められなかった（写真-1・2）。

レジストグラフによる詳細調査を実施した施設では、2013年に同様の調査を実施しており¹⁾、当時（7.5年経過時）は、本体部・袖部とも、ほとんど劣化が生じていなかった（図-3）。しかし、今回の調査（20年経過時）では、本体部の部材の劣化が比較的緩やかなのに対し、袖部の部材では劣化が著しい箇所が見受けられ、前回調査時は認められなかった本体部と袖部との劣化速度の差が生じていた（図-4）。

カラマツは心材率が比較的高い樹種であることから、角材加工により腐朽しやすい辺材部がほと

んどなかったため、設置後8年目の前回調査時は袖部・本体部とも劣化が少なかったと考えられる。しかし、2023～2024年に行った岡谷市のえん堤のカラマツ部材の調査・試験で、袖部の部材に心材腐朽が認められたこと²⁾と、今回の調査で袖部と本体部で劣化の進行に差が認められたことを併せると、丸棒・角材加工によるカラマツ部材の心材化による劣化速度低減効果は、えん堤袖部においては、心材腐朽菌が侵入・繁殖する以前の段階に限定される可能性があると考えられた。

表 調査箇所一覧

調査 年月日	竣工 年月	施工箇所	材種	調査時 越流水	調査 方法	備考
2025.5.21	2002.11	大町市美麻 湯の海3	カラマツたいこ材(D20cm)	なし	マイナスドライバー	
"	2003.12	大町市美麻 藤1	カラマツたいこ材(D20cm)	なし	"	
2025.11.12	2005.12	松本市入山辺 カワグルミ6	カラマツ角材(D15cm)	あり	レジストグラフ	2013.8レジストグラフ調査実施
"	2005.12	松本市入山辺 カワグルミ1～5	カラマツ角材(D15cm)	あり	目視・マイナスドライバー	

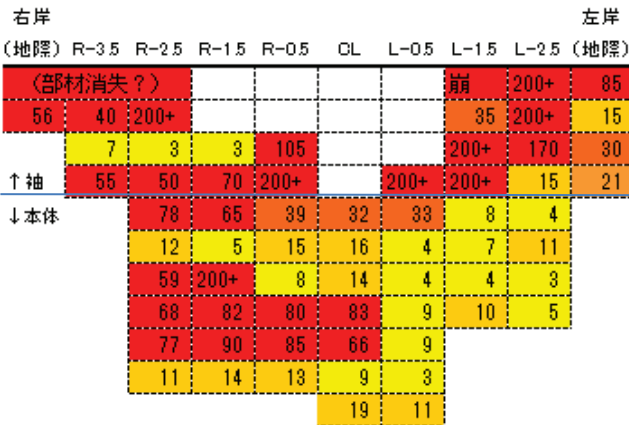


図-1 湯の海3の部材劣化深 (mm)

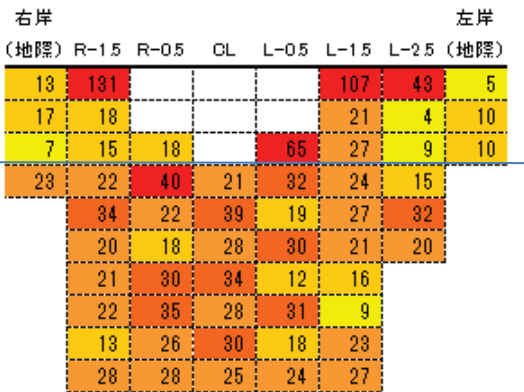


図-2 藤1の部材劣化深 (mm)

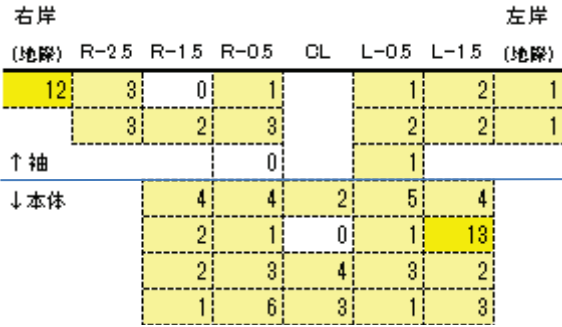


図-3 2013年調査時のカワグルミ6の劣化深 (mm)

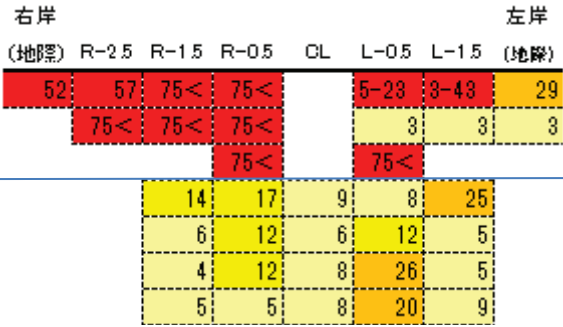


図-4 2025年のカワグルミ6の劣化深 (mm)



写真-1 松本市カワグルミの施設袖部の劣化状況



写真-2 同本体部のドライバー刺突状況

図 1～4 劣化深凡例(mm)	
≤0	
1～9	
10～19	
20～29	
30～39	
40～	

※図-1(湯の海3)・図-2(藤1)の劣化深調査は、刃先端部幅4mm、刃長200mmのマイナスドライバーを人力で、反動をつけずに刺突して測定した。
図-3・図-4(コナコ沢6)の劣化深調査は、レジストグラフを、部材の中心部(150mm角×1/2=75mmまで穿孔させ、早材・晩材で穿孔抵抗に差がない部分を劣化部として測定した。

引用文献 1) 山内仁人・今井信, 平成25年度長野県林業総合センター業務報告, p82-83 (2014)
2) 山内仁人・奥原祐司・毛受誠・吉田孝久, 令和6年度長野県林業総合センター業務報告, p90-91 (2025)

新たな技術を活用した高品質木材の開発（5）

ー木製標識柱の現地調査・アカマツ熱処理材の耐候性試験ー

木材部 山内仁人

2011年に県内5か所に設置されたカラマツ製標識柱について、現地調査を実施した。現存した標識柱は2か所・計18本であったが、実用に支障をきたすほどの劣化が生じているものは確認されず、木製柱から鋼製柱への転換が進んだのは、腐朽等の劣化が原因ではなく、車両衝突による破損時等の在庫不足が原因ではないかと推測された。また、松本合同庁舎敷地内に設置後、約2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、1年目に比べ色調等の変化が少なかった。

キーワード：木製標識柱、カラマツ、保存剤注入処理、熱処理、耐候性試験

1 はじめに

長野県は、木材製品の利用を推進し県産材の活用を図るため、様々な道路用木材製品の認定を進め、2011年には同認定を受けた木製標識柱が県内5地区で計50本設置された。2014年に、上記の標識柱設置個所のうち4地区で現地調査を実施し、うち3地区ではたわみ振動法によるヤング係数の測定も行ったが、木材保存剤（ACQ）の注入処理が実施されていたこともあり、実用上危険なレベルの劣化は生じていなかった¹⁾。

前回調査実施後、さらに10年以上の年月が経過したことに加え、木製標識柱の設置当時は、その耐用年数を10年（以上）と想定したこともあり、2014年の調査未実施箇所を含む全5箇所の現地調査を行った。そのうち、木製標識柱が現存した2か所ではたわみ振動法によるヤング係数の測定も行った。その結果と、熱処理＋保存剤注入を行ったアカマツ耐久・耐候性試験体の約2年経過時の状況を併せて報告する。なお、本研究は国交課題（令和4～8年度）の一部として実施した。

2 試験・調査方法

2025年6月から2026年1月にかけて実施した現地調査の結果の概要を、表に示す。5か所の木製標識柱設置個所のうち、駒ヶ根市光前寺・南木曾町妻籠・松本市松本城の3地区では、木製標識柱が現存していなかった。一方、残る2地区のうち、小布施町では2011年に設置された8本すべてが、また、東御市本海野では同年に設置された13本のうち10本が現存していた（表・写真-1,2）。

現存していた18本の標識柱（カラマツ円柱・径80mm）は、2014年調査時と同様の方法で、たわみ振動法によるヤング係数の測定を行った。なお、たわみ振動の周波数の測定には、（株）エーティーエー社製HG-2020spと同製品用のT.G.H.測定用加速度センサを用いた。

また、2024年3月に松本合同庁舎に設置したアカマツの熱処理・保存剤注入モデル試験体について、2026年3月にスキャナによる色調記録等を行った。

3 結果と考察

木製標識柱が現存していた2地区のヤング係数測定結果を、表に示す。2014年の調査時に比べ、小布施町ではヤング係数の平均値が0.5kN/mm²程度低下していたが、実用上の危険・支障を感じるレベルの低下ではなかった。また、東御市海野では、ヤング係数の平均値がわずかに上昇していたが、前回2014年の調査時に、周波数の誤測定でヤング係数を低く評価した標識柱が1本あったことが原因と考えられ、その1本を除けば、ヤング係数は小布施町と同程度低下していた。

現存している標識柱の状況と、2011年の調査時から今回までの劣化の進行速度を考えると、適切な保存剤の注入処理を行った標識柱については、今後も数年程度では、腐朽等の劣化が原因の部材交換が必要な状況は生じにくいと考えられる。半面、定期的な交換等の需要が想定されなかった

ため、交換用部材を生産し、在庫しておくことがこれまでなく、車両衝突による折損等、突発的に交換の必要が生じた場合や、道路付け替え工事等で問い合わせがあった際、即時対応できなかったことで、鋼製標識柱への移行が進んでしまったと推測される。今後、木製標識柱を普及させるには、在庫を一定量保持し、速やかに供給する仕組みづくりが必要と思われる。

松本合同庁舎敷地内に設置したモデル試験体のスキャン画像の一例を図-1 に示す。灰色化等色調の変化は継続していたが、1年経過時（図-2）に比べると、その変化は少なかった。また、吸放湿の繰り返しによる寸法変化等は生じているものの、腐朽・虫害等による、顕著な劣化・質量減少等は今のところ確認されていない。

表 木製標識柱現地調査・ヤング係数測定結果概要

設置場所 (地区名)	調査 年月日	設置 本数	残存 本数	ヤング係数 (kN/mm ²)			(2014)
				平均値	最大値	最小値	平均値
駒ヶ根市光前寺	R7.6.25	6	0				7.57
木曽郡南木曽町妻籠	〃	12	0				
上高井郡小布施町	R7.8.26	8	8	8.21	10.62	7.06	8.73
東御市本海野	〃	13	10	8.07	12.39	6.48	8.02
松本市松本城	R8.1.29	11	0				
集計値		50	18	8.13	12.39	6.48	8.25



写真-1, 2 木製柱→鋼製柱移行箇所（駒ヶ根市光前寺）・同木製柱撤去跡（φ80mm）

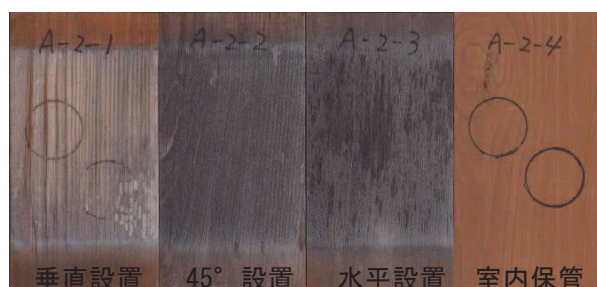


図-1 アカマツ熱処理・保存剤注入モデル試験体スキャン画像（2年経過時）



図-2 同 1年経過時のスキャン画像

引用文献:1) 山内仁人, 柴田直明, 田畑衛, 木製屋外構造物の劣化調査と維持管理技術の開発, H26 林業総合センター業務報告, 104-105p(2015)

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、毛受誠、山内仁人、奥原祐司

スギ圧密ラミナとそれを用いた圧密集成材の強度試験結果を報告する。

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試験を実施した。本研究は令和6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

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、その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。圧密集成材試験体及びラミナ試験体の概要について表-1 に示す。

表-1 試験体概要

	厚さ (mm)	幅 (mm)	長さ (mm)	本数	備考
曲げ試験	120	120	1940	8	縦使い4体、平使い4体
	480	120	3980	2	
せん断試験	240	120	1160	6	縦使い3体、平使い3体
ラミナ引張試験	15	60	2000	44	FJあり22体、FJなし22体

圧密集成材試験体は各種動的ヤング係数等を測定した後、曲げ試験、せん断試験を中央集中荷重方式で行った。加力は万能試験機（株式会社島津製作所製 UH-1000kNA）を用いて行い、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、せん断試験の荷重速度は 4mm/min.とした。変位量は荷重点反対側にヒートンを設置しワイヤーを介し一般用変位計（東京測器製 SDP-100ET）を用いて測定した。ラミナ引張試験は引張試験機（飯田工業株式会社製 NET-501）を用いて集成材 JAS の記載を参考にチャック間距離 600mm とし、破壊に 1 分以上かかるよう荷重速度を調整し実施した。試験後、非破壊部から試験体を採取し全乾法により含水率を測定した。

3 結果

結果を表-2～5 に示す。

表-2 圧密集成材動的試験結果

No.	縦振動法 ヤング係数 kN/mm2	接着層水平				接着層垂直			
		たわみ振動法 曲げヤング係数 kN/mm2	TGH法 曲げヤング係数 kN/mm2	TGH法 せん断弾性係数 kN/mm2	E/G	たわみ振動法 曲げヤング係数 kN/mm2	TGH法 曲げヤング係数 kN/mm2	TGH法 せん断弾性係数 kN/mm2	E/G
BH.1	14.17	12.42	13.65	0.801	17.0	13.35	13.99	1.515	9.2
BH.2	15.57	13.28	14.62	0.686	21.3	14.06	15.00	1.355	11.1
BH.3	15.46	13.72	14.94	0.748	20.0	14.15	15.03	1.354	11.1
BH.4	17.71	14.97	16.99	0.710	23.9	16.02	17.54	1.235	14.2
BV.1	14.64	13.37	14.41	0.852	16.9	13.83	14.78	1.452	10.2
BV.2	15.74	13.79	15.65	0.649	24.1	14.41	15.16	1.406	10.8
BV.3	15.77	13.61	15.62	0.674	23.2	14.23	15.13	1.345	11.2
BV.4	16.82	14.40	15.69	0.769	20.4	15.22	16.23	1.445	11.2
480.2	13.40	9.77	13.31	0.750	17.7				
480.3	13.69	9.79	13.09	0.804	16.3				

表-3 圧密集成材中央集中荷重曲げ試験結果

No.	静的曲げ試験							含水率 %
	L mm	Pmax kN	fb N/mm2	fs N/mm2	$\Delta P / \Delta \delta c$ kN/mm	Em kN/mm2	破壊形態	
BH.1	1440	50.43	62.41	2.61	3.41	12.11	曲げ	8.7
BH.2	1440	66.78	82.69	3.45	3.55	12.64	せん断	9.0
BH.3	1440	66.56	82.49	3.44	3.52	12.55	せん断	8.8
BH.4	1440	55.93	69.28	2.89	3.87	13.77	せん断	8.7
BV.1	1440	76.10	93.76	3.93	3.96	13.99	曲げ	8.8
BV.2	1440	72.54	89.60	3.75	4.06	14.37	曲げ	9.0
BV.3	1440	80.55	99.62	4.17	3.99	14.14	曲げ	8.9
BV.4	1440	81.04	99.88	4.19	4.13	14.58	曲げ	9.1
480.2	3840	197.95	41.25	2.58	7.72	8.24	せん断	9.0
480.3	3840	183.98	38.27	2.39	7.74	8.24	曲げ→せん断	8.9

表-4 圧密集成材せん断試験結果

No.	静的せん断試験				破壊形態	含水率 %
	L mm	Pmax kN	fb N/mm2	fs N/mm2		
SH.1	960	153.3	31.58	3.96	せん断	8.9
SH.2	960	146.0	30.13	3.78	せん断	9.2
SH.3	960	148.2	30.65	3.84	せん断	9.2
SV.1	960	277.8	57.22	7.19	せん断	8.9
SV.2	960	234.6	48.30	6.07	めり込み→曲げ→せん断	9.1
SV.3	960	219.1	45.15	5.67	めり込み→せん断	9.1

表-5 圧密ラミナ引張試験結果

(T (NJ) : フィンガージョイントなし、FJ : フィンガージョイントあり)

Type	No.	幅 (mm)	厚さ (mm)	最大荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	破壊位置	含水率 (%)
T (NJ)	6	60.17	15.06	87.52	96.58	チャック間、無節	7.8
	11	60.33	15.06	54.64	60.14	チャック内、無節	8.4
	24	60.25	15.09	48.14	52.95	チャック内、節	7.9
	46	60.32	15.10	58.51	64.24	チャック間、節	8.2
	49	60.27	15.09	23.31	25.63	チャック間、ただし両起点はチャック内の節(大)	8.3
	81	60.63	15.08	35.39	38.71	チャック間、ただし両起点はチャック内の節(大)	7.6
	105	60.36	15.10	58.22	63.88	チャック内、無節	8.1
	134	60.35	15.18	84.61	92.36	チャック内、無節	8.2
	187	60.43	15.09	132.34	145.13	チャック間、無節	7.7
	192	60.28	15.13	72.69	79.70	チャック間、無節	7.8
	199	60.41	15.14	85.38	93.35	チャック内、無節	7.9
	238	60.45	15.15	103.50	113.01	チャック間、無節	8.6
	280	60.25	15.19	23.86	26.07	チャック間、節(大)	8.0
	335	60.37	15.20	51.80	56.45	チャック間、ただし両起点はチャック内 (無節)	7.6
	422	60.24	15.19	58.85	64.31	チャック間、無節	7.6
	426	60.44	15.30	63.02	68.15	チャック間、ただし片側の起点はチャック内 (無節)	7.7
	538	60.37	15.11	91.32	100.11	チャック間、無節	7.6
	615	60.37	15.14	42.88	46.91	チャック内、無節	6.9
	616	60.33	15.28	108.55	117.75	チャック間、ただし片側の起点はチャック内 (無節)	7.7
	636	60.24	15.10	72.62	79.84	チャック内、無節	7.6
	641	60.22	15.16	44.74	49.01	チャック間、無節	7.8
	648	60.33	15.14	43.90	48.06	チャック間、節	8.2
Type	No.	幅 (mm)	厚さ (mm)	最大荷重 (kN)	引張強度 (N/mm ²)	破壊位置	含水率 (%)
FJT	6	60.37	15.13	44.37	48.58	FJ	7.9
	11	60.44	15.12	13.09	14.32	チャック内、節(大)	8.4
	24	60.15	15.08	46.31	51.05	FJ	7.3
	46	60.42	15.24	41.05	44.58	FJ	7.6
	49	60.08	15.13	18.28	20.11	チャック内、節(大)	7.9
	81	60.46	15.22	49.07	53.33	FJ	7.0
	105	60.22	15.17	37.88	41.47	FJ	7.4
	134	60.24	15.23	39.90	43.49	FJ	7.7
	187	60.34	15.12	42.37	46.44	FJ	7.5
	192	60.30	15.21	40.83	44.52	FJ	7.5
	199	60.43	15.14	41.77	45.65	FJ	7.5
	238	60.36	15.11	41.95	46.00	FJ	7.8
	280	60.26	15.05	18.58	20.49	チャック内、節	7.3
	335	60.33	15.30	43.35	46.96	FJ	7.5
	422	60.30	15.31	45.43	49.21	FJ	7.2
	426	60.31	15.21	33.77	36.81	半分はFJ、もう半分は黒色部、節?	8.8
	538	60.22	15.12	36.89	40.52	FJ	7.6
	615	60.17	15.39	34.81	37.59	FJ	7.1
	616	60.44	15.10	43.28	47.42	FJ	7.4
	636	60.43	15.10	31.42	34.43	FJ	7.9
	641	60.39	15.13	46.30	50.67	FJ	7.6
	648	60.25	15.28	36.92	40.10	FJ	7.8

経木（アカマツ）の乾燥試験

木材部 奥原祐司・毛受誠・吉田孝久

経木（アカマツ）の製造マニュアルを作成するにあたり各製造工程において乾燥に係わる試験を実施した。その結果、遠心分離装置による脱水工程により高含水率部分を低下させる効果があった。また、2次乾燥室において約43時間の乾燥により平均含水率は13.8%となりバラツキの少ない仕上がりになった。

キーワード：アカマツ、経木

1. はじめに

経木（きょうぎ）は、木材を薄く削った紙のような資材であり、昔からおにぎりなどの包装等に利用されてきた。近年ではプラスチックゴミ削減となるサステナブルな素材として注目されている。製造過程における経木の含水率管理は職人の技術に委ねられており、新規参入が難しい状況にある。本試験では、経木の製造マニュアル作成に必要な経木の含水率変化について調査を行った。なお、本研究は「株式会社やまとわ」との技術協力により実施した。

2. 試験の方法

試験体は、スライスした幅120mm、厚さ0.2mm、長さ400mmのアカマツの経木を1ロット40枚とした。含水率は、脱水前後及び乾燥前と乾燥開始約24時間後、乾燥開始約43時間後の質量を測定し、全乾法により各工程時の含水率を求めた。脱水は、遠心分離装置により行い、乾燥は、換気扇と扇風機を設置した木造の2次乾燥室内で上下3段、奥行き方向13列（写真-2）の配置で2日間実施した。なお、簡易乾燥室内において、上下段及び風上風下にそれぞれ温湿度計を2024.12.16～2025.12.16設置した。



写真-1 1ロット（40枚）



写真-2 2次乾燥室

3 結果

一例の経過時間と含水率の関係を図-1に示す。脱水工程は短時間で含水率が低下していた。

3.1 脱水工程

脱水前後の含水率を表-1及び図-2に示す。脱水時間35分から115分まで実施した平均含水率が脱水前81.2%、脱水後60.1%であった。図-2の中央値以上の高含水率部分の含水率が低下しており、この主な要因は脱水工程による自由水の低下によるものと思われる。

3.2 乾燥工程

乾燥前後の含水率を表-2及び図-3に示す。平均含水率では、乾燥前で58.7%、乾燥開始約24時間後で19.3%、乾燥開始約43時間後で13.8%であった。乾燥開始約24時間後には中央値以上の含水率にバラツキがあったが、乾燥開始約43時間後ではバラツキが少ない含水率になっていた。このように乾燥前

の含水率にバラツキがあっても乾燥を約43時間実施することで含水率をほぼ均一にすることが可能と思われる。

2次乾燥室内における1年間の平均温湿度を図-4に示す。平均温度・湿度は、1月で8℃・58%、8月で28℃・65%であった。なお、温湿度計の上下方向及び風上風下方向における温湿度差は、大差ない結果となり、経木の設置場所の違いによる含水率は変わらないと思われる。

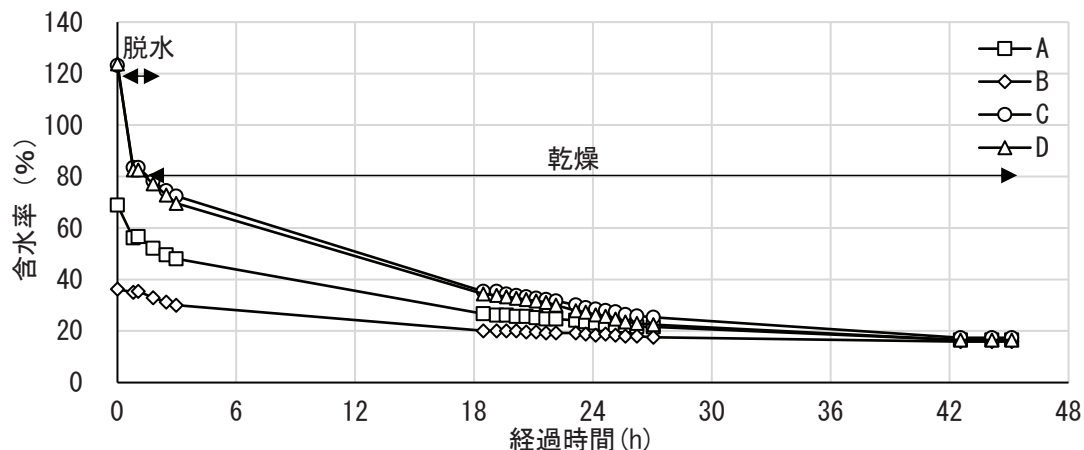


図-1 経過時間と含水率の関係 (n=4)

表-1 脱水前後の含水率 (単位: %)

	脱水前	脱水後
平均値	81.2	60.1
最小値	31.0	27.2
最大値	163.3	104.8
標準偏差	46.0	24.6
変動係数 (%)	56.7	41.0
個数	19	19

表-2 乾燥前後の含水率 (単位: %)

	乾燥前	約24時間後	約43時間後
平均値	58.7	19.3	13.8
最小値	27.2	11.6	11.6
最大値	104.8	50.8	17.4
標準偏差	24.4	10.9	2.4
変動係数 (%)	41.6	56.5	17.5
個数	19	19	10

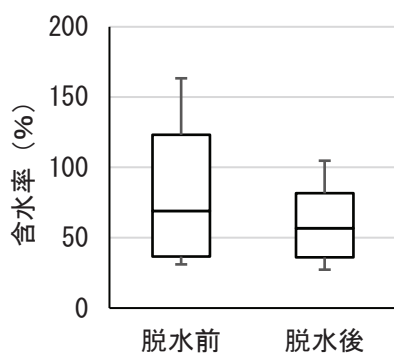


図-2 脱水前後の含水率

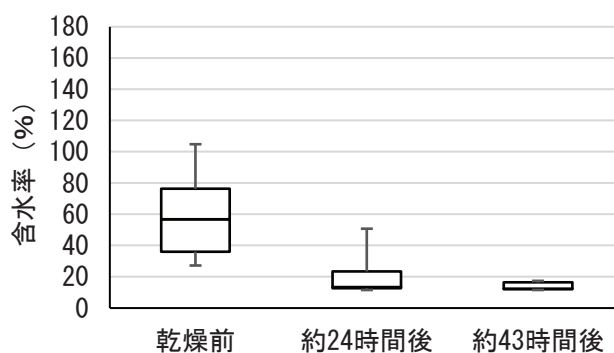


図-3 乾燥前後の含水率

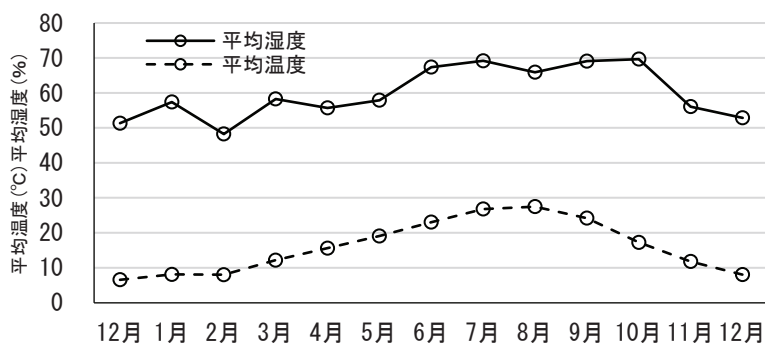


図-4 2次乾燥室における1年間の温湿度

マイクロ波加熱による広葉樹材の乾燥試験

木材部 奥原祐司・毛受誠・吉田孝久

乾燥に時間を要する広葉樹材について電子レンジのマイクロ波加熱による含水率低下を目的に人工乾燥したコナラ等の乾燥試験を実施した。その結果、椅子用の足部材（コナラ）は、材長約 50 cm だったことから目標含水率には達しなかった。七味入れ容器部材（サクラ及びクルミ）は、試験体が小さいことから平均含水率が 4.5 パーセントポイント低下していた。

キーワード：コナラ、サクラ、クルミ、電子レンジ

1. はじめに

屋内で広葉樹の木工品等を使用する場合は、含水率を 10% 以下にするため人工乾燥材が用いられるが、広葉樹材の乾燥には長時間を要し、かつ、石油価格の急騰により乾燥コストが課題となっている。そこで、簡易、かつ、短時間で乾燥可能な電子レンジを活用したマイクロ波乾燥により含水率低下を試験した。なお、本研究は「株式会社やまとわ」との技術協力により実施した。

2. 試験の方法

試験体は、人工乾燥した椅子の足部材のコナラと七味入れ容器のサクラ及びクルミの荒仕上材とした（図-1）。なお、加熱室の中央付近に陶器の皿の上に試験体を設置した（写真-1 及び 2）。

電子レンジは、日立加熱水蒸気オーブンレンジ（MRO-FV200、2009 年製）を使用し、出力 800w に固定、加熱時間 60～130 秒とした。なお、目標含水率は 5 % とした。

含水率については、加熱前後に試験体の質量を測定した。また、椅子の足部材は試験体から端部（角）及び中央部並びに端部ホゾを切り出し全乾法による含水率と全乾密度を求めた。また、加熱後の含水率は、3 カ所の平均値とし、加熱前の含水率は、加熱後の含水率から推定した。



写真-1 椅子用の足部材

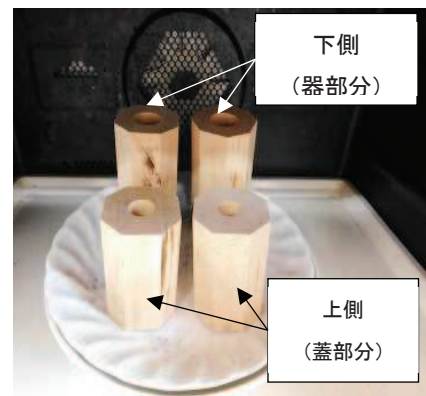


写真-2 七味入れ容器部材

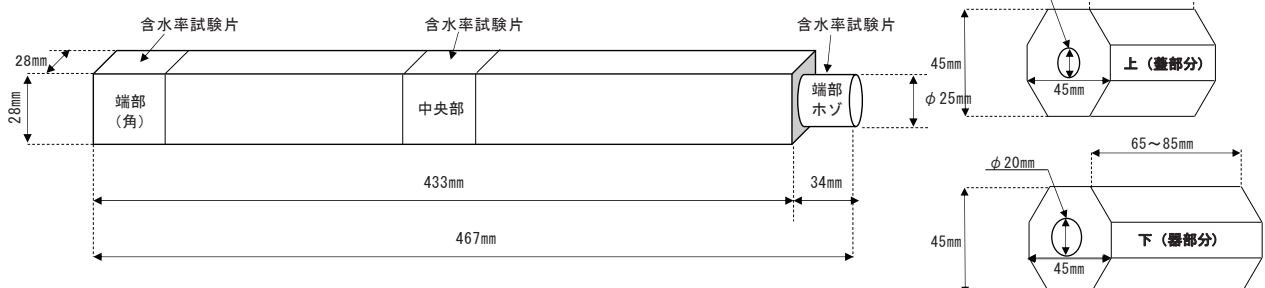


図-1 試験体寸法（左：椅子用の足部材、右：七味入れ容器部材）

3 結果

椅子用の足部材における加熱時間ごとの加熱前後の含水率を図-2 に示す。加熱時間が長いほど含水率の低下が見られた。また、加熱後の両端部及び中央部と密度の関係では加熱時間が長いほど密度が低い傾向が見られたが、ホゾ部分の含水率低下に大きな違いは見られなかった（図-3）。

試験体が長いことから加熱ムラが発生し、狙った場所の含水率を低下させることは困難と思われる。

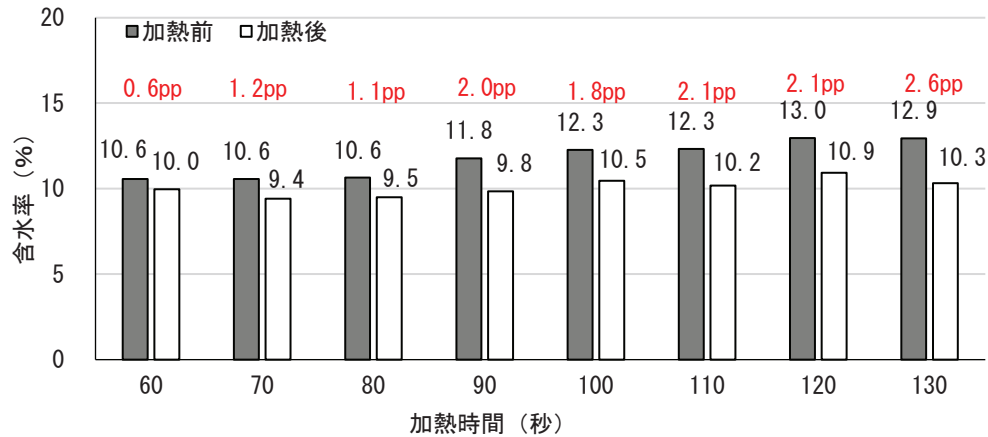


図-2 出力 800w における加熱時間 60～130 秒後の含水率 (n=1)

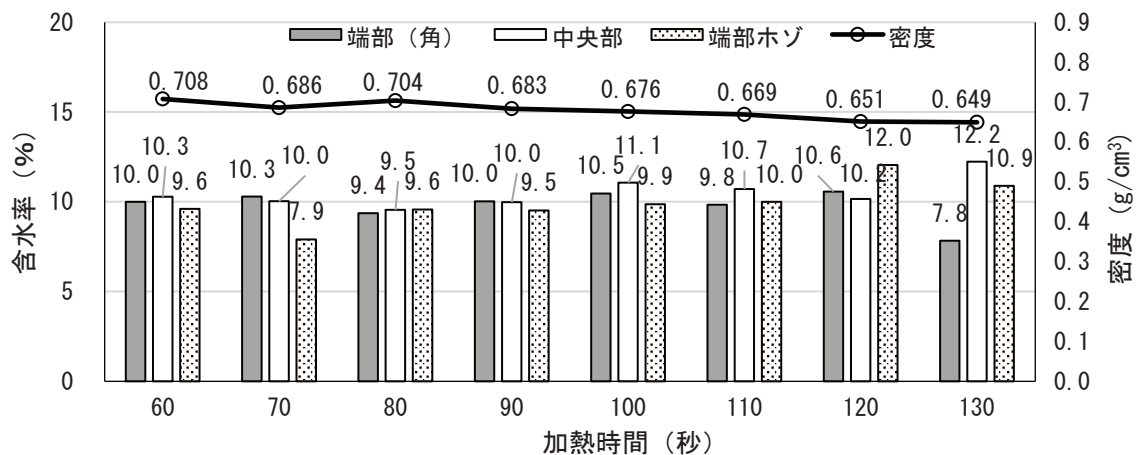


図-3 出力 800w における加熱時間 60～130 秒後の各部位の含水率と密度 (n=1)

七味入れ容器部材におけるサクラ及びクルミの加熱前後の含水率を図-4 に示す（下は器部分、上は蓋部分）。加熱前の平均含水率は 11.3%、加熱後の平均含水率は 6.8%であり、加熱により 4.5 パーセントポイント減少していた。蓋及び器部分ともに含水率に大差ない結果となった。試験体が小さいことからマイクロ波による加熱で含水率を低下させることは可能と思われる。

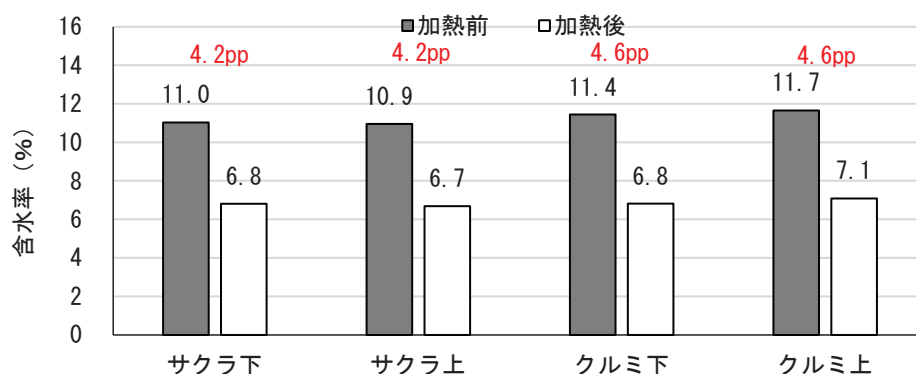


図-4 出力 800w 加熱時間 60 秒のサクラとクルミの加熱前後の含水率 (n=1)

松本市有林のカラマツ材質性能試験

木材部 奥原祐司・吉田孝久・小山泰弘・毛受誠

松本市奈川地区寄合渡団地のカラマツ（立木7本から1番玉～4番玉を造材）丸太28本について縦振動曲げヤング係数を調査した。その結果、縦振動ヤング係数の平均値は 12.28kN/mm^2 （最小：9.94、最大：14.51）となり、Ef130が最も多かった。また、番玉別に縦振動曲げヤング係数を見ると1番玉よりも2番玉のEfが高くなったが、その差は小さく1番玉から4番玉まで構造材として使用可能と思われる。

キーワード：カラマツ、縦振動ヤング係数

1 はじめに

松本市のカラマツは、13,443 haで民有林の35%を占め、材積では約320万 m^3 （3,192,519 m^3 ）を有する松本市の主要樹種であり利用期を迎えている。令和3年度に実施した松本市奈川地区の丸太の曲げヤング係数測定結果（サンプル数12本）では、平均で 13.7kN/mm^2 という高い数値を示した。今後、松本市の公共施設等の建設等において、建築部材として使用可能かカラマツの強度データの蓄積と分析が必要である。そこで、本試験は、谷側に力枝が偏って成長した立木（谷側に圧縮あてが形成されるか）と四方に力枝が偏り無く成長した立木を比較するとともに強度性能を把握するため、丸太の縦振動ヤング係数を調査した。なお、本研究は、松本市及び松本広域森林組合との技術協力により実施した。

2 試験の方法

調査場所は、松本市奈川地区寄合渡団地（2060 林班ほ小班2カ所のプロット）において、伐採前に立木7本の力枝の4方向及び長さ並びに胸高直径を測定し、山側に黄色のスプレーでマーキングした。伐倒後に樹高及び枝下高を測定してから1番玉から4番玉まで長さ約4150 mmで造材した。造材後に素材の日本農林規格の縦振動ヤング係数試験を参考に丸太28本を調査した。丸太の測定方法は、両木口の短径及び長径並びに材長をコンベックスにより1 mm単位、固有振動数はATA社製HG-2020SPにより0.1Hz単位、重量はクレーンスケールにより0.5 kg単位で測定した。

3 結果

立木7本の測定結果を表-1に示す。立木7本の内4本が谷側に力枝が偏って成長し、山側の力枝は被圧されてあまり成長していない立木であった。また、残りの3本の内2本は四方に力枝が成長しており、更に、残りの1本は被圧木であった。

丸太28本（立木7本×1～4番玉）の測定結果を表-2に示す。谷側に力枝が偏って成長した立木と四方に力枝が成長していた立木の縦振動ヤング係数に大きな違いは見られなかった。

縦振動ヤング係数の分布を図-1に示す。令和3年度の調査した丸太と比較するとEf130が最も多かった。

番玉ごとの縦振動ヤング係数を図-2に示す。1番玉よりも2番玉のEfが高くなったが、その差は小さく¹⁾1番玉から4番玉まで構造材として使用可能と思われる。

現在、番玉ごとに図-3のとおり製材し、心持ち正角材は蒸煮及び高温セット処理後、天然乾燥を令和7年10月31日から開始した。また、心去り平角及び髓を含む板材は蒸煮後、天然乾燥を令和7年11月6日から開始した。なお、天然乾燥後、髓を含む板材は「あて」形成の有無や小試験体による間伐前後における曲げヤング係数の確認や、心去り平角材及び心持ち正角材については実大材曲げ試験を行い建築材料としての強度性能を確認予定である。

表-1 立木測定結果

	胸高直径 (cm)	樹高(m)	枝下高 (m)	力枝総延 長(m)	最大力枝 長さ(m)
平均値	30.5	29.1	21.1	14.0	5.4
最小値	27.5	25.8	17.7	8.4	2.7
最大値	33.6	30.9	29.1	19.4	7.2
標準偏差	2.14	1.63	4.09	4.48	1.68
変動係数(%)	7.0	5.6	19.4	32.1	31.2
試験体数	7	7	7	7	7

表-2 丸太測定結果

	末口			元口			長さ (m)	縦振動 周波数 (Hz)	細り (mm/m)	重量 (kg)	見かけの 密度 (kg/m ³)	Ef (kN/mm ²)
	短径 (cm)	長径 (cm)	年輪数 (年)	短径 (cm)	長径 (cm)	年輪数 (年)						
平均値	23	25	50	26	28	56	4.12	458	7.2	179	864	12.28
最小値	18	20	38	19	20	45	4.06	396	1.3	100	714	9.94
最大値	29	33	59	35	40	64	4.15	493	17.8	264	1020	14.51
標準偏差	2.92	3.76	6.86	4.08	5.02	5.78	0.02	26.39	4.12	45.12	71.02	1.23
変動係数(%)	12.7	15.3	13.7	15.9	18.1	10.4	0.5	5.8	57.6	25.2	8.2	10.0
試験体数	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28

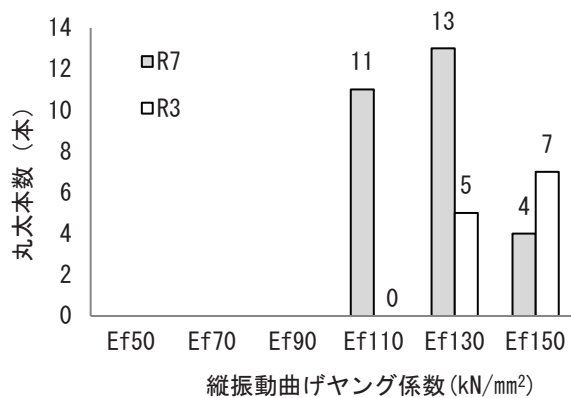


図-1 縦振動曲げヤング係数の分布

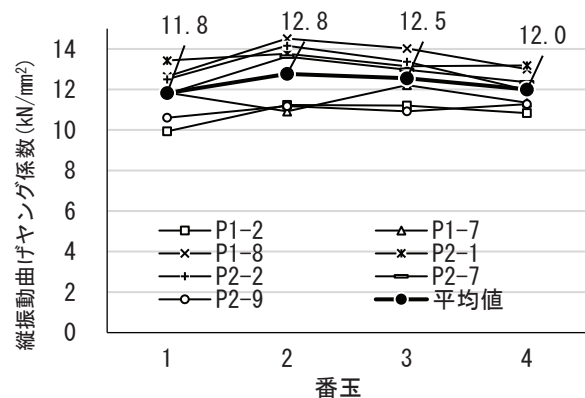
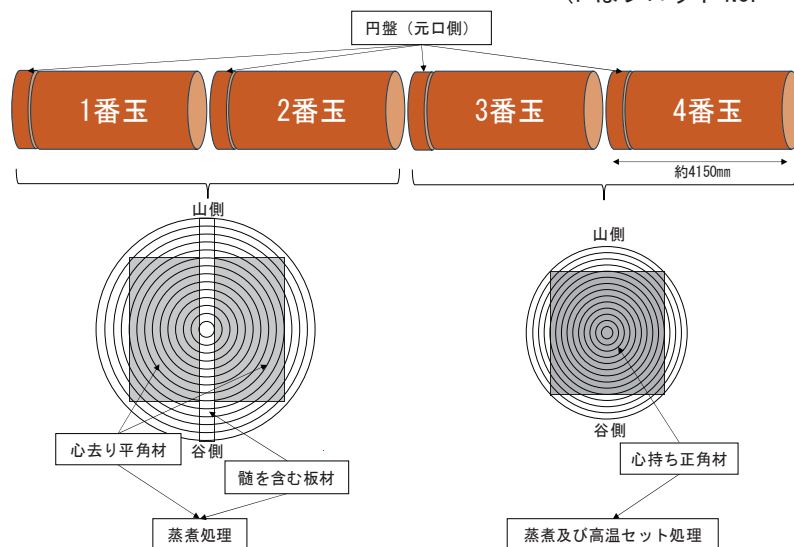
図-2 番玉ごとの縦振動曲げヤング係数
(PはプロットNo. -1は立木No.)

図-3 丸太の造材と製材方法

参考文献

1) 安久ら, カラマツにおける間伐強度の違いが年輪構造や丸太のヤング係数に及ぼす影響, 木材学会誌 Vol. 58, No. 5, p. 249-259 (2012)

北信地域におけるスギの曲げヤング係数

木材部 奥原祐司・吉田孝久・毛受誠

北信地域におけるスギ心持ち正角材及び平角材の強度性能を把握するため、曲げヤング係数を調査した。その結果、曲げヤング係数の平均値は、正角材 7.50kN/mm² 平角材 8.78 kN/mm² となり、製材 JAS 機械等級区分構造用製材の曲げヤング係数の基準は E70 が適当と思われる。

キーワード：北信、スギ、心持ち、曲げヤング係数

1. はじめに

県内の人工林の約 16%を占めるスギは成熟期を迎えており、今後、伐採量の増大が見込まれる大径材から製材可能な断面の大きな構造材の基礎的な強度特性を明らかにし、今後、県内企業が JAS を取得するために必要なデータを蓄積する。本年度は、スギの心持ち正角材及び平角材について非破壊による強度試験を実施した。なお、本研究は、瑞穂木材株式会社との技術協力として実施した。

2. 試験の方法

2.1 試験材

心持ち正角材（120×120×3000 mm）70 本及び心持ち平角材（120×210×3000 mm）64 本とした。

2.2 試験方法

実大材曲げ強度試験機（島津製作所製 UH-1000kN）を用いて、「製材の日本農林規格（平成 25 年 6 月 12 日農林水産省告示第 1920 号）」及び、「規格木材生産工場における品質管理 1（一般社団法人全国木材検査・研究協会）」に従って以下の試験条件で実施した。（図-1）

スパン 2,520 mm（h=120 mmの 21 倍）、上部荷重点間距離 840 mmの 3 等分点 4 点荷重方式、荷重速度は毎分 5 mmで実施し、MOE の測定範囲は、スギの基準許容応力度（Fa：7.4N/mm²）及び材の幅（b：120 mm、又は 210 mm）、厚（h：120mm）、スパン（ℓ：2,520 mm）より次式により最終荷重を求めて表-1 とし、最終荷重の 0.1 倍～0.4 倍を測定範囲とした。また、加力を停止する荷重は、最終荷重の約 1.2 倍となる表-1 とおりとした。なお、曲げヤング係数は、次式によって算出するが、標準条件時（スパン/材せい=21）の曲げヤング係数への調整係数 0.988 を乗じた。

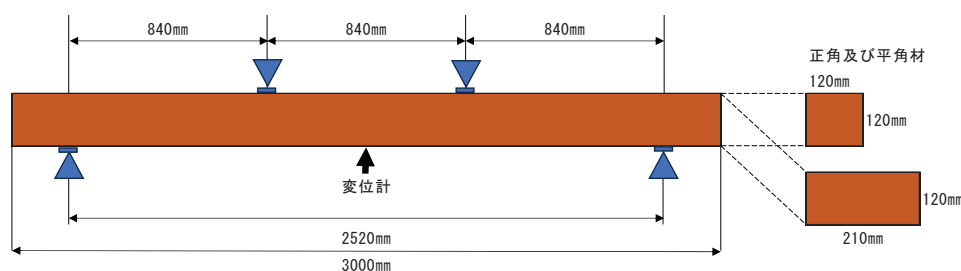


図-1 曲げ試験方法

$$\text{最終荷重}(N) = \frac{Fa \times b h^2}{\ell}$$

ℓ：スパン(mm)

h：木口の短辺(mm)

b：木口の長辺(mm)

$$Fa : 7.4 \text{ N/mm}^2$$

$$E = \frac{23 \ell^3 \Delta P}{108 b h^3 \Delta y}$$

E：曲げヤング係数(kN/mm²)

ℓ：スパン(mm)

b：木口の長辺(mm)

h：木口の短辺(mm)

ΔP：初期荷重と最終荷重との差(N)

Δy：ΔP に対する変位の差(mm)

表-1 測定条件等

樹種	幅： (b) (mm)	厚さ： (h) (mm)	材長 (mm)	下部支 点間距離： (ℓ) (mm)	スパン 短辺比	最終荷重 (kN)	測定範囲 (kN)	加力を停止 する荷重 (kN)	標準条件時の曲 げヤング係数へ の調整係数
スギ	120	120	3000	2520	21	5.074	1.269 ~ 5.074	6.09	0.988
	210	120	3000	2520	21	4.933	2.220 ~ 8.880	10.66	0.988

3. 結果

曲げヤング係数結果を表-2 に示す。曲げヤング係数の平均値は、正角材 7.50kN/mm² と平角材 8.78 kN/mm² とであった。

正角材及び平角材の曲げヤング係数分布を図-2 に示す。正角材よりも成熟材の割合が高い平角材の方が曲げヤング係数が高い結果となった。

正角材及び平角材の曲げヤング係数の箱ひげ図を図-3 に示す。正角材及び平角材ともにバラツキが大きかった。なお、両者とも JAS1083 (2025) 機械等級区分構造用製材の曲げヤング係数の基準は、E70 が適当と思われる。

表-2 曲げヤング係数結果

単位：kN/mm ²		
	正角材	平角材
平均値	7.50	8.78
最小値	4.92	5.52
最大値	12.71	12.23
標準偏差	1.45	1.35
変動係数 (%)	19.29	15.38
個数	70	64

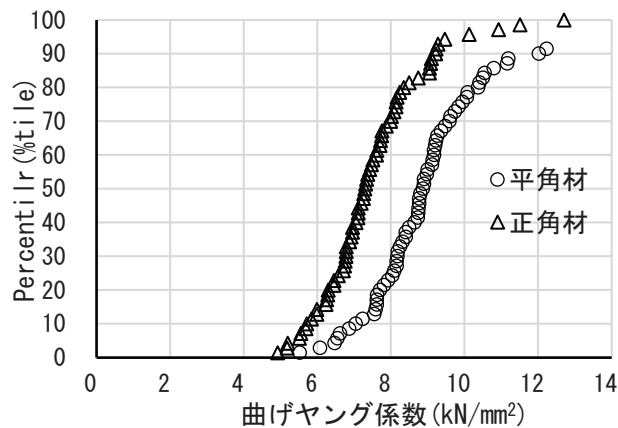


図-2 曲げヤング係数の分布

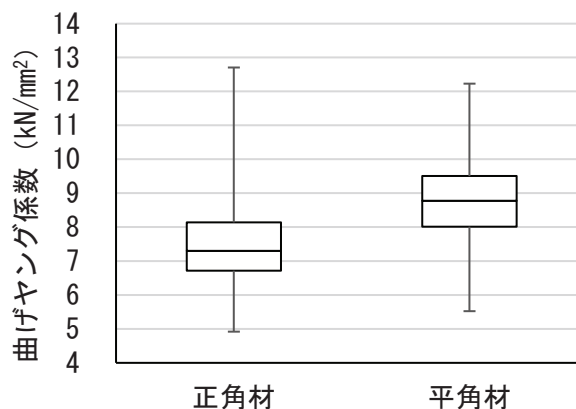


図-3 曲げヤング係数の箱ひげ図