

カラマツ材によるラミナ 及び集成材の品等区分

三 村 典 彦
橋 爪 丈 夫

1. はじめに

集成材の構造的利用が始まったのは昭和35年頃である。昭和41年に構造用集成材の製造基準および農林規格が制定され、高性能で安定した品質の製品の供給が可能となり、昭和45年には建築基準法第38条による構造材料として、普通構造材（製材品）の約1.5倍の許容応力度が認められている。

これによって、構造用集成材の需要は急激に拡大し、昭和53年の全国生産量は約8万 m^3 に達した。しかし、その需要の大半は在来工法木造住宅用の柱（圧縮材）で占められている。

一方、枠組壁工法のオープン化にともなって、昭和49年に枠組壁工法構造用集成材の農林規格が追加されるとともに、住宅金融公庫の枠組壁工法住宅工事共通仕様書にその使用が認められた。この場合はスパン表等にみられるとおり、甲種枠組材（曲げ材）としての使用が中心となっている。

このような用途の多様化にともなって、より高い性能の要求が生じてきている。その反面、国産木材資源の不足、原木価格の高騰等から従来使用されなかった樹種や、低質材にまで原材料の選択の巾が広がってきている。

したがって、地域的、樹種的、品種的に異なり、間伐材をも含む国産材から、多種多様な形状、寸法、性能の構造用集成材を製造する場合、原材料ラミナの品等区分とその構成を規定するグレーディングシステムの整備が従前にもまして、不可欠のものとなってきた。

これをうけて本研究では長野県の主要樹種であるカラマツ材について、測定項目方法を他の実施県等と統一し、材質及び強度性能を調査、その分布と相関から、適正な品等区分法を求めるとともに、基本的なラミナ構成のもとに、集成材としての強度性能を測り、これの等級区分法の可能性を究明し、カラマツ集成材の性能向上と、間伐材を含めて利用の拡大をはかるなど、カラマツ材質に適した集成加工技術の知見を得ることを目的とした。

なお、本研究は、国庫補助による昭和51年から53年にわたる共同研究である。

2. 試験の方法

(1) 原木

東信、中信、南信地方のカラマツ材で、立地条件、生育経過等がおおよそ判明している素材を購入し、供試材とした。この外、一般に集成材用ラミナとして、製材されているもののうち、生育地の判明しているラミナをあわせ供試した。表-1にその概要を示した。それぞれの原木には素材の日本農林規格にしたがって品質格付を行なった。

(2) 製材

図-1の木取法により採材した。曲りの最大矢高材面を上面とし、製材寸法は巾12cm、厚25%、長さ3.0mとした。製材機は、1050型、軽便自動送材車式帯ノコ盤、帯ノコは0.9%厚を使用した。

(3) ラミナの人工乾燥

表-1 供試材の概要

供 試 材		本数(本)	径級(cm)	樹齡(年)	備 考
No.	産 地				
A	伊 那 市 沢 渡 (国 有 林)	5	26~40	40	主 伐 材
B	東 筑 摩 郡 奈 川 村 (民 有 林)	4	28~34	40	"
C	上 伊 那 郡 辰 野 町 (県 行 造 林)	2	20~22	24	間 伐 材
E	小 県 郡 真 田 町 (民 有 林)	24	26~32	40	主 伐 材
D	松 本 市 入 山 辺 (財 産 区 有 林)	—	—	—	購 入 ラ ミ ナ

注 1) 素材はすべて 3 m 材である。

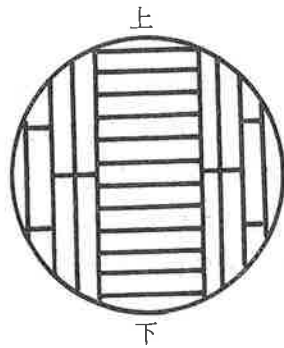


図-1 木取り法

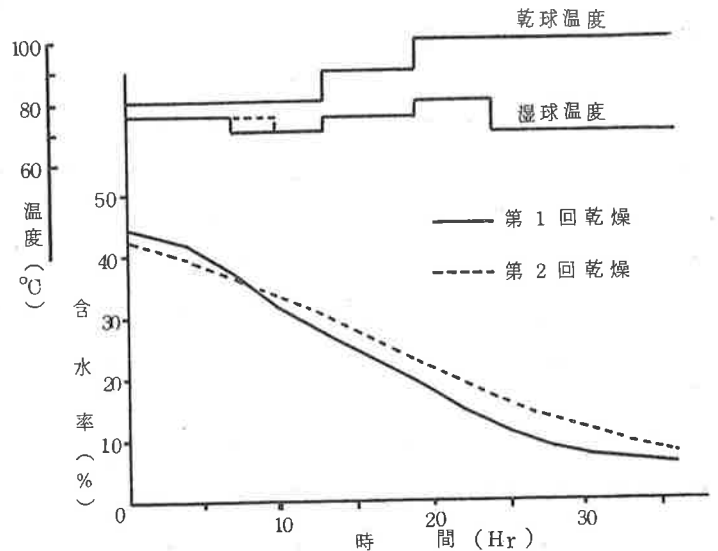


図-2 ラミナの乾燥スケジュールと含水率経過

乾燥は針葉樹が高温に充分耐え得る特性を生かし、図-2に示すスケジュールで実施した。初期含水率は43%、温度は80℃でスタートした。

中途から乾球温度を 100℃に上げ、乾燥時間の短縮を計った。仕上り含水率は 10%とした。

(4) ラミナの材質測定

ラミナ各項の材質を次の測定方法により測定した。

- 幅・厚さ……ノギスにより材長の中央部を、未乾時と人工乾燥後に計測。
- 長さ……メジャーにより材巾の中央部を計測。
- 重量……10 g 精度の台秤で計測。
- 含水率……未乾時はケット M-3 木材水分計、人乾後はケット MH-2 木材水分計および絶乾法によった。
- 平均年輪巾… JISZ 2102 によった。
- 節……位置、大きさ、種類を計測。
- 繊維傾斜……ケビキ式で測定。
- その他……割れ、腐れ、ねじれ等の欠点条項を計測。

節については、各々の節がラミナの各部に散在する場合は個々の節径を、15cm内に数個が集中する場合はそのそれぞれの節径を計測し総計して集中節径とした。ラミナ全長区間、または

中央部 $\frac{1}{3}$ 区間において、前者の最大のものを最大節径、後者の最大のものを最大集中節径と称した。個々の節の出現の仕方は複雑で、測定のみわめて困難な場合もあるが、ラミナ断面を貫通する節については表裏の節径の平均値としたが、20mm以下の節の場合は、表裏に現われる節径に差がないので片面の値の大きい方を採った。

(5) ラミナの曲げ剛性測定

ラミナの曲げ剛性は図-3に示したように、スパン280 cm, 3分点2点荷重方式で測定した。曲げヤング係数 E_1L , $E_1\ell$ は(1), (2)式を用いて、スパンLの中央の全たわみ量 δL または中央荷重点間の ℓ の相対たわみ量 $\delta \ell$ から計算した。

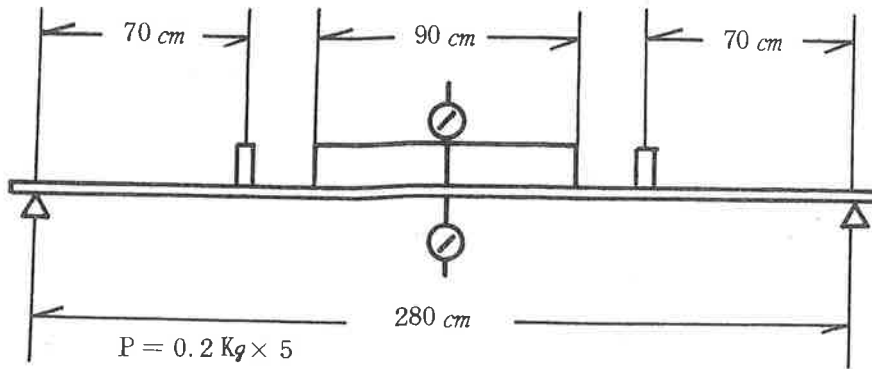


図-3 ラミナの曲げ剛性測定法

$$E_1L = \frac{23 PL^3}{1296 I \delta L} \dots\dots\dots (1)$$

$$E_1\ell = \frac{P(\ell-S)\ell^2}{32 I \delta \ell} \dots\dots\dots (2)$$

ここでPは荷重、Iは断面2次モーメントである。

(6) 解析用ラミナの材質および曲げ破壊試験

材質、曲げ剛性等の非破壊的な測定を終了したラミナの中から各品等にかたよりのないよう資料(解析用ラミナ)を選び、材料試験機(東洋試験機工業KK製2 ton)を用いて、スパン75cm 3等分点2点荷重方式で91資料について、曲げ破壊試験を実施した。曲げヤング係数 E_2L 及び曲げ強度 σ_1 は次式により求めた。

$$E_2L = \frac{23 \Delta P \ell^3}{1296 \delta I} \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_1 = \frac{Pm a}{2 Z} \dots\dots\dots (4)$$

ただし ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重の差

δ : 比例域における上限歪と下限歪の差

Pm : 破壊荷重

Z : 断面係数 $bh^2/6$

(7) ラミナの品等区分

合理的なラミナの品等区分法の確立には、より多くのデータ等を必要とするが、ここでは表-2のような方法を採用して、試験を進めた。

ラミナランクは表-2のとおり $L_1 \sim L_4$ 及び I_1 に分類し、その基準は、中央部 $\frac{1}{3}$ 区間における、

表-2 ラミナの品等区分

ラミナランク	制限集中節径比 (中央1/3区間)%	備考
L ₁	0 ~ 20	
L ₂	21 ~ 30	
L ₃	31 ~ 50	
L ₄	50 ~	
L'		
廃棄ラミナ		曲りのため縦つぎ用ラミナ 曲りのためラミナとして不適

集中節径の大きさによることとした。また集成積層する場合ラミナの曲がり大きいと正常な断面をもつ集成材とはなり得ない。そこで長さ3mの集成材で正常断面を保てるラミナ個々の曲りの最大値を7mmと仮定し、これ以下のものをL₁~L₄の範囲のなかにおさめ、7~25mmのものは、1箇所の縦つぎで、使用可能と判断し、L'とした。25mm以上の曲り材は利用しなかった。

(8) 集成材のラミナ構成

集成材の呼称は、それを構成するラミナ

表-3 集成材のラミナ構成

集成材の呼称	ラミナの品等と積層数(層)					集成材本数 (本)
	外層ラミナ		内層ラミナ		総積層数	
	品等	積層数	品等	積層数		
L ₁	L ₁	2	L ₁	3	5	5
L ₂	L ₂	2	L ₂	3	5	5
L ₃	L ₃	2	L ₃	3	5	5
L ₄	L ₄	2	L ₄	3	5	5
L ₁₂	L ₁	2	L ₂	3	5	5
L ₁₃	L ₁	2	L ₃	3	5	5

の呼称を併用した。L₁~L₄までの集成材の構成は、各区分毎の中央集中節径と曲げヤング係数との間に成立した回帰直線を中心にして2倍のSxyの範囲の中で近似するラミナを選びだし、剛性の高いものを外層に、内層には低いものを配する構成とし

た。同様にL₁₂及びL₁₃の場合は、外層にL₁を配し、内層には、L₂及びL₃のものを配する方法をとった。これらの概要を表-3に示した。

(9) 集成材の作製

接着剤は、大鹿ディアノール33号を使用し、配合は、主剤100部に対して硬化剤15部とした。塗布量は、片面278g/cm²、圧縮時間は20時間とし、その外の製作条件は、集成材のJAS製造基準によった。集成接着した集成材は常温のもとに10日間の養生の後、10cm×10cm×3.0mの寸法に仕上げた。

(10) 集成材の曲げ性能

集成材の強度性能の測定は農林水産省林業試験場において実施した。

測定機はアムスラー型5t試験機により、積層方向に荷重を加え、スパン210cmの3等分点4点荷重方式による曲げ試験をおこなった。

全スパンの見かけの曲げヤング係数E_{3L}は前記の(1)式を、中央荷重点間の曲げヤング係数E_{3l}は(2)式をそれぞれ用いて計算した。また曲げ比例限度応力σ_{2b}、および破壊係数σ₂の計算には(4)式を用いた。試験時の平均含水率は10.4%であった。

(11) 集成材の水平せん断試験

曲げ試験終了後、集成材の非破壊部から、長さ約60cm、幅4~10cmの水平せん断試験体を採取した。試験片数は、曲げ試験のときの破壊部分が大きく満足いく試験片の採取ができないものもあり、試験を充足し得る26個体について実施した。スパン約40cm、中央集中荷重方式で曲げ試験をおこない、(5)式によって最大曲げ応力σ_{max}を、(6)式によって最大水平せん断応力

τ_{max} を求めた。なお本試験および接着力試験は農林水産省林業試験場にて実施した。

$$\sigma_{max} = \frac{3P_{max} \ell}{2bh^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$\tau_{max} = \frac{3P_{max}}{4bh} \dots\dots\dots (6)$$

(2) 集成材の接着力試験

曲げまたは、水平せん断試験の終了した集成材の非破壊部から、ブロックせん断および煮沸はくり試験片を採取した。試験片の形状、寸法、試験の方法については日本農林規格に準じた。

3. 試験結果と考察

(1) 原木の品等，製材調査結果およびラミナの人工乾燥

供試したカラマツ素材35本の素材の日本農林規格による→格付の結果は、1等2本、2等26本、3等7本で、2等材を主体とした試験となった。

表-4にラミナの製材歩止り、採材したラミナの内訳、廃棄および縦継ぎラミナをのぞいたL1～L4にランクされたラミナの歩止りを示した。製材歩止りは、総平均で56.0%、ラミナ歩止りは32.6%であった。

表-4 製材歩止りとラミナ歩止り

供試材	径級 (cm)	末口直径 (cm)	素材本数 (本)	材積 a (m³)	ラミナ			製材歩止り c/a (%)	廃棄 (枚)	縦継ぎラミナ d (枚)	ランクラミナ (枚) b-d-e	ランクラミナ材積 f (m³)	ラミナ歩止り f/a (%)
					数量 b (枚)	素材1本当たり平均 (枚)	材積 c (m³)						
C	20	20.9	1	0.12	6	6.0	0.054	45.0	1	—	5	0.0355	29.6
	22	22.7	1	0.145	11	11.0	0.099	68.3	3	1	7	0.0497	34.3
	計		2	0.265	17		0.153	57.3	4	1	12	0.0852	32.2
	26	27.0	13	2.639	167	12.8	1.503	57.0	8	17	142	1.0082	38.2
A	28	28.8	9	2.115	131	14.6	1.179	55.7	6	30	93	0.6745	31.9
B	30	30.5	5	1.350	80	16.0	0.720	53.3	4	17	59	0.4189	31.0
E	32	32.9	3	0.921	60	20.0	0.540	58.6	5	5	50	0.3550	38.5
	34	34.6	1	0.347	20	20.0	0.180	51.9	—	12	8	0.0568	16.4
	36	36.0	1	0.389	23	23.0	0.207	53.2	4	6	13	0.0923	23.7
	40	40.0	1	0.480	31	31.0	0.279	58.1	7	12	12	0.0852	17.8
計			33	8.241	512		4.608	55.9	34	99	379	2.6909	29.6
A・B・C・E	計		35	8.506	529		4.761	56.0	38	100	391	2.7761	32.6
D					50		0.450		—	—	50	0.3550	
総計					579		5.211		38	100	441	3.1261	

ラミナの人工乾燥は図-2に示したスケジュールで実施したが、乾燥による2次欠点では、割れ、欠けの欠点は全く発生せず、反狂も節、アテを含むラミナに幅ぞり、曲がり認められた以外、集成に影響をあたえるほどのねじれは、皆無であった。また従来の中温乾燥に比べ大幅な時間短縮が可能となった。

(2) ラミナの品等

ア. ラミナの材質

測定したラミナの材質の各項目の度数分布を図-4に、それらの平均値と標準非破壊曲げ剛性試験により求めた曲げヤング係数($E_{1/2}$)との相関係数を、供試素材の産地別に表-5に示した。

繊維傾斜については、ケビキを用いたが、年輪に沿ってしまうなどで、信頼性のあるデータは得られなかったので削除した。

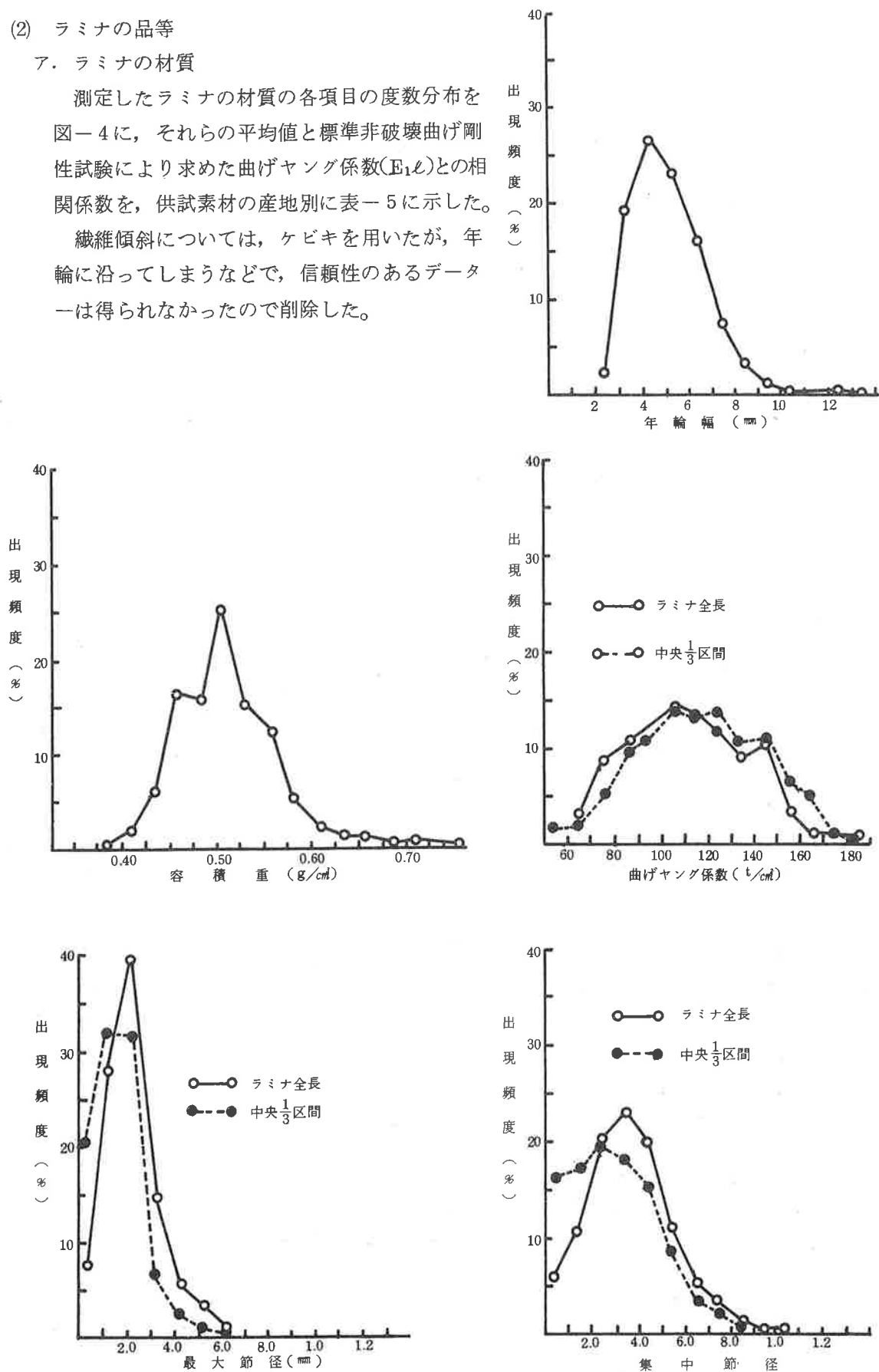


図-4 材質の項目別出現頻度

表-5 ラミナの材質試験結果

内 訳		A	B	C	D	E	total
n		58	47	12	50	274	441
容積重	Min	0.45	0.50	0.44	0.42	0.37	0.37
	-Max	-0.61	-0.70	-0.51	-0.61	-0.77	-0.77
	AV	0.529	0.545	0.474	0.51	0.51	0.51
	S	0.036	0.055	0.021	0.045	0.053	0.048
	CV	6.9	10.1	4.5	8.7	10.4	9.5
	r	0.082	-0.155	0.578*	0.799**	0.634**	0.556**
平均年輪巾	Min	2.1	2.4	3.7	2.6	2.9	2.1
	-Max	-7.6	-6.7	-8.5	-7.0	-13.4	-13.4
	AV	5.5	3.98	5.7	4.6	5.1	5.0
	S	0.998	0.843	1.412	0.961	1.533	1.409
	CV	18.1	21.2	24.9	20.9	29.9	28.1
	r	-0.453**	-0.303*	-0.556	-0.418**	-0.501**	-0.497**
中央集中節径	Min	0	0	14	0	0	0
	-Max	-79	-78	-51	-68	-85	-85
	AV	32.6	20.7	36.7	26.6	28.4	28.2
	S	22.64	25.28	11.44	18.97	16.38	18.47
	CV	69.3	122.4	31.2	71.4	57.8	65.5
	r	-0.504**	-0.539**	-0.700*	-0.713**	-0.588**	-0.604**
全体集中節径	Min	0	0	33	0	0	0
	-Max	-79	-78	-77	-82	-85	-85
	AV	38.3	32.7	49.8	38.7	32.9	34.5
	S	20.80	19.509	15.93	17.83	15.05	17.07
	CV	54.3	59.7	31.8	*46.0	45.7	49.4
	r	-0.530**	-0.527**	-0.627*	-0.778**	-0.539**	-0.558**
中央最大節径	Min	0	0	11	0	0	0
	-Max	-54	-56	-27	-56	-66	-66
	AV	22.3	14.2	20.0	19.2	18.2	18.3
	S	14.82	16.1	4.26	12.89	9.9	11.38
	CV	66.4	113.7	21.3	67.2	54.5	62.0
	r	-0.414**	-0.470**	-0.557	-0.679**	-0.387**	-0.452**
全体最大節径	Min	0	0	15	0	0	0
	-Max	-54	-56	-33	-56	-68	-68
	AV	29.2	25.4	23.2	28.1	21.5	23.3
	S	14.09	12.69	5.75	12.59	9.49	10.89
	CV	48.3	49.9	24.8	44.8	44.2	46.7
	r	-0.463**	-0.409**	-0.746**	-0.672**	-0.262**	-0.334**
曲げヤング係数	Min	81.1	96.7	81.4	80.4	71.9	71.9
	-Max	-167.4	-160.4	-136.5	-207.6	-174.7	-207.6
	AV	122.4	135.3	115.6	143.1	120.7	125.3
	S	22.6	17.84	18.21	30.57	25.79	25.22
	CV	19.34	13.19	15.75	21.37	21.36	20.13

r = 曲げヤング係数との相関係数

イ. ラミナの材質と曲げ性能の関係

ラミナの品等区分法を確立するためには、ラミナの曲げ性能と、材質の関係を明確にする必要がある。

非破壊剛性試験による曲げヤング係数 ($E_1\ell$) と、破壊試験による解析用ラミナの曲げ強度 (σ_1) との関係を表-6 および図-5 に示した。破壊試験で求められた曲げヤング係数 (E_2L) は、非破壊剛性試験から求めた曲げヤング係数 ($E_1\ell$) よりやや小さな値を示したが、両者の相関は非常に高かった。また曲げ破壊試験はスパン75cmと荷重点の変動があるにもかかわらず図-5 のとおり ($E_1\ell$) と (E_2L) とが明らかな関係にあることが認められる。

次に、ラミナの各材質と非破壊曲げヤング係数 ($E_1\ell$) との関係を検討する。本試験で供試したラミナ 441 枚について曲げヤング係数と各材質項目の関係を図-6 に示した。

表-6 解析用ラミナの試験結果

	容 積 重	平均年輪巾	曲げヤング係数 E_2L	破壊係数 σ_2
Min	0.32	2.3	50.5	301.3
Max	0.57	8.5	138.0	888.1
AV	0.45	5.1	95.1	551.0
S	0.041	1.5	19.0	130.7
CV	9.1	28.3	20.0	23.7
r : 対 E_2L	0.38 **	-0.44 **	—	—
r : 対 σ_2	0.28 **	-0.12	0.66 **	—
r : 対 $E_1\ell$	—	—	0.88 **	0.44 **

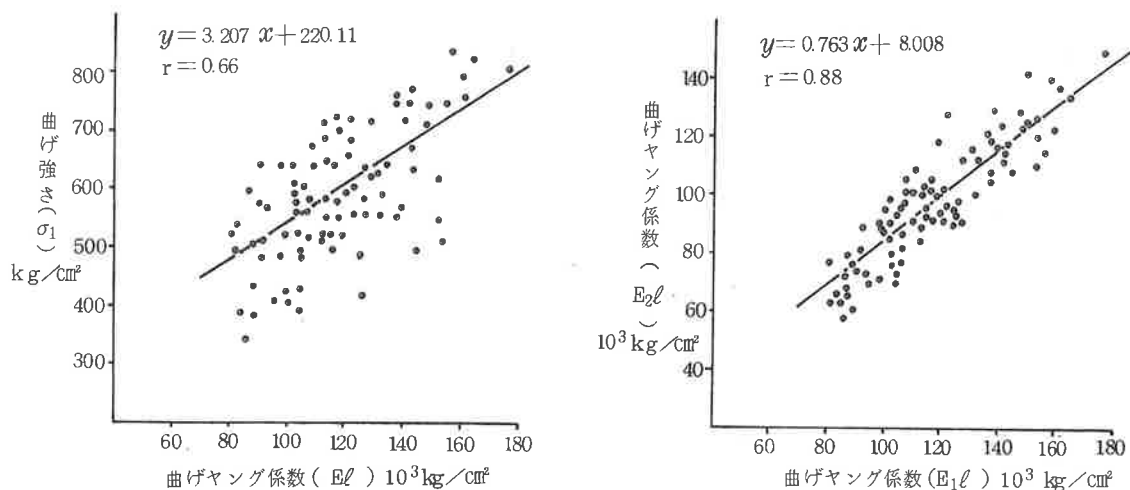


図-5 解析用ラミナの強度試験結果

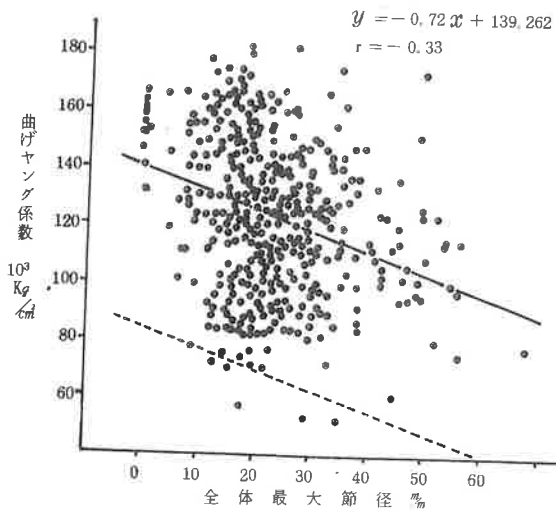
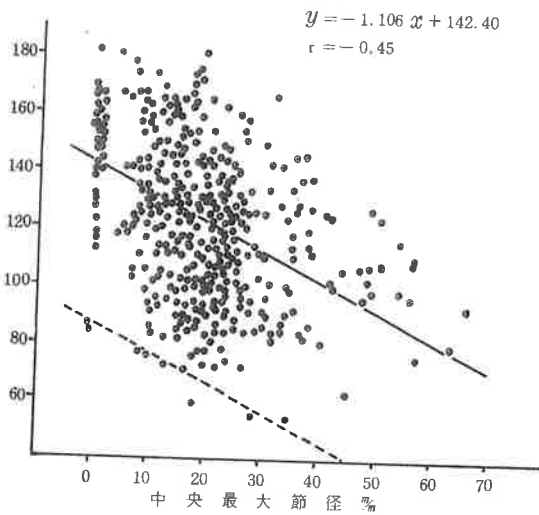
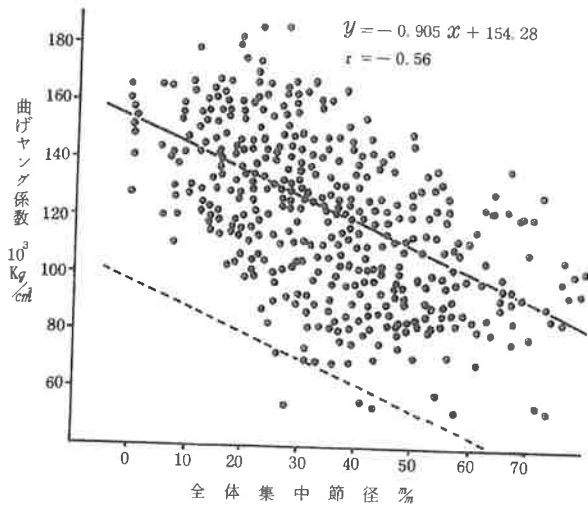
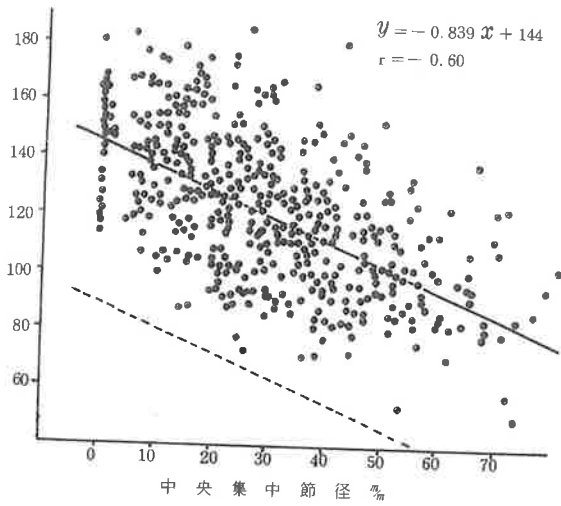
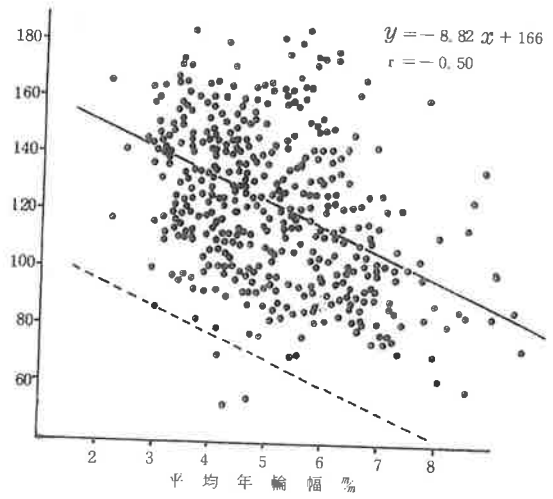
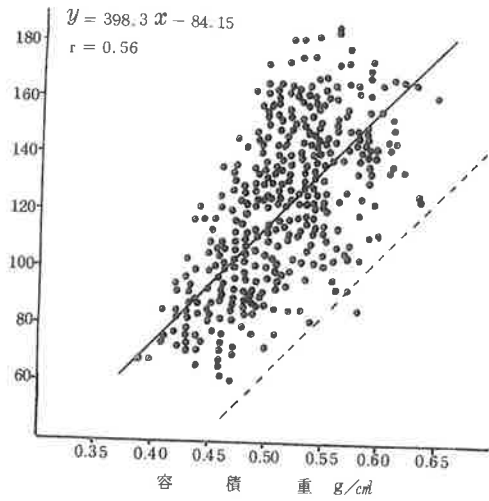


図-6 材質の各項目と曲げヤング係数の関係

これで見ると各々の材質と曲げヤング係数との間に、有意な相関が認められたが、この中で中央集中節径との相関が最も高く、ついで全体集中節径、容積重、平均年輪巾、中央最大節径、全体最大節径の順であった。

しかし、この順位は表-5に示すとおり試料間で多少異なっており、確定的なものとはいえないが、ラミナ全体のなかでもE₁との相関の高い中央部集中節径は、外観的欠点因子としては測定し易さを備えたものと考えられる。

ウ. ラミナの品等区分

表-7 品等区分されたラミナの概要

内 訳		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	total
	n	175	86	127	53	441
容 積 重	Min	0.41	0.43	0.42	0.41	0.37
	Max	0.69	0.77	0.71	0.61	0.77
	AV	0.53	0.51	0.49	0.49	0.51
	S	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
	CV	7.8	10.1	9.7	10.3	9.5
	r	0.42	0.53	0.45	0.55	0.56 ^{**}
平 均 年 輪 巾	Min	2.9	2.9	2.1	3.3	2.1
	Max	8.1	8.8	13.4	9.6	13.4
	AV	4.6	5.1	5.8	5.6	5.0
	S	1.1	1.6	1.1	1.2	1.41
	CV	23.4	32.2	19.3	21.7	28.1
	r	-0.27	-0.56	-0.23	-0.41	-0.50 ^{**}
中 央 集 中 節 径	Min	0	21	31	51	0
	Max	20	30	50	85	85
	AV	10.0	25.8	40.0	60.8	28.2
	S	6.6	3.8	5.4	8.8	18.5
	CV	65.9	14.8	13.4	14.4	65.5
	r	-0.28	-0.22	-0.18	-0.12	0.60 ^{**}
中 央 最 大 節 径	Min	0	5	9	13	0
	Max	20	37	56	68	68
	AV	9.0	19.4	23.8	34.1	18.3
	S	6.0	5.4	8.3	13.0	11.4
	CV	66.8	27.6	34.8	38.1	62
	r	-0.23	-0.19	0.15	-0.05	-0.45 ^{**}
曲 げ ヤ ン グ 係 数	Min	73.5	72.8	72.0	71.0	71.9
	Max	207.6	185.0	166.5	142.0	207.6
	AV	140.9	125.0	112.8	101.2	125.3
	S	22.1	25.0	21.0	17.3	25.2
	CV	15.7	20.0	18.6	17.1	20.1

注 r は曲げヤング係数との相関係数を示す。

ラミナの強度性能は、非破壊剛性試験の曲げヤング係数 E で示すことが可能であり、この曲げヤング係数と最も相関関係が高く、測定も安易な中央集中節径をもって、表-2の分類にしたがってラミナの品等区分をおこない、その概要は表-7のとおりであった。

また、表-7で品等区分をおこなったものを、さらにJASの規格及び建築学会の木構造設計規準に準じて分類したものが、表-8である。この分類からは、解析用ラミナを除外してある。

表-8 集中節径による品等とJAS基準によるラミナ剛性基準との関係

曲げヤング係数による品等	集中節による品等	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L'	計	曲げヤング係数による品等の構成割合(%)
上級ラミナ (110 ton/cm ² 以上)		84本	43本	39本	8本	16本	190本	57.2
1級ラミナ (100 ton/cm ² 以上)		8	7	19	4	6	44	13.3
2級ラミナ (90 ton/cm ² 以上)		1	7	16	2	9	35	10.5
規格外 (90 ton/cm ² 以下)		3	7	16	10	27	63	19.0
計		96	64	90	24	58	332	100.0
集中節による品等の構成割合(%)		28.9	19.3	27.1	7.2	17.5	100	

この分類法からすると上級ラミナとしてランクされるものは全体の57.2%であった。

L₁にランクされたものは、その87.5%が110 ton/cm²以上の曲げヤング係数を有していたが、100 ton, 90 ton以下にランクされるものまで含んでいた。同様にL₄にランクされたものでも58.3%が90 ton以上の曲げヤング係数を有しており、L₁~L'まで、すべてのランクに110 ton/cm²以上のものから90 ton以下のものまでが分散していた。以上のように中央集中節径は本試験で測定した材質の中では、曲げヤング係数との間に最も高い相関を有していたが、集中節径による品等区分法は、目やすとしての目的は達せられたとしても厳密な意味での強度性能を表示し得る因子とはいえない。したがって、曲げヤング係数を基準としたラミナの品等区分がなされるべきであろう。

ここで、本試験に使用したカラマツ材の『中の素材』から採材されたラミナの剛性性能の出現分布を表-8でみると、L'のフィンガー用ラミナ(曲がりのため直木ラミナとして利用できないもの)を含めて、約60%に近いものが上級ラミナにランクされている。しかし、規格外も20%近く出現する。この規格外ラミナの過半は樹芯の近辺で未成熟材部を多く含んでいるラミナであった。

(3) 集成材の品等

ア. 集成材の曲げ性能

集成材の強度試験結果を表-9に示す。L₁からL₄までの曲げ強さは表-10のなかで示したとおり、各ランクの構成ラミナの能力に応じた強さをもっている。L₂, L₃については各5体についてそれぞれ外層と内層のラミナに剛性の差を与えて作製してあるので、集成材の強度にバラツキが現われた。これらを図示したものが図-7および図-8である。集成材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図-9に示した。

表-9 集成材の強度試験結果

集成材の呼称	区分	含水率 %	容積重 g/cm ³	ラミナの 曲げ ヤング ton/cm ²	集成材曲げ ヤング係数		曲げ比 例限応 力 σ _b Kg/cm ²	曲げさ σ Kg/cm ²	$\frac{\sigma_b}{\sigma}$	$\sigma \frac{1}{4}$ Kg/cm ²	$\frac{\sigma}{F_3L}$ × 10 ⁻²
					中央 E _{3L} ton/cm ²	全体 E _{3L} ton/cm ²					
L ₁	Min~	10.4~	0.53~	130~	134~	125~	412~	605~	0.64~	151~	0.42~
	Max	10.9	0.56	148	156	145	516	653	0.85	163	0.52
	AV	10.6	0.54	138	148	135	464	629	0.74	157	0.46
	S	0.195	0.016	6.496	8.84	8.526	38.82	18.165	0.079	4.604	0.038
	CV	1.9	3.0	4.7	6.0	6.3	8.4	2.9	10.8	2.9	8.2
L ₂	Min~	10.0~	0.49~	115~	118~	112~	371~	426~	0.70~	107~	0.35~
	Max	10.4	0.55	132	159	125	412	588	0.87	147	0.48
	AV	10.2	0.52	124	135	119	403	525	0.77	131	0.44
	S	0.158	0.022	6.708	15.231	5.030	18.336	63.135	0.067	15.630	0.052
	CV	1.6	4.3	5.4	11.2	4.2	4.5	12.0	8.7	11.9	11.8
L ₃	Min~	10.0~	0.48~	100~	110~	100~	309~	430~	0.67~	108~	0.39~
	Max	10.7	0.51	115	130	116	422	493	0.86	123	0.48
	AV	10.3	0.50	108	116	107	365	472	0.77	118	0.44
	S	0.374	0.011	6.140	8.075	6.804	46.377	27.068	0.082	6.611	0.034
	CV	2.7	2.2	5.7	6.95	6.3	12.7	5.7	10.7	5.6	7.7
L ₄	Min~	10.0~	0.47~	86~	91~	87~	267~	281~	0.75~	70~	0.28~
	Max	10.3	0.48	106	111	106	366	428	0.95	107	0.42
	AV	10.2	0.48	96	105	98	305	358	0.85	90	0.36
	S	0.130	0.006	7.503	8.556	6.950	52.443	64.130	0.072	16.270	0.059
	CV	1.3	1.2	7.8	8.2	7.1	17.2	17.9	8.5	18.1	16.4
L ₁₂	Min~	10.0~	0.49~	120~	123~	114~	344~	517~	0.55~	129~	0.39~
	Max	10.6	0.59	149	162	151	587	875	0.81	219	0.58
	AV	10.4	0.54	136	149	137	450	644	0.70	161	0.47
	S	0.234	0.039	12.700	19.058	15.241	72.220	153.570	0.103	38.447	0.073
	CV	2.2	7.3	9.4	12.7	11.1	20.5	37.9	14.5	23.9	15.7
L ₁₃	Min~	10.6~	0.51~	111~	120~	114~	370~	463~	0.54~	116~	0.31~
	Max	11.1	0.56	138	157	148	462	698	0.87	175	0.60
	AV	10.8	0.54	126	145	133	414	590	0.70	148	0.44
	S	0.241	0.022	13.330	15.773	12.637	34.967	113.927	0.1431	28.641	0.125
	CV	2.2	4.0	10.6	10.9	9.5	8.5	19.3	19.8	19.4	27.7

また集成材の剛性と、これを構成する5枚のラミナの剛性平均値（以下ラミナの曲げヤング係数という。）との関係を図-10に示した。両者の間は $r = 0.943$ と極めて高い相関関係にあった。したがって集成材の強度性能は、それを構成するラミナの強度性能でいえるようである。

また曲げの力を受ける梁の応力分布から外層と内層の応力配分を求めて、5層集成材の最外層ラミナ2枚の剛性平均値を X_1 、その内側のラミナ2枚の剛性平均値を X_2 とし、それらが集成材の剛性 Y に与える影響をみるため、重回帰分析を試み、次の回帰式を得た。

$$Y = -133.6 + 33.5X_1 + 1.99X_2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

表-10 ラミナの構成と集成材強度との関係

区分	数量	構成ラミナの平均曲げヤング係数	外層ラミナの平均曲げヤング係数	内層ラミナの平均曲げヤング係数	集成材の曲げヤング係数	集成材の曲げ強さ
L ₁₁	5	130~148 138	133~149 143	129~148 137	125~145 135	605~603 629
L ₂₂	5	115~132 124	120~135 128	106~130 121	112~125 119	426~588 525
L ₃₃	5	100~115 108	107~117 112	95~113 106	100~116 107	430~493 472
L ₄₄	5	86~106 96	90~114 107	81~107 94	87~106 98	281~428 359
L ₁₂	5	120~149 136	136~162 150	104~144 126	114~151 137	517~875 644
L ₁₃	5	111~138 126	119~159 142	91~138 117	114~148 133	463~698 590

注1) 内層2枚の平均値

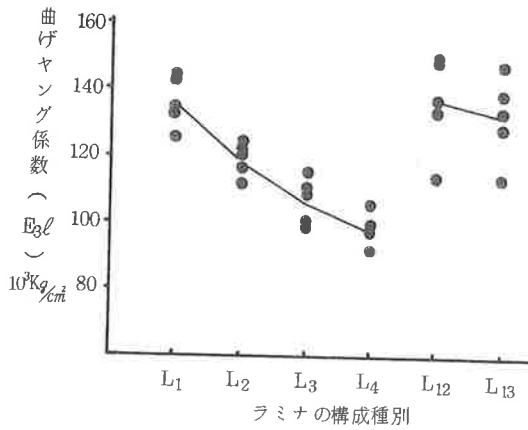


図-7 ラミナの構成種別集成材の曲げヤング係数

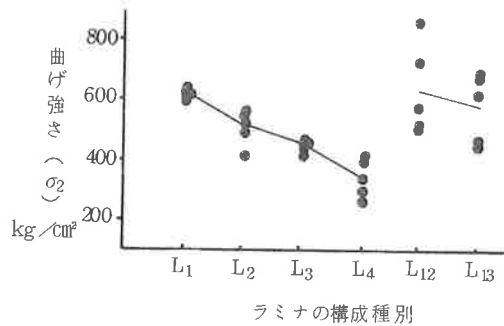


図-8 ラミナの構成種別集成材の曲げ強さ

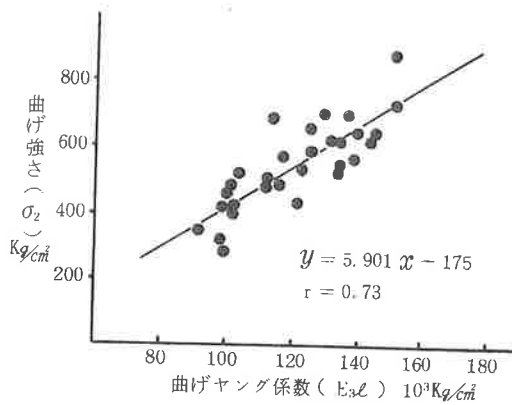


図-9 集成材の曲げヤング係数と曲げ強さ

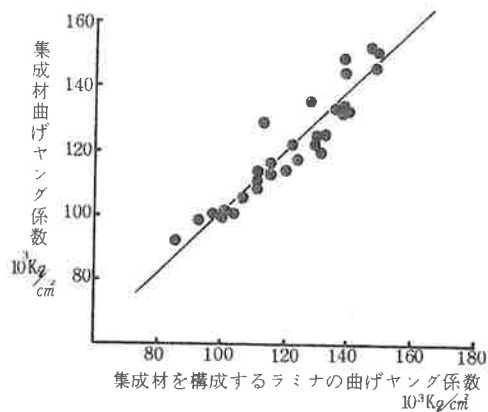


図-10 集成材とこれを構成するラミナとの曲げヤング係数における関係

表-11 分散分析表

変動因	自由度	平方和	平均平方	F
全体	24	475917.2		
回帰	2	239690.2	119845.1	11.16**
偏差	22	236227.0	10737.59	

** 1%水準で有意

この回帰式は表-11に示すとおり、 X_1 と X_2 との関係は高度に有意である。したがって、次式により近似的に構成ラミナの剛性値から集成材の剛性性能(YX)を推定することができる。

$$YX = 0.63X_1 + 0.37X_2 \dots\dots\dots(7)$$

イ. 集成材の接着性能試験および水平せん断試験結果

水平せん断試験結果および、ブロックせん断、煮沸剥離の接着性能試験結果を表-12および表-13に示した。水平せん断試験の結果、破壊形態は曲げ破壊形によるもの14体、せん断破壊形によるもの12個体であり、曲げ強さ、水平せん断応力とも、せん断破壊形によるものの方が高い値を示した。

表-12 集成材の水平せん断試験結果

破壊形態	試料数	曲げ強さ Kg/cm ²		水平せん断応力 Kg/cm ²	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
曲げ破壊	14	519	34.1	63.7	4.2
せん断破壊	12	556	45.3	68.2	5.6
計	26	537	44.4	65.8	5.4

表-13 集成材の接着性能試験結果

ブロックせん断試験		煮沸剥離試験	
試料数	105	試料数	25
せん断強さ Kg/cm ²	121 (19.3)	はくり率 %	1.2 (2.8)
木破率 %	80 (19.0)	はくり個数	8

(): 標準偏差

ブロックせん断強さは、121 Kg/cm²、木破率は80%となり、JASの適合基準の70 Kg/cm²、木破率50%をはるかに越えていた。剥離促進試験も1.2%でJAS規格内にあった。したがって、本試験のカラマツ集成材は十分な接着力と耐久力をもっているものと判断した。

ウ. 集成材の品等区分

集成材の強度による品等区分は表-14にもとづいておこなった。表中(特級)としたのはJASでは規定はないが、日本建築学会の集成木材構造設計規準の上級ラミナの項を準用したものである。基準曲げ破壊係数の値は、次式にもとづいて計算した。

$$efb = F \times \frac{3}{4} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} = F \times \frac{1}{4} \dots\dots\dots(8)$$

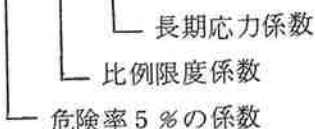


表-14 カラマツ集成材の曲げヤング係数と長期許容応力度

強度性能(単位)	集成材の等級		
	(特級)	1級	2級
曲げヤング係数 E (t/cm^2)	110	100	90
長期曲げ許容応力度 f (Kg/cm^2)	180	135	90
基準曲げ破壊係数 σ (Kg/cm^2)	720	540	360

表-15 カラマツ集成材の等級

集成材の呼称	本数	集成材の等級			
		(特級)	1級	2級	等外
L11	5	—	5	—	—
L22	5	—	2	3	—
L33	5	—	—	5	—
L44	5	—	—	2	3
L12	5	2	1	2	—
L13	5	—	3	2	—
計	30	2	11	14	3

表-14にもとづいて各ランクごとに強度品等区分をおこなった結果を表-15に示した。強度品等区分因子を曲げヤング係数で分類すると、L₁₁、L₂₂、L₁₂、L₁₃は、すべて特級にランクされる。しかし、曲げ強さで処理すると、特級材はL₁₂の2本だけで他は、1・2級におちる。曲げヤング係数と曲げ強さとの間には前述のように高い相関関係があるが、曲げ

試験の中でヤング係数の値に比べ異常に低いものもあらわれた。この場合の比例限度係数 (σ_{2b}/σ_2) は $\frac{4}{5}$ 前後と高くなっており、破壊は、繊維の目切れ(年輪の目切れを含む)あるいは材縁の節が介在するか、引き金となったと考えられる。

また、カラマツ集成材の場合における比例限度係数は傾向的に $\frac{3}{4}$ 付近ではなからうかと考えられた。

4. 総括

本研究はカラマツラミナの材質及び強度性能を調査し、ラミナの適正な品等区分法を究明するとともに、ラミナの構成にもとづく、集成材の等級化を明らかにし、その性能向上をはかるとともにカラマツ材質に適した集成技術の知見を得ることを目的として、試験を実施した。

試験の結果をまとめると次のとおりである。

(1) 原木の品等、製材調査結果およびラミナの人工乾燥

ア. 供試したカラマツ素材35本の素材の日本農林規格による格付の結果は、1等2本、2等26本、3等7本で、ほとんどが2等材であった。

イ. 製材歩止りは総平均で56.0%、ラミナ歩止り(集成材として接着されるラミナの原木との歩止り)は32.6%であった。

ウ. 本試験で用いたスケジュール(高温)は、従来の中温乾燥に比較して、大幅な時間短縮が可能であり、欠点発生防止の面からも適したスケジュールと考えられた。

(2) ラミナの品等

ア. 集成材の強度性能に及ぼすラミナの品等の明確な指標は曲げヤング係数といえる。

イ. ラミナの曲げヤング係数を推測し得る適当な材質上の外観的因子はみあたらなかった。ただ材中央部の集中節径が一応の目安にはなり得ると考えられる。

ウ. したがって、ラミナの強度的性能を外観的に推定することはむずかしい。そこで、個々のラミナの曲げヤング係数を機械的に計測できる簡易で安価なグレーディングマシンの開発が望まれる。

エ. 上級ラミナの場合は、集成材の外層に使用されるものであるから、年輪の目切れ（繊維傾斜による目切れも含む）及び材縁の節等は無いことが条件となる。

しかし、年輪の目切れの量及び材縁の節の大きさ等と集成材強度との関係は、今後の検討にまたなければならない。

(3) 集成材の品等

ア. 集成材の強度性能は、それを構成するラミナの性能に応じた強さを示した。

したがって、集成材の強度性能は、それを構成するラミナの強度性能で推定できる。

5層集成材のラミナの剛性と集成材の剛性の間には次式の関係が見られた。

$$Y X \div 0.63 X_1 + 0.37 X_2$$

イ. したがって外層のラミナには優れた剛性のものを配置すれば集成材の強度性能の向上は可能である。

ウ. 接着性能試験の結果、本試験で作製した集成材は十分な接着力と耐久力をもっているものと判断した。

エ. 許容応力度の試算では、本試験で用いた区分法によれば、長期許容曲げ応力度では、L₂の2本が特級に、他は1・2級に相当し、L₄は集成材5本の内3本が規格外であった。一方、曲げヤング係数で処理すると、L₁、L₂、L₁₂、L₁₃は、すべて特級にランクされた。

5. ま と め

本試験では県下5地域から供試材を求めて、実施したのであるが、カラマツ材は材質的に集成材向けとして、性能面からすれば良い材料といえるようである。しかしながら材質調査の折に地域的な差が見かけられたので、今後は、一般的な材質求明とともに厳密な意味の地域的材質差の追究が必要であろうと考えられるし、集成材用原料としての材質資料の積み重ね及び実用化へのカラマツ集成技術の資料の集積は不可欠であると考えられた。