

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15070

研究課題名（和文）Development of Seismic Retrofit of Masonry Infill Walls in Reinforced Concrete Buildings Using Ferro-Cement

研究課題名（英文）Development of Seismic Retrofit of Masonry Infill Walls in Reinforced Concrete Buildings Using Ferro-Cement

研究代表者

アルワシャリ ハモードアハメドハモード (Alwashali, Hamood)

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：90839177

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：2009年のイタリア・ラクイラ地震や2015年のネパール地震など、近年の地震では無筋石積み壁（URM）を持つ鉄筋コンクリート（RC）造の建物が繰り返し大きな被害を受け、多くの方が亡くなっています。本研究では、石積み壁の耐震性能を向上させるための低コストな改修工法「フェロセメント」を開発しました。本研究では、フェロセメントを用いた耐震改修工法に地震力を加える実験を行い、耐震性能と破壊モードの確認を行った。その結果、耐震性能は向上し、開発した工法には耐震性能の異なる4つの破壊モードが存在することがわかった。そこで、開発した耐震改修工法の各故障モードに対応した評価方法を提案して実験で検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

RC造建築物における石積み壁（URM）の脆弱性は、特に発展途上国やヨーロッパ諸国では石積みが多く使用されているため、世界共通の問題である。従来の耐震補強工法は比較的高価であり、施工にも手間がかかるため、適用が限られている。本研究で提案したフェロセメントを用いた工法は、低コストで建築物への適用が容易であり、世界、特に発展途上国における地震災害の軽減に大きく貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：Reinforced concrete (RC) buildings with Unreinforced masonry walls (URM) have suffered severe damage repeatedly in recent earthquakes such as the 2009 L'Aquila Earthquake in Italy, the 2015 Nepal Earthquake and many people died in those earthquakes. This research developed low-cost retrofitting method called Ferrocement for improving seismic capacity of masonry walls. The research first conducted experiments of 1/2 scaled specimens using the retrofit method of ferrocement. The experiments results showed that the developed retrofit method of ferrocement could improve the strength of masonry walls. The experiment also showed that there are several failure modes of the developed method with different seismic performances. Thus, several evaluation methods were proposed for each failure mode of the developed retrofit method and design procedures were proposed. The outcome could be used by engineers to apply existing buildings with masonry walls to improve seismic capacity.

研究分野：建築構造学

キーワード：耐震補強 レンガ壁 耐震性能評価 フェロセメント補強

1. 研究開始当初の背景

世界の多くの鉄筋コンクリート(RC)建築物には、無筋の石積み壁(URM)が存在する。URMは非構造部材とされ、構造設計では無視されている。しかし、2009年のイタリア・ラクイラ地震や2015年のネパール地震など、近年の地震で無筋石積み壁(URM)は繰り返し大きな被害(図1を示す)を受けている。地震による被害を回避するためにURMの耐震性能を向上させることが重要な課題である。

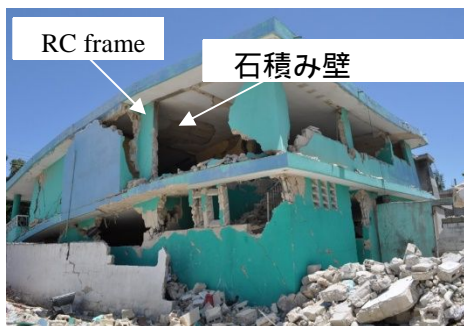


図1. 2010年ハイチ地震で被災した石積み壁の例

URMは地震で図1を示すように、石積みが面外破壊を起こし、落下による人身事故の原因となることがある。面内地震に対して、石積みは脆い材料であり(靱性性能が低い)他の構造要素に比べ比較的小さな階高で破壊する。そのため、地震エネルギーを吸収する性能に限界がある。(図2参照)。

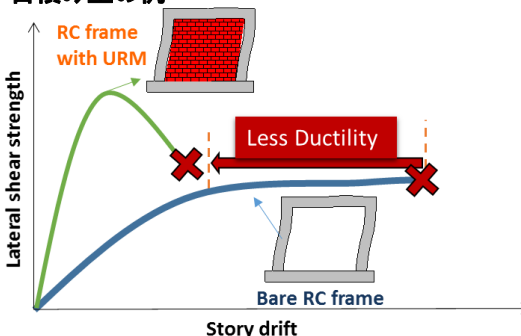


図2. 石積みの壁の耐震性能の概念

そこで、本研究では、実用的かつ経済的な方法でURMの耐震性能を強化することを主目的としている。フェロセメント(FC)を用いた石積みの補強は、現場での施工が比較的容易な方法である。フェロセメント(FC)補強の定義は、石積みの表面にモルタルを塗り、その上に鉄ワイヤーメッシュ(金網)を置き、最後にモルタルを塗るというものである。FCは、材料が現地で入手可能なため、低コストで行うことができる。しかし、以下のような課題があるため、FCはまだ実用化されていない。

- (1) FC工法が面内容量や破壊機構に及ぼす有益な影響を評価するための工学的評価法がない。
- (2) 主要な問題は、影響するパラメータと破壊モードについての理解不足である。FC工法の性能に大きく影響する破壊モード(鋼材の比率、URMとの接合形態、モルタル強度など)が複数存在する。このため、過去の研究において、FCの耐震効果に矛盾が生じた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、簡便かつ低コストな石積みの鉄筋コンクリート建物の補強方法を開発し、地震災害と人的被害を軽減することである。本研究の具体的な目的は以下の通りである。

- (1) URMに影響を与えるパラメータ(FC)を考慮した効果的な改修方法を開発した。
- (2) 異なる破壊モードを考慮した工法(URM+FC)の耐震性能の評価手法を開発した。

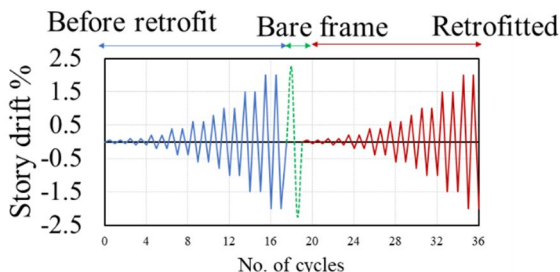
本研究は、経済の拡大・高密度化が進む途上国の都市災害軽減に貢献することである。

3. 研究の方法

研究方法は、以下のように行った。

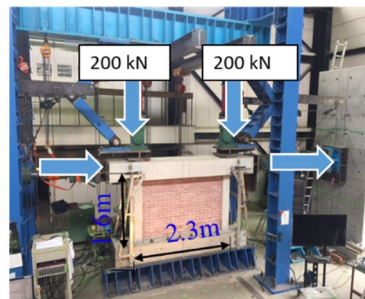
- (1) 既存耐震性能の実験(補強筋の前):

鉄筋コンクリート造で石積みの建物の1階部分を1/2スケールで表現した試験体を用いて実験を行った。図3に示すように、地震力を模擬した静的な繰返し荷重を加えて実験を行った。また、既存耐震性能の評価として、改修前の供試体を用いた試験を行った。



a) 静的繰返し加力

(地震による力と同じ)



b) 試験体と実験装置

図3. 実験の設定及び加力方法

(2) 開発した耐震改修工法 FC の適用の実験：

石積みによる試験体の載荷後、損傷した石積みを除去し、同じ石積み材料で新しい石積みを RC フレーム内に構築した。その後、石積みは FC で補強した。FC 工法で最も重要なパラメータの 1 つは、金網の鋼材面積比である。また、FC と RC 構造との接合部にも工夫して、図 4 に示すように、新しいタイプの接合部が試験体に適用した。図 5 に示すように、開発した FC 工法で改修した後の供試体を再度試験し、その耐震性能を実験によって検証した。

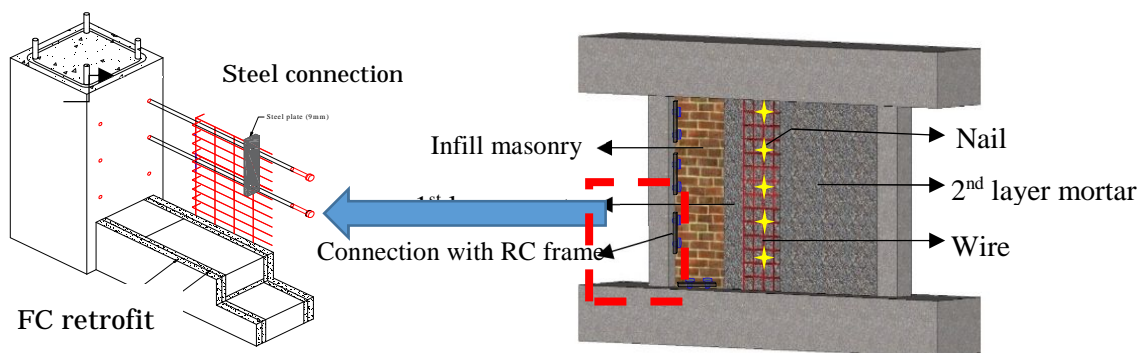


図 4. 鉄筋コンクリートと FC メッシュを展開した接合部

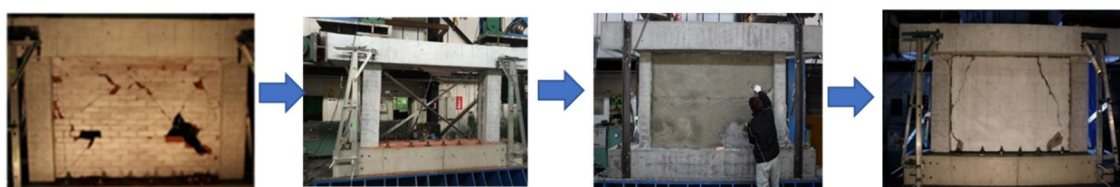


図 5. 開発した FC 後付け工法と金網の応用例

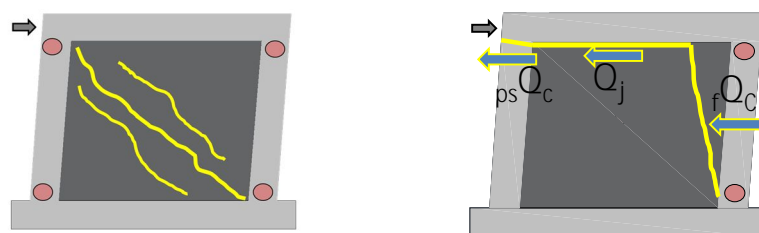
(3) 耐震性能の評価と解析シミュレーション：ここでは実験で観察された破壊モードを解析し、コンピュータ解析と簡易モデルの両方を用いた評価方法を実施した。

#### 4. 研究成果

研究成果は以下の通りである。

(1) 金網の面積比率のパラメータが耐震性能に与える影響を明確した。

これまでの研究では、鋼材比率の影響は明らかではなかった。そこで、低金網の面積比と高金網の面積比率の 2 つの試験体を用いて試験で検討して。その結果、図 6 に示すように、金網の面積比率によって破壊モードが斜め引張り破壊からパンチングせん断破壊に変化することが明らかになった。鋼材比率の影響を計算する方法が提案され、その詳細は論文[1]に示されている。



a) 破壊モード 1 (低金網の面積比率)

b) 破壊モード 2 (高金網の面積比率)

図 6. FC の鉄面積比による破壊モードの変化

(2) 接合部のパラメータを考慮したフェロセメント改修の開発

鉄筋コンクリート構造と FC の接合部に新しいタイプの接合部を提案した。図 7 に示すように、平面内耐震性能の向上が実験により確認した。

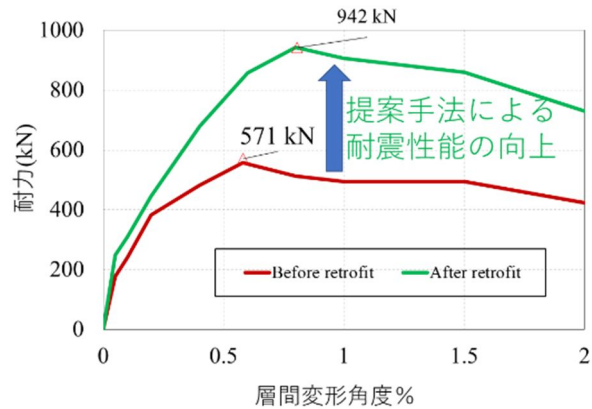


図 7. 実験結果で耐震性能の向上の検証した

### (3) 破壊モードの明確化と耐震性能の評価方法の開発

これまでの研究では、フェロセメントの破損モードは明確ではなく、工学的な計算にも基づいていなかったからである。そのため、本研究では図 8 に示すように 4 つの破壊モードが特定されたことが主な成果の一つである。各破壊モードに対する評価方法を開発して、研究発表した [3]。

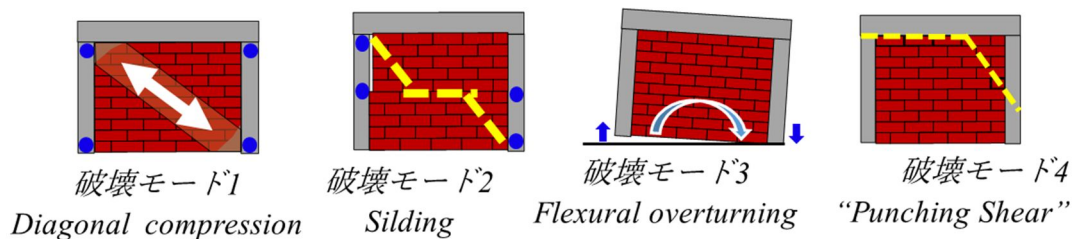


図 8. 明らかにした破壊モード及び耐力診断法の提案

これらの成果により、開発途上国向けの耐震診断・フェロセメントを用いた URM 壁の耐震補強法のマニュアルを作成した。これを用いて、現在ほかの研究者と協力して、開発途上国向けの研究者、建築技術者に対する技術指導を行っている。

#### <引用文献>

- [1] Alwashali, H., Sen, D., Tafheem, Z., Islam, S., Seki M., Maeda, M. Experimental investigation of Ferro-cement laminated masonry infilled in RC frame Part 1: Experimental program. 日本建築学会大会学術講演梗概集.2019;915-916.
- [2] Alwashali, H., Sen, D., Maeda, M., Seki, M. Advantages and limitations of retrofitting masonry infilled RC Frames by Ferro-cement based on experimental observations. Proceedings of 17th World Conference on Earthquake Engineering. Japan.2020.
- [3] Sen, Debashish. Identification of Failure Mechanism and Seismic Performance Evaluation of Masonry Infilled RC Frame Strengthened by Ferrocement. Ph.D Thesis, Tohoku University Sendai, Japan.2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hamood ALWASHALI , Debasish SEN , MD. Shafiul Islam , Masaki MAEDA	4. 巻 42-2
2. 論文標題 Experimental study of retrofitting masonry infilled RC frames by ferro-cement: An overlooked failure mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 883-888
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 Debasish SEN , Hamood ALWASHALI , Masaki MAEDA , Matsutaro SEKI	4. 巻 42-2
2. 論文標題 EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON FERRO-CEMENT LAMINATED MASONRY INFILLED RC FRAME AND CAPACITY EVALUATION	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 877-882
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 Alwashali Hamood, Islam Md. Shafiul, Sen Debasish, Monical Jonathan, Maeda Masaki	4. 巻 53
2. 論文標題 SEISMIC CAPACITY OF RC FRAME BUILDINGS WITH MASONRY INFILL DAMAGED BY PAST EARTHQUAKES	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 13 ~ 21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5459/bnzsee.53.1.13-21	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 該当する

1. 著者名 SEN Debasish, ALWASHALI Hamood, ISLAM Md. Shafiul, MAEDA Masaki	4. 巻 26
2. 論文標題 INVESTIGATION OF THE LATERAL CAPACITY OF FERRO-CEMENT RETROFITTED INFILLED MASONRY IN RC FRAME AND SIMPLIFIED PREDICTION APPROACH	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 159 ~ 163
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijt.26.159	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 -

1. 著者名 Sen, Debasish., Torihata, Yuta. Alwashali, Hamood., Maeda Masaki	4. 巻 41
2. 論文標題 An experimental investigation on the cyclic behaviour of Ferro-cement laminated masonry infilled RC frame	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceeding of Japan Institute of Concrete	6. 最初と最後の頁 859-864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 3件)

1. 発表者名 Md. Shafiul Islam, Debasish Sen, Zasih Tafheem, Hamood Alwashali, Matsutaro Seki, Masaki Maeda
2. 発表標題 Failure modes and capacity evaluation of Ferro-cement laminated masonry infilled RC frame Part 1: Identification of possible failure modes
3. 学会等名 Proceedings of Architecture institute of Japan (AIJ) annual meeting, Japan 9/2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Debasish Sen, Md. Shafiul Islam, Zasih Tafheem, Hamood Alwashali, Matsutaro Seki, Masaki Maeda
2. 発表標題 Failure modes and capacity evaluation of Ferro-cement laminated masonry infilled RC frame Part 2: Proposal and validation of capacity evaluation
3. 学会等名 Proceedings of Architecture institute of Japan (AIJ) annual meeting, Japan 9/2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Alwashali, D. Sen, M. Maeda, M. Seki,
2. 発表標題 Advantages and limitations of retrofitting masonry infilled RC Frames by Ferro-cement based on experimental observations
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D. Sen , H. Alwashali , Z. Tafheem , M.S. Islam , M. Maeda , M. Seki
2. 発表標題 EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND CAPACITY EVALUATION OF FERRO-CEMENT LAMINATED MASONRY INFILLED RC FRAME
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 F. Zahura , D. Sen , R. Sabrin , A. Das , M. Uddin , Z. Tafheem , F. Khanam , H. Alwashali , M. Maeda
2. 発表標題 IN-PLANE SEISMIC PERFORMANCE OF MASONRY INFILLED RC FRAME WITH AND WITHOUT FERRO-CEMENT OVERLAY
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Alwashali Hamood
2. 発表標題 Experimental investigation of Ferro-cement laminated masonry infilled in RC frame, Part (1): Experimental program
3. 学会等名 Proceedings of Architecture institute of Japan (AIJ) annual meeting Kanazawa, Japan 9/2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sen D. , Alwashali Hamood. , Tafheem Z, Islam S. , Seki M. , Maeda M.
2. 発表標題 Experimental investigation of Ferro-cement laminated masonry infilled in RC frame Part (2): Evaluation of failure mode and seismic capacity under lateral load
3. 学会等名 Proceedings of Architecture institute of Japan (AIJ) annual meeting Kanazawa, Japan 9/2019
4. 発表年 2019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
---------	---------