

8 カラマツ材質に関する研究

—— 物理的・機械的性質について ——

担当者 林産部 安藤賢吾
小林善重
三村典彦

1. ま え が き
2. 供 試 材
3. 供試材の木取り
4. 平均年輪幅，容積密度数，および
収縮率のあらわれかた
 - (1) 測定部位と試験片
 - (2) 試験方法
- (3) 試験結果
5. カラマツ材の強度的性質
 - (1) 供試材および試験片の木取り
 - (2) 試験方法
 - (3) 試験結果
6. ま と め

1. ま え が き

カラマツ材の用材品質，すなわち，製材品の品質と材が乾燥するにつれて発生する材質的欠点に関しては昭和39年から研究を重ねており，その実態は明らかにされつつあるが，さらに，カラマツ材の高度利用を進めるための資料としては材の持つ基本的な材質とその変動，ひいては，これらの特質を左右する因子について究明する必要がある。

このため，カラマツ材，利用合理化の要請に応えるための資料として容積密度数，収縮率，年輪幅，繊維傾斜角，および，強度について検討を行なった。

なお，この研究に当って熱心なご指導を頂くとともに，施設利用のご便宜をおはかり頂いた信大農学部重松助教授，安本氏に深甚な謝意を表するものである。また，供試材を提供された長野営林局の関係者に厚く御礼を申し上げる。

2. 供 試 材

供試したカラマツ材は長野営林局が浅間地方の高齢木について樹幹解折により成長経過を調査するため伐採したものであって，本試験のため特に割愛を受けたものである。

材は表-1にみるように約110年生であって，カラマツ造林木としては最古のものと思われ，材の成長経過に対応した材質の研究には希有の適材であった。

表-1 供試原木の概要

区 分	樹 齢	胸高直径	樹 高	幹材積
ア～オ系カラマツ	110年	38.55 cm	27.80 m	1.8365 m ³
A～E系カラマツ	108	40.15	25.70	1.6664

表-2

供試材の概要

区分	原木番号	元 口				材 長	備 考
		断面高	長半径	短半径	直 径		
ア～オ系 (110年)	ア	1.20 m	20.71 cm	15.15 m	35.86 cm	2 m	目回り2本
	イ	3.20	21.30	15.16	36.46	2	
	ウ	5.20	22.60	12.46	35.06	2	
	オ	9.20	16.80	13.42	30.22	2	
A～E系 (108年)	A	1.20	21.50	16.18	37.68	2	
	B	3.20	19.92	15.12	35.04	2	
	C	5.20	18.51	13.81	32.32	2	
	E	9.20	16.50	13.95	30.45	2	

産 地：岩村田営林署管内北佐久郡御代田町浅間山国有林36林班わ小班

地 況：標高980 m，土壤母材安山岩，表土火山灰土，適潤性黒色森林土偏乾型，傾斜5度

林 況：同齢一斉単純人工林，林令110年，間伐3回除伐2回実施

供試木：供試木は表-1に示すとおりであり，これから採材した供試材は表-2のようであった。供試材は通常の樹幹解折のとおり，地上高20 cmで伐採したものである。このうち，2番・3番・4番・6番の各玉をとりあげて試験の対称とした。また，110年生の材を2番玉から順にアイウオと符号を付けア～オ系カラマツと命名し，同様に108年生の材はA～Eまでの符号を付けA～E系カラマツと命名した。（図-1参照）

ア～オ系，A～E系とも健全な生育をしたことが認められるが，ア～オ系のア材は俗に水割れと呼ばれる目回りが2重に発生しており，これは強風による年輪の剝離かと思われる。両樹とも年輪幅はやや狭く肥大成長は必ずしも良好ではなかった。そして，樹皮はア～オ系がいわゆる薄はだであるのに対し，A～E系は厚はだであった。

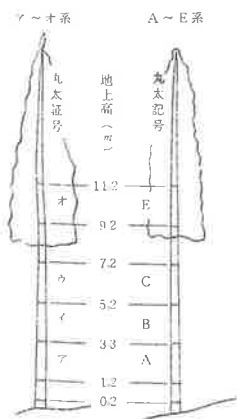


図-1 試験木から丸太材の採取

3. 供試材の木取り

供試丸太は樹幹解折用に10 cm厚の円板を図-2のように各丸太の末口から採取し，更に，ひきつづき繊維傾斜角測定用の円板を10 cm厚に採取した。

残った丸太は図-3に見るように樹心をとおり長半径(L)，と短半径(S)，を含む3 cm厚の板に製材した。

板は図-4，図-5のように板の元口から7.5 cmまでの部分は平均年輪幅，容積密度数，収縮率測定用試片の母材として切断し，それより上の部分は各種強度の測定用とした。

ただし，強度試片採取用母材は長さ75 cmとしこの中からは衝撃曲げの試片は採取せず，これに続いた31 cmの部分を衝撃曲げ試片採取用母材とした。

このように，3分割された板のうち容積密度数と収縮率等測定用は後述するとおりとし，各種強度測定用の2枚の板は，長半径方向および短半径方向にむかって，それぞれ樹心から3 cm間隔で連続してひき割り，3 cm×3 cmの正割り材を得ることとした。

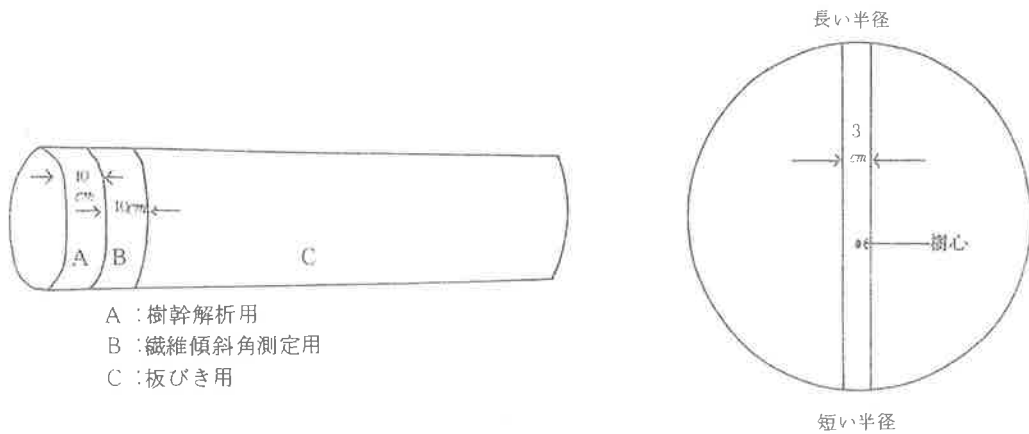


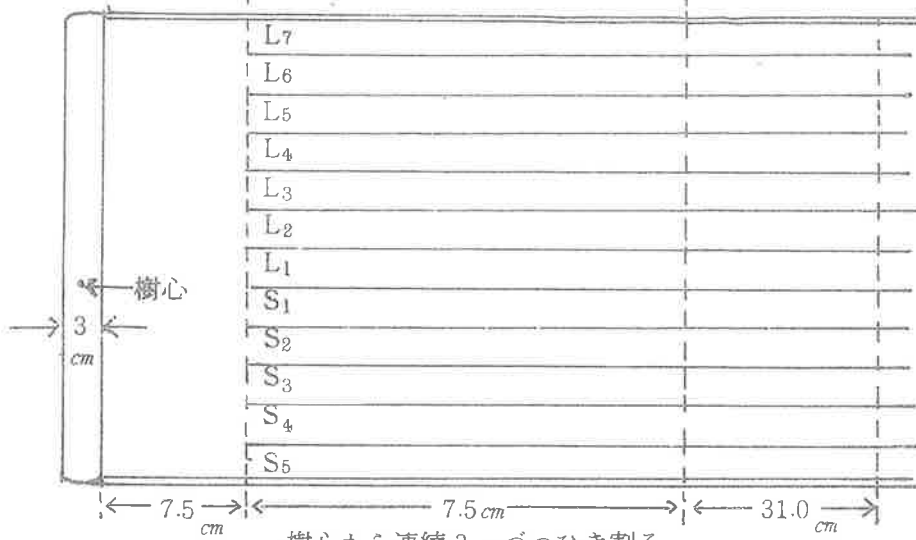
図-2 丸太材より円盤と板材の採取

図-3 丸太の木取り

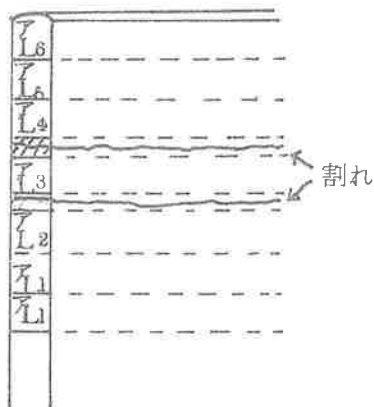
容積密度数
収縮測定用

強度試片採取用 (衝撃曲げ試片を除く)

衝撃曲げ試片
採取用



樹心から連続 3 cm ずつひき割る
図-4 板の木取り (ア～オ系のアを除く)



注) ア材は割れをさけて木取る

図-5 板の木取り (ア～オ系のア)

4. 平均年輪幅・容積密度数および収縮率のあらわれかた

カラマツ材の樹幹内各部位における平均年輪幅、容積密度数および、収縮率のあらわれかたを測定し、これら測定値の間における関連性などについて検討した。

(1) 測定部位と試験片

ア～オ系、A～E系 2本のカラマツを2に述べたように 2 m ずつ 4本の供試丸太に玉切り、各丸太を長半径、短半径を含む板にひき割った。試験片は各板の元木口部分から採取した。

したがって、地上高別には 1.2 m, 3.2 m, 5.2 m, 9.2 mの各部位、水平方向別には図-4、図-

5. にみるように3 cmずつ連続した部位から試験片を得ることとした。

収縮率測定試片はJIS Z 2103 木材の収縮率測定方法に基づいて図-6のように作製した。また、容積密度数は1 cm厚、接続方向に3 cm、材軸方向に3 cmの試験片とした。

これら各試片は水平方向の測定値の変化を追求するため、樹心を中心として、長半径方向と、短半径方向へそれぞれ3 cmずつ連続して木取ることとした。その結果試片数は表-3のような個数となった。

表-3 原木別試片数

原木別	種別 地上高別	平均年輪幅	容積密度数	収 縮 率		
				接線方向	半径方向	軸 方 向
ア イ オ 系	ア(約1.2 m)	10 個	12 個	12個	12個	9個
	イ(// 3.2 //)	12	10	12	12	10
	ウ(// 5.2 //)	10	12	11	12	11
	オ(// 9.2 //)	8	10	9	9	9
	ア~オ計	40	44	44	45	39
A イ E 系	A(約1.2 m)	10	12	12	12	12
	B(// 3.2 //)	11	12	12	12	7
	C(// 5.2 //)	10	11	12	12	9
	E(// 9.2 //)	9	11	11	11	7
	A~E計	40	46	47	47	35
合 計		80	90	91	92	74

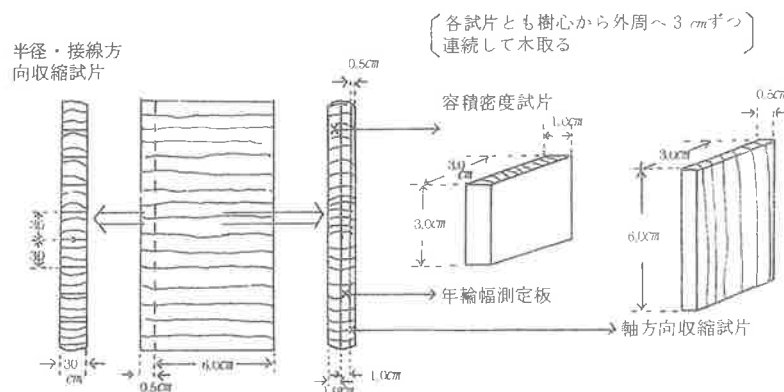


図-6 容積密度数・収縮率等測定試片

(2) 試験方法

収縮率、平均年輪幅、含水率の測定方法はJIS Z 2102、およびZ 103に準拠して行なった。

ただし、気乾材から生材への還元は減圧法を用いた。また、容積密度数の測定は水中浮力法により、飽水状態は煮沸法によって得ることとした。

試験に当っては寸法の測定は $\frac{1}{100}$ mm精度のダイヤルゲージ、重量は感量1 mgの精密秤によった。

(3) 試験結果

ア. 平均年輪幅と容積密度数

平均年輪幅と容積密度数は原木別、地上高別、水平方向別の各部位別に求めて付表1に掲げ

たが、その総括は表一 4 にまとめて示した。

表一 4 平均年輪幅と容積密度総括表

原 木	代 表 値	平均年輪幅 (mm)	容積密度数 (kg/m^3)
ア～オ系	試片数(個)	40	44
	最大値	5.2	556
	最小値	0.5	350
	平均値	2.42	440
	標準偏差	1.43	55.4
A～E系	試片数(個)	40	46
	最大値	4.3	529
	最小値	1.0	331
	平均値	2.18	416
	標準偏差	1.07	49.3
計	試片数(個)	80	90
	最大値	5.2	556
	最小値	0.5	331
	平均値	2.30	427
	標準偏差	1.28	53.7

平均年輪幅は 2.18 mm であって、当所でこれまでに測定したカラマツ材(35年生前後)にくらべてこの供試材は約 110 年生と高齢木であるため小さな値を示している。因みに A 区(松本市入山辺県有林産の 35 年生)が 4.4 mm, B 区(上伊那郡高遠町有林産 38 年生)が 3.8 mm, C 区(松本市入山辺県有林産 35 年生)が 4.1 mm, であったのに対して今回の高齢木は約半分位の数値であった。

平均年輪幅の測定値について出現分布をみれば図一 7 に示すとおりである。

さらに平均年輪幅の地上高、並びに水平方向別に変動する状況は図一 8, 図一 9, に示すとおりである。

平均年輪幅は樹心付近から 5 cm 位の間(20 年位まで)は急激に減少し、辺材部の最外周に至ってやや増加の傾向を示す。地上高別にみた年輪幅の平均は長短各半径方向とも、大きな変化はなく殆んど一定しているが、水平方向別にみれば変化が多きく、したがって、標準偏差もア系 1.43%, A 系 1.07% と大きな値を示している。

容積密度数は付表一 1 の測定値を総括して表一 4 に示したが、ア系と A 系の平均で $416 \text{ kg}/\text{m}^3$ という値であった。このような平均値を示す容積密度数の出現度数分布は図一 7 に見るようであった。また、樹幹内の分布は図一 9, 図一 10 に示した。これらの図表から、容積密度数は一般的に樹心部で軽く、辺材部へ行くに従って重くなり、最外周部に至ってやや軽くなる傾向にあることが判る。一方、地上高の変化による増減は明らかな傾向はみられなかった。

また、一般的に樹心からの距離が同じ部位では地上高が低い程重い傾向がうかがわれる。

つぎに、平均年輪幅と容積密度数の現われ方をくらべれば、平均年輪幅の減少は容積密度数の増加を表わす場合が多く図一 9 にみるように、この両者の間には逆相関が認められる。

両者の相関係数はア系が -0.5, A 系が -0.77 であった。また直線回帰式を求めて作図したところ図一 11 にみるとおりである。

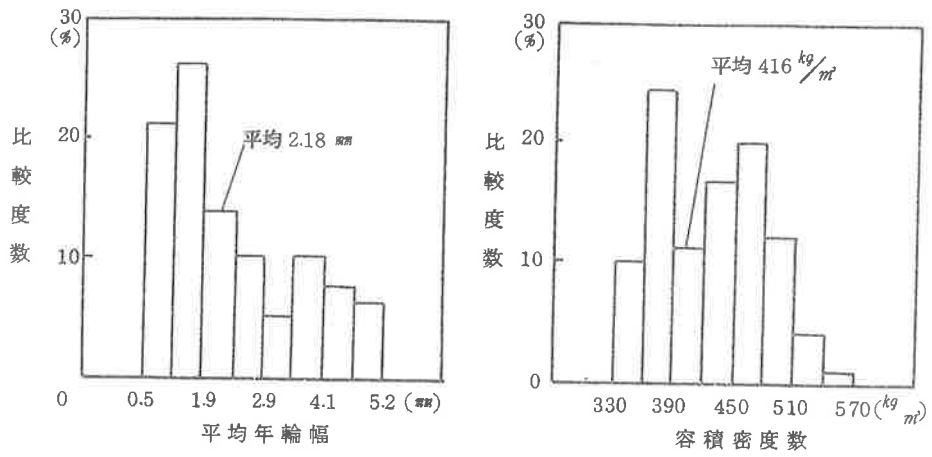


図-7 平均年輪幅と容積密度数の比較度数

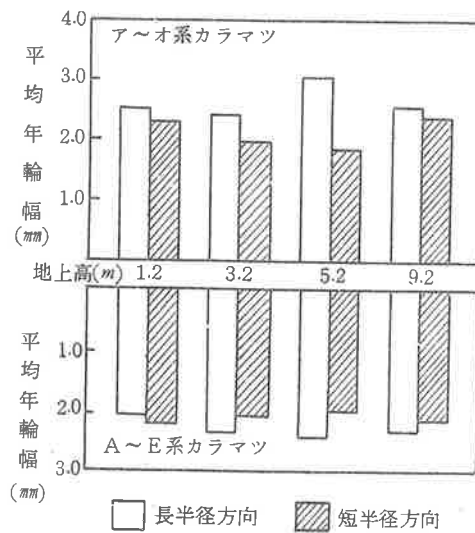


図-8 地上高別平均年輪幅

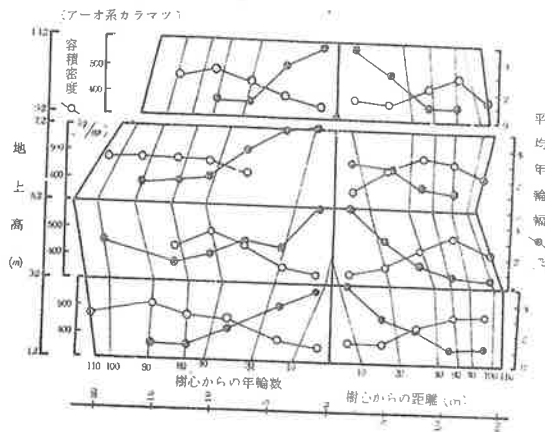


図-9 年輪幅・容積密度数の分布 (アーオ系カラマツ)

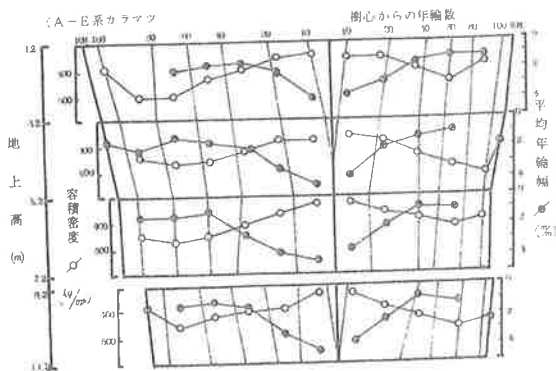


図-9 年輪幅・容積密度数の分布〔A-E系カラマツ〕

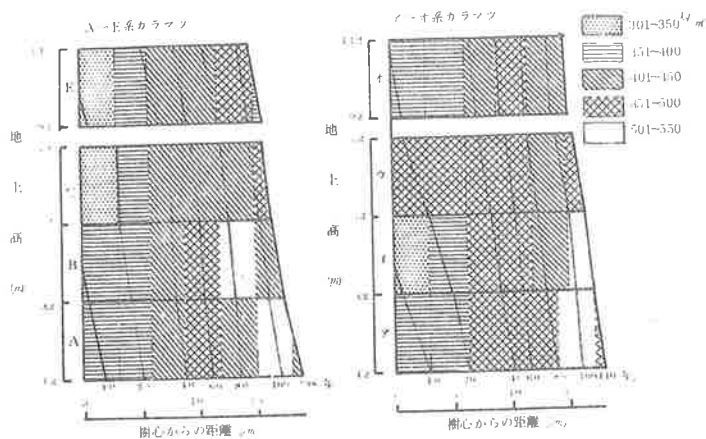


図-10 容積密度数の樹幹内分布
(長短半径の平均値)

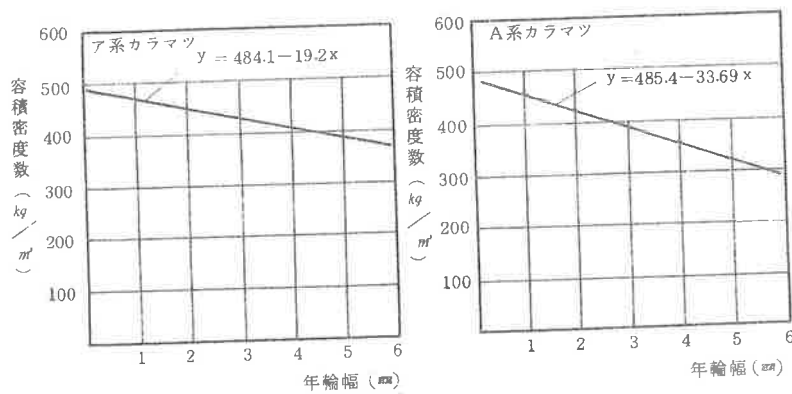


図-11 平均年輪幅と容積密度数

イ. 収縮率

生材から全乾までの全収縮率の各部位における測定値は付表-2に掲げたが、これをまとめれば表-5のとおりであって、接線方向の全収縮率 (dt) は 7.82%, 半径方向の全収縮率 (dr) は 3.32%, 軸方向の全収縮率 (de) は 0.29% という平均値をしめた。いま、de を 1 とした時の dr と dt はそれぞれ、27.0 および、11.4 という値となった。

各収縮率の出現頻度は図-12にみるとおりであって、それぞれ特徴的な度数分布をみせている。

樹幹内における収縮率の分布をみれば図-13から判るように、 d_t は d_r を常に上回り、しかも、(イ材)と(ウ材)の長半径を除く他の部位にあつては樹心部から外辺材部に向つて増加するような傾向を示している。

$\frac{d_t}{d_r}$ は水平方向収縮異方度を現わすとされているが、その値は平均してA系で2.4、A系で2.6となっている。この異方度は地上高の高い部位ほど大きい値を示す傾向であつた。

d_e の分布は樹心部から外周部へ向うにつれて減少する場合が多かつたが、なかには、外周に向つて急増するものがあり、統一的な傾向は断じ難い状態であつた。 d_e は付表-2の測定値にみるように(一)の値となるものがあつたが、これは、その試片の持つ何等かの内部応力の影響によるものと思われる。

表-5 収縮率総括表

原木	代表値	生材から全乾までの収縮率(%)		
		接線方向	半径方向	軸方向
A イ オ系	試片数	44	45	39
	最大値	10.66	5.80	0.95
	最小値	3.84	1.24	0.11
	平均値	7.43	3.26	0.36
	標準偏差	1.96	1.13	0.25
A イ E系	試片数	47	47	35
	最大値	14.97	7.58	0.82
	最小値	5.00	1.40	0.05
	平均値	8.21	3.37	0.22
	標準偏差	1.58	0.95	0.15
計	試片数	91	92	74
	最大値	14.97	7.58	0.95
	最小値	3.84	1.24	0.05
	平均値	7.82	3.32	0.29
	標準偏差	1.82	1.04	0.22

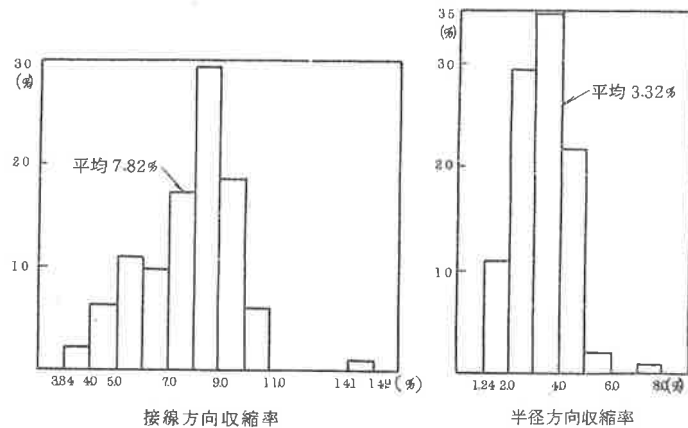


図-12 収縮率の出現度数

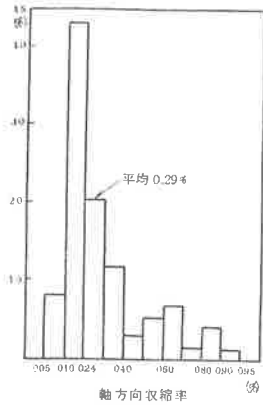


図-12 収縮率の出現度数

5. カラマツ材の強度的性質

高齢カラマツ人工林材の材質試験の一環として前節に引きつづき、無欠点小試験片体による強度的性質を追求した。その結果はカラマツ材の強度的評価、ならびに、合理的利用のための資料に供することをねらいとするものである。

(1) 供試材および試験片の木取り

供試材の原木記号とその概要は2に、供試材の採材木取りは3に、それぞれ述べたとおりである。

既述のように、樹心から3 cmづつ辺材部に向ってひき割って得た3 cm×3 cmの正割り材(図-3 図-4、図-5参照)の各々から、静的曲げ、縦圧縮、割裂抵抗、〔接線方向(T)・半径方向(R)〕、せん断〔接線方向(T)・半径方向(R)〕、衝撃曲げの各試験体を採取した。

試験体の木取りに当たって、衝撃曲げに供する柱体はプレーナー加工によって2 cm×2 cm×30 cmの試験片に仕上げ、衝撃曲げ以外の強度試験に供する柱体は同様に2.5 cm×2.5 cm×75.0 cmの柱体に仕上げた。

このように、正しく正角柱体に仕上がった柱体は元口から原則として圧縮試験体、せん断試験体(T方向・R方向の2体)、割裂試験体(T方向・R方向の2体)、静的曲げ試験体という順序でそれぞれ採材した。

各試験体はJISに基づいて作製したが、その寸法は図-14～図-18に示すとおりとした。

また、試験体の気乾状態は供試丸太を約5か月天然乾燥し、さらに、板材に製材してから4か月間室内で天然乾燥を行なって得たものである。

原木別試験体の内訳は表-6のとおりである。

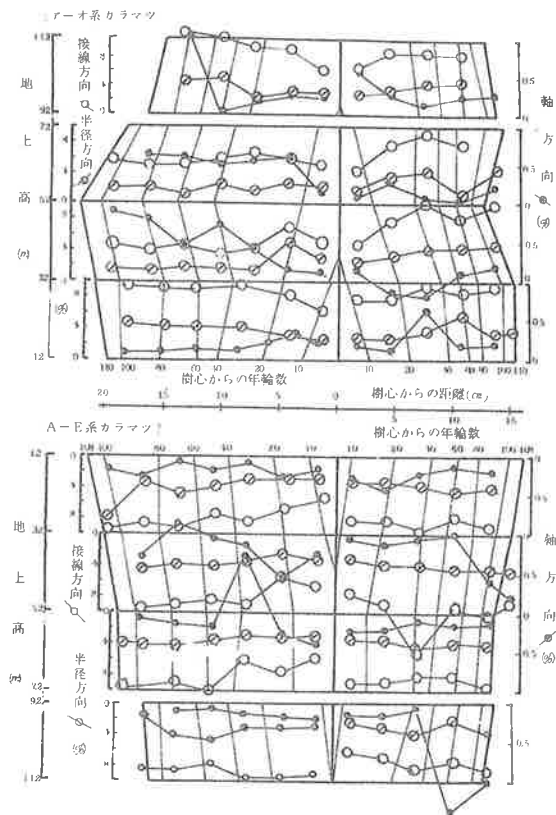


図-13 収縮率(全収縮率)の分布

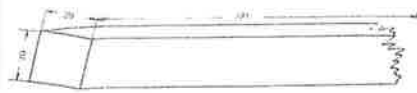


図-14 衝撃曲げ試験体
(単位 mm)



図-18 静的曲げ試験体
(単位 mm)

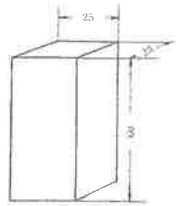


図-15 圧縮試験体
(単位 mm)

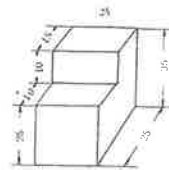


図-16 せん断試験体
(単位 mm)

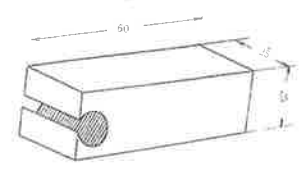


図-17 割裂試験体
(単位 mm)

表-6

原木別強度試験体数

原木別	種別 地上高別	静的 曲げ	縦圧縮	割裂抵抗		せん断		衝撃 曲げ
				接線方向	半径方向	接線方向	半径方向	
ア イ オ 系	ア(約1.2m)	10	10	10	10	10	10	12
	イ(〃3.2〃)	11	11	11	11	11	10	9
	ウ(〃5.2〃)	10	10	10	10	10	10	12
	オ(〃9.2〃)	8	8	8	6	7	8	10
	ア~オ計	39	39	39	37	38	38	43
A B C E 系	A(約1.2m)	10	9	8	8	9	9	13
	B(〃3.2〃)	11	11	11	10	11	11	11
	C(〃5.2〃)	10	10	10	10	10	10	11
	E(〃9.2〃)	8	9	9	9	9	9	11
	A~E計	39	39	38	37	39	39	46
合 計		78	78	77	74	77	77	89

2) 試験方法

圧縮試験方法はJIS Z 2111~1963, 曲げ試験方法はJIS 2113~1963, せん断試験方法はJIS Z 2114~1963, 割裂試験方法はJIS Z 2115~1963, 衝撃曲げ試験方法はJIS Z 2116~1963に定められた方法によってそれぞれ試験を実施した。

含水率は静的曲げ, せん断, 衝撃曲げの試験体についてのみ測定した。したがって, 縦圧縮と割裂試験体の含水率は静的曲げ試験体の含水率を準用して表わすことにした。

3) 試験結果

試験原木ごとの気乾状態における含水率, 比重, 平均年輪幅, 平均秋材率といった試験体の条件を現わす測定値と静的曲げ, 縦圧縮, 割裂抵抗, せん断, 衝撃などの強度値を総括して表-7, 表-8, 表-9に示した。

この試験結果に対比するため木材工業ハンドブックの強度値を引用して表-10を得た。ハンドブックにおけるカラマツの強度値にくらべて本試験結果は気乾比重がやや大きかったためか全般的に高い強度値を示している。今後, この種の試験結果の累積をまって普遍妥当性があり, より真実の値を代表する数値を整備しなければ速断はできないが, 今回のカラマツ材はハンドブックに掲げた, スギ, ヒノキ, アカマツの各樹種のうち最も強度特性の強い値を示したことが注目される。

表-7

静的曲げ強度総括表

原木	代表値	含水率 %	気乾比重	平均年輪幅 mm	平均秋材率 %	曲げ強さ kg/cm ²	曲げ比例限度 kg/cm ²	曲げヤング係数 kg/cm ²
ア イ オ 系	試験片	38	38	39	39	39	34	35
	最大値	16.3	0.717	5.6	36.7	1,449	1,216	153,195
	最小値	1.39	0.449	0.7	7.0	402	473	56,756
	平均値	15.03	0.565	2.51	21.68	884	751	100,412
	標準偏差	0.55	0.072	1.58	7.49	252.37	182.02	15,743.5
A I E 系	試験片	40	39	40	39	39	40	40
	最大値	14.2	0.689	4.4	35.3	1,408	1,062	139,839
	最小値	12.6	0.408	1.0	6.7	478	436	62,040
	平均値	13.32	0.534	2.21	18.03	913	756	101,344
	標準偏差	0.40	0.080	1.06	6.31	218.74	174.76	22,213.3
計	試験片	78	77	79	78	78	74	75
	最大値	16.3	0.717	5.6	36.7	1,449	1,216	153,195
	最小値	12.6	0.408	0.7	6.7	402	436	56,756
	平均値	14.15	0.550	2.36	19.9	898	755	100,909
	標準偏差	0.98	0.078	1.35	7.16	236.58	179.17	19,469

表-8

縦圧縮度総括表

原木	代表値	気乾比重	平均年輪幅 mm	平均秋材率 %	縦圧縮強さ kg/cm ²	縦圧縮比例 限度 kg/cm ²	縦圧縮ヤング 係数 kg/cm ²
ア イ オ 系	試験片	39	39	39	39	39	39
	最大値	0.695	5.5	36.7	775	719	179,548
	最小値	0.435	0.6	7.0	360	251	18,776
	平均値	0.548	2.4	21.8	547.4	390.26	69,992
	標準偏差	0.071	1.43	7.74	114.6	372.27	40,746.0
A I E 系	試験片	39	39	39	39	39	38
	最大値	0.667	4.4	31.8	684	554	145,188
	最小値	0.401	0.9	6.7	375	188	14,205
	平均値	0.521	2.2	18.1	520.1	361.95	59,338
	標準偏差	0.073	1.09	6.30	84.5	91.49	30,755.8
計	試験片	78	78	78	78	78	77
	最大値	0.695	5.5	36.7	775	719	179,548
	最小値	0.401	0.6	6.7	360	188	18,776
	平均値	0.535	2.3	19.9	533.7	376.1	64,734
	標準偏差	0.073	1.28	7.29	101.6	106.00	36,552.8

表一 9

割裂抵抗, せん断強度, 衝撃曲げ強度総括表

原木	代表値	試験片条件			割裂抵抗		せん断強度 (kg/cm^2)				衝撃曲げ		
		気乾比重	平均年輪幅 mm	平均秋材率 %	接線方向	半径方向	含水率 (%)		接線方向	半径方向	含水率 %	気乾比重	衝撃吸収エネルギー $kg \cdot m/cm^2$
							接線方向	半径方向					
ア オ系	試験片	39	39	39	39	37	31	34	38	38	40	40	43
	最大値	0.695	5.5	36.7	67.0	57.0	16.4	13.9	105.6	115.6	16.4	0.746	1.64
	最小値	0.435	0.6	7.0	13.4	12.5	12.2	12.4	30.9	44.0	14.8	0.446	0.07
	平均値	0.548	2.4	21.8	23.45	21.52	12.86	13.01	79.01	88.84	15.66	0.563	0.524
	標準偏差	0.071	1.43	7.74	11.94	11.64	1.66	0.42	16.6	15.7	0.40	0.074	0.188
A E系	試験片	39	39	39	38	37	38	38	39	39	41	45	46
	最大値	0.667	4.4	31.8	28.9	24.7	13.7	13.3	115.6	141.6	16.8	0.722	1.08
	最小値	0.401	0.9	6.7	11.0	10.3	12.1	12.2	55.0	65.1	14.4	0.408	0.11
	平均値	0.521	2.2	18.1	17.46	17.10	12.65	12.76	77.63	90.92	15.52	0.543	0.452
	標準偏差	0.073	1.09	6.30	3.82	3.08	0.39	0.28	13.4	17.2	0.60	0.078	0.252
計	試験片	78	78	78	77	74	69	72	77	77	81	85	89
	最大値	0.695	5.5	36.7	67.0	57.0	16.4	13.9	115.6	141.6	16.8	0.746	1.64
	最小値	0.401	0.6	6.7	11.0	10.3	12.1	12.2	30.9	44.0	14.4	0.408	0.07
	平均値	0.535	2.3	19.9	20.50	19.31	12.86	12.88	78.31	89.89	15.59	0.552	0.487
	標準偏差	0.073	1.28	7.29	9.40	8.80	1.17	0.37	15.1	16.4	0.50	0.077	0.294

表一 10

樹種別強度の比較

区分	樹種	気乾比重	曲げ強さ kg/cm^2	曲げヤング係数 t/cm^2	圧縮強さ kg/cm^2	せん断強さ kg/cm^2	衝撃吸収エネルギー $kg \cdot m/cm^2$
木 材 工 業 ク	スギ	0.30~0.38~0.45	500~650	55~75	250~350	40~60	0.20~0.35
	ヒノキ	0.34~0.44~0.54	600~750	60~90	350~400	45~70	0.30~0.45
	カラマツ	0.40~0.50~0.60	550~800	70~100	300~400	55~80	0.30~0.45
	アカマツ	0.42~0.52~0.62	700~900	85~115	350~450	70~95	0.30~0.50
本 試 験	カラマツ	0.40~0.70	402~1449	57~153	360~775	44~142	0.07~1.64
		0.54	898	101	534	90	0.49

各種強度における比重、平均年輪幅、平均秋材率などの相互関連を検討してみたところ表-11にみる様な結果であった。この表から判るように比重の増加に伴って曲げと縦圧縮の両強度は増大しており、相関係数は0.82~0.98程で強い相関関係にある。

また、平均年輪幅との関連をみればその増加が曲げと縦圧縮の強度低下をもたらしており、逆相関の関係にある。相関係数は-0.75~-0.79程で強い相関を示している。一方、平均秋材率の増加は曲げと圧縮の強度増加と関連が深く、せん断、割裂強度は逆に低下することがうかがわれる。

また、衝撃吸収エネルギーは気乾比重の増加に伴ない増大する傾向が僅かながら認められた。気乾比重と平均年輪幅の関連をみれば逆相関の関係にあり係数は約-0.8であった。そして、平均年輪幅の増加は容積密度数の減少に関連していることが判った。

表-11 比重、年輪幅および強度値の相互関係（気乾状態）

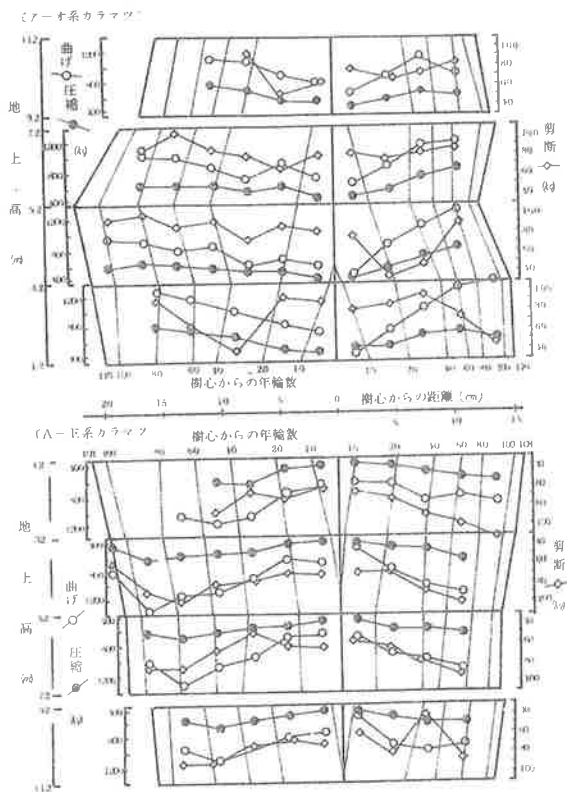
区 分	項 目	供試原木	相関係数	回 帰 直 線 式
曲 げ 強 さ	気 乾 比 重(x)と 曲 げ 強 さ(y)	ア~オ系	0.823	$y = 2,922x - 771$
		A~E系	0.957	$y = 2,626x - 490$
	平均年輪幅(x)と 曲 げ 強 さ(y)	ア~オ系	-0.748	$y = 1,183.6 - 119.2x$
縦 圧 縮 強 さ	気 乾 比 重(x)と 縦 圧 縮 強 さ(y)	ア~オ系	0.976	$y = 1,123.6x - 65.3$
		A~E系	0.871	$y = 1,415.6x - 228.5$
	平均年輪幅(x)と 縦 圧 縮 強 さ(y)	ア~オ系	-0.792	$y = 700.2 - 63.3x$
割 裂 抵 抗 (半径方向)	気 乾 比 重(x)と 割 裂 抵 抗(y)	ア~オ系	0.117	$y = 19.6 - 10.8x$
		A~E系	0.606	$y = 3.5 + 25.9x$
	平均年輪幅(x)と 割 裂 抵 抗(y)	ア~オ系	-0.11	$y = 23.5 - 0.849x$
せん断強度 (半径方向)	気 乾 比 重(x)と せん断強度(y)	ア~オ系	0.503	$y = 111.2 + 27.7x$
		A~E系	0.917	$y = 214.7 + 159.6x$
	平均年輪幅(x)と せん断強度(y)	ア~オ系	-0.55	$y = 103.2 - 61.3x$
衝 撃 曲 げ	気乾比重(x)と 衝撃吸収エネルギー(y)	ア~オ系	0.44	$y = 2.0x - 0.6$
		A~E系	0.62	$y = 2.0x - 0.63$
共 通	気 乾 比 重(x)と 平均年輪幅(y)	ア~オ系	-0.87	$y = 12.1 - 17.6x$
		A~E系	-0.79	$y = 11.4 - 17x$
	平均年輪幅(x)と 容積密度数(y)	ア~オ系	-0.50	$y = 484.1 - 19.2x$
		A~E系	-0.77	$y = 485.4 - 33.7x$

強度値の樹幹内変動をみるため樹幹解折のタケノコ図のうえに計測値を示した。代表的な強度値として静的曲げ、縦圧縮、せん断強度の樹幹内分布を図-19に示した。図において地上高別に4段階、水平方向（直径方向）にあつては樹心から外周へ向って1.5cm, 4.5cm, 7.5cm, 10.5cm, 13.5cm, 16.5cm, 19.5cmと3cm間隔に測定値を示したものである。また、測定位置は年輪の折線によって、およその樹齢を知ることができる。

この図から曲げ強さと縦圧縮強さは樹心は低く外周に向って一様に増加しており、最外周に至って若干の低下をもたらすというパターンを示している。

せん断強度はア~オ系の殆んどは樹心部が強くそれから漸次減少して、再び辺材部で幾分強くなっており、曲げ強さ、縦圧縮強度と正反対のパターンである。A~E系の殆んどは樹心部からしばらくの距離は強さが減少を辿るが、再び外周に向けて強さが増す傾向がうかがえる。

地上高による強度値の変化は明瞭ではないが、一般に地上高が高いほど若干の低下をもたらすものと思われる。



図一 19 静的曲げ・縦圧縮・せん断強度の分布

6. ま と め

カラマツ材の基礎材質である容積密度数、気乾比重、平均年輪幅、収縮率、ならびに、強度値の幹内変動とその特性を究明したが、本論をカラマツ材利用合理化の資料とするためには、ここで、乾燥狂いの関連を見なくてはならない。

そこで、参考資料として測定した長半径方向の繊維傾斜（信州大学農学部大倉氏らの円板割製法によって測定した。）を図一 20 に掲げた。これによれば、傾斜角は樹心部周辺 5 ~ 6 cm 位の間、年輪にしておよそ 20 年位は何れの部位にあっても大きな角度を示し、それから外周部に移るに従って減少している。しかしながら、110 年生は辺材部においては必ずしも順調な減少を辿らず、大きな振幅をみせながら最外周で減少をみせている。

これはいわゆるねじれ反しの現象とみられる。また、両供試木とも 1 番玉は最外周でねじれ角が増しているが、恐らく、更に年数が経過すればこの部分の角度は減少するのではなかろうか。いづれにしても、繊維傾斜角の水平方向の変化は平均年輪幅の推移と酷似しており樹心部から外周に向って減少するものとみてよからう。

図一 20 の左側に強度特性の代表として静的曲げ強度 (σ_b) を配してねじれ角及び平均年輪幅と対称させたが、 σ_b の水平方向の変化は右側の年輪幅と逆のパターンを示し、逆の相関が高いことがうかがえる。

さらに、図一20の左側中央部上段にカラマツ製材品にあらわれる乾燥ねじれの出現状態を示した。この資料は小諸73年生に関するものであるが、樹心からの距離の違いによる製品ねじれの出現状態を示している点で多くの情報を与えるので敢えて品質低下の目安として用いた。

製品のねじれの出現は樹心からの距離が8 cm以下の材はねじれ量の大きいものの頻度が高い。すなわち、製品のねじれ量が5 %以下といった優良材の出現頻度が製品全体の何%位あるかをみれば、樹心部から8 cm以内の部分製材して得た製品の52%が優良材であるのに対して、6~21 cmの部位の材は製品にして98%が優良材、16~28 cmの部位の材は製品にして96%が優良材であった。

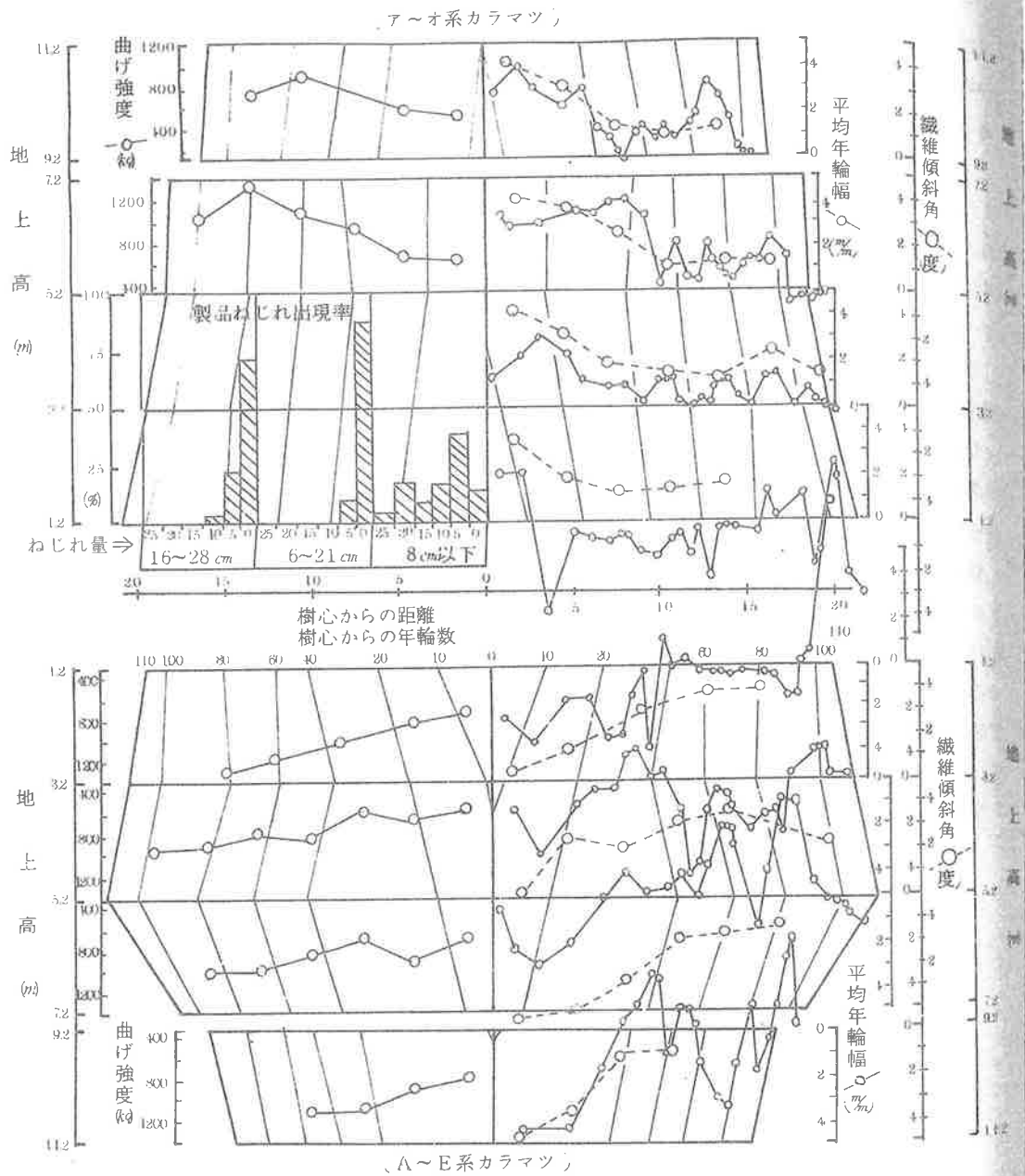
このことは、さきの静的曲げ及び縦圧縮あるいは容積密度数の推移とあい関連するものがあると考えられる。すなわち、生育状態の良好な樹心部およびその周辺20年位いまで、云い換えれば年輪幅の大きな部位は材質的に低位であり、生育状態が安定し年輪幅も3 mm以下位いとなれば強度特性や用材品質からみて材質的にも安定を見せてくるものといえよう。この樹心部およびその周辺20年位いまでの材部は一般に未熟材と呼ばれ、材質的に劣る部分であることが確認された。

そして、なお更に検討を要するが、繊維傾斜角、軸方向の収縮率等は品質低下の要因と見ることが出来るのではなかろうか。このことは育林技術に対しても幾つかの示唆を含むものといえよう。

なお、本研究の原木は高齢木であったので幼齡時、壯齡時、高齢時と、各時期の材質を或る程度まで各図で知り得たが、さらに、普通伐期のカラマツ材、環境や取扱いの違いによる材質の変化などを追求して資料の累積を図って行きたい。

最後に、カラマツ材を建築用材として利用する場合には、前述のことから、樹心を含んだ直径約16 cm位いの部位の材は物理的・機械的な材質とねじれ、狂い等の用材品質の面から良材とはいえず、それを越えた部位の材はこれらの材質が安定をみせてくることになる。したがって、地味良好な林分であって、建築用材仕立てを目的とする場合には、好ましい伐期は材質的な判断をもってすれば、およそ、50~55年程度、云いかえれば直径16 cm位いを除いて10.5 cm角材が採材し得る位いの径級、即ち末口33 cmの丸太が得られるような原木であれば充分であろう。

なお、伐期と用材品質に関しては、50年生の材についてねじれ狂いの実態を目下検討中である。



図一 20 繊維傾斜角・年輪幅・静的曲げ強度の分布と角材の乾燥のねじれ

付表-1

平均年輪幅および容積密度数の樹幹内変動

丸太番号	区分 測 定 方 向 樹心からの距離 CM	平 均 年 輪 幅 (mm)								容 積 密 度 数 (kg/m^3)							
		1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	平 均	1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	平 均
ア	L	4.6	3.6	2.0	1.0	1.1			2.5	357	384	461	481	519	480		447
	S	4.9	2.8	2.0	0.9	1.0			2.3	376	375	448	485	497	495		446
	平均	4.8	3.2	2.0	1.0	1.1			2.4	366.5	379.5	454.5	483	508	487.5		447
イ	L	4.9	2.3	2.9	1.8	1.1	2.5	1.6	2.4	350	370	448	500	436			421
	S	4.9	2.8	1.3	0.7	0.5			2.0	350	378	448	500	436			422
	平均	4.9	2.6	2.1	1.3	0.8	2.5	1.6	2.3	350	374	448	500	436			422
ウ	L	5.2	4.9	3.6	1.7	1.5	1.6		3.1	556	520	422	478	477	487	479	488
	S	2.6	2.5	1.3	1.0				1.9	362	446	501	479	420			442
	平均	3.9	3.7	2.5	1.4	1.5	1.6		2.6	459	483	461.5	478.5	448.5	487	479	469
オ	L	4.6	3.5	1.0	1.1				2.6	352	384	440	485	457			424
	S	4.5	3.1	0.9	1.1				2.4	384	365	430	472	372			405
	平均	4.6	3.3	1.0	1.1				2.5	368	374.5	435	478.5	414.5			414
総 平 均									2.4								440
A	L	3.7	2.1	1.3	1.6	1.7			2.1	356	369	417	440	512	512	405	430
	S	3.8	2.7	1.8	1.1	1.5			2.2	374	366	413	472	387			402
	平均	3.8	2.4	1.6	1.4	1.6			2.1	365	367.5	415	456	449.5	512	405	419
B	L	4.3	3.2	2.0	1.5	1.3	2.2	1.5	2.3	380	378	421	466	475	448		428
	S	3.7	2.0	1.3	1.1				2.1	372	386	451	492	529	411		440
	平均	4.0	2.6	1.7	1.3	1.3	2.2	1.5	2.2	376	382	436	479	502	429.5		434
C	L	4.2	3.7	2.6	1.1	1.3	1.3		2.4	331	372	420	454	470	458		418
	S	3.6	2.0	1.1	1.1				2.0	335	372	393	422	391			383
	平均	3.9	2.9	1.9	1.1	1.3	1.3		2.2	333	372	406.5	438	430.5	458		402
E	L	4.3	3.2	1.6	1.2	1.4			2.3	335	394	396	422	463	385		399
	S	3.7	2.3	1.0	1.2				2.1	339	389	432	470	445			415
	平均	4.0	2.8	1.3	1.2	1.4			2.2	337	391.5	414	446	454	385		406
総 平 均									2.2								416

注) L 長半径方向, S 短半径方向

表-2

生材から全幹までの全収縮率の樹幹内変動

丸太番号	区分 樹心からの距離 測定方向	接線方向収縮率 (%)								半径方向収縮率 (%)								軸方向収縮率 (%)						
		1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	平均	1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	平均	1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19
ア	L	6.29	8.60	9.54	9.44	9.68	9.80		8.89	2.98	3.25	4.34	4.42	4.81	4.70		4.08	0.25	0.31	0.11	0.15	0.13	0.13	
	S	7.76	7.63	9.66	8.88	9.47	9.84		8.87	2.62	2.51	3.72	5.80	3.64	3.68		3.63	(1.71)	(1.05)	0.66	0.17	0.19		
	平均	7.03	8.12	9.60	9.16	9.58	9.82		8.88	2.80	2.88	4.03	5.11	4.14	4.19		3.85	0.25	0.31	0.39	0.16	0.16	0.13	
イ	L	5.43	7.14	4.58	3.96	5.08	3.84	4.57	4.94	3.19	5.37	1.77	1.95	2.11	1.90	1.85	2.59	0.15	0.15	0.48	0.75	0.49	0.85	0.9
	S	4.74	7.96	10.10	8.19	9.82			8.16	2.70	3.42	4.36	4.47	4.77		3.94	0.17	(-1.08)	(-0.17)	0.11	0.20	-	-	
	平均	5.09	7.55	7.34	6.08	7.45	3.84	4.57	6.28	2.95	4.40	3.07	3.21	3.44	1.90	1.85	3.16	0.16	0.15	0.48	0.43	0.35	0.85	0.9
ウ	L	5.72	5.89	6.59	6.05	5.10	5.18	5.64	5.74	2.38	2.94	1.84	2.84	1.35	2.33	2.37	2.30	0.20	0.63	0.57	0.55	0.64	0.67	
	S	4.29	7.78	9.39	7.82				7.32	1.78	3.74	4.19	1.24	4.29		3.06	0.85	0.28	0.11	(0.05)	0.24	-		
	平均	5.01	6.84	7.99	6.94	5.10	5.18	5.64	6.31	2.08	3.34	3.02	2.04	2.82	2.33	2.37	2.61	0.53	0.46	0.34	0.55	0.44	0.67	
オ	L	6.50	8.60	8.78	9.85	10.66			8.88	2.96	3.13	2.25	4.45	4.48		3.45	0.34	0.29	0.24	0.07	(2.07)			
	S	6.44	8.09	8.42	7.92				7.72	2.57	3.20	4.01	4.43		3.55	0.62	0.34	0.15	0.25	0.28				
	平均	6.47	8.35	8.60	8.89	10.66			8.36	2.77	3.17	3.13	4.44	4.48		3.50	0.48	0.32	0.20	0.16	0.28			
総平均		5.90	7.71	8.38	7.77	8.20	6.28	5.11	7.43	2.65	3.45	3.31	3.70	3.72	2.81	2.11	3.26	0.36	0.31	0.35	0.33	0.38	0.55	0.9
A	L	5.23	6.33	8.27	7.15	8.81	8.20	8.41	7.49	2.61	2.23	2.76	3.64	4.54	2.81	7.58	3.74	0.13	0.26	0.08	0.18	0.08	0.26	0.10
	S	7.74	7.94	9.09	7.45	8.55			8.15	2.48	3.14	3.48	4.14	3.63		3.37	0.26	0.40	0.21	0.11	0.18	-	-	
	平均	6.49	7.14	8.68	7.30	8.68	8.20	8.41	7.76	2.55	2.69	3.12	3.89	4.09	2.81	7.58	3.59	0.20	0.33	0.15	0.15	0.13	0.26	0.10
B	L	6.20	5.00	8.95	8.47	8.51	9.43		7.76	3.07	2.02	3.40	3.67	3.46	4.18		3.30	0.24	0.54	0.11	(-0.03)	(-0.19)	0.27	
	S	7.18	8.62	14.97	8.79	10.63	8.33		9.75	2.91	3.64	3.79	4.19	3.98	4.24		3.79	(0.02)	0.13	(0.03)	(-0.03)	0.60	0.82	
	平均	6.69	6.81	11.96	8.63	9.57	8.88		8.77	2.99	2.83	3.60	3.93	3.72	4.21		3.55	0.24	0.34	0.11	-	0.60	0.55	
C	L	5.38	7.16	5.57	10.02	8.48	9.45	9.22	7.90	2.55	2.81	2.49	3.01	3.68	3.93	3.68	3.16	0.34	0.23	(-0.84)	0.17	0.14	(0.06)	
	S	8.95	8.19	7.81	8.06	9.03			8.41	3.02	3.20	3.78	3.71	3.54		3.45	0.22	0.19	0.08	0.13	0.13	-		
	平均	7.17	7.68	6.69	9.04	8.76	9.45	9.22	8.11	2.79	3.01	3.14	3.36	3.61	3.93	3.68	3.28	0.28	0.21	0.08	0.15	0.14	-	
E	L	8.67	9.34	9.62	7.69	8.68	8.51		8.75	2.85	2.91	2.94	4.72	4.04	1.40		3.14	0.20	0.17	0.15	0.09	0.12		
	S	6.45	7.21	8.24	7.36	8.33			7.52	2.16	3.11	3.92	1.80	3.82		2.96	0.18	0.17	(0.05)	1.40	(1.00)			
	平均	7.56	8.28	8.93	7.53	8.51	8.51		8.19	2.51	3.01	3.43	3.26	3.93	1.40		3.06	0.19	0.17	0.15	0.09	0.12		
総平均		6.98	7.48	9.07	8.13	8.88	8.76	8.82	8.21	2.71	2.89	3.32	3.61	3.84	3.09	5.63	3.38	0.23	0.26	0.12	0.13	0.25	0.45	0.16

註) ()内の収縮は積算から除外した

付表-3

静的曲げ強度の樹幹内変動(ア~オ系)

丸太番号	区分 樹心からの 測定方向 距離	含水率 (%)		気乾比重		平均年輪幅 (mm)		平均秋材率 (%)		曲げ強さ (kg/cm ²)		曲げ比例限度 (kg/cm ²)		曲げヤング係数 (kg/cm ²)	
		L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S
ア	1.5 cm	15.5	14.1	0.469	0.469	4.8	5.0	16.5	18.6	696	402	572	675	73,665	98,518
	4.5	15.2	14.3	0.561	0.524	1.3	3.5	16.4	15.2	805	729	739	952	97,107	126,427
	8.7		14.1		0.595	1.8	2.2	28.2	25.3	994	1,030	883	1,216	125,212	153,195
	12.4	14.7	13.9	0.663	0.686	0.7	1.2	28.4	28.5	1,174	1,336	1,074	772	140,698	134,628
	15.4	14.1	14.7	0.717	0.575	1.2	0.9	27.0	26.2	1,280	1,449	1,158		141,877	
	平均	14.9	14.2	0.603	0.570	2.0	2.6	23.3	22.8	990	989	885	904	115,712	128,192
イ	1.5	15.3	15.4	0.449	0.455	4.9	5.0	21.6	12.5	525	407	473		56,756	
	4.5	15.5	14.9	0.450	0.545	2.3	2.8	17.1	28.6	640	843	517	706	61,325	107,195
	7.5	15.6	14.5	0.502	0.598	2.7	0.9	18.3	22.5	544	1,101	530	776	69,032	130,088
	10.5	14.9	14.6	0.560	0.648	1.8	0.7	27.8	27.7	829	1,318	610		72,965	135,006
	13.5	15.0		0.619		0.8		31.7		754		670		81,430	
	16.5	14.8		0.645		2.5		35.8		871		673		78,567	
	19.5	15.4		0.569		1.5		29.1		929		673		84,321	
平均	15.2	14.9	0.542	0.562	2.4	2.4	25.9	22.8	727	917	592	741	72,057	124,096	
ウ	1.5	14.9	15.0	0.456	0.502	5.3	4.0	9.4	10.0	659	568	571	523	64,391	59,480
	4.5	16.2	15.1	0.492	0.486	5.6	2.3	12.1	15.4	854	820	673	814	86,378	99,217
	7.5	16.3	14.6	0.521	0.581	4.0	1.4	17.8	24.9	652	1,118	592	981	72,677	
	10.5	15.9	14.4	0.583	0.639	1.9	1.0	24.3	36.7	810	1,140	662	882	89,206	131,823
	13.5	15.3		0.633		1.4		29.6		964		651		91,950	
	16.5	15.8		0.622		1.5		23.8		976		780		101,258	
平均	15.7	14.8	0.552	0.552	3.3	2.2	19.5	21.8	819	912	655	800	84,310	96,840	
オ	1.5	15.1	15.1	0.499	0.535	5.2	5.0	10.8	7.0	753	595	608	604	77,589	79,977
	4.5	15.2	15.2	0.612	0.494	3.7	3.0	13.9	15.7	879	850		737		109,433
	7.5	15.2	15.3	0.645	0.601	1.2	0.9	27.3	19.9	1,079	1,127	922	939	129,720	131,963
	10.5	14.8	15.2	0.705	0.582	1.2	0.9	15.6	28.3	1,104	874	951	737	119,810	101,528
平均	15.1	15.2	0.615	0.553	2.8	2.5	16.9	17.7	954	862	827	754	109,040	105,725	
総平均		15.0		0.565		2.5		21.7		884		751		100,412	

付表-4

静的曲げ強度の樹幹内変動 (A~E系)

丸太番号	区分 樹心距離からの測定方向	含水率 (%)		気乾比重		平均年輪幅 (mm)		平均秋材率 (%)		曲げ強さ (kg/cm ²)		曲げ比例限度 (kg/cm ²)		曲げヤング係数 (kg/cm ²)	
		L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S
A	1.5 cm	13.1	13.4	0.460	0.434	3.8	3.8	12.7	14.6	726	677	646	597	77,244	72,848
	4.5	13.3	14.2	0.499	0.483	1.7	2.9	22.1	16.3	802	686	732	646	91,996	79,441
	7.5	13.6	13.1	0.603	0.554	1.0	1.8	27.1	23.4	1,177	930	1,005	900	118,926	118,769
	10.5	13.1	13.2	0.663	0.620	1.5	1.2	29.3	27.0	1,252	1,130	1,062	977	133,792	130,621
	13.5	13.1	12.6	0.664	0.638	1.7	1.6	35.3	25.3	1,140	961	726	817	112,454	119,900
	平均	13.2	13.3	0.578	0.542	1.9	2.3	25.3	21.3	1,019	877	834	787	106,882	104,316
B	1.5	13.4	13.4	0.434	0.422	4.4	3.7	10.3	9.3	710	478	580	436	77,485	69,501
	4.5	13.5	13.3	0.460	0.462	2.9	1.7	15.3	17.6	661	788	531	692	71,255	95,992
	7.5	13.5	13.2	0.531	0.542	2.1	1.4	20.3	20.3	922	1,029	754	886	107,744	130,478
	10.5	13.9	13.0	0.587	0.642	1.6	1.6	22.7	21.0	1,115	1,121	908	1,042	123,760	130,094
	13.5	13.7		0.667		1.4		24.4		1,170		961		139,839	
	16.5	13.4		0.676		2.2		26.6		1,408		980		114,246	
	19.5	13.7		0.543		1.5		22.1		843		683		99,839	
平均	13.6	13.2	0.557	0.517	2.3	2.1	20.2	17.1	976	854	771	764	104,881	106,516	
C	1.5	13.9	12.7	0.410	0.446	4.0	3.4	7.7	9.0	604	668	509	449	62,040	76,999
	4.5	13.9	13.1	0.449	0.460	3.9	2.0	13.8	13.0	659	867	619	681	81,584	104,215
	7.5	14.1	13.0	0.519	0.474	2.5	1.2	18.6	14.1	923	981	735	836	96,594	110,831
	10.5	13.8	12.7	0.567	0.582	1.1	1.1	20.0	16.3	1,054	1,107	901	895	110,970	114,466
	13.5	12.9		0.689		1.4		19.0		1,294		1,050		132,921	
	16.5	13.0		0.601		1.2		21.8		993		741		122,298	
平均	13.6	12.9	0.539	0.491	2.4	1.9	16.8	13.1	921	906	759	715	101,068	101,628	
E	1.5	13.1	13.0	0.419	0.408	4.4	3.7	6.7	9.3	720	496	574	477	72,201	65,172
	4.5	14.0	13.1	0.484	0.546	3.3	2.4	14.4	16.1	785	869	625	670	75,975	85,047
	7.5	13.3	13.4	0.554	0.532	2.2	1.0	15.0	14.9		948	807	837	108,254	108,611
	10.5	12.8	13.2	0.584	0.543	1.2	1.2	14.7	19.7	1,092	859	977	598	113,755	91,177
	13.5	12.9		0.544		1.5		18.3		943		708		104,417	
平均	13.2	13.2	0.517	0.507	2.5	2.1	13.8	15.0	885	793	738	646	94,920	87,502	
総平均		13.3		0.535		2.2		18.1		913		756		101,344	

付表-5

縦圧縮強度の樹幹内変動 (ア~オ系)

丸太番号	種別区分 樹心から測定方向の距離	縦 圧 縮											
		気 乾 比 重		平均年輪幅(mm)		平均秋材率(%)		縦 圧 縮 強 さ (kg/cm ²)		縦圧縮比例限度(kg/cm ²)		縦圧縮ヤング係数(kg/cm ²)	
		L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S
ア	1.5 cm	0.443	0.480	4.8	5.5	16.5	25.2	407	429	285	429	50,182	34,722
	4.5	0.491	0.467	3.6	2.5	15.7	16.8	445	463	330	463	43,664	34,377
	7.5	0.581	0.583	2.1	1.8	26.4	27.5	633	645	415	645	62,886	152,831
	10.5	0.634	0.657	1.3	0.8	26.3	28.0	714	689	466	689	70,371	118,300
	13.5	0.695	0.565	1.0	1.1	21.3	25.3	765	588	719	588	104,324	68,764
	平均	0.569	0.550	2.6	2.3	21.2	24.6	593	563	443	563	66,285	81,799
イ	1.5	0.476	0.441	4.8	4.8	21.6	12.5	360	400	260	259	19,817	32,937
	4.5	0.503	0.472	2.3	2.8	17.1	28.6	452	487	258	333	38,449	38,513
	7.5	0.543	0.562	2.9	1.6	17.8	25.0	460	640	358	455	35,301	117,387
	10.5	0.589	0.663	1.7	0.6	29.9	26.7	498	771	323	398	42,217	128,273
	13.5	0.602		1.2		26.2		526		327		51,724	
	16.5	0.637		2.6		35.7		570		381		87,864	
	19.5	0.595		1.7		26.9		527		361		78,125	
平均	0.564	0.535	2.5	2.5	25.0	23.2	485	575	324	361	50,500	79,278	
ウ	1.5	0.472	0.488	5.1	2.6	9.4	10.0	400	407	300	262	37,584	35,752
	4.5	0.472	0.472	4.8	2.1	11.5	12.4	557	495	272	260	88,719	50,850
	7.5	0.509	0.604	3.7	0.8	20.3	26.3	494	670	286	488	48,827	92,842
	10.5	0.600	0.581	1.4	0.9	24.3	36.7	561	775	362	434	97,000	95,333
	13.5	0.635		1.2		31.7		572		365		81,350	
	16.5	0.619		1.6		23.1		563		410		46,823	
	平均	0.551	0.536	3.0	1.6	20.1	21.4	525	587	333	361	66,717	68,694
オ	1.5	0.440	0.435	4.0	4.0	10.8	7.0	430	411	372	251	21,892	50,864
	4.5	0.485	0.479	3.3	3.1	13.9	15.8	504	461	428	303	33,935	18,776
	7.5	0.576	0.587	0.8	0.9	32.5	16.7	628	643	420	422	169,737	179,548
	10.5	0.655	0.591	0.9	1.4	15.6	34.3	733	574	530	313	114,431	54,409
	平均	0.539	0.523	2.3	2.4	18.2	18.5	574	522	438	322	84,999	75,899
総 平 均		0.548		2.4		21.8		547		390		69,992	

注) 含水率は静的曲げに同じ

付表-6

縦圧縮強度の樹幹内変動 (A~E系)

丸太番号	種別 区分 測定方向 樹心からの距離	縦 圧 縮												
		気 乾 比 重		平均年輪幅 (mm)		平均秋材率 (%)		縦 圧 縮 強 さ (kg/cm ²)		縦圧縮比例限度 (kg/cm ²)		縦圧縮ヤング係数 (kg/cm ²)		
		L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	
A	1.5 cm	0.447	0.426	3.4	4.0	13.3	16.3	434	375	224	230	25,882	49,233	
	4.5	0.495	0.469	2.2	2.6	27.7	13.6	457	452	313	350	30,931	47,768	
	7.5	0.653	0.544	1.5	1.7	31.8	22.8	684	520	359	337	145,188	38,982	
	10.5	0.629	0.616	1.5	1.1	28.8	24.8	649	588	243	398	31,798	82,956	
	13.5		0.627		1.5		26.4			629		407		122,418
	平均	0.556	0.536	2.2	2.2	25.4	20.8	556	513	285	344	58,450	68,271	
B	1.5	0.427	0.417	4.1	3.6	10.3	9.3	397	412	260	276	16,206	45,595	
	4.5	0.455	0.457	3.5	1.9	15.3	18.9	431	441	299	325	44,823	74,151	
	7.5	0.537	0.536	1.9	1.2	20.3	24.5	545	522	283	448	77,888	53,788	
	10.5	0.583	0.619	1.4	1.1	18.9	25.6	561	670	391	453	41,610		
	13.5	0.649		1.4		24.0		572		358		14,205		
	16.5	0.667		2.1		27.2		658		470		98,800		
	19.5	0.505		1.5		25.3		459		379		36,282		
平均	0.546	0.507	2.3	2.0	20.2	19.6	518	511	349	376	47,116	57,845		
C	1.5	0.401	0.409	4.4	3.8	7.7	9.0	411	427	267	334	51,090	27,245	
	4.5	0.481	0.478	3.5	2.0	13.8	13.0	493	539	317	480	60,981	71,190	
	7.5	0.534	0.502	2.6	0.9	18.6	14.1	501	532	374	498	88,806	55,306	
	10.5	0.584	0.557	1.1	1.0	22.3	14.4	573	585	494	490	88,844	69,157	
	13.5	0.626		1.3		19.1		641		554		123,556		
	16.5	0.550		1.3		20.5		583		461		81,201		
平均	0.529	0.487	2.4	1.9	17.1	12.6	534	521	411	451	82,413	55,725		
E	1.5	0.412	0.418	4.2	3.6	6.7	9.3	402	418	272	300	38,696	26,755	
	4.5	0.471	0.480	3.0	2.2	14.3	16.1	448	488	299	306	46,369	54,098	
	7.5	0.486	0.514	1.2	1.0	15.0	14.9	519	552	437	505	56,091	50,331	
	10.5	0.574	0.558	1.3	1.1	14.9	17.4	616	556	188	294	30,403	112,723	
	13.5	0.523		1.4		20.0		542		443		43,483		
平均	0.493	0.493	2.2	2.0	14.2	14.4	505	504	328	351	43,008	60,977		
総平均	0.521		2.2		18.1		520		362		59,338			

注) 含水率は静的曲げに同じ

付表-7

割裂抵抗・せん断強度・衝撃曲げ強度の樹幹内変動(ア～オ系)

種別 区分 測定方向 樹心からの距離 番号	試験片条件						割裂抵抗(kg/cm ²)				せん断強度(kg/cm ²)						衝撃曲げ									
	気乾比重		平均年輪幅(mm)		平均秋材率(%)		接線方向		半径方向		含水率(%)				接線方向		半径方向		含水率(%)		気乾比重		衝撃吸収エネルギー(kg・m/cm ²)			
	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	接線方向		半径方向		L	S	L	S	L	S	L	S	L	S		
											L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S		
ア	1.5 cm	0.443	0.480	4.8	5.5	16.5	25.2	21.7	48.5	21.1	49.0	12.2	12.7	12.6	13.1	89.2	80.4	76.8	44.0	15.2	15.4	0.516	0.455	0.25	0.24	
	4.5	0.491	0.467	3.6	2.5	15.7	16.8	20.0	45.5	17.6	41.0	12.4	12.9	12.8	12.9	93.0	87.3	95.9	78.9	15.4	15.6	0.482	0.483	0.42	0.30	
	7.5	0.581	0.583	2.1	1.8	26.4	27.5	24.1	67.0	18.7	52.0	12.4	12.8	12.6	12.7	38.8	96.6	96.8	115.6	15.7	15.9	0.558	0.590	0.60	0.69	
	10.5	0.634	0.657	1.3	0.8	26.3	28.0	14.3	42.0	19.0	50.0	12.5	12.9	12.4	12.8	81.9	73.0	65.1	106.3	15.6	—	0.627	—	0.83	0.82	
	13.5	0.695	0.565	1.0	1.1	21.3	25.3	29.3	56.0	17.9	57.0	12.8	13.0	12.5	12.9	90.8	49.7	103.5	101.4	15.9	—	0.746	—	1.10	0.85	
	16.5																				14.8	15.5	0.693	0.607	0.84	1.10
	平均	0.569	0.550	2.6	2.3	21.2	24.6	21.9	51.8	18.9	49.8	12.5	12.9	12.6	12.9	78.7	77.4	87.6	89.2	15.4	15.6	0.604	0.534	0.67	0.67	
イ	1.5	0.476	0.441	4.8	4.8	21.6	12.5	14.8	21.1	13.3	19.3	—	13.0	—	13.3	83.0	77.0	—	100.0	14.9	15.9	0.479	0.723	0.19	0.20	
	4.5	0.503	0.472	2.3	2.8	17.1	28.6	20.0	18.1	17.6	14.2	—	12.6	—	12.9	88.8	30.9	82.2	84.0	15.5	16.0	0.472	0.552	0.07	0.29	
	7.5	0.543	0.562	2.9	1.6	17.8	25.0	18.3	15.3	12.9	14.6	13.2	12.4	—	12.4	74.4	50.1	82.7	114.7	16.1	15.3	0.522	0.546	0.16	0.69	
	10.5	0.589	0.663	1.7	0.6	29.9	26.7	20.5	17.5	14.6	21.4	13.2	12.5	13.6	12.5	96.5	90.0	77.2	113.1	16.3	15.3	0.532	0.672	0.18	0.69	
	13.5	0.602		1.2		26.2		27.0		15.4		—		13.9		88.4		102.2			15.7		0.630		1.13	
	16.5	0.637		2.6		35.7		18.2		17.7		—		13.5		101.6		100.5								
	19.5	0.595		1.7		26.9		21.7		19.5		—		13.6		94.5		69.0								
平均	0.564	0.535	2.5	2.5	25.0	23.2	20.1	18.0	15.9	17.4	13.2	12.6	13.7	12.8	89.6	62.0	85.6	103.0	15.7	15.6	0.501	0.625	0.15	0.60		
ウ	1.5	0.472	0.488	5.1	2.6	9.4	10.0	16.5	21.4	14.2	15.6	12.3	12.7	13.4	13.2	79.8	81.1	73.3	76.7	16.1	16.1	0.547	0.495	0.10	0.16	
	4.5	0.472	0.472	4.8	2.1	11.5	12.4	15.4	15.2	12.5	14.8	12.9	12.5	13.3	12.5	66.4	76.8	73.0	85.5	15.3	15.9	0.446	0.480	0.37	0.31	
	7.5	0.509	0.604	3.7	0.8	20.3	26.3	18.8	13.4	14.3	15.9	12.9	12.5	13.4	12.9	79.6	82.2	79.4	102.7	15.8	15.5	0.494	0.546	0.58	0.68	
	10.5	0.600	0.581	1.4	0.9	24.3	36.7	18.6	14.1	21.5	22.3	13.1	12.9	13.6	—	87.4	89.1	81.7	111.1	16.4	15.2	0.564	0.637	1.64	0.59	
	13.5	0.635		1.2		31.7		21.3		18.0		—		13.5		105.6		104.4		15.9	15.4	0.663	0.608	0.37	0.93	
	16.5	0.619		1.6		23.1		27.9		19.5		—		13.8		85.8		93.3		16.0		0.624		0.32		
	19.5																			16.1		0.615		0.18		
平均	0.551	0.536	3.0	1.6	20.1	21.4	19.8	16.0	16.7	17.2	12.8	12.7	13.5	12.9	84.1	82.3	84.2	94.0	15.9	15.6	0.565	0.553	0.51	0.53		
オ	1.5	0.440	0.435	4.0	4.0	10.8	7.0	23.5	15.1	—	15.9	13.0	12.8	12.8	12.7	62.3	78.2	76.3	85.5	15.0	15.8	0.469	0.473	0.32	0.40	
	4.5	0.485	0.479	3.3	3.1	13.9	15.8	19.4	15.4	—	13.8	12.8	12.8	12.8	12.6	52.0	68.9	85.1	78.6	15.9	15.7	0.530	0.476	0.38	0.33	
	7.5	0.576	0.587	0.8	0.9	32.5	16.7	25.1	19.4	17.0	15.0	12.7	12.9	12.9	12.8	94.1	72.4	97.8	70.3	15.2	—	0.554	—	0.60	0.45	
	10.5	0.655	0.591	0.9	1.4	15.6	34.3	14.7	18.5	20.2	21.8	—	16.4	13.1	—	—	84.6	96.7	94.5	15.6	15.6	0.621	0.645	0.59	0.37	
	13.5																			16.0	15.7	0.560	0.581	0.75	0.49	
平均	0.539	0.523	2.3	2.4	18.2	18.5	20.7	17.1	18.6	16.6	12.8	13.7	12.9	12.7	69.5	76.0	89.0	82.2	15.5	15.7	0.547	0.544	0.53	0.41		
総平均	0.548		2.4		21.8		23.5		21.5		12.9		13.0		79.0		88.8		15.7		0.563		0.52			

注) 割裂抵抗試片の含水率は静的曲げに同じ

付表-8

割裂抵抗・せん断強度・衝撃曲げ強度の樹幹内変動(A~E系)

丸太番号	種別 区分 測定方向 樹心からの距離	試験片条件						割裂抵抗 (kg/cm ²)				せん断強度 (kg/cm ²)								衝撃曲げ						
		気乾比重		平均年輪幅(mm)		平均秋材率(%)		接線方向		半径方向		含水率(%)				接線方向		半径方向		含水率(%)		気乾比重		衝撃吸収エネルギー (kg·m/cm ²)		
		L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	接線方向		半径方向		L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	
												L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	
A	1.5 cm	0.447	0.426	3.4	4.0	13.3	16.3	16.3	17.7	13.8	—	12.4	12.5	12.4	12.7	63.6	65.5	75.8	69.7	14.9	16.2	0.435	0.525	0.11	0.26	
	4.5	0.495	0.469	2.2	2.6	27.7	13.6	—	17.5	15.8	18.8	12.4	12.4	12.4	12.6	72.7	74.1	78.8	75.3	—	14.6	0.631	0.499	0.19	0.38	
	7.5	0.653	0.544	1.5	1.7	31.8	22.8	12.1	20.7	15.4	21.3	12.2	12.4	—	12.5	66.3	90.4	117.4	93.1	16.3	15.4	0.637	0.555	0.54	0.59	
	10.5	0.629	0.616	1.5	1.1	28.8	24.8	13.2	17.5	24.7	23.0	12.6	12.3	12.6	12.3	89.0	99.2	111.4	108.2	15.4	14.7	0.684	0.552	0.68	0.80	
	13.5		0.627		1.5		26.4			28.9		23.2		12.3		12.2		115.6		97.5	14.6	14.4	0.722	0.616	0.71	0.76
	16.5																			16.2	—	0.576	0.544	0.85	0.75	
	19.5																			—				0.41		
平均		0.556	0.536	2.2	2.2	25.4	20.8	13.9	20.5	17.4	21.6	12.4	12.4	12.5	12.5	72.9	89.0	95.9	88.8	15.5	15.1	0.614	0.549	0.50	0.59	
B	1.5	0.427	0.417	4.1	3.6	10.3	9.3	11.0	14.2	—	13.1	13.2	12.3	13.0	12.7	71.5	69.8	70.4	65.1	—	15.3	0.469	0.426	0.21	0.13	
	4.5	0.455	0.457	3.5	1.9	15.3	18.9	12.4	15.5	14.4	14.8	12.6	12.2	13.0	12.5	70.6	70.9	72.5	75.6	15.8	15.4	0.450	0.448	0.18	0.39	
	7.5	0.534	0.536	1.9	1.2	20.3	24.5	19.1	18.3	12.1	16.8	12.6	12.2	12.5	12.5	74.4	84.3	105.2	93.3	16.2	16.3	0.509	0.526	0.39	0.63	
	10.5	0.583	0.619	1.4	1.1	18.9	25.6	15.1	24.9	17.5	20.5	12.3	12.3	12.7	12.5	87.8	101.9	107.5	112.3	15.7	15.0	0.568	0.633	0.42	0.64	
	13.5	0.649		1.4		24.0		19.7		19.3		12.2		12.7		92.2		141.6		15.3	15.2	0.644	0.615	0.66	0.62	
	16.5	0.667		2.1		27.2		23.6		18.4		12.4		12.7		89.2		119.4		14.7		0.701		0.91		
	19.5	0.505		1.5		25.3		16.4		16.8		13.2		13.3		63.1		83.5								
平均		0.546	0.507	2.3	2.0	20.2	19.6	16.8	18.2	16.4	16.3	12.6	12.3	12.8	12.6	78.4	81.7	100.0	86.6	15.5	15.4	0.557	0.530	0.46	0.48	
C	1.5	0.401	0.409	4.4	3.8	7.7	9.0	13.7	19.2	13.6	18.9	12.7	13.3	12.8	13.2	65.0	56.9	83.1	68.6	15.6	15.8	0.421	0.480	0.17	0.28	
	4.5	0.481	0.478	3.5	2.0	13.8	13.0	17.2	17.9	10.3	16.3	12.5	13.1	12.7	13.0	64.6	64.8	81.8	72.7	16.0	—	0.460	—	0.43	—	
	7.5	0.534	0.502	2.6	0.9	18.6	14.1	13.2	14.3	15.7	13.9	12.8	—	12.8	13.0	55.0	80.4	73.5	93.0	16.2	15.5	0.567	0.499	0.41	0.56	
	10.5	0.584	0.557	1.1	1.0	22.3	14.4	12.6	19.2	17.4	19.2	12.4	12.7	12.5	12.7	69.2	91.4	101.6	97.8	16.8	14.7	0.531	0.577	0.29	0.56	
	13.5	0.626		1.3		19.1		24.0		17.5		12.1		12.5		88.1		107.0		16.6	15.4	0.626	0.554	0.48	0.56	
	16.5	0.550		1.3		20.5		18.5		20.4		12.8		13.0		88.1		106.7		—		0.671		0.74		
	19.5																			16.1		0.557		1.08		
平均		0.529	0.487	2.4	1.9	17.0	12.6	16.5	17.7	15.8	17.1	12.6	13.0	12.7	13.0	71.7	73.4	92.3	83.0	16.2	15.4	0.548	0.510	0.51	0.49	
E	1.5	0.412	0.418	4.2	3.6	6.7	9.3	15.7	14.7	15.4	14.8	13.3	12.7	13.2	12.8	70.5	61.3	71.0	73.6	15.2	14.5	0.418	0.416	0.12	0.12	
	4.5	0.471	0.480	3.0	2.2	14.3	16.1	16.3	21.3	15.4	16.9	13.7	13.2	13.3	13.0	65.8	78.0	85.0	94.9	16.1	15.7	0.486	0.471	0.12	0.29	
	7.5	0.486	0.514	1.2	1.0	15.0	14.9	14.1	20.8	16.3	16.0	13.0	12.6	12.9	12.6	73.7	73.9	84.5	90.8	15.7	15.7	0.485	0.515	0.18	0.17	
	10.5	0.574	0.558	1.3	1.1	14.9	17.4	17.3	19.8	16.5	19.1	12.8	13.0	12.8	13.1	91.1	87.9	96.3	86.9	15.9	14.9	0.565	0.568	0.21	0.28	
	13.5	0.523		1.4		20.0		19.7		19.5		13.0		13.0		89.9		103.5		15.5	15.4	0.623	0.547	0.32	0.31	
	16.5																			15.5		0.515		0.84		
平均		0.493	0.493	2.2	2.0	14.2	14.4	16.6	19.2	16.6	16.7	13.2	12.9	13.0	12.9	78.2	75.3	88.1	86.6	15.7	15.2	0.515	0.530	0.30	0.23	
総平均		0.521		2.2		18.1		17.5		17.1		12.7		12.8		77.6		90.9		15.5		0.543		0.45		

注) 割裂抵抗試片の含水率は静的曲げに同じ