

#### 1.4 要旨

NJラミナおよび同一工程で製造したFJラミナの曲げ試験および引張り試験の結果から、FJラミナの強度特性をNJラミナとの比較で検討した。つぎに、等級区分したラミナのTSおよびMORと規格<sup>1)</sup>における基準値との関係を検討し、ラミナの等級とTSおよびMORの変動係数との関係、および等級とTS/MORとの関係を明らかにした。

FJラミナの性能は製造工程が影響するので一概に結論づけることはできないが、FJラミナとNJラミナの強度性能をMORで比較した場合と、TSで比較した場合とでは異なった。すなわち、接合部が関係したと認められた破壊の出現比率は引張り試験よりも曲げ試験で大きく、MORの平均値で計算した接合効率は77.7%であり、TSで計算したそれは86.3%と約9%の相違が認められた。また、MOEとTSとの関係を示す回帰直線は、NJラミナとFJラミナでは位置および傾きの差異は比較的少なかったが、MOEとMORとの関係を示す回帰直線は両ラミナで差異が認められた。

NJラミナにおいてMOEとMORとの関係は $r = 0.781^{**}$ 、MOEとTSとの関係は $r = 0.740^{**}$ で示され、単独の強度推定因子としてはMOEが有効であることが示された。

NJラミナの等級内のMORの変動係数の平均値は目視等級区分、機械等級区分で17.4%、13.6%、同様にTSのそれは目視等級区分、機械等級区分で29.9%、23.5%と、特にTSにおいて大きかったがカラマツラミナのそれら<sup>4)</sup>よりは小さかった。

ラミナを等級区分することによってMOR、TSの変動係数が減少する比率は、全体の変動係数に対して目視等級区分で16%程度、機械等級区分で35%程度であった。

NJラミナのTS/MORは平均で0.59であり、規格<sup>1)</sup>が前提としている0.6とほぼ同じであった。また、等級の高いラミナほどその比が大きな傾向が認められた。

規格<sup>1)</sup>による評価では等級区分されたNJラミナのMORの平均値及び5%下限値、TSの平均値は基準を満たした。また、TSの5%下限値以

下のラミナがL70で1枚、L80で2枚出現したが出現比率は3%であり、これもほぼ規格に合格すると判断できた。

また、この出現比率はカラマツラミナ<sup>4)</sup>で報告されているそれよりはるかに小さく、それはTSの変動係数がカラマツより小さい上、TS/MORがカラマツより大きいためと考えられた。

#### 文献

- 1) 農林水産省告示第111号(1996): 構造用製材の日本農林規格
- 2) 日本合板検査会(1996): 構造用製材の適正製造基準 1-66
- 3) たとえば、林知行ほか4名(1995): 低質ベイマツラミナの曲げ・引張強度特性、木材学会誌、41(1)、103-109
- 4) 橋爪丈夫、吉田孝久、武田孝志、石原茂久(1998): カラマツラミナの性質と集成材の強度性能(第4報)—ラミナの曲げ・引張強度特性、木材学会誌、44(1)、49-58
- 5) 武田孝志、門脇太郎(1998): スプルーラミナの曲げ強度と引張強度、木材工業、53(3)、120-124
- 6) 小松幸平(1991) 木構造設計資料MT-2、日本住宅・木材技術センター、1-10
- 7) 平嶋義彦、山本幸雄、鈴木滋彦(1994): 集成材の強度計算モデルおよび確率モデル、木材学会誌、40(11)、1172-1179

**キーワード:** 引張強さ (TS)、曲げ強さ (MOR)、スギラミナ、TS/MOR、等級区分

## 2 フィンガージョイント (F J) ラミナの強度性能の改善

### —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—

柴田直明、伊東嘉文、橋爪丈夫

#### 2.1 緒言

集成材は、エンジニアリングウッドを代表する優れた材料である。しかし、曲げ荷重下では引張側ラミナの節やフィンガージョイント (F J) 部が欠点となりやすい。

そこで、従来からこれらの欠点を分散させて強度性能の向上を図ることを目的に、幅はぎラミナの研究等が進められてきた<sup>1)~3)</sup>。

本報では、これらの成果を踏まえ、カラマツ中径木から得られたラミナを用いて、次の2点について実大サイズでの試験を実施した<sup>4)~6)</sup>。

##### ① フィンガー形状の改良

F Jにおいては、フィンガーの先端と底部がバットジョイントとなる。そこで、これらの部分の幅を狭くして、F J幅 (ラミナ幅) 全体に占めるバットジョイント幅の比率を減少させることを試み、継ぎ手効率の改善効果を検討した。

##### ② F J分散幅はぎラミナの検討

あらかじめF J部を分散させた同一等級構成集成材を作製した後、接着層に対して垂直に挽き割ることによってF J分散幅はぎラミナ (F J分散ラミナ) を得て (図2-1、下)、強度性能の改善効果を検討した。

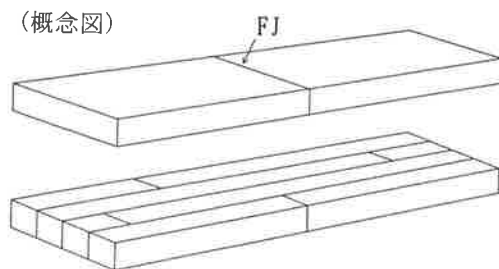


図2-1 通常のFJラミナとFJ分散ラミナ

なお、本研究は(財)日本住宅・木材技術センターが平成10年度に実施した「エンジニアリングウッド性能評価事業」の中において、同センターと長野県林産総合センターの共同研究として行われたものである。

#### 2.2 研究の方法

##### 2.2.1 試験体の作製

本試験では集成材の最外層および外層ラミナを想定し、カラマツ中径木から得られたL110のラミナのみを用いて、次の各試験体を作製した。

なお、これらのラミナの区分は連続測定式グレーディングマシンによって行った。また、L110のラミナとは $110 \leq$ 曲げヤング係数の平均値 $< 125$  ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ ) であるものを指す。

##### 2.2.1.1 コントロール《略称：通しラミナ》

コントロールは通しラミナとし、表2-1の寸法に仕上げた。

通しラミナのNo.は、試験体作製前のラミナの平均曲げヤング係数が大きい順に1、2、3、…と付けた。曲げおよび引張試験の試験体数は、それぞれの結果の項 (表2-3、5) に示した。

表2-1 試験体の仕上げ寸法 (全試験体共通)

| 試験体の種類 | 幅(mm) | 厚(mm) | 長さ(mm)      |
|--------|-------|-------|-------------|
| 曲げ試験体  | 149   | 20    | 約 500       |
| 引張試験体  | 149   | 20    | 約 1300~1500 |

##### 2.2.1.2 フィンガー形状を改良したF Jラミナ《略称：F Jラミナ》

F Jラミナは、ラミナの中央に通常のF J部を設けた (図2-1、上)。

フィンガー形状は、兼房(株)の改良型カッターを用い、表2-2のようにした。仕上げ寸法は、表2-1に従った。

なお、F Jラミナの作製に際しては試験体作製前のラミナの平均曲げヤング係数が大きい順にペアを組み、原則として木表・木裏をそろえてF Jを行った。

また、F JラミナのNo.も、通しラミナの場合と同様、試験体作製前のラミナの平均曲げヤング係数が大きい順に1、2、3、…と付けた。曲げおよび引張試験の試験体数は、それぞれの結果の項 (表2-3、5) に示した。

表2-2 フィンガー形状 (全試験体共通)

| 部 位   | 寸 法     |
|-------|---------|
| 長 さ   | 18.5 mm |
| ピ ッ チ | 5.0 mm  |
| 先 端 幅 | 0.4 mm  |
| 底 部 幅 | 0.25 mm |

2.2.1.3 FJ分散ラミナ《略称:FJ=0、1、2、3》

FJ分散ラミナの作製に当っては、らせん木理による目切れの影響を軽減するため、19.5mm厚のラミナ8枚を原則として木表・木裏が交互になるように積層・接着した(図2-2、上)。また、1条件当たりの同一等級構成集成材は8体とした。次いで、図の破線に沿って、①~⑥の6枚に挽き割った。従って、試験体数は原則として1条件当たり48枚であった(表2-6、7)。また、仕上げ寸法は表2-1に従った。

なお、FJ分散ラミナは4種類ずつ作製した(図2-2、下)。FJ=0は図2-2(上)のラミナすべてを通しラミナとした。FJ=1はラミナ1のみ、FJ=2は1, 8のみ、FJ=3は1, 4, 8のみ、中央にFJ部を設けた。FJ=1~3におけるFJ部の配置は種々考えられるが、本試験では最も厳しい条件と考えられる「材縁部」に優先的に配した。

また、フィンガー形状は、FJラミナの場合と同様、表2-2に従った。

なお、通しラミナ・FJラミナ・FJ分散ラミナの試験直後の平均含水率は、それぞれ約11%で

あった。これらの含水率の測定に当っては、通しラミナ及びFJラミナでは全数の1/5、FJ=0~3では1/3を抽出し、全乾法で求めた。

2.2.2 性能評価の方法

2.2.2.1 各試験体の密度、節径比の測定

すべてのラミナについて3寸法と重量を測定し、それらから密度を求めた。

節径比については、全長最大節径比、材縁最大節径比、最大集中節径比を測定した。これらの節径比は、ラミナ断面に対する節の透過断面積の比率(%)として求めた。

なお、材縁節は試験体エッジ部に直接関わるものだけに限定した(図2-3、上)。

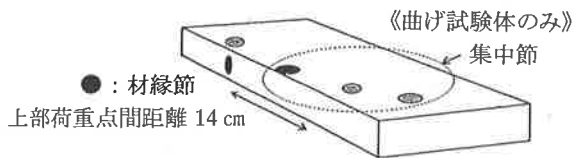
また、節径比の測定範囲は次のようにした。

曲げ試験体：曲げ試験の上部荷重点間距離内(図2-4、上)

ただし、集中節径比のみは、集中節の一部が上述の範囲に含まれていれば、その境界を超えて測定した(図2-3、上)。

引張試験体：すべて引張試験のスパン内(図2-5)

FJ分散ラミナの節径比も通しラミナやFJラミナと同様に測定したが、節の透過断面積を正確に求めることはできなかった(図2-3、下)。



《注》FJ分散ラミナの節径比には誤差あり



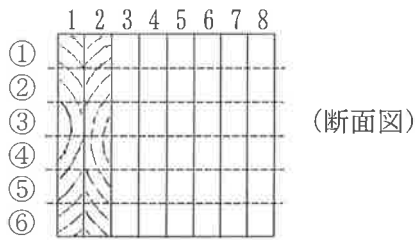
図2-3 節径比の測定方法

2.2.2.2 曲げ試験

曲げ試験は「構造用集成材のJAS」(JAS)の曲げC試験に準じ、図2-4のように行った。

通しラミナとFJラミナはほとんどが板目板であったので、奇数No.は木表荷重、偶数No.は木裏荷重とした(図2-4、下)。

また、FJ分散ラミナは図2-2(上)において、すべて上方から荷重を加えた。従って、①②



幅はぎラミナにおけるFJ部の配置

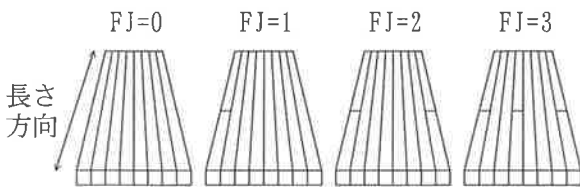


図2-2 FJ分散ラミナ①~⑥の作製方法(上)とその種類(下)

が木表荷重、③④がほぼ柾目荷重、⑤⑥が木裏荷重となった。

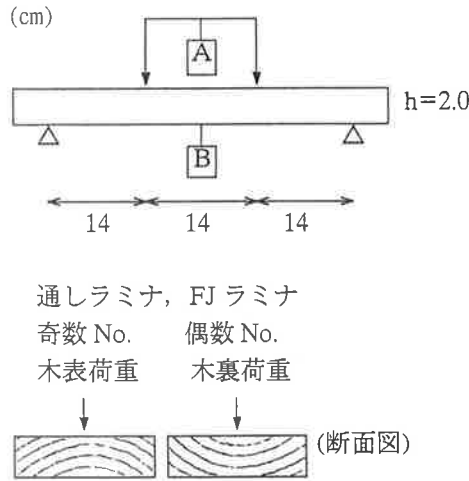


図2-4 曲げ試験の方法

- A : クロスヘッドの動きを測定
- B : 全スパンたわみの初期値のみを測定 (曲げヤング係数の測定用)

### 2.2.2.3 引張試験

引張試験体はあらかじめ非破壊試験で曲げヤング係数を測定した後、JASに従って引張試験を行った (図2-5)。

- (1) 曲げヤング係数の測定 (非破壊試験)

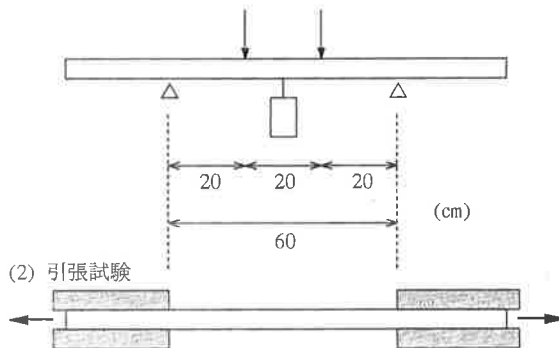


図2-5 引張試験の方法

## 2.3 結果と考察

### 2.3.1 フィンガー形状を改良したFJラミナの強度性能

#### 2.3.1.1 曲げ試験の結果

曲げ試験の結果を、表2-3、4および図2-6に示す。なお、以下の図中では曲げ強さをMOR、曲げヤング係数をMOEと記す。

通しラミナの曲げ強さは、木裏荷重の方が木表荷重よりも約10%大きかった (表2-3、図2-6)。この差は、危険率5%で有意であった。このことは、木表と木裏での成熟材率の差が強度に影響したと思われる。

通しラミナの曲げ強さは、曲げヤング係数と正の相関、集中節径比と負の相関が高かった (表2-4)。

次に、FJラミナはすべてFJ部絡みで破壊した。FJラミナの曲げ強さについては、荷重方向による有意な差は認められなかった。

FJラミナの曲げ強さと曲げヤング係数等との相関は低かったが (表2-4)、これはFJラミナの曲げ強さが主としてFJ部の強さで決まってしまうためであると思われる。

表2-3 曲げ試験体の諸データと強度性能<sup>a)</sup>

| ラミナの<br>種類 | 荷重<br>方向 | 試験<br>体数<br>(個) | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> , %)                         |     | 材縁最大<br>節径比(%)                    |      | 集中節<br>径比(%)                 |      |      |      |
|------------|----------|-----------------|---|-----|-----------------------------------|------|------------------------------|------|------|------|
|            |          |                 | AVG   | CV  | AVG                               | AVG  |                              |      |      |      |
| 通しラミナ      | 全体       | 48              | 0.519   | 7.4 | 2.1                               | 12.8 |                              |      |      |      |
|            | 木表       | 24              | 0.519   | 6.8 | 2.9                               | 14.7 |                              |      |      |      |
|            | 木裏       | 22              | 0.524   | 7.8 | 1.5                               | 11.6 |                              |      |      |      |
| FJラミナ      | 全体       | 48              | 0.523   | 5.2 | 0.2                               | 5.3  |                              |      |      |      |
|            | 木表       | 21              | 0.516   | 5.6 | 0.2                               | 4.4  |                              |      |      |      |
|            | 木裏       | 22              | 0.527   | 5.1 | 0.1                               | 7.1  |                              |      |      |      |
|            |          |                 | 曲げヤング係数<br>(×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> , %) |     | 曲げ強さ<br>(kgf/cm <sup>2</sup> , %) |      | たわみ <sup>b)</sup><br>(cm, %) |      |      |      |
|            |          |                 | AVG   | CV  | 5%LL                              | AVG  | CV                           | 5%LL |      |      |
| 全体         |          |                 | 111   | 8.8 | 95                                | 693  | 15.4                         | 517  | 1.48 | 22.1 |
| 通しラミナ      | 木表       | 110             | 8.1   | 95  | 656*                              | 15.6 | 488                          | 1.41 | 22.4 |      |
|            | 木裏       | 112             | 9.6   | 95  | 724*                              | 14.1 | 556                          | 1.52 | 21.7 |      |
| 全体         |          |                 | 114   | 7.8 | 100                               | 564  | 9.9                          | 472  | 0.95 | 14.5 |
| FJラミナ      | 木表       | 115             | 6.1   | 104 | 554                               | 11.5 | 450                          | 0.92 | 14.2 |      |
|            | 木裏       | 112             | 8.7   | 96  | 563                               | 8.7  | 482                          | 0.98 | 15.7 |      |

a) AVG: 平均, CV: 変動係数 (%),

5%LL: 5%下限値=AVG-1.645×標準偏差

b) たわみ: 最大荷重までのクロスヘッドの下降量で示す  
※ 危険率5%で有意差あり

表2-4 曲げ強さとの相関係数

| ラミナの<br>種類 | 荷重<br>方向 | 密度     | 材縁最大<br>節径比 | 集中節<br>径比 | 曲げヤング<br>係数 |
|------------|----------|--------|-------------|-----------|-------------|
| 全体         |          | 0.016  | -0.338      | -0.603    | 0.616       |
| 通しラミナ      | 木表       | -0.007 | -0.363      | -0.556    | 0.538       |
|            | 木裏       | 0.117  | -0.185      | -0.642    | 0.741       |
| 全体         |          | 0.052  | -0.184      | -0.080    | 0.238       |
| FJラミナ      | 木表       | -0.122 | -0.264      | 0.180     | 0.204       |
|            | 木裏       | 0.167  | 0.013       | 0.143     | 0.163       |

なお、FJラミナは節径比が小さかった(表2-3)。この主たる理由は、試験体の作製に当って「FJで縦継ぎをする場合、FJ部を隣接する節の直径の3倍以上離す」という基準に従ったことにあると考えられる。

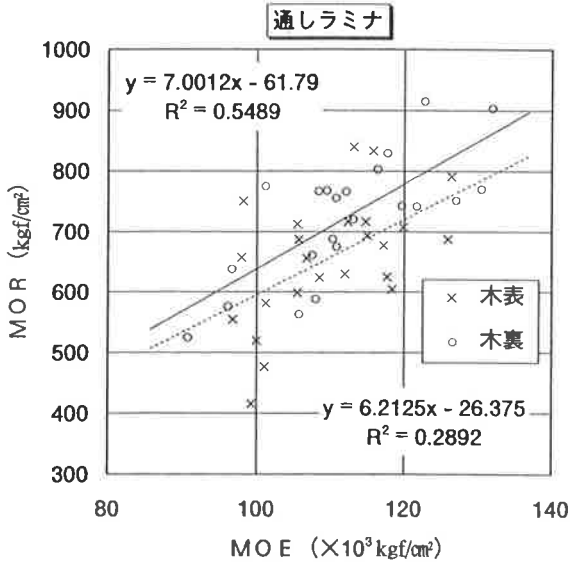


図2-6 木表・木裏荷重別の通しラミナの曲げ強さ  
近似直線は、実線：木裏荷重、点線：木表荷重。

2.3.1.2 引張試験の結果

引張試験の結果を、表2-5に示す。本実験では引張試験機のチャック内で破壊するものがかなりあったので、この表ではチャック内で破壊したものも含めて表示した。

FJラミナの引張強さが通しラミナより大きくなったのは、主として節径比の差であると思われる。節径比に差が生じた主たる理由は、上述の曲げ試験体の場合と同様であると思われる。

表2-5 引張試験体の諸データと強度性能<sup>a)</sup>

| ラミナの種類 | 試験体数<br>(個) | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> , %) |     | 材縁最大節径比(%) |      | 集中節径比(%) |     |
|--------|-------------|-------------------------------|-----|------------|------|----------|-----|
|        |             | AVG                           | CV  | AVG        | AVG  | AVG      | AVG |
| 通しラミナ  | 50          | 0.519                         | 7.5 | 4.8        | 18.6 |          |     |
| FJラミナ  | 49          | 0.527                         | 6.2 | 0.3        | 4.2  |          |     |

| ラミナの種類 | 曲げヤング係数<br>(×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> , %) |     |      | 引張強さ<br>(kgf/cm <sup>2</sup> , %) |      |      |
|--------|---|-----|------|-----------------------------------|------|------|
|        | AVG   | CV  | 5%LL | AVG                               | CV   | 5%LL |
| 通しラミナ  | 114   | 9.9 | 96   | 388                               | 27.8 | 211  |
| FJラミナ  | 117   | 8.0 | 102  | 424                               | 14.6 | 322  |

a) AVG：平均，CV：変動係数(%)，  
5%LL：5%下限値=AVG-1.645×標準偏差

2.3.1.3 FJラミナの継ぎ手効率

通しラミナとFJラミナの曲げ強さの平均値(表2-3)から継ぎ手効率を求めると、81%であった。同様に引張強さの平均値(表2-5)から求めると、100%を越えた。

これらの値はかなり優れたものであり、フィンガー形状を改良した効果が出ていると思われる。

ただし、2.3.1.1および2.3.1.2で述べたように節径比の差の影響も考えられるので、継ぎ手効率81%という数値をそのまま設計等に使うことは検討を要する。

2.3.2 FJ分散ラミナの強度特性

2.3.2.1 曲げ試験の結果

(1) FJ分散ラミナの密度・強度性能の特徴

FJ分散ラミナ(FJ=0~3)の曲げ強さは、表2-6の平均値と比較すると通しラミナと同程度のレベルにあり、FJラミナよりは大幅に強かった。また、破壊時の平均たわみ量も通しラミナに近く、かなり「ねばり」のあるラミナになっていた。

ただし、それぞれのラミナ間では曲げヤング係数の平均値・変動係数(CV)に差があるので、単純に比較することはできない。そこで、曲げヤング係数と曲げ強さおよび破壊時たわみとの近似直線を求めたところ、その位置関係は図2-7のようであった(FJ=0、2、3についても同様)。この点については、2.3.2.1(3)で考察する。

表2-6 曲げ試験体の諸データと強度特性\*

| ラミナの<br>種類 | 試験<br>体数<br>(個) | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> , %) |     | 材縁最大<br>節径比(%) |      | 集中節<br>径比(%) |     |
|------------|-----------------|-------------------------------|-----|----------------|------|--------------|-----|
|            |                 | AVG                           | CV  | AVG            | AVG  | AVG          | AVG |
| FJ=0       | 48              | 0.525                         | 5.4 | 1.6            | 8.9  |              |     |
| FJ=1       | 48              | 0.529                         | 4.8 | 1.1            | 6.7  |              |     |
| FJ=2       | 48              | 0.533                         | 4.5 | 0.4            | 5.8  |              |     |
| FJ=3       | 48              | 0.534                         | 4.6 | 0.4            | 5.2  |              |     |
| 通しラミナ      | 48              | 0.519                         | 7.4 | 2.1            | 12.8 |              |     |
| FJラミナ      | 48              | 0.523                         | 5.2 | 0.2            | 5.3  |              |     |

| ラミナの<br>種類  | 曲げヤング係数 <sup>a)</sup><br>(×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> , %) |             | 曲げ強さ <sup>b)</sup><br>(kgf/cm <sup>2</sup> , %) |             | 破壊時たわみ <sup>c)</sup><br>(cm, %) |             | 相関係数         |
|-------------|---|-------------|---|-------------|---------------------------------|-------------|--------------|
|             | AVG   | CV          | AVG   | CV          | AVG                             | CV          |              |
| FJ=0        | 122   | 13.8        | 718   | 15.5        | 1.33                            | 15.8        | 0.899        |
| FJ=1        | 123   | 14.0        | 721   | 16.6        | 1.37                            | 15.5        | 0.912        |
| FJ=2        | 121   | 10.0        | 687   | 12.1        | 1.25                            | 17.3        | 0.857        |
| <b>FJ=3</b> | <b>120</b>  | <b>11.3</b> | <b>664</b>                                      | <b>13.8</b> | <b>1.24</b>                     | <b>13.9</b> | <b>0.913</b> |
| 通しラミナ       | 111   | 8.8         | 693   | 15.4        | 1.48                            | 22.1        | 0.616        |
| FJラミナ       | 114   | 7.8         | 564   | 9.9         | 0.95                            | 14.5        | 0.238        |

\* AVG：平均，CV：変動係数(%)，  
破壊時たわみ：最大荷重までのクロスヘッドの下降量で示す

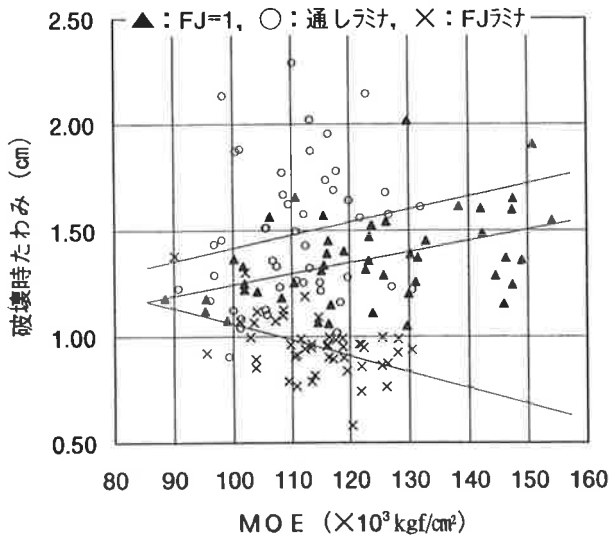
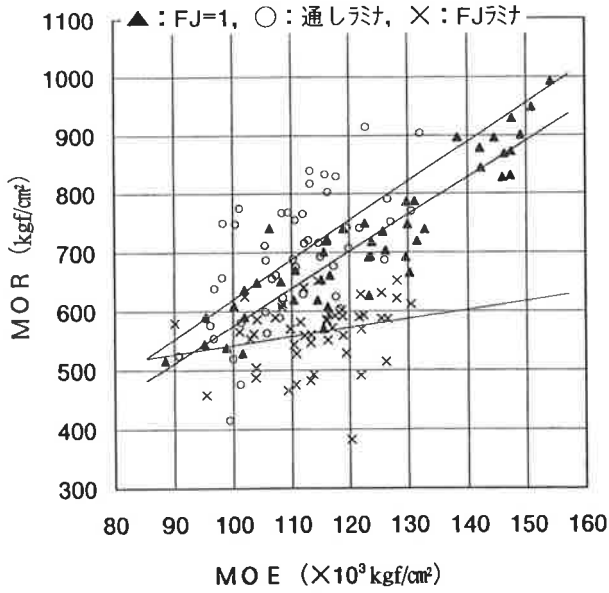


図2-7 各種ラミナにおけるMOEとMOR  
および破壊時たわみとの関係

近似直線は、いずれも上から通しラミナ、FJ=1、  
FJラミナの順

また、F J分散ラミナでは積層効果によって密度、曲げヤング係数および曲げ強さの変動係数が小さくなるものと予想されたが、結果は異なった(表2-6)。

そこで、ラミナ①～⑥別にそれぞれの値をプロットしてみたところ、ラミナ①⑥で大きく、ラミナ③④で小さかった(図2-8)。本試験ではラミナ①～⑥の元となる同一等級構成集成材を、中径木から得られたラミナを用いて作製した。そのため、ラミナ①～⑥間では成熟材率の差が大きく、上述

の各種変動係数が減少しなかったものと考えられる。

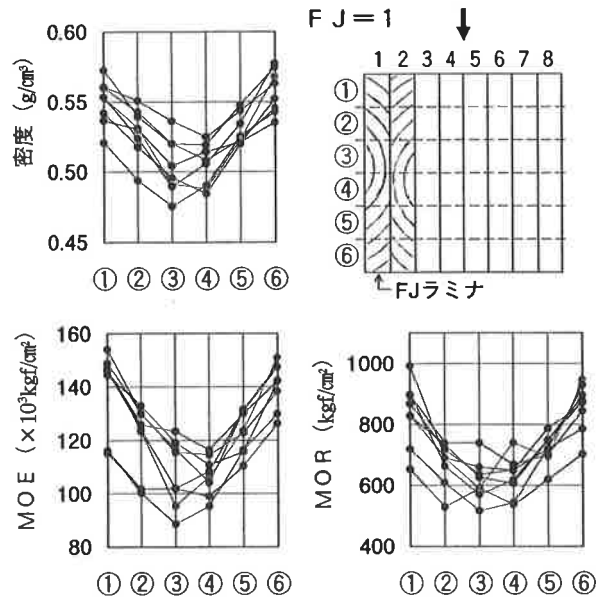


図2-8 FJ=1におけるラミナ①～⑥別の強度特性

## (2) 5%下限直線での比較

F J分散ラミナでは密度・曲げヤング係数・曲げ強さの個々の変動係数は大きかったが、曲げヤング係数と曲げ強さとの相関は高かった(表2-6、図2-7)。

そこで、図2-7において、下記により5%下限直線(5%下限の近似直線)を求めた。

MOEとMORとの近似直線が  $y = ax + b$  であるとき、5%下限直線は

$$y = ax + b - K \times \text{標準誤差} \text{ とする。}$$

ここで、KはASTM D2915のTable 3 (75% confi.)による。

その結果、通しラミナとF J分散ラミナの5%下限直線は、ほぼ同位置に存在した(図2-9、10)。

なお、通しラミナの曲げ強さにおいては、表2-3および図2-6に示したように、木裏荷重の方が強かった。そこで、F J分散ラミナではラミナ⑤⑥を木裏荷重とみなし、両者の木裏荷重のデータのみを対象として5%下限直線での比較をしたところ(図2-11)、図2-9とほぼ同様の関係が認められた。従って、図2-9、10のように、荷重方向は区別せずに比較してもよいものと思われる。

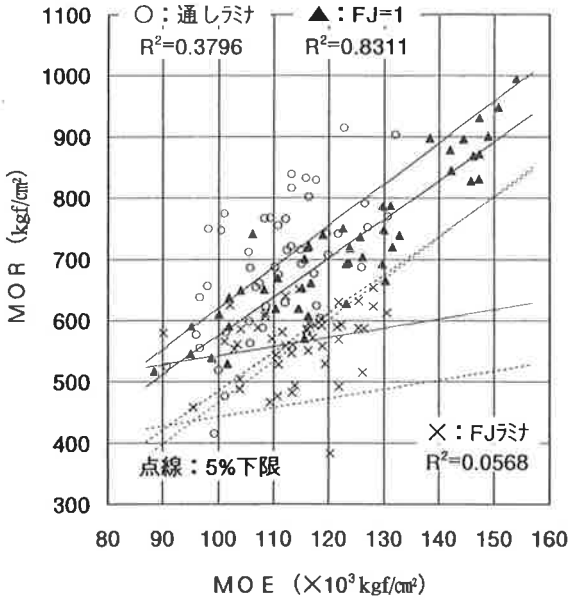


図2-9 各種ラミナにおける近似直線および5%下限直線の関係

実線：近似直線。上から通しラミナ、FJ=1、FJラミナ  
 点線：5%下限直線。上からFJ=1、通しラミナ、FJラミナ

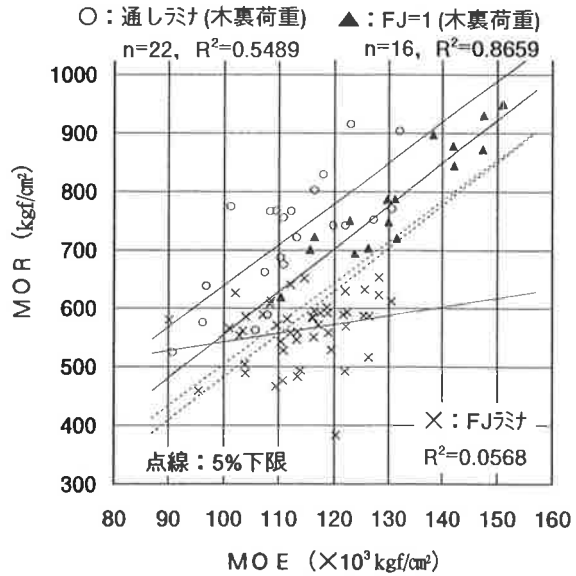


図2-11 木裏荷重によるFJ=1および通しラミナの曲げ強さ

実線：近似直線。上から通しラミナ、FJ=1、FJラミナ  
 点線：5%下限直線。上から通しラミナ、FJ=1

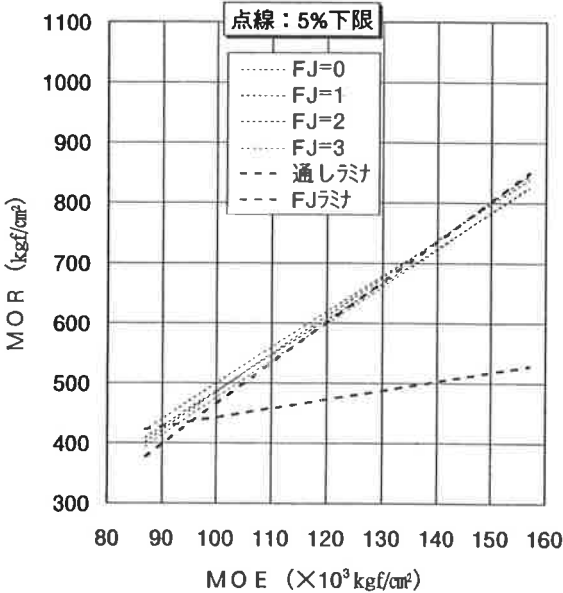


図2-10 ラミナ全種における5%下限直線の位置関係

MOE=100において、上からFJ=0、FJ=2、FJ=1、FJ=3、通しラミナ、FJラミナの順

以上より、5%下限直線で比較する場合は、FJ分散ラミナと通しラミナの強度性能をほぼ同等とみなしてよいものと思われる。

(3) 集中節径比の比較的大きな通しラミナとの比較

本試験においては、通しラミナの近似曲線がFJ分散ラミナの近似曲線より常に上方に位置した(図2-7、9)。

その理由としては、次の2点が考えられた。

- ① FJ分散ラミナは、必ず弱点(FJ部)がモーメント一定区間(14cm間)の中央付近にくるように作製した。また、弱点となる節も分散されるため、モーメント一定区間内に節の存在する確率が高くなった。
- ② 通しラミナは無作為に作製したため、必ずしも弱点(節)がモーメント一定区間内にくるとは限らなかった。

そこで、通しラミナのデータの中から集中節径比が15%または20%以上のものを抽出し、それらの近似直線を求めてみた。ここで、集中節径比を取り上げたのは、曲げ強さとの相関が高かったためである(表2-4)。また、集中節径比15または20%以上を対象としたのは、スパン60cm間で求めた通しラミナの集中節径比の平均値が18.6%であったためである(表2-5)。

その結果、集中節径比が15%または20%以上の

通しラミナの近似直線は、F J分散ラミナの近似直線とほぼ同位置に存在した(図2-12、13。図2-13の「通」は通しラミナの略)。従って、このことから、F J分散ラミナは実際の通しラミナとほぼ同等の性能を有すると考えてよいと思われる。

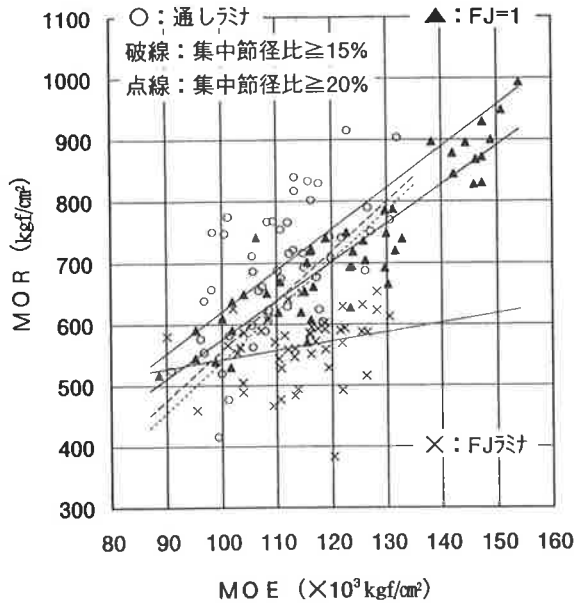


図2-12 集中節径比の大きい通しラミナとFJ=1との近似直線の関係

実線：近似直線。上から通しラミナ、FJ=1、FJラミナ

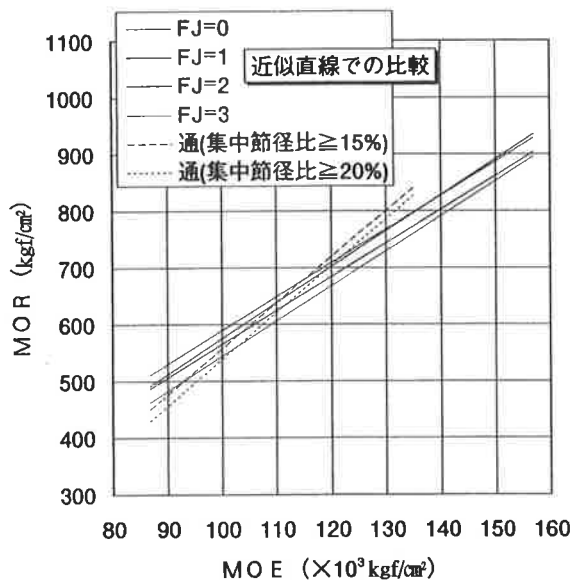


図2-13 集中節径比の大きい通しラミナとFJ=0~3との近似直線の関係

実線：近似直線。MOE=90において、上から凡例順。

#### (4) 破壊過程での比較

F J分散ラミナの破壊時たわみが通しラミナに近いことは、既に表2-6で示した。

そこで、ここでは最大荷重に至るまでの破壊過程をグラフ化して、比較検討した。

図2-14では、試験体No.を最大荷重の昇順に変えて並べ直し、各試験体ごとの破壊過程をそれぞれの縦線上に示した。例えば、通しラミナの左端の試験体は「荷重約500kgfの時点で節がらみの軽度の破壊を受けたが、その後再び最大荷重を更新し、荷重約600kgfの時点で節がらみの最終的な破壊に至った」ことを示す。なお、図中の「○：節周辺」は、節とその周辺の節ばかまを含めた部分を指す。

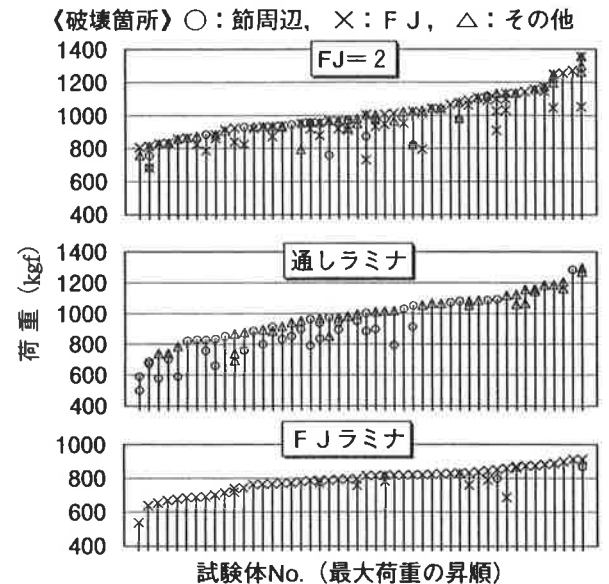


図2-14 各種ラミナの破壊過程

図2-14から明らかなように、F Jラミナは最大荷重が約900kgf以下であり、ほとんどがF J部から一度で破壊された。通しラミナは最大荷重が約600~1300kgfの範囲に分布し、いくつかの部分破壊を経ながら最大荷重に至った。

また、図2-14ではFJ=2を例示したが、最大荷重は800~1400kgf近くまでに分布し、多くは複数の部分破壊を経た後に最大荷重を示した。このように、F J分散ラミナでは1箇所のF J部が破壊されても、それが最終破壊にはつながらない例がかなり見られた。

以上より、破壊過程で比較した場合には、F J



分散ラミナは通しラミナと同程度に「ねばり」のある部材になっていることが認められた。

2.3.2.2 引張試験の結果

引張試験の結果を、表 2-7 に示す。本実験でも引張試験機のチャック内で破壊するものがかなりあったので、この表ではチャック内で破壊したものも含めて表示した。FJ ラミナの引張強さが大きいのは、2.3.1.2 で述べたとおり、主として節径比の影響と思われる。

各種ラミナの密度、節径比、曲げヤング係数、引張強さ、曲げヤング係数と引張強さとの相関係数 (表 2-7) については、曲げ試験の場合 (表 2-6) と同様の傾向が認められた。また、ラミナ①～⑥の間では、図 2-8 と同様の変動が認められた。

なお、引張試験体の節径比が大きくなっているのは、主として測定範囲が長くなったためと考えられる (2.2.2.1)。また、曲げ強さの場合と比較して、引張強さは変動係数 (CV) が大きく、曲げヤング係数との相関係数はやや小さかった。

表 2-7 引張試験体の諸データと強度特性\*

| ラミナの種類 | 試験体数 (個) | 密度 (g/cm <sup>3</sup> , %) |     | 材縁最大節径比 (%) |      | 集中節径比 (%) |    |
|--------|----------|----------------------------|-----|-------------|------|-----------|----|
|        |          | AVG                        | CV  | AVG         | CV   | AVG       | CV |
| FJ=0   | 48       | 0.525                      | 5.5 | 3.5         | 12.2 |           |    |
| FJ=1   | 48       | 0.527                      | 5.0 | 3.3         | 11.9 |           |    |
| FJ=2   | 44       | 0.532                      | 4.8 | 2.0         | 10.8 |           |    |
| FJ=3   | 48       | 0.534                      | 4.5 | 2.6         | 10.7 |           |    |
| 通しラミナ  | 50       | 0.519                      | 7.5 | 4.8         | 18.5 |           |    |
| FJ ラミナ | 49       | 0.527                      | 6.2 | 0.3         | 4.2  |           |    |

| ラミナの種類 | 曲げヤング係数 (×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> , %) |      | 引張強さ (kgf/cm <sup>2</sup> , %) |      | 曲げヤング係数と引張強さとの相関係数 |
|--------|--|------|--------------------------------|------|--------------------|
|        | AVG  | CV   | AVG                            | CV   |                    |
| FJ=0   | 121  | 12.8 | 353                            | 29.5 | 0.599              |
| FJ=1   | 121  | 13.6 | 325                            | 22.5 | 0.426              |
| FJ=2   | 122  | 10.3 | 359                            | 21.9 | 0.517              |
| FJ=3   | 121  | 11.1 | 364                            | 20.4 | 0.390              |
| 通しラミナ  | 114  | 9.9  | 388                            | 27.8 | 0.371              |
| FJ ラミナ | 117  | 8.0  | 424                            | 14.6 | -0.051             |

\* AVG: 平均, CV: 変動係数 (%)

曲げ試験の場合と同様の方法で FJ 分散ラミナと通しラミナの強度性能を比較すると、5% 下限直線については図 2-15、16 を得た。なお、以下の図中では引張強さを TS と記す。

また、集中節径比が比較的大きな通しラミナと FJ 分散ラミナとの近似直線の関係は、図 2-17 のようであった (図中の「通」は通しラミナの略)。

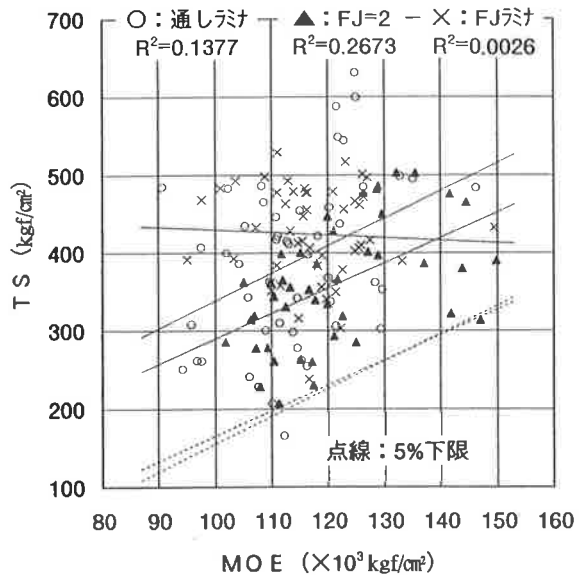


図 2-15 各種ラミナにおける近似直線および 5% 下限直線の関係

MOE=100 において、近似直線 (実線) は上から FJ ラミナ、通しラミナ、FJ=2。5% 下限直線 (点線) は FJ=2、通しラミナ。

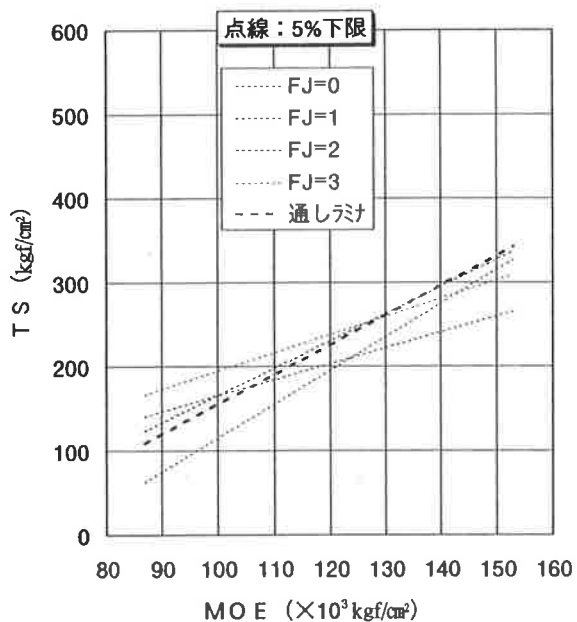


図 2-16 FJ=0～3 と通しラミナにおける 5% 下限直線の位置関係

FJ=0～3 の 5% 下限直線は、MOE=90 において上から FJ=3、FJ=1、FJ=2、FJ=0 の順。

曲げ強さの場合と比較するとそれぞれの直線がややばらついているが、これは曲げヤング係数と引張強さとの相関がやや小さかったためと考えられる。しかし、全体的な傾向としては、FJ 分散

ラミナの引張強さも通しラミナのそれとほぼ同等であるとみなし得た。

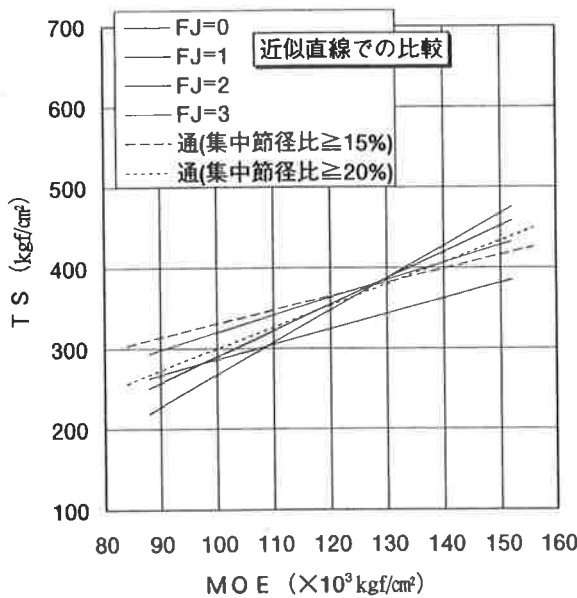


図2-17 集中節径比の大きい通しラミナと FJ=0~3 との近似直線の関係

近似直線(実線)は、MOE=90において上からFJ=3、FJ=1、FJ=2、FJ=0の順。

### 2.3.2.3 F J分散ラミナにおける曲げヤング係数の分布

カラマツ中径木から得られたL110のラミナを用いてF J分散ラミナを作製すると、ラミナの曲げヤング係数に大きなバラツキが生じた(図2-8)。従って、F J分散ラミナを実際に使用する場合には、再度グレーディングをする必要があった。

また、表2-6、7を見ると、FJ=0~3の間で、曲げヤング係数に大差はなかった。

そこで、F J分散ラミナの曲げ試験体と引張試験体の全数をひとまとめにし、図2-2のラミナ①⑥、②⑤および③④別に曲げヤング係数の分布を再集計した(表2-8、9)。

その結果、ラミナ①⑥ではL110よりも上位等級のL125やL140がかなりの比率で得られた。ラミナ②⑤ではL110が主体となるものの、L110以上が90%以上を占めた。ただし、ラミナ③④では2/3近くをL100以下が占めた。また、全体では約75%がL110以上となった。なお、将来的には実大長のラミナでの検討も必要になると思われる。

また、JASでは機械区分による等級ごとに、

表2-8 F J分散ラミナ全体における曲げヤング係数の分布(枚数)

| 機械区分<br>ラミナ等級 | データ<br>区間 | --- 頻度(枚数) --- |       |       |
|---------------|-----------|----------------|-------|-------|
|               |           | ラミナ①⑥          | ラミナ②⑤ | ラミナ③④ |
| L80           | ~80       | 0              | 0     | 0     |
|               | ~85       | 0              | 0     | 0     |
|               | ~90       | 0              | 0     | 1     |
| L90           | ~95       | 0              | 0     | 3     |
|               | ~100      | 0              | 1     | 15    |
| L100          | ~105      | 0              | 4     | 25    |
|               | ~110      | 2              | 6     | 37    |
| L110          | ~115      | 0              | 19    | 32    |
|               | ~120      | 11             | 32    | 13    |
|               | ~125      | 10             | 25    | 1     |
| L125          | ~130      | 18             | 20    | 0     |
|               | ~135      | 13             | 16    | 0     |
| L140          | ~140      | 18             | 3     | 0     |
|               | ~145      | 25             | 1     | 0     |
|               | ~150      | 18             | 0     | 0     |
| L140          | ~155      | 11             | 0     | 0     |
|               | ~160      | 0              | 0     | 0     |
|               | ~165      | 0              | 0     | 0     |
| n数(計)         |           | 126            | 127   | 127   |

表2-9 機械区分ラミナ等級別の出現頻度(%)

| 機械区分<br>ラミナ等級 | ----- 頻度(%) ----- |       |       |       |
|---------------|-------------------|-------|-------|-------|
|               | ラミナ①⑥             | ラミナ②⑤ | ラミナ③④ | 全体    |
| L80           | 0.0               | 0.0   | 0.8   | 0.3   |
| L90           | 0.0               | 0.8   | 14.2  | 5.0   |
| L100          | 1.6               | 7.9   | 48.8  | 19.4  |
| L110          | 16.7              | 59.8  | 36.2  | 37.6  |
| L125          | 38.9              | 30.7  | 0.0   | 23.2  |
| L140          | 42.9              | 0.8   | 0.0   | 14.5  |
| 計             | 100.0             | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

曲げ強さと引張強さの適合基準も設けている。そこで、これらの基準との関係を見ると、曲げ強さは平均値(図2-13)および5%下限値(図2-10)とも基準を大幅にクリアしており、全く問題はなかった。引張強さも平均値(図2-17)は確実にクリアしていたが、5%下限値(図2-16)はL110のあたりでのみ、場合によってはクリアできない可能性が残った。最後に、JASによるとE105-F300の対称異等級構成集成材を作製する場合は、最外層ラミナにL125、外層ラミナにL110を使うことになっている。本試験のよ

うにL110のラミナからF J分散ラミナを作製する場合は、L100以下の部分の有効利用を検討する必要がある。また、最初からL110の代わりにL125のラミナを使用することも考えられる。

## 2.4 要旨

F Jラミナの強度性能を改善するため、カラマツ中径木から得られたL110のラミナのみを用い、次の2点について実大サイズでの試験を実施した。

### (1) フィンガー形状の改良

主としてフィンガーの先端と底部の幅を狭くしたところ、次の結果を得た。

- ① F Jラミナと通しラミナの曲げ強さの平均値から継ぎ手効率を求めると81% (引張強さでは100%以上) となり、フィンガー形状を改良した効果が出ているものと思われる。ただし、両ラミナの節径比には大差があるので、その点を考慮に入れる必要がある。
- ② F Jラミナでは、F J部絡みの破壊が多かった (曲げ試験では100%)。そのため、F Jラミナの強度では、曲げヤング係数や節径比との相関が通しラミナより低かった。
- ③ 通しラミナの曲げ強さは、木裏荷重の方が木表荷重より約10%大きかった (危険率5%で有意)。20mm厚であっても、木表と木裏での成熟材率に差があったものと思われる。

### (2) F J分散幅はぎラミナの検討

8枚積層の同一等級構成集成材 (0~3枚にF Jを含む) を作製した後、接着層に垂直に6枚に挽き割って「F J分散ラミナ」を作製した。これらのF J分散ラミナの特長として、次の結果を得た。

- ① 密度、曲げヤング係数、曲げ強さ及び引張強さは、集成材の外側から得られたF J分散ラミナで大きく、中央から得られたF J分散ラミナで小さかった。ラミナの採取位置によって各測定値に差が生じたのは、成熟材・未成熟材の比率の差によるものと思われる。
- ② 集成材の外側から得られたラミナでは、L125やL140のラミナが80%以上を占めた。その内側から得られたラミナではL110以上が90%以上、中央から得られたラミナではL100以下が2/3近くを占めた。また、全体では約75%が

L110以上となった。

- ③ F J分散ラミナにおける曲げヤング係数と曲げ強さとの近似直線はF J数の増大に伴い若干下に移動したが、集中節径比15または20%以上の通しラミナの近似直線に近い位置にあった。
- ④ F J分散ラミナにおける曲げヤング係数と曲げ強さとの相関は高く、5%下限の近似直線は通しラミナのそれとほぼ同じ位置にあった。
- ⑤ F J分散ラミナの曲げ試験では、F J部の破壊後も最大荷重を更新する例が多く、通しラミナに近いねばりが見られた。また、破壊時たわみも、通しラミナに近い値を示した。
- ⑥ F J分散ラミナの曲げヤング係数と引張強さとの相関は曲げ強さの場合よりも低かったが、上記③、④と同様の傾向は認められた。
- ⑦ 以上より、F Jを必要とする長大な集成材の場合には、F J分散ラミナを引張側最外層 (+外層) に使用することにより、強度性能のかなりの向上が期待できる。また、F J分散ラミナは同様の目的で、集成材以外の部材の引張側最外層に接着して使用することも考えられる。

## キーワード

フィンガージョイント、幅はぎラミナ、カラマツ、欠点分散、強度性能

## 謝辞

本試験に際しては、林野庁並びに(財)日本住宅・木材技術センターから格別なるご高配を賜った。

試験体の作製に当っては、斎藤健氏や村井勇睦氏をはじめとする斎藤木材工業(株)の協力を得た。

試験体の初期値の測定等では、吉田祐美子、小沼美奈子、川上ふみ江の3氏の補助を得た。

以上の関係各位に対して、深甚なる感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 柳川靖夫, 上田正文 (1992): 集成材用ベイマツラミナの引張強度、奈良県林業試験場 研究報告、No.22、36-44
- 2) 卞熙燮、伏谷賢美、島田勝広、松藤剛、佐藤敬一 (1993): 縦継ぎを持つ積層材の曲げ強度性能およびアコースティック・エミッション特

- 性に及ぼす応力集中の影響、木材学会誌、39  
(5)、590-597
- 3) 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) 一幅はぎによる強度下限値の向上、木材工業、48  
(10)、472-476
- 4) 柴田直明、伊東嘉文、橋爪丈夫、斎藤健、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性能、日本木材加工技術協会 第16回年次大会講演要旨集、22-23
- 5) 柴田直明、伊東嘉文、橋爪丈夫、斎藤健、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、第49回日本木材学会大会 研究発表要旨集、108
- 6) 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、90-91