

# 構造用フィンガージョイント材の 強度性能 (第1報)

堀 江 秀 夫 倉 田 久 敬

## 目 次

1. ま え が き	1
2. 既往の研究	1
3. フィンガー形状の理論的考察	2
4. 切削精度に及ぼす切削条件の検討	5
4.1 切削条件	6
4.2 材料と試験方法	8
4.2.1 フィンガー形状の測定	8
4.2.2 被削面性状の測定	9
4.3 結果と考察	10
4.3.1 フィンガー形状の測定	10
4.3.2 被削面性状の測定	13
5. 嵌合縦圧縮試験による適正嵌合条件の検討	14
5.1 小断面材による嵌合縦圧縮試験	14
5.1.1 フィンガー長の水準決定	14
5.1.2 材料と試験方法	15
5.1.3 結果と考察	17
5.2 実大材による嵌合縦圧縮試験	23
5.2.1 材料と試験方法	23
5.2.2 結果と考察	24
6. フィンガージョイント薄片の引張試験	25
6.1 適正エンドプレッシャーの決定	25
6.2 材料と試験方法	25
6.3 結果と考察	26
7. 要 約	28
8. あ と が き	29
文 献	31
Résumé	33

## 1. まえがき

接着による木材の接合は、釘・ボルトや伝統的な継手などと比較して、剛性及び耐力において優れた強度性能を発揮する。とくに、木材の板目や柃目面どうしの積層接着は、合板・集成材の例を見るごとく技術的に確立し広く木材工業に普及している。しかし、木材の木口面どうしを接着する縦継ぎ技術に関しては、集成材用ラミナの縦継ぎのみが規格化されているにすぎない。縦継ぎに用いられる接着工法は、古くは添え板継ぎやスカーフジョイント工法であり、現在ではフィンガージョイント工法が主流である。このフィンガージョイント工法は、作業性及び強度性能の面からみて木材加工技術史上画期的な技術であり、これからの木材資源の有効利用のためにはなくてはならない技術である。

フィンガージョイント工法の特徴は、継手の切削・接着剤の塗布・嵌合といった一連の接合作業を機械により一貫して行えることであり、このため接着性能のバラツキが少ない縦継ぎ木材を大量生産できることである。また、最近ではミニフィンガーと呼ばれる長さ10mm前後のフィンガーカッターが開発され、加工時の材料損失が一層少ないことから広く普及した。機械化による省力化が容易で短尺材を縦継ぎでも高歩留まりであるといった経済性、さらにミニフィンガージョイント材の強度性能の安定性から、現在では、ミニフィンガージョイント工法による縦継ぎ木材の生産が軌道に乗りはじめ、造作用建築材料として相当量の流通と利用が行われるようになった<sup>23)</sup>。これを反映して、既に造作用縦継ぎ木材の製造基準(案)<sup>21), 22)</sup>が制定され、現在は構造用フィンガージョイント材の製造基準が検討されている。

これからの木材資源事情を考えた場合、構造材への適用にこそフィンガージョイント工法の本命があると思われる。構造用フィンガージョイント材に要求される点は、何よりも安定した強度性能であろう。この安定性を保証するものは、適正な製造条件の確立である。こうした背景から、我々は、現在最も広く使用されていると思われる長さ12mmミニフィンガーカッターを用いて、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を目標とした研究に着手した。既に、製造条件及び強度性能に関する報告<sup>17), 18), 19), 20)</sup>を行っており、本報告はこれら一連の報告の一環として行った試験の結果である。

本報告は、構造用フィンガージョイント材の製造条件について検討したものであり、3つの試験結果から成り立っている。第1の試験は、被削材のフィンガー形状・寸法と被削面性状が、切削条件によってどのように変化するかを調べたものである。第2の試験は、切削条件の違いによって嵌合縦圧縮試験時の荷重-変位曲線がどのように変化するかを調べ、適正なフィンガー長とエンドプレッシャーの関係について検討したものである。第3の試験は、2種類の接着剤を使用して適正と思われる条件でフィンガージョイント材を製造し、そのフィンガージョイント材内でのフィンガーピッチごとの引張強度を求め、接着剤による接着強度の差とフィンガージョイント材内部での接着強度のバラツキを検討したものである。

## 2. 既往の研究

フィンガージョイント材の製造条件に関する研究は1960年頃から始められている。米国においては M. L. Selbo<sup>1)</sup> が、帯鋸によりフィンガー成形を行う方法で、フィンガーの長さ、傾斜、先端厚などを变化させたフィンガージョイント材の引張試験を行ったが、取り上げた因子が多過ぎたため明確な適正製造条件をつかめなかった。日本においては星ら<sup>6)</sup> が、嵌合公差、接手形状、トッププレッシャー、樹種、荷重方向を变化させたフィンガージョイント材の引張及び曲げ試験を行い、適正な製造条件と強度性能について検討している。また小西ら<sup>10), 11), 12)</sup> は、フィンガージョイント工法によるフローリングの縦継ぎを目的として、高周波加熱接合の作業条件について検討している。しかし、これらの研究は長さ25~40mm

の長いフィンガー形状を対象としたものであるため、現在主流となっている短いフィンガー形状（長さ4～15mm程度）のミニフィンガージョイント材には当てはまらない面が多い。

長いフィンガーカッターによるフィンガージョイント材は、スカーフジョイント材に比べて強度性能が大きく劣ること<sup>6)</sup>や歩留まりが悪いことから、1960年代後半に高強度高歩留まりのミニフィンガーカッターが開発され、それまで使われていたフィンガーカッター以上の強度性能と作業性のあることが報告<sup>2),3),4),5),13)</sup>された。我が国でのミニフィンガージョイント材の製造条件に関する研究は、星ら<sup>7),8)</sup>が5種類のカッター（長さ7.5～12.0mm）と3種類の接着剤と3種類の樹種を用いた試験に始まる。この試験では、嵌合公差とエンドプレッシャーを段階的に変化させてフィンガージョイント材を製造し、その曲げ接合効率から適正な製造条件について検討しているが、明確な傾向をつかむまでには至らなかった。生田ら<sup>14)</sup>は、長さ13mmミニフィンガーカッターで切削された木材の嵌合縦圧縮試験を行い、試験時の荷重-変位曲線に着目して適正エンドプレッシャーの検討を行っている。この試験では、フィンガー部に接着剤を塗布せずに嵌合縦圧縮試験を行っており、接着剤を塗布した場合が未確認であることと、嵌合度とエンドプレッシャーの関係も未確認であることが今後の課題として残された。この生田らの手法を用いて、我々も、高含水率ミニフィンガージョイント材の製造条件について検討<sup>15),16)</sup>している。

### 3. フィンガー形状の理論的考察

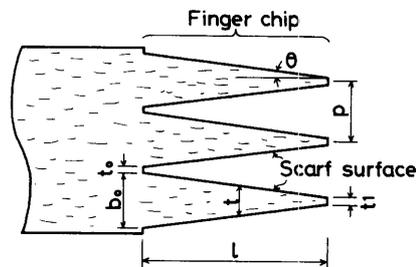
フィンガー形状の名称を第1図に示す。回転するフィンガーカッターにより削り取られる木材の形状とカッター切刃形状の関係を第2図に示す

カッター外径  $D$ 、すくい角  $\theta$ 、スカーフ面を切削する切刃のエッジA o B oは直線で傾角  $\alpha$ 、切刃先端厚  $t_0$ としたときの、木材のAC面上に現れるフィンガー形状について考察する。

送材される木材が回転するカッターで切削される場合、フィンガー根元からの距離  $x$  におけるカッターにより削り取られる幅  $y$  は、切刃先端からの距離  $x_0$  における切刃の幅  $y_0$  に等しい。

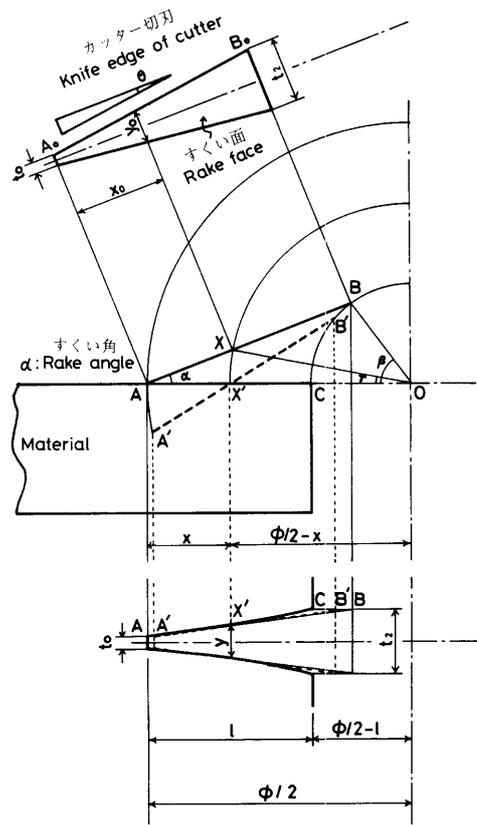
$$y = y_0 = 2x_0 \tan \theta + t_0 \dots \dots \dots (1)$$

距離  $x$  と角度  $\theta$  の関係を正弦定理より求めると、



- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| ピッチ                                 | 谷部幅                             |
| $p = \text{pitch}$                  | $t_0 = \text{valley width}$     |
| フィンガー長                              | 先端厚                             |
| $l = \text{finger length}$          | $t_1 = \text{tip thickness}$    |
| 傾斜                                  | 根元厚                             |
| $\text{Tan } \theta = \text{slope}$ | $b_0 = \text{bottom thickness}$ |
|                                     | チップ厚                            |
|                                     | $t = \text{chip thickness}$     |

第1図 フィンガー形状の名称  
Fig. 1 Nomenclature for geometry of finger joints.



第2図 カッター切刃形状とフィンガー形状の関係  
 Fig. 2 Relationship between cutter profile and finger shape formed.

$$\frac{OX}{\sin \angle OXA} = \frac{OA}{\sin \angle OXA}$$

ここで,

$$OX = OX' = \frac{\phi}{2} - x$$

$$OA = \frac{\phi}{2}$$

$$\angle OXA = 180^\circ - (\alpha + \theta)$$

であるから,

$$\frac{\phi/2 - x}{\sin(\alpha + \theta)} = \frac{\phi/2}{\sin(\alpha + \theta)}$$

$$\sin(\alpha + \theta) = \frac{\sin(\alpha + \theta) \cdot (\phi/2 - x)}{\phi/2}$$

$$= \sin^{-1} \left( \frac{\sin(\alpha + \theta) \cdot (\phi/2 - x)}{\phi/2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

となる。距離 \$x\_0\$ と角度 \$\theta\$ の関係は,

$$A X \sin = O X \sin$$

$$x_0 \sin = \left( \frac{\phi}{2} - x \right) \sin$$

$$- 2x$$

$$x_0 = \frac{\phi - 2x}{2 \sin} \cdot \sin \dots \dots \dots (3)$$

となる。(2)式と(3)式からxとx<sub>0</sub>の関係を求めると、

$$x_0 = \frac{\phi - 2x}{2 \sin \alpha} \cdot \sin \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{\phi \sin \alpha}{\phi - 2x} \right) - \alpha \right\} = \frac{\phi - 2x}{2 \sin \alpha} \left[ \sin \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{\phi \sin \alpha}{\phi - 2x} \right) \right\} \cos \alpha \right. \\ \left. - \cos \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{\phi \sin \alpha}{\phi - 2x} \right) \right\} \sin \alpha \right] = \frac{1}{2} \left[ \phi \cos \alpha - (\phi - 2x) \cos \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{\phi \sin \alpha}{\phi - 2x} \right) \right\} \right] \\ = \frac{1}{2} \left[ \phi \cos \alpha - (\phi - 2x) \sqrt{1 - \sin^2 \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{\phi \sin \alpha}{\phi - 2x} \right) \right\}} \right] \\ = \frac{\phi \cos \alpha}{2} - \sqrt{\left( \frac{\phi}{2} - x \right)^2 - \frac{\phi^2 \sin^2 \alpha}{4}} \dots \dots \dots (4)$$

となる。  
最後に、(1)式と(4)式からxとyの関係を求めると、

$$y = -2 \tan \theta \sqrt{\left( \frac{\phi}{2} - x \right)^2 - \frac{\phi^2 \sin^2 \alpha}{4}} + \phi \cos \alpha \tan \theta + t_0$$

$$\therefore y = -2 \tan \theta \sqrt{x^2 - \phi x + \frac{\phi^2 \cos^2 \alpha}{4}} + \phi \cos \alpha \tan \theta + t_0 \dots \dots \dots (5)$$

$$(0 \leq x \leq \frac{\phi}{2} (1 - \sin \alpha))$$

となり、yはxの無理関数となる。

一方、xの関数yの増減を調べると、

$$y' = \left( \frac{\phi}{2} - x \right) \left( x^2 - \phi x + \frac{\phi^2 \cos^2 \alpha}{4} \right)^{-\frac{1}{2}} \geq 0$$

$$y'' = \frac{\phi^2 \sin^2 \alpha}{4} \left( x^2 - \phi x + \frac{\phi^2 \cos^2 \alpha}{4} \right)^{-\frac{3}{2}} \geq 0$$

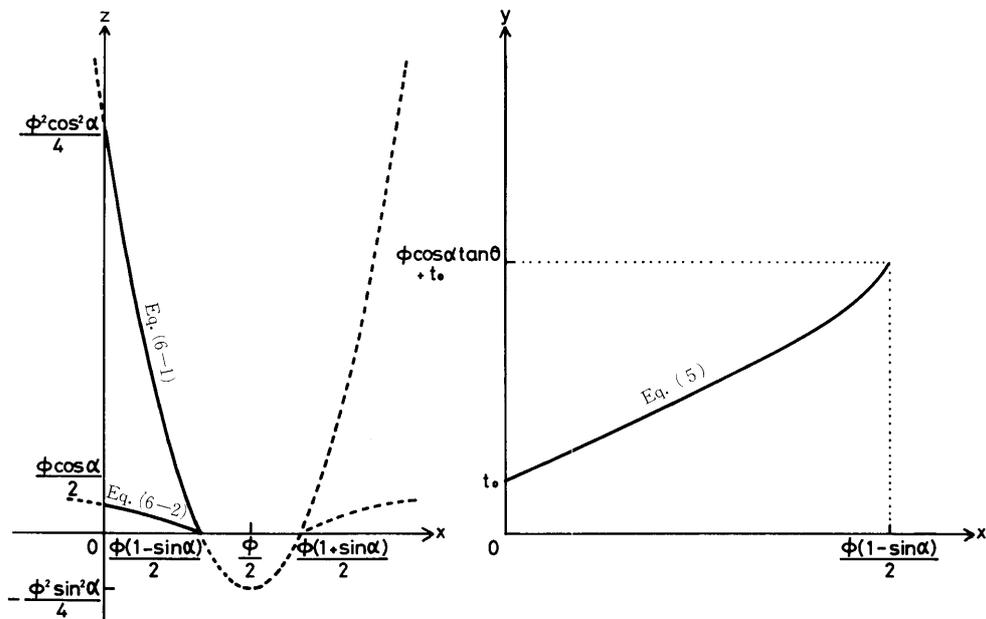
となり、xの関数yは区間  $[0, \frac{\phi}{2} (1 - \sin \alpha)]$  で増加で、下に凸の曲線であることがわかる。これを図示したのが第3図である。図中には、(5)式の根号内をz<sub>1</sub>とおいて、このz<sub>1</sub>とxの関係も図示している。

$$z_1 = x^2 - \phi x + \frac{\phi^2 \cos^2 \alpha}{4} \dots \dots \dots (6-1)$$

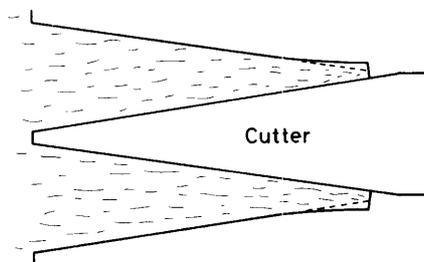
$$z_2 = \sqrt{x^2 - \phi x + \frac{\phi^2 \cos^2 \alpha}{4}} \dots \dots \dots (6-2)$$

以上のように、カッター切刃により削り取られる部分の幅yは、フィンガー根元からの距離xの無理関数として表わされる。このためフィンガースカーフ面は凸の曲面になり、フィンガーチップの厚さは先端に行くほど曲線的に細くなる。

この傾向は、フィンガー長lが長いほど、すくい角θが大きいほど、カッター外径が小さいほど顕著に現れる。過去のN形ジョイントと呼ばれた長いフィンガーのフィンガージョイント材が現在のミミフィンガージョイント材と比較して強度的に劣った原因は、フィンガー長が長い割にはカッター外径が大きくなかったためと思われる。つまり、N形ジョイントでは、スカーフ面が凸の曲面となる傾向が顕著に現れ、スカーフ面どうしの接着が完全に行わ



第3図 (5) 式におけるxとyの関係  
 Fig. 3 Relationship between y and x in Eq. (5) .



第4図 切削時のフィンガーチップ先端部分の逃げ  
 Fig. 4 Escaping conditions of finger chip .

れなかったためと思われる。

一方、第4図に示すように、1つのフィンガーチップが2枚のカッターで同時にはさまれる状態で切削されるのではなく、交互に切削される場合、剛性の低いフィンガーチップの先端付近は切削時にカッターから逃げようとして振動する傾向がある。このため、前述の先細りの傾向とは逆に、先太りのフィンガーチップとなる。

以上のことから、フィンガー形状の中のスカーフ面は平面ではなく曲面となることがわかった。さらに、フィンガー形状は、立体幾何解析で明らかになったように、カッター形状による因子と被削材の切削時の振動による因子の相反する傾向をもつ2つの因子に支配され、一義的に決まるものではない。

#### 4. 切削精度に及ぼす切削条件の検討

前章で考察したように、切削されるフィンガー形状はカッター形状と切削条件に左右されて、一義的に決まるものではない。このため、切削条件がフィンガー形状と被削面性状にど

のような影響を与えるかを確認する必要がある。

切削条件と切削精度の関係を求めるため、カッターは12mmミニフィンガーカッター（兼房刃物社製市販品）及び材料は気乾状態のエゾマツ健全材に固定し、切削条件を変化させた切削試験を行った。被削材の寸法と被削面であるスカーフ面の性状を測定し、統計的手法を用いて切削精度に影響を与える因子について検討した

#### 4.1 切削条件

本報告で使用したカッターの公称寸法を第5図に示す。この試験で取り上げた因子と水準、他の固定条件、材料の性質を第1表に示す。

次に、取り上げた4つの因子について説明する。

##### A. カッター刃先位置

カッターをフィンガー成形切削機の回転軸に取り付ける際、第6図に示すように、刃先の相互位置を90°づつずらす場合（交互）とそろえる場合（そろい）がある。交互の場合には、前章でふれたように、切削時にフィンガー先端部分がカッター切刃から逃げてしまい、カッター形状どおりにフィンガー形状が削られない可能性がある。そろいの場合には、この心配はない。このような違いが切削精度にどのような影響を与えるかを調べるために取り上げた。

##### B. 予備切削

一般に、針葉樹材では予備切削を行わないのが普通であるが、予備切削の有無と切削精度の関係を調べた研究例が過去にないので取り上げた。予備切削の方法は、第7図に示すように、本切削と同種のカッターを用いて行い、予備切削で削り取られる部分の面積が本切削で削り取られる部分の面積の約50%となるように設定した。

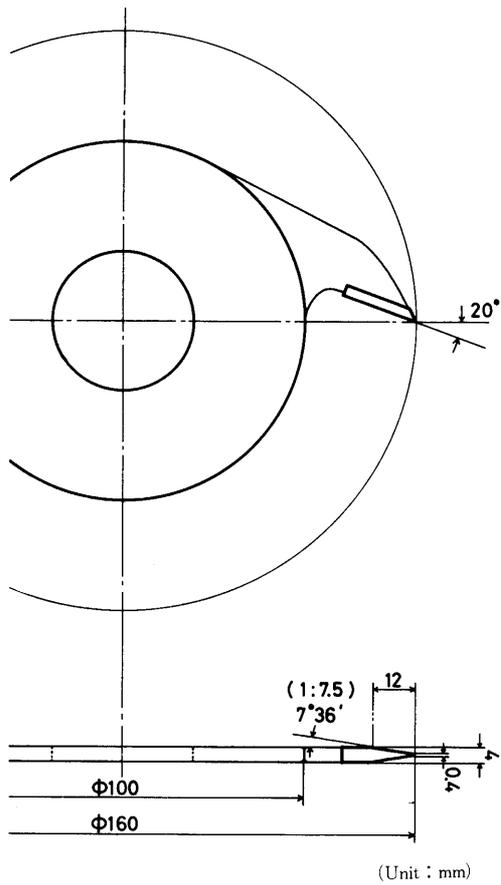
##### C. 送材速度

実験室的な切削を想定した低速（8 m/min）と実際の切削を想定した高速（16 m/min）の2水準とした。

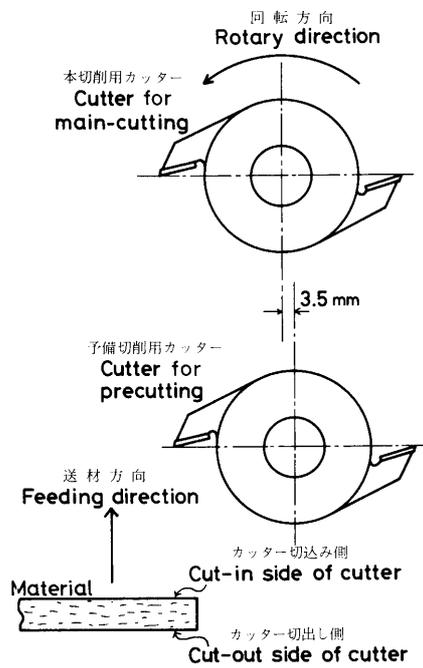
##### D. スカーフ面の木目

第1表 切削条件  
Table 1. Cutting conditions.

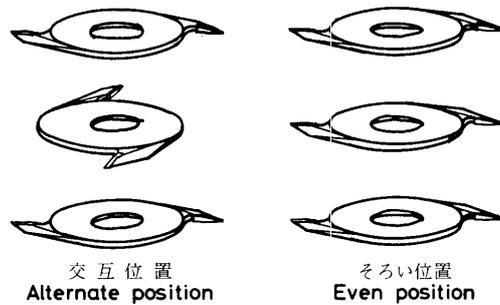
因子 Factor	水準 Level	
隣接カッター刃先位置 A. Position of knife edge	交互 Alternate	そろい Even
予備切削 B. Precutting	あり Exist	なし Non-exist
送材速度 C. Feeding speed (m/min)	8	16
スカーフ面の木目 D. Grain of scarf surface	柵目 LR	板目 LT
カッター回転数 Revolution of cutter	5000 r.p.m.	
カッター切刃の鋭利度 Sharpness of knife edge	鋭利 Sharp	
切削方法 Cutting method	上向き切削 Up milling	
樹種 Species	エゾマツ Ezomatsu ( <i>Picea jezoensis</i> Carr.)	
平均年輪幅 Width of annual ring (W.R.)	1.4 (0.9~2.1)mm	
比重 Specific gravity (S.G.)	0.39 (0.36~0.45)	
含水率 Moisture content (M.C.)	13.9 (10.8~15.4) %	



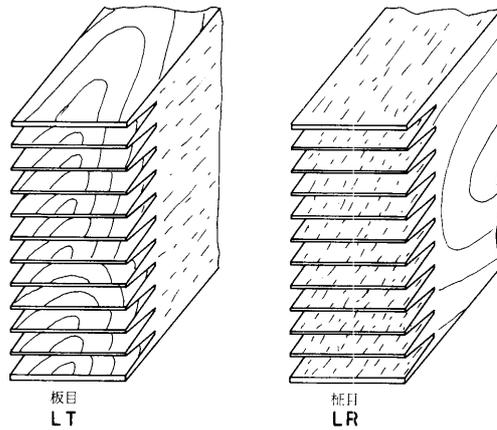
第5図 本報告で使用したカッターの公称寸法  
 Fig.5 Nominal size of mini-finger cutter used in this report.



第7図 切削方法  
 Fig.7 Cutting method.



第6図 隣接カッターの刃先位置 (因子A)  
 Fig.6 Position of knife edge of cutter (Factor A).



第8図 スカーフ面の木目 (因子D)  
Fig. 8 Grain of scarf surface (Factor D) .

スカーフ面は、フィンガージョイント材の接着面であるから、スカーフ面の木目は接着強度に何らかの影響を与えるかもしれない。そこで、第8図に示すように、スカーフ面が板目 (LT) となる場合と柎目 (LR) となる場合の2水準を取り上げた。

その他の条件

その他の切削条件は、第7図に示すように、切削方向は上向き、カッター回転数は毎分5,000回転、カッター切刃は研磨直後の鋭利な状態である。また、カッターの切込んだ材料面と切出した材料面とを、切込み側及び切出し側と呼んで明確に区別して扱った。

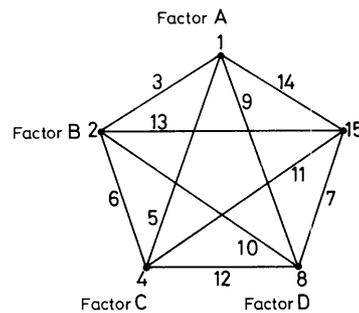
## 4.2 材料と試験方法

### 4.2.1 フィンガー形状の測定

断面寸法45mm×20mm、長さ300mmのエゾマツ無欠点材8体を供試材とした。このうち4体は正板目材であり、残り4体は正柎目材である。第1表に示した因子と水準をL<sub>16</sub>直交表に割り付け、反復・繰り返しのない試験を行った。割り付けた線点図を第9図に、具体的な切削条件と試験片No.を第2表に示す。

切削は各条件ごとにランダムに行い、フィンガー形状が材料の幅の広い面に現れるように切削した。

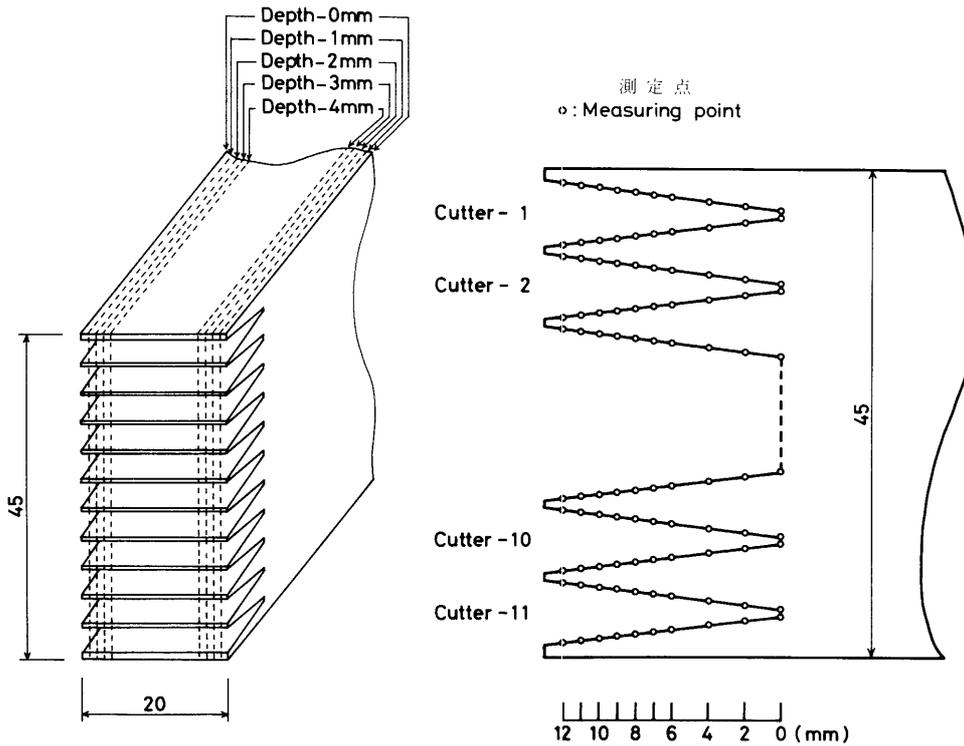
フィンガー形状の測定は、供試材のカッター切込み側と切出し側の両面を正確に1mmづつ鉋削し、表面(深さ0mm)から1mmづつ内部へ入った深さでフィンガー形状を測定した。



第9図 L<sub>16</sub>直交表の線点図への実験因子の割り付け  
Fig. 9 Assignment for experimental factors to L<sub>16</sub> orthogonal array .

第2表 試験条件  
Table 2. Experimental conditions.

試験片番号 Specimen No.	カッター刃先位置 A. Position of knife edge	予備切削 B. Precutting	送材速度 C. Feeding speed (m/min)	スカーフ面の木目 D. Grain of scarf surface
1	交互Alternate	ありExist	8	LR
2	do.	do.	8	LT
3	do.	do.	16	LR
4	do.	do.	16	LT
5	do.	なしNon-exist	8	LR
6	do.	do.	8	LT
7	do.	do.	16	LR
8	do.	do.	16	LT
9	そろいEven	ありExist	8	LR
10	do.	do.	8	LT
11	do.	do.	16	LR
12	do.	do.	16	LT
13	do.	なしNon-exist	8	LR
14	do.	do.	8	LT
15	do.	do.	16	LR
16	do.	do.	16	LT



第10図 フィンガー形状の測定方法  
Fig. 10 Measuring method of finger shape.

測定方法は、第10図に示すように、万能投影器を用いてフィンガー根元から一定距離（0, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12mm）ごとにスカーフ面の位置を1/100 mm精度で測定した。

#### 4.2.2 被削面性状の測定

断面寸法45mm×45mm、長さ600mmの2方桁エゾマツ無欠点材2体を供試材とした。1体はスカーフ面の木目が板目となる条件用に、もう一体は柁目となる条件用とした。

切削条件は、前項のフィンガー形状の測定と全く同じである。1条件の切削が済むごとに、供試材の先端30mm（フィンガー成形された部分）を切り落として測定試片とした。こ

れを繰り返して各切削条件ごとの測定試片を作製した。

測定試片のフィンガー谷部にナイフを当て、フィンガーチップごとに割裂した。このフィンガーチップのスカーフ面を肉眼で観察し、目ばれ、毛羽立ち、目違い、焼けの4項目について上・中・下の3等級による格付けを行った。

### 4.3 結果と考察

#### 4.3.1 フィンガー形状の測定

成形切削されたフィンガー形状をフィンガーチップの厚さで表現すると、カッター切込み側の厚さは切出し側の厚さよりも小さくなる傾向がみられた。しかし、表面からある程度の深さになるとチップの厚さは安定し、この差は無くなることが予想される。そこで、表面から何mm鉋削したらフィンガー形状(チップの厚さ)が安定するかを判断するため、No.7とNo.9の2体の試験片の測定値を使って予備的な検討を行った。

表からの深さ(因子A)、カッター番号(因子B、第10図参照)、フィンガー根元からの距離(因子C)の3元配置による分散分析を行った。因子Aに関して表面1mmずつの測定値を捨てながら深さ4mmまで、この分散分析を行ってゆくと、因子Aの効果が小さくなる(フィンガー形状が安定する)傾向がみられた。この傾向は、深さ1~2mmの測定値を捨てたあたりから現れた。

この予備的な検討結果から、今後の解析に用いる測定値は、表面から深さ1mmの測定値を採用することとした。この検討に用いた2試験片の測定結果を第11図に示す。

測定結果を使って、フィンガー谷部幅、チップ厚の分散、スカーフ面の直線限界、スカーフ面の傾斜の4項目について、 $L_{16}$ 直交表による分散分析<sup>26)</sup>を行った。分散分析の結果を第3表に示す。

フィンガー谷部幅( $t_0$ )

フィンガー谷部はカッター切刃の先端で削られるため、切削条件の影響は認められなかった。全測定値の平均は、 $t_0=0.56\text{mm}$ となった。一方、フィンガー根元のチップ厚( $b_0$ )は、谷部幅と対をなす関係から切削条件の影響を受けないことがわかる。全測定値の平均は、 $b_0=3.48\text{mm}$ であった。また、フィンガーピッチ( $p$ )の測定値の平均は、 $p=t_0+$

第3表 フィンガー形状の測定値の分散分析  
Table 3. Variance analysis of measuring data of finger shapes.

因子 Factor	フィンガー谷部幅 Valley width				フィンガーチップ厚の分散 Variance of chip thickness			
	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 Fo	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 Fo
カッター刃先位置 A.Position of knife edge	2.51	1	2.51	0.01	0.391	1	0.391	1.91
予備切削 B.Precutting	51.28	1	51.28	0.12	0.462	1	0.462	2.27
送材速度 C.Feeding speed	154.69	1	154.69	0.36	0.640	1	0.640	3.14
スカーフ面の本目 D.Grain of scarf surface	297.96	1	297.96	0.69	0.164	1	0.164	0.81
A×B	4.78	1	4.78	0.11	0.038	1	0.038	0.19
A×C	154.69	1	154.69	0.36	0.093	1	0.093	0.46
A×D	211.64	1	211.64	0.45	0.504	1	0.504	2.47
B×C	97.51	1	97.51	0.23	0.000	1	0.000	0.00
B×D	37.28	1	37.28	0.09	0.003	1	0.003	0.01
C×D	700.01	1	700.01	1.61	0.031	1	0.031	0.15
e	2167.90	5	433.58		1.019	5	0.204	
T	3880.25	15			3.345	15		

脚注 \*;有意水準 5% Significant at 95% level  
Footnote \*\*;有意水準 1% Significant at 99% level

$b_0 = 4.04\text{mm}$  であった。

フィンガーチップ厚 ( $t$ ) の分散

フィンガー形状の測定値から、フィンガー根元からの距離 (0, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12mmの10段階) ごとにチップ厚の平均と分散を算出した。こうして求めた分散のうち、極端に大きいか小さい値を統計的検定により除外したのち、フィンガー根元からの距離すべての分散の平均を算出した。この平均の分散値を指標として分散分析を行い、切削条件ごとのフィンガーチップ厚 (フィンガー形状) のバラツキについて検定した。

分散分析の結果、切削条件の影響は認められなかった。

スカーフ面の直線限界

理論的には、スカーフ面は直線ではなく曲線であるが、第11図に示したように、ほぼ直線とみなして差し支えない部分がある。この直線部分を、フィンガー根元からの距離とチップ厚の関係をプロットした図 (第11図を参照) から目視により求め、さらにその直線部分のフィンガー先端側の限界に相当するフィンガー長を求めた。スカーフ面の直線限界に相当するこのフィンガー長を指標として分散分析を行った。

分散分析の結果、カッター刃先位置のみが有意であった。刃先位置が交互とそろいのそれぞれについて、スカーフ面の直線限界に相当するフィンガー長の平均を求めると、交互 = 9.7mm, そろい = 11.0mmであった。

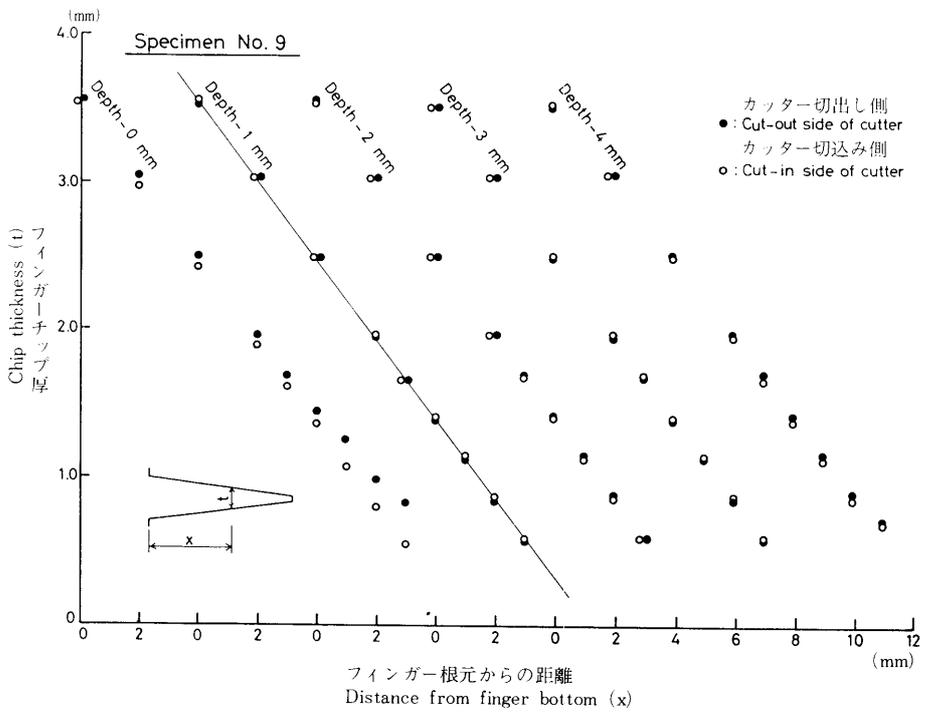
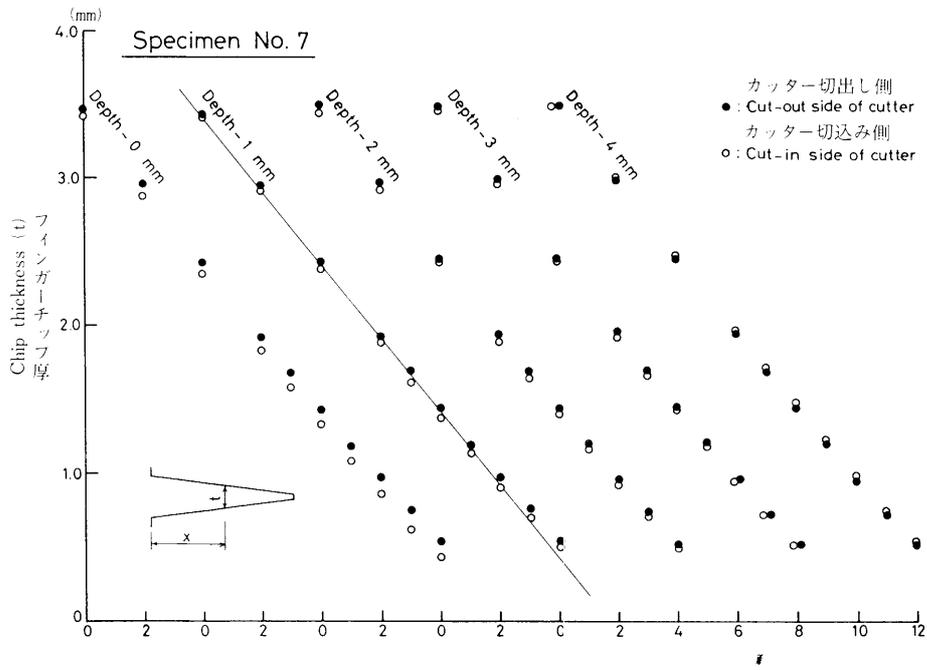
また、交互の場合には、直線限界を過ぎた後の先端付近のチップ厚が、直線を延長した場合の厚さよりも太くなる傾向がみられた。予想したように、刃先位置を交互にしてフィンガー切削を行うと、切削時にチップ先端部分が逃げるため、先太りのフィンガーチップとなることがわかった (第11図 No. 7 参照)。

スカーフ面の傾斜 ( $\tan$ )

スカーフ面の直線限界の検討で求めた直線部分の測定値を使って、最小自乗法による回帰直線を算出した。この回帰直線の勾配を指標として分散分析を行った

分散分析の結果、カッター刃先位置と予備切削が有意であった。しかし、予備切削の有無が傾斜に影響を及ぼすことは技術上考えられないし、要因効果も小さいので捨てることにした。したがって、刃先位置のみが有意となる。交互とそろいのそれぞれの平均を求めると、

スカーフ面の直線限界に相当するフィンガー長 Finger length for linear limit of scarf surface				スカーフ面の傾斜 Slope of scarf surface			
平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 F <sub>o</sub>	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 F <sub>o</sub>
6.89	1	6.89	15.63*	1.300	1	1.300	351.24**
0.04	1	0.04	0.09	0.023	1	0.023	6.08*
1.27	1	1.27	2.87	0.004	1	0.004	1.13
0.14	1	0.14	0.32	0.007	1	0.007	1.94
0.02	1	0.02	0.04	0.002	1	0.002	0.54
0.39	1	0.39	0.87	0.003	1	0.003	0.67
0.02	1	0.02	0.04	0.008	1	0.008	2.18
0.02	1	0.02	0.04	0.003	1	0.003	0.67
0.14	1	0.14	0.32	0.004	1	0.004	0.97
0.14	1	0.14	0.32	0.003	1	0.003	0.81
2.20	5	0.44		0.019	5	0.004	
11.26	15			1.374	15		



第11図 フィンガー形状の測定結果例  
Fig. 11 Examples of measuring data for finger shape.

交互 = 1 : 8.05, そろい = 1 : 7.48 となった。予想されたとおり, カッターの刃先をそろえた方がカッターの設計傾斜 ( 1 : 7.5 ) に近くなった。

#### 4.3.2 被削面性状の測定

今回の試験では, 目違いと焼けは観察されなかったので, 目ぼれと手羽立ちについて L<sub>16</sub> 直交表の累積度数法による分散分析<sup>27)</sup>を行った。分散分析の結果を第4表に, 目ぼれと毛羽立ちの代表例を写真1に示す。

分散分析の結果, 目ぼれに関しては, 送材速度とスカーフ面の木目が有意となった。毛羽立ちに関しては, スカーフ面の木目のみが有意となった。

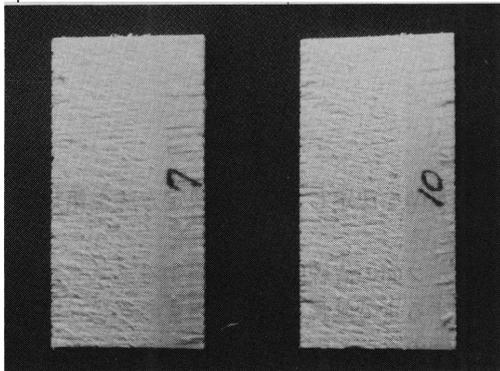
このような結果に対して, 実際の縦継ぎ作業において材料の年輪走向をコントロールするのは不可能である。また, 低速の送材速度の方が良好な被削面性状となることはわかったが, その要因効果は小さい。作業能率との関連から, さらに適正な送材速度について検討する必要がある。

第4表 被削面としてのスカーフ面性状の分散分析

Table 4. Variance analysis of defects of scarf surface.

因子 Factor	目ぼれ Raised grain				毛羽立ち Wooly grain			
	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 Fo	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 Fo
カッター刃先位置 A. Position of knife edge	2.41	2	1.206	1.26	0.11	1	0.11	0.11
予備切削 B. Precutting	1.16	2	0.580	0.61	1.03	1	1.03	1.03
送材速度 C. Feeding speed	8.67	2	4.337	4.53*	0.11	1	0.11	0.11
スカーフ面の木目 D. Grain of scarf surface	16.66	2	8.330	8.69**	9.26	1	9.26	9.31**
A×B	1.00	2	0.502	0.52	0.11	1	0.11	0.11
A×C	3.51	2	1.754	1.83	1.03	1	1.03	1.03
A×D	4.92	2	2.459	2.57	0.11	1	0.11	0.11
B×C	3.51	2	1.754	1.83	0.11	1	0.11	0.11
B×D	4.16	2	0.580	0.61	1.03	1	1.03	1.03
C×D	4.92	2	2.459	2.57	0.11	1	0.11	0.11
e1	9.09	10	0.909		1.49	5	0.30	
e2	583.01	608	0.959		305.44	304	1.01	
e	592.10	618	0.958		306.93	309	0.99	
T	640.02	638			319.96	319		

Specimen No. 4

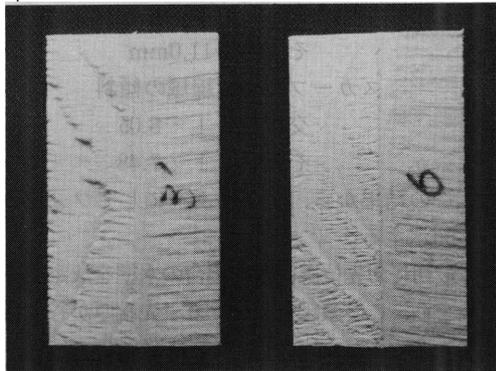


毛羽立ち - 中

Wooly grain

毛羽立ち - 中

Specimen No. 6



目ぼれ - 下

Raised grain

目ぼれ - 上

写真1 スカーフ面の欠点例

Photo. 1 Examples for wooly grain and raised grain of scarf surface.

いずれにしろ、接前面としてのスカーフ面の性状が、どのように接着力に影響するかを確かめることが今後の課題である。

## 5. 嵌合縦圧縮試験による適正嵌合条件の検討

ここでいう嵌合縦圧縮試験とは、フィンガー切削した材料を普通のフィンガージョイント材と同じようにはめ合わせた状態で、強度試験機を用いて破壊まで縦圧縮することを指す。

前章の検討結果に基づいて、フィンガー長を変化させた材料の嵌合縦圧縮試験を行い、得られた荷重 - 変位曲線の曲線型に着目して、適正なフィンガー長とエンドプレッシャーの関係について考察した。

最初に、切削条件を変化させて切削した小断面の材料を用いて嵌合縦圧縮試験を行い、適正な嵌合条件について検討した。次に、求めた適正嵌合条件で実大材を切削し、そして嵌合縦圧縮試験を行った。この結果から、小断面材で求めた適正嵌合条件が実大材にも当てはまるかどうかを検討した。

ところで、フィンガー部に接着剤を塗布する場合と塗布しない場合では、嵌合縦圧縮試験時の荷重 - 変位曲線に差が現れることが予想される。そこで、予備試験を行ってこの点を確認した。接着剤なし、低粘度（200ポイズ）の接着剤あり、高粘度（2,000ポイズ）の接着剤あり、という3条件で嵌合縦圧縮試験を行った。接着剤にはレゾルシノール樹脂の主剤のみを用いた。その結果、接着剤ある・なしの差は明確に現れ、接着剤ありの条件での粘度による差は認められなかった。この予備試験結果から、本報告の嵌合縦圧縮試験では、実際の縦継ぎ作業を想定して、低粘度（200ポイズ）のレゾルシノール樹脂系接着剤（大日本インキ プライオーフェン#6000）の主剤のみをフィンガー部に塗布することとした。

### 5.1 小断面材による嵌合縦圧縮試験

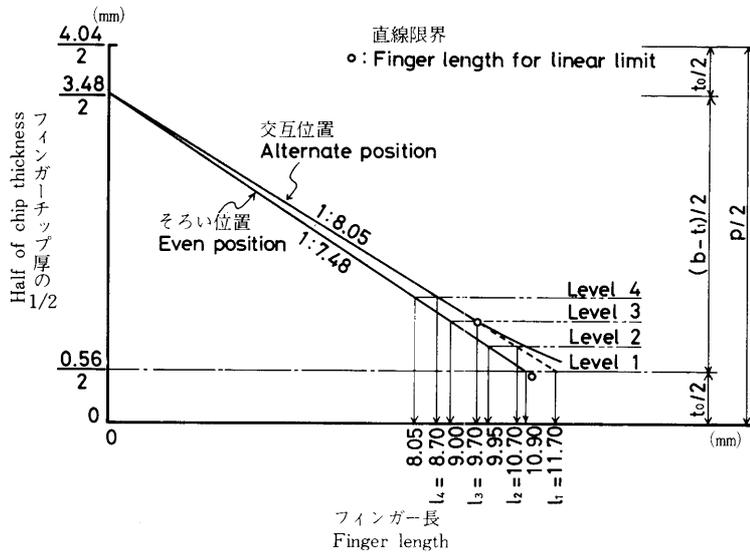
#### 5.1.1 フィンガー長の水準決定

前章のフィンガー形状の測定結果から、カッター刃先位置はスカーフ面の直線限界と傾斜に影響を与え、フィンガー谷部幅と根元厚は一定であることがわかった。これをまとめると以下のとおりである。

フィンガー谷部幅  $t_0 = 0.56\text{mm}$   
フィンガー根元厚  $b_0 = 3.48\text{mm}$   
スカーフ面の直線限界に相当するフィンガー長  
交互 = 9.7mm  
そろい = 11.0mm  
スカーフ面の直線域の傾斜  
交互 = 1 : 8.05  
そろい = 1 : 7.48

この結果から、以下のようにしてフィンガー長の水準を決定した。この決定方法を第12図に図示する。

最初に刃先位置交互の場合の水準を決定する。スカーフ面の直線限界に相当するフィンガー長を $l_3$ 、この直線をフィンガー先端厚が谷部幅に一致するまで延長し、このときのフィンガー長を $l_1$ とする。この2点を基準にして、 $l_1$ と $l_3$ の中間のフィンガー長を  $l_2 [ = (l_1 + l_3) / 2 ]$ 、 $l_3$  より短い側に $l_1$ と $l_3$ の中間点距離だけ離れたフィンガー長を  $l_4 [ = l_3 (l_1 - l_3) / 2 ]$  とする。このようにして、刃先位置交互の場合の4水準 ( $l_1, l_2, l_3, l_4$ ) のフィンガー長を決定した。



第12図 フィンガー長4水準の決定方法  
Fig. 12 4levels of finger length (Factor A) .

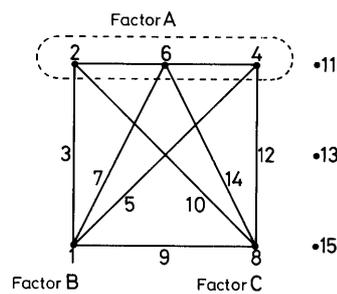
第5表 フィンガー長(因子A)の水準  
Table 5. Level of finger length (Factor A) . (Unit: mm)

水準 Level	カッター刃先位置 Position of knife edge		(フィンガー先端厚) Tip thickness ( $t_1$ )
	交互 Alternate	そろい Even	
1	11.70	10.90	(0.56)
2	10.70	9.95	(0.82)
3	9.70	9.00	(1.08)
4	8.70	8.05	(1.32)

刃先位置そろいの場合、交互の場合で決定したフィンガー長に対応する先端厚を基準とし、この交互の場合での先端厚と等しくなるフィンガー長を、そろいの場合の水準とした。つまり、第12図からわかるように、同一水準では交互とそろいのフィンガー先端厚が等しい。このようにして決定したフィンガー長の水準を第5表に示す。

#### 5.1.2 材料と試験方法

断面寸法42mm×40mm，長さ400mm，年輪幅の似かよったエゾマツ無欠点材を供試材とした。年輪走向はとくに規制しなかった。



第13図 L16直交表の線点図への実験因子の割り付け  
Fig. 13 Assignment for experimental factors to L16 orthogonal array .

第6表 切削及び嵌合条件  
Table 6. Cutting and inserting conditions.

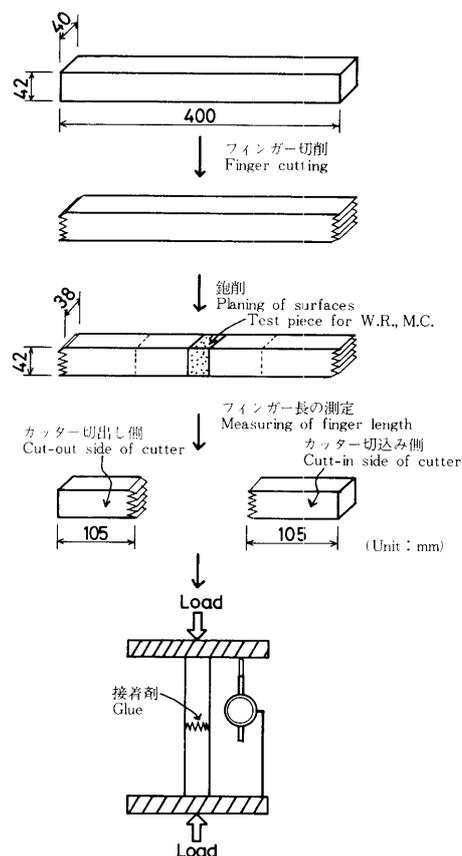
因子 Factor	水準 Level	
カッター刃先位置 B. Position of knife edge	交互 Alternate	そろい Even
フィンガー長 A. Finger length	第5表参照 See Table 5.	
圧入速度 C. Inserting speed (mm/min)	2.5	100
接着剤 Glue	レゾルシノール樹脂の主剤のみ Resorcinol resin (non hardener)	
カッター鋭利度 Sharpness of cutter	鋭利 Sharp	
予備切削 Precutting	なし Non-exist	
送材速度 Feeding speed	16m/min	
樹種 Species	エゾマツ Ezomatsu	
平均年輪幅 Width of annual ring (W.R.)	1.6 (1.3~2.2)mm	
含水率 Moisture content (M.C.)	14.8 (14.3~15.2) %	

第7表 嵌合縦圧縮試験条件  
Table 7. Experimental conditions for inserting test.

試験片番号 Specimen No.	カッター刃先位置 B. Position of knife edge	フィンガー長の水準 A. Level of finger length	圧入速度 C. Inserting speed (mm/min)
1, 2	交互 Alternate	1	2.5
3, 4	do.	1	100
5, 6	do.	2	2.5
7, 8	do.	2	100
9, 10	do.	3	2.5
11, 12	do.	3	100
13, 14	do.	4	2.5
15, 16	do.	4	100
17, 18	そろい Even	1	2.5
19, 20	do.	1	100
21, 22	do.	2	2.5
23, 24	do.	2	100
25, 26	do.	3	2.5
27, 28	do.	3	100
29, 30	do.	4	2.5
31, 32	do.	4	100

前章での試験結果から切削精度に影響を与えると考えられた切削条件を因子として取り上げ、 $L_{16}$ 直交表にこの因子を割り付けた。この割り付けに従って、嵌合縦圧縮試験を行った。取り上げた因子と水準を第6表に、割り付けに用いた線点図を第13図に示す。1条件につき2体の試験片とした（繰返し数2）。設定した試験条件と試験片 No. を第7表に示す。

使用したカッターは、前章の試験で用いたものと同じである。フィンガー切削時の送材速度は、実際の作業条件を想定して高速（16m/min）とした。嵌合時の圧入速度は、実験室的な場合を想定した低速（2.5mm/min）と実際の作業を想定した高速（100mm/min）の2水準とした。



第14図 小断面材による嵌合縦圧縮試験の手順  
Fig. 14 Preparation of small specimens and method for inserting test.

具体的な試験手順を第14図に示す。設定した切削条件で材料の両木口をフィンガー切削し、カッター切込み側と切出し側の両表面を1mmずつ鉋削したのち、長さ105mmに両木口を鋸断して1組の嵌合縦圧縮試験片を作製したこの1組の試験片の切出し側フィンガー長と先端厚を測定した。測定方法は前章のフィンガー形状の測定に用いた方法と同じである。次に、フィンガー部に接着剤の主剤のみをブラシで十分に塗布したのち、嵌合縦圧縮試験を行った。これには5 tonインストロン型強度試験機を用い、圧入速度を正確にコントロールして試験した。試験中は、フィンガー部からあふれ出る接着剤を布で拭き取りながら嵌合状況を観察した。このとき、挫屈のような現象は起きなかったので、とくに治具などは用いなかった。そして、ロードセルによる荷重とクロスヘッドの移動量による変位から、破壊までの荷重 - 変位曲線をチャート紙上に記録した。

### 5.1.3 結果と考察

全試験片の荷重 - 変位曲線を整理すると、A, B, Dと名付けた3つの曲線型に分類できた。代表的な3つの曲線型とその試験片の試験前後の写真を、第15図と写真2に示す。

3曲線型とも1個ないし2個の直線域が存在し、最初に現れる直線を第1直線、次に現れる直線を第2直線と呼ぶことにする。全試験片について、この第1直線及び第2直線の変位に対する荷重の傾き、下限荷重、上限荷重、そして最大荷重を求めた。さらに、荷重値を

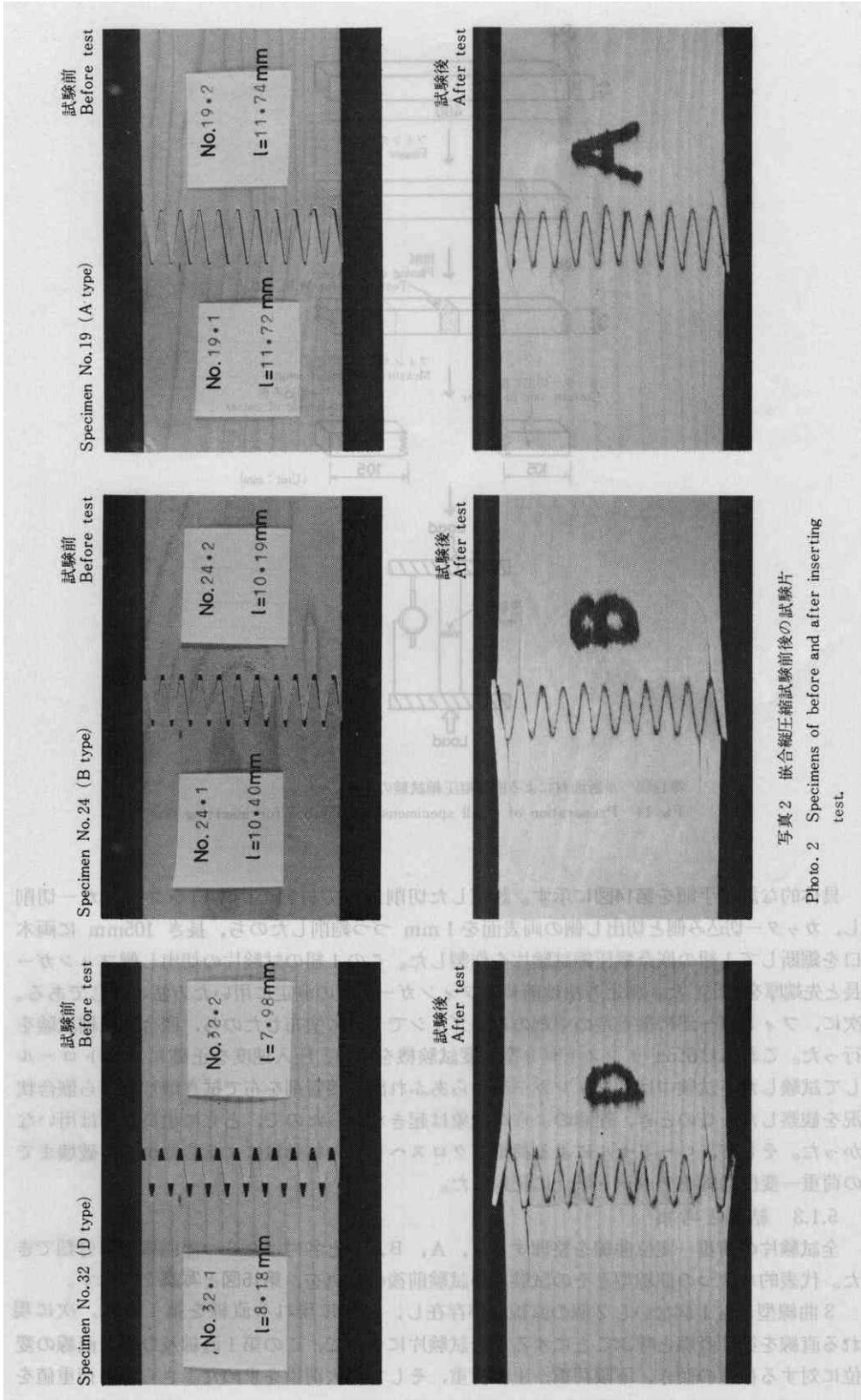
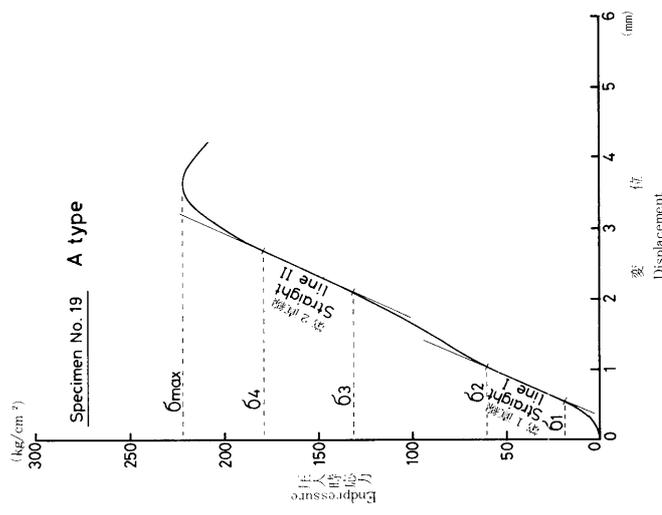
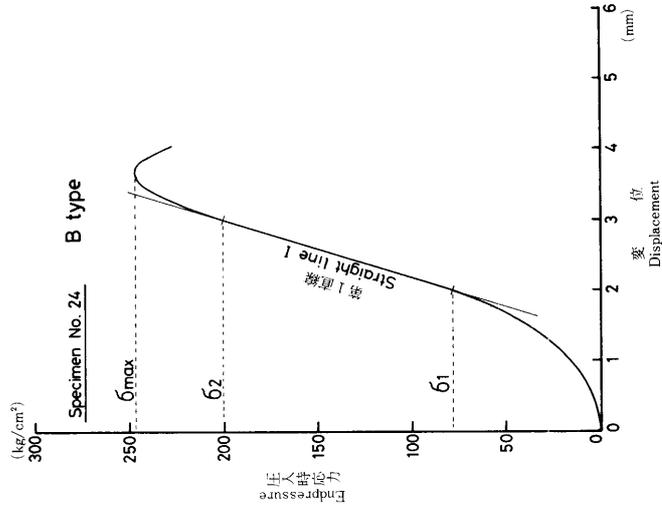
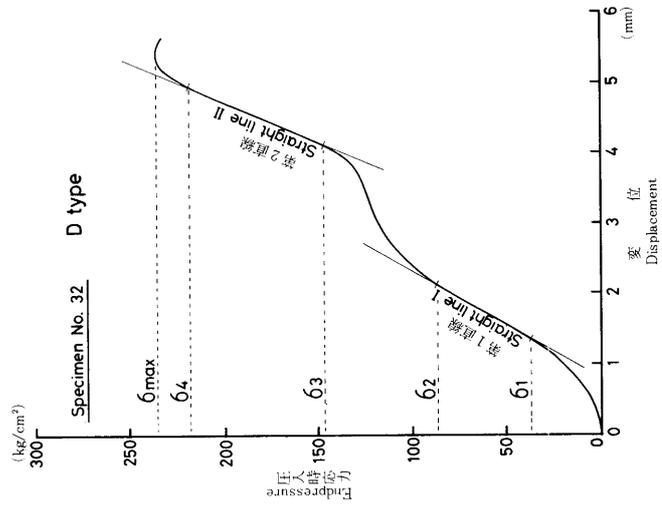


写真2 嵌合縦圧縮試験前後の試験片  
 Photo. 2 Specimens of before and after inserting test.



第15図 嵌合縦圧縮試験における荷重-変位曲線型の3つの代表例  
 Fig. 15 Three types of load-displacement curve for inserting test.

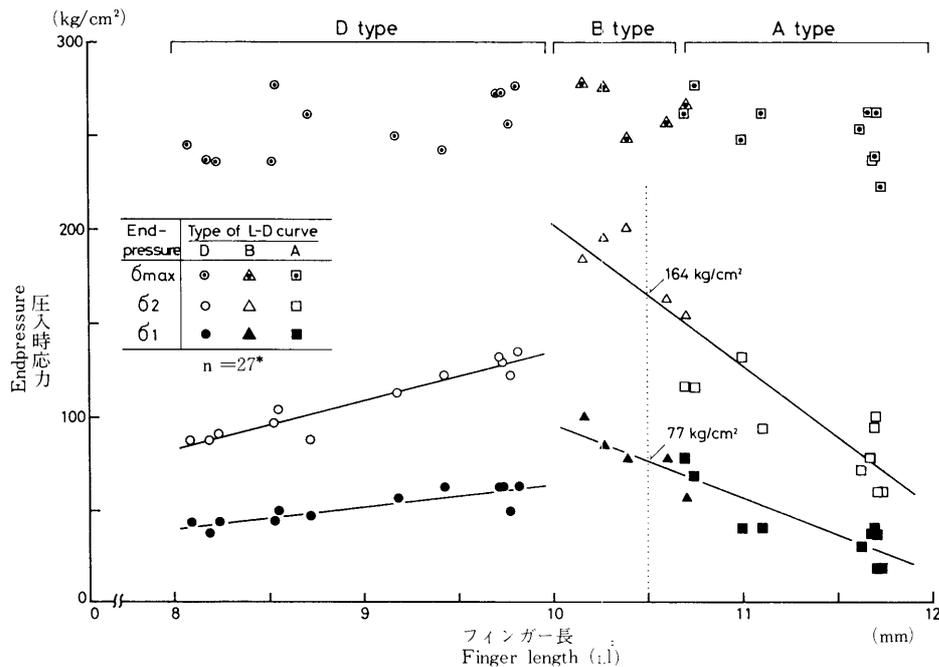
試験片の断面積で除して、変位に対する応力の傾き、下限応力、上限応力、最大応力を算出した。

嵌合縦圧縮試験時の試験片の観察では、第1直線の上限応力を越えると、多くの場合、嵌合される材に何らかの損傷が観察された。よって、これ以上のエンドプレッシャーは危険である。一方、第1直線の下限応力は、接着面としてのスカーフ面に安定した圧縮圧が作用するための最低のエンドプレッシャーと考えられる。すなわち、この第1直線の下限応力と上限応力の間こそが、適正なエンドプレッシャーの範囲と思われる。

こうした考えから、荷重 - 変位曲線における第1直線の傾き、下限応力、上限応力を指標として、 $L_{16}$ 直交表による分散分析を行った。分散分析の結果を第8表に示す。どの指標に

第8表 荷重 - 変位曲線に現れる第1直線の分散分析  
Table 8. Variance analysis of straight line of load - displacement curve.

因子 Factor	傾斜 Slope				下限応力 Endpressure at lower limit ( $\sigma_1$ )				上限応力 Endpressure at upper limit ( $\sigma_2$ )			
	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 F <sub>0</sub>	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 F <sub>0</sub>	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 F <sub>0</sub>
カッター刃先位置 B. Position of knife edge	63993	1	63993	2.07	10	1	10	0.04	81	1	81	0.13
フィンガー長 A. Finger length	2639284	3	879761	28.52**	7657	3	2552	10.90**	28937	3	9646	15.78**
圧入速度 C. Inserting speed	7	1	7	0.00	276	1	276	1.18	1668	1	1668	2.73
A×B	36768	3	12256	0.40	226	3	75	0.32	670	3	223	0.37
A×C	42769	3	14256	0.46	457	3	152	0.65	2269	3	756	1.24
B×C	40115	1	40115	1.30	15	1	15	0.06	332	1	332	0.54
e1	44084	3	14695		692	3	231		1597	3	532	
e2	541985	16	33874		3758	16	235		10015	16	626	
e	586069	19	48569		4450	19	466		11612	19	1158	
T	3409004	31			13093	31			45568	31		



第16図 嵌合縦圧縮試験におけるフィンガー長と圧入時応力の関係

Fig. 16 Relationship between endpressure and (finger length for inserting test.

Footnote \*; Data of specimen No. 14, 22, 25, 28, 31 are excluded from the figure.

よる場合でも、フィンガー長のみが有意となった。このことから、嵌合された左右のフィンガー切削材のフィンガー長のうち、長い方のフィンガー長を指標として試験結果を整理した。その結果を第16図と第9図に示す。みごとにフィンガー長と曲線型が対応しているのがわかる。ただし、この図と表の中では、左右の材のフィンガー長が著しく異なっている5体の試験片（No.22, 28, 25, 14, 31）は除外している。

表示された第1直線の傾きと図示された第1直線の下限応力及び上限応力を眺めると、A型とB型の曲線型には連続性があるように思われる。そこで、A型とB型は1つにまとめ、フィンガー長に対する第1直線の下限応力と上限応力の回帰直線を求め、図中に記入した。第16図から、フィンガー長とそれに対応する適正なエンドプレッシャーの間には高い相関があることがわかる。

ところで、フィンガー長によって荷重 - 変位曲線の曲線型が異なることについて、少し考察してみよう。

A型の曲線型は、フィンガー長が10.70~11.74mm 試験片に現れている。フィンガー先端厚 $t_1$ と谷部幅 $t_0$ の差（ $t_1 - t_0$ ）、通称嵌合公差<sup>6), 8)</sup>又は嵌合度<sup>9), 22)</sup>で表現すると、-0.22~0.20mmの範囲である。ただし、カッター刃先位置（交互とそろい）によってスカーフ面の傾斜及び直線限界が異なり、フィンガー先端厚も異なることから、嵌合公差又は嵌合度による嵌合条件の表示は不正確である。A型の試験片はフィンガー長が長いので、荷重が加わるとすぐにフィンガー先端と谷部が突き当たり、荷重と変位の間に傾きの急な直線関係（第1直線）が現れる。嵌合が進むと突き当たっていた部分が破壊し始め、曲線はいったんねてくる。さらに嵌合が進むと、今度はスカーフ面どうしが密着し、再び荷重と変位の間に直線関係（第2直線）が現れる。最終的には、フィンガー先端部の挫屈と谷部の割裂によって破壊する。

B型の曲線型は、フィンガー長が10.17~10.71mmの試験片に現れている。嵌合公差では0.12~0.21mmの範囲である。B型の試験片はA型よりもフィンガー長が短いので、最初にスカーフ面どうしが密着し始めるが、それと同時にフィンガー先端と谷部も突き当たり、傾きの最も急な直線関係（第1直線）が現れる。スカーフ面と先端が同時に密着しているので安定した直線関係が高荷重まで続き、最終的にはA型と同じように破壊する。

D型の曲線型は、フィンガー長が8.08~9.81mmの試験片に現れている。嵌合公差では0.37~0.81mmの範囲である。D型の試験片はB型よりもフィンガー長が短いので、最初にスカーフ面どうしの密着による直線関係（第1直線）が現れる。嵌合が進むとフィンガー谷部の割裂が起こって曲線はいったんねてくる。さらに嵌合が進むと、フィンガー先端と谷部が突き当たり、再び直線関係（第2直線）が現れる。最終的には、フィンガー先端部の挫屈も起こって破壊する。

以上のような各曲線型の嵌合状況の考察から、B型の曲線型が現れるフィンガー長とそのときの第1直線の応力域に相当するエンドプレッシャーが、適正な嵌合条件と思われる。つまり、接着面としてのスカーフ面に安定した圧縮圧が作用し、高いエンドプレッシャーでも材料に損傷を発生させにくいのが、B型を出現させる嵌合条件である。今回の試験で用いたミニフィンガーカッターとエゾマツ材の場合では、フィンガー長10.0~10.7mm（又は嵌合公差0.1~0.2mm）程度が適正フィンガー形状であり、このときの適正エンドプレッシャーは100~150kg/cm<sup>2</sup>と判断された。

上記の適正嵌合条件は、当然のこととしてカッター及び材料の種類が異なれば変化するので、一律に適正嵌合条件として一定の数値を決めることは危険である。造作用縦つき木材の製造基準（案）<sup>22)</sup>では、「切削後の（フィンガー先端の厚さ） - （フィンガー底部の幅）

第9表 嵌合縦圧縮試験結果  
Table 9. Results of inserting test.

試験片番号 Specimen No.	フィンガー長 Finger length (mm)		フィンガー先端厚 Tip thickness (mm)		嵌合公差 (to ±0.50mm) L <sub>1</sub> t <sub>1</sub> -t <sub>0</sub>		第1及び第2直線の傾斜 Slope of straight line I, II (kg/cm <sup>2</sup> /mm)		圧入時応力 Endpressure (kg/cm <sup>2</sup> )				荷重-変位曲線型 Type of load-displacement curve		
	L <sub>1</sub>	sl	L <sub>1</sub> -sl	L <sub>1</sub> t <sub>1</sub>	st <sub>1</sub>	st <sub>1</sub> -t <sub>1</sub>	I	II	σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>4</sub>		σ <sub>max</sub>	
19	11.74	11.72	0.02	0.34	0.39	0.06	-0.22	87	83	19	60	132	179	223	A
1	11.72	11.61	0.11	0.48	0.49	0.01	-0.08	95	82	19	60	122	210	262	A
3	11.71	11.46	0.25	0.50	0.52	0.02	-0.06	91	82	38	100	100	182	239	A
4	11.70	11.58	0.12	0.52	0.56	0.03	-0.04	108	76	41	94	126	213	237	A
2	11.68	11.56	0.12	0.54	0.56	0.03	-0.02	106	87	38	78	129	217	262	A
17	11.63	11.46	0.17	0.41	0.47	0.06	-0.15	77	87	31	72	135	207	253	A
18	11.11	10.95	0.16	0.50	0.58	0.08	-0.06	108	95	41	94	113	210	261	A
20	11.00	10.94	0.06	0.57	0.60	0.03	0.01	111	86	41	132	157	220	247	A
6	10.75	10.41	0.34	0.73	0.76	0.03	0.17	124	110	69	116	141	217	276	A
5	10.71	10.63	0.08	0.68	0.76	0.09	0.12	126	—	57	154	—	—	265	B
8	10.70	10.35	0.35	0.76	0.78	0.02	0.20	118	109	78	116	163	239	261	A
7	10.61	10.47	0.14	0.74	0.75	0.01	0.18	120	—	78	163	—	—	256	B
24	10.40	10.19	0.21	0.72	0.77	0.05	0.16	123	—	78	201	—	—	248	B
23	10.28	10.19	0.09	0.73	0.78	0.05	0.17	132	—	85	195	—	—	275	B
21	10.17	10.08	0.09	0.77	0.83	0.05	0.21	129	—	100	185	—	—	277	B
10	9.81	9.50	0.31	0.98	1.00	0.02	0.42	94	84	63	135	185	254	276	D
11	9.77	9.47	0.30	0.93	0.99	0.06	0.37	86	85	50	122	166	242	256	D
9	9.73	9.57	0.16	0.97	0.98	0.01	0.41	94	92	63	129	163	232	272	D
12	9.71	9.67	0.04	0.94	0.97	0.03	0.38	92	103	63	132	182	254	272	D
27	9.42	9.22	0.20	0.95	1.05	0.10	0.39	76	87	63	122	151	223	242	D
26	9.17	9.09	0.08	1.05	1.10	0.05	0.49	84	87	57	113	160	220	249	D
15	8.71	8.54	0.17	1.20	1.22	0.02	0.64	70	98	47	88	182	242	261	D
13	8.54	8.53	0.01	1.18	1.23	0.05	0.62	84	84	50	104	207	251	277	D
16	8.52	8.37	0.15	1.23	1.26	0.03	0.67	78	97	44	97	154	213	236	D
30	8.23	8.10	0.13	1.30	1.32	0.02	0.74	70	84	44	91	173	213	236	D
32	8.18	7.98	0.20	1.34	1.37	0.03	0.78	65	89	38	88	148	220	237	D
29	8.08	7.86	0.22	1.37	1.41	0.04	0.81	68	82	44	88	173	220	245	D
22	10.78	9.97	0.81	0.63	0.82	0.19	0.07	96	105	31	85	151	213	261	A
28	9.85	9.09	0.76	0.76	1.04	0.28	0.20	105	72	100	166	204	232	237	D
25	9.56	9.07	0.49	0.94	1.06	0.12	0.38	85	92	53	122	141	173	244	D
14	8.67	8.20	0.47	1.21	1.34	0.13	0.65	75	69	44	94	163	185	230	D
31	8.26	7.71	0.55	1.29	1.44	0.15	0.73	53	55	35	72	129	166	217	D

Footnote ; Subscripts L and s indicate each pieces of longer finger length and of shorter finger length with a pair of finger cutted pieces.

の値（著者注、嵌合公差を指す）は使用材料によっていくらか異なるので、現場に合わせて適正値を決めるべきであるが0.1mm以上を目安とし、所定のエンドプレッシャーを加えたときに、フィンガーの底に 0.3mm 以下の僅かなすき間を生じて、エンドプレッシャーがスカーフ傾斜面に有効に作用していることを確認することが必要である。」となっているが、その確認する方法が明記されていない。やはり、強度的品質の安定性が最も優先する構造用フィンガージョイント材に関しては、今回ように嵌合縦圧縮試験を行い、使用カッター及び材料樹種ごとにB型の荷重 - 変位曲線型が現れる適正フィンガー長とエンドプレッシャーを決定すべきである。

## 5.2 実大材による嵌合縦圧縮試験

前節の小断面材による嵌合縦圧縮試験で得られた結論が、実大材の場合にも、また摩耗したカッターの場合にも通用するかどうかを確認する目的で、実大材による嵌合縦圧縮試験を行った。ここでいう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を指す。

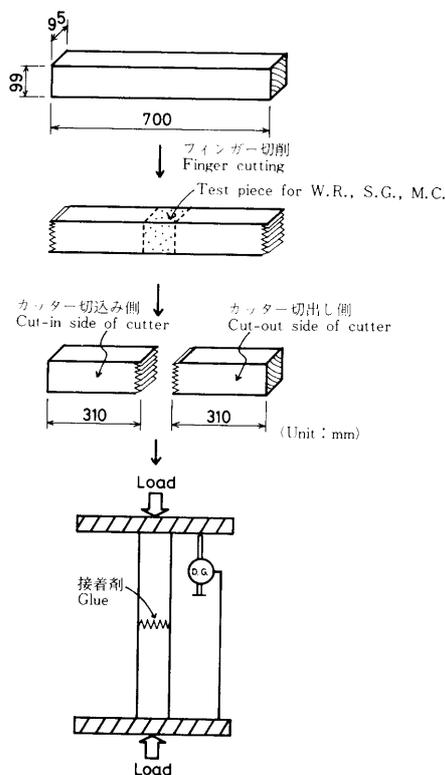
### 5.2.1 材料と試験方法

断面寸法99mm×95mm、長さ700mm、年輪幅のばらついたエゾマツ材5本を供試材とした。使用したカッターは、今回の一連の試験で用いたものと同種であるが、切刃は摩耗している。

試験条件は、第10表に示すように、前節の試験結果から適正と判断された条件とした。具

第10表 実大材による嵌合縦圧縮試験条件  
Table 10. Experimental conditions of inserting test for full-size specimens.

カッター鋭利度 Sharpness of cutter	摩 耗 dull
カッター刃先位置 Position of knife edge	交 互 Alternate
予備切削 Precutting	な し Non-exist
送材速度 Feeding speed	8 m/min
フィンガー長 Finger length	10.56 mm
圧入速度 Inserting speed	コントロールせず Non-control
接着剤 Glue	レゾルシノール樹脂の主剤のみ Resorcinol resin (non hardener)
樹 種 Species	エゾマツ Ezomatsu



第17図 実大材による嵌合縦圧縮試験の手順

Fig. 17 Preparation of full-size specimens and method for inserting test.

体的な試験手順を第17図に示す。

フィンガー長は、B型の荷重 - 変位曲線が現れる10.56mmに設定し、材料の両木口を切削した。その後、表面の鋭削及びフィンガー長の測定は行わず、前節の小断面材の場合と同じ要領で嵌合縦圧縮試験を行った。試験は 100ton 油圧強度試験機を用いて行い、制御盤上の荷重とダイヤルゲージ ( 1 / 100mm読み ) の変位から荷重 - 変位曲線を作図した。このとき、挫屈のような現象は起こらなかったで、とくに治具などは用いなかった

### 5.2.2 結果と考察

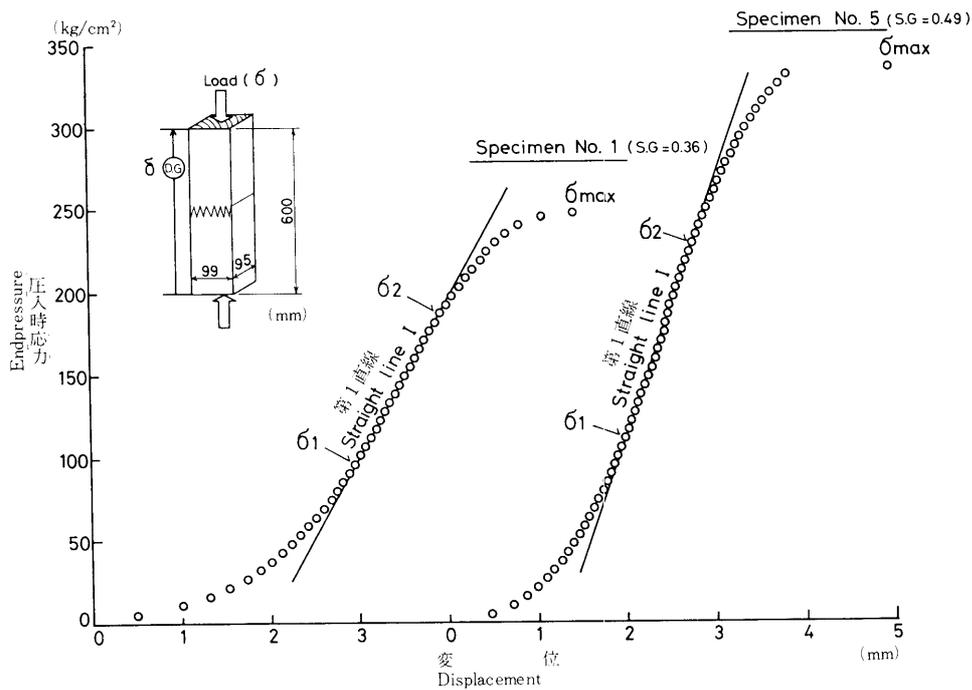
実大材による嵌合縦圧縮試験結果を、第11表に示す。設定したとおり、5体の試験片ともB型の荷重 - 変位曲線となった。材料の比重が最も低かった試験片と最も高かった試験片の荷重 - 変位曲線を、第18図に示す。

この試験結果での第1直線の下限応力、上限応力、最大応力を小断面材の場合と比較すると、実大材の方が大きめな値となった。とはいえ、実大材と摩耗したカッターによる嵌合縦圧縮試験においても前節の小断面材の場合と同じ結果が得られた。よって、実際の縦継ぎ作業における適正フィンガー長とエンドプレッシャーを決定する際に、材料の寸法やカッター

第11表 実大材による嵌合縦圧縮試験結果

Table 11. Results of inserting test for full-size specimens .

試験片番号 Specimen No.	W.R. (mm)	S.G.	M.C. (%)	圧入時応力 Endpressure (kg/cm <sup>2</sup> )			曲線型 Type of L-D curve
				$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_{max}$	
1	2.5	0.36	9.6	96	188	249	B
2	1.3	0.38	10.6	123	225	286	B
3	5.0	0.39	9.3	102	193	272	B
4	0.8	0.40	10.1	123	247	303	B
5	1.7	0.49	11.9	112	230	337	B



第18図 嵌合縦圧縮試験時の荷重 - 変位曲線例

Fig. 18 Two examples of load - displacement curve for inserting test .

の鋭利度に係わりなく嵌合縦圧縮試験が行えることを確認した。

## 6. フィンガージョイント薄片の引張試験

前章までの試験結果から、適正と思われる切削及び嵌合条件を求めることができた。得られた適正条件でフィンガージョイント材を製造したときの引張強度を確認する目的で、この試験を行った。レゾルシノール樹脂系と水性ビニルウレタン系の2種類の接着剤を用いてフィンガージョイント材を製造し、それを丸鋸で縦に挽き割ってフィンガーピッチ厚(4mm)の薄片として強度試験を行った。これにより、接着剤の種類による引張強度の差と、1フィンガージョイント材内部での引張強度のバラツキについて検討した。

### 6.1 適正エンドプレッシャーの決定

前章の嵌合縦圧縮試験結果から、適正なエンドプレッシャーの範囲は、B型の荷重-変位曲線となるフィンガー長の場合、第1直線の上・下限応力間と判断された。そこで、第16図に示した第1直線の下限応力と上限応力の回帰直線を利用して、フィンガー長10.5mmのときの上・下限応力を求めると、 $164\text{kg}/\text{cm}^2$  と  $77\text{kg}/\text{cm}^2$  となった。今回の試験では、これらの値の中間値  $120\text{kg}/\text{cm}^2$  をもって適正エンドプレッシャーと決定した。B型の第1直線の中央値に相当するエンドプレッシャーは、スカーフ面に安定かつ十分な圧縮圧を与え、材料に損傷を加えることもないからである。さらに、ドイツ規格のDIN<sup>(28)</sup>では、針葉樹材のエンドプレッシャー値は、フィンガーが10mmまでの場合、約 $12\text{N}/\text{mm}^2$  ( $120\text{kg}/\text{cm}^2$ )に規定されていることから、今回決定したエンドプレッシャー値の妥当性がわかる。

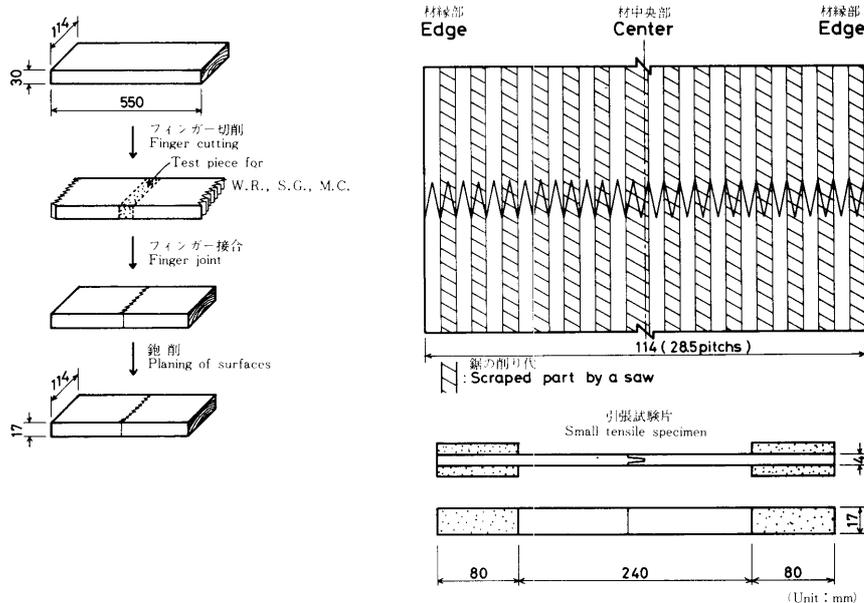
### 6.2 材料と試験方法

断面寸法30mm×114mm、長さ550mm、同一原板から採取した正板目エゾマツ無欠点材4

第12表 引張フィンガージョイント材の製造条件

Table12. Manufacture conditions of finger joints for tensile test.

カッター鋭利度 Sharpness of cutter	摩 耗 dull
カッター刃先位置 Position of knife edge	交 互 Alternate
予備切削 Precutting	な し Non-exist
送材速度 Feeding speed	8 m / min
フィンガー長 Finger length	10.53 (10.43~10.65) mm
エンドプレッシャー Endpressure	125 kg / $\text{cm}^2$
圧入速度 Inserting speed	2.5 mm / min
エンドプレッシャー継続時間 Time for holding endpressure	10sec
接着剤 Glue	レゾルシノール Resorcinol resin 水性ビニルウレタン Aqueous vinyl urethane
樹 種 Species	エゾマツ Ezomatsu
平均年輪幅 Width of annual ring (W.R.)	1.1 (1.0~1.1) mm
比 重 Specific gravity (S.G.)	0.38 (0.38~0.39)
含水率 Moisture content (M.C.)	11.0 (10.8~11.1) %



第19図 フィンガージョイント材の製造手順と引張試験片の木取方法

Fig. 19 Preparation of finger joints and small tensile specimens.

体を供試材とした。第12表に示す製造条件で、4体のフィンガージョイント材を製造した。2体はレゾルシノール樹脂系接着剤（大日本インキ プライオーフェン 6000，主100：硬15：増10）を使用し，残り2体は水性ビニルウレタン系接着剤（光洋産業 KR-120，主100：硬15）を使用した。試験片の木取り方法を、第19図に示す。

材料の幅の広い面にフィンガー形状が現れるように両木口を切削したのち、250mmの長さの両木口を鋸断して1対のフィンガー切削材とした。1対のフィンガー切削材のカッター切込み側フィンガー長を測定した。測定方法は、前章と同じである。その後、フィンガー部に接着剤をブラシで分に塗布し、5 tonインストロン型強度試験機を用いて125kg/cm<sup>2</sup>のエンドプレッシャーで嵌合した。このとき、治具を用いて嵌合時に挫屈が起こらないよう工夫した。十分な養生ののち、幅の広い面を鉋削し、図中に示した斜線部分を昇降盤で挽き割った。さらに、引張試験時のチャック部分に広葉樹材を2次接着して、最終的な引張試験片に仕上げた。

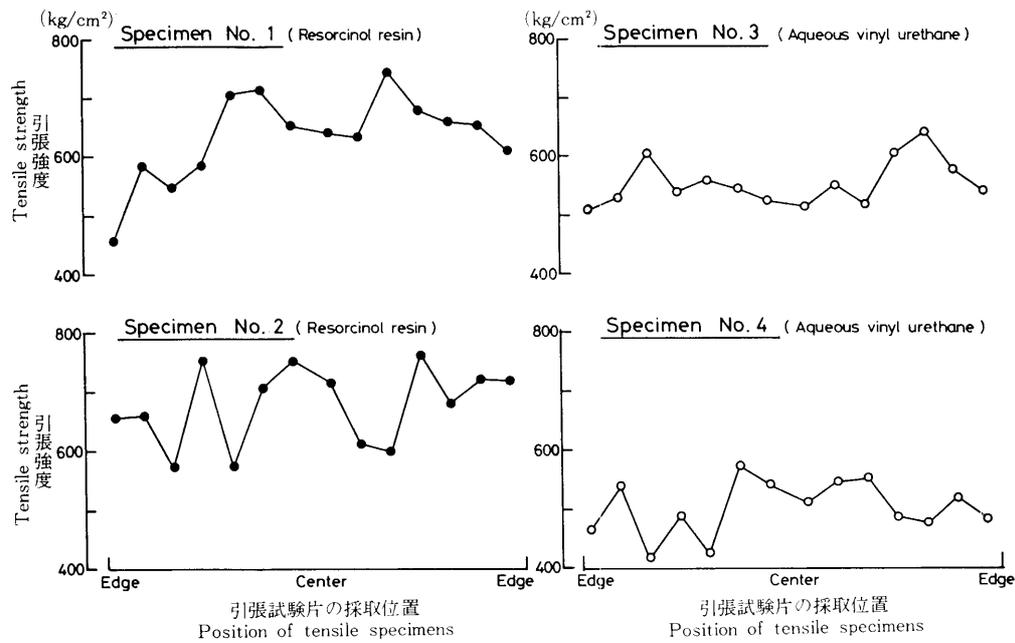
引張試験は、5 tonインストロン型強度試験機を用いて荷重速度 2.5mm/min で行い、そのときの引張最大荷重を記録した。

### 6.3 結果と考察

引張試験結果を第20図に示す。

得られた引張最大応力を指標として、1フィンガージョイント材内部での試験片採取位置（因子A）と接着剤の種類（因子B）とによる2元配置の分散分析を行った。分散分析の結果を、第13表に示す。接着剤の種類のみが有意となった。その効果グラフを第21図に示す。

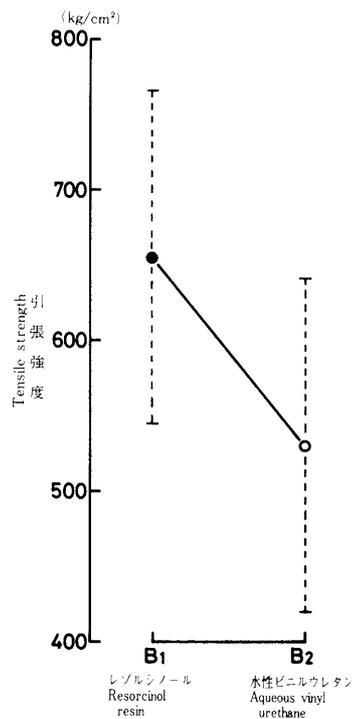
今回用いた2種類の接着剤の接着力差は、伏谷ら<sup>25)</sup>の行ったブナ材のスカーフジョイント材の静的曲げ試験結果でも認められている。しかし、積層接着における接着剤と接着力の関係を調べた既往の研究<sup>24)</sup>では、両接着剤のブロック剪断性能に差はないと報告されている。こうしたことから、木口接着と積層接着とは分けて考えるべきであり、フィンガージョイン



第20図 引張試験片の採取位置と引張強度の関係  
Fig. 20 Relationship between tensile strength and position of tensile specimen.

第13表 フィンガージョイント薄片の引張強度の分散分析  
Table 13. Variance analysis of tensile strength for Small finger joints.

因子 Factor	平方和 s.s.	自由度 d.f.	分散 m.s.	分散比 Fo
引張試験片の採取位置 A Picking position of specimen	59155	13	4550	1.01
接着剤 B. Glue	219375	1	219375	48.88**
A×B	21647	13	1665	0.37
e	125666	28	4488	
T	425843	55		



第21図 接着剤 (因子B) の効果グラフ  
Fig. 21 Effect graph of glue (Factor B).

ト工法に適した接着剤は、フィンガージョイント材の強度試験によって選定すべきである。

また、常識的には、フィンガージョイント材の両端のフィンガー形状部では十分な圧縮圧が加わらず、その部分の引張強度は当然低下するものと思われる。しかし、この予想に反して今回の試験結果からは、明確な頻度の低下は認められなかった。この原因は、今回の試験では引張試験片の外側にバットジョイント部（フィンガー谷部と先端部）がくるように試験片を仕上げたため、応力集中などの予想外の因子の影響があったのかもしれない。

一方、ミニフィンガージョイント材の曲げ試験の場合、フィンガー形状の現れている材面に対して垂直に加力した時（垂直型加力）と水平に加力した時（水平型加力）の曲げ強さは、一般に垂直型加力の曲げ強さの方が水平型加力よりもわずかに大きいか同じ程度と報告されている<sup>8),9)</sup>。水平型加力では、フィンガージョイント材の両端のフィンガー形状部に接着不良があった場合、梁せいの減少につながって大きく曲げ強さは低下する。それがないということであるから、フィンガー形状のどの部分でも、良好な接着が行われていることになる。このことと今回の試験結果を考え合わせると、ミニフィンガージョイント材内部での強度バラツキが小さいことは、本質的なことなのかもしれない。

いずれにしても、試験体数が少なく試験方法にも不備な点があったため、今回の試験結果だけでは、ミニフィンガージョイント材内部の強度のバラツキについては明確な傾向をつかむことができなかった。

## 7. 要 約

本報告は、市販のミニフィンガーカッター（公称フィンガー長12mm）を用いて、構造用フィンガージョイント材の製造条件について、統計的手法により検討したものである。フィンガー切削条件と切削精度の関係、適正な嵌合条件、フィンガージョイント材の引張強度について各種の試験を行い、以下に述べる結果を得た。なお、材料にはすべてエゾマツ気乾材を用いた。

第3章においては、フィンガー成形切削された木材のフィンガー形状について理論的考察を行った（第2図参照）。その結果、カッター切削により削り取られる部分の幅 $y$ は、(5)式のように、フィンガー根元からの距離 $x$ の無理関数として表されることを示した。

$$y = -2 \tan \theta \sqrt{x^2 - \phi x + \frac{\phi^2 \cos^2 \alpha}{4}} + \phi \cos \alpha \tan \theta + t_0$$

(0  $x$   $\frac{1}{2} (1 - \sin \alpha)$ ) .....(5)

この式は、被削材のフィンガースカーフ面は凸の曲面で、フィンガーチップの厚さは先端にゆくほど曲線的に細くなることを表している。

第4章においては、切削条件が被削材の切削精度に及ぼす影響について検討した。第1表に示した切削条件に対する被削材のフィンガー形状と被削面性状を測定し、フィンガー谷部幅、チップ厚の分散、スカーフ面の直線限界、スカーフ面の傾斜、そして被削面であるスカーフ面の目ぼれと毛羽立ちを指標とした分散分析を行った。その結果は以下のとおりである。

- (1) フィンガー谷部幅 $t_0$ 及びチップ根元厚 $b_0$ は、切削条件の影響を受けず一定であった。

$$t_0 = 0.56 \text{ mm} \quad b_0 = 3.48 \text{ mm}$$

- (2) フィンガーチップ厚の分散（フィンガー形状のバラツキ）は、切削条件の影響を受けなかった。
- (3) スカーフ面の直線限界に相当するフィンガー長は、カッター刃先位置の影響を受

けた。刃先位置 2 水準のこのフィンガー長は次のとおりである。

刃先位置 交互 = 9.7mm  
そろい = 11.0mm

また、刃先位置交互の場合には、直線限界を過ぎた先端付近のチップ厚は、直線を延長したときの厚さよりも太くなる傾向がみられた。

- (4) スカーフ面の直線部分の傾斜は、カッター刃先位置の影響を受けた。刃先位置 2 水準のこの傾斜は次のとおりである。

刃先位置 交互 = 1 : 8.05  
そろい = 1 : 7.48

カッターの刃先をそろえた方が、使用カッターでの公称スカーフ面傾斜 1 : 7.5 に近い値であった。

- (5) 被削面としてのスカーフ面は、目ぼれと毛羽立ちが観察され、送材速度とスカーフ面の木目の影響を受けた。

第 5 章においては、切削条件を変化させたフィンガー切削材の嵌合縦圧縮試験を行い、嵌合縦圧縮試験時の荷重 - 変位曲線の曲線型に着目して、適正な嵌合条件について検討した。

その結果、試験片のフィンガー長によって 3 つの荷重 - 変位曲線型が現れ、それぞれを A, B, D 型と名付けた (第 15 図参照)。この中で、B 型の曲線型が現れるフィンガー長が適正フィンガー長であり、B 型の曲線型の中に現れる直線部分の下限応力と上限応力の間が適正エンドプレッシャーの範囲と判断された。また、この結果は試験片の寸法及びカッターの鋭利度には影響されなかった。今回使用したカッターとエゾマツ材の組み合わせにおける適正な嵌合条件は次のとおりである。

フィンガー長 = 10.0 ~ 10.7mm  
エンドプレッシャー = 100 ~ 150kg / cm<sup>2</sup>

第 6 章においては、フィンガージョイント材の接着剤の種類による引張頻度の差と、1 フィンガージョイント材内部での引張強度のバラツキについて検討した。前章で求めた適合嵌合条件でフィンガージョイント材を製造 (レゾルシノール樹脂系と水性ビニルウレタン系の 2 種類の接着剤を使用) し、さらに挽き割って薄片とした試験片で引張試験を行った。

その結果、接着剤の差は明確に現れ、レゾルシノール樹脂系の方が水性ビニルウレタン系よりも強かった。1 フィンガージョイント材の材縁部と内部との引張強度の有意差は、認められなかった。2 種類の接着剤の引張強度は次のとおりである。

レゾルシノール樹脂系 = 655 (458 ~ 761) kg / cm<sup>2</sup>  
水性ビニルウレタン系 = 530 (420 ~ 641) kg / cm<sup>2</sup>

## 8. あとがき

近年の原木事情の悪化は、今まで利用されなかった材料を積極的に使って行かなければならない状況を生み出している。製材及び加工工場から出る端材や、狂い・節などの欠点を除去したのちの短尺材の有効利用は、木材加工技術の課題である。この課題解決のため、フィンガージョイント工法による縦継ぎ加工が普及しはじめてから既に久しい。そして、最近では、製材をフィンガージョイントしただけの縦継ぎ木材が造作用として市販されるようになった<sup>23)</sup>。しかし、この市販縦継ぎ木材の強度性能は、非常にばらついている。さらに、接着工法は、宿命として接着力を 100% 発揮するか、接着不良により 0% になってしまうかのいずれかである。フィンガージョイント工法も接着工法の一つであるから、この宿命をまぬがれることはできない。このため、構造用部材としてフィンガージョイント材を使うことがため

らわれている、というのが現状である。この現状を打破し、構造用フィンガージョイント材の実用化をはかるには、何んといっても第1に構造用の適正な製造基準を確立することである。これなくして、構造用フィンガージョイント材の強度的品質保証はありえない。本報告は、このような考えから行われた試験の結果である。

試験結果をまとめると、フィンガー形状に及ぼす切削条件の中で、カッター刃先位置の影響が最も大きいことがわかった。しかし、フィンガージョイント材を製造するときの嵌合条件では、フィンガー長が最も重要である。嵌合縦圧縮試験を行うと、試験片のフィンガー長によって3つの荷重 - 変位曲線型が得られ、B型と名付けた荷重 - 変位曲線型が現れるときのフィンガー長が適正フィンガー長である。そして、このフィンガー長に対する適正エンドプレッシャーは、B型曲線中の直線域に相当する圧入時応力である。今使用したカッターとエゾマツ材の場合には、フィンガー長10.0～10.7mm、エンドプレッシャー100～150kg/cm<sup>2</sup>が適正な嵌合条件である。このことは、既に報告している、嵌合条件とフィンガージョイント材の曲げ強度性能の関係を調べた試験<sup>(17)</sup>で確認していることである。このため、誰でも、使用するカッターと材料を用いて嵌合縦圧縮試験を行えば、適正な嵌合条件を求めることができる。また、2種類の接着剤（レゾルシノール樹脂と水性ビニルウレタン）を用いたフィンガージョイント材の引張試験結果から、明らかにレゾルシノール樹脂の方が水性ビニルウレタンよりも強いことがわかった。

今後は、さらに適正な製造条件を明確にすると同時に、構造用フィンガージョイント材の性能試験規格及び許応力度の確立に向けて努力してゆくつもりである。

最後に、試験片の製作と試験の遂行にあたり常にお世話になった当场複合材試験科の皆様  
に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Selbo, M.L. : Effect of joint geometry on tensile strength of finger joints, F.P. J., Vol. 13, No.9, pp. 390~400 (1963)
- 2) Strickler, M.D. : Impression finger jointing of lumber, F.P.J., Vol. 17, No. 10, pp. 23~28 (1967)
- 3) Marian, J.E. : Wood finger-jointing-Part I : A new procedure for wood finger-jointing and its principles, Holz als Roh-und Werkstoff, Vol. 26, No. 2, pp. 41~45 (1968)
- 4) Ivansson, B.O. & Ström, H. : Finger-jointing of wood-Part II : Basic investigations on a new procedure of finger-jointing, Holz als Roh-und Werkstoff, Vol. 26, No.3, pp. 77~84 (1968)
- 5) Fickler, H.H. & Helgesson, G. : Finger-jointing of wood-Part III : Machine processing and economic aspects of a new finger jointing method, Holz als Roh-und Werkstoff, Vol. 26, No.5, pp. 157~161 (1968)
- 6) 星 通, 森 稔 : ミズナラの縦接ぎ接着有効率, 農林省林業試験場研報 第153号, pp. 73~93 (1963)
- 7) 星 通, 千葉保人 : ミニフィンガージョイントの形状と性能, 木材工業, Vol. 28, No. 8, pp. 355~357 (1973)
- 8) 星 通, 千葉保人 : ミニフィンガージョイントの形状と性能 (2), 木材工業, Vol. 31, No. 8, pp. 343~345 (1976)
- 9) 星 通 : ミニフィンガージョイントの形状と性能 (3), 農林省林業試験場木材部資料52-8 (1978)
- 10) 小西千代治, 鈴木藤吉, 栢沢文夫 : フィンガージョインターによるフローリングの縦接合試験 (1), 北林産試月報, No. 148, pp. 4~15 (1964)
- 11) 小西千代治, 鈴木藤吉, 栢沢文夫 : フィンガージョインターによるフローリングの縦接合試験 (2), 北林産試月報, No. 150, pp. 5~11 (1964)
- 12) 小西千代治, 吉田直隆, 奈良直哉 : フィンガージョインターによるフローリングの縦接合試験 (3), 北林産試月報, No. 155, pp. 7~13 (1964)
- 13) 沢野信一, 宮島 寛 : ミニフィンガージョイントの接合効率, 木材学会北海道支部講演集, No. 4, pp. 10~14 (1972)
- 14) 生田晴家, 宮島 寛 : ミニフィンガージョイント接合法の適正圧縮力について, 木材学会北海道支部講演集, No. 5, pp. 8~10 (1973)
- 15) 倉田久敬, 長原芳男 : 高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイント (1), 北林産試月報, No. 306, pp. 7~10 (1977)
- 16) 倉田久敬, 堀江秀夫, 長原芳男 : 高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイント (3), 北林産試月報, No. 321, pp. 11~15 (1978)
- 17) 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, 北林産試月報, No. 334, pp. 13~17 (1979)
- 18) 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), 北林産試月報, No. 356, pp. 5~16 (1981)
- 19) 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3報), 北林産試月報, No. 363, pp. 1~7 (1982)
- 20) 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4報), 北林産試月報, No. 381, pp. 14~16 (1983)
- 21) 日本木材加工技術協会 CL専門委員会 : 継つぎ木材の製造基準 (案) - 1, 木材工業, Vol. 31, No. 10, pp. 446~448 (1976)
- 22) 日本木材加工技術協会 CL専門委員会 : 造作用縦つぎ木材および化粧ばり造作用縦つぎ木材の製造基準 (案) 解説, 木材工業, Vol. 32, No. 4, pp. 169~172 (1977)
- 23) たてつぎ木材の性能調査専門委員会 : 市販の造作用たてつぎ木材の性能試験, 木材工業, Vol. 34,

No. 6, pp.258~262 (1979)

- 24) 木材用新開発接着剤の性能調査小委員会：木材用新開発接着剤の性能調査について，合板工業，No. 98, pp.1~13 (1978)
- 25) 伏谷賢美，小林克太郎，友松昭雄：フカーフジョイント部材の衝撃曲げ疲労，木材工業，Vol. 35. No. 10, pp. 461~465 (1980)
- 26) 磯部邦夫：初心者のための直交表の使い方 - 基礎編，日本規格協会 (1964)
- 27) 磯部邦夫：初心者のための直交表の使い方 - 計数分類値編，日本規格協会 (1964)