

長野県産カラマツ造林木の実大強度性能

徳本守彦・武田孝志・中野達夫

信州大学農学部森林科学科

橋爪丈夫・吉田孝久・武井富喜雄

長野県林業総合センター

長尾博文・田中俊成・中井 孝

農林水産省森林総合研究所

目 次

1. はじめに
 2. 試験方法
 - 2.1 林分の概況と供試木
 - 2.2 試験体の採取及び分別方法
 - 2.3 欠点調査と各種材質指標の測定
 - 2.4 非破壊試験
 - 2.5 曲げ強度試験
 - 2.6 縦圧縮試験
 - 2.7 縦引張り試験
 3. 結果と考察
 - 3.1 曲げ強度性能
 - 3.2 縦圧縮強度性能
 - 3.3 縦引張り強度性能
 - 3.4 曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の全体評価
 - 3.5 曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の非破壊的評価
 4. 結論
- 謝辞
- 引用文献
- 付表1 縦圧縮強さの総括表
- 付表2 曲げ強さの総括表
- 付表3 縦引張り強さの総括表

1. はじめに

信州カラマツ造林木は、肥大成長に伴う材質の変動が大きい。髓からおよそ10-15年輪までの、ちょうど樹幹の中心に当たる部分は未成熟材部と呼ばれ、その部分の容積密度は小さく、また仮導管長も短く、らせん木理傾角も大きいことから、強度は外周部より低く、しかもその変動が大きいことが知られている¹⁾²⁾。しかし、高樹齢の大径材になれば、仮道管も

長くなり、らせん木理傾角も減少し、かつ容積密度も増加するので、強度的にも優れた材が形成される。したがって、高樹齢の大径材においては、節や丸身だけでなく、ねじれ、割れや曲がりの少ない角類や板類が得られることが予想される¹¹⁾²⁾。

重松^{9)~9)}は、このことを検証するために、東信、中信及び南信地方において樹齢あるいは径級が異なる7林分を選定し、林分毎に番玉および木取り方法の異なる正角材の品等区分を行った。

このようにして、1979年から1986年にかけて、長野県内の7林分、合計72本の供試木から総数600本近くの正角が製材され、目視による用材品等区分に供されたのうち、信州大学で保管状態にあった。

その後、これら正角の実大材強度試験を実行することになり、長野県林業総合センターが実大曲げ試験を、農林水産省森林総合研究所が実大縦引張り試験を、また、曲げ試験終了後の健全部から採取した試験体を用いて、実大縦圧縮試験並びにJIS規格による無欠点小試験体の圧縮、曲げ試験を信州大学農学部が担当して行った。

本研究は、研究途上に急逝された故重松頼生教授によって進められていた重松プロジェクトであるカラマツ製材品の曲げ、縦圧縮、縦引張り強度試験の結果をまとめたものである。

2. 試験方法

2.1 林分の概況と供試木

2.1.1 林分の概況

供試木を得た林分の長野県における位置を図2.1-1に、概況を表2.1-1に示した。林分は上伊那郡（伊那営林署管内：3箇所、駒ヶ根営林署管内：1箇所）、諏訪郡（諏訪営林署管内：1箇所）、南佐久郡（臼田営林署管内：2箇所）の3地域7林分で、すべて国有林である。

それらの林分において供試木を選定し、伐倒後樹高を測定した。選定した供試木はすべて優勢木である。7林分から得られた供試木の樹齢と樹高の関係を図2.1-2に示した。図中に地位別樹高曲線¹⁰⁾を示した。これから林分A、B、E、Fは地位II～III（以下地位上と呼ぶ）、C及びDは地位III～IV（同地位中）、GはIV～V（同地位下）と判断できる。Gは高樹齢であるが、高海拔地であり、その生育条件が他の林分と明らかに異なる。Gを除く6林分をカラマツの一般的な林分とみなすならば、樹齢別ではAが65年生の高樹齢林分、B及びCが50～55年生の中樹齢林分、D、E及びFが40～44年生の比較的若い林分（若齢林分）と3グループに分けることができる。また、AとC及びBとDは同一産地であり、同一産地における樹齢の差が検討できる。そしてD、EおよびFは、ほぼ同樹齢であるので産地間の検討が可能である。

2.1.2 供試木

供試木の樹高、胸高直径、枝下高を表2.1-2に、完満度（樹高／胸高直径）及び枝下高率を表2.1-3に示した。また、胸高直径及び枝下高を樹齢との対応で図2.1-3に示した。供試木は立木で各林分7～15本で、計72本である。

表2.1-1 林分の概況

林分 記号	所在地	林齢年	海拔高 m	方位 m	傾斜	土壌条件	地位 (カラマツ)	備考
A	白田営林署管内 大曲国有林 104ほ林小班	65	1200	N	中	BIDd 火山灰・壤度 深・軟・適	8	高齢大径材は用材品等に優れる。 伐倒1979.11
B	伊那営林署管内 長谷村黒河内事業所 231い林小班	50	1600	SW	急	BE 古生凝灰岩 砂壤土・浅・軟・適	8	成長非常に良い。 沢沿い、開けた方向に枝の 発達。伐倒1980.11
C	白田営林署管内 北相木国有林 232ら林小班	55	1455	SW	急	BD 古生砂粘岩・ 砂壤土・深・軟・適	7	風強く、偏心成長 さらに長い伐期必要 伐倒1986.12
D	伊那営林署管内 長谷村黒河内事業所 232い林小班	42	1500	W	急	BE 古生粘板岩・砂壤土 浅・軟・適	6	成長極めて良い。若干丸身 が多い。ねじれ大。伐倒 1981.11
E	駒ヶ根営林署管内 大鹿村大河原国有林 81ぬ林小班	44	1090	N	中	BE 結晶片岩・壤土 浅・軟・適	7	成長極めて良い。 風当たり、偏心成長顕著 圧縮あて。伐倒1982.114
F	諏訪営林署管内 東俣国有林 127ろ林小班	40	1500	SE	中	BIDd 安山岩・砂壤土 中・軟・適	8	丸身大。 伐倒1983.11
G	伊那営林署管内 入笠山国有林 220ろ小班	75	1850	E	中	BD 古生凝灰岩・砂壤土 浅・軟・適	5	心持ち主体。 伐倒1984.12



図2.1-1 供試木林分の位置及び林分記号

表2.1-2 林分別供試木の樹高，胸高直径，枝下高

区分	林分	供試木番号															平均値	標準偏差	変動係数(%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
樹高 (m)	A	28	25	26	27	28	24	25										26.1	1.6	6.0
	B	25	27	25	26	26	25	28										26.0	1.2	4.4
	C	23	20	22	21	23	24	21	21	21								21.7	1.3	5.8
	D	21	22	19	22	18	22	19	19	18	17							19.7	1.9	9.6
	E	24	22	24	24	22	25	24	24	24	24							23.7	0.9	4.0
	F	24	22	22	21	22	21	21	23	22	26	25	24	25	22	21		22.7	1.7	7.3
	G	19	19	18	19	20	18	19	17	17	17	18	19	17				18.2	1.0	5.6
胸高直径 (cm)	A	44	42	44	44	42	44	43										43.3	1.0	2.2
	B	42	39	40	40	36	37	40										39.1	2.0	5.2
	C	36	34	34	34	36	44	38	34	36	40							36.6	3.3	8.9
	D	34	42	40	38	34	36	38	34	38	38							37.2	2.7	7.3
	E	38	36	32	30	30	30	30	30	34	32							32.2	2.9	9.0
	F	34	36	30	32	33	32	33	34	40	43	36	37	30	36	36		34.8	3.5	10.1
	G	32	30	30	30	36	30	34	32	30	28	32	32	30				31.2	2.1	6.7
枝下高 (m)	A	10	9	14	13	16	12	13										12.4	2.4	19.1
	B	14	12	13	12	14	14	14										13.3	1.0	7.2
	C	10	7	9	8	7	7	7	9	5	7							7.6	1.4	18.8
	D	9	10	9	10	10	7	8	8	8	6							8.5	1.4	15.9
	E	10	10	11	13	11	13	9	13	13	11							11.4	1.5	13.2
	F	13	11	11	12	11	11	11	13	13	14	14	10	13	8	10		11.7	1.7	14.4
	G	13	5	6	5	6	5	5	6	6	5	7	7	6				6.3	2.1	33.9

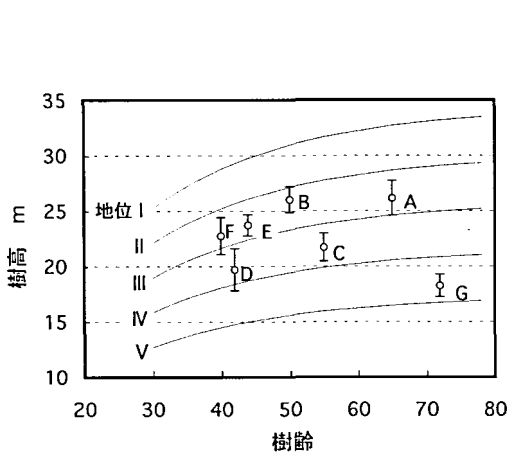


図2.1-2 供試木の樹齢と樹高の関係
地位別樹高曲線：“カラマツ人工林・長伐期施業の手引き”，長野県林務部 p. 8～12 (1991)

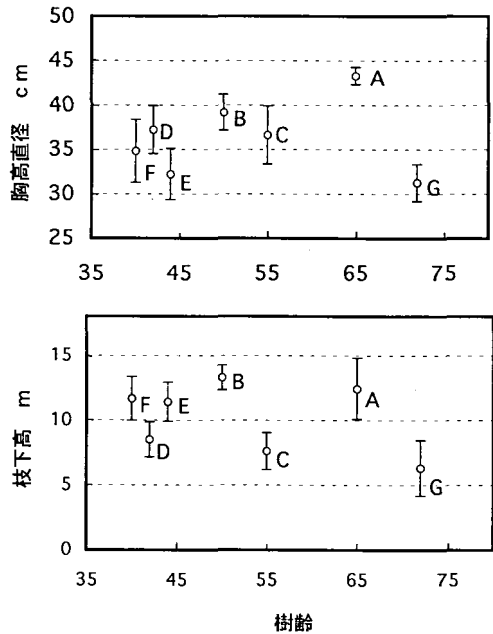


図2.1-3 胸高直径及び枝下高の林分別比較

表2.1-3 供試木の完満度及び枝下高率

林分	供試木本数	完満度			枝下高率(%)		
		平均値	標準偏差	変動係数(%)	平均値	標準偏差	変動係数(%)
A	7	0.604	0.039	6.5	47.6	8.5	17.8
B	7	0.666	0.045	6.7	51.2	4.6	17.8
C	10	0.595	0.043	7.3	35.0	6.4	18.1
D	10	0.532	0.059	11.1	43.2	6.5	15.0
E	10	0.742	0.074	10.0	48.1	5.8	12.0
F	15	0.658	0.068	10.4	51.3	6.0	11.6
G	13	0.585	0.031	5.3	34.6	11.1	32.0

完満度 = 樹高(m) / 胸高直径(cm) 枝下高率 = 枝下高 / 樹高 × 100

胸高直径は65年生のAがすべて40cm以上と大径材であり、樹高で比較すると中樹齢のBとCではBの方が成長が良い。これら6林分からの供試木はすべて胸高直径30cm以上の大径木であり、成長は良い。一方高海拔地のGについては明らかに他の6林分と異なり成長の悪い林分である。

枝下高は、地位の高いA, B, EおよびFが高く、地位の低いGが最も低い傾向にあったので、地位に対応していた。

地位が上位のA, B, E, Fの4林分のなかでは、完満度はEが最も高く、BおよびFが中間であり、Aが低い。なお、完満度が低いほど、樹高生長に対して直径生長が旺盛でうらごけな立木であることを示す。地位が中位のCとDを比較すると、明らかに林齢の若いDの完満度が低く、うらごけであった。地位の低いGは完満度ではA及びCと同程度であった。

2.2. 試験体の採取および分別方法

2.2.1 試験体の調整と経緯

各供試木は現地で伐倒後3.2mに玉切り、丸太下部から、樹幹解析、らせん木理等の調査のための円板を採取し、最終的に3.05mの丸太とした。製材は12.0×12.0cmの断面の正角木取りとし、丸太の末口径により4丁取り（四方桁）、2丁取り（二方桁）、1丁取り（心持ち）とした。これらの正角材は1979年から1986年にかけて重松³⁻⁹⁾により用材の品等区分に関する試験に供され、信州大学農学部において保管されていた。

2.2.2 試験体の仕分け

1989年、信州大学農学部で保管されていた正角材を長野県林業総合センターに運び、次の方法で曲げ試験体、縦引張り試験体に分けた。

4丁取りの場合：曲げ及び縦引張り用各2本とした。

3丁取りの場合：曲げ用2及び縦引張り用1本とした。

2丁取りの場合：曲げ及び縦引張り用各1本とした。

1丁取りの場合：番玉の下から曲げ用、その上を縦引張り用として繰り返した。

試験体の仕分けと同時に、死荷重載荷法によるたわみ試験から非破壊による曲げヤング係数およびその他の非破壊的方法により動的ヤング係数を測定した。

実大曲げ試験体および縦引張り試験体の林分別の本数を表2.2-1に、試験体の流れを図2.2-1に示した。曲げ試験終了後、破壊した試験体から図2.2-2に示すように正角の元口からJISの曲げ、圧縮の試験用、末口から実大材（短柱）縦圧縮試験体、破壊近傍から含水率測定用、及び繊維傾斜測定用の試験体を採材した。なお、曲げ破壊形態により試験材によっては実大材の縦圧縮試験体が得られないものもあった。

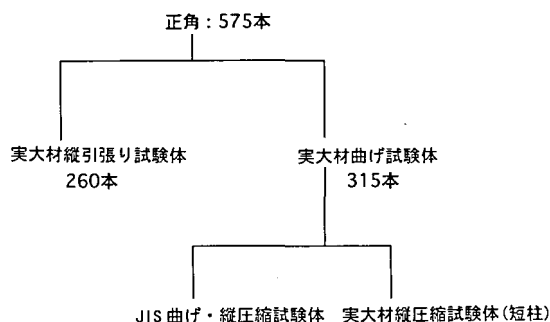


図2.2-1 試験体の流れ

表2.2-1 試験体の分別

林分	正角本数	曲げ試験体*	引張り試験体
A	69	38	31
B	82	43	39
C	98	53	45
D	79	42	37
E	73	39	34
F	89	50	39
G	85	50	35
	575	315	260

*：縦圧縮試験体及びJIS用試験体は曲げ試験終了材より採取した。

2.3. 欠点調査と各種材質指標の測定

2.3.1 欠点調査

欠点調査は曲げ及び縦引張り試験前に欠点調査表を作製し、節の位置、長径、短径及び接

線径を記録した。また、丸身及び腐れ等も記録した。

2.3.2 強度に影響する因子の測定

- (1)密度：実大材曲げ破壊試験および実大材縦引張り試験直前の重量と体積から求めた。
- (2)繊維傾斜：曲げ破壊試験終了後の試験材から、図2.2-2に示した方法で採取した厚さ10cmの試験片の両木口面に平行な基準線を引いた。一方の面から割裂し、他方の面上の割裂線と基準線のずれを図2.3-1に示すように、基準線を4等分して5箇所測定し、その平均値を長さ1mに対する傾斜mm/mに換算した。
- (3)平均年輪幅：繊維傾斜を測定した試験片を用い、図2.3-1に示すように木口における完全年輪数とそれらの含まれる長さから求めた。
- (4)髄から引張り面中心までの距離および年輪数：実大材曲げ破壊試験において、引張り側材面の幅方向の中心と髄までの距離を同一木口試験片を用いて、図2.3-2に示す方法で測定した。木口上に髄が存在しないものについては、年輪の曲率などから髄の位置とその間に含まれる年輪数を推定した。
- (5)節の解析：最大節径比，集中節径比の測定は針葉樹構造用製材の日本農林規格¹²⁾に従った。
- (6)含水率：試験時の含水率は図2.2-2に示した含水率測定用試片により JIS Z 2101の含水率の測定に従い、全乾法により求めた。

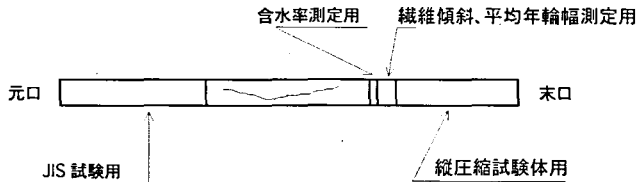


図2.2-2 実大材曲げ破壊試験終了後の試験体の取扱い

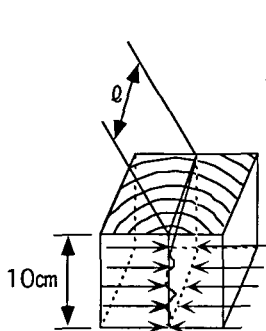


図2.3-1 繊維傾斜及び平均年輪幅の測定
 繊維傾斜(mm/m)：5箇所測定値の平均値を長さ1mあたりに換算した。

年輪数：長さ l の中に含まれる年輪数 n

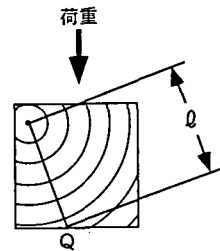


図2.3-2 曲げ破壊試験における引張り面の髄からの距離及び年輪数の測定法

Q：引張り面中心

引張り面中心までの距離(DP)(mm)： l の長さ

引張り面中心までの年輪数(NAP)： l に含まれる年輪数

2.4 非破壊的方法によるヤング係数の測定¹⁾

2.4.1 死荷重载荷による方法

図2.4-1に示したように、試験体をスパン270cmで単純支持し、スパン中央に死荷重 (ΔP (kgf)) として30kgの重錘を载荷した。そのとき生じた曲げたわみ量 (Δy (cm)) をデジタルダイヤルゲージ (ストローク: 5mm, 測定精度: 0.001mm) を用いて計測し、次式によって死荷重载荷による静的曲げヤング係数 (E_{dw} (tf/cm²)) を算出した。

$$E_{dw} = \frac{L^3 \times \Delta P}{48 \times I \times \Delta y}$$

ただし、L: スパン (cm)

I: 断面2次モーメント (cm⁴)

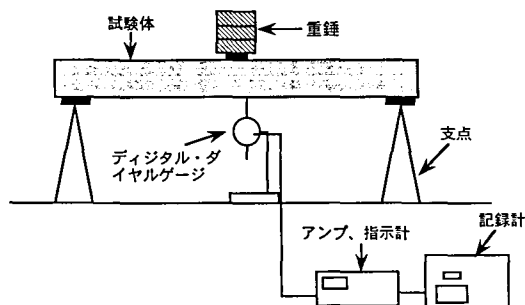


図2.4-1 死荷重载荷による静的曲げヤング係数の測定方法

2.4.2 たわみ自由振動による方法

図2.4-2に示したように、試験体を単純支持し、スパン270cmで中央を軽く打撃することによりたわみ振動を与え、片側の支点として設置したロードセル (定格負荷100kgf) より振動波形を検出し、歪アンプで増幅してFFTスペクトルアナライザに入力した。この時得られた固有振動数 (frt) と試験体の密度 (ρ) から、次式より、たわみ自由振動による動的ヤング係数 (E_{frt} ($\times 10^3$ kgf/cm²)) を算出した。

$$frt = \frac{\pi}{2L^2} \times \sqrt{\frac{E_{frt} \times I \times g}{\rho \times A}}$$

ただし、L: スパン (cm)

I: 断面2次モーメント (cm⁴)

g: 重力加速度 (cm/sec²)

A: 断面積 (cm²)

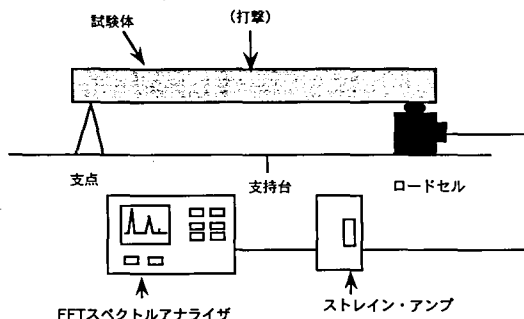


図2.4-2 たわみ自由振動による動的ヤング係数の測定方法

2.4.3 縦振動による方法

試験体を材軸方向に自由に振動させるように、図2.4-3に示したように支持台と試験体との間にクッション材を置き、一方の木口面をハンマーで軽く打撃することによって試験体を縦振動させ、他方の木口面近傍に設置したマイクロフォンで材中を伝播した弾性波を縦振動音としてとらえ、FFTスペクトルアナライザに入力した。この時得られた固有振動数 (frl) と試験体の密度 (ρ) から、次式により、縦振動法による動的縦ヤング係数 (E_{frl} ($\times 10^3$ kgf/cm²)) を算出した。

$$frl = \frac{i}{2 \times L} \sqrt{\frac{Efrl \times g}{\rho}}$$

ただし、L：材長 (cm)
g：重力加速度 (cm/sec²)

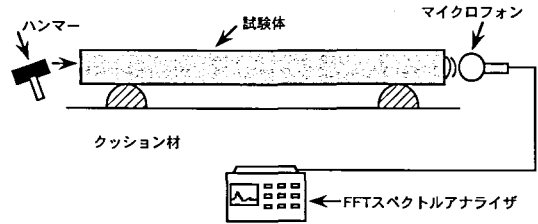


図2.4-3 縦振動による動的縦ヤング係数の測定方法

2.4.4 超音波伝播時間による方法

図2.4-4に示したように、両木口面にそれぞれ探触子を接触させ、両探触子間の超音波の伝播時間を超音波測定器で測定した。単位材長当りの超音波伝播時間 (tus(sec/cm)) と試験体の密度 (ρ) から、次式より、超音波伝播時間による動的縦ヤング係数 (Eus(×10³kgf/cm²)) を算出した。

$$\frac{1}{tus} = \sqrt{\frac{Eus \times g}{\rho}}$$

ただし、g：重力加速度

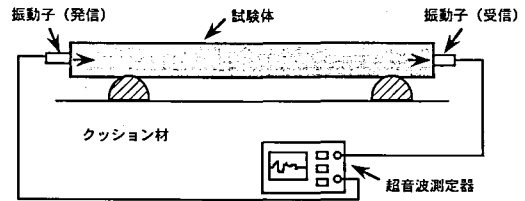


図2.4-4 超音波伝播時間による動的縦ヤング係数の測定方法

2.5. 実大材曲げ強度試験

2.5.1 荷重方向

荷重方向は図2.5-1に示すように、次の基準で決定した。

心持ち：背割りがある場合は背割りの対面を引張り側に配置した。背割りのない場合は髓に近い面を引張り側に配置した。

二方枳：まさ目面荷重とした。

四方枳：木表側が引張り面にくるように配置した (木裏荷重)。

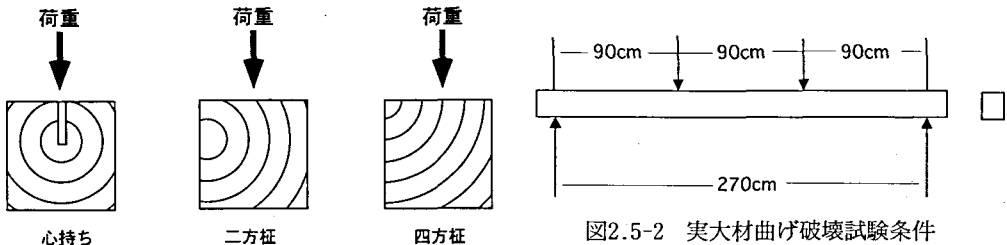


図2.5-2 実大材曲げ破壊試験条件

図2.5-1 曲げ破壊試験における荷重のかけ方の基準

ただし、林分Dの二方枳のすべて (12試験体) は例外で、木裏側が引張り面に当たる (これは手違いによる)。また、林分Fの四方枳については支点の部分に丸身があったので、やむを得ず、安定してセットできない6試験体は木表荷重とした。

実大材曲げ破壊試験のスパン条件は図2.5-2に示すようにスパン270cm, 3等分点4点荷重で行った。試験機はTCM-30000(ミネベア製容量30tonf)を用い、クロスヘッドスピード5mm/minで行い、最大荷重から曲げ強さを、比例域内における荷重差とそれに対応した中央部のたわみ量の関係から曲げヤング係数を求めた。

$$\text{曲げ強さ} = \frac{3 \times a \times P_m}{b \times h^2} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{曲げヤング係数} = \frac{\Delta P \times a \times (3L^2 - a^2)}{4 \times b \times h^3 \times \Delta y} \quad (\times 10^3 \text{kgf/cm}^2)$$

ここでa:荷重点間距離, P_m:最大荷重, b:幅, h:高さ, ΔP:比例域内における上限荷重と下限荷重との差, Δy:ΔPに対応するスパン中央部のたわみ量, L:スパン。

2.6 縦圧縮強度試験

2.6.1 試験体

表2.2-1に示すように、7林分合わせて315体の曲げ試験体の強度試験終了後に、それらの健全部から細長比が17となるように、長さ54cmの縦圧縮試験体を採材した。

曲げ試験体は315体であったが、試験終了後に健全部を取れなかったもの等があったため、圧縮試験体数は7産地合わせて293本となった。表2.6-1に縦圧縮試験体の産地別、木取り別の試験体数を示した。なお、最終的に曲げ試験結果と整合する試験体数は288本となった。

表2.6-1 カラマツ正角材の縦圧縮試験体数(林分別)

林分記号	林分	樹齢	胸高直径(cm)	供試木数	供試体数	1丁取り	2丁取り	4丁取り
A	大曲	65	43	7	38	0	17	21
B	長谷	50	39	7	30	4	7	19
C	北相木	55	37	10	50	13	28	9
D	長谷	42	37	10	37	10	9	18
E	大鹿	44	32	10	35	20	7	8
F	東俣	40	34	15	50	4	23	23
G	入笠	75	31	13	48	29	13	6
	総数			72	288	80	104	104

2.6.2 試験体の測定項目

試験に先立って、2.3で述べた方法によって、末口・元口断面の平均年輪幅1と2並びに4材面について最大節径比、集中節径比を測定するとともに、木口断面の年輪状態と4材面の節の全てをスケッチした。

2.6.3 縦圧縮試験

油圧式アムスラー型の圧縮試験装置(最大容量100ton)を用いて、破壊まで3~4分を目安にして、荷重速度を設定した。

縦圧縮強度 σ_c (kgf/cm²) は次の式から算出した。

$$\sigma_c = \frac{P_m}{A}$$

ここで、P：最大荷重 (kgf)

A：断面積 (cm²)

なお、試験終了後に含水率計を用いて試験体の含水率を測定した。

2.7. 縦引張り試験

縦引張り試験は ASTM D-198 に準拠した長さ 50 cm の引張りチャックをもつ横型材料試験機 (最大容量 100 tf) を用いて、図 2.7-1 に示したようにチャック間隔 200 cm で実大縦引張り強度試験を行った。荷重は、試験機のラムに取り付けたロードセル (定格負荷：100 tf) により検出した。また、縦引張りヤング係数を算出するために、試験体の相対する 2 材面にレーザー変位計を取り付けることによって、試験体の中央部分 100 cm の区間の伸びを測定し、2 材面における伸び量の平均値を得た。

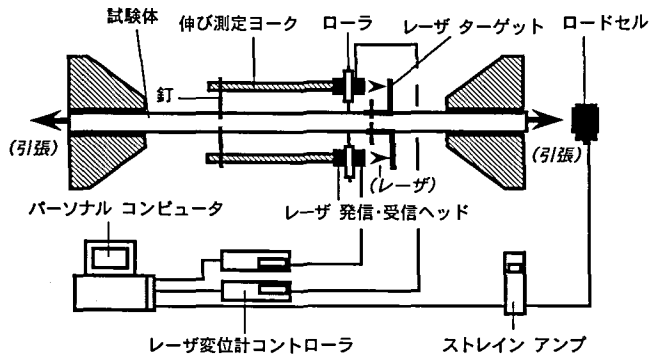


図2.7-1 実大材による縦引張り試験方法

縦引張りヤング係数 ($E_t \times 10^3$ kgf/cm²) と縦引張り強度 (σ_t (kgf/cm²)) を次式で算出した。

$$E_t = \frac{\Delta P \times l}{A \times \Delta l}$$

$$\sigma_t = \frac{P_m}{A}$$

ただし、 ΔP ：比例限領域内における上限荷重と下限荷重との差 (kgf)

Δl ： ΔP に対応する伸び (cm)

P_m ：最大荷重 (kgf)

l ：伸び測定時の標点距離 100 (cm)

A ：中央部断面積 (cm²)

3. 結果と考察

3.1 曲げ強度性能

3.1.1 林分別曲げ強度性能

林分別にカラマツ正角の曲げ強さ、曲げヤング係数および各種材質指標の平均値及び標準偏差を表3.1-1及び表3.1-2に示した。曲げ強さと曲げヤング係数についてはその分布を正規分布と仮定して5%下限値も示した。また、曲げ強さ、曲げヤング係数、平均年輪幅及び密度について平均値と標準偏差の範囲を樹齢との対応で図3.1-1に示した。

試験時の含水率は表3.1-2に示したように林分別の平均値で12.3~14.4%の範囲にあったので試験結果の含水率補正はしなかった。また、供試材は製材後数年以上経過し、長野県林業総合センターに移動後は室内に保存したため、完全に気乾状態であった。表に認められる2%程度の差は試験を実施した季節の平衡含水率の違いによるものと思われる。

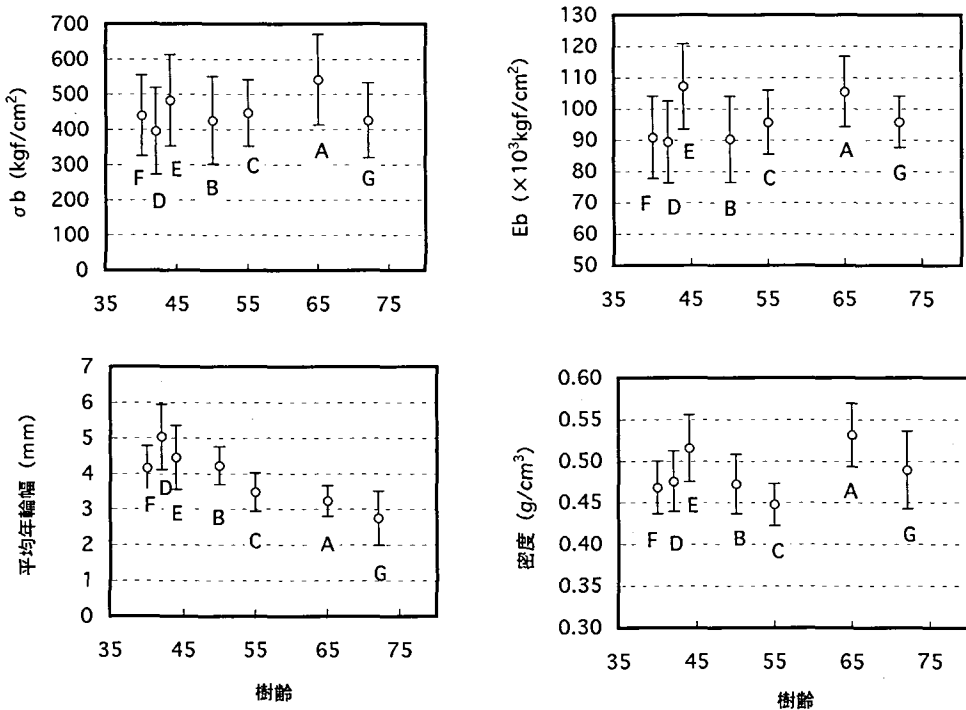


図3.1-1 曲げ強さ (σb)、曲げヤング係数 (Eb)、平均年輪幅および密度の林分別比較

3.1.1.1 樹齢による曲げ強度性能の比較

表3.1-1及び図3.1-1に示すように、一般的な林分として見なすことができるA~Fを比較すると、40~44年生林分であるF、D及びEでは、曲げ強さは平均でそれぞれ439、395及び482kgf/cm²で樹齢が近いにも関わらずかなり異なっていた。また、50及び55年生のB及びCは、同様にそれぞれ426及び447kgf/cm²であり、値の大小から見る限り、40~44年生林分と大差がなかった。一方、65年生のA林分が最も曲げ強さが大きい(平均で541kgf/cm²)。

表3.1-1 林分曲げ破壊試験結果

林分	樹齢	正角本数	曲げ強さ (σ_b)				曲げヤング係数 (E_b)				σ_b/E_b^*
			平均値 kgf/cm ²	標準偏差 kgf/cm ²	変動係数 %	5%下限値 kgf/cm ²	平均値 $\times 10^3$ kgf/cm ²	標準偏差 $\times 10^3$ kgf/cm ²	変動係数 %	5%下限値 $\times 10^3$ kgf/cm ²	
A	65	38	541	129	23.8	329	105.4	10.6	10.0	88.0	0.0051
B	50	43	426	124	29.2	221	90.2	15.6	17.3	64.5	0.0047
C	55	53	447	94	21.1	292	95.6	12.9	13.5	74.4	0.0047
D	42	42	395	123	31.3	192	89.3	15.7	17.6	63.5	0.0044
E	44	39	482	130	27.0	268	107.1	14.5	13.5	83.3	0.0045
F	40	50	439	115	26.2	250	90.8	15.3	16.9	65.6	0.0048
G	72	50	426	107	25.2	249	95.8	17.4	18.2	67.2	0.0044
全体		315	448	123	27.5	246	95.9	16.0	16.7	69.6	0.0047

*：曲げ強さの平均値を曲げヤング係数の平均値で除した値である。

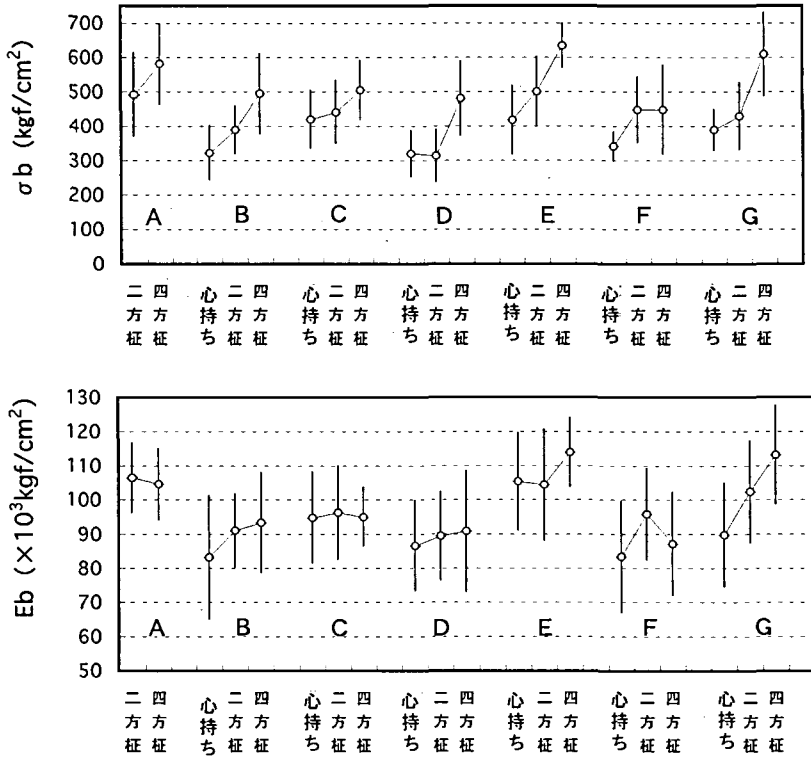


図3.1-2 曲げ強さ (σ_b) 及び曲げヤング係数 (E_b) の林分木取り別比較
A~G: 林分

表3.1-2 林分別主な測定項目

林分	樹齡	正角本数	区分	密度	平均	繊維傾斜	最大節径比	集中節径比	試験時
				g/cm^3	年輪幅 mm	mm/1 m	%	%	含水率 %
A	65	38	平均值	0.531	3.23	46.9	33.0	41.1	13.3
			標準偏差	0.038	0.43	25.5	9.6	11.2	0.7
B	50	43	平均值	0.472	4.22	65.2	34.2	50.4	12.8
			標準偏差	0.035	0.52	33.2	10.6	13.8	0.4
C	55	53	平均值	0.448	3.48	57.2	25.6	34.0	13.9
			標準偏差	0.025	0.55	25.8	7.7	10.3	0.7
D	42	42	平均值	0.475	5.03	59.6	25.8	33.1	12.6
			標準偏差	0.036	0.92	31.6	7.4	13.0	0.6
E	44	39	平均值	0.515	4.44	62.7	22.8	37.6	14.4
			標準偏差	0.040	0.90	21.7	7.6	13.7	0.5
F	40	50	平均值	0.468	4.15	35.4	32.7	46.7	12.3
			標準偏差	0.032	0.62	19.3	8.9	13.1	0.4
G	72	50	平均值	0.489	2.75	60.5	24.4	39.7	12.3
			標準偏差	0.047	0.76	23.5	6.5	8.2	0.6
全体		315	平均值	0.483	3.87	55.1	28.3	40.4	13.1
			標準偏差	0.045	0.99	27.7	9.4	13.2	0.9

曲げヤング係数の林分間の違いの傾向は曲げ強さとほとんど同様であったが、林分Aの正角が、曲げ強さに認められたように突出しておらず、平均値ではEの正角が最も高かった。

図3.1-1に示すように林分F、D、E及びBは正角の平均年輪幅の平均値が4mm以上と成長のかなり良い林分であり、特にDは平均で5mmを超え、極めて成長が良い。従って、Dの場合、各正角に占める未成熟材の割合が高く、曲げ強さが最も低くなったものと思われる。加えて二方証試験体の荷重方向が林分Dだけ木表荷重であったことも影響していると思われる。また、林分Eは表2.1-1に示したように、風による影響と考えられるが、偏心成長が著しく、圧縮あてが認められる正角が多かった。針葉樹で認められる圧縮あて材は、正常材に比べて一般に木化が進み、密度が高く、そのために曲げ強さや圧縮強さが正常材よりも高い¹³⁾ことが知られており、このため林分Eの曲げ強さおよび曲げヤング係数が高くなったものと考えられる。

一方、林分の中では最も高樹齢であるG（伊那営林署管内、75年生）について考察すると、高海拔であり、地位も低く、成長が悪く、年輪幅が狭く、未成熟材の占める割合は少ないものの、成長が遅いため、晩材形成が一般林分の成熟材ほどでなく、曲げ強さおよび曲げヤング係数とも中庸の値を示したものと思われる。既往¹⁴⁾の比較的近似した試験結果でも、一般的な3林分からの正角の曲げ強さは高樹齢材で高く、本試験と同様な傾向を示していた。さらに海拔1920mの天然林の正角の結果¹⁴⁾では曲げ強さ及び曲げヤング係数は平均で369kgf/cm²、75.9×10³kgf/cm²と明らかに低かった。従って、本試験の林分Gの結果は、その天然生林のものに比べれば優れており、一般的な林分と高海拔天然生林との中間的な強度的性能と考えられた。

日本建築学会の木質構造設計基準・同解説¹⁵⁾によれば、カラマツは針葉樹Ⅲ類に属し、曲げの長期許容応力度として上級構造材、普通構造材にそれぞれ105kgf/cm²、85kgf/cm²を与えている。これらの値の3倍がカラマツの材料強度であるとする、それぞれ315 kgf/cm²及び255kgf/cm²となる。A林分の5%下限値のみが上級構造材の値を満足している。林分B、D、F、Gでは普通構造材も満足していない。また、曲げヤング係数については上級構造材、普通構造材にそれぞれ、90×103kgf/cm²、80×103kgf/cm²を与えており、これは平均値から誘導されたものであるから、すべての林分で上級構造材の値を満足していると考えてよい。

3.1.1.2 同一地域における樹齢の差の検討

林分AとCは白田営林署管内、BとDは伊那営林署管内で同一産地とみなして、おのおのを比較した。表3.1-1および図3.1-1に示すように、白田営林署管内の65年生のAと55年生のCでは明らかに曲げ強さおよび、曲げヤング係数ともAの方が高い。同様に伊那営林署管内の50年生のBと42年生のDでは曲げ強さ及び曲げヤング係数ともBの方が高い。同一産地で比較すれば樹齢が高い林分で曲げ強さが高くなる結果であるが、図2.1-2から地位が異なることが示されていること、また50年生と42年生並びに65年生と55年生では樹齢の差はあまりないとみなすこともできるので、さらに検討の余地が残されている。

3.1.1.3 産地間による検討

林分D（伊那営林署管内、42年生）、林分E（駒ヶ根営林署管内、44年生）、林分F（諏訪

営林署管内、40年生) はほぼ樹齡が等しいのでこの3林分で比較した。曲げ強さ、曲げヤング係数ともに平均値ではE > F > Dの順で、特にEが突出している。前述したようにEはあての影響が考えられ、またDが極めて成長が良く、正角の平均年輪幅の平均が5mmを超えていることなどを考慮すると、この差は立地条件に由来する成長あるいは、生育条件の差によるものと考えられた。

3.1.1.4 木取り別に見た林分比較

林分毎に、木取り別に仕分けて、曲げ強さ及び曲げヤング係数の比較を図3.1-2に示した。図に示すように、曲げ強さは林分Dの心持ちと二方桁、林分Fの二方桁と四方桁は同程度であるが、傾向としては心持ち<二方桁<四方桁の順に曲げ強さが増加しており、この傾向は林分A, B, E, Gで顕著である。林分Dの二方桁は荷重方向が木表荷重であり、この結果、心持ちと二方桁が同程度となったものと思われる。また、Fの四方桁のうち6試験体は支点となる部分の丸身を考慮し、荷重面を木表とした影響も現れているものと思われる。曲げヤング係数は林分B, D, Gにおいて、心持ち<二方桁<四方桁となる傾向が顕著であり、林分AおよびCは木取り区分による差が少なく、Eは心持ちと二方桁が同程度という結果であった。林分Fについては四方桁と二方桁で逆転しているが、Fの四方桁の場合、径級に対して少し無理な木取りをしたので丸身が多いものが多い、曲げ強さの結果とあわせて、その影響が現れたものと考えられる。

曲げ試験における荷重方向が、林分Dを除いて二方桁試験体では桁目面荷重であり、四方

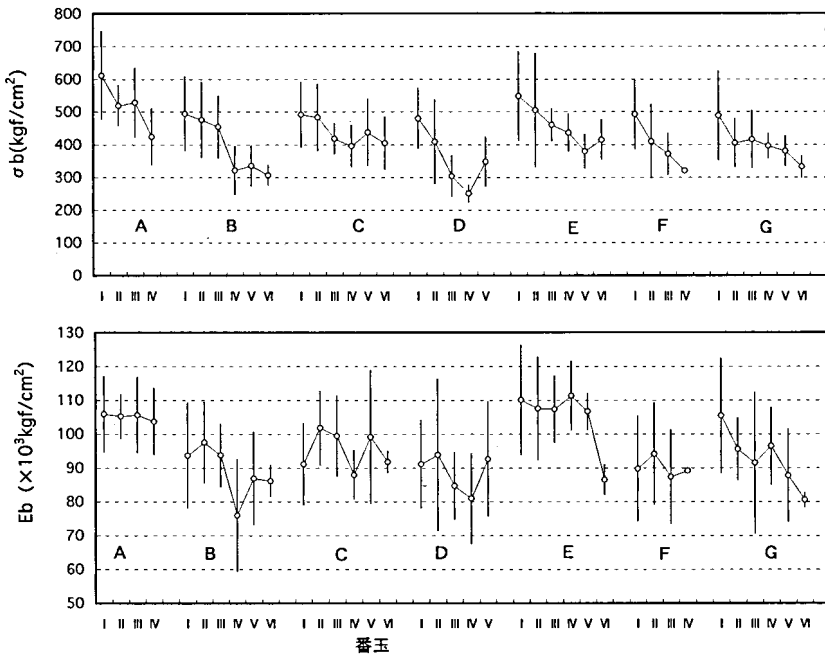


図3.1-3 曲げ強さ (σb) 及び曲げヤング係数 (Eb) の林分番玉別比較
A~G: 林分

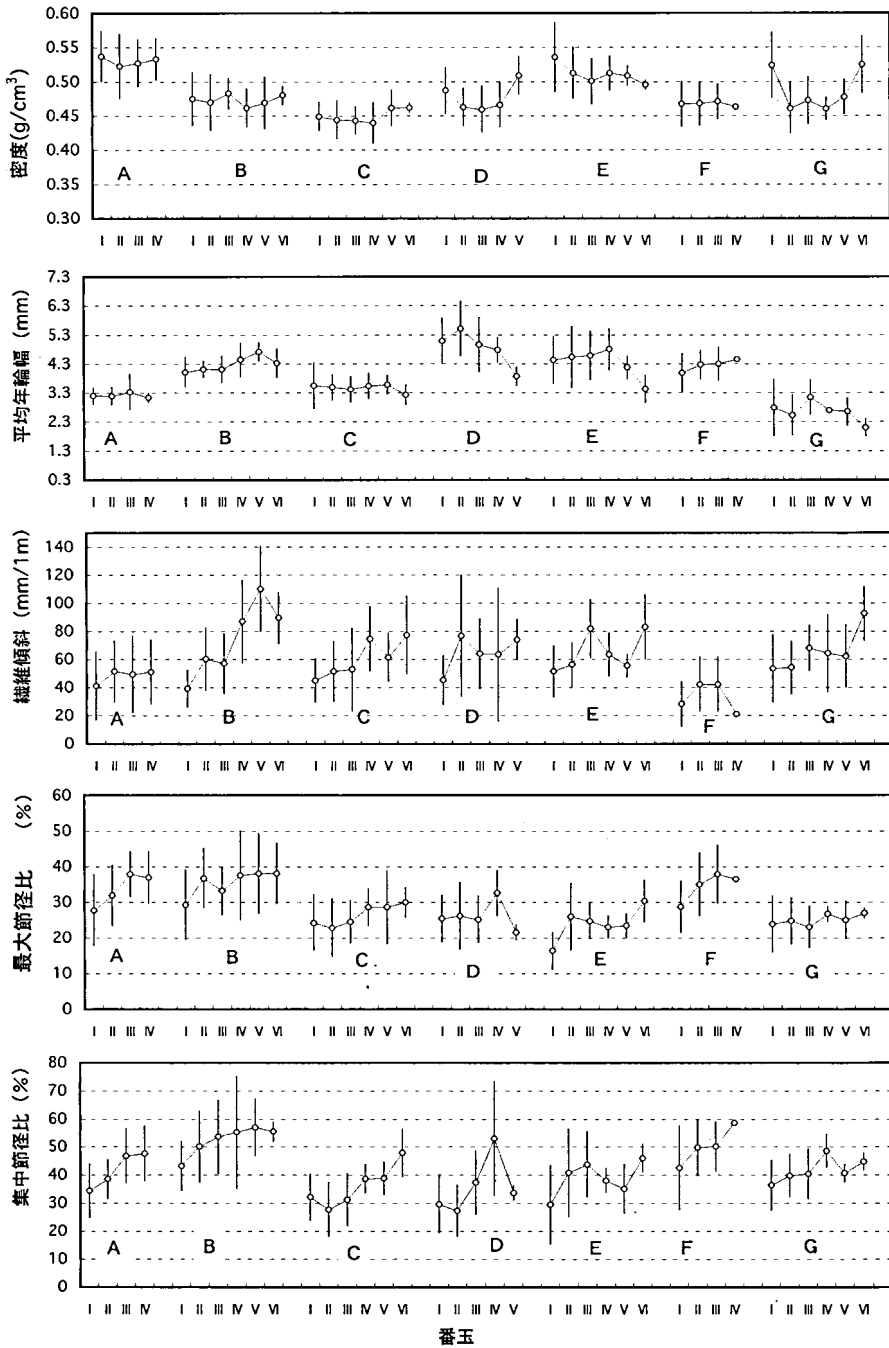


図3.1-4 密度, 平均年輪幅, 繊維傾斜, 最大節径比及び集中節径比の林分番玉別比較
A~G: 林分

桁試験体では曲げ試験の引張り側に木表側がきていることから、四方桁に丸身の多かった林分Fを除けば、曲げ強さでは二方桁と四方桁の差が顕著に現れたものと考えられる。

3.1.1.5 番玉別にみた林分比較

各林分の試験体を番玉別に仕分けて、曲げ強さ及び曲げヤング係数の比較を図3.1-3に示した。7林分全体について、曲げ強さは番玉が上がるほど明らかに下がる傾向にあった。曲げヤング係数については、曲げ強さほど傾向は顕著ではないが、番玉が上がるほど低くなった。

曲げヤング係数は林分Aについてはほとんど変化がない。これは、正角がIV番玉までに限られ、試験体すべてが四方桁あるいは二方桁で、心持ちが採材できる5番玉以降が欠けていることも影響しているものと思われる。

密度、平均年輪幅、最大単独節径比及び集中節径比の番玉別の林分比較を図3.1-4に示した。各種材質指標のなかで、密度及び平均年輪幅については、林分ごとに共通する傾向を見い出せなかった。繊維傾斜については、林分によりその程度に差はあるが、番玉が上がるほど大きくなる傾向にあった。また、最大節径比及び集中節径比も同様に番玉が上がるにつれて大きくなる傾向にあった。

3.1.2 林分を考慮しない曲げ強度性能

ここでは林分を考慮しないで、全体について検討する。

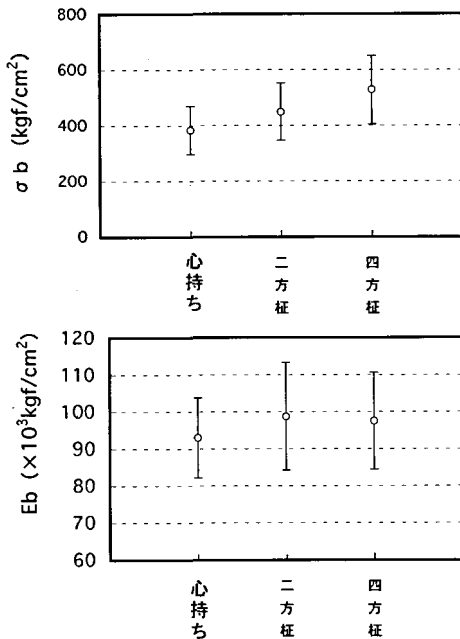


図3.1-5 曲げ強さ(σb)及び曲げヤング係数(Eb)の木取り別比較

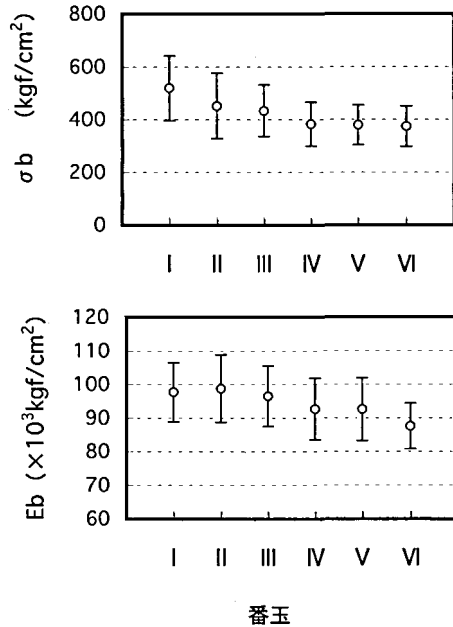


図3.1-6 曲げ強さ(σb)及び曲げヤング係数(Eb)の番玉別比較

表3.1-3 木取り別曲げ破壊試験結果

木取り*	正角本数	曲げ強さ (σ_b)				曲げヤング係数 (E_b)				σ_b/E_b^{**}
		平均値 kgf/cm ²	標準偏差 kgf/cm ²	変動係数 %	5%下限値 kgf/cm ²	平均値 ×10 ³ kgf/cm ²	標準偏差 ×10 ³ kgf/cm ²	変動係数 %	5%下限値 ×10 ³ kgf/cm ²	
心持ち	93	383	86	22.5	241	92.9	16.9	18.2	65.2	0.0041
二方桁	99	448	103	22.9	279	98.8	14.0	14.2	75.6	0.0045
四方桁	105	527	123	23.4	324	97.5	16.4	16.8	70.5	0.0054
全体	297	456	121	26.6	256	96.5	16.0	16.6	70.1	0.0047

*：二方桁については林分のDの12試験体，四方桁については林分Fの6試験材を除いてある。

**：曲げ強さの平均値を曲げヤング係数の平均値で除した値である。

3.1.2.1 木取り別曲げ強度性能

強度性能については、荷重方向が他と異なった林分Dの二方桁の12試験体および林分Fの四方桁試験体のうち6試験体を除く297試験体について考察する。

林分を考慮しないで心持ち、二方桁、四方桁の木取り別の曲げ強さ及び曲げヤング係数の平均値および標準偏差を表3.1-3に、そしてこれらの関係を図3.1-5に示した。

曲げ強さは明らかに心持ち<二方桁<四方桁の順になっており、四方桁は5%下限値でも300kgf/cm²を超えていた。

試験方法の2-5で示したとおり、荷重方向は二方桁は桁目面荷重、四方桁は木裏荷重に統一している。従って、二方桁については、未成熟材部と成熟材部の両者を含むので平均的な値を与え、四方桁については曲げ試験における引張り側に成熟材部がくるので高い値となることが予想される。既往の荷重方向について検討した結果¹⁴⁾では、木裏荷重と木表荷重の差は、平均で二方桁については107kgf/cm²、四方桁については89kgf/cm²であった。本試験の曲げ強さの結果は予想どおりの結果となった。

一方曲げヤング係数は、曲げ強さのような顕著な傾向は示さず、平均値では二方桁の方が四方桁よりも高く、これは既往¹⁴⁾の結果と一致した。

表3.1-3に示したように曲げヤング係数に対する曲げ強さの比は心持ち<二方桁<四方桁の順であった。明らかに四方桁の値が高いのは、荷重方向の影響によるものと考えられる。

各種材質指標の木取り別比較を、全試験体315体を対象にして表3-1-4に示した。密度は心持ち<二方桁<四方桁の順に大きくなる傾向が認められたのに対して、平均年輪幅は木取りによる一定の傾向を示さなかった。これは素材が大径材であり、丸太の径により木取りが決まり、四方桁および二方桁は番玉の下の方から、心持ちは上の方から木取られるため、四方桁および二方桁はカラマツの特徴である初期成長の旺盛な部分と、その後の安定した部分を含むことになる。一方心持ちは番玉が上の方なので、間伐材等と異なり、年輪幅はそれほど大きくなる結果、平均年輪幅は同程度になったものと考えられる。

表3.1-4 木取り別の主な測定項目

木取り	正角本数	区分	密度 g/cm ³	平均 年輪幅 mm	繊維傾斜 mm/1m	最大節径比 %	集中節径比 %
心持ち	93	平均値	0.477	3.84	64.8	25.5	42.4
		標準偏差	0.037	1.13	27.0	7.4	10.8
二方桁	111	平均値	0.480	3.70	58.2	29.6	41.6
		標準偏差	0.042	0.95	27.0	10.1	14.6
四方桁	111	平均値	0.492	4.05	43.9	29.4	37.4
		標準偏差	0.051	0.87	24.7	9.5	13.1
全体	315	平均値	0.483	3.87	55.1	28.3	40.4
		標準偏差	0.045	0.99	27.6	9.4	13.2

繊維傾斜は心持ち>二方桁>四方桁の順になる傾向にあった。既往の研究^{16~20)}によれば、カラマツ樹幹内のらせん木理は一般的に髓から左旋回で発達し、数年輪目で最大値に達し、その後ゆるやかに減少経過をたどる。したがって、基本的に心持ち>二方桁>四方桁の順に髓から遠い部分をより含むことから、繊維傾斜の木取りによる傾向は説明できる。最大節径比は心持ちが少なく、二方桁と四方桁が同程度であったのに対し、集中節径比は心持ち>二方桁>四方桁の傾向にあった。

3.1.2.2 番玉別曲げ強度性能

番玉別の曲げ強さ及び曲げヤング係数の比較を表3.1-5及び図3.1-6に示した。ここでも3.1.2.1と同様に、強度性能については297試験体について、密度等の各材質指標については315試験体について考察する。

曲げ強さはI番玉が強く、番玉が上がるのに伴い、IV番玉までは減少し、それ以上ではほぼ同様な値であった。一方5%下限値で見ると、ばらつきの関係からI番玉が突出しているのに対して、II~IV番玉は236~255kgf/cm²のほぼ同様の値であり、曲げヤング係数は全体として番玉が上がるに従い下がる傾向にあったが、I番玉よりもII番玉の方が、またIV番玉よりもV番玉の方が高かった。5%下限値では標準偏差が小さかったことからVI番玉が最も高い値となったが、試験材数が最も少ないことを考慮すべきである。

各測定項目の番玉別比較を表3.1-6及び図3.1-7に示した。測定項目の中で一定の傾向が認められたのは繊維傾斜で、これは番玉が上がるほど増大した。また、最大節径比および集中節径比も番玉が上がるほど大きくなる傾向にあった。

3.1.2.3 木取り番玉別強度性能

ここでも29試験体について考察する。

曲げ強さと曲げヤング係数を木取り別に仕分けて、番玉別比較をした結果を表3-1-7に、そしてその関係を図3.1-8に示した。木取りの3区分に共通して、曲げ強さは番玉が上がるほど低くなる傾向にあるが、心持ちは四方桁、二方桁ほどではない。一方、曲げヤング係数も傾向としては心持ちおよび二方桁は同様な傾向を示したが、四方桁ではIII番玉までは増加傾向にあった。表3.1-7の曲げ強さの曲げヤング係数に対する比率は四方桁のI番玉が突出して高く、番玉が上がるに従い減少する。この四方桁において認められる傾向は曲げ試験における荷重方向の影響、すなわち引張り側に木表側がきているためと考えられる。

3.1.3 曲げ強度性能と各種材質指標との関係

ここでは試験体のすべて315体を考察する。

3.1.3.1 林分別検討

各測定項目と曲げ強さ及び曲げヤング係数の関係を示す単相関係数を林分別に表-3.1-8及び3.1-9に示した。

(1)密度との関係

曲げ強さと密度の相関は7林分とも有意な相関が認められたが、その程度は異なり、A

表3.1-5 番玉別曲げ破壊試験結果

番玉	正角本数*	曲げ強さ (σ_b)				曲げヤング係数 (E_b)				σ_b/E_b^{**}
		平均値 kgf/cm ²	標準偏差 kgf/cm ²	変動係数 %	5%下限値 kgf/cm ²	平均値 $\times 10^3$ kgf/cm ²	標準偏差 $\times 10^3$ kgf/cm ²	変動係数 %	5%下限値 $\times 10^3$ kgf/cm ²	
I	102	518	123.2	23.8	316	97.7	16.7	17.1	70.2	0.0053
II	61	465	123.2	26.5	262	100.4	14.5	14.4	76.5	0.0046
III	61	433	97.7	22.6	272	96.5	15.4	15.9	71.3	0.0045
IV	33	383	83.2	21.7	246	92.7	17.3	18.7	64.1	0.0041
V	26	379	75.2	19.8	255	92.5	16.3	17.6	65.7	0.0041
VI	14	377	74.3	19.7	254	87.0	5.6	6.4	77.8	0.0043
全体	297	456	121.2	26.6	256	96.5	16.0	16.6	70.1	0.0047

*：二方柱については林分Dの二方柱（12試験体），林分Fの丸身のため荷重方向を変えた6試験体を除いてある。

**：曲げ強さの平均値を曲げヤング係数の平均値で除した値である。

表3.1-6 番玉別主な測定項目

番玉	正角本数	区分	密度 g/cm ³	平均 年輪幅 mm	繊維傾斜 mm/1m	最大節径比 %	集中節径比 %	比例限制合 %
I	107	平均値	0.494	3.88	42.1	25.7	36.1	69.5
		標準偏差	0.050	1.02	20.6	8.8	12.5	9.8
II	69	平均値	0.473	3.97	54.1	29.3	39.9	72.2
		標準偏差	0.043	1.06	25.8	10.0	14.0	10.7
III	66	平均値	0.479	3.93	58.4	29.5	42.4	73.3
		標準偏差	0.041	0.94	26.4	9.0	12.4	11.5
IV	34	平均値	0.478	3.94	67.6	31.4	46.3	75.8
		標準偏差	0.044	0.88	30.2	9.2	14.1	12.0
V	26	平均値	0.480	3.54	71.9	27.7	42.0	75.1
		標準偏差	0.033	0.89	28.8	9.3	10.0	12.0
VI	13	平均値	0.484	3.35	83.9	31.5	48.7	69.8
		標準偏差	0.029	0.80	24.2	6.8	7.3	9.4
全体	315	平均値	0.483	3.87	55.1	28.3	40.4	72.0
		標準偏差	0.045	0.99	27.6	9.4	13.2	11.0

表3.1-7 木取り番玉別曲げ破壊試験結果

木取り	番玉	正角本数	曲げ強さ (σ_b)				曲げヤング係数 (E_b)				σ_b/E_b^*
			平均値 kgf/cm ²	標準偏差 kgf/cm ²	変動係数 %	5%下限値 kgf/cm ²	平均値 ×10 ³ kgf/cm ²	標準偏差 ×10 ³ kgf/cm ²	変動係数 %	5%下限値 ×10 ³ kgf/cm ²	
心持ち	I	11	414	80.1	19.4	282	97.7	18.1	18.5	67.9	0.0042
	II	9	407	131.6	32.3	191	98.8	13.3	13.5	76.9	0.0041
	III	21	382	72.3	18.9	263	90.1	16.3	18.1	63.2	0.0042
	IV	18	363	82.4	22.7	227	92.1	20.8	22.6	57.8	0.0039
	V	21	381	79.2	20.8	251	94.8	17.3	18.2	66.4	0.0040
	VI	13	373	76.1	20.4	248	87.5	5.4	6.2	78.6	0.0043
二方桁	I	21	488	116.4	23.8	297	101.2	15.4	15.2	75.9	0.0048
	II	31	447	96.6	21.6	288	100.3	12.7	12.6	79.4	0.0045
	III	29	452	100.1	22.2	287	99.7	14.5	14.5	75.9	0.0045
	IV	13	410	79.8	19.5	278	95.2	11.7	12.3	76.0	0.0043
	V	5	369	54.1	14.7	280	83.0	4.3	5.2	75.9	0.0044
四方桁	I	70	544	120.0	22.1	346	96.6	16.7	17.3	69.2	0.0056
	II	22	511	134.4	26.3	290	100.2	17.4	17.3	71.6	0.0051
	III	11	480	91.0	19.0	330	100.3	11.2	11.1	82.0	0.0048
	IV	2	386	58.0	15.0	291	81.6	0.8	1.0	80.3	0.0047
全体		297	456	121.2	26.6	256	96	16.0	16.6	70.1	0.0047

*：曲げ強さの平均値を曲げヤング係数の平均値で除した値である。

二方桁については林分Dの二方桁（12試験体）、林分Fの丸身のため荷重方向を変えた四方桁の6試験材を除いてある。

表3.1-8 林分別各測定因子と曲げ強さの関係 (単相関係数)

木取り	本数	密度	平均年輪幅	繊維傾斜	最大節径比		引張り面最大節径比		集中節径比		引張り面集中節径比		髓～引張り面中心		曲げヤング係数
					中央区間	全区間	中央区間	全区間	中央区間	全区間	中央区間	全区間	距離 ¹⁾	年輪数 ¹⁾	
A	38	0.328*	-0.057	-0.422**	-0.212	-0.158	-0.465**	-0.375*	-0.199	-0.122	-0.452**	-0.409**	0.552**	0.583**	0.394*
B	43	0.324*	-0.406**	-0.441**	0.164	-0.120	-0.470**	-0.566**	-0.158	-0.290	-0.447**	-0.488**	0.423**	0.576**	0.642**
C	53	0.370**	-0.023	-0.316	-0.476**	-0.295*	-0.505**	-0.551**	-0.340	-0.338	-0.469**	-0.543**	0.244	0.203	0.460**
D	42	0.433**	0.148	-0.360*	-0.222	-0.413**	-0.059	0.000	-0.317*	-0.497**	-0.115	-0.134	0.597**	0.643**	0.612**
E	39	0.505**	-0.341*	-0.066	-0.361*	-0.366*	-0.525**	-0.686**	-0.332*	-0.545**	-0.575**	-0.664**	0.477**	0.638**	0.469**
F	50	0.604**	-0.330*	-0.223	-0.611**	-0.458**	-0.423**	-0.584**	-0.407**	-0.406**	-0.352**	-0.581**	0.207	0.260	0.645**
G	50	0.651**	0.034	-0.298	-0.245	0.076	-0.551**	-0.484**	-0.525**	-0.254	-0.516**	-0.589**	0.512**	0.470**	0.602**
全体	315	0.496**	-0.168**	-0.308**	-0.189**	-0.173**	-0.443**	-0.454**	-0.267**	-0.296**	-0.433**	-0.481**	0.456**	0.495**	0.592**

¹⁾: 曲げ試験における引張り面中心までの髓からの距離及び年輪数

*: 危険率5%で有意, **: 危険率1%で有意

表3.1-9 林分別各測定因子と曲げヤング係数の関係 (単相関係数)

林分	本数	密度	平均年輪幅	繊維傾斜	最大節径比		引張り面最大節径比		集中節径比		引張り面集中節径比		髓～引張り面中心	
					中央区間	全区間	中央区間	全区間	中央区間	全区間	中央区間	全区間	距離 ¹⁾	年輪数 ¹⁾
A	38	0.274	-0.337*	-0.436**	-0.202	-0.247	-0.122	-0.049	-0.118	0.084	-0.108	-0.022	-0.118	0.021
B	43	0.557**	-0.238	-0.220	0.001	-0.153	-0.189	-0.357*	-0.005	-0.137	-0.025	-0.229	0.082	0.208
C	53	0.567**	-0.250	0.100	-0.384**	-0.325	-0.145	-0.237	-0.264	-0.218	-0.066	-0.206	0.014	0.085
D	42	0.602**	-0.026	-0.208	-0.293	-0.267	-0.239	-0.133	-0.168	-0.140	-0.099	0.002	0.045	0.084
E	39	0.613**	-0.067	-0.135	-0.206	-0.211	-0.090	-0.339*	-0.303	-0.275	-0.172	-0.136	0.047	0.066
F	50	0.834**	-0.127	-0.175	-0.265	-0.193	-0.073	-0.084	0.029	-0.074	0.056	-0.055	-0.058	-0.060
G	50	0.535**	-0.025	-0.020	-0.226	0.053	-0.443	-0.195	-0.531**	-0.277	-0.364*	-0.372**	0.189	0.138
全体	315	0.606**	-0.160**	-0.130*	-0.200**	-0.199**	-0.223**	-0.246**	-0.178**	-0.169**	-0.151**	-0.232**	0.088	0.167**

¹⁾: 曲げ試験における引張り面中心までの髓からの距離及び年輪数

*: 危険率5%で有意, **: 危険率1%で有意

～Fを一般的な林分と見なすとき、樹齢50年以上のA, B, およびCでは相関が低く、40～44年生のD, E及びFで比較的高い相関が認められた。そして、生長の悪い林分Gで最も強い相関が認められた。

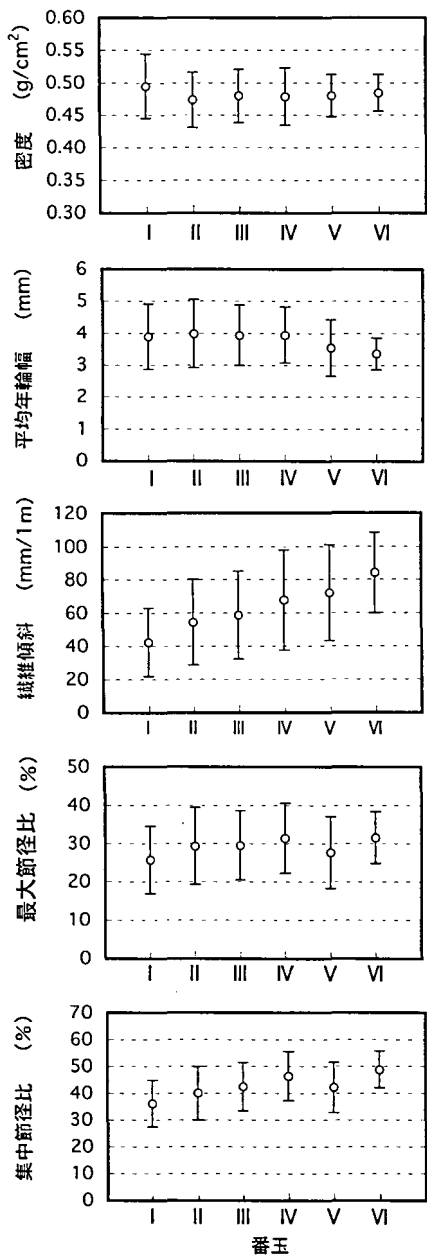


図3.1-7 密度, 平均年輪幅, 繊維傾斜, 最大節径比及び集中節径比の番玉別比較

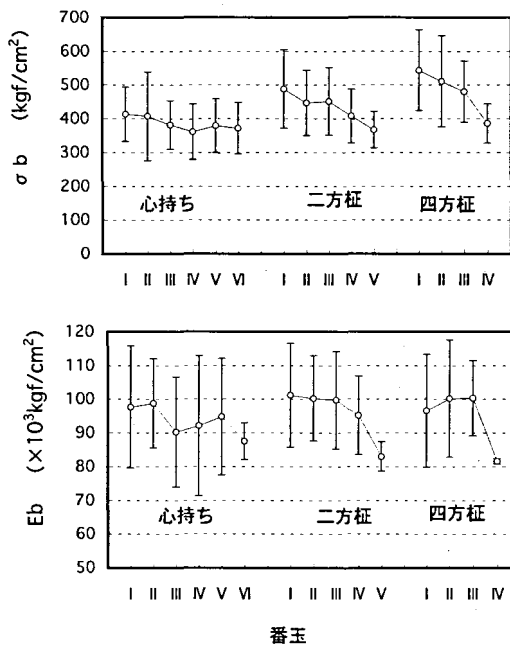


図3.1-8 曲げ強さ(σ_b)及び曲げヤング係数(E_b)の木取り番玉別比較

表3.1-8に示すように、曲げヤング係数と密度の相関は林分Aを除けば相関係数は0.5以上であり、特に林分Fについては高かった。

(2)平均年輪幅との関係

平均年輪幅と曲げ強さとの関係は林分B、E及びFで認められるものの、それほど高くなく、曲げヤング係数との関係も有意な相関は林分Aについて認められるだけであった。

(3)繊維傾斜との関係

繊維傾斜との関係は曲げ強さではA、B及びDに認められ、曲げヤング係数では林分Aについて認められる程度であった。

(4)節との関係

節と曲げ強さの関係では、引張り面の節径比および集中節径比との関係が総じて高かったが、林分Dだけは4材面評価のそれらとの関係の方が高かった。曲げ強さに比較して節と曲げヤング係数との関係はかなり低いものとなった。

(5)髓から引張り面中心までの距離と年輪数との関係

髓から引張り面までの距離と年輪数との間に林分CとFを除いて有意な相関関係が認められた。このことは曲げ応力を最も受ける引張り面が髓から離れた位置にあるほど曲げ強さが大きいことを示している。これは未成熟材部の影響と考えられる。また、カラマツのように成長がよく、未成熟材部が顕著な樹種は、曲げ応力を受ける横架材等に使用する場合、有利な使い方があることを示している。一方曲げヤング係数との関係は曲げ強さとの場合と異なり、有意な関係が認められた林分はなかった。

(6)曲げヤング係数との関係

曲げヤング係数と曲げ強さの間には全ての林分で高い相関が認められる。ただし、林分Aにおいては $r = 0.394$ とその度合いが最も低かった。これは表3.1-1に示すように曲げ強さ/曲げヤング係数の比が他の林分に比べて高く、曲げヤング係数に対して曲げ強さの値が高い林分であり、そのような影響もあると考えられる。

3.1.3.2 木取り別検討

各測定項目と曲げ強さ及び曲げヤング係数の関係を示す単相関係数を木取り別に表3.1-10及び3.1-11に示した。

(1)密度との関係

曲げ強さと密度との相関は、心持ち<二方桁<四方桁の順に高くなり、二方桁及び四方桁では比較的高い相関が認められた。曲げヤング係数についても同様な相関が認められたが、その相関はとくに高く、心持ちでも相関係数は0.528を超えていた。

(2)平均年輪幅との関係

曲げ強さと平均年輪幅との相関はそれほど強くなく、心持ちでは有意な相関は認められなかったが、二方桁および四方桁で有意な相関が認められた。

(3)繊維傾斜との関係

曲げ強さと繊維傾斜との関係は、曲げ強さの二方桁だけが有意な相関を示した。これは二方桁が桁目面荷重のためと考えられる。曲げヤング係数との間には有意な相関は認められなかった。

表3.1-10 木取り別各測定因子と曲げ強さの関係（単相関係数）

木取り	本数	密度	平均年輪幅	繊維傾斜	最大節径比		引張り面最大節径比		集中節径比		引張り面集中節径比		髓～引張り面中心		曲げヤング係数
					中央区間	全区間	中央区間	全区間	中央区間	全区間	中央区間	全区間	距離 ¹⁾	年輪数 ¹⁾	
心持ち	93	0.287**	-0.138	-0.112	-0.382**	-0.416**	-0.304**	-0.378*	-0.212*	-0.332**	-0.298**	-0.383**	0.029*	0.203*	0.565*
二方桁	111	0.485**	-0.290**	-0.300**	0.116	-0.247*	-0.174	-0.266**	-0.020	-0.221*	-0.136	-0.278**	0.306**	0.371**	0.574**
四方桁	111	0.575**	-0.300**	-0.167	-0.260**	-0.230*	-0.499**	-0.488**	-0.320**	-0.250*	-0.475**	-0.467**	0.271**	0.472**	0.729**
全体	315	0.496**	-0.168**	-0.308**	-0.189**	-0.173**	-0.443**	-0.454**	-0.267**	-0.296**	-0.433**	-0.481**	0.456**	0.495**	0.592**

¹⁾：曲げ試験における引張り面中心までの髓からの距離及び年輪数

*：危険率5%で有意，**：危険率1%で有意

表3.1-11 木取り別各測定因子と曲げヤング係数の関係（単相関係数）

木取り	本数	密度	平均年輪幅	繊維傾斜	最大節径比		引張り面最大節径比		集中節径比		引張り面集中節径比		髓～引張り面中心	
					中央区間	全区間	中央区間	全区間	中央区間	全区間	中央区間	全区間	距離 ¹⁾	年輪数 ¹⁾
心持ち	93	0.528**	0.092	-0.120	-0.382**	-0.369**	-0.145	-0.316**	-0.303**	-0.299**	-0.057	-0.336**	0.036	0.054
二方桁	111	0.610**	-0.416**	-0.165	-0.157	-0.244*	-0.058	-0.200*	-0.043	-0.109	-0.057	-0.093	0.038	0.149
四方桁	111	0.675**	-0.205*	-0.067	-0.163*	-0.131	-0.386**	-0.248*	-0.165	-0.129	-0.307**	-0.265**	0.125	0.291**
全体	315	0.606**	-0.160**	-0.130*	-0.200**	-0.199**	-0.223**	-0.246**	-0.178**	-0.169**	-0.151**	-0.232**	0.088	0.167**

¹⁾：曲げ試験における引張り面中心までの髓からの距離及び年輪数

*：危険率5%で有意，**：危険率1%で有意

(4)節との関係

曲げ強さ、曲げヤング係数と節との相関は二方桁における相関が低かった。これは柾目面荷重が、比較的節の影響を受けないこと、また、引張り面における節が柾目面で流れ節となり、その評価が曖昧になるということも影響していると思われる。

(5)引張り面の髄からの距離と年輪数

曲げ強さとの関係は、木取りで区分した場合に全体でみるよりも相関係数が低い。これは木取りが同じ場合、髄から引張り面中心までの距離及び年輪数の範囲が少ないためと考えられる。

(6)曲げヤング係数と曲げ強さの関係

曲げヤング係数と曲げ強さとの関係は、すべての木取りで相関の度合いが高く、特に四方桁において高い相関関係が認められた。

3.2 縦圧縮強度性能

3.2.1 7林分の強度特性

長野県内の7林分から得られたカラマツ縦縮試験体数は表2.6-1に示したとおりである。全体の供試木数は72本、これから得た試験体総数は288体であり、この内1丁取りが80体、2丁取りが104体、4丁取りが104体であった。また、1～6番玉から得た試験体数は、順に100体、64体、63体、33体、20体、8体で、とくに6番玉から得られた試験体数が少ない。各林分別の試験体数を見ると、林分Bが30体と一番少なく、林分CとFが50体と一番多かった。

なお、林分Aでは、1丁取りの試験体はない。また、林分B、Fにおいても1丁取りは少ない。これに対し、林分E、Gでは1丁取りのものが多数を占める。このことは、林分EとGの胸高直径が31～32cmと小さいことと関連している。

表3.2-1に各林分毎の縦圧縮強さ、各種材質指標の平均値と標準偏差を、図3.2-1に平均値±標準偏差の値を示した。

さて、表3-2-1と図3-2-1から縦圧縮強さ、各種材質指標の値の大きさによって、7林分を3～4のクラスに分けることができる。便宜上、縦圧縮強さと密度は大きい順に、その他は小さい順に並べると次のとおりである。

縦圧縮強さと各種材質指標のクラス分け

縦圧縮強さ	E	B, A, G	F, C, D	
平均年輪幅(昇順)	G, A	F, C	E, D, B	
密度	A, E	G, B	F, D	C
最大節径比(昇順)	D, G	C, E	A, B, F	
集中節径比(昇順)	D	C, G	F, B, A, E	

はじめに、縦圧縮強さを各林分の平均値で見ると、林分Eがとくに高く(377 kgf/cm²)、B, A, Gがこれに続き(320～330kgf/cm²)、そしてF, C, Dグループの順となった。縦圧縮強さが小さい3林分F, C, Dの値は、それぞれ298, 294, 288kgf/cm²とほぼ等しいと

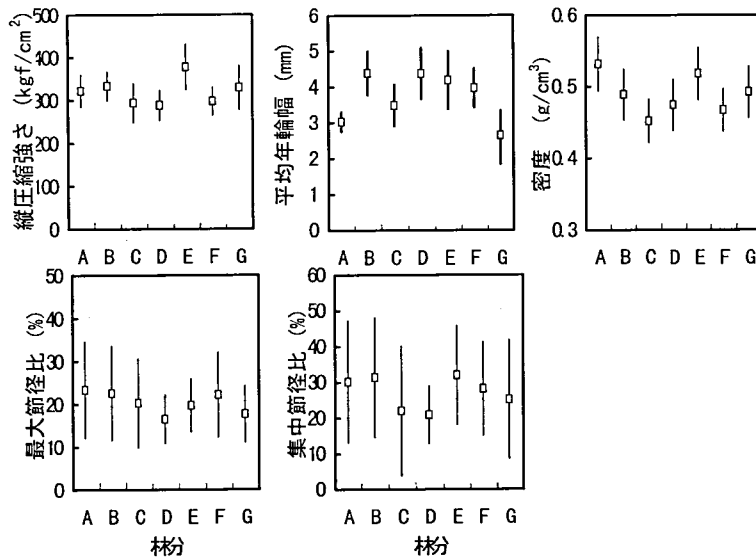


図3.2-1 各林分の縦圧縮強さと各種材質指標の平均値と標準偏差

も言える値である。林分E, C, Gの標準偏差が他の4林分に比較して大きい。とくに、林分Eでは、縦圧縮強さが最高であると同時に、標準偏差も一番大きい。

年輪幅を見ると、林分D, E, Bの年輪幅が広く、林分F, Cが中庸、A, Gの年輪幅はかなり狭い。林分Gの年輪幅はとくに小さく、これは海拔が1850mと高く、成長が不良であったためと思われる。なお、年輪幅の標準偏差の比較的大きい林分はD, E, Gであった。林分Aの年輪幅の標準偏差はとくに小さい。林分Aは1丁取りを欠いているため、標準偏差を小さくしていると思われる。また、林分EとGでは1丁取りが多いため、年輪幅の標準偏差が大きくなったとも考えられる。

密度を見ると、林分A, Eでは0.52~0.53、林分G, Bでは0.49~0.50、林分F, Dが0.47付近、林分Cが一番小さく0.45であった。密度の標準偏差には林分で大きな差はなかった。

次に最大節径比では、林分A, B, Fがやや高い平均値(22.2~23.4%)を示すとともに、標準偏差も比較的大きい。林分C, Eがこれに続き(19.7~20.3%)、林分D, Gで一番小さい(16.5~17.7%)。また、集中節径比では、林分F, B, A, Eで大きい値を示し、林分Gがこれに続き、林分D, Cで小さい値を示した。

林分A, B, Fに認められるように、最大節径比の大きいものは集中節径比も大きい傾向がある。一方、林分D, C, Gでは両者ともに小さい。林分Eは、最大節径比は比較的小さいのに対して、集中節径比がやや大きい。

以上に述べた縦圧縮強さと各種材質指標のクラス分けの検討から、次の点が指摘できる。

- 縦圧縮強度と密度のクラス分けが良く符合する。
- 年輪幅によるグループ分けと密度のそれはかならずしも良い符合を示していない。
- 集中節径比ないし最大節径比と縦圧縮強さのクラス分けはよく符合するとは言えない。

d)地位の高い林分A, B, Eは縦圧縮強さの大きいグループとほぼ符合する。地位の低い林分C, Dの縦圧縮強さは小さい。

なお、各種材質指標と樹齢との関係を見ると、年輪幅が高樹齢側で、すなわち産地C > A > Gの順にかなり狭くなる傾向が認められる。また、産地Gを除く時、樹齢の高い産地で密度がやや高くなる傾向がある。その他では明確な傾向は認められなかった。

次に、曲げの場合と同様に、同一地域と見なせる臼田営林署管内の林分A（樹齢65年）とC（樹齢50年）、伊那営林署管内のB（50年）とD（42年）を比較すると、いずれも樹齢が高い林分で縦圧縮強さが高く、曲げと同様の結果となった。

さらにほぼ同樹齢と見なせる林分D（樹齢42年）、E（44）、F（40年）を比較すると、縦圧縮強さの平均値はE > F > Dの順で、とくにEが高いことなど曲げ強さと同じ傾向が認められた。

図3.2-2は各林分の縦圧縮強さの累加頻度曲線を示す。林分Eでとくに高い値を取り、B, A, Gグループがこれに続いて、F, C, Dが低い値を示し、累加頻度曲線も3つのグループに分かれることがわかる。とくに林分EとGで変動幅が大きい傾向が明らかである。なお、縦圧縮強さが高いところに分布する林分EならびにGの曲線において、測定値がやや不連続的に飛ぶ傾向が認められる。林分EとDは1丁取りが主体であり、これに由来する木取りないし番玉の違いによる可能性がある。

図3.2-2の累加曲線から求めた縦圧縮強さの5th%tile値を表3.2-1に示した。5%下限値は林分Eの282kgf/cm²から林分Cの224kgf/cm²の値であった。ただし、各林分の試験体数が少ないため、各林分とも5%下限値は下から2～3番目の値であった。

カラマツ材は樹種群¹⁵⁾として、針葉樹Ⅲ類として位置づけられており、日本建築学会木質構造設計基準・同解説においては縦圧縮許容応力度として、普通構造材65kgf/cm²、上級構造材として80kgf/cm²が規定されている。許容応力度の3倍の値である材料強度と表3.2-2に示

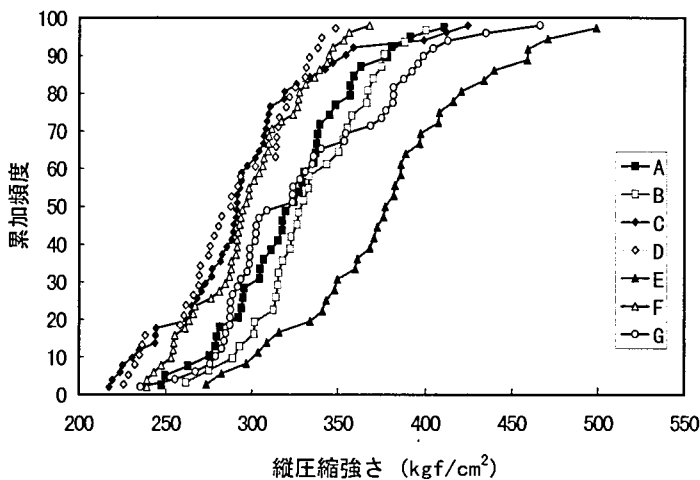


図3.2-2 林分別の縦圧縮強さの累加頻度曲線

表3.2-1 7林分の縦圧縮強さと各種材質指標の平均値

林分	平均年輪幅 cm	密度 g/cm ³	最大節径比 %	集中節径比 %	縦圧縮強さ kgf/cm ²	5%下限値 kgf/cm ²
A	0.301	0.531	23.4	30.2	322	250
B	0.439	0.488	22.6	31.4	333	275
C	0.349	0.451	20.3	22	294	224
D	0.437	0.473	16.5	20.9	288	228
E	0.418	0.518	19.7	32	377	282
F	0.397	0.467	22.2	28.2	298	240
G	0.264	0.492	17.7	25.2	329	260
平均	0.372	0.489	20.3	27.1	320	251

した7林分の5%下限値を比較すると、普通構造材としては全ての林分で、上級構造材としてはC、Dを除いた林分で満足していた。

3.2.2 木取り別に見た林分の縦圧縮強度特性

図3.2-3は、各林分別に縦圧縮強さと木取りの関係を示している。図のとおり各林分毎に異なる傾向を示し、一定の傾向は認めがたいが、1丁取りよりも4丁取りの方がやや縦縮強さが大きくなる傾向がある。しかし、その影響は小さい。

図3.2-4は木取り別に縦圧縮強さの林分比較を示している。1丁取り、4丁取りでは、木取りを考慮しない林分の比較結果（図3-2-2）と同様の傾向が認められ、林分Eが特に高く、次にA、B、Gが高い値を示し、林分C、D、Fの値が小さい。

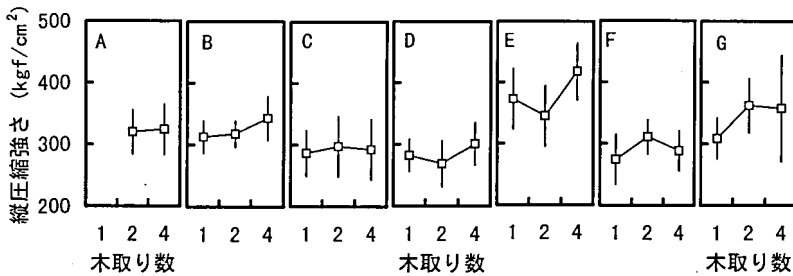


図3.2-3 各林分別の縦圧縮強さと木取りの関係

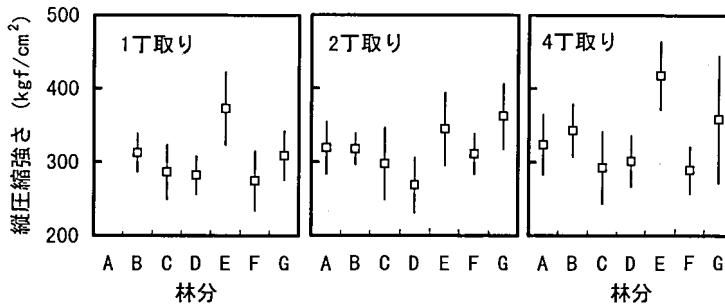


図3.2-4 木取り別に見た縦圧縮強さの林分比較

しかし、2丁取りの場合、少し傾向が異なった。すなわち、林分Gの縦圧縮強さが一番大きく、わずかの差でEが続いて、A、B、F、さらにC、Dの順となった。1、4丁取りの場合と比較するとき、林分Eの値が小さめであり、林分Fの値が高めである。

このように、2丁取りの場合に、圧縮強さの順序が少し変化するが、木取りによって林分の縦圧縮強さの相対的關係が木取りを考慮していない図3.2-2の結果と大きく異なることはなかった。

3.2.3 番玉別に見た林分の強度特性

各林分について縦圧縮強さと番玉との關係を図3.2-5に示した。林分Fでは3番玉までしかないが、その範囲で縦圧縮強さはほとんど変化しない。林分B、Gでは、番玉数が上がるにつれて圧縮強さが減少する。林分A、C、D、Eでは4番玉ないし5番玉まで圧縮強さが減少するが、その後に圧縮強さが少し増加している。

このように、林分FとEを除く5林分では、番玉数が上がるにつれて縦圧縮強さが減少する傾向が認められた。

図3.2-6は、番玉別の縦圧縮強さの林分比較を示している。3番玉までを見ると、番玉数が上がるにつれて、1番玉に認められるAからG林分が示す縦圧縮強さの並びパターンが、2番玉、3番玉へと、すこしずつ低い位置にシフトする傾向が認められる。しかし、7林分の縦圧縮強さの相対的關係は番玉によって変化しない。

3.2.4 縦圧縮強さと各種材質指標との關係(林分別)

縦圧縮強さと各種材質指標(年輪幅、密度、最大節径比、集中節径比)との間の単相関分析の結果を、各林分毎に表3.2-2にまとめて示した。表中の相関係数の上添字で**は危険率1%で有意、*は危険率5%で有意であることを示す(以下表と図の相関係数に同様の表示を用いる)。

表3.2-2から明らかなように、Bを除く全ての林分で縦圧縮強さと密度との間に高い相関が認められ、実大縦圧縮強さが基本的に密度に依存することは明らかである。また、林分D、Gを除くと、縦圧縮強さと最大節径比ないし集中節径比との間にもかなりの相関が認められ、縦圧縮強さは節径比が大きくなると減少する傾向があることを否定できない。

どちらかといえば、最大節径比との相関がやや強い。

なお、縦圧縮強さと平均年輪幅の間には、産地Bを除いて、明確な關係は認められなかった。

3.2.5 縦圧縮強さと各種材質指標の林分平均値間の關係

7林分の特徴を見るために、縦圧縮強さ、平均年輪幅および密度の平均値の林分間での相

表3.2-2 縦圧縮強さと各種材質指標との間の単相関係数

林分	密度	平均年輪幅	最大節径比	集中節径比
A	0.605**	-0.254	-0.433**	-0.390*
B	0.354*	-0.508**	-0.434*	-0.460*
C	0.451*	-0.299	-0.548**	-0.303*
D	0.739**	-0.179	-0.052	-0.091
E	0.677**	-0.068	-0.291	-0.508**
F	0.708**	-0.131	-0.408**	-0.335*
G	0.679**	-0.129	-0.034	-0.156

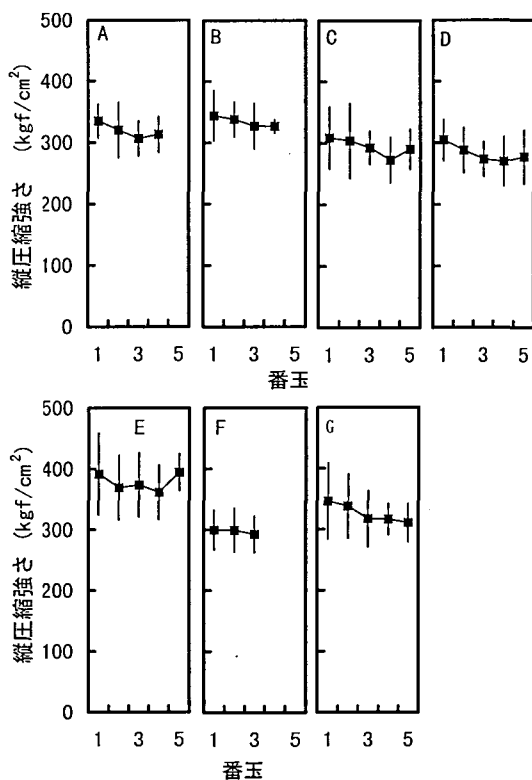


図3.2-5 各林分別に見た縦圧縮強さと番玉の関係

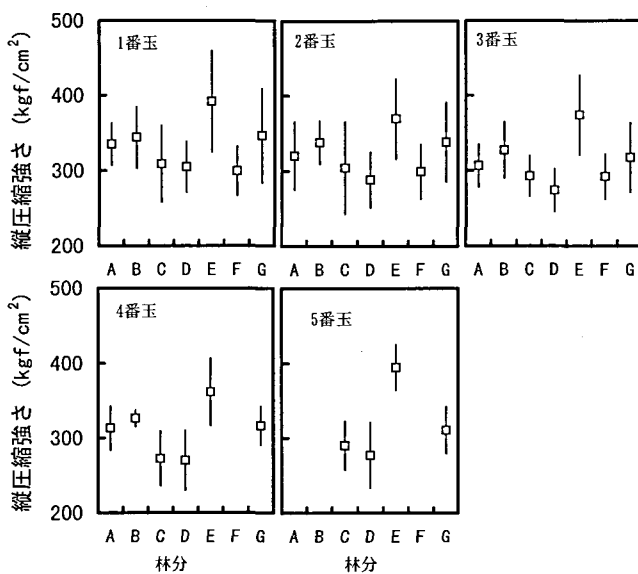


図3.2-6 番玉別に見た縦圧縮強さの林分比較

互の関係を図3.2-7に示した。図のように、年輪幅と縦圧縮強さの関係をプロットすると、G、A、C、F、Dの値が一直線上に並んで現れ、これら5林分については、林分平均値で見ると、平均年輪幅が大きくなると縦圧縮強さが減少することを示す。しかし、林分EとBの値は少し外れたところにある。とくに、一番高い縦圧縮強さを示す林分Eでは、平均年輪幅が広いにもかかわらず縦圧縮強さが高く現れている。また、林分Eほどではないものの林分Bも年輪幅のわりには、やや高めめの縦圧縮強さを示す。

次に、平均年輪幅と密度の関係を見ると、一定の傾向を示していないが、林分AとEの密度が平均年輪幅のわりに高めに現れている。

さらに、密度と縦圧縮強さの関係を見ると、縦圧縮強さが密度の増加にともなって大きくなる傾向が認められる。ほぼ同程度の密度を示す林分AとEを比較するとき、Eのプロットは図中の直線（7プロットについて求めた回帰直線）の上に位置し、林分Aのプロットはその直線より低いところに位置する。

以上のことから、林分Eの場合、比較的平均年輪幅が広いにもかかわらず密度がやや高めである。したがって、平均年輪幅のわりには縦圧縮強さが高い値を示すものと考えられる。これに対して、林分Aの場合、比較的高めの密度を示すが、縦圧縮強さはやや低めに現れた。林分Aでは1丁取りがないのに対して、林分Eでは1丁取りが多数であったことなどが関連している可能性が考えられる。

なお、林分Cは中庸な年輪幅であるのに平均密度が最小であり、縦圧縮強さも低い。

表2.1-1の記載によると、駒ヶ根営林署管内の林分Eは、成長はきわめて良いものの、風衝地であるためと思われるが、偏心成長が顕著である。おそらく圧縮あてが随所に発生し、年輪幅のわりに高い密度をもたらし、あて材について知られているように¹³⁾、縦圧縮強度を高くしているものと考えられる。また、あて材の存在が、縦圧縮強さの標準偏差を大きくしていることも十分考えられる。

林分Gは高海拔であり、成長が不良であること、1丁取りが主体であることなどから曲げ強さが小さいが、縦圧縮強さはむしろ高い方である。

林分Cは年輪幅が7林分の中で中庸であるのに対し、縦圧縮強さは低い値を示した。

3.2.6 木取り別の考察

全供試体を木取り別に仕分けて、縦圧縮強さと各種材質指標の平均値と標準偏差を表3.2-3と図3.2-8に示す。試験体数は1丁取り80体、2丁取り104体、4丁取りが104体であった。

図3.2-8によると、縦圧縮強さは、1丁から2丁取りで変わらず、4丁取りになるとわずかに増加した。平均年輪幅と密度は、1丁から4丁取りに向かって若干増加する傾向がある

表3.2-3 木取り別の縦圧縮強さと各種材質指標の平均値

木取り	縦圧縮強さ kgf/cm ²	平均年輪幅 mm	密度 g/cm ³	最大節径比 %	集中節径比 %
1丁取り	316	3.6	0.48	20.2	31.5
2丁取り	314	3.6	0.48	21.7	28.3
4丁取り	322	3.8	0.49	18.9	21.6

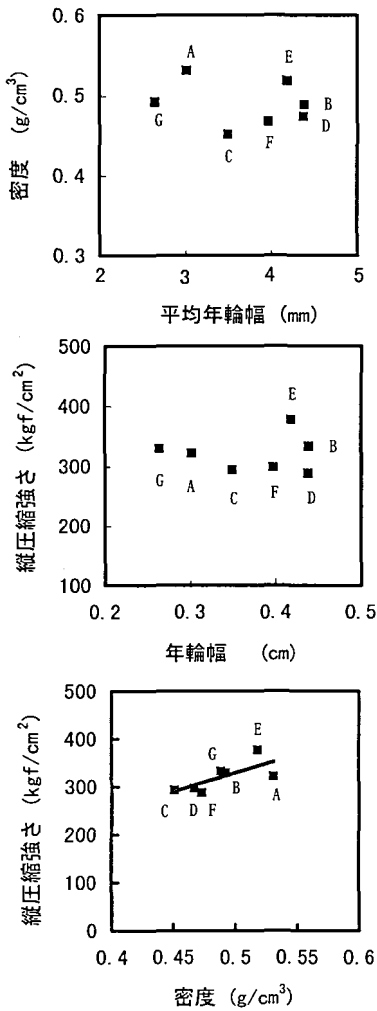


図3.2-7 縦圧縮強さと各種材質指標の林分平均植間の関係

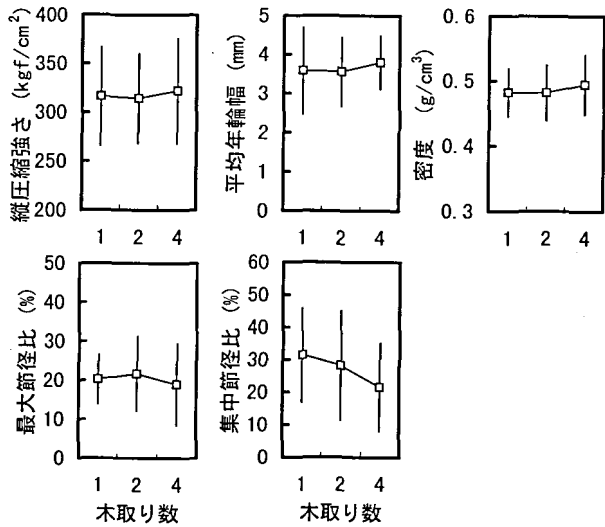


図3.2-8 縦圧縮強さ・各種材質指標と木取りの関係

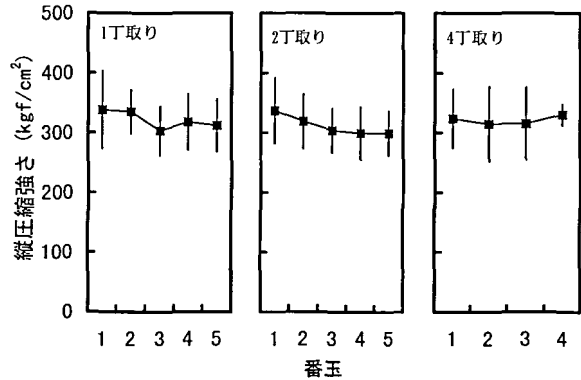


図3.2-9 木取り別の縦圧縮強さと番玉の関係

ものの、木取りの影響は小さい。ただし、平均年輪幅の標準偏差は1, 2, 4丁取りになるほど減少した。最大節径比は、1, 2丁取りで変わらず、4丁取りで少し小さめの値を示した。集中節径比は、1丁取りから4丁取りに向かって明らかに減少傾向を示した。

図3.2-9は木取り毎に、縦圧縮強さと番玉数の関係を示している。1, 2丁取りでは、番玉数が上がるにつれて縦圧縮強さが減少する。しかし、4丁取りでは番玉の影響はほとんど認められない。

表3.2-4に、木取り別の縦圧縮強さと各種材質指標との間の単相関係数をまとめて示した。表から明らかなように、すべての木取りで、縦圧縮強さと密度の間に高い相関が認められる。

木取り別の縦圧縮強さと年輪幅の間には、2丁取りの場合に限り、かなりの相関が認められた。また、圧縮強さと最大節径比の間には、1および2丁取りでは明確な関係が認められなかったが、4丁取りの場合には1%水準で有意な相関が認められた。

表3.2-4 木取り別の縦圧縮強さと各種材質指標との間の単相関係数

木取り	平均年輪幅	密度	最大節径比	集中節径比
1丁取り	0.111	0.670**	-0.091	-0.105
2丁取り	-0.411**	0.591**	-0.226*	-0.077
4丁取り	-0.084	0.631**	-0.322**	-0.189

表3.2-5 番玉別の縦圧縮強さと各種材質指標の平均値

番玉	試験体数	縦圧縮強さ kgf/cm ²	平均年輪幅 mm	密度 g/cm ³	最大節径比 %	集中節径比 %
1	100	329	3.6	0.49	16.2	20.7
2	64	319	3.7	0.48	21.5	25.0
3	63	307	3.8	0.48	22.0	30.2
4	33	310	4.0	0.49	25.0	38.3
5	20	315	3.1	0.49	24.2	33.8
6	8	276	2.8	0.46	18.4	24.3
平均		309	3.5	0.48	21.2	28.7

以上のように、縦圧縮強さに及ぼす木取りの影響は小さい。1丁取りは中心部に未成熟材部を含む。これに対し2丁取りは心で割った正角材、4丁取りは心を通して4つ割りしたものであるから、未成熟材の占める比率が小さく、それだけ縦圧縮強さが大きくなることが予想される。しかし、予想に反して縦圧縮強さは木取りによって大きく変わらない結果が得られた。1丁取りは未成熟材部を含む比率が高いが、未成熟材部が中心柱として含まれるので、縦圧縮応力に対するバランスが良い。1丁取りは本来の弱さをバランスでカバーし、ある程度の圧縮強さを発揮することが考えられる。これに対して、断面に強い部分と弱い部分が偏在する2丁取り、4丁取りの試験体では、縦圧縮強さを低くする何らかの要因が働く可能性が考えられる。

3.2.7 番玉別の考察

番玉別の縦圧縮強さと各種材質指標の平均値を表3.2-5に示す。図3.2-10は縦圧縮強さ、各種材質指標と番玉数の関係を示す。1番玉～6番玉から取った供試体数は、100, 64, 63, 33, 20, 8であった。6番玉はとくに少ない。

図3.2-10によると、縦圧縮強さは一番玉で最も高く、番玉数が上がるにともない、3番玉まで減少するが、3, 4, 5番玉ではほぼ横ばいに推移し、6番玉で急に減少した。平均年輪幅は1番玉から4番玉へとやや増加の傾向を示すが、5, 6番になると減少した。密度は番玉との間に明らかな関係を示さなかった。最大節径比と集中節径比は、6番玉を除いた場

合、番玉が上がるほど大きい値を示した。このことは番玉が上がるほど、縦圧縮強さがやや減少することと矛盾しない。

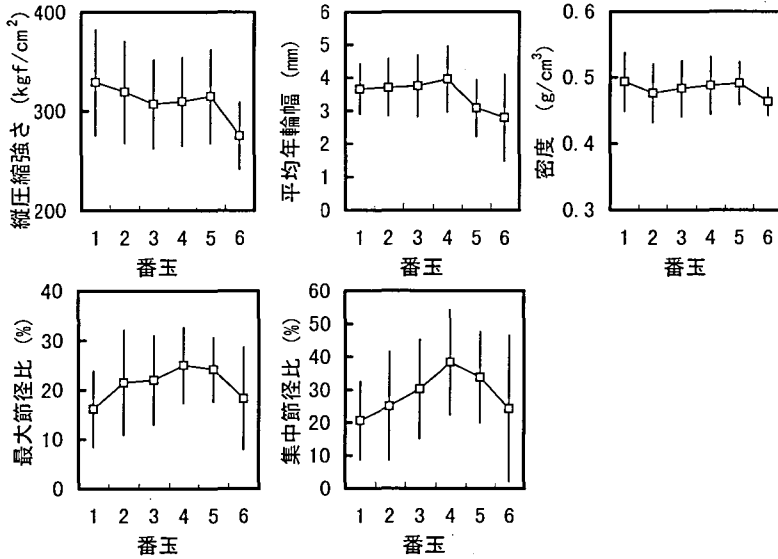


図3.2-10 縦圧縮強さ・各種材質指標と番玉の関係

3.2.8 全体をとおしての検討

林分を考慮することなく、全試験体の縦圧縮強さと各種材質指標の平均値を表3.2-6に示した。縦圧縮強さの平均は317kgf/cm²、標準偏差は50.29であった。全体をとおしての縦圧縮強さと各種材質指標との間の単相関係数を表3.2-7に示した。また、図3.2-11~13には縦圧

表3.2-6 林分全体の平均値

	縦圧縮強さ kgf/cm ²	密度 g/cm ³	平均年輪幅 mm	最大節径比 %	集中節径比 %
平均	318	0.486	3.7	20.3	26.8
標準偏差	50	0.043	0.9	9.2	15.6
最小	218	0.389	2.0	0.0	0.0
最大	499	0.602	6.5	54.7	93.4

表3.2-7 林分全体の縦圧縮強さと各種材質指標の間の単相関係数

	縦圧縮強さ	密度	平均年輪幅	最大節径比	集中節径比
圧縮強さ	1				
密度	0.626**	1			
平均年輪幅	-0.134	-0.191	1		
最大節径比	-0.245*	0.083	0.018	1	
集中節径比	-0.133	0.085	0.045	0.617**	1

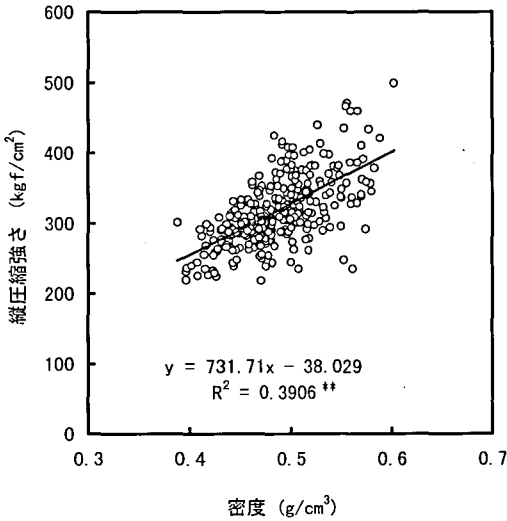


図3.2-11 縦圧縮強さと密度の関係

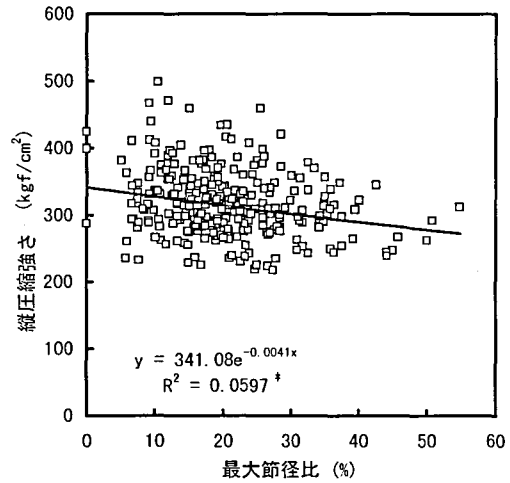


図3.2-12 縦圧縮強さと最大節径比の関係

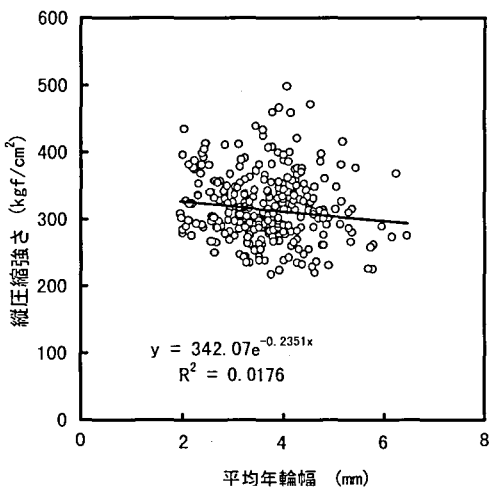


図3.2-13 縦圧縮強さと年輪幅の関係

縮強さと各種材質指標との関係を示した。

図3.2-11に明らかなように、縦圧縮強さと密度の間に明らかな相関(相関係数0.626**)が認められた。さらに、図3.2-12に示すように、縦圧縮強さと最大節径比の間の相関係数は-0.245*であった。林分別の場合と同様に、縦圧縮強さは基本的に密度に依存する。また、節径比が大きくなると、縦圧縮強さが減少する傾向を否定できない。

図3.2-13は、縦圧縮強さと年輪幅の関係を示す。両者の間には相関が認められなかった。実大材の縦圧縮強度を、年輪幅から推定することは困難である。

3.3 縦引張り強度性能

長野県内の7林分から得られた縦引張り試験体数を、林分別、木取り別に表3.3-1に示した。胸高直径をそれぞれの林分ごとにみると、樹齢が高い林分ほど大きくなり、その結果、4丁取りの試験体数が増加していることが認められる。しかし、最高樹齢林分であるG林分については、胸高直径が最小であり、1丁取りの比率が高くなっている。この原因は、G林分が標高が1850mという高地に位置し、生育条件が良くなかったためと考えられる。

縦引張り試験結果の概要を林分別に表3.3-2に示した。本研究では長野県内の7地域から

得られたカラマツ正角の縦引張り強度性能について、産地（地域）ごとに比較することを目的とした。しかし、それぞれの林分での樹齢、成長が異なるために、単純に比較することはできないので、ともに高樹齢の林分であるにもかかわらず、地位条件が異なる2林分について、木取りの方法と関連させて、縦引張り強度性能の比較検討を行った。林分別にみた供試木の胸高直径の平均値と、採材された製材品の木取りを表3.3-1でみると、樹齢はA、Gの両林分ともそれぞれ65、75年生とほぼ同程度であったのに対し、胸高直径はA林分がG林分を大きく上回っていた。その結果、A林分から得られた製材品は4丁取りのものが多く、心持ち1丁取りのものが全くなかったのに対し、G林分から得られた製材品は1丁取り、2丁取りのものがほとんどであった。A、Gの2林分についての試験結果を比較すると、A林分から得られたカラマツ正角は、G林分から得られた正角と比較して、平均年輪幅（AW）が広いにもかかわらず、密度（ ρ ）で7%、引張りヤング係数（Et）で9%、縦引張り強度（ σ_t ）で30%大きかった。これらの結果は、地位条件の違いによって異なる肥大成長の良否によって木取り方法の異なったために、各製材品中に占める未成熟材部の割合が異なっていたことに起因してると考えられる。

そこで、縦引張り強度性能に及ぼす採材部位（番玉、木取り）の影響を検討するために、7林分から得られた試験体の縦引張りヤング係数（Et）、および縦引張り強度（ σ_t ）を番玉別、木取り別に図3.3-1、図3.3-2に示した。これらの図から、番玉についても、木取りについても特徴的な傾向は認められなかった。しかし、今回用いた試験体の縦引張り強度性能には、番玉、木取りの影響に加えて、それぞれの林分間での樹齢や地位条件の違いが複合的に影響しているため、番玉、木取りの影響についての傾向が明瞭に表れなかったとも考えられる。よって、今後、これらの因子が強度性能に及ぼす影響について検討するためには、その目的に適應した試験体の採取が必要であると考えられる。

3.4 曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の全体評価

表3.3-1 カラマツ正角の縦引張り試験体数（林分別）

	産地 (長野県)	樹齢	胸高直径 (cm)	供試木数	試験体数	木取り別試験体数		
						1丁取り	2丁取り	4丁取り
A	大曲	65	43	7	31	0	8	23
B	長谷	50	39	7	39	4	12	23
C	北相木	50	37	10	45	11	25	9
D	長谷	42	37	10	37	5	11	21
E	大鹿	44	32	10	33	15	14	4
F	東俣	40	34	15	40	0	20	20
G	入笠	75	31	13	39	25	10	4
	総数			72	264	60	100	104

表3.3-2 カラマツ正角の縦引張り試験結果 (林分別)

	n	ρ (g/cm ³)	KCt (%)	SKCt (%)	AW (mm)	Efrl (x10 ³ kgf/cm ²)	Et (x10 ³ kgf/cm ²)	σt (kgf/cm ²)
A	31	0.52	25.6	30.6	3.3	114.9	108.6	288
B	39	0.47	40.7	52.0	4.4	102.7	97.0	221
C	45	0.45	33.3	46.8	3.6	102.6	102.2	212
D	37	0.48	40.4	55.6	4.8	99.6	95.7	208
E	33	0.52	26.4	42.4	4.6	111.0	107.0	205
F	40	0.46	44.5	60.3	3.9	102.7	99.1	233
G	39	0.49	29.1	44.5	2.8	107.5	99.6	222
Mean		0.48	34.6	48.1	3.9	105.4	101.0	226

n : 試験体数, ρ : 密度, kct : 最大節径比, SKCt : 集中節径比, AW : 平均年輪幅
Efrl : 縦振動によるヤング係数, Et : 縦引張りヤング係数, σt : 縦引張り強さ

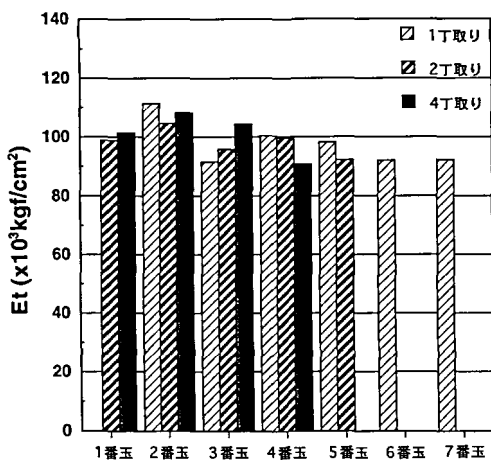
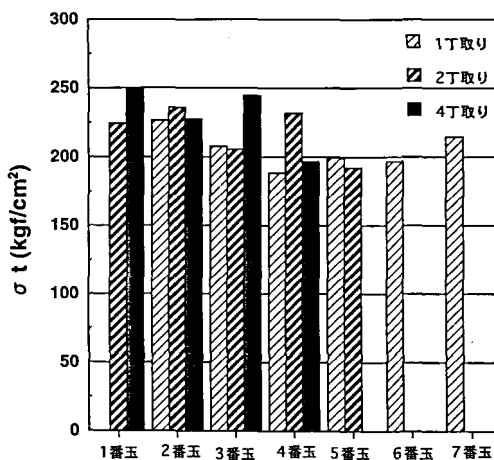


図3.3-1 番玉・木取り別にみた縦引張りヤング係数 (Et) の平均値の比較

図3.3-2 番玉・木取り別にみた縦圧縮強度 (σt) の平均値の比較

3.4.1 縦引張・縦圧縮・曲げ強さの総合評価

樹齢順に、7林分の実大強度の平均値を表3.4-1にまとめて示し、これらを図示すると図3.4-1のとおりである。

表3.4-1と図3.4-1から、7林分を各種強さで3～4つのクラスに分けると次のとおりである。()内の数字は林分の平均強さ (kgf/cm²)である。

表3.4-1 7林分の縦引張り・縦圧縮・曲げ強さの平均値

林分	樹齡年	密度 g/cm ³	縦引張り強さ kgf/cm ²	縦圧縮強さ kgf/cm ²	曲げ強さ kgf/cm ²
F	40	0.467	233	298	439
D	42	0.473	208	288	395
E	44	0.518	205	376	482
B	50	0.488	221	333	426
C	55	0.451	212	294	447
A	65	0.531	288	322	541
G	75	0.492	222	330	426
平均		0.489	227	320	451

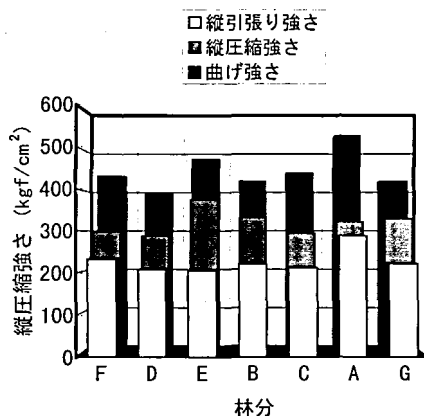


図3.4-1 7林分の縦引張り強さ、縦圧縮強さ、曲げ強さの比較

引張：A(288) F(233)G(222)B(221) C(212)D(208)E(205)
 圧縮：E(376) B(333)G(330)A(322) F(298)C(294)D(288)
 曲げ：A(541) E(482) C(447)F(439)G(426)B(426) D(395)

このようなクラス分けから見ると、林分Aは縦引張りと曲げで特に優れ、縦圧縮も上から2つ目のクラスに位置し、7林分の中で総合的に一番優れている。これと対極にあるのが林分Dで、3種強さともに一番低いクラスにあり、総合的に一番劣る。林分Eは、圧縮で一番、曲げでも2番目の位置にあるが、縦引張りでも最下位にある。次に林分GとBは3種強さとも中位のクラスに位置付いており、総合的に中庸な強度的性質を示すと考えられる。

次に続くのは林分Fで、縦引張り、曲げで中位にあるが、縦圧縮が第3クラスにある。林分Cは曲げで中位であるが、縦圧縮と縦引張りで第3クラスにあった。

以上の検討から、総合的な実大強度の評価として、次のようになる。

$$A > E > G, B > F > C > D$$

無欠点小試験体の引張り強さ：曲げ強さ：圧縮強さの比率は、3：2：1であるのに対して、実大強度は曲げ強さ>縦圧縮強さ>縦引張り強さの順になるといわれている。本実験での曲げ強さ、縦圧縮強さおよび縦引張り強さの3者の相対的関係を検討するために、表3.4-2に7林分の縦引張り及び縦圧縮強さの曲げ強さに対する比率を示した。表から明らかのように、曲げ強さ>縦圧縮強さ>縦引張り強さとなる関係が認め

表3.4-2 曲げ強さに対する比率

林分	縦引張り強さ	縦圧縮強さ
F	0.53	0.68
D	0.53	0.73
E	0.43	0.61
B	0.52	0.78
C	0.47	0.82
A	0.53	0.60
G	0.52	0.77
平均	0.50	0.71

られた。縦引張りの場合、林分EとCを除いた5林分では、曲げ強さに対する比率が0.52~0.53とほぼ様な値を示した。縦引張強さでは林分Aが特に優れていたが、曲げに対する比率でみると平均的ともいえる。むしろ、林分EとC、とくに曲げに対する比率が低い

林分Eが特異であるように思われる。

圧縮の場合、曲げ強さに対する比率は、バラツキが大きく一定の傾向を掴みにくい。高い比率を示す林分は、C : 0.821, B : 0.782, G : 0.774であって、D : 0.729, F : 0.679が続いて、とくに低い比率を示す林分はE : 0.609, A : 0.595であった。注目されるのは林分EとAの比率が小さいことである。林分Eの圧縮強さは一番高いにもかかわらず、曲げに対する比率は0.609と小さい。また、林分Aの場合、圧縮強さは中庸であるが、曲げ強さが特に高いために、比率が小さくなったものであろう。

3.4.2 曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の5th%ile 値

現在、我が国では、国・公立の試験研究機関での試験機等の設備の充実により、実大材による強度試験データが蓄積されつつある²¹⁾。しかし、それらの強度データを応力別にみると、そのほとんどが曲げ強度データであり、縦圧縮強度、および縦引張り強度のデータについては必ずしも十分であると言えない状況である。そこで、製材品の許容応力度を算出する場合には、実大材の曲げ強度を基準として、曲げ強度、縦圧縮強度、縦引張り強度のそれぞれの特性値の相対的比率から割り当てられていると考えられる。そこで、本研究で得られたカラマツ正角の曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の5th%ile 値の相対的関係について検討した。

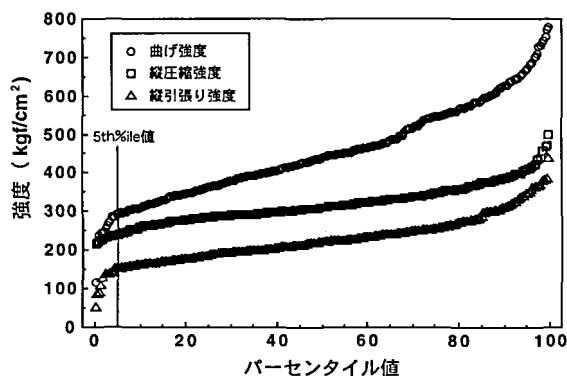


図3.4-2 曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の正規化した分布

図3.4-2に全試験データを正規化した曲げ、縦圧縮、縦引張り強度の分布を示した。スギ正角による既往の研究²¹⁾では、曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の5th%ile 値の相対的関係は、1.00 : 0.84 : 0.64という結果が得られている。そこで、今回用いたカラマツ正角の曲げ、縦圧縮、縦引張り強度について、それぞれの5th%ile 値を算出すると、293kgf/cm²、239kgf/cm²、151kgf/cm²となり、曲げ強度を基準とした相対的比率は1.00 : 0.82 : 0.51であった。スギの場合に比べると、曲げ強度に対する縦圧縮強度の比率はほぼ同じであるが、縦引張り強度の比率はやや低い結果であった。しかし、この相対的関係は試験に用いた試験体の品質によっても影響を受けることが指摘されているので、今回の結果が、組織構造等が異なることによる樹種特性に依存するのかについては、他樹種も含めて、今後検討が必要と思われる。

3.5 曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の非破壊的評価

3.5.1 曲げ強さ

3.5.1.1 目視及び非破壊的手法を用いたヤング係数測定による曲げ強さの推定

目視による強度性能評価の指標である節径比（最大単節径比（KL），最大集中節径比（SKL）），及び平均年輪幅（AW）と曲げ強度性能（曲げ強さ（ σ_b ），曲げヤング係数（Eb））の間の単相関係数（r）を表3.5-1に示した。また，本試験で測定した曲げ破壊試験における髓と引張り面の中心までの距離及び年輪数との関係も表3.5-1に示した。

表3.5-1 目視による評価因子と曲げ強度性能との間の単相関係数

	$\rho^{1)}$	Eb ²⁾	$\sigma_b^{3)}$
KL ⁴⁾	0.065	-0.199**	-0.173**
SKL ⁵⁾	-0.006	-0.169**	-0.296**
AW ⁶⁾	-0.139*	-0.160**	-0.168**
DP ⁷⁾	0.191**	0.088	0.456**
NAP ⁸⁾	0.280**	0.167**	0.495**

- 1)：密度
- 2)：曲げヤング係数
- 3)：曲げ強さ
- 4)：最大節径比
- 5)：集中節径比
- 6)：平均年輪幅
- 7)：髓から引張り面中心までの距離
- 8)：髓から引張り面中心までの年輪数
- *：危険率5%で有意，**：危険率1%で有意
- n = 315

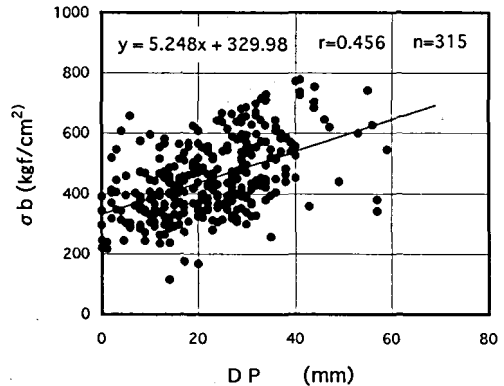


図3.5-1 髓から引張り面中心までの距離（DP）と曲げ強さ（ σ_b ）の関係

KL と Eb, SKL と Eb との間における相関係数は，それぞれ-0.199， -0.169であり， KL と σ_b , SKL と σ_b との間でも相関係数はそれぞれ-0.173， -0.296であり，あまり高い相関関係は認められなかった。しかしながら，表3.1-8及び3.1-10に示したとおり，引張り面に限れば単節最大節径比及び集中節径比と σ_b との間には0.4以上の相関関係が認められており，引張り面に限れば節の影響は高いと言える。

AW と Eb, 及び AW と σ_b との間では相関係数はそれぞれ-0.160および-0.168であり，表に示したように負の相関が得られ，統計的には有意であったが，実用性を考えると十分とはいえない。

一方，表3.5-1に示すように髓と引張り面中心との距離（DP），及び年輪数（NAP）と σ_b との間の相関係数は0.456及び0.495となり，DP と σ_b との関係を図3.5-1に示したが，比較的高い正の相関関係が認められた。髓からの距離あるいは年輪数が小さい場合は引張り側が未成熟材，大きい場合は成熟材と考えることができ，この結果はカラマツ造林木のように初期成長が旺盛で，未成熟材部の樹幹に占める割合の大きな樹種の特徴と考えることができ

きる。また、同じ正角を横架材等に使う場合、成熟材部を引張り側にすれば、それだけでも曲げ強さに対しては有利な使い方となる。

信州大学農学部から長野県林業総合センターに試験材を移動した直後に、非破壊試験として死荷重載荷による静的曲げヤング係数 (Edw)、縦振動法による動的縦ヤング係数 (Efr)、超音波伝播時間による動的縦ヤング係数 (Eus) 及び弾性波伝播時間による動的ヤング係数 (Eth) の測定を行った。これら4種類のヤング係数と曲げ強さの関係を図3.5-2、図3.5-3、図3.5-4及び図3.5-5に示した。また、これらの関係を示す単相関係数 (r) 及び4種類の非破壊試験によるヤング係数と曲げ破壊試験により求めた曲げヤング係数 (Eb) との関係を示すそれを表3.5-2に示した。以上の図及び表に示した相関分析に用いたデータは、非破壊により求めたヤング係数の3データに欠落があり、それを除いた312試験体である。

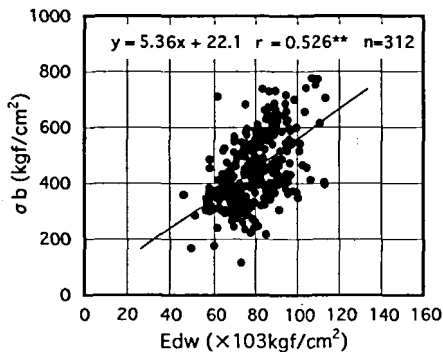


図3.5-2 死荷重載荷法によるヤング係数 (Edw) と曲げ強さ (σ_b) の関係

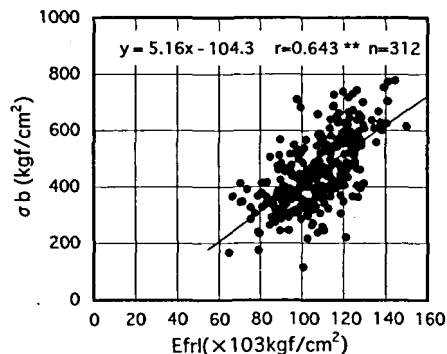


図3.5-3 縦振動法によるヤング係数 (Efr) と曲げ強さ (σ_b) の関係

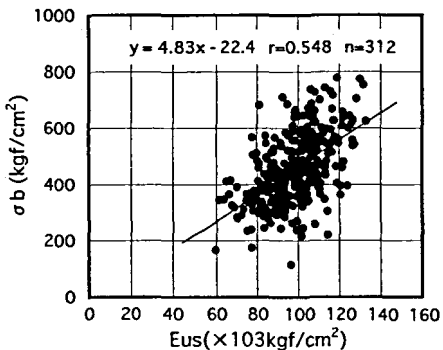


図3.5-4 超音波伝播法によるヤング係数 (Eus) と曲げ強さ (σ_b) の関係

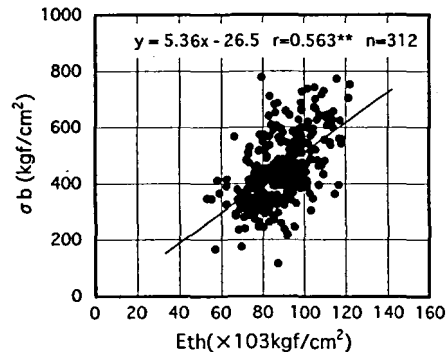


図3.5-5 弾性波伝播法によるヤング係数 (Eth) と曲げ強さ (σ_b) の関係

4種類の非破壊試験はビニールシートで覆い、屋外に保存されていたものを林業総合センター移動直後に行ったものであり、その後室内に保存して数年間かけて行った曲げ破壊試験時とは含水率のばらつきの程度が異なると考えられるがEdw, Efr, Eus, EthとEbの間の相関係数は0.622, 0.794, 0.698及び0.714であり、安定して比較的高い相関関係が認められた。また、Edw, Efr, Eus及びEthと σ_b との間に得られた単相関係数は、それぞれ、

表3.5-2 非破壊試験により求めたヤング係数と曲げ強度性能との間の単相関係数

	$\rho^{1)}$	Eb ²⁾	$\sigma b^{3)}$
Edw ⁴⁾	0.581**	0.622**	0.526**
Efr ⁵⁾	0.618**	0.794**	0.643**
Eus ⁶⁾	0.594**	0.714**	0.548**
Eth ⁷⁾	0.628**	0.698**	0.563**
Eb ²⁾	0.551**		0.591**

1)~3)：表3.5-2注に同じ

4)：死荷重載荷法によるヤング係数

5)：縦振動法によるヤング係数

6)：超音波伝播法によるヤング係数

7)：弾性波伝播法によるヤング係数

*：危険率5%で有意，**：危険率1%で有意

n=312

0.526, 0.643, 0.548及び0.563であり、3種類の中ではEfrと σb との関係が最も高く、これはEbと σb との間に得られた値0.591よりも高かった。

以上のことから、目視によるカラマツ実大材（正角）の曲げ強さの推定は4材面評価の節径比（最大節径比，集中節径比）及び年輪幅ではその信頼性は低いが、曲げ応力を受ける方向を限定して、引張り側の節径比で評価すればその信頼性は向上することが明らかとなった。また、同様に曲げ応力を受ける方向を限定すれば、引張り面に対する髓の位置によってある程度曲げ強さの推定が可能であることが示された。

一方、上記の非破壊試験により得られた4種類のヤング係数、すなわち死荷重載荷による静的曲げヤング係数（Edw）、縦振動法による動的縦ヤング係数（Efr）、超音波伝播時間による動的縦ヤング係数（Eus）及び弾性波伝播時間による動的ヤング係数（Eth）については曲げ強さを安定して評価することができることが示された。

3.5-2 縦圧縮強さ

縦圧縮試験体は、曲げ強度試験後の健全部から採られている。あらかじめ、縦振動法によって曲げ試験体のヤング係数を測定しているため、圧縮強さと動的ヤング係数との関係を図3.5-6に検討した。図のとおり、両者の間に明らかな相関（ $R=0.541^{**}$ ）が認められる。図のようにバラツキはあるものの、非破壊的に求めた縦振動によるヤング係数によって、ある程度の確度で縦圧縮強さを予測できるものと思われる。

そこで、縦振動によるヤング係数で4ランクにクラス分けした場合の圧縮強さの累加頻度曲線を図3.5-7に示す。クラス140は試験体数が少ないので除くとして、各クラスの累加頻度曲線が明確に分離し、縦圧縮強さの5%下限値も大きく異なることが分かる。このことから、縦圧縮強さに対しては非破壊的にヤング係数を求めて、等級区分する意味が大きいことがわかる。

これに対して、目視による等級区分の例として、集中節径比で全体を6クラスに等級分けした場合の縦圧縮強さの累加頻度曲線を図3.5-8に示す。図のとおり、集中節径比10%以下の場合、分布曲線が少し高いところに現れるが、集中節径比10%以上でのクラス分けがあまり意味を持たないことを示す。

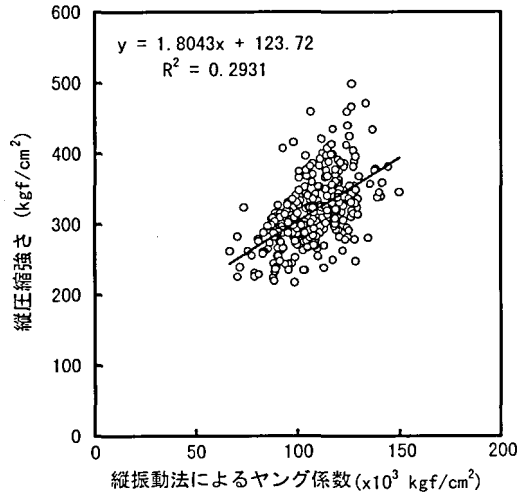


図3.5-6 縦圧縮強さと縦振動法によるヤング係数 (Efrl) との関係

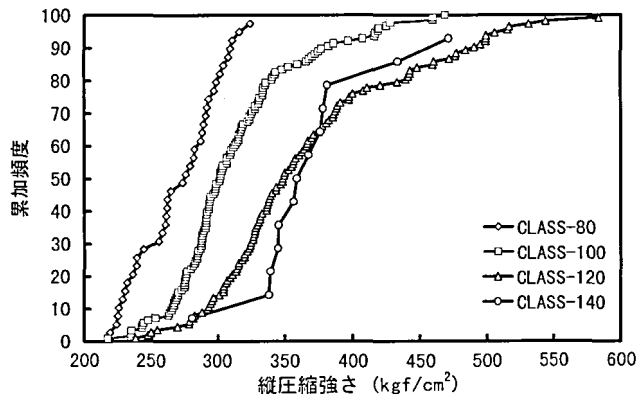


図3.5-7 縦振動法によるヤング係数で等級区分した場合の縦圧縮強さの累加頻度

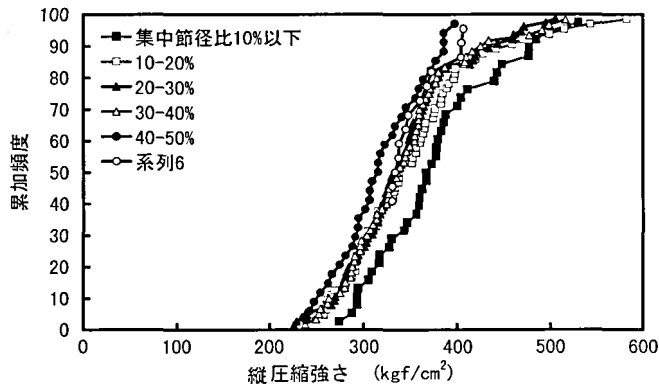


図3.5-8 集中節径比でクラス分けした場合の累加頻度

また、JASの甲乙の等級区分によってクラス分けし、圧縮強さの累加頻度曲線を求めると、両者の場合とも累加頻度曲線が重なって現れ、目視による等級区分は圧縮強さに対してはあまり意味を持たない。

以上のことは、圧縮強さは基本的に密度に依存することを示しており、同時に最大節径比が決定的影響を持たないかあるいは破壊に関する節の評価法に問題が残ることを示す。

3.5.3 縦引張り強さ

目視による強度性能評価の指標である節径比（最大単独節径比（K_{Ct}）、最大集中節径比（SK_{Lt}）、および平均年輪幅（AW）と、縦引張り強度性能（縦引張りヤング係数（E_t）縦引張り強度（ σ_t ））との間の単相関係数（ r ）を表3.5-3に示した。K_{Ct}とE_t、SK_{Lt}とE_tとの間における単相関係数は、それぞれ-0.15*（*：危険率5%で有意。以下同様。）、-0.22**（**：危険率1%で有意。以下同様。）、K_{Ct}と σ_t およびSK_{Lt}と σ_t の間においても単相関係数はそれぞれ $r=-0.12$ ns（ns：危険率5%で有意差なし。以下同様。）、-0.18*程度であり、あまり高い相関関係は認められなかった。既応の正角曲げ試験に関する研究²¹⁾によれば、節径比と縦引張り強度との間の単相関係数は、正角の場合、カラマツでは概ね0.3~0.4で、

表3.5-3 目視による評価因子と縦引張り強度性能との間の単相関係数

	ρ	E _t	σ_t
K _{Lt}	-0.35**	-0.15*	-0.12ns
SK _{Lt}	-0.29**	-0.22**	-0.18**
AW	-0.06ns	-0.20**	-0.23**

*：危険率5%で有意，**：危険率1%で有意，ns：危険率1%で有意差なし

スギやヒノキなどと比べて高い相関が認められるとされている。しかし、本研究で得られた単相関係数は、前述のとおり、これより低い値を示していた。本研究において、大半の試験体が節や節による目切れを原因として破壊していた。それにもかかわらず、このように、節径比と強度との間に高い相関が得られなかった原因は、最大節径比を示す節と破壊する節とが一致しない場合が多くみられたことによると考えられ、目視による節の評価方法については、今後検討が必要と思われる。

AWとE_t、およびAWと σ_t の間では、単相関係数（ r ）が、それぞれ $r=-0.20$ **、 -0.23 **となり、AWと σ_t との間の関係を図3.5-9に示したように、負の相関が得られた。これらの値は、統計的には有意であったが、実用性を考えると十分な値とはいえない。

すべての縦引張り試験体について、縦引張り試験を実施する前に、非破壊試験として、死荷重載荷による静的曲げヤング係数

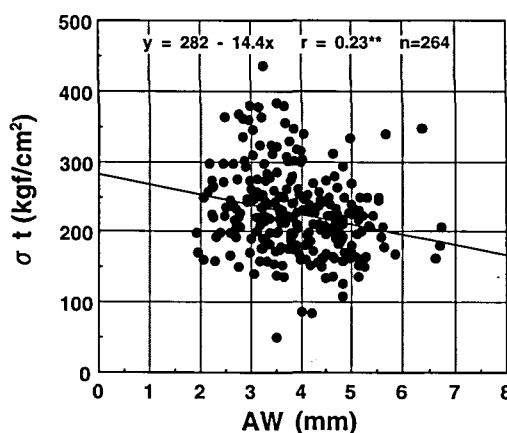


図3.5-9 平均年輪幅（AW）と縦引張り強度（ σ_t ）との関係

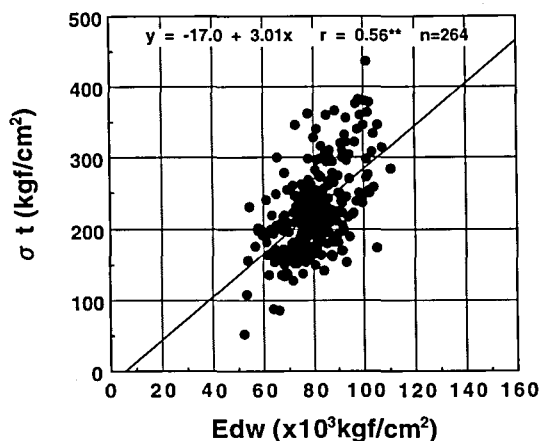


図3.5-10 死荷重載荷法によるヤング係数 (E_{dw}) と縦引張り強度 (σ_t) との関係

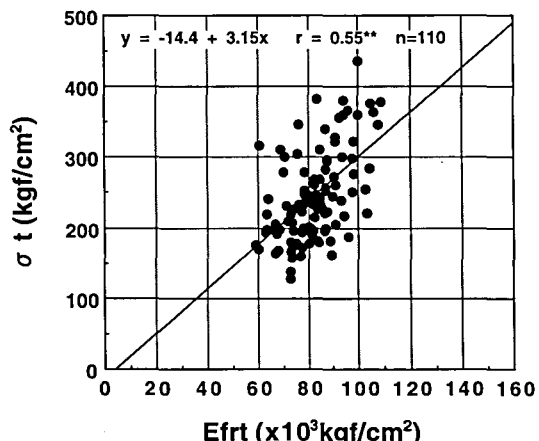


図3.5-11 たわみ自由振動法によるヤング係数 (E_{frt}) と縦引張り強度 (σ_t) との関係

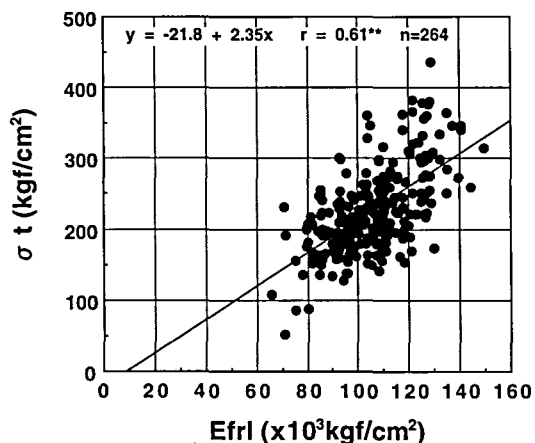


図3.5-12 縦振動法によるヤング係数 (E_{frl}) と縦引張り強度 (σ_t) との関係

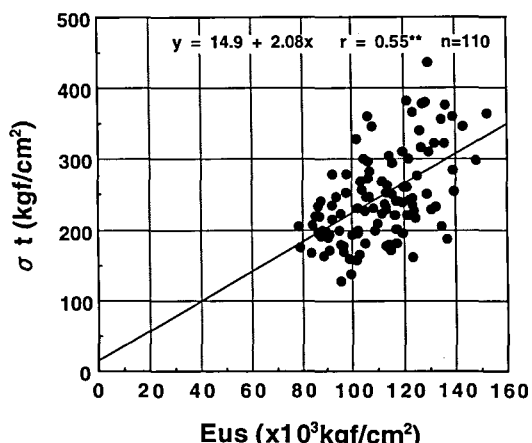


図3.5-13 超音波伝播法によるヤング係数 (E_{us}) と縦引張り強度 (σ_t) との関係

表3.5-4 非破壊試験により求めたヤング係数と縦引張り強度性能との間の単相関係数

	ρ	Et	σ_t
Edw	0.57**	0.85**	0.56**
Efrt	0.71**	0.75**	0.55**
Efrl	0.61**	0.91**	0.61**
Eus	0.67**	0.81**	0.55**
Et	0.48**		0.53**

** : 危険率 1% で有意

(Edw) および縦振動法による動的縦ヤング係数 (Efrl) の測定を、一部の試験体についてはたわみ自由振動による動的曲げヤング係数 (Efrt), および超音波伝播時間による動的縦ヤング係数 (Eus) の測定を行った。これらの4種類の非破壊試験によって得られたヤング係数の各々と、縦引張り強度 (σ_t) との関係を図3.5-10, 図3.5-11, 図3.5-12, 図3.5-13に、また、これらの間の単相関係数 (r) を表3.5-4に示した。カラマツ正角の Edw, Efrt, Efrl, Eus と Et との間には、それぞれ0.85*, 0.91*, 0.75*, 0.81*の単相関係数が得られ、高い正の相関が認められた。また Edw, Efrt, Efrl, Eus と σ_t との間に得られた単相関係数は、それぞれ、0.56*, 0.61*, 0.55*, 0.55*であり、正の相関関係が認められた。これは、Et と σ_t との間に得られた値、0.53*と同程度もしくはそれよりも若干高い値であった。

以上のことから、目視によるカラマツ実大材 (正角) の縦引張り強度性能の推定は、実用的には困難であると考えられた。しかし、上記の非破壊試験により得られた4種類のヤング係数、すなわち死荷重載荷によるヤング係数、たわみ自由振動によるヤング係数、縦振動法によるヤング係数、超音波伝播時間によるヤング係数については、縦引張り強度を推定・評価することができ、各方法とも縦引張り強度を推定するうえで、ほぼ同様に有効であることが示された。

4. 結 論

長野県産の信州カラマツ造林木の曲げ・縦圧縮・縦引張り強度性能を検討した。供試木は、A：白田 (65年生), B：長谷 (50年生), C：白田 (55年生), D：長谷 (42年生), E：大鹿 (44年生), F：東俣 (40年生), G：入笠 (75年生) の7林分から得られた73本で、これらを3.2mに玉切り、それぞれの番玉の丸太下部から調査用円盤を採取したのち、末口径に応じて12×12cm断面で長さ305cmの正角材を、1丁取り、2丁取り、4丁取りした。得られた正角材を、曲げ試験用 (315体) と引張り試験用 (264体) に仕分けて、実大強度試験を行った。圧縮試験体は、試験終了後の曲げ試験体の健全部から採材し、長さ54cmに調整した。なお、試験前に、4種類の方法で非破壊的にヤング係数の測定を行った。

得られた主な結果は次のとおりである。

1) 曲げ強度性能

曲げ強さは、林分Aで高く、樹齢が高いほど強くなる傾向がやや認められる。ただし、林分Gは、高海拔で成長不良であり、例外である。林分Eは風が強く、あてを含むため、密度が高く、成長が良いのに2番目の曲げ強さを示した。

曲げ強さは、1丁取り<2丁取り<4丁取りの順に大きくなった。また、番玉が上がるにともない減少した。さらに、引張り面の節径比、髓から引張り面までの距離との間にかなり高い相関を示した。

目視による JAS 等級区分は、曲げ強さに対してかなり有効である。

2) 縦圧縮強度性能

縦圧縮強さの大きさの順は、林分E：377kgf/cm², B, G, A：333-322kgf/cm², F, C, D：298-294kgf/cm²となり3つのクラスに区分できた。林分の樹齢と圧縮強さの関係は明らかではなかった。

縦圧縮強さは、1丁取りから4丁取りになるとわずかに大きくなる傾向があった。また、番玉が上がるほどやや減少した。しかし、木取りや番玉の影響は、曲げ強さの場合に比較すると、かなり小さい。

縦圧縮強さは、基本的に密度に依存すると思われるが、節径比が大きくなる時減少する傾向を否定できない。

3) 縦引張り強度性能

縦引張り強さの平均値は、A:288kgf/cm², F, G, B:233-221kgf/cm², C, D, E:212-205kgf/cm²の順で、特に林分Aが高く、その他6林分が横並びともいえる。75年生の林分Gに比較するとき、65年生の林分Aから得られたカラマツ正角材は、平均年輪幅が広いにもかかわらず、密度で7%, 引張りヤングで9%, 縦引張り強さで30%大きかった。全体をとおして、木取り、番玉について特徴的な傾向を示さなかった。

4) 曲げ・縦圧縮・縦引張りの全体評価

カラマツ正角の曲げ・縦圧縮・縦引張りの強度の5th%ile 値の相対的關係は、1.00:0.82:0.51であった。スギと比較するとき、縦引張り強度の値がやや低い。

3種強度を考慮するとき、林分Aは縦引張りと曲げでとくに優れており、縦圧縮も2番目であることから、総合的に一番優れていると見なせる。林分Eは、縦圧縮で1番、曲げでも2番であるが、縦引張りが弱く特異であると思われる。林分Dは、いずれの強度も最下位であった。

5) 目視による強度性能評価の指標との関係

a) 曲げ強さと最大節並びに集中節径比との間に余り高い相関は認められない。しかし、引張り面の節との間に高い相関が認められた。年輪幅との間にも有意な相関が認められたが、実用的に十分とはいえない。髓から引張り面までの距離と年輪数との間に高い正の相関が認められた。

b) 縦圧縮強さと年輪幅、最大節径比、集中節径比の関係をみると、最大節径比との間にも負の弱い相関 ($r=-0.245^*$) が認められたが、実的に有効とはいえない。したがって、目視による甲乙の等級区分は縦圧縮強度に対して有効とはいえない。

c) 縦引張り強さと目視による材質指標である平均年輪幅、節径比との間には余り高い相関は認められなかった。

6) 非破壊的な方法によるヤング係数との関係

曲げ強さ、縦圧縮並びに縦引張り強さと非破壊的に求めたヤング係数との間に、多少その度合いは異なるものの、高い正の相関が認められた。曲げ強さの場合、4種類のどの方法でも十分と思われるが、特に縦振動法によるヤング係数との間に高い相関を示した。縦圧縮並びに縦引張り強さに対しては、目視による強度性能評価は実用性がないが、非破壊的方法によるヤング係数を用いて、等級区分することの有効性は十分であると考えられる。

謝 辞

本研究を行うに当たり、長野野林局からいただいた多大なご協力に対して、厚く感謝の意を表す。また、ご助力いただいた信州大学農学部高橋祐吉助教授に厚く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 重松頼生：カラマツ造林木の材質，とくに成長と関連して(I)，木材工業，45(10)，445-451(1990)
- 2) 重松頼生：カラマツ造林木の材質，とくに成長と関連して(II)，木材工業，46(1)，9-16(1991)
- 3) 重松頼生：カラマツの材質試験(X X I) -用材の品等区分(1)，30回日林中支講，193-198(1982) (大曲65A)
- 4) 重松頼生：カラマツの材質試験(X X II) -用材の品等区分(2)，31回日林中支講，241-246(1983) (長谷50B)
- 5) 重松頼生：カラマツの材質試験(X X III) -用材の品等区分(3)，33回日林中支講，101-104(1985) (長谷42D)
- 6) 重松頼生：カラマツの材質試験(X X IV) -用材の品等区分(4)，34回日林中支講，91-94(1986) (長谷A, B, D)
- 7) 重松頼生：カラマツの材質試験(X X VII) -用材の品等区分(5)，34回日林中支講，95-98(1986) (長谷42D, 大鹿44E, 東俣40F)
- 8) 重松頼生：カラマツの材質試験(X X VIII) -用材の品等区分(6)，35回日林中支講，147-150(1986) (入笠G,)
- 9) 重松頼生：カラマツの材質試験(X X IX) -用材の品等区分(7)，35回日林中支講，151-154(1986) (入笠G, 大曲65A)
- 10) 片倉正行他：“カラマツ人工林・長伐期施業の手引き”，P8-12，長野県林務部(1991)
- 11) 田中俊成：各種非破壊的手法による製材品の強度評価，木材工業技術短信，9(2)，PP.1~12(1991)
- 12) 農林水産省監修：“針葉樹の構造用製材の日本農林規格並びに解説”，全国木材組合連合会(1991)
- 13) 著者代表 伏谷賢美：“木材の物理”，文永堂，P157(1985)
- 14) 橋爪丈夫，武井富喜雄，吉田孝久：カラマツ等県産材の需要開発に関する総合研究一県下4林分から得られたカラマツ正角の実大材曲げ強度一，長野林総セ研報，79~97(1992)
- 15) 日本建築学会編：“木質構造計算基準・同解説”，丸善，P155~169(1995)
- 16) 三上進：林試研報，No64，7~152(1988)
- 17) 小沢勝治：京大農学部学位論文，1-100(1984)
- 18) 中川伸策：林試研報，248，97~120(1972)
- 19) 重松頼生，安本善次：日林中支講92~95(1970)
- 20) 重松頼生，中谷秀樹：同上，56~60(1973)
- 21) Takashi Nakai : Japanese Current Research on Full Size Lumber Test : An Overview, Proceedings of the 1988 International Conference on Timber Engineering, Vol.1, pp.218~225(1988)
- 22) 日本木材学会木材強度・木質構造研究会編：構造用木材-強度データの収集と分析-(1988)

Mechanical Properties of Full-sized square lumbers of Karamatsu

Morihiko TOKUMOTO, Takashi TAKEDA, Tatsuo NAKANO
Faculty of Agriculture, Shinshuu Univ.

Takeo HASHIZUME, Takahisa YOSHIDA, Fukio TAKEI
Nagano Prefecture General Forestry Research Center

Hirofumi NAGAO, Tosinari TANAKA, Takashi NAKAI
Forestry and Rorest Products Institute

Summary

Bending, compressive and tensile strength of Japanese larch (*Larix leptolepis* Gord.) were investigated on full-sized square sawn lumbers from Nagano Prefecture. Testing trees were collected from 7 stands: A: Usuda (44 years old), B: Hase (50 years old), C: Usuda (44 years old), D: Hase (42 years old), E: Ooshika (44 years old), F: Higa-shimata (40 years old), G: Nyuukasa (75 years old).

Three types of square lumbers (I: boxed heart square, II: square having two sides of quarter sawn grain and III: square having 4 sides of quarter sawn grain) were cut from testing trees according to the diameters of the top ends of each cut wood. The nominal specimen was $120 \times 120 \times 3000$ mm. All specimens were in the air-dry condition.

These square lumbers were divided into two groups, bending specimens (315 pieces) and tensile specimens (260 pieces). Specimens for compressive test (540mm length) were cut from the sound portions of bending specimens which failed by bending test.

Before the breaking test, dynamic moduli of elasticity were measured by the four kinds of non-destructive testing methods.

The main results obtained are as follows.

1) Bending strength (MOR)

The average MOR of squares in stand A is the highest and the average tends to increase with increasing tree age. However, that of stand G is not the case because the growth of trees is not good owing to the high altitude.

The average MOR of squares from stand E is second in the order in spite of good growth. This is because the testing trees in stand E frequently had some reaction wood and were affected significantly by wind.

The average MOR becomes higher in the order, square I, square II, square III and becomes lower with increasing of the number of cut wood.

Generally, the correlation are high between MOR and the maximum single knot size ratio (KDL) at the surface of tension side / the distance from the pith to the surface of tension side of the specimens.

2) Short column compressive strength (σ_c)

The average σ_c becomes higher in the order, stand E (377 kgf/cm²), stand B, G, A (333~322 kgf/cm²), stand F, C, D (298~294kgf/cm²). The correlation is not clear between σ_c and tree age of stand.

σ_c becomes higher in the order, square I, square II, squares III and becomes lower a little from the first cut to the higher number of cut wood.

However, the effects of the sawing pattern and the difference of height in the testing tree is significantly small compared with MOR.

It can be considered that σ_c basically depends on the density of squares. But, it can not deny that σ_c tends to decrease with increasing KDL.

3) Tensile strength (σ_t)

The average σ_t is lower in the order, stand A : 288kgf/cm², stands F, G, B : 233~221 kgf/cm², stands C, D, E : 212~205kgf/cm². Squares from stand A with tree age of 75 years are 7% higher in the sensity, 9% higher in tensil youngs modulus and 30% higher in σ_t than that of stand G with age of 65 years in spite of having wider annual ring widths than stand G.

Generally, the statistical significant correlation was not found between σ_c and the sawing patterns, the position of cut in the testing trees.

4) Relative relation among MOR, σ_c and σ_t .

Relative relation of the values of 5th%ile of bending : compression : tension of squares of Japanese larch is 1.00 : 0.82 : 0.51. The relative value of 5th%ile of σ_t is lower a little compared to the case of sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don).

The squares from stand A has the highest strength in bending/tension and the second highest in compression among the 7 stands. So, it is considered that stand A is the best. The squares from stand E is the highest in compression and the second highest in bending. However, that of stand E have significantly low σ_c . So, it is considered that the stand E is peculiar and under adverse condition..

5) Relation between the strength and the various parameters of wood quality

a) The correlation is not so high between MOR and KDL, the maximum group knots size ratio (SKDL). However, the correlation is high between MOR and KDL/SKDL at the surface of tension side of specimens. Also, the correlation is high between MOR and the distance or the number of annual ring from the pith to the surface of tension side of specimens.

It can not be considered that annual ring width (ARW) gives good results for estimating MOR in practices.

b) Although the week corelation was found between σ_c and KDL, it is obvious that measuring knot size could not work effectively for estimating σ_c in practices.

c) The correlation is not so high between σ_c and KDL, SKDL.

6) Relation between strength and dynamic Young's moduli

The correlation is high between MOR and the dynamic Youngs moduli obtained by

the non-destructive testing methods. For the purpose of grading sawn lumbers, it can be chosen any method among deflection, ultrasonic wave propagation time, stress wave propagation time and fundamental vibration frequency. Especially, the correlation is high between MOR and the moduli by the longitudinal vibration method.

The compressive and tensile strength could be estimated by all moduli of elasticity same as the case of MOR.

付表1 縦圧縮強さの総括表

試片No	供試木No	番玉	木取り	平均 年輪幅 mm	密度 g/cm ³	最大節 径比 %	集中節 径比 %	縦圧縮強さ kgf/cm ²	比例限強さ kgf/cm ²
2	1	1	2	3.2	0.46	13.3	24.2	318	232
3	1	1	2	2.9	0.47	28.3	45.8	282	238
4	1	2	3	2.6	0.47	35.8	35.8	250	224
6	1	2	3	3.2	0.47	16.3	16.3	304	256
8	1	3	3	3.2	0.48	20.4	20.4	295	216
10	1	3	3	3.7	0.47	28.3	28.3	280	200
13	1	4	2	3.0	0.48	20.8	65.0	275	256
15	2	1	3	2.5	0.54	17.1	22.9	381	360
17	2	1	3	2.3	0.55	30.4	32.5	336	308
18	2	3	2	2.7	0.56	35.0	35.0	327	220
20	2	4	2	2.8	0.55	32.5	63.3	338	288
21	3	1	3	3.2	0.50	20.0	20.0	324	308
23	3	1	3	2.8	0.54	17.1	17.1	339	332
25	3	3	3	2.8	0.52	27.5	27.5	278	236
27	3	3	3	3.0	0.50	14.2	25.8	319	236
29	3	4	2	3.1	0.52	21.7	21.7	311	296
31	6	1	3	3.3	0.57	5.8	5.8	363	232
33	6	1	3	3.0	0.56	10.0	10.0	337	260
35	6	2	3	3.1	0.58	32.5	32.5	378	252
37	6	2	3	2.6	0.56	9.2	15.8	357	316
38	6	3	2	2.8	0.58	42.5	70.8	345	340
39	6	3	3	3.3	0.57	50.8	50.8	292	256
42	6	4	2	2.7	0.58	35.0	35.0	357	296
43	14	1	3	3.2	0.57	17.1	17.1	338	276
45	14	1	3	3.2	0.58	30.0	30.0	359	356
48	14	3	2	3.1	0.55	28.3	28.3	295	284
49	14	3	2	3.0	0.51	25.0	25.0	348	340
50	14	4	2	3.1	0.54	22.5	30.8	307	256
52	15	1	3	2.9	0.53	9.2	15.0	315	292
54	15	1	3	3.1	0.51	7.5	7.5	318	274
56	15	2	2	3.1	0.50	27.5	27.5	304	272
58	15	3	2	3.3	0.50	30.8	41.7	263	228
59	16	1	2	2.8	0.57	6.7	6.7	411	408
61	16	1	3	3.2	0.57	10.0	10.0	391	360
64	16	2	2	3.3	0.57	12.5	22.5	329	312
65	16	3	2	2.8	0.53	18.3	64.2	330	276
66	16	3	3	3.1	0.55	45.0	55.0	247	212
69	16	4	2	3.3	0.54	34.2	44.2	294	280
101	1	1	3	4.2	0.54	18.7	27.2	358	203
105	1	2	3	4.2	0.50	10.9	16.9	375	259
107	1	2	3	4.3	0.54	33.4	33.4	370	247
109	1	3	2	4.8	0.52	34.9	34.9	314	127
113	1	4	3	4.4	0.54	20.2	37.9	343	242
115	1	4	3	4.5	0.50	25.9	42.6	318	159
120	2	1	3	4.0	0.49	11.9	29.7	388	213
122	2	1	3	3.6	0.50	9.4	23.9	366	257
126	2	3	2	3.8	0.51	31.3	31.3	355	163
132	3	1	3	4.3	0.47	14.4	14.4	367	227
136	3	3	2	6.0	0.44	31.7	48.4	289	170
138	3	4	2	4.3	0.45	24.2	24.2	330	265
142	6	1	3	5.8	0.52	18.9	37.5	262	96
146	6	2	3	4.7	0.39	16.8	16.8	301	169

試片No	供試木No	番玉	木取り	平均 年輪幅 mm	密度 g/cm ³	最大節 径比 %	集中節 径比 %	縦圧縮強さ kgf/cm ²	比例限強さ kgf/cm ²
161	8	2	1	3.9	0.46	26.8	26.8	333	196
165	8	4	1	5.4	0.44	21.1	24.4	315	153
167	8	6	1	3.9	0.44	26.4	47.7	275	158
168	9	1	3	4.2	0.50	17.2	28.6	350	202
170	9	1	3	4.1	0.50	36.4	47.1	315	179
172	9	3	2	3.8	0.51	27.0	41.4	302	212
174	9	4	1	5.2	0.46	19.6	36.7	327	174
177	10	1	3	4.1	0.51	0.0	0.0	400	260
179	10	1	3	5.1	0.48	10.6	10.6	293	179
181	10	2	3	4.1	0.53	40.1	47.8	323	183
183	10	2	3	4.5	0.50	17.7	32.9	326	185
185	10	3	3	4.3	0.50	12.8	12.8	376	231
187	10	4	2	4.7	0.49	54.7	93.4	313	212
189	10	5	2	4.0	0.49	29.9	29.9	322	217
201	1	1	2	2.6	0.46	16.6	21.6	297	176
203	1	2	2	3.6	0.48	0.0	0.0	425	211
205	1	3	2	2.6	0.46	17.3	43.0	265	196
207	1	4	1	2.8	0.50	19.8	19.8	342	176
209	1	6	1	2.9	0.48	24.7	37.5	310	171
210	2	1	2	5.8	0.41	16.7	22.5	225	102
212	2	2	3	3.5	0.41	36.3	71.9	244	150
214	2	3	2	4.1	0.41	15.7	19.1	282	148
216	2	4	2	3.3	0.45	39.2	55.8	265	154
218	2	5	1	3.7	0.46	18.8	30.0	291	168
219	3	1	2	3.1	0.49	9.3	16.9	412	232
221	3	2	2	3.1	0.46	11.9	0.0	354	200
223	3	4	1	3.3	0.52	23.0	40.2	276	163
225	4	1	2	2.7	0.53	34.8	26.3	289	165
227	4	2	1	3.0	0.45	17.5	57.4	326	147
229	4	3	2	3.1	0.45	19.2	9.2	285	151
231	4	5	1	3.2	0.47	19.0	15.7	318	191
233	5	1	1	3.4	0.41	9.1	15.7	291	145
235	5	2	2	3.1	0.47	9.9	17.4	306	192
237	5	3	2	3.6	0.45	39.5	43.7	309	148
239	5	4	1	3.3	0.44	28.0	20.6	283	153
241	5	6	1	2.7	0.45	18.3	11.7	290	167
242	6	1	3	3.9	0.44	23.0	9.9	294	151
244	6	1	3	3.3	0.43	20.1	33.4	277	177
246	6	2	3	3.3	0.41	20.9	1.9	235	165
248	6	2	2	3.7	0.45	7.5	28.9	334	193
250	6	3	3	3.9	0.44	13.7	13.3	293	197
252	6	3	2	3.9	0.42	19.2	35.8	268	152
253	6	4	2	3.9	0.43	26.5	30.0	224	132
255	6	5	2	3.6	0.43	20.9	19.8	308	171
257	6	6	1	3.8	0.47	27.3	53.7	218	150
260	7	1	2	3.2	0.42	9.2	0.0	288	173
262	7	2	2	4.6	0.40	24.6	0.0	219	121
264	7	3	2	3.3	0.43	18.6	22.8	273	6
266	7	4	1	4.9	0.40	22.5	35.0	231	138
268	7	6	1	3.1	0.44	8.6	0.0	307	166
269	8	1	2	3.2	0.46	14.6	9.2	304	134
271	8	2	2	3.6	0.42	6.9	0.0	294	155
273	8	3	2	3.5	0.45	35.4	36.2	302	159
275	8	4	2	4.0	0.44	18.2	23.8	291	190

試片No	供試木No	番玉	木取り	平均 年輪幅 mm	密度 g/cm ³	最大節 径比 %	集中節 径比 %	縦圧縮強さ kgf/cm ²	比例限強さ kgf/cm ²
278	9	1	3	3.2	0.44	13.3	17.5	319	184
286	10	1	3	3.9	0.50	0.0	0.0	399	239
288	10	1	3	3.6	0.47	27.7	0.0	310	181
292	10	2	3	3.6	0.46	50.0	0.0	262	140
295	10	3	2	4.2	0.46	12.5	0.0	358	184
296	10	4	2	3.8	0.47	26.6	52.5	270	182
298	10	5	2	3.2	0.50	44.1	0.0	244	135
300	10	6	1	3.2	0.48	23.8	19.3	244	132
403	1	2	2	3.5	0.46	19.7	19.7	269	200
405	1	3	2	3.6	0.46	20.0	20.3	288	233
407	1	4	1	4.1	0.48	22.2	35.9	314	274
410	2	1	3	5.1	0.55	27.5	27.5	348	323
412	2	1	3	4.9	0.52	13.3	13.8	292	231
416	2	2	3	5.4	0.47	7.5	10.0	280	255
418	2	3	3	4.2	0.49	14.3	14.3	314	305
421	2	4	2	4.3	0.51	27.7	27.7	235	193
423	2	5	1	4.0	0.54	20.9	33.4	325	301
426	3	1	3	4.2	0.43	5.9	11.0	260	208
428	3	1	3	4.4	0.42	7.6	10.9	232	224
430	3	2	2	5.7	0.42	14.3	14.3	258	156
432	3	3	2	5.7	0.42	24.9	24.9	226	203
434	3	4	1	4.8	0.44	10.9	18.0	262	174
435	4	1	3	5.0	0.49	9.0	13.2	316	268
439	4	2	3	3.9	0.47	15.0	15.0	338	277
441	4	2	3	4.2	0.49	19.4	19.4	322	308
443	4	3	2	5.3	0.44	10.1	14.3	266	228
447	5	1	2	4.5	0.48	10.1	19.3	333	220
449	5	3	1	6.5	0.48	16.3	31.7	275	178
451	5	5	1	2.9	0.44	20.6	28.8	269	242
452	6	1	3	4.0	0.51	9.2	9.2	331	228
454	6	1	3	4.0	0.52	20.9	20.9	315	237
456	6	3	1	4.9	0.47	16.8	16.8	302	200
458	7	1	3	4.4	0.45	17.9	35.3	288	225
464	7	2	3	4.7	0.40	15.8	15.8	237	184
466	7	3	2	4.6	0.42	14.9	23.3	229	200
468	8	1	3	3.7	0.48	16.0	16.0	282	266
470	8	3	1	3.8	0.47	15.0	22.5	275	212
472	9	1	3	3.9	0.52	10.7	10.7	331	261
474	9	1	3	4.1	0.51	13.3	20.8	340	291
476	9	2	2	4.5	0.51	15.1	15.1	313	206
478	9	3	1	4.3	0.47	20.7	29.8	270	213
480	9	5	1	3.6	0.47	23.2	39.4	238	179
481	10	1	3	3.8	0.48	23.0	31.3	320	293
483	10	1	3	4.0	0.47	23.7	23.7	278	253
487	10	3	1	3.8	0.47	17.5	21.7	293	245
501	1	1	1	3.7	0.46	17.4	40.6	316	209
503	1	1	3	4.4	0.51	19.7	19.7	376	251
505	1	2	2	4.8	0.50	23.5	46.2	309	181
507	1	3	2	4.3	0.48	22.6	28.5	303	201
509	1	4	1	6.2	0.50	26.9	39.4	273	155
513	2	1	2	3.6	0.58	19.7	32.6	434	313
517	2	2	2	3.7	0.57	26.9	42.9	341	246
519	2	3	3	3.8	0.57	25.4	25.5	459	288
521	2	4	1	4.7	0.57	22.1	44.3	386	234

試片No	供試木No	番玉	木取り	平均 年輪幅 mm	密度 g/cm ³	最大節 径比 %	集中節 径比 %	縦圧縮強さ kgf/cm ²	比例限強さ kgf/cm ²
523	3	1	3	3.7	0.52	15.2	25.3	343	218
525	3	2	1	3.1	0.50	11.9	19.0	389	220
531	4	1	1	3.4	0.48	28.5	41.4	372	204
533	4	2	3	4.1	0.56	18.3	40.9	386	213
534	4	2	1	4.6	0.52	37.2	69.3	348	186
536	4	4	1	4.8	0.50	24.3	51.9	361	169
539	5	1	1	4.0	0.50	12.2	15.6	397	212
541	5	4	1	4.4	0.49	19.2	27.2	370	228
543	6	1	1	3.7	0.46	10.7	26.3	282	152
545	6	2	2	2.7	0.46	17.6	38.7	297	182
547	6	3	1	6.2	0.51	21.6	50.7	368	294
549	6	5	1	5.2	0.49	20.4	37.4	416	173
551	7	1	3	3.4	0.53	9.5	9.5	440	243
553	7	2	1	5.4	0.50	16.8	20.2	377	257
555	7	4	1	4.7	0.54	18.0	41.2	397	266
557	8	1	1	4.1	0.60	10.4	10.4	499	293
559	8	3	1	4.3	0.59	28.5	28.5	421	240
562	9	1	3	4.1	0.56	15.0	16.8	459	267
564	9	2	3	4.5	0.56	11.9	16.3	471	250
566	9	3	2	2.8	0.49	19.2	39.3	350	211
568	9	4	2	5.1	0.52	25.0	28.4	382	238
571	10	2	3	3.7	0.50	10.1	10.1	408	216
573	10	3	1	3.8	0.50	17.0	17.0	383	247
575	10	5	1	3.6	0.53	22.9	35.7	360	203
701	1	1	2	4.4	0.50	21.7	21.7	327	284
703	1	2	2	3.9	0.48	7.5	7.5	347	272
704	9	2	3	3.8	0.44	25.8	25.8	284	256
706	1	3	2	3.4	0.49	19.2	19.2	291	280
707	2	1	3	3.4	0.49	21.7	35.8	304	268
709	2	1	3	3.9	0.52	19.2	19.2	356	324
711	2	2	3	3.8	0.47	45.8	45.8	267	244
713	2	2	3	3.4	0.48	37.5	37.5	254	264
715	2	3	2	4.8	0.51	28.3	28.3	301	280
717	3	1	2	2.9	0.55	11.7	20.0	368	284
719	4	2	2	4.2	0.50	35.8	35.8	339	264
721	4	3	2	3.7	0.49	8.3	8.3	309	284
723	5	1	2	3.2	0.51	21.7	21.7	336	324
725	5	3	1	4.6	0.49	22.5	55.0	331	272
726	6	1	3	3.3	0.46	19.2	40.0	295	292
728	6	1	3	5.3	0.44	18.3	33.3	287	288
730	6	2	2	4.4	0.48	14.2	16.7	353	348
732	6	2	3	4.0	0.44	44.2	44.2	239	238
733	6	3	2	3.6	0.47	7.5	22.5	324	304
735	6	4	1	4.8	0.46	28.3	57.5	276	272
737	7	1	3	3.4	0.47	6.7	6.7	343	324
739	7	1	3	3.3	0.47	6.7	6.7	317	344
741	7	2	2	3.3	0.50	17.5	22.5	326	316
743	8	1	3	3.6	0.46	25.8	33.8	297	284
745	8	1	3	3.9	0.49	9.2	9.2	288	252
747	8	2	2	4.2	0.48	15.0	15.0	327	268
749	8	3	1	4.1	0.44	32.5	44.2	243	248
750	9	1	3	4.8	0.44	13.3	13.3	261	244
752	9	1	3	4.6	0.46	16.7	16.7	288	272
754	9	2	2	5.3	0.44	26.7	26.7	310	312

試片No.	供試木No.	番玉	木取り	平均 年輪幅 mm	密度 g/cm ³	最大節 径比 %	集中節 径比 %	縦圧縮強さ kgf/cm ²	比例限強さ kgf/cm ²
756	9	3	2	3.9	0.47	15.8	15.8	293	280
758	10	1	3	3.4	0.47	31.7	31.7	253	224
760	10	1	3	4.6	0.45	29.2	29.2	311	296
766	11	1	3	4.3	0.41	11.7	22.1	255	220
768	11	2	2	3.5	0.43	20.8	30.0	263	220
770	12	1	2	3.7	0.50	22.5	44.2	306	284
772	12	2	2	4.6	0.47	31.7	48.3	307	272
773	13	1	2	3.8	0.46	35.8	35.8	310	240
775	13	2	2	4.5	0.42	23.3	40.8	255	272
776	14	1	3	3.6	0.46	6.7	6.7	293	276
778	14	1	3	4.0	0.47	31.3	35.4	291	252
780	14	2	2	4.0	0.47	34.2	34.2	281	236
782	14	3	1	4.4	0.45	30.8	43.3	248	232
783	15	1	3	4.2	0.44	20.0	20.0	266	240
785	15	1	3	3.5	0.44	14.6	14.6	298	280
787	15	2	2	3.5	0.43	23.8	41.3	292	300
789	15	3	2	4.1	0.43	19.2	34.2	291	260
791	3	2	3	4.0	0.52	18.3	32.5	345	304
801	1	1	2	2.3	0.49	12.1	12.3	353	224
803	1	2	1	2.6	0.44	12.8	25.6	331	202
805	1	4	1	2.1	0.46	19.5	32.3	328	195
807	1	6	1	2.4	0.49	0.0	0.0	288	172
808	2	1	1	4.3	0.45	16.8	23.3	282	175
810	2	3	1	3.5	0.47	14.8	25.4	255	135
812	2	5	1	2.0	0.47	20.7	28.6	279	168
813	3	1	2.2	0.52	24.5	27.7	375	236	
815	3	2	2	2.0	0.47	19.8	0.0	308	188
817	3	3	1	3.2	0.48	23.0	47.3	287	177
819	3	5	1	2.5	0.50	26.0	39.0	340	215
820	4	1	1	3.4	0.45	17.3	33.8	284	175
822	4	3	1	2.5	0.48	22.1	40.3	267	163
824	4	5	1	2.0	0.50	16.0	40.4	285	171
825	5	1	2	2.4	0.48	12.6	37.0	392	222
827	5	2	2	2.4	0.43	16.3	22.3	292	191
829	5	3	1	2.9	0.42	14.5	29.1	299	240
831	5	5	1	2.6	0.47	23.6	33.2	304	188
832	6	1	2	2.1	0.46	7.7	13.6	289	164
834	6	2	1	2.2	0.42	14.8	23.7	276	167
836	6	4	1	2.7	0.44	23.2	35.5	287	158
838	7	1	3	2.0	0.55	20.6	18.9	435	233
840	7	2	2	2.4	0.53	21.2	30.5	413	260
842	3	3	1	4.2	0.48	10.4	16.5	336	175
844	3	5	1	2.1	0.52	34.3	52.7	298	187
846	8	1	1	3.5	0.50	12.7	31.4	288	155
848	8	3	1	2.0	0.47	16.8	47.3	302	296
850	8	5	1	2.3	0.50	22.3	39.4	293	188
851	9	1	1	2.7	0.53	15.4	27.5	354	239
853	9	3	1	2.4	0.52	15.6	0.0	381	254
855	9	5	1	2.2	0.55	25.8	29.5	377	221
856	10	1	2	2.4	0.53	25.8	33.6	399	290
858	10	3	2	2.1	0.52	16.5	31.7	382	200
860	10	5	2	2.2	0.51	19.1	69.9	323	194
861	11	1	3	2.1	0.49	15.4	0.0	323	223
863	11	2	2	2.2	0.49	26.0	0.0	387	200

試片No	供試木No	番玉	木取り	平均 年輪幅 mm	密度 g/cm ³	最大節 径比 %	集中節 径比 %	縦圧縮強さ kgf/cm ²	比例限強さ kgf/cm ²
865	11	3	1	3.7	0.45	13.3	0.0	299	155
867	11	5	1	3.0	0.52	31.0	39.3	297	163
869	12	1	2	2.4	0.52	13.8	26.8	404	239
871	12	2	2	2.0	0.50	17.2	22.9	396	230
878	13	4	1	2.3	0.49	22.9	27.9	335	203
881	A	1	3	3.2	0.56	5.7	0.0	235	150
883	A	1	3	3.9	0.53	12.1	0.0	302	208
885	B	1	3	3.5	0.55	5.1	0.0	382	330
887	B	1	1	2.9	0.49	21.3	51.0	324	186
889	B	1	3	2.8	0.55	9.2	18.4	467	178

(注) 0番台：A林分，100番台：B林分，200番台：C林分
 400番台：D林分，500番台：E林分，700番台：F林分
 800番台：G林分

付表2 曲げ強さの総括表

試片No.	密度 g/cm ³	平均 年輪幅 mm	繊維 傾斜 °	髓から の距離 cm	全区間 最大節径比 %	引張全区間 最大節径比 %	全区間 集中節径比 %	引張全区間 集中節径比 %	縦振動による ヤング係数 ×10 ⁹ kgf/cm ²	曲げ ヤング係数 ×10 ⁹ kgf/cm ²	曲げ強さ kgf/cm ²
2	0.46	3.2	34.8	7.5	18.6	18.6	23.7	18.6	121.9	112.0	486
3	0.47	3.2	62.4	6.2	18.0	16.3	21.5	21.5	124.6	112.3	366
4	0.47	2.7	42.4	11.9	24.8	15.4	31.6	15.4	117.3	102.3	541
6	0.47	3.4	90.3	13.5	21.4	4.3	27.4	4.3	116.9	94.8	570
8	0.48	3.3	60.1	13.1	36.6	9.5	36.6	9.5	119.1	101.1	588
10	0.47	3.7	70.5	13.8	33.1	27.5	33.1	27.5	103.9	87.6	449
13	0.48	3.2	74.3	10.5	40.9	13.6	62.3	21.3	103.2	92.0	347
15	0.54	3.3	73.8	12.6	18.3	0.0	32.2	0.0	122.0	101.0	464
17	0.55	2.5	59.2	11.9	34.5	10.4	48.3	10.4	129.5	103.2	620
18	0.56	2.8	109.5	8.5	41.6	41.6	41.6	41.6	120.2	107.0	348
20	0.55	2.9	70.9	7.7	34.1	30.0	42.0	42.0	118.9	97.8	305
21	0.50	3.2	14.2	11.9	12.9	10.3	16.5	10.3	129.3	121.8	700
23	0.54	2.9	20.1	14.9	15.6	0.0	26.1	0.0	140.9	116.2	704
25	0.52	2.8	19.0	11.3	39.5	0.0	58.8	0.0	128.0	110.8	395
27	0.50	3.6	28.2	13.7	25.0	25.0	42.6	25.0	126.6	113.6	542
29	0.52	3.1	29.3	7.7	30.4	30.4	58.2	58.2	126.4	111.3	465
31	0.57	3.3	13.5	14.2	41.0	0.0	41.0	0.0	120.2	96.6	627
33	0.56	3.4	10.9	11.3	28.7	8.4	28.7	8.4	126.4	101.9	538
35	0.58	3.1	22.4	14.3	41.0	34.2	41.0	34.2	138.2	111.3	601
37	0.56	3.7	40.1	13.0	41.6	8.6	46.3	8.6	118.6	107.6	441
38	0.58	2.6	30.1	9.5	38.1	24.6	67.7	29.6	149.9	122.6	615
39	0.57	4.7	58.9	13.4	45.3	29.3	45.3	29.3	120.1	92.3	452
42	0.58	3.0	16.0	12.6	40.5	28.4	40.5	28.4	135.7	119.8	558
43	0.57	3.3	51.8	12.8	26.9	14.6	34.3	14.6	139.3	114.5	754
45	0.58	3.3	24.8	13.6	37.4	15.7	48.8	15.7	141.3	126.0	773
48	0.55	4.0	74.1	12.6	40.6	23.3	50.7	23.3	124.3	115.1	730
49	0.51	3.6	1.6	12.6	34.5	21.0	42.6	18.5	124.1	101.0	556
50	0.54	3.3	43.0	7.5	26.8	25.1	34.2	31.2	117.6	107.1	485
52	0.53	3.0	68.4	13.4	43.2	16.4	43.2	32.0	115.1	97.4	685
54	0.51	3.8	85.3	13.5	42.0	11.9	42.0	11.9	96.5	83.8	380
56	0.50	3.0	68.3	12.5	38.4	26.4	38.4	26.4	114.5	101.4	528
58	0.50	3.3	47.3	8.3	35.9	29.0	37.6	37.6	102.6	88.5	462
59	0.57	2.9	22.1	12.6	24.0	12.9	36.9	12.9	115.5	94.0	728
61	0.57	3.4	34.2	15.9	26.9	0.0	38.2	0.0	119.8	102.6	738
64	0.57	3.1	45.3	11.4	24.4	20.4	46.2	34.9	122.1	114.2	434
65	0.53	2.4	51.2	8.6	33.0	8.7	54.7	18.2	128.6	119.2	560
66	0.55	3.3	42.1	14.8	51.3	0.0	51.3	0.0	128.5	109.5	646
69	0.54	3.4	73.0	11.1	48.7	42.0	48.7	42.0	108.1	94.7	387
101	0.56	3.8	51.4	13.1	25.7	25.4	46.3	46.3	120.0	114.9	552
105	0.49	4.0	81.9	12.9	42.8	0.0	42.8	0.0	120.1	108.0	595
107	0.51	4.6	80.2	12.3	50.0	15.8	66.1	15.8	118.6	100.6	470
109	0.51	4.8	82.3	12.0	44.3	42.8	44.3	42.8	90.4	79.8	352
113	0.50	4.6	136.9	11.6	40.1	32.9	43.6	43.6	104.2	80.8	328
115	0.49	3.3	105.8	12.8	22.8	10.8	44.7	18.2	106.5	82.4	444
120	0.50	3.9	31.3	12.7	39.8	26.6	43.9	26.6	115.3	123.9	687
122	0.49	3.8	50.3	12.6	34.7	5.8	34.7	5.8	100.5	87.4	486
126	0.50	3.9	86.8	7.6	32.3	32.3	57.8	34.0	119.6	109.9	443
132	0.46	3.8	22.6	12.7	19.5	19.5	37.3	37.3	113.4	92.5	610
136	0.47	4.3	53.6	6.5	31.1	23.6	61.4	36.2	99.8	94.5	333
138	0.43	4.3	73.1	7.2	27.1	22.0	40.1	22.0	100.9	84.8	353
142	0.42	5.2	55.1	12.5	20.8	5.2	53.8	5.2	66.7	63.7	365
146	0.39	4.3	40.3	12.6	18.4	18.4	26.8	18.4	92.3	78.3	398

試片No.	密度 g/cm ³	平均 年輪幅 mm	繊維 傾斜	髄から の距離 cm	全区間 最大節径比 %	引張全区間 最大節径比 %	全区間 集中節径比 %	引張全区間 集中節径比 %	縦振動による ヤング係数 ×10 ⁹ kgf/cm ²	曲げ ヤング係数 ×10 ⁹ kgf/cm ²	曲げ強さ kgf/cm ²
161	0.47	4.0	13.6	0.0	34.4	14.8	59.6	30.5	101.4	89.7	444
165	0.43	4.8	55.2	6.1	34.1	30.0	47.7	30.0	89.2	77.6	297
167	0.46	4.5	63.8	6.6	32.1	32.1	50.7	45.6	99.5	90.4	325
168	0.48	3.4	30.4	12.4	51.0	18.9	52.6	30.4	113.9	93.8	640
170	0.48	3.3	40.4	12.1	36.9	26.8	54.3	54.3	91.5	77.5	338
172	0.48	4.0	32.9	6.8	32.2	20.7	55.0	20.7	102.0	86.4	567
174	0.47	5.4	79.5	4.3	27.6	23.5	42.7	39.4	90.5	86.7	348
177	0.49	4.2	25.8	12.3	26.8	19.2	36.8	35.1	112.2	98.9	549
179	0.46	4.5	26.1	11.8	24.6	21.1	44.1	21.1	118.9	103.3	431
181	0.49	4.2	63.8	11.8	39.6	8.4	64.8	8.4	115.3	104.3	547
183	0.49	4.3	68.9	12.7	35.7	0.0	38.3	0.0	122.4	111.0	665
185	0.49	4.4	55.3	11.0	22.0	21.3	30.7	30.7	114.0	96.2	581
187	0.48	4.5	48.2	8.8	56.3	56.3	99.2	99.2	96.7	83.6	307
189	0.48	4.7	87.6	11.1	55.0	21.2	72.8	21.2	104.2	81.3	400
201	0.45	2.6	62.1	5.5	15.9	13.3	30.1	19.2	118.0	98.0	407
203	0.49	3.6	82.5	9.5	15.7	15.7	16.7	15.7	125.4	121.0	540
205	0.47	2.5	90.8	8.3	21.8	17.6	23.5	23.5	109.6	96.8	393
207	0.47	2.8	101.0	7.2	26.8	23.4	35.1	35.1	109.0	91.0	307
209	0.47	2.8	113.4	7.7	36.7	20.2	58.0	20.2	114.7	95.7	424
210	0.42	5.8	58.5	8.0	27.2	17.3	44.4	30.5	70.6	65.3	346
212	0.40	4.3	56.5	12.5	17.4	14.2	24.2	23.4	88.4	78.0	474
214	0.42	3.9	58.9	8.6	22.5	15.0	31.7	20.0	88.9	82.9	386
216	0.44	3.5	37.9	7.8	25.6	25.6	32.5	32.5	85.7	86.6	336
218	0.44	3.5	81.4	7.4	18.5	16.2	29.4	25.6	85.0	83.0	505
219	0.47	2.4	58.8	10.0	11.6	7.6	27.3	14.3	124.0	110.1	539
221	0.49	3.2	66.1	8.0	11.8	11.0	11.8	11.0	127.6	114.7	568
223	0.50	3.3	55.0	6.8	29.2	29.2	47.5	37.5	104.5	100.4	455
225	0.48	3.5	38.0	6.0	33.4	15.5	33.4	15.5	89.7	88.2	567
227	0.44	2.9	43.3	8.2	15.5	15.5	32.8	32.8	108.1	103.3	476
229	0.43	3.1	36.2	6.5	19.9	10.8	24.9	17.4	108.8	89.0	490
231	0.48	4.1	37.1	5.5	19.2	18.4	36.0	31.7	119.3	133.7	554
233	0.43	3.4	37.6	2.2	19.8	9.2	24.8	17.6	91.9	82.3	302
235	0.47	3.8	14.6	3.5	24.2	0.0	33.0	0.0	107.8	96.6	658
237	0.46	3.0	20.0	4.5	28.5	12.6	32.7	15.9	109.9	101.5	446
239	0.44	3.0	72.2	9.0	28.1	21.5	44.7	23.2	98.0	87.4	393
241	0.46	3.0	30.8	5.5	25.1	18.4	44.3	44.3	100.2	91.4	352
242	0.44	3.7	49.1	15.0	24.1	17.5	49.3	24.9	108.2	97.9	495
244	0.43	3.2	50.6	13.0	39.5	14.8	39.5	23.8	108.8	100.9	574
246	0.41	3.4	41.2	13.0	33.6	11.8	33.6	11.8	103.4	92.5	453
248	0.44	3.7	80.4	7.0	29.5	29.5	39.6	39.6	106.9	97.0	330
250	0.44	3.9	68.4	13.5	19.0	13.2	19.0	13.2	112.3	103.6	393
252	0.42	3.2	108.7	10.0	25.8	14.5	32.5	14.5	106.5	96.1	358
253	0.42	3.8	74.3	10.5	24.2	24.2	32.6	32.6	88.1	75.9	368
255	0.42	3.7	78.1	8.0	39.7	21.9	39.7	21.9	87.4	80.2	274
257	0.46	3.8	95.4	8.0	31.8	25.1	52.8	25.1	98.6	93.5	390
260	0.42	3.4	50.0	11.0	28.1	18.9	33.9	18.9	83.5	77.3	415
262	0.41	3.6	57.5	6.5	24.9	21.4	25.7	25.7	88.6	93.7	291
264	0.42	3.3	64.0	7.0	18.7	11.0	22.1	22.1	99.1	94.8	445
266	0.40	3.8	88.8	6.0	23.9	17.1	37.6	25.6	79.1	79.4	367
268	0.45	3.4	70.0	7.5	26.0	26.0	33.2	26.0	96.5	92.3	548
269	0.47	3.5	57.6	13.0	13.3	12.5	21.7	12.5	109.3	96.2	585
271	0.43	2.8	38.0	11.2	40.4	15.1	47.9	15.1	113.2	104.4	440
273	0.45	3.7	43.5	9.2	36.4	28.2	53.0	32.3	103.2	97.6	399
275	0.43	3.9	111.0	8.7	29.7	14.0	37.9	15.7	96.9	93.9	518

試片No.	密度	平均	繊維	髄から	全区間	引張全区間	全区間	引張全区間	縦振動による	曲げ	曲げ強さ
	g/cm ³	年輪幅 mm	傾斜	の距離 cm	最大節径比 %	最大節径比 %	集中節径比 %	集中節径比 %	ヤング係数 ×10 ³ kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ³ kgf/cm ²	kgf/cm ²
278	0.45	3.6	14.7	13.0	28.0	28.0	29.7	29.7	94.7	88.4	515
286	0.47	3.6	13.5	14.8	22.4	5.0	22.4	5.0	117.1	104.4	644
288	0.47	3.8	50.0	10.0	27.4	18.8	28.3	24.5	89.5	84.0	511
292	0.44	3.1	23.9	12.6	25.8	0.0	25.8	0.0	122.2	103.2	621
295	0.46	3.9	23.4	13.0	30.5	16.6	30.5	16.6	118.2	102.4	421
296	0.42	4.2	56.6	8.3	41.5	28.2	41.5	31.5	99.8	89.4	426
298	0.49	3.5	46.4	8.6	42.4	28.2	42.5	28.2	97.4	91.5	368
300	0.47	3.1	77.3	7.7	30.5	30.5	51.0	30.5	95.7	86.1	312
403	0.46	5.7	39.8	13.0	33.8	19.3	24.5	8.8	113.2	100.0	466
405	0.44	3.6	65.7	0.5	22.5	6.6	25.8	12.3	110.8	86.0	245
407	0.49	4.5	2.0	3.2	27.3	14.5	41.8	26.5	93.9	90.5	245
410	0.54	5.8	76.0	13.9	25.6	25.6	24.4	25.6	128.7	106.5	546
412	0.51	6.5	41.3	14.2	14.0	13.3	21.5	13.3	93.0	76.7	464
416	0.49	6.1	53.3	12.5	11.5	11.5	16.3	11.5	134.7	137.0	609
418	0.48	4.7	20.8	13.5	28.4	22.5	36.7	22.5	114.9	77.2	390
421	0.49	4.5	117.2	2.0	41.6	12.7	81.5	21.1	102.9	91.4	217
423	0.53	4.3	81.2	4.2	24.7	23.4	32.4	27.6	105.4	75.1	271
426	0.44	4.7	37.1	13.4	32.8	23.5	42.9	30.2	83.1	66.8	364
428	0.42	4.7	35.6	13.5	21.0	14.8	29.4	20.6	88.9	73.6	460
430	0.41	7.3	177.5	2.0	23.3	21.3	30.4	21.3	83.1	69.9	343
432	0.41	5.1	56.2	1.1	23.1	13.2	31.7	10.7	79.1	64.8	239
434	0.42	5.4	71.2	5.2	29.0	29.0	35.6	20.7	75.7	62.0	285
435	0.49	5.8	42.6	13.8	26.7	16.4	14.8	9.8	100.0	77.0	428
439	0.47	3.9	52.6	12.0	24.7	23.4	35.9	35.9	119.8	102.6	472
441	0.48	5.7	65.5	12.9	32.8	32.8	23.4	32.8	118.8	95.9	464
443	0.47	6.6	64.4	8.8	35.8	14.3	54.6	21.9	92.9	103.3	306
447	0.48	4.1	59.2	1.2	40.6	40.6	50.6	50.6	97.1	88.4	317
449	0.46	6.7	54.6	4.7	21.3	12.6	32.4	20.1	91.3	88.8	402
451	0.53	3.7	53.9	5.5	20.2	20.2	31.2	31.2	108.8	115.5	451
452	0.52	4.4	34.5	13.9	29.1	17.4	36.5	24.1	95.4	86.0	478
454	0.51	4.9	31.0	14.5	16.8	10.0	16.8	10.0	127.4	109.1	657
456	0.46	5.5	51.3	4.5	28.4	13.8	38.1	23.5	88.7	82.5	296
458	0.45	5.1	83.6	14.5	29.1	15.4	23.1	18.8	90.0	81.8	425
464	0.43	5.6	108.2	13.6	41.1	5.7	23.8	5.7	89.2	81.2	386
466	0.40	4.4	97.6	8.4	15.2	15.2	22.8	22.8	81.2	76.4	328
468	0.48	5.9	49.7	1.3	20.3	7.5	29.6	12.5	109.2	96.6	520
470	0.44	4.7	52.6	4.8	15.2	14.5	26.6	26.6	91.9	84.3	305
472	0.52	6.0	60.6	13.3	16.7	16.7	22.0	16.7	126.5	110.4	638
474	0.52	4.3	56.0	14.0	21.7	11.5	39.2	11.5	114.7	89.7	476
476	0.50	4.6	72.4	0.8	13.6	8.5	17.7	16.2	129.7	107.7	412
478	0.52	4.7	92.0	4.6	23.9	23.9	34.7	17.1	107.9	96.5	378
480	0.47	3.6	87.4	5.5	19.9	17.0	37.2	30.8	112.9	87.2	323
481	0.47	4.3	12.4	13.5	27.7	8.4	19.1	8.4	114.7	99.6	542
483	0.48	4.3	38.0	13.5	31.6	23.3	45.8	23.3	123.4	100.2	597
487	0.49	4.1	41.2	5.6	27.6	27.6	48.5	27.6	103.1	92.4	296
501	0.47	4.4	37.5	10.2	15.8	15.7	34.8	20.7	100.0	86.5	397
503	0.51	4.2	27.9	13.0	15.0	6.1	20.9	6.1	137.7	125.5	629
505	0.49	5.0	39.7	11.5	23.4	23.4	39.4	23.4	88.0	76.0	321
507	0.46	4.0	103.2	10.0	31.2	16.9	53.9	16.9	103.6	89.0	417
509	0.49	6.3	44.7	7.3	27.5	22.8	41.2	35.5	86.5	98.9	338
513	0.59	3.4	91.0	8.7	18.3	12.0	29.2	21.4	136.9	120.0	667
517	0.56	3.6	70.6	9.0	41.0	15.6	59.4	26.0	99.3	105.0	682
519	0.55	3.7	80.0	9.3	25.3	16.1	18.7	18.7	124.3	114.5	481
521	0.56	4.6	89.8	6.4	25.0	17.2	38.0	20.7	107.2	108.1	460

試片No	密度 g/cm ³	平均 年輪幅 mm	繊維 傾斜	髄から の距離 cm	全区間 最大節径比 %	引張全区間 最大節径比 %	全区間 集中節径比 %	引張全区間 集中節径比 %	縦振動による ヤング係数 ×10 ⁶ kgf/cm ²	曲げ ヤング係数 ×10 ⁶ kgf/cm ²	曲げ強さ kgf/cm ²
523	0.57	4.0	62.6	10.3	19.8	7.0	39.7	7.0	126.6	131.2	584
525	0.51	4.1	68.8	6.9	35.2	9.5	49.7	14.6	127.7	125.0	643
531	0.47	3.9	63.9	8.6	29.7	15.6	65.5	20.8	105.4	83.3	318
533	0.56	4.0	45.5	12.0	25.5	8.4	35.4	8.4	122.9	107.1	645
534	0.48	6.0	48.1	8.7	37.8	20.2	71.2	34.7	100.8	93.8	115
536	0.50	4.7	60.2	5.5	18.6	16.2	31.5	31.5	118.5	112.6	442
539	0.49	5.3	40.7	7.9	19.7	8.5	27.3	14.5	103.8	92.9	420
541	0.50	4.5	65.6	5.8	21.2	21.2	33.4	22.1	107.4	123.3	393
543	0.49	6.2	41.1	7.9	11.8	9.3	20.3	11.0	120.5	108.2	564
545	0.48	3.2	48.3	9.0	16.6	9.3	24.9	9.3	111.3	105.3	547
547	0.45	6.0	86.1	5.2	26.2	20.8	55.7	24.8	104.3	105.5	468
549	0.50	4.6	67.2	7.9	20.4	17.8	34.9	31.4	97.9	104.2	309
551	0.53	3.5	35.4	10.0	9.9	0.0	9.9	0.0	124.5	103.6	672
553	0.49	6.6	90.1	8.0	13.0	12.1	31.2	17.3	104.0	109.4	453
555	0.53	4.1	47.0	6.1	20.6	20.6	40.4	40.4	114.1	125.2	516
557	0.62	4.4	36.2	6.3	13.8	9.5	35.3	12.1	126.6	136.4	403
559	0.53	4.6	54.7	6.8	19.4	19.4	43.1	21.9	111.6	111.6	449
562	0.56	4.2	62.4	11.7	15.0	0.0	22.6	0.0	106.4	83.3	486
564	0.57	4.4	43.6	12.8	16.9	6.9	19.4	6.9	133.6	124.3	637
566	0.50	3.5	108.8	8.8	30.2	14.7	49.2	14.7	120.8	115.0	553
568	0.49	4.6	73.9	10.3	25.7	16.6	43.8	16.6	105.9	100.2	470
571	0.48	3.9	51.5	11.3	24.3	0.0	36.1	0.0	92.8	83.4	338
573	0.52	5.0	50.1	6.2	24.6	23.2	48.1	27.5	110.5	118.4	472
575	0.53	3.7	48.2	6.4	28.1	24.7	45.9	40.0	107.0	101.6	437
701	0.50	4.5	75.4	1.9	22.7	11.9	31.0	11.9	111.3	95.2	546
703	0.48	4.1	58.0	9.3	17.7	17.7	27.9	27.9	117.1	97.2	557
704	0.44	4.0	25.0	6.8	45.1	45.1	50.5	45.1	99.6	84.9	285
706	0.49	3.5	60.0	7.2	46.9	21.3	54.6	29.0	93.3	94.0	372
707	0.49	4.1	31.0	5.1	25.8	16.7	59.9	32.5	119.7	97.4	596
709	0.52	4.2	27.0	14.0	28.2	7.8	35.1	7.8	116.8	112.5	652
711	0.47	4.0	43.0	6.3	46.3	18.5	54.7	42.9	104.8	84.1	263
713	0.48	4.0	47.9	14.1	39.9	34.1	47.7	47.7	110.0	89.6	258
715	0.51	5.1	56.6	9.2	55.3	55.3	55.3	55.3	118.4	98.7	404
717	0.55	2.9	27.1	1.6	12.9	12.2	37.4	37.4	130.0	117.2	607
719	0.55	4.3	46.4	10.4	35.9	18.6	38.9	27.1	118.0	110.2	558
721	0.49	3.8	47.0	8.7	38.4	28.4	62.2	36.8	112.3	97.4	438
723	0.51	3.3	43.2	7.2	27.0	27.0	49.8	49.8	125.3	120.3	516
725	0.49	4.1	11.9	5.0	30.9	25.9	42.3	42.3	120.6	100.4	406
726	0.46	4.4	14.4	4.0	34.7	34.7	81.2	81.2	102.7	91.8	303
728	0.44	4.1	1.2	14.2	39.6	13.5	72.6	22.7	99.9	82.3	433
730	0.48	4.5	21.0	12.0	23.4	20.9	49.4	28.4	111.1	114.4	450
732	0.44	5.2	38.6	13.1	45.4	24.4	55.8	24.4	89.7	72.6	319
733	0.47	4.1	22.7	8.5	32.9	23.6	44.7	27.0	111.6	98.4	457
735	0.46	4.5	21.2	6.5	36.5	29.7	58.6	49.3	98.8	89.2	320
737	0.47	4.1	31.4	6.4	20.6	16.6	20.6	16.6	120.2	88.7	467
739	0.47	3.4	9.2	13.1	22.0	6.6	32.1	6.6	107.9	89.4	585
741	0.50	3.2	74.1	8.1	34.9	18.6	44.6	18.6	113.7	110.0	497
743	0.46	3.2	16.1	12.3	27.0	25.2	29.6	25.2	92.4	79.6	453
745	0.49	4.3	15.0	14.2	38.2	0.0	38.5	0.0	97.6	116.2	710
747	0.48	4.1	33.8	1.5	33.8	21.1	61.6	42.3	100.7	96.2	445
749	0.44	3.9	71.2	3.1	32.7	25.5	58.0	40.0	94.0	56.6	293
750	0.44	6.1	14.7	13.4	26.5	26.5	30.3	26.5	83.8	78.1	343
752	0.46	5.2	30.2	4.3	34.4	34.4	59.6	59.6	109.4	92.8	360
754	0.44	4.6	47.6	11.1	50.7	34.1	63.2	60.7	91.6	70.2	314

試片No.	密度 g/cm ³	平均 年輪幅 mm	繊維 傾斜	髄から の距離 cm	全区間 最大節径比 %	引張全区間 最大節径比 %	全区間 集中節径比 %	引張全区間 集中節径比 %	縦振動による ヤング係数 ×10 ³ kgf/cm ²	曲げ ヤング係数 ×10 ³ kgf/cm ²	曲げ強さ kgf/cm ²
756	0.47	5.0	30.8	4.7	37.8	24.4	58.0	31.9	89.8	74.7	244
758	0.47	3.4	39.8	11.8	34.2	16.3	41.5	23.1	98.7	80.5	497
760	0.45	4.1	40.0	12.6	33.4	6.7	62.6	6.7	99.4	76.4	405
766	0.41	3.5	30.4	5.3	16.4	16.4	24.6	24.6	90.1	71.5	366
768	0.43	3.8	65.8	8.0	31.0	31.0	34.4	34.4	92.2	87.4	370
770	0.50	3.6	25.2	6.7	26.5	26.5	36.0	35.8	122.4	102.7	582
772	0.47	4.0	25.0	6.8	31.1	21.6	51.7	39.7	107.8	97.0	436
773	0.46	4.0	21.5	12.5	24.0	19.2	33.1	19.2	98.5	85.3	529
775	0.42	5.1	56.4	10.7	27.6	25.2	49.7	38.7	90.5	78.0	324
776	0.46	3.8	5.0	14.2	31.0	0.0	31.0	0.0	99.7	77.6	521
778	0.47	3.4	29.8	9.8	34.2	14.5	45.9	14.5	108.6	93.2	590
780	0.47	4.4	11.0	7.9	35.1	35.1	55.1	35.1	105.9	99.4	430
782	0.45	5.1	22.7	1.7	38.9	24.3	38.9	38.1	91.4	87.2	346
783	0.44	3.9	52.7	13.7	38.6	7.5	38.6	7.5	90.4	74.6	484
785	0.44	4.2	35.9	13.7	39.8	10.0	44.8	10.0	97.9	85.1	428
787	0.43	4.0	72.8	8.1	41.2	41.2	55.5	55.5	88.6	80.0	298
789	0.43	4.0	57.2	9.3	27.0	21.4	37.3	30.4	93.6	78.8	381
791	0.52	5.1	7.5	9.2	22.5	18.6	38.9	27.1	140.2	127.5	625
801	0.48	2.5	88.5	0.1	17.1	12.0	27.4	12.0	110.3	103.8	403
803	0.41	4.3	90.0	4.5	21.2	15.3	30.5	30.5	99.9	109.2	357
805	0.47	2.8	99.4	6.2	24.9	24.9	41.0	24.9	95.2	112.6	450
807	0.48	2.4	111.7	7.3	25.6	23.5	47.8	40.2	92.6	78.3	299
808	0.48	4.9	51.8	7.5	16.4	12.8	38.3	24.7	70.6	74.6	412
810	0.46	4.6	81.4	8.2	23.7	19.6	44.6	26.9	77.8	58.9	307
812	0.47	2.5	51.9	6.0	16.2	16.2	36.7	36.7	80.9	70.0	379
813	0.47	2.6	41.7	6.6	27.5	20.0	51.7	29.2	100.7	80.2	420
815	0.47	2.0	33.1	1.0	17.0	12.6	30.6	21.8	118.6	88.7	369
817	0.46	2.8	44.5	6.4	21.5	18.2	43.9	43.9	95.4	84.2	355
819	0.45	3.2	27.3	1.4	20.4	17.1	35.6	17.1	105.1	80.4	459
820	0.46	2.1	30.4	11.8	16.8	16.8	31.0	31.0	107.5	107.0	380
822	0.43	3.3	77.4	6.8	22.8	12.6	42.5	29.9	104.8	80.0	346
824	0.49	2.9	97.1	6.0	24.9	18.9	42.1	34.4	103.1	88.8	342
825	0.46	2.1	55.9	12.5	12.6	12.4	25.6	25.6	110.9	90.3	342
827	0.45	2.0	63.2	1.7	21.4	20.8	35.5	35.5	105.9	105.8	343
829	0.42	3.6	88.2	6.8	18.7	17.7	48.8	48.8	103.0	92.7	417
831	0.44	2.5	64.3	1.4	27.9	15.7	41.7	28.7	89.0	88.1	313
832	0.46	2.1	51.4	2.7	29.4	19.6	46.3	19.6	90.4	89.6	287
834	0.40	2.4	31.5	6.8	19.9	18.1	39.6	18.1	81.0	85.1	413
836	0.44	2.7	61.5	7.4	25.5	22.3	55.2	41.2	88.4	87.4	377
838	0.56	2.1	11.1	13.2	36.6	11.9	36.6	11.9	117.3	97.8	627
840	0.52	2.5	44.5	1.4	40.8	6.7	48.5	10.9	116.7	99.0	405
842	0.49	3.1	77.6	4.8	21.6	19.1	38.1	26.8	107.8	106.7	473
844	0.51	3.6	56.5	6.4	33.0	33.0	44.2	42.5	102.0	91.6	326
846	0.51	3.2	70.2	10.0	21.4	20.4	26.3	26.3	103.6	101.3	416
848	0.49	2.5	78.9	7.2	20.4	19.5	27.2	19.5	106.5	114.1	393
850	0.48	2.4	83.4	6.5	21.4	21.4	37.7	37.7	108.0	103.8	409
851	0.55	2.7	62.6	7.8	14.7	12.1	25.0	12.1	125.4	117.2	569
853	0.53	2.7	78.9	7.8	18.3	15.9	29.2	27.5	122.8	84.0	520
855	0.53	2.2	59.3	6.5	30.0	30.0	43.8	35.2	118.4	118.6	413
856	0.53	2.3	35.4	3.6	23.9	23.9	55.1	55.1	116.4	121.1	395
858	0.50	2.5	39.1	8.0	16.7	16.7	30.8	25.5	127.3	132.0	598
860	0.48	2.4	51.4	8.2	32.5	28.8	45.8	45.8	106.1	80.0	437
861	0.52	1.9	77.2	11.5	25.4	21.9	33.3	21.9	107.5	92.3	546
863	0.49	2.3	44.8	12.7	25.1	6.8	34.7	6.8	120.9	95.1	601

試片No	密度 g/cm ³	平均 年輪幅 mm	繊維 傾斜 °	髄から の距離 cm	全区間 最大節径比 %	引張全区間 最大節径比 %	全区間 集中節径比 %	引張全区間 集中節径比 %	縦振動による ヤング係数 ×10 ⁹ kgf/cm ²	曲げ ヤング係数 ×10 ⁹ kgf/cm ²	曲げ強さ kgf/cm ²
865	0.44	3.4	53.0	9.4	29.0	20.4	40.9	40.9	87.2	66.4	320
867	0.47	2.9	94.7	7.5	23.0	21.0	39.1	36.7	85.5	81.9	353
869	0.56	2.4	66.3	3.4	16.5	7.7	28.7	21.3	127.3	126.2	575
871	0.50	1.9	61.7	3.0	27.7	10.1	48.5	15.1	128.3	103.5	395
878	0.48	2.6	31.9	3.7	29.7	16.5	49.5	39.6	97.7	89.6	361
881	0.58	3.4	84.4	15.0	35.6	29.4	35.6	29.4	95.7	74.1	372
883	0.58	4.8	78.2	12.5	37.6	33.1	37.6	33.1	95.5	111.7	437
885	0.57	3.3	55.7	14.2	28.1	0.0	40.9	0.0	144.4	131.6	778
887	0.49	1.3	30.0	2.8	20.6	16.1	52.7	52.7	73.8	77.6	390
889	0.61	3.5	6.3	13.5	29.5	0.0	41.3	0.0	126.5	128.1	743

(注) 0番台：A林分，100番台：B林分，200番台：C林分
 400番台：D林分，500番台：E林分，700番台：F林分
 800番台：G林分

付表3 縦引張り強さの総括表

試片No.	密度 (g/cm ³)	最大節 径比 (%)	集中節 径比 (%)	平均 年輪幅 (mm)	死荷重載荷に よるヤング係数 (tf/cm ²)	縦振動による ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り強さ (kgf/cm ²)
1	0.487	11.1	18.8	3.37	101.2	126.5	121.4	277
5	0.453	24.8	24.8	2.93	90.7	114.1	99.5	246
7	0.482	10.4	10.4	3.26	95.1	122.7	126.2	222
9	0.450	35.6	35.6	3.20	81.3	105.1	101.8	234
11	0.457	30.3	33.3	3.31	70.6	92.4	76.6	159
12	0.461	23.5	23.5	3.48	74.3	91.9	172	
14	0.547	20.9	20.9	3.57	82.2	108.9	105.4	251
16	0.566	21.4	32.6	3.64	90.0	121.4	121.4	250
19	0.532	18.7	18.8	2.60	85.8	114.4	110.6	244
22	0.514	16.2	16.2	3.25	101.0	128.9	132.0	436
24	0.508	17.6	23.8	2.96	98.7	127.4	124.9	360
26	0.471	22.1	28.0	3.17	96.3	123.5	112.4	323
28	0.498	30.6	30.6	3.50	80.9	99.2	86.6	199
30	0.584	8.6	8.6	4.13	102.0	128.0	108.7	254
32	0.564	42.3	42.3	3.64	102.3	125.4	126.7	379
34	0.581	20.8	33.9	3.05	105.5	140.5	135.3	346
36	0.550	42.9	51.5	3.73	91.7	124.6	113.3	301
40	0.527	34.0	34.0	4.04	81.5	117.6	104.4	340
41	0.537	34.5	45.1	2.89	87.4	113.7	110.0	294
44	0.579	16.2	23.9	3.21	101.3	135.1	129.9	364
46	0.541	40.0	47.7	3.51	98.1	121.4	112.6	383
47	0.552	29.9	36.8	3.15	96.8	127.9	115.8	377
51	0.510	45.3	45.3	3.29	76.6	93.4	92.8	190
53	0.495	20.8	20.8	4.05	72.8	84.8	79.5	247
55	0.481	21.7	27.0	3.11	77.9	96.1	97.4	200
57	0.471	37.9	56.9	3.18	76.6	93.1	85.3	252
60	0.539	19.1	26.6	2.84	85.4	103.7	99.2	361
62	0.582	10.4	19.1	2.97	100.1	128.2	117.3	380
63	0.516	19.4	38.0	2.77	88.8	121.7	108.6	367
67	0.613	31.4	31.4	3.11	80.8	123.4	92.7	221
68	0.522	35.5	43.7	2.64	81.2	108.3	108.9	297
102	0.486	50.7	74.0	4.63	86.7	119.7	112.6	311
104	0.520	38.8	38.8	4.53	83.4	102.2	95.0	222
106	0.527	19.2	30.9	3.98	100.8	132.2	131.2	299
108	0.515	25.0	36.6	3.93	82.5	119.2	112.8	205
110	0.521	39.9	48.2	4.18	87.8	117.5	113.3	187
112	0.501	38.5	48.1	4.41	87.8	116.3	115.3	162
114	0.445	28.2	33.0	4.28	83.6	109.3	104.3	235
116	0.527	53.3	64.1	4.83	66.8	85.7	76.9	158
118	0.499	38.7	58.6	3.73	56.8	79.8	70.1	176
121	0.482	63.8	63.8	3.72	85.6	109.5	102.1	261
123	0.479	47.4	47.4	3.83	85.6	116.9	108.7	196
125	0.486	20.9	41.8	3.44	91.4	120.4	105.7	311
127	0.494	37.2	67.7	4.00	75.9	103.7	102.0	231
129	0.497	54.5	58.7	4.06	89.5	111.2	102.1	181
133	0.466	20.7	35.4	5.30	78.1	102.6	95.8	248
135	0.442	39.8	48.9	4.70	79.2	102.1	104.9	263
137	0.455	29.6	29.6	3.53	81.7	106.0	104.2	201
141	0.449	29.0	34.9	5.64	71.6	89.5	85.2	179
143	0.392	48.2	60.9	4.16	67.8	85.0	81.1	198
145	0.409	45.1	67.7	5.84	63.5	81.8	79.7	168

試片No.	密度 (g/cm ³)	最大節 径比 (%)	集中節 径比 (%)	平均 年輪幅 (mm)	死荷重載荷に よるヤング係数 (tf/cm ²)	縦振動による ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り強さ (kgf/cm ²)
147	0.382	30.6	46.8	4.65	66.1	84.2	79.1	163
149	0.396	58.8	69.7	4.48	58.2	84.0	79.3	197
155	0.411	20.8	55.7	4.81	64.1	87.1	85.1	193
160	0.476	33.4	58.4	3.90	83.0	109.9	101.1	317
162	0.462	58.1	58.1	4.50	75.9	99.5	100.2	200
164	0.463	40.7	49.9	3.93	71.8	110.7	104.7	261
166	0.465	39.5	52.7	4.63	68.6	90.9	86.8	165
169	0.492	90.0	90.0	5.00	78.1	107.6	104.7	269
171	0.500	59.8	76.4	4.26	86.7	105.7	97.0	227
173	0.481	39.3	59.0	3.50	69.5	95.5	90.4	138
175	0.479	28.8	38.7	5.00	69.6	92.7	83.4	170
178	0.526	44.7	44.7	4.69	79.6	110.8	111.2	233
180	0.471	27.4	41.5	4.98	74.8	92.7	85.7	229
182	0.489	36.9	40.8	4.48	79.5	110.6	100.4	242
184	0.479	60.6	60.6	4.00	94.0	126.3	120.7	304
186	0.473	29.0	32.1	5.11	75.0	91.8	84.4	196
188	0.475	45.3	50.3	4.35	78.0	105.6	96.6	237
190	0.492	47.2	52.9	4.46	69.5	92.6	84.7	209
192	0.490	29.8	62.4	4.66	68.5	95.5	83.7	279
202	0.502	15.6	19.4	3.49	99.0	125.8	127.3	243
204	0.469	33.2	66.3	2.50	83.8	109.7	102.9	234
206	0.488	18.3	24.9	3.51	90.9	121.7	118.3	321
208	0.494	23.6	35.0	2.48	91.3	115.2	118.4	223
211	0.424	49.9	49.9	5.14	67.9	81.6	79.4	217
213	0.417	52.8	70.7	4.75	65.2	81.5	79.0	205
215	0.428	37.2	54.7	3.65	67.3	78.1	74.9	136
217	0.435	22.6	36.7	3.23	69.7	85.1	81.2	254
220	0.491	34.4	58.6	2.70	84.6	103.8	96.3	232
222	0.452	20.6	41.3	3.23	80.8	96.9	92.8	190
224	0.514	22.3	50.4	2.30	89.5	110.4	113.0	193
226	0.449	22.1	45.1	2.64	80.6	92.5	90.1	238
228	0.479	26.3	46.7	2.79	85.4	109.8	115.3	226
230	0.467	25.4	50.7	3.32	91.3	113.9	114.9	238
234	0.473	37.1	37.1	3.56	80.8	98.9	95.9	175
236	0.433	34.3	53.9	3.28	73.6	97.9	93.8	243
238	0.439	14.5	49.8	3.00	75.5	103.8	104.4	262
240	0.465	30.6	67.8	3.68	83.1	103.4	94.1	212
243	0.436	22.3	33.8	5.21	96.0	116.0	109.3	223
245	0.432	37.9	75.2	4.92	78.6	100.7	97.7	227
247	0.431	59.2	69.0	3.27	75.4	99.1	99.4	215
249	0.426	24.9	41.5	4.34	89.4	118.1	116.8	211
251	0.424	23.8	35.3	4.09	73.8	92.1	92.2	160
254	0.451	38.8	41.8	4.11	74.1	102.8	104.3	228
256	0.449	27.2	27.2	4.12	79.3	105.8	104.3	195
258	0.458	25.9	37.2	3.79	75.7	93.7	97.1	188
261	0.394	60.8	60.8	4.48	68.4	89.9	84.4	134
263	0.443	45.6	47.3	3.48	79.1	92.8	95.1	240
265	0.415	33.2	33.2	3.19	70.2	91.5	91.8	158
267	0.422	25.7	32.9	5.40	71.8	85.7	84.4	223
270	0.447	27.4	43.2	3.01	77.0	111.2	114.4	191
272	0.438	30.7	34.9	3.06	80.6	108.3	109.9	254
274	0.427	33.6	39.5	3.08	80.8	104.1	104.2	247
276	0.443	40.9	68.1	3.60	80.5	97.9	102.3	213
279	0.466	34.1	60.7	3.05	103.2	129.4	126.4	309

試片No.	密度 (g/cm ³)	最大節 径比 (%)	集中節 径比 (%)	平均 年輪幅 (mm)	死荷重載荷に よるヤング係数 (tf/cm ²)	縦振動による ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り強さ (kgf/cm ²)
287	0.472	36.9	48.4	4.02	64.3	80.3	81.2	87
289	0.468	53.9	63.3	3.83	85.8	114.9	110.0	195
291	0.468	38.4	38.4	4.12	76.7	104.4	102.9	185
294	0.467	52.9	52.9	3.98	68.8	91.5	86.6	161
297	0.451	30.8	30.8	3.79	82.5	115.5	111.1	274
299	0.462	46.3	46.3	3.79	83.0	105.9	109.4	189
301	0.495	29.2	39.1	3.74	74.2	92.6	96.0	177
404	0.468	27.4	36.5	3.47	75.6	112.6	115.4	259
406	0.485	56.4	74.9	4.23	72.2	96.5	83.7	210
408	0.453	26.3	57.6	5.00	89.5	114.6	115.6	225
411	0.488	25.9	44.4	5.09	85.6	117.8	112.7	231
413	0.476	24.8	34.7	4.76	75.6	110.2	94.3	184
415	0.522	33.7	33.7	5.18	85.4	112.5	119.6	200
417	0.538	35.0	35.0	4.85	102.3	135.1	139.0	250
419	0.503	10.1	14.3	5.52	90.4	125.0	116.3	250
422	0.471	39.5	44.4	4.40	73.8	103.6	104.3	151
427	0.448	44.2	54.1	5.13	54.7	70.7	64.0	231
429	0.445	42.7	54.6	5.24	62.0	83.6	83.6	163
431	0.437	40.4	46.2	4.72	59.1	79.8	79.4	199
433	0.422	29.0	38.6	4.50	76.7	95.4	92.2	207
436	0.493	86.4	95.5	5.52	77.6	98.5	88.9	244
438	0.504	36.8	51.1	6.68	61.1	80.1	76.2	181
440	0.479	52.8	52.8	4.74	72.9	97.2	104.1	182
442	0.500	53.1	92.1	5.27	71.6	96.6	108.1	164
444	0.456	44.8	81.7	4.85	73.4	97.3	91.7	170
446	0.466	36.5	67.9	4.57	81.6	105.1	101.3	239
448	0.472	46.4	75.4	5.36	66.9	80.3	76.8	207
453	0.515	49.8	87.1	3.68	71.8	106.0	108.7	223
455	0.507	40.8	67.9	3.72	85.0	120.3	117.0	307
459	0.468	37.3	40.6	5.15	65.4	85.3	81.8	249
461	0.458	55.4	73.6	5.57	59.5	71.4	64.9	192
463	0.424	16.8	24.4	4.78	73.9	97.3	95.5	218
465	0.419	38.8	40.4	5.16	54.3	75.4	67.4	156
467	0.435	50.0	65.3	4.81	53.4	65.8	64.4	108
469	0.484	31.2	31.2	3.90	86.6	111.7	102.1	210
471	0.465	31.4	68.5	3.86	78.0	98.3	92.2	176
473	0.518	72.7	72.7	4.96	92.5	125.2	116.1	333
475	0.520	57.0	68.5	4.81	85.0	124.8	107.5	294
477	0.511	56.2	56.2	4.83	86.4	112.4	107.8	210
479	0.514	36.7	51.7	4.38	83.5	110.1	111.8	202
482	0.494	25.7	42.2	4.65	80.9	107.7	106.1	209
484	0.479	32.2	73.4	4.54	72.5	97.7	92.5	248
486	0.468	34.7	58.6	4.95	76.8	90.7	79.4	170
488	0.491	35.5	50.3	3.50	52.5	70.7	57.0	51
502	0.495	28.8	54.2	4.98	81.1	100.7	105.6	180
504	0.503	16.8	20.8	5.12	62.5	85.0	79.9	136
506	0.485	42.5	42.5	5.32	84.5	111.4	110.0	208
508	0.511	28.3	50.8	5.60	75.4	96.4	85.6	206
510	0.452	25.1	48.7	4.32	72.5	91.2	99.9	157
512	0.458	36.5	62.2	4.63	75.9	95.7	91.8	137
514	0.598	9.3	9.3	3.98	107.0	149.6	139.0	315
516	0.599	11.8	11.8	6.35	99.7	137.4	134.3	347
518	0.590	23.9	25.5	5.65	97.6	140.4	137.0	340
520	0.577	56.0	60.2	4.48	87.4	127.2	126.1	274

試片No	密度 (g/cm ³)	最大節 径比 (%)	集中節 径比 (%)	平均 年輪幅 (mm)	死荷重載荷に よるヤング係数 (tf/cm ²)	縦振動による ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り強さ (kgf/cm ²)
528	0.482	22.5	53.4	5.06	80.9	108.7	105.4	165
530	0.582	32.4	63.2	82.9	99.0	89.1	195	
532	0.541	14.3	32.9	4.22	66.6	75.2	66.6	85
535	0.488	16.7	30.1	2.88	86.6	127.4	118.7	301
537	0.501	28.5	55.3	4.95	79.4	99.4	92.3	162
540	0.485	20.4	31.5	3.96	91.5	120.8	117.5	169
542	0.487	38.1	42.7	4.60	83.3	101.2	97.1	205
544	0.517	12.0	12.0	4.38	64.7	84.0	84.2	154
546	0.515	27.0	34.7	4.42	87.2	107.3	116.6	163
548	0.494	21.8	48.9	6.61	83.0	103.5	108.8	163
554	0.504	38.2	71.4	5.00	91.0	108.3	102.2	239
556	0.511	29.0	44.2	2.76	83.0	110.0	98.0	220
558	0.578	27.5	27.5	3.87	104.9	130.0	134.4	174
560	0.549	31.4	57.6	4.68	94.2	120.3	119.0	190
563	0.522	16.6	39.8	4.39	93.0	117.8	117.9	245
565	0.491	23.3	39.0	3.30	82.4	125.4	110.2	273
567	0.534	15.9	22.6	4.48	90.7	111.1	105.6	169
569	0.506	31.7	81.0	5.23	81.0	105.1	99.4	150
572	0.506	35.4	35.4	3.31	86.7	125.9	121.1	221
574	0.515	30.9	76.8	3.37	92.1	112.4	104.6	198
702	0.481	29.9	44.4	6.71	69.7	82.1	75.8	206
705	0.466	28.2	55.6	3.80	76.2	100.4	101.5	193
708	0.484	53.7	90.6	3.85	79.5	110.0	100.3	223
710	0.499	73.5	80.1	4.83	93.5	126.5	118.8	217
712	0.503	52.9	86.6	4.16	97.0	124.9	117.0	239
714	0.469	87.9	102.6	3.58	85.1	118.0	103.5	229
716	0.489	43.1	88.0	3.08	84.0	108.1	103.5	141
718	0.523	16.8	37.3	3.67	93.2	126.3	118.2	356
720	0.472	23.9	25.6	3.97	83.8	110.3	103.4	253
722	0.468	40.0	40.0	3.23	75.1	92.1	85.6	236
724	0.505	20.5	33.1	3.50	110.3	135.1	130.8	284
727	0.378	77.5	90.1	3.78	62.9	85.7	122.2	199
729	0.430	80.3	80.3	3.21	80.9	108.5	108.8	177
731	0.450	44.6	63.6	3.78	73.8	96.7	92.1	177
734	0.452	29.3	33.8	3.91	88.2	107.4	98.6	181
738	0.460	56.6	56.6	3.32	81.1	112.8	114.6	283
740	0.470	63.4	66.0	2.97	83.2	112.0	108.8	273
742	0.469	40.0	40.0	3.39	93.2	123.5	124.8	323
744	0.445	20.5	33.7	3.84	65.7	92.5	83.9	300
746	0.449	36.0	57.0	3.57	76.2	94.8	93.0	233
748	0.443	34.0	45.3	4.52	73.7	88.9	81.3	223
751	0.449	23.2	43.0	3.83	87.3	103.4	104.5	279
753	0.468	58.2	105.1	4.35	84.1	103.1	102.1	257
755	0.452	45.9	49.2	4.25	67.8	97.0	94.1	172
757	0.459	43.9	56.8	3.59	81.8	103.0	91.5	179
759	0.439	29.0	29.0	4.68	70.3	89.2	85.2	196
761	0.464	27.9	44.0	3.86	72.8	104.9	102.4	346
763	0.446	68.7	92.7	3.91	73.8	100.1	94.4	227
765	0.411	92.9	92.9	3.27	61.3	86.0	87.2	190
767	0.401	92.7	92.7	3.36	63.8	85.6	84.4	219
769	0.392	37.0	50.5	3.83	61.6	85.7	80.8	241
771	0.503	43.7	49.7	3.75	80.5	103.8	99.3	329
774	0.424	28.9	56.1	4.83	71.8	94.0	86.3	127
777	0.449	17.3	34.7	4.23	87.3	108.1	99.4	269

試片No	密度 (g/cm ³)	最大節 径比 (%)	集中節 径比 (%)	平均 年輪幅 (mm)	死荷重載荷に よるヤング係数 (tf/cm ²)	縦振動による ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り ヤング係数 (tf/cm ²)	引張り強さ (kgf/cm ²)
786	0.412	43.5	60.3	3.63	73.1	96.4	94.3	230
788	0.432	45.2	69.5	4.68	77.5	99.0	91.5	215
790	0.481	34.6	46.9	3.84	80.3	109.4	106.5	240
802	0.468	42.1	47.9	2.17	82.5	108.3	105.9	298
804	0.448	22.9	31.0	2.92	76.7	98.5	94.5	242
806	0.464	31.4	43.3	3.25	74.5	91.2	190	
809	0.438	18.5	27.7	4.17	72.3	81.9	81.3	152
811	0.449	23.6	40.1	2.77	68.6	85.3	81.4	150
814	0.473	25.2	42.8	3.26	78.3	93.0	79.8	298
816	0.480	21.6	42.4	2.23	88.1	109.6	100.5	264
818	0.477	26.6	60.4	2.80	82.2	102.8	79.5	207
821	0.438	21.1	55.8	2.98	81.2	109.1	99.8	171
823	0.468	30.7	52.6	2.67	77.7	107.7	100.5	216
826	0.476	33.2	45.8	2.25	83.0	106.6	91.8	221
828	0.470	21.7	42.9	2.45	92.9	125.9	117.1	297
830	0.429	23.3	54.1	3.17	79.1	97.8	93.9	209
833	0.475	42.6	45.1	2.29	74.7	108.8	106.6	159
835	0.423	23.9	42.1	3.22	77.9	93.1	89.0	176
837	0.448	37.6	49.3	2.06	65.0	82.8	72.7	161
839	0.527	20.0	39.1	3.38	71.7	96.6	82.2	182
841	0.518	37.9	37.9	2.24	89.6	127.1	139.9	224
843	0.499	20.7	48.1	2.39	84.8	110.2	102.2	198
845	0.482	30.2	44.9	1.96	64.8	90.1	81.5	171
847	0.476	19.2	28.4	2.72	88.5	110.0	100.5	275
849	0.478	28.8	43.2	1.91	85.3	108.7	94.0	198
852	0.526	24.9	32.4	2.59	99.4	129.0	118.0	237
854	0.518	30.2	37.6	2.60	91.8	118.1	103.7	199
857	0.499	28.9	30.0	2.83	103.9	132.2	121.7	335
859	0.482	29.6	50.5	2.27	86.1	118.8	108.4	266
862	0.515	37.0	78.1	2.48	78.1	117.7	112.3	363
864	0.465	30.8	45.3	2.15	79.5	109.5	100.2	257
866	0.451	25.3	60.8	2.58	74.6	87.0	80.9	166
868	0.458	30.9	54.1	2.68	57.7	79.9	71.5	201
870	0.551	20.9	32.6	2.07	98.3	126.9	108.4	250
872	0.529	34.3	38.8	2.23	100.7	139.1	130.6	273
874	0.510	39.6	47.8	2.71	91.5	120.1	119.0	206
877	0.471	25.1	34.4	2.71	78.7	93.4	79.5	192
880	0.540	29.4	67.2	2.44	94.2	115.4	103.1	271
882	0.530	22.0	22.0	5.12	77.0	95.7	104.5	153
884	0.569	39.9	39.9	3.61	93.4	118.3	104.5	153
886	0.544	43.5	43.5	3.13	103.8	144.3	135.2	258
888	0.526	38.4	56.8	3.81	77.7	101.0	90.0	220
n	255	255	255	254	255	255	253	255
Mean	0.482	34.9	48.0	3.88	80.7	105.4	100.8	226
Stdev	0.043	15.3	18.4	0.95	11.2	15.6	16.1	60
CV(%)	8.9	43.8	38.2	24.4	13.9	14.8	15.9	26.5
Min	0.378	8.6	8.6	1.91	52.5	65.8	57.0	51
Max	0.613	92.9	105.1	6.71	110.3	149.6	139.9	436

(注) 0番台：A林分，100番台：B林分，200番台：C林分
400番台：D林分，500番台：E林分，700番台：F林分
800番台：G林分