

## 論文 (Original article)

# 長さの異なるフィンガージョイントでたて継ぎした スギ、ヒノキ、エゾマツ材の曲げ強度特性

平松 靖<sup>1)\*</sup>、土屋 敦<sup>2)</sup>、藤本 清彦<sup>3)</sup>、宇京 斉一郎<sup>4)</sup>、宮武 敦<sup>1)</sup>、  
新藤 健太<sup>1)</sup>、林 知行<sup>5)</sup>

### 要旨

スギ、ヒノキ、エゾマツの3樹種について、異なるフィンガーカッターを用いてフィンガー長さ17 mm、6.3 mm、3.7 mmのフィンガージョイント(FJ)試験体を作製し、曲げ試験を行った。ヒノキについては、さらにフィンガー長さ6.5 mm、6.7 mmのFJ試験体を作製し、曲げ試験を行った。これらの試験結果から以下のことが明らかになった。(1) スギではフィンガー長さ17 mm、6.3 mmのFJ試験体の曲げ強度に差は見られなかった。(2) ヒノキでは曲げヤング係数14 kN/mm<sup>2</sup>未満で区分されたひき板で作製したFJ試験体では、フィンガー長さ17 mmと6.3 mmのFJ試験体で曲げ強度に差は見られなかった。曲げヤング係数14 kN/mm<sup>2</sup>以上で区分されたひき板で作製したFJ試験体では、フィンガー長さ17 mmに比べて6.3 mmのFJ試験体の曲げ強度はわずかに低かったが、6.5 mmのFJ試験体では17 mmと同等の曲げ強度が得られた。6.5 mmでは接着面積が増えたことで曲げ強度が向上したと考えられる。また、加工時の1刃あたりの送り量を0.50 mmとすることで、フィンガー長さ6.5 mm、6.7 mm曲げ強度は大きく向上した。(3) スギ、ヒノキともフィンガー長さ3.7 mmのFJ試験体は曲げ強度が低かった。(4) エゾマツでは、フィンガー長さの影響は見られず、17 mm、6.3 mm、3.7 mmのFJ試験体の曲げ強度は同等であった。

キーワード：フィンガージョイント、曲げ強度、集成材、CLT、枠組壁工法構造用製材、ラミナ、ひき板

### 1. はじめに

フィンガージョイント(以下、FJとする)は、枠組壁工法構造用たて継ぎ材の製造や構造用集成材、Cross Laminated Timberのラミナのたて継ぎに用いられている技術である。米国では1960年代後半から専用のカッターで切削加工するフィンガー長さが短く(15mm以下)、幅が狭い(10mm幅の中に3個またはそれ以上のフィンガーが存在する程度)FJの開発が進められた(Marian, J. E. 1968, 1969)。日本国内では、1970年代初頭からFJを構造材の製造に利用することを目的とした研究開発が進められた(星・千葉 1973, 1976, 宮島・生田 1976, 星 1978, 堀江・倉田 1982, 1984, 1986, 堀江 1984, (財)日本住宅・木材技術センター 1983, 1984, 海老原 1984, 有馬 1984)。その後、1985年にFJを構造用に用いるための技術基準が示され、その形状および諸要素(Fig. 1)に関して、①スカーフ傾斜比:1/7.5以下であること、②かん合度(フィンガーの先端厚さと底部幅の差):0.1 mm以上であること、③フィンガー先端厚さとピッチの比:枠材用(甲、乙)0.15-0.20以下であること、フランジ・トラス用0.15以下であること、④フィンガー長さ:枠材用(甲、乙)10.5 mm以上であ

ること、フランジ・トラス用12 mm以上であること、を満足するものであることとされた((財)日本住宅・木材技術センターたて接合委員会 1985)。現在、国内では、管柱や横架材に用いられる集成材用ラミナのたて継ぎにはフィンガー長さ12.4~25 mm(公称値)のFJが使用されているが、フィンガー長さをさらに短くすることにより、たて継ぎ時の歩留りの向上、加工時の消費エネルギーの削減、カッターに係るランニングコストの抑制、接着剤使用量の低減が期待できる。また、ピッチを小さくすることでかん合時に生じる割裂力が小さくなる(堀江 1984)ので、接合時の圧力を高くしてスカーフ面に安定した圧縮圧力を加えることができるほか、フィンガー長さが短いほうがスカーフ面を平滑に加工できるため、良好な接着が得られると考えられる(堀江・倉田 1984)。既報(平松ら 2021)においては、長さの短いフィンガーとして、フィンガー長さ3.5 mmのスギFJ材を作製し、その曲げ、引張り試験を行い、その結果としてフィンガー長さ16 mmのスギFJ材と同等の強度を得るためには、FJの形状に関する各要素(フィンガー長さ、スカーフ傾斜比、ピッチ、先端厚さ、底部幅)の検討を行い、FJの接着力の向

原稿受付:令和3年5月31日 原稿受理:令和3年9月27日

1) 森林総合研究所 複合材料研究領域

2) 兼房株式会社

3) 森林総合研究所 木材加工・特性研究領域

4) 森林総合研究所 構造利用研究領域

5) 京都大学生存圏研究所

\* 森林総合研究所 複合材料研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

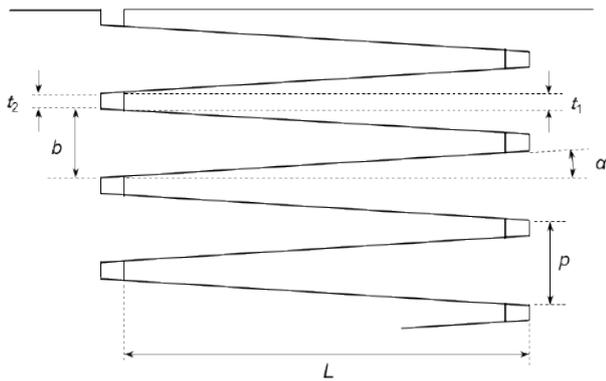


Fig. 1. フィンガージョイントの形状要素

**Geometric parameters of a finger joint**

$L$ : フィンガー長さ Finger length、 $p$ : ピッチ Finger pitch、 $t_1$ : 先端厚さ Tip thickness、 $t_2$ : 底部幅 Valley width、 $b$ : 根元厚さ Bottom thickness、 $\tan \alpha$ : スカーフ傾斜比 Slope

上を図る必要があることを明らかにした。

そこで本研究では、フィンガー長さ 15 mm (公称値) の FJ と同程度の接着面積を有し、同等の強度が得られるように FJ の形状の各要素について検討を行い、フィンガー長さ 6~7 mm (公称値)、ピッチ 1.7 mm、スカーフ傾斜比 1/10 以下に木材を加工できるようなフィンガーカッターを作製し、①このフィンガーカッターを用いて加工したフィンガー長さ 6.3 mm のスギ、ヒノキ、エゾマツ FJ 試験体の曲げ強度特性を調べ、比較対象として既報 (平松ら 2021) と同じフィンガーカッターを用いて加工した、フィンガー長さ 17 mm、3.7 mm の FJ 材の曲げ強度特性を調べた。フィンガー長さは、FJ 部のかん合の状態を確認したうえで、上記の値に設定した。さらにヒノキについては、②フィンガー長さ 6.3 mm に加工したフィンガーカッターと同じカッターを用いて、フィンガー長さ 6.5 mm の FJ 試験体を作製し、その曲げ強度特性を調べたほか、③別途作製したフィンガーカッターを用いてフィンガー長さ 6.7 mm の FJ 試験体を作製し、曲げ試験を行った。なお、本稿におけるフィンガー長さ、ピッチ等の FJ の各要素の寸法は、カッターの刃の寸法ではなく、加工された材の寸法である。

2. フィンガージョイントの形状の各要素の検討

フィンガージョイント (FJ) の形状と強度に関して、Selbo (1963)、Rao et al. (2012) はフィンガー形状の各要素 (フィンガー長さ、スカーフ傾斜比、ピッチ、先端厚さ) (Fig. 1) に関する検討を行い、FJ 材の強度を向上させるためには十分な接着面積が必要であり、フィンガーの接着面のせん断力が、フィンガーの根元の部分 (ネットセクション) の引張り力に耐えられるようにフィンガー長さとピッチを適正な値にすることが重要であるとしている。本研究では構造用集成材用ラミナに使用されているフィンガー長さ 15 mm (公称値) の FJ と同等の引張り強度が得られるよう、フィンガー長さ 15 mm (公称値) の FJ 形

状を参考に、接着面積が大きく、材の幅に対するネットセクションの比率が高く、フィンガー長さがより短い FJ 形状に関して、フィンガー長さ、ピッチ、スカーフ傾斜比、先端厚さといった要素の検討を行った。フィンガー長さを短くした場合、接着面積を大きくするにはピッチを小さくする必要がある。また、スカーフ傾斜比と引張り強度の関係を明らかにした既往の文献 (森・今泉 1957) の結果からスカーフ傾斜比は 1/10 以下とすることとした。これらの検討の結果、フィンガーカッターの製造、木材の加工精度、FJ のかん合等も考慮し、フィンガー長さを 6~7 mm (公称値)、ピッチを 1.7mm、スカーフ傾斜比を 1/10 以下の形状に木材を加工できるようなフィンガーカッターを作製した。この FJ でたて継ぎされた材の木口断面 (1 mm × 1 mm) あたりのスカーフ面の面積 (有効接着面積) は、スカーフ傾斜比が十分に小さいことから、スカーフ面の長さと同じとして計算した場合、フィンガー長さが 6 mm のとき、7.1 mm<sup>2</sup> となり、フィンガー長さ 15 mm、ピッチ 3.8 mm の FJ の有効接着面積 7.9 mm<sup>2</sup> の 90% である。

3. 試験体及び試験方法

3.1 ひき板の種類

実験には、スギ (*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、エゾマツ (*Picea jezoensis*) のひき板を用いた。スギひき板 (幅 125 × 厚さ 33 × 長さ 4000 mm)、およびヒノキひき板 (幅 125 × 厚さ 35 × 長さ 4000 mm) は、連続式グレーディングマシンを用いて長さ方向の曲げヤング係数の平均値を測定し、Table 1 に示すようにグループ分けした。エゾマツひき板 (幅 125

Table 1. ひき板の曲げヤング係数によるグループ  
Group of lumber by bending Young's moduli

| 樹種<br>Species                                 | グループ<br>Group | $E_{gm}$ の範囲<br>Range of $E_{gm}$<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|---|---------------|--|
| スギ<br>sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> )    | Egm05         | $5.0 \leq E_{gm} < 6.0$                                    |
|   | Egm08         | $8.0 \leq E_{gm} < 9.0$                                    |
| ヒノキ<br>hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | Egm10         | $10.0 \leq E_{gm} < 11.0$                                  |
|   | Egm11         | $11.0 \leq E_{gm} < 12.5$                                  |
|   | Egm12.5       | $12.5 \leq E_{gm} < 14.0$                                  |
|   | Egm14         | $14.0 \leq E_{gm}$   |
| エゾマツ<br>ezomatsu ( <i>Picea jezoensis</i> )   | -             | -  |

$E_{gm}$ : 連続式グレーディングマシンを用いて測定したひき板の長さ方向の曲げヤング係数の平均値  
Average of bending Young's moduli of lumber measured by grading machine

Table 2. 各種曲げ試験体の作製に供したフィンガーカッターの種類、加工条件、および曲げ試験体の寸法  
Finger joint profile, processing conditions, and dimensions of bending specimens

| 試験体名<br>Specimen | フィンガーカッター番号<br>Finger cutter No. | フィンガージョイントの形状<br>Finger joint profile of wood |                      | 1刃あたりの送り量<br>Feed per knife<br>(mm/knife) | 圧縮条件<br>Press condition                    |  |                             | 曲げ試験体の寸法<br>Dimensions of bending specimens |                         |                      |
|------------------|----------------------------------|---|----------------------|---|--|--|-----------------------------|---|-------------------------|----------------------|
|                  |                                  | フィンガー長さ<br>Finger length<br>(mm)              | ピッチ<br>Pitch<br>(mm) |   | 樹種<br>Species                              | 圧力<br>Pressure<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮時間<br>Press time<br>(sec) | 幅<br>Width<br>(mm)                          | 厚さ<br>Thickness<br>(mm) | 長さ<br>Length<br>(mm) |
| FJ-17            | No.1                             | 17.0  | 3.8                  | 1.3                                       | スギ sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> )    | 8.0                                    | 10                          | 120   | 29                      | 840                  |
|                  |                                  |   |                      |   | ヒノキ hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | 9.0                                    |                             |   |                         |                      |
|                  |                                  |   |                      |   | エゾマツ ezomatsu ( <i>Picea jezoensis</i> )   | 8.0                                    |                             |   |                         |                      |
| FJ-6.3           | No.2                             | 6.3   | 1.7                  | 1.3                                       | スギ sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> )    | 10                                     | 10                          | 120   | 29                      | 840                  |
|                  |                                  |   |                      |   | ヒノキ hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | 12                                     |                             |   |                         |                      |
|                  |                                  |   |                      |   | エゾマツ ezomatsu ( <i>Picea jezoensis</i> )   | 10                                     |                             |   |                         |                      |
| FJ-3.7           | No.3                             | 3.7   | 1.6                  | 1.3                                       | スギ sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> )    | 10                                     | 10                          | 120   | 29                      | 840                  |
|                  |                                  |   |                      |   | ヒノキ hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | 12                                     |                             |   |                         |                      |
|                  |                                  |   |                      |   | エゾマツ ezomatsu ( <i>Picea jezoensis</i> )   | 10                                     |                             |   |                         |                      |
| FJ-6.5           | No.2                             | 6.5   | 1.7                  | 1.3                                       | ヒノキ hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | 12                                     | 10                          | 120   | 29                      | 840                  |
|                  |                                  |   |                      |   | スギ sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> )    | 12                                     |                             |   |                         |                      |
|                  |                                  |   |                      |   | エゾマツ ezomatsu ( <i>Picea jezoensis</i> )   | 10                                     |                             |   |                         |                      |
| FJ-6.5-0.50      | No.2                             | 6.5   | 1.7                  | 0.50                                      | ヒノキ hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | 12                                     | 5                           | 58  | 29                      | 850                  |
| FJ-6.7-0.50      | No.4                             | 6.7   | 1.6                  | 0.50                                      | ヒノキ hinoki ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | 12                                     | 5                           | 58  | 29                      | 850                  |

×厚さ 33 ×長さ 3600 mm) は、曲げヤング係数によるグループ分けは行わなかった。

### 3.2 フィンガーカッターの種類

実験には Table 2 に示す No. 1 ~ No. 4 の 4 種類のフィンガーカッター (いずれも兼房 (株) 製) を使用した。それぞれのカッターの刃の長さは異なるが形状はほぼ相似である。したがって、加工された木材のフィンガーの長さや形状 (以下、木型とする) は、フィンガー長さが長い場合、ピッチは大きくなり、短い場合、ピッチは小さくなる。また、Table 2 の No. 2 のカッターを用いた加工のように、同一のカッターを用いた場合でもフィンガー長さを微調整することが可能である。

### 3.3 FJ 試験体の作製

#### 3.3.1 フィンガー長さ 17 mm、6.3 mm、3.7 mm のスギ、ヒノキ、エゾマツ FJ 試験体の作製

スギ、ヒノキ、エゾマツひき板から長さ 435 mm の材を切り出し、Table 2 に示される 3 種類のフィンガーカッター No. 1 ~ No. 3 を用いて、それぞれ曲げ試験体 FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7 を作製した。スギ、ヒノキについては Table 1 に示したグループごとに、同じひき板から切り出した材同士をたて継ぎし、エゾマツについては同じひき板から切り出した材同士をたて継ぎした。ひき板の枚数の都合により、試験体数は、スギについては各グループ、FJ の種類につき 8 ~ 12 体、ヒノキについては各グループ、FJ の種類につき 5 ~ 11 体、エゾマツについては FJ の種類につき 18 ~ 22 体であった。

フィンガーの切削加工にはフィンガー加工機 ((株) 太平製作所 C64-KDL) を用い、ひき板の幅面にフィンガー形状が現れるように加工した。加工時のフィンガーカッターの回転数は 3500 rpm、材の送り速度は 9.0 m/min とした。このときの 1 刃あたりの送り量は 1.3 mm/knife であった。接着剤にはレゾルシノール系樹脂 ((株) オーシカ DF-40) を用い、圧縮時に十分にはみ出す程度の量をたて継ぎされる両方の材のフィンガーにナイロンブラシで塗布 (両面塗布) した。圧縮にはフィンガージョイントプレス ((株) 菊川鉄工所 FAC15) を用い、Table 2 に示す圧縮圧力を材端から加え、圧縮時間 10 秒でたて継ぎした。圧縮終了後、温度約 20 °C、相対湿度 55 ~ 60% の室内で約 1 か月間養生した後、4 面をプレーナーで加工して、幅 120 ×厚さ 29 ×長さ約 840 mm に仕上げた。

#### 3.3.2 フィンガー長さ 6.5 mm のヒノキ FJ 試験体の作製

Table 1 のヤング係数のグループ Egm14 のヒノキひき板から長さ 435 mm の材を切り出し、Table 2 に示される試験体 FJ-6.3 の作製に用いたものと同じフィンガーカッター No. 2 を使用して、フィンガー長さ 6.5 mm、ピッチ 1.7 mm の FJ 試験体 (以下、FJ-6.5 とする) を作製した。フィンガーの加工条件、圧縮条件は Table 2 のとおりであ

る。圧縮終了後、温度約 20 °C、相対湿度 55 ~ 60% の室内で約 1 か月間養生した後、4 面をプレーナーで加工して、幅 120 × 厚さ 29 × 長さ約 840 mm に仕上げた。

### 3.3.3 試験体幅 58 mm、フィンガー長さ 6.5 mm、6.7 mm のヒノキ FJ 試験体の作製

フィンガー長さ 6 ~ 7 mm (公称値) の FJ について、フィンガーの形状および切削加工条件の影響を調べるために、Table 1 に示されたヤング係数のグループ Egm14 のヒノキひき板 11 枚を、長さ 1000 mm に切断し、さらに幅 60 mm に縦挽きした後、それらをジョイントのない試験体 (NJ) 用と 2 種類の FJ 試験体用に分けた。FJ 試験体の作製には Table 2 の 2 種類のフィンガーカッター No. 2 と No. 4 を用い、それぞれ曲げ試験体 FJ-6.5-0.50、FJ-6.7-0.50 を作製した。加工された FJ の形状は Table 2 のとおりである。なお、FJ 試験体は上記の長さ 1000 mm のひき板を長さ 500 mm に切断した後、たて継ぎして作製した。フィンガーの切削加工にはフィンガー加工機 ((株) 太平製作所 C64-KDL) を用い、ひき板の幅面にフィンガー形状が現れるように加工した。加工時のフィンガーカッターの回転数は 3500 rpm とし、送り量が 0.50 mm/knife となるように材の送り速度を 3.5 m/min に調整した。上記 3.3.1 と同じ方法で接着剤の塗布、圧縮を行った。圧縮圧力は 12.0 MPa とした。また、設定圧力がかかった段階でフィンガージョイント部から接着剤が十分にはみ出し、その後もはみ出す量に変化が見られないことから、フィンガージョイントが十分にかん合されていると判断し、圧縮時間を 3.3.1、3.3.2 よりも短い 5 秒とした。接着剤にはレゾルシノール系樹脂 ((株) オーシカ DF-40) を用いた。約 2 週間空調のない室内で養生した後、4 面をプレーナーで加工して、幅 58 × 厚さ 29 × 長さ約 850 mm に仕上げ、温度 20 °C、相対湿度 65% の室内に 1 週間静置した。

### 3.4 FJ 試験体、NJ 試験体の曲げ試験

各試験体の曲げ試験には最大容量が 50 kN の万能試験機 ((株) 島津製作所 AG-5000B) を用いて、3 等分点 4 点荷重方式で実施した。試験体のフラットワイズ方向の曲げ試験とし、支点間距離は試験体の厚さの 21 倍の 609 mm、荷重点間距離は 203 mm とした。FJ が荷重点間の中央に、また、FJ の形状が現れる面から加力 (垂直 FJ) されるように試験体を設置した。荷重速度は 5 mm/min とした。支点間中央の上部から試験体に 2 本 (幅 58 mm の FJ 試験体および NJ 試験体を用いた曲げ試験については 1 本) の変位計 ((株) 東京測器研究所 CDP-50) の測定子を接触させて、加力時のたわみ量を測定した。

最大荷重の 10 ~ 40% の範囲における荷重と支点間中央のたわみ量の平均値との関係から見かけの曲げヤング係数を求め、最大荷重から曲げ強さを算出した。また、最大荷重の 10% と 40% の荷重とたわみ量の点を結んだ直線の y 軸の値 (荷重の値) と、荷重-たわみ量の関係

を示す曲線の y 軸の値 (荷重の値) が最大荷重の 1% に相当する値以上離れた点を比例限度荷重とし (大野ら 2010a, b)、最大荷重に対する割合を求めた。

試験時の荷重、たわみ量は静ひずみ測定器 ((株) 東京測器研究所 TDS-303) を用いて 1 秒間隔で収録した。試験体破壊部の近傍から長さ方向に約 30 mm の材を切り出し、全乾法で含水率を求めた。

## 4. 結果と考察

### 4.1 曲げ試験結果

#### 4.1.1 フィンガー長さ 17 mm、6.3 mm、3.7 mm のスギ、ヒノキ、エゾマツ FJ 試験体の曲げ試験結果

スギ、ヒノキ、エゾマツについて、Table 2 に示される 3 種類のフィンガーカッター No. 1 ~ No. 3 を用いて作製したフィンガー長さ 17 mm、6.3 mm、3.7 mm の FJ 試験体 (FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7) の曲げ試験結果を Table 3 ~ 5 に、曲げヤング係数と曲げ強さの関係を Fig. 2 ~ 4 に、荷重とたわみ量の関係を Fig. 5 ~ 7 に、FJ 試験体の破壊の状態の例を Photo 1 ~ 3 に示す。次節以降において樹種別の結果を詳述する。

#### 4.1.1.1 スギ FJ 試験体

スギ FJ 試験体 FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7 の曲げヤング係数は、Egm05、Egm08 グループともに、フィンガーの長さに関わらず同程度であった。曲げ強さは、Egm05、Egm08 両グループにおいて、FJ-17 と FJ-6.3 では同程度であった。一方、FJ-3.7 の曲げ強さはそれらよりも低く、FJ-17 の曲げ強さの平均値との比は Egm05 で 0.82、Egm08 で 0.75 であった (Table 3、Fig. 2)。FJ 試験体の曲げ強さには接着部の面積が影響すると考えられるが、FJ-6.3 の FJ-17 に対する接着面積の比が 0.83 であるのに対して、FJ-3.7 についてはその比が半分程度の 0.52 と小さいため、その結果として接着力が不足し、曲げ強さが低かったと考えられる。既報 (平松ら 2021) では、本報で使用したフィンガーカッター No. 1、No. 3 と同じカッターを用い、フィンガー長さが 16.0 mm および 3.5 mm のフィンガージョイントスギラミナ (FJ-16、FJ-3.5) の曲げ試験を行い、FJ-3.5 の FJ-16 に対する曲げ強さの比が Egm05、Egm08 でそれぞれ 0.75、0.78 であったと報告したが、これらは本報での結果と同程度の値であった。

最大荷重時のたわみ量 (Table 3、Fig. 5) は、Egm05 では、FJ-17 と FJ-6.3 は同程度であったが、FJ-3.7 はそれらよりも小さく、FJ-17 に対する比は 0.75 であった。Egm08 では、FJ-17 に対する FJ-6.3 の比は 0.85、FJ-3.7 ではその比は 0.65 であった。最大荷重に対する比例限度荷重の割合 (Table 3) は、FJ-17 と FJ-6.3 は Egm05 でそれぞれ 65.6%、64.0%、Egm08 でそれぞれ 71.9%、69.2% と同程度であったが、FJ-3.7 は Egm05 で 74.3%、Egm08 で 87.4% であった。特に、Egm08 では比例限度を超えると間もなく破壊が生じたと考えられる。既報における FJ-16、FJ-3.5 に比べて、

FJ-17 および FJ-3.7 のほうが、最大荷重時のたわみ量はやや大きくなり、最大荷重に対する比例限度荷重の割合はやや小さくなったが、その要因としては、同じカッターで加工した場合でもフィンガー長さを長く調整することで、フィンガーの先端厚さが小さくなるため、より深くかん合が生じ、接着面積も大きくなったことが考えられる。

FJ 試験体の破壊の状態 (Photo 1) は、FJ-17、FJ-6.3 については、Egm05、Egm08 ともにフィンガーの根元での破壊が主であり、いくつかの試験体でフィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在したものが見られた。FJ-3.7 については、Egm05、Egm08 ともにフィンガーの根元での破壊が主であった。また、FJ-3.7 では、ほぼすべての試験体で下面 (引張り側)、上面 (圧縮側) とも破断して 2 つに分かれた。

4.1.1.2 ヒノキ FJ 試験体

ヒノキ FJ 試験体 FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7 の曲げヤング係

数はそれぞれのグループにおいてフィンガーの長さに関わらず同程度であった。同じグループ内で曲げ強さの平均値を比較すると、Egm10、Egm11、Egm12.5 では FJ-17 と FJ-6.3 は同程度であった。Egm14 では FJ-6.3 は FJ-17 に比べてやや低かった (Table 4, Fig. 3)。この差が生じたのは FJ-17 と同等の曲げ強さを得るために要求される荷重に対して接着力が不足していたことによると考えられる。フィンガーの切削加工時の 1 刃あたりの送り量が大きいほど、フィンガー先端部の欠けが生じること、先端部、スカーフ部の粗さが大きくなること、フィンガー長さ 6 mm のフィンガーについては送り量が 1.0 mm/knife よりも大きくなるとフィンガー先端部の欠けが見られたことが報告されている (藤本ら 2018, Fujimoto et al. 2019)。Egm14 について、先端部の欠けやスカーフ部の粗さの測定は行っていないが、これらの影響により接着面積の不足や接着力の不足が生じたために、FJ-17 と同等の曲げ強さが得られなかったとも考えられる。1 刃あたりの送り量を小さくしてフィンガー加工を行うことにより、先端

Table 3. スギ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げ試験結果  
Results of bending test of sugi (*Cryptomeria japonica*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)

| Species                                       | Group | FJ     | n       |         | $\rho$               | $E_b$                 | $\sigma_b$           | $P_{bp}$ | Ratio of $P_{bp}$ to maximum load (%) | Def. at maximum load (mm) | MC (%) |
|---|-------|--------|---------|---------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------|---------------------------------------|---------------------------|--------|
|   |       |        |         |         | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kN/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N)      |                                       |                           |        |
| スギ<br>sugi<br>( <i>Cryptomeria japonica</i> ) | Egm05 | FJ-17  | 8       | Avg.    | 429                  | 5.22                  | 33.4                 | 3610     | 65.6                                  | 20.2                      | 11.8   |
|   |       |        |         | Min.    | 381                  | 3.65                  | 28.0                 | 2960     | 56.7                                  | 16.6                      | 10.9   |
|   |       |        |         | Max.    | 487                  | 5.73                  | 38.4                 | 4109     | 73.5                                  | 24.6                      | 13.8   |
|   |       |        |         | S.D.    | 33.7                 | 0.688                 | 3.45                 | 363.8    | 5.55                                  | 3.23                      | 1.04   |
|   |       |        |         | C.V.(%) | 7.87                 | 13.2                  | 10.3                 | 10.08    | 8.45                                  | 16.0                      | 8.75   |
|   |       | FJ-6.3 | 10      | Avg.    | 411                  | 5.48                  | 33.3                 | 3430     | 64.0                                  | 19.0                      | 12.6   |
|   |       |        |         | Min.    | 337                  | 4.27                  | 24.9                 | 2327     | 54.0                                  | 12.5                      | 10.9   |
|   |       |        |         | Max.    | 461                  | 6.22                  | 41.4                 | 4144     | 82.1                                  | 25.5                      | 14.7   |
|   |       |        |         | S.D.    | 40.9                 | 0.621                 | 5.97                 | 515.2    | 9.25                                  | 4.01                      | 1.39   |
|   |       |        |         | C.V.(%) | 9.94                 | 11.3                  | 17.9                 | 15.02    | 14.4                                  | 21.0                      | 11.1   |
|   |       | FJ-3.7 | 12      | Avg.    | 424                  | 5.28                  | 27.3                 | 3305     | 74.3                                  | 15.1                      | 12.0   |
|   |       |        |         | Min.    | 351                  | 3.86                  | 19.9                 | 2348     | 55.7                                  | 11.4                      | 10.7   |
|   |       |        |         | Max.    | 492                  | 5.87                  | 35.0                 | 4663     | 100                                   | 19.8                      | 13.5   |
|   |       |        |         | S.D.    | 51.2                 | 0.584                 | 4.34                 | 641.3    | 15.4                                  | 2.55                      | 0.987  |
|   |       |        |         | C.V.(%) | 12.1                 | 11.1                  | 15.9                 | 19.40    | 20.7                                  | 16.8                      | 8.23   |
|   | Egm08 | FJ-17  | 8       | Avg.    | 426                  | 7.97                  | 43.7                 | 5144     | 71.9                                  | 17.0                      | 11.8   |
|   |       |        |         | Min.    | 373                  | 5.76                  | 34.3                 | 3922     | 56.4                                  | 12.3                      | 10.1   |
|   |       |        |         | Max.    | 494                  | 9.11                  | 53.0                 | 6175     | 82.7                                  | 22.8                      | 13.0   |
|   |       |        |         | S.D.    | 43.6                 | 1.00                  | 6.98                 | 725.5    | 8.70                                  | 3.54                      | 1.07   |
|   |       |        |         | C.V.(%) | 10.2                 | 12.5                  | 16.0                 | 14.10    | 12.1                                  | 20.7                      | 9.12   |
|   |       | FJ-6.3 | 10      | Avg.    | 425                  | 8.31                  | 41.0                 | 4586     | 69.2                                  | 14.6                      | 12.1   |
|   |       |        |         | Min.    | 369                  | 7.04                  | 26.1                 | 3156     | 60.4                                  | 10.5                      | 10.9   |
|   |       |        |         | Max.    | 478                  | 9.31                  | 50.0                 | 5521     | 79.5                                  | 18.7                      | 13.2   |
|   |       |        |         | S.D.    | 42.1                 | 0.622                 | 6.84                 | 751.8    | 6.83                                  | 2.69                      | 0.841  |
| C.V.(%)                                       |       |        |         | 9.90    | 7.48                 | 16.7                  | 16.39                | 9.86     | 18.4                                  | 6.97                      |        |
| FJ-3.7  |       | 12     | Avg.    | 412     | 8.34                 | 32.8                  | 4656                 | 87.4     | 11.0                                  | 12.4                      |        |
|   |       |        | Min.    | 365     | 7.13                 | 26.4                  | 3860                 | 67.1     | 8.83                                  | 10.8                      |        |
|   |       |        | Max.    | 447     | 9.22                 | 39.2                  | 5166                 | 100      | 14.0                                  | 13.5                      |        |
|   |       |        | S.D.    | 24.9    | 0.616                | 4.03                  | 391.4                | 11.3     | 1.42                                  | 0.868                     |        |
|   |       |        | C.V.(%) | 6.04    | 7.38                 | 12.3                  | 8.406                | 13.0     | 12.9                                  | 6.99                      |        |

Species : 樹種 . Group : グループ (Table 1 を参照) See Table 1. FJ : 曲げ試験体名 Name of bending specimens.  
n : 試験体数 Number of specimens. Avg. : 平均値 Average value. Min. : 最小値 Minimum value. Max. : 最大値 Maximum value.  
S.D. : 標準偏差 Standard deviation. C.V. : 変動係数 Coefficient of variation.  
 $\rho$  : 密度 Density.  $E_b$  : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.  
 $P_{bp}$  : 曲げ比例限度荷重 Proportional limit load.  
Ratio of  $P_{bp}$  to maximum load : 最大荷重に対する曲げ比例限度荷重の割合 Ratio of propotional limit load to maximum load.  
Def. at maximum load : 最大荷重時のたわみ量 Deflection at maximum load. MC : 含水率 Moisture content.

**Table 4. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げ試験結果**  
**Results of bending test of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)**

| Species  | Group   | FJ     | n       |         | $\rho$               | $E_b$                 | $\sigma_b$           | $P_{bp}$ | Ratio of $P_{bp}$ to maximum load | Def. at maximum load | MC    |
|--|---------|--------|---------|---------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------|-----------------------------------|----------------------|-------|
|  |         |        |         |         | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kN/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N)      | (%)                               | (mm)                 | (%)   |
| ヒノキ<br>hinoki<br>( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | Egm10   | FJ-17  | 11      | Avg.    | 461                  | 10.7                  | 55.8                 | 6569     | 71.6                              | 16.4                 | 12.8  |
|  |         |        |         | Min.    | 416                  | 10.1                  | 52.0                 | 5790     | 61.1                              | 13.7                 | 11.4  |
|  |         |        |         | Max.    | 513                  | 12.5                  | 60.4                 | 7355     | 83.3                              | 18.8                 | 15.1  |
|  |         |        |         | S.D.    | 33.0                 | 0.702                 | 2.56                 | 480.7    | 5.98                              | 1.62                 | 1.16  |
|  |         |        |         | C.V.(%) | 7.16                 | 6.56                  | 4.59                 | 7.317    | 8.35                              | 9.92                 | 9.08  |
|  |         | FJ-6.3 | 9       | Avg.    | 454                  | 10.9                  | 58.4                 | 6398     | 67.3                              | 17.8                 | 12.5  |
|  |         |        |         | Min.    | 413                  | 10.2                  | 52.4                 | 4995     | 52.6                              | 15.6                 | 11.1  |
|  |         |        |         | Max.    | 491                  | 11.6                  | 63.6                 | 7352     | 74.5                              | 20.7                 | 14.1  |
|  |         |        |         | S.D.    | 27.9                 | 0.414                 | 3.28                 | 720.6    | 7.10                              | 1.73                 | 1.01  |
|  |         |        |         | C.V.(%) | 6.15                 | 3.78                  | 5.61                 | 11.26    | 10.6                              | 9.76                 | 8.06  |
|  |         | FJ-3.7 | 11      | Avg.    | 468                  | 10.7                  | 41.0                 | 5879     | 88.5                              | 11.7                 | 12.0  |
|  |         |        |         | Min.    | 416                  | 8.21                  | 32.2                 | 4879     | 55.6                              | 8.40                 | 11.3  |
|  | Max.    |        |         | 520     | 12.5                 | 54.8                  | 6708                 | 99.4     | 20.3                              | 13.0                 |       |
|  | S.D.    |        |         | 31.2    | 1.28                 | 6.52                  | 723.2                | 13.1     | 3.57                              | 0.595                |       |
|  | C.V.(%) |        |         | 6.67    | 12.0                 | 15.9                  | 12.30                | 14.8     | 30.5                              | 4.96                 |       |
|  | Egm11   | FJ-17  | 11      | Avg.    | 463                  | 11.6                  | 55.2                 | 6583     | 72.5                              | 14.5                 | 12.8  |
|  |         |        |         | Min.    | 423                  | 9.98                  | 33.9                 | 3708     | 64.1                              | 9.83                 | 11.5  |
|  |         |        |         | Max.    | 507                  | 13.0                  | 64.1                 | 7542     | 86.2                              | 17.5                 | 18.5  |
|  |         |        |         | S.D.    | 23.6                 | 0.943                 | 8.12                 | 1103     | 7.19                              | 2.30                 | 1.96  |
|  |         |        |         | C.V.(%) | 5.09                 | 8.12                  | 14.7                 | 16.75    | 9.93                              | 15.8                 | 15.4  |
|  |         | FJ-6.3 | 8       | Avg.    | 456                  | 12.3                  | 57.0                 | 6283     | 67.0                              | 14.7                 | 11.7  |
|  |         |        |         | Min.    | 431                  | 10.8                  | 32.9                 | 3414     | 57.8                              | 8.12                 | 11.4  |
|  |         |        |         | Max.    | 488                  | 13.4                  | 66.7                 | 8114     | 74.2                              | 19.1                 | 12.2  |
|  |         |        |         | S.D.    | 19.2                 | 0.926                 | 11.0                 | 1510     | 6.57                              | 3.43                 | 0.243 |
| C.V.(%)  |         |        |         | 4.21    | 7.53                 | 19.3                  | 24.03                | 9.80     | 23.3                              | 2.07                 |       |
| FJ-3.7   |         | 7      | Avg.    | 449     | 11.9                 | 46.4                  | 6140                 | 80.3     | 11.5                              | 11.9                 |       |
|  |         |        | Min.    | 421     | 10.6                 | 40.2                  | 5226                 | 65.0     | 8.71                              | 11.4                 |       |
|  | Max.    |        | 479     | 12.9    | 51.3                 | 7364                  | 87.4                 | 13.9     | 12.8                              |                      |       |
|  | S.D.    |        | 21.9    | 0.723   | 3.58                 | 815.9                 | 9.24                 | 1.77     | 0.482                             |                      |       |
|  | C.V.(%) |        | 4.86    | 6.06    | 7.71                 | 13.29                 | 11.5                 | 15.4     | 4.06                              |                      |       |
| Egm12.5  | FJ-17   | 7      | Avg.    | 463     | 12.7                 | 57.1                  | 6962                 | 74.1     | 13.2                              | 11.9                 |       |
|  |         |        | Min.    | 451     | 12.0                 | 49.7                  | 5186                 | 63.5     | 12.1                              | 11.6                 |       |
|  |         |        | Max.    | 485     | 13.4                 | 62.8                  | 7952                 | 84.9     | 15.1                              | 12.5                 |       |
|  |         |        | S.D.    | 10.6    | 0.437                | 4.56                  | 930.0                | 8.18     | 1.09                              | 0.311                |       |
|  |         |        | C.V.(%) | 2.29    | 3.43                 | 7.99                  | 13.36                | 11.1     | 8.27                              | 2.61                 |       |
|  | FJ-6.3  | 6      | Avg.    | 462     | 12.7                 | 56.4                  | 7043                 | 76.7     | 13.5                              | 11.7                 |       |
|  |         |        | Min.    | 454     | 11.9                 | 44.0                  | 5765                 | 68.5     | 9.69                              | 11.4                 |       |
|  |         |        | Max.    | 472     | 13.1                 | 63.3                  | 7797                 | 89.4     | 18.6                              | 12.1                 |       |
|  |         |        | S.D.    | 7.31    | 0.428                | 7.76                  | 807.3                | 7.65     | 3.13                              | 0.331                |       |
|  |         |        | C.V.(%) | 1.58    | 3.38                 | 13.7                  | 11.46                | 10.0     | 23.2                              | 2.83                 |       |
|  | FJ-3.7  | 5      | Avg.    | 459     | 13.1                 | 46.5                  | 6571                 | 86.9     | 10.1                              | 11.9                 |       |
|  |         |        | Min.    | 446     | 12.3                 | 34.9                  | 5487                 | 78.9     | 7.02                              | 11.4                 |       |
| Max.   |         |        | 466     | 13.6    | 52.5                 | 7474                  | 100                  | 11.6     | 12.2                              |                      |       |
| S.D.   |         |        | 7.39    | 0.486   | 7.61                 | 911.2                 | 7.99                 | 1.86     | 0.382                             |                      |       |
| C.V.(%)  |         |        | 1.61    | 3.72    | 16.4                 | 13.87                 | 9.19                 | 18.4     | 3.23                              |                      |       |
| Egm14  | FJ-17   | 9      | Avg.    | 496     | 14.6                 | 61.3                  | 7956                 | 79.1     | 12.7                              | 12.1                 |       |
|  |         |        | Min.    | 470     | 13.9                 | 50.4                  | 6517                 | 58.9     | 11.5                              | 11.1                 |       |
|  |         |        | Max.    | 524     | 15.2                 | 67.5                  | 9410                 | 94.9     | 15.2                              | 13.5                 |       |
|  |         |        | S.D.    | 19.0    | 0.413                | 5.18                  | 900.7                | 11.1     | 1.11                              | 0.827                |       |
|  |         |        | C.V.(%) | 3.83    | 2.82                 | 8.45                  | 11.32                | 14.0     | 8.76                              | 6.82                 |       |
|  | FJ-6.3  | 8      | Avg.    | 498     | 14.5                 | 52.2                  | 7206                 | 85.4     | 10.4                              | 12.3                 |       |
|  |         |        | Min.    | 468     | 14.0                 | 40.9                  | 5831                 | 64.8     | 8.22                              | 12.0                 |       |
|  |         |        | Max.    | 530     | 15.5                 | 57.4                  | 8224                 | 99.8     | 11.4                              | 12.7                 |       |
|  |         |        | S.D.    | 20.4    | 0.467                | 6.42                  | 890.2                | 12.4     | 1.10                              | 0.340                |       |
|  |         |        | C.V.(%) | 4.09    | 3.22                 | 12.3                  | 12.35                | 14.5     | 10.6                              | 2.77                 |       |
|  | FJ-3.7  | 8      | Avg.    | 499     | 14.5                 | 39.5                  | 6040                 | 94.0     | 7.60                              | 12.0                 |       |
|  |         |        | Min.    | 480     | 13.6                 | 25.6                  | 3996                 | 83.6     | 4.67                              | 11.6                 |       |
| Max.   |         |        | 520     | 15.6    | 52.6                 | 7421                  | 100                  | 10.2     | 12.9                              |                      |       |
| S.D.   |         |        | 15.6    | 0.550   | 10.6                 | 1362                  | 5.98                 | 1.98     | 0.443                             |                      |       |
| C.V.(%)  |         |        | 3.14    | 3.79    | 26.7                 | 22.56                 | 6.36                 | 26.0     | 3.69                              |                      |       |

Species : 樹種 . Group : グループ (Table 1 を参照) See Table 1. FJ : 曲げ試験体名 Name of bending specimens.

n : 試験体数 Number of specimens. Avg. : 平均値 Average value. Min. : 最小値 Minimum value. Max. : 最大値 Maximum value. S.D. : 標準偏差 Standard deviation. C.V. : 変動係数 Coefficient of variation.

$\rho$  : 密度 Density.  $E_b$  : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.

$P_{bp}$  : 曲げ比例限度荷重 Proportional limit load.

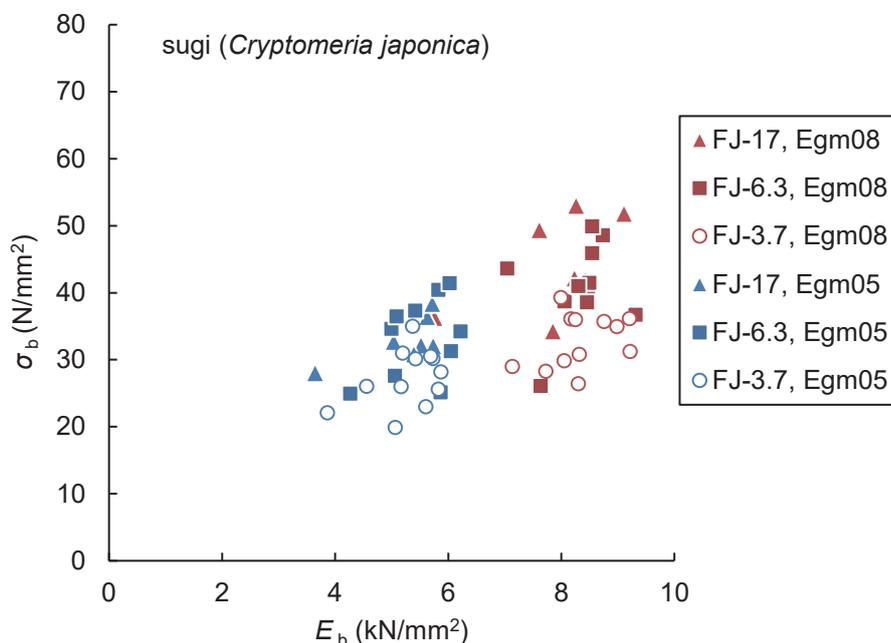
Ratio of  $P_{bp}$  to maximum load : 最大荷重に対する曲げ比例限度荷重の割合 Ratio of proportional limit load to maximum load.

Def. at maximum load : 最大荷重時のたわみ量 Deflection at maximum load. MC : 含水率 Moisture content.

**Table 5. エゾマツ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げ試験結果**  
**Results of bending test of ezomatsu (*Picea jezoensis*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)**

| Species  | Group | FJ     | n  |         | $\rho$               | $E_b$                 | $\sigma_b$           | $P_{bp}$ | Ratio of $P_{bp}$ to maximum load | Def. at maximum load | MC    |
|--|-------|--------|----|---------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------|-----------------------------------|----------------------|-------|
|  |       |        |    |         | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kN/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N)      | (%)                               | (mm)                 | (%)   |
| エゾマツ<br>ezomatsu<br>( <i>Picea jezoensis</i> ) | -     | FJ-17  | 22 | Avg.    | 419                  | 10.4                  | 47.7                 | 5234     | 66.5                              | 15.7                 | 13.5  |
|  |       |        |    | Min.    | 368                  | 7.18                  | 36.8                 | 3786     | 52.7                              | 11.4                 | 11.2  |
|  |       |        |    | Max.    | 473                  | 12.3                  | 55.8                 | 6666     | 80.4                              | 24.2                 | 13.9  |
|  |       |        |    | S.D.    | 31.8                 | 1.29                  | 4.60                 | 813.0    | 8.05                              | 2.71                 | 0.570 |
|  |       |        |    | C.V.(%) | 7.58                 | 12.4                  | 9.64                 | 15.53    | 12.1                              | 17.3                 | 4.23  |
|  |       | FJ-6.3 | 18 | Avg.    | 430                  | 10.9                  | 53.9                 | 5593     | 63.8                              | 18.6                 | 14.0  |
|  |       |        |    | Min.    | 387                  | 8.26                  | 44.7                 | 4281     | 52.0                              | 13.8                 | 13.5  |
|  |       |        |    | Max.    | 518                  | 12.7                  | 62.2                 | 6859     | 72.5                              | 23.4                 | 14.8  |
|  |       |        |    | S.D.    | 38.5                 | 1.09                  | 4.56                 | 770.2    | 5.22                              | 3.03                 | 0.415 |
|  |       |        |    | C.V.(%) | 8.95                 | 10.1                  | 8.46                 | 13.77    | 8.19                              | 16.3                 | 2.96  |
|  |       | FJ-3.7 | 21 | Avg.    | 428                  | 11.0                  | 49.4                 | 5769     | 70.7                              | 14.3                 | 13.7  |
|  |       |        |    | Min.    | 377                  | 8.58                  | 43.9                 | 4132     | 55.5                              | 11.7                 | 13.0  |
|  |       |        |    | Max.    | 510                  | 13.0                  | 58.1                 | 7534     | 86.2                              | 18.9                 | 14.2  |
|  |       |        |    | S.D.    | 35.1                 | 1.24                  | 3.84                 | 943.8    | 8.50                              | 2.12                 | 0.359 |
|  |       |        |    | C.V.(%) | 8.21                 | 11.3                  | 7.78                 | 16.36    | 12.0                              | 14.8                 | 2.62  |

Species : 樹種 . Group : グループ (Table 1 を参照) See Table 1. FJ : 曲げ試験体名 Name of bending specimens.  
 n : 試験体数 Number of specimens. Avg. : 平均値 Average value. Min. : 最小値 Minimum value. Max. : 最大値 Maximum value.  
 S.D. : 標準偏差 Standard deviation. C.V. : 変動係数 Coefficient of variation.  
 $\rho$  : 密度 Density.  $E_b$  : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.  
 $P_{bp}$  : 曲げ比例限度荷重 Proportional limit load.  
 Ratio of  $P_{bp}$  to maximum load : 最大荷重に対する曲げ比例限度荷重の割合 Ratio of propotional limit load to maximum load.  
 Def. at maximum load : 最大荷重時のたわみ量 Deflection at maximum load. MC : 含水率 Moisture content.



**Fig. 2. スギ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げヤング係数と曲げ強度の関係**  
**Relationships between  $E_b$  and  $\sigma_b$  of sugi (*Cryptomeria japonica*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)**  
 $E_b$  : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.

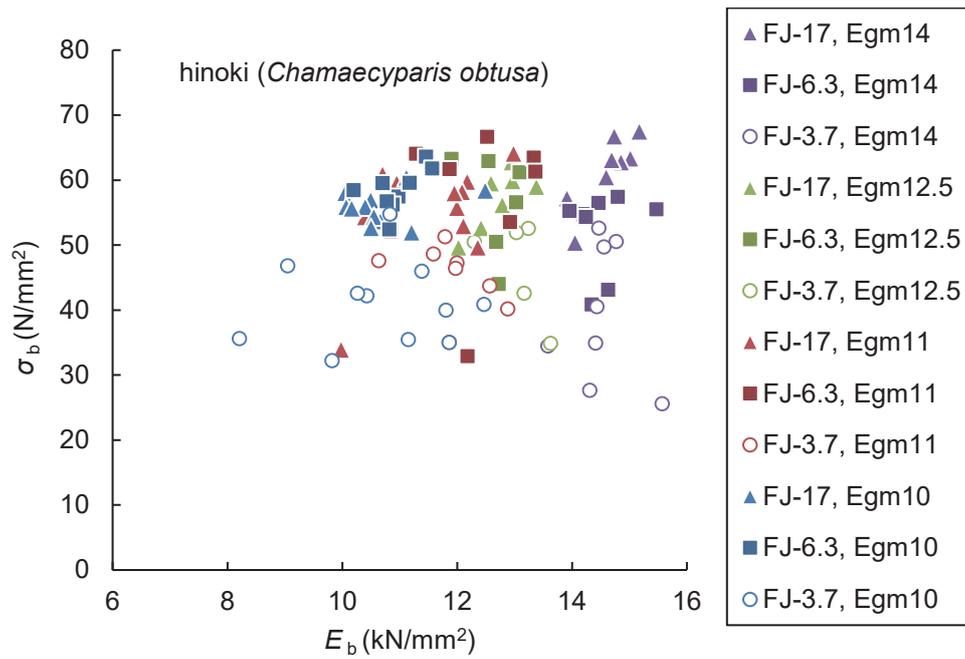


Fig. 3. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げヤング係数と曲げ強度の関係  
 Relationships between  $E_b$  and  $\sigma_b$  of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)  
 $E_b$ : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$ : 曲げ強度 Bending strength.

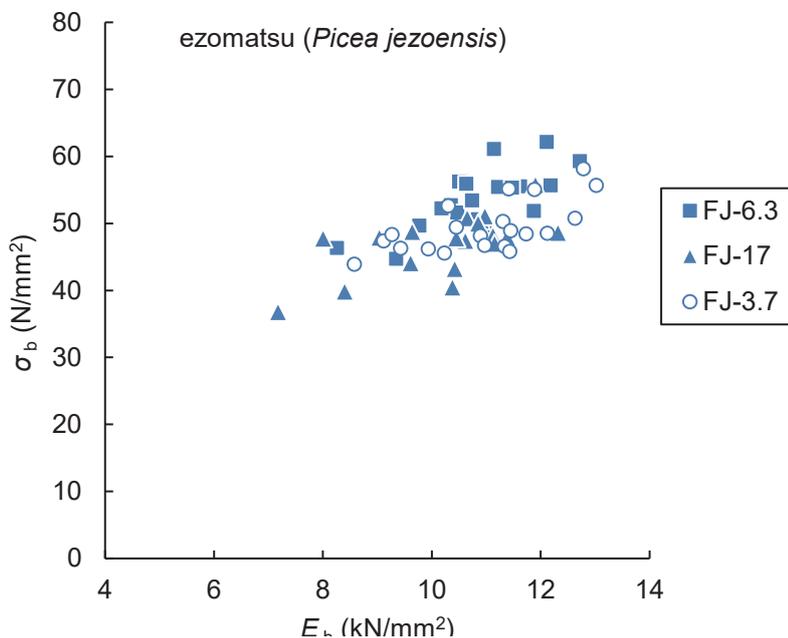


Fig. 4. エゾマツ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げヤング係数と曲げ強度の関係  
 Relationships between  $E_b$  and  $\sigma_b$  of ezomatsu (*Picea jezoensis*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)  
 $E_b$ : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$ : 曲げ強度 Bending strength.

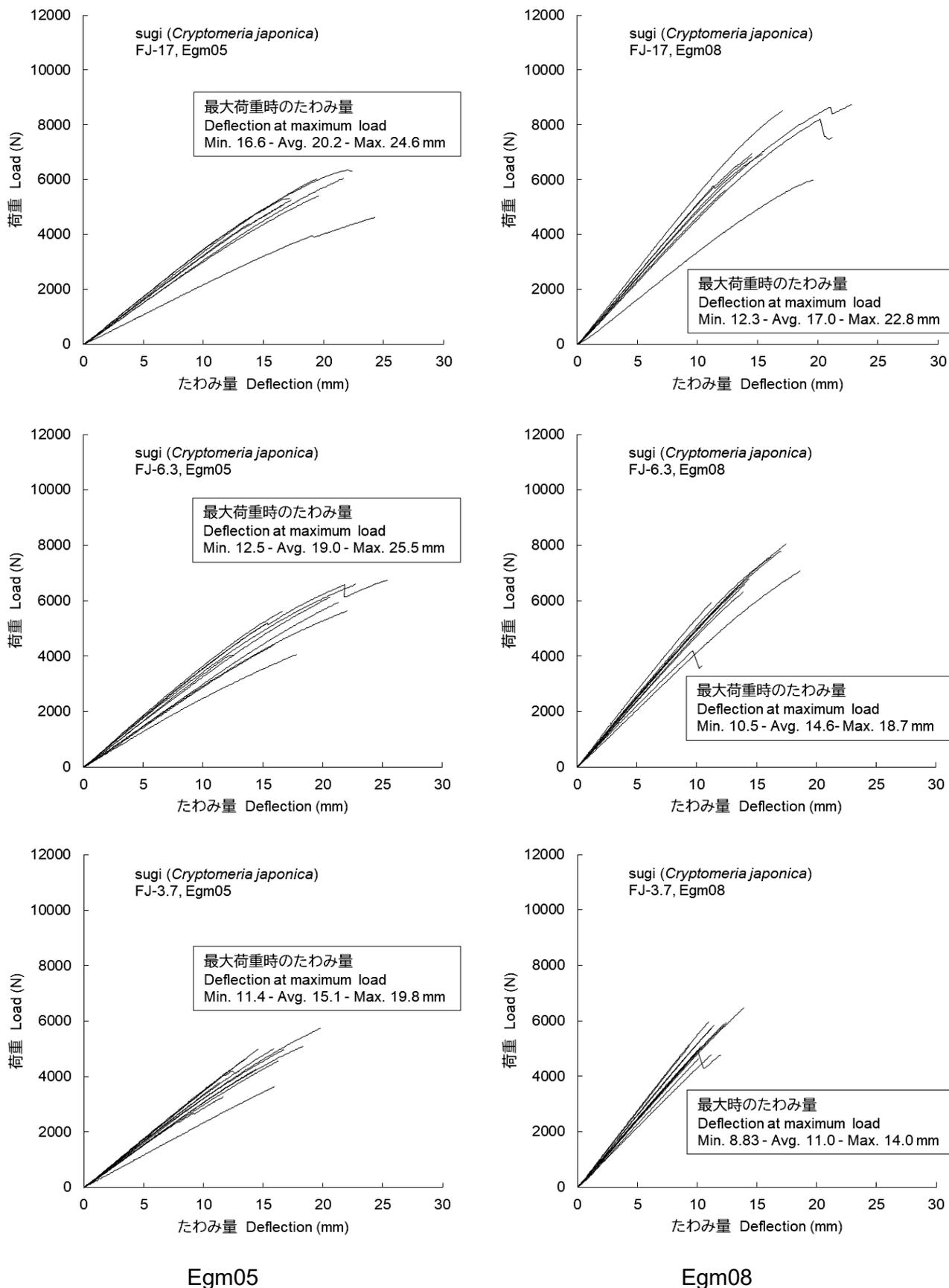


Fig. 5. スギ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げ試験時の荷重とたわみ量の関係  
 Relationship between load and deflection of sugi (*Cryptomeria japonica*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) under bending

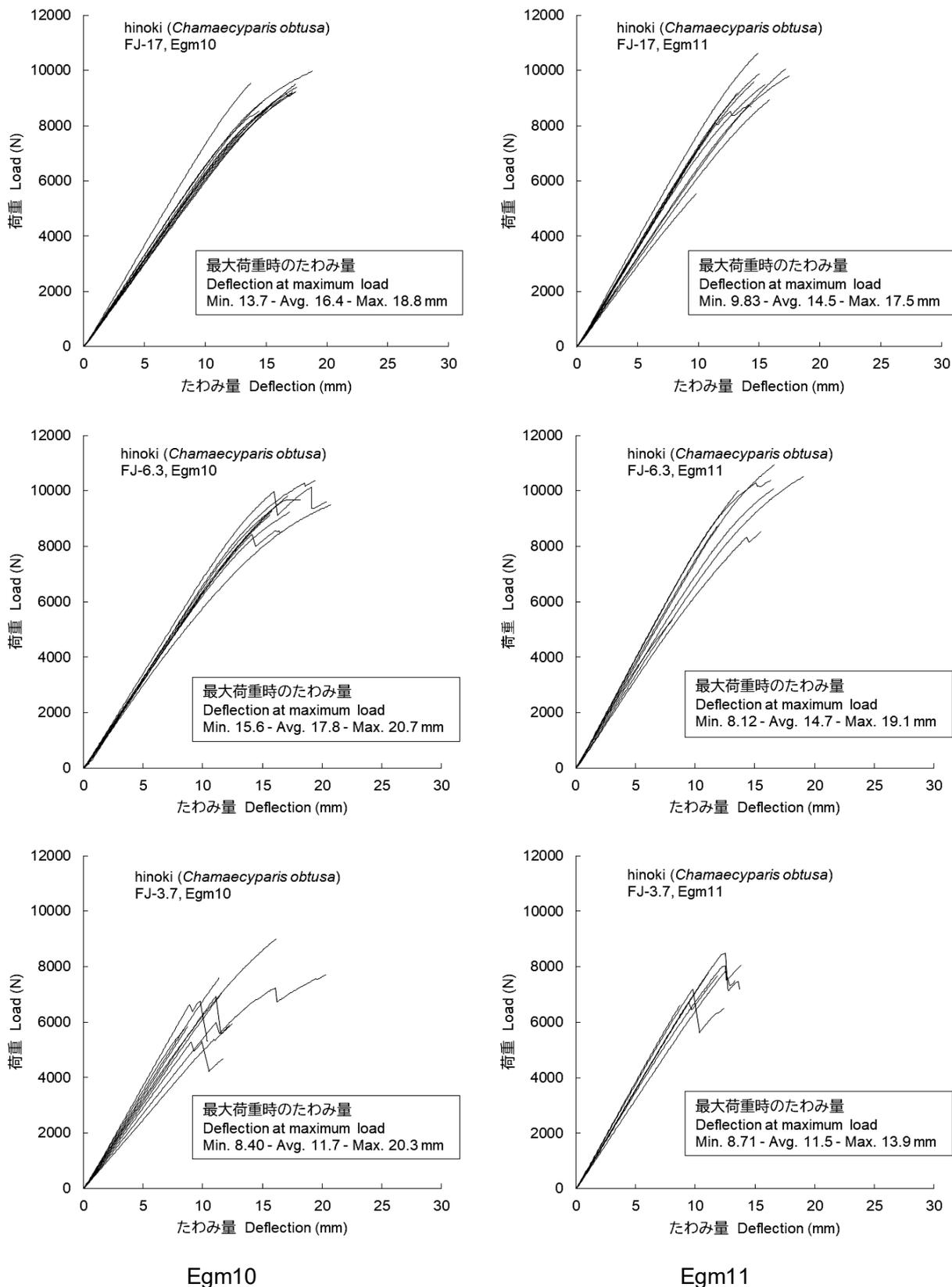


Fig. 6a. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げ試験時の荷重とたわみ量の関係 (Egm10, Egm11 グループ)  
 Relationship between load and deflection of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) under bending (Group Egm10 and Egm11)

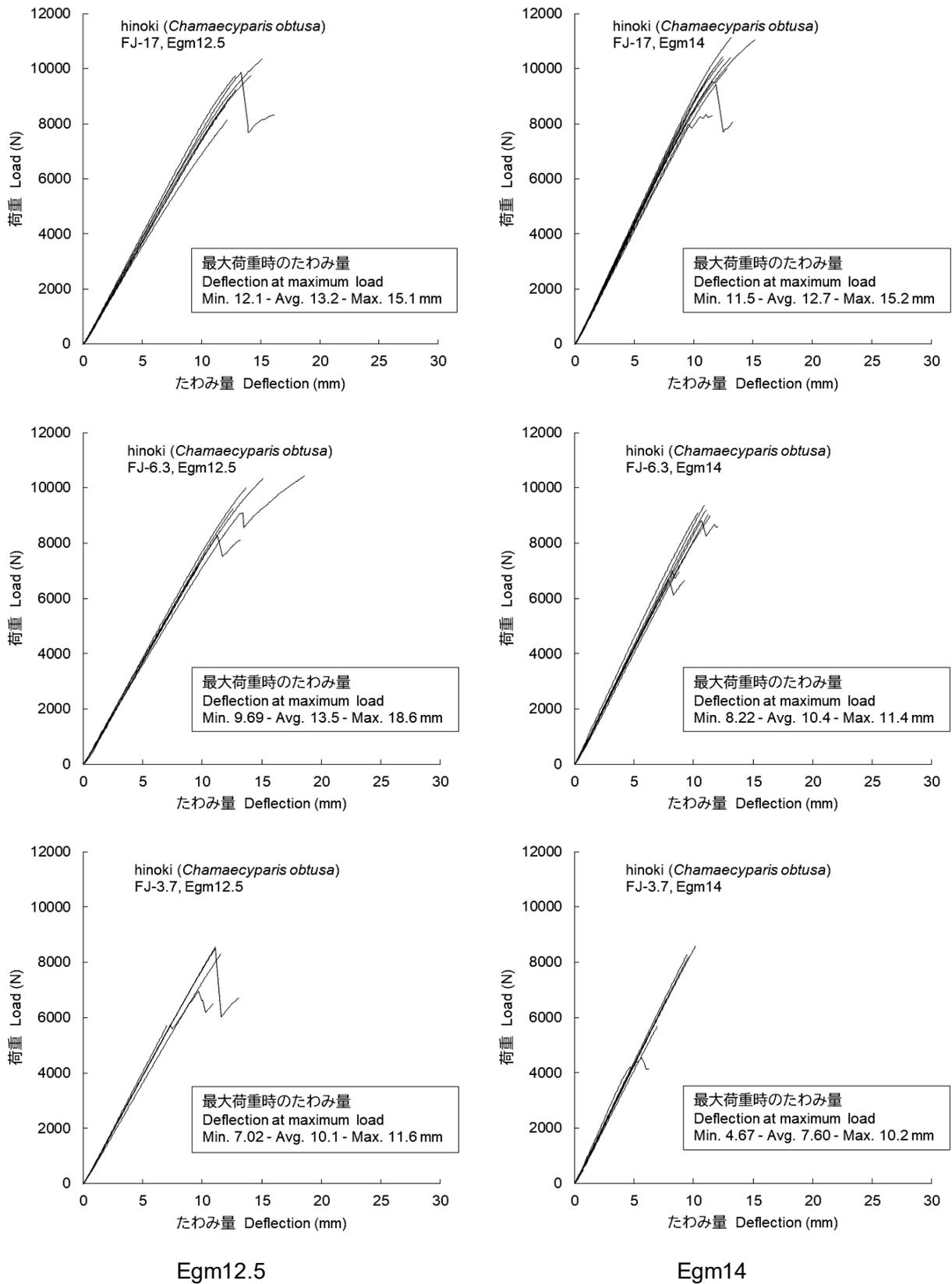


Fig. 6b. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げ試験時の荷重とたわみ量の関係 (Egm12.5, Egm14 グループ)  
 Relationship between load and deflection of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)  
 under bending (Group Egm12.5 and Egm14)

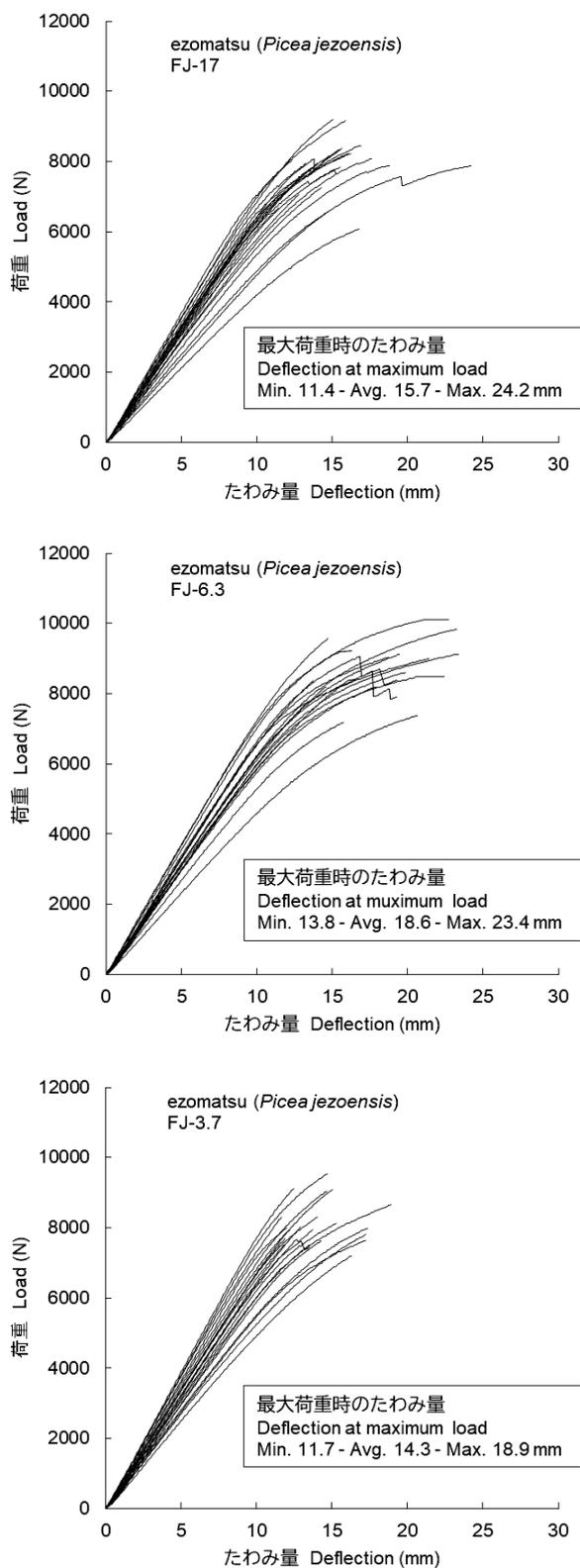


Fig. 7. エゾマツ FJ 試験体 (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) の曲げ試験時の荷重とたわみ量の関係  
Relationship between load and deflection of ezomatsu (*Picea jezoensis*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7) under bending

部の欠けが生じないようにし、またスカーフ面をできるだけ平滑にする必要があると考えられた。

最大荷重時のたわみ量 (Table 4, Fig. 6a, Fig. 6b) は、Egm10、Egm11、Egm12.5 では、FJ-17 と FJ-6.3 は同程度であったが、FJ-3.7 はそれらよりも小さく、FJ-17 に対する比は、それぞれ 0.72、0.79、0.76 であった。Egm14 では、FJ-17 に対する FJ-6.3 の比は 0.82、FJ-3.7 ではその比は 0.60 であった。最大荷重に対する比例限度荷重の割合 (Table 4) は、Egm10、Egm11、Egm12.5 では FJ-17 と FJ-6.3 で 67.3% ~ 76.7% で同程度であったが、FJ-3.7 は Egm10、Egm11、Egm12.5 でそれぞれ 88.5%、80.3%、86.9% であった。Egm14 では FJ-17 においても最大荷重に対する比例限度荷重の割合は 79.1% と高くなったが、FJ-6.3、FJ-3.7 では、それぞれ 85.4% と 94.0% であり、比例限度を超えると間もなく破壊が生じたと考えられた。ヤング係数の高い Egm14 において FJ-17 と FJ-6.3、FJ-3.7 の差が顕著に見られた。

FJ 試験体の破壊の状態 (Photo 2) は、FJ-17 については、Egm10 はフィンガーの根元での破壊が主であったが、FJ 外での木部破壊、フィンガーのスカーフ面での破壊が合わせて見られるものもあった。Egm11、Egm12.5 ではフィンガーの根元での破壊とスカーフ面での破壊が同程度に混在した破壊が主であったが、FJ 外での木部破壊が混在していたもの、FJ 外での木部破壊のみで破壊したものもあった。FJ-14 でもフィンガーの根元での破壊とスカーフ面での破壊が混在した状態であったが、スカーフ面での破壊の割合のほうが高かった。FJ-6.3 については、Egm10 はフィンガーの根元での破壊が主であった。Egm11 ではフィンガーの根元と FJ 外での木部破壊が混在したものの、フィンガーのスカーフ面と FJ 外での木部破壊が混在したものが同程度であった。Egm12.5、Egm14 ではフィンガーの根元での破壊、およびフィンガーの根元と FJ 外での木部破壊が同程度に混在したものがあった。FJ-3.7 については、Egm10 ~ Egm12.5 ではフィンガーの根元での破壊とスカーフ面での破壊が混在したものが主であった。Egm14 ではフィンガーのスカーフ面での破壊が主であった。また、FJ-6.3、FJ-3.7 では下面 (引張り側)、上面 (圧縮側) とともに破断して 2 つに分かれる試験体も見られた。

#### 4.1.1.3 エゾマツ FJ 試験体

エゾマツについては曲げヤング係数での区分を行っていないが、スギ、ヒノキ試験体の Egm7 ~ Egm12.5 グループに相当すると考えられた。エゾマツ FJ 試験体 (FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7) それぞれの曲げヤング係数と曲げ強さの関係から、FJ-17 と FJ-3.7 の曲げヤング係数に対する曲げ強さは同程度であり、FJ-6.3 はそれらよりやや高い傾向にあった (Table 5, Fig. 4)。破壊は主としてフィンガーの根元での破壊であった。エゾマツ FJ 材についてはフィンガー長さ 4 mm で加工した FJ 材についてフィンガー長さ 13 mm で加工した材と同程度の曲げ性能が得られたと



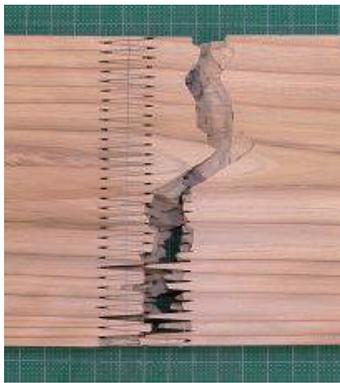
フィンガーの根元での破壊  
Wood failure at the FJ roots



フィンガーの根元での破壊  
Wood failure at the FJ roots



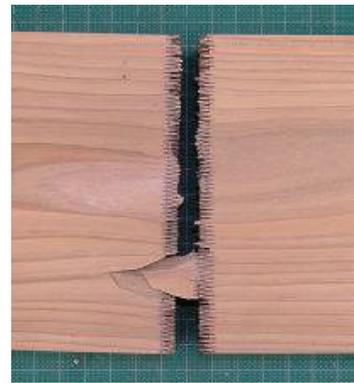
フィンガーの根元での破壊  
Wood failure at the FJ roots



フィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and failure beginning at the FJ and progressing away from the FJ



フィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and failure beginning at the FJ and progressing away from the FJ



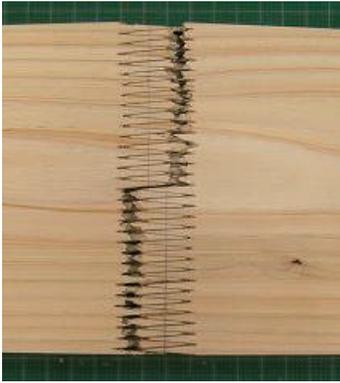
フィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and failure beginning at the FJ and progressing away from the FJ

スギ sugi FJ-17

スギ sugi FJ-6.3

スギ sugi FJ-3.7

**Photo 1. スギ FJ 試験体 (FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7) の破壊の状態の例**  
**Types of failure that occur in sugi (*Cryptomeria japonica*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)**



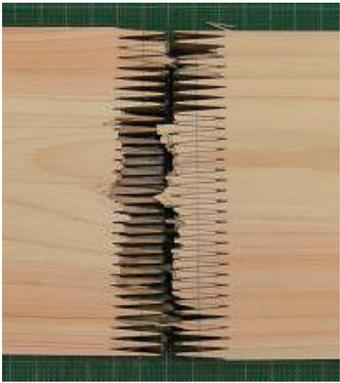
フィンガーの根元での破壊  
Wood failure at the FJ roots



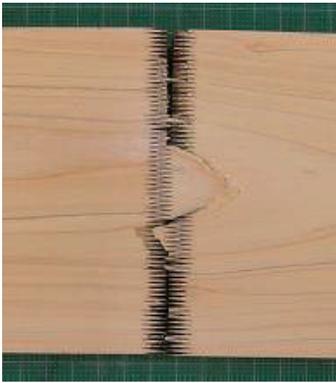
フィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and failure beginning at the FJ and progressing away from the FJ



フィンガーの根元での破壊  
Wood failure at the FJ roots



フィンガーの根元での破壊と スカーフ面での破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and failure along the FJ profile



フィンガーの根元での破壊、スカーフ面での破壊、FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots, failure along the FJ profile and failure beginning at the FJ and progressing away from the FJ



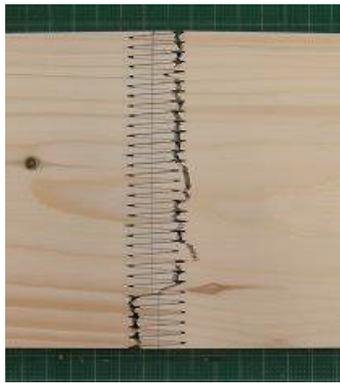
フィンガーのスカーフ面での破壊  
Failure along the FJ profile

ヒノキ hinoki FJ-17

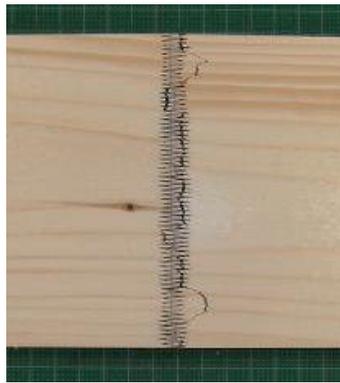
ヒノキ hinoki FJ-6.3

ヒノキ hinoki FJ-3.7

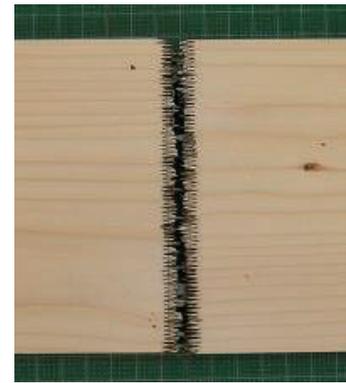
**Photo 2.** ヒノキ FJ 試験体 (FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7) の破壊の状態の例  
Types of failure that occur in hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)



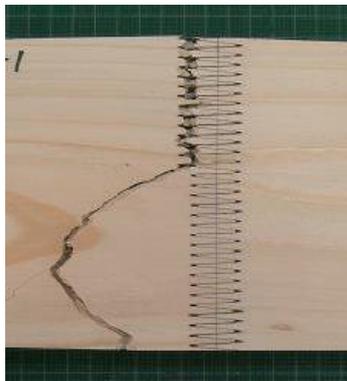
フィンガーの根元での破壊  
Wood failure at the FJ roots



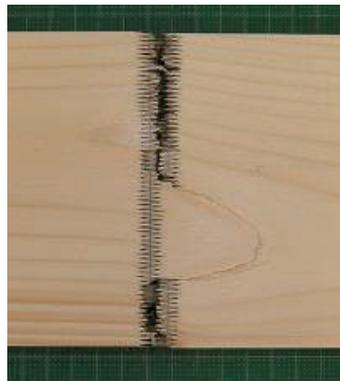
フィンガーの根元での破壊  
Wood failure at the FJ roots



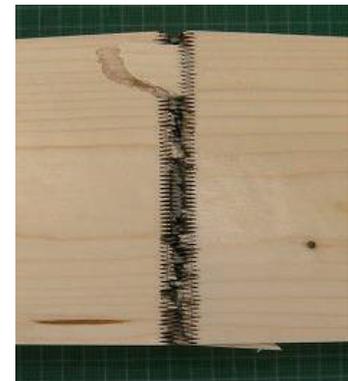
フィンガーの根元での破壊  
Wood failure at the FJ roots



フィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and failure beginning at the FJ and progressing away from the FJ



フィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and failure beginning at the FJ and progressing away from the FJ



フィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and failure beginning at the FJ and progressing away from the FJ

エゾマツ ezomatsu FJ-17

エゾマツ ezomatsu FJ-6.3

エゾマツ ezomatsu FJ-3.7

**Photo 3. エゾマツ FJ 試験体 (FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7) の破壊の状態の例**  
Types of failure that occur in ezomatsu (*Picea jezoensis*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)

報告（生田ら 1975）されており、本研究においてもこれと同様の結果が得られたと考えられる。

最大荷重時のたわみ量（Table 5、Fig. 7）は FJ-6.3 でやや大きく平均で 18.6 mm で、FJ-17、FJ-3.7 は平均で 15.7 mm、14.3 mm と同程度であった。最大荷重に対する比例限度荷重の割合（Table 5、Fig. 7）は FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7 間で同程度であり、それぞれ 66.5%、63.8%、70.7% であった。また、スギ、ヒノキ FJ 試験体が比例限度に達して間もなく破壊に至るのに対して、エゾマツ FJ 試験体は比例限度に達して以降もたわみ量が増加した。特に FJ-6.3 では FJ-17、FJ-3.7 に比べてたわみ量が大きく増加した（Fig. 7）。これらの結果のようにスギ、ヒノキと異なる傾向を示したのはエゾマツの樹種特性によるものとも考えられる。しかしながら、それを明らかにするためには、フィンガー部のスカーフ面の状態、接着系の状況、エゾマツの密度、組織構造、早晚材の移行の程度等、樹種による加工特性や材料特性についてさらに検討する必要がある。

FJ 試験体の破壊の状態（Photo 3）は、FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7 のいずれも、フィンガーの根元での破壊が主であった。フィンガーの根元での破壊と FJ 外での木部破壊が混在したもの、フィンガーの根元での破壊とスカーフ面での破壊が混在したものも見られた。また、FJ-3.7 では下面（引張り側）、上面（圧縮側）とも破断して 2 つに分かれる試験体が半数近く見られた。

#### 4.1.2 フィンガー長さ 6.5 mm のヒノキ FJ 試験体の曲げ試験結果

Table 2 に示されるフィンガーカッター No. 2 を用いて作製したフィンガー長さ 6.5 mm のヒノキ FJ 試験体（FJ-6.5）の曲げ試験結果を Table 6 に、曲げヤング係数と曲げ強さの関係を Fig. 8 に、荷重とたわみ量の関係を Fig. 9 に示す。FJ-6.5 の曲げ強さは FJ-17 と同程度であった。フィンガーの長さがわずかではあるが長くなったことにより接着面積が増加した影響、加えてフィンガーが長くなったことによりフィンガーのかん合が深くなった（フィンガーの先端と底部の隙間が小さくなる）ことによる接着面積の増加の影響があったと考えられる。FJ-6.5 の最大荷重時のたわみ量（Table 6、Fig. 9）は FJ-6.3（Table 4、Fig. 6b）に比べてやや大きくなったが、最大荷重に対する比例限度荷重の割合は FJ-6.5 で 84.0%（Table 6）、FJ-6.3 で 85.4%（Table 4）であり、差は見られなかった。

FJ 試験体の破壊の状態（Photo 4）は、フィンガーのスカーフ面のみで破壊したもの、フィンガーのスカーフ面での破壊と FJ 外での木部破壊が混在したものが同程度であった。

#### 4.1.3 試験体幅 58 mm、フィンガー長さ 6.5 mm、6.7 mm のヒノキ FJ 試験体の曲げ試験結果

たて継ぎのないヒノキ NJ 試験体（試験体幅 58 mm）、

および Table 2 に示されるフィンガーカッター No. 2、No. 4 を用い、加工時の 1 刃あたりの送り量を 0.50 mm/knife に調整して作製したフィンガー長さ 6.5 mm、6.7 mm のヒノキ FJ 試験体（FJ-6.5-0.50、FJ-6.7-0.50）（試験体幅 58 mm）の曲げ試験結果を Table 7 に、曲げヤング係数と曲げ強さの関係を Fig. 10 に、荷重とたわみ量の関係を Fig. 11 に示す。NJ 試験体の曲げ強度の平均値に対する FJ 試験体の曲げ強度の平均値の割合（接合効率）は 0.8 であった。FJ-6.5-0.50 と FJ-6.7-0.50 とで曲げ強さに差は見られなかった。幅 120 mm の試験体の曲げ強さ（Table 6、Fig. 9）と比較すると、曲げ強さ、最大荷重時のたわみ量、最大荷重に対する比例限度荷重の割合のいずれも大きく向上している（Table 7、Fig. 11）。4.1.2 において、FJ-6.3 と比較して FJ-6.5 の曲げ強さの向上と最大荷重時のたわみ量の増加について、フィンガー長さが長くなったことによる接着面積の増加とフィンガーのかん合が深くなったことによる接着面積の増加の影響によるものと考察したが、幅 58 mm の FJ-6.5-0.50 および FJ-6.7-0.50 試験体では、曲げ強さ、最大荷重時のたわみ量、最大荷重に対する比例限度荷重の割合がいずれも大きく向上したことから、接着面積の増加に加えてフィンガー切削時の加工条件の影響が大きいたと考えられた。すなわち、1 刃あたりの送り量が小さくなったことでフィンガーの欠けが少なくなり、フィンガー先端部まで十分に接着できたこと、スカーフ面の平滑性が向上し接着性が良くなったと推測され、それらが FJ 部の接着強度の向上に寄与し、結果として FJ 試験体の曲げ強さを向上させたと考えられる。なお、材の幅がフィンガージョイント材の曲げ強度に与える影響については、材の幅をパラメーターとして改めて検討する必要がある。

FJ 試験体の破壊の状態（Photo 5）は、FJ-6.5-0.50、FJ-6.7-0.50 いずれも、フィンガーのスカーフ面での破壊とフィンガーの根元での破壊および FJ 外での木部破壊が混在したものが主であった。これらの破壊の状態は他のヒノキ試験体（FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7、FJ-6.5）においても見られた。NJ 試験体では荷重点間での木部破壊が主であった。

#### 4.2 集成材の日本農林規格で定められた基準値との比較

本報で用いたフィンガー長さ 6.3、6.5、6.7 mm、3.7 mm の FJ を構造用集成材用のラミナに適用することを想定し、各 FJ でたて継ぎした FJ 試験体の曲げ強度について、集成材の日本農林規格（2019）（以下、JAS とする）における構造用集成材用ラミナの曲げ強度の基準値との比較を行った。Table 8 に JAS の構造用集成材の規格における等級区分機による区分ラミナの強度性能の基準を示す。また、各 FJ 試験体の曲げ強度の累積頻度を Fig. 12 ～ Fig. 15 に示す。以降、樹種別に比較した結果を記す。

スギ FJ 試験体（Fig. 12）の Egm05、Egm08 グループは、構造用集成材用ラミナの強度等級の L50、L80 に相当す

ると考えられる。FJ-17 では Egm05 では全ての試験体が、Egm08 では 8 体中 7 体の試験体が JAS 基準値の平均値を上回り、残りの 1 体も JAS 基準値の下限値を十分に満たした。FJ-6.3 では Egm05 では 10 体中 8 体が JAS 基準値の平均値を上回り、残りの 2 体も下限値を十分に満たした。Egm08 も 10 体中 9 体が JAS 基準値の平均値を上回った。ただし 1 体はわずかに下限値を下回った。FJ-3.7 では Egm05 では 12 体中 6 体が JAS 基準値の平均値を上回り、残りの 6 体のうち 1 体だけわずかに下限値を下回った。Egm08 では 12 体中 4 体が JAS 基準値の平均値を上回り、残り 8 体のうち 1 体だけわずかに下限値を下回った。

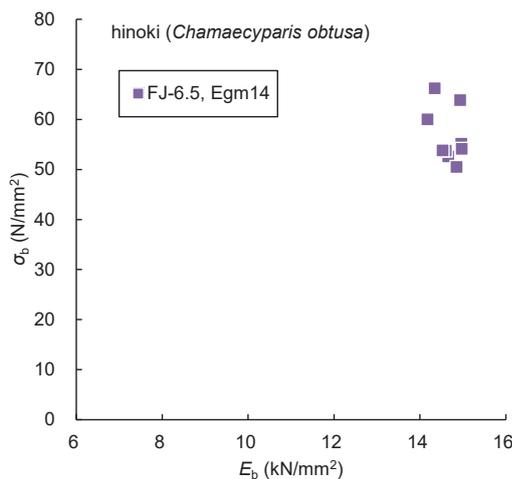
ヒノキ FJ 試験体 (Fig. 13) の Egm10、Egm11、Egm12.5、Egm14 グループは、構造用集成材用ラミナの

強度等級の L100、L110、L125、L140 に相当すると考えられる。FJ-17 では、Egm10 では全ての試験体が、Egm11 では 11 体中 10 体が、Egm12.5 では全ての試験体が、Egm14 では 9 体中 8 体が JAS 基準値の平均値を上回った。Egm11 の 1 体については JAS 基準値の下限値をわずかに満たさなかった。Egm14 の 1 体については JAS 基準値の下限値を満たした。FJ-6.3 では、Egm10 では全ての試験体が、Egm11 では 8 体中 7 体が、Egm12.5 では 6 体中 5 体が、Egm14 では 8 体中 6 体が JAS 基準値の平均値を上回った。Egm11 の 1 体については JAS 基準値の下限値をわずかに満たさなかった。Egm12.5 の 1 体、Egm14 の 2 体については JAS 基準値の下限値を満たした。FJ-3.7 では、Egm10 では 11 体中 6 体が、Egm11 では 7 体中

**Table 6. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-6.5) の曲げ試験結果**  
**Results of bending test of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-6.5)**

| Species  | Group | FJ     | n |         | $\rho$               | $E_b$                 | $\sigma_b$           | $P_{bp}$ | Ratio of $P_{bp}$ to maximum load (%) | Def. at maximum load (mm) | MC (%) |
|--|-------|--------|---|---------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------|---------------------------------------|---------------------------|--------|
|  |       |        |   |         | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kN/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N)      |                                       |                           |        |
| ヒノキ<br>hinoki<br>( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | Egm14 | FJ-6.5 | 9 | Avg.    | 481                  | 14.7                  | 56.7                 | 7776     | 84.0                                  | 11.8                      | 11.9   |
|  |       |        |   | Min.    | 468                  | 14.2                  | 50.5                 | 7255     | 73.4                                  | 10.0                      | 11.5   |
|  |       |        |   | Max.    | 503                  | 15.0                  | 66.2                 | 8247     | 91.6                                  | 13.9                      | 12.6   |
|  |       |        |   | S.D.    | 11.0                 | 0.287                 | 5.41                 | 289.0    | 5.98                                  | 1.44                      | 0.367  |
|  |       |        |   | C.V.(%) | 2.28                 | 1.96                  | 9.54                 | 3.716    | 7.11                                  | 12.2                      | 3.08   |

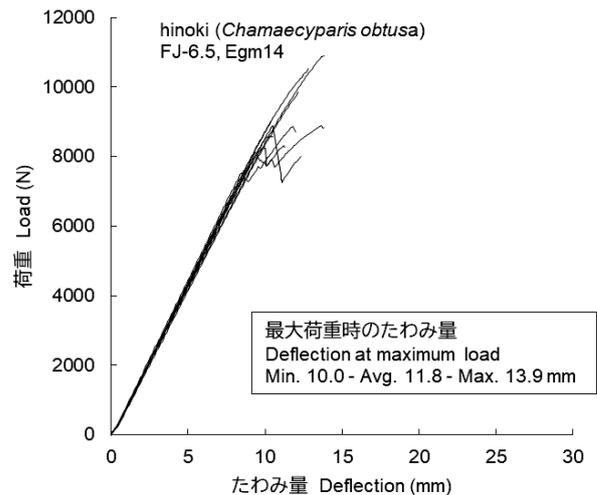
Species : 樹種 . Group : グループ (Table 1 を参照) See Table 1. FJ : 曲げ試験体名 Name of bending specimens.  
 n : 試験体数 Number of specimens. Avg. : 平均値 Average value. Min. : 最小値 Minimum value. Max. : 最大値 Maximum value.  
 S.D. : 標準偏差 Standard deviation. C.V. : 変動係数 Coefficient of variation.  
 $\rho$  : 密度 Density.  $E_b$  : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.  
 $P_{bp}$  : 曲げ比例限度荷重 Proportional limit load.  
 Ratio of  $P_{bp}$  to maximum load : 最大荷重に対する曲げ比例限度荷重の割合 Ratio of propotional limit load to maximum load.  
 Def. at maximum load : 最大荷重時のたわみ量 Deflection at maximum load. MC : 含水率 Moisture content.



**Fig. 8. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-6.5) の曲げヤング係数と曲げ強度の関係**

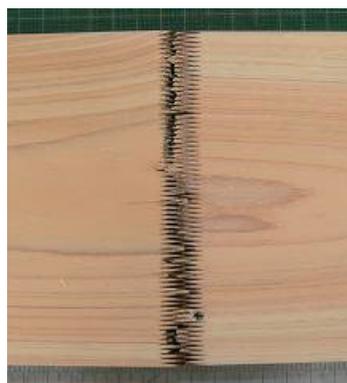
**Relationships between  $E_b$  and  $\sigma_b$  of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-6.5)**

$E_b$  : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.



**Fig. 9. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-6.5) の曲げ試験時の荷重とたわみ量の関係**

**Relationship between load and deflection of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-6.5) under bending**



フィンガーの根元での破壊と  
スカーフ面での破壊が混在した破壊

Wood failure at the FJ roots and  
failure along the FJ profile

ヒノキ hinoki FJ-6.5



フィンガーのスカーフ面での破壊  
と FJ 外の木部破壊が混在した破壊

Failure along the FJ profile and  
failure beginning at the FJ and  
progressing away from the FJ

ヒノキ hinoki FJ-6.5

Photo 4. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-6.5) の破壊の状態の例

Types of failure that occur in hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-6.5)

Table 7. ヒノキ NJ 試験体および FJ 試験体 \* (NJ, FJ-6.5-0.50, FJ-6.7-0.50) の曲げ試験結果

Results of bending test of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) NJ and FJ\* specimens (NJ, FJ-6.5-0.50, FJ-6.7-0.50)

| Species  | Group       | FJ   | n    |             | $\rho$               | $E_b$                 | $\sigma_b$           | $P_{bp}$ | Ratio of $P_{bp}$ to maximum load | Def. at maximum load | MC    |
|--|-------------|------|------|-------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------|-----------------------------------|----------------------|-------|
|  |             |      |      |             | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kN/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N)      | (%)                               | (mm)                 | (%)   |
| ヒノキ<br>hinoki<br>( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) | Egm14       | NJ   | 12   | Avg.        | 514                  | 14.6                  | 89.6                 | 4175     | 57.5                              | 31.4                 | 12.2  |
|  |             |      |      | Min.        | 463                  | 12.3                  | 69.7                 | 2850     | 43.4                              | 21.4                 | 11.7  |
|  |             |      |      | Max.        | 538                  | 16.5                  | 110                  | 5146     | 65.9                              | 46.5                 | 12.5  |
|  |             |      |      | S.D.        | 27.4                 | 1.46                  | 11.4                 | 793.8    | 7.84                              | 7.91                 | 0.237 |
|  |             |      |      | C.V.(%)     | 5.33                 | 10.0                  | 12.7                 | 19.01    | 13.6                              | 25.2                 | 1.95  |
|  |             |      |      | FJ-6.5-0.50 | 12                   | Avg.                  | 507                  | 14.5     | 73.2                              | 4021                 | 68.6  |
|  | Min.        | 451  | 12.6 | 65.9        |                      | 2825                  | 46.2                 | 12.4     | 11.2                              |                      |       |
|  | Max.        | 574  | 16.2 | 84.5        |                      | 4766                  | 86.2                 | 22.3     | 12.3                              |                      |       |
|  | S.D.        | 37.6 | 1.14 | 5.59        |                      | 570.6                 | 11.2                 | 3.28     | 0.334                             |                      |       |
|  | C.V.(%)     | 7.42 | 7.86 | 7.63        |                      | 14.19                 | 16.3                 | 19.4     | 2.81                              |                      |       |
|  | FJ-6.7-0.50 | 14   | Avg. | 510         |                      | 14.4                  | 71.7                 | 3897     | 67.7                              | 17.1                 | 12.0  |
|  | Min.        |      | 461  | 12.2        | 59.8                 | 3000                  | 51.5                 | 11.6     | 11.5                              |                      |       |
| Max.   | 590         |      | 16.3 | 82.1        | 4647                 | 86.0                  | 31.3                 | 12.3     |                                   |                      |       |
| S.D.   | 37.4        |      | 1.25 | 5.64        | 495.7                | 9.56                  | 5.10                 | 0.229    |                                   |                      |       |
| C.V.(%)  | 7.34        |      | 8.69 | 7.86        | 12.72                | 14.1                  | 29.8                 | 1.91     |                                   |                      |       |

Species : 樹種 . Group : グループ (Table 1 を参照) See Table 1. FJ : 曲げ試験体名 Name of bending specimens.

n : 試験体数 Number of specimens. Avg. : 平均値 Average value. Min. : 最小値 Minimum value. Max. : 最大値 Maximum value.

S.D. : 標準偏差 Standard deviation. C.V. : 変動係数 Coefficient of variation.

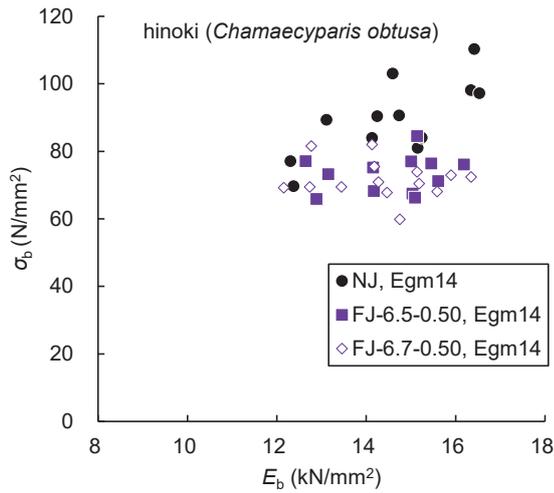
$\rho$  : 密度 Density.  $E_b$  : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.

$P_{bp}$  : 曲げ比例限度荷重 Proportional limit load.

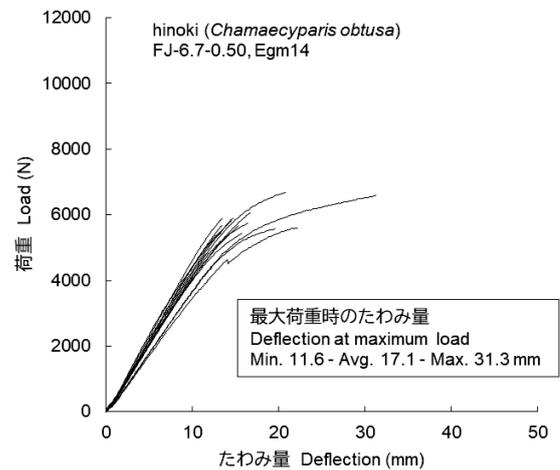
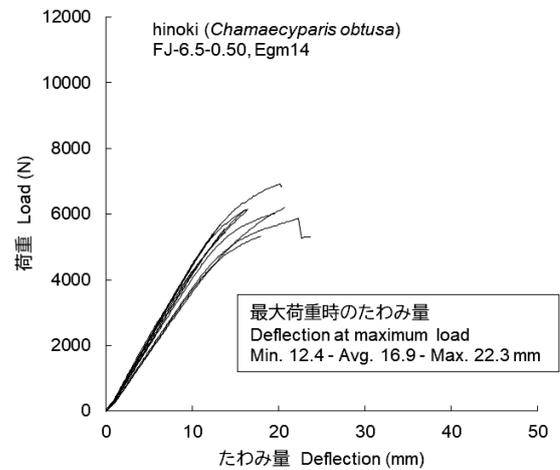
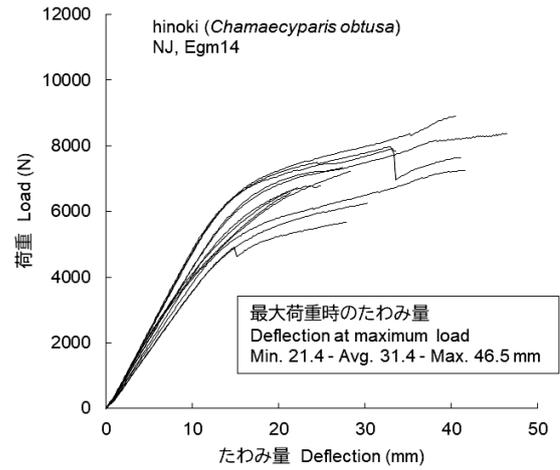
Ratio of  $P_{bp}$  to maximum load : 最大荷重に対する曲げ比例限度荷重の割合 Ratio of proportional limit load to maximum load.

Def. at maximum load : 最大荷重時のたわみ量 Deflection at maximum load. MC : 含水率 Moisture content.

\* 加工時の 1 刃あたりの送り量 Feed per knife = 0.50 mm/knife



**Fig. 10. ヒノキ NJ 試験体および FJ 試験体 \* (FJ-6.5-0.50、FJ-6.7-0.50) の曲げヤング係数と曲げ強度の関係 Relationships between  $E_b$  and  $\sigma_b$  of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) NJ and FJ\* specimens (FJ-6.5-0.50, FJ-6.7-0.50)**  
 $E_b$ : 曲げヤング係数 Young's modulus in static bending.  $\sigma_b$ : 曲げ強度 Bending strength.  
 \* 加工時の 1 刃あたりの送り量 Feed per knife = 0.50 mm/knife



Egm14

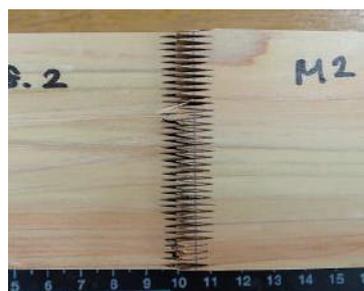
**Fig. 11. ヒノキ NJ 試験体および FJ 試験体 \* (FJ-6.5-0.50、FJ-6.7-0.50) の曲げ試験時の荷重とたわみ量の関係 Relationship between load and deflection of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) NJ and FJ\* specimens (FJ-6.5-0.50, FJ-6.7-0.50) under bending**  
 \* 加工時の 1 刃あたりの送り量 Feed per knife = 0.50 mm/knife



荷重点間での木部破壊  
Wood failure between loading points



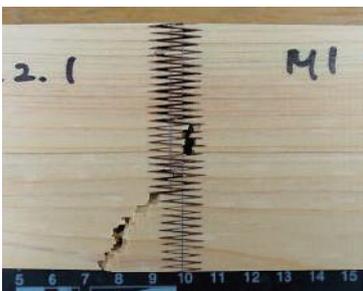
フィンガーの根元での破壊と  
スカーフ面での破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and  
failure along the FJ profile



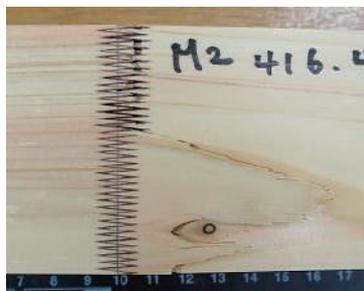
フィンガーの根元での破壊と  
スカーフ面での破壊が混在した破壊  
Wood failure at the FJ roots and  
failure along the FJ profile



荷重点間での木部破壊  
Wood failure between loading points



フィンガーのスカーフ面での破壊  
と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Failure along the FJ profile and  
failure beginning at the FJ and  
progressing away from the FJ



フィンガーのスカーフ面での破壊  
と FJ 外での木部破壊が混在した破壊  
Failure along the FJ profile and  
failure beginning at the FJ and  
progressing away from the FJ

ヒノキ hinoki NJ

ヒノキ hinoki FJ-6.5-0.50

ヒノキ hinoki FJ-6.7-0.50

**Photo 5. ヒノキ NJ 試験体および FJ 試験体 \* (FJ-6.5-0.50、FJ-6.7-0.50) の破壊の状態の例**  
Types of failure that occur in hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) NJ and FJ\* specimens (FJ-6.5-0.50, FJ-6.7-0.50)

\* 加工時の 1 刃あたりの送り量 Feed per knife = 0.50 mm/knife

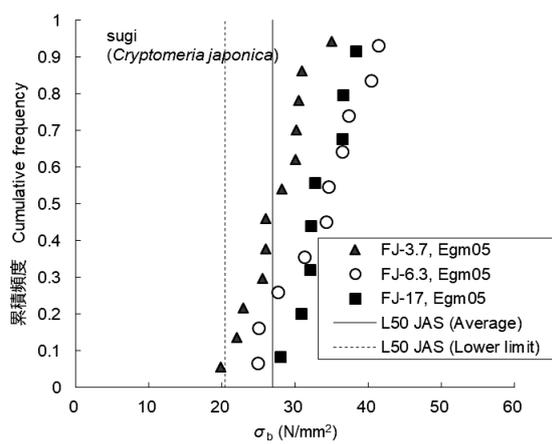
5 体が、Egm12.5 では 5 体中 3 体が JAS 基準値の平均値を上回った。Egm14 では 8 体すべて JAS 基準値の平均値を満たさなかった。Egm10 の残りの 5 体、Egm11 の残りの 2 体についてはすべて JAS 基準値の下限値を満たした。Egm12.5 の残り 2 体のうち 1 体については JAS 基準値の下限値を満たしたが、もう 1 体はわずかに下限値を満たさなかった。Egm14 の 8 体のうち 4 体は JAS 基準値の下限値を満たしたが、4 体は下限値を満たさなかった。一方、追加で試験を実施した FJ-6.5 の Egm14 においては、9 体中 5 体で JAS 基準値の平均値を満たし、残りの 4 体も

JAS 基準値の下限値を十分に満たした。さらに 1 刃あたりの送り量を 0.50 mm/knife に設定してフィンガー加工を行った FJ-6.5-0.50 および FJ-6.7-0.50 の Egm14 (Fig. 14) においては、材の幅は他の試験体の半分程度の 58mm であるが、それぞれ 12 体、14 体すべての試験体で JAS 基準値の平均値を満たした。

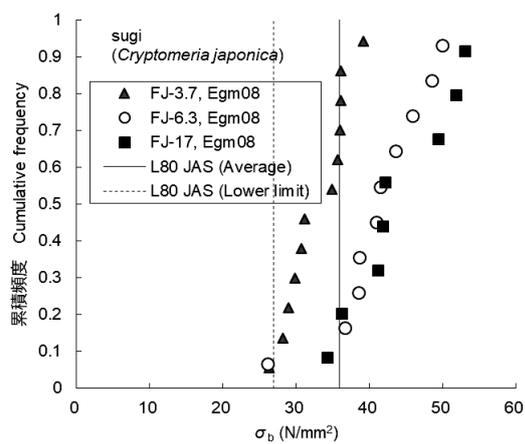
エゾマツ FJ 試験体 (Fig. 15) については、曲げ試験体の曲げヤング係数をもとに等級区分した場合、L70 ~ L125 に区分される。このとき L100 に区分される FJ-17 の試験体 1 体が JAS 基準値の平均値をわずかに下回った。

**Table 8. 集成材の日本農林規格における等級区分機による区分ラミナの強度性能基準**  
**Bending strength properties of lumber required by the Japanese Agricultural Standard for glued laminated timber**

| 機械区分による等級<br>Grade of lumber | 曲げヤング係数<br>bending Young's modulus<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | 曲げ強さ<br>Bending strength               |  |
|------------------------------|---|--|--|
|                              |   | 平均値<br>Average<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 下限値<br>Lower limit<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| L200                         | 20.0  | 81.0                                   | 61.0                                       |
| L180                         | 18.0  | 72.0                                   | 54.0                                       |
| L160                         | 16.0  | 63.0                                   | 47.5                                       |
| L140                         | 14.0  | 54.0                                   | 40.5                                       |
| L125                         | 12.5  | 48.5                                   | 36.5                                       |
| L110                         | 11.0  | 45.0                                   | 34.0                                       |
| L100                         | 10.0  | 42.0                                   | 31.5                                       |
| L90                          | 9.0   | 39.0                                   | 29.5                                       |
| L80                          | 8.0   | 36.0                                   | 27.0                                       |
| L70                          | 7.0   | 33.0                                   | 25.0                                       |
| L60                          | 6.0   | 30.0                                   | 22.5                                       |
| L50                          | 5.0   | 27.0                                   | 20.5                                       |
| L40                          | 4.0   | 24.0                                   | 18.0                                       |
| L30                          | 3.0   | 21.0                                   | 16.0                                       |



Egm05



Egm08

**Fig. 12. スギ FJ 試験体 (FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7) の曲げ強度の累積頻度**  
**Cumulative frequency of bending strength of sugi (*Cryptomeria japonica*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)**

$\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.

L50 JAS (Average), L80 JAS (Average) : 機械等級区分 L50、L80 ラミナに求められる曲げ強度の平均値 Average value of bending strength required for L50 and L80 grade of sawn lumber.

L50 JAS (Lower limit), L80 JAS (Lower limit) : 機械等級区分 L50、L80 ラミナに求められる曲げ強度の下限値 Lower limit value of bending strength for L50 and L80 grade of sawn lumber.

その他の試験体については、FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7のいずれも、区分される等級のJAS基準値の平均値を満たした。

以上の結果から、今回実験を行ったフィンガー長さ6.3～6.7 mmのFJ試験体はJASで定められる基準値をほぼ満たしており構造用集成材用のラミナとして利用できる強度性能を有することが示された。特に、1刃あたりの送り量を0.50 mm/knifeに調整して加工した場合、高い曲げ強度が求められる強度等級L140のラミナについても基

準を満足できることが示された。一方、フィンガー長さ3.7 mmのFJ試験体は、エゾマツではフィンガー長さ17 mm、6.3 mmのFJ試験体と同程度の曲げ強度を示したが、スギ、ヒノキでは他の長さのFJ試験体に比べて曲げ強度が低く、またヒノキのEgm14（L140相当）では下限値を満たさない試験体が半数程度見られた。このことから、FJ-3.7を構造用集成材用のラミナとしての利用するのは現状では難しいと考えられる。

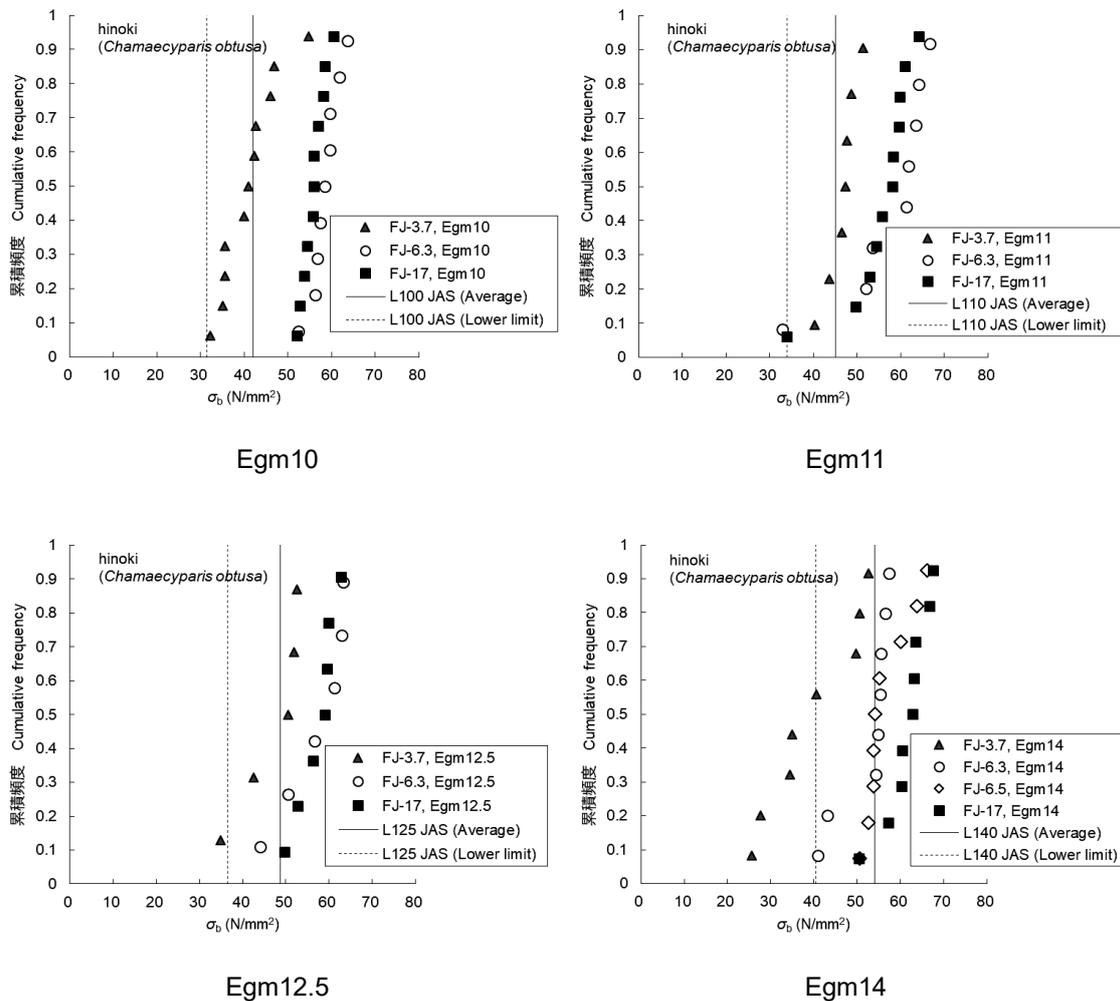


Fig. 13. ヒノキ FJ 試験体 (FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7、FJ-6.5) の曲げ強度の累積頻度

Cumulative frequency of bending strength of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7, FJ-6.5)

$\sigma_b$  : 曲げ強度 Bending strength.

L100 JAS (Average), L110 JAS (Average), L125 JAS (Average), L140 JAS (Average) : 機械等級区分 L100、L110、L125、L140 ラミナに求められる曲げ強度の平均値 Average value of bending strength required for L100, L110, L125 and L140 grade of sawn lumber.

L100 JAS (Lower limit), L110 JAS (Lower limit), L125 JAS (Lower limit), L140 JAS (Lower limit) : 機械等級区分 L100、L110、L125、L140 ラミナに求められる曲げ強度の下限值 Lower limit value of bending strength for L100, L110, L125 and L140 grade of sawn lumber.

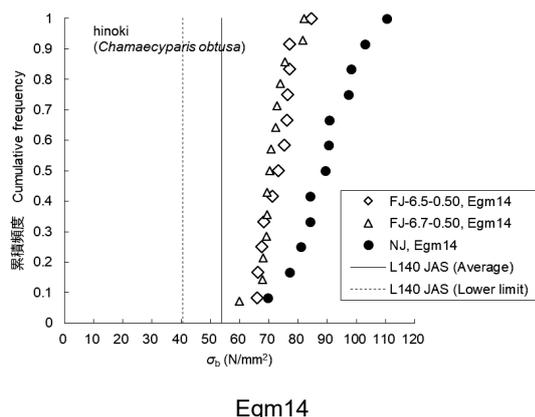


Fig. 14. ヒノキ NJ 試験体および FJ 試験体 \* (FJ-6.5-0.50、FJ-6.7-0.50) の曲げ強度の累積頻度

Cumulative frequency of bending strength of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) NJ and FJ\* specimens (FJ-6.5-0.50, FJ-6.7-0.50)

$\sigma_b$ : 曲げ強度 Bending strength.

L140 JAS (Average): 機械等級区分 L140 ラミナに求められる曲げ強度の平均値 Average value of bending strength required for L140 grade of sawn lumber.

L140 JAS (Lower limit): 機械等級区分 L140 ラミナに求められる曲げ強度の下限値 Lower limit value of bending strength for L140 grade of sawn lumber.

\* 加工時の 1 刃あたりの送り量 Feed per knife = 0.50 mm/knife

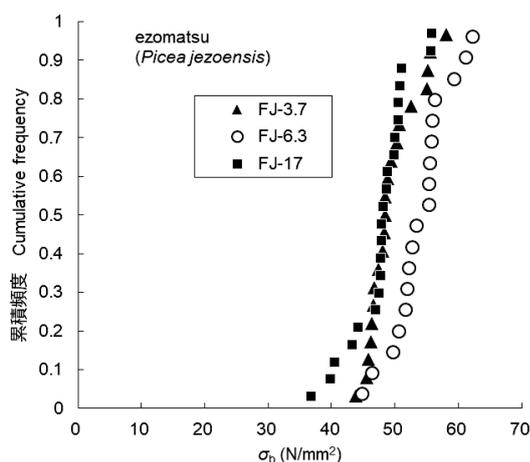


Fig. 15. エゾマツ FJ 試験体 (FJ-17、FJ-6.3、FJ-3.7) の曲げ強度の累積頻度

Cumulative frequency of bending strength of ezomatsu (*Picea jezoensis*) FJ specimens (FJ-17, FJ-6.3, FJ-3.7)

$\sigma_b$ : 曲げ強度 Bending strength.

### 5. まとめ

スギ、ヒノキ、エゾマツの 3 樹種について、異なるフィンガーカッターを用いてフィンガー長さ 17 mm、6.3 mm、3.7 mm のフィンガージョイント (FJ) 試験体を作製し、それらの曲げ強度特性を調べた。ヒノキについては、さらにフィンガー長さ 6.5、6.7 mm の FJ 試験体を作製し、その曲げ強度特性を調べた。これらの試験結果から以下のことが明らかになった。

1) スギについては、Egm05、Egm08 とともに、フィンガー長さ 17mm、6.3mm の FJ 試験体の曲げ強度に差は見られなかった。一方、3.7mm はこれらよりも曲げ強度が低かった。

2) ヒノキについては、Egm10、Egm11、Egm12.5 では 17mm と 6.3mm の曲げ強度に差は見られなかったが、Egm14 では 6.3mm のほうがわずかに低い値となった。6.5mm に加工した場合、17mm と同等の曲げ強度が得られた。接着面積の増加が要因として考えられた。一方、3.7mm はこれらよりも曲げ強度が低かった。

3) ヒノキの Egm14 については、フィンガー長さを 6.5 mm、6.7 mm と長くすることにより、曲げ強度がわずかに向上した。また、送り速度を低くし、1 刃あたりの送り量を 0.50 mm/knife とすることで曲げ強さが大きく向上した。

4) エゾマツについては、スギ、ヒノキでの結果と異なり、17mm、6.3mm、3.7mm の曲げ強度は同程度で、本実験に用いたフィンガー形状においては、フィンガー長さの影響は見られなかった。

以上の結果から、フィンガーの形状の各要素に関して適当な値をとり、さらに 1 刃あたりの送り量について適切な値をとることによって、フィンガー長さ 6.3 mm、6.5 mm、6.7 mm の FJ 試験体はフィンガー長さ 17mm の FJ 試験体と同程度の曲げ強さが得られ、集成材の JAS で示されるラミナの曲げ強さの基準値を満足できることが明らかになった。

今後の検討課題としては、各 FJ 材の引張り、圧縮強度特性を明らかにすること、ベイマツなど密度の高い樹種についても FJ 材の強度特性を明らかにすること、工場の製造ラインで作製した FJ 材の強度特性を明らかにすること、フィンガー長さの短い FJ でたて継ぎされたひき板を用いて作製した集成材の強度特性を明らかにすることが挙げられる。また、1 刃あたりの送り量等、FJ の加工条件が FJ の形状、スカーフ面の粗さ、加工面の状態といった加工性状に及ぼす影響、それらと強度との関係についても明らかにする必要があると考えられる。

### 謝 辞

本研究は、兼房株式会社と森林総合研究所との共同研究「マイクロフィンガージョイントによる構造用たて継ぎ材の開発と評価に関する研究」、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト「マ

イクロフィンガージョイントによる高効率型木材接着接合技術の開発（課題番号 201114）」により実施した。

株式会社オーシカよりレゾルシノール系樹脂をご提供いただいた。ここに感謝の意を表す。

最後に、兼房株式会社 西尾悟氏（故人）には、本研究の立案、推進にあたり多大なるご助言、ご協力を賜った。この場を借りて深くお礼申し上げる。

### 引用文献

- 有馬 孝禮 (1984) フィンガージョイント縦継ぎ木材の現状と技術的課題. 木材工業, 39(10), 473-478
- 海老原 徹 (1984) 工場生産されたラミナのフィンガージョイント ラミナの性能試験. 日本木材学会大会研究発表要旨集, 34, p.308
- 藤本 清彦・平松 靖・野田 康信・加藤 英雄・長尾 博文・宮武 敦・松岡 秀尚・小西 浩和・西川 祥子 (2018) 寸法型式の異なるスギ枠組壁工法用部材のフィンガージョイント加工 (第 1 報) 加工条件が加工精度および消費電力に及ぼす影響. 木材工業, 73(2), 58-64
- Fujimoto, K., Hiramatsu, Y., Kojima, M., Ogawa, K., Suesada, H., Takase, R. and Suzuki, K. (2019) Effect of Cutting Condition on Cutting Energy and Accuracy in Processing Micro Finger Joints. Proceedings of International Wood Machining Seminar, 24, 291-296
- 平松 靖・土屋 敦・藤本 清彦・西尾 悟・宮武 敦・新藤 健太・宇京 齊一郎・林 知行 (2021) フィンガー長さ 3.5 mm のフィンガージョイントでたて継ぎしたスギ材の曲げ、引張り強度特性. 木材工業, 76, 54-59
- 堀江 秀夫 (1984) 構造用フィンガージョイント材の実現に向けて (1) 一基本的なフィンガージョイント工法の性質について一. 林産誌だより, 7, 11-14
- 堀江 秀夫・倉田 久敬 (1982) フィンガージョイント材 (F・J 材) の強度性能 (第 3 報). 林産試月報, 363, 1-7
- 堀江 秀夫・倉田 久敬 (1984) 構造用フィンガージョイント材の強度性能 (第 1 報). 林産試験場研究報告, 73, 1-33 (1984)
- 堀江 秀夫・倉田 久敬・石井 誠 (1986) 構造用フィンガージョイント材の強度性能 (第 2 報). 林産試験場研究報告, 76, 45-71
- 星 通 (1978) ミニフィンガージョイントの形状と性能 (3). 林業試験場木材部資料, 52-8, 1-17
- 星 通・千葉 保人 (1973) ミニフィンガージョイントの形状と性能. 木材工業, 28(8), 355-357
- 星 通・千葉 保人 (1976) ミニフィンガージョイントの形状と性能 II. 木材工業, 31(8), 343-345
- 生田 晴家・永田 貞明・宮島 寛 (1975) 4 mm フィンガージョイントの圧縮圧と曲げ性能について. 日本木材学会北海道支部講演集, 7, 20-24
- Marian, J.E. (1968) A new procedure for wood finger-jointing and its principles. Holz als Roh-und Werkstoff, 26 (2), 41-45
- Marian, J.E. (1969) Method of forming finger joints. U.S. Patent 3, 480, 054. Nov. 25
- 宮島 寛・生田 晴家 (1976) 13 mm フィンガージョイントの接合性能に関する研究. 北海道大学農学部演習林研究報告, 33(1), 167-200
- 森 徹・今泉 勝吉 (1957) 12. 建築用集成木材に関する研究 (第 9 報) スカーフの傾斜と引張強さとの関係. 日本建築学会研究報告, 39, 45-50
- 農林水産省 (2019) 令和元年 6 月 27 日農林水産省告示第 475 号 集成材の日本農林規格
- 大野 英克・亀山 雄擗・鈴木 寿幸・吉田 佳右・松本 かほる・石栗 太・横田 信三・飯塚 和也・吉澤 伸夫 (2010a) ラミナ特性や断面構成が同等の曲げヤング係数を有する異樹種異等級構成集成材の曲げ性能に及ぼす影響. 木材学会誌, 56 (3), 72-181
- 大野 英克・亀山 雄擗・鈴木 寿幸・吉田 佳右・松本 かほる・石栗 太・横田 信三・飯塚 和也・吉澤 伸夫 (2010b) 同等の曲げヤング係数を有する針葉樹異樹種異等級構成積層材の曲げ性能. 木材学会誌, 56(3), 189-196
- Rao S, Meng G, Chui Y. H. and Mohammad M. (2012) Effect of geometric parameters of finger joint rofile on ultimate tensile strength of single finger-joined boards. Wood and Fiber Science, 44(3), 1-8
- Selbo M. L. (1963) Effect of joint geometry on tensile strength of finger joints. Forest Products Journal, 13(9), 390-400
- (財) 日本住宅・木材技術センター (1983) 技術開発推進事業報告書, たて接合部材開発, 昭和 58 年 3 月
- (財) 日本住宅・木材技術センター (1984) 技術開発推進事業報告書, たて接合部材開発, 昭和 59 年 3 月
- (財) 日本住宅・木材技術センターたて接合委員会 (1985) 構造用たてつぎ木材の製造基準 (案) について. 木材工業, 40(4), 175-181

## Bending strength properties of finger-jointed sugi, hinoki and ezomatsu lumber with different finger lengths

Yasushi HIRAMATSU<sup>1)\*</sup>, Atsushi TSUCHIYA<sup>2)</sup>, Kiyohiko FUJIMOTO<sup>3)</sup>, Seiichiro UKYO<sup>4)</sup>,  
Atsushi MIYATAKE<sup>1)</sup>, Kenta SHINDO<sup>1)</sup> and Tomoyuki HAYASHI<sup>5)</sup>

### Abstract

In this study, the bending strength properties of finger-jointed (FJ) sugi (*Cryptomeria japonica*), hinoki (*Chamaecyparis obtusa*), and ezomatsu (*Picea jezoensis*) lumber having finger lengths of 17, 6.3, and 3.7 mm were investigated. Additionally, the bending strength properties of the hinoki FJ lumber with finger lengths of 6.5 and 6.7 mm were investigated. The following results are obtained. (1) There was no difference in the bending strength of the sugi FJ lumber with finger lengths of 17 and 6.3 mm. (2) No difference was observed in the bending strength of 17- and 6.3-mm hinoki FJ lumber composed of sawn lumbers with a bending Young's modulus of less than 14 kN/mm<sup>2</sup>. For FJ lumbers composed of sawn lumber with a bending Young's modulus of 14 kN/mm<sup>2</sup> or more, the bending strength of FJ lumber with finger length of 6.3 mm was slightly lower than that of FJ lumber with finger length of 17 mm; however, the bending strength of FJ lumber with finger lengths 6.5 and 6.7 mm was equivalent to that of FJ lumber with finger lengths of 17 mm. If finger pitch is the same, the longer the finger length is, the larger the adhesive area; thus, it is considered that the bending strength of 6.5- and 6.7-mm FJ lumber is higher than that of 6.3-mm FJ lumber for larger adhesive area. Additionally, by setting the feed per knife during cutting to 0.50 mm, the bending strength of FJ lumber with finger lengths of 6.5 and 6.7 mm was significantly improved. (3) The bending strength for both sugi and hinoki FJ lumber with the finger length of 3.7 mm was low. (4) For ezomatsu, the bending strength of 17-, 6.3-, and 3.7-mm-length FJ lumber was the same.

**Key words :** finger joint, bending strength, glued laminated timber, cross laminated timber, dimension lumber, lamina, lumber

---

Received 31 May 2021, Accepted 27 September 2021

1) Department of Wood-Based Materials, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Kanefusa Corporation

3) Department of Wood Properties and Processing, FFPRI

4) Department of Wood Engineering, FFPRI

5) Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

\* Department of Wood Properties and Processing, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; E-mail: yash@ffpri.affrc.go.jp

