

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04769

研究課題名（和文）大壁造り土壁の耐力・剛性評価

研究課題名（英文）Evaluation of Shear Strength and Stiffness of Mud Walls for Storehouses

研究代表者

松田 昌洋（Matsuda, Masahiro）

信州大学・学術研究院工学系・助教

研究者番号：10528756

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）：大壁造り土壁を試験体とした壁実験により、大壁部分によって耐力壁性能が向上することが明らかとなった。ただし、壁厚と耐力との関係から、ある一定の厚さ以上の大壁部分は耐力を負担できず、耐震性能への影響が小さくなると考えられる。これをふまえ、大壁造り土壁の耐力推定方法を提案し、推定値を既往の研究データと比較した結果、壁厚が異なる場合も本研究の推定方法によって耐力を推定できる可能性が示唆された。また、土蔵造り建造物の耐震性能に関する検討をふまえると真壁部分を考慮するだけでは過小評価となり、大壁部分の土壁が負担する耐力を含めて適切に評価することが重要であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土蔵などに見られる大壁造り土壁を構造的な視点から分析した先行研究は少なく、実施された壁実験も試験体数や仕様が限定的であり、耐震診断に適用できるような詳細な検証はなされていない。本研究では先行研究にはない壁厚をパラメータとした土壁の壁実験を行うことで、壁厚の影響を考慮した大壁造り土壁の耐力、剛性を定量的に評価し、土蔵造り建造物の耐震性能を適切に把握することを目指している。本研究で得られた知見は、日本の文化を継承する土蔵造り建造物の地震対策、耐震補強方法を確立するための重要な学術的提案となり、全国各地に現存する土蔵造り建造物の町並みにおいて地震防災計画を展開する際の基盤としての役割を担う。

研究成果の概要（英文）：The shear tests of mud walls for storehouses revealed that sheathing mud walls improved the performance of shear wall. But, considering the relationship between wall thickness and shear strength, it was assumed that the effect to the seismic performance by the very thick walls was small. I proposed the estimation method of shear strength of mud walls for storehouses and compared the estimated values and previous research data. It was suggested that the shear strength of other walls could be estimated by the method. It was important that the shear strength of sheathing mud walls was evaluated appropriately.

研究分野：建築学

キーワード：伝統木造 土蔵 耐力壁 地震防災

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

土蔵造りの土壁を持つ建物の構造的な性能、特に地震時の建物挙動については研究事例が少なく、土蔵造り建造物の地震対策が進んでいないのが現状である。申請者が被害調査をした2014年11月22日の長野県白馬村を震源とする地震(長野県神城断層地震)では、土蔵の被害が甚大であり、長年継承されてきた地域の建物が数多く失われることとなった。こうした事態は、日本全国どこでも起こりうる可能性がある。例えば、2007年の能登半島地震や2016年10月の鳥取県中部の地震でも土蔵の被害が報告されている。よって、土蔵造り建造物の地震被害を減らすためには耐震診断や耐震補強といった地震対策が必要であり、その具体的な方法を整備していくことが大きな課題である。

この課題に取り組むにあたっては、まず土蔵造り建造物に特有の土壁の耐震性能を定量的に把握することが出発点となる。現状は土蔵造り建造物の土壁(大壁造り大壁)の耐力、剛性、破壊過程などが不明である。そのため、耐震診断では柱が見える一般的な土壁(真壁)として性能が仮定され、建物全体を覆っている厚い土壁を計算上考慮することができない。つまり、大壁造り土壁の耐力、剛性といった耐震性能を明らかにすることが、土蔵造り建造物の耐震性能を適切に評価し、耐震補強などの地震対策を考える上で必要不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地震対策が進んでいない土蔵や町家などの土蔵造り建造物を研究対象として、大壁造り土壁の耐力や剛性といった耐震性能を定量的に評価し、土蔵造り建造物の地震時挙動を明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1) 土蔵造り建造物の土壁構法の整理

壁実験の試験体の種類や詳細を検討するための基礎的な段階として、土蔵造り建造物の実測調査から得られたデータにもとづいて土壁の構法を整理、分析した。主な調査対象は長野県須坂市の土蔵や町家などの土蔵造り建造物である。以上のデータをふまえて、壁実験の試験体パラメータを決定した。

(2) 大壁造り土壁の静的水平加力実験

大壁造り土壁、一般的な真壁(図1)を試験体とした静的水平加力実験を実施し、大壁部分が土壁の耐力・剛性に及ぼす影響を定量的に把握した。試験体は土蔵造り建造物の壁構法をもとに仕様を決定し、大壁部分の壁厚を試験体パラメータとした。実験結果より、大壁造り土壁の破壊過程や荷重変形関係など耐力壁としての性能を定量的に把握し、大壁部分が耐力壁の耐力や剛性へ及ぼす影響を分析した。また、壁実験の加力前に試験体の重量計測、常時微動測定を実施し、各試験体の固有振動数、常時微動レベルの剛性などを収集した。

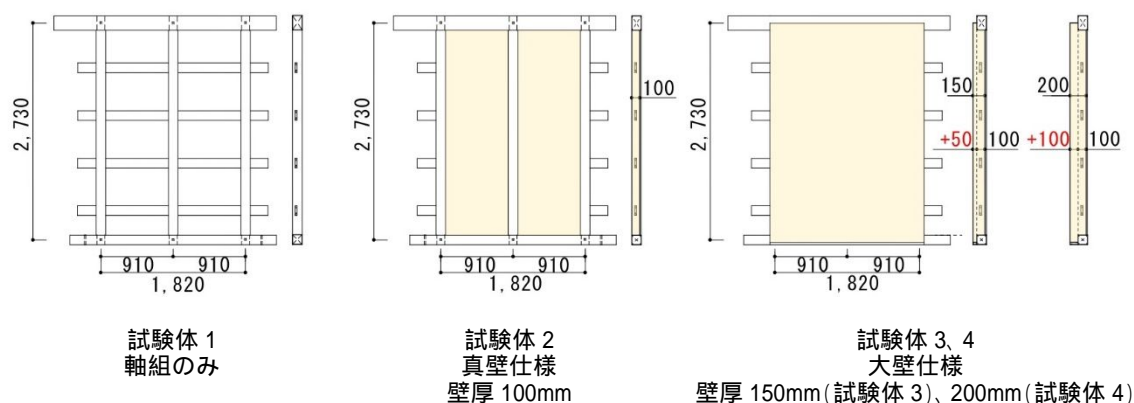


図1 試験体

(3) 土蔵造り建造物の地震時挙動の推定

大壁造り土壁の壁実験の結果をもとに、壁厚や仕様の異なる大壁造り土壁の耐震性能を推定する方法を検討した。推定方法の妥当性については、既往の研究(大壁造り土壁の壁実験)の荷重変形関係と比較することで確認した。次に、提案したの推定方法をもとに実在する土蔵造り建造物の耐力、剛性などの地震時挙動を推定した。推定結果にもとづき、常時微動測定結果との比較、大壁部分が耐震性能に及ぼす影響について分析した。

4. 研究成果

(1) 大壁造り土壁の耐震性能

大壁造り土壁を対象とした構法の整理・分析より、土壁の構成は、内壁側が土壁であるものと板壁となっているものに大別され、壁厚はばらつきはあるものの土蔵の場合はおよそ 200mm、町家の場合は 150mm 程度となっていることが分かった。また、柱は 120~135mm 程度で、貫などその他の軸組や土壁の地下などについても仕様や寸法を把握した。以上のデータをもとに大壁造り土壁の静的水平加力実験の試験体仕様について検討した結果、本研究では内壁側が土壁の大壁造り土壁を対象とした。内壁が板壁の土壁の場合、板壁の耐震性能についても検討が必要であり、大壁部分の壁厚の影響に着目した本研究では扱わず、今後の課題とした。

試験体は図 1 に示す 4 種類（幅 1820mm、高さ 2730mm）で、各 1 体ずつの全 4 体とした。試験体 2 は土壁厚 100mm で屋内側表面のみ中塗りを塗った真壁、試験体 3、4 は試験体 2 の屋外側にそれぞれ 50mm、100mm の土を塗り増し、屋外側表面を中塗りとした大壁とした。

実験はホールダウン金物による柱脚固定式とし、図 2 に示すようにアクチュエータによる正負交番繰り返し静的水平加力を実施した。また、加力前に各試験体の常時微動測定を行った。

荷重変形関係を図 3 に示す。大壁試験体の耐力・剛性は真壁試験体よりも大きくなり、大壁部分によって耐力壁性能が向上した。いずれの試験体も 1/15rad を超えるような大変形領域でも急激な荷重低下は見られない。壁倍率は、試験体 2 が 1.6、試験体 3 が 2.7、試験体 2.6 であった。

試験体 2 では 1/75rad で屋内側中塗り土にせん断ひび割れが発生し始め、1/15rad 以降の加力中に小舞部分での肌分かれによって荒壁全体が脱落した（写真 1）。試験体 3、4 は 1/200~1/150rad で中央の柱に沿って縦方向に発生した大壁面のひび割れを中心に損傷が進行したが、最大変形時でも大壁部分の全体的な脱落は生じなかった（写真 2）。

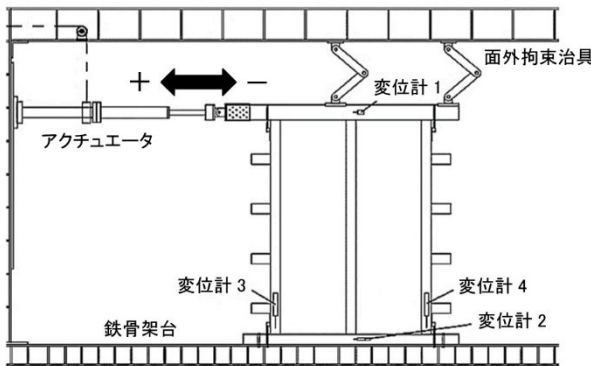


図 2 実験方法

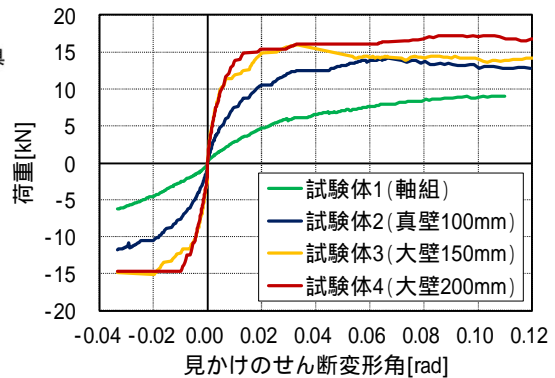


図 3 荷重変形関係

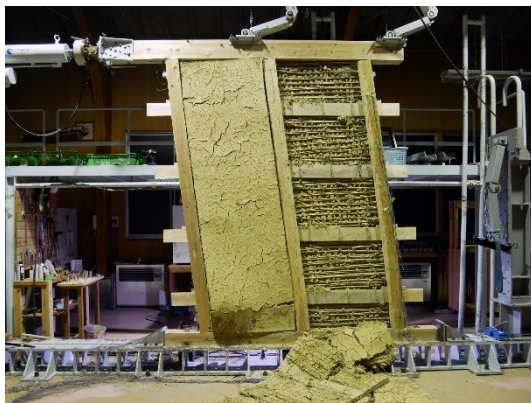


写真 1 試験体 2 最大変形時 (1/8.4rad)



写真 2 試験体 4 最大変形時 (1/7.2rad)

壁厚と耐力との関係を図 4 に示す。壁厚 0mm（軸組のみ）から壁厚 150mm（真壁 100mm + 大壁 50mm）までは壁厚とともに耐力が直線的に上昇する傾向が見られる。一方、壁厚 150mm 以降は大壁部分の壁厚が 50mm から 100mm へ増加しているにもかかわらず勾配が緩やか、あるいは水平となっており、大壁部分の耐力負担が小さくなっていることが分かる。これより、ある一定の厚さ以上の大壁部分は耐力を負担できず、耐震性能への影響が小さくなると考えられる。

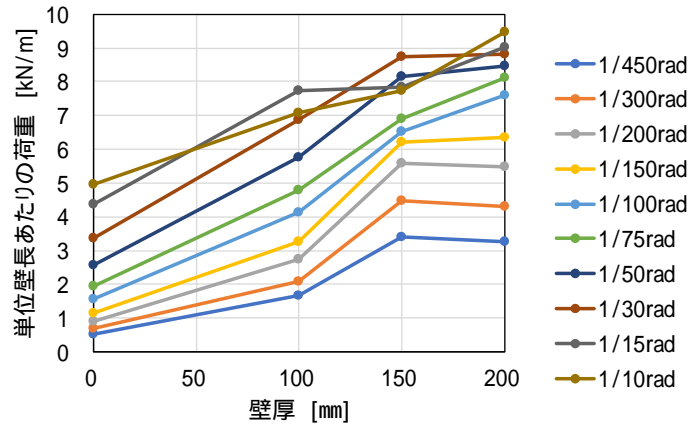


図4 耐力と壁厚の関係

(2) 大壁造り土壁の耐力推定方法

壁実験の結果をもとに大壁造り土壁の耐力推定方法を検討する。大壁造り土壁を図5のように軸組 (P_F)、真壁 ($P_{真}$)、大壁 0~50mm ($P_{大}$)、大壁 50~100mm ($P'_{大}$) の耐力に分けて考え、それぞれの土壁部分に対応する壁厚 1mm あたりの耐力 (図6) を実験結果の荷重変形関係から算出した。図6の耐力に各部分の壁厚を乗じた $P_{真}$ 、 $P_{大}$ 、 $P'_{大}$ と P_F を合計することで大壁造り土壁の耐力を推定した。また、大壁部分の壁厚が 50mm を超える場合は前述の方法で求めた耐力 (推定値 A) とともに、実験結果の傾向をふまえて $P'_{大}=0$ とした耐力 (推定値 B) も算出した。

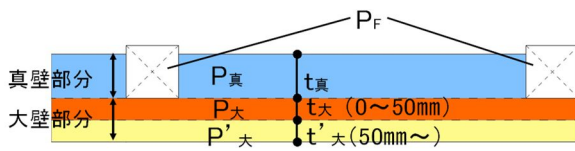


図5 土壁耐力の考え方

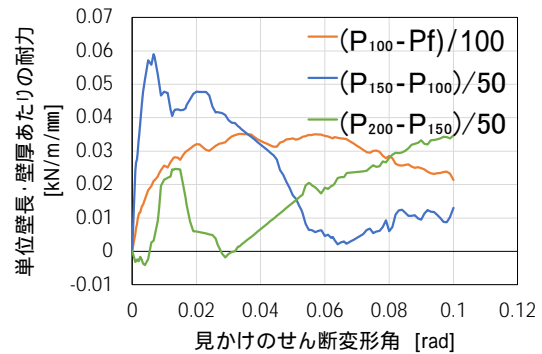


図6 壁厚さ 1mm あたりの耐力

既往の研究 (参考文献 ~) の大壁造り土壁の荷重変形関係を推定した結果を図7に示す。 ~ については 1/10rad まで推定値が実験値と概ね一致した。しかし、 ~ は全体的に推定値が小さくなった。 ~ の壁倍率は本実験の壁倍率と同程度 (真壁 1.5、大壁 2.2) であるが、 ~ の壁倍率は大きい (真壁 2.7~3.0、大壁 4.9~5.9) ことから、使用されていた壁土の強度など材料特性が異なることが推定値と実験値が一致しない要因であると考えられる。一方で、本実験と同程度の性能の材料が使用された大壁造り土壁については、壁厚が異なる場合も本研究の推定方法によって耐力を推定できる可能性が示唆されたこととなる。

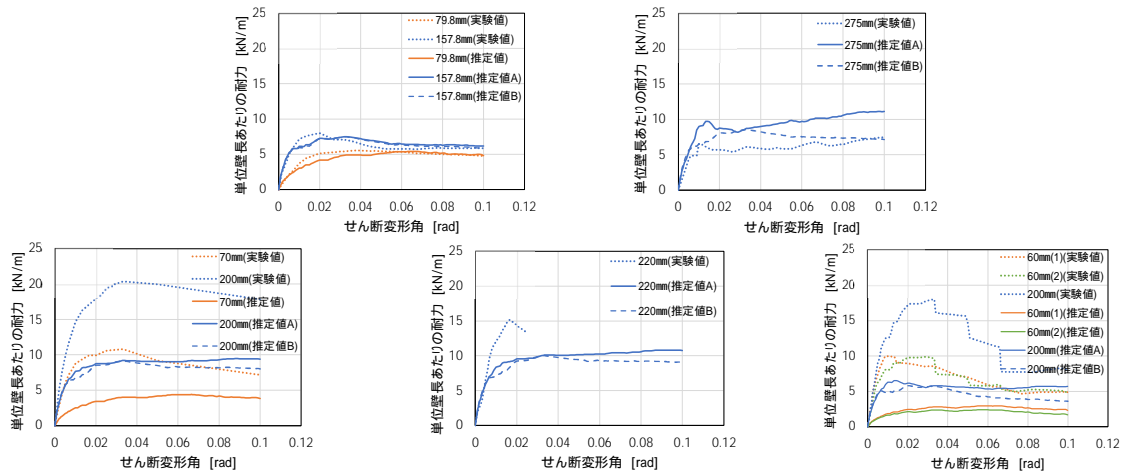


図7 推定値と実験値の荷重変形関係

(3) 土蔵造り建造物の地震時挙動の推定

これまで検討した大壁造り土壁の耐力推定方法を用いて、土蔵造り建造物の耐力・剛性を推定する。対象は写真3、図8に示す木造平屋建て、壁厚118mm(真壁73~82mm、大壁36~45mm)の建物である。建物の実際の壁厚をもとに大壁造り土壁の耐力を推定し、開口部の影響もふまえて荷重変形関係を算出した。なお、壁の常時微動測定から得られた剛性をもとに、同様の推定方法で建物の常時微動レベルの剛性を算出した結果、建物の常時微動測定から求めた剛性に対して15~22%程度の差であり、建物の構造特性を概ね推定できていると考えられる。

図9に対象建物の荷重変形関係を示す。大壁部分を考慮した場合と考慮しない場合(真壁部分のみ)の両者を記載した。大壁を考慮した場合の最大耐力は梁間方向42.0kN($C_0=0.50$)、桁行方向55.7kN($C_0=0.67$)となり、伝統的な木造建築物の中でも高い耐震性能を持つと考えられる。また、真壁部分のみを評価した場合と比較して、最大耐力は1.17~1.18倍、剛性は2.88~3.02倍となった。以上より、土蔵造り建造物の耐震性能は真壁部分を考慮するだけでは過小評価となり、大壁部分の土壁が負担する耐力を含めて適切に評価することが重要であると考えられる。



写真3 対象建物

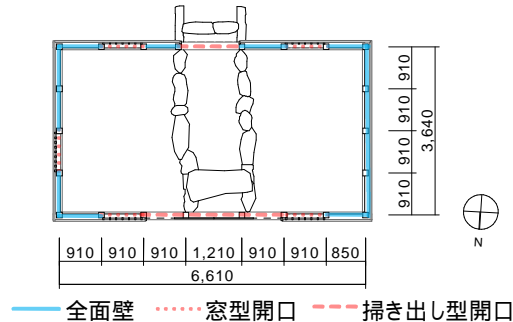


図8 対象建物平面図

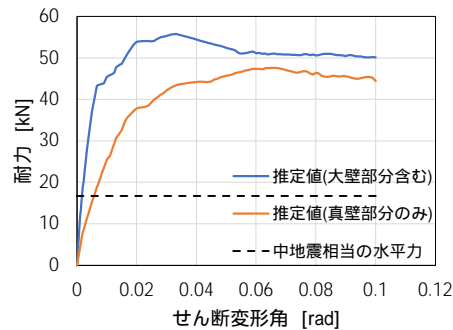
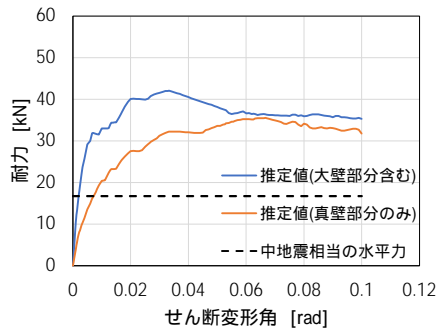


図9 対象建物の荷重変形関係

(4) まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

静的水平加力実験における大壁試験体の耐力・剛性は真壁試験体よりも大きくなり、大壁部分によって耐力壁性能が向上した。ただし、壁厚と耐力との関係から、ある一定の厚さ以上の大壁部分は耐力を負担できず、耐震性能への影響が小さくなると考えられる。

大壁造り土壁の耐力推定方法を提案し、推定値を既往の研究データと比較した。その結果、本実験と同程度の性能の材料が使用された土壁については、壁厚が異なる場合も本研究の推定方法によって耐力を推定できる可能性が示唆された。

土蔵造り建造物の耐震性能は真壁部分を考慮するだけでは過小評価となり、大壁部分の土壁が負担する耐力を含めて適切に評価することが重要であると考えられる。

<参考文献>

- 植島隆介他：愛媛県内子町における伝統的木造建物の耐震性能評価に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.643-644，2020.9
- 千野詠子他：喜多市市の伝統的な土蔵造建造物に用いる大壁の力学特性の解明(その1、その2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.251-254，2022.9
- 横内基他：歴史的町並みの地震防災対策に関する研究(その1~その6)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.461-466，2013.8，pp.277-278，2014.9，pp.491-494，2015.9
- 下西智也他：伝統的な土蔵をモデルとした一構面大壁の静的載荷実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.369-370，2005.9
- 大村早紀他：大垂壁を有する伝統木造軸組架構の耐震性能評価に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集 第81巻 第727号，pp.1479-1489，2016.9

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松田昌洋
2. 発表標題 土壁厚をパラメータとした大壁の静的加力実験
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田昌洋
2. 発表標題 土壁厚をパラメータとした大壁の静的加力実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
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
---------	---------