

トルシア形高力ボルトによる一体化した鋼木複合断面部材の開発 その5 複合断面柱の曲げ剛性と軸圧縮耐力の評価

鋼木複合断面 柱 トルシア形高力ボルト
曲げ剛性 軸圧縮耐力 圧縮載荷実験

正会員 ○藤井 和哉*¹ 正会員 高木 次郎*²
同 見波 進 *³ 同 遠藤 俊貴*⁴
同 荒木 慶一*⁵

1. 背景と目的

木質構造は環境問題への配慮、経済性、加工性及び施工性などの長所がある一方、材料特性のばらつき、接合部の強度確保、部材寸法の制約などの短所がある。このため木材と鋼材を組み合わせる鋼木複合断面部材の研究が楠ら¹⁾や坂田ら²⁾により進められているが、これらの研究における鋼木間の一体化接合方法は複雑で実用性に課題があると思われる。著者等はこれまで簡便な接合方法としてトルシア形高力ボルトを用いた鋼木複合断面柱部材の力学的特性を実験と解析から評価し、また、本接合方法を用いた柱部材の準耐火性能評価実験を行ってきた^{3)~5)}。その5~その7では柱部材、梁部材の載荷実験ならびに接合部の経時実験に関して報告を行う。

2. トルシア形高力ボルトを用いた複合断面柱部材

複合断面柱部材は図1に示すように木材に座掘穴を設け、鋼板を木材で挟みこみ、トルシア形高力ボルトを用いて一体化したものである。鋼材と木材が一体として挙動することによって、木材が鋼材の弱軸まわりの座屈拘束として機能し、圧縮耐力の向上が期待できる。

3. 実験方法及び実験結果

鋼木複合断面部材の曲げ剛性を得ることを目的として、弾性範囲内における3点曲げ実験を行い、その後、同一の試験体を用いて軸圧縮実験を行った。

3.1. 試験体

図2(a)(b)に試験体を示す。事前の解析⁵⁾で一体化接合箇所が7箇所以上の場合は座屈耐力に大きな違いがなかったことを考慮し、試験体は一体化接合部が5箇所の試験体Aと7箇所の試験体Bとする。一体化接合部位置は試験体中心部に加えて木材の両端から300mm間隔で設置する。図2(c)に接合部詳細を示す。断面寸法9mm×120mm、長さ3010mmの鋼材を断面寸法60mm×120mm、長さ3000mmのスギ材2本で挟み込みトルシア形高力ボルトで一体化する。座掘穴底の木材厚さ(図2(c))は十時らの実験³⁾を考慮し15mmとする。

3.2. 3点曲げ実験

実験方法を図3に示す。試験体中央部の接合部に加力し、鋼材に直接荷重を加える。鋼材に溶接した試験体両端の鋼管を支点(支点間距離3048mm)とし、図中H2とH3の平均とH1との差を中央部の加力方向におけるたわみとする。実験結果から算出した試験体A、Bの弱軸まわりの曲げ剛性(EI_y)はそれぞれ92.0kNm²、92.8kNm²となり、

接合箇所数による大きな違いは確認されなかった。鋼材と木材が完全に一体化(平面保持を仮定)した理論値(EI_p)と比較すると、試験体A、Bの実験値はそれぞれ0.87倍、0.99倍となり、本接合方法によって鋼材と木材に高い一体性が得られることを確認した。

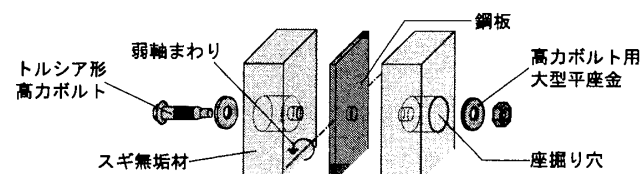


図1 一体化接合部概要

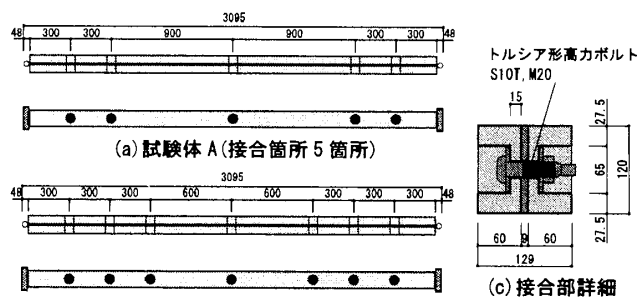


図2 試験体概要

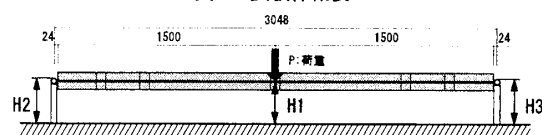


図3 3点曲げ実験概要

3.3. 軸圧縮実験

図4に実験方法を示す。手動油圧ジャッキを用いて鋼材端部に材軸方向の圧縮荷重を作用させる。加力側に滑り支承となる治具を用い、柱状体の載荷ブロックの4面に摩擦係数の低いテフロンシートを張り付け、その周囲を同様にテフロンシートを張り付けた治具で囲むことで材軸方向の変位を拘束することなく、それ以外の水平変位、鉛直変位を拘束する。逆側はロードセルで軸荷重を計測するとともに材軸方向の変位を拘束し、回転軸受けで固定した厚鋼板を介してそれ以外の水平変位、鉛直変位を拘束する。試験体両端に溶接した鋼管に鋼棒を通して回転軸受けで固定することで、弱軸まわりの回転のみ拘束しない。図中のY2とY3の平均とY1との差を中央部の材軸方向直行変位とし、以降面外変位と称す。鋼木間ずれは木材端部から300mmの位置で計測し、加力側に鋼

材がずれる方向を正とし、加力側を上部、反対側を下部と称す。実験により得られた軸圧縮耐力 P_e は試験体 A、B でそれぞれ 79kN、77kN となり接合箇所数による大きな違いは確認されなかった。破壊性状は両試験体でほぼ同様で、試験体端部の接合部周辺において図 5 のように鋼材と木材が離間し木材が割れ裂ける形状となった。これにより木材の座屈拘束としての機能が低下し、軸圧縮耐力は $(EI)_e$ から算出した弾性座屈荷重 P_d (試験体 A で 97.3kN、試験体 B で 98.3kN) よりも低い値となったと考えられる。

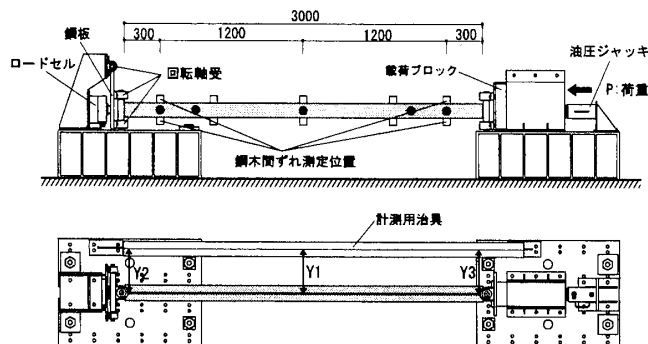


図 4 軸圧縮実験

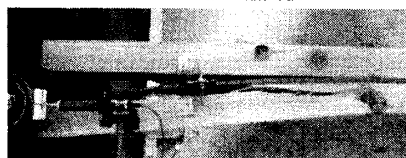


図 5 破壊性状 (試験体 A)

4. 解析モデルおよび解析結果

次に汎用解析ソフト⁹⁾を用いて 2 次元数値モデルを作成し、軸圧縮実験を解析的に評価する。図 6 に解析モデルを示す。解析は以下の条件で行う。(1)全ての部材は線材としてモデル化し、各々の断面寸法、部材長さは実験値と同一とする。(2)接合部は鋼部材および木部材から剛体部材を跳ね出し、両者を弾性せん断ばねで接合することにより鋼木間のずれ変形をモデル化する。せん断剛性 k は接合部せん断実験³⁾から得られた 50kN/mm とする。(3)支持条件として鋼板の加力側端部で鉛直変位を拘束し、逆側端部で鉛直および水平変位を拘束し、回転は拘束しない。(4)幾何学的初期不整を弱軸方向に正弦曲線と与え、P- δ 効果を考慮した静的増分解析を行う。(5)鋼材、木材の縦弾性係数は公称値を用い、それぞれ 205kN/mm²、4.5kN/mm² とする。面外変位と荷重の関係を図 7、試験体 B の鋼材と木材間の材軸方向ずれと荷重の関係を図 8 に示す。実験と解析で挙動は概ね一致した。特に鋼木間のずれは上部と下部で変形がほぼ左右対称に進み、引張側木材と鋼材のずれは座屈直前に正負方向が逆転するなどの挙動も一致しており、一体化接合部を介して軸力が木材に確実に伝達されていることを確認した。

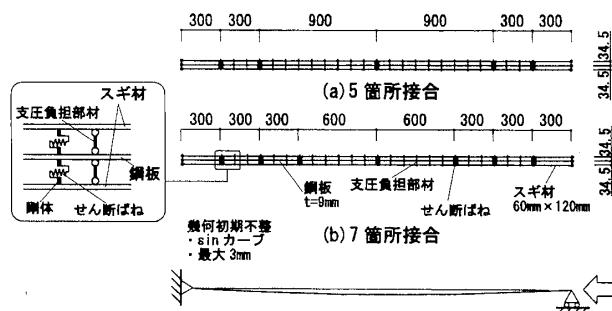


図 6 解析モデル

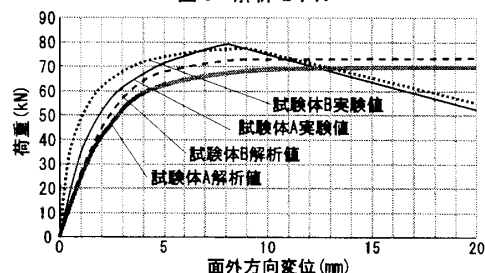


図 7 面外変位-荷重関係

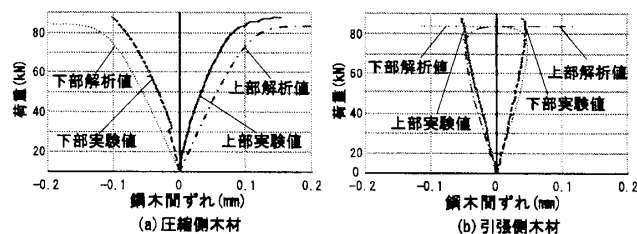


図 8 試験体 B 鋼木間ずれ-荷重関係

5. まとめ

トルシア形高力ボルトにより一体化した鋼木複合断面実大柱の曲げ剛性と軸圧縮耐力を 3 点曲げ実験と軸圧縮実験により評価した。3 点曲げ実験から得た弱軸回りの曲げ剛性は、鋼材と木材が完全に一体化したものと比較して 87~99% となり、本接合方法により鋼材と木材の高い一体性が得られることを確認した。軸圧縮実験では接合部付近の木材の破壊 (鋼材と木材の離間) により耐力が決定し、実験により算出した曲げ剛性を用いた弾性座屈荷重と比較して 78~81% の値となった。また汎用解析ソフトを用いて解析モデルを作成し、軸圧縮実験における P- δ 効果を考慮した静的増分解析を行った。実験と解析で挙動は概ね一致し、特に鋼木間ずれについては再現度が高く、一体化接合部を介して鋼木間に力が確実に伝達されていることを確認した。

参考文献

- 1) 楠寿博他：木材と鋼板を組み合わせた剛性部材の圧縮強度実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 61-62, 2001. 9
- 2) 堀井健史他：シアリング接合を用いた杉集成材と鋼板によるハイブリッド部材の力学的挙動に関する実験研究、日本建築学会構造系論文集、第 584 号、pp. 125-132, 2004. 10
- 3) 高木次郎他：トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面の開発 (その 1-その 4)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1, pp. 47-54, 2010. 8
- 4) 下野田聡他：高力ボルトで一体化した鋼木複合断面部材の準耐火性能評価実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-2, pp. 115-116, 2010. 8
- 5) 遠藤俊貴他：トルシア形高力ボルトを用いた摩擦接合により一体化した鋼木複合断面部材の曲げ特性、日本建築学会構造系論文集、第 661 号、pp. 591-598, 2011. 3
- 6) MIDAS IT: MIDAS/Gen ユーザーマニュアル、第 2 巻、2009

*1 首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学域 大学院生

*2 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 准教授・Ph.D.

*3 首都大学東京都市環境学部建築都市コース 助教・博士(工学)

*4 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生

*5 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

*1 Graduate Student, Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ.

*2 Associate Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Ph.D.

*3 Assistant Prof., Div. of Architecture and Urban Studies, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.

*4 Graduate Student, Dept. of Architecture and Architectural Eng., Kyoto Univ.

*5 Associate Prof., Dept. of Architecture and Architectural Eng., Kyoto Univ., Dr. Eng.