

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：25101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04692

研究課題名(和文) 束で分割された土塗り小壁付木造軸組の復元力特性の実大実験による検証

研究課題名(英文) Verification of Restoring Force Characteristics of Wooden Frames with Strip-Shaped Horizontal Mud-Wall divided by Vertical or Horizontal Timber Member based on Full-scale Tests

研究代表者

中治 弘行 (Nakaji, Hiroyuki)

公立鳥取環境大学・環境学部・教授

研究者番号：80314095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：伝統的構法木造建物の耐震性能評価法を改善するため、土壁部分の「サイズ」すなわち「縦横比」をパラメータとした復元力特性評価方法(以下、評価方法)の妥当性を明らかにすることを目的として、束で分割された垂れ壁及び横架材で分割されて垂れ壁と腰壁が連続した土塗り壁を対象にした実大実験を行い、その復元力特性を評価方法と比較した。評価方法による復元力は実験結果を上回っており、課題が残った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、不足している検証実験をさらに行って、理論的なアプローチの裏付けとすることで、失われようとしている伝統技法の存続を目指すものであるという点で学術的な意義があると考えられる。この研究成果をさらに発展させることにより、古くから残る文化財建物の保全に限らず、同様の技術、構法で、古くて新しい建物の新築が安心して行えるようになることは、日本の木造文化にとっても創造的であり、社会的意義が大きいと言える。

研究成果の概要(英文)：To improve the evaluation method of seismic performance of traditional wooden buildings, full-scale experiments were conducted to clarify the validity of the evaluation method of restoring force characteristics using the "size" or "aspect ratio" of the mud-wall as a parameter. The restoring force characteristics of these walls were compared with those of the evaluation method. The restoring force of the wall by the evaluation method exceeded the experimental results, leaving some issues to be addressed.

研究分野：木質構造

キーワード：伝統的構法 木造建物 土塗り壁 復元力特性 実験検証

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

伝統的構法木造建物の耐震性能では、土塗り壁が重要な役割を果たす。無開口の全面壁に限らず、「土塗り小壁付木造軸組」と呼ばれる垂れ壁または腰壁（小壁と総称される）が付いた開口のある木造軸組架構の復元力特性の貢献も大きい。1995年兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災以後に木造建物の構造特性に関する研究が見直され、伝統的構法や土塗り壁の復元力特性と破壊性状に関する実大実験に基づく研究も大きく進んでおり一定の成果が出ている[1]。一方で、土塗り小壁付木造軸組の設計用復元力特性の算定手法について、実大実験による検証は続いている[2,3]ものの、破壊性状と復元力特性の関連性について構造力学の観点から理論的に考察された例は少なく[4,5]、理論的な検討と合わせて検証実験を継続していく意義は大きい。

例えば、1間幅(2P)の小壁でも、図1のように真ん中に束が1本入って分割されることで小壁部分の復元力が増加する現象が知られている[1]ので、その力学的な意味合いを理論的に検討するとともに、引き続き、多くの実大検証実験によって明らかにすることが重要である。

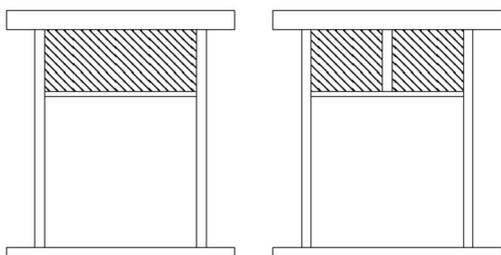


図1 2P 垂れ壁の束の有無

2. 研究の目的

本研究では、伝統的構法木造建物の耐震性能評価法[1]を改善するため、文献[5,6,7]での成果をふまえて、束や横架材で分割された土塗り小壁付木造軸組を対象にした実大実験を行い、土壁部分の「サイズ」すなわち「縦横比」をパラメータとした復元力特性評価方法の妥当性を明らかにすることを目的とする。

通常、小壁付木造軸組の復元力特性の算定では、図2のように小壁の復元力とそれに応じた柱の曲げ変形の影響を合わせて考慮する必要がある[1]。そのため、小壁部分の復元力算定の影響が大きい。文献[5,6,7]では、土壁の復元力について、小壁が全面壁かに関わらず、図3のような4つの破壊モードを仮定して、土壁部分の負担せん断力  $Q_w$  が得られると考えられる[1]。

土塗り小壁の寸法は間取りや階高等、地域による差異が顕著に現れるため、任意の寸法の土壁について取り扱うことができるこの考え方の汎用性は高く、独自性が高いと考えている。束等で分割された個々の土壁部分の復元力がどのように構面全体の復元力に影響するのか、引き続き、実大実験に基づいて検証していく意義は大きい。

本研究では、図4に示す形状の土塗り小壁試験体3体ならびに図5に示す土壁要素について、実大実験を行った。土塗り壁要素試験体の高さは2730mmとし、その他、共通仕様は以下の通りとした。

- ✓ 荒壁厚さ 36 mm、中塗り仕上げ壁厚さ 70 mm
- ✓ 竹小舞の間隔は内法で 45 mm 程度
- ✓ 土台はヒノキ、その他柱・桁等の軸材はスギ
- ✓ 柱と土台、束は 120×120、桁は 120×210、貫は 18×105 (mm)

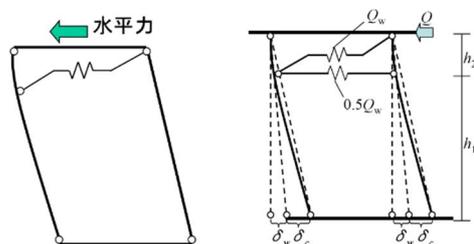


図2 小壁付木造軸組の力学モデル

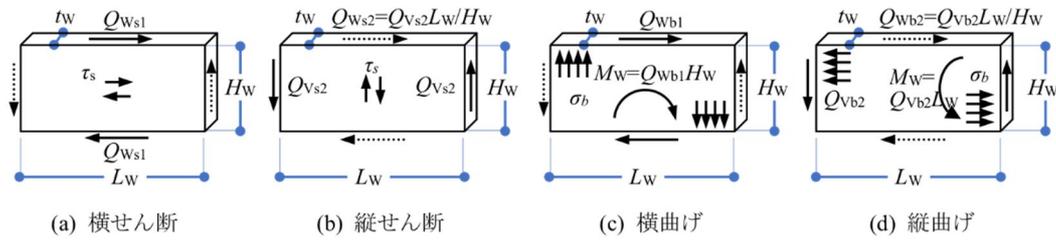


図3 壁の耐力を決定する4つの破壊モード

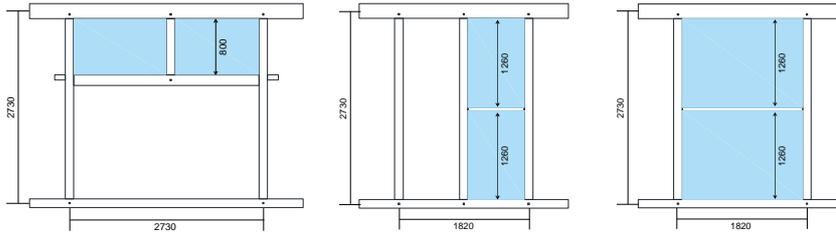


図4 本研究で用いた土塗り小壁試験体

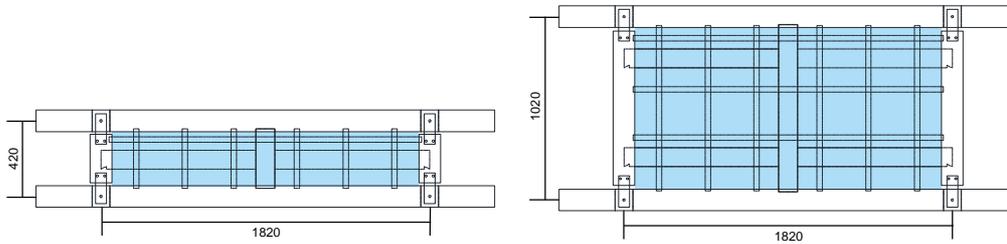


図5 柱仕口をピン接合にした土壁要素試験体

### 3. 研究の方法

面内せん断加力実験の方法は以下の通りとする。

- ✓ 柱脚の長さ仕口が引き抜けることを防ぐため、柱に10 kN程度の軸力を作用させる載荷式とする。作用する水平力は15 kNを超えることはないと思われ、ホールダウン金物等の仕口補強用金物は用いない。
- ✓ 加力は変形制御とする。本学実験室に既設の電動アクチュエータ（容量100 kN、ストローク800 mm）を用いて、桁部の水平変位を試験体高さ（2730 mm）で除した「見かけの変形角」が $\pm 1/480$ 、 $\pm 1/240$ 、 $\pm 1/120$ 、 $\pm 1/90$ 、 $\pm 1/60$ 、 $\pm 1/45$ 、 $\pm 1/30$ 、 $\pm 1/20$ 、 $\pm 1/15$ 、 $\pm 1/10$ 、 $\pm 1/7$  radとなるように増加させる。それぞれの変形を3回経験するように加力する。
- ✓ 桁部の水平変位、土台の水平変位及び鉛直変位、柱仕口の抜けと回転、仕口等接合部付近の木材のひずみ度等を計測する。

実験終了後、文献[1]の方法で復元力を算定し、実験結果と比較した。

### 4. 研究成果

文献[9, 10, 11, 12]に研究成果の一部を公表した。

図4の試験体のうち、束で分割された垂れ壁の試験体では、中塗り部分が全体的に剥落するという損傷が顕著であり、大变形領域では荒壁部分のみが抵抗していたと考えられる。これは試験体作製とりわけ左官作業が冬場におこなわれ、乾燥が思いのほか早く進んだことにより、荒壁と中塗りが上手く付着しなかったためではないかと考えられる。文献[8]の実験結果に基づき推定した荒壁仕上げの試験体から算出した応力度を用いたほうが実験結果をよく再現できることが明らかになった。

図4の試験体のうち、垂れ壁と腰壁が上下に連続する土塗り小壁について実大実験を行った結果、土塗り壁の損傷過程で見られるはずのせん断ひび割れがほとんどみられず、中塗り層がいつに剥落するという損傷の仕方をした。ただし、中塗り層が剥落した後の荒壁層ではせん断ひび割れがみられたため、せん断ひび割れが起こる前には中塗り層は荒壁層から浮き上がり、ほとんど抵抗できていなかったと考えられる。また、文献[1]にて提案されている土塗り小壁の復元力算定法を用いて両試験体の設計用復元力を算定し、実験結果との比較を行った。壁厚さを中塗り仕上げも含めた60 mmで算定すると最大で4割程度復元力が大きく算定された。そのため、実験結果でみられたように、荒壁層のみで抵抗していたと考え、荒壁厚さの36 mmで再度算定を行ったところ実験結果に近い値を算定することができた。

図5の試験体では、軸組の影響特に柱仕口のモーメント抵抗をできるだけ排除したが、算定される算定復元力に近い値に必ずしもならず、さらに本研究で用いた実験方法は軸組の影響を排除しきれているとは言い切れないものであった。そのため、試験体製作や実験方法について改良していく必要がある。

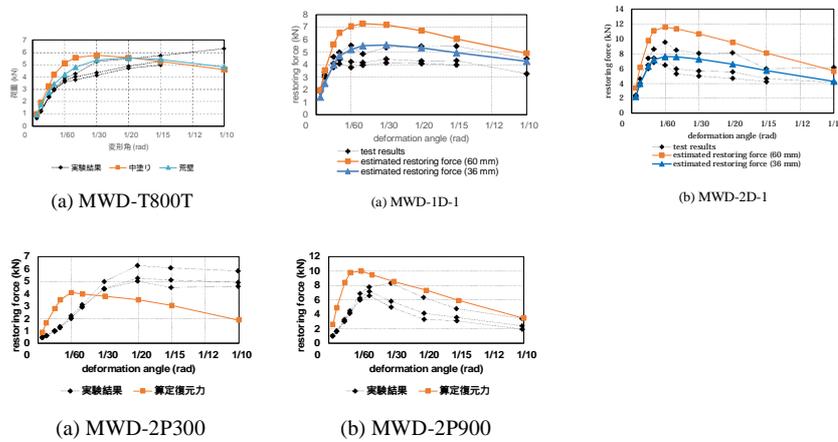


図6 実験結果と算定復元力の比較[9, 10, 11, 12]

#### 参考文献

- [1] 「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」検討委員会：詳細設計法(案)，2014.
- [2] 鎌田輝男，清水秀丸，細入夏加，中治弘行，鈴木祥之，後藤正美：土塗り垂れ壁構面の耐震性能評価に関する研究-パラメータが耐震性能に及ぼす影響-，第12回日本地震工学シンポジウム，pp.774-777，2006.
- [3] 中治弘行，長瀬正，鈴木祥之：土塗り小壁付木造軸組の復元力特性への垂れ壁高さの影響．2017年度日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.279-280，2017.
- [4] 岡本滋史，村上雅英，稲山正弘：破壊モードの異なる2種類の土壁の包絡線から任意壁長の土壁の包絡線を推定する方法とその検証．日本建築学会構造系論文集第74巻第639号，pp.881-888，2009.
- [5] 山田耕司，中治弘行，長瀬正，鈴木祥之：伝統構法木造軸組における土塗り小壁の復元力評価法．歴史都市防災論文集 Vol.11，pp.95-102，2017.
- [6] 中治弘行，長瀬正，山田耕司，鈴木祥之：実大実験に基づく土塗り小壁付木造軸組の復元力特性．歴史都市防災論文集 Vol.11，pp.103-110，2017.
- [7] 中治弘行，鈴木祥之，長瀬正：垂れ壁と腰壁で分割された無開口土塗り壁の復元力特性．歴史都市防災論文集 Vol.12，pp.23-30，2018.
- [8] 鈴木祥之，中治弘行：木造住宅土塗り壁の実大実験による耐震性能の再検討，日本建築学会構造系論文報告集，第515号，pp.115-122，1999.
- [9] 中治弘行・大串来華：束または水平材で分割された土塗り小壁の復元力特性に関する実大実験と理論的検討 その1 実大実験の概要 .日本建築学会大会学術講演梗概集 DVD 構造 III ，pp.645-646，2021 .
- [10] 大串来華・中治弘行：束または水平材で分割された土塗り小壁の復元力特性に関する実大実験と理論的検討 その2 復元力の算定及び実験結果との比較 .日本建築学会大会学術講演梗概集 DVD ，構造 III ，pp.647-648，2021 .
- [11] 大串来華・中治弘行：垂れ壁と腰壁が連続する土塗り小壁の実大実験 .日本建築学会中国支部研究発表会，第45巻，pp.263-266，2022 .
- [12] 大串来華・中治弘行：軸組の影響を排除した土壁パネルの復元力特性に関する実大実験 .日本建築学会大会学術講演梗概集 DVD ，構造 III ，(発表予定)，2022 .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中治弘行・大串来華	4. 巻 13
2. 論文標題 束で分割された土塗り垂れ壁付大断面木造軸組の耐震性能評価実験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 歴史都市防災論文集	6. 最初と最後の頁 91-98
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34382/00009379	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中治弘行、大串来華
2. 発表標題 CLT材による木造床の面内せん断加力実験
3. 学会等名 日本建築学会大会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大串来華、中治弘行
2. 発表標題 実大実験に基づく土塗り大壁真壁併用壁の復元力特性
3. 学会等名 日本建築学会大会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中治弘行、大串来華
2. 発表標題 束または水平材で分割された土塗り小壁の復元力特性に関する実大実験と理論的検討その1
3. 学会等名 日本建築学会大会(東海)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中治弘行・大串来華
2. 発表標題 小壁高さの異なる垂れ壁・腰壁の復元力特性に関する検証実験その1 実大実験の概要
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大串来華・中治弘行
2. 発表標題 小壁高さの異なる垂れ壁・腰壁の復元力特性に関する検証実験その2 設計用復元力の算定
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中治弘行、大串来華
2. 発表標題 束または水平材で分割された土塗り小壁の復元力特性に関する実大実験と理論的検討その2
3. 学会等名 日本建築学会大会(東海)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大串来華・中治弘行
2. 発表標題 垂れ壁と腰壁が連続する土塗り小壁の実大実験
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------