

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20560542

研究課題名(和文) 土壁ラーメン架構耐力特性の解明

研究課題名(英文) Horizontal Resistant Force Characteristic of Rahmen with Mud Plaster Wall

研究代表者

山田 耕司(YAMADA KOJI)

豊田工業高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号：60273281

研究成果の概要(和文)：土壁と土塗小壁が連続することにより構成されるラーメン架構の耐力特性を明らかにするため、土壁、土塗小壁、および、両者により構成されたラーメン架構の加力試験を行った。併せて、壁土の材料試験、数値解析を行った。実験結果として、土壁と土塗小壁が連続することにより構成されるラーメン架構の耐力は、構成要素たる土壁、土塗小壁の耐力の和であらわされることが判明した。

研究成果の概要(英文)：To investigate the restoring force characteristics and failure modes of the Rahmen with 2 mud-plastered walls and a sagging wall, full-scale tests of the walls with and without openings, material tests, and a numerical analysis were carried out. From the results of the full-scale tests, it was found that (1) the strength of the walls is proportional to their length, (2) the superposition principle can be applied to restoring force characteristics in the elasto-plastic range.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：伝統構法, 木造, 土塗り壁, 耐力, ラーメン, 土塗り小壁, 構造解析

## 1. 研究開始当初の背景

(1)木造住宅は我が国の住文化の根幹をなす重要なものである。現在の戸建て住宅は、プレハブ化、ハウスメーカーによる画一化が図られる傾向にある。また、都心部マンションの人气が高まる傾向にある。しかし、「もの」への欲求行動が「発展期」「普及期」を経て「高品位期」に至ることを考えれば、必ず近い将来「住環境の上質志向」が要求される時代が来ると考えられる。「高品位期」に要求される事項は、性能のみならず「文化的背景」

「伝統」「匠の技」といった数字で評価しがたい付加価値である。ここで、我が国固有の住宅構成形式である「伝統構法木造住宅」を現代の要求性能を満足する形で後世に伝え残すことは、日本文化の維持発展に不可欠である以外に、将来の経済的選択肢を残すことにもなる。

(2)伝統構法木造住宅の耐震安全性は、構造解析により十分に検証するレベルには、未だ至っていない。例えば、水平耐力要素(土壁、小壁、仕口のめり込み、など)の特性、床構

面・屋根構面の力学特性、生物劣化の影響、などの個々の実験的研究が行われているが、シミュレーションに活用できるレベルには至っていない。そこで著者らは、土壁を有する架構の実験、解析を行ってきた。特に、幅910mmの土壁および土塗り小壁の実験結果を数値解析により再評価できることを示した。一方で、土塗り小壁と2枚の土壁から構成される「土壁ラーメン架構」では、他者の行った既往の実験結果（詳細は不明）と解析結果に2倍近い誤差が生じた。そのため、「土壁ラーメン架構」の効果を“土壁の構成詳細”が分かる状態で再実験し、解析技術の整合性を検討する必要があった。

## 2. 研究の目的

土塗り小壁と2枚の土壁から構成される「土壁ラーメン架構」に対する実験と数値解析による検証である。対象は、図1のType3に示す幅455mmの土壁、高さ910mmの土塗り小壁、および、これらの単位耐震要素で構成された「土壁ラーメン架構」である。

## 3. 研究の方法

研究は、実大試験、壁土材料試験、および、数値解析からなる。

(1)実大試験は、「土壁ラーメン架構」の要素となる土壁、土塗り小壁、および、「土壁ラーメン架構」(図1)を実大で加力する。試験体高さは、土台から桁まで2730mmである。貫は3段で、断面は18×105mmである。貫穴は柱心に開いているが、貫の幅18mmより数ミリ大きく開けられ、薄い板状のくさびで埋められている。試験体に用いた木材は徳島県産のスギ材で、柱(120mm角)、土台および桁材はE70以上である。柱と土台あるいは桁との仕口は長ほぞ差し込栓打ちで、込栓の位置は柱木口から45mmである。間渡し竹と小舞竹はいずれも割り竹であり、間渡し竹は貫から約150mmの位置で柱に差し込まれている。小舞竹は間渡し竹の間に15mm程度の間隔で入れられ、間渡し竹に沿ってシュロ縄で編まれる。中塗りまで含んだ壁厚さは約70mmである。加力は無載荷式、載荷式のどちらかを選択した(表1)。

加力は、図1の右から左への方向を正方向として、見かけの変形角が1/480, 1/240, 1/120, 1/60, 1/30, 1/15, 1/10radとなるように変形を増大させる変形制御とし、それぞれの変形を2回ずつ繰り返すこととした。

なお、桁と土台の水平変位、土台の鉛直変位、柱頭柱脚の抜けと回転、柱頭柱脚での柱材軸方向のひずみを計測した。

(2)材料試験は、壁土を直径5cm、高さ10cmの円柱に成型し、この円柱に対して、圧縮試験および割裂引張試験を行い、数値解析に用いる荷重-変形特性を得た。

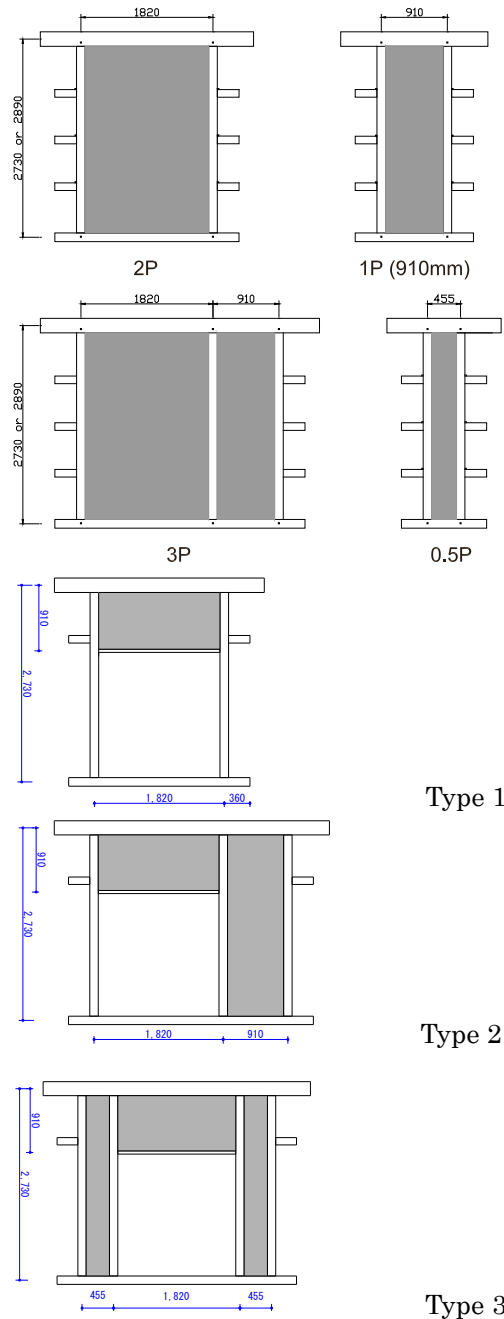


図1 研究対象となる土塗り壁

表1 載荷荷重

Year	Specimen ( Load (kN) )
2008	2P(0), 1P(0), 0.5P(0), 3P(0)
2009	2P(6.3), 1P(7.8), 0.5P(7.8)
2009	Type1(7.8), Type2(7.8), Type3(7.8)

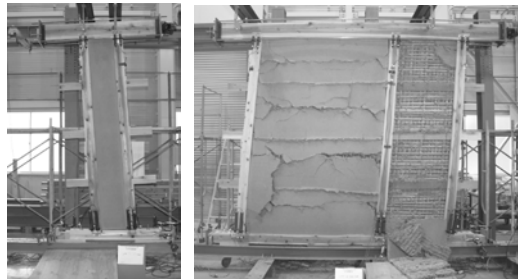
(3)数値解析では、木造軸組を線形フレーム、仕口を弾塑性バネ、土壁部を分散ひび割れモデル、土壁と木造軸組の間に接触要素を取り入れてモデル化し、単調載荷を計算した。

## 4. 研究成果

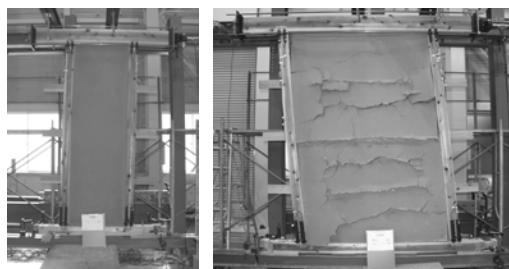
(1)実大試験結果を以下に示す。

実大試験試験体の最終損傷状況を図2、荷重変形関係を図3,4、最大耐力とそのときの

見かけの変形角を表 2 に示す。見かけの変形角は、加力に用いたアクチュエータのストロークを試験体高さ 2730mm で除した値としている。表 2 では、加力方向によって最大耐力が異なる場合、大きい方の絶対値を示している。



(a) 0.5P (d) 3P



(b) 1P (c) 2P



(e) Type 1

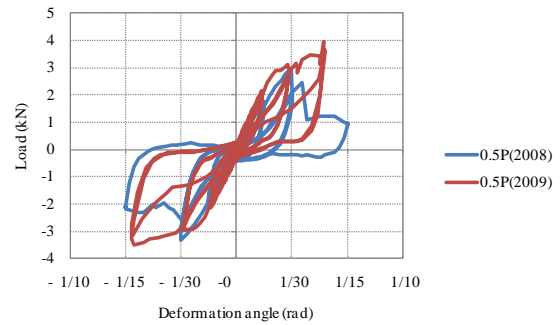


(f) Type 2

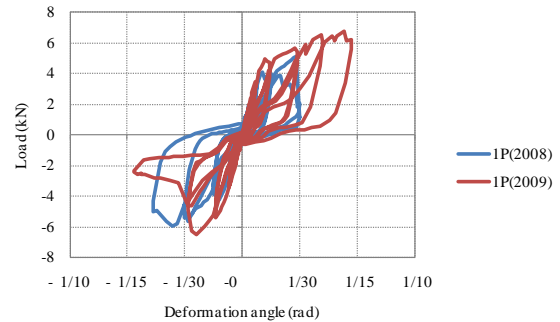


(g) Type 3

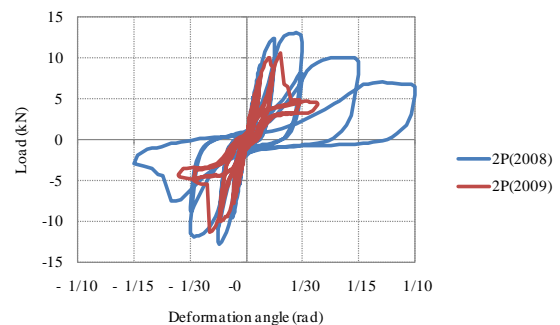
図 2 最終損傷状況



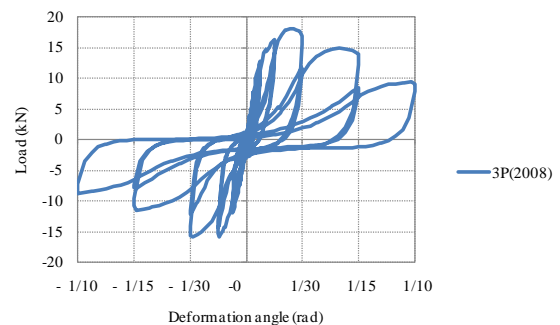
(a) 0.5P 試験体



(b) 1P 試験体



(c) 2P 試験体



(d) 3P 試験体

図 2 荷重と見かけの変形角の関係 (壁要素)

表 2 最大耐力

	0.5P	1P	2P	3P
2008	3.2	5.8	13.1	18.2
2009	3.5	6.5	11.3	—

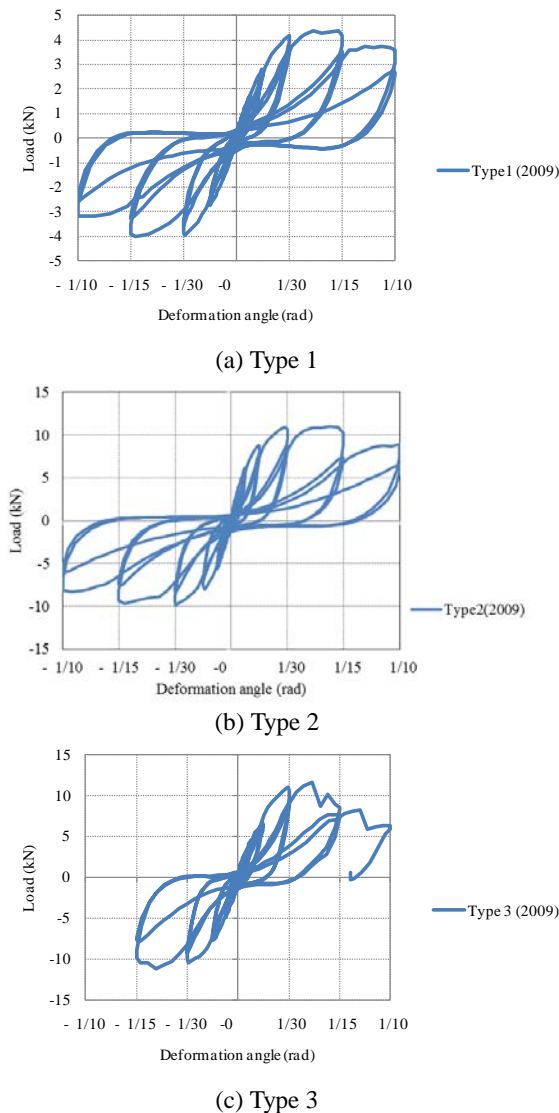


図3 荷重と見かけの変形角の関係

柱脚に損傷が生じることを許す実験としたが、2P および 3P 試験体では 1/10rad まで変形性能を發揮した。一方、0.5P と 1P 試験体では、1/30rad を超える変形時に柱脚が大きく引き抜ける損傷を生じたので、1/15rad 変形までで実験を終了した。

2P 試験体の最終損傷状況では壁土の大きな剥落は見られなかったが、3P 試験体では、右側の 1P 部分全体が大きく剥落した。小舞竹の間隔が小さいために荒壁の表裏の一体性が低かったことが原因と考えられる。0.5P および 1P 試験体では、最大耐力に達した後、土壁部分が損傷を受ける前に柱脚が引き抜けた。今後、特に 0.5P や 1P のような壁幅の小さい試験体では、ロッキング変形を抑えるような設置方法や加力方法の改善が必要である。

次に、Type 3 試験体の骨格曲線を 0.5P 試験体および Type 1 試験体の包絡曲線から推測する (式(1))。

$$\text{Type 3} = \text{Type 1} + 0.5P \times 2 \quad (1)$$

結果を図4に示す。図4中の青線は、0.5P 試験体および Type 3 試験体の包絡曲線の和である。負剛性領域では、包絡曲線の和が Type 3 の骨格曲線より小さくなっているが、ほぼ Type 3 の骨格曲線を模擬しているといえる。

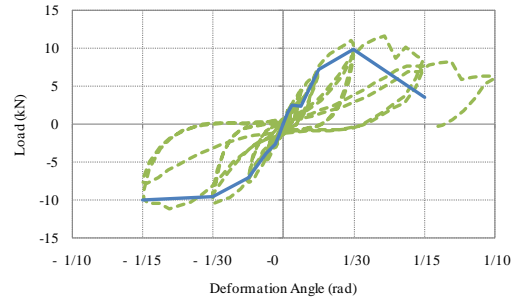


図4 包絡曲線の和による骨格曲線の推定

木造土塗り壁の正負繰り返し加力実験を行った結果、以下のことが確認できた。

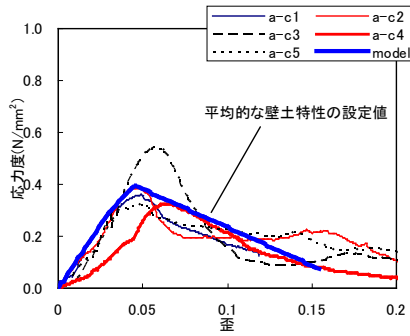
- ・タイロッドや鉛直荷重を作用させない場合、1/30rad を超える変形では柱脚が容易に引き抜ける。ただし、2P 以上の幅があれば、柱脚が引き抜けず持ちこたえることが期待できる。
- ・最大耐力は、壁幅にほぼ比例する。
- ・小舞竹の間隔が小さい場合、荒壁の一体性が不十分となって壁土が大きく剥落する可能性がある。
- ・今回の実験では、土塗小壁と土壁の最大耐力の加算則が成り立つ。

(2) 壁土の材料試験結果を図5,6に示す。壁土材料強度は、年度によって大きく異なった。特に荒壁土は、2倍以上の強度差が生じた。また、中塗り土は、最大圧縮強度は同程度であったが、割裂引張強度は1.5倍の差が生じた。

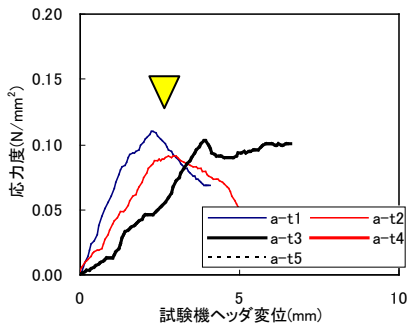
(3) 数値解析に実大試験の追試は、(2) 壁土の材料試験結果を受け行った。結果を図7に示す。図より分かるように、解析結果は、実大実験結果に比して、1caseを除いて初期剛性が小さい(1/3~1/2程度)、1caseを除いて最大耐力が低めである(0.7~0.9倍程度)、破壊後に急速な耐力低下が生じるCaseを模擬していない、などの差を生じている。これは、実大実験の最終破壊形式が「柱脚の引抜け」であり、柱脚の引抜け耐力がばらつくこと、および、引抜け時の荷重-変位曲線を完全弾塑性に置き換えた単純化した解析であったことが原因である。従って、実験自体が、当初の予定した壁土の破壊が主となる破壊形式では無かったため、結果として「土壁ラーメン架構」の耐力機構解明には至らなかった。また、最終変形時には、壁土の小舞からの剥離が生じており、土壁の終局耐力維持

に課題を残した。

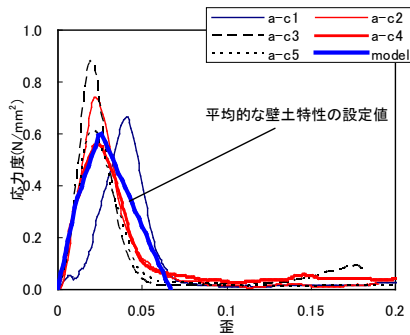
従って、今後は実験方式を変更し、再度実験を行う必要がある。加えて、最終変形時に



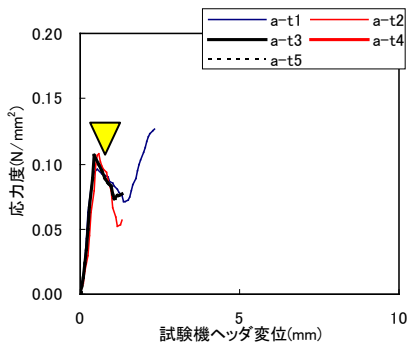
(a) 荒壁土 (圧縮試験)



(b) 荒壁土 (割裂引張試験)



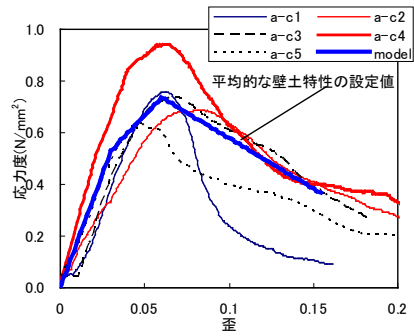
(c) 中塗壁土 (圧縮試験)



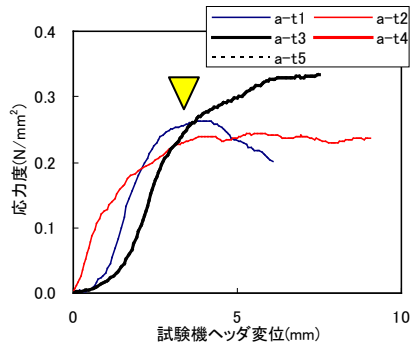
(d) 中塗壁土 (割裂引張試験)

図5 2008年度の壁土材料試験

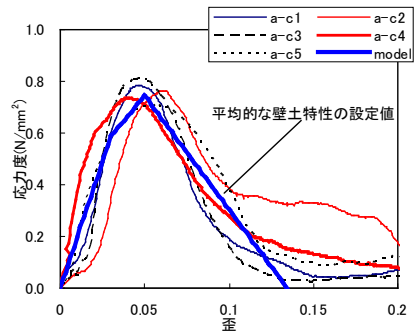
壁土が小舞から剥離しない方法（小舞間隔の増加，引張強度の高い荒壁土の作成法など）を開発する必要がある。



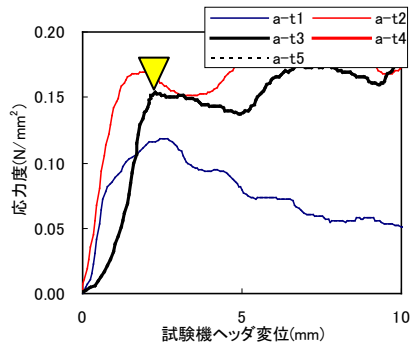
(a) 荒壁土 (圧縮試験)



(b) 荒壁土 (割裂引張試験)



(c) 中塗壁土 (圧縮試験)



(d) 中塗壁土 (割裂引張試験)

図6 2009年度の壁土材料試験



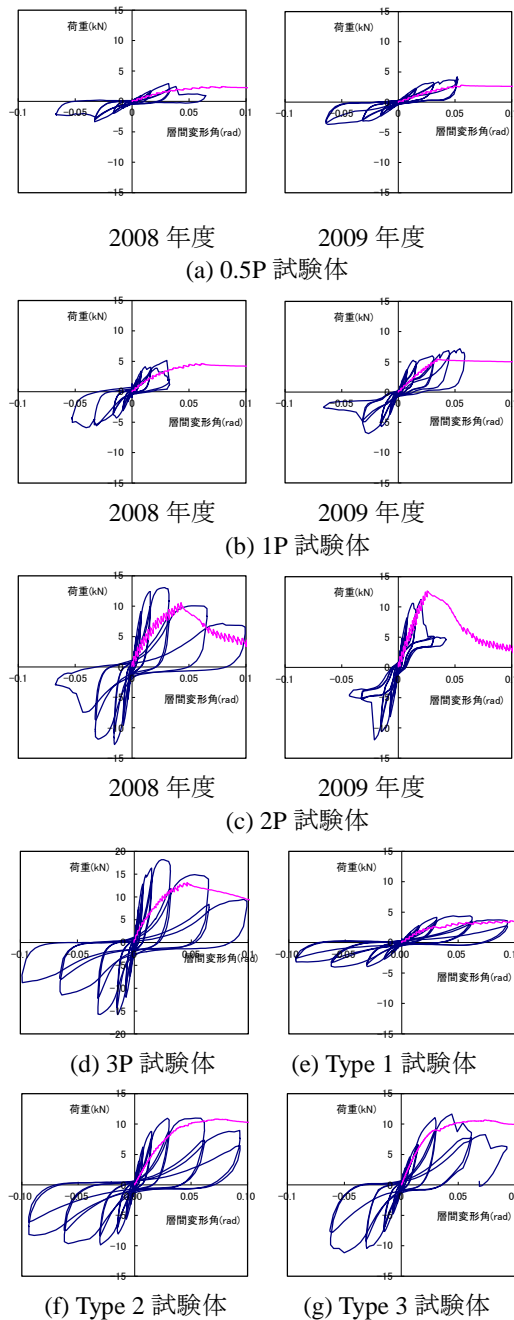


図7 数値解析による比較  
(単調荷重: 数値解析, 繰返荷重: 実大実験)

### 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 0 件)

[学会発表] (計 7 件)

- ① 中治弘行, 山田耕司, 鈴木祥之: 鳥取県の工法による土塗り壁を有する木造軸組架構の耐力特性評価, 第13回日本地震工学シンポジウム(2010)論文集, pp. 4075-4078, 2010. 11

- ② 中治弘行, 山田耕司, 鈴木祥之: 鳥取県倉吉地方の伝統的な土塗り壁の耐震性能評価実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), C-1, pp. 345-346, 2010. 9
- ③ 山田耕司, 中治弘行, 鈴木祥之: 異なる強度を持つ壁土を用いた土塗り壁耐力の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), C-1, pp. 341-342, 2010. 9
- ④ Hiroyuki Nakaji, Koji Yamada, Masato Nakao, Yoshiyuki Suzuki: SEISMIC CAPACITY EVALUATION OF MUD-PLASTERED WALLS CONSIDERING STRENGTH OF MUD, 11th World Conference on Timber Engineering(WCTE 2010), pp. 1023, 2010. 6
- ⑤ 山田耕司, 中治弘行, 鈴木祥之: 壁土の配合と強度に関する定性的傾向, 日本地震工学会・大会 - 2009 梗概集, pp. 332-333, 2009. 11
- ⑥ 中治弘行, 山田耕司, 鈴木祥之: 鳥取県中部地方の工法による土塗り壁の実大せん断加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), B-1, pp. 257-258, 2009. 9
- ⑦ 山田耕司, 中治弘行, 鈴木祥之: 壁土材料試験体の定温乾燥機による乾燥, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), B-1, pp. 459-460, 2009. 9

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.arch.toyota-ct.ac.jp/~kyamad a/20560542.pdf>

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

山田 耕司 (YAMADA KOJI)

豊田工業高等専門学校・建築学科・准教授  
研究者番号: 60273281

#### (2) 研究分担者

中治 弘行 (NAKAJI HIROYUKI)

鳥取環境大学・環境情報学部・准教授  
研究者番号: 80314095

#### (3) 連携研究者

なし