

## カラマツLVLのミニフィンガージョイント

北村 維朗\* 田上 洋一  
石井 誠

The Mini-Finger Jointing of Karamatsu ,  
Japanese Larch , L V L

Tadao KITAMURA Yoichi TAGAMI  
Makoto ISHII

The following two sets of tests were performed on karamatsu , Japanese larch . laminated veneer lumber to provide for mini-finger jointing techniques : ( 1 ) to determine the cutting life of a resharpened finger cutter with high-speed steel tips in various ways of testing ; ( 2 ) to determine the flexural mechanical properties of the L V L samples in several different end-jointing ways . The obtained results are summarized as follows :

( 1 ) The cutting life suitable for maintaining an ideal cutting condition was found to be 25 meters in total cutting meterage , and a cutting life of 33 meters was observed to tolerate a critical condition .

( 2 ) The mechanical properties of the end-jointed L V L were affected by those of the component L V L , and when end-jointed with mini-finger joints the L V L composed of sapwood had superior properties to the L V L composed of heart-wood .

( 3 ) The end-joints became strongest when their finger-shaped profiles were formed on glue-line sides and put to face a bending force .

( 4 ) The L V L composed of the sapwood tended to be broken at finger-joints , whereas the L V L composed of the heartwood at butt-joints .

カラマツLVL ( 単板積層材 ) をフィンガー長10mmのフィンガージョイントによって縦継ぎを行う技術に関連して、辺材単板および心材単板のそれぞれからなるLVLについて、以下の試験を行った。

； 高速度鋼ソリッドカッターの切れ味劣化状況を、数種の方法によって観察し、適切な寿命を決定した。

； 辺・心材の別、積層グルーラインに対するフィンガーカットの方向、フィンガーカット方向と曲げ荷重方向との関係の組み合わせについて縦継ぎの強さを試験した。

得られた結果は

- i) 高速度鋼ソリッドカッターの寿命の推定値は、行った数種の試験法のいずれをとっても理想的条件として切削距離25m程度、長く使っても33m以内というところで一致している。
- ii) 縦継ぎ材の曲げ特性は基材の強さを反映しており、辺材（中小径材においては心材は未熟材が多いから）単板によるLVLで、荷重を積層グルーラインに平行に受ける場合に優れた性能を示す。
- iii) フィンガーカットは、フィンガープロファイルが積層面に現れるように行い、荷重はフィンガープロファイルのある面から受けた方が優れた性能を示した。
- iv) 強度の優れた辺材単板LVLはフィンガージョイントに関連して破壊するが、強度の劣る心材単板LVLはフィンガージョイント以外の部分、とくに単板のバットジョイント部分で破壊する。

## 1. 試験の目的

LVL（単板積層材）は間伐材資源の積極的活用を目的として開発され、建築用材料、家具・建具用、日用品材料として幅広い利用が期待される。

LVLの母材料にない優れた特徴は、単板の再構成によって極めて均質性の高い材料に変化していることで、材料による「当たり」「外れ」が少なく、需要者は材料に与えられた諸性能指標を信用して、これを設計に利用することができる。このことこそ優れた工業用材料に要求される必須条件であり、この意味でLVLは工業用材料として極めて優れた条件を備えていると見ることができる。

一方、ミニフィンガージョイントは極めて高い接合効率を持っており<sup>2,3,4,5)</sup>、しかも接合部加工による歩留まりの減少を最小限に止めることができることから、最近では集成材ラミナの縦継ぎや、家具部材の接合等多方面に利用されるようになり、木材加工の分野で極めて重要な技術となりつつある<sup>4,9)</sup>。

LVLは広い分野にわたって利用されることになるが、その中にはフィンガージョイントによる接合加工が必要になる局面も生じてくると考えられる。また最近の動きの中では、小規模プラントで小寸法のLVLブロックを積層調製し、このブロックをフィンガージョイントによって注文に応じた寸法に長尺化するという2段階生産方式が現れている。

そこで、LVLの性能のひとつとしての加工性能を

明らかにしてゆくなかで、ミニフィンガージョイントの加工性を検討し、接合の強度的性能を明らかにしておくことの緊要性を認めたので、以下の試験を行った。

## 2. 試験方法

### 2.1 供試LVL

LVLの製造原料となったカラマツは美瑛産の造林木間伐材で、末口径16～20cmのものである。北海道立林産試験場に設置されたパイロットプラントにより通常の製造条件によって調製した。製造条件は以下の通りである。

単板歩出し厚さ	; 4mm
単板含水率	; 10%以下
接着剤	; フェノール変性レゾルシノール
同上塗布量	; 18g / 900cm <sup>2</sup> (片面塗布)
圧縮圧	; 14kgf / cm <sup>2</sup>
高周波条件	; 積層厚10cmにつき陽極電流1A, 7分加熱

LVLの粗ブロックは11プライ（44mm）、幅48cm、長さ370cmのサイズで調製され、試験片はこれから厚さ（積層方向）40mm、幅40mm、長さ300mmのサイズで採取した。なおこの試料LVLは繊維方向長45cmの単板をバットジョイントにより縦接合した各プライによって構成されており、隣接するプライのバットジョイントの避距は約11cmで単板厚の27.5倍に相当する。また、

このパットジョイントの位置は5プライごとに長軸上の距離を一致させている。

## 2.2 フィンガー加工および接合

フィンガー加工は西ドイツ製フィンガージョイントプラントHOWI AL HV03型によった。この機械のフライスマシンは、送材テーブル式で、プレスは油圧で間けつ型、順次かん合方式によっている。

刃物は西ドイツライツ社製ソリッドカッター(写真1)で、これによって形成されるミニフィンガーの形状は、

フィンガーの長さ ; 10mm  
 ピッチ ; 3.7mm  
 基底部の幅 ; 0.6mm

となることになっている。直径は160mmで高速度銅製である。

刃角条件は

刃先角 ; 48°  
 すくい角 ; 21°  
 逃げ角 ; 21°

であり(写真2), すくい面の方向から見た刃型は写真3に示す通りで、回転角90度間隔に配置された刃はそれぞれ4枚 - 3枚 - 4枚 - 3枚の構成(写真3の刃は4枚構成になっている)になっており、隣り合ったフィンガーは90度おきにずれて切削形成されることになる。なおこのカッターは横すくい角は付いていない。回転速度は5000rpmで刃先先端の運動速度は2,513m

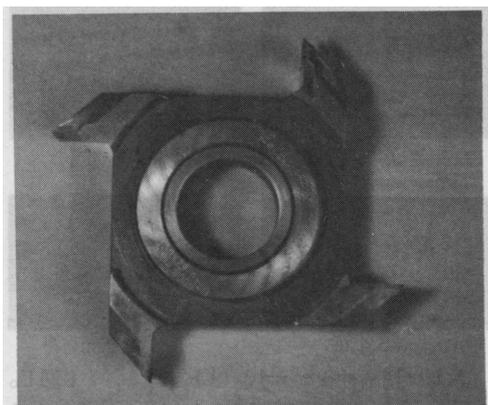


写真1 ソリッドカッター

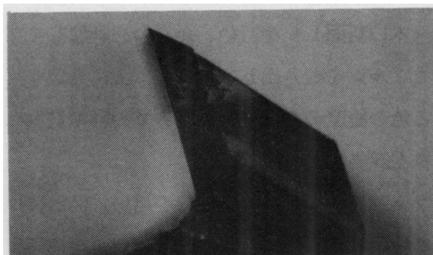


写真2 ソリッドカッターの刃先  
 刃先角48°, すくい角21°, 逃げ角21°

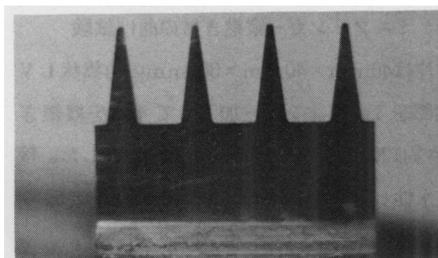


写真3 スクイ面から見た刃型

/minである。

## 2.3 カッター刃の寿命の評価

カラマツLVLは多数のグルーラインを含む接着製品であることに加えて、木材が十分に乾燥していること、分散された節を多数含むこと等の理由により、加工刃物の寿命を短くすると懸念する声が多い。そこで縦継ぎ加工に先立って、現在使用中の高速度銅製フィンガーカッターの寿命の評定を行った。寿命の決定には作業者の経験による勘と、刃物および被削材に現れる各種の現象との対比を試みることにした。

木口断面40mm×40mmのカラマツLVL(辺心材区別なし)の小片を繰り返してフィンガー切削し、延べ切削材長を記録するとともに、その間に感知される特異な現象を記録し、その時点での切れ味状況を以下のような各種の手段によって評定を試みた。

- a) 2枚のカラマツ板(厚さ9mm, 乾燥材)の間に硫酸紙をはさんでカッターで切削し、紙にフィンガー型を写し取った。
- b) 圧力測定フィルム(商品名; 富士フィルムプレスケール)をかん合フィンガー間にはさんで、かん合プレスによってかん合(圧力30kg/cm<sup>2</sup>)

(木口断面) } を行い、かん合を解除してフィルムを取り出し、フィルム上に発色する色の濃度のかたよりによって刃物の切れ味を評価した。

C) フィンガー切削された試料を用いて60kgの静荷重によってかん合を行い、かん合の程度によって刃物の切れ味の目安とした。なお加工テーブルの送り速度は平均4.6m/minで、切削方向は上向きである。

2.4 ミニフィンガー縦継ぎ材の曲げ試験  
試験片は40mm×40mm×300mmの角棒状LVLの端部をミニフィンガー加工して4本を縦継ぎし、長さ約1200mmの曲げ試験用試験片とした。接着剤は水性ピニルウレタン樹脂(KR121)であった。試験片は以下の8通りに調製した。

- a) LVLの構成材としてカラマツ辺材(s)と心材(h)の2通り。
- b) フィンガーカットの方向として、フィンガープロファイルがLVL板目面に形成されるもの(T)と積層面に形成されるもの(R)の2通り。
- c) 曲げ試験の荷重がフィンガープロファイルのない方向からかかるもの(H)とある方向からかかるもの( )の2通り。

曲げ試験は全スパン100cm、等モーメントスパン30cmの4点荷重方式で行った。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 切削材長と特異現象

フィンガー切削加工中に観察された特異現象を切削材長と対照させて第1表に表示する。写真4に刃先部

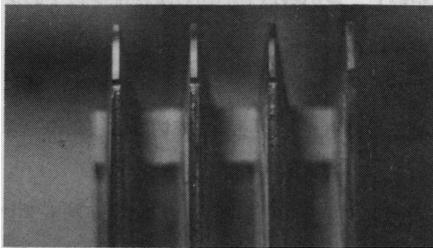


写真4 刃先(逃げ角)先端に炭化物の付着が認められる

第1表 切削材長と特異現象

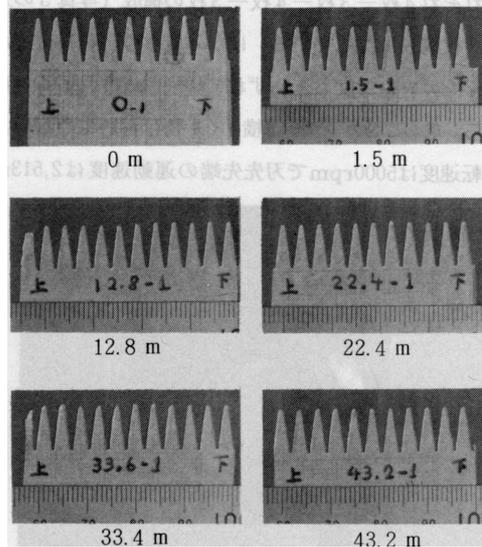
切削材長	現象
12.8 m	切削音が少し変わってきた。
19.2 m	カッタ部の端頂部に炭化物の付着が認められる。
22.4 m	切れ味の低下が知覚される。
25.6 m	刃の端頂部の炭化物が多くなってきた。人手でのかん合具合が悪くなってきた。
27.2 m	焦げ臭さを感じられる。
30.4 m	刃に付着した炭化物は端頂部のみでなく、先端部を広く覆うようになった。フィンガー先端部でササクレが見られ、切れ味低下が明白に認められる。被削材の表面単板が弾かれるようになった。
38.4 m	限界かと思われる。
43.2 m	作業終了。

逃げ面への炭化物の付着状況を示す。刃先部すくい面にも同様の炭化物の付着が認められる。

#### 3.2 切れ味低下の経過

写真5.6は0~43.2mの切削を行った刃物による硫酸紙の切り型を示したものである。

切削材長12.8mで既に切れ味の衰え始めが認められ、



数値は切削材長を示す。以下写真6,7も同じ。  
写真5 0~43.2mの切削を行った刃物による硫酸紙の切り型

33.6mに至っては明らかに切削端が鋭さを失い、直線性が悪くなり、切削端に微細な千切れや毛羽立ちが認められるようになっており、形成されたフィンガー型の形状もくずれが目立ち、全体に不ぞろいになっている。

硫酸紙上に形成されたフィンガープロファイルを観察すると、切削材長の延長にしたがって、フィンガーが中央部付近で太くなっている様子が認められる。そこで硫酸紙のプロファイル上で基底から5mmの距離におけるフィンガーの太さを1/10mm精度のスケールルーペ（×10）で測定し、測定値20個の平均値を切削材長に対してプロットしてみた（第1図）。

このグラフは第1表の観察現象とよく符合しており、切れ味の低下状況を良く表していると考えられる。すなわち、切削材長10m付近までフィンガーの太さは急速に増加するが、10mから25m付近の間は太さの増加は一たん停止している。13m付近で切削音の変化が観察されているが、これは初期の切れ味低下段階が収まり、低下して一定になった切れ味で第2ステージの切削が始まることを示していると考えられる。低下して一定になった切れ味は定常状態で、切削材長25m付近まで持続し、その後は刃先に樹脂、木粉等の焦げ付きを増加させながら急速に切れ味を低下させてゆき、この段

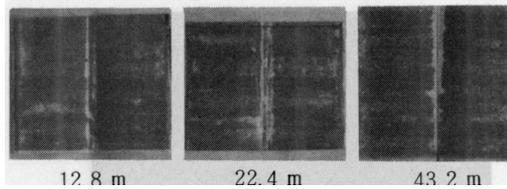


写真6 プレススケールの発色

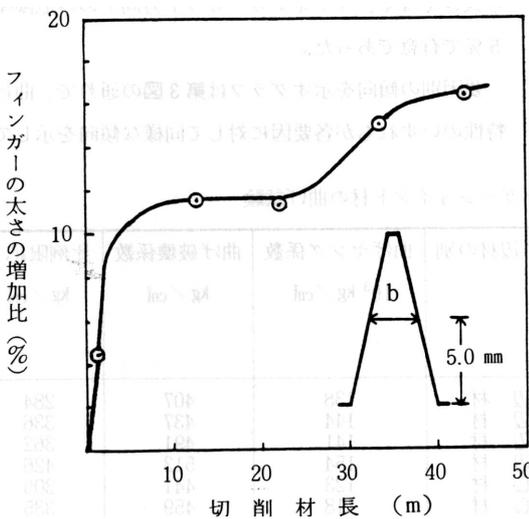
階でフィンガープロファイルの太さも大きく増加している。

圧力測定フィルムによる発色状況は写真6に示されている。切削材長22.4mまでは一様な発色があり、かん合に際して切削加工表面に様に圧力が発生しているが、43.2mに至ると発色は薄くなり、縞状に不均一となって、切削面が粗くなりかん合圧の発生が不均一となっていることを示している。

試料LVLの表面に形成されるフィンガープロファイルを見る限りでは、硫酸紙上に見られたような判然とした差異は認められないが、写真7に示すように60kgの静圧によるかん合では、切削材長の延長とともにかん合性は明らかに悪くなっている。

かん合し合う2本のフィンガーの接触し合う辺の距離（ $L_2$ ）と基底間の距離（ $L_1$ ）を写真上で1/10mm精度のスケールルーペで測定し $L_2/L_1$ をもってかん合の指標とし第2図に示した。この図に見られるように、切削材長25mを過ぎる付近でかん合性の低下が目立つようになる。これは刃物の切れ味の低下が、この付近から顕著になり、切削面の平滑性の低下やフィンガー型の不均一が現れていることを示している。

以上、カラマツLVLに対する高速度鋼フィンガーカッターの寿命の決定をいくつかの手段によって試みたが、いずれの手段によっても結果はほとんど一致していた。すなわち最良の条件で加工できるのは切削距離25mまでで、長くても33m以前で再研磨する必要があるということを示していた。この値は「カラマツLVLが刃物を傷めやすい」ということを決して裏付けではおらず、当試験場での長年の経験によるカラマツ乾燥材の場合の再研磨標準と一致しており、経験的には刃物への「やに」の付着が一般のカラマツ材の場合よりはるかに少ないと観察された。



第1図 フィンガープロファイルの太さの変化

カラマツLVLのミニフィンガージョイント

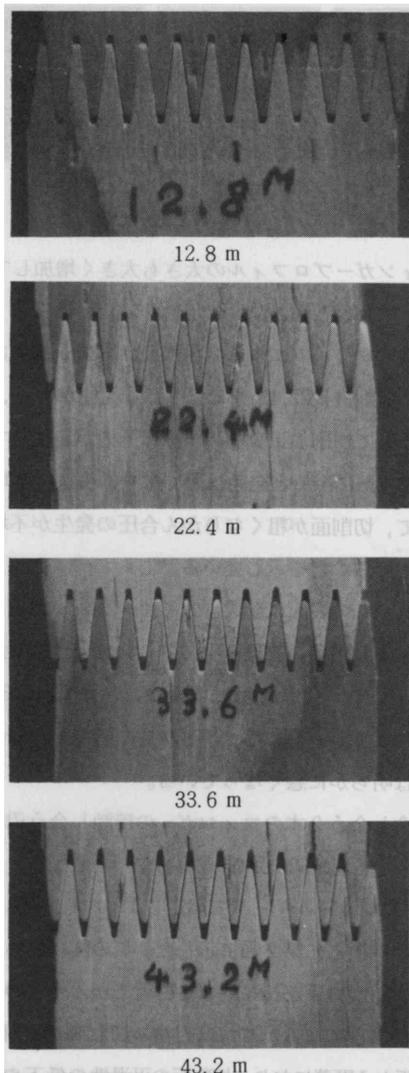
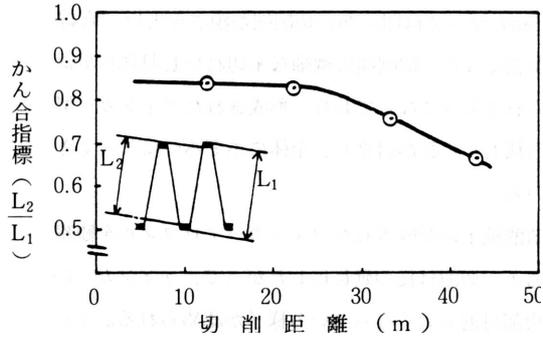


写真7 静圧 60kgによるかん合



第2図 切削材長とかん合性 (かん合圧; 60kg)

3.3 縦継ぎ材の強さ

カラマツLVLミニフィンガー縦継ぎ材の曲げ試験の結果は第2表のごとくであった。これらの結果はL<sub>0</sub>(2<sup>7</sup>)の直交表に割り付け分散分析を行い第3表の結果を得た。

曲げヤング係数に関しては「辺・心材の別」が最も強く結果に影響を与え、「フィンガーカットの単板に対する切削方向」「フィンガープロファイルに対する曲げ荷重の方向」のいずれもが危険率5%で有意であった。

曲げ破壊係数に対して影響が強いのは「フィンガーカットの方向」と「荷重方向」で、「辺・心材の別」は危険率5%で有意となった。

比例限度力に関しては取り上げた要因の影響はあまり小さくなく、「フィンガーカット方向」のみ危険率5%で有意であった。

要因別の傾向を示すグラフは第3図の通りで、曲げ特性のいずれもが各要因に対して同様な傾向を示して

第2表 カラマツLVLフィンガージョイント材の曲げ試験

	(フィンガーカット)方向 フィンガープロファイルは板目側/積層面側に形成	(荷重方向) フィンガープロファイルのある/ない面から	心/辺材の別	曲げヤング係数 10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>	曲げ破壊係数 kg/cm <sup>2</sup>	比例限度力 kg/cm <sup>2</sup>
s TH	板目	ない	辺材	138	407	284
s TV	板目	ある	辺材	144	437	336
s RH	積層面	ない	辺材	141	491	362
s RV	積層面	ある	辺材	154	513	426
h TH	板目	ない	心材	123	441	305
h TV	板目	ある	心材	118	459	335
h RH	積層面	ない	心材	121	439	372
h RV	積層面	ある	心材	122	467	363

いた。つまり、カラマツLVLのフィンガージョイント縦継ぎ材はヤング係数、曲げ強さ、比例応力のいずれもが、辺材によるものの方が心材によるものよりも、フィンガーカットの方向については、板目面にプ

ロフィルの入る切り方よりも積層面に入る切りの方が力学的に優れており、荷重のかかる方向については、フィンガープロフィルのある側から負荷する方が、ない方から負荷する場合よりも力学的に有利であった。

フィンガージョイント部の破壊状況を写真8に示す。

破壊状況を観察すると次のような傾向が明瞭に認められる。

- i) 辺材単板で構成されたLVLはフィンガージョイント部以外の個所で、単板のバットジョイントで有効断面が低下している部分から破壊している。
- ii) フィンガープロフィルが積層面に現れるようにフィンガーカットしたものは、破壊に際してフィンガーが

千切れる傾向にあり、板目面に現れるようにカットしたものはフィンガーが抜けるように破壊する傾向がある。

フィンガープロフィルに対する荷重の方向については破壊形態について明瞭な区別は認められない。

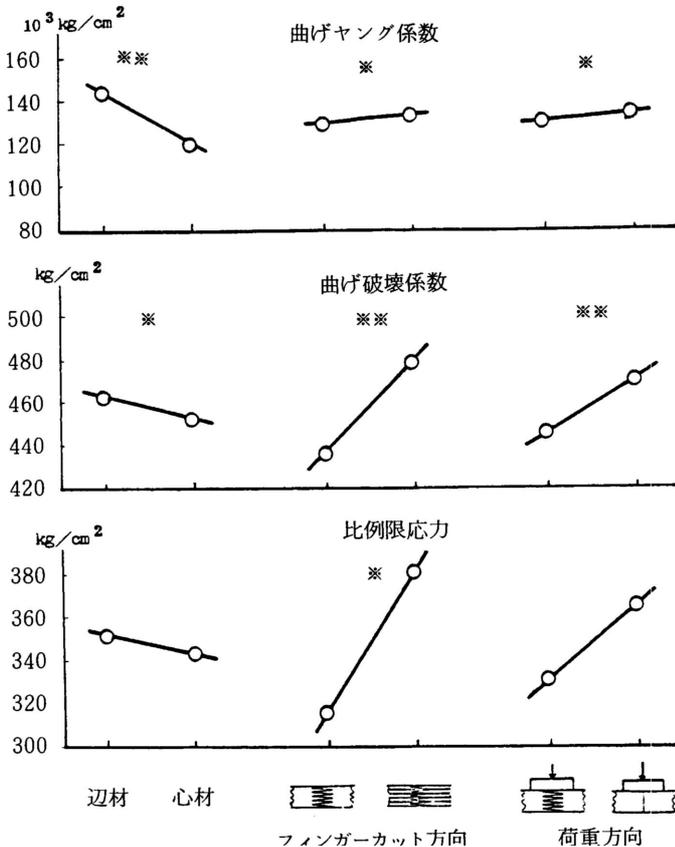
破壊形態から見ると心材LVLの方が辺材LVLよりも理想的なフィンガージョイントが形成されているにもかかわらず、強度的には辺材LVLの方が優れているが、これは中小径材によるLVLの場合、心材は樹心部に近く、ほとんどが未熟材であり、材質自体が強度的に劣る<sup>6),7),8)</sup>ためと考えられる<sup>2)</sup>。

また破壊形態から見ても強度的に見ても、フィンガーカットは積層単板に平行に行う方が良好な接着平面を与え、優れた強度性能を与えるということを示し

第3表 各要因の分散比 V / Ve

要 因	ヤング係数	破壊係数	比例応力	
辺・心材の別	A	10811 ※※	14.5 ※	0.38
フィンガーカット方向	B	281 ※	227.1 ※※	23.97 ※
荷重方向	C	281 ※	79.1 ※※	6.5
交互作用	A×B	151	195.4 ※※	—
〃	A×C	611 ※	—	3.12
〃	B×C	211 ※	—	—

危険率5%で有意  
危険率1%で有意



第3図 カラマツLVLフィンガージョイント材の曲げ物性に対する各要因の効果グラフ

{ ※ 危険率5%で有意 }  
{ ※※ 危険率1%で有意 }

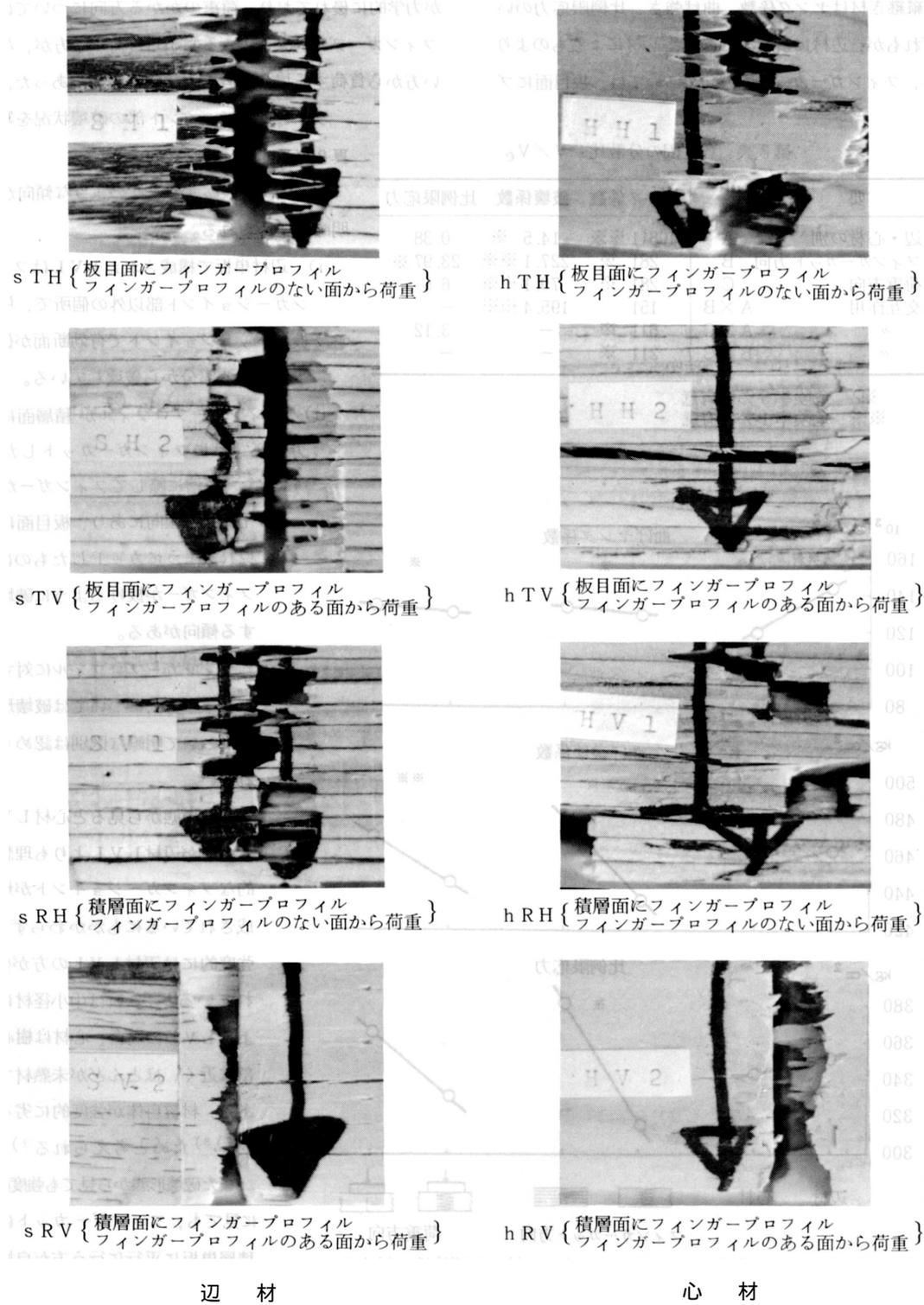


写真8 フィンガージョイント部の破壊状況

ている。

無接合対照試料との比較による接合効率は求めなかったが、今回の試験ではいずれの接合条件でも極めて優れた強度性能を与え、曲げヤング率に関しても、破壊強さに関しても、同種のカラマツLVLの非フィンガージョイント試料について森泉らが集積したデータ<sup>6),7)</sup>

<sup>8)</sup>の平均値と同等またはこれを上回っていた。

曲げ強さで非フィンガージョイント試料の平均値にわずかに及ばなかった(対平均値比;0.9)試料は(1)辺材単板で構成されたもので、(2)フィンガープロファイルを板目面に形成させて縦継ぎを行い、(3)積層グルーラインに平行に荷重を加えた場合であり、この条件でフィンガープロファイルを積層面に形成させたものはもっとも優れた曲げ性能を与えている。

#### 4.まとめ

LVLが工業用原材料となった場合、様々な加工処理が予想されるが、中でも近年急速に一般化してきたフィンガージョイント加工を除外することはできない。本小試験ではカラマツLVLを高速度銅製ソリッドカッター(1=10mm)によってフィンガー切削加工を行い、刃物の切れ味劣化経過を観察するとともに、フィンガージョイント縦継ぎ材の曲げ試験を行い、強度上有利な縦継ぎ法を求め、以下のような結論を得た。

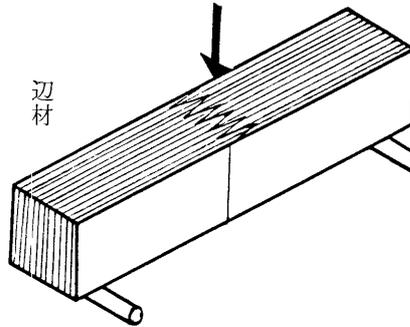
- 1) カラマツLVLをフィンガー切削する場合、高速度鋼製ソリッドカッターの寿命は積算切削材長25mが理想的で少なくとも33m以内で再研磨すべきである。ただしこの寿命は一般カラマツ乾燥材に比して同程度若しくは若干長い程であり、「LVLは刃物を傷め易い」とする俗説は高速度鋼カッターに関する限り正しくないことが分かった。
- 2) ミニフィンガージョイントによって縦継ぎされたカラマツLVLは極めて優れた強度特性を示し、縦継ぎなしのLVLに比して大幅に性能を劣化させることはない。試験条件の中で最も優れた縦継ぎ材の条件は
  - i) 辺材単板で構成されたLVLであること。

ii) フィンガーカットは積層グルーラインと平行に行うこと。

iii) 荷重方向に対してグルーラインを平行に配置すること。

iv) フィンガープロファイルのある側面から荷重を受けるように配置すること。

以上の条件を図に示すと第4図のようになる。



第4図 強度的にもっとも有利な条件

#### 文献

- 1) 有馬孝礼; 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 (1984)
- 2) 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)
- 3) 堀江秀夫, 倉田久敬; フィンガージョイント材の強度性能(第2報), 林産試月報, 356, 5 (1981)
- 4) 堀江秀夫, 倉田久敬; フィンガージョイント材の強度性能(第3報), 林産試月報, 363, 1 (1982)
- 5) 堀江秀夫, 倉田久敬; フィンガージョイント材の強度性能(第4報), 林産試月報, 381, 14 (1983)
- 6) 森泉周, 真田康弘, 前田典昭, 小倉高規; カラ

- マツLVLの強度性能(第1報), 林産試月報  
384, 1, (1984)
- 7) 森泉周, 真田康弘, 前田典昭, 小倉高規; カラ  
マツLVLの強度性能(第2報), 林産試月報,  
388, 1, (1984)
- 8) 森泉周, 北村維朗; カラマツLVLの強度性能  
(第3報), 林産試月報, 390, 8, (1984)
- 9) Eby, R. E., Proofloading of finger-  
joints for glulam timber, Forest Prod.  
J., 31, (1) 37, (1981)
- 10) Jung, J., Investingation of various  
end joints in parallel-laminated veneer,  
Forest Prod. J., 34, (5) 51, (1984)
- 11) 倉田久敬; フィンガージョイント加工装置, 日  
本木材学会北海道支部第11回研究会資料(1978)

- 試験部 複合材試験科 -  
- \*木材部 加工科 -  
(原稿受理 昭60.1.7)

林産試験場月報 1985年4月号(第399号)

(略号 林産試月報)

編集人 北海道立林産試験場編集委員会  
発行人 北海道立林産試験場  
郵便番号 070 旭川市緑町12丁目  
電話 0166-51-1171番(代)

昭和60年4月30日発行  
印刷所 東信印刷株式会社  
郵便番号 078-11 旭川市豊岡1条2丁目  
電話 0166-31-0810番(代)