

# 高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイント (3)

- エンドプレッシャー及び曲げ接合性能等に関する実用試験 -

倉田 久 敬 堀 江 秀 夫  
長 原 芳 男

高含水率針葉樹材（生材のタルキ）をミニフィンガー・ジョイントで縦接合する場合のエンドプレッシャー、及びエポキシ系接着剤を用いて工場規模で製作された縦接合材の曲げ接合性能と乾燥による変形についての検討を行った。この試験から次のように要約される結果を得た。

(1) 嵌合縦圧縮試験における荷重 - 変位曲線の形は含水率にかかわらず第4図のようになった。接着剤を塗布した場合の交点Cに対応するエンドプレッシャーの値 $c$ と含水率との関係を示した第5図から今回の実用試験のエンドプレッシャーを $60\text{kg}/\text{cm}^2$ と決定した。

(2) 接合材の曲げヤング係数に関する接合効率 $E/E_0$ は、樹種、接合時の含水率、接合後の含水率変化にかかわらずほぼ1.0であった。曲げ強度性能は実験室規模のものと同程度で、気乾状態の接合材は乾燥材を接合したものに匹敵するものであった。

(3) タルキ程度の小断面材では接合材の乾燥による変形は実用上差し支えない程度であった。

(4) 木構造設計規準の針葉樹類“ $\sigma_{Fb \times}$ ”値（第2表）と対比して、高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイントによる構造用縦接合の実用化が可能であることを確めた。

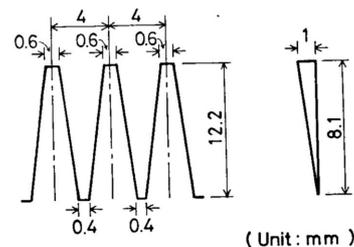
## 1. はじめに

先に高含水率針葉樹材をミニフィンガー・ジョイントで縦接合する場合のエンドプレッシャー及び実験室規模によって縦接合した試験材の曲げ強度性能について検討し、エポキシ系接着剤を用いることによって高含水率針葉樹材の構造用縦接合が可能であることを報告した<sup>1)2)</sup>。つづいて実用試験として、接着剤を塗布した状態での嵌合縦圧縮試験によるエンドプレッシャー、及び工場規模で製作された縦接合材の曲げ強度性能とその乾燥に伴う変形について検討したので報告する。なお本報告は第28回日本木材学会大会で発表したものである。

## 2. 材料及び方法

### 2.1 エンドプレッシャーの検討

供試材は含水率が20～150%のエゾマツ材で、フィンガーの切削条件及び試験方法は第1報<sup>1)</sup>と同じである。ただしミニフィンガー・カッターは現在広く使用されている兼房刃物KKのカッターを使用し、嵌合縦



第1図 フィンガーの形状・寸法

圧縮試験の際にフィンガー嵌合部へ塗布した接着剤はエポキシ系接着剤（スミタックEA255 - A）である。

第1図は、切削されたフィンガーの形状・寸法を示したものである。嵌合縦圧縮試験は予備的に約10kgの荷重を加えて嵌め合わせた試験材を、インストロン型強度試験機によって圧入速度2.5mm/minで圧入し、接着剤を塗布しない場合と塗布した場合の両方について圧入時の荷重 - 変位曲線を記録した。

### 2.2 接合材の曲げ強度試験

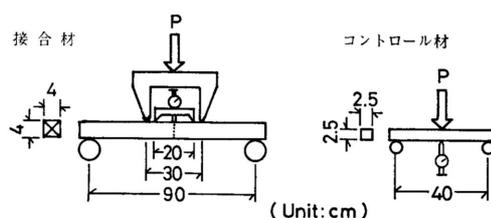
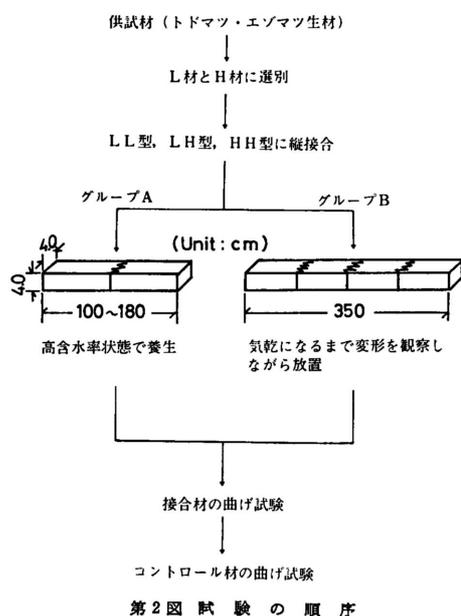
供試材は断面寸法4.5×4.5cm、長さ50～90cmのトドマツ・エゾマツ生材である。年輪幅の平均はトドマ

ツ2.5 (1.1~3.7) mm, エゾマツ1.8 (0.4~5.5) mmで, 含水率はトドマツ20~134%, エゾマツ25~184%の範囲であった。フィンガーの形状・寸法, 切削条件及び使用接着剤は2.1項エンドプレッシャーの検討の場合と同じで, エンドプレッシャーは2.1項の検討結果によって60kg/cm<sup>2</sup>とした。

第2図は, 試験順序を示したものである。あらかじめ供試材の含水率を測定し, 低い含水率の材(L材, 20~40%)と高い含水率の材(H材, 70%以上)とを選び出した。それらをフィンガー切削の後, L材どうしを接合(LL型), L材とH材を交互に接合(LH型), H材どうしを接合(HH型)の3型式に分けて縦接合を工場生産ラインで行った。また, 接合後, 湿潤状態のまま曲げ試験を行う接合材(グループA)と気乾まで乾燥させた後曲げ試験を行う接合材(グループB)とに分けて縦接合を行った。グループAは接合箇所1, 長さ100~180cmとし, グループBは接合箇所3~4, 長さ350cmの定尺とした。

縦接合は, 西独ウイリー・ホフマン社製フィンガー・ジョインターを使用して無作為に行い, 接着剤の塗布はブラシで十分に行った。

なお, トドマツ材には含水率の高い材が少なかった



第3図 曲げ試験の方法

ためH材がわずかししか取れず, そのためトドマツ材のグループBはLL型の接合材しか得られなかった。

製作した接合材は, ビニールシートを被せて含水率の変化がないように約10日間養生した後, 断面寸法4.0×4.0cmに鉋削仕上げをした。その後直ちにグループAは曲げ試験を行った。グループBは乾燥に伴う変形を測定しながら重量変化がなくなる気乾状態まで工場内に放置し, その後中央部から切断して長さ175cmとして曲げ試験を行った。

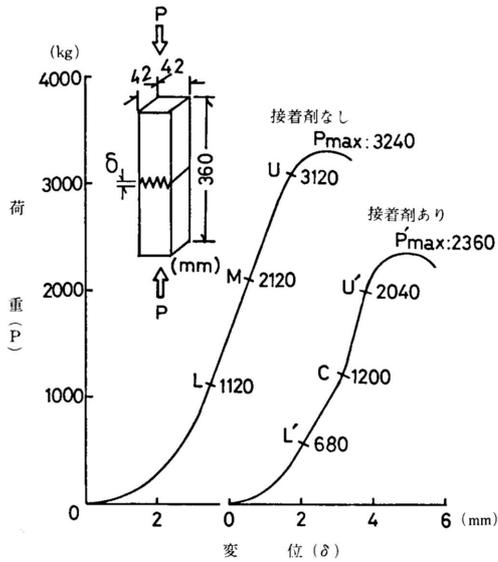
曲げ試験後, 接合部の左右それぞれの材の非破壊部分からコントロール材と含水率試験片を採取し, コントロール材の曲げ試験と含水率の測定を行った。コントロール材の断面寸法は2.5×2.5cm, 長さは50cmで, これにより年輪幅を測定した。

第3図は, 接合材及びコントロール材の曲げ試験方法を示したものである。接合材は中央部の荷重面にフィンガー形状が現れる垂直型とし3等分点荷重で行い, コントロール材は中央集中荷重で行った。曲げ撓みの測定にはそれぞれ, 1/1000mm及び1/100mm読みのダイヤルゲージを用いた。

### 2.3 接合材の乾燥による変形

乾燥に伴う変形の測定は, グループBについて曲り, 剥れ, 割れの3点を, 養生後から気乾状態になるまで, 約1週間おきに測定した。

曲り及び剥れの測定は, 製材の日本農林規格<sup>4)</sup>に従って行った。剥れの測定は, 測定区間長330cmに対する剥れ角を角度計で測り, その値を平板上での材端の一隅の持ち上り長さに換算して, 測定区間長に対するパーセンテージで表した。

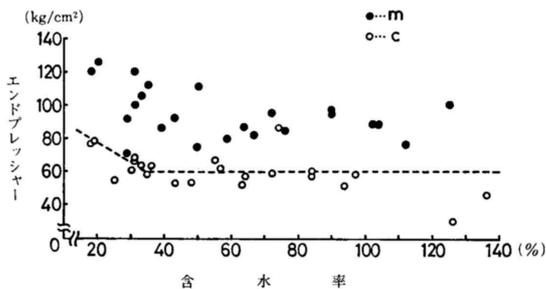


第4図 嵌合縦圧縮試験による荷重・変位曲線の一例

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 エンドプレッシャーの検討

第4図は、含水率30%の試験材の嵌合縦圧縮試験から得られた荷重 - 変位曲線の一例である。接着剤なしの場合には1つの直線領域が、接着剤ありの場合には2つの直線領域が現われている。接着剤なしでは1つの直線領域の上限値U、下限値L、中間値M、及び最大荷重値Pmaxを、接着剤ありでは2つの直線領域の上限値U、下限値L、交点値C、及び最大荷重値Pmaxを荷重 - 変位曲線から読み取った。これらの値を比べると、接着剤ありの場合には、接着剤なしの場合の2/3前後の荷重で直線域及び最大荷重に達してい



第5図 試験材含水率とエンドプレッシャー (m及びc)

注) m: 接着剤なしでの1つの直線域の中間値Mに対応するエンドプレッシャー  
 c: 接着剤ありでの2つの直線域の交点値Cに " "

る。また、MとU 及びLとCの値は近似したものとなっている。このような傾向は、すべての含水率の試験材にみられた。

この原因は、嵌合縦圧縮試験の際に接着剤が油滑剤の働きをして、接着剤がない状態よりも小さい荷重で接合部が密着し、フィンガーがくさびのように働いたために早く破壊が起ったものと思われる。しかし、接着剤を塗布した状態での接合部の観察は困難なため、このような考えは推測の域を出ないものであり、今後の詳しい検討を待たねばならないであろう。

M及びCの値に対応するエンドプレッシャーの値をm及びcとして、これらの値を含水率別に示したのが第5図である。図中の点線は、含水率40%前後を境としてCの値が直線的に分布していると仮定して引いた直線である。この直線から、今回の実用試験でのエンドプレッシャーを60kg/cm<sup>2</sup>と決定した。

#### 3.2 接合材の曲げ試験結果

第1表は、接合材の曲げ試験結果である。ここでコントロール材の値は、LL型とHH型では1つの接合材から採取された2つのコントロール材の平均値で、LH型では2つのコントロール材の値をそのまま併記したものである。

曲げヤング係数に関する接合効率E/E<sub>0</sub>は、全体をとおして0.89~1.21の間にあり、平均は1.04となっている。これから、トドマツ・エゾマツとも接合時の含水率や接合後の含水率変化にかかわらず、ミニフィンガー・ジョイントによる曲げヤング係数の低下の恐れはないといえる。

曲げ比例限度力度 bp及びその効率 bp/ bpoは、グループAでは、トドマツ・エゾマツとも156~181kg/cm<sup>2</sup>かつ0.68~0.86の範囲で、基礎試験<sup>2)</sup>の値よりも若干低くなっている。グループBではLL型が特に大きな値を示し、ついでHH型・LH型の順になっている。bp/ bpoの平均は0.92 (0.77~1.07) と問題はない。

曲げ強さ blは、グループAでは、トドマツ・エゾマツともLL型、LH型、HH型の順で低下しているが3型式とも300kg/cm<sup>2</sup>前後となって

第1表 曲げ試験結果

樹種	グループ	接合型式	接合材			コントロール材			接合効率		
			E	$\sigma_{bp}$	$\sigma_b$	$E_o$	$\sigma_{bpo}$	$\sigma_{bo}$	$E/E_o$	$\sigma_{bp}/\sigma_{bpo}$	$\sigma_b/\sigma_{bo}$
トドマツ	A	LL型	87	174	326	92	256	470	0.94	0.68	0.70
		LH型	100	168	307	{ 96	243	455	1.05	0.70	0.68
		HH型	93	156	277	{ 89	202	418	1.13	0.85	0.76
	B	LL型	104	336	575	108	374	662	1.07	0.72	0.67
エゾマツ	A	LL型	94	181	295	86	242	423	1.10	0.75	0.70
		LH型	89	160	270	{ 83	204	397	1.21	0.80	0.68
		HH型	94	177	258	{ 84	215	408	1.07	0.77	0.68
	B	LL型	129	432	726	124	407	744	1.04	0.86	0.66
		LH型	106	267	548	{ 122	360	713	1.03	1.07	0.97
		HH型	100	308	572	{ 105	308	566	0.89	0.77	0.78
						105	333	606	1.01	0.89	0.98
						105	333	606	0.95	0.93	0.95

注) E, E<sub>o</sub> : 接合材及びコントロール材の曲げヤング係数 (ton/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{bp}$ ,  $\sigma_{bpo}$  : " " 曲げ比例限度 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_b$ ,  $\sigma_{bo}$  : " " 曲げ強さ (kg/cm<sup>2</sup>)  
 グループA : 湿潤状態, グループB : 気乾状態

いる。これは、接着剤の硬化が含水率の高い材ほど遅く、約10日間の養生期間では接着剤の硬化が終了していなかったことが原因と思われる。接合効率  $\sigma_b/\sigma_{bo}$  は、0.66~0.76の範囲でLL型、LH型、HH型の順に低下し、 $\sigma_b$ と同様の傾向を示している。グループBの  $\sigma_b$ は、 $\sigma_{bp}$ と同じくLL型が特に大きく、ついでHH型、LH型の順で低下しているが、トドマツでグループAの1.7倍以上、エゾマツで2倍以上になっている。グループBの  $\sigma_b/\sigma_{bo}$ は、平均0.92 (0.78~0.98) と非常に高い値を示している。

3.3 接合性能の評価

第2報<sup>2)</sup>と同じ方法で接合材の接合性能の評価を試みた。第2表は曲げ強さの95%下側信頼限界値“ $\sigma'_b$ ”とトドマツ・エゾマツの属する針葉樹類の“ $\sigma_{Fb} \times \alpha$ ”の値<sup>3)</sup>を示したものである。ここで、 $\sigma_{Fb}$ は曲げ強さの基準値、 $\alpha$ は欠点低減係数である。湿潤状態(グループA)の“ $\sigma'_b$ ”は、接合型式にかか

第2表 曲げ強さの95%下側信頼限界値“ $\sigma'_b$ ”と針葉樹II類の“ $\sigma_{Fb} \times \alpha$ ”

	樹種及び品等	湿 潤			気 乾			
		接合型式	LL型	LH型	HH型	LL型	LH型	HH型
$\sigma'_b$	トドマツ		238	233	226	468		
	エゾマツ		238	233	211	553	433	456
$\sigma_{Fb} \times \alpha$	普通構造材		135.5			193.5		
	上級構造材		254.8			364.0		

注)  $\sigma'_b$ =(平均値)-1.645×(標準偏差), (単位: kg/cm<sup>2</sup>)

わらず普通構造材135.5kg/cm<sup>2</sup>の1.6倍以上である。気乾状態(グループB)の“ $\sigma'_b$ ”はその接合型式も上級構造材364.0kg/cm<sup>2</sup>の1.2倍以上で、また乾燥材の縦接合強度に匹敵する値である。

3.4 接合材の乾燥による変形とその評価

第3表は、曲り、捩れ、割れの3点について製材の日本農林規格<sup>4)</sup>に準じた等級区分の基準を示したものである。第6図は、養生直後の湿潤状態の接合

第3表 接合材の等級区分の基準

	特 等	1 等	2 等
曲り及び捩れ	0.2%以下	0.3%以下	0.5%以下
割れ	5%以下	10%以下	20%以下

材と、放置して気乾状態になった接合材の曲り、捩れ、割れについての測定結果を図示し、第3表により等級区分したものである。

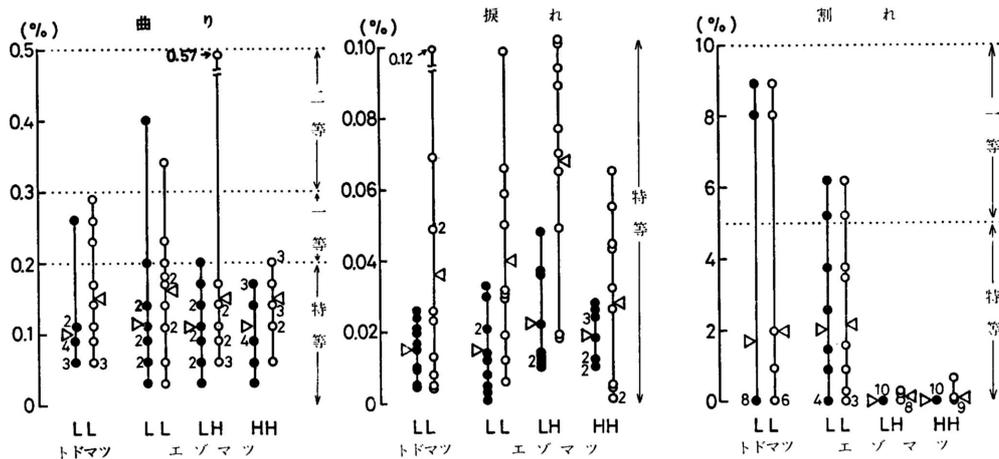
乾燥による曲りの増加は、エゾマツLH型の1体を除いてほとんどみられず、その1体以外はすべて2等以上で平均はすべて特等である。

捩れはどの場合もすべて0.2%以下の特等である。割れの乾燥による増加及び発生はほとんどみられず、すべて1等以上で平均はすべて特等である。

このように、接合材の乾燥による変形は実用上問題のない程度であった。

4. おわりに

エポキシ系接着剤を用いて工場規模での実用試験を行った。接着剤を塗布した嵌合縦圧縮試験の検討結果から、エンドプレッシャーを60kg/cm<sup>2</sup>としてトドマツ・エゾマツ生材を工場生産ラインで縦接合し



第6図 接合材の変形の測定結果と等級区分

○湿潤状態での変形量 ●気乾状態での変形量 ○●の傍の数字は試験体数を示す ▷平均値を示す

た。生産された接合材の静的曲げ強度は、実験室規模のものと同程度の値を示し、気乾まで乾燥した接合材は乾燥材を縦接合したものに匹敵し得るものであった。

また、4.5×4.5cm程度の小断面材では、接合材の乾燥に伴う曲り、握れ、割れ等の変形は実用上差し支えない程度で、接合部を傷めることはなかった。

本試験から、生材を用いた縦接合材は造作用材のみならず、使用場所や条件を限定すれば、構造用材としての利用も考えられる。エポキシ系接着剤を使用したときの作業性や経済性等の問題が残ってはいるが、高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイントによる構造用縦接合の実用化が可能である、という結論を得た。

## 文献

- 1) 倉田ら：本誌，7月（1977）
- 2) 倉田ら：本誌，8月（1977）
- 3) “木構造設計規準・同解説1973改”，日本建築学会編，丸善 P23，P119～121（1973）
- 4) “製材の日本農林規格の解説”，北海道林産物検査会， P5～6，P72～74（1972）

- 試験部 複合材試験科 -  
(原稿受理 昭和53.5.27)