

(論 文)

構造用集成材用ラミナとしてのスギの利用

—丸太、ラミナおよび集成材の強度特性—

千葉 一弘・東野 正・久慈 敏

Utilization of Sugi (*Cryptomeria japonica*) as Laminations for Glulams.  
Strength properties of logs, Laminations and Glulams

Kazuhiro CHIBA, Tadashi HIGASHINO and Satoshi KUJI

要 旨

県産スギ材の構造用集成材への適用性を検証し、ヤング係数を指標とした等級区分の有効性を検討することを目的として、縦振動法により丸太の動的ヤング係数を測定し、ラミナに製材して機械等級区分を行い、これらのラミナを用いて、日本農林規格に基づいた5プライ集成材と7プライ集成材を製造し、実大曲げ強度試験を行った。

その結果以下のようなことが示された。

- (1) 心持ちラミナの動的ヤング係数は心去りラミナの動的ヤング係数より低い傾向を示した。
- (2) 丸太の動的ヤング係数と同一材から得られた挽き板の動的ヤング係数の平均値は同様な値を示した。
- (3) 丸太の動的ヤング係数は同一材から得られたラミナの動的ヤング係数の平均値に対して強い相関を示した。
- (4) 機械等級区分されたラミナで構成された集成材の曲げ強度性能は日本農林規格に適合する値を示した。
- (5) 集成材の曲げヤング係数は、動的ヤング係数および等価曲げ剛性による曲げヤング係数に対して強い相関を示した。

To investigate the feasibility of sugi (*Cryptomeria japonica*) as the laminations for glulams, and to develop a stress grading system based on the modulus of elasticity, a series of tests was made; The dynamic moduli of elasticity of logs were measured by longitudinal vibration method (Efr). Mechanical-grading was conducted on the laminations, 5-ply and 7-ply glulams conforming to Japan Agricultural Standard (JAS) were processed. Full-size bending tests were made on the glulams.

The results suggested were as follows:

- (1) Laminations with a pith showed lower Efr than those with no pith.
- (2) Efr of a log was coincide well with the average Efr of sawn boards.
- (3) Efr of a log showed strong correlation with the average Efr of laminations obtained from the same log.
- (4) Static moduli of elasticity (MOE) and moduli of rupture of glulams measured on the bending tests were higher than the values regulated by the JAS.
- (5) MOE of glulams showed strong correlation with the Efr of glulams and MOE calculated from Efr of each lamination.

キーワード

スギ、丸太、集成材、動的ヤング係数、機械等級区分

目 次

緒 言 .....	26	2. 2. 5	丸太の動的ヤング係数とラミナの動的ヤング係数の関係 .....	33
1 試験方法 .....	26	2. 2. 6	心持ちラミナの動的ヤング係数と心去りラミナの動的ヤング係数の比較 .....	34
1. 1 供試材 .....	26	2. 3	集成材の曲げ強度性能 .....	34
1. 2 ラミナの作製 .....	27	2. 3. 1	小断面集成材の強度性能 .....	34
1. 3 集成材の製造 .....	27	2. 3. 2	中断面集成材の強度性能 .....	34
1. 4 動的ヤング係数の計測 .....	28	2. 3. 3	動的ヤング係数と全スパンおよびモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係 .....	36
1. 5 等価曲げ剛性による曲げヤング係数の推定 .....	29	2. 3. 4	等価曲げ剛性による曲げヤング係数と全スパンおよびモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係 .....	37
1. 6 実大曲げ強度試験 .....	29	2. 3. 5	グレーディングマシンによる曲げヤング係数と全スパンおよびモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係 .....	37
1. 7 測定項目等の略記方法 .....	29	2. 3. 6	各ヤング係数と曲げ破壊係数の関係 .....	38
2 結果と考察 .....	30	2. 3. 7	破壊の形状 .....	40
2. 1 丸太の材質 .....	30	2. 4	歩止まり .....	40
2. 1. 1 採材高さによる丸太の密度の変動 .....	30	3	ま と め .....	40
2. 1. 2 採材高さによる丸太の動的ヤング係数の変動 .....	30	謝 辞 .....	謝 辞 .....	40
2. 2 ラミナの材質 .....	31	引用文献 .....	引用文献 .....	40
2. 2. 1 ラミナの目視等級区分 .....	31			
2. 2. 2 ラミナの機械等級区分 .....	32			
2. 2. 3 丸太の動的ヤング係数と挽き板の動的ヤング係数の関係 .....	33			
2. 2. 4 挽き板の動的ヤング係数とラミナの動的ヤング係数の関係 .....	33			

## 緒 言

スギは戦後の拡大造林により全国に植栽され、今後利用可能な林齢に達する林分が増加することが予想されるため、その用途開発が重要な課題となっている。

一方、スギは地域によって固有の系統や品種が育てられていることもあり、それらの材質が異なっていることが様々な報告から明らかにされている<sup>1)</sup>。

そのため、スギを強度保証の可能な集成材などの構造材料として利用することを目的に、地場産スギ材の強度的材質を明らかにする研究が行われている<sup>8), 9)</sup>。

このことから、県産スギ材の構造用集成材としての利用を考えた場合、得られる素材の材質を予め調査したうえで構造用集成材としての利用適性について検討することが必要である。

そこで、本研究では県産スギ材の構造用集成材への適用性を検証し、ヤング係数を指標とした等級区分の有効性を検討することを目的として、縦振動法により丸太の動的ヤング係数を測定し、ラミナに製材して機械的等級区分を行い、これらのラミナを用いて日本農林規格に基づいた5プライ集成材(小断面集成材)と7プライ集成

材(中断面集成材)を製造し、実大曲げ強度試験を行った。

なお、本研究は住田町林業振興協議会に対して行った技術指導の中で実施したものである。

## 1 試験方法

### 1.1 供試材

住田町有林から平均的な成長を示すおよそ40年生のスギ立木50本を選定し、全て約4mの長さに採材した。丸太の末口径が20cm以上で曲がりの少ないものを選別し、表-1に示すように元玉50本、2番玉40本、3番玉4本の計94本の丸太を得た。

94本の丸太は、材長、末口径、元口径、末口年輪数、元口年輪数、重量及び基本振動周波数を測定し、丸太の細り率、調査時の密度、末口の平均年輪幅、動的ヤング係数を求めた後、表-2に示したように小断面集成材用2グループと中断面集成材用1グループの計3グループに選別した。その際、用途毎に丸太の材質が偏ることがないように、丸太の動的ヤング係数の出現頻度分布を調査し、次の方法で選別した。

元玉の動的ヤング係数の出現頻度分布を調べ、それが

表-1 丸太の材質  
Table 1 Properties of logs.

区分 Log Sequences	本数 N		末口径 Dt		細り率 TR		密度 SG		平均年輪幅 ARW		動的ヤング係数 Efr	
	個体 Trees	丸太 Logs	平均 Ave. cm	変動係数 C.V. %	平均 Ave. %	変動係数 C.V. %	平均 Ave. g/cm <sup>3</sup>	変動係数 C.V. %	平均 Ave. mm	変動係数 C.V. %	平均 Ave. tonf/cm <sup>2</sup>	変動係数 C.V. %
全丸太 All Logs	50	94	24.3	10.4	0.010	29.1	0.743	5.9	4.2	9.5	73.3	12.8
元玉 1st		50	25.7	9.2	0.012	25.5	0.733	6.3	4.0	8.6	71.0	13.9
2番玉 2nd		40	23.0	7.1	0.008	19.8	0.753	5.0	4.3	9.3	75.8	10.7
3番玉 3rd		4	20.8	1.9	0.011	6.7	0.788	3.6	4.2	6.3	75.5	11.0

Legend : N : Number of samples, TR : Taper rate, (Db-Dt)/l, Db : Diameter at butt end, Dt : Diameter at top end, l : Length of log, SG : Density of log, ARW : Average ring width at top end, C.V. : Coefficients of variation.

表-2 用途別丸太の材質  
Table 2 Properties of logs sorted for use.

丸太の用途 Use of logs	本数 N		末口径 Dt		細り率 TR		密度 SG		平均年輪幅 ARW		動的ヤング係数 Efr	
	個体 Trees	丸太 Logs	平均 Ave. cm	変動係数 C.V. %	平均 Ave. %	変動係数 C.V. %	平均 Ave. g/cm <sup>3</sup>	変動係数 C.V. %	平均 Ave. mm	変動係数 C.V. %	平均 Ave. tonf/cm <sup>2</sup>	変動係数 C.V. %
10.5cm角集成材 Glulam A	(17)	17	23.7	10.4	0.009	23.3	0.744	5.8	4.2	8.6	74.4	13.6
12cm角集成材 Glulam B	(17)	17	24.8	10.5	0.011	27.3	0.731	5.1	4.2	10.5	73.1	13.1
中断面集成材 Glulam C	33	60	24.4	10.2	0.011	29.8	0.747	6.1	4.2	9.4	73.0	12.5

Legend : N, Dt, TR, SG, ARW, and C.V. are the same as Table 1. Glulam A : Glulam with 10.5cm square cross-section. Glulam B : Glulam with 12cm square cross-section. Glulam C : Glulam with 12cm width and 21cm thickness section.

偏らないように立木毎に小断面集成材用と中断面集成材用の2グループに丸太を選別した。つまり、元玉と同じ立木から得られた2番玉と3番玉については元玉と同じグループにした。

さらに、小断面集成材用に分けた全丸太について動的ヤング係数の出現頻度分布を調べ、それが偏らないように10.5cm角集成材用と12cm角集成材用の2グループに丸太を選別した。

1. 2 ラミナの作製

表-3に示したように、丸太をだら挽きにより製材し、蒸気式乾燥装置(新柴設備KK製)を用いて平均含水率10%に人工乾燥を行い、プレーナー加工してラミナに仕上げた。なお、節などの欠点除去は行わなかったため、ラミナは全て縦継ぎ部分のない通しラミナである。

全てのラミナにおいて、材長、幅、厚さ、重量及び基本振動周波数を測定し、調査時の比重と動的ヤング係数を求めた。また、一部のラミナについては挽き板の状態(生材)における動的ヤング係数を測定した。

さらに、全スパンの集中節径比(挽き板の木口面に全スパンにおける最大集中節を投影したときの集中節面積のラミナの木口面積に対する比)と中央1/3区間の集中節径比(ラミナの木口面にラミナの中央1/3区間における最大集中節を投影したときの集中節面積のラミナの木口面積に対する比)を調査した。

1. 3 集成材の製造

集成材は日本農林規格に準じて製造した。製造した集

成材の概要と日本農林規格に定められた強度性能を表-4に示した。

小断面集成材については5枚のラミナを張り合わせる5プライ集成材とした。小断面集成材用ラミナは表-5に示すように3等級に機械等級区分を行い、各集成材において5枚のラミナのヤング係数の平均値ができるだけ等しくなるようにラミナを配置し、図-1に示すようにヤング係数の高いラミナを集成材の外層部に、低いラミナを集成材の内層部に配置した。積層接着には、水性高分子イソシアネート系接着剤(大鹿振興KK製、鹿印ピーアイボンドPI-127、主剤100部、硬化剤15部の混合割合)を使用した。塗布量250g/m<sup>2</sup>として接着剤を両面塗布し、直ちにコールドプレスを用いて約10kgf/cm<sup>2</sup>の圧力で24時間圧縮した。解圧後1週間以上養生し、表-4に示した寸法に仕上げた。

表-3 挽き板とラミナの寸法

Table 3 Sizes of sawn boards and laminations.

用途 Use of laminations	枚数 N	製材寸法	仕上げ寸法
		Sawn board size b×h×l mm	laminations size b×h×l mm
10.5cm角集成材 Glulam A	97	135×30×4000	120×22×4000
12cm角集成材 Glulam B	108	135×30×4000	127×25×4000
中断面集成材 Glulam C	295	135×36×4000	127×30×4000

Legend : N, Glulam A, Glulam B and Glulam C are the same as Table 2.  
b : Width of sawn boards and laminations.  
h : Thickness of sawn boards and laminations.  
l : Length of sawn boards and laminations.

表-4 製造した集成材の概要

Table 4 Outline of glulams.

種類 Type of glulams	等級 Grade	試験体数 N	寸法 幅×高さ×材長 Size of glulams b×h×l cm	日本農林規格による基準値 Japan Agricultural Standard (JAS)		
				曲げヤング係数 MOE of glulams		曲げ強度 MOR of glulams
				平均値 Ave. tonf/cm <sup>2</sup>	下限値 Lower limit tonf/cm <sup>2</sup>	下限値 Lower limit Kgf/cm <sup>2</sup>
10.5cm角集成材 Glulam A	—	15	10.5×10.5×300	75	—	300.0
12cm角集成材 Glulam B	—	15	12×12×300	75	—	300.0
中断面集成材 Glulam C	E105-F300	1	12×21×400	105	90	306.0
	E 95-F270	6	12×21×400	95	80	275.4
	E 90-F255	6	12×21×400	90	75	260.1
	E 85-F255	6	12×21×400	85	70	260.1
	E 80-F240	4	12×21×400	80	65	244.8
	E 75-F240	4	12×21×400	75	60	244.8

Legend : N, l, Glulam A, Glulam B and Glulam C are the same as Table 2. b : Width of glulam, h : Thickness of glulam. l : Length of glulam. MOE : Moduli of elasticity. MOR : Moduli of rupture.

表一 5 小断面集成材のラミナの等級

Table 5 Laminations grades of Glulam A and Glulam B.

集成材の種類 Type of glulams	ラミナの等級 Grades of laminations	曲げヤング係数 MOE of laminations tonf/cm <sup>2</sup>
10.5cm角集成材 Glulam A	Grade 1	91.6 ≤ MOE ≤ 137.5
	Grade 2	70.8 ≤ MOE ≤ 91.6
	Grade 3	43.3 ≤ MOE ≤ 70.7
12cm角集成材 Glulam B	Grade 1	92.8 ≤ MOE ≤ 133.7
	Grade 2	72.8 ≤ MOE ≤ 92.1
	Grade 3	57.7 ≤ MOE ≤ 72.4

Legend : Glulam A and Glulam B are the same as Table 2.  
MOE : Moduli of elasticity.

中断面集成材は7枚のラミナを張り合わせる7プライ集成材とした。中断面集成材用ラミナは日本農林規格に従い表一 6 に示すように機械等級区分し、図一 2 に示すように6等級の集成材に構成した。その際、ヤング係数の低いラミナを全て使用するように構成した。積層接着には、レゾルシノール樹脂系接着剤(大鹿振興KK製、ディ

表一 6 日本農林規格による中断面集成材のラミナの機械等級区分  
Table 6 Mechanical-grading of laminations of Glulam C by Japanese Agricultural Standard.

ラミナの等級 Grades of laminations	曲げヤング係数 MOE of laminations tonf/cm <sup>2</sup>
L 50	50 ≤ MOE < 60
L 60	60 ≤ MOE < 70
L 70	70 ≤ MOE < 80
L 80	80 ≤ MOE < 90
L 90	90 ≤ MOE < 100
L100	100 ≤ MOE < 110
L110	110 ≤ MOE < 125
L125	125 ≤ MOE

Legend : MOE : Moduli of elasticity.

集成材の等級 Grade of glulms	E105-F300	E 95-F270	E 85-F255	E 75-F240	E 90-F255	E 80-F240
ラミナの構成 Laminations composition	対称構成 Symmetry	対称構成 Symmetry	対称構成 Symmetry	対称構成 Symmetry	非対称構成 Asymmetry	非対称構成 Asymmetry
圧縮側最外層 Compression side	L125	L110	L100	L 90	L 90	L 80
中間層 Middle part	L100	L 90	L 80	L 70	L 80	L 70
内層 Inner part	L 80	L 70	L 60	L 50	L 70	L 60
内層 Inner part	L 80	L 70	L 60	L 50	L 70	L 60
内層 Inner part	L 80	L 70	L 60	L 50	L 70	L 60
中間層 Middle part	L100	L 90	L 80	L 70	L 90	L 80
引張側最外層 Tensile side	L125	L110	L100	L 90	L110	L100

図一 2 中断面構造用集成材のラミナの構成  
Fig.2 Laminations composition of Glulam C.

圧縮側最外層 Compression side	Grade 1
中間層 Middle part	Grade 2
内層 Inner part	Grade 3
中間層 Middle part	Grade 2
引張側最外層 Tensile side	Grade 1

図一 1 小断面構造用集成材のラミナの構成

Fig.1 Laminations composition of Glulam A and Glulam B.

アノールD-33、主剤100部、硬化剤15部、増量剤10部の混合割合)を使用した。塗布量250 g /m<sup>2</sup>として接着剤を塗布後、直ちにコールドプレスを用いて約10kgf/cm<sup>2</sup>の圧力で24時間圧縮した。解圧後1週間以上養生し、表一 4 に示した寸法に仕上げた。

なお、日本農林規格では集成材の各層におけるラミナのヤング係数の下限値が定められているだけでなく、集中節径比と材縁部の節径比等についても規定が定められているが、本研究では動的ヤング係数だけをラミナ構成の因子にし、節径比等については無視した。

1. 4 動的ヤング係数の計測

動的ヤング係数は次の方法で測定した。

まず、供試材の材長、幅、高さ、重量を測定し、調査時の密度を求めた。次に、供試材の木口面をプラスチックハンマーで打撃し、反対側の木口面から非接触によりマイクロフォンで材中を伝播する弾性波を測定し、FFTアナライザー(エー・アンド・デイ社製、AD-3523型)によって基本振動周波数を測定した。

得られた基本振動周波数、密度、材長を用いて、(1)式の関係より動的ヤング係数を算出した。

$$E_{fr} = (4 \times f^2 \times L^2 \times SG) / g \quad \text{—————(1)}$$

- E<sub>fr</sub> : 動的ヤング係数 (g/cm<sup>2</sup>)
- f : 基本振動周波数 (Hz)
- L : 材長 (cm)
- SG : 密度 (g/cm<sup>3</sup>)
- g : 重力加速度 (980cm/sec<sup>2</sup>)

なお、丸太については末口径と元口径の平均径を持つ円柱と仮定し、(2)式により調査時の材積を算出した。なお、ここでの末口径、元口径については周囲長に基づく径であり、長径と短径の比および樹皮厚による影響は無視した。

$$V = \frac{\pi L}{16} (Db^2 + 2DbDt + Dt^2) \quad \text{—————(2)}$$

- V : 丸太の材積 (cm<sup>3</sup>)
- π : 円周率
- Db : 元口径 (cm)
- Dt : 末口径 (cm)

### 1. 5 等価曲げ剛性による曲げヤング係数の推定

ラミナの力学的性質を考慮し、全く任意に集成材の断面設計を行う方法として等価曲げ剛性による断面設計法が提案されている<sup>3)</sup>。(3)式に示されるこの等価曲げ剛性の関係から、集成材に構成したラミナの動的ヤング係数を基に集成材の曲げヤング係数を求めた。

$$EI = \sum_{i=1}^n E_i I_{i-nn'} \quad \text{—————(3)}$$

- E : 集成材の曲げヤング係数 (tonf/cm<sup>2</sup>)
- I : 集成材の断面2次モーメント
- E<sub>i</sub> : 各層のラミナの動的ヤング係数 (tonf/cm<sup>2</sup>)
- I<sub>i-nn'</sub> : 各層の中立軸に関する断面2次モーメント

### 1. 6 実大曲げ強度試験

集成材の材長、幅、高さ、重量及び基本振動周波数を測定し、試験時の比重と動的ヤング係数を求めた。また、小断面集成材についてはグレーディングマシン(飯田工業KK製,MGN-101型)を用いて、スパン270cmの3等分点4点荷重方式により、初期荷重20kgf、終期荷重50kgfとしてたわみ量を測定し、曲げヤング係数を求めた。

集成材の曲げ強度試験は、日本農林規格の別記3(6)の曲げA試験<sup>7)</sup>に準じて、実大曲げ強度試験機(前川試験機製作所KK製、SKK-980)を用いて、小断面集成

材では荷重点間距離を60cm、支点間距離を270cmとして、中断面集成材では荷重点間距離を84cm、支点間距離を378cmとして、4点荷重方式により行った。荷重方向は集成材の積層面に直角としたが、小断面集成材の10.5cm角と12cm角の各1体については荷重方向を積層面に平行にした。

全スパンの曲げヤング係数、モーメント一定区間の曲げヤング係数、比例限度および曲げ破壊係数を測定し、集成材の曲げ強度試験終了後に試験体の非破壊部分から厚さ3cmの小試験片を採取し、全乾法により含水率を測定した。

### 1. 7 測定項目等の略記方法

本報告で使用する記号、略記は以下のとおりである。

- Db : 元口径 (cm)
- Dt : 末口径 (cm)
- ARW : 末口径における平均年輪幅 (mm)
- SG : 密度 (g/cm<sup>3</sup>)
- RU : 試験時の試験体全体の比重 (g/cm<sup>3</sup>)
- MC : 含水率 (%)
- SKAR : ラミナの最大集中節径比 (%)、ラミナの木口面に全スパンにおける最大集中節を投影したときの集中節面積のラミナの木口面積に対する比
- SKAR-C : ラミナの中央1/3区間の最大集中節径比 (%)、ラミナの木口面に中央1/3区間における最大集中節を投影したときの最大集中節面積のラミナの木口面積に対する比
- E<sub>fr</sub> : 動的ヤング係数 (tonf/cm<sup>2</sup>)
- MOE : 全スパンの曲げヤング係数 (tonf/cm<sup>2</sup>)
- MOE-1 : モーメント一定区間の曲げヤング係数 (tonf/cm<sup>2</sup>)
- MOE-G : グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数 (tonf/cm<sup>2</sup>)
- MOE-GL : 等価曲げ剛性の関係から算出した曲げヤング係数 (tonf/cm<sup>2</sup>)
- SPL : 曲げ比例限度 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- P<sub>max</sub> : 試験体が破壊したときの最大荷重 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- MOR : 曲げ破壊係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- Max. : 最大値
- Min. : 最小値
- Ave. : 平均値
- S.D. : 標準偏差
- C.V. : 変動係数 (%)
- 5%N : 出現頻度分布が正規分布を示すと仮定した場合の5%下限値

## 2 結果と考察

### 2.1 丸太の材質

#### 2.1.1 採材高さによる丸太の密度の変動

丸太の密度は図-3に示したとおり、0.636~0.844 g/cm<sup>3</sup>の範囲で、平均値は0.748 g/cm<sup>3</sup>、変動係数は5.9%であった。

図-4に示すように採材高さによる丸太の密度の変動をみると、元玉の平均値は小さく、3番玉が大きい値を示している。これは、スギは樹幹の上部にいく程含水率が低い傾向があること、また、成熟材に比べて未成熟材

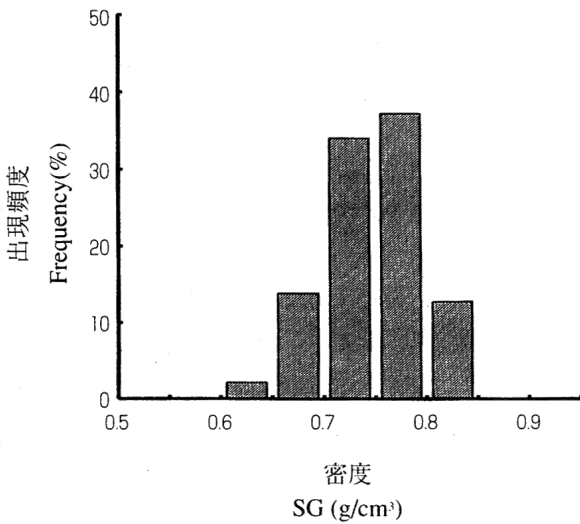


図-3 全丸太の密度の出現頻度分布  
Fig.3 Histogram of density of all logs(SG).

の比重が高いことが報告<sup>5)</sup>されていることから、2番玉、3番玉において全材積に占める未成熟材の割合が高いためと考えられる。

#### 2.1.2 採材高さによる丸太の動的ヤング係数の変動

丸太の動的ヤング係数は図-5に示したとおり、44.6~96.1tonf/cm<sup>2</sup>の範囲で、平均値は73.7tonf/cm<sup>2</sup>、変動係数は12.8%であった。

図-6に示すように丸太の採材高さによる丸太の動的ヤング係数の変動をみると、元玉の動的ヤング係数は2番玉の動的ヤング係数より低い傾向を示した。小泉らが指摘する丸太の材積の過大評価による影響<sup>9)</sup>も考えら

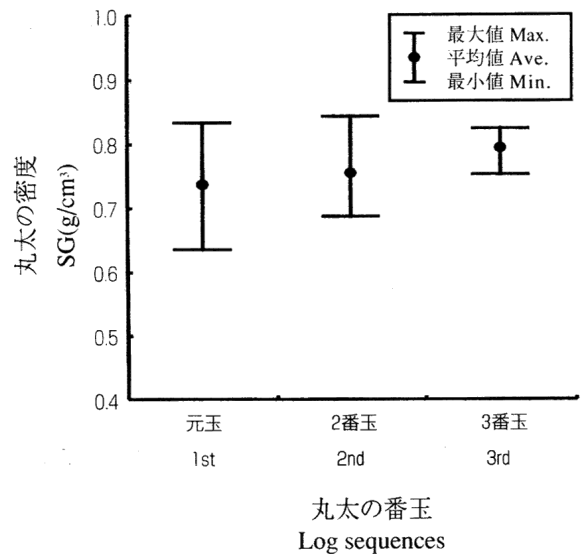


図-4 採材高さによる丸太の密度の変動  
Fig.4 Distribution of density of logs for log sequences.

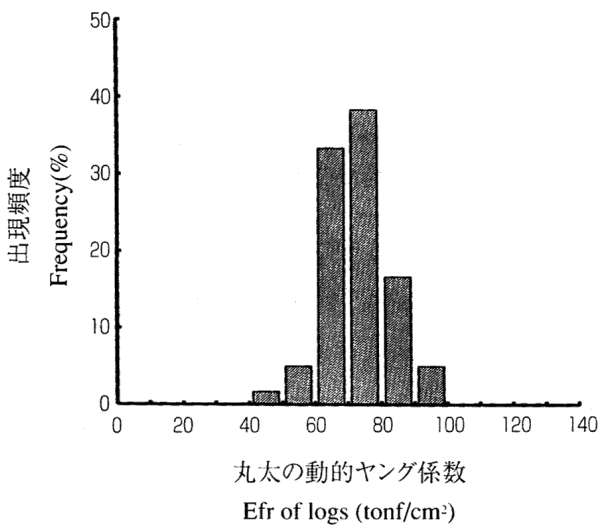


図-5 全丸太の動的ヤング係数の出現頻度分布  
Fig.5 Histogram of modulus of elasticity by longitudinal vibration(Efr) for all logs.

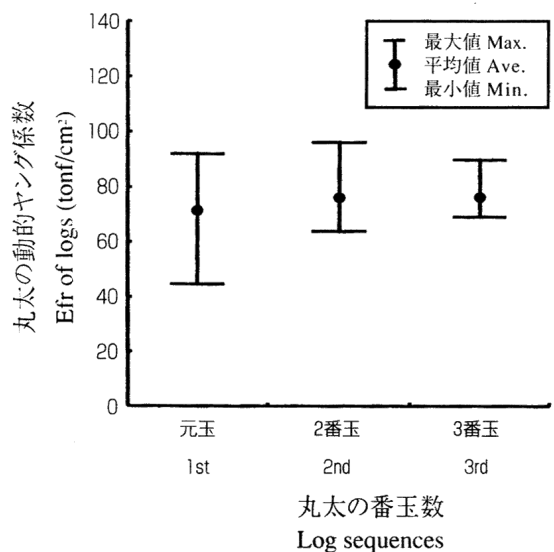


図-6 採材高さによる丸太の動的ヤング係数の変動  
Fig.6 Distribution of Efr of logs for log sequences.

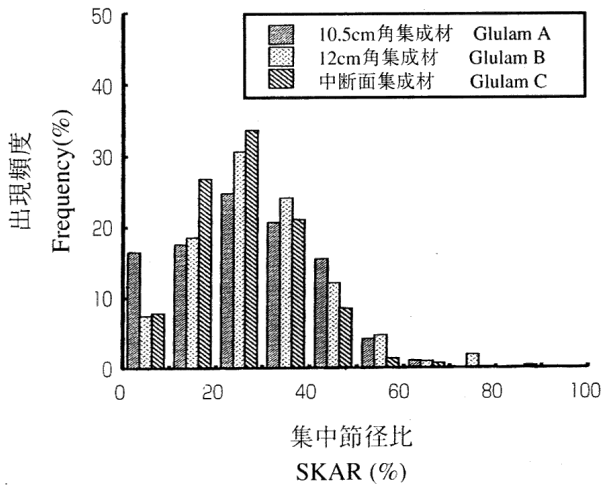


図-7 ラミナの全スパンの集中節径比の出現頻度分布  
Fig.7 Histogram of multiple knots within a length of 15cm at full length in laminations (SKAR).

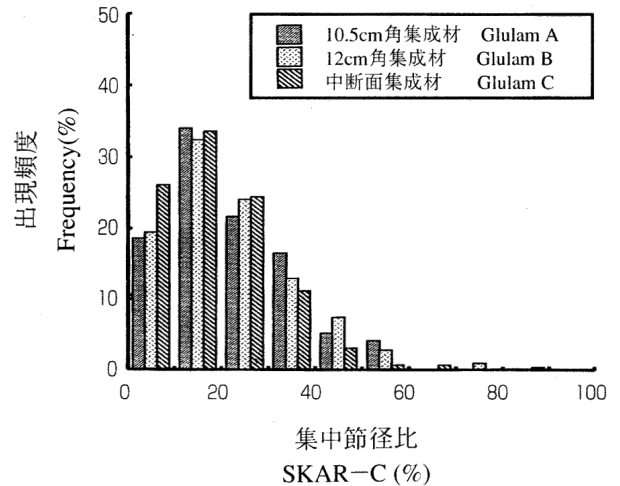


図-8 中央1/3区間のラミナの集中節径比の出現頻度分布  
Fig.8 Histogram of multiple knots within a length of 15cm at central one third area in laminations (SKAR-C).

れるが、各報告<sup>2),9)</sup>で元玉のヤング係数が2番玉より低い傾向が指摘されており、スギ材の強度特性と考えられる。

2. 2 ラミナの材質

2. 2. 1 ラミナの目視等級区分

用途別にラミナの材質について表-7に示した。

ラミナの全スパンの集中節径比の出現頻度分布を図-7に、中央1/3区間の集中節径比の出現頻度分布を図-8に示した。その結果、用途によって集中節径比の出現頻度分布に大きな変動は認められなかった。

日本農林規格による目視等級区分を行った結果を表-

8に示した。日本農林規格では化粧ばり構造用集成柱のラミナの集中節径比は25%以下、構造用集成材のラミナは、目視等級区分により集中節径比が50%以下と定められている。そのため、化粧ばり構造用集成柱の規格では、10.5cm角集成材用ラミナで51.6%、12cm角集成材用ラミナで56.5%、構造用集成材の規格では、10.5cm角集成材用ラミナで5.2%、12cm角集成材用ラミナで7.4%、中断面集成材用ラミナで2.4%が使用できない。

構造用集成材の規格に従い、集中節径比だけを因子として目視等級区分を行った結果では、等級外のラミナの出現率は低く感じられるが、ラミナ構成において引張応

表-7 用途別ラミナの材質

Table 7 Properties of laminations.

ラミナの用途 Use of laminations			比重 RU g /cm <sup>3</sup>	動的 ヤング係数 Efr tonf/cm <sup>2</sup>	集中節径比	
					全スパン SKAR %	中央1/3区間 SKAR-C %
10.5cm角集成材 Glulam A	最大値	Max.	0.451	137.5	62.5	56.7
	最小値	Min.	0.311	43.3	0.0	0.0
	平均値	Ave.	0.394	87.8	25.8	22.1
	標準偏差	S.D.	0.032	20.5	15.8	13.1
	変動係数	C.V.	8.2	23.3	61.1	58.9
	5%下限値	5%N	0.341	54.2	—	—
12cm角集成材 Glulam B	最大値	Max.	0.461	133.7	79.0	79.0
	最小値	Min.	0.315	57.7	3.1	0.0
	平均値	Ave.	0.382	87.7	29.1	21.8
	標準偏差	S.D.	0.032	16.7	13.9	13.8
	変動係数	C.V.	8.4	19.0	47.9	63.2
	5%下限値	5%N	0.329	60.3	—	—
中断面集成材 Glulam C	最大値	Max.	0.486	133.4	87.9	87.9
	最小値	Min.	0.311	52.5	0.0	0.0
	平均値	Ave.	0.383	87.6	25.4	18.6
	標準偏差	S.D.	0.029	15.9	11.8	12.2
	変動係数	C.V.	7.6	18.1	46.2	65.8
	5%下限値	5%N	0.335	61.5	—	—

Legend : RU : Density of laminations in test, SKAR : Maximum group knot in distance of 15cm at full length  
SKAR-C : Maximum group center knot in distance of 15cm at central one third area.  
Glulam A, Glulam B and Glulam C are the same as Table 1.

表一 8 日本農林規格による目視等級区分の結果

Table 8 Results of visual-grading of laminations by Japanese Agricultural Standard (JAS).

ラミナの用途 Use of laminations	日本農林規格による構造用集成材のラミナの等級 Laminations grades in JAS for use as structural glulams						
	化粧ばり構造用集成柱 Makeup pillar		構造用集成材 Structural glulams				
	使用可 Useful	使用不可 Useless	1等 Grade1	2等 Grade2	3等 Grade3	4等 Grade4	等級外 Out of grade
	SKAR ≤ 25%	25% < SKAR	SKAR ≤ 20%	SKAR ≤ 30%	SKAR ≤ 40%	SKAR ≤ 50%	50% < SKAR
10.5cm角集成材 Glulam A 出現率 Frequency %	48.5	51.5	34.0	24.7	20.6	15.5	5.1
12cm角集成材 Glulam B 出現率 Frequency %	43.5	56.5	25.9	30.6	24.1	12.0	7.4
中断面集成材 Glulam C 出現率 Frequency %	55.6	44.4	34.6	33.6	21.0	8.5	2.4

Legend : Glulam A, Glulam B, Glulam C and SKAR are the same as Table 7.

力および圧縮応力が生ずる最外層、外層といった部分に使用されるラミナについては材縁部の節径比の規定があるため、その点を考慮すれば最外層や外層部に使用でき

るラミナは数は少なくなると考えられる。

このことにより、スギ並材の集成材利用の実現化を考えた場合、ランダムに節が発生するスギに対して目視等級区分を行うことは歩止まりや作業能率の面で実用上不利と考えられる。

2. 2. 2 ラミナの機械等級区分

10.5cm角集成材用ラミナの動的ヤング係数の出現頻度分布を図-9に、12cm角集成材用ラミナの動的ヤング係数の出現頻度分布を図-10に、中断面集成材用ラミナの動的ヤング係数の出現頻度分布を図-11に示した。

日本農林規格では化粧ばり構造用集成柱用ラミナの強度性能についての規定はないが、構造用集成材用ラミナについては機械等級区分として基準値 (MOE ≥ 50tonf/cm<sup>2</sup>) が定められている。この機械等級区分によれば、全ラミナ500枚のうち構造用集成材の規格による等級外のラミナは2枚だけであった。

中断面集成材用ラミナ295枚について、日本農林規格による機械等級区分を行った結果を図-12に示した。中

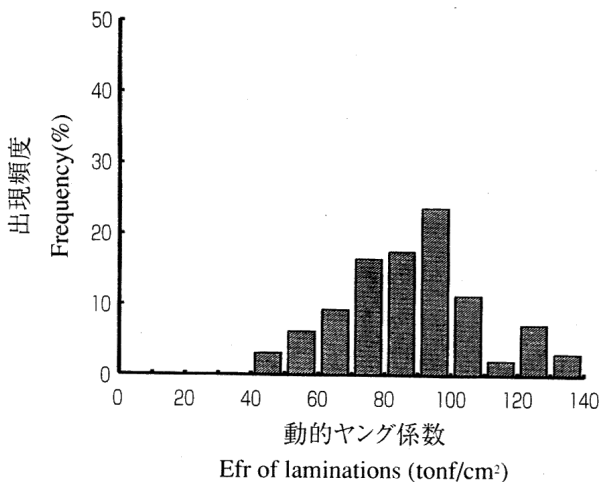


図-9 10.5cm角集成材用ラミナの動的ヤング係数の出現頻度分布  
Fig.9 Histogram of Efr of laminations for glulam with 10.5cm square cross-section (Glulam A).

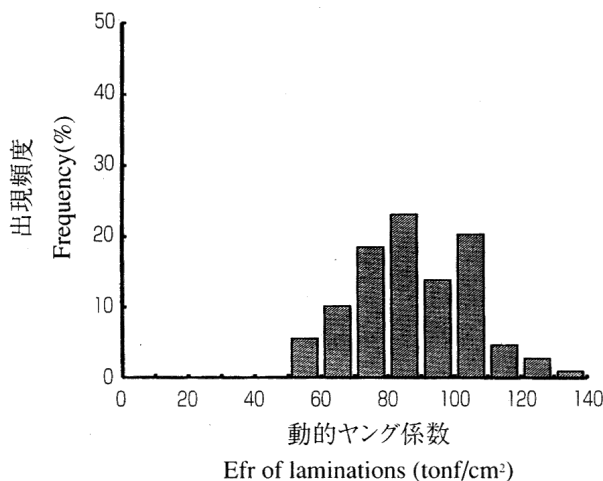


図-10 12cm角集成材用ラミナの動的ヤング係数の出現頻度分布  
Fig.10 Histogram of Efr of laminations for glulam with 12cm square cross-section (Glulam B).

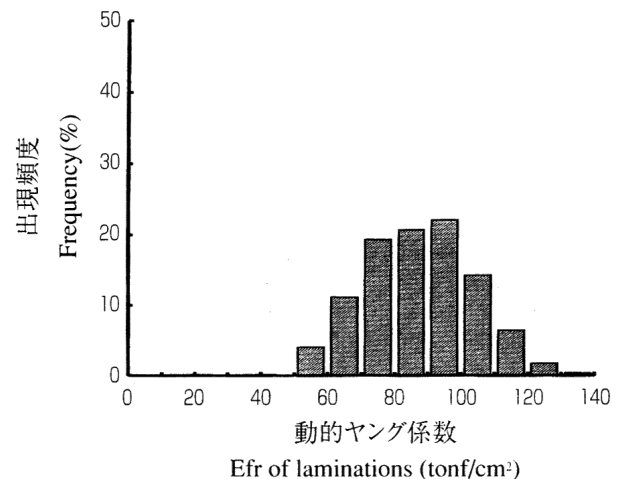


図-11 中断面集成材用ラミナの動的ヤング係数の出現頻度分布  
Fig.11 Histogram of Efr of laminations for glulam with 12×21cm square cross-section (Glulam C).



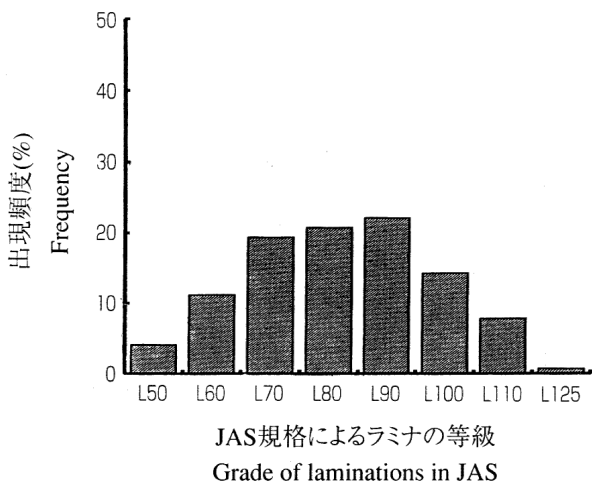


図-12 中断面集成材用ラミナのJAS規格による等級に対する出現頻度分布

Fig.12 Histogram of laminations of Glulam C for grade in JAS.

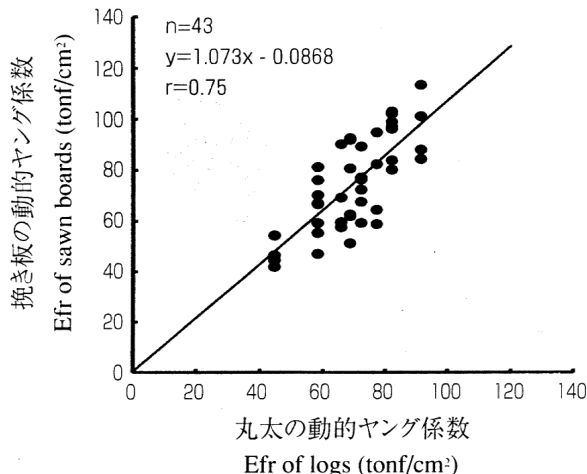


図-13 丸太の動的ヤング係数とその丸太から製材された挽き板の動的ヤング係数の関係

Fig.13 Relationship between Efr of logs and sawn boards from same logs.

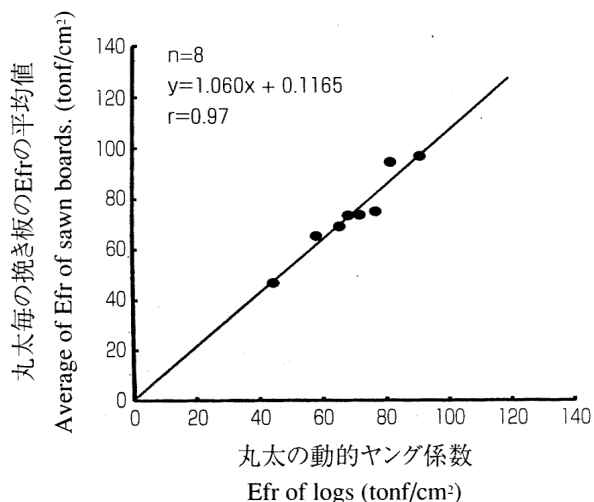


図-14 丸太の動的ヤング係数とその丸太から製材された挽き板の動的ヤング係数の平均値の関係

Fig.14 Relationship between Efr of log and average of Efr of sawn boards from same log.

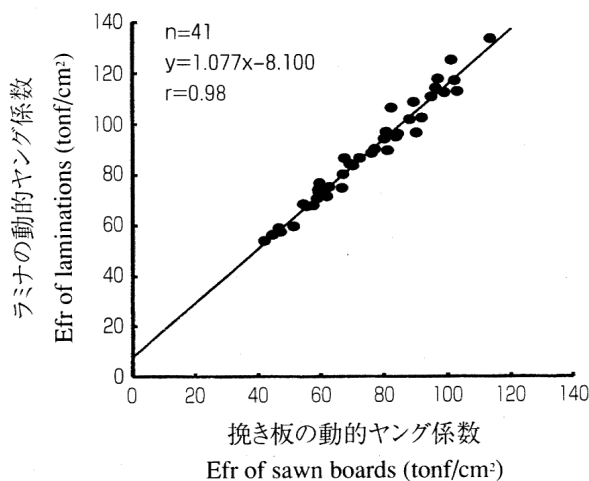


図-15 挽き板の動的ヤング係数と人工乾燥後にプレーナー加工して仕上げたラミナの動的ヤング係数の関係

Fig.15 Relationship between Efr of sawn boards and Efr of laminations made same sawn boards.

断面集成材用ラミナの動的ヤング係数は全て日本農林規格の基準値 ( $MOE \geq 50 \text{tonf/cm}^2$ ) を満足する値を示しており、最外層用に使用可能なラミナ ( $MOE \geq 80 \text{tonf/cm}^2$ ) は295枚中193枚と中断面集成材用ラミナの65.4%を占めていた。

このことから、スギ並材の集成材利用を考えた場合、目視によって等級区分を行うよりも、機械等級区分が実用上有利であると考えられる。

### 2. 2. 3 丸太の動的ヤング係数と挽き板の動的ヤング係数の関係

丸太の動的ヤング係数とその丸太から製材された未乾燥状態における挽き板の動的ヤング係数の関係を図-13、14に示した。

標本数 (丸太8本と挽き板43枚) が少ないことから、

小泉らの報告<sup>9)</sup>とは回帰直線の係数及び切片の数字が若干異なるものの、標本数が多ければ原点を通る傾き1の回帰直線で示されるものと考えられる。

### 2. 2. 4 挽き板の動的ヤング係数とラミナの動的ヤング係数の関係

図-15に示すように未乾燥状態における挽き板の動的ヤング係数と人工乾燥してプレーナー加工後のラミナの動的ヤング係数の関係には強い相関が認められた。また、ラミナの動的ヤング係数は乾燥により未乾燥状態の挽き板の動的ヤング係数より20%程度増加していることがわかる。

### 2. 2. 5 丸太の動的ヤング係数とラミナの動的ヤング係数の関係

丸太の動的ヤング係数とその丸太から得られたラミナ

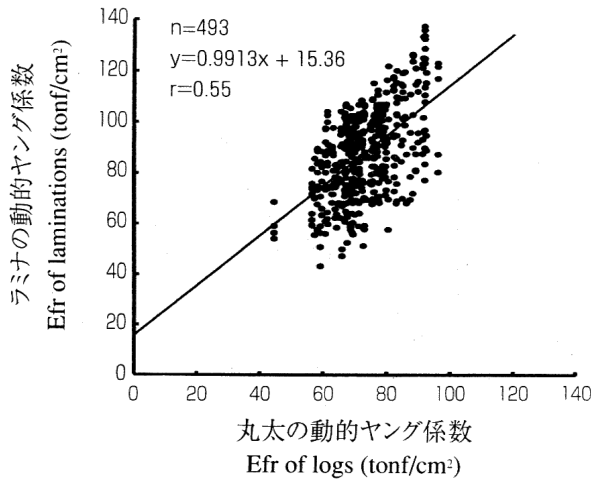


図-16 丸太の動的ヤング係数とその丸太から得られたラミナの動的ヤング係数の関係

Fig.16 Relationship between Efr of logs and Efr of laminations from same logs.

の動的ヤング係数の関係を図-16、17に示した。人工乾燥によりラミナの動的ヤング係数は増加しているものの、その関係はほぼ傾き1の回帰直線で表せることがわかる。

これらのことから丸太の動的ヤング係数はその丸太から得られるラミナの動的ヤング係数の平均値を精度良く示すことがわかる。ラミナの動的ヤング係数にバラツキがみられるが、小泉らが報告している<sup>9)</sup>ように同一丸太から得られるラミナの動的ヤング係数の分布を明らかし、その下限値を用いることにより、丸太の段階でラミナの等級区分の指標にできると考えられる。

2. 2. 6 心持ちラミナの動的ヤング係数と心去りラミナの動的ヤング係数の比較

全ラミナを心持ちラミナと心去りラミナに分けた動的ヤング係数の出現頻度分布を図-18に示した。心持ちラミナと心去りラミナでは動的ヤング係数の分布が異なることがわかる。個々の丸太について内部のヤング係数に変動があることが指摘されている<sup>6)</sup>ように、未成熟材を占める割合の高い心持ちラミナは心去りラミナと比較してヤング係数が低いと考えられる。

2. 3 集成材の曲げ強度性能

2. 3. 1 小断面集成材の強度性能

小断面集成材の曲げ強度試験の結果を表-9に示した。小断面集成材の曲げヤング係数と曲げ破壊係数は、表-4に示した日本農林規格の基準値 (MOE ≥ 75 tonf/cm<sup>2</sup>, MOR ≥ 300kgf/cm<sup>2</sup>) を満足する値を示した。

10.5cm角集成材の曲げヤング係数の変動係数は4.8%、12cm角集成材の曲げヤング係数の変動係数は1.8%と低い値を示し、集成材の曲げヤング係数のバラツキが抑制されていることがわかる。これは、ラミナの動的ヤング

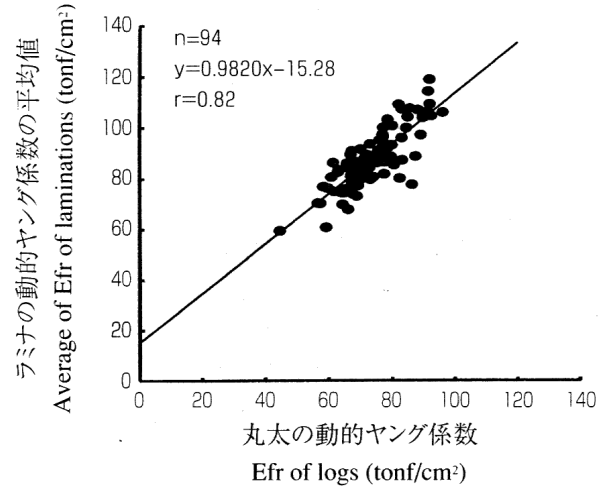


図-17 丸太の動的ヤング係数とその丸太から得られたラミナの動的ヤング係数の平均値の関係

Fig.17 Relationship between Efr of logs and average of Efr of laminations from same logs.

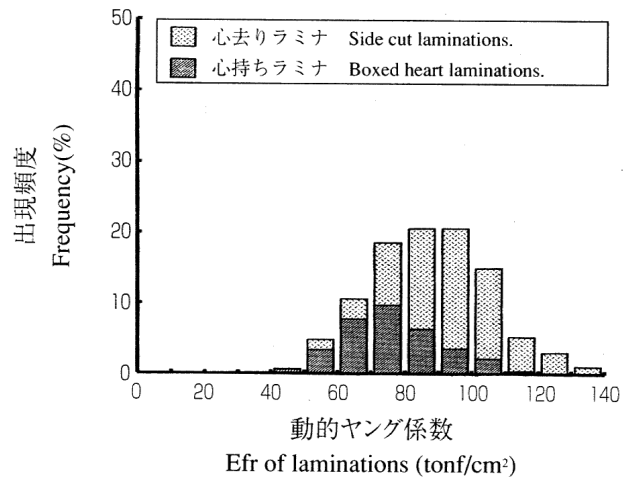


図-18 心持ちラミナと心去りラミナの動的ヤング係数の出現頻度分布

Fig.18 Histogram of Efr of side cut laminations and Efr of boxed heart laminations.

係数を基に集成材の曲げヤング係数を推定できることを示している。しかし、曲げ破壊係数については変動係数が大きく、ラミナの動的ヤング係数だけでは曲げ破壊係数を正確に推定することは難しいと考えられる。

また、本試験結果から曲げヤング係数と曲げ破壊係数の出現頻度分布を正規分布と仮定して信頼下限値 (= 平均値 - 1.645 × 標準偏差) を求めると10.5cm角集成材では曲げヤング係数が86.8tonf/cm<sup>2</sup>、曲げ破壊係数が456kgf/cm<sup>2</sup>、12cm角集成材では曲げヤング係数が89.9 tonf/cm<sup>2</sup>、曲げ破壊係数が438kgf/cm<sup>2</sup>となり、どちらも日本農林規格の基準値を満足する値が得られた。

2. 3. 2 中断面集成材の強度性能

中断面構造用集成材の曲げ強度試験の結果について表

表一9 小断面集成材の曲げ強度性能

Table 9 Bending properties of Glulam A and Glulam B.

等級	試験体数 N	荷重方向 DL		比重 RU g/cm <sup>3</sup>	含水率 MC %	等価曲げ	動的	グレーディング	曲げ	モーメント一定	比例限 強度 SPL kgf/cm <sup>2</sup>	曲げ破壊 係数 MOR kgf/cm <sup>2</sup>	
						剛性による 曲げヤング 係数 MOE-GL tonf/cm <sup>2</sup>	ヤング 係数 E <sub>f</sub> tonf/cm <sup>2</sup>	マシンによる 曲げヤング 係数 MOE-G tonf/cm <sup>2</sup>	ヤング 係数 MOE tonf/cm <sup>2</sup>	区間の 曲げヤング 係数 MOE-1 tonf/cm <sup>2</sup>			
10.5cm角集成材 Glulam A	垂直 PL	14	最大値	Max.	0.441	11.1	105.0	93.6	100.2	100.9	104.4	479	673
			最小値	Min.	0.351	9.7	97.4	82.4	87.9	83.6	83.8	364	456
			平均値	Ave.	0.391	10.4	101.3	88.4	93.0	94.3	95.3	416	568
			標準偏差	S.D.	0.018	0.4	2.5	3.3	3.1	4.5	5.8	30	68
			変動係数	C.V.	4.7	3.9	2.5	3.7	3.3	4.8	6.0	7	12
			5%下限値	5%N	0.361	9.7	97.1	83.0	87.9	86.8	85.8	367	456
	水平 HL	1			0.371	10.1	96.9	85.0	90.7	86.4	88.9	439	576
12cm角集成材 Glulam B	垂直 PL	14	最大値	Max.	0.395	11.0	102.2	94.5	88.2	95.1	106.3	456	633
			最小値	Min.	0.342	9.8	97.8	82.0	82.9	89.8	90.7	327	415
			平均値	Ave.	0.373	10.4	98.6	88.4	85.8	92.6	96.5	406	522
			標準偏差	S.D.	0.013	0.3	1.1	2.8	1.6	1.7	4.5	35	51
			変動係数	C.V.	3.5	3.1	1.1	3.2	1.8	1.8	4.7	9	10
			5%下限値	5%N	0.352	9.9	96.7	83.8	83.2	89.9	89.1	348	438
	水平 HL	1			0.399	10.8	104.8	94.3	89.5	95.5	100.5	399	460

Legend : N, Glulam A and Glulam B are the same as Table 1. RU : Density of glulam in test, MC : Moisture content of glulam in test. MOE-GL : MOE of glulam calculated for E<sub>f</sub> of laminations. MOE-G : MOE of glulam measured by grading machine. MOE-1 : Modulus of elasticity measured at constant moment section. SPL : Stress at proportional limit. S.D. : Standard deviation. C.V. : Coefficient of variation. 5%N : Lower 5% exclusion limit of the distribution assumed to be normal. DL : Direction of load, PL : Perpendicular load for surface of laminations piled as glulam. HL : Horizontal load for surface of laminations piled as glulam.

表一10 中断面集成材の曲げ強度性能

Table 10 Bending properties of Glulam C.

等級 Grades	試験体数 N		比重 RU g/cm <sup>3</sup>	含水率 MC %	等価曲げ	動的	曲げ	モーメント一定	比例限 強度 SPL kgf/cm <sup>2</sup>	曲げ破壊 係数 MOR kgf/cm <sup>2</sup>	
					剛性による 曲げヤング 係数 MOE-GL tonf/cm <sup>2</sup>	ヤング 係数 E <sub>f</sub> tonf/cm <sup>2</sup>	ヤング 係数 MOE tonf/cm <sup>2</sup>	区間の 曲げヤング 係数 MOE-1 tonf/cm <sup>2</sup>			
E 105 - F 300	1		0.386	10.6	120.5	107.0	109.9	116.2	440	498	
E 95 - F 270	6	最大値	Max.	0.395	10.8	108.2	95.2	101.6	111.7	457	572
		最小値	Min.	0.365	10.4	107.6	92.6	92.4	98.5	363	521
		平均値	Ave.	0.387	10.6	107.9	94.0	98.2	106.0	411	551
		標準偏差	S.D.	0.011	0.2	0.2	0.8	3.2	4.6	34	18
		変動係数	C.V.	2.7	1.7	0.2	0.9	3.3	4.3	8.3	3.3
		5%下限値	5%N	0.370	10.3	107.5	92.7	92.9	98.4	355	521
E 90 - F 255	6	最大値	Max.	0.389	10.9	101.4	91.0	95.4	100.6	446	606
		最小値	Min.	0.365	10.0	99.0	88.2	91.0	94.1	352	519
		平均値	Ave.	0.381	10.5	100.2	90.0	92.6	96.8	409	558
		標準偏差	S.D.	0.008	0.3	0.8	1.0	1.5	2.1	34	28
		変動係数	C.V.	2.2	2.9	0.8	1.1	1.6	2.2	8.2	5.1
		5%下限値	5%N	0.368	10.0	98.8	88.3	90.1	93.3	354	511
E 85 - F 255	6	最大値	Max.	0.418	12.2	97.6	84.7	91.1	97.3	404	580
		最小値	Min.	0.371	10.4	96.7	82.6	88.2	91.6	310	412
		平均値	Ave.	0.384	10.9	97.1	83.6	89.6	94.4	365	495
		標準偏差	S.D.	0.016	0.6	0.3	0.7	1.0	1.8	34	50
		変動係数	C.V.	4.1	5.9	0.3	0.9	1.1	1.9	9.2	10.2
		5%下限値	5%N	0.358	9.8	96.6	82.5	87.9	91.5	310	412
E 80 - F 240	4	最大値	Max.	0.380	11.4	88.5	80.2	82.1	89.0	379	509
		最小値	Min.	0.370	10.3	87.1	77.4	80.8	81.9	330	403
		平均値	Ave.	0.375	10.9	88.0	79.1	81.3	85.7	355	451
		標準偏差	S.D.	0.004	0.5	0.5	1.0	0.5	2.9	19	40
		変動係数	C.V.	1.1	4.3	0.6	1.3	0.6	3.3	5.2	8.8
		5%下限値	5%N	0.369	10.1	87.1	77.4	80.5	81.0	324	386
E 75 - F 240	4	最大値	Max.	0.382	10.9	85.2	72.0	79.4	83.0	381	502
		最小値	Min.	0.365	10.5	85.1	70.9	78.0	76.8	310	354
		平均値	Ave.	0.372	10.7	85.2	71.5	78.6	80.1	342	426
		標準偏差	S.D.	0.007	0.2	0.0	0.4	0.5	2.2	32	54
		変動係数	C.V.	1.8	1.5	0.0	0.6	0.7	2.7	9.4	12.6
		5%下限値	5%N	0.361	10.4	85.1	70.8	77.7	76.4	289	338

Legend : N, RU, MC, MOE-GL, MOE-G, MOE-1, SPL, S.D., C.V. and 5%N are the same as Table 9. Glulam C is the same as Table 1.

-10に示した。

曲げヤング係数については、表-4に示した日本農林規格の等級に対応した値を示したが、E95-F270の集成材1体が日本農林規格に定められている基準値における平均値 (MOE  $\geq 95\text{tonf/cm}^2$ ) より若干低いものの、下限値 (MOE  $\geq 80\text{tonf/cm}^2$ ) を満足する値を示した。

曲げ破壊係数については、全ての集成材において日本農林規格に定められている下限値を満足する値を示した。

また、表-10に示したように曲げヤング係数の変動係数に比較して曲げ破壊係数の変動係数が大きい。小断面集成材の曲げ強度試験結果と同様に、ラミナの動的ヤング係数を基に集成材の曲げヤング係数を推定することは可能でも、ラミナの動的ヤング係数だけでは集成材の曲げ破壊係数を推定することは難しいと考えられる。

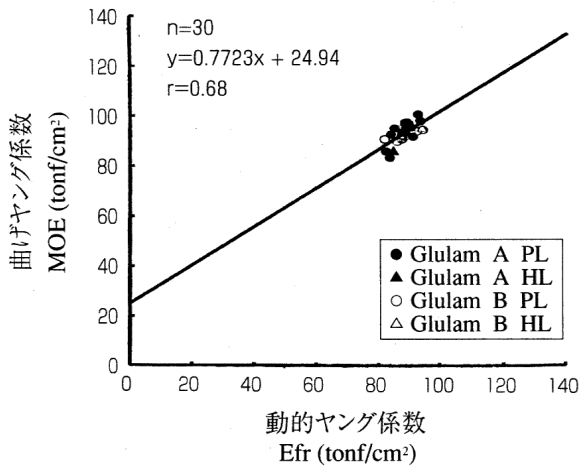


図-19 小断面集成材の動的ヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係  
注、PLは集成材の接着面に垂直に荷重を加えたものであり、HLは平行に荷重を加えたものである。

Fig.19 Relationship between Efr and moduli of elasticity (MOE) for Glulam A and Glulam B.

Notes : PL and HL were the same as Table 9.

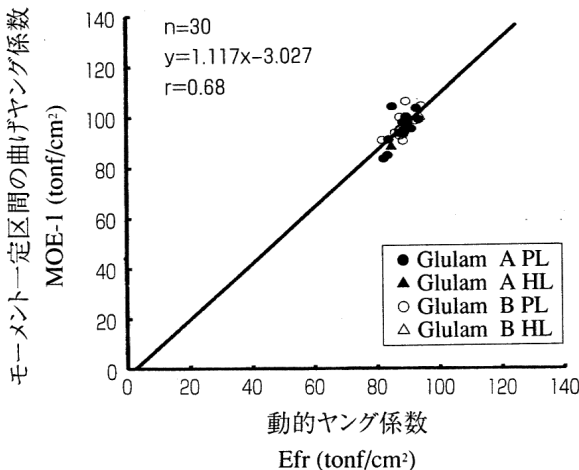


図-21 小断面集成材の動的ヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係

Fig.21 Relationship between Efr and modulus of elasticity measured at constant moment section (MOE-1) for Glulam A and Glulam B.

### 2. 3. 3 動的ヤング係数と全スパンおよびモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係

小断面集成材の動的ヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係を図-19に、中断面集成材の動的ヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係を図-20に示した。小断面集成材、中断面集成材ともに、動的ヤング係数と全スパンの曲げヤング係数との間に強い相関が認められた。

また、小断面集成材の動的ヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係を図-21に、中断面集成材の動的ヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係を図-22に示した。動的ヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係と同様に、小断面集成材、中断面集成材ともに強い相関が認められた。

このことから、ラミナの構成に対応した集成材の動的

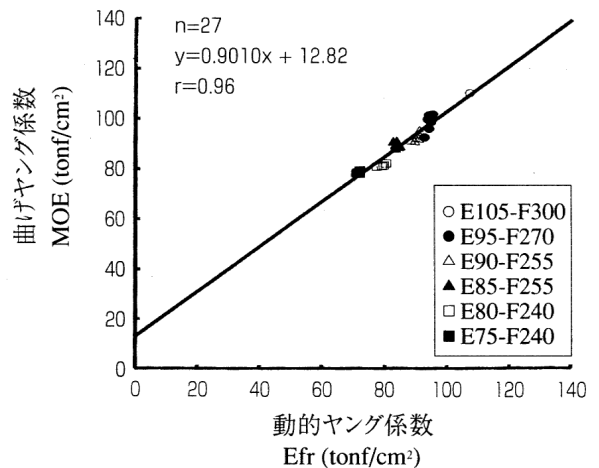


図-20 中断面集成材の動的ヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係

Fig.20 Relationship between Efr and MOE for Glulam C.

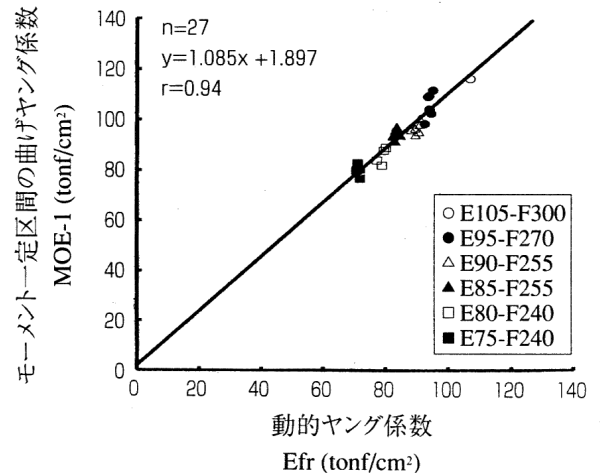


図-22 中断面集成材の動的ヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係

Fig.22 Relationship between Efr and MOE-1 for Glulam C.

ヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係を明らかにすることにより、縦振動法による動的ヤング係数の測定が集成材の製品検査の一手段として有効であると考えられる。

なお、小断面集成材の相関係数は中断面集成材の相関係数と比較して低い値を示しているが、これはラミナの動的ヤング係数を基に全ての集成材の曲げヤング係数が等しくなるように考慮して集成材を製造したことから集成材の曲げヤング係数の幅が低く抑えられたためと考えられる。

**2. 3. 4 等価曲げ剛性による曲げヤング係数と全スパンおよびモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係**

小断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係を図-23に、中断面集

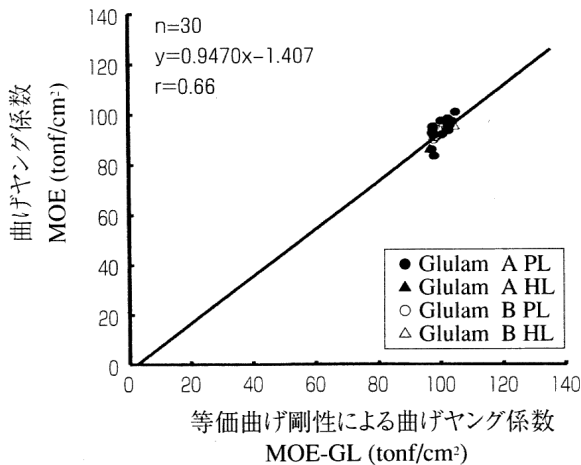


図-23 小断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係  
Fig.23 Relationship between MOE calculated from Efr of each lamination (MOE-GL) and MOE of Glulam A and Glulam B.

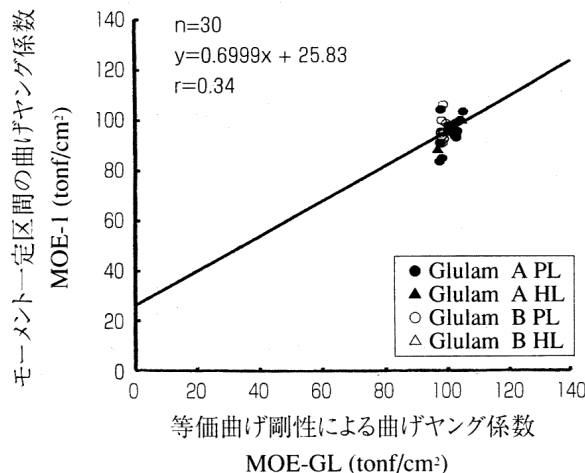


図-25 小断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係  
Fig.25 Relationship between MOE-GL and MOE-I of Glulam A and Glulam B.

成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係を図-24に示した。小断面集成材および中断面集成材において、等価曲げ剛性による曲げヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の間に強い相関が認められた。

また、小断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係を図-25に、中断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係を図-26に示した。中断面集成材では強い相関が認められたものの、小断面集成材では弱い相関であった。

**2. 3. 5 グレーディングマシンによる曲げヤング係数と全スパンおよびモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係**

小断面集成材のグレーディングマシンで測定したヤン

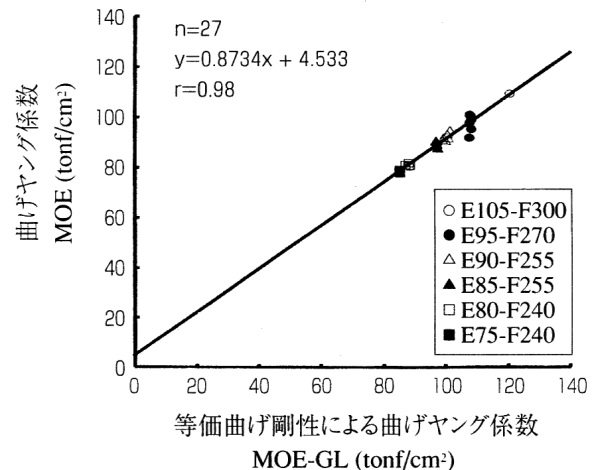


図-24 中断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係  
Fig.24 Relationship between MOE-GL of Glulam C and MOE of Glulam C.

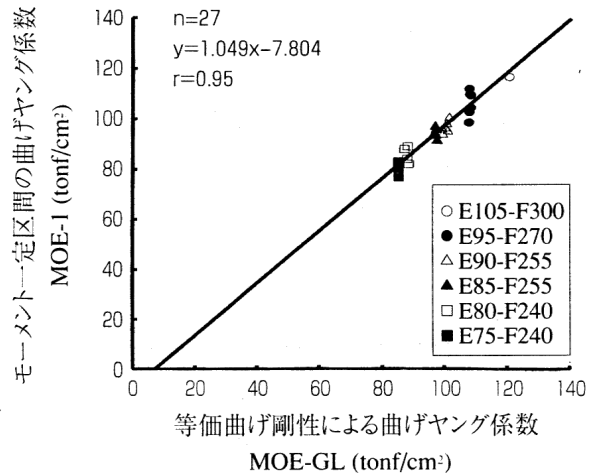


図-26 中断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係  
Fig.26 Relationship between MOE-GL and MOE-I of Glulam C.

グ係数と全スパンの曲げヤング係数の関係を図-27に示した。ヤング係数の測定方法は同様であるため強い相関が認められたが、原点を通る傾き1の回帰式に表されなかった。また、図-28にグレーディングマシンで測定したヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係を示したが、弱い相関であった。

この理由として、集成材の曲げヤング係数の巾(分布)が狭いこと、グレーディングマシンで測定した時の荷重方向の面と曲げ強度試験時の荷重方向の面が異なったものもあること、荷重スパンや荷重の大きさが異なったことが考えられる。

2. 3. 6 各ヤング係数と曲げ破壊係数の関係

小断面集成材の全スパンの曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係を図-29に、動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係を図-30に、等価曲げ剛性による曲げヤング

の関係を図-30に、等価曲げ剛性による曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係を図-31に、グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係を図-32に示した。小断面集成材では唯一グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数と曲げ破壊係数の間に相関が認められたものの、その他のヤング係数と曲げ破壊係数の間に相関関係は認められなかった。これはラミナの動的ヤング係数を基に全ての集成材の曲げヤング係数が等しくなるように考慮して集成材を製造したことから、曲げ破壊係数のバラツキに比較して集成材の曲げヤング係数の幅が狭くなったためと考えられる。

また、中断面集成材の全スパンの曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係を図-33に、動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係を図-34に、等価曲げ剛性による曲げヤン

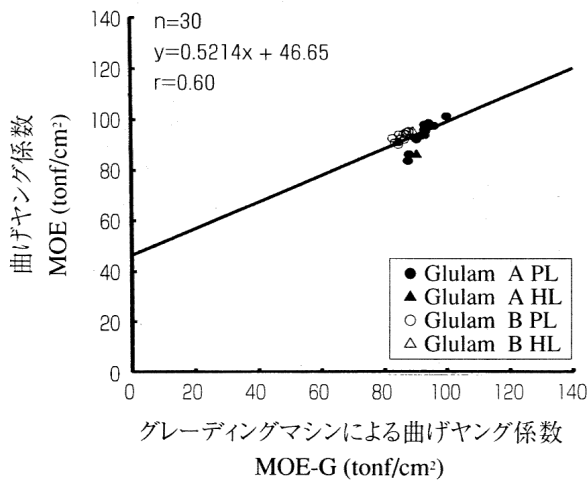


図-27 小断面集成材のグレーディングマシンによる曲げヤング係数と全スパンの曲げヤング係数の関係

Fig.27 Relationship between MOE measured by Grading-machine (MOE-G) and MOE of Glulam A and Glulam B.

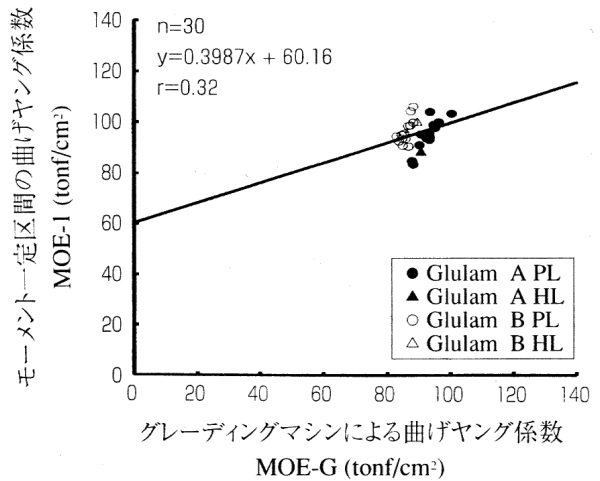


図-28 小断面集成材のグレーディングマシンによる曲げヤング係数とモーメント一定区間の曲げヤング係数の関係

Fig.28 Relationship between MOE-G and MOE-1 of Glulam A and Glulam B.

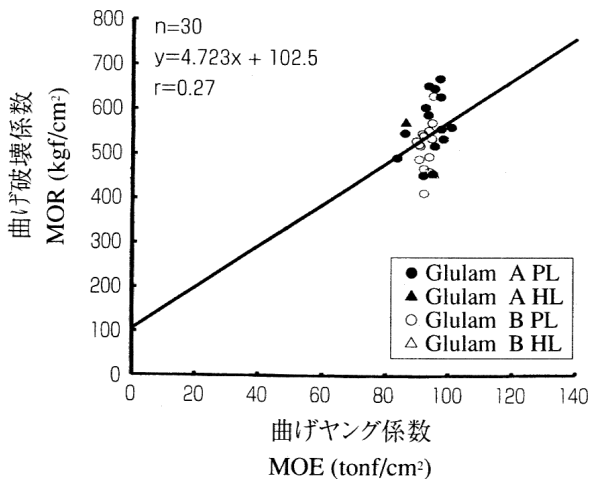


図-29 小断面集成材の全スパンの曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係

Fig.29 Relationship between MOE and moduli of rupture (MOR) of Glulam A and Glulam B.

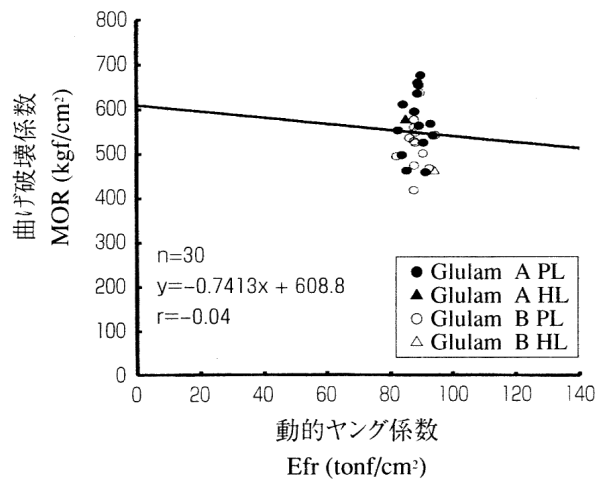


図-30 小断面集成材の動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係

Fig.30 Relationship between Efr and MOR of Glulam A and Glulam B.

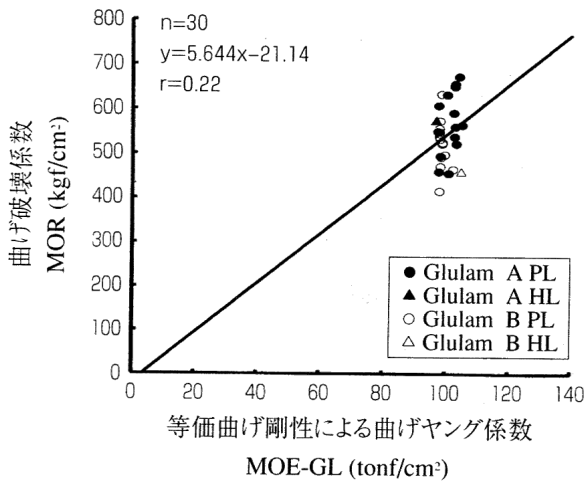


図-31 小断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係  
Fig.31 Relationship between MOE-GL and MOR of Glulam A and Glulam B.

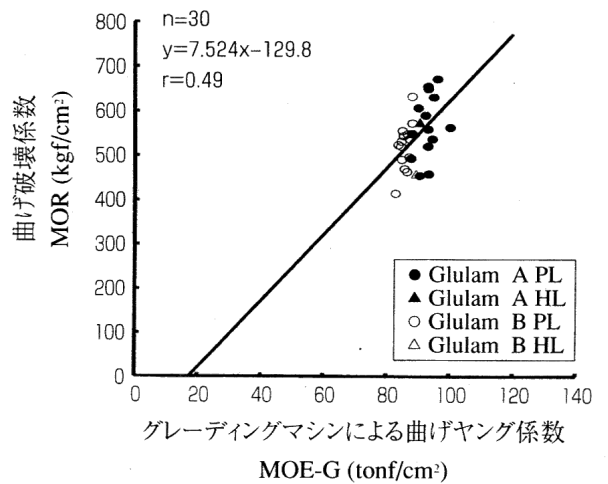


図-32 小断面集成材のグレーディングマシンによる曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係  
Fig.32 Relationship between MOE-G and MOR of Glulam A and Glulam B.

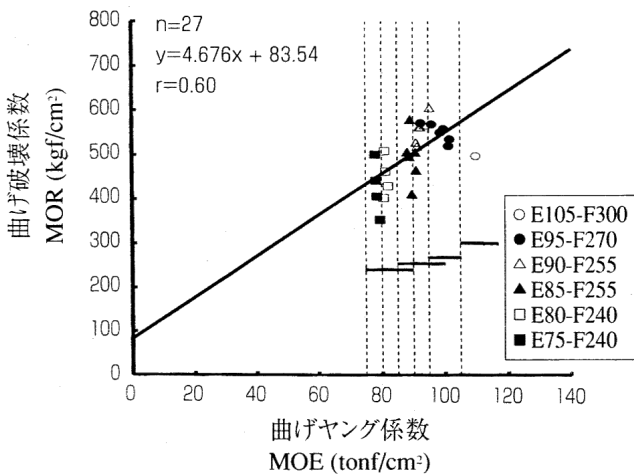


図-33 中断面集成材の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係  
注、図中の実線は日本農林規格による曲げ強度の下限値を示し、点線は曲げヤング係数の平均値を示す。  
Fig.33 Relationship between MOE and MOR of Glulam C.  
Notes : Solid line in graph showed lower limit of MOR and dotted line in graph showed average of MOE in JAS.

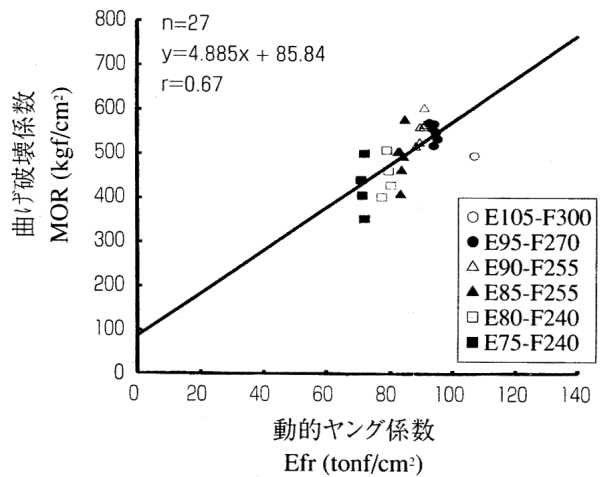


図-34 中断面集成材の動的ヤング係数と曲げ破壊係数の関係  
Fig.34 Relationship between Efr and MOR of Glulam C.

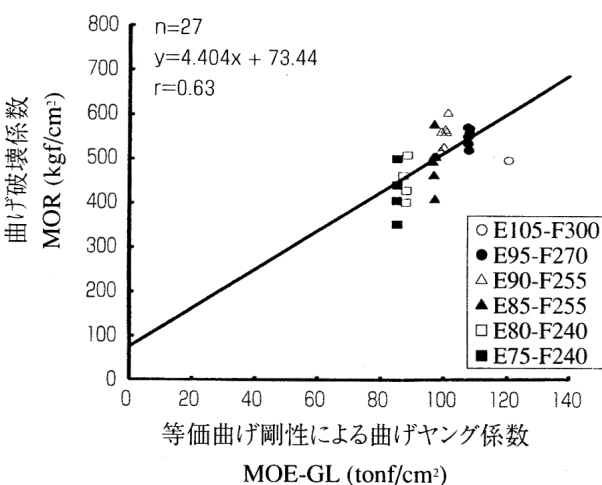


図-35 中断面集成材の等価曲げ剛性による曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係  
Fig.35 Relationship between MOE-GL and MOR of Glulam C.

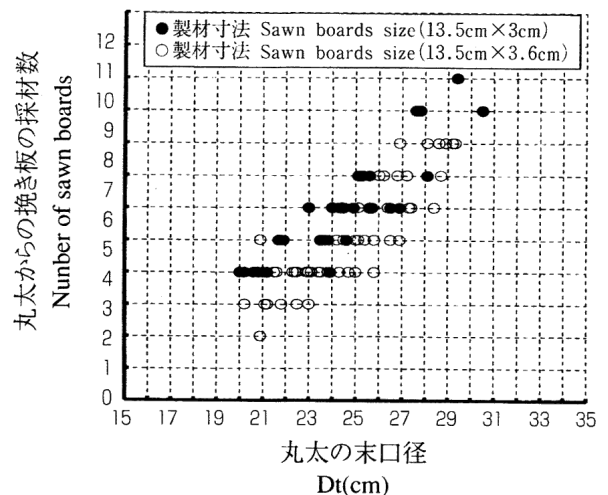


図-36 丸太の末口径と挽き板の採材数の関係  
Fig.36 Relationship between diameter of top end of logs (Dt) and number of sawn boards from same logs.

グ係数と曲げ破壊係数の関係を図-35に示した。

中断面集成材においては全てのヤング係数は曲げ破壊係数に対して強い相関を示した。

### 2. 3. 7 破壊の形状

曲げ破壊試験において、全ての集成材の破壊は最外層引張側のラミナが破壊することにより生じた。

破壊原因は、最外層側のラミナに節が少なかったこともあり、節に起因する破壊と判断しかねるものが多く、目切れによるものと判断された。

なお、全ての集成材において接着層の剥離は認められなかった。

### 2. 4 歩止まり

丸太の末口径と挽き板の採材数の関係を図-36に示した。同じ末口径の丸太を製材しても挽き板の採材数に2~4枚の変動がみられた。小断面集成材用丸太からの製材歩止まりは43.2%、中断面集成材用丸太からの製材歩止まりは41.8%と低い値になっており、集成材製造の実現化を図るためには、製材歩止まりの向上が課題である。

また、中断面集成材を製造する際、日本農林規格に準じてラミナを構成し、ヤング係数の低いラミナを全て使用するようにした。その結果、等級の高いラミナ78枚(L100:22枚、L90:27枚、L80:29枚)を使用できなかった。これらは最外層ラミナとして使用可能な等級のラミナであるため、実用上は等級の低いラミナの代わりに使用しても問題ないが、全てのラミナの強度性能を最大限生かして効率よく利用するためには、ラミナの適正な積層数や構成方法について検討する必要がある。

## 3 ま と め

本試験では住田町産スギ材を供試材に県産スギ材の集成材としての利用適性について検証を行うとともに、ヤング係数を指標とした等級区分の有効性を検討することを目的として、縦振動法により動的ヤング係数を測定し、ラミナに製材して機械等級区分を行い、これらのラミナを用いて、日本農林規格に基づいた5プライ集成材と7プライ集成材を製造し、実大曲げ強度試験を行った。

その結果以下のようなことが示された。

- (1) 心持ちラミナの動的ヤング係数は心去りラミナの動的ヤング係数より低い傾向を示した。
- (2) 丸太の動的ヤング係数と同一材から得られた挽き板の動的ヤング係数の平均値はほぼ等しい値を示した。
- (3) 丸太の動的ヤング係数は同一材から得られたラミナの動的ヤング係数の平均値に対して強い相関を示した。

- (4) 機械等級区分されたラミナで構成された集成材の曲げ強度性能は日本農林規格に適合する値を示した。
- (5) 集成材の曲げヤング係数は、動的ヤング係数および等価曲げ剛性による曲げヤング係数に対して強い相関を示した。

## 謝 辞

本校を草するにあたり、適切なお指導と本校の校閲を頂いた森林総合研究所木材利用部接合研究室長 林知行博士に厚く御礼申し上げます。住田町林政課 高橋俊一氏をはじめ住田町林業振興協議会の各諸氏には、供試材の供給から試験の実施まで全面的に協力していただいた。岩手県中小企業団体中央会には一部データを提供して頂いた。ここに、これらの方々に対しても厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 日本木材学会木材強度・木質構造研究会(1988)構造用木材—強度データの収集と分析:1-77.
- 2) 長尾 博文ほか4名(1990)スギ造林木における曲げ強度性能の垂直分布—スギ心持ち正角の場合—,第40回日本木材学会大会研究発表要旨集:383.
- 3) 小松 幸平(1991)構造用集成材の強度と破壊性状 Part. II,木構造設計資料MT2,財団法人日本住宅・木材技術センター木構造設計資料編集委員会編:1-10.
- 4) 中村 昇ほか4名(1991)スギ丸太のヤング係数の地域差と丸太内部の変動,木材工業46(7):315-319.
- 5) 日本木材学会スギ分科会(1991)木材の科学と利用技術II,5,スギ,日本木材学会研究分科会報告書:1-130.
- 6) 中村 昇ほか2名(1995)丸太における等級区分の違いにおけるラミナおよび縦継ぎラミナの強度,木材工業50(5):215-219
- 7) 日本農林規格協会(1996)集成材、構造用集成材の日本農林規格
- 8) 静岡県集成材工業会(1996)木材利用推進地方活動事業報告書:1-42.
- 9) 小泉 章夫ほか5名(1997)秋田県産スギ材の強度特性(第1報)丸太のヤング率,木材学会誌43(1):46-51.