

# ベイマツとスギによる異樹種積層材の曲げ強度

長谷川 智\*, 井上 元康\*\*

## The Bending Strength of Laminated Beams Composed of Douglas Fir and Sugi

Satoshi HASEGAWA \*, Motoyasu INOUE \*\*

構造用集成材に多用されているベイマツを外層ラミナに用いた10層構成のスギ-ベイマツ異樹種積層材の曲げ強度について検討した。その結果は以下のようにまとめられる。

- 1) ヤング係数が大きいラミナを組合せた積層材ほど曲げ強度（ヤング係数，曲げ強さ）は増加する。
- 2) 積層材の純曲げヤング係数は構成ラミナのヤング係数によりほぼ推定できる。
- 3) 本研究で実施した条件（ラミナ構成，断面寸法，載荷方法）では曲げ負荷時の全たわみ量に占めるせん断付加たわみ量は7.67%となり，せん断変形がみかけの曲げヤング係数に与える影響が大きい。
- 4) 外層ラミナの最外縁には見かけの曲げ強さで評価される値よりもさらに大きな応力が発生し，また，実際のせん断応力は見かけのせん断応力よりやや小さい。

### 1. はじめに

本誌では，異樹種積層材の強度性能に関して，既にシベリア産カラマツ-スギの組合せについて，柴ら<sup>1)</sup>が報告している。本報告では構造用集成材として多く用いられているベイマツを外層，スギを内層とした10層構成異樹種積層材を対象とし，異樹種積層材の曲げ強度性能に与えるヤング係数の異なるラミナの組合せ積層の影響について報告する。

なお，本研究は平成6年度に（財）日本住宅・木材技術センターから委託された事業（集成材構造開発事業）の一環として実施したものである。

### 2. 試験方法

#### 2.1 ラミナの調整

県産未乾燥スギ板172枚，乾燥輸入ベイマツ板200

枚を準備した。スギ板は中温域で標準乾燥スケジュールを用いて，仕上がり含水率12%（計器）を目標に乾燥した。つぎに，連続送り式グレーディングマシン（飯田工業社製MGFE-251）を用いてヤング係数（MGE）を計測した後，腐れや割れの無い板を選別した。これらの板の中からスギ109枚およびベイマツ78枚を無作為に抽出した後，ベイマツについてMGEの近似するものを選び出し，互いにフィンガー接合し（フィンガー形状：フィンガー長さ15mm，ピッチ4mm 接着剤：レゾルシノール樹脂接着剤（大鹿振興社製DF-1000）），断面寸法を厚さ30mm，幅12cmに仕上げた。これら縦接合ベイマツラミナ（FJラミナ）の曲げヤング係数（4点曲げ負荷，スパン1m），曲げ強さ（同）を測定した。

表一 1 MGE等級制限とラミナ組合せ

(単位: GPa)

No		1	2	3	4	5	6	7	8
外層ラミナ	上限			14.7	14.7	13.1	1.3	13.1	13.1
(ベイマツ)	下限	14.7	14.7	13.1	13.1	11.3	10.3	11.3	11.3
内層ラミナ	上限	9.8	7.8	7.8	5.9	5.9	5.9	7.8	9.8
(スギ)	下限	7.8	5.9	5.9	3.9	3.9	3.9	5.9	7.8

注) 上限&gt;MGE≥下限, &gt;MGE≥: 両外層ラミナのグレーディングマシンにより計測したヤング係数

## 2. 2 異樹種積層材の製作と強度試験

### 2. 2. 1 積層材の製作

ラミナ積層数は10層とし、両外層はベイマツラミナ各2層、内層はスギラミナ6層とした。積層材の構成はラミナのMGEにより作成的に組合せたものであり、8種類の異樹種積層材(寸法: 厚さ30cm, 幅10.5cm, 長さ6m)を製作した。その組合せを表一1に示す。なお、接着はレゾルシノール樹脂接着剤(大鹿振興社製D-300)を用い、塗布量325g/m<sup>2</sup>(目標)、圧縮圧約1MPaとした。

### 2. 2. 2 積層材の曲げ試験方法

構造用集成材JASの「曲げA試験」に準拠し、曲げ試験(4点荷重, スパン5.8m, 荷重点間距離1.4m)を実施し、曲げ強さ( $\sigma_m$ )および全たわみから曲げヤング係数(MOE)を求めた。また、縦振動法により、動的ヤング係数( $E_f$ )を測定した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 ラミナのMGEとFJラミナの強度

ベイマツラミナのMGEは平均12.84GPa(n:144, CV:15.9), スギラミナは平均7.15GPa(n:133, CV:26.1)であった。試験時のラミナの含水率(全乾)はベイマツ16.0%(CV:0.93), スギ14.9%(CV:2.72)であった。両樹種ともほぼ標準的な材質特性<sup>2)</sup>を持つラミナと考えられる。

ベイマツFJラミナのヤング係数は平均14.5GPa(最大19.2GPa, 最小11.4GPa), 曲げ強さは平均52.6MPaであり、フィンガー接合を施したことによる曲げヤング係数の低下は認められない。異樹種積層材に用いたラミナのMGE, 比重および平均年輪幅を表一2に示す。表より, MGEと比重に正相関

が窺われるが, 平均年輪幅とは明らかな関係は認められない。

### 3. 2 異樹種積層材の曲げ強度

#### 3. 2. 1 ヤング係数

異樹種積層材のMOE,  $E_f$ , せん断付加たわみの影響を補正した純曲げヤング係数( $E_o$ )および等価曲げ剛性計算から求めたヤング係数( $E_{cal}$ )を表一3に示す。

$E_{cal}$ と $E_o$ が近似することは既に良く知られている。本試験で得られた両者の値を比較するといずれの組合せにおいても $E_o$ は $E_{cal}$ に比べ低い値を示すものの, その差は最大8%と比較的小さい。

測定した全たわみは, せん断たわみが付加されたものであり, 全たわみから計算したMOEは $E_o$ より低い値を示すことが当然予想される。今回の荷重条件, 積層組合せ条件では, MOE/ $E_o$ の値は平均0.923(最大0.908, 最小0.936)であり, 条件の違いによる明らかな差は認められず,  $E_o$ の1割弱の低下を示した。ベイマツ, スギのせん断弾性係数を各々1.176GPa, 0.637GPaとし<sup>3)</sup>, (せん断付加たわみ)/ (全たわみ)の割合を計算すると平均7.67%(最大9.19%, 最小6.42%)となり, せん断たわみの曲げ剛性に与える影響は大きいものと考えられる。

$E_f$ は $E_o$ の平均84.6%(最大94%, 最小80%)の値を示した。両者の違いの原因は,  $E_o$ は外層ラミナの高いヤング係数が強く影響した値であることに對し,  $E_f$ は全ての積層ラミナのヤング係数が平均的に評価された値であったことによるものと考えられる。

#### 3. 2. 2 曲げ強さ

異樹種積層材の場合, 一般に外層には内層に比べヤング係数の高いラミナを用いるが, ヤング係数の

表一 2 構成ラミナのヤング係数, 比重, 平均年輪幅

試験体 No.	外層ラミナ (ベイマツ)			内層ラミナ (スギ)		
	MGE (GPa)	比重	平均年輪幅 (mm)	MGE (GPa)	比重	平均年輪幅 (mm)
1 - 1	16.1	0.550	4.01	9.2	0.479	4.25
1 - 2	16.7	0.564	2.85	9.2	0.449	3.43
2	15.2	0.543	3.33	8.6	0.369	4.22
3	14.2	0.545	3.73	6.8	0.385	4.83
4	13.3	0.471	4.53	6.7	0.363	4.76
5 - 1	12.9	0.498	4.44	5.4	0.382	6.53
5 - 2	11.4	0.461	5.46	5.2	0.378	4.94
6	11.2	0.482	4.20	5.4	0.353	5.04
7	12.9	0.506	3.20	5.2	0.363	4.70
8	13.2	0.506	4.18	7.1	0.429	2.73
平均		0.512	3.86	9.2	0.395	4.71

MGE : 両外層ラミナのグレーディングマシンにより計測したヤング係数

表一 3 異樹種積層材の曲げヤング係数

試験体 No.	MOE (GPa)	Ef (GPa)	Eo (GPa)	Ecal (GPa)	Eo/Ecal	MOE/Eo	Ef/Eo
1 - 1	12.5	11.6	13.8	14.6	0.94	0.91	0.84
1 - 2	12.9	11.4	14.2	14.9	0.95	0.91	0.80
2	11.6	10.0	12.6	13.3	0.94	0.91	0.79
3	11.3	10.2	12.2	12.6	0.97	0.92	0.83
4	10.0	8.6	10.8	11.6	0.93	0.93	0.82
5 - 1	10.0	8.6	10.7	11.3	0.95	0.93	0.83
5 - 2	8.8	8.2	9.4	10.3	0.92	0.94	0.91
6	8.9	9.8	9.5	10.2	0.94	0.94	0.86
7	10.8	9.8	11.6	11.6	1.00	0.93	0.84
8	10.6	10.8	11.5	12.3	0.94	0.92	0.94

MOE : 見かけのヤング係数 Ef : 動的ヤング係数 Eo : 純曲げヤング係数

Ecal : 等価剛性計算から求めたヤング係数

異なるラミナで構成される積層材に曲げ荷重を負荷すると材断面内に発生する曲げ応力やせん断応力の分布はヤング係数が均一な材の場合の分布とは異なることが知られている。そこで、ヤング係数が均一

と見なして計算した最大曲げ応力 ( $\sigma_m$ ), 曲げ比例限度応力 ( $\sigma_p$ ), 最大せん断応力 ( $\tau_m$ ) および構成ラミナの MGE に基づいた応力分布から計算した外層ラミナの最外縁に発生する最大応力 ( $\sigma_{cmf}$ ),

表-4 異樹種積層材の曲げ強度

試験体 No	6 P (MPa)	6 m (MPa)	6 m / 6 p	$\tau$ m (MPa)	6 cmf (MPa)	6 cmc (MPa)	6 m / 6 cmf	$\tau$ cm (MPa)	$\tau$ m / $\tau$ cm	破壊
1 - 1	383	545	070	186	595	208	092	173	107	F J
1 - 2	349	502	069	172	560	174	090	158	109	目切れ(引張)
2	260	368	071	125	413	115	089	114	110	節(引張)
3	274	376	073	128	427	119	088	117	110	節(引張)
4	233	306	076	104	348	86	088	094	110	目切れ(引張)
5 - 1	267	335	080	115	380	94	088	103	111	節(引張)
5 - 2	287	392	073	133	449	118	087	122	110	F J
6	253	274	092	093	316	82	087	085	109	節(引張)
7	226	301	075	103	333	111	090	095	108	節(引張)
8	301	431	070	147	461	194	094	140	105	目切れ(引張)

6 P: 比例限度応力 (見かけ) 6 m: 最大曲げ強さ (見かけ)  $\tau$  m: 最大せん断応力 (見かけ)  
 6 cmf: 外層ラミナ最外縁の最大応力 6 cmc: 内層最外縁に発生する応力  $\tau$  cm: 中立軸に発生するせん断応力

内層ラミナの最外縁に発生する最大応力 ( $\sigma$  cmc), 中立軸に発生する最大せん断応力 ( $\tau$  cm) を一括して表-4に示す。

MGEが大きいラミナで構成されるNa 1-1積層材では $\sigma$  m54.5MPa,  $\sigma$  p38.3MPa, MGEが最も小さいラミナで構成されるNa 6積層材では $\sigma$  m27.4MPa,  $\sigma$  p25.3MPaとなり, MGEの値が大きいラミナで組合せた積層材ほど曲げ強さは増加する。

$\sigma$  cmfは $\sigma$  mより6~14%大きく,  $\tau$  cmは $\tau$  mより5~11%小さい値であった。つまり, 外層ラミナの最外縁には見かけの曲げ強さで評価される値よりもさらに大きな応力が発生し, また, 実際のせん断応力は見かけのせん断応力よりやや小さいことがわかる。

#### 4. まとめ

- (1) MGEの値が大きいラミナを組合せた積層材ほど曲げ強度(ヤング係数, 曲げ強さ)は増加する。
- (2) 構成ラミナのヤング係数により積層材の純曲げヤング係数を推定できる。
- (3) 本研究で実施した条件(ラミナ構成, 断面寸法, 載荷方法)では曲げ負荷時の全たわみ量に占めるせん断付加たわみ量は7.67%となり, せん断変形が曲

げヤング係数に与える影響が大きい。

- (4) 外層ラミナの最外縁には見かけの曲げ強さで評価される値よりもさらに大きな応力が発生し, また, 実際のせん断応力は見かけのせん断応力よりやや小さい。

#### 文 献

- 1) 柴和宏, 中谷浩, 鷲岡雅: 地域産材を利用した異樹種積層材の製造と性能評価, 富山県林業技術センター研究報告 No13, p107-113, 2000.
- 2) 日本木材学会: “構造用木材-強度データの収集と分析”, p7, 1989.
- 3) 林野庁林業試験場(監修): 木材工業ハンドブック第3版, 丸善, p130-131, 1982.

### Summary

The author examined the bending strength of Japanese cedar laminated beams with different compositions of wood species, which used Douglas fir as the outer layer lamina. Douglas fir is used commonly as a lamina in structural laminated beams, since its strength is higher than cedar. The number of composite lamina of the laminated beams was 10. The results are summarized as follows:

- 1) The bending strength (modulus of direct elasticity, bending strength) of the laminated beams increased, as the modulus of elasticity of the lamina increased.
- 2) Bending modulus of elasticity of the laminated beams could be estimated by the modulus of the composite lamina.
- 3) Under the experimental conditions (lamina composition, section size, loading method), shear deflection accounted for all deflections in the bending became 7.67%. The effect of the shearing deformation on the bending modulus of elasticity of appearance was large.
- 4) At most edges of the outer layer lamina, larger stress was observed than was estimated by the apparent bending strength. Actual shearing stress was a little smaller than the apparent shearing stress.