

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 23 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 年 ～ 2012 年

課題番号：21760438

研究課題名（和文） 火災時の限界耐力評価を核とした鋼木複合構造の開発

研究課題名（英文） Development of Steel-timber composite members evaluating their ultimate strength under fires

## 研究代表者

氏名：高木 次郎（Takagi Jiro）

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：90512880

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、経済性や加工性の高い木質構造の長所を生かしつつ、部材の大きさの制約や接合部の強度確保の問題を補う目的から鋼板と木材とを組合せた鋼木複合断面部材を開発した。複合断面は、鋼板を木材で挟み込む形状をしており、その一体化接合には、鋼構造用の高力ボルトを利用した。削孔した木材に鋼管を挿入し、高力ボルトで締め付けることで、鋼管は直径方向に拡大する形で塑性座屈し、木材との一体化の上でのガタを解消した。45分耐火実験を行い、燃え代設計の考え方に基づいた準耐火性能を有する可能性が整理できた。また、一体化接合部のせん断（ずれ）性能を実験的に評価した。また、同接合方法を用いた大スパン架構の試設計を行い、実用の可能性を示した。

## 研究成果の概要（英文）：

In this research, Steel-timber hybrid structural members using high strength bolts were developed. The hybrid members are composed of a steel plate sandwiched with timbers. An economical joint system between the steel and timber is a key for the system. Steel pipes are installed at the joint and compressed by the bolts. The pipes are buckled and expand, which filled the gaps between the holes in timbers and pipes. Fire resisting performance of the hybrid members was examined and it was shown that the system is possibly used for 45-minute fire resisting design. The bearing performance of the joints was experimentally examined and trial design of arch frames using the system was performed.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：構造設計、耐火、鋼木複合構造、限界耐力評価

## 1. 研究開始当初の背景

木質構造には住宅を含む中小建築物の構造

形式として特筆すべき長所がいくつかある。コンクリート構造や鉄骨構造と比較して経

済性において非常に優れていること、自然素材として仕上を兼用できること、近年関心の高い環境問題（二酸化炭素排出量削減など）の観点から好ましいことなどである。その一方で、他の材料に比べて低強度であり流通部材サイズが限られることからスパンに制約があり計画上の自由度が制限されること（結果として、将来的な改修に対応し難いこと）、品質のばらつきが大きいこと、（柱脚を含めた）接合部の強度確保が困難なことなどの短所が挙げられる。

このような短所を克服する目的で、木材と鋼材を組み合わせた部材を考案し、鋼材の高い強度と安定した品質を利用しようとする試みがなされているが、それらの研究では、鋼材の立場からも木材を剛性向上あるいは座屈補剛といった目的で活用しているが、鋼材の大きな弱点である耐火性能の低さを木材で補うという着想にまでは至っていない。準耐火構造物において燃え代設計が認められているように、木質構造には燃え止まりによる一定の耐火性能がある。これを利用して、木材を鋼材の耐火被覆として活用し、同時に仕上としても利用する試みは、研究段階を経て一部で実用化もされているが、これらの構造システムの考え方はあくまで鋼構造であり、複合部材断面としての物理的な性能評価はなされていない。また、木材の断面形状や部材同士の接合方法が複雑で、経済性に問題があることから一般的な実用化は困難である。複合構造として、木材を鋼材の仕上兼耐火被覆として利用することとどまらず、常温時については木材の物理的性能を積極的に評価しようとする試みもあるが、高温時の複合部材断面の性能評価については、一定荷重下での加熱実験により、複合部材中の鋼材温度が一定値を超えないこと、あるいは加熱中に部材が限界状態に至らないことを確認するに留まっており、材料の強度および剛性が温度に応じて低下していく中での限界耐力の確認には至っていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、住宅を含めた中小建築物の構造形式として木質構造の長所を最大限維持しつつ、木材と鋼材の短所を相互に補完する鋼木複合構造の提案を行う。木材と鋼材の単純な接合により加工性と経済性を追求し、広範な実用化を目指す。複合部材の常温時および高温時限界耐力を有限要素解析モデルを構築して予測した上で実験を行い、結果とのキャリブレーションにより解析モデルの信頼性を高める。さらに、数値実験により部材断面サイズや形状、木材と鋼材との接合条件などの諸条件に対する限界耐力の変化を調査し、合理的な複合構造を設計するための条件を整理した上で、準耐火構造物を対象と

した部材設計の枠組みを提案する。

## 3. 研究の方法

複合部材断面の加工性について十分に確認した上で、実験と数値解析の両面から断面の性能評価を行う。実験としては、鋼-木接合部のせん断力特性確認調査、ISO 834 の標準加熱温度曲線下の断面内温度分布の時刻歴測定、複合部材断面柱および梁の高温時および常温時限界耐力調査を実施する。数値解析は熱応力解析にも定評のある汎用ソフトの ABAQUS を使用し、精緻な有限要素解析モデルを作成することにより実施する。実験と解析の結果を相互に活用し、研究内容を適宜調整できるようなスケジュールを組む。解析モデルは継続的に改良し、実験とのキャリブレーションによって、十分な信頼性を確保してから数値実験を行う。断面形状や接合部の条件などの部材断面性能に対する影響を調査し、効率のよい複合部材断面のための設計条件をまとめる。

## 4. 研究成果

2010 年度まではトルシア形高力ボルトを用いて木材のめり込み基準強度の 10 倍を超える圧力を加えて締め付ける接合方法について研究したが、木材の経年による接合部性能の変化が予想された。2011 年度は、木材の繊維方向への支圧機構を主体とした新たな接合方法を考案した。鋼板と木材を圧着し、部材の材軸方向へのずれを抑止する機能を接合金物の形状を工夫することで実現しようとした。これに対して、2012 年度はより簡単なシステムによる接合方法を開発した。削孔した木材に鋼管を挿入し、高力ボルトで締め付けることで、鋼管は直径方向に拡大する形で塑性座屈し、木材との一体化の上でのガタを解消させた。これにより木材と鋼材との部材材軸方向のせん断（ずれ）剛性を確保し、複合断面部材としての性能を確保した。一体化接合部のせん断（ずれ）性能を実験的に評価した。また、45 分耐火実験を行い、燃え代設計の考え方に基づいた準耐火性能を有する可能性が整理できた。柱の座屈耐力評価や梁の曲げ耐力評価実験もを行い、複合断面部材としての性能を確認した。さらに、同接合方法を用いた大スパン架構の試設計を行い、実用の可能性を検討した。本研究に関連して、査読付き論文 2 編と、学会発表論文 9 編を執筆した。また、特許 1 件を取得した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. 遠藤俊貴, 高木次郎, 荒木慶一, 見波 進, 十時 哲: 桑村仁博士の討論に対する回答, 日本建築学会構造系論文集, 第 673 号, pp515-516, 2012.
2. 遠藤俊貴, 高木次郎, 鈴木淳一, 大宮喜文, 野秋政希, 見波 進, 荒木慶一, 下錦田聡志: 高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の準耐火性能評価実験, 日本建築学会技術報告集 第 17 巻 第 36 号, pp. 543-547, 2011 年 6 月
3. 遠藤俊貴, 高木次郎, 荒木慶一, 見波 進, 十時 哲: 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軸力材の曲げ特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 661 号, pp591-598, 2011.

[学会発表] (計 9 件)

1. 西本憲司, 高木次郎, 見波進, 遠藤俊貴: トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の開発, その 8 木材繊維方向への支圧による一体化接合, 日本建築学会大会 (東海), (構造Ⅲ pp589-590,) 2012 年 9 月 13 日, 名古屋大学東山キャンパス
2. 藤井和哉, 高木次郎, 見波進, 遠藤俊貴, 荒木慶一: トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の開発, その 5 複合断面柱の曲げ剛性と軸圧縮耐力の評価, 日本建築学会大会 (関東), (構造Ⅲ pp255-256,) 2011 年 8 月 23 日, 早稲田大学早稲田キャンパス
3. 永井大輔, 高木次郎, 見波進, 遠藤俊貴, 荒木慶一: トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の開発, その 6 複合断面梁の構造性能評価, 日本建築学会大会 (関東), (構造Ⅲ pp257-258,) 2011 年 8 月 23 日, 早稲田大学早稲田キャンパス
4. 十時哲, 高木次郎, 見波進, 遠藤俊貴, 荒木慶一: トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の開発, その 7 一体化接合部の経時変化に関する実験, 日本建築学会大会 (関東), (構造Ⅲ pp259-260,) 2011 年 8 月 23 日, 早稲田大学早稲田キャンパス
5. 高木次郎, 荒木慶一, 見波進, 遠藤俊貴, 十時哲: トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の開発 その 1 開発計画と一体化接合法の概要, 日本建築学会大会 (北陸), (梗概集pp47-48,) 2010 年 9 月 9 日, 富山大学五福キャンパス

ス

6. 十時哲, 高木次郎, 荒木慶一, 見波進, 遠藤俊貴: トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の開発 その 2 一体化接合部の実験的性能評価, 日本建築学会大会, (梗概集pp49-50,) 2010 年 9 月 9 日, 富山大学五福キャンパス
7. 遠藤俊貴, 荒木慶一, 高木次郎, 吉田亘利, 見波進: トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の開発 その 3 複合断面柱のモデル化と性能評価, 日本建築学会大会, (梗概集 pp51-52,) 2010 年 9 月 9 日, 富山大学五福キャンパス
8. 平野克利, 高木次郎, 見波進, 遠藤俊貴: トルシア形高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の開発 その 4 複合断面梁の解析的性能評価, 日本建築学会大会, (梗概集pp53-54,) 2010 年 9 月 9 日, 富山大学五福キャンパス
9. 下錦田聡志, 高木次郎, 遠藤俊貴, 鈴木淳一, 大宮喜文, 野秋政希, 見波進, 荒木慶一: 高力ボルトで一体化した鋼木複合断面材の準耐火性能評価実験, 日本建築学会大会, (梗概集pp115-116,) 2010 年 9 月 9 日, 富山大学五福キャンパス

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 高力ボルトを利用した建築構造用鋼木複合断面構造  
発明者: 高木次郎, 見波 進, 荒木慶一, 遠藤俊貴  
権利者: 高木次郎, 見波 進, 荒木慶一, 遠藤俊貴  
種類: 特許  
番号: 特願 2010-005366  
出願年月日: 2010 年 1 月 13 日  
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件)

名称: 高力ボルトを利用した建築構造用鋼木複合断面構造  
発明者: 高木次郎, 見波 進, 荒木慶一, 遠藤俊貴  
権利者: 高木次郎, 見波 進, 荒木慶一, 遠藤俊貴  
種類: 特許  
番号: 特開 2011-144537  
取得年月日: 2011 年 7 月 28 日  
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 次郎 (Takagi Jiro)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：90512880

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし