

京都大学	博士（工 学）	氏名	遠藤 俊貴
論文題目	トルシア形高力ボルトを用いた高施工性接合法により一体化した鋼木複合断面部材に関する基礎研究		
<p data-bbox="188 432 448 465">（論文内容の要旨）</p> <p data-bbox="172 472 1417 633">本論文は、鋼木複合断面部材におけるトルシア形高力ボルトを用いた、施工性・加工性・経済性を重視した極力単純な構成の一体化工法を考案し、一体化接合部および軸力材、曲げ材の性能評価、提案複合部材の耐火構造としての適用可能性を論じた結果をまとめたものであって、6章からなっている。</p> <p data-bbox="172 640 1417 1059">第1章は序論であり、今後住宅のみならず、中型および大型建築物においても木材の普及が進展していくであろうという社会的背景を基に、木質構造の長所を最大限維持しつつ、短所を改善した鋼木複合断面構造に関する研究が行なわれていることと、既往の研究について施工性や経済性に課題が残ることを論じている。この問題点に対して本論文では、施工性と経済性を重視し、出来るだけ単純なものから始めて問題点を明らかにし、これを解決していくことで、最終的に望ましい一体化接合方法を開発することを長期的な目的であることを明示した上で、その研究の端緒として、トルシア形高力ボルトを用いた一体化接合方法を提案している。また、提案一体化接合法を用いた複合部材として、鋼板を木材で挟んだ断面を持つ軸力材と、鋼板ウェブと木材フランジで構成されるH形断面を持つ曲げ材を提案している。</p> <p data-bbox="172 1066 1417 1608">第2章では、鋼木複合断面部材の一体性を評価する上で重要となる、一体化接合部のせん断性能を実験的に評価している。評価は一面せん断実験により行なっており、50～80kN/mmの初期せん断剛性、20kN以上の荷重降下点および最大せん断耐力を有すること、破壊形状は支圧部周辺で破断するか、はしあき部分で割裂破壊することを明らかにしている。また1年間の経時変化が接合部の力学的特性に及ぼす影響を調査した結果、初期剛性や最大耐力の変化は比較的小さかったが、ボルト張力や荷重降下点が低下することが確認されている。経時変化評価実験の際にみかけのすべり係数が1.0を超える現象が確認されたが、一体化接合部のせん断抵抗機構を力学的に考察することで、その現象の原因を論じながら、経時によって荷重降下点が低下すること、張力が大きく低下しても抵抗力が生じること、最大耐力は木材の耐力に依存していることを説明している。なおボルトの弛緩は無視できない事象であるため、この改善策として、平座金とナットの間皿ばね座金を配した一体化接合法も提案しており、同様の一面せん断実験および経時評価実験により有用性を実証している。</p> <p data-bbox="172 1615 1417 1995">第3章では鋼木複合断面軸力材の構造性能に関する基礎研究として、弱軸まわりの曲げ剛性および圧縮性能を実験的及び解析的に評価している。弱軸まわりの曲げ剛性の評価方法として、当該軸力材の3点曲げ実験を行なっている。その結果、鋼材と木材が完全に一体化した（平面保持を仮定した）ものと比較して87～99%程度となり、高い一体性が得られることを確認している。圧縮性能の評価方法としては、軸圧縮実験を行なっており、その結果約80kNの耐力が得られている。この結果は3点曲げ実験結果の曲げ剛性から算出した弾性座屈荷重と比較して75%程度とやや低い値となった。その原因として、軸圧縮時に弱軸まわりの曲げ変形が進行することで、部材端部に近い一体化接合部周辺において鋼木間が開き、木材が割れ裂けたことにより、終局状態</p>			

を迎えたことを挙げている。当該軸力材の解析的評価としては、汎用骨組解析ソフトを用いて、線材とせん断ばねによる簡易な数値モデルを作成し、3点曲げ弾性解析、初期不整を与えた軸力材の $P-\delta$ 効果を考慮した静的増分解析による軸方向圧縮解析を行っている。その結果、70～75%程度の精度で実験値を予測している。やや過少評価となった原因として、実際は鋼木間の摩擦によるせん断力伝達が接触境界面全体に亘って分布しているのに対して、数値モデルでは一体化接合部においてせん断力を集中力として伝達するようモデル化していることを挙げている。なお同解析モデルにより、一体化接合部のせん断剛性が 50kN/mm 程度確保されていれば、それ以上は曲げ特性に大きく影響しないという知見が得られている。

第4章では複合断面曲げ材の曲げ性能を実験的・解析的に評価している。実験的評価は4点曲げ実験を行っており、その結果、平面保持を仮定した場合と比較して、85～90%程度の曲げ剛性が得られ、高い一体性を有することを確認している。またフランジ木材が軸力を負担することで、鋼板の負担曲げモーメントを50%程度軽減される知見が得られ、複合断面として有効に機能していることや、鋼板が降伏する前に一体化接合部で降伏するが、一体化接合部が降伏する際に脆性的な挙動は示さず、鋼板が降伏した後に、木材と鋼材の肌分けが進行し、鋼板上端が局部座屈する破壊形状となる知見を得ている。解析的評価は汎用骨組解析ソフトにより線材モデルを作成し4点曲げ弾性解析を行っている。その結果、一体化接合部せん断実験から得られたせん断剛性の値を用いることで、実験値を85～95%という十分な精度で予測している。また鋼板の曲げモーメント分布や軸力分布は概ね実験値と整合し、数値モデルの妥当性を検証している。なお一体化接合部が鋼板に先行して降伏すると仮定し、簡単な定式化により鋼板の降伏時曲げ耐力を予測している。

第5章では、鋼木複合断面部材の耐火性能に関する基礎調査として、鋼板を木材で挟んで高力ボルトにより一体化した部材について、被覆の有無や被覆厚さ等をパラメータとして45分間の耐火実験を行なっている。本実験を通して、提案複合断面部材においても、燃え代設計で示されている45分準耐火構造の燃え代厚さ45mmを確保すれば、45分加熱時の鋼材平均温度で270℃以下、最高温度で350℃以下という結果が得られ、鋼材の温度上昇は限定的であることが確認されている。準耐火構造として性能評価するためには載荷加熱実験が必要であるため、それを確認することはできないが、本実験における鋼材の温度上昇であれば、鋼材の耐力および剛性の劣化は限定的と考えられ、準耐火構造としての適用可能性は十分高いという知見が得られている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は木質構造の長所を最大限維持しつつ、鋼材と組み合わせることで短所を改善した鋼木複合断面構造の開発を目的としており、広範な普及を視野に入れ、施工性と加工性を重視し極力単純な構成を持つ一体化接合方法を提案している。また、この一体化接合方法を用いた複合部材の実験と解析を通して力学性能の評価を行なうとともに、複合部材の準耐火構造としての適用可能性について実験的に評価している。本論文で得られた主な成果は次のとおりである。

1. トルシア形高力ボルトによって木材と鋼材を緊結するだけで一体化する、施工性と加工性の面で優れた一体化接合方法を提案した。また、提案一体化接合法を用いた複合部材として、鋼板を木材で挟んだ断面を持つ軸力材と、鋼板ウェブと木材フランジで構成されるH形断面を持つ曲げ材を提案した。
2. 一体化接合部のせん断実験、軸力材の3点曲げ実験および軸圧縮実験、曲げ材の4点曲げ実験を通して、一体化接合部および各部材の構造性能を実験的に評価した。部材については平面保持を仮定した複合断面部材に対して80%程度の構造性能が得られ、高性能の木質系部材を実現できることを実証した。また一体化接合部せん断実験から得られたせん断性能を用いて、当該部材の線材モデルを作成し、構造性能を解析的に評価した。その結果、実験値に対して軸力材では70～75%の、曲げ材では85～90%の精度で評価できた。この結果は部材の設計式確立に資するものである。
3. トルシア形高力ボルトのみを用いた一体化接合方法は、経時によるせん断性能の劣化が観察された。この問題に対して、皿ばね座金を用いることでボルト張力の緩和を抑制する手法を提案し、経時評価実験により改善が可能であることを確認した。
4. 提案複合断面部材について45分耐火実験を行なうことで、鋼材温度の上昇を抑制でき、準耐火構造として適用可能であることを確認した。

本論文は以上のように、鋼木複合断面部材を対象に極力単純な構成を持つ一体化接合法を提案し、同接合法により構成された部材の構造性能及び耐火性能の評価を行なっており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年12月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。