

# 高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイント(2)

## - 曲げ接合性能に関する基礎試験 -

倉田久敬 長原芳男

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した場合の曲げ接合性能について検討した。切削されたフィンガーの形状・寸法や切削条件は第1報と同じである。試験材は含水率30~120%のエゾマツ材で、接着剤にはエポキシ系接着剤とイソシアネート系接着剤を用いた。接合した試験材は2組に分けて、一方は接合時の湿潤状態に変化がないようにして約10日間経過してから、他方は20℃、65%RHの恒温恒湿室で気乾状態になるまで放置してから、第2図に示す条件で曲げ試験を行った。ジョイント材の試験後に含水率が変化しないようにし、コントロール材を採取して曲げ試験を行った。得られた数値を検討し、次のように要約される結果を得た。

(1) 曲げヤング係数に関する接合効率  $E/E_0$  は接着剤、接合時含水率、接合後の含水率変化にかかわらずほぼ1.0に近い値であった。

(2) エポキシ系接着剤では、接合時の湿潤状態よりもその後の気乾状態の方が、接合性能は良好であった。

(3) エポキシ系接着剤はイソシアネート系接着剤よりも優れた接合性能を示した。

(4) 木構造設計基準の針葉樹類の $\sigma_{F_0 \times}$ 値(第4表)、カナダ構造用製材規格による2"×4"材の曲げ強度比(第5表)と対比して、エポキシ系接着剤は高含水率針葉樹材の構造用縦接合に用い得るという可能性を見出した。

### 1. はじめに

第1報<sup>10)</sup>で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について検討し、適正值として100kg/cm<sup>2</sup>を採用する事に決定した。第2報である本報告は、現在市販されている接着剤のうちから高含水率材の接着に適用可能と思われる2種類を選び、これを用いた場合に期待できるジョイント材の曲げ強度性能について検討したものである。

本試験の実施にあたって接着剤に関して種々の助言をいただいた住友ベークライト株式会社中央研究所の高島清峰氏に感謝の意を表す。なお、本報告の要旨は第27回日本木材学会大会で発表した。

### 2. 材料及び方法

供試材はエゾマツ材で、年輪幅及び気乾比重の平均

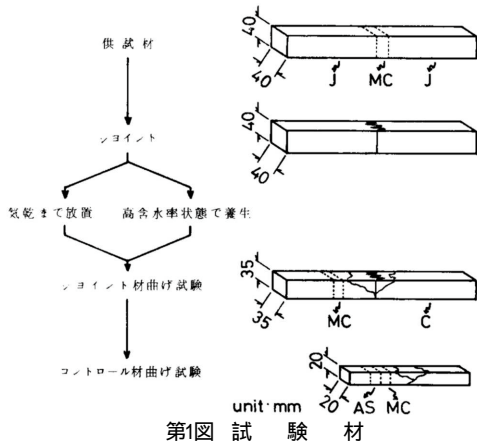
は1.8(0.7~3.3)mm及び0.43(0.36~0.51)であった。フィンガーの形状・寸法や切削条件は第1報と同じである。

接着剤はエポキシ系接着剤(スミタックEA-255-D)とイソシアネート系接着剤(スミタックEA-601)の2種類を取り上げた。

試験の進行に伴う供試材の流れを第1図に示したが、接着剤2種類と曲げ試験時の試験材の含水率状態2種類を組合せて4グループに供試材を分けた。

試験材の接合時、ジョイント材の曲げ試験直後、コントロール材の曲げ試験直後にそれぞれ試験片を採取して含水率を測定した。また、曲げ試験終了後のコントロール材から試験片を採取して平均年輪幅と気乾比重を測定した。

含水率範囲30~120%、断面寸法をあらかじめ4×4cmに鉋削した長さ約70cmの供試材を、材長中央部から切断してフィンガー・ジョイントで接合した。接合



第1図 試験材

注) J: ジョイント材, C: コントロール材  
MC: 含水率測定試験片, AS: 年輪幅, 気乾比重測定試験片

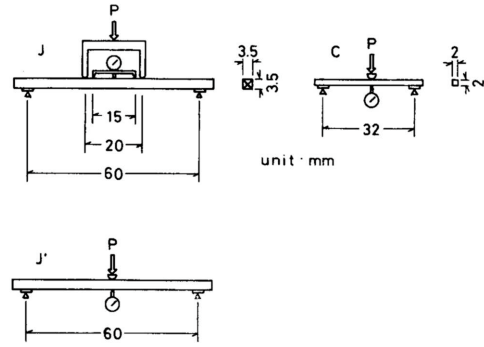
部への接着剤の塗布はブラシによって行った。

ジョイント材は接合時の含水率ごとに2分し、一方は接合時含水率のままの湿潤状態で曲げ試験を行い、他方は20℃, 65%RHの恒温恒湿室で115日間、材料の重量変化がなくなるまで放置した後の気乾状態で曲げ試験を行った。曲げ試験を実行する前にジョイント材の断面寸法を3.5×3.5cmに鉋削仕上げした。

ジョイント材の曲げ試験後、非破壊部分からコントロール材を採取し、無接合状態の曲げ強度性能を測定した。コントロール材の断面寸法は2.0×2.0cmである。

湿潤状態での曲げ試験は、接合後約10日の養生期間を経過してから行った。このグループの試験片はフィンガー切削からコントロール材の曲げ試験にいたるまでの期間、含水率が変化しないようにビニールでくるんで保管するようにした。

ジョイント材及びコントロール材の曲げ試験は第2図のような条件で、荷重面にフィンガー形状があらわれる垂直型で行った。ジョイント材はいずれのグループも3等分点荷



第2図 曲げ試験方法

注) J: 接合材の曲げ試験。但し接着剤 - エポキシ, 試験時含水率 - 湿潤状態のみ J'  
C: コントロール材の曲げ試験

重によって試験する予定であった。しかし、エポキシ系接着剤を用いた気乾状態での曲げ試験では、接合強度が高いために破壊が接合部以外にもおよび、コントロール材の採取が困難となることが予想されたので、このグループのみ中央集中荷重で試験を行った。コントロール材はいずれも中央集中荷重で試験した。曲げ

第1表 曲げ試験の結果  
試験日時含水率状態: 湿潤

接着剤	含水率 (%)	ジョイント材			コントロール材			接合効率			試片数
		E	$\sigma_{bp}$	$\sigma_b$	$E_0$	$\sigma_{bpo}$	$\sigma_{bo}$	$E/E_0$	$\sigma_{bp}/\sigma_{bpo}$	$\sigma_b/\sigma_{bo}$	
E	~34	93	190	281	87	186	373	1.05	1.01	0.76	5
	35~54	66	133	240	67	141	306	0.98	0.96	0.79	6
	55~74	87	161	246	85	194	386	1.03	0.83	0.64	5
	75~94	62	137	220	67	168	343	0.90	0.83	0.64	4
	95~	88	137	244	88	181	356	1.00	0.76	0.69	6
I	~34	72	137	186	75	184	353	0.95	0.77	0.54	4
	35~54	75	112	174	75	169	335	0.97	0.74	0.54	7
	55~74	70	125	171	74	168	347	0.95	0.75	0.50	6
	75~94	80	118	174	75	151	322	1.06	0.79	0.55	3
	95~	87	124	176	86	172	358	1.01	0.72	0.50	5
E	~34	116	364	620	113	425	802	1.03	0.85	0.77	4
	35~54	103	422	598	108	424	767	0.96	1.00	0.76	5
	55~74	102	376	587	109	362	735	0.93	1.00	0.80	7
	75~94	114	404	618	122	430	792	0.94	0.95	0.78	5
	95~	108	401	620	113	428	747	0.95	0.92	0.84	5
I	~34	123	237	339	118	420	759	1.05	0.59	0.45	6
	35~54	110	228	342	103	401	728	1.05	0.57	0.49	6
	55~74	109	239	373	101	366	669	1.08	0.66	0.56	5
	75~94	124	250	396	110	381	690	1.13	0.66	0.58	5
	95~	113	211	372	104	366	681	1.08	0.58	0.56	5

注) 接着剤 E: エポキシ系接着剤, I: イソシアネート系接着剤  
E, E<sub>0</sub>: ジョイント材及コントロール材の曲げヤング係数 (t/cm<sup>2</sup>)  
b<sub>p</sub>, b<sub>po</sub>: " " 曲げ比例限度力度 (kg/cm<sup>2</sup>)  
b, b<sub>0</sub>: " " 曲げ強さ (kg/cm<sup>2</sup>)

撓みの測定には、3等分点荷重の試験では1/1000mm読みのダイヤルゲージを、中央集中荷重の試験では1/100mm読みのダイヤルゲージを用いた。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 曲げ試験の結果

湿潤状態及び気乾状態での曲げ試験の結果を第1表に示した。

ジョイント材及びコントロール材の曲げヤング係数の比 $E/E_0$ は、接着剤、接合時含水率、試験時含水率状態別の各グループをとおとして0.93~1.13の間にあり、ほとんど違いはない。全体を平均すると1.00となり、接着剤の種類、接合時の含水率、接合後の含水率変化にかかわらず、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。

ジョイント材の曲げ比例応力 $\sigma_b$ を接着剤のちがいにしてみると、試験時含水率状態にかかわらずエポキシ系接着剤がイソシアネート系接着剤よりも明らかに優れている。また、両接着剤共に湿潤状態よりも気乾状態での $\sigma_b$ の方が大きい値を示している。接合時の含水率による違いは、あまりさだかではない。しかし、エポキシ系接着剤の湿潤状態における $\sigma_b$ だけは、接合時の含水率が増加すると低下する傾向にある。接合時含水率が高くなると接着剤の硬化に10日以上時間を要するのではないかとわれ、もしそうだとすると接合時に含水率の高かった試験材は曲げ試験時までに接着剤の硬化が完了していなかったことに原因があると予想される。このことは接合後100日以上養生期間を経過したことによる気乾状態での $\sigma_b$ が高くなっていること、特に接合時含水率が高かった試験材が低かったものと同程度まで大きく上昇していることによっても裏づけられる。気乾状態でのジョイント材の $\sigma_b$ はコントロール材の値 $\sigma_{b0}$ の約95%に達しているため、この段階ではエポキシ系接着剤の硬化は完了していると思われる。

曲げ比例応力に関する接合効率 $\sigma_b/\sigma_{b0}$ は、接着剤の種類によって異なった傾向を示している。エポキシ系接着剤については、湿潤状態では $\sigma_b$ の傾向

を反映して接合時含水率が増加すると効率は低下しているが、気乾状態では115日の養生期間を経過しているため接合時含水率の高い試験材も十分な効率を示している。その値は湿潤状態では0.76~1.01であり、接合時含水率の高いところで従来の報告<sup>1),3),7)</sup>よりも若干低いが実用には耐えらると思える。気乾状態では0.85~1.00の範囲にあり、平均0.95であるのでなら問題は無い。

一方、イソシアネート系接着剤にあっては、接合時含水率による効率の違いはほとんど認められない。曲げ試験時の含水率状態による効率の違いは、エポキシ系接着剤とちがって湿潤状態よりも気乾状態の方が低くなっている。これは接合後早期に接着剤が持っている本来の接着力に達し、その値そのものが低く、コントロール材の $\sigma_b$ が含水率の低下に伴って上昇したためと思われる。効率の値も湿潤状態で平均0.75と低く、気乾状態にいたっては平均0.60で従来の報告<sup>1),3),7)</sup>等と比較して判断すると、構造用の縦接合としては実用性がないだろう。

ジョイント材の曲げ強さ $\sigma_b$ に関しては、 $\sigma_b$ と同様にエポキシ系接着剤がイソシアネート系接着剤よりも優れている。接合後に試験材の含水率が低下することによって $\sigma_b$ が高くなることは $\sigma_b$ の場合と同様であり、エポキシ系接着剤で約2.5倍、イソシアネート系接着剤で約2.0倍になっている。接合時含水率による $\sigma_b$ の違いは、 $\sigma_b$ と同様にエポキシ系接着剤の湿潤状態で認められるが、その程度はわずかである。

曲げ強さに関する接合効率 $\sigma_b/\sigma_{b0}$ も、エポキシ系接着剤がイソシアネート系接着剤よりも優れている。接合後の試験材含水率の減少に伴う効率の変化は、比例応力度の場合ほど特徴的でなく、両接着剤とも接合時含水率が高かった試験材において若干上昇する傾向がみられるものの、全体としてはあまり変化が認められない。

接合時の含水率による効率の違いは、エポキシ系接着剤の湿潤状態での試験で、接合時含水率が増加すると効率が若干低下する傾向がみられるが、実用的には無視してもよいと思われる。接着剤別の曲げ強さの効

率は、エポキシ系接着剤で0.75，イソシアネート系接着剤で0.53である。エポキシ系接着剤での効率は従来の報告<sup>1), 2), 3), 6), 7), 8)</sup>に比較してそれほど低い値でなく，十分に実用的だと考えられる。

ジョイント材の破壊形態を観察したが，次の5種類に分類した。

- 1型 折型
- 2型 引張り側接合部引抜を伴った折型
- 3型 引張り破壊型
- 4型 目切・せん断型
- 5型 接合部引抜型

写真1～5は各型の典型的なものである。

破壊形態の出現頻度を第2表に示した。湿潤状態での試験ではすべて5型の接合部引抜型であったが，気乾状態では他の型も出現した。イソシアネート系接着剤では5型以外の破壊型を示した試験材でも，ほとんど

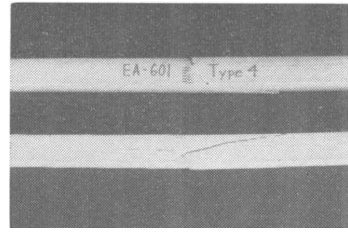


写真4 目切・せん断型

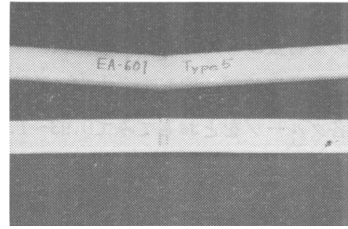


写真5 接合部引抜型

第2表 曲げ破壊状態の出現頻度  
試験時含水率状態：湿潤 (%)

接 着 剤	1型	2型	3型	4型	5型	そ の 他
E	0	8	0	0	92	0
I	0	0	0	0	100	0
試験時含水率状態：気乾						
E	19	15	43	15	0	8
I	0	15	26	11	48	0

注) E：エポキシ系接着剤， I：イソシアネート系接着剤

どのもので接合部の引抜けが併発していた。それに比べてエポキシ系接着剤では，接合部の引抜けを併発したのは2型のみで，その頻度も15%と比較的すくなかった。

### 3.2 エポキシ系接着剤による縦接合性能の評価

前項における検討によって，高含水率材の構造用縦接合にエポキシ系接着剤が使用できそうだという結果を得た。ここではエポキシ系接着剤について今回の曲げ試験で得られた結果を，木構造設計規準の403.1の解説<sup>4)</sup>に述べられている“ $\sigma_b \times$ ” ( $\sigma_b$ ：曲げ強さの基準値， $\times$ ：曲げの欠点低減係数)や，カナダの構造用製材規格<sup>9)</sup>に決められている“強度比”等にてらして，縦接合性能の評価を試みた。

今回の実験では接合時含水率別に曲げ試験を行ったが，曲げ強さ  $b$  とその接合効率  $b_b / b_0$  に対するこれらの影響は気乾状態の試験では認められず，湿潤状態の試験で若干みられた。しかし，その程度は比較的

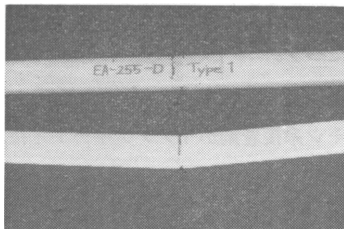


写真1 折型

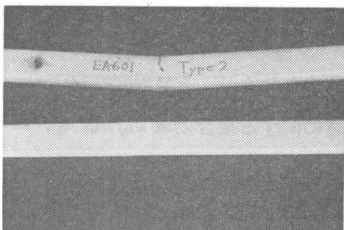


写真2 引張り側接合部引抜を伴った折型

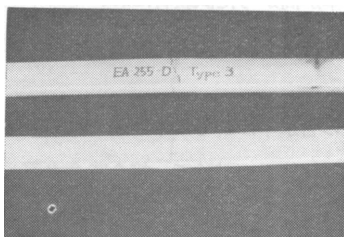


写真3 引張り破壊型

小さく、無視し得る程度であることは前項ですでに述べた。そこで接合時含水率をひとまとめにし、試験時含水率状態の湿潤状態、気乾状態別に  $\sigma_b$  及び  $\sigma_b/\sigma_{bo}$  の平均  $\bar{x}$ 、標準偏差  $s$  を求めた。結果を第3表に示した。また、これらから95%下側信頼限界  $\bar{x}-1.645s$  の値を計算して同時に示した。

ところで、“ $\sigma_b \times \alpha$ ” の値は、エゾマツの属する針葉樹Ⅱ類では第4表のようにになる。ここで湿潤状態の値は、気乾状態の値に木構造設計標準の403.4<sup>5)</sup>に規定されている“0.7”の低減率を乗じたものである。

第3表の  $\sigma_b$  の95%下側信頼限界値をこれと比較すると、湿潤状態の下限値194kg/cm<sup>2</sup>は普通構造材135.5kg/cm<sup>2</sup>の1.4倍、気乾状態の下限値511kg/cm<sup>2</sup>は上級構造材364kg/cm<sup>2</sup>の1.4倍、普通構造材193.5kg/cm<sup>2</sup>の2.6倍となっている。

また、カナダの構造用製材規格のうちの structural light framing 及び light framing の、各等級の“曲げ強度比” (2"×4"材の場合) を第5表に示した。第3表の  $\sigma_b/\sigma_{bo}$  の95%下側信頼限界値をこれと比較すると、湿潤状態の下限値0.56はほぼ No. 1 の強度比0.57に相当し、気乾状態の下限値0.68はselect structural の0.67に相当する。

以上の評価からエポキシ系接着剤を用いた高含水率材の構造用縦接合の可能性が見出されたといえるだろう。

第3表 曲げ強さ及効率の95%下側信頼限界値

		湿 潤	気 乾
$\sigma_b$	$\bar{x}$	247	606
	S	31.87	57.81
	$\bar{x}-1.645S$	194	511
$\sigma_b/\sigma_{bo}$	$\bar{x}$	0.71	0.79
	S	0.091	0.067
	$\bar{x}-1.645S$	0.56	0.68

第4表 針葉樹Ⅱ類の“ $\sigma_b \times \alpha$ ”

品 等	湿 潤	気 乾
普通構造材	135.5	193.5
上級構造材	254.8	364.0

第5表 2×4材の強度比

等 級	強度比	等 級	強度比
SEL Str	0.67	Const	0.34
1	0.57	Stand	0.19
2	0.47	Util	0.09
3	0.26		

#### 4. おわりに

現在、市販されている接着剤のうちからエポキシ系接着剤とイソシアネート系接着剤を選んで、高含水率材のミニフィンガー・ジョイントによる縦接合試験を行った。2種類の接着剤のうちエポキシ系接着剤について比較的良好な結果を得た。特に高含水率状態での縦接合後、試験材が徐々に乾燥してゆき、気乾状態に達したときの曲げ強度や接合効率は、乾燥材の縦接合に匹敵しうる値であった。

もちろん、この結果のみでただちに高含水率材の縦接合が可能であるとは結論づけられない。実用化のためには、たとえば

- 乾燥による材の収縮や変形(狂い)が接合部をいためないか
  - 実験室段階の効率が工場段階の作業でどの程度まで維持できるか
  - エポキシ系接着剤の作業性の悪さがどの程度まで克服できるか
  - 他に性能の良い接着剤を開発できないか
  - 高含水率材のフィンガー切削がうまくいくか
- 等の解決を要する問題点がある。

#### 文 献

- 1) 沢野信一・宮島寛：ミニフィンガー・ジョイントの接合効率 木材学会道支講 4, 10 (1972)
- 2) 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 28-8, 355 (1973)
- 3) 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率について、木材学会道支講 5, 8 (1973)
- 4) “木構造設計標準・同解説 1973改”, 日本建築学会編, 丸善, P.119-121 (1973)
- 5) 〃, 〃, 〃, 〃, P.23 〃
- 6) 生田晴家・長田貞明・宮島寛：4mmフィンガー・ジョイントの圧縮率と曲げ強度性能について、木材学会道支講 7, 20 (1975)
- 7) 宮島寛・生田晴家：13mmフィンガー・ジョイントの接合性能に関する研究, 北大演報 33-1, 167 (1976)
- 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 31-8, 343 (1976)
- 9) “STANDARD GRADING RULES for CANADIAN LUMBER”, National lumber grades authority, P.53 (1975)
- 10) 倉田久敬・長原芳男：高含水率針葉樹材のミニフィンガー・ジョイントによる縦接合(1), 本誌, 昭和52年6月号, (1977)

—試験部 複合材試験科—  
(原稿受理 昭52.6.6)