



Title	交雑カラマツ造林木の材質試験
Author(s)	宮島, 寛; MIYAJIMA, Hiroshi; 長谷川, 賢司 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 35(1), 139-156
Issue Date	1978-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20991
Type	departmental bulletin paper
File Information	35(1)_P139-156.pdf



交雑カラマツ造林木の材質試験*

宮島 寛** 長谷川賢司***

Wood Quality of Plantation-Grown Hybrid Larch Trees

By

Hiroshi MIYAJIMA** and Kenji HASEGAWA***

目 次

1. 緒 言	139
2. 材 料	140
2.1 生長経過	140
2.2 供試木	142
3. 試験方法	142
4. 結果および考察	145
4.1 基礎材質	145
4.2 強度試験結果	146
4.3 年輪幅と比重および力学的性質との関係	149
4.4 比重とヤング係数および強度との関係	150
4.5 有節材の曲げ強さ	150
4.6 乾燥による材の狂い	153
5. 結 言	154
文 献	155
Summary	155

1. 緒 言

カラマツ (シンシュウカラマツ, ニホンカラマツ) は生長が他の針葉樹に比べ, 非常によいことから, スギ, ヒノキなどの造林が不可能な長野県, 岩手県などの山地および北海道で広く植栽されている。しかし, このカラマツには育林上, ネズミ, ウサギなどによる食害, 先枯病などの樹病の害を受けやすいという欠点があり, また材の利用上からは乾燥による弓反り (bow),

* 1977年7月31日受理

** 北海道大学農学部林産学科木材加工学教室

*** 大建工業㈱

** Lab. of Wood and Wood Products Engineering, Institute of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

*** Daiken Kogyo Co.

曲り (crook), ねじれ (twist) などの狂いが大きいこと, さらに, 加工品から樹脂が吹き出ることなどの欠点があり, 利用上支障となっている。これらの欠点を育種学的に減じる研究が古くから試みられている。ここに研究の対象としたのは昭和12年に交雑され, 札幌市郊外の野幌樹木園に植栽されたものである。これらはニホンカラマツとチョウセンカラマツならびにグイマツとの交雑種で, 昭和50年10月に伐採されたものである。昭和12年に結実し, 翌年播種であるので, 樹齢は37年である。

カラマツ F_1 類の材質試験として, すでに道立林産試験場の川口・高橋 (1972)²⁾ および小野寺・高橋・川口 (1977)³⁾ による東京大学北海道演習林に植栽された11年生のグイマツ×ニホンカラマツ, チョウセンカラマツ×ニホンカラマツについて, 立木の曲り, 仮道管長, 細胞壁厚, 同内径などの測定結果および強度試験結果の詳細な報告がある。そこでは F_1 類は生長がよく, 立木の曲りはグイマツ F_1 がニホンカラマツの1/3, その繊維長も5~8%長く, 夏材部の細胞壁も厚く, さらに機械的性質においては, ニホンカラマツ<チョウセンカラマツ<グイマツの傾向にあるが, F_1 類ではチョウセンカラマツ系, グイマツ系ともほぼ同じ値で, かつ前3者の平均値に近いことが報告されている。

本研究は前記伐倒木のなかから提供された5本の供試木について, 年輪幅, 比重, 未乾燥材および乾燥材の各無節部および有節部の各種曲げ性能, ねじり試験によるせん断弾性係数, 乾燥による狂いなどを測定した結果を論じたものである。なお, 提供された材料は樹幹析解用ならびに物理的性質測定用の円盤を採取した残りの幹材である。

本研究においては交雑種のコントロールとしてのニホンカラマツ, チョウセンカラマツおよびグイマツについての試験は行っていないが, 既往の研究結果との比較により交雑種の材質の評価が可能であると考えられる。本研究が材質育種に参考となれば幸いである。

本研究を行うにあたり, 供試木ならびに各種資料を提供された農林省林業試験場北海道支場育種研究室(室長鮫島淳一郎氏)の方々に感謝する。また, ご指導いただいた沢田稔教授および協力された上田恒司教官に対しお礼を申し上げる。

2. 材 料

供試木はニホンカラマツ×チョウセンカラマツ2本, ニホンカラマツ×グイマツ3本である。樹種名に使用した記号はつぎのとおりである。

FL: カラマツ (ニホンカラマツ)

LK: チョウセンカラマツ

LG: グイマツ

2.1 生長経過

昭和12年に北海道林業試験場において交配し, 翌年播種, 苗木を育て, 野幌の林業試験場敷地に隣接する民有地に植栽したものである。植栽密度は1haあたり約3,000本で, 植栽本数

は合計 173 本であった。22 年生になった 1960 年 8 月の調査時の健全残存木は表-1 に示すとおりである。この時点までに枯損消失したものの 27 本、枯損立木 12 本あり、健全木は 134 本で、全体の残存率は 76% であった。このなかで、残存率の最も高かったのは記録が不明となったもので、16/17=0.94、つぎがニホンカラマツの 31/36=0.86、F₁ 類およびグイマツはほぼ同じで 0.75~0.78、最も低いのがチョウセンカラマツの 4/12=0.33 であった。このように F₁ 類はいずれも成績良好であったといえる。この調査時に枯損木 12 本と間伐木ならびに調査木として 35 本が伐倒され、99 本の健全木が残された。

この 1960 年 8 月と伐倒前の 1975 年 9 月の調査による各種類ごとの胸高直径および樹高は表-2 に示すとおりである。1960 年の調査では平均値についてみれば、種類による差は明らか

表-1 植栽本数と残存率

Table 1. Number of plantations and percentage of remained sound trees (Aug. 1960, 22 years old)

種 類 Kind	植栽本数 No. of plantations	残存健全木数 No. of sound trees	残存率 (B) (A) (%)
	(A)	(B)	(%)
FL	36	31	86
FL×LK	60	46	77
LK	12	4	33
FL×LG	36	28	78
LG	12	9	75
不詳 Unknown	17	16	94
合計 Total	173	134	76

(Remarks) FL: Japanese larch, LK: Korean larch, LG: Kurile larch (Guimatsu).

表-2 胸高直径と樹高

Table 2. Diameter breast height and height of plantation-grown trees

調 査 Investi- gation	樹 齢 Age (Yrs.)	種 類 Kind	本 数* Number of trees*	胸高直径 D.B.H. (cm)			樹高 Height (m)		
				最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.
Aug. 1960	22	FL	32 (1)	4.3	11.2	17.8	3.6	7.3	9.4
		FL×LK	51 (5)	3.5	12.2	18.2	3.7	8.0	11.5
		LK	4 (0)	8.2	11.9	13.8	4.1	6.0	7.0
		FL×LG	32 (4)	6.9	12.6	17.4	4.1	8.4	11.8
		LG	11 (3)	6.4	11.9	17.0	5.2	7.9	10.8
		不詳 Unknown	16 (0)	5.0	11.8	18.0	2.9	8.9	10.5
		全体 All	146 (13)	3.5	12.0	18.2	2.9	8.0	11.8
Sep. 1975	37	FL	20	10.3	13.9	23.5	7.7	9.9	14.2
		FL×LK	32	10.0	18.2	26.0	9.3	13.1	17.0
		LK	3	18.0	18.2	18.5	9.9	10.8	12.4
		FL×LG	22	14.0	19.6	27.0	9.0	13.9	15.8
		LG	6	13.0	20.4	26.4	12.6	13.5	14.2
		不詳 Unknown	12	11.2	18.0	27.1	10.8	13.6	14.4
		全体 All	95	10.0	17.5	27.1	7.7	12.6	17.0

* 枯損木を含む、() は枯損木数で内数。

* Including standing dead trees, and their numbers are given in the parentheses.

ではない。樹高においてチョウセンカラマツ (LK) がやや劣る程度である。1975年の調査ではニホンカラマツ (FL) の生長が悪い。対象木は一致していないが、15年間の生長量を平均値についてみると、胸高直径で2.7 cm、樹高で2.6 mに過ぎない。他の種類ではチョウセンカラマツが樹高生長において、やや劣るが大差ない。

2.2 供試木

この試験に供した立木は表-3に示すニホンカラマツ×チョウセンカラマツ (FL×LK) 2本 (No. 72 および 115) およびニホンカラマツ×グイマツ (FL×LG) 3本 (No. 132, 131 および 147) 計5本である。その胸高直径および樹高は表-3に示すように、いずれも平均値以上の生長のすぐれたものである。

3. 試験方法

試験体の採材と試験方法は図-1に示すとおりである。まず、供試原木は地上高1.3 mから2 mごとの丸太で、1供試木から4~5本が採材された。これを同図(2)に示すように25 mm厚にだらびきし、鉋仕上げを行い、厚さを23 mmとした。幅を5, 7, 9 cmの3種類とし、できるだけ広いものを採材するようにした。各供試木から採取した試験体数、丸太材積、試験体材積および同採材の歩止りを表-4に示す。

この未乾燥材の全数(137体)について(3)に示すようにスパン150 cm中央集中荷重による曲げ剛性試験を行い、ヤング係数 E を求めた。つぎに、これらのなかから34体を選び、ねじり剛性試験(4)を行い、せん断弾性係数 G を求めた。この試験にはスキー用ねじり試験機⁷⁾を使用した。この34体を未乾燥材の強度試験用とした(5)。まず、最大節がほぼ試験体の中央に位置するように採材した長さ56 cmの試験体(9)についてスパン50 cmで、支点から15 cmの位置に $P/2$ ずつ荷重をかけ、中央17 cmの区間で、たわみを1/100 mm精度のダイヤルゲージで読み、有節部の曲げ比例限度 σ_{bp} および曲げ強さ σ_b を求めた。無欠点部からは長さ34 cmの試験体(7)を採取し、スパン28 cm、中央集中荷重による曲げ試験を行い、曲げ比例限度 σ_{bp} および曲げ強さ σ_b を求めた。さらに、長さ6 cmの無欠点部(6)について縦圧縮試験を行い、縦圧縮強さ σ_c を求めた。また、同じ長さ6 cmの無欠点部(8)について試験時の含水率 u を求めた。

以上の各数値は次式により求められた。

(3)の曲げヤング係数 E

$$E = \frac{Pl^3}{48I\delta} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (1)$$

表-3 供試木

Table 3. Trees tested

立木 Tree No.	種類 Kind	胸高直径 D.B.H (cm)	樹高 Height (m)
72	FL×LK 1	22.1	13.1
115	〃 2	25.5	15.5
132	FL×LG 1	24.6	14.9
131	〃 2	23.9	14.4
147	〃 3	25.0	15.4

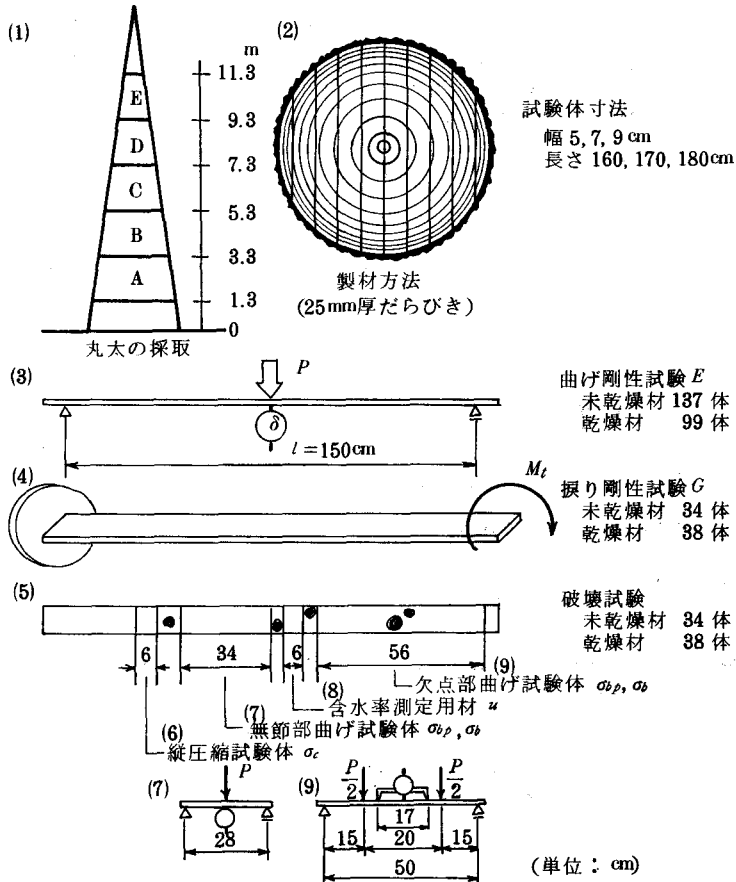


図-1 試験方法

Fig. 1. Testing procedure. (1) Logging, (2) Sawing, (3) Flexural rigidity test for sawn lumber, (4) Torsional rigidity test, (5) Method of taking specimens, (6) Specimen for test of compression parallel to grain, (7) Bending specimen without defects, (8) Specimen for measuring moisture content, (9) Bending specimen including the max. knot in the central part.

表-4 試験体数

Table 4. Number of specimens

供試木 Tree No.	試験体数 No. of specimens			丸太材積 Volume of logs (A) (m ³)	試験体材積 Volume of specimens (B) (m ³)	歩止り (B) (A) (%)	
	断面寸法 (cm ²) Cross section						
	5×2	7×2	9×2				計 Total
FL×LK 1	12	6	4	22	0.147	0.052	35
" 2	16	16	5	37	0.224	0.087	39
FL×LG 1	5	11	14	30	0.245	0.083	34
" 2	3	8	7	18	0.147	0.047	32
" 3	9	10	14	30	0.163	0.082	56
合計 Total	45	51	41	137	0.926	0.351	38

ここに、 P は荷重 (kg), l はスパン (cm), I は中立軸に関する断面二次モーメントで、この場合、 $I = bh^3/12$ (cm^4 , b は材幅, h は材せい), δ は荷重 P のときのたわみ (cm) である。

(4) のせん断弾性係数 G

$$G = \frac{3M_t}{\theta bh^3 \left(1 - 0.630 \frac{h}{b}\right)} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (2)$$

ここに、 M_t はねじりモーメント (kg cm), θ はねじり率 (単位長さあたりのねじり角, rad/cm) である。

(6) の縦圧縮強さ σ_c

$$\sigma_c = \frac{P_{\max}}{A} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3)$$

ここに、 P_{\max} は最大荷重 (kg), A は断面積 (bh , cm^2) である。

(7) の曲げ比例限度 σ_{bp} および曲げ強さ σ_b

$$\sigma_{bp} = \frac{M_p}{z} = \frac{P_p l}{4z} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (4)$$

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}}{z} = \frac{P_{\max} l}{4z} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (5)$$

ここに、 M_p は比例限荷重 P_p (kg) のときの曲げモーメント, M_{\max} は最大曲げモーメント, P_{\max} は最大荷重, z は断面係数で、この場合 $z = bh^2/6$ (cm^3) である。

(8) の含水率 u

$$u = \frac{W_u - W_0}{W_0} \times 100 \quad (\%) \quad (6)$$

ここに、 W_u は試験時の重量 (g), W_0 は全乾重量 (g) である。

(9) の曲げ比例限度 σ_{bp} および曲げ強さ σ_b

$$\sigma_{bp} = \frac{M_p}{z} = \frac{aP_p}{2z} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (7)$$

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}}{z} = \frac{aP_{\max}}{2z} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (8)$$

ここに、 a は支点から荷重点までの距離で、この場合 $a = 15$ cm, 他は(7)の場合と同じである。

以上の未乾燥材試験の残り (99 体) はすべて約 100 日間の天然乾燥ののち、仕上り含水率 12% を目標に人工乾燥を行った。乾燥終了後、全数について幅反り (cup), 曲り (crook), 弓反り (bow) およびねじれ (twist) を測定した。前 3 者についてはそれぞれ最大矢高の幅または材長に対する比 (%) で表し、ねじれは平らな面に 3 隅で支持し、1 隅の立上りの高さを測定し、ねじり剛性試験と同様のねじり率で表した。さらに、この乾燥材全数について 図-1 (3) に示す曲げ剛性試験を行い、曲げヤング係数を求めた後、38 体を選び、未乾燥材と同様同図 (4)~(9) までの試験を行った。

4. 結果および考察

4.1 基礎材質

原板について図-1 (3) および (4) に示す曲げおよびねじり剛性試験の結果を生材および乾燥材について平均すると表-5 に示すようになる。これによれば、平均年輪幅は供試木により大きな差はなく 3.2~3.8 mm の中にある。種類別ではグイマツ系の方が平均 3.6 mm で、チョウセンカラマツ系の 3.2 mm よりわずかに大きい。これら供試木はすべて優勢木であるので、造林木全体としては生長はあまりよくない方であると思われる。比重を (全乾重量)/(生材体積) の値でみればチョウセンカラマツ系 0.48, グイマツ系 0.54 で、後者は前者の 112.5% の値である。また、含水率 11% 前後のときの値はそれぞれ 0.55 および 0.63 で、これも後者が 114.5% の値である。供試木による差は同一種類内では 1 割程度以内である。ヤング係数は造林カラマツ材としてはかなり大きな値を示し、未乾燥材でチョウセンカラマツ系 85~98, 平均 $93 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, グイマツ系 93~104, 平均 $99 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, 乾燥材でそれぞれ 106~131, 平均 122 および 119~137, 平均 $131 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ であり、この場合もグイマツ系の方が大きい。せん断弾性係数は一般にカラマツ材は大きい²⁾、この場合もかなり大きな値である。とくに、グイマツ乾燥材の平均値 $11.0 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ は針葉樹材としては非常に大きい値で、エゾマツ・トドマツ正常材の値⁶⁾ の約 2 倍に相当する。

道内に植栽されたカラマツ材についての試験結果としてつぎのようなものがある。苫小牧産 51 年生 (宮島³⁾) では平均年輪幅 2.1 mm, 比重=(全乾重量)/(生材体積) 0.37, 生材のヤング係数 63, 気乾材 ($u=15.4\%$) 同 $78 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ であり、小野寺他⁴⁾ による新得産 60 年生の樹心材

表-5 カラマツ F₁ 類の基礎材質

Table 5. Basic properties of wood of larch species

供試木 Tree No.	未乾燥材 Green wood					乾燥材 Kiln-dry wood				試験体数 No. of specimens	
	R_W (mm)	u (%)	r	E (10^3 kg/cm^2)	G	u (%)	r_u	E (10^3 kg/cm^2)	G	Green	Dry
FL×LK 1	3.3	30.4	0.50	85	6.0	10.8	0.54	106	9.0	22	15
" 2	3.2	49.5	0.47	98	5.3	10.8	0.56	131	8.3	37	28
全体 all	3.2	42.4	0.48	93	5.6	10.8	0.55	122	8.6	59	43
FL×LG 1	3.8	37.0	0.55	104	6.8	11.1	0.65	137	11.6	30	20
" 2	3.8	34.0	0.50	93	7.1	11.0	0.59	119	10.1	18	14
" 3	3.4	35.1	0.55	97	7.0	11.1	0.63	132	10.9	30	22
全体 all	3.6	35.6	0.54	99	6.9	11.1	0.63	131	11.0	78	56

(注) R_W : 平均年輪幅, u : 含水率, r : (全乾重量)/(生材体積), E : ヤング係数, G : 剪断弾性係数, r_u : 含水率 u 時の比重。

(Remarks) R_W : av. width of annual rings, u : moisture content at the time of test, r : specific gravity based on oven-dry weight and green volume, r_u : specific gravity based on weight and volume at moisture content $u\%$, E : modulus of elasticity, G : modulus of rigidity.

では平均年輪幅 5.5 mm, 気乾比重 0.44, ヤング係数 $60 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, セン断弾性係数 $8.8 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, 同 48 年生ではそれぞれ 4.9 mm, 0.44, 65×10^3 および $8.8 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ である。一方, 加納¹⁾による野幌産 41~42 年カラマツの優勢木の枝下材では平均年輪幅 3.1 mm, 容積密度数 393 kg/m^3 , 同劣勢木ではそれぞれ 1.8 mm および 380 kg/m^3 , さらに 38~39 年生グイマツでは優勢木で 4.0 mm および 348 kg/m^3 , 劣勢木では 1.8 mm および 443 kg/m^3 である。また, 小野寺他⁵⁾は東京大学北海道演習林産の 11 年生のカラマツ, グイマツ, チョウセンカラマツ, グイマツ×カラマツおよびチョウセンカラマツ×カラマツについて試験し, この順序で, 平均年輪幅 8.3, 5.5, 5.2, 7.7 および 8.1 mm, 容積密度数 355, 427, 374, 376 および 383 kg/m^3 , 含水率 16.1~16.4% 時の曲げヤング係数 36, 58, 52, 44 および $46 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, と報告している。本試験の結果をこれらと比較すればチョウセンカラマツ系, グイマツ系ともに比重, ヤング係数の両者においてかなり高い値を示すことがわかる。東大演習林産の同一系統の F₁ 類に比べても大きい。とくに, ヤング係数において大きな差があるのは, 東大演習林産のものは 11 年生で, 年輪幅が広く, かつそのほとんどが未成熟材によって占められていることにもよると考えられる。

4.2 強度試験結果

表-6 に示すように, 未乾燥材の無節部では縦圧縮強さはチョウセンカラマツ系 245, グイマツ系 271 kg/cm^2 , 曲げ強さはそれぞれ 553 および 583 kg/cm^2 である。苫小牧産カラマツ生

表-6 強度試験結果
Table 6. Test results

	供試木 Tree No.	原 板 Sawed lumber					無 節 部 Clear wood			有 節 部 Knotty		最 大 節 径 比 Max. knot size (%)
		R_W (mm)	r, r_u	u (%)	E (10^3 kg/cm^2)	G	σ_c	σ_{bp}	σ_b	σ_{bp}	σ_b	
未 乾 材 Green wood	FL×LK 1	2.8	0.48	30.4	88	6.0	237	280	546	157	301	32~ 66
	× 2	2.8	0.49	49.5	97	5.3	251	269	557	210	397	16~100
	全体 all	2.8	0.49	41.1	93	5.6	245	274	553	187	355	16~100
	FL×LG 1	3.6	0.57	37.0	100	6.8	283	335	635	209	371	35~ 91
乾 材 Kiln-dry wood	" 2	3.9	0.51	34.0	87	7.1	233	255	492	200	413	28~ 82
	" 3	3.4	0.55	35.1	102	7.0	280	279	573	222	453	0~ 59
	全体 all	3.6	0.55	35.7	98	6.9	271	299	583	211	408	0~ 91
	FL×LK 1	3.3	0.54	10.8	106	9.0	527	467	888	237	431	32~ 84
乾 材 Kiln-dry wood	" 2	3.7	0.55	10.8	124	8.3	532	419	823	264	528	19~ 53
	全体 all	3.5	0.55	10.8	116	8.6	530	440	851	252	486	19~ 84
	FL×LG 1	3.7	0.66	11.1	135	11.6	642	593	1130	362	646	14~ 59
	" 2	3.8	0.59	11.0	119	10.1	606	513	920	319	664	19~ 65
乾 材 Kiln-dry wood	" 3	3.4	0.63	11.1	132	10.9	624	502	1031	303	429	30~ 95
	全体 all	3.6	0.63	11.1	130	11.0	628	545	1050	333	578	14~ 95

(注) σ_c : 縦圧縮強さ, σ_{bp} : 曲げ比例限度, σ_b : 曲げ強さ。

(Remarks) σ_c : max. crushing strength, σ_{bp} : fiber stress at proportional limit in static bending, σ_b : modulus of rupture.

材³⁾では縦圧縮強さ 240, 曲げ強さ 304 kg/cm²であったので, とくに曲げ強さにおいて, ここに試験した F₁ 類が優れているといえる。さらに乾燥材では両種類において縦圧縮強さ 530 および 628 kg/cm², 曲げ強さ 851 および 1050 kg/cm² という極めて高い値を示し, 道産のミズナラ, カバ類などの広葉樹材に匹敵する。苫小牧産カラマツ気乾材 (u=15.4%) ではそれぞれ 352 および 456 kg/cm² であったので, 含水率の差を考慮に入れてもなお相当これら F₁ 類の強度が

表-7 材質特性 (無節部の平均値)

Table 7. Characteristics of wood quality (Average of clear wood)

供試木 Tree No.	未乾燥材 Green wood				乾燥材 Kiln-dry wood			
	$\frac{\sigma_b}{r}$	$\frac{E}{G}$	$\frac{\sigma_b}{E}$	$\frac{\sigma_b}{\sigma_c}$	$\frac{\sigma_b}{r_w}$	$\frac{E}{G}$	$\frac{\sigma_b}{E}$	$\frac{\sigma_b}{\sigma_c}$
	(10 ² kg/cm ²)		(10 ⁻³)		(10 ² kg/cm ²)		(10 ⁻³)	
FL×LK 1	11.4	14.9	6.9	2.29	16.4	11.7	7.2	1.67
" 2	11.4	18.3	6.7	2.23	15.0	14.9	7.6	1.53
平均 Av.	11.4	16.8	6.8	2.25	15.6	13.5	7.5	1.59
FL×LG 1	11.1	14.8	6.6	2.26	17.1	12.1	8.1	1.76
" 2	9.6	12.0	6.7	2.11	15.6	12.0	7.8	1.56
" 3	10.4	14.6	7.4	2.05	16.4	12.4	8.7	1.89
平均 Av.	10.5	14.1	6.9	2.15	16.5	12.2	8.2	1.74

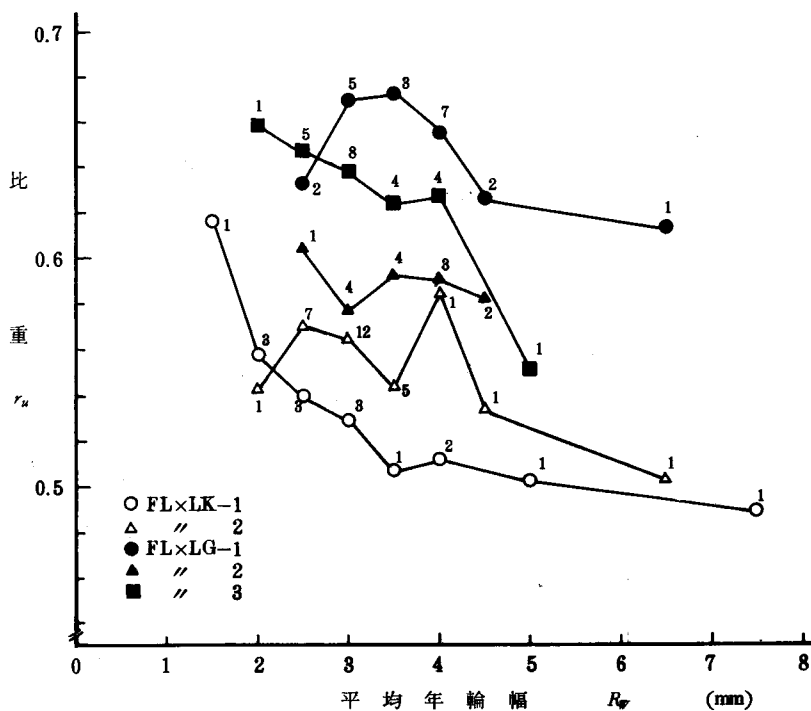


図-2 平均年輪幅と比重の関係 (乾燥材)

Fig. 2. Relation between average width of annual rings (R_w) and specific gravity (r_w). Figures near the marks show the number of specimens (kiln-dry wood).

大であるといえる。東大演習林産のものは含水率16%で、グイマツ F₁の縦圧縮強さ 325 kg/cm²、曲げ強さ 406 kg/cm²、チョウセンカラマツ F₁がそれぞれ 326 および 394 kg/cm² で、道産カラマツ材に対する値とあまり差はない。

有節部の試験結果については後に考察する。

以上の結果について、無節部の材質特性として、曲げ強さと比重 ($\sigma_b/r, \sigma_b/r_u$)、ヤング係数とせん断弾性係数 (E/G)、曲げ強さとヤング係数 (σ_b/E) および曲げ強さと縦圧縮強さ (σ_b/σ_c) の比を求めると表-7に示すようになる。

まず、 σ_b/r および σ_b/r_u には種類間の差はみられないようである。乾燥材では $15 \sim 17 \times 10^2$ kg/cm² あり、含水率が低いことも影響しているが、苫小牧産材 11, 東大演習林産全種類 $8 \sim 9 \times 10^2$ kg/cm² よりもかなり大きく、単位重量あたりの曲げ強度が優れているといえる。 E/G は未乾燥材で $12.0 \sim 18.3$, 乾燥材で $11.7 \sim 14.9$ で、エゾマツ・トドマツ材のような針葉樹材 ($E/G \approx 20^6$) に比べ、かなり小さく、広葉樹材に近い値である。これはカラマツ材の旋回木理によって、 E が低く、 G が高くなるためである。種類別でチョウセンカラマツ系の方が数値がやや大きく繊維通直性が若干優れていることを示唆する。つぎに、非破壊試験によりヤング係数 E を測定し、曲げ強さ σ_b を推定するために必要な指標となる σ_b/E は未乾燥材 $6.6 \sim 7.4$, 乾燥材 $7.2 \sim 8.7 \times 10^{-3}$ という値で、エゾマツ・トドマツ乾燥材の標準的な値 6×10^{-3} より若干大きかった。苫小

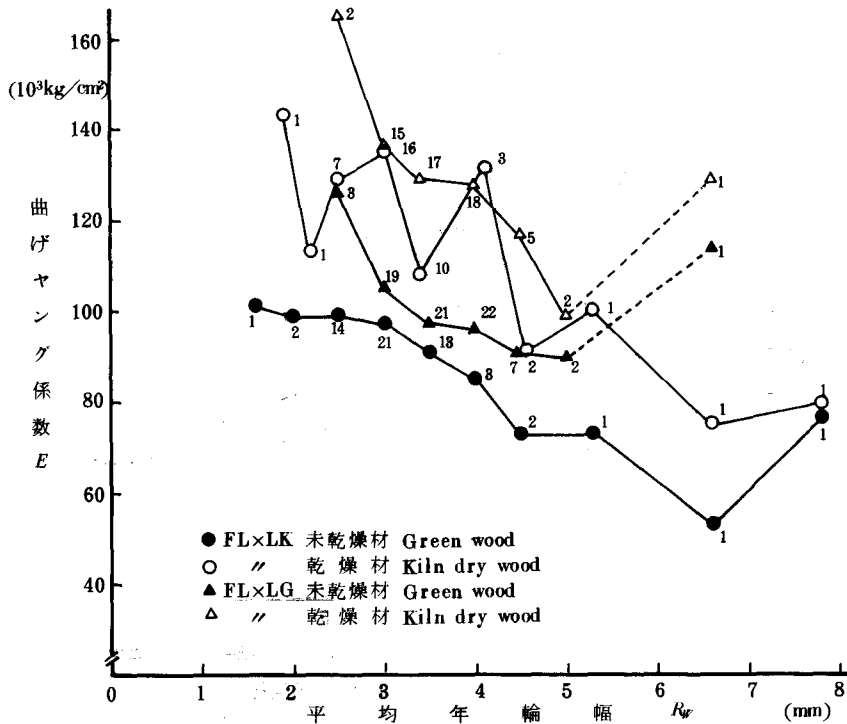


図-3 平均年輪幅と曲げヤング係数の関係

Fig. 3. Relation between average width of annual ring (R_w) and M. O. E. (E).

牧産カラマツ材³⁾では σ_b/E は生材 4.8, 気乾材 5.8×10^{-3} であり, 一方, 東大演習林産は若年木で E が低いため, $7.2 \sim 9.2 \times 10^{-3}$ という大きな値であった。 σ_b/σ_c は本試験では種類による差はあまりなく, 未乾燥材 2.05~2.29, 乾燥材 1.53~1.89で, 後者においてエゾマツ材の標準的な値 2.0 よりやや小さい程度であった。この σ_b/σ_c から縦引張強さが推定されるが, 造林カラマツ材は一般に縦引張強さが小さいため, この比も小さい。たとえば, 苫小牧産では生材 1.27, 気乾材 1.30, 東大演習林産カラマツ類では 1.16~1.50である。このことから, ここに試験したカラマツ F₁類は縦引張強さにおいても他の造林カラマツ類より優れていることが推測される。

以上のように, ここに試験したカラマツ F₁類は道内に植栽されたカラマツ材に比べ, 比重および力学的性質において大きな値をもつことが確かめられた。

4.3 年輪幅と比重および力学的性質との関係

年輪幅と比重, 曲げヤング係数および曲げ強さとの関係を 図-2~4 に示す。いずれの場合も年輪幅が増大することによって, 諸性質の値が漸減する傾向がみられる。この試験体には平均年輪幅が 6 mm (製材規格および木構造設計規準⁸⁾で品質区別する値)を超すものが非常に

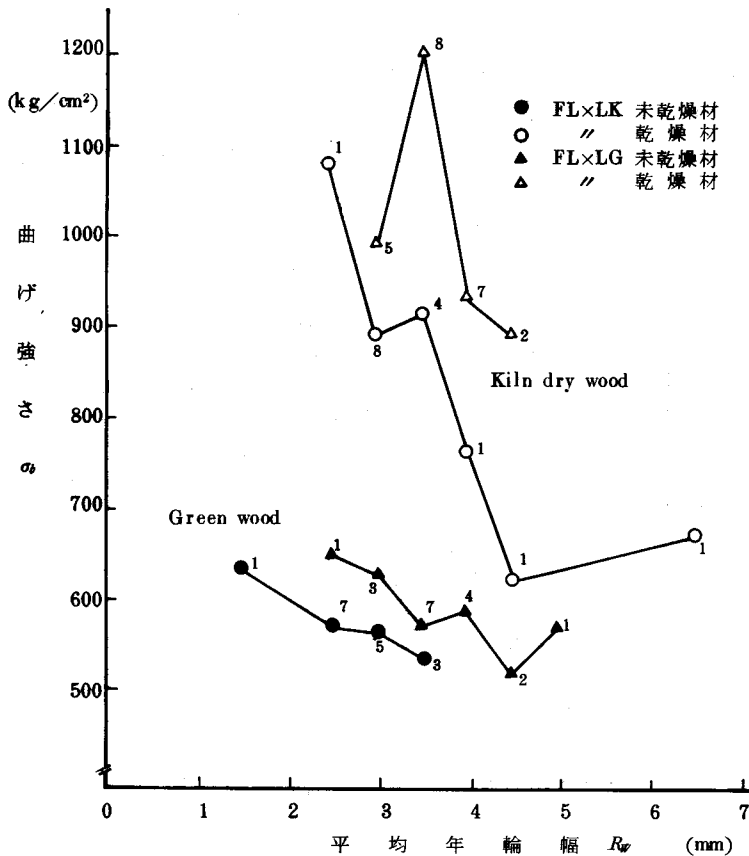


図-4 平均年輪幅と曲げ強さ

Fig. 4. Relation between average width of annual rings (R_w) and M. O. R. (σ_b).

少なく、それ以下のものとの性能を比較する資料がえられなかった。同一年輪幅の場合は、グイマツ系の方がチョウセンカラマツ系より性能が優れていることがこれらの図からわかる。たとえば、年輪幅3mmの場合、比重はそれぞれ0.53と0.67である。また、苫小牧産カラマツ³⁾、野幌産のカラマツおよびグイマツ¹⁾の年輪幅と比重(また容積密度)の関係に比較すると、本試験の方が同一年輪幅の場合、比重が大である。

4.4 比重とヤング係数および強度との関係

乾燥材について比重と曲げヤング係数との関係を求めると図-5のようになり、比重の増大とともにヤング係数はほぼ直線的に増加する傾向がみられる。同一比重の場合にはチョウセンカラマツ系の方がグイマツ系よりヤング係数がやや大きい傾向がみられる。このことから、 E/G の場合と同様、チョウセンカラマツ系の方が繊維の通直性がややよいといえるかも知れない。

比重に対する曲げ強さおよび縦圧縮強さの関係は図-6に示すように、ヤング係数の場合と同様の傾向がみられるが、種類間の違いは明らかでない。

4.5 有節材の曲げ強さ

各原板の最大節部の曲げ試験結果は表-6に示したとおりである。これを最大節径比と曲げ強さについてプロットすれば図-7に示すようになる。このように、節径比の増大とともに曲げ強さが急激に減ることがわかる。とくに、節径比が20%程度までは乾燥材の曲げ強さ

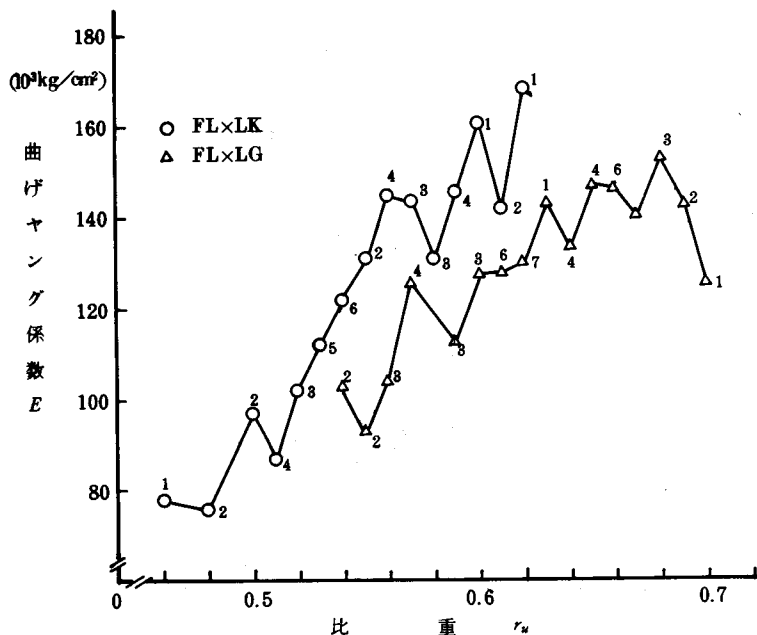


図-5 比重と曲げヤング係数の関係(乾燥材)

Fig. 5. Relation between specific gravity (r_w) and M. O. E. (E) for kiln-dry wood.

は未乾燥材より相当大であるが、節径比がこれ以上になると乾燥材の曲げ強さの低下が著しく、未乾燥材との差がほとんどなくなる傾向がみられる。この図から、曲げ強さの下限値は節径比20%で乾燥材600 kg/cm²、未乾燥材400 kg/cm²、同30%でとも300 kg/cm²、40%では1体を除けば*同じく300 kg/cm²、50%で200 kg/cm²、さらに節径比が増大しても下限値はあまり低下しないと判断される。

木構造設計規準⁸⁾による上級構造材は曲げ材および引張材において節径比20%以下と定めている。これにより節径比20%以下のものの曲げ強さについて検討してみる。長期応力に

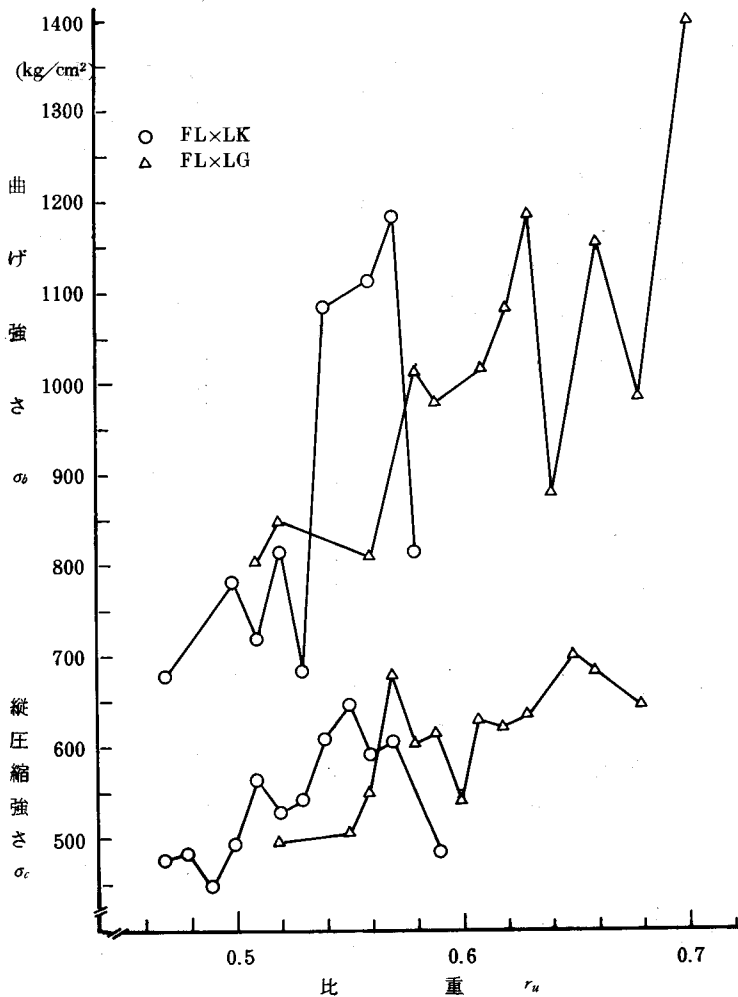


図-6 比重と曲げ強さおよび縦圧縮強さとの関係 (乾燥材)
 Fig. 6. Relations of M. O. R. (σ_b) and max. crushing strength (σ_c) to specific gravity (r_u).

* 下限値は通常95%の信頼度によるが、この場合、節径比30~40%の範囲の試験体は20であるので、1体を除けば95%の信頼度となる。

対する許容応力度 (Lf_b) はつぎのよう
に求められる。

$$Lf_b = \sigma_b F \times \frac{2}{3} \times \alpha \times \beta$$

ここに、 $\sigma_b F$ は無欠点材の強度、 $2/3$ は比例限度、 α は欠点による低減係数、 β は長期応力に対する許容応力度の短期応力に対する値の比で、この場合 $1/2$ である。この試験は欠点を含むものについて行ったので、その曲げ強さ $\sigma_b = \sigma_b F \times \alpha$ であり、また $(2/3) \times \beta = (1/3)$ となる。したがって $Lf_b = \sigma_b / 3$ により節径比 20% での下限値を検討すれば、乾燥材は $600/3 = 200 \text{ kg/cm}^2$ 、未乾材 $400/3 = 133 \text{ kg/cm}^2$ となり、ともに針葉樹 I 類 (カラマツを含む) 上級構造材に対する曲げ許容応力度 $Lf_b = 120 \text{ kg/cm}^2$

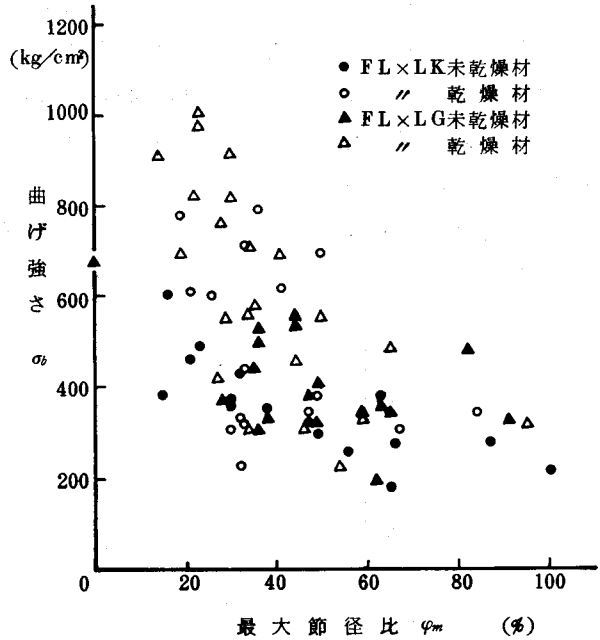


図-7 最大節径比と曲げ強さとの関係

Fig. 7. Relation between size of max. knot (φ_m) and M. O. R. (σ_b).

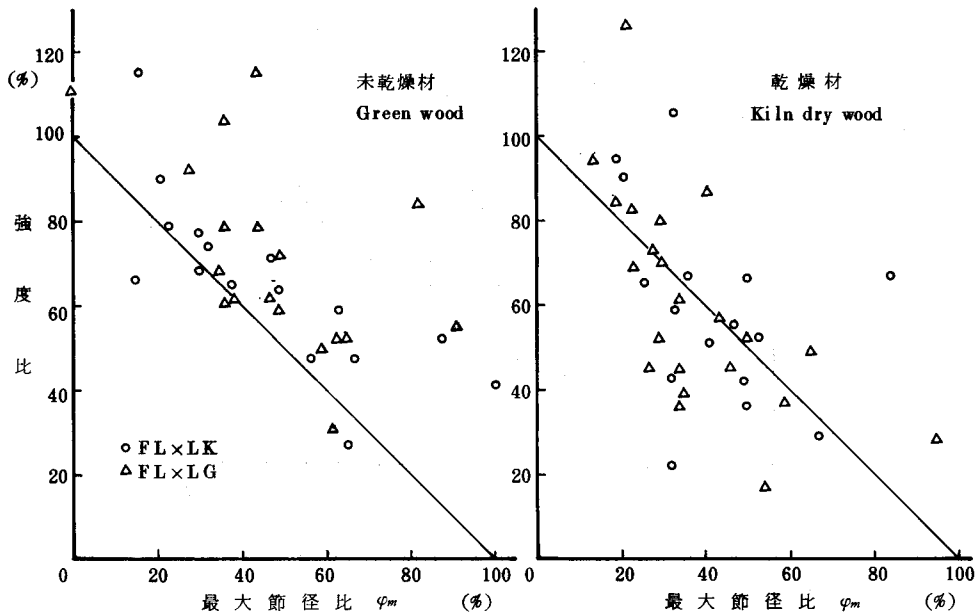


図-8 最大節径比と強度比との関係

Fig. 8. Relation between size of max. knot (φ_m) and ratio of M. O. R. of knotty wood to that of clear wood.

を上まわり、この値を適用するに十分な強度をもつといえる。つぎに、普通構造材でははりの最大曲げ応力を受ける付近での節径比を30%以下 (JASS 11 木工事⁹⁾) と規定されているので、これについて、未乾燥材、乾燥材ともにその下限値に 300 kg/cm^2 を用いれば、 $300/3=100 \text{ kg/cm}^2$ となり、同材に対する針葉樹 I 類の許容応力度 $f_b=90 \text{ kg/cm}^2$ を上まわり、この値の適用も問題ないと考えられる。このことは JAS 針葉樹製材の板類 1 等 (節径比 40% 以下) の材についても同様である。

さらに、各原板における最大節部の曲げ強さの無節部の値に対する比 (強度比) について節径比との関係を求めると 図-8 に示すようになる。未乾燥材については曲げ強さの節径比の増大による低下はほぼ直線的で、ほとんどが節の部分のみが強度 0 であると考えた場合の線より上にプロットされ、その線の下に来て大きくはずれるものはないといってよい。これに対し、乾燥材では節径比 20% 以上ではこの線の下に来るものが多く、しかも大きくはずれるものもかなりある。このように、乾燥材では節の曲げ強さに対する影響が非常に大きく、節の部分が強度 0 で、その他は無節材部とみなした以上に強度が低下する場合が多いことがわかる。

4.6 乾燥による材の狂い

測定結果を表-8 に示す。このカラマツ F₁ 類は一般のカラマツ造林木と同様、乾燥による材の狂いがかかなり大きかった。幅反り (cup), 曲り (crook), 弓反り (bow) およびねじれ (twist) のすべての狂いがみられたが、このうち幅反りは板幅が狭いため少かったのでデーターの記載を省略した。板材の利用上最も障害となる曲りはかなり大きく、チョウセンカラマツ系 2 体、グイマツ系 1 体を除くすべてにみられ、平均値は前者で 0.42%, 後者で 0.51%, 最大値はそれぞれ 1.22 および 1.76% であった。この 1.76% は矢高で 30 mm であった。弓反りのみられなかったのはチョウセンカラマツ系 43 体中 14 体、グイマツ系 56 体中 18 体で、曲りより狂いの

表-8 乾燥による材の狂い
Table 8. Warp of wood due to drying

供試木 Tree No.	試験 体数 No. of specimens	曲り Crook (%)			弓反り Bow (%)			捩れ Twist (10 ⁻⁵ rad/cm)		
		最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.
FL×LK 1	15	0	0.35	0.94	0	0.25	0.87	35	101	181
〃 2	28	0.11	0.45	1.22	0	0.19	0.56	0	38	162
全体 all	43	0	0.42	1.22	0	0.21	0.87	0	60	181
FL×LG 1	20	0.13	0.78	1.76	0	0.16	0.56	0	35	126
〃 2	14	0.06	0.24	0.44	0	0.13	0.29	0	59	126
〃 3	22	0.13	0.43	1.23	0	0.20	0.56	0	46	181
全体 all	56	0.06	0.51	1.76	0	0.17	0.56	0	45	181

(注) 曲り, 弓反り: 最大矢高/材長, 捩り: 捩り率 $\theta = \varphi/L$.

(Remarks) Crook and bow: (max. deflection)/(length), Twist: twisting angle per cm based on rise of fourth corner.

程度は小であった。この平均値はそれぞれ0.21% および0.17%, 最大値は0.87% および0.56% であった。この0.87%の矢高は14 mm であった。この程度の弓反りは利用上とくに大きな障害とはならない。これら曲りおよび弓反りにおいて、わん曲の凹面の部分は必ず髓に近い部分で、一般に未成熟材の縦方向の収縮率が大きいといわれることと一致した現象としてとらえることができる。したがって利用上、製材時に以上のことを留意すれば、これらの狂いのある程度防ぐことができると考えられる。カラマツ材特有のねじれ狂いはこの場合も多く生じた。この狂いのなかったのはチョウセンカラマツ系12体、グイマツ系21体であった。この場合、ねじれ狂いをねじり率(単位長さあたりのねじり角)で表したが、平均値はそれぞれ60および45, 最大値はともに 181×10^{-5} rad/cm であった。この最大値の場合、平面に3コーナーで支持したとき、残りのコーナーの立上りは16 mm であった。このねじれ狂いをもとにもどすに必要なトルクを2×10 cm 断面材について計算するとつぎのようになる。せん断弾性係数には、この試験における乾燥材についての平均値チョウセンカラマツ系 8.6×10^3 , グイマツ系 11.0×10^3 kg/cm² を用いれば、前者のねじれ狂いの平均値 60×10^{-5} rad/cm にはトルクは1.2 kgm, 同じく最大値 181×10^{-5} rad/cm には3.6 kgm, 後者にはそれぞれの値45 および 181×10^{-5} rad/cm に対し1.2 および4.6 kgm となる。

5. 結 言

野幌地方に植栽された樹齢37年のカラマツ×チョウセンカラマツ2本、カラマツ×グイマツ3本の供試木(いずれも優勢木)について材質試験を行った。結果はつぎのように要約される。

1) 年輪幅の平均値はチョウセンカラマツ系3.2 mm, グイマツ系3.6 mm で、この種の造林木の優勢木としては狭い方である。

2) 比重=(全乾重量)/(生材体積)の平均値はチョウセンカラマツ系0.48, グイマツ系0.54 で、後者の方が大であった。両種類とも年輪幅の増大とともに比重は減ずる傾向がみられた。同一年輪幅の場合、グイマツ系の方が比重大であった。

3) 無節材の力学的性質はいずれも大きな値を示し、道産カラマツ材についての既往の試験結果よりも大であった。両種類の比較では比重の場合と同様、グイマツ系の方が大であった。力学的性質のなかでは、せん断弾性係数がとくに大きく、チョウセンカラマツ系の平均値(乾燥材)8.6, グイマツ系 11.0×10^3 kg/cm² であり、エゾマツ正常材の2倍前後の値であった。

4) 有節材の曲げ強さは未乾燥材に対しては節の部分が強度0, 他の部分が無節材と同じと考えた値ではほぼ推測できたが、乾燥材の最大節径比20%以上では、この推測値を大きく下まわるものが多くあり、節の曲げ強さに対する影響が非常に大きいことがわかった。

5) 曲げ強さの値から、両種類の最大節径比20%以下の材は木構造設計規準における針葉樹I類上級構造材の曲げ許容応力度を適用するに十分な強度をもつといえる。節径比40%

以下のものには同普通構造材の許容応力度を適用できると判断される。

6) カラマツ材に特有な各種の狂いはこの両種類にもあらわれ、とくに曲りとねじれが問題となる。

文 献

- 1) 加納 孟 (1956): 木材材質の森林生物学的研究 (第 11 報) 北海道野幌地方における造林木の材質成長. 林試報, 90, 37-76.
- 2) 川口信隆・高橋政治 (1972): カラマツ F₁ 類の材質について. 木材学会道支講, 4, 52-56.
- 3) 宮島 寛 (1958): 苫小牧演習林産人工植栽ストロープマツ, バンクスマツおよびカラマツの材質試験. 北大演報, 19-3, 99-216.
- 4) 小野寺重男・山本 宏他 (1976): 新得産カラマツの材質と加工試験. 林産試研報, 64, 1-115.
- 5) 小野寺重男・高橋政治・川口信隆 (1977): 北海道産造林木の材質試験 II. カラマツとその F₁ 類. 林産試研報, 66, 32-110.
- 6) 林業試験場編 (1973): 木材工業ハンドブック. 丸善.
- 7) 沢田 稔・宮島 寛・上田恒司・工藤 修 (1970): スキーの力学的性質に関する研究 (第 2 報). 市販スキーの曲げおよび捩り性能. 北大演報, 27-1, 91-112.
- 8) 日本建築学会 (1973): 木構造設計規準・同解説. 丸善.
- 9) 日本建築学会 (1968): 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 11 木工事. 丸善.

Summary

Wood qualities of two kinds of hybrid larch trees grown in a Sapporo suburb were investigated. From the 37-year-old plantation-grown larch trees, two dominant trees of FL (Japanese larch)×LK (Korean larch) and FL×LG (Kurile larch) were selected as test materials for determining the properties of wood. The details of the plantations, test trees and method of testing materials are shown in tables 1 to 4 and figure 1.

The results are briefly stated as follows:

1) The average values of ring width of FL×LK and FL×LG wood were 3.2 and 3.6 mm, respectively. It seems that these values are slightly lower than those of the other plantation-grown Japanese larch trees in Hokkaido.

2) The average values of specific gravity based on oven-dry weight and green volume were 0.48 and 0.54 in FL×LK and FL×LG, respectively. The latter had higher specific gravity than the former. In both the kinds, the values of specific gravity decreased with increase in the width of annual rings. The values of FL×LG were clearly higher than those of FL×LK having the same ring width.

3) The mechanical properties of the clear specimens were superior in comparison with those of the plantation-grown Japanese larch in Hokkaido. Especially, the modulus of rigidity was very high, and it was about twice as much as Ezomatsu (spruce) wood was.

4) It seemed that the modulus of rupture of the specimen containing the maximum knot in the lumber varied inversely as the ratio of the maximum knot size to the board width in green condition. In kiln-dry condition, the M. O. R. was hardly influenced by the knots over the ratio of 20 per cent.

5) Concerning with the M. O. R. of both the kinds, it might be drawn that the

wood having the knot which did not exceed 20 per cent of the board width had strength enough to be adopted the allowable stress intensity for the high grade structural lumber of Softwood-I including larch wood. Furthermore, it seemed that the M. O. R. of the wood within the knot size—board width ratio of 40 per cent was enough for the standard structural lumber.

6) Warp of the wood due to kiln-drying was considerably larger than the other softwood lumber such as Ezomatsu (spruce) and Todomatsu (fir), especially in crooking and twisting.