

機関番号：15401

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760432

研究課題名 (和文) 紫外線硬化型 FRP による既存木造住宅の耐震補強工法の開発

研究課題名 (英文) Development of seismic strengthening method for existing wooden houses using ultravioletrayed-hardening FRP

研究代表者

松本 慎也 (MATSUMOTO SHINYA)

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：30325154

研究成果の概要 (和文)：

本研究は、戸建て木造住宅に対する施工性を重視した新しい耐震補強技術を開発することを目的として実施するものである。補強材としては、紫外線の照射を受けることで硬化が開始する繊維補強樹脂(FRP)に着目し、この紫外線硬化型 FRP シートを用いて施工性にすぐれた既存木造住宅の耐震補強工法の開発を行った。その結果、筋かい軸組耐力壁の要素耐力 (壁強さ倍率) を目標値としていた 4.0 (kN/m) 以上となる補強仕様を実現することができた。

研究成果の概要 (英文)：

The purpose of this study is to develop the new seismic strengthening method of existing wooden houses. In this study, the fiber reinforced plastics (FRP) are used as the reinforcement material. This FRP hardens by irradiating the ultraviolet ray. In this study, we develop a good workability seismic strengthening method of existing wooden houses by using this FRP sheet. As a result, we were able to develop the new reinforcement design for the braced frame structural wall of the element ultimate strength (the wall ultimate strength factor) as over 4.0(kN/m) which was target value in this study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：建築構造・材料

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：木造住宅, 耐震補強, 紫外線硬化, FRP, 無筋コンクリート

## 1. 研究開始当初の背景

1995年に発生した兵庫県南部地震は、断層による直下型地震であり、マグニチュード

7.3, 最大震度は7という非常に規模の大きな地震であった。建築物の倒壊も多く、その被害の多くは1981年の建築基準法改正以前の

建造物が占め、中でも在来軸組工法を用いた木造住宅の被害は特に深刻だった。また、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震などの地震でも、木造住宅に大きな被害が発生し、我が国では既存木造住宅の耐震安全性を確保するための耐震補強技術を確立することが重要な課題であると言える。現在、国や地方自治体によって、耐震改修に対する助成制度など、住宅の耐震補強の促進に関する様々な取り組みが進められているものの、今もなお補強工法のコスト面や施工性の問題等により戸建て木造住宅の耐震改修には多くの課題が存在する。

本研究は、戸建て木造住宅に対する施工性を重視した耐震補強技術を開発することを目的として実施するものである。補強材としては、紫外線の照射を受けることで硬化が開始する繊維補強樹脂（Fiber Reinforced Plastics：以後FRPと記す）に着目し、この紫外線硬化型FRPシートを用いて施工性にすぐれた既存木造住宅の耐震補強工法の開発を目指す。このようなFRPシートによる建造物の補強実績としては、これまでトンネルの内壁の剥落防止や新幹線の橋脚の補強など、主として土木系のコンクリート建造物に対する適用例は多数存在するものの、木造住宅を対象とした研究実績は少なく、建築の分野でもその技術開発が望まれており、本研究の学術的な意義は大きいと言える。

## 2. 研究の目的

既往の研究成果をもとに、本研究期間内では、既存木造住宅の耐震補強工法における施工技術を定めるための技術データを把握するために、木造軸組の耐力要素に対する面内せん断試験を実施する。この際、FRPシートによって効果的な補強性能を引き出すための仕口接合部の補強工法を検討し、異なる耐力要素の仕様に合わせた補強工法を提案し、その有効性を実験と解析によって検討する。また、本補強材は、柱・土台の木部から基礎コンクリートまでを一体的に補強することが可能な施工法であり、この特徴を生かした補強工法を開発するために、基礎コンクリートまでを含めた試験体を作成し、実験を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 直接引張接着試験

#### ① 試験体及び試験方法概要

図1に試験体の概要図を示す。試験体は、100×100×40mmのスギ材を母材とし、その母材の板目側の中央に40×40mmのFRPシートを施工する。

図2に試験方法の概略を示す。図2には試験体の断面図及び加力方向を示している。表面仕上げを実験因子とし、母材に施工したFRPシートに接着剤によって引張試験用金

属冶具を取り付け、図2に示す矢印方向（面外方向）に加力し、FRPシートに引張力を与える。

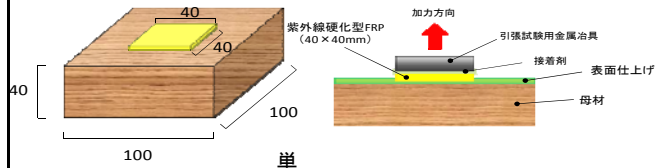


図1 試験体概要

図2 試験方法

#### ② 実験因子

本実験の実験因子及び水準の一覧を表1に示す。

表1 実験因子及び水準

因子	検討項目	水準	概要
表面仕上げ	表面の平滑度の検討	かなな仕上げ	木材を製材直後の状態で施工を行うもの。
		グラインダ仕上げ	表面をグラインダを使用し、目荒らしを行った上で施工するもの。なお、グラインダの目は80番のものを使用し、研磨時間は1分前後とした。
プライマ	使用するプライマの影響の検討	2液型	主剤と硬化促進剤を使用した2液混合のベースプライマを使用するもの。
		1液型	1液のみで使用できるベースプライマを使用するもの。なお、このプライマは湿潤面対応型である。
シートの種類	使用するシートの検討	GC (ガラスクロス)	木材にガラスクロスを接着した場合の接着力の検討。
		VC (ビニロンクロス)	木材にビニロンクロスを接着した場合の接着力の検討。
含水	雨天時の施工の検討	標準	木材の表面含水率が約15%前後の状態をプライマで施工する。
		湿潤	木材の表面が雨水等によって濡れている状態を想定したもの。母材に濡れたウエスを掛け、5分間放置した後に、表面の余剰水分を拭き取り、その後にプライマを塗布する。

また、表2に試験体の一覧を示す。表1の実験因子と水準に基づいて、A～Fの試験体を作製した。なお、それぞれの仕様について、試験体を3体ずつ作製した。

表2 試験体一覧

試験体名	仕様							
	表面仕上げ		プライマ		シート種類		含水率	
	グラインダ仕上げ	かなな仕上げ	1液型	2液型	GC6	VC8	標準	湿潤
A(標準)	○		○		○		○	
B(カナ)		○	○		○		○	
C(2液)	○			○	○		○	
D(VC)	○		○			○	○	
E(湿潤)	○		○		○			○
F(湿潤+2液)	○			○	○			○

#### ③ 試験結果及び考察

図3に各試験体の試験結果を比較したものを示す。

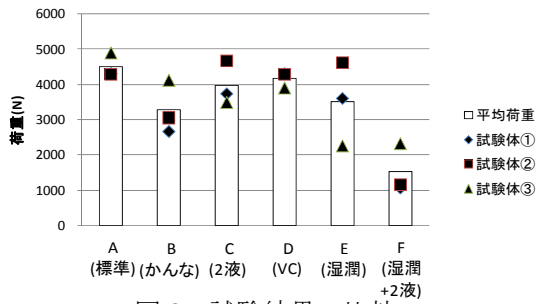


図3 試験結果の比較

以下に、この実験から得られた知見をまとめる。

- 1) グライNDER処理を行うことで、従来のかん仕上げに比べて、最大耐力が向上することが分かった。
- 2) 木材に接着する際に、面外方向の力に関して言えば、シートの種類による差異はほとんど見られない。
- 3) 1液型プライマーと2液型プライマーは、通常使用する際にも、表面が湿潤状態であっても、1液型プライマーのほうが高い性能を示した。

(2) 二面せん断接着試験

① 試験体及び試験方法概要

JCI式2面せん断試験体を参考に、本実験の試験体を作製した。図4に試験体の図を示す。100×100×450mmのスギ材を木口面で突き合わせ、その両側面の2面に50×750mmの試験用のFRPシートを施工する。試験用のFRPシートは、GC6, VC8, GUD12, VC8の2層貼りの4種類で、このシートの種類を実験因子とする。因子ごとに3体ずつ試験体を作製した。また、試験区間以外での剥離防止のため、補強用のFRPシートを施工した。図4に示す矢印方向に加力し、試験用のFRPシートにせん断力を与える。なお、計測項目は荷重、ストローク変位、ひずみである。

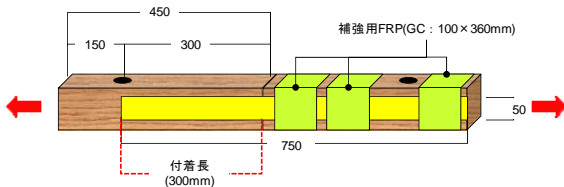


図4 試験体概要図

② せん断付着特性を表す指標の定義

試験結果を考察するうえで、以下の(a)～(d)の項目をせん断付着特性を表す指標とした。この指標の定義は、「コンクリート構造物の補強技術研究会報告書」(日本コンクリート工学協会)を参考とした。

(a) 最大荷重

母材の両面のうち片面(あるいは両面)の

FRPシートが完全に剥離あるいは破断した時に計測した荷重とした。

(b) 最大付着応力

FRPシートと木材間で面内方向に力がかかる場合、その付着力はせん断力に対して抵抗する。その面内方向に発生する最大せん断力を、最大付着応力とする。

(c) 有効付着長さ

木材とFRPシートの間の付着応力が有効に働いている区間の付着長さを表す。

(d) 界面剥離破壊エネルギー

単位付着面積当たりの破壊に必要なエネルギーを表す。

試験結果及び考察

図5に(a)最大荷重、(b)最大付着応力、(c)有効付着長さ、(d)界面剥離破壊エネルギーの試験結果の比較を示す。なお、グラフに示す試験結果の数値は、実験因子ごとにそれぞれ作製した3体の試験体の平均値である。以下に、本実験によって得られた知見をまとめる。

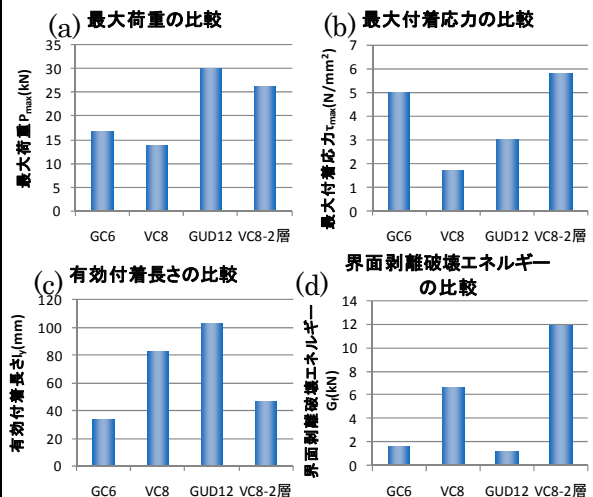


図5 2面せん断接着試験の結果

- 1) 最大付着応力は、シートの種類でいえばGC6が最大となった。また、素材引張試験の結果と比較すると、最大付着応力とシートの種類には、多少の傾向の類似はあるものの、完全な相関性は見られなかった。
- 2) 有効付着長さは、GUD12が最も長く、続いてVC8, GC6の順である。
- 3) 界面剥離破壊エネルギーはVC8が最も大きい。これはシート自体の伸び能力が高いため破壊に大きなエネルギーが必要となるためと考えられる。また、VC8の1層と2層の場合、界面剥離破壊エネルギーと有効付着長さの積が同様なので、破壊に必要な総エネルギーは、ほぼ同一であるといえる。このことにより、破壊がFRP

と木材との接着界面における木部の破壊によって生じていることに起因している  
と推測できる。

### (3) 木造軸組の面内せん断試験

#### ① 実験の概要

本研究では図 6 に示すような、布基礎のコンクリート立ち上がり部を有する筋かい耐力壁を作成し、木造軸組工法住宅の許容応力度設計（監修：国土交通省住宅局建築指導課・木造住宅振興室，企画編集・発行：財団法人日本住宅・木材技術センター）に示される「木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法」に基づいた無載荷式による面内せん断試験を実施した。木造軸組の作成にあたり、築 30 年以上経過した既存木造住宅を安全側に評価する実験となることを意図して、部材断面は、柱 90×90mm（スギ・背割り材），土台 90×90mm（スギ・背割り材），筋かい 30×90mm（ベイツガ），梁 90×150mm（ベイマツ）とした。また、部材の接合部には性能認定金物等は使用せずに、かすがいおよび釘斜め打ちとした簡易な接合部仕様を補強対象とした。また、柱脚部にホールダウン金物は使用せずに、開発する補強仕様が柱の引き抜きにも抵抗することを確認するための加力試験を計画した。

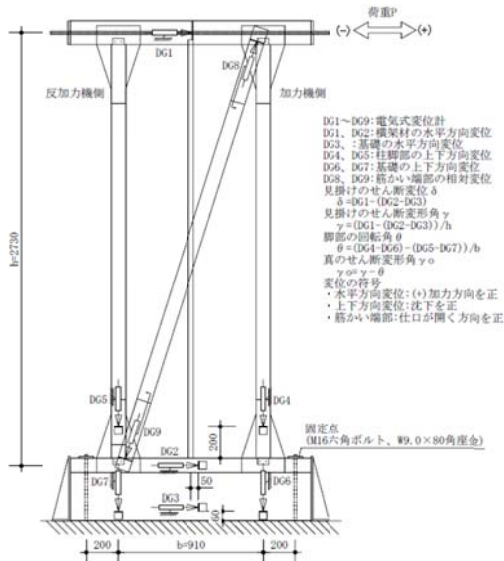


図 6 試験体形状および計測位置

本実験では、上部構造の木造軸組部の補強効果のみを分離して検討するために、軸組補強の試験体での布基礎コンクリート部材は低強度の無筋コンクリートとせず、設計基準強度  $F_c=21\text{N/mm}^2$  とした普通強度のコンクリートを使用し、主筋 2-D13 (SD295)，せん断補強筋 9-D10 (SD295) による配筋とした鉄筋コンクリート部材とした。変位等の各計測位置は、図 6 に示す通りである。

本実験では、補強タイプのことなる 3 種類の補強仕様を検討した。各補強タイプは I 強度抵抗型、II 靱性抵抗型、III 強度・靱性抵抗型であり、表 3 に試験体一覧を示す。各試験体ともに柱仕口補強の仕様は共通とし、筋かい仕口補強の仕様のみを変更している。各試験体の詳細を以下に述べる。

表 3 試験体一覧

試験体名	補強タイプ	柱仕口補強	筋かい仕口補強
試験体 I	強度抵抗型	GC6-1 層	GUD12-1 層
試験体 II	靱性抵抗型	GC6-1 層	VC8-2 層
試験体 III	強度・靱性抵抗型	GC6-1 層	VC8-1 層 (下層) +GC6-1 層 (上層)

試験体 I (強度抵抗型) では筋かい仕口補強には強度の高い GUD12 (補強繊維=G: ガラス繊維, 繊維配列=UD: 1 方向, 繊維目付量=1278g/m<sup>2</sup>) を使用している。

試験体 II (靱性抵抗型) では筋かい仕口補強には靱性の高い VC8 (補強繊維=V: ビニロン繊維, 繊維配列=C: クロス配列 (直交配列), 繊維目付量=840g/m<sup>2</sup>) を使用している。

試験体 III (強度・靱性抵抗型) では筋かい仕口補強には、1 層目に VC8 (補強繊維=V: ビニロン繊維, 繊維配列=C: クロス配列 (直交配列), 補強繊維量=840g/m<sup>2</sup>), 2 層目に GC6 (補強繊維=G: ガラス繊維, 繊維配列=C: クロス (直交配列), 繊維目付量=600g/m<sup>2</sup>) を使用している。

加力方法は、正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は、見掛けのせん断変形角が 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50rad の正負変形時に行い、繰り返し加力は履歴の同一変形段階で 3 回の繰り返し加力を行った。今回の実験では、引張片筋かいの単独性能のみを検討することとし、圧縮側での筋かいの破壊を回避するために、筋かい材が圧縮加力となる時の見掛けのせん断変形角は 1/120rad までとする加力方法を採用した。なお、見掛けのせん断変形角  $\gamma$  は、 $\gamma=(DG1-(DG2-DG3))/h$  で算出した。ここに、DG1, DG2, DG3 は図 6 に示した変位計の計測値 (単位 mm) であり、 $h$  は階高 ( $h=2730\text{mm}$ ) である。

## 4. 研究成果

各試験体の荷重－見掛けのせん断変形角関係の包絡線を図 7 に示す。各試験体を比べると、試験体 I は強度が最もある仕様であり、試験体 II は靱性がある仕様であることがわかる。また、試験体 III は、初期剛性は、試



験体 II に比べ若干あるものの、結果として強度はあまり期待できない結果であった。

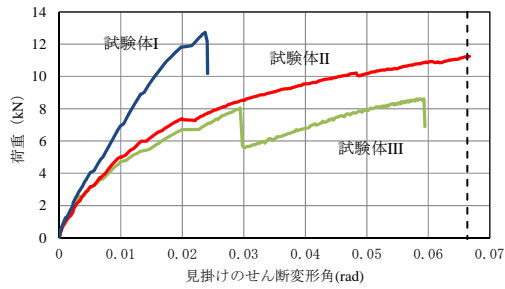


図 7 各試験体の包絡線の比較

また、表 4 に各試験体の最終的な破壊状況を示す。

表 4 最終的な破壊状況

試験体名	位置	状態
試験体 I	筋かい柱脚側 FRP シート	筋かい側定着部 シート剥離
試験体 II	筋かい柱脚側 FRP シート	基礎側定着部 シート破断
試験体 III	筋かい柱脚側 FRP シート	基礎側定着部 シート破断

実験によって得られた耐力特性から算出した各試験体のせん断耐力を表 5 に示す。これらのせん断耐力は完全弾塑性モデルで評価した耐力 (単位 kN) を表し、 $P_y$  は降伏耐力、 $P_u$  は終局耐力、 $P_{max}$  は最大荷重、 $D_s$  は構造特性係数を表す。なお本実験では、各仕様につき試験体数を 1 試験体としたため、試験体のばらつきの影響は考慮できないため、ばらつき係数は 1 として各耐力を算出している。

表 5 基準せん断耐力 (単位 : kN)

試験体名	$P_y$	$(0.2/D_s) P_u$	$2/3 P_{max}$	1/120rad 時 $P$
試験体 I	8.8	3.2	8.5	5.9
試験体 II	6.3	4.3	7.5	4.4
試験体 III	4.3	3.8	5.7	4.1

耐震補強設計に必要な各試験体の要素基準耐力 (壁強さ倍率) (kN/m) および 要素基準剛性 (kN/rad./m) を表 6 に示す。

表 6 要素基準耐力および要素基準剛性

試験体名	基準耐力 (kN/m)	基準剛性 (kN/rad./m)
試験体 I	3.5	744
試験体 II	4.7	459
試験体 III	4.2	533

まとめ

紫外線硬化型 FRP による既存木造住宅の耐震補強工法を開発する目的で、以下の実験を実施した。

- FRP 素材引張試験
- 木材に対する二面せん断接着試験
- コンクリートに対する二面せん断接着試験
- 基礎コンクリート補強試験体の 3 点曲げ試験
- 木造筋かい壁補強試験体の面内せん断試験

1. FRP 素材引張試験では、本実験で用いる FRP (VC: ビニロンクロス, GC: ガラスクロス, GUD: ガラスユニダイレクション) の破断耐力および伸び能力の基礎特性を調査した。2. 木材に対する二面せん断試験および 3. コンクリートに対する二面せん断接着試験では、では、木材およびコンクリートに FRP を貼り付けた際のせん断接着耐力特性を調査し、下地の処理方法 (かんな仕上げ, グラインダー仕上げ) およびベースプライマ (エポシキアクリレート樹脂・2 液混合型プライマ, ウレタン樹脂・1 液型プライマ) の効果等を確認した。4. 基礎コンクリート補強試験体では、低強度無筋コンクリート布基礎梁を FRP によって補強する工法の提案を行い、3 点曲げ試験によって曲げ耐力特性を調査した。5. 木造筋かい壁試験体の面内せん断試験では、基礎コンクリート梁を有する木造筋かい耐力壁試験体を作成し、最大耐力、最大変形性能、塑性変形エネルギー等について検討し、要素基準耐力 (壁強さ倍率)、要素基準剛性を算出し、本工法の耐震補強性能および施工性を検討した。

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 8 件)

- 野崎隼人, 松本慎也, 大久保孝昭, 渡辺康明, 梶田悦男, 谷川清次, 村上雄一, 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, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 34 巻, pp. 25-28,

- 2011年3月, 査読無
2. 松本慎也, 野崎隼人, 藤本郷史, 大久保孝昭, 渡辺康明, 流田 靖博, 既存木造住宅の基礎・軸組一体補強工法の開発に関する研究 その2 紫外線硬化型 FRP 補強による木造軸組の面内せん断試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), C-1 (構造 III), pp. 482-483, 2010年9月, 査読無
  3. 野崎隼人, 松本慎也, 藤本郷史, 大久保孝昭, 渡辺康明, 流田 靖博, 既存木造住宅の基礎・軸組一体補強工法の開発に関する研究 その1 紫外線硬化型 FRP の木材に対する接着性能の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), C-1 (構造 III), pp. 480-481, 2010年9月, 査読無
  4. 松本慎也, 野崎隼人, 池田祐樹, 藤本郷史, 大久保孝昭, 渡辺康明, 梶田悦男, 流田靖博, 紫外線硬化型 FRP による既存木造住宅の耐震補強工法の開発 その7 木造軸組の面内せん断試験, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第33巻, CD-ROM (講演番号122), 2010年3月, 査読無
  5. 池田祐樹, 野崎隼人, 松本慎也, 藤本郷史, 大久保孝昭, 渡辺康明, 梶田悦男, 流田靖博, 紫外線硬化型 FRP による既存木造住宅の耐震補強工法の開発 その6 無筋低強度コンクリート基礎補強試験, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第33巻, CD-ROM (講演番号121), 2010年3月, 査読無
  6. 野崎隼人, 池田祐樹, 松本慎也, 藤本郷史, 大久保孝昭, 渡辺康明, 梶田悦男, 流田靖博, 紫外線硬化型 FRP による既存木造住宅の耐震補強工法の開発 その5 木材に対する接着性能の検証, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第33巻, CD-ROM (講演番号120), 2010年3月, 査読無
  7. 池田祐樹, 富田泰宇, 野崎隼人, 松本慎也, 藤本郷史, 大久保孝昭, 渡辺康明, 流田靖博, 紫外線硬化型 FRP による既存木造住宅の耐震補強工法の開発 その4 無筋低強度コンクリート基礎の補強, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), A-1 (材料施工), pp. 363-364, 2009年8月, 査読無
  8. 富田泰宇, 池田祐樹, 野崎隼人, 松本慎也, 藤本郷史, 大久保孝昭, 渡辺康明, 流田靖博, 紫外線硬化型 FRP による既存木造住宅の耐震補強工法の開発 その3 コンクリート基礎まで連続させた仕口補強の要素実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), A-1 (材料施工), pp. 361-362, 2009年8月, 査読無

[学会発表] (計0件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松本 慎也 (MATSUMOTO SHINYA)  
広島大学・大学院工学研究院・助教  
研究者番号: 30325154

### (2) 研究分担者

研究者番号:

### (3) 連携研究者

研究者番号: