

- 研究 -

フィンガー・ジョイント材 (F・J材) の強度性能 (第3報)

- 実用的エンドプレッシャー値と量産実大F・J材の曲げ強度性能 -

堀江 秀夫 倉田 久敬*

Strength Properties of Finger-Jointed Lumber ()

Hideo HORIE Hisayoshi KURATA

The purpose of this study is a practical application of structural finger-jointed lumber. In this paper further investigation is made of end-pressure values proper in practice and the bending strength property of mass-produced full-size finger-jointed lumber mentioned in the previous papers. The materials used in the experiments are 4.0 cm × 9.6cm lumbers of Ezomatsu and Todomatsu. The results are summarized as follows:

The proper end-pressure value was 60-80kg / cm². The full-size finger-jointed lumber produced on a mass scale had a bending strength property which was suitable for being used as structural lumber.

本研究の目的は、フィンガー・ジョイント工法による構造用縦継ぎ木材の実用化にある。前報に続いて、今回は、実用的なエンドプレッシャー値と、量産された実大 F・J 材の曲げ強度性能について検討した。用いた材料は、道産針葉樹のエゾマツ・トドマツ平割材である。

その結果、実用的なエンドプレッシャー値は60~80kg/cm²と判断された。さらに、工場生産規模で量産された F・J 材の曲げ強度性能は、構造用材として十分であることを確かめた。

1. はじめに

本報告は、フィンガー・ジョイント工法による縦継ぎ木材 (F・J材) を、構造用部材として実用化することを目標とした研究の第3報である。第1報¹⁾では、若干の基本的作業条件を取り上げて、F・J材の曲げ接合効率に対する影響から適正作業条件を求めた。第2報²⁾では、求めた適正作業条件により製造したF・J材の総合的強度性能試験を行い、F・J材の許容応力度について検討した。その結果、F・J材の許容応力度は、現行の素材の許容応力度誘導体系に基づいて誘導できることを確かめた。

しかし、以上の結論は、厳選された材料と最適な条件で製造された F・J 材から導かれたもので、構造用 F・J材の実用化のためには、工場的实际規模で製造された実大F・J材による確認実験が必要であった。そこで、今回は、実用的製造基準を作成する上で確認が必要と思われるエンドプレッシャー値と、実大の木材を工場規模でジョイントしたF・J材の曲げ強度性能について検討した。

具体的には、断面寸法が平割程度のエゾマツ・トドマツ材を用いて嵌合縦圧縮試験を行い、実用的エンドプレッシャー値の範囲を求めた。次に、求めた適正工

ンドプレッシャー値を用いて、同じエゾマツ・トドマツ平割材を当場の生産設備でジョイントし、量産されたF・J材の曲げ強度試験を行った。その結果から、工場規模で量産された実大F・J材の強度性能が、構造用部材としての性能を満足しているかどうかを検討した。なお、今回の試験で用いた接着剤は、接着性能・作業性・価格を考慮して水性ビニルウレタン(光洋産業KR-120)とし、カッターは前報^{1),2)}と同じ12mmミニフィンガー・カッター(兼房刃物)である。

2. 材料及び試験方法

2.1 嵌合縦圧縮試験

4.6×9.6cm断面のエゾマツ・トドマツ気乾材を供試材とし、繰り返し数4回の三元配置法でランダムに嵌合縦圧縮試験を行った。試験方法は第1報と同じであり、第1図に示す手順で行った。1/100mm精度の小野測器製ロータリーエンコーダー式変位計と10tonアムスラー型油圧試験機により、荷重200kgごとの

第1表 材料の性質及び試験条件

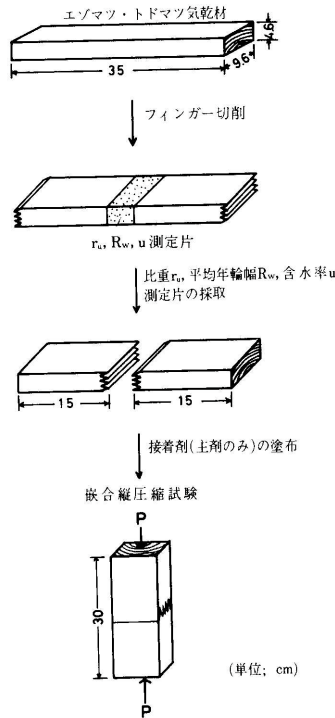
		嵌合縦圧縮試験	F・J材の曲げ試験
材料	樹種	エゾマツ・トドマツ	
	含水率(%)	11.5 (8.1~14.8)	13.0(11.1~18.0)
	年輪幅(mm)	——a)	2.1 (0.5~7.6)
切削条件	12mmミニフィンガーカッター	鋭利と摩耗	摩 耗
	カッターの刃先位置	交 互	交 互
	送材速度(m/min)	16	16
	フィンガー長さ(mm)	10.8	10.5
嵌合条件	接着剤	水性ビニルウレタン	
	嵌合方法	(主剤のみ) ——a)	(主100:硬15)
	エンドプレッシャー		切出面一切出面 約60kg/cm ²

注) a) , 第2表を参照のこと。

第2表 三元配置実験の因子と水準

因 子	水 準	
A. カッターの鋭利度	鋭 利	摩 耗
B. 嵌合方法	切込面一切出面	切出面一切出面
C. 平均年輪幅	狭 い (0.9~1.5mm)	広 い (2.3~4.4mm)

注) 材料の年輪走向は、1条件につき柎目1、板目1、追柎目2の計4体。



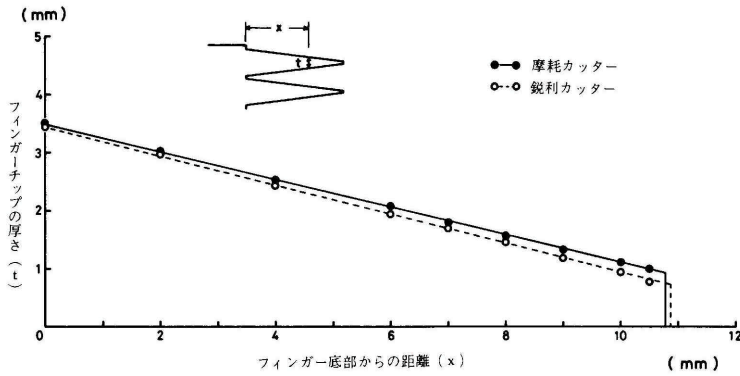
第1図 嵌合縦圧縮試験の手順

全体変位を測定し、各試験片ごとの荷重-変位曲線を作図した。このときのフィンガー長さは適正長さの約10.8mmに設定し、荷重-変位曲線が第1報で示したBタイプ(S字状の曲線で中間に一つの直線域が現れるタイプ)の曲線型となる様にした。

材料の性質及び試験条件を第1表に、三元配置実験として取り上げた因子と水準を第2表に示す。1条件当たりの試験片数は、正柎目材1体、正板目材1体、追柎目材2体の計4体とし、各条件とも材料の年輪走向に差異が生じない様に配慮した。

ここで、取り上げた因子について説明する。

A. カッターの鋭利度は、予備試験結果から、切削されたフィンガーの形状及び切削面の平滑性に影響を与えることがわかっている。第2図は、鋭利なカッターと摩耗したカッターとでエゾマツ気乾平割材を切削した場合、切削された木材のフィンガー形状が違うことを示している。鋭利なカッターとは新品の研磨直後



第2図 カッター鋭利度の違いによるフィンガー形状の差異

のカッターのことで、摩耗したカッターとは購入後 2 度研磨を行い、その後さらに使用してだいぶ切れ味の悪くなったカッターのことである。図を見ると、フィンガーチップの厚さは摩耗カッターの方が厚く、スカーフ面の傾斜も摩耗カッターの方が緩いことがわかる。つまり、摩耗カッターで切削された木材を嵌合する場合にはきつくなる。また、切削されたスカーフ面を肉眼で観察すると、摩耗カッターの場合には毛羽立ちが目立つ。この様に、カッターの鋭利度はエンドプレッシャーに影響を及ぼすと考えられる。

B. 嵌合方法とは、フィンガー切削時のカッターが切り込んでゆく材料面 (切込面) とカッターが切り出てゆく材料面 (切出面) との、嵌合をするときの組み合わせのことである。この組み合わせには、ジョイント材の表面に切込面と切出面がくる場合と、切出面と切出面 (又は切込面と切込面) がくる場合の 2通りがあり、どちらの場合かによって嵌合のきつさが違う。その原因は、切込面のフィンガー形状よりも切出面のフィンガー形状の方がわずかに太くなる傾向があるためである。切込面と切出面の材料が嵌合されるときはスムーズに、切出面と切出面の材料が嵌合されるときはきつくなる。

C. 平均年輪幅は、材料強度 (縦圧縮及び横圧縮強度、割裂強度など) の指標であり、当然エンドプレッシャーに影響を与えるので取り上げた。

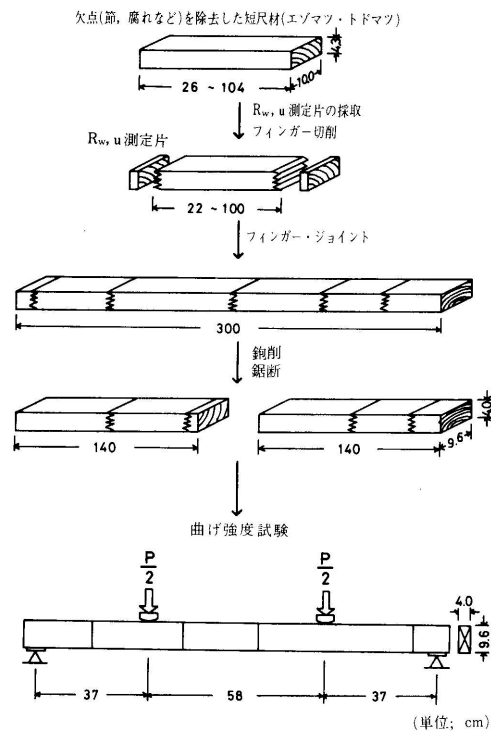
2.2 量産された実大F・J材の曲げ強度試験

用いた材料の性質及び接合条件は、第1表に示す様

〔林産月報 1982年4月〕

に嵌合縦圧縮試験とほぼ同じである。ただし、この試験でのエンドプレッシャー値は、嵌合縦圧縮試験の結果得られた適正値 60kg/cm^2 とした。カッターは、実際の工場生産を念頭において摩耗カッターを使用した。F・J材の製造・試験手順を第3図に示す。公称寸法が $4.5 \times 10.5 \times 365\text{cm}$ の平割材 (エゾマツ・トドマツ) を人工乾燥し、 $4.3 \times$

10.0cm 断面に飽削した。その後、節・腐れ・アテ等の欠点をすべて除去し、長さ $22 \sim 100\text{cm}$ の短尺材とした。この短尺材の両木口より長さ 約 2cm の年輪幅・含水率測定片を採取した。こうした後、樹種や年輪走向を考えずランダムに短尺材をジョイントした。フィンガー切削及び嵌合は、当場の生産用機械を用いて連続的に行い、また接着剤の塗布はブラシで行った。この様にして長さ 3m の F・J材を量産した。



第3図 量産された実大F・J材の製造及び曲げ強度試験の手順

約1週間の養生後、再び鉋削・鋸断を行い、長さ3mのF・J材から断面4.0×9.6cm長さ140cmの曲げ強度試験体を2ないし1体採取した。この試験体には1~5個のジョイント部があり、曲げ強度試験時の等モーメント区間に必ず1~2箇所のジョイント部がある様に注意した。

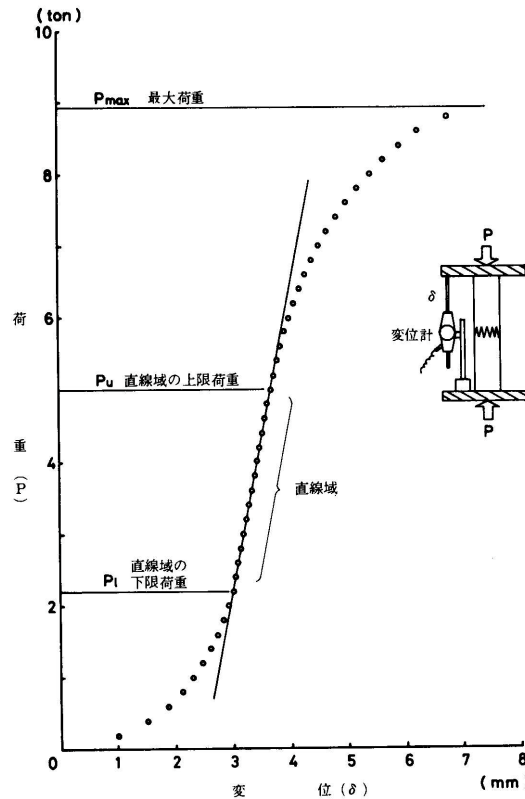
曲げ強度試験の方法は、スパン132cm、等モーメント区間の長さ58cm、フィンガー形状が現れている面に加力する2点荷重エッジワイス加力方式である。試験機は10tonインストロン型強度試験機を用い、荷重速度10mm/minとした。ロードセルによる荷重値とクロスヘッドの移動量から荷重-変位曲線をチャート紙上に記録し、これから試験体の曲げヤング係数、曲げ比例限度応力、曲げ破壊係数を求めた。試験体数は70体である。

3. 結果と考察

3.1 嵌合縦圧縮試験

嵌合縦圧縮試験における荷重-変位曲線の代表例を第4図に示す。第1報の実験でいろいろなフィンガー長さに対して嵌合縦圧縮試験と曲げ強度試験を行った結果、第4図に示された様な一つの直線域をもったS字曲線を描くフィンガー長さが、F・J材の強度に対して最適長さであった。また、その直線域の中間荷重に対応するエンドプレッシャー値が、同様に最適値であった。一方、直線域の上限荷重に対応する応力値(上限応力)を超えるエンドプレッシャーを加えると、嵌合される木材に何らかの損傷が観察されることから、これ以上のエンドプレッシャーは危険と判断される。また、直線域の下限荷重に対応する応力値(下限応力)は、安定した嵌合に必要なエンドプレッシャーの最低値と考えられる。つまり、適正なエンドプレッシャー値の範囲は、この直線域の上限応力と下限応力の間であると判断される。なお、ここで使っている荷重に対応する応力値とは、その荷重を材料の断面積で除した値(嵌合縦圧縮応力)のことである。

こうした考えから、荷重-変位曲線から得られた直線域の上・下限応力と最大荷重に対応する応力値(最



第4図 嵌合縦圧縮試験における荷重-変位曲線の代表例

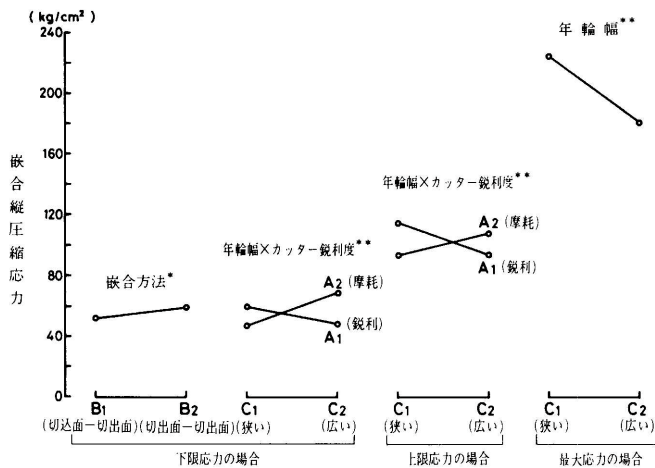
大応力) について、三元配置法の分散分析を行った。その結果が第3表であり、その中で有意となった因子の効果グラフが第5図である。有意となった因子は、下限応力の場合では嵌合方法及びカッターの鋭利度と年輪幅の交互作用、上限応力の場合ではカッターの鋭利度と年輪幅の交互作用、そして最大応力の場合では年輪幅であった。

しかし、有意な因子の水準間の応力差は約40kg/cm²以内であり、後述する下限応力と上限応力の平均値差46kg/cm²と同程度である。この事と適正エンドプレッシャー値がこの上・下限応力の中間にある事を考え合わせると、有意となつた因子でも水準間の差異は実用的な意味をもたなくなる。さらに、その因子及び水準は、材料と機械装置の個有の性質から現実問題として調整不能であり、意味がない。

そこで、全体としてほぼ適正と思われるエンドプレッシャーの範囲を求めることにした。第6図は、試験

第3表 嵌合縦圧縮試験結果 (三元配置実験) の分散分析

因子	直線域の下限応力値				直線域の上限応力値				最大応力値			
	平方和	自由度	分散	分散比	平方和	自由度	分散	分散比	平方和	自由度	分散	分散比
A. カッター鋭利度	145	1	145	1.8	116	1	116	0.8	116	1	116	0.3
B. 嵌合方法	465	1	465	5.8*	7	1	7	0.1	399	1	399	1.0
C. 平均年輪幅	231	1	231	2.9	88	1	88	0.6	14749	1	14749	36.9**
A × B	2	1	2	0.0	69	1	69	0.5	0	1	0	0.0
B × C	15	1	15	0.2	94	1	94	0.7	38	1	38	0.1
C × A	2048	1	2048	25.4**	2433	1	2433	17.4**	167	1	167	0.4
A × B × C	312	1	312	3.9	413	1	413	3.0	53	1	53	0.1
誤差	1932	24	81		3348	24	140		9597	24	400	
合計	5150	31			6568	31			25119	31		



第5図 分散分析の結果，有意となった因子の効果グラフ

結果を材料の年輪幅と嵌合縦圧縮応力との関係で示したものである。図中の点線は、下限応力と上限応力の平均値を表しており、それぞれ 56及び 102kg/cm² (その差46kg/cm²) である。前述した様に上限応力以上のエンドプレッシャーは避けなければならないので、今回の実験での上限応力の最低値が76kg/cm²であることに留意し、さらにエンドプレッシャーは下限応力以上が必要であることを考慮すると、実用的な適正エンドプレッシャー値の範囲は60~80kg/cm²と判断される。この範囲のエンドプレッシャー値を用いれば、ある程度嵌合条件が変化しても、一定の強度性能をもったF・J材を製造できることになる。

3.2 量産された実大F・J材の曲げ強度試験

〔林産誌月報 1982年4月〕

F・J材の曲げ強度試験結果を第4表と第5表に示す。曲げヤング係数と曲げ破壊係数の平均値は、それぞれ88ton/cm²と379kg/cm²という十分な値である。また、破壊形態の違いによる強度性能の差は見られず、フィンガーが完全に引抜けてしまう様な接着不良例が1体もなかったことから、全試験体について良好な接着操作が行われていたことがわかる。さらにこの事は、嵌合縦圧縮試験の結果から、適正エンドプレッシャー値は60~80kg/cm²である、と判断したことの妥当性を示すもので

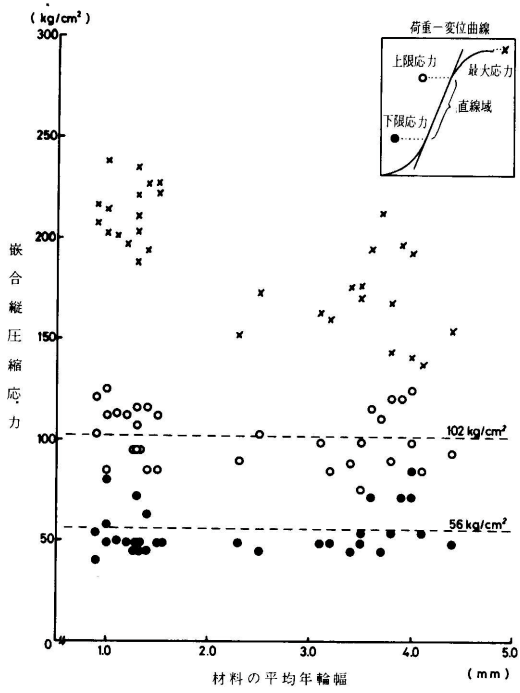
ある。

第7図に曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係を示す。今回の試験では、両者の間に有意な相関関係は認められなかった。

第8図は、F・J材の強度のパラツキを見るための曲げ破壊係数のヒストグラムである。このヒストグラムの左右対称性と尖り度について検定した結果、この分布は正規分布と見なして良いことがわかった。そこでF・J材の曲げ破壊係数の統計的下限値 $\sigma_{b.cr}$ (下側95%信頼限界値)を求めると、

$$\sigma_{b.cr} = \bar{X} - 1.65S = 308 \text{ kg/cm}^2$$

となる (X: 平均値, S: 標準偏差)。この値と 第2



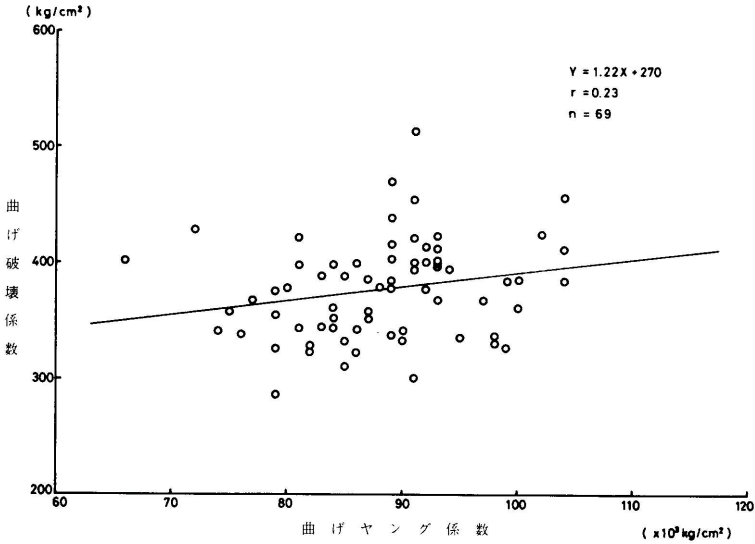
第6図 材料の平均年輪幅と嵌合縦圧縮応力の関係

第4表 量産された実大F・J材の曲げ試験結果

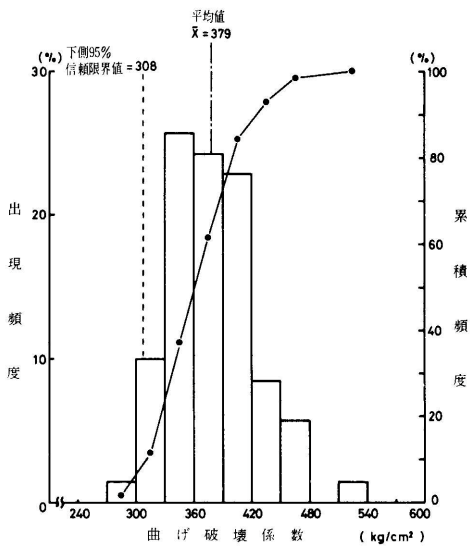
	ヤング係数 E (ton/cm ²)	比例限度 応力 σ_p (kg/cm ²)	曲げ破壊 係数 σ_b (kg/cm ²)	$\frac{\sigma_p}{\sigma_b}$
平均値	88	183	379	0.49
最小値	66	142	287	0.39
最大値	104	238	513	0.66
標準偏差	8	19	43	0.06
試験体数	69	69	70	69

第5表 実大F・J材の破壊形態別曲げ強度及び頻度

曲 げ 破 壊 形 態	曲げ破壊 係数 σ_b (kg/cm ²)	出現頻度 (本) (%)
フィンガー引抜けからの単純引張	376	35 (50.0)
フィンガー根元破断からの単純引張	379	10 (14.3)
フィンガー引抜けからの脆性引張	394	7 (10.0)
フィンガー根元破断からの脆性引張	377	3 (4.3)
フィンガー引抜けからの目切れ	378	14 (20.0)
フィンガー根元破断からの目切れ	368	1 (1.4)
合 計		70 (100.0)



第7図 量産された実大F・J材の曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係



第8図 量産された実大F・J材の曲げ破壊係数のヒストグラム

報で提案したF・J材の許容応力度誘導式を使って、今回の量産された実大F・J材の長期曲げ許容応力度 $Lfb \cdot j$ を誘導すると、次の様になる。

$$\begin{aligned}
 Lfb \cdot j &= (\sigma_F \times \alpha_j) \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \\
 &= \sigma_{b-cr} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \\
 &= 102 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

この $Lfb \cdot j = 102 \text{ kg/cm}^2$ という値は、現行のエゾ

マツ・トドマツの長期曲げ許容応力度 75 kg/cm^2 と比較して、1.36倍の値である。この結果が、工場生産規模で量産された実大F・J材の曲げ強度試験から得られたことを考えると、工場での大量生産方式で製造される実大F・J材でも、適正な作業条件が守られるならば構造用部材としての強度性能を十分もたせることができる、と判断される。

4. まとめ

フィンガー・ジョイント工法による構造用縦継ぎ木材 (構造用F・J材) の実用化を目標として、前報¹⁾、²⁾に続いて、今回は実用的な適正エンドプレッシャー値と量産された実大F・J材の曲げ強度性能について検討した。その結果、道産針葉樹エゾマツ・トドマツ平割材の場合、 $60 \sim 80 \text{ kg/cm}^2$ が実用的な適正エンドプレッシャー値と判断された。さらに、工場生産規模で量産された実大F・J材の曲げ強度性能は、構造用部材として十分であることを確かめた。

文献

- 1) 倉田久敬, 堀江秀夫: フィンガー・ジョイントの作業条件について, 林産試月報, 334, 13 (1979)
- 2) 堀江秀夫, 倉田久敬: フィンガー・ジョイント材 (F・J材) の強度性能 (第2報), 林産試月報, 356, 5 (1981)

- 木材部 強度科 -
 - * 試験部 複合材試験科 -
 (原稿受理 昭57.3.4)