

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 2 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23686080

研究課題名(和文) 繊維補強樹脂を用いた高強度高靱性木質構造耐力要素の開発

研究課題名(英文) Development of High Strength and High Ductility Timber Structural Elements using Fiber-Reinforced Plastics

研究代表者

松本 慎也 (MATSUMOTO, Shinya)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号：30325154

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円、(間接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、繊維直交方向に対しては強度が低いという木質材料の有する強度的弱点を紫外線で硬化する繊維補強樹脂(FRP)を用いて補強することで、大スパンに対応した高強度高靱性木質構造耐力要素を開発するものである。木質ラーメン接合部における鋼板挿入型ドリフトピン接合に繊維補強樹脂を用いることで、高靱性の木質構造耐力要素を実現することができた。

研究成果の概要(英文)：Wood materials have a weak point that the material strength for fiber orthogonal direction is lower than fiber direction. The purpose of this study is development of high strength and high ductility wood structural element ability to hold the larger span. In this study, the ultraviolet-rays hardening FRP are used to improve the strength weakness of wood materials. As the result, the high ductility timber structural elements were realized that applied to the drift pinned joints with insert-steel gusset plate.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：建築工法 FRP 木質ラーメン構造 集成材 ドリフトピン 紫外線硬化 半剛接骨組 有限要素法

### 1. 研究開始当初の背景

木材は、繊維の方向により強度特性が大きくことなる異方性材料であり、繊維方向には高い強度特性を有するものの、繊維直交方向に対しては、強度が低く、また、引張力などに対しては、繊維が裂け、強度及び靱性が著しく低下する割裂破壊現象を生じる場合があり、構造要素として木材を用いる場合には、このような木質材料の持つ弱点に注意を払う必要がある。

近年、構造用集成材などのエンジニアードウッドの開発が進み、工業製品として品質の高い製材が市場に供給されており、生物である木材が宿命としてもつ不均一な材料のバラツキを人工的に制御する技術が広く用いられるようになってきている。しかしながら、極稀に生じる大地震などにより、予期せぬ荷重が作用する場合においては、設計上予測不能な破壊現象が引き起こされる可能性も懸念され、そのような場合においても建物の倒壊を防ぎ、耐震安全性を確保することは大変重要である。

本研究は、木質材料のもつ強度的弱点を繊維補強樹脂を用いて補強し、補うことで構造要素として高強度高靱性の木質構造要素を開発するものであり、木質構造の設計自由度をさらに拡張し、既往の耐震技術のさらなる高度化を目指す基礎的研究である。既往の研究では、炭素繊維補強樹脂 (GFRP) を用いた補強工法の実例は報告されているものの、未だ研究数は少なく、本研究で扱う課題は今後、様々な発展が期待されている分野である。

本研究では、これまでに、施工性に優れた紫外線硬化型 FRP に着目し、既存木造住宅の耐震補強工法を開発してきた。本研究は、この技術の木質大断面集成材のモーメント抵抗接合部の構造要素に応用し、木質材料の弱点を補強することで、高強度高靱性の木質耐力要素を開発し、木構造の新たな可能性を検討するものである。

### 2. 研究の目的

国や自治体が学校や図書館、庁舎など公共施設を新たに整備する際、低層の場合は原則として木造建築とする基本方針が2010年10月に政府から発表された。これは木材利用を促し、停滞している林業の再生を狙うものであり、今後ますます木造建築物の耐震安全性の向上が期待されていると言える。本研究は、繊維直交方向に対しては強度が低いという木質材料の有する強度的弱点を紫外線で硬化する繊維補強樹脂を用いて補強することで、大スパンに対応した高強度高靱性木質構造耐力要素を開発するものである。

### 3. 研究の方法

本研究課題の研究期間は、平成23年度から平成25年度の3年間であり、以下に各年度の研究計画とその目的を示す。

【平成23年度】

基礎実験 (耐久性能試験) の実施 耐候性能を検証する

要素実験 (接合部試験) の実施 接合部の耐力性能の検証、実大試験の仕様を決定する

【平成24年度】

実大実験 (実大架構実験) の実施 実大架構における耐力性能・施工性を検証する

【平成25年度】

設計法の構築のための解析手法の開発

### 4. 研究成果

(1) 平成23年度は、耐久性能試験を恒温恒湿装置及び屋外暴露ヤードを利用して実施した。室内実験で実施する温冷繰り返し促進劣化試験は、本年度内に終了したが、屋外暴露試験については、長期の経年劣化性能を検討するために、次年度以降まで継続して実施した。これらの耐久性能試験の結果より、温冷繰り返し促進劣化試験および12か月間屋外暴露試験では、FRPの接着耐力の劣化はあまり見られないことを確認した。具体的な性能としては、母材木材に集成材 (ワシユカマツ E105-F300) を用いた試験体では、屋外暴露期間12か月経過に対する単位幅あたりのFRPと木材のせん断接着耐力は初期性能とほぼ同じ4kN/cm程度であり、12か月間の屋外暴露に対してFRPの接着耐力の劣化はほとんど生じないことを確認した。

またこれらの耐久性能実験と並行して、集成材 (JAS:E105-F300, 断面形: 幅120mm×せい360mm) によるモーメント抵抗型接合部要素試験体を作成し、接合部の曲げ試験を実施した。試験体は、鋼板挿入型ドリフトピン接合における一方向木質ラーメン接合部であり、FRP補強のない仕様とFRP補強を施した仕様を比較することで、接合部の基礎的な耐力性能を検証した。その結果、接合部の最大曲げモーメントは80kNm、接合部回転角は0.05rad程度までの靱性能を有している接合部性能を確認した。また、FRPにより、接合部の初期回転剛性を1.9倍程度改善されることが確認された。

(2) 平成24年度は、前年度の接合部要素実験結果を踏まえ、ボルトとFRP貼り付け方法に改良を加えた接合部試験体を作成し、柱脚接合部に対する仕様 (I型試験体) と、柱勝とした柱梁接合部に対する仕様 (T型試験体) および梁勝とした柱梁接合部に対する仕様 (L型試験体) の3種類の加力実験を実施し、各接合部におけるFRPの耐力性能を確認した。これらの試験ではいずれも実施工を考慮して直交構面の梁を取り付けるための梁受け金物による断面欠損の影響を考慮した。当該年度の接合部要素実験結果は次に示す通りである。

I型試験体: 曲げ耐力 FRP 無 89.2kNm, FRP 有 105.2kNm, 初期剛性 FRP 無 8132kNm/rad, FRP 有 10052kNm/rad

T型試験体: 曲げ耐力 FRP 無 91.1kNm, FRP

有 110.0kNm, 初期剛性 FRP 無 4340kNm/rad, FRP 有 5180kNm/rad

L 型試験体: 曲げ耐力 FRP 無 70.4kNm, FRP 有 96.9kNm, 初期剛性 FRP 無 2452kNm/rad, FRP 有 5308kNm/rad

また, 本実験における接合部仕様の耐力特性を用いては理論に基づく骨組解析を実施し, 本接合部仕様を階高 3m, スパン 6m とした 2 層 1 スパンの木質ラーメン骨組架構に適用した際の保有水平耐力を求め, FRP 無に対し FRP 有の架構では約 1.6 倍の耐力特性となることを確認した。



写真 1 I 型試験体 (FRP 有) の終局状況

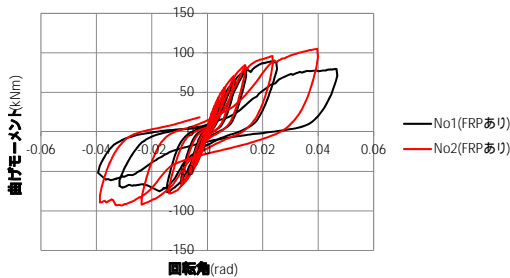


図 1 曲げモーメント 相対回転角関係 (I 型試験体)



写真 2 T 型試験体 (FRP 有) の終局状況

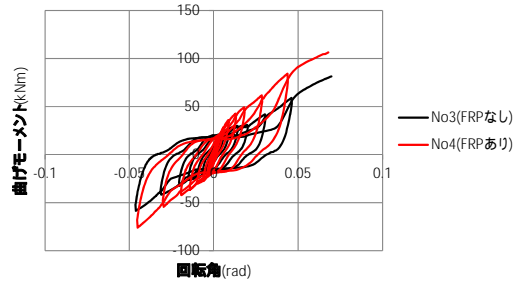


図 2 曲げモーメント 相対回転角関係 (T 型試験体)



写真 3 L 型試験体 (FRP 有) の終局状況

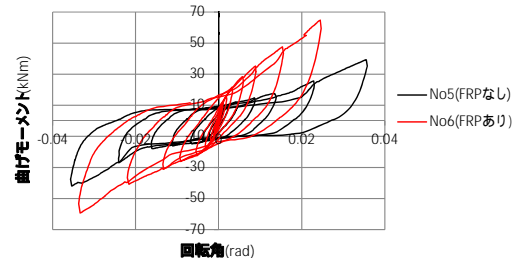


図 3 曲げモーメント 相対回転角関係 (L 型試験体)

(3) 平成 25 年度は, 設計法を確立するために必要となる力学特性を詳細に解析するための数値解析手法について検討を行った。このとき, ドリフトピンと木材の耐力特性を検討するための基礎的な要素実験も合わせて実施した。そして木材の異方性主軸を考慮するために, Hill の塑性ポテンシャル理論に基づく直交異方性モデルを用いて, 木材の局部的なめり込み挙動をソリッド要素による三次元有限要素法によって詳細に解析し, その解の特性を調査した。その結果, 鋼材であるドリフトピンの等方性材料非線形モデル, 木材の異方性材料非線形モデルおよび接触要素を用いることによるドリフトピンと木材の離間接触問題の考慮の 3 つのモデル化をそれぞれ適切に考慮することで, 基本的な鋼板挿入型ドリフトピン接合の非線形挙動がある程度追跡可能であることが示され

た。

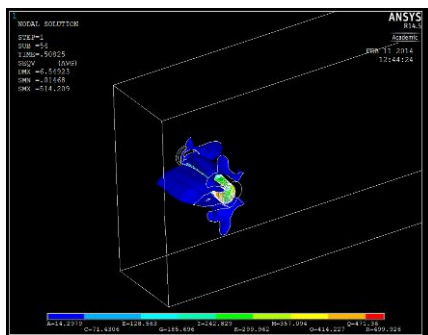


図4 解析における相当応力度分布

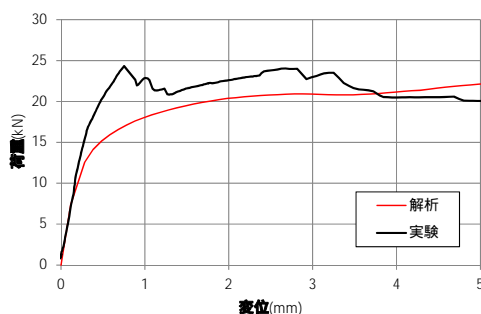


図5 荷重 変位関係

#### 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)

Shinya Matsumoto, Takaaki Ohkubo, Yasuaki Watanabe, Etsuo Kajita, Development of The High-strength and High-ductility Timber Framed Joints using Drift Pins and Fiber Reinforced Plastics, WCTE World Conference on Timber Engineering 2012, 査読無, pp.223-226, 2012

松本慎也, 大久保孝昭, 渡辺康明, 紫外線硬化型 FRP による既存木造住宅の筋かい軸組要素の耐震補強 既存木造住宅の耐震補強工法の開発(その1), 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第77巻, 第672号, pp.221-230, 2012

Shinya Matsumoto and Yoshiyuki Suzuki, Numerical Examples of Traditional Timber Building using Frame Analysis with Semi-Rigid Spring Elements, International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation 2011 (DS'11), 査読無, pp.89-92, CD-ROM, 2011

〔学会発表〕(計 10件)

堀智之, 松本慎也, 鋼釘挿入型ドリフトピン接合による木質構造接合部の非線形解析, 日本建築学会中国支部研究報告集,

第37巻, pp.113-116, 2014.3.2, 発表場所: 広島大学

松本慎也, 大久保孝昭, 堀田和宏, 繊維補強樹脂を用いた鋼釘挿入型ドリフトピン接合の耐力特性に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第37巻, pp.41-44, 2014.3.2, 発表場所: 広島大学

松本慎也, 堀田和宏, 大久保孝昭, 繊維補強樹脂を用いた木質ラーメン接合部に関する研究 その2 骨組構造における耐力評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), C-1(構造III), pp.653-654, 2013.9.1, 発表場所: 北海道大学

堀田和宏, 松本慎也, 大久保孝昭, 繊維補強樹脂を用いた木質ラーメン接合部に関する研究 その1 接合部実験について, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), C-1(構造III), pp.651-652, 2013.9.1, 発表場所: 北海道大学

松本慎也, 原龍徳, 大久保孝昭, 西郷憲司, 紫外線硬化型 FRP を用いた木質ラーメン接合部の開発 その2 耐力評価について, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第36巻, pp.13-16, 2013.3.2, 発表場所: 岡山理科大学

原龍徳, 松本慎也, 大久保孝昭, 西郷憲司, 紫外線硬化型 FRP を用いた木質ラーメン接合部の開発 その1 接合部実験について, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第36巻, pp.9-12, 2013.3.2, 発表場所: 岡山理科大学

原龍徳, 松本慎也, 大久保孝昭, 渡辺康明, 紫外線硬化型 FRP を用いた木質ラーメン接合部に関する研究 その2 柱梁接合部要素実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), C-1(構造III), pp.519-520, 2012.9.12, 発表場所: 名古屋大学

松本慎也, 原龍徳, 大久保孝昭, 渡辺康明, 紫外線硬化型 FRP を用いた木質ラーメン接合部に関する研究 その1 目標性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), C-1(構造III), pp.517-518, 2012.9.12, 発表場所: 名古屋大学

原龍徳, 大久保孝昭, 松本慎也, 渡辺康明, 梶田悦男, 紫外線硬化型 FRP を用いた木質ラーメン接合部に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第35巻, pp.45-48, 2012.3.3 発表場所: 広島工業大学

原龍徳, 松本慎也, 大久保孝昭, 渡辺康明, 谷川清次, 流田靖博, 紫外線硬化型 FRP を活用した既存木造住宅の無筋コンクリート基礎補強工法に関する研究 - 実大スケール試験体による検討 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), A-1(材料施工), pp.1207-1208, 2011.8.25, 発表場所: 早稲田大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.archi.hiro.kindai.ac.jp/laborary/BML/research.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松本 慎也 (MATSUMOTO, Shinya)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号：30325154