フィンガージョイントによる集成材のモーメント抵抗接合に
関する実験研究EXPERIMENTS ON MOMENT RESISTING FINGER JOINT OF
GLUED LAMINATED TIMBER

坂田 弘安*, 岡田 久志**, 安部 裕***, 楠 寿博****, 伊東 洋路*****

Hiroyasu SAKATA, Hisayuki OKADA, Hiroshi ABE,
Toshihiro KUSUNOKI and Hiromichi ITO

If we joint two glued laminated timbers using finger joint as the fiber lines of these members being parallel, we have a lot of experimental data on mechanical property of these members with finger joints. But, the mechanical property is not yet clarified when the fiber lines of two members are not parallel. We conducted some experiments on moment resisting finger joint of glued laminated timber, and examined the mechanical property of the latter.

Keywords: glued laminated timber, finger joint, moment resisting joint, $M-\theta$ relationships, stiffness, strength, principal strain

集成材, フィンガージョイント, モーメント抵抗接合, $M-\theta$ 関係, 剛性, 耐力, 主ひずみ

1. 序論

木材の優れた性能をそのまま受け継ぎ, かつ欠点除去または分散された優れた長所を持つ木質構造部材として, 集成材が普及している。

集成材のモーメント抵抗接合としてドリフトピンや金物を用いたものに関して数多くの実験データが蓄積されその性能が明らかにされている¹⁾。この他に断面欠損が少なく金属を用いない接合方法としてフィンガージョイントがあり, 研究が進んで, 日本でもドームなどの大スパン架構に使われている。

以下にフィンガージョイントに関する研究について概観する。

大断面集成材のビッグフィンガージョイントでは, 継手部の施工精度が大切であること^{2), 7)}, フィンガーの形状が大きい方が施工誤差を吸収できること³⁾などが報告されている。また, 文献3)~7)においてフィンガージョイントの強度算定式が提案されている。このほか, 軸ボルトを併用した有孔集成材の縦継ぎ接合の有効性についても報告されている⁸⁾。フィンガージョイントのラミナ厚に着目した実験⁹⁾ではヤング係数の高いラミナは, ラミナ厚が薄くなるに従い高強度になり, 節からの破壊頻度が高くなることを示している。破壊形式別では, フィンガージョイントが引き抜かれる破壊が最も強く, 逆に節からの破壊が最も弱いこと,

ヤング係数の低いラミナは, フィンガージョイント部分からの破壊が多いことを述べている⁹⁾。

以上の研究は, 互いの集成材の繊維方向が平行にフィンガージョイントされている場合である。しかし接合する部材に角度がついた場合に, 互いの部材の繊維が平行ではなくなるため, この方法の有効性及びより合理的な接合方法などは明らかでない。本研究では, 集成材が互いに角度を持ってフィンガーによりモーメント抵抗接合されている場合の接合性能を明らかにすることを目的とする。

2. ラミナ引張試験

2.1 試験片

フィンガージョイントの基本的な力学的性質を調べるためにラミナの試験片を作成し, 引張試験を行った。試験片一覧を表1に示し, その形状を図1に示す。ラミナ材種として米松 (Douglas fir : D), 秋田杉 (Akita cedar : A), 合板 (Plywood : P) を用い, 繊維角度, フィンガー (Finger : F) の有無をパラメータとして9種55体を用意した。フィンガージョイント部は, レゾルシノールで約9kg/cm²で圧着した。

2.2 加力方法

図2に示すように1000kN万能試験機により引張载荷した。端

* 東京工業大学建築物理研究センター 助教授・工博

** 愛知工業大学工学部建築工学科 教授・工博

*** 竹中工務店ニューフロンティアエンジニアリング本部
課長代理・工修**** 竹中工務店技術研究所応用研究開発部 担当研究員・
工修

***** エヌシーエヌ技術部 技術部長

Assoc. Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

Vice Chief, Office of New Frontier Engineering, Takenaka Corporation, M. Eng.

Researcher, Research & Development Institute, Takenaka Corporation, M. Eng.

General Manager, Development Institute, NCN Corporation

表1 引張試験片一覧

試験体名	ラミナ	繊維角度	試験片数	フィンガー	σ_{max} の平均 (kg/cm ²)
D0	米松(一級)ラミナ	0	5	無	462
D0-F-D0	米松(一級)ラミナ + 米松(一級)ラミナ	0+0	7	有	427
D30	米松(一級)ラミナ	30	6	無	86
D0-F-D30	米松(一級)ラミナ + 米松(一級)ラミナ	0+30	7	有	64
P	唐松合板	0,90	4	無	192
D0-F-P	米松(一級)ラミナ + 唐松合板	0+0,90	7	有	169
A0	秋田杉(二級)ラミナ	0	5	無	279
A0-F-D0	秋田杉(二級)ラミナ + 米松(一級)ラミナ	0+0	7	有	260
A0-F-D30	秋田杉(二級)ラミナ + 米松(一級)ラミナ	0+30	7	有	83

繊維角度は、材軸方向に対する繊維の角度を表している。

図1 引張試験片形状

図2 引張試験加力装置

部の部分を2枚の鋼板でボルト締めし、ピンを介して引張力を作用させた。

2. 3 試験結果

表1に各引張試験片の最大引張強度の平均値を示す。米松一級ラミナ繊維角度0度フィンガージョイント無し(D0)が最も強度が高く、同一のものにフィンガージョイントを施したものの(D0-F-D0)は9割強の強度を示し、フィンガージョイントによる断面欠損に対応している。ラミナとして秋田杉を用いたものの強度は、米松一級ラミナ繊維角度0度フィンガージョイント無し(D0)のそれに対して6割弱、合板を用いたものでは約4割となっており、米松一級ラミナ繊維角度を30度としたものは約2割程度の強度となっており、他の試験体と比較すると極端に強度が低い。これらのことは、フィンガージョイントの有無に無関係であった。すなわち、米松一級ラミナ繊維角度0度どうしをフィンガージョイントにより接合したものおよび唐松合板にフィンガージョイントを施したものの内の数体を除いては、ほとんどがフィンガージョイント部で

破断に至っておらず、母材で破断した。

3. モーメント抵抗接合曲げ実験

3. 1 試験体一覧

モーメント抵抗接合曲げ実験では、表2に示すように6体の試験体を用いた。図3～図6に示すように母材を90度接合した試験体では、在来型としてドリフトピンを使用したもの(DP-90)、1枚板を用いた金物接合(SE1-90)、2枚板を用いた金物接合(SE2-90)各1体を考え、接合部に米松を使用したフィンガージョイント(FD-90)によるもの1体を作成した。また図7、8に示すように母材を120度接合した試験体としてフィンガージョイントによるもので接合部に米松(FD-120)および唐松合板(FP-120)を用いたものを各1体作成した。FD-90では、接合部の繊維角度は、柱・梁部材の繊維と45度の角度となり、FD-120では30度となり、FP-120では30度とこれに直交する方向が混在している。ドリフトピン接合は、標準的なタイプとして直径400mmの円周上にφ10:15本とM12ボルト:4本とした。金物接合では、6mm厚の鋼板にM16のボルト4

図9 加力装置及びひずみゲージ・変位計取り付け位置（裏面も同じ）

図11 接合部中心位置曲げモーメントー相対部材角関係

写真1 加力装置全景および変位測定点近傍

図10 荷重履歴（相対部材角制御）

のモーメント）とし、逆に近づくときを負加力（負のモーメント）として示している。最大モーメントを示したものは、120度接合唐松合板フィンガージョイント(FP-120)であり、負のモーメントで1500ton·cmであった。剛性が最も高いものは、120度接合米松フィンガージョイント(FD-120)であり、変形能力は最も小さかった。鋼板による接合(SE1-90, SE2-90)では、どちらも座金が母材にめり込んで破壊が生じたために、同一の挙動を示した。ドリフトピンおよび金物接合ではスリップ性状を示し、最大耐力を発揮する時には変形が過大になることが分かる。フィンガージョイントでは部材の一体性がよく剛性が高く、変形が小さいうちに強度を発揮できた。また90度接合と120度接合の米松フィンガージョイントを比較すると、繊維角度が小さくなる120度接合の方が大きな耐力を示した。

危険断面位置縁応力度ー相対部材角関係

危険断面位置における縁応力度と相対部材角の関係を図12に示す。ここでは、全ての試験体に対して危険断面位置をフィンガージョイントの接合部側位置、すなわち接合部中心から300mm位置とした。図11と同様、120度接合唐松合板フィンガージョイント(FP-120)が最も大きな縁応力度を示しており、最終的に破壊した上端で最大169kg/cm²である。これは、表1のフィンガージョイントの引張試験結果とほぼ同じ値である。フィンガージョイント試験体の内、FP-120が唯一フィンガージョイント上端で破断し、他の試験体は接合部が破壊したことに対応している。

主ひずみ分布

図13に相対部材角1/120, -1/120における主ひずみを示す。但し、120度接合米松フィンガージョイントの試験体(FD-120)で

図12 危険断面位置緑応力度－相対部材角関係

は、1/120まで変形能力が無かったので1/170、-1/170におけるものを示す。ドリフトピン接合(DF-90)、金物接合(SE1-90, SE2-90)では、主ひずみの大きさはフィンガージョイントのその約1/5～1/10程度と小さい。1/120の時のフィンガージョイントの接合部に鉛直方向に大きな最大主ひずみが生じており、逆に-1/20では接合部鉛直方向には最小主ひずみが生じている。全体的にドリフトピン・金物接合と比較して、フィンガージョイントでは、大きなひずみを示しており、接合性が高いことに対応している。

最終破壊状況

図14にフィンガージョイントの最終破壊状況を示す。ドリフトピン接合(DP-90)では、ピンが大きく変形し、大きな部材角を生じさせた。ドリフトピンが差し込んである孔周辺に損傷が見られたが母材に大きな損傷は見られなかった。90度接合米松フィンガージョイントでは、正側加力時に接合部においてラミナの繊維方向に沿った引張せん断ひび割れが生じ耐力が低下した。これは、先に述べた主ひずみ分布に対応している。金物接合では、鋼板がシングル、ダブルのどちらの場合も金物をとめているボルト先端の座金が木部にめり込んで耐力が決定された。120度接合米松フィンガージョイントでは、FD-90と同様、正側加力時に接合部においてラミナの繊維方向に沿った引張せん断ひび割れが生じ、荷重が低下した。120度接合唐松合板フィンガージョイントでは、モーメントの増加と共に接合部の合板に割れが生じて荷重の上昇は見られなくなったが、接合部に米松を用いた場合のように割れとともに

図13 主ひずみ

瞬時に耐力低下して破壊に至ることはなく、その後も多少粘りを示した。最終的には、負側加力時にフィンガージョイント部で破壊が生じて大きく耐力低下を起こした。唐松合板フィンガー120度接合では、最終段階において母材中央にせん断による割れが生じた。

4. 結論

ラミナ引張試験の結果から繊維が平行な場合、フィンガージョイントによる接合部の断面欠損による強度の低下は1割程度で接合効率が高い。ラミナの繊維が30度の角度でフィンガージョイント接合した場合は、ほとんどがフィンガージョイント部で破断することなく繊維角度30度の母材で破断した。このことから部材相互が少なくとも30度以上の繊維角度をもってフィンガージョイント接合された場合フィンガージョイント部で破断することはないと考えられる。

モーメント抵抗接合では、ドリフトピンによるものが最も変形能力があったが、耐力は120度接合唐松合板フィンガージョイントによるものが最も高かった。これに対して互いの部材に角度をもったフィンガージョイントによるモーメント抵抗接合はドリフトピンのモーメント抵抗接合に比べると耐力は低いが金物接合よりは耐力も高く、剛性が高いことから接合部の一体性が高いことがわかる。90度接合米松フィンガージョイントでは、最終的に接合部で引張せん断破壊を起こしたが、120度接合唐松合板フィンガージョイントでは、繊維角度による異方性が緩和されていることから、接合部で引張せん断破壊せずに、最終的にフィンガージョイント部が破断して破壊に至った。このことから、接合部に

異方が緩和された材質のものでより強度の高いものを用い、フィンガージョイントの位置・圧縮方法などを考えることにより、より効率のよい接合が行える可能性があると考え。

謝辞

実験を遂行するにあたり、小池敦夫氏（当時、愛知産業大学4年生）の協力を得た。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会：木質構造設計ノート（1995）
- 2) 畑中公樹，木村 衛，太田秀彦，渡辺博司，太田道彦，小塚裕一，最上公彦：「集成材の継手に関する研究（その2，実大梁実験）」；『日本建築学会学術講演梗概集』，構造II，105-106（1989.10）
- 3) 楠 寿博，木村 衛，室田達郎，小松幸平，鴛海四郎：「集成材BFJ（ビッグフィンガージョイント）の曲げ破壊実験」；『日本建築学会学術講演梗概集』，構造II，65-66（1991.9）
- 4) 楠 寿博，木村 衛，室田達郎，小松幸平，鴛海四郎：「ベイマツ集成材BFJの曲げ破壊実験と強度評価」；『日本建築学会学術講演梗概集』，構造II，67-68（1992.8）
- 5) 小塚裕一，木村 衛，楠 寿博，太田道彦，畑中公樹，成田秀幸，伊東洋路：「集成材の全強接着継手に関する実験的研究」；『日本建築学会学術講演梗概集』，構造II，69-70（1992.8）
- 6) 成田秀幸，最上公彦，木村 衛，楠 寿博，松井英治，梶原康男：「集成材ケーブル膜構造の開発（その3）集成材BFJ」の曲げ破壊実験」；『日本建築学会学術講演梗概集』，構造I，1783-1784（1992.8）
- 7) 木村 衛，楠 寿博，太田道彦：「大断面集成材の接着接合強度について」；『日本建築学会構造系論文報告集』，[480]，133-140（1992.8）
- 8) 佐久間 博文，大熊 幹章：「軸ボルト併用フィンガージョイント材の曲げ性能」；『日本建築学会学術講演梗概集』，構造II，957-958（1993.9）

図14 最終破壊状況

- 9) 森 拓郎，笹川 明，五十田 博：「ラミナ厚の異なる信州産からまつの引張実験」；『日本建築学会学術講演梗概集』，構造III，1-2（1997.9）
- 10) 小野徹郎他：ドリフトピンを用いた集成材接合部の曲げ耐力に関する研究，日本建築学会大会，35-36（1994.9）

（1998年5月10日原稿受理，1998年7月3日採用決定）