

煉瓦壁モデルの耐震補強効果に関する静的載荷実験

The static loading test on earthquake effect of reinforcing the brick wall model.

山口和輝¹・Reza Amiraslanzadeh²・池本敏和³・深田宰史⁴・宮島昌克⁵・村田晶⁶

Kazuki Yamaguchi, Reza Amiraslanzadeh, Toshikazu Ikemoto,
Saiji Fukada, Masakatsu Miyajima and Akira Murata

¹金沢大学 修士課程学生 大学院自然科学研究科 地震工学研究室 (〒920-1192 金沢市角間町)

Master Course Student, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

²金沢大学 博士課程学生 大学院自然科学研究科 地震工学研究室 (〒920-1192 金沢市角間町)

Doctor Course Student, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

³金沢大学 講師 理工研究域環境デザイン学系 地震工学研究室 (〒920-1192 金沢市角間町)

Associate Professor, School of Environmental Design, Kanazawa University

⁴金沢大学 准教授 理工研究域環境デザイン学系 構造研究室 (〒920-1192 金沢市角間町)

Associate Professor, School of Environmental Design, Kanazawa University

⁵金沢大学 教授 理工研究域環境デザイン学系 地震工学研究室 (〒920-1192 金沢市角間町)

Professor, School of Environmental Design, Kanazawa University

⁶金沢大学 助教 理工研究域環境デザイン学系 地震工学研究室 (〒920-1192 金沢市角間町)

Assistant Professor, School of Environmental Design, Kanazawa University

As we know large numbers of URM structures around the world have not been designed for seismic loads and structural walls of these buildings were primarily designed to resist gravity loads. Therefore, moderate to strong earthquakes can devastate entire cities or villages resulting in massive death toll and cause extensive losses. Hence, retrofitting of these structures and improving their strength are significant and vital. There are different types of retrofitting methods for rehabilitation of brick walls. In this paper among these several types of retrofitting techniques, we tried to model center core method to see how efficient it could be on reinforcing brick walls against shear forces. For this reason lateral cyclic tests carried out on masonry panels in order to specify seismic parameters of brick panels. Comparisons were made along the results of seismic analyses of two types of masonry panels. The results evidence that existing of fiber concrete columns have positive effect on the shear resistance of the walls.

Keywords : *Shear stress, Horizontal load test, Retrofit*

1. はじめに

組積造構造物は、用いる組積材料の差や構造形式の違いから様々なタイプのものがあり、現在でも世界人口の約6割の人々が組積造構造物に居住している。しかしながら、組積造構造物の分布と地震の多発地帯の分布が重なるため、地震のたびに多くの組積造構造物が倒壊し、多くの人が犠牲となっている¹⁾。

日本をはじめ、先進国では組積造構造物は鉄骨や鉄筋コンクリートなどで補強されているため、地震に対

しての抵抗力がある。しかしながら、途上国での組積造構造物はノンエンジニアドと呼ばれ、耐震設計をあまり考慮せずに造られ、品質管理もなされていないため、地震に対して脆弱であり、一度倒壊すると復元が難しい状況にある。さらに、2012年の中国南西部地震、2013年のイラン南西部地震、中国四川地震、パキスタン地震により多くの組積造構造物が被害を受けている。

今後、このような組積造構造物の耐震性を向上させない限り、地震のたびに繰り返される組積造構造物の崩壊被害を減少させることは困難である。先進国で提案されている対策法は途上国にも適用できるが、主要な建材や建築技術が国によって違うことを考慮する必要がある。また途上国では財政資源が乏しいため、経済的に実行可能な技術を用いた補強対策の開発が必要である。

本研究の目的は、特に途上国で建造されている組積造構造物の地震時の破壊の解明、さらには経済的に豊かではない途上国でも入手できるような素材で安価に補強する補強法の開発を目標とする。なお、今回の補強法の材料や施工技術はイランを基準としている。また歴史的建造物のほとんどは組積造構造物であることから、いかに外観を保護しつつ地震に対しての耐震性を向上させるかが本研究の特徴である。

2. 組積造の地震時被害軽減のための補強法

組積造構造物を補強するには、引張力を向上させる補強材で途上国でも入手可能でかつ安価である必要がある。本研究では日本の普通コンクリートの中に鋼繊維ファイバーを混入したものを補強材として用いる²⁾。

煉瓦組積造の壁体供試体における、煉瓦とモルタルの部材は交互に積み重なっている状態にある。このような一体性に欠ける構造物は異なる部材と接している面が弱くなる。煉瓦とモルタル間の接着強度が、煉瓦とモルタル自身の強度より小さくなり、結果的に部材強度以下の力によって破壊に至る。

本研究ではイランで一般的な手法の煉瓦積みの手法に着目し、一段に煉瓦の長手方向と小口方向を交互に積み上げるフランドル積みとした³⁾。本研究における煉瓦壁は中国原産の煉瓦を輸入し、写真1で示すような供試体を作製した。縦方向に空洞があり、この空洞に繊維補強コンクリートを打設し、煉瓦壁の一体化を図り耐震性を向上させたものである。イランでは煉瓦壁に工具等で穴を設けることは可能であり、空洞が設けられていない建物にもこの補強法は適用できると考えられる。



写真1 作製した煉瓦壁供試体

3. 組積造壁体の静的繰り返し水平載荷試験による対策効果

本研究では組積造構造物を対象とし、現地での配合及び煉瓦を用いて組積造壁体を作成し、静的繰り返し水平載荷試験を行う。

静的繰り返し水平載荷試験は図1,2のようなものである。組積造壁の要素へ屋根荷重及び上階の荷重を想定した鉛直荷重 V を圧縮試験機によって加え、地震動を想定した水平荷重 H を供試体面内に試験機によって加えることで、組積造壁の構造挙動を実験的に明らかにする。本試験においては無補強供試体2体と補強供試体2体の計4体（供試体：縦1260mm×横1260mm×厚さ370mm）を準備し、各々1階建て想定・2階建て想定で試験を行った。鉛直荷重は1階建て組積造構造物の場合は 0.1N/mm^2 の鉛直荷重が壁に加わると仮定し、2階建て組積造構造物の場合は 0.2N/mm^2 の鉛直荷重が壁に加わると仮定し、表2に示す鉛直荷重を圧縮試験機によって加える。

水平力の加力条件は図3（変位計②）に示すように、水平変位を徐々に大きくし、ひび割れ時の水平荷重、水平変位を測定する。

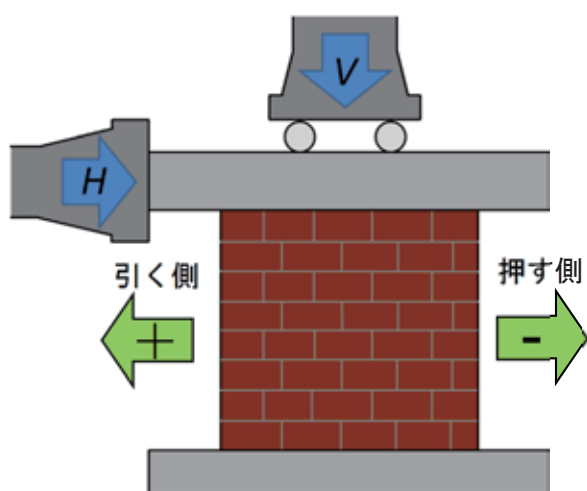


図1 静的繰り返し水平載荷試験のモデル

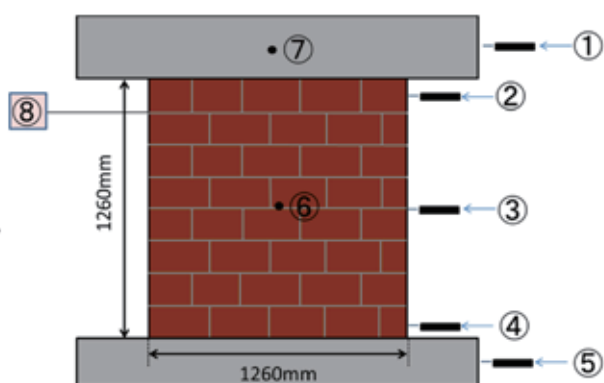


図2 変位計取り付け位置

表1 変位計取り付け位置

面内方向	①	上部治具
	②, ⑧	煉瓦上部
	③	煉瓦中部
	④	煉瓦下部
面外方向	⑤	下部治具
	⑥	上部治具
	⑦	煉瓦中部

表2 鉛直荷重加力条件

		鉛直荷重 (kN)
1階建て想定	無補強	32.68
	補強	39.60
2階建て想定	無補強	72.76
	補強	86.60

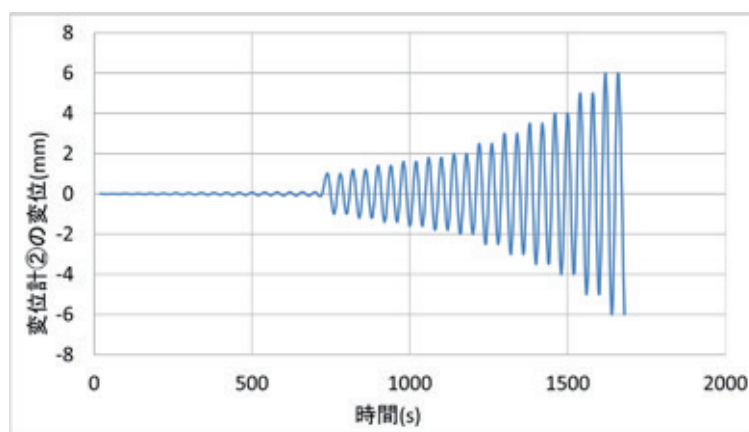


図3 水平力の加力条件

各供試体の破壊時の様子を写真2～5に示す。写真からわかるように、これらのモデルでは破壊形状に目立った違いは見られなかったが、供試体はせん断破壊ではなく、曲げ破壊が先行して発生することが分かった。また、破壊は全てせん断力の最も大きな下部目地部分で生じていることから、目地が弱点になることが再確認できる。

次に、最初にひび割れが生じた時点の水平変位と水平荷重、延性について表3に示す。この表から補強供試体は無補強供試体よりも大きな荷重に耐えられることが分かった。水平変位に関しても、補強供試体は無補強供試体に比べ大きな変位にまで至ることが分かった。また、2階建て想定の方が1階建て想定に比べ、大きな荷重に耐えることができた。

次に、ピストン変位計②に着目する。本試験においては図2における②ピストン変位計が最も重要と考え、②ピストン変位計の動きについて考察する。また、これらのグラフにおける＋方向、－方向は図1で示した方向である。各試験における変位と水平力の関係を図4～7に示す。これらから補強供試体の図5,7は無補強供試体の図4,6に比べ水平力に対しての変位が抑制されていることが分かる。このことから、補強供試体は無補強供試体に比べ水平力に対する抵抗性が高いと考えられる。

次に、サイクル毎の最大値の関係を図8、図9に示す。図8は1階建て想定における無補強供試体、補強供試体の変位と水平力の関係を示したものであり、押す側において最大で約42%の強度向上がみられた。また、図9は2階建て想定における無補強供試体、補強供試体の変位と水平力の関係を示したものであり、押す側において最大約33%の強度向上がみられた。

さらに、ASTMの式(1)、式(2)に従い、試験により得られた値から供試体の延性を算出する。 Δ_u は本来ならば、 $P_{peak} \times 0.8$ と図10の青線グラフとの交点の変位（ χ 座標）を採用しなければならないのだが、本試験のような供試体形状においては、水平力が一定の値を超えると力が正常に加わらないrocking現象が起こる。その際、rocking現象が生じた値を Δ_u として採用するため、 $\Delta_u = 3\text{mm}$ として計算を行った。式(1)、式(2)を用いて求めた延性を表3に示す。この結果から、1階建て想定においては0.60%とほとんど補強による延性の向上は認められなかったが、2階建て想定においては25.60%もの延性の向上が認められた。



写真2 無補強供試体 (1階建て)



写真3 補強供試体 (1階建て)



写真4 無補強供試体 (2階建て)



写真5 補強供試体 (2階建て)

表3 静的繰り返し水平载荷試験の結果

		供試体重量 (kN)	ひび割れ水平荷重 (kN)	ひび割れ水平変位 (mm)	延性	延性の増加率 (%)
1階建て 想定	無補強	21.18	17.61	0.18	0.088	100.60
	補強	22.48	21.09	0.13	0.089	
2階建て 想定	無補強	20.60	19.93	0.19	0.044	125.60
	補強	23.37	31.18	0.15	0.055	

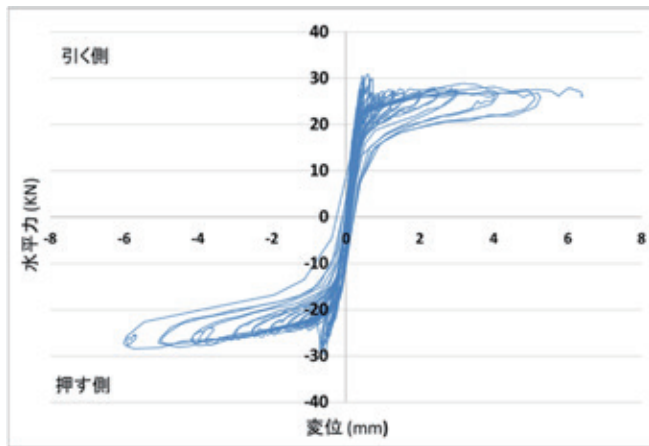


図4 変位と水平力の関係（無補強1階想定）

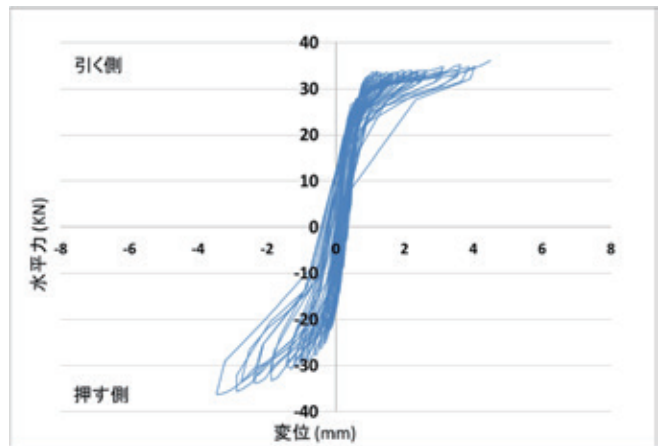


図5 変位と水平力の関係（補強1階想定）

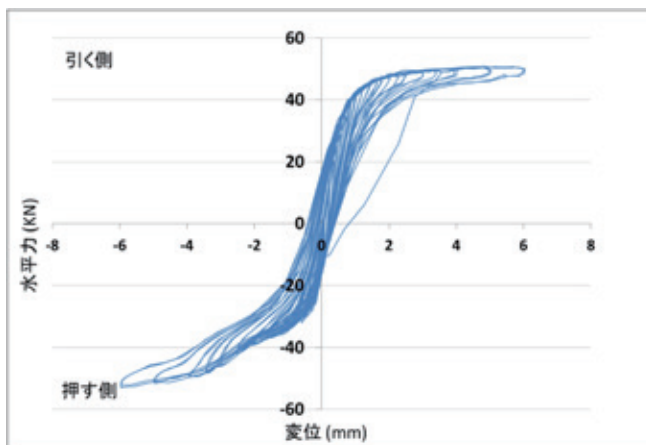


図6 変位と水平力の関係（無補強2階想定）

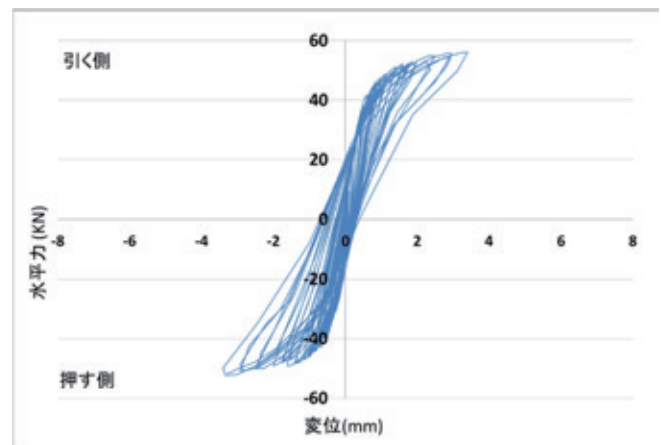


図7 変位と水平力の関係（補強2階想定）

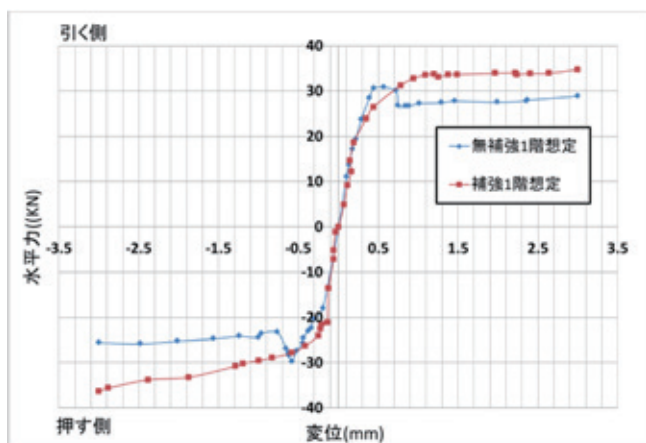


図8 変位と水平力の関係（各サイクルの最大値）

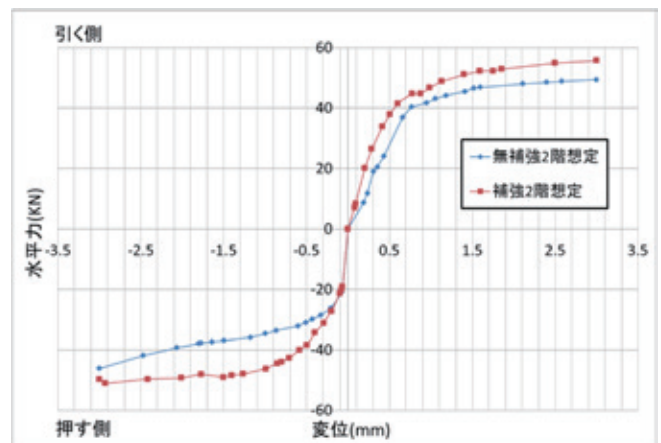


図9 変位と水平力の関係（各サイクルの最大値）

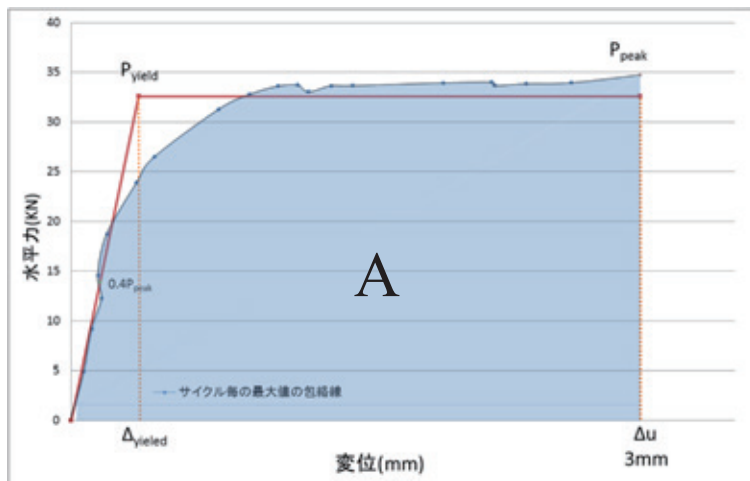


図 10 延性を求める際に使用するグラフのモデル

$$P_{yield} = \left(\Delta_u - \sqrt{\Delta_u^2 - \frac{2A^2}{k_e}} \right) k_e \quad (1)^4$$

$$\text{延性} = \frac{\Delta_{yield}}{\Delta_u} \quad (2)^4$$

Δ_u : 本試験においては 3mm

A : 図 10 における青色の部分

k_e : 原点と図 10 の $0.4P_{peak}$ を結んだ直線の傾き

Δ_{yield} : P_{yield} と $0.4P_{peak}$ の交点の χ 座標

4. 結論

本研究は、高度な専門知識や技術を必要としない手法で、かつ、どの国でも入手できるような素材で煉瓦組積造の破壊挙動及び地震時被害軽減対策の開発を研究した。その結果、静的繰返し水平載荷試験において煉瓦壁の力学特性と補強効果の検討を行い、補強を施すことによって水平外力に対する抵抗性が向上した。また煉瓦壁の一体化も向上したと考えられ、一定の補強効果が得られた。

以上のことから、提案した地震時被害軽減対策は、煉瓦組積造が大地震時のせん断クラックの発生を把握できないが、実験モデルの範囲内では曲げクラックが先行して発生し、外力に対したある程度の耐力を維持し続ける可能性があると判断できる。これにより、煉瓦組積造の倒壊を避けられないが、倒壊までの時間を稼ぐことで住民が避難する時間を確保でき、人的被害の軽減につながると考えられる。

今後は実験ケースを増やすとともに、解析的な検討を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（A）海外学術調査 研究代表者：宮島昌克）の補助を受けた。記して感謝する次第である。

参考文献

- 1) 目黒公郎：2005年パキスタン北部地震による一般住宅の被害と簡便で低価格な耐震補強法の提案,自然災害科学 J.JSND25-3381-392 (2006) , pp.381-392, 2006.
- 2) 山口和輝、Reza Amiraslanzadeh、池本敏和、深田幸史、宮島昌克：組積造壁の部分模型の静的荷重における耐震補強に関する研究，歴史都市防災論文集Vol.7, pp123-130, 2013.
- 3) 全愛知県赤煉瓦工業協同組合HP：煉瓦の積み方/敷き方, <http://www.akarenga-aichi.or.jp/ja/pile.html>, 2013年4月参照.
- 4) ASTM: Designation:E2126-02a, 2007.