

3 心去り無垢梁桁材の乾燥特性及び強度特性の解明

木材部 奥原祐司, 今井信, 吉田孝久, 山口健太

長野県東信産カラマツ大径材 60 本及び北信産スギ 60 本の内、各 20 本から 2 丁取りで 40 体（カラマツ 40 体、スギ 40 体）の心去り梁桁材を製材（125×260×4,000 mm）した結果、反りは、カラマツが平均 5.0 mm/4m、スギが平均 10.5 mm/4m であり、スギが大きく、木表側に多く発生した。製材後、各 20 体を蒸気式中温乾燥（カラマツ 20 体とスギ 20 体）と蒸気圧力併用式中温乾燥（カラマツ 20 体とスギ 20 体）を行った結果、蒸気圧力併用式中温乾燥は、13 日間で含水率がスギ 10%、カラマツ 17%程度となり、蒸気式中温乾燥のおよそ半分の期間で乾燥が可能であった。また、カラマツ及びスギの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のよる統計的な差をスチューデントの t 検定（両側検定）によって確認したところ、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められなかった。さらに、カラマツ及びスギのせん断破壊等のデータを削除した結果、JAS の機械等級区分構造用製材による基準を概ね満たし、横架材として利用可能である。

キーワード：カラマツ、スギ、心去り、無垢梁桁材、蒸気圧力併用式中温乾燥

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、大径材のメリットを活かした新しい木取り法の提案を行うため、「心去り無垢梁桁材」の乾燥特性及び強度性能を明らかにし、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

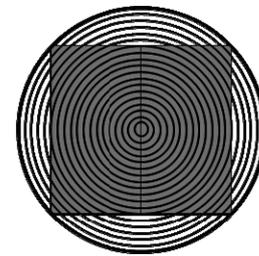
2.1 供試材

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 105×240×4,000 mm に想定して、製材寸法を 125×260×4,000 mm とし、各樹種 20 本ずつの丸太から 1 本の丸太につき 2 丁取りで 40 体の心去り梁桁材を製材した（図 3-1）。なお、製材はカラマツを小林木材㈱、スギを瑞穂木材㈱で行った。

乾燥は、当センターにある木材乾燥機（蒸気式中温乾燥：ヒルデブランド社製 HD74/NH-H、蒸気圧力併用式中温乾燥：ヒルデブランド社製 HD03/SHD）により人工乾燥を行い、乾燥後は、ガラスハウスにおいて 1 ヶ月間の養生を行った。

乾燥後の狂いの整形は、当センターのモルダー（ヴァイニッヒ社製ユニマート 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。



各樹種、丸太 20 本から 40 体を製材

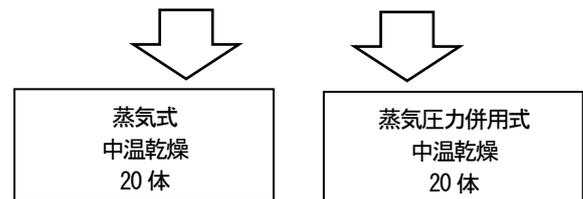


図 3-1 心去り無垢梁桁材の木取り

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 0.01 mm 単位で、長さを 1 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 0.01 mm 単位で、長さを 1 mm 単位で、反り及び曲がり spanspan 4m での最大矢高を 1 mm 単位で、ねじれ（狭い面と広い面）を spanspan 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 1 mm 単位で、電子天秤を用いて重量を 0.001kg 単位で、カップを 0.01 mm 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。

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

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供試材中央の幅・厚の寸法を 0.01 mm 単位で、長さを 1 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 3-2 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 3-3)。

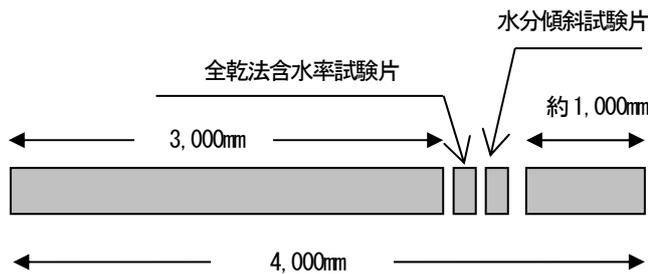


図 3-2 各試験片の採材位置例



図 3-3 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全て 15%以下を目標とし、スギ 20 体とカラマツ 20 体を別々に蒸気式乾燥機による蒸気式中温乾燥 (写真 3-1, 2) 残り半数のスギ 20 体とカラマツ材 20 体を別々に蒸気圧力併用式乾燥機による蒸気圧力併用式中温乾燥を表 3-1 (図 3-4 及び 5) の乾燥スケジュールにより実施した。なお、乾燥後は調湿のため

ガラスハウスに 1 ヶ月間養生を行った (写真 3-3)。



写真 3-1 カラマツの乾燥前
蒸気式中温乾燥 (左)
蒸気圧力併用式中温乾燥 (右)



写真 3-2 スギの乾燥前
蒸気式中温乾燥 (左)
蒸気圧力併用式中温乾燥 (右)



写真 3-3 ガラスハウス内での養生の様子

表 3-1 乾燥スケジュール

乾燥方法	蒸気式中温乾燥	蒸気圧力併用式中温乾燥	
	乾球/湿球/温度差/時間	乾球/湿球/温度差/圧力/時間	
乾燥スケジュール	Step1 蒸煮	80°C/80°C/0°C/8h	80°C/80°C/0°C/-45kpa/8h
	Step2 中温乾燥	80°C/75°C/5°C/40h	80°C/75°C/5°C/-60kpa/20h
		80°C/70°C/10°C/40h	80°C/70°C/10°C/-65kpa/20h
		80°C/65°C/15°C/40h	80°C/65°C/15°C/-70kpa/20h
		80°C/60°C/20°C/40h	80°C/60°C/20°C/-75kpa/20h
80°C/50°C/30°C/408h	80°C/50°C/30°C/-80kpa/200h		
Step3 クーリング	0°C/0°C/0°C/24h	0°C/0°C/0°C/0kpa/24h	
	全行程25日間	全行程13日間	
養生 (ガラスハウス)	約30日間	約30日間	

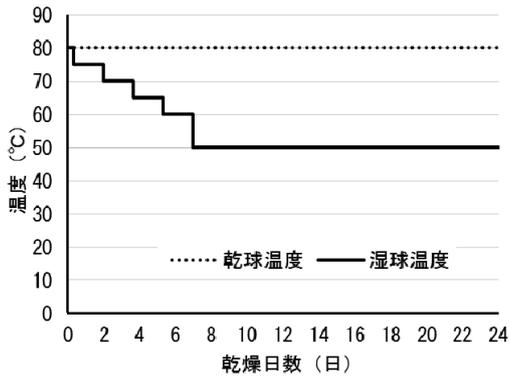


図3-4 蒸気式中温乾燥スケジュール

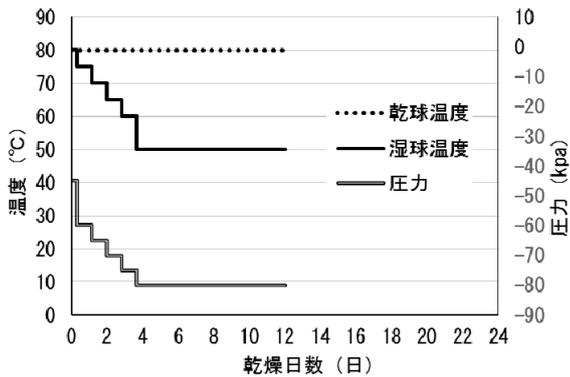


図3-5 蒸気圧力併用式中温乾燥スケジュール

2.4 曲げ試験

(材) 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 1,300mm の 3 等分点 4 点荷重方式で実施した。載荷方向はエッジワイズとし、載荷速度は 15mm/分とした (図 3-6)。なお、供試材の長さには制限があるため、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 16.25 倍とした。

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) 及びモーメント一定区間での真の曲げヤング係数 (E_b) を次式により算出した。

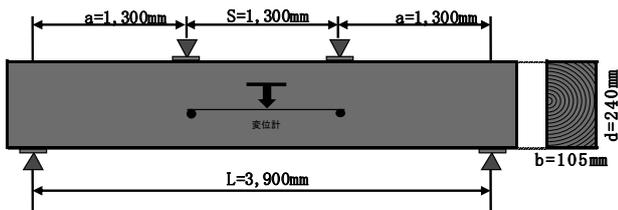


図3-6 曲げ試験の方法

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

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

$$\text{見かけの曲げヤング係数} : E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(W_2 - W_1)}$$

(写真3-4)

ここで、 I : $bd^3/12$

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

$$\text{真の曲げヤング係数(kN/mm}^2\text{)} : E_b = \frac{al^2(F_2 - F_1)}{16I(W_2 - W_1)}$$

(写真3-5)

ここで、 I : $bd^3/12$

a : 支点から荷重点までの距離

l : 変位測定区間

$F_2 - F_1$: 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

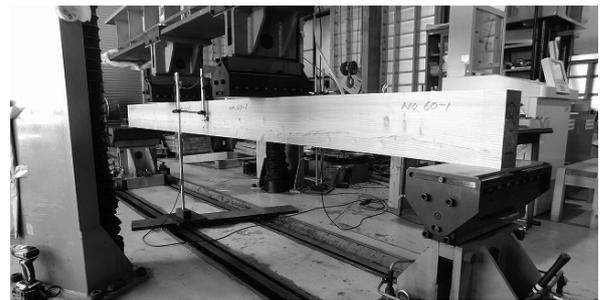


写真3-4 曲げ試験状況

(スパン中央の全体のたわみを測定 見かけの曲げヤング係数)



写真3-5 曲げ試験状況

(荷重点間のたわみを測定 真の曲げヤング係数)

3 試験結果

3.1 乾燥による形質変化

表3-2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3-3に割れ、反り、曲り、およびねじれを併せて示した。

表3-2 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				広い面	狭い面
心去り スギ	蒸気式中温	個数	10	10	10	10	20	20	20
		平均値	65.2	11.6	0.329	5.095	65.0	3.43	3.55
		最小値	32.6	6.9	0.279	3.420	44.4	1.67	1.59
		最大値	123.4	27.9	0.392	9.210	80.6	4.57	5.25
		標準偏差	28.7	6.3	0.038	1.588	9.4	0.81	0.78
		変動係数 (%)	44.00	54.77	11.42	31.16	14.50	23.50	22.12
	蒸気圧力併用式中温	個数	10	10	10	10	20	20	20
		平均値	59.4	10.0	0.333	5.292	65.1	3.67	3.46
		最小値	6.4	6.9	0.293	3.310	413.0	1.41	2.13
		最大値	109.4	15.8	0.404	8.670	101.2	5.10	4.65
		標準偏差	28.2	3.1	0.039	1.598	12.7	0.99	0.72
		変動係数 (%)	47.50	30.56	11.68	30.19	19.50	26.94	20.88
心去り カラマツ	蒸気式中温	個数	9	10	10	10	20	20	20
		平均値	46.8	14.9	0.500	3.776	77.1	3.00	3.87
		最小値	36.8	8.7	0.430	2.210	64.3	1.87	2.79
		最大値	54.0	19.1	0.592	5.520	86.3	5.35	6.01
		標準偏差	5.8	4.1	0.058	1.012	4.2	0.91	0.90
		変動係数 (%)	12.40	27.24	11.52	26.79	5.40	30.50	23.20
	蒸気圧力併用式中温	個数	10	10	10	10	20	20	20
		平均値	51.9	16.7	0.499	3.761	79.4	2.93	3.21
		最小値	30.1	8.5	0.419	2.270	59.8	1.31	1.69
		最大値	81.5	23.6	0.582	5.070	101.8	6.95	6.18
		標準偏差	13.5	5.0	0.054	0.866	8.1	1.42	1.18
		変動係数 (%)	26.00	29.91	10.91	23.04	10.20	48.60	36.70

表3-3 乾燥による形質変化②

材種	乾燥方式	項目	割れ (mm)		反り (mm)		曲がり (mm)		ねじれ (mm)		カッパ (mm)	
			乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前		
心去り スギ	蒸気式中温	個数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
		平均値	0.0	0.0	0.0	4.0	10.4	7.85	1.65	3.4	5.1	2.3
		最小値	0.0	0.0	0.0	4.0	2.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.1
		最大値	0.0	0.0	0.0	23.0	14.0	14.00	4.00	10.0	15.0	8.0
		標準偏差	0.00	0.00	0.00	8.20	2.70	3.05	1.27	2.95	5.09	2.63
		変動係数 (%)	0.00	0.00	0.00	208.70	26.09	38.83	76.85	86.62	100.86	117.04
	蒸気圧力併用式中温	個数	19	19	19	19	20	20	20	20	20	
		平均値	10.3	0.0	0.0	29.5	10.7	10.00	1.95	5.1	4.2	1.6
		最小値	0.0	0.0	0.0	2.0	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.2
		最大値	102.0	0.0	19.0	267.0	15.0	14.00	5.00	10.0	11.0	6.0
		標準偏差	30.78	0.00	4.36	71.96	3.07	3.11	1.54	2.89	3.78	2.06
		変動係数 (%)	299.89	0.00	435.89	244.14	28.78	31.12	78.88	57.27	89.95	133.17
心去り カラマツ	蒸気式中温	個数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
		平均値	56.8	178.6	2.3	2.3	4.9	2.85	—	1.7	16.0	7.6
		最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	—	—	0.0	0.0	0.0
		最大値	263.0	551.0	45.0	46.0	11.0	8.00	—	8.0	83.0	44.0
		標準偏差	75.53	195.65	10.06	10.29	2.50	2.46	—	2.27	21.57	11.17
		変動係数 (%)	133.10	109.54	447.21	447.21	51.50	86.15	—	133.73	134.78	146.98
	蒸気圧力併用式中温	個数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
		平均値	81.8	208.2	2.8	2.3	5.3	3.05	—	1.7	15.5	7.9
		最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	—	—	0.0	0.0	0.0
		最大値	380.0	649.0	55.0	46.0	9.0	10.00	—	5.0	68.0	30.0
		標準偏差	113.56	201.07	12.30	10.29	2.02	2.67	—	1.78	17.43	7.89
		変動係数 (%)	138.91	96.58	447.21	447.21	38.53	87.38	—	104.71	112.42	100.50

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、乾燥前の平均密度が 0.65g/cm³、含水率計含水率の平均が 40.6%だった。

スギの乾燥前の供試材の各種測定結果は、乾燥前の平均密度が 0.54 g/cm³、含水率計含水率の平均が 50.4%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3-7に、仕上がり含水率度数分布を図3-8に示した。

蒸気式中温乾燥における、全乾法による仕上がり含水率の平均は、スギが 11.6%、カラマツが 14.9%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 4 本となった。

蒸気圧力併用式中温乾燥における、全乾法による仕上がり含水率の平均は、スギが 10.0%、カラマツが 16.7%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 5 本となった。

カラマツ及びスギの乾燥方法の違いによる全乾法含水率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、統計的 (p<0.05) に有意差は認められなかった。

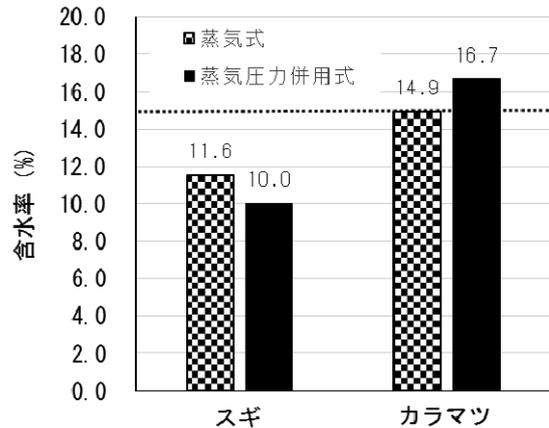


図3-7 全乾法による含水率 (平均値)

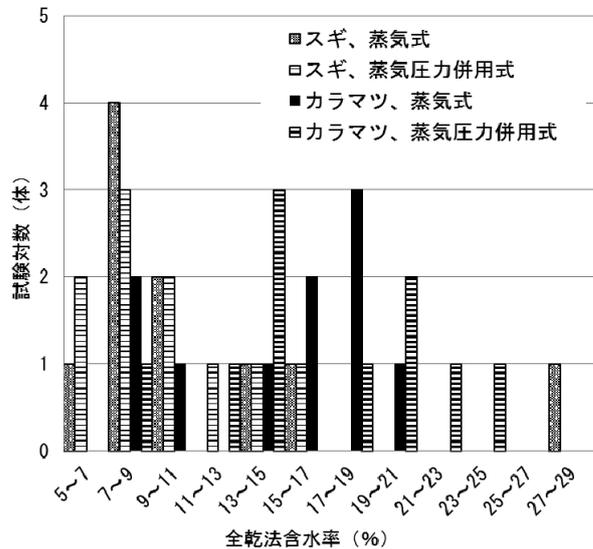


図3-8 仕上がり含水率度数分布 (全乾法)

3.1.3 材内の水分傾斜

樹種ごとに乾燥法の違いによる材内の水分傾斜を図3-9~12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った。カラマツについては、蒸気圧力併用式中温乾燥の方が、凸形状が大きくなった。

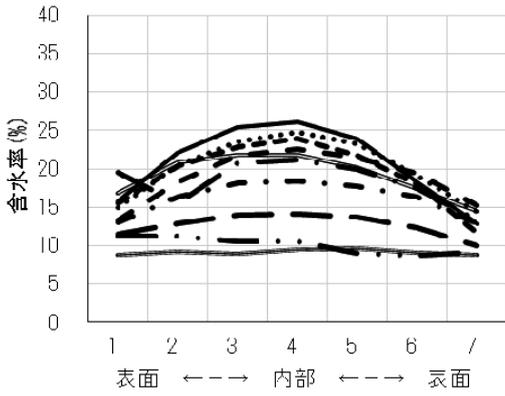


図3-9 カラマツの蒸気式中温乾燥

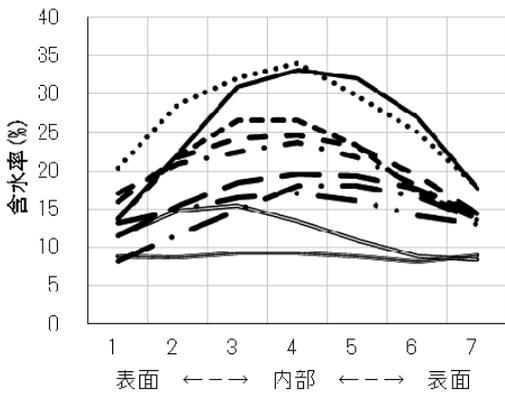


図3-10 カラマツの蒸気圧力併用式中温乾燥

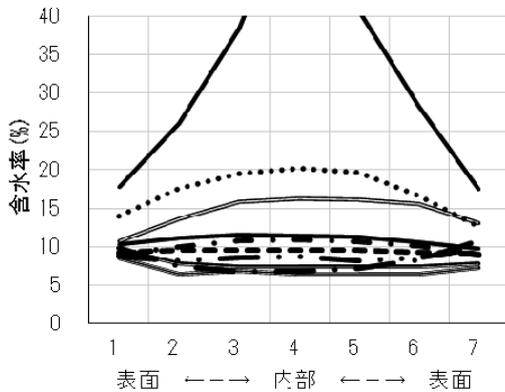


図3-11 スギの蒸気式中温乾燥

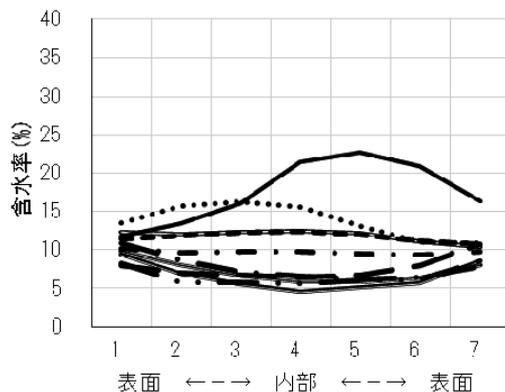


図3-12 スギの蒸気圧力併用式中温乾燥

3.1.4 材面割れ

モルダー後の広い面（木表と木裏の2面で髓割れを除く）の材面割れの平均値を図3-13に、材面割れが多いカラマツについて供試材毎の乾燥方法による比較を図3-14に示した。蒸気式中温乾燥における、1本当たりの割れの平均は、スギが4cm、カラマツが179cmであり、割れ100cm以下の材は、スギで20本中20本、カラマツでは20本中10本となった。蒸気圧力併用中温乾燥における、1本当たりの割れの平均は、スギが28cm、カラマツが208cmであり、100cm以下の材は、スギで20本中18本、カラマツでは20本中9本となった。カラマツ及びスギの乾燥方法の違いによる割れをスチューデント（ウェルチ）のt検定（両側検定）によって確認した結果、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められなかった。

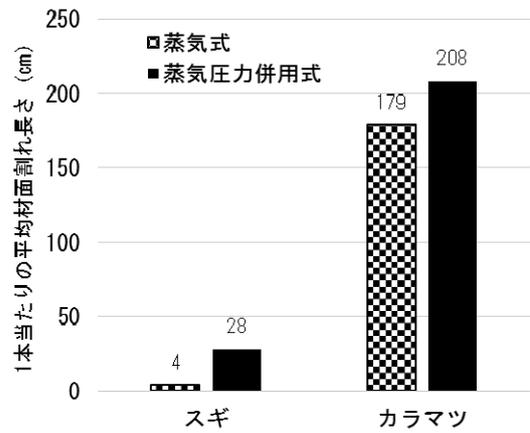


図3-13 モルダー後の材面割れ長さ（平均値）

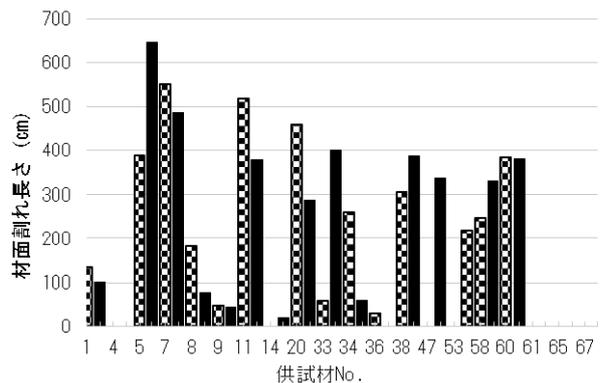


図3-14 供試材毎の乾燥方法別の材面割れ長さ比較（カラマツ）

3.1.5 曲がり・反り・ねじれ

曲がりを図3-15に示した。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3-16及び17に示した。スギの蒸気式中温乾燥においては、乾燥前平均値が1.7mm/4m、乾燥後平均値で3.4mm/4mと増加した。また、20本中13本が乾燥前よりも乾燥後の方が大きくなった。

スギの蒸気圧力併用式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 2.0 mm/4m、乾燥後平均値で 5.1 mm/4m と増加した。また、20 本中 17 本が乾燥前よりも乾燥後の方が大きくなった。

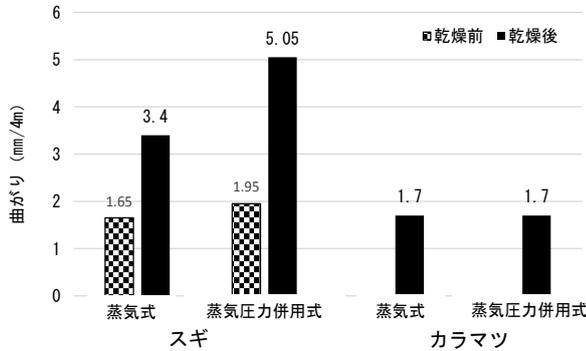


図 3-15 樹種別乾燥別の曲り発生量 (平均値)

10.4 mm/4m、乾燥後平均値で 7.9 mm/4m と減少した。スギの蒸気圧力併用式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 10.7 mm/4m、乾燥後平均値で 10.0 mm/4m と減少した。

カラマツの蒸気式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 4.9 mm/4m、乾燥後平均値で 2.9 mm/4m と減少した。スギの蒸気圧力併用式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 5.3 mm/4m、乾燥後平均値で 3.1 mm/4m と減少した。

(写真 3-6)



写真 3-6 反り及び曲がり測定状況

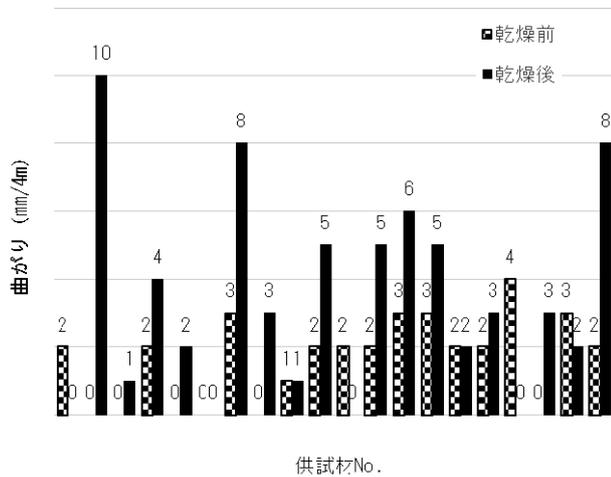


図 3-16 スギ供試材毎の曲がり乾燥前後比較 (蒸気式中温乾燥)

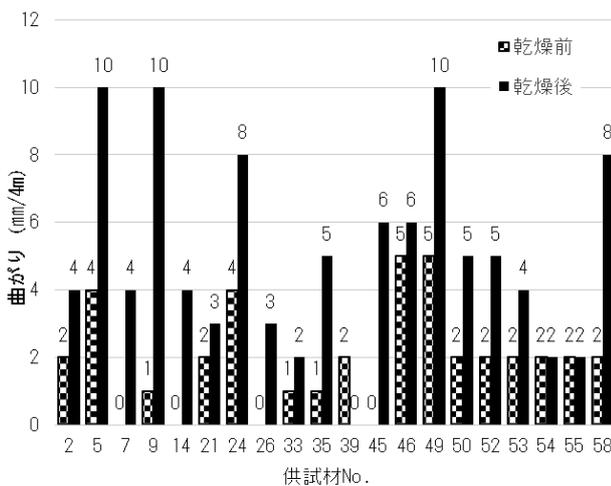


図 3-17 スギ供試材毎の曲がり乾燥前後比較 (蒸気圧力併用式中温乾燥)

反りの平均値を図 3-18 に示した。

スギの蒸気式中温乾燥においては、乾燥前平均値が

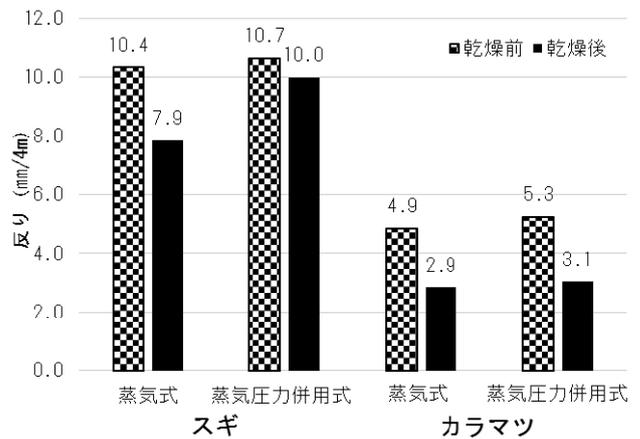


図 3-18 樹種別乾燥別の反り発生量 (平均値)

カラマツの反りについて、図 3-19 に示した。木表に反ったものを+、木裏に反ったものを-で表示した結果、製材後は、木表側に反っていたが、乾燥後には、木裏側に反っていることから、心去りカラマツについては、製材後の修正挽きは必要ないと思われる。

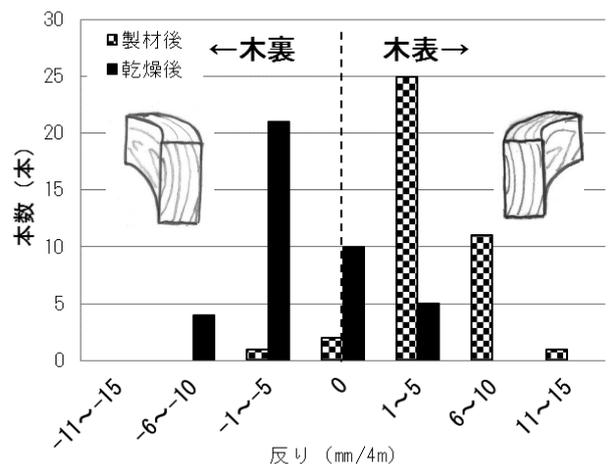


図 3-19 カラマツの乾燥前後の反り

スギの反りについて、図 3-20 に示した。カラマツと同様に木表に反ったものを+、木裏に反ったものを-で表示した結果、製材後は、全ての供試材が木表側に反っていたが、乾燥後は、多くの供試材の反りが木裏側に反ることにより減少した。また、一部の供試材は木裏側に反り返った。

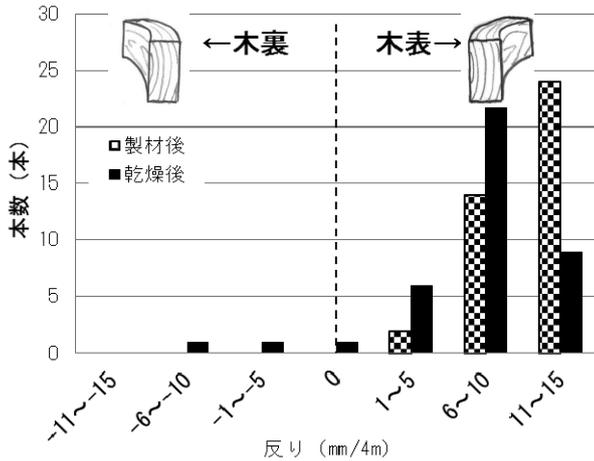


図 3-20 スギの乾燥前後の反り

ねじれの発生量を図 3-21 に示し、カラマツについて度数分布を図 3-22 に示した (写真 3-7)。

カラマツの蒸気式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 20 体中、Z 旋回は 1 本、ねじれの無いものは 2 本、S 旋回は 17 本だった。

スギの蒸気式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 20 体中、Z 旋回は 4 本、ねじれの無いものは 4 本、S 旋回は 12 本だった。

カラマツの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 20 体中、Z 旋回は 2 本、ねじれの無いものは 1 本、S 旋回は 17 本だった。また、乾燥方法の違いによるねじれ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、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められなかった。

スギの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 20 体中、Z 旋回は 3 本、ねじれの無いものは 6 本、S 旋回は 11 本だった。



写真 3-7 ねじれ測定状況 (カラマツ)

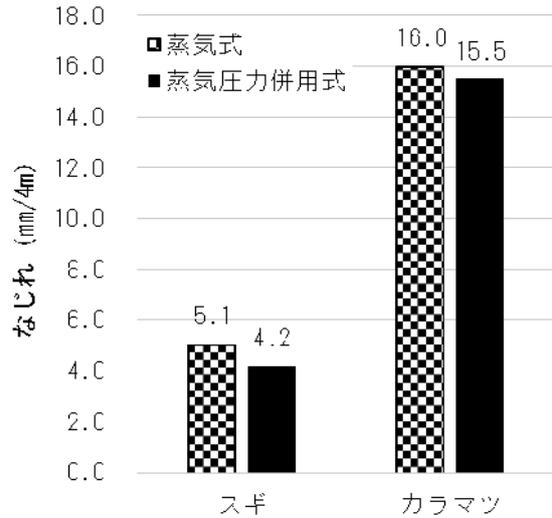


図 3-21 樹種別乾燥別のねじれ発生量 (平均値)

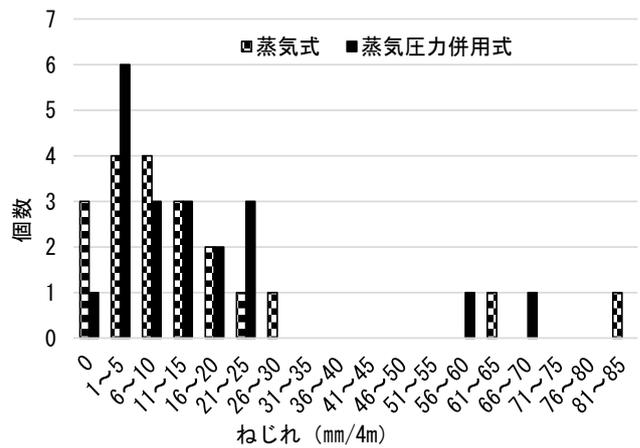


図 3-22 カラマツ乾燥別のねじれ発生量の度数分布図

3.2 強度試験結果

3.2.1 カラマツ

3.2.1.1 カラマツの諸性能

蒸気式中温乾燥及び蒸気圧力併用式中温乾燥した供試材の曲げ強度試験を実施した結果を表 3-4 及び 5 に示した。

曲げ強さの平均は蒸気式中温乾燥が 46.5N/mm^2 、蒸気圧力併用式中温乾燥が 50.7N/mm^2 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、蒸気式中温乾燥が 14.9%、蒸気圧力併用式中温乾燥が 16.7% で両者には 1.8% の差があった。

また、見かけの曲げヤング係数の平均は、蒸気式中温乾燥が 12.47kN/mm^2 、蒸気圧力併用式中温乾燥が 12.03kN/mm^2 であった。

表 3-4 カラマツの蒸気式中温乾燥材の各種測定値 (カラマツ)

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)
平均値	104.88	240.49	4046.9	53.941
最大値	105.85	240.93	4050	65.541
最小値	90.58	238.42	4020	40.931
標準偏差	3.31	0.59	7.36	7.07
変動係数 (%)	3.2	0.2	0.2	13.1
個数	20	20	20	20

	全乾法含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	14.9	0.500	3.78
最大値	19.1	0.592	5.52
最小値	8.7	0.430	2.21
標準偏差	4.07	0.06	1.01
変動係数 (%)	27.2	11.5	26.8
個数	10	10	10

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	最大 荷重 (kN)	曲げ 強さ (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)
平均値	12.96	69.2	46.5	12.47	13.29
最大値	17.43	102.6	65.5	15.28	15.93
最小値	8.35	8.9	24.3	9.51	9.84
標準偏差	2.25	26.79	12.91	1.69	1.91
変動係数 (%)	17.4	38.7	27.7	13.6	14.4
個数	20	10	10	10	10

表 3-5 カラマツの蒸気圧力併用式中温乾燥材の各種測定値 (カラマツ)

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)
平均値	105.69	240.60	4047.4	55.648
最大値	106.22	240.85	4050	66.599
最小値	105.49	240.17	4007	47.899
標準偏差	0.15	0.22	9.34	5.60
変動係数 (%)	0.1	0.1	0.2	10.1
個数	20	20	20	20

	全乾法含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	16.7	0.499	3.76
最大値	23.6	0.582	5.07
最小値	8.5	0.419	2.27
標準偏差	4.98	0.05	0.87
変動係数 (%)	29.9	10.9	23.0
個数	10	10	10

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (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)
平均値	12.80	79.5	50.7	12.03	12.92
最大値	15.94	104.9	66.9	15.31	16.73
最小値	9.77	44.8	28.7	9.75	10.66
標準偏差	1.86	16.57	10.55	1.85	2.01
変動係数 (%)	14.5	20.8	20.8	15.4	15.6
個数	20	10	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 3-23 に示した。カラマツの無等級材の基準強度 26.7N/mm²に達しない材が 1 本あり、その要因は、目切れと思われる (写真 3-8)。なお、特徴のある破壊形態について写真 3-8~11 に示した。

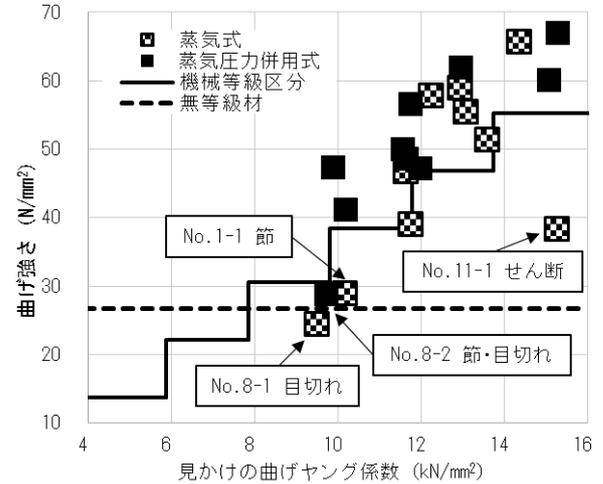


図 3-23 見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係 (カラマツ)



写真 3-8 No. 8-1 の目切れによる曲げ断破壊

写真 3-9 No. 1-1 の節からの曲げ断破壊



写真 3-10 No. 8-2 の目切れと節による曲げ破壊

写真 3-11 No. 11-1 のせん断破壊

3.2.1.2 カラマツの乾燥方法と曲げ強さ

原木ごとに乾燥方法の違いによる 2 丁取りした供試材ごとに曲げ強さを図 3-24 及び 5 に示した。乾燥方法の違いによる曲げ強さ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, 統計的 (p<0.05) に有意差は認められなかった。

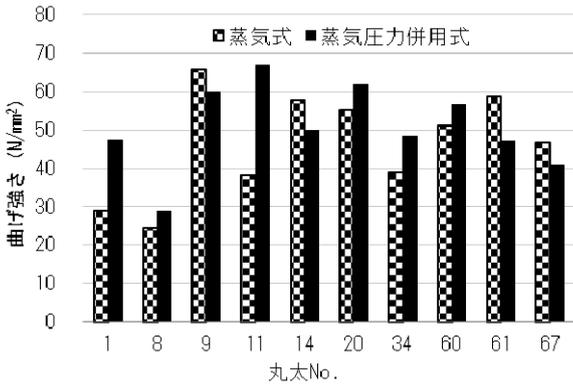


図3-24 原木ごとの曲げ強さ (カラマツ)

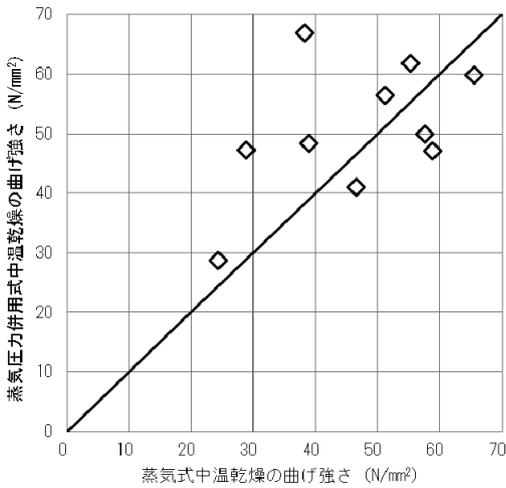


図3-25 乾燥方法別の曲げ強さ (カラマツ)

3.2.1.3 カラマツの乾燥方法と曲げヤング係数

原木ごとに乾燥方法の違いによる2丁取りした供試材ごとに見かけの曲げヤング係数を図3-26に示した。乾燥方法の違いによる曲げ強さ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、統計的(p<0.05)に有意差は認められなかった。

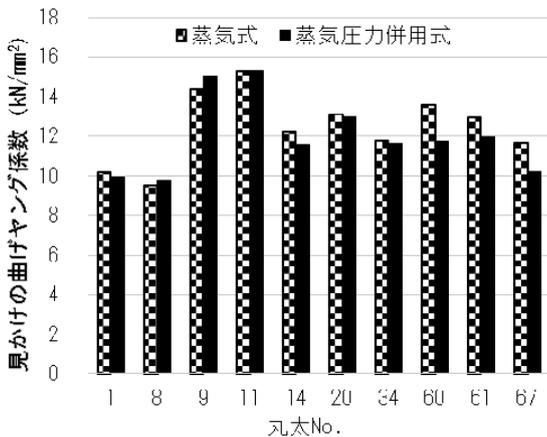


図3-26 原木ごとの見かけの曲げヤング係数 (カラマツ)

3.2.1.4 カラマツの全乾密度と平均年輪巾

全乾密度と曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数の関係を図3-27及び28に、平均年輪幅と曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数の関係を図3-29及び30に示した。

全乾密度と見かけの曲げヤング係数の関係をスピアマンの順位相関係数の検定(両側検定, p<0.01)によって確認した結果、正の相関があった。平均年輪幅と曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数との相関は無かった。

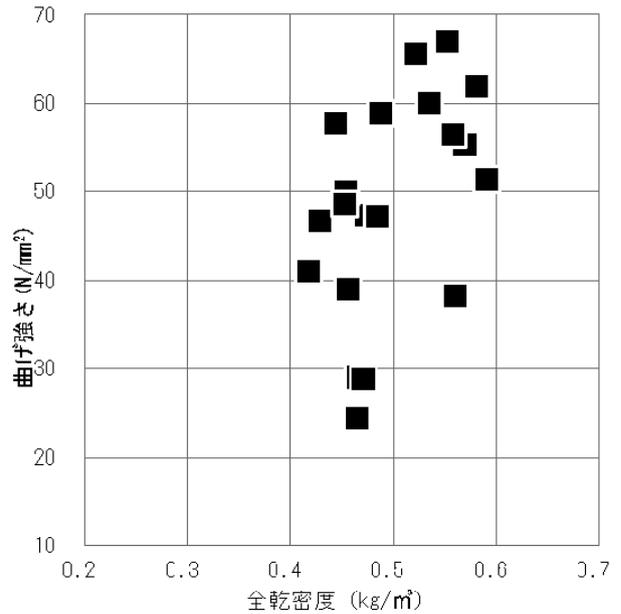


図3-27 全乾密度と曲げ強さの関係 (カラマツ)

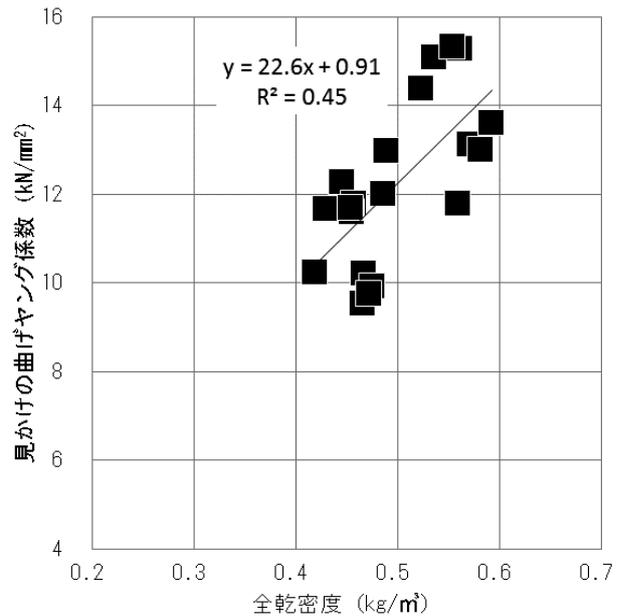


図3-28 全乾密度と見かけの曲げヤング係数の関係 (カラマツ)

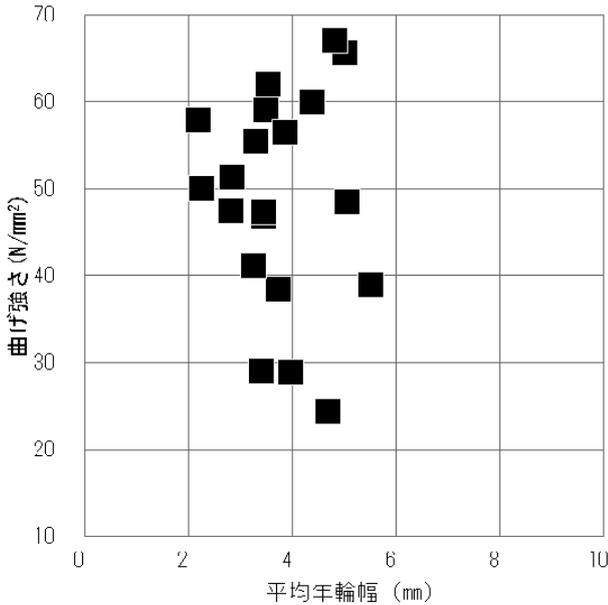


図3-29 平均年輪幅と曲げ強さの関係 (カラマツ)

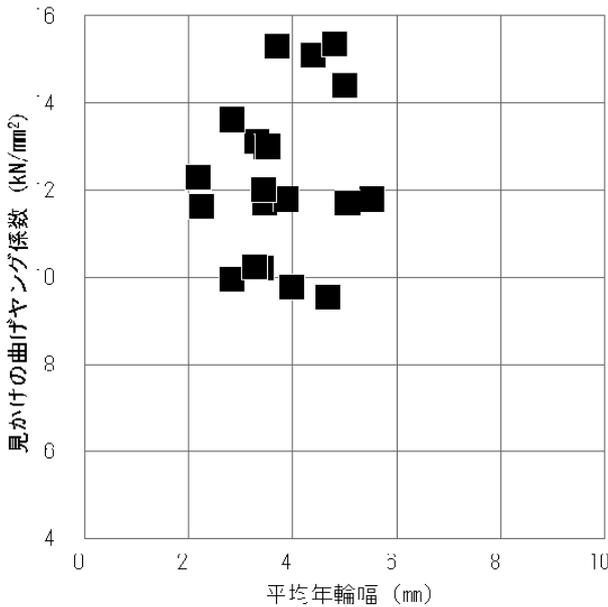


図3-30 平均年輪幅と見かけの曲げヤング係数の関係 (カラマツ)

3.2.2 スギ

3.2.2.1 スギの諸性能

蒸気式中温乾燥及び蒸気圧力併用式中温乾燥した供試材の曲げ強度試験を実施した結果を表3-6及び7に示した。

曲げ強さの平均は蒸気式中温乾燥が 33.5N/mm^2 、蒸気圧力併用式中温乾燥が 35.1N/mm^2 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、蒸気式中温乾燥が 11.6%、蒸気圧力併用式中温乾燥が 10.0% で両者には 1.6%の差があった。見かけの曲げヤング係数の平均は蒸気式中温乾燥が 7.48kN/mm^2 、蒸気圧力併

用式中温乾燥が 7.51kN/mm^2 であった。

表3-6 蒸気式中温乾燥材の各種測定値 (スギ)

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)
平均値	104.79	240.18	4160.8	37.620
最大値	105.37	240.37	4438	45.458
最小値	99.62	239.83	4019	28.055
標準偏差	1.21	0.14	103.96	4.39
変動係数 (%)	1.2	0.1	2.5	11.7
個数	20	20	20	20

	全乾法含水率 (%)	全乾密度 (g/cm^3)	平均年輪幅 (mm)
平均値	11.6	0.329	5.10
最大値	27.9	0.392	9.21
最小値	6.9	0.279	3.42
標準偏差	6.00	0.04	1.51
変動係数 (%)	52.0	10.8	29.6
個数	10	10	10

	縦振動ヤング係数 (kN/mm^2)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (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)
平均値	7.78	52.1	33.5	7.48	7.84
最大値	11.30	89.0	57.3	10.74	11.31
最小値	4.89	32.9	21.1	5.00	5.39
標準偏差	1.65	18.57	12.01	1.60	1.64
変動係数 (%)	21.3	35.7	35.9	21.3	21.0
個数	20	10	10	10	10

表3-7 蒸気圧力併用式中温乾燥材の各種測定値 (スギ)

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)
平均値	105.43	240.53	4161.8	38.321
最大値	105.60	240.97	4452	44.562
最小値	105.04	240.21	4023	29.977
標準偏差	0.16	0.16	101.22	3.93
変動係数 (%)	0.1	0.1	2.4	10.3
個数	20	20	20	20

	全乾法含水率 (%)	全乾密度 (g/cm^3)	平均年輪幅 (mm)
平均値	10.0	0.333	5.29
最大値	15.8	0.404	8.67
最小値	6.9	0.293	3.31
標準偏差	2.91	0.04	1.52
変動係数 (%)	29.0	11.1	28.6
個数	10	10	10

	縦振動ヤング係数 (kN/mm^2)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (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)
平均値	7.69	55.0	35.1	7.51	7.75
最大値	10.99	83.1	53.0	10.52	11.09
最小値	5.22	39.4	25.2	5.62	5.83
標準偏差	1.57	11.08	7.07	1.38	1.51
変動係数 (%)	20.4	20.2	20.1	18.4	19.4
個数	20	10	10	10	10

スギの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 3-31 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、節による曲げ破壊やせん断破壊が要因と思われる (写真 3-12 及び 13)。

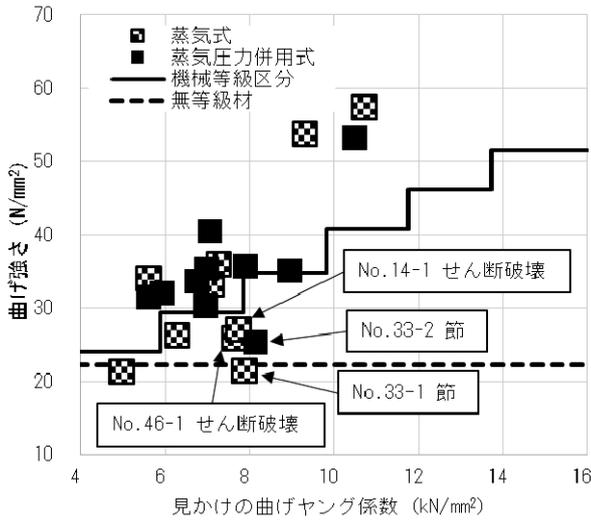


図 3-31 見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係 (スギ)



写真 3-12 No. 24-1 の破壊後 (スギ)



写真 3-13 No. 33-1 の節からの曲げ破壊 (スギ)

3.2.2.2 スギの乾燥方法と曲げ強さ

原木ごとに乾燥方法の違いによる 2 丁取りした供試材ごとに曲げ強さを図 3-32 及び 33 に示した。乾燥方法の違いによる曲げ強さ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、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められなかった。

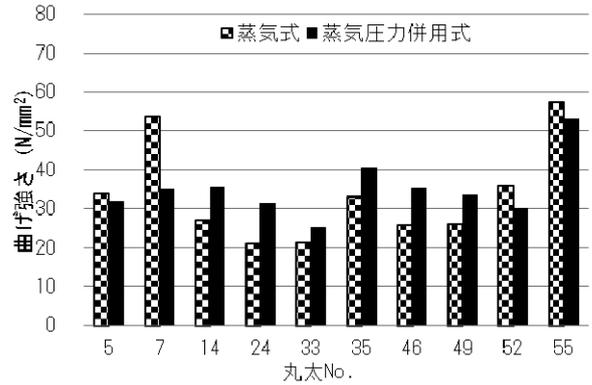


図 3-32 原木ごとの曲げ強さ

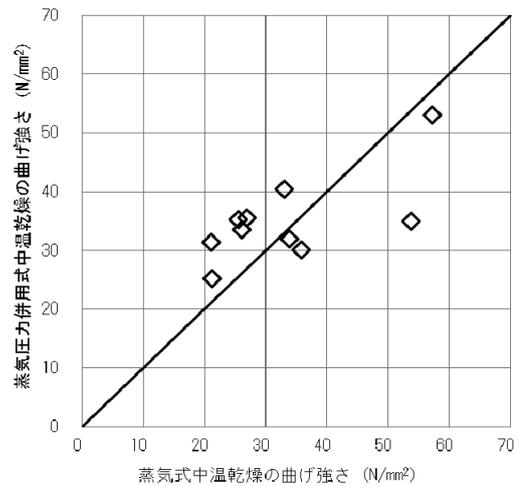


図 3-33 乾燥方法別の曲げ強さ (スギ)

3.2.2.3 スギの乾燥方法と曲げヤング係数

乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数を図 3-34 に示した。乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数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、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められなかった。

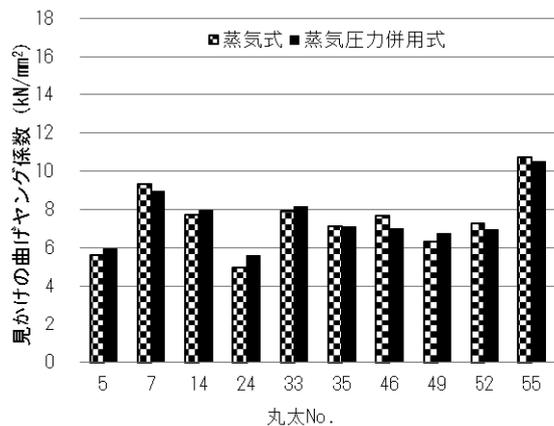


図 3-34 原木ごとの見かけの曲げヤング係数 (スギ)

3.2.2.4 スギの全乾密度と平均年輪幅

全乾密度と曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数の関係を図3-35及び36に示した。また、平均年輪幅と曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数の関係の関係を図3-37及び38に示した。

全乾密度と曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数について、ピアソンの相関係数の検定（両側検定， $p < 0.05$ ）によって確認した結果，正の相関があった。

平均年輪幅と曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数について，スピアマンの順位相関係数の検定（両側検定， $p < 0.05$ ）によって確認した結果，負の相関があった。

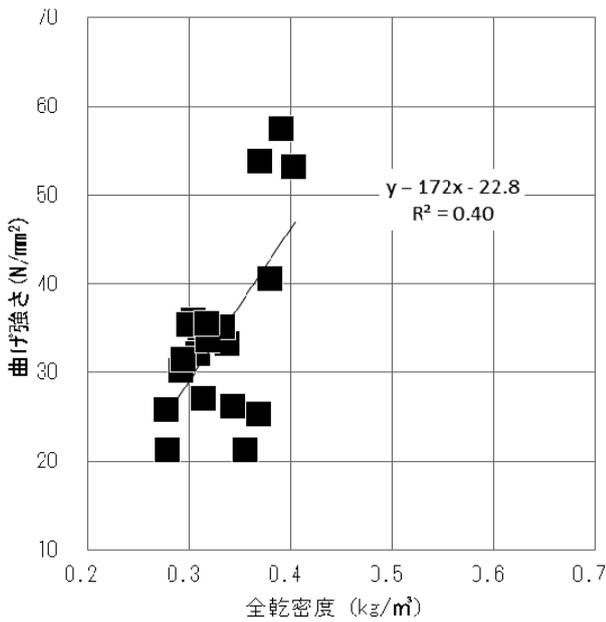


図3-35 全乾密度と曲げ強さの関係（スギ）

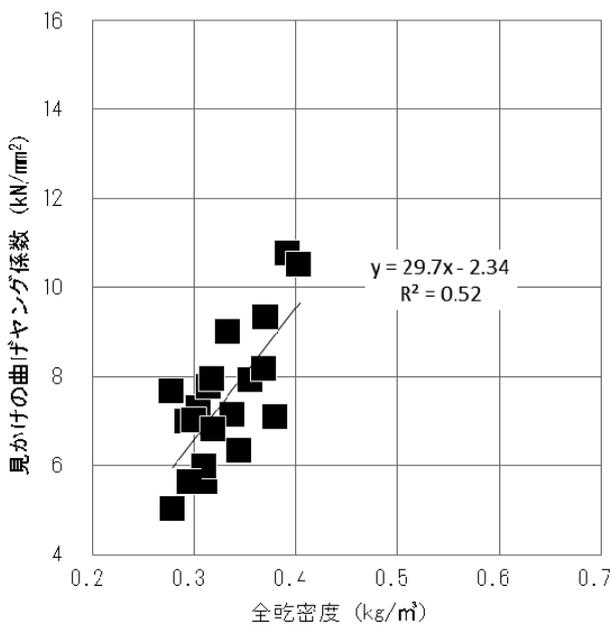


図3-36 全乾密度と見かけの曲げヤング係数の関係（スギ）

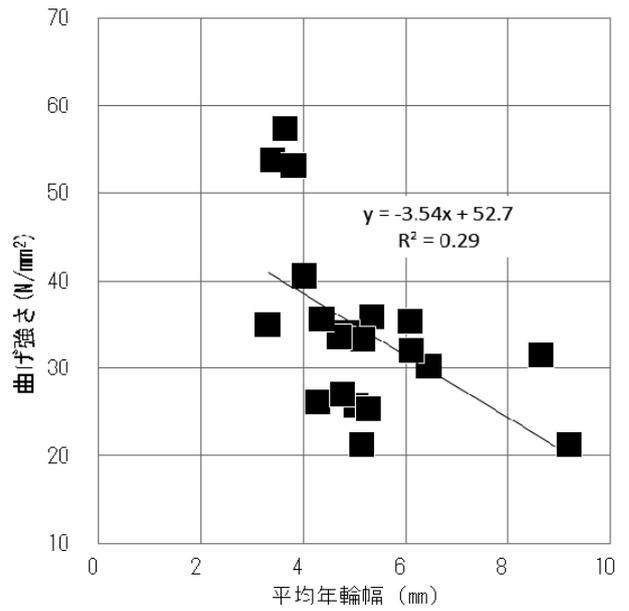


図3-37 平均年輪幅と曲げ強さの関係（スギ）

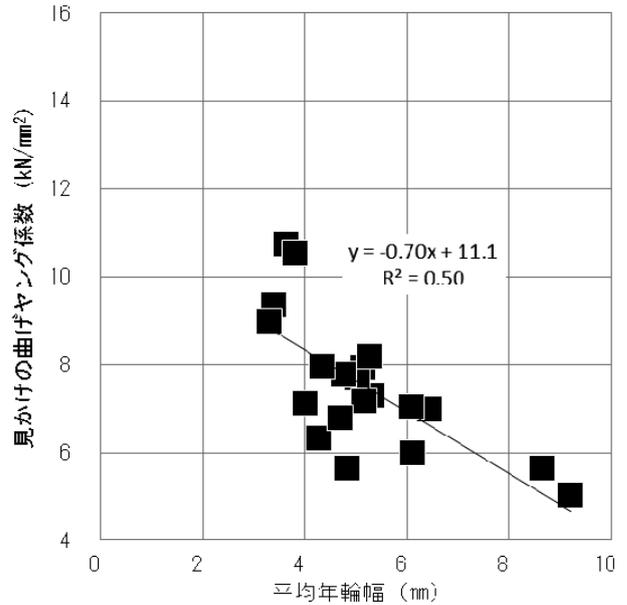


図3-38 平均年輪幅と見かけの曲げヤング係数の関係（スギ）

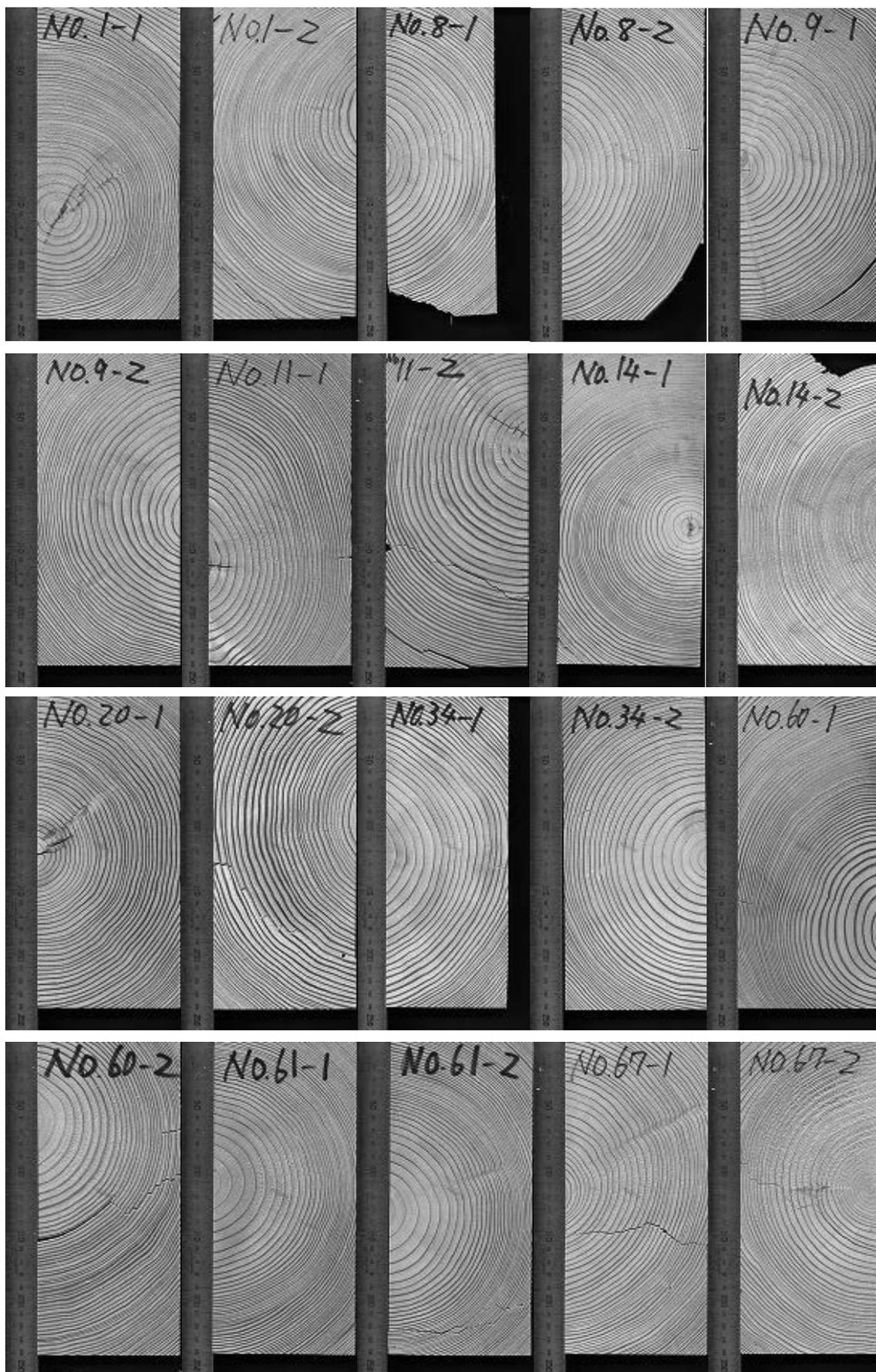


写真3-14 カラマツの断面のスキヤナー画像

4 心持ち材と心去り材の比較

カラマツ及びスギの心持ち材及び心去り材について、それぞれの蒸気式と蒸気圧力併用式を合計した全乾法による含水率の平均値を図 3-39 に示した。カラマツについて、心去り材よりも心持ち材の含水率が高くなったが、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、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められなかった。

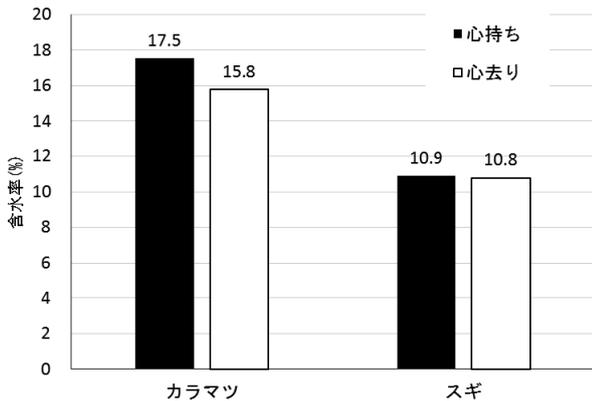


図 3-39 全乾法による含水率（平均値）

乾燥後の形質変化について、心持ち材と心去り材（蒸気式と蒸気圧力併用式を合計値）の平均値を図 3-40～43 まで示した。

カラマツ及びスギの曲がりについて、心持ち材と心去り材を比較すると、スチューデント及びウェルチの t 検定（両側検定）によって確認し、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められなかった。

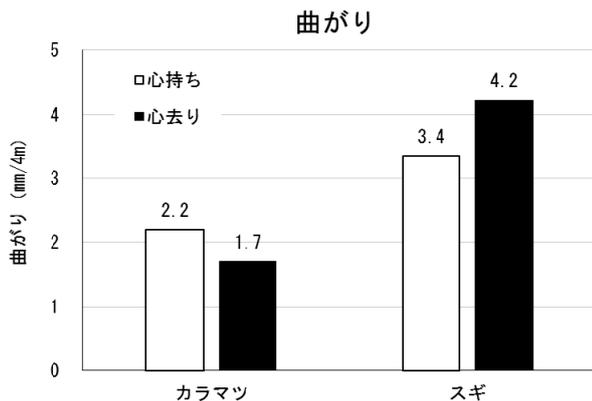


図 3-40 乾燥後の曲がり（平均値）

カラマツの反りについて、心持ち材と心去り材を比較すると、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、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められなかった。

しかし、スギの反りについて、心持ち材と心去り材を比較すると、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、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められ、心持ち材 < 心去り材となった。

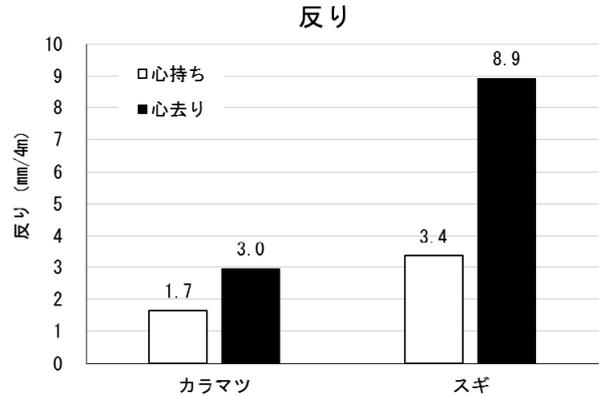


図 3-41 乾燥後の反り（平均値）

カラマツ及びスギのねじれについて、心持ち材と心去り材を比較すると、スチューデント及びウェルチの t 検定（両側検定）によって確認し、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められなかった。

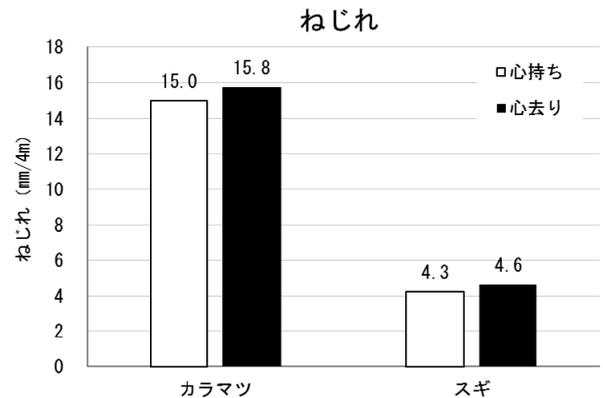


図 3-42 乾燥後のねじれ（平均値）

モルダー後のカラマツの割れについて、心持ち材と心去り材を比較すると、スチューデントの t 検定（両側検定）によって確認し、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められなかった。

一方、モルダー後のスギの割れについて、心持ち材と心去り材を比較すると、ウェルチの t 検定（両側検定）によって確認し、統計的（ $p < 0.05$ ）に有意差は認められたが、カラマツ及びスギの両方とも使用上問題ない。

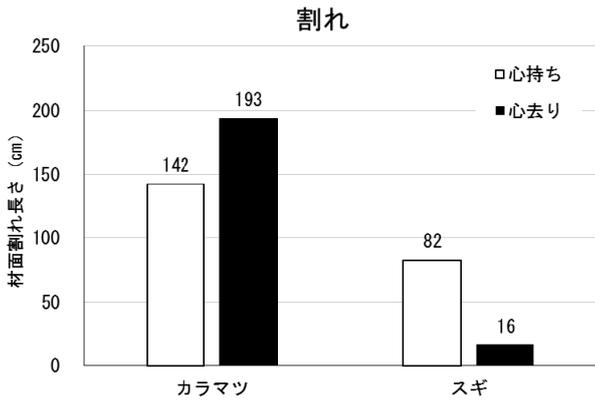


図 3-43 乾燥後の割れ (平均値)

心持ち材と心去り材の梁せいが違うことから、「構造用木材の強度試験マニュアル」平成 23 年 3 月 (財) 日本住宅木材・技術センターの「木材の寸法及び荷重条件による調整」によって曲げ強さを調整し、せん断破壊等のデータを削除した。曲げ性能の結果を図 3-44 に示した。また、全乾法による含水率を心持ち材と心去り材をスチューデントの t 検定 (両側検定) によって確認し、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められなかった。

その結果、心持ち材及び心去り材は、製材の JAS の機械等級区分構造用製材による基準を概ね満たした。

また、心去り材には高いヤング係数の材が数体見られた。

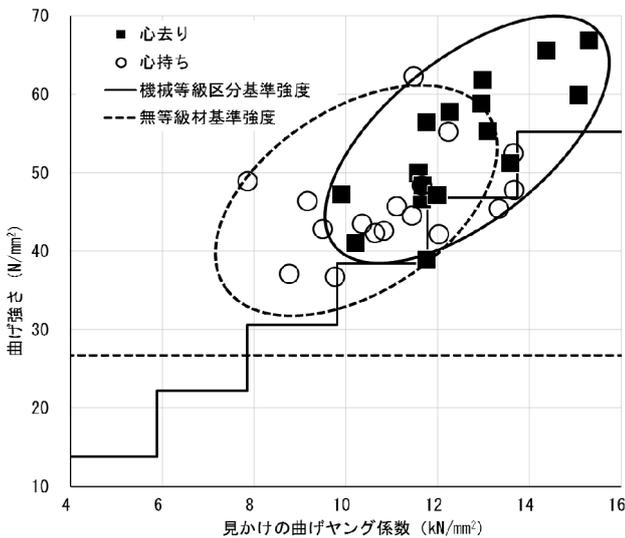


図 3-44 カラマツの心去り材と心持ち材 (乾燥方法別) の見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係

カラマツと同様に木材の寸法及び荷重条件による調整とせん断破壊等のデータを削除し、スギの心持ち材及び心去り材と見かけの曲げヤング係数及び曲げ強さの結果

を図 3-45 に示した。また、全乾法による含水率を心持ち材と心去り材をスチューデントの t 検定 (両側検定) によって確認し、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められなかった。

その結果、心持ち材及び心去り材は、製材の JAS の機械等級区分構造用製材による基準を概ね満たした。

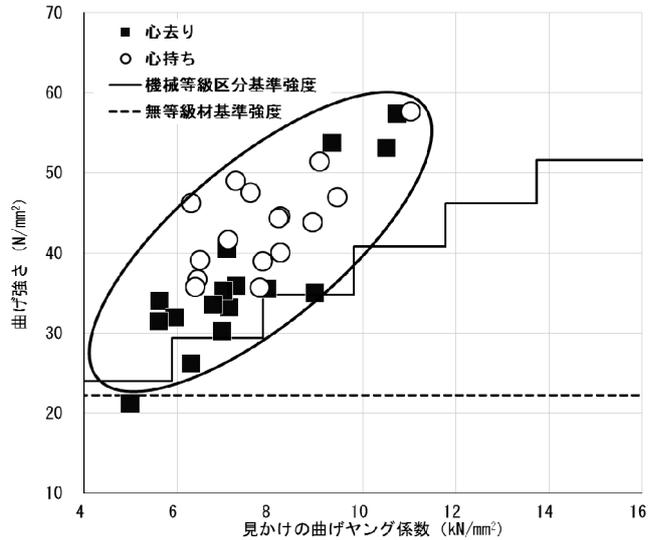


図 3-45 スギの心去り材と心持ち材 (乾燥方法別) の見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係

4 まとめ

「心去り木取り」から製材した製材寸法

125×260×4,000 mm, 製品寸法 105×240×4,000 mmの心去り梁桁材について、その乾燥特性及び強度性能を検討した結果、

- (1) 丸太と主製品の縦振動ヤング係数 (E_{fr}) の相関は強かった。
- (2) 1 本の丸太から木取られた 2 本の平角材は、ほぼ同一の縦振動ヤング係数 (E_{fr}) を示した。
- (3) 25 日間の蒸気式高温セット乾燥で、カラマツは平均 14.9%に、スギは 11.6%の含水率に仕上がった。
- (4) 13 日間の蒸気圧力併式乾燥では、カラマツ 16.7%, スギ 10.0%の含水率に仕上がった。蒸気圧力併式中温乾燥は蒸気式中温乾燥のおよそ半分の期間で乾燥が可能であった。
- (5) 製材後の反りは、カラマツが平均 4.2 mm/4m, スギが平均 10.5 mm/4mであり、スギが大きかった。また、製材後は木表側に多く発生していた。
- (6) 乾燥後のそりは、カラマツが平均 1.5 mm/4m, スギが平均 3.5 mm/4mとなり、製材後と比較して減少した。このことは、反る方向が製材後とは反対側

に反る材が多かったことが原因であると推測される。

- (7) 修正挽きによる反りの削り残しはなかった。
- (8) 乾燥後の広い面でのねじれは、カラマツが平均 15.8 mm/4m、スギが平均 4.2 mm/4mであった。
- (9) カラマツにおいて心去り材であってもねじれの大きい材があり、ねじれの大きな材は修正挽きにおいても削り残しが存在した (40 本中 14 本)。
- (10) カラマツにおいて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が 2 本 (65 mm及び 83 mm/4m) あり、目安として 16 mm/4m以上のねじれは、製品に削り残しが発生する可能性がある。
- (11) カラマツにおいて、乾燥方法の違いによるねじれ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、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められなかった。
- (12) 見かけのヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に 12.25kN/mm², 7.49kN/mm²であった。
- (13) 真のヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に 13.11kN/mm², 7.79kN/mm²であった。
- (14) 曲げ強さの平均は、カラマツ、スギの順に 48.6kN/mm², 34.3kN/mm²であった。
- (15) 髄 (芯) を割る製材であったため、製材後の髄割れが目立ち、ここからのヤニ滲出があった。
- (16) カラマツ心去り桁材の利用では、製材を髄から数センチ離すことで髄割れやヤニの滲み出し、さらにねじれの軽減が期待でき、曲げ性能ではヤング係数も高いことから横架材使用では問題がないと思われる。しかし、板目面が片側のみに現れるため、見え掛り材としての評価は良し悪しが分かれるところである。
- (17) カラマツ及びスギの乾燥方法の違いによる全乾法含水率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、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められなかった。
- (18) カラマツ及びスギの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をスチューデントの t 検定 (両側検定) によって確認し、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められなかった。
- (19) スギの反りについて、心持ち材と心去り材を比較すると、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、統計的 ($p < 0.05$) に有意差は認められ、心持ち材 < 心去り材となった。
- (20) カラマツ及びスギについて、心持ち材と心去り

材の梁せいが違うことから、「木材の寸法及び荷重条件による調整」によって曲げ強さを調整し、また、せん断破壊等のデータを削除し、心持ち材及び心去り材と見かけの曲げヤング係数及び曲げ強さの関係を確認したところ、製材の JAS の機械等級区分構造用製材による基準を概ね満たした。