

集成材用ラミナの品等区分と集成材の強度性能

野原正人
岩田隆昭
山本和雄

まえがき

集成材は素材に比較して強度的なバラツキが少なく、安定した構造材料であるとして、建築基準法第38条によって普通構造材(素材)の約1.5倍の許容応力度が認められている。

しかし、最近のように国内木材資源が不足するとともに、輸入外材の価格が高騰すると従来はあまり使用されなかった樹種や低質材が構造用集成材の原材料として選ばれることになるため、製造される集成材の強度性能が低下するおそれが生じてくる。

新しい樹種や低質材を無秩序に使用すれば素材の1.5倍の許容応力度を満足する強度性能を期待することは困難となり、過去10数年の間に築いてきた集成材の性能に対する信頼感を失うことになりかねない。

そのため、安定した性能をもつ集成材をより合理的に製造する方法として、ラミナの材質と強度性能を適確に把握して品等区分を実施し、その構成方法から集成材の強度性能を予測するグレーディングシステムの確立が必要となってくる。

本研究は、こうした意図のもとに、県内産スギのラミナを用いて、その節径比、年輪巾および容積重と曲げヤング係数について検討するとともに、その構成方法と集成材の強度性能について検討したものである。

また、ミニフィンガーによるたてつぎラミナを用いた集成材を試作し、その強度性能についても検討を加えたので、その結果について報告する。

なお、この研究は国庫補助試験のメニュー課題として、昭和51年～53年に実施したものである。

1 試験方法

1.1 試験の概要

この試験は、ラミナの材質と曲げ剛性による品等区分の実施、ラミナの品等と集成材の強度性能の検討およびたてつぎラミナを使用した集成材の性能評価の3項目からなっている。なお、ラミナの品等区分については2回実施し、1回目は節径比および曲げ剛性を基準として品等区分をおこなうとともに解析用のラミナを用いて曲げ破壊試験をおこない、ラミナの各材質指標と曲げ性能との相関について検討を加えた。2回目は、節径比その他の材質は測定するだけにとどめ、曲げ剛性のみを基準として品等区分を実施した。

なお、供試材は全て県内産のスギを用いたが、集成材のコアーとして価格的に使用可能な中丸太、3等材を選んだ。

1.2 ラミナの調整

末口径18～40cm、樹令45～60年生のスギ丸太約6.2m³より巾11.5cm、厚さ2.5cm、長さ300cmのラミナを挽材し、人工乾燥により含水率を10～13%に乾燥した。

その後、プレーナーにより厚さ20mmに鉋削したが、1回目のラミナの品等区分には約230枚、2回目の品等区分には約150枚のラミナを使用した。

1.3 ラミナの材質と曲げ剛性の測定

供試ラミナの材質測定は次の方法により実施した。

寸法：巾および厚さはノギスを用いて1/20mm、長さは巻尺により1mmの精度で測定した。

容積重：台秤を用いて10gの精度で測定した。

含水率：木材含水率計を用いて測定した。

年輪巾：両木口の年輪巾をJISに準じて測定し、平均した。

繊維傾斜：板目の場合はケビキを用い、柎目の場合は年輪に沿って、その走向傾斜比を測定した。

節：位置、寸法、生死節の区別を全長にわたって記録したが、中央1/3区間における独立節の最大のものを最大節径比、15cm内に数個の節が集まったものを集中節径比として表示した。

その他：その他の欠点として割れ、腐れ、入皮、あて、やにつぼなどを測定した。

なお、ラミナの曲げ剛性の測定はスパンを200cmとして分銅による中央集中荷重方式により曲げヤング係数を求めた。

1.4 解析用ラミナの材質と曲げ性能の測定

1回目の品等区分に用いたラミナの中から、高品質から低品質まで含まれるように長さ90cmの解析用ラミナを約100枚選び、前項と同様の方法で材質を測定した。

また、曲げ性能の測定は、アムスラー型の木材強度試験機(10ton)を用いて、スパン75cmの3等分点4点荷重方式により、曲げヤング係数および曲げ強さを測定した。

1.5 たてつきラミナの調整

2回目の品等区分に用いたラミナの中から曲りの大きいものを選び、前項の通り、材質および曲げ剛性を測定後、曲げヤング係数が $80 \times 10^3 \text{Kg/cm}^2$ を超えるものとそれ以下の二つに分けて、それぞれ図-1に示すようにたてつき加工をおこなった。

たてつき加工は菊川製のミニフィンガージョインターを用いたが、フィンガーの形状は表-1に示すとおりであり、接着剤は大日本インキ工業KKのプライオフエン#6000を用い、硬化剤にはプライオフエンカタリストTD-473を100部対15部の割合で配合して使用した。なお木口の圧縮圧力は 40kg/cm^2 とした。

たてつき加工をおこなったラミナは、厚さ18mmに鉋削後再び曲げヤング係数を測定して、たてつき加工前後の曲げ剛性を比較した。

1.6 ラミナの品等区分と集成材の作製

年輪巾、節径比および曲げヤング係数などを測定したラミナの品等区分は表-2に示すとおり、一回目の試験においては節径比と曲げヤング係数を基準として3等級に区分し、二回目の試験は曲げヤ

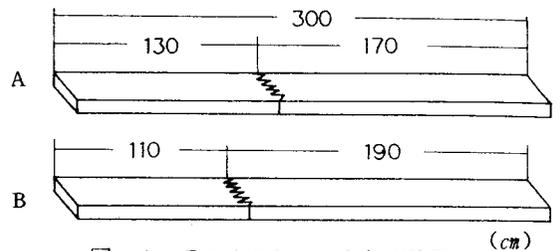


図-1 ラミナのたてつき加工位置 (cm)

表-1 フィンガーの形状

各部の名称		大きさ(mm)
	フィンガー長(L)	114
	ピッチ(p)	4.0
	底部の巾(t)	0.6
	先端部の巾(t)	0.7

表-2 ラミナの等級区分

	等級	集中節径比	曲げヤング係数(10^3Kg/cm^2)
一回目	1ℓ1	0~0.2	90~
	1ℓ2	0.2~0.4	70~90
	1ℓ3	0.4~	40~70
二回目	2ℓ1		90~
	2ℓ2		75~90
	2ℓ3		~75

ング係数のみを基準として3等級に区分した。

また、上記の通り分類したラミナを用いて試作した集成材は、同一等級ラミナの5層構成とし、表-3に示すような3等級に区分して、各等級の試作本数は5本づつとした。

この場合、それぞれのラミナの組み合わせは同一等級間において曲げヤング係数の平均化をはかるとともに、一本の集成材のラミナの配置は外側に強いものを、内側に弱いものを組み合わせた。

なお、たてつきラミナを用いた集成材の構成は、曲げヤング係数 $80 \cdot 10^3 \text{kg/cm}^2$ 以上と以下の二等級とし、たてつき間隔を40および80cmの二通りとして表-4の通り各4本づつ試作した。

使用した接着剤はラミナのたてつき加工に用いたものと同じレゾルシノール樹脂接着剤であり、塗布量は 250g/m^2 の両面塗布、圧縮圧力は 10kg/cm^2 とし、約20時間圧縮した。

1.7 集成材の品質と強度性能の測定

試作した集成材はその品質を調査するために寸法精度、容積重、曲り、およびねじれを測定した。

また、強度性能の測定は、アムスラー型強度試験機(容量10ton)を用いて、スパン210cmの3等分点4点荷重方式によって曲げ試験をおこなった。この場合、たわみの測定はスパンの中央において $1/100$ mmのダイヤルゲージを用い、全長およびモーメント一定区間のたわみ量を測定した。

集成材の接着性能としては、曲げ試験を実施した試験体の非破壊部分より試験片を採取し、JASに定められている含水率、煮沸はくりおよびブロックせん断試験を実施した。

2 試験結果および考察

2.1 ラミナの材質

供試ラミナ約480枚の各材質指標別出現頻度は図-2に示すとおりである。

年輪巾は1mmから1.2mmまで広範囲にわたって出現しているが、1回目も2回目もほとんど同じような頻度を示している。容積重は、 $0.28 \sim 0.53 \text{g/cm}^3$ の範囲であるが、2回目のラミナの容積重は1回目より小さくなっている。

最大節径比および集中節径比は1回目、2回目ともあまり大きな差は認められなかった。

2.2 ラミナの材質と強度性能

ラミナの曲げヤング係数の出現頻度は図-3に示す。 $45 \cdot 10^3 \text{kg/cm}^2$ から $125 \cdot 10^3 \text{kg/cm}^2$ と広い範囲に分布しているが、1、2回とも大きな差は認められなかった。

年輪巾、容積重および節径比などの材質指標と曲げヤング係数との関係を図-4~9に示すが、ほとんど相関を認めることができず、年輪巾と容積重において若干その傾向をうかがうことができる。

ラミナの外観的な材質から強度性能を推定するためには、中央1/3区間のみの材質を測定するなど種々の方法について検討する必要があるが、このように材長3mのラミナの全体的な材質からその強度性能を推定する方法では、部分的な材質のバラツキなど他の因子が多く入りすぎるため、信頼性の低

表-3 集成材のラミナ構成

	集成材の等級	ラミナの構成			試験本数
		ラミナの等級	積層数	構成ラミナの平均曲げヤング係数	
一回目	1 L 1	$\ell 11$	5 (枚)	(10^3kg/cm^2)	5 (本)
	1 L 2	$\ell 12$	5		5
	1 L 3	$\ell 13$	5		5
二回目	2 L 1	$\ell 21$	5	99.2	5
	2 L 2	$\ell 22$	5	82.4	5
	2 L 3	$\ell 23$	5	66.7	6

表-4 たてつきラミナを用いた集成材の構成

集成材の呼称	ラミナの性能と構成方法			試験本数(本)
	曲げヤング係数 (10^3kg/cm^2)	積層数(枚)	たてつき間隔(cm)	
A	80 ~	5	40	4
B	~ 80	5	80	4

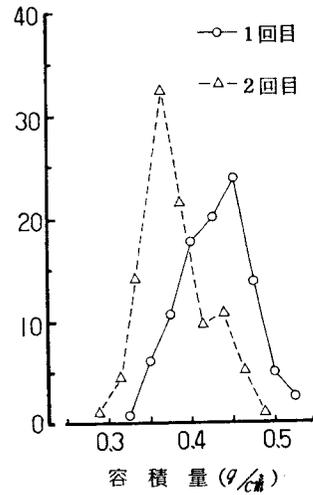
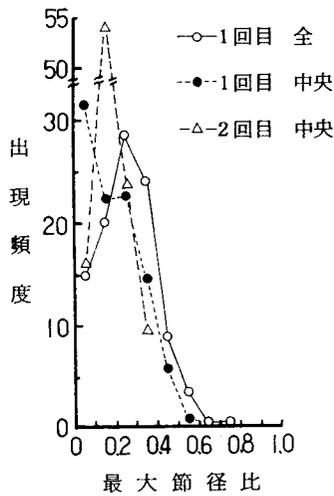
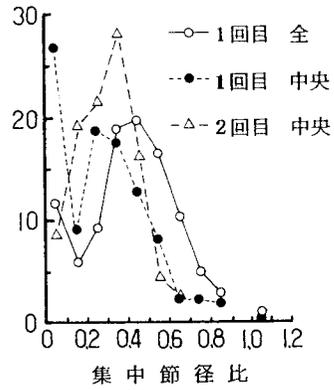
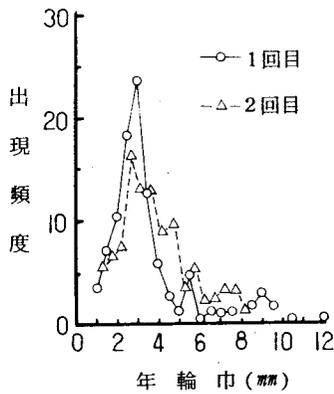


図-2 集成材用ラミナの各材質指標別出現頻度

いものとならざるを得ないであろう。

2.3 解析用ラミナの材質と強度性能

1回目の品等区分を実施したラミナと同じグループの中から長さ90cmの解析用ラミナを約100枚採取して材質および強度性能を調査したが、その結果を表-5に示す。

また、解析用ラミナの材質と曲げヤング係数の関係を図-10～12に示すが、品等区分を実施したラミナと同様に、年輪巾、容積重とも曲げヤング係数との相関は全く認めることができず、節径比と曲げヤング係数との間に若干その傾向をうかがうことができる程度であった。

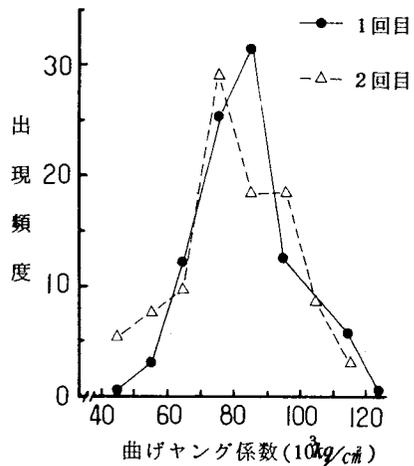


図-3 集成材用ラミナ 曲げヤング係数の出現頻度

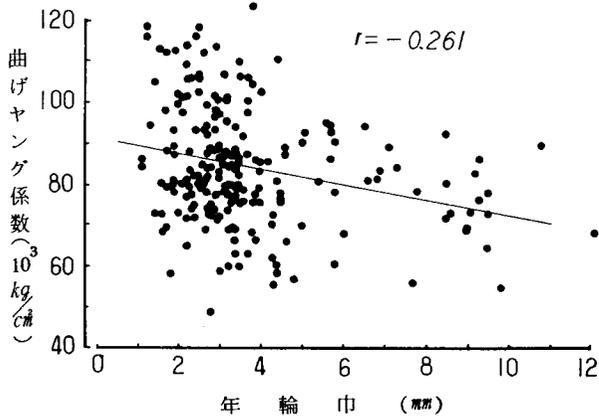


図-4 集成材用ラミナの年輪巾と曲げヤング係数の関係(1回目)

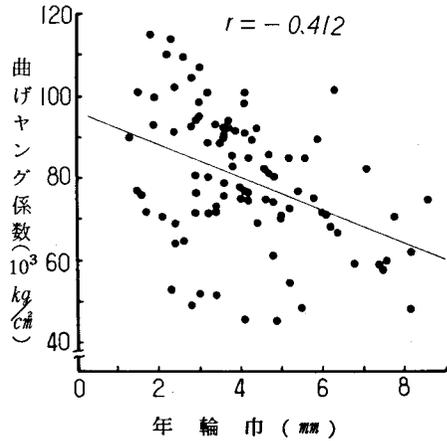


図-5 集成材用ラミナの年輪巾と曲げヤング係数の関係(2回目)

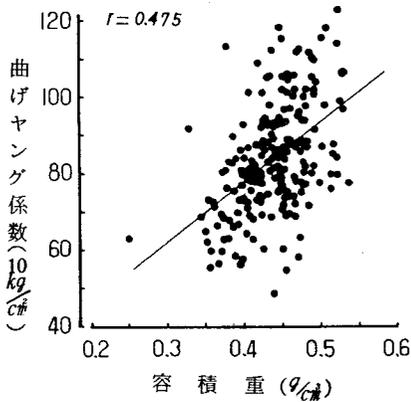


図-6 集成材用ラミナの容積重と曲げヤング係数の関係(1回目)

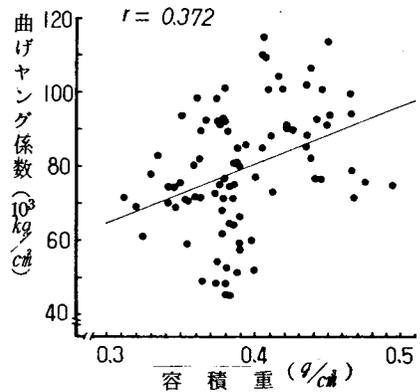


図-7 集成材用ラミナの容積重と曲げヤング係数の関係(2回目)

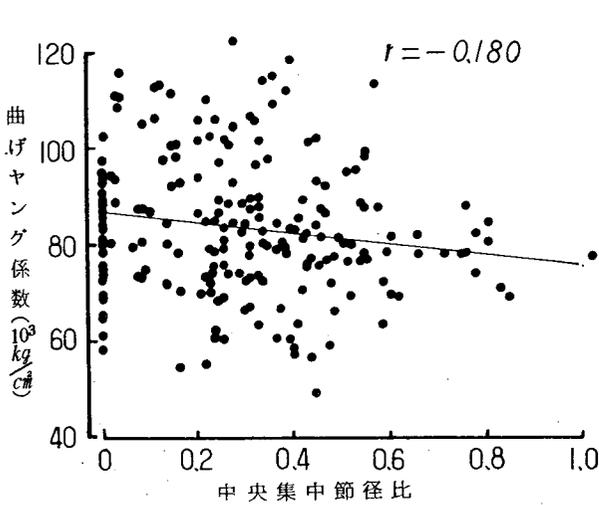


図-8 集成材用ラミナの節径比と曲げヤング係数の関係(1回目)

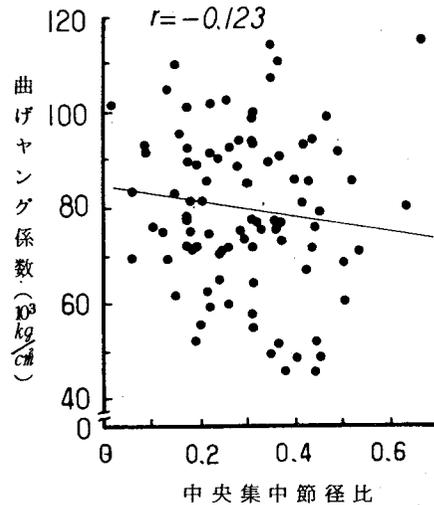


図-9 集成材用ラミナの節径比と曲げヤング係数の関係(2回目)

表-5 解析用ラミナの集中節径比別強度性能

集中節径比	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	全体
容積重 (g/cm^3)	Min	0.329	0.388	0.389	0.373	0.386	0.364	0.489	0.430	0.466	0.469	0.329
	Max	0.508	0.499	0.546	0.520	0.540	0.509	0.504	0.516	0.539	0.521	0.546
	AV	0.425	0.436	0.465	0.445	0.471	0.448	0.497	0.483	0.508	0.502	0.457
	SD	0.0457	0.0345	0.0412	0.0442	0.0494	0.0449	0.0075	0.0292	0.0290	0.0236	0.047
含水率 (%)	Min	1.17	1.18	1.19	1.14	1.15	1.20	1.54	1.19	1.26	1.51	1.14
	Max	1.79	1.62	1.50	1.64	1.97	1.57	1.57	1.60	1.58	1.57	1.97
	AV	1.44	1.34	1.36	1.42	1.45	1.39	1.56	1.34	1.47	1.53	1.41
	SD	2.11	1.32	0.89	1.44	2.20	1.20	0.15	1.48	1.31	0.26	1.63
平均年輪巾 (mm)	Min	14	1.9	1.8	1.8	1.4	1.6	1.9	1.5	2.0	3.2	1.4
	Max	63	10.0	6.8	9.5	10.0	9.0	22	3.4	2.8	3.7	10.0
	AV	2.5	4.8	3.1	3.6	4.0	4.4	2.1	2.1	2.6	3.5	3.5
	SD	1.36	2.55	1.36	2.25	2.58	2.33	0.15	0.61	0.32	0.22	2.13
曲係 げヤ ン ケ数 ($10^3/g/cm^3$)	Min	65	58	61	48	52	33	73	67	58	55	33
	Max	118	124	130	97	95	86	80	90	83	75	130
	AV	85.1	92.5	87.5	80.3	75.4	69.1	76.5	76.3	72.3	65.3	80.3
	SD	123.5	163.5	149.4	149.9	109.8	150.6	3.50	7.44	11.03	8.18	15.41
曲げ強さ (kg/cm^2)	Min	429	409	437	293	304	259	426	274	373	268	259
	Max	767	874	887	604	641	628	458	519	518	444	887
	AV	627.1	630.8	613.4	502.7	442.1	430.9	442.0	384.3	421.5	344.3	517
	SD	87.14	127.99	106.61	89.39	91.29	112.07	1600	76.11	57.00	73.72	138.8
試料数	14	13	13	12	14	11	2	7	4	3	1	94

また、材質と曲げ強さの関係を図-13~15に示す。容積重と年輪巾は曲げヤング係数の場合と同様、全く相関を認めることができないが、節径比と曲げ強さの間には相関を認めることができ、節径比が大きくなる程曲げ強さは小さくなっている。

図-16は、解析用ラミナの曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示すものであるが、相関係数は0.721となり、他のいずれよりも強い相関を認めることができる。

品等区分を実施したラミナは、材長3mのまま節径比などを測定しているため、強度性能との相関が低くなるが、解析用ラミナは長さ90cmで節径比を測定しているため、他の因子の影響が少なく、曲げ性能との相関が高くなるものと考えられる。

しかし、節径比と曲げ強さの相関よりも、曲げヤング係数と曲げ強さの相関の方がより高いため、ラミナの品等区分を節径比で実施するよりも、曲げヤング係数で区分する方がより信頼性の高い品等区分が実施できることになる。

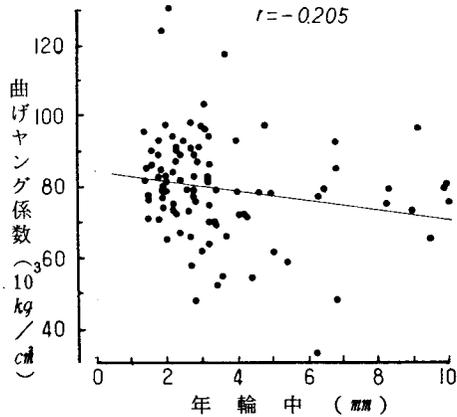


図-10 解析用ラミナの年輪巾と曲げヤング係数の関係

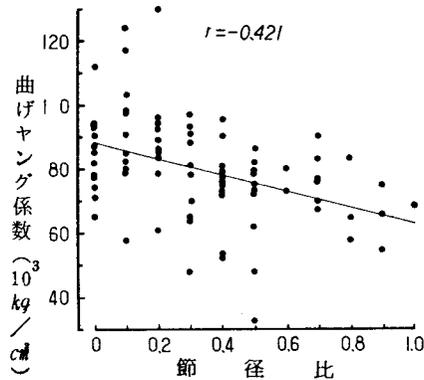


図-11 解析用ラミナの節径比と曲げヤング係数の関係

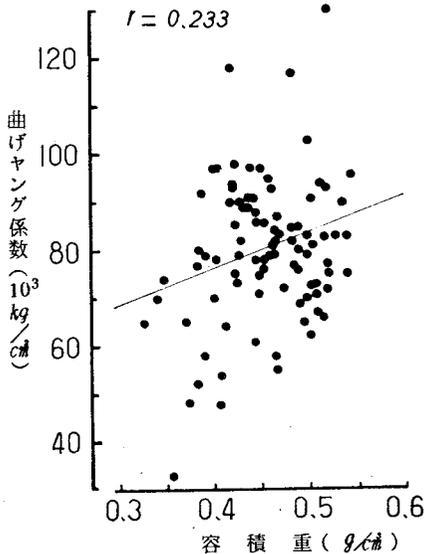


図-12 解析用ラミナの容積重と曲げヤング係数の関係

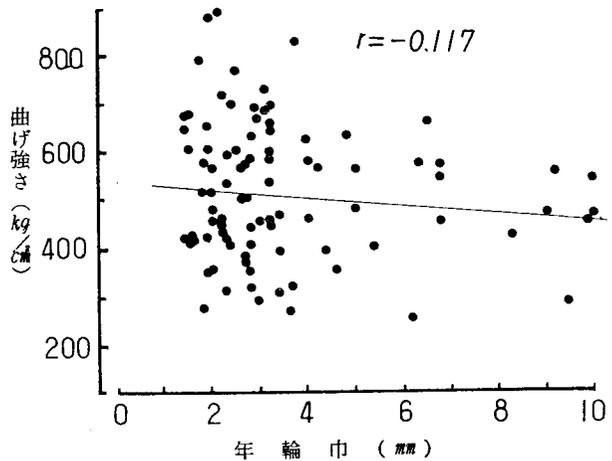


図-13 解析用ラミナの年輪巾と曲げ強さの関係

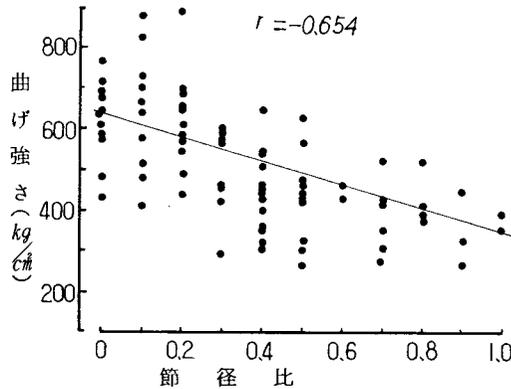


図-14 解析用ラミナの節径比と曲げ強さの関係

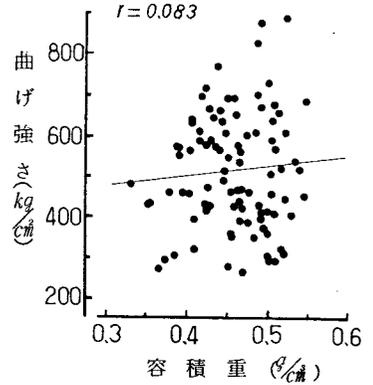


図-15 解析用ラミナの容積重と曲げ強さの関係

2.4 集成材の品質

試作した集成材の品質試験の結果を表-6に示す。各等級の集成材とも含水率のバラツキや狂いなども少く、接着性能もJASの基準を上回り、接着上の問題は無いものと思われる。ブロックせん断強さにおいて、1回目に比較して2回目が低い値を示しているが、これは前出の図-3に示すように2回目の容積重が1回目より小さくなっており、こうした材質の影響がブロックせん断試験結果にあらわれたものと思われる。

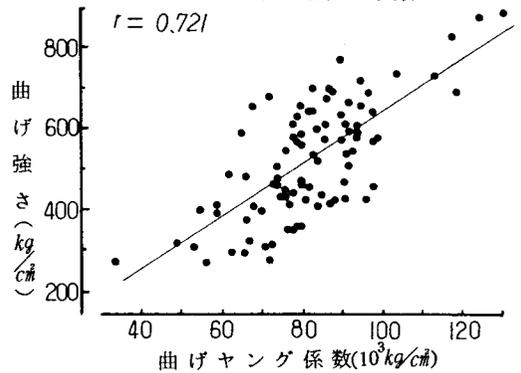


図-16 解析用ラミナの曲げヤング係数と曲げ強さの関係

表-6 集成材の品質と接着性能

集成材の種類		曲り (mm)	そり (mm)	ねじれ (°)	せん断強さ (kg/cm²)	木部破断率 (%)	煮沸はくり率 (%)	含水率 (%)
1L1	Min~Max	0~2	1~2	0~1	58.8~100.0	85~95		11.4~14.5
	AV	1.2	1.2	0.2	84.2	90	0	12.8
1L2	Min~Max	0~1	0~2		66.8~108.3	80~100		11.3~14.0
	AV	0.5	1.0	0	91.9	93	0	12.7
1L3	Min~Max	0~1	0~3	0~0.5	73.3~97.3	80~95		10.3~14.6
	AV	0.8	1.2	0.1	83.2	93	0	11.8
2L1	Min~Max				59.2~84.0	70~90		10.9~15.0
	AV				70.0	81		12.5
2L2	Min~Max				55.7~74.9	50~90		10.3~13.5
	AV				65.7	74		11.8
2L3	Min~Max				59.7~73.5	50~90		9.4~11.4
	AV				66.9	74		10.5
A	Min~Max				64.8~73.3			9.1~11.5
	AV				69.1	80		10.5
B	Min~Max				57.3~78.0	70~90		9.5~11.4
	AV				67.9	80		10.6

表-7 集成材の等級別強度性能

集成材の等級	曲げヤング係数		曲げ比例限度 $\sigma_{bp} \text{ Kg/cm}^2$	曲げ強さ $\sigma_b \text{ Kg/cm}^2$	σ_{bp} / σ_b	$2/3 \sigma_b$	$\sigma_b / EL \times 10^{-2}$	含水率 u %	容積重 ρ / cm^3
	全 体 $EL 10^3 \text{ Kg/cm}^2$	中 央 $E_c 10^3 \text{ Kg/cm}^2$							
1 L	Min	87.0	96.5	261	0.54	306	0.53	1.18	0.445
	Max	92.8	109.0	378	0.69	401	0.67	1.39	0.461
	AV	90	105	331	0.62	357	0.59	1.28	0.458
	SD	2.0	4.6	433	0.057	366	0.051	0.82	0.0068
1 L	Min	69.9	77.6	214	0.47	267	0.54	1.19	0.436
	Max	74.3	85.8	298	0.74	337	0.67	1.40	0.456
	AV	73	84	256	0.59	298	0.61	1.27	0.447
	SD	2.0	3.2	297	0.089	27.5	0.058	0.72	0.0075
1 L	Min	46.4	49.7	128	0.53	151	0.44	1.07	0.395
	Max	57.1	60.6	169	0.64	185	0.52	1.45	0.428
	AV	52	54	148	0.58	169	0.49	1.18	0.416
	SD	3.6	4.1	13.0	0.035	11.4	0.033	1.52	0.0120
2 L	Min	90.3	91.9	245	0.54	245	0.41	1.24	0.415
	Max	95.5	113.1	329	0.77	352	0.55	1.41	0.455
	AV	92	102	278	0.63	294	0.48	1.30	0.438
	SD	1.8	8.6	285	0.007	354	0.047	0.59	0.0152
2 L	Min	76.9	76.7	204	0.58	221	0.40	1.21	0.392
	Max	82.1	95.5	307	0.81	329	0.62	1.35	0.441
	AV	80	88	259	0.67	262	0.49	1.28	0.414
	SD	1.7	6.3	35.8	0.094	380	0.076	0.55	0.0180
2 L	Min	58.6	69.8	186	0.45	184	0.41	1.12	0.361
	Max	70.9	74.1	285	0.96	272	0.61	1.20	0.420
	AV	66	72	244	0.73	231	0.52	1.17	0.385
	SD	4.2	1.8	30.7	0.165	37.0	0.069	0.24	0.0181

2.5 集成材の強度性能

試作した集成材の等級別強度性能の試験結果を表-7に示す。

ラミナの節径比および曲げヤング係数などによって区分した集成材の等級と、試作した集成材の曲げヤング係数との関係は図-17に示すように、その等級が上位になるほど曲げヤング係数も大きくなり、グレーディングの効果が明確に現われている。

次に、集成材の等級と曲げ強さの関係を図-18に示す。集成材の等級が上位になるほど曲げ強さも大きくなるが、曲げヤング係数の場合と比較すれば同一等級間のバラツキが大きくなり、グレーディングの効果が少なくなっている。ことに2回目の場合は各等級間の強度差が少なくなっている。

図-19は、試作した集成材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示すものであるが、1回目の相関係数は0.942と高い値を示すのに対し2回目の相関係数は0.648と低くなっている。

これは、1回目のラミナの品等区分を節径比と曲げヤング係数とで実施しているのに比較して、2回目はラミナの曲げヤング係数のみで品等区分をおこなったため、各集成材の相当節径比(ラミナ各層の集中節径比を集成材の単一節径比に換算した値)が約30%と高くなったことと、ラミナの材質が1回目に比較して低品質のものであったことに起因するものと考えられる。

ラミナの材質と曲げ強さの相関は低く、曲げヤング係数で品等区分をおこなった方が信頼性が高いことを前に述べたが、集成材とした場合の曲げ強さには、ラミナの曲げヤング係数と同時に、相当節径比の影響も無視することができず、品等区分を実施する場合はやはりラミナの中央部のみでも節径比を測定し、曲げヤング係数と同じ重みで品等区分をおこなった方が集成材の強度性能に対するグレーディングの信頼性が高くなるも

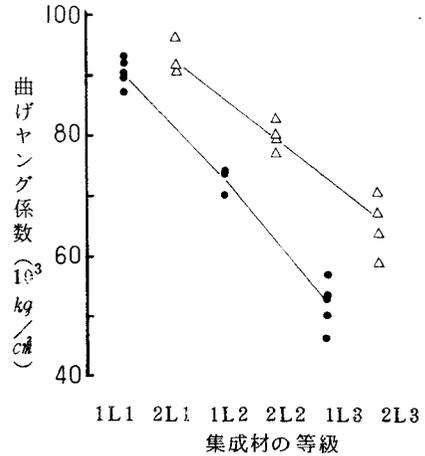


図-18 集成材の等級と曲げ強さの関係

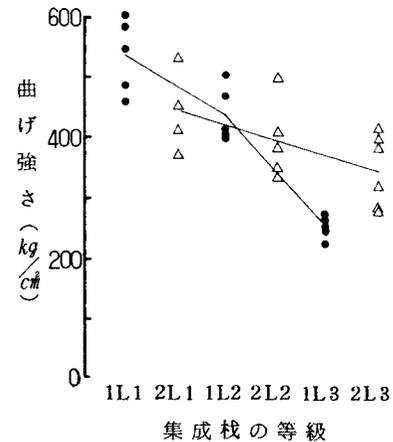


図-17 集成材の等級と曲げヤング係数の関係

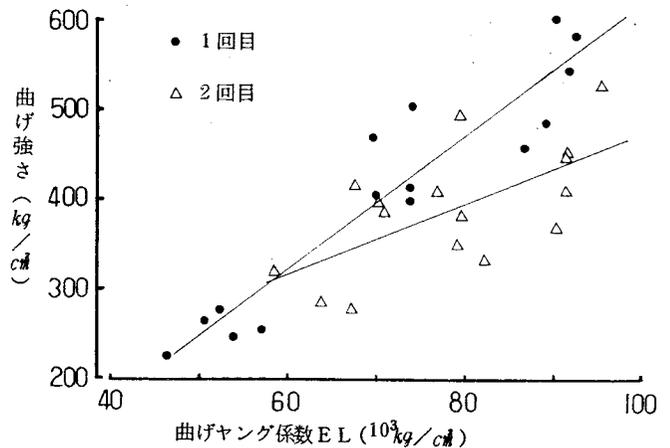


図-19 集成材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

のと思われる。

2.6 たてつぎラミナを用いた集成材の強度性能

たてつぎラミナの加工前後の曲げヤング係数を表-8に示すが、たてつぎ加工による曲げヤング係数の変化は少なく、曲げヤング係数に対するたてつぎの有効率は平均値でほとんど100%に近い値を示している。

表-9は、たてつぎラミナを用いた集成材の強度性能であるが、ラミナの曲げヤング係数が $80 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ 以上であるA等級は、同じく $80 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ 以下であるB等級より曲げヤング係数、曲げ強さも上回っている。しかし、曲げヤング係数の差に比較して曲げ強さの差が小さくなっているが、これは、A等級の場合隣接するラミナ相互のたてつぎ間隔が40cmと小さくなっているのに対して、B等級のラミナのたてつぎ間隔は80cmと大きくなっているため、曲げヤング係数の低下に比較して曲げ強さの低下が少なくなったものと思われる。

表-8 ラミナのたてつぎ加工による曲げヤング係数の変化

ラミナ区分		曲げヤング係数(10^3 Kg/cm^2)		$E'/E \times 100$ (%)
		たてつぎ前 E	たてつぎ後 E'	
A	Min	77.2	69.2	82.0
	Max	110.0	104.5	108.4
	AV	90.3	88.8	99.6
	SD	93.3	86.6	64.8
B	Min	49.6	47.7	79.7
	Max	83.0	84.6	124.8
	AV	68.3	68.0	99.7
	SD	79.6	103.4	110.0

表-9 たてつぎラミナを用いた集成材の強度性能

集成材 の区分	曲げヤング係数		曲げ比例 限度 $\sigma_{bp} \text{ Kg/cm}^2$	曲げ強さ $\sigma_b \text{ Kg/cm}^2$	σ_{bp}/σ_b	$2/3 \sigma_b$	σ_b/EL $\times 10^{-2}$	含水率 u %	容積重 g/cm^3	
	全体 $EL \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$	中央 $EL \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$								
A	Min	79.4	81.5	197	270	0.58	180	0.30	11.8	0.410
	Max	90.3	112.1	253	361	0.83	241	0.44	12.7	0.426
	AV	86.8	96.4	228	331	0.70	221	0.38	12.5	0.415
	SD	43.4	120.0	208	35.9	0.089	24.0	0.051	0.38	0.0066
B	Min	71.8	78.5	223	245	0.64	165	0.34	11.5	0.363
	Max	74.5	88.5	227	355	0.90	237	0.48	12.2	0.388
	AV	72.9	83.0	225	305	0.75	204	0.42	12.0	0.376
	SD	1.02	36.3	1.5	39.9	0.099	26.7	0.053	0.27	0.0093

また、曲げヤング係数が比較的近似する2L2、2L3の曲げ強さに比較して、A、Bの曲げ強さは1~2割小さくなっているが、これはフィンガージョイントそのものが欠点となって曲げ強さに影響しているためであろう。

なお、集成材の曲げ試験における破壊状態は、ほとんどが引張側のたてつぎ部分から破壊しているが、フィンガーの抜けなど加工精度に影響されるものではなかった。

2.7 集成材の曲げ性能と曲げ許容応力度の推定

次に、集成材の曲げ性能を品等区分の方法別に推定するために若干の検討を加えた。

図-20は、集成材の実測曲げヤング係数と計算曲げヤング係数の関係を示したものであるが、1~2回とも極めて高い相関を示し、構成ラミナの曲げヤング係数より集成材の曲げヤング係数を高い精度で推定できることの可能性を示している。

なお、この場合、集成材の計算曲げヤング係数は次式により算出した。

$$nE = \sum_{i=1}^n E_i I_i / nI$$

E_i : ラミナ各層の曲げヤング係数
 nI : n 層集成材の全断面2次モーメント
 I_i : 第 i 層の断面2次モーメント

また、図-21は集成材の相当節径比と集成材の曲げ強さの関係を示したものであるが、1回目はラミナの節径比を曲げヤング係数と同じ重みで品等区分しているため、集成材の相当節径比と曲げ強さの相関は極めて高くなっているのに比較して、2回目のラミナの品等区分は節径比を無視しているため、前述の通り相当節径比が0.24~0.37の範囲に集中しており、集成材の曲げ強さとの間に相関を認めることができなかった。

なお、相当節径比の計算は次式によった。

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \Phi_i I_i / nI$$

Φ_i : ラミナ各層の中央 $1/3$ 区間の集中節径比

nI : n 層集成材の全断面2次モーメント

I_i : 第 i 層の断面2次モーメント

次に、集成材の曲げ強さを推定する方法として、相当節径比および計算曲げヤング係数と、実測曲げ強さの関係から表-10に示す回帰式を求めた。

また、その式から表-11に示すように集成材の推定曲げ強さ、1%下限値および長期曲げ許容応力度を計算した。

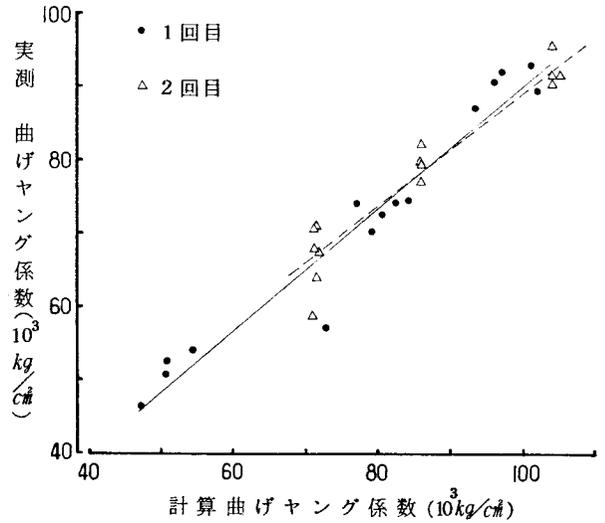


図-20 集成材の計算曲げヤング係数と実測曲げヤング係数の関係

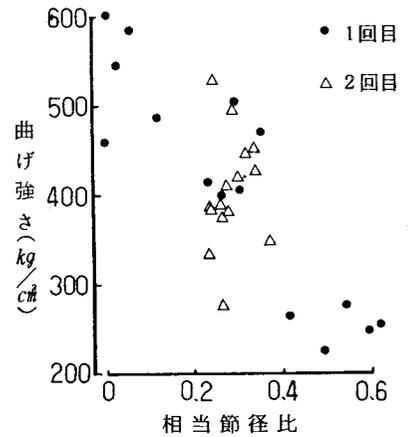


図-21 集成材の相当節径比と曲げ強さの関係

表-10 相当節径比および計算曲げヤング係数と曲げ強さの関係

区分	本数	因子	相関係数	回帰式	σ_m	1%下限値を表わす式	$\sigma_m 1\%$	標準偏差 (kg/cm^2)
1L1~1L3	15	Φ	-0.894	$\sigma_m = 562 - 531\Phi$		$\sigma_m 1\% = 273 - 531\Phi$		124
		E	0.912	$\sigma_m = -67.8 + 6.12E$		$\sigma_m 1\% = -357 + 6.12E$		
2L1~2L3	16	Φ	0.025	$\sigma_m = 378 + 432\Phi$		$\sigma_m 1\% = 220 + 432\Phi$		68
		E	0.547	$\sigma_m = 198 + 2.18E$		$\sigma_m 1\% = 40 + 2.18E$		
A~B	8	E	0.295	$\sigma_m = 214 + 1.22E$		$\sigma_m 1\% = 121 + 1.22E$		40

表-1-1 集成材の曲げ性能推定値と曲げ許容応力度

集成材 の 等級と 呼称	計算値		実測値			推定値						長期曲げ許容応力度		
	Φ (1)	E (2)	EL	σ _m (3)	σ _m ^{3/4} (4)	σ _m 1% (5)	(1)による推定値			(2)による推定値			(4) / 3	(9) / 3
							σ _m (6)	σ _m ^{3/4} (7)	σ _m 1% (8)	σ _m (9)	σ _m ^{3/4} (10)	σ _m 1% (10)		
1 L 1	0.06	98.0	90	536	402	408	530	398	241	532	399	243	134	133
1 L 2	0.28	80.7	73	439	329	343	413	310	124	426	320	137	110	107
1 L 3	0.54	55.2	52	254	191	214	275	206	-14	270	203	-19	64	68
2 L 1	0.28	104.4	92	441	331	318	390	293	322	426	320	268	110	107
2 L 2	0.30	86.0	80	398	295	260	391	293	323	385	289	227	98	96
2 L 3	0.27	71.3	66	346	260	218	390	293	222	353	265	195	87	88
A		95.2	87	331	248	247				330	248	237	83	83
B		76.0	73	305	228	212				307	230	214	76	77

(注) (1) 相当節径比 (2) 計算曲げヤング係数 (3) 曲げ強さの実測値 (5) 曲げ強さの1%下限値 (σ_m-2.33σ)
 (6) 相当節径比の推定曲げ強さ (7) 相当節径比の推定曲げ強さの1%下限値 (8) 曲げヤング係数の推定曲げ強さ
 (9) 曲げヤング係数の推定曲げ強さの1%下限値
 (10) (6)、(7)、(8)、(10)は表-1-0の回帰式より推定した値

相当節径比を基にした推定値と実測値を比較すると、1回目は十分な精度で推定が可能であるが、2回目の場合は前述のように相当節径比と曲げ強さの相関が非常に低いため、推定値と実測値もあまり合致せず、節径比を無視したグレーディングの場合は、当然のこと

表-12 針葉樹集成材の曲げ性能

種類	曲げ性能	集成材の等級		
		上級	1級	2級
針葉樹 B類	ヤング係数 10^3Kg/cm^2	90	80	70
	長期曲げ許容応力度 Kg/cm^2	140	100	70
	基準曲げ強度 Kg/cm^2	420	300	210

ながら相当節径比から曲げ強さを推定することは不可能である。

計算曲げヤング係数を基にした推定値と実測値は極めてよく合致しており、この方法で集成材の曲げ強さを推定することは十分可能であることを示している。

しかし、推定値の1%下限値と実測値の1%下限値を比較してみると、推定値は実測値より非常に低い値となり、安全側への誤差が大きくなっている。これは、測定数が各5~4本と少ないためであると思われる。

長期曲げ許容応力度は

$$Lfb = oFb \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2}$$

の式を用いて計算したが、oFbは曲げ強さの平均値の $\frac{3}{4}$ あるいは曲げ強さの1%下限値の小さい方の値をとることに定められているが、推定値の下限値は前述のように安全側への片寄りが大きすぎるため、ここでは平均値の $\frac{3}{4}$ を用いて計算した。

表12は、現行の集成材の許容応力度を示すものであるが、表-11の許容応力度と比較した場合曲げ強さは1L1、1L2および2L1が針葉樹B類の1級に合格し、2L2、2L3およびA、Bが同じく2級に合格している。

しかし、曲げヤング係数の場合は、1L2が2級となり、2L3の場合は計算値が2級に合格するが実測値は不合格となる。

実測値の総合的な等級をみると、1L1、2L1がB類1級に、1L2、2L2、AおよびBがB類2級に合格することになり、ラミナの品等区分により集成材の等級づけを実施した通りとなっている。

ラミナの曲げヤング係数が $70 \cdot 10^3 \text{Kg/cm}^2$ 以下のものを用いた場合は、集成の効果があまり認められないため、やはり集成材の曲げヤング係数も低く、こうした低品質のラミナは造作用集成材に使用するか、異等級の構成として高品質のラミナを外側材に、低品質のラミナを芯材として使用することが必要であろう。

ま と め

県内産のスギを用いて、ラミナの材質による品等区分をおこない、集成材の強度性能を推定する方法について種々検討を加えたが、その結果を要約すると次の通りである。

(1) ラミナの外観の材質指標とし、年輪巾、節径比および容積重などと曲げヤング係数との相関は低く、これによるラミナの品等区分は信頼性は低い。

(2) 解析用ラミナの外観の材質と曲げ性能との相関は実大ラミナの場合と同様に低く、節径比のみが若干曲げ性能との相関をうかがうことができる。

しかし、曲げヤング係数と曲げ強さの相関はきわめて高く、曲げヤング係数によってラミナを品等区分することは十分可能である。

(3) 試作した集成材は、等級が下がるほど曲げ性能も低下し、ラミナの品等区分にしたがって集成材の等級づけをすることは可能である。

(4) ラミナの曲げヤング係数から求めた集成材の計算曲げヤング係数により、集成材の曲げ強さを非常に高い精度で推定することができる。

また、相当節径比からの集成材の曲げ強さを推定する場合、ラミナの品等区分に節径比を含めたときは高い精度で推定できるが、節径比を無視して曲げヤング係数のみで品等区分を実施した場合は、相当節径比から曲げ強さを推定することは不可能である。

(5) 試作した集成材の長期曲げ許容応力度を求め、現行の集成材の基準と比較すると、1 L 1 と 2 L 1 が針葉樹 B 類の 1 級に該当し、1 L 2、2 L 2、A および B が、2 級に該当する。

文 献

- 1) 中西祺周・和田博：集成材の製造と品質の安定化に関する研究〔Ⅲ〕：奈良県林試研報 No. 6 1975
- 2) 飯島泰男・長谷川智・森靖弘：集成材ラミナの品等区分法と集成材の強度性能（第 2 報）：木材と技術 No. 34、1978
- 3) 林業試験場：枠組壁工法のための建築用木材の強度等級区分法確立に関する研究：木材部資料 50-5、1976
- 4) 日本建築学会：木構造設計基準・同解説：1973