

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月22日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20360253

研究課題名（和文） 歴史的組積造建造物の保存・再生・活用に向けた耐震改修技術の開発

研究課題名（英文） Development of seismic retrofit techniques for conservation, regeneration, and use of historic masonry constructions

研究代表者

荒木 慶一（ARAKI YOSHIKAZU）

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50324653

研究成果の概要（和文）：歴史的組積造建造物を対象に、意匠を変更することなく低コストで耐震性を高める手法として、組積造壁に金属棒を埋込む補強法を取り上げ、実験及び解析を行い以下の成果を得た：(1)補強煉瓦壁の力学モデルと補強効果評価式を提示した。(2)超弾性合金棒を用いることで、大地震後の強度劣化や残留変形を回避できることを実証した。(3)様々な配合のポリマーセメントモルタルと前処理剤の中から、施工性と構造性能の高い配合を見出した。

研究成果の概要（英文）：For historic masonry constructions, we performed experiments and analyses on seismic retrofit techniques wherein metal bars are inserted and bonded into masonry walls. The following conclusions can be drawn from the research: (1) Numerical models have been developed for assessing the effect of seismic retrofit. (2) It has been demonstrated that the use of superelastic alloys as reinforcing bars is effective to avoid pinching. (3) A set of polymer cement mortars have been selected as a bonding agent for metal bars having high workability and mechanical properties.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2011年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

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：保全技術，組積造

1. 研究開始当初の背景

近年、豊かな街づくりや美しい景観形成を通じた地域の活性化が、我国の都市政策における重要課題として取り上げられている。このような課題に対して、地域の歴史を象徴する文化財的価値を有する建造物の活用は有効な処方箋である。ところが国宝や重要文化

財に指定された建造物は修復等に関する規制や費用の問題のため活用が難しく、手がつけられないまま放置される例が多かった。このような状況を打開するため、より緩やかな規制の下で幅広く保護の網をかけることを目的として、1996年に登録文化財制度が制定された。

このような背景の下、歴史的組積造建造物を文化施設や商業施設として再生・活用する動きが活発化している。しかし、これらの建造物は一般に、経年劣化等のため目地強度が低く、無補強の状態では所定の耐震性能を満足しない。近年、直下型地震が頻発していることや、今後、東海地震等の海洋型巨大地震が発生することが高い確率で予測されている事実を踏まえれば、耐震安全性の確保は歴史的組積造建造物の再生と活用に当たっての最重要課題である。そのため、歴史的組積造建造物の耐震改修技術に関して、体系的な技術開発が強く求められている。

2. 研究の目的

本応募課題では歴史的組積造建造物を対象に、意匠を変更することなく低コストで耐震性を高める手法として、組積造壁に金属棒を埋込む補強法を取り上げ、実験及び解析と補強設計法の提案を行う。

3. 研究の方法

本研究ではこのような背景を踏まえ、以下の事項に関して研究を実施する。

- (1) 金属挿入補強を施した煉瓦壁単体の実験を実施し、その力学モデルと補強効果評価式を提示する。また煉瓦壁の静的繰返し載荷を行い、提案力学モデルと評価式の妥当性を検証する。
- (2) 巨大地震に伴い繰返し発生する余震対策や、地震後の継続使用性を視野に入れ、超弾性合金を用いた金属挿入補強による過剰残留変形発生抑制と繰返し載荷に伴う強度と剛性の劣化の防止について検討する。
- (3) これまで、鋼棒挿入時には有機系接着剤であるエポキシ樹脂を用いられてきた。しかし、有機系接着剤に対しては耐久性、耐火性、コストの面で課題が残る。そのため、本研究では、ポリマーセメントモルタルなど無機系接着剤として用いる手法について検討を行い、前処理やポリマーなど多数の配合の組合せに対して、強度などの構造性能のみでなく施工性を踏まえた実験的検討を行う。

4. 研究成果

- (1) 壁一面に斜め向きに鋼棒を挿入しエポキシ樹脂で接着固定する補強法を適用した煉瓦壁試験体を多数作成し、面外及び面内方向の準静的繰返し載荷実験を実施した。また汎用非線形有限要素解析プログラム DIANA を用いて、実験結果を精度よくシミュレーションできる数値解析モデルを構築した。また、補強効果を簡便に評価できる設計式を提案し、実験結果との比較によりその妥当性を検証した。
- (2) 1/2 スケールのミニチュア煉瓦を用いて、無補強、鋼材棒補強、超弾性合金棒補強を施

した壁体の試験体を多数製作し、準静的繰返し載荷実験と振動台実験を実施した。また、DIANA を用いて実験結果を再現できる有限要素モデルを構築した。実験及び解析を通じて、超弾性合金棒を用いることで、大地震後の強度劣化や残留変形を回避できるとともに、破壊が発生する地震動のレベルを飛躍的に大きくできることを実証した。

(3) 種々の配合のポリマーセメントモルタルや無機系セメントを接着剤や前処理剤として用いた試験体を多数作成し、施工性と構造性能の高い配合を見出すための実験を実施した。その結果、実際の施工で必要とされる10分後のピン挿入の容易性を確保した上で、十分な強度と剛性を有する配合を見出した。また見出した配合を用いた煉瓦部材の面外曲げ実験を実施し、実寸規模の試験体でも十分な強度と靱性を確保できることを実証した。

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9件)

- [1] K. Shrestha, S. Pareek, T. Omori, Y. Araki : Feasibility of self-repair network system in concrete beams reinforced with Cu-Al-Mn superelastic alloy bars, コンクリート工学年次論文集, 採用決定
- [2] K. Shrestha, T. Nagae, Y. Araki: Finite element study on pinning retrofitting technique of masonry walls with opening subjected to in-plane shear load, *ACEE Journal*, Vol. 4, No. 4, pp. 81-96, 2011.
<http://www.acee-journal.pl/1.7.21.Issues.html>
- [3] K. Shrestha, S. Pareek, Y. Araki : Use of polymer-cement pastes as bonding agents for pinning retrofitting of masonry construction, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, pp. 1661-1666, 2011.
- [4] K. Shrestha, Y. Araki, T. Nagae, T. Omori, Y. Sutou, R. Kainuma, K. Ishida: Applicability of Cu-Al-Mn shape memory alloy rods to retrofitting of historical masonry constructions, *Earthquakes and Structures*, Vol. 2, No. 3, pp. 233-256, 2011.
<http://technopress.kaist.ac.kr/?page=container&journal=eas&volume=2&num=3#>
- [5] K. Shrestha, T. Nagae, Y. Araki: Finite element modeling of out-of-plane response of masonry walls retrofitted by inserting inclined stainless steel bars, *Journal of Disaster Research*, Vol. 6, No. 1, pp. 36-43, 2011.
<http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=DSSTR000600010005.xml>

- [6] Y. Araki, T. Endo, T. Omori, Y. Sutou, Y. Koetaka, R. Kainuma, K. Ishida: Potential of superelastic Cu-Al-Mn alloy bars for seismic applications, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 40, pp. 107-115, 2011. DOI: 10.1002/eqe.1029
- [7] 多幾山法子, 長江拓也, 前田春雄, 喜多村昌利, 吉田亘利, 荒木慶一: ステンレスピン挿入による歴史的煉瓦造建築物の耐震補強—その1: 補強煉瓦壁の繰返し面外曲げ実験, 日本建築学会構造系論文集, 第635号, pp. 167-176, 2009.
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007030270>
- [8] 荒木慶一, 木村寛之, 聲高裕治, 大森俊洋, 須藤祐司: 建築用ダンパー材料としてのCu-Al-Mn超弾性合金の機械的性質, 銅と銅合金, Vol. 47, pp. 73-77, 2008.
- [9] 多幾山法子, 長江拓也, 前田春雄, 荒木慶一: ステンレスピンにより耐震補強された組積壁の面内曲げせん断特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, pp. 1621-1626, 2008.
- [学会発表 (国際学会, アブストラクト審査)] (計5件)
- [1] K. Shrestha, T. Nagae, Y. Araki: Finite element study on pinning retrofitting technique of masonry walls with opening subjected to in-plane shear load, Proceedings of the 7th International Conference on Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures, Krakow, Poland, June, 2011.
- [2] K. Shrestha, T. Nagae, Y. Araki: Finite element modeling of out-of-plane behavior of masonry walls retrofitted by inserting steel pins, Proceedings of the 12th Japan-Korea-Taiwan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures, Kaoshiung, Taiwan, November, 2010.
- [3] Y. Araki, T. Endo, T. Omori, Y. Sutou, Y. Koetaka, R. Kainuma, K. Ishida: Development of medium-scale Cu-Al-Mn superelastic alloy bars, Proceedings of the 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Macedonia, September, 2010.
- [4] K. Shrestha, I. Ibarada, T. Nagae, T. Omori, Y. Sutou, Y. Araki: Shaking table tests on half-scaled masonry walls retrofitted by Cu-Al-Mn SMA rods subjected to out-of-plane flexure, Proceedings of the 5th World Conference on Structural Control and Monitoring, Tokyo, Japan, July, 2010.
- [5] N. Takiyama, T. Nagae, H. Maeda, M. Kitamura, N. Yoshida, Y. Araki: Cyclic

out-of-plane flexural behavior of masonry walls rehabilitated by inserting stainless pins, Proceedings of the 14th World Conference of Earthquake Engineering, Beijing, China, October, 2008.

- [学会発表 (国内学会, 審査無)] (計11件)
- [1] 小澤雅樹, 斎藤舞, 荒木慶一, 吉田亘利, K. Shrestha, 福本早苗, 山根政夫: 中村式鉄筋コンクリート造による壁体の面内せん断実験(その1) 日本建築学会大会学術講演梗概集, 発表予定, 2012
- [2] 斎藤舞, 荒木慶一, 吉田亘利, K. Shrestha, 福本早苗, 山根政夫, 小澤雅樹: 中村式鉄筋コンクリート造による壁体の面内せん断実験(その2) 日本建築学会大会学術講演梗概集, 発表予定, 2012
- [3] K. Shrestha, S. Pareek, Y. Araki: Bending tests on pinning-retrofitted masonry beams with use of polymer cement pastes as bonding agents, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 961-962, 2011
- [4] K. Shrestha, T. Nagae, Y. Araki, N. Takiyama, I. Ibarada: Numerical modeling of in-plane shear behavior of un-reinforced masonry walls under monotonic loading (Part 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 893-894, 2010
- [5] 吉田亘利, 長江拓也, 前田春雄, 福本早苗, 多幾山法子, K. Shrestha, 茨田一平, 荒木慶一: ステンレスピンにより耐震補強された開口部付組積造壁の繰返し面内曲げせん断実験(その1) 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 963-964, 2009
- [6] 多幾山法子, 吉田亘利, 長江拓也, 前田春雄, K. Shrestha, 茨田一平, 荒木慶一: ステンレスピンにより耐震補強された組積壁の繰返し面内曲げせん断特性(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 965-966, 2009
- [7] 茨田一平, 吉田亘利, 長江拓也, 前田春雄, 福本早苗, 多幾山法子, K. Shrestha, 荒木慶一: ステンレスピンにより耐震補強された開口部付組積造壁の繰返し面内曲げせん断実験(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 967-968, 2009
- [8] K. Shrestha, 長江拓也, 荒木慶一, 多幾山法子, 茨田一平: Numerical modeling of in-plane shear behavior of un-reinforced masonry walls under monotonic loading, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 969-970, 2009
- [9] 木村寛之, 遠藤俊貴, 荒木慶一, 吉田亘利: Cu-Al-Mn超弾性合金板材・線材・より線に関する繰返し載荷実験(その

- 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp. 663-664, 2008
- [10] 吉田亘利, 多幾山法子, 長江拓也, 前田春雄, 喜多村昌利, 荒木慶一: ステンレスピンにより耐震補強された組積壁の繰り返し面外曲げ特性(その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 1009-1010, 2008
- [11] 多幾山法子, 吉田亘利, 長江拓也, 前田春雄, 喜多村昌利, 荒木慶一: ステンレスピンにより耐震補強された組積壁の繰り返し面内曲げせん断特性(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp. 1011-1012, 2008

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 組積造の壁体の補強方法
発明者: 荒木慶一, 前田春雄
権利者: 株式会社 構造総研
種類: 特許
番号: 特願 2009-168845
出願年月日: 21年7月17日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計1件)

名称: 組積造の壁体の補強方法
発明者: 荒木慶一, 前田春雄
権利者: 株式会社 構造総研
種類: 特許
番号: 特許第 4659107号
取得年月日: 2011年1月7日登録
国内外の別: 国内

[その他]

[講演] (計4件)

- [1] 荒木慶一: 伝統木造・歴史的煉瓦造建築物の耐震改修, 京都府建築士会, すべての建築士のための総合研修, 2011
- [2] 荒木慶一: 巨大地震に備える—地震動レベルの増大と新材料の利用による建築物の高耐震化—, 日本建築学会東北支部構造部会, 2010
- [3] 荒木慶一: 建築構造物への材料応用動向と形状記憶合金用途の可能性, 日本機械学会分科会 P-SCD358, 医療・福祉・環境における形状記憶合金の高機能化および応用に関する分科会, 2009
- [4] Y. Araki: Seismic retrofitting strategies for historic unreinforced masonry buildings, Kick off Symposium of KU-HSE GCOE Mumbai base on Integrated Disaster Risk Management: Hot Spot Mega City, Mumbai, India, March, 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒木 慶一 (ARAKI YOSHIKAZU)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 50324653

(2) 研究分担者

福本 早苗 (FUKUMOTO SANAE)
武庫川女子大学・生活環境学部・教授
研究者番号: 20434938
高木 次郎 (TAKAGI JIRO)
首都大学東京・都市環境学研究科・准教授
研究者番号: 90512880
サンジェイ パリーク (SANJEY PAREEK)
日本大学・工学部・准教授

(3) 連携研究者

長江 拓也 (NAGAE TAKUYA)
独立行政法人防災科学技術研究所・兵庫耐震工学研究センター・主任研究員
研究者番号: 90402932