

フィンガージョイントによって縦つぎした丸棒加工材の曲げ強度性能

清 野 新 一

Bending Properties of Finger-Jointed Round-Shaped Timber

Shinichi SEINO

Tests were performed on the bending strength of finger-jointed round-shaped green timber in order to get technical information necessary for building a bearing wall of a log construction. The results are summarized as follows :

- (1) The bending strength of the timber bonded with an epoxy resin adhesive was 1.8 times as great as the allowable stress for a short loading duration of structural lumber under constant wet condition .
- (2) When bonded with an isocyanate adhesive , the timber failed to have sufficient adhesion for practical structural usage .

ログハウスの耐力壁を構成する丸棒加工材を生材のままフィンガージョイントによって縦つぎを行い、曲げ強度試験を行った。

結果は以下のように要約される。

- (1) エポキシ樹脂系接着剤によって縦つぎした丸棒加工材の曲げ破壊係数は、常時湿潤状態における製材の短期許容応力度の1.8倍の値であった。
- (2) イソシアネート系接着剤によるものでは実用上、十分な接着力が得られなかった。

1. はじめに

昭和61年の「丸太組構法の技術基準告示」¹⁾の制定により、ログハウスの建築がオープン化され、この告示の規定に適合したものであれば、従来のように個々の建築物ごとに建設大臣の認定を受ける必要がなくなり、リゾート地のロッジやセカンドハウスとして、また喫茶店、レストランなどの商店建築用としてログハウスが建てられることが多くなってきている。

この構法は丸太などの校木（あぜき）を横に組み上げて耐力壁を構成しているため、自重が大きく、大き

な開口部を設けにくいという特徴を有し、告示でも耐力壁に関する規定のなかで、次のような制約を設けている。

耐力壁は、高さ3.2m以下とし、かつ、幅は1m以上としなければならない（第4の四）

耐力壁線相互の距離は6m以下とし、かつ、耐力壁線により囲まれた部分の水平投影面積は30㎡以下としなければならない（第4の五）

これらの規定により建物の設計上、内部空間や開口部の大きさが制限されている。

しかし一方、ログハウスに対する社会的な関心が高まるにつれて、デザイン的にもより優れたものが求められるようになり、大規模で大きな空間をもち、かつ広い開口部を設けたログハウス建設への要求は大きくなってきているものと思われる。

これを可能にするための技術上の課題のひとつとして、開口部上部での継手の問題がある。ログハウスのような丸太組構法で大きな内部空間をつくり、広い開口部をとろうとした場合、開口部の上部あるいはその近くで継手を設けなければならなくなる場合が多い。その場合、継手部分で曲げ応力を負担しなければならぬこととなり、従来の金物などの継手による補強法では信頼性に欠ける。

丸太組構法の技術基準・解説でも壁面の丸太材などに継手を設ける場合は、開口部の上部など曲げ応力を受ける部分を避け、また風圧力を隣接する丸太材などが負担できる位置に、金物などで適切な補強を行うこととなっている。また、告示のなかでも次のように規定されている。

耐力壁線に設ける開口部の上部には、丸太材などにより構成される壁を構造耐力上有効に設けなければならない。ただし、これと同等以上の構造耐力上有効な補強を行った場合においては、この限りでない（第4の八）

壁組の一体性を保つために、開口部の上部を頭つなぎによって有効につないでおく必要から、通常は、耐力壁の丸太材を開口部の上部にかけ渡すこととし、この部分に継手を設けることは避け、やむを得ず継手を設ける場合は補強を行うなどの工夫を要するとされている。

このように曲げ応力を受ける開口部の上部は、原則として継手を設けることは認められておらず、構造耐力上有効な補強を行った場合に限り認められるというただし書きがつけられている。ただし、その補強法はいまのところ確立されていないのが現状である。

そこでフィンガージョイントによる丸太材の縦つぎ技術が確立できれば、今後需要が見込まれる長尺材による耐力壁の施工が容易となり、また資源の有効活用

が図れるものと思われる。そのため、ログハウス用縦つぎ部材の、製造基準の技術資料を得る目的から、フィンガージョイントによって縦つぎした円柱材の曲げ強度試験を行い、ジョイント材の接合効率を求めた。なお試験は、未乾燥丸太材によるログハウスの施工を想定し、未乾燥の円柱部材をフィンガージョイントによって縦つぎして、これについて行った。

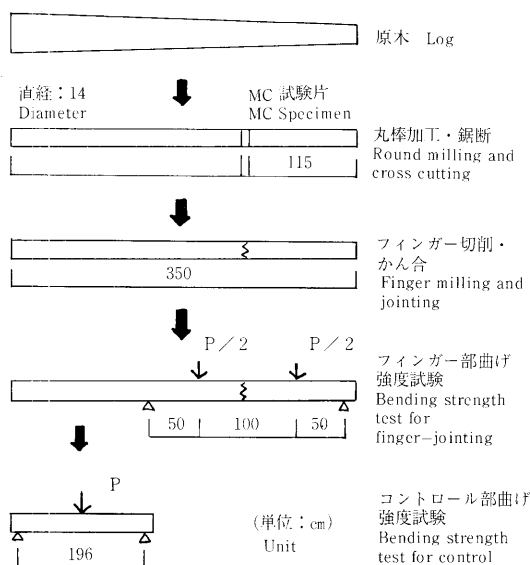
2. 試験方法

2.1 丸棒加工材の縦つぎ

丸棒加工材の縦つぎおよび曲げ強度試験についての試験の流れを第1図に示した。

試験には北海道当麻町産のトドマツ材（32～34年生）および旭川市江丹別産のカラマツ材（22年生）を用いた。両樹種ともそれぞれ30本ずつ計60本を、丸棒加工機によって直径14cm、長さ約3.6mに丸棒加工し、供試材とした。

試験に用いたフィンガーカッターは、ライツ社製のもので、切削されたフィンガーの形状は、フィンガー長さ20mm、スカーフ傾斜比1:9.9、ピッチ6.2mmであった。

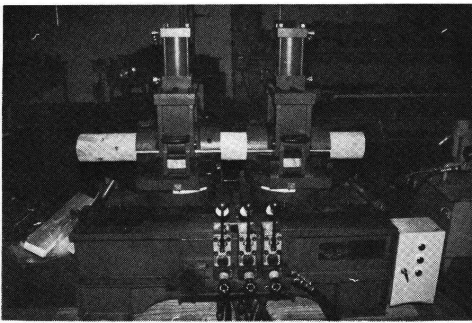


第1図 試験の流れ

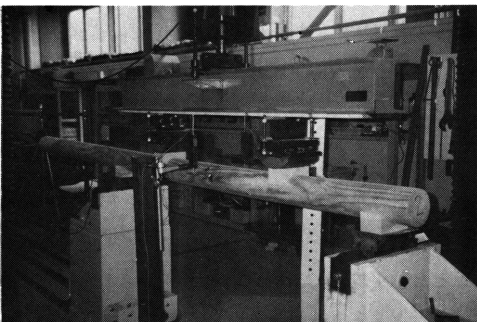
Fig.1. Flow-chart of preparation and testing

接着剤は高含水率の木材にも、接着が可能である2液性のエポキシ樹脂系接着剤（コニシボンD E200）およびイソシアネート基をベースとし、空気中の湿気や基材の水分によって硬化反応を起こす、1液性の水性高分子イソシアネート系接着剤（コニシボンD KU820）の2種類とした。

丸棒加工材は節など欠点の有無にかかわらず、端から115cmの位置で切断し、フィンガージョイント部含水率測定用の円板を採取したあと、フィンガー切削を行った。フィンガー切削は、丸棒加工材を固定するために作製した治具を切削装置の圧縮バーに取り付け、カッターの主軸回転数3600rpm、切削送り速度約2m/min.の切削条件で行った。フィンガー切削後、切削面が乾かないうちに接着剤をブラシで両面塗布して圧縮を行った（第2図）。接着剤は両樹種ともに、それぞれ30体中半数ずつエポキシ樹脂系接着剤、イソシアネート系接着剤を塗布した。



第2図 圧縮装置
Fig. 2. Equipment for press-fastening



第3図 フィンガージョイント部曲げ強度試験
Fig. 3. Bending strength test for finger-jointing

フィンガーのかん合度は、トドマツ材で約+0.2mm、カラマツ材で約+0.1mmとし、エンドプレッシャーは両樹種いずれも60kgf/cm²とした。縦つぎ後、約1週間の養生期間において曲げ強度試験を行った。

2.2 丸棒加工材の曲げ強度試験

フィンガージョイントされた丸棒加工材の曲げ強度試験は、はじめにスパン2mでジョイント部分がスパン中央にくるように試験体をセットし、2点荷重によりフィンガー部の試験を行い、次にノージョイント部分から長さ約215cmの丸棒加工材を横切りしてコントロール部試験体とし、スパン196cm、中央集中荷重によってコントロール部の試験を行った。

フィンガー部の曲げ強度試験には、東京衡機製油圧式強度試験機（容量20tonf）、コントロール部の試験には、島津製作所製強度試験機オートグラフDSS-10 T-S（容量10tonf）を用い、荷重25kgfごとにロードセルおよび電気式変位計で荷重、スパン中央部たわみを計測しながら破壊まで荷重を加えた（第3図）。

得られた荷重-たわみ曲線から、フィンガー部およびコントロール部についてそれぞれ曲げヤング係数 E , E_o , 比例限曲げ応力度 σ_{bp} , σ_{bpo} , 曲げ破壊係数 b , b_o , を求め、それぞれの強度値についてコントロール部の値に対するフィンガー部の値を接合効率とした。

また各試験体について破壊形態を記録し、含水率測定試験片を採取した。

3. 試験結果

トドマツ材、カラマツ材についての曲げ強度試験結果をそれぞれ第1表、第2表に、また曲げ試験結果の各強度値から求めた接合効率の結果を、それぞれの樹種について第3表、第4表に示した。

丸棒加工材ジョイント部分の含水率は、トドマツ材では縦つぎ接着時38～121%、平均64%、曲げ強度試験時29～104%、平均53%、カラマツ材では縦つぎ接着時31～50%、平均37%、曲げ強度試験時27～35%、平均31%であった。トドマツ材は水食いを含んだものが多かったために含水率が高く、ばらつきも大きくな

第1表 トドマツ材の曲げ強度試験結果

Table 1. Results of bending test for Todomatsu (*Abies sachalinensis*.)

接着剤 Adhesive	フィンガージョイント部 Finger-jointed				コントロール部 control			
	試験時 含水率 Moisture Content (%)	曲げヤング 係数 E Modulus of elasticity (10 ³ kgf/cm ²)	比例限曲げ 応力度 σ_{bp} (kgf/cm ²)	曲げ破壊係 数 σ_b (kgf/cm ²)	試験時 含水率 Moisture Content (%)	曲げヤング 係数 E _o Modulus of elasticity (10 ³ kgf/cm ²)	比例限曲げ 応力度 σ_{bpo} (kgf/cm ²)	曲げ破壊係 数 σ_{bo} (kgf/cm ²)
エポキシ樹脂 Epoxy resin	平均値 Avg. 51.8 最大値 Max. 80.3 最小値 Min. 33.1 標準偏差 SD 17.0	78.5 90.3 65.6 7.1	207 246 133 37	246 368 138 60	50.5 81.4 30.8 17.0	75.7 89.0 62.0 7.9	280 324 217 33	389 473 315 46
イソシアネート Isocyanate	平均値 Avg. 53.9 最大値 Max. 104.3 最小値 Min. 28.5 標準偏差 SD 21.5	80.3 92.1 69.2 6.7	204 246 145 26	260 346 180 44	50.3 95.3 27.9 20.4	78.8 90.0 65.7 5.9	286 327 230 28	396 480 316 43

試験体数 Number of specimen : 15

第2表 カラマツ材の曲げ強度試験結果

Table 2. Results of bending test for Karamatsu (*Larix leptolepis*.)

接着剤 Adhesive	フィンガージョイント部 Finger-jointed				コントロール部 control			
	試験時 含水率 Moisture Content (%)	曲げヤング 係数 E Modulus of elasticity (10 ³ kgf/cm ²)	比例限曲げ 応力度 σ_{bp} (kgf/cm ²)	曲げ破壊係 数 σ_t (kgf/cm ²)	試験時 含水率 Moisture Content (%)	曲げヤング 係数 E _o Modulus of elasticity (10 ³ kgf/cm ²)	比例限曲げ 応力度 σ_{bpo} (kgf/cm ²)	曲げ破壊係 数 σ_{bo} (kgf/cm ²)
エポキシ樹脂 Epoxy resin	平均値 Avg. 30.5 最大値 Max. 35.4 最小値 Min. 26.5 標準偏差 SD 2.4	77.8 100.7 62.5 9.6	178 248 114 32	263 369 158 66	31.0 38.0 26.5 3.0	72.8 87.2 61.5 7.1	318 378 209 50	468 587 319 85
イソシアネート Isocyanate	平均値 Avg. 30.5 最大値 Max. 34.9 最小値 Min. 27.8 標準偏差 SD 1.9	77.9 99.4 60.2 11.6	118 163 88 21	149 183 116 21	31.5 37.8 28.1 2.7	76.1 100.0 56.1 12.9	312 383 175 57	479 602 316 82

試験体数 Number of specimen : 15

ったものと思われる。また約一週間の養生期間によつてトドマツ材で10%、カラマツ材で5~6%程度の含水率低下がみられる。

曲げヤング係数についてみると、トドマツ材、カラマツ材の樹種の違い、接着剤の種類にかかわらず、接合効率E/E_oは平均値で1.0に近く、縦つぎしたことによる曲げ剛性の低下はみられない。

比例限曲げ応力度については、樹種によって異なった傾向がみられ、接合効率 σ_{bp}/σ_{bpo} の平均値は、トドマツ材ではエポキシ樹脂系接着剤によるものが0.74、イソシアネート系接着剤によるものが0.72となり接着剤による差はみられず、カラマツ材ではそれぞれの接着剤で0.57、0.38となり、イソシアネート系接

着剤によるものが低い値を示した。

曲げ破壊係数についても、比例限曲げ応力度と同様の傾向がみられ、接合効率 σ_b/σ_{bo} の平均値は、トドマツ材ではエポキシ樹脂系接着剤によるものが0.63、イソシアネート系接着剤によるものが0.66と接着剤による差はみられず、カラマツ材ではそれぞれ0.56、0.32となり、比例限曲げ応力度の場合と同様イソシアネート系接着剤によるものが低い値を示した。

またフィンガージョイント部の曲げ破壊係数についてみると、平均値でトドマツ材の場合エポキシ樹脂系接着剤によるものが246kgf/cm²、イソシアネート系接着剤によるものが260kgf/cm²、カラマツ材ではそれぞれ263kgf/cm²、149kgf/cm²となり、カラマツ材のイソシ

第3表 トドマツジョイント材の接合効率
Table 3. Jointing efficiency of finger-jointed Todomatsu (*Abies sachalinensis*) timber

接着剤 Adhesive	曲げヤング係数 Modulus of elasticity E/E ₀	比例限曲げ応力度 Proportional limit stress σ_{bp}/σ_{bpo}	曲げ破壊係数 Bending strength σ_b/σ_{bo}
エポキシ樹脂 Epoxy resin	平均値 Avg. 1.04 最大値 Max. 1.33 最小値 Min. 0.88 標準偏差 SD 0.10	0.74 0.94 0.47 0.11	0.63 0.86 0.34 0.14
イソシアネート Isocyanate	平均値 Avg. 1.02 最大値 Max. 1.17 最小値 Min. 0.92 標準偏差 SD 0.07	0.72 0.83 0.50 0.10	0.66 0.95 0.53 0.13

試験体数 Number of specimen : 15

第4表 カラマツジョイント材の接合効率
Table 4. Jointing efficiency of finger-jointed Karamatsu (*Larix leptolepis*) timber

接着剤 Adhesive	曲げヤング係数 Modulus of elasticity E/E ₀	比例限曲げ応力度 Proportional limit stress σ_{bp}/σ_{bpo}	曲げ破壊係数 Bending strength σ_b/σ_{bo}
エポキシ樹脂 Epoxy resin	平均値 Avg. 1.07 最大値 Max. 1.18 最小値 Min. 0.91 標準偏差 SD 0.08	0.57 0.78 0.31 0.11	0.56 1.10 0.37 0.18
イソシアネート Isocyanate	平均値 Avg. 1.03 最大値 Max. 1.16 最小値 Min. 0.86 標準偏差 SD 0.08	0.38 0.56 0.27 0.07	0.32 0.45 0.24 0.06

試験体数 Number of specimen : 15

アネート系接着剤によるもののみが明らかに低い値を示し、他は同程度の値となっている。これはイソシアネート系接着剤が、湿潤硬化型であることから両樹種の含水率の差が接着に影響を与えたものと考えられる。一方エポキシ樹脂系接着剤については、曲げ破壊係数がトドマツ材とカラマツ材で近い値となっていることから、含水率の影響を受けずに、この接着剤が持つ本来の接着力を示したものと思われる。また、トドマツ材のエポキシ樹脂系接着剤による曲げ破壊係数は、エゾマツ高含水率材について、断面4.5cm角の部材により行われた既往の報告²⁾と比較しても同等の値である。

ジョイント部の破壊形態については、ほとんどのものがフィンガーの引き抜けを伴ったジョイント部分の引張破壊であったが、荷重点間に存在した節から破壊したのもみられた。カラマツ材のイソシアネート系

接着剤によるものについては、15体すべてが単純なフィンガーの引き抜けによる破壊であった。

今回得られた曲げ破壊係数と木構造計算規準³⁾の許容応力度との関係では、上級構造材の短期許容応力度に常時湿潤状態におかれた場合の低減率0.7をかけた値(トドマツ材: 133kgf/cm², カラマツ材: 147kgf/cm²)と比較した場合、エポキシ樹脂系接着剤によるものは、両樹種とも全試験体がこれを上回り、平均値では両樹種ともに1.8倍の値である。イソシアネート系接着剤によるものは、トドマツ材では全試験体がこの倍を上回り、平均値で2.0倍であるのに対し、カラマツ材では15体中7体がこれを下回り、平均値で1.0倍である。

以上のことから、イソシアネート系接着剤については、丸棒加工材の縦つぎへの実用性は乏しいと思われるが、エポキシ樹脂系接着剤については実用の可能性があるものと考えられる。

4. おわりに

ログハウスの耐力壁を構成する丸太材の、フィンガージョイントによる縦つぎの可能性について検討するために、トドマツ材およびカラマツ材の未乾燥の丸棒加工材を、2種類の接着剤によってフィンガージョイントした試験体を作製し、曲げ強度試験を行った。結果を要約すると以下のとおりである。

(1) 曲げヤング係数の接合効率 E/E_0 は、樹種、接着剤の種類にかかわらず、ほぼ1.0を示し、縦つぎによる曲げ剛性の低下はみられない。

(2) 湿潤硬化型のイソシアネート系接着剤による縦つぎの場合、部材接合時の含水率が接着力に影響するものと考えられる。相対的に含水率の低かったカラマツ材では、曲げ破壊係数の平均は $149\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、接合効率 δ_b/δ_{b0} の平均は0.32で破壊形態はすべて単純なフィンガーの引き抜けであり、接着が完全とはいえない。

(3) エポキシ樹脂系接着剤によるものでは、曲げ破壊係数の平均は、トドマツ材、カラマツ材でそれぞれ

$246\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 $263\text{kgf}/\text{cm}^2$ でこの値は常時湿潤状態におかれた上級構造材の短期許容応力度の1.8倍である。また接合効率 δ_b/δ_{b0} の平均は、トドマツ材、カラマツ材それぞれ0.63、0.56であった。

ログハウス用部材のフィンガージョイントによる縦つぎ工法を実用化するには、今後乾燥に伴う材の収縮、ねじれが接着におよぼす影響、縦つぎ材で構成した耐力壁の強度性能の評価などについて検討する必要がある。

文 献

- 1) 丸太組構法技術基準・同解説，日本建築センター（1986）
- 2) 倉田久敬，長原芳男：林産試月報，307，8（1977）
- 3) 木構造計算規準・同解説，日本建築学会編，丸善（1988）

—技術部 加工科—

（原稿受理 平3. 12. 13）