

# フィンガージョイント分散幅はぎラミナを引張側に使用した カラマツ集成材の強度特性

柴田直明・橋爪丈夫・伊東嘉文

集成材に曲げの力が加わると、主として引張側ラミナのフィンガージョイント（FJ）部や節が欠点となりやすい。そこで、大型プロジェクト研究「地域産材を利用した高信頼性構造用材の開発」（1998～2002年度）の一環として、FJ部を分散させた幅はぎラミナを作製し、次いでこれを集成材の引張側に積層・接着したところ、次の結果を得た。1) FJ分散幅はぎラミナにおける「曲げヤング係数のラミナ内変動」は小さく、積層効果が認められた。2) 集成材の引張側にFJ分散幅はぎラミナを用いることにより、材縁部のFJや節で破壊が始まった後も最大荷重を更新し、ねばりのある部材となった。3) 上記2)の結果として曲げ強さは大幅に改善され、その平均値は「通しラミナのみで作製した集成材」の推定値と同程度になった。

キーワード：集成材、曲げ強さ、幅はぎラミナ、欠点分散、フィンガージョイント

## 1 緒言

集成材は、エンジニアードウッドを代表する優れた材料として、多用されている。梁桁等として横使いする場合等には、上部中央付近に曲げ荷重が加わることが多い（図-1のa）。この時、集成材の上側には圧縮の力が、下側には引張の力がかかる。フィンガージョイント〔以下、FJ〕や大径節等は特に引張の力に弱いので、これらが引張り側のラミナ中央付近に存在すると（図-1のb）、集成材全体の弱点（欠点）となる。そのため、従来からこれらの欠点を分散させ、強度性能を改善する試みがなされてきた<sup>1)</sup>。

筆者らも、カラマツラミナを対象として、長大な集成材には不可欠なFJの分散効果を検討し、

その有効性を確認している<sup>2)-5)</sup>。この際には、最外層用あるいは外層用ラミナのみを用いて、あらかじめ同一等級構成集成材（図-1のd）を作製した。次いで、それを接着層に垂直に順次挽き割って（同図の破線）、FJ分散幅はぎラミナ（図-1のc）を得た。なお、このFJ分散幅はぎラミナの曲げヤング係数〔以下、MOE〕は、同一等級構成集成材の両端から得たもので大きく、中央から得たもので小さかった。従って、FJ分散幅はぎラミナを集成材用ラミナとして使用する際には、再度機械等級区分をする必要があった。

以上の背景と成果を踏まえ、本試験では6m長の実大集成材を作製し、FJ分散幅はぎラミナによる曲げ強度性能の改善効果を検討した。なお、FJ分散幅はぎラミナは、その優れた強度性能を生かしつつ効率的に活用するため、集成材の引張側2層にのみ積層・接着することにした。

## 2 試験の方法

本試験は1999年度に実施したため、ラミナの機械等級区分等は当時の「構造用集成材の日本農林規格」〔以下、JAS〕に準拠している。よって、本報告におけるラミナの表示は次のようになる。

L140 : 140-160×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup> (13.73-15.69kN/mm<sup>2</sup>)

L125 : 125-140×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup> (12.26-13.73kN/mm<sup>2</sup>)

L110 : 110-125×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup> (10.79-12.26kN/mm<sup>2</sup>)

### 2.1 FJ分散幅はぎラミナの作製と等級区分

FJ分散幅はぎラミナの作製には、カラマツラミナの内、連続送り式グレーディングマシンによる機械等級区分〔以下、機械等級区分〕において、L125に仕分けられたもののみを用いた。ラミナ寸法は、あらかじめ幅170mm、厚さ28mm、長さ4m

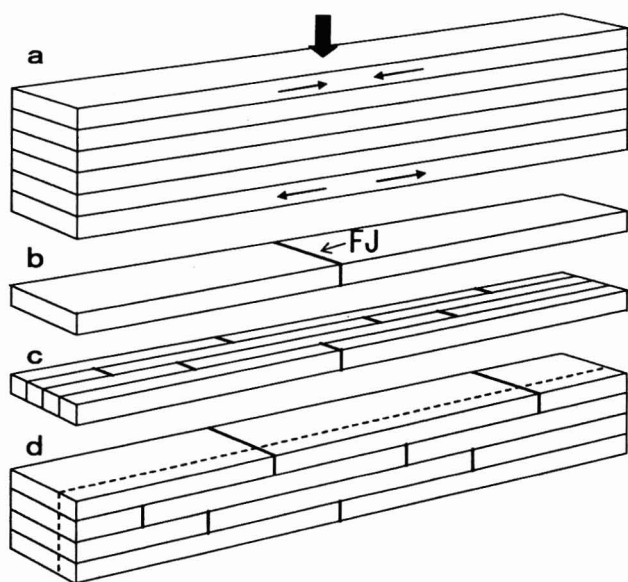


図-1 FJ分散幅はぎラミナを用いた、集成材の強度性能の改善方法（概念図）

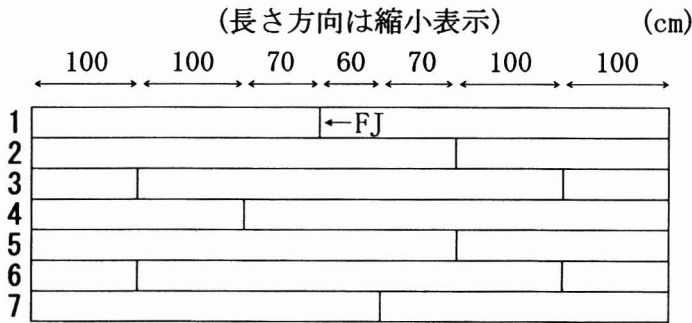


図-2 FJ分散幅はぎラミナ作製の6m同一等級構成集成材

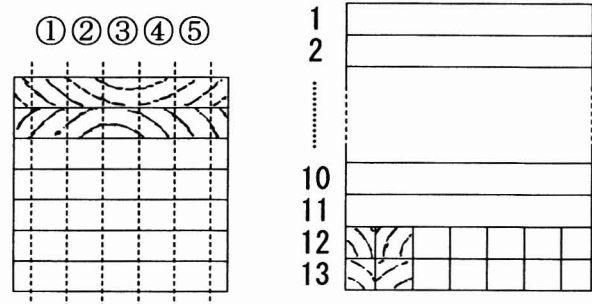


図-3 6m試験体断面図

表-1 L125ラミナのMOE測定値(kN/mm<sup>2</sup>, n:43)

	ラミナ1枚ごとに求めた項目			
	平均	最大	最小	変動係数(%)
平均	12.99	13.65	12.21	3.02
最大	13.68	14.67	13.18	7.83
最小	12.32	12.85	10.83	1.26
変動係数(%)	2.98	3.22	4.55	47.5

表-2 FJ分散幅はぎラミナのMOE測定値(kN/mm<sup>2</sup>, n:25)

	ラミナ1枚ごとに求めた項目			
	平均	最大	最小	変動係数(%)
平均	12.19	12.61	11.58	1.90
最大	14.17	14.74	13.60	2.83
最小	10.89	11.33	10.24	1.22
変動係数(%)	6.90	6.88	7.77	25.7

に粗仕上げしてあった。

これらのラミナは、原則として各ラミナの木表・木裏をそろえてFJをし、6mラミナに仕上げた。図-2の左側(正面図)に、ラミナ1~7のFJ位置を示す。次いで、各ラミナの厚さを24.3mmに仕上げ、7枚のラミナの木表・木裏を交互にして、6m長の同一等級構成集成材(図-2)を5体作製した。

その後、図-2の右側(側面図)の破線に沿って①~⑤のFJ分散幅はぎラミナに挽き割り、27mm厚に粗仕上げした。これらは、スパン540cmの中央集中荷重(2,000gの重石3枚による死荷重)によってMOEを測定するとともに、再度機械等級区分機を通した。

## 2.2 6m試験体の作製と性能評価

上記2.1を含む機械等級区分されたカラマツラミナを用い、JASに規定するE105-F300(内層はL80)およびE120-F330(内層はL90)の対称異等級構成集成材を5体ずつ作製した。ラミナ仕上げ厚は23.5mmとし、13枚積層・接着した上で、150×300×6,000mmの試験体に仕上げた(図-3)。

ここで、図-3の1~11は通常のラミナとし、11は長さ方向の中央でFJを行った。12と13は、上記2.1の中から所定の等級に区分されたものを使用した。また、12と13はFJ部が重ならないよう、図-2の①~③と③~⑤の各グループから1枚ずつ選定し、ともにラミナの木表側が集成材の中心側に

なるように積層・接着した(図-3)。

6m試験体の強度性能はJASの曲げA試験に従い、上部荷重点間距離120cm、下部支点間距離540cmで評価した。使用した試験機は島津製作所製UH-1000kNで、クロスヘッドスピードは10mm/minとした。また、荷重-たわみ曲線のデータをとるため、500mm巻込型変位計(東京測器研究所、DP-500C)とデータロガー(同、TDS-303)も併せて使用した。本試験では、データを1回読むごとにフロッピーディスクに記録させたため、データ採取間隔は約7.5秒となった。

## 3 結果と考察

### 3.1 FJ分散幅はぎラミナの等級区分とMOEのラミナ内変動

ラミナの機械等級区分時におけるMOE測定値の内、FJ分散幅はぎラミナ作製のL125ラミナ(4m長)に関する諸データを、表-1に示す。また、図-2の①~⑤に挽き割った後のFJ分散幅はぎラミナ(6m長)に関する諸データを、表-2に示す。

ここで、表-1のラミナについては、記録が残っていた43枚のデータのみを使用した。図-2の集成材5体を作製するに当たっては、さらに10枚程度多くのラミナが使われた。

また、本試験に用いた機械等級区分機では、ラミナの両端80cmずつを除いた中央部について、

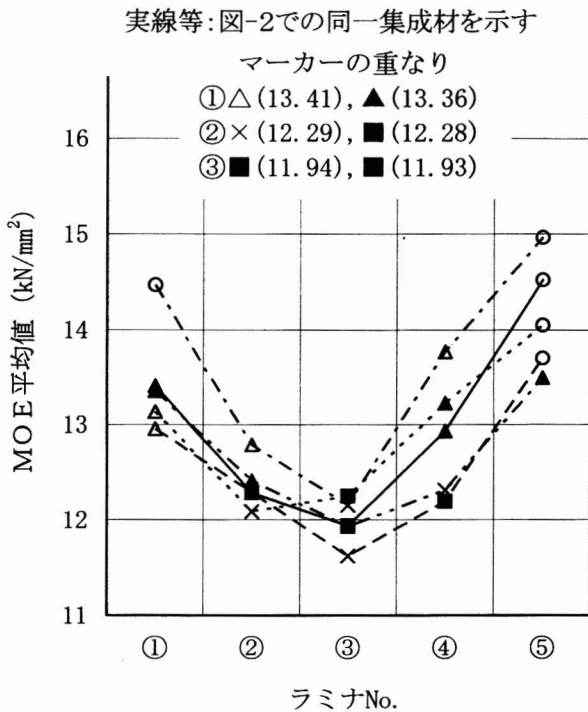


図-4 FJ分散幅はぎラミナにおける、機械等級区分機と死荷重によるMOEの平均値

- ：試験体 E120-F330 仕様の L140 として使用
- △：試験体 E120-F330 仕様の L125 として使用
- ▲：試験体 E105-F300 仕様の L125 として使用
- ：試験体 E105-F300 仕様の L110 として使用
- ×：本試験では使用せず

5.6cm 間隔でMOEを測定し、その平均値を求めている。今回はMOEのラミナ内変動の比較を主たる目的としたため、すべてのラミナにおける測定点数を最小値に統一する必要がある。そこで、各ラミナの最初から42点のみを、評価対象とすることにした。

そして、まずラミナ1枚ごとに、MOE測定値(42点)の平均、最大、最小、変動係数を求めた。次いで、ラミナ1枚ごとに求めた項目(平均等)ごとに、ラミナ全数の平均、最大、最小、変動係数を算出した(表-1,2では、項目別に列方向に記載)。

その結果、表-1ではMOEの平均の平均が12.99kN/mm<sup>2</sup>(132.4kgf/cm<sup>2</sup>)であり、L125の選定範囲(125-140×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>)の中央の値とほぼ一致した。これに対し、表-2ではMOEの平均の平均が12.19kN/mm<sup>2</sup>となり、全体的に低めに評価されたように思われた。

他方、死荷重2~6kgf間のたわみから求めたMOE全測定値の平均は13.75kN/mm<sup>2</sup>で、表-2の

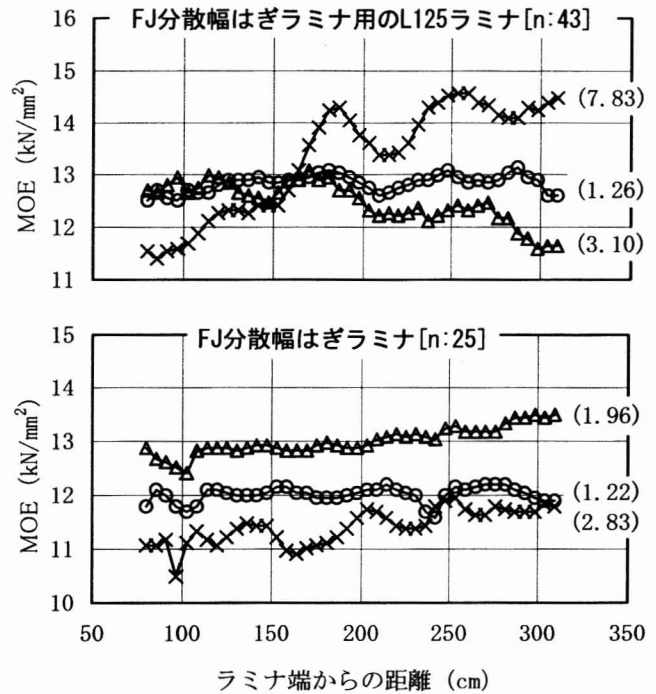


図-5 機械等級区分機によるMOEのラミナ内変動

- 図中の( )内の数字：MOEのラミナ内変動係数(%)
- ×：変動係数が最大であったラミナのMOE分布
- △：変動係数が平均的であったラミナのMOE分布
- ：変動係数が最小であったラミナのMOE分布

値より大きかった。この死荷重による測定では、スパンが540cmと長かったため、载荷後も徐々にたわみが増大し続けた。本試験では载荷直後のたわみを読んだので、ややタイミングが早すぎた可能性も考えられる。

そこで、本試験においては、6m長のFJ分散幅はぎラミナのMOEとして、機械等級区分機による値と死荷重による値との平均値を用いることにした。その結果を図-4に示す。この図に示したラミナ25枚のMOEの平均値は、12.97kN/mm<sup>2</sup>(132.3kgf/cm<sup>2</sup>)であった。

最終的なラミナの区分は、2.2に記した条件等も加味し、図-4の○~■のようにした。

なお、図-4では図-2の集成材5体すべてにおいて、挽き割った後のラミナのMOEは①と⑤で大きく、③で小さかった。この傾向は、機械等級区分機による値でも、死荷重による値でも、同様に認められた。この主たる原因は、昨年度の試験結果<sup>2)-5)</sup>と同様、未成熟材の比率の大小によると考えられる。

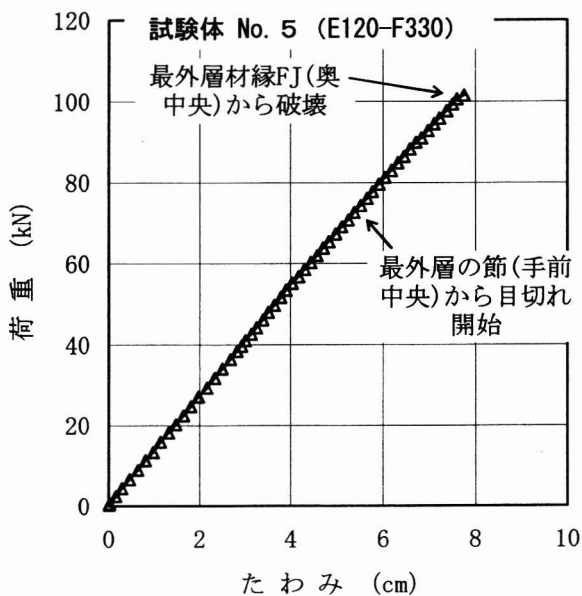
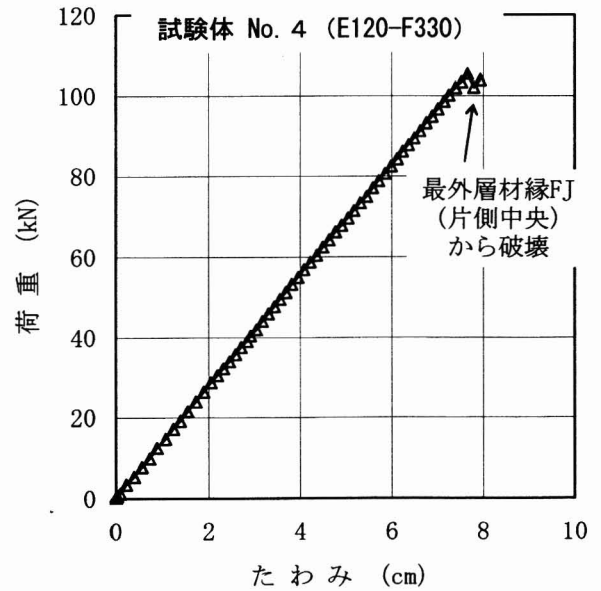
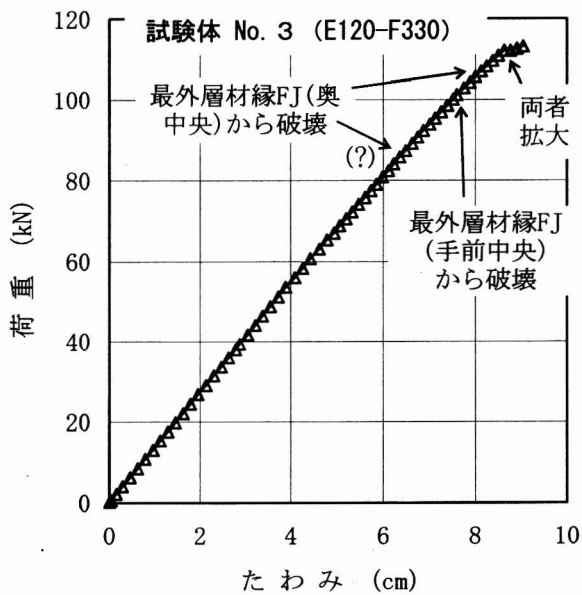
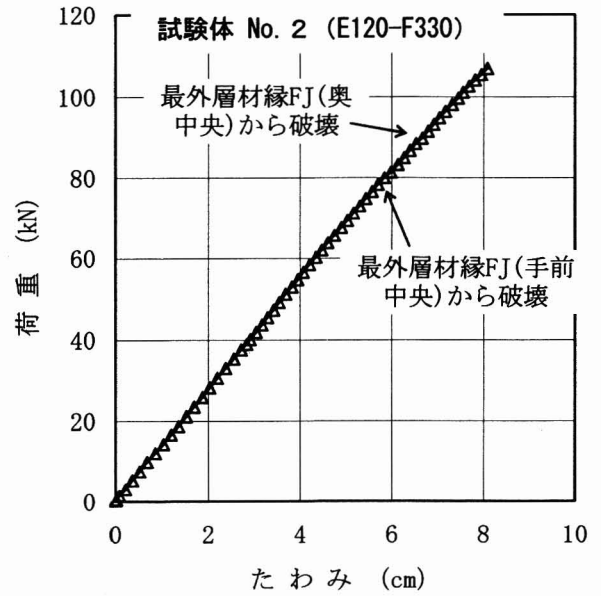
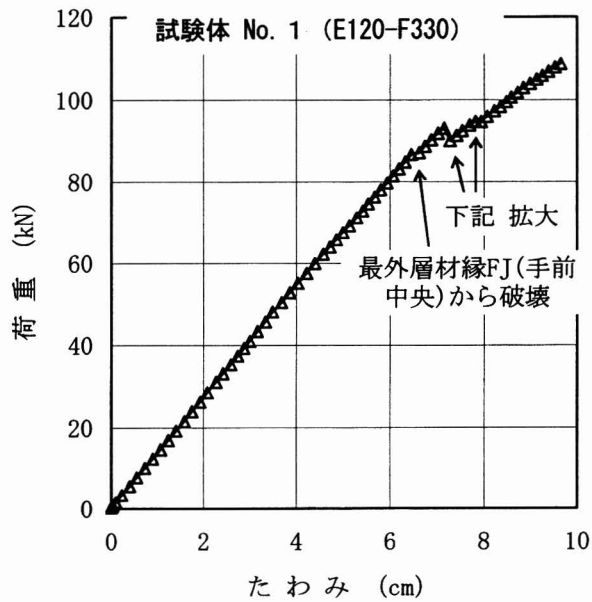


図-6 E120-F330 仕様の試験体 No. 1～5  
における荷重－たわみ曲線と破壊過程

図中の「最外層」は、すべて引張側を示す。  
「手前」「奥」は、試験体側面から見たもの。  
「中央」は、長さ方向の中央付近を示す。

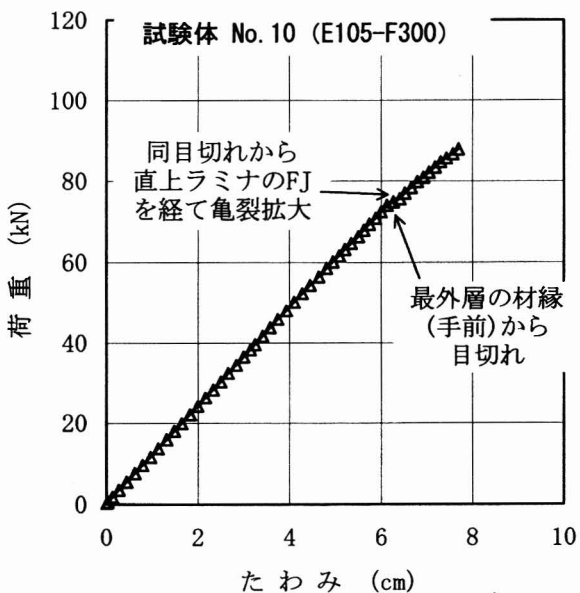
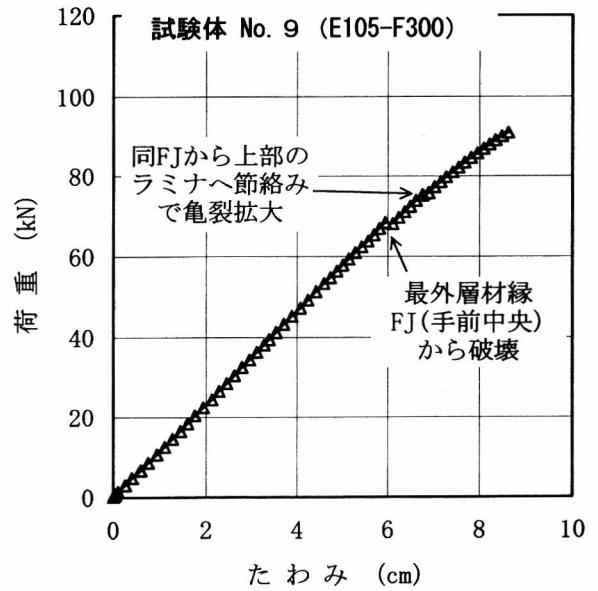
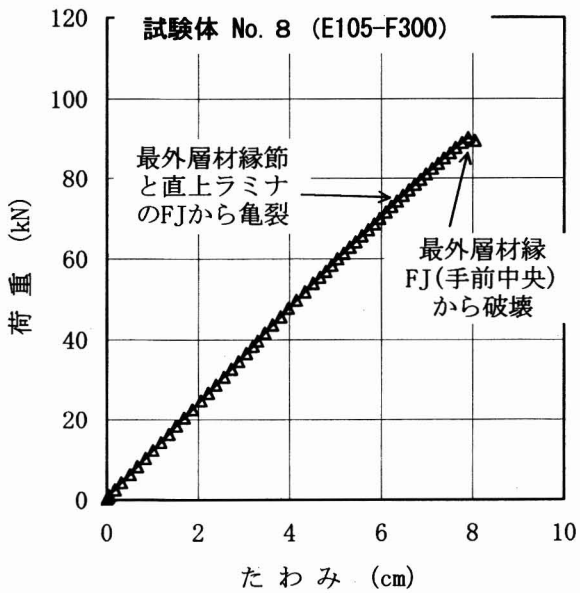
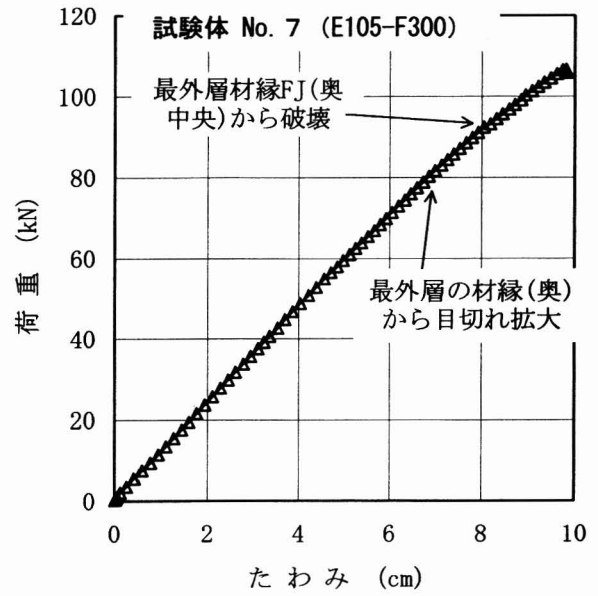
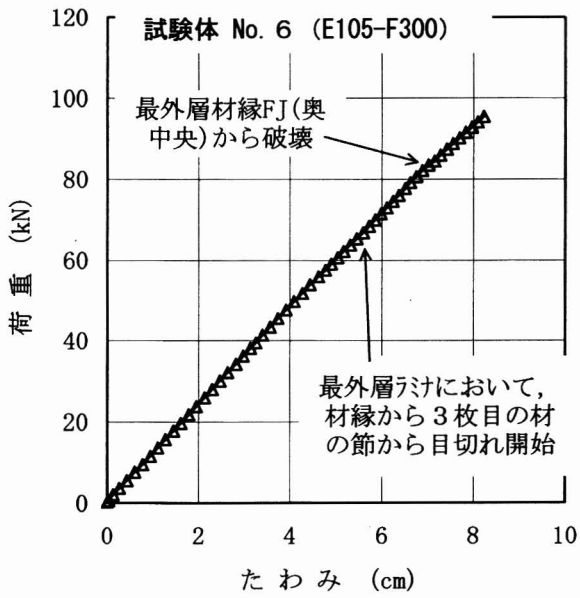


図-7 E105-F300仕様の試験体 No. 6～10 における荷重－たわみ曲線と破壊過程

図中の用語は、図-6と同じ

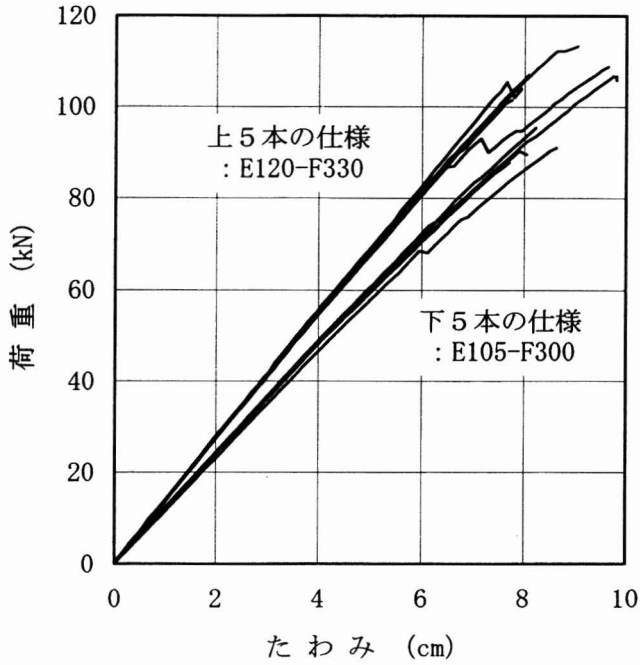


図-8 全試験体の加重-たわみ曲線

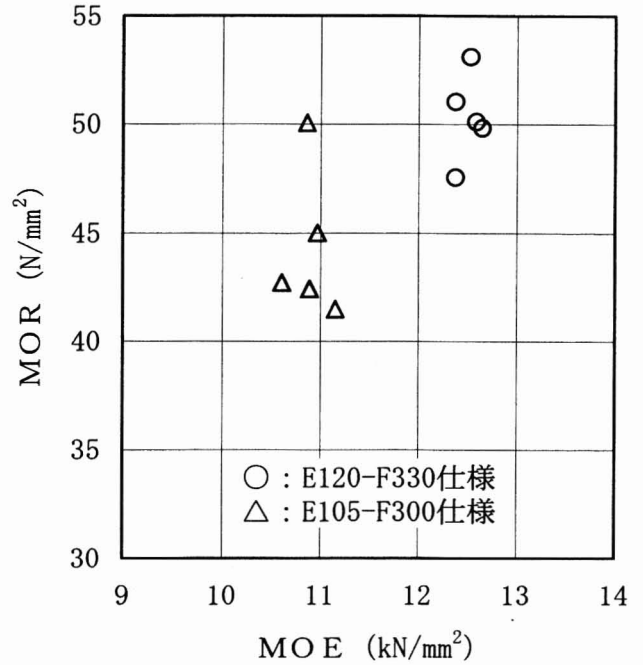


図-9 全試験体のMOEとMOR

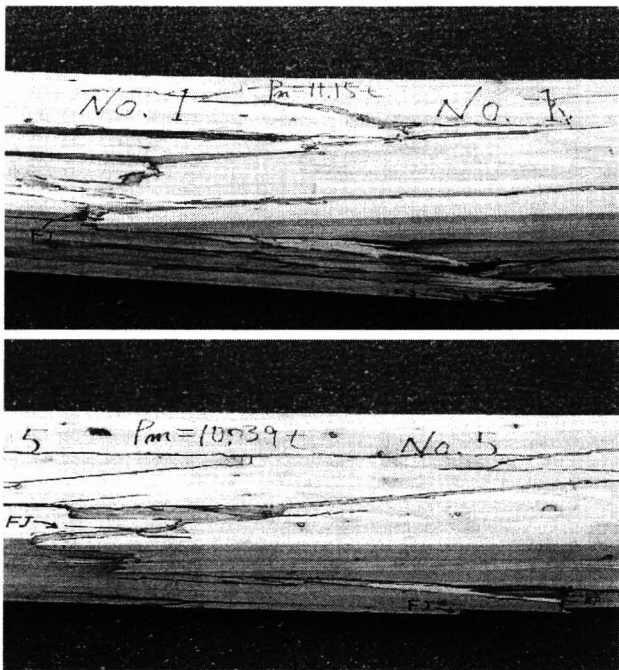


写真-1 曲げ試験後の破壊形態 (手前：引張側)

次に、MOEのラミナ内変動を、表-1, 2において比較した。その結果、機械等級区分時にラミナごとに測定した5.6cm間隔・42点のMOEの変動係数は、通常のL125ラミナ43枚の平均で3.02% (表-1)、FJ分散幅はぎラミナ25枚の平均で1.90% (表-2)であった。それぞれについて、変動係数が最大・平均的・最小のラミナを取り上げ、

具体例として図-5に示す。FJ分散幅はぎラミナでは7枚のラミナを積層・接着しているため、その積層効果により、MOEのラミナ内変動が軽減されたものと考えられる。

### 3.2 6m試験体の曲げ強度特性

曲げ試験における個々の試験体の荷重-たわみ曲線とその破壊過程を、図-6, 7に示す。

集成材の引張側にFJ分散幅はぎラミナを用いることにより、材縁部のFJや節で破壊が始まっても直ちには最終破壊に至らなかった。

これまでの曲げ試験の経験からすると、通常の集成材の場合には、最初の破壊が生じた時点で最大荷重を示すことが多いように思われる。従って、引張側にFJ分散幅はぎラミナを使用することにより、ねばりのある部材になったと評価できる。

最終的な破壊形態を、写真-1に示す。ねばりながら徐々に破壊が進んだため、全試験体とも複雑な破壊形態となった。

次に、全試験体の荷重-たわみ曲線を図-8にまとめて示す。また、曲げ試験におけるMOEと曲げ強さ〔以下、MOR〕の値を図-9に示す。

MOEは、E120-F330およびE105-F300の仕様別に、ほぼ通常の集成材と同程度の値を示した。

これに対し、MORは大幅に改善されていた。図-9において、E120-F330仕様の最小値は47.6

N/mm<sup>2</sup> であり、現在の J A S で規定する MOR の 5% 下限値 (33.0N/mm<sup>2</sup>) より著しく大きかった。同様に、E105-F300 仕様の最小値は 41.5N/mm<sup>2</sup> であり、こちらもその 5% 下限値 (30.0N/mm<sup>2</sup>) を大幅に上回った。

このように MOR が大幅に改善された理由としては、上述のように、「引張側に F J 分散幅はぎラミナを使用することにより、ねばりのある部材になった」ことが挙げられる。

最後に、今回得られた MOR の評価の 1 つとして、次の方法も試みた。

まず、各ラミナの MOE を各等級の範囲の中央値とし、各ラミナの引張強さと MOR は昨年度の「L110 通しラミナ」<sup>2)-5)</sup> の近似式 (下記) から算出した。

$$\text{引張強さ} : y = 3.536x - 1.51 \quad (R^2 = 0.138)$$

$$\text{M O R} : y = 6.747x - 5.42 \quad (R^2 = 0.380)$$

ここで、R<sup>2</sup> は決定係数 (相関係数の二乗)

次いで、小松の提唱する各式<sup>8)</sup> から、「通しラミナのみで作製した集成材」の MOE と MOR を推定した (表-3)。その結果、今回試作した試験体の MOE (実測値) は推定値より多少小さかったが、MOR は推定値とほぼ等しかった。よって、MOR は「通しラミナのみで作製した集成材」の場合とほぼ同程度にまで改善されていた、と見なしてもよいものと思われる。

表-3 強度性能の実測値と推定値

仕 様	実測値 (平均)		推 定 値	
	MOE kN/mm <sup>2</sup>	MOR N/mm <sup>2</sup>	MOE kN/mm <sup>2</sup>	MOR N/mm <sup>2</sup>
E120-F330	12.50	50.3	12.96	50.3
E105-F300	10.89	44.3	11.50	44.5

なお、F J 分散幅はぎラミナは、図-2 の 12・13 のような木表荷重の場合に、MOR が小さくなる傾向が認められている<sup>2)-5)</sup>。よって、木裏荷重となるような向きに積層・接着すれば、仮にわずかではあっても、MOR がさらに大きくなる可能性はある。

長大な集成材を造る場合には、ラミナの F J が避けられない。従って、引張側の最外層あるいは最外層+外層にのみ今回のような F J 分散幅はぎラミナを活用すれば、集成材の MOR を大幅にかつ効率よく改善でき、「ねばりのある部材」となることにより、信頼性もさらに高まるものと期待さ

れる。

#### 4 結論

ラミナの欠点の一つである F J 部を分散させた幅はぎラミナを作製し、次いでこれを集成材の引張側に積層・接着したところ、次の結果を得た。

- 1) F J 分散幅はぎラミナにおける「MOE のラミナ内変動」は小さく、積層効果が認められた。
- 2) 集成材の引張側に F J 分散幅はぎラミナを用いることにより、材縁部の F J や節で破壊が始まった後も最大荷重を更新し、ねばりのある部材となった。
- 3) 上記 2) の結果として MOR は大幅にかつ効率よく改善され、その平均値は「通しラミナのみで作製した集成材」の推定値と同程度になった。

#### 謝辞

本試験の実施に当っては、主として機械等級区分機による MOE の測定と試験体の作製において、齋藤木材工業(株)の協力を得た。また、長野県県産材振興対策協議会の協力も得た。

これらの関係各位に対し、ここに深く感謝の意を表します。

#### 引用文献

- 1) 例えば、林知行・宮武敦(1993) 集成加工材料の強度特性に及ぼす欠点分散の影響 (第 1 報) ー幅はぎによる強度下限値の向上一, 木材工業, 48(10), P. 472-476
- 2) 柴田直明・伊東嘉文・橋爪丈夫・齋藤健・田中宏明・村井勇睦(1998) フィンガージョイント部位を分散させた幅はぎラミナの強度特性, 日本木材加工技術協会 第 16 回年次大会 講演要旨集, P. 22-23
- 3) 柴田直明・伊東嘉文・橋爪丈夫・齋藤健・田中宏明・村井勇睦(1999) カラマツ中径木から作製した F J 分散幅はぎラミナの強度特性, 日本木材学会大会 研究発表要旨集, P. 108
- 4) 柴田直明・伊東嘉文・橋爪丈夫 (1999) 共同研究「フィンガージョイント部位を分散させた幅はぎラミナの強度性能」, 長野県林業総合センター平成 10 年度業務報告, P. 90-91
- 5) 柴田直明・伊東嘉文・橋爪丈夫 (2001) フィンガージョイント (F J) ラミナの強度性能の改善 ーフィンガー形状の改良および F J 分散幅はぎラミナの検討ー, 長野県林業総合センター

研究報告, 15, P. 48-58

- 6) 柴田直明・橋爪丈夫・伊東嘉文(2000) 地域産材を利用した高信頼性構造用材の開発 -欠点分散エレメント (F J分散型) を引張側に使用したカラマツ集成材の強度特性-, 長野県林業総合センター平成 11 年度業務報告, P. 66-67
- 7) 柴田直明・橋爪丈夫・伊東嘉文・齋藤健・村井勇睦(2000) F J分散幅はぎラミナを引張側に使用したカラマツ集成材の強度特性, 日本木材学会大会 研究発表要旨集, P. 619
- 8) 小松幸平(1997) 任意断面構成集成材の最大モーメントの推定と実験結果による検証, 木材学会誌, 43(11), P. 934-939