

2 心持ち無垢梁桁材の乾燥特性及び強度特性の解明

木材部 山口健太, 吉田孝久, 今井信, 奥原祐司

カラマツ及びスギ心持ち無垢梁桁材が、問題が無く十分に横架材として利用可能であるかを検証するために、その乾燥特性及び強度性能を検討した。蒸気式高温セット乾燥と蒸気圧力併用式高温セット乾燥による2種類の乾燥試験を行った結果、蒸気式高温セット乾燥は21日間で含水率がスギ10.9%、カラマツ16.8%であったのに対し、蒸気圧力併用式高温セット乾燥は11日間で含水率がスギ10.9%、カラマツ18.9%となった。目標とする含水率15%以下を満足するためには、カラマツは更なるスケジュールの改良が必要であるが、蒸気圧力併用式高温セット乾燥は、蒸気式高温セット乾燥のおよそ半分の期間で乾燥が可能であった。また曲げ強度試験を実施した結果、カラマツ及びスギともに曲げ強度性能では概ね基準強度を満たし、横架材使用として十分に利用可能であることが分かった。さらに、心持ち材は板目面が広い両面に現れるため意匠性は高く、見え掛り材としての価値も高いものと思われた。

キーワード：カラマツ, スギ, 心持ち, 無垢梁桁材, 蒸気圧力併用式高温セット乾燥

1 試験の目的

大径材の利用方法の一つとして、大断面を活かした横架材としての利用が考えられる。そこで、「心持ち無垢梁桁材」の乾燥特性と強度性能を明らかにし、問題が無く十分に横架材として利用可能であるかを検証した。

2 試験の方法

2.1 供試材

丸太は、長野県東信産カラマツ大径材60本と北信産スギ60本の内、各20本を供試材とした。

製材は、仕上がり寸法を105×300×4,000mmに想定して、製材寸法を130×320×4,000mmとした(図2-1)。なお、製材はカラマツを小林木材(株)、スギを瑞穂木材(株)で行った。

乾燥は、当センターにある木材乾燥機(蒸気式高温セット乾燥：ヒルデブランド社製HD74/NH-H、蒸気圧力併用式高温セット乾燥：ヒルデブランド社製HD03/SHD)により行い、乾燥後は、ガラスハウスにおいて1ヶ月間養生を行った。

乾燥後の狂いの整形は、当センターのモルダー(ヴァイニツヒ社製ユニマート800)で行ったが、ねじれの大きな供試材については、事前に製材機(三善工業社製NSA-F800)を用いて直角2面をつくり出してから整形を行った。

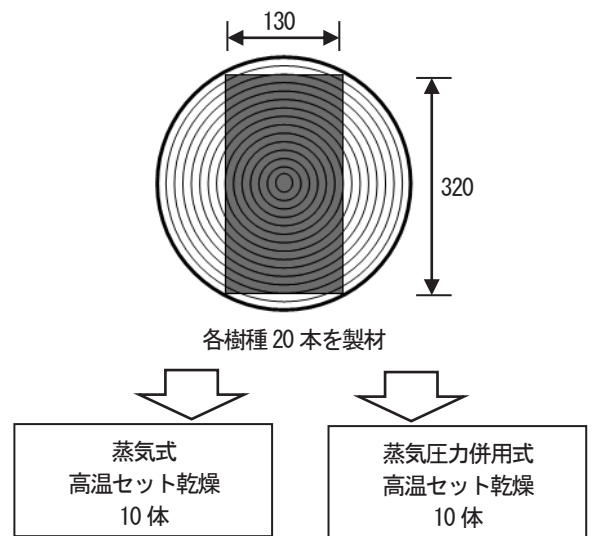


図2-1 心持ち無垢梁桁材の木取り

2.2 供試材の測定方法及び評価方法

製材後にデジタルノギスを用いて供試材中央の幅・厚の寸法を0.01mm単位で、長さをmm単位で測定し、その後、ATA社製のグレーディングマシンHG-2001で周波数及び重量を、同社製のマイクロ波透過型木材含水率計MB-3100で含水率を測定した。

乾燥前後にデジタルノギスを用いて供試材中央の幅・厚の寸法を0.01mm単位で、長さをmm単位で、反り及び曲がり跨度4mでの最大矢高をmm単位で、ねじれ(狭い面と広い面)を跨度4mとし平面上に3点を固

定後、残り1点の平面からの浮き上がりをmm単位で、電子天秤を用いて重量を0.001kg単位で、高周波式含水率計(moco2)を用いて含水率0.5%単位で、ハンディードグレーダーHG-2001による縦振動数をHz単位で測定し、次式により縦振動ヤング係数(Efr)を算出した。

$$\text{縦振動ヤング係数(kN/mm}^2\text{)} : Efr = (2L f)^2 \rho \div 10^9$$

ここで、L:材長 (m)

f:縦振動数 (Hz)

ρ:密度 (kg/m³)

モルダー後にデジタルノギスを用いて試験体中央の幅・厚の寸法を0.01mm単位で、長さをmm単位で、割れをcm単位で、電子天秤を用いて重量を0.001Kg単位で、高周波式含水率計(moco²)を用いて含水率0.5%単位で、ハンディードグレーダーHG-2001による縦振動数をHz単位で測定した。

曲げ強度試験後に非破壊部において、図2-2に示す通りできるだけ長さ方向の中央に近い節等の欠点のない部位から約2cmの厚さ2枚の試験片を採取し、全乾密度、全乾法による含水率及び材内水分傾斜を中央1/3区間を7分割して測定した(図2-3)。

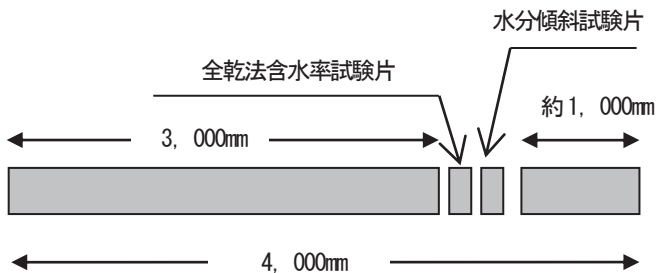


図2-2 各試験片の採材位置例

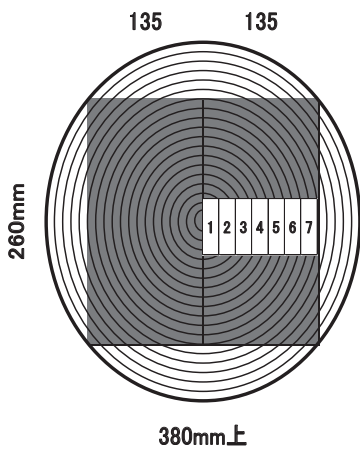


図2-3 材内水分傾斜の測定位置

2.3 乾燥方法

目標仕上げ含水率は15%以下を目標とし、スギ20体及びカラマツ20体をそれぞれ蒸気式乾燥機に各10体

と蒸気圧力併用式乾燥機に各10体を入れ(写真2-1)、表2-1(図2-4及び5)の乾燥スケジュールにより実施した。なお、乾燥後は養生のためガラスハウスに約1ヶ月間存置した(写真2-2)。



写真2-1 乾燥前の供試材
蒸気式乾燥機(左)、蒸気圧力併用式乾燥機(右)

表2-1 乾燥スケジュール

乾燥方法	蒸気式高温セット乾燥	蒸気圧力併用式高温セット乾燥
乾燥スケジュール	乾球/湿球/温度差/時間	乾球/湿球/温度差/圧力/時間
Step1: 蒸煮	95°C/95°C/0°C/8h	80°C/80°C/0°C/-45kpa/8h
Step2: 高温セット	110°C/80°C/30°C/18h	110°C/80°C/30°C/-45kpa/18h
Step3: 中温乾燥	80°C/50°C/30°C/454h	80°C/50°C/30°C/-80kpa/212h
Step4: クーリング	0°C/0°C/0°C/24h	0°C/0°C/0°C/0kpa/24h
	全行程21日間	全行程11日間
調湿(ガラスハウス)	約30日間	約30日間

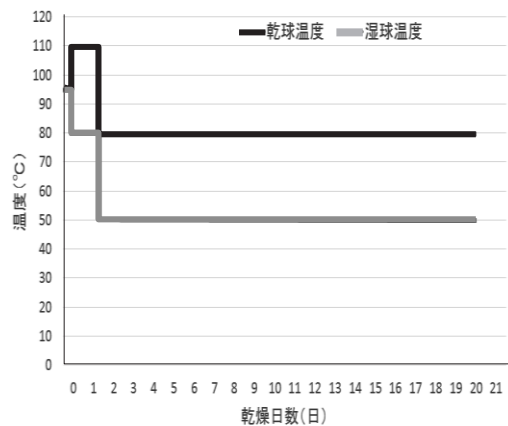


図2-4 蒸気式高温セット乾燥スケジュール

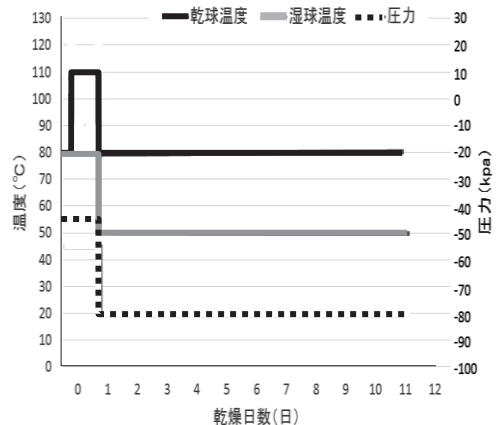


図2-5 蒸気圧力併用式高温セット乾燥スケジュール

$$\text{見かけの曲げヤング係数} : E_m = \frac{\alpha(3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(w_2 - w_1)}$$

ここで、 $I: bd^2/12$

a : 支点から荷重点までの距離

L : スパン (m)

$F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。 F_1 は $F_{ult, est}$ (最大荷重の推定値) の約 10%, F_2 は約 40% とする。

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分

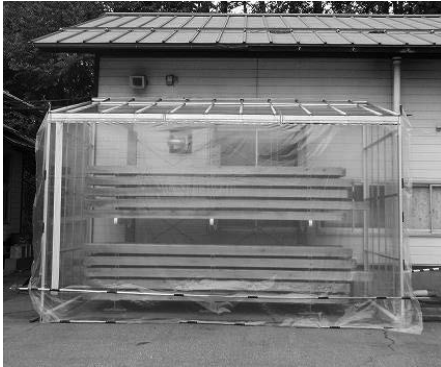


写真 2-2 ガラスハウス内での養生の様子

2.4 曲げ試験

(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、下部支点間距離 (スパン) 3, 900mm, 上部荷重点間距離 600mm で実施した。載荷方向はエッジワイズとし、載荷速度は 15mm/分とした (図 2-4)。なお、試験体の長さ制限があるため、スパンについては、標準条件である梁せいの 18 倍ではなく 13 倍とした。また、せん断破壊が極力発生しないように支点-上部荷重点間を 1, 650 mm (梁せいの 5.5 倍) とした (写真 2-3~5)。

最大荷重から曲げ強さ (f_m) を、また、荷重に対する中央部の変位から見かけの曲げヤング係数 (E_m) を次式により算出した。

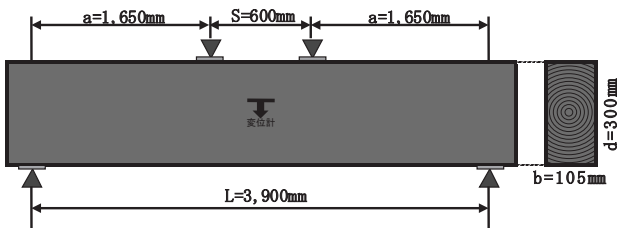


図 2-6 曲げ試験の方法

$$\text{曲げ強さ(N/mm}^2\text{)} : f_m = \frac{\alpha F_{ult}}{2Z}$$

ここで、 a : 支点から荷重点までの距離

F_{ult} : 最大荷重

$Z: bd^2/6$, ただし、 b は材幅である



写真 2-3 曲げ試験状況



写真 2-4 上部荷重点と下部支点間
(1, 650 mm) (3, 900 mm)

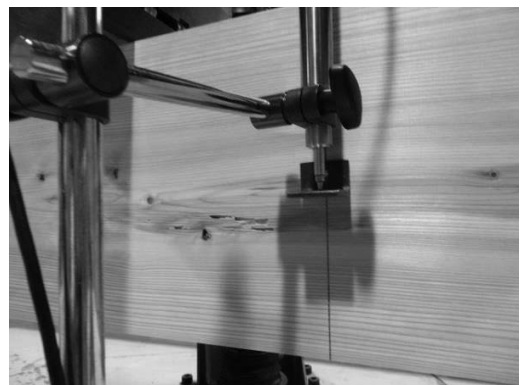


写真 2-5 試験材中央部の変位計
(スパン中央のたわみを測定、見かけの曲げヤング係数)

3 試験結果

3.1 乾燥による形質変化

表 2-2 に乾燥仕上がり全乾含水率, 全乾密度, 平均年輪幅及び重量減少 (乾燥後重量÷乾燥前重量×100 (%)) および収縮率を, 表 2-3 に割れ, 反り, 曲り, およびねじれを併せて示した。

表 2-2 乾燥による形質変化①

材種	乾燥方式	項目	全乾法含水率 (%)		全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	重量減少 (%)	収縮率 (%)	
			乾燥前	乾燥後				幅(広い面)	厚さ(狭い面)
			個数	10	10	10	10	10	10
スギ	蒸気式 高温セット	平均値	56.3	10.9	0.340	4.660	71.7	1.98	3.25
		最小値	33.0	7.7	0.284	2.940	60.5	1.19	2.42
		最大値	97.4	19.4	0.382	5.880	81.8	2.50	4.43
		標準偏差	19.5	3.5	0.030	0.817	6.7	0.45	0.67
		変動係数	34.5	31.9	8.771	17.523	9.4	22.50	20.50
	蒸気圧力 併用式 高温セット	個数	10	10	10	10	10	10	10
		平均値	73.4	10.9	0.342	4.295	64.9	2.15	3.14
		最小値	40.7	6.2	0.278	2.190	53.5	1.20	1.87
		最大値	121.3	18.5	0.411	7.210	76.5	3.31	4.13
		標準偏差	26.0	4.8	0.039	1.537	7.5	0.82	0.68
カラマツ	蒸気式 高温セット	個数	10	10	10	10	10	10	10
		平均値	45.6	16.8	0.456	3.732	80.2	1.79	3.64
		最小値	40.2	12.0	0.391	2.700	77.8	1.00	2.37
		最大値	56.2	21.5	0.539	4.400	85.9	2.85	4.71
		標準偏差	5.1	3.2	0.042	0.497	2.5	0.48	0.79
	蒸気圧力 併用式 高温セット	個数	10	10	10	10	10	10	10
		平均値	48.5	18.3	0.445	3.348	80.1	1.83	2.95
		最小値	34.7	12.4	0.402	2.920	68.0	0.83	1.92
		最大値	71.2	22.5	0.498	3.930	89.2	2.93	4.30
		標準偏差	12.9	3.6	0.035	0.316	6.4	0.61	0.74

表 2-3 乾燥による形質変化②

材種	乾燥方式	項目	割れ			反り(広い面)				ねじれ
			広い面(cm)		狭い面(cm)	最大割れ幅 (mm)	高さ (mm/4.0m)		曲がり(狭い面) (mm/4.0m)	
			乾燥後	モルダール後			乾燥前	乾燥後		
スギ	蒸気式 高温セット	個数	10	10	10	10	10	10	10	10
		平均値	109.1	86.2	0.0	1.3	3.9	3.2	1.2	3.8
		最小値	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		最大値	271.0	189.0	0.0	6.0	6.0	10.0	5.0	13.0
		標準偏差	91.8	63.5	0.0	2.1	1.6	3.7	1.8	4.2
	蒸気圧力 併用式 高温セット	個数	10	10	10	10	10	10	10	10
		平均値	21.6	78.5	1.9	0.8	4.7	1.7	1.0	2.9
		最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		最大値	96.0	528.0	19.0	3.0	8.0	3.0	4.0	5.0
		標準偏差	31.1	161.1	6.0	1.3	2.1	1.3	1.5	1.5
カラマツ	蒸気式 高温セット	個数	10	10	10	10	10	10	10	10
		平均値	192.9	177.2	9.4	2.8	0.0	1.4	0.0	1.8
		最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		最大値	441.0	404.0	81.0	9.0	0.0	5.0	0.0	45.0
		標準偏差	177.1	180.1	25.5	2.7	0.0	1.8	0.0	13.7
	蒸気圧力 併用式 高温セット	個数	10	10	10	10	10	10	10	10
		平均値	38.0	107.4	54.0	1.8	0.4	1.9	0.3	2.8
		最小値	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		最大値	108.0	398.0	190.0	2.2	4.0	14.0	3.0	18.0
		標準偏差	39.5	120.6	70.0	0.5	1.3	4.4	0.9	5.7

3.1.1 乾燥前の供試材の形質

カラマツの乾燥前の供試材の各種測定結果は, 乾燥前重量平均が 101.3 kg, 推定全乾法含水率の平均が 47.2%だった。

スギの乾燥前の供試材の各種測定結果は, 乾燥前重量平均が 91.9 kg, 推定全乾法含水率平均が 64.9%だった。

3.1.2 仕上がり含水率

仕上がり含水率の平均値を図 2-7 に, 仕上がり含水率度数分布を図 2-8 に示した。

蒸気式高温セット乾燥における, 全乾法による仕上がり含水率の平均は, スギが 10.9%, カラマツが 16.8% であり, 目標の 15%以下の材は, スギで 10 本中 9 本, カラマツでは 10 本中 4 本となった。

蒸気圧力併用式高温セット乾燥における, 全乾法による仕上がり含水率の平均は, スギが 10.9%, カラマツ

が 18.3%であり, 目標の 15%以下の材は, スギで 10 本中 8 本, カラマツでは 10 本中 2 本となった。

乾燥方法の違いによる含水率の統計的な差をウェルチの t 検定 (両側検定) によって確認した結果, カラマツもスギも p<0.05 を統計的に有意差は認められなかった。

カラマツについては, いづれの乾燥方式も, 15%以下の含水率を目標とするには, 更なる乾燥スケジュールの改良が必要である。

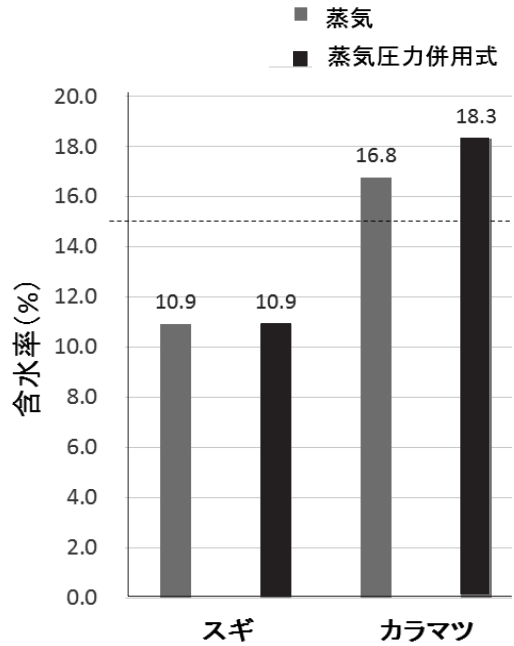


図 2-7 全乾法による含水率の平均値

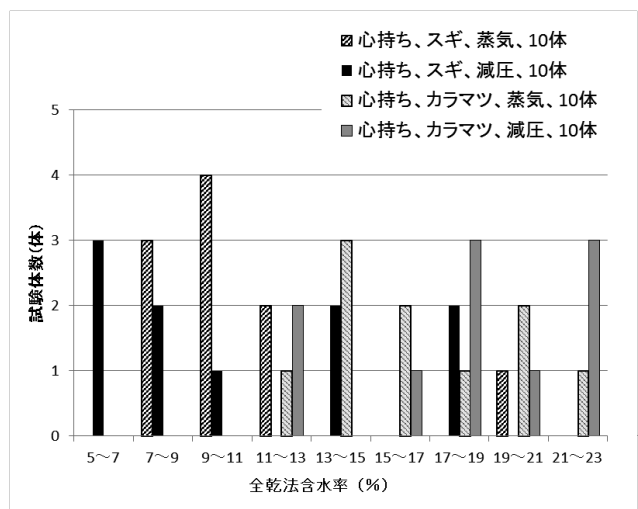


図 2-8 仕上がり含水率度数分布 (全乾法)

3.1.3 材内の水分傾斜

樹種ごとに乾燥方法の違いによる材内の水分傾斜を図 2-9~12 まで示した。樹種の違いや乾燥方法の違い及び個体差により, ばらつきはあるものの, 概ね緩やかな水

分傾斜の乾燥材に仕上がった。

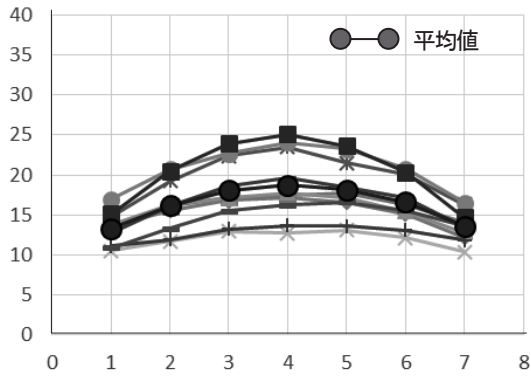


図2-9 カラムツの蒸気式高温セット乾燥

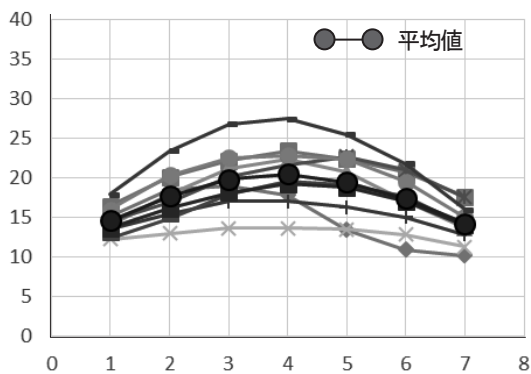


図2-11 カラムツ蒸気圧力併用式高温セット乾燥

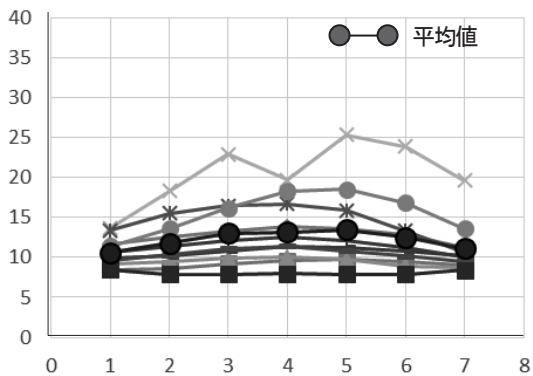


図2-10 スギ蒸気式高温セット乾燥

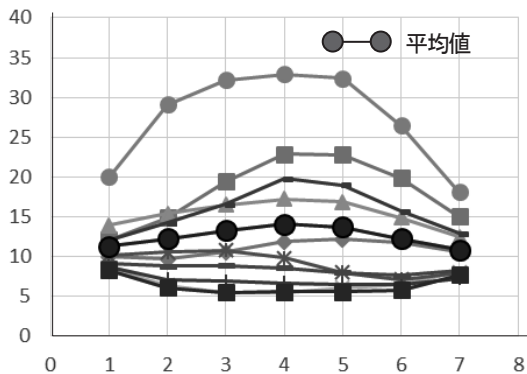


図2-12 スギ蒸気圧力併用式高温セット乾燥

3.1.4 材面割れ

材面割れの平均値を図2-13に、度数分布を図2-14に示した。

蒸気式高温セット乾燥における、割れの平均は、スギが109.1 cm, カラムツが192.9 cmであり、100 cm以下の材は、スギで10本中4本, カラムツでは10本中5本となった。

蒸気圧力併用式高温セット乾燥における、割れの平均は、スギが21.6 cm, カラムツが38.0 cmであり、100 cm以下の材は、スギで10本中9本, カラムツでは10本中9本となった。

蒸気圧力併用式高温セット乾燥の方が割れの少ない乾燥材に仕上がったが、その原因についてはさらに追及する必要がある。

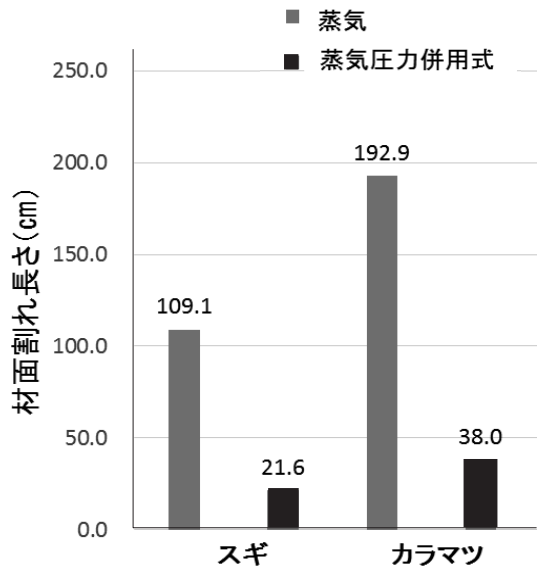


図2-13 材面割れ長さ

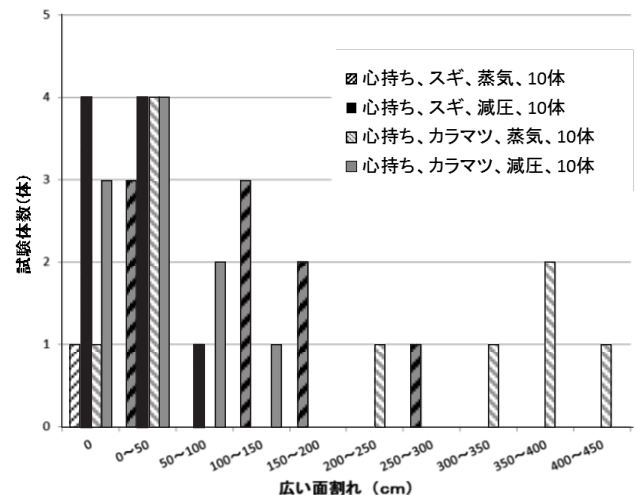


図2-14 材面割れ度数分布

3.1.5 曲がり・そり・ねじれ

曲がりを図 2-15 に示した。また、曲がりの大きかったスギについて供試材毎の乾燥前後比較を図 2-16, 図 2-17 に示した。スギの蒸気式高温セット乾燥においては、乾燥前平均値が 1.2 mm/4m, 乾燥後平均値で 3.8 mm/4m と増加した。また、10 本中 7 本が乾燥前よりも乾燥後の曲がりが大きくなった。また、スギの蒸気圧力併用式高温セット乾燥においては、乾燥前平均値が 1.0 mm/4m, 乾燥後平均値で 2.9 mm/4m と増加し、10 本中 7 本が乾燥前よりも乾燥後の曲がりが大きくなった。

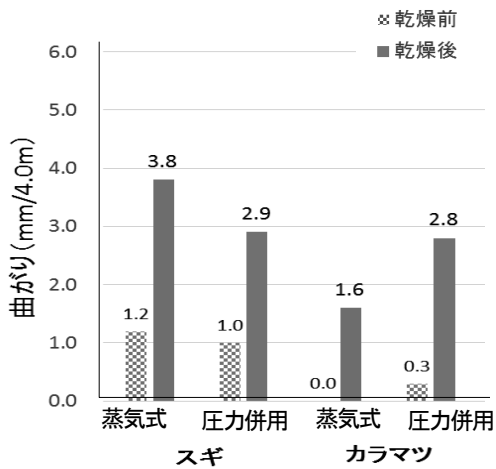


図 2-15 樹種別乾燥別の曲り発生量 (平均値)

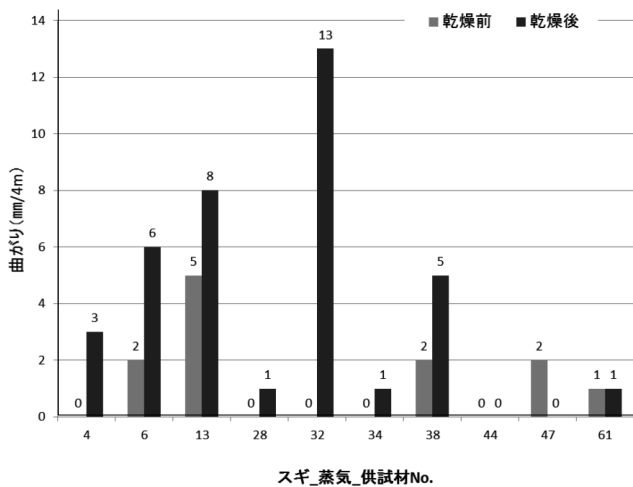


図 2-16 スギ供試材毎の曲がり乾燥前後比較 (蒸気式高温セット乾燥)

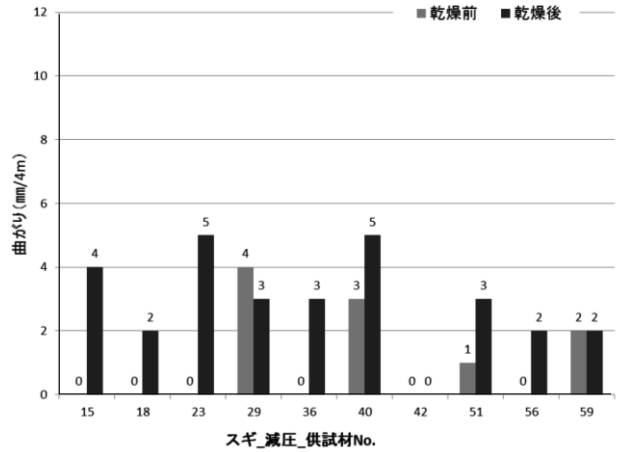


図 2-17 スギ供試材毎の曲がり乾燥前後比較 (蒸気圧力併用式高温セット乾燥)

反りの平均値を図 2-18 に示した。また、反りの大きかったスギについて供試材毎の乾燥前後比較を図 2-19, 図 2-20 に示した。スギの蒸気式高温セット乾燥においては、乾燥前平均値が 3.9 mm/4m, 乾燥後平均値で 3.2 mm/4m と減少し、10 本中 5 本が乾燥前よりも乾燥後の反りが減少した。また、スギの蒸気圧力併用式高温セット乾燥においては、乾燥前平均値が 4.7 mm/4m, 乾燥後平均値で 1.7 mm/4m と増加し、10 本中 8 本が乾燥前よりも乾燥後の反りが減少した。

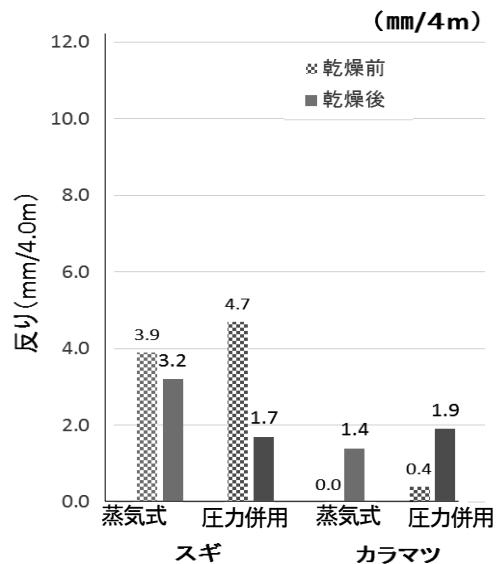


図 2-18 樹種別乾燥別の反り発生量 (平均値)

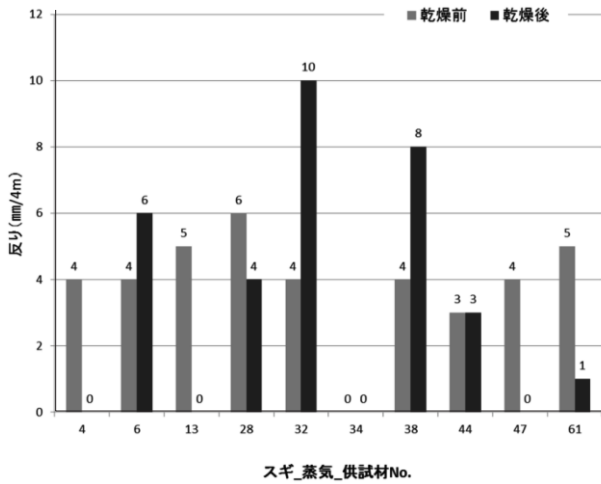


図 2-19 スギ供試材毎の反り乾燥前後比較
(蒸気式高温セット乾燥)



写真 2-6 ねじれの様子 (カラマツ)

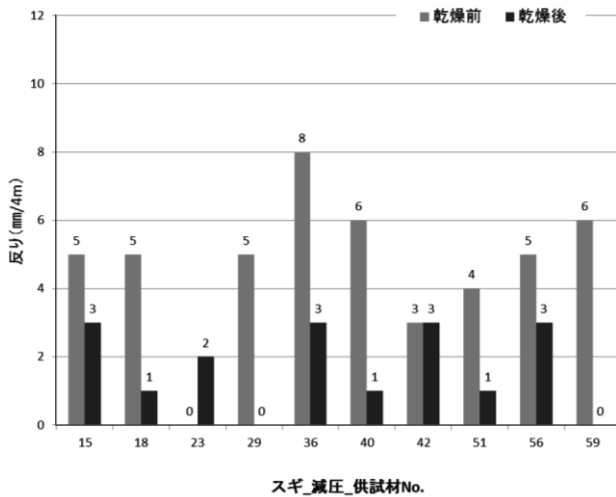


図 2-20 スギ供試材毎の反り乾燥前後比較
(蒸気圧力併用式高温セット乾燥)

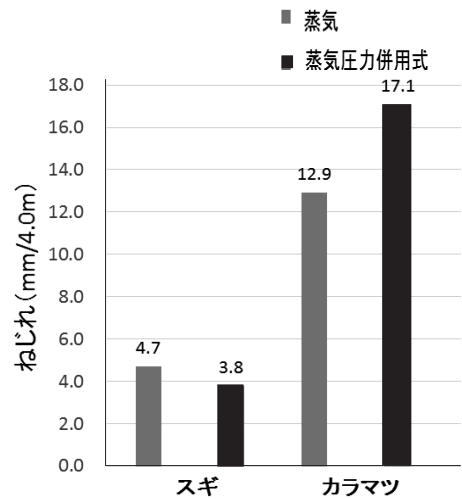


図 2-21 樹種別乾燥別のねじれ発生量
(1本あたりの平均値)

ねじれの発生量を図 2-21 に示し、また、カラマツ (写真 2-6) について度数分布図を図 2-22 に示した。

カラマツの蒸気式高温セット乾燥後の供試材のねじれについては、全 10 体中、ねじれの無いものは 2 本、S 旋回は 8 本であった。また、蒸気圧力併用式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 10 体中、ねじれの無いものは 1 本、S 旋回は 9 本であった。

スギの蒸気式高温セット乾燥後の供試材のねじれについては、全 10 体中、ねじれの無いものは 5 本、Z 旋回は 5 本だった。蒸気圧力併用式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 10 体中、Z 旋回は 3 本、ねじれの無いものは 6 本、S 旋回は 1 本であった。

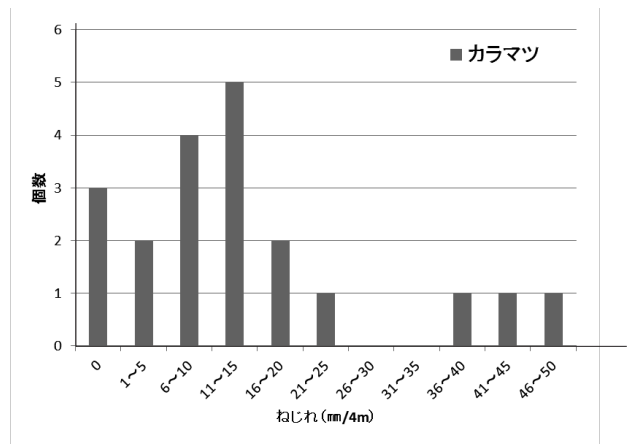


図 2-22 カラマツ乾燥別のねじれ発生量の度数分布図

3.2 強度試験

3.2.1 カラマツ

3.2.1.1 カラマツの諸性能

カラマツについて、蒸気式高温セット乾燥及び蒸気式圧力併用式高温セット乾燥の供試材の曲げ強度試験の実施結果を表2-4及び5に示した。

見かけの曲げヤング係数の平均は蒸気式高温セット乾燥が 11.11kN/mm²、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 10.75kN/mm²であった。

曲げ強さの平均は蒸気式高温セット乾燥が 45.1N/mm²、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 44.0N/mm²であった。なお、試験時における全乾法による含水率の平均は、蒸気式高温セット乾燥が 16.8%、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 18.3%で両者には 1.5%の差があった。

表2-4 カラマツの蒸気式高温セット乾燥した試験体の各種測定値

	全乾法含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	割れ(広面) (cm)	割れ(狭面) (cm)
平均	16.8	0.456	3.73	177.2	9.4
最大値	21.5	0.539	4.40	404	81
最小値	12.0	0.391	2.70	0	0
標準偏差	3.03	0.040	0.47	151.85	24.18
変動係数	18.1	8.8	12.6	85.7	257.2
個数	10	10	10	10	10

	縦振動ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
平均	11.47	11.11	45.1
最大値	14.82	13.68	50.2
最小値	9.40	8.78	38.1
標準偏差	1.69	1.55	4.02
変動係数	14.7	13.9	8.9
個数	10	10	10

表2-5 カラマツの蒸気圧力併用式高温セット乾燥した試験体の各種測定値

	全乾法含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	割れ(広面) (cm)	割れ(狭面) (cm)
平均	18.3	0.445	3.35	107.4	54.0
最大値	22.5	0.498	3.93	396	190
最小値	12.4	0.402	2.92	0	0
標準偏差	3.40	0.033	0.30	114.41	66.43
変動係数	18.5	7.3	8.9	106.5	123.0
個数	10	10	10	10	10

	縦振動ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
平均	11.23	10.75	44.0
最大値	13.28	13.66	64.6
最小値	8.68	7.87	20.2
標準偏差	1.42	1.70	13.45
変動係数	12.6	15.8	30.6
個数	10	10	10

乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの結果を図2-23に示した。

カラマツの無等級材の基準強度 26.7N/mm²に達しない蒸気式圧力併用式高温セット乾燥に 3 本あり、その要因は、目まわりとせん断破壊と思われる(写真2-7から9)。また、特殊な破壊を除き、概ね機械等級区分を満足していた。

また、乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数による統計的な差をウェルチの t 検定(両側検定)によって確認した結果、p<0.05 を統計的に有意差は認められなかった。

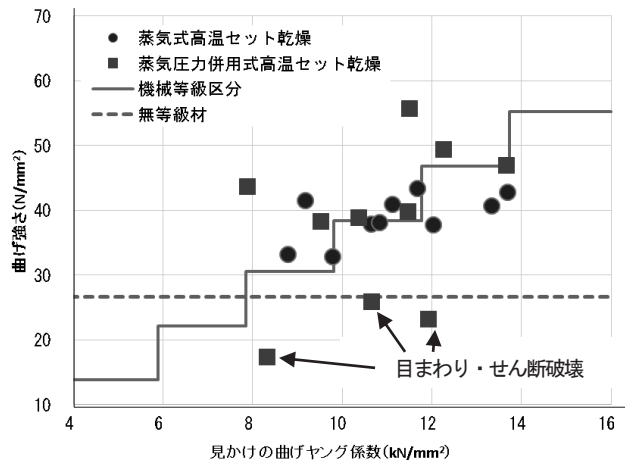


図2-23 カラマツの見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係



写真2-7 No27の目まわりとせん断破壊



写真2-8 No44 の目まわりとせん断破壊



写真2-9 No50 の目まわりとせん断破壊

3.2.1.2 カラマツの全乾密度と平均年輪幅

カラマツの全乾密度と曲げ強さの関係を図 2-24 に示した。例外的なせん断破壊や節による曲げ破壊の試験体を除けば、密度と曲げ強さにはほとんど相関がないと思われる。

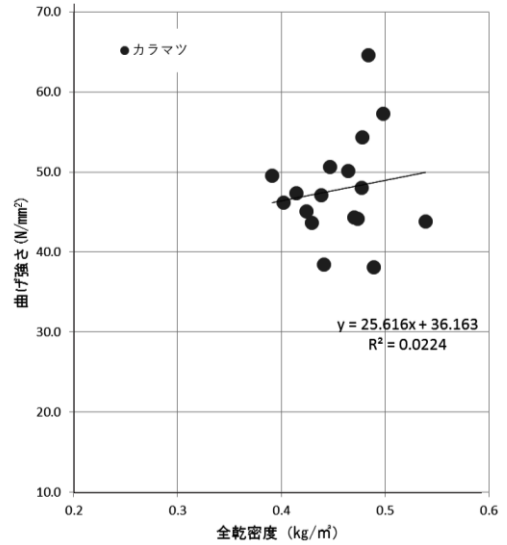


図 2-24 全乾密度と曲げ強さの関係 (カラマツ)

また、平均年輪幅と曲げ強さの関係を図 2-25 に示した。例外的なせん断破壊や節による曲げ破壊の試験体を除けば、平均年輪幅と曲げ強さにはほとんど相関がないと思われる。

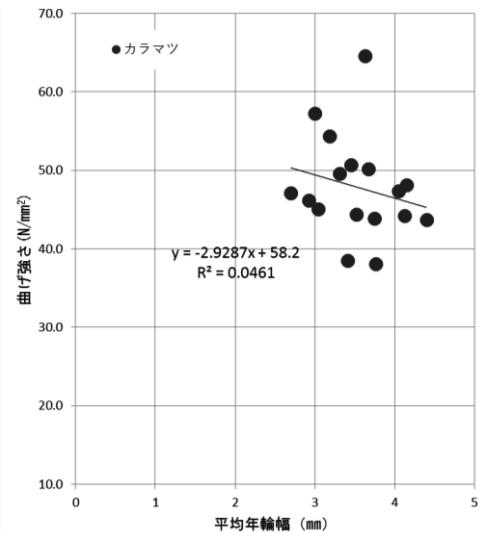


図 2-25 平均年輪幅と曲げ強さの関係 (カラマツ)

3.2.2 スギ

3.2.2.1 スギの諸性能

スギについて、蒸気式高温セット乾燥及び蒸気式圧力併用式高温セット乾燥した試験体の曲げ強度試験を実施した結果を表2-6及び7に示した。

見かけの曲げヤング係数の平均は蒸気式高温セット乾燥が 7.87kN/mm²、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 7.63kN/mm²であった。

曲げ強さの平均は蒸気式高温セット乾燥が 43.4N/mm²、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 40.3N/mm²であった。なお、試験時における全乾含水率の平均は、両方とも 10.9%であった。

表2-6 スギの蒸気式高温セット乾燥した試験体の各種測定値

	全乾含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	割れ (広面) (cm)	割れ (狭面) (cm)
平均	10.9	0.340	4.66	86.2	0.0
最大値	7.7	0.284	2.94	189	0
最小値	19.4	0.382	5.68	9	0
標準偏差	3.48	0.030	0.82	60.28	0.0
変動係数	31.9	8.8	17.5	69.9	-
個数	10	10	10	10	10

	縦振動ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	見かけの曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
平均	7.99	83.4	7.87	43.4
最大値	11.18	115.0	11.03	59.8
最小値	6.17	41.6	5.53	21.6
標準偏差	1.30	18.17	1.50	9.45
変動係数	16.3	21.8	19.1	21.8
個数	10	10	10	10

表2-7 スギの蒸気圧力併用式高温セット乾燥した試験体の各種測定値

	全乾含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)	割れ (広面) (cm)	割れ (狭面) (cm)
平均	10.9	0.342	4.30	78.5	1.9
最大値	6.2	0.278	2.19	528	19
最小値	18.5	0.411	7.21	0	0
標準偏差	4.64	0.039	1.54	152.81	5.70
変動係数	42.5	11.3	35.8	194.7	300.0
個数	10	10	10	10	10

	縦振動ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	見かけの曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
平均	7.83	77.5	7.63	40.3
最大値	10.97	102.9	9.58	53.3
最小値	5.90	28.9	5.87	15.0
標準偏差	1.48	19.50	1.19	10.14
変動係数	18.9	25.2	15.6	25.2
個数	10	10	10	10

次に、スギにおける乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの結果を図2-26に示した。

スギの無等級材の基準強度 22.2N/mm²に達しない材が 2 本あり、その要因は、せん断破壊及び下面にある節からの曲げ破壊と思われる (写真 2-10 から 2-13)。また、特殊な破壊を除き、概ね機械等級区分を満足していた。

また、乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数による統計的な差をスチューデントの t 検定 (両側検定) によって確認した結果、p<0.05 を統計的に両者に差がなかった。

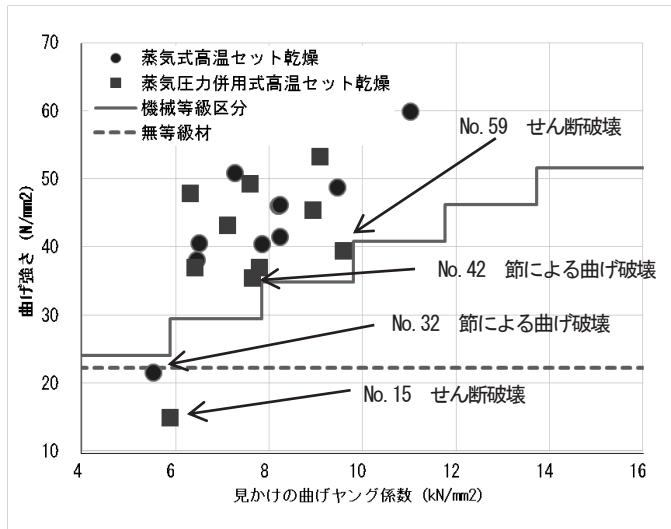


図2-26 スギの見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係



写真2-10 No. 15のせん断破壊



写真 2-11 No. 32 の節からの曲げ破壊



写真 2-12 No. 59 のせん断破壊状況



写真 2-13 No. 42 の節からの曲げ破壊状況

3.2.2.2 スギの全乾密度と平均年輪幅

スギの全乾密度と曲げ強さの関係を図 2-27 に示した。例外的なせん断破壊や節による曲げ破壊の試験体を除けば、密度と曲げ強さにはほとんど相関がないと思われる。

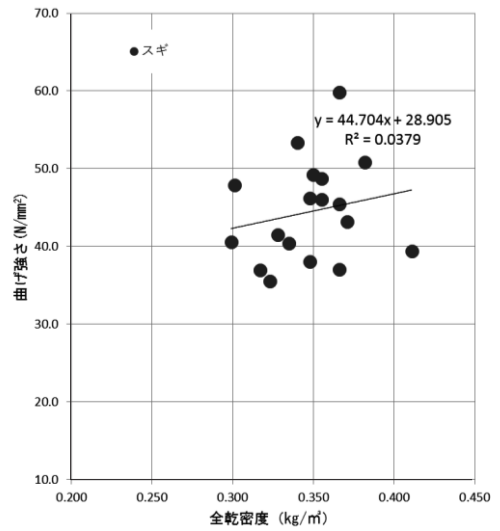


図 2-27 全乾密度と曲げ強さの関係 (スギ)

平均年輪幅と曲げ強さの関係を図 2-28 に示した。例外的なせん断破壊や節による曲げ破壊の試験体を除けば、平均年輪幅と曲げ強さにはほとんど相関がないと思われる。

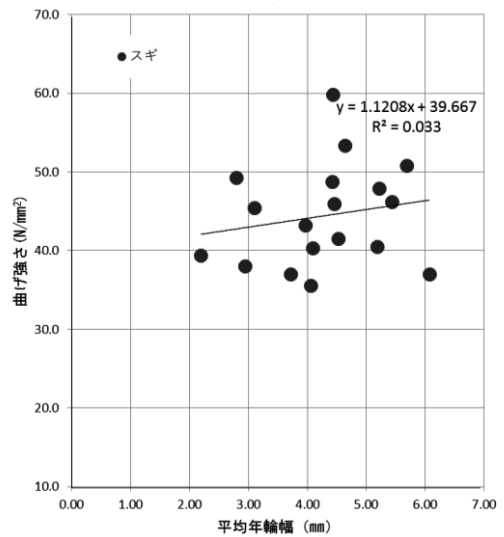


図 2-28 平均年輪幅と曲げ強さの関係 (スギ)

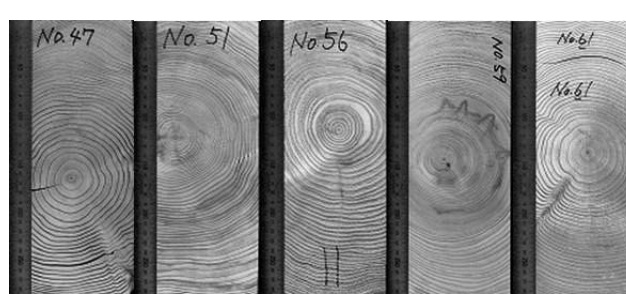
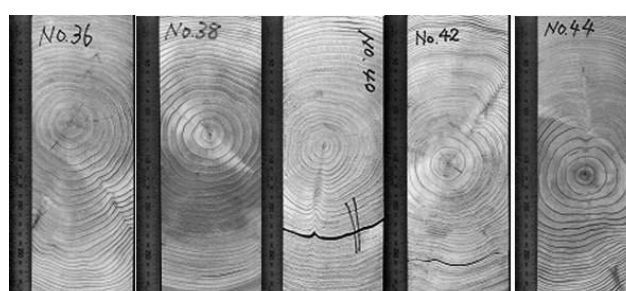
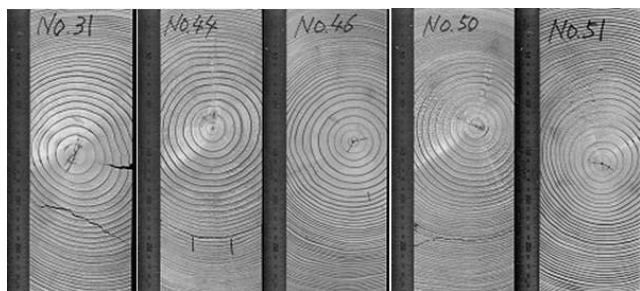
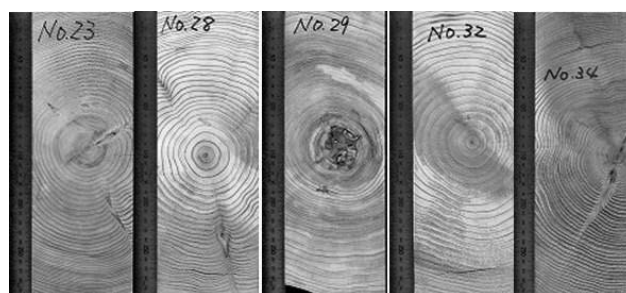
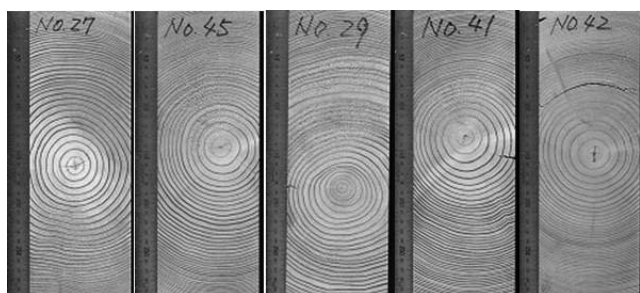
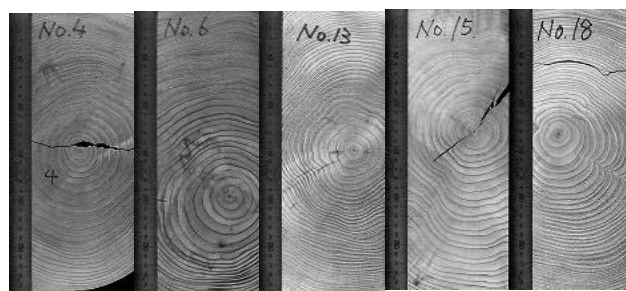
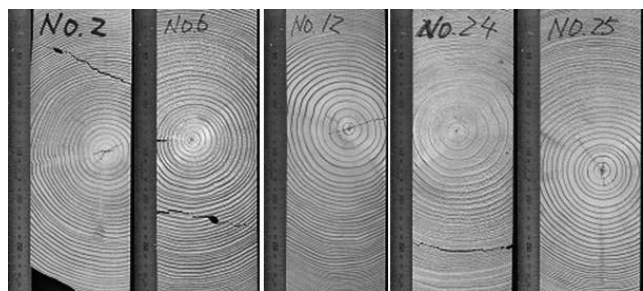


写真2-14 カラマツの断面のスカナー画像

写真2-15 スギの断面のスカナー画像

4 まとめ

心持ち木取りから製材した製材寸法 125×325×4, 000 mm, 製品寸法 105×300×4, 000 mmの梁桁材について、その乾燥特性及び強度性能を検討した結果、以下の結果を得た。

- (1) 丸太と主製品の縦振動ヤング係数 (Efr) の相関は強かった。
- (2) 21 日間の蒸気式高温セット乾燥で、カラマツは平均 16.8%に、スギは 10.9%の含水率に仕上がった。カラマツについては、スケジュールの延長や、天然乾燥との組み合わせ、高温セット後の中温乾燥時の乾球温度の調整等、スケジュールの改良が必要だと思われる。
- (3) 11 日間の蒸気圧力併用乾燥では、カラマツ 18.3%、スギ 10.9%の含水率に仕上がった。蒸気圧力併用乾燥は蒸気式高温セット乾燥のおよそ半分の期間で乾燥が可能であった。カラマツについては、スケジュールの延長や、天然乾燥との組み合わせ、高温セット後の中温乾燥時の乾球温度の調整等、スケジュールの改良が必要だと思われる。
- (4) スギもカラマツも同じスケジュールにより実施したが、いずれの乾燥方式もスギの方が含水率は低く仕上がった。
- (5) 製材後の曲がりやそりは少なかった。乾燥後のそりは、カラマツが平均 0.2 mm/4m, スギが平均 4.3 mm/4mであった。乾燥前後の比較では、反りは減少し、曲がりは増加した。
- (6) 乾燥後の広い面でのねじれは、カラマツが平均 15.0 mm/4m, スギが平均 4.3 mm/4mであった。
- (7) カラマツは、修正挽きによりねじれが取り切れない大きなねじれの材 (計算上は 20 mm/4m以上) が 6 本あった。しかし、最終的に当センターでの修正挽きによりねじれが取り切れない材は 12 本となった。修正挽きの技術の検証が必要である。
- (8) 本試験においては、蒸気圧力併用式高温セット乾燥は、蒸気式高温セット乾燥に比べ、カラマツは割れが少なかった。また、スギにおいては割れと反りが少なかった。
- (9) カラマツ、スギ両者ともに、乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数について、統計的に差がないことが認められた。
- (10) 見かけのヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に 10.93kN/mm², 7.75kN/mm²であった。
- (11) 曲げ強さの平均は、カラマツ、スギの順に 44.6kN/mm², 41.9kN/mm²であった。

(12) スギ心持ち桁材の利用では、曲げ性能では概ね基準強度は横架材使用では問題がないと思われる。また、板目面が広い両面に現れるため、見え掛り材としての価値も高いものと思われる。

(13) カラマツ心持ち桁材の利用では、ねじれの軽減が課題であるが、曲げ性能ではスギと比べヤング係数も高く横架材使用では問題がないと思われる。また、板目面が広い両面に現れるため、見え掛り材としての価値も高いものと思われる。

【参考文献】

- 1) 山口健太, カラマツ・スギ大径 A 材丸太の戦略的製品開発事業 (2-1) -心持ち無垢梁桁材の乾燥特性-, 長野県林業総合センター業務報告, 112-113, (2019)
- 2) 山口健太, カラマツ・スギ大径 A 材丸太の戦略的製品開発事業 (2-1) -心持ち無垢梁桁材の強度特性-, 長野県林業総合センター業務報告, 114-115, (2019)