

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：33803

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04425

研究課題名(和文) 途上国の震災軽減に向けた内蔵URM壁の耐震性能評価手法および耐震補強手法の実用化

研究課題名(英文) Feasibility Study on Seismic Block without Joint Mortar for Earthquake Mitigation in Developing Countries

研究代表者

崔 琥 (Choi, Ho)

静岡理科大学・理工学部・准教授

研究者番号：40512009

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)：本研究では、組積造建物の耐震性や施工性の向上させるため、目地モルタルを使わないメインブロックとキーブロックのみで構成される耐震ブロックを開発した。本研究で開発した2種類の耐震ブロック(ピーナツ型およびH型)の耐震性を確認するため、従来型ブロック壁体を含む3種類の壁体を制作し、面内静的載荷実験および面外4点曲げ試験を行った。その結果、開発した耐震ブロック壁体は従来型壁体に比べて、面内方向への変形能力や面外方向への耐力が著しく向上することを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アジア、南米、ヨーロッパなどの地震が多発する地域には、組積造建物が多用されているが、この建物の耐震性能は他の構造形式に比べ相対的に乏しく、地震が発生すると常に被害を受けている。また、地震大国である日本においてもブロック塀が転倒して死者が出るなど、ブロック塀の被害は地震が発生すると必ず起きている。このような状況から、本研究で開発した耐震ブロックを使用すると、目地モルタルを使わないため、安定的に耐震性が確保でき、世界の地震被害軽減につながると確信している。

研究成果の概要(英文)：The authors developed two types of block systems consisting only of main block and key block without joint mortar to improve the seismic performances and to enhance the workability. Two types of block systems have different key block shapes: one is the peanut shape, and the other is the H shape. In this study, in order to evaluate in- and out-of-plane seismic performances of the proposed block systems, two types of block walls are tested under in-plane cyclic loading test and out-of-plane 4-point bending test, including the typical block wall. As a result, the in-plane deformability and out-of-plane tensile stress of the proposed block systems were considerably higher than those of a typical block system.

研究分野：建築防災および建築物の耐震性能評価

キーワード：耐震安全性 無モルタル 耐震ブロック 静的載荷実験 4点曲げ試験 インターロッキング

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

アジア、南米、ヨーロッパなどの地震が多発する地域には、経済的などの状況から補強材が使用できず、組積ユニットのみで構成される純組積造建物や鉄筋コンクリート架構内に組積造壁を有する建物が多用されている。一方、これらの建物の耐震性能は他の構造形式に比べ相対的に乏しく、地震が発生すると常に被害を受けている。また、地震大国である日本において純組積造壁は法律上使用できないが、鉄筋などで補強されるブロック塀はよく用いられている。しかし、2018年大阪府北部地震ではブロック塀が転倒して死者が出るなど、ブロック塀の被害は地震が発生すると必ず起きている。

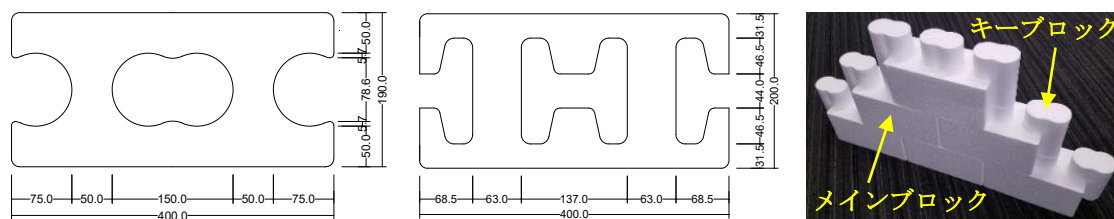
2. 研究の目的

この背景の下で、申請者は施工の簡便さを考慮した、目地モルタルを使わないメインブロックとキーブロックのみで構成される2種類の耐震ブロックを開発した。本研究では、面内静的載荷実験および面外4点曲げ試験を行い、開発した耐震ブロックの耐震性能を確認した。

3. 研究の方法

本研究では、まず、基本的な面内耐震性能を検討すべく、典型的なコンクリートブロック造試験体および2種類のインターロッキング機構を有する耐震ブロック造試験体(キーブロックの形状より、ピーナツ型およびH型(あるいは亜鈴型)と称する)、計3体の試験体(既存型試験体、ピーナツ型試験体およびI型試験体)を制作し、面内静的載荷実験を行った。試験体は1階建ての倉庫建物を想定し、試験体サイズは2,000×1,400mm(横×縦)とした。

次に、直行壁の影響が及ぼさないとと思われる壁体の中央一部を想定し、800×2,000mm(横×縦、2枚×10段)の試験体を製作し、試験体を寝かし、4点曲げ試験を行い、面外方向のせん断応力度などを把握した。



(a) ピーナツ型

(b) H型

図2 ピーナツ型模型

図1 耐震ブロック (単位: mm)

4. 研究成果

(1) 面内静的載荷実験

図3に本実験の載荷装置を示す。本研究では、1階建てを想定したため、軸力は加力ビームの重量(13.7kN, $\sigma_0=0.04\text{MPa}$)のみとした。試験体に作用する水平力は、部材角(水平変位 D / 試験体高さ H , 図1参照) $1/2000, 1/1000, 1/500, 1/250, 1/150, 1/100, 1/67, 1/50, 1/33, 1/25, 1/20$ を2回ずつ正負交番繰り返し載荷し、試験体の破壊状況に応じて載荷ルールを適宜変更することとした。

① 破壊性状および荷重-変形関係

各試験体の最終ひび割れ発生状況および荷重-変形関係を図4および図5にそれぞれ示す。

既存型試験体は、部材角 $1/2000$ の時点で左下端部から2・3段目の横目地にひび割れが観測され、その後、全長にわたり進展し、実験終了時まで試験体下部に発生した横目地のひび割れを境に上部の試験体が剛体回転する挙動を示しており、部材角 $1/67$ 加力途中、試験体が面外方向に回転したため実験を終了した。また、部材角 $1/250$ で最大耐力 14.7kN を記録した。

ピーナツ型試験体は、既存型試験体と同様、剛体回転挙動を示した。部材角 $1/250$ で右下1段目のメインブ

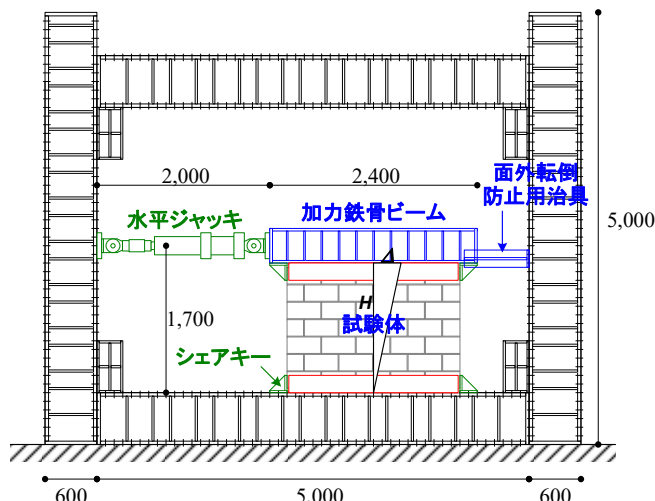


図3 加力セットアップ (単位: mm)

ックにひび割れが発生し、その後、この部分のメインブロックの局所的な圧壊が見られ、最終部材角 1/20 で右下端部 2 段目のメインブロックが圧壊したため、実験を終了した。また、部材角 1/20 で最大耐力-17.5kN を記録したが、部材角 1/100 以降は著しい耐力低下は見られなかった。

H 型試験体は、ピーナッツ型試験体とほぼ同様である。本試験体においては、部材角 1/33 で最大耐力 19.7kN を記録した。

② ロッキングメカニズムを仮定した最大耐力の評価

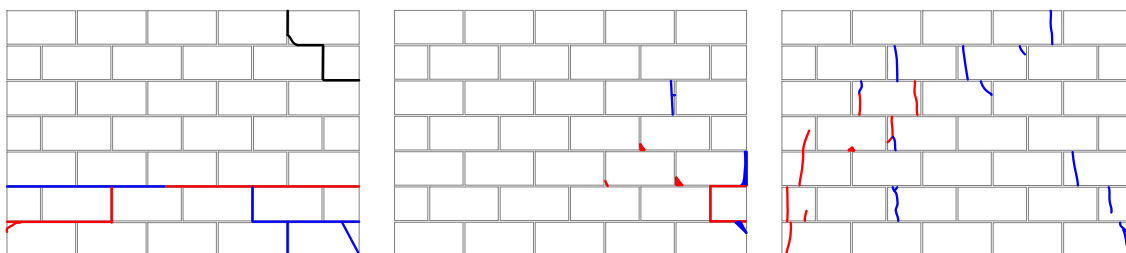
前述したとおり、いずれの試験体においても剛体回転挙動が観測されたため、図 6 に示すように簡単なロッキングメカニズムを仮定し、各試験体の最大耐力を評価した。本計算では、加力ビーム (13.7kN) および剛体回転する部分の試験体の重量 (既存型、ピーナッツ型および亜鈴型試験体でそれぞれ 6.0, 9.0 および 10.8kN) を鉛直荷重とし、壁体の回転中心を右下 2 段目の地点とした。その結果を図 4 に合わせて示した。同図に示すように、計算結果は実験結果と整合していることがわかる。

③ 等価粘性減衰定数

各試験体の等価粘性減衰定数 (h_{eq}) の比較を図 7 に示す。同図に示すように、既存型試験体は目地モルタルのひび割れ進展に伴い、 h_{eq} が減少しているのに対し、ピーナッツ型および H 型試験体では、既存型試験体の h_{eq} より高く、実験終了時まで減少しなかった。これはメインブロックとキープブロック間の摩擦抵抗によって最後までエネルギーを吸収することができたためであると思われる。

④ ブロックユニットの再利用率

ピーナッツ型および H 型試験体におけるメインブロックの再利用率を図 8 に示す。ここで、再利用率の定義は、全ブロックの数に対する無損傷ブロックの数である。図 8 に示すように、再利用率は両試験体ともに部材角 1/20 を経験した後も 70% 以上となり、耐震ブロックは経済面および環境面においても優れていると言える。



(a) 既存型試験体 (b) ピーナッツ型試験体 (c) H 型試験体
図 4 最終ひび割れ発生状況 (青：正加力時，赤：負加力時，黒：初期ひび割れ)

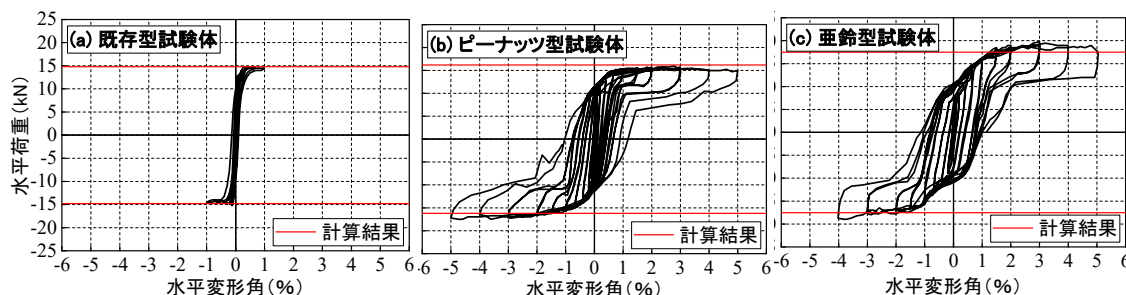


図 5 荷重－変形関係

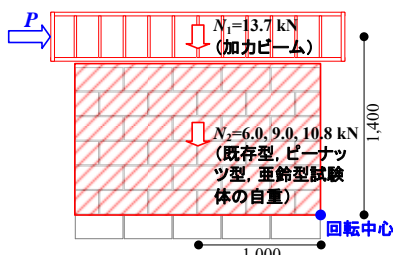


図 6 最大耐力の評価

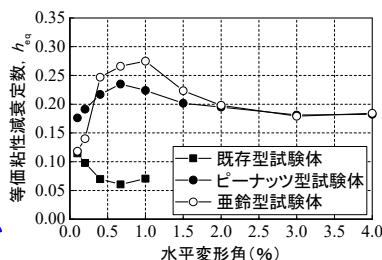


図 7 等価粘性減衰定数の推移

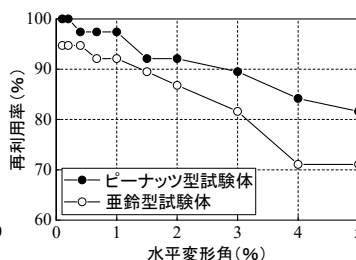
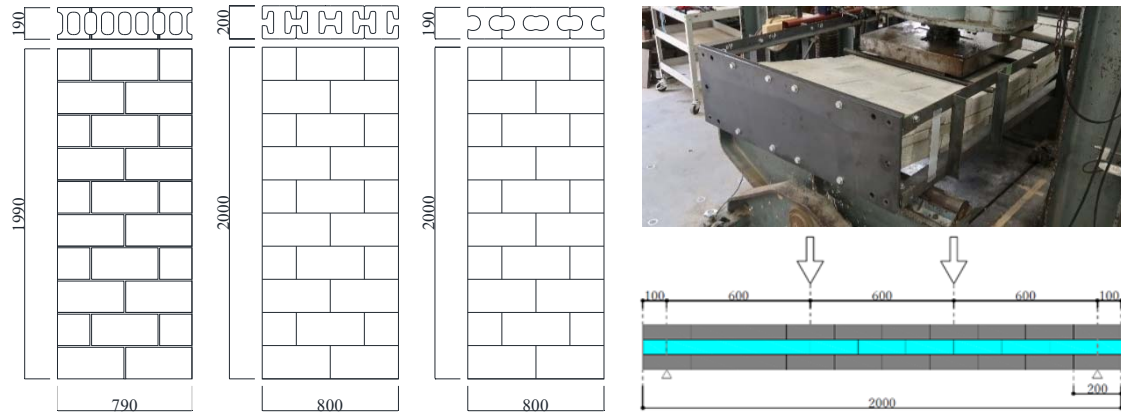


図 8 再利用率の推移

(2) 面外 4 点曲げ試験

試験体の詳細および 4 点曲げ試験の概念図を図 9 および図 10 にそれぞれ示す。



(a) 既存型試験体 (b) H 型試験体 (c) ピーナッツ型試験体 図 10 壁体 4 点曲げ試験
図 9 試験体の詳細

大型万能試験機を用い 4 点曲げ試験を行い、面外性能を把握した。既存型試験体は寝かす際に自重により倒壊したため、本試験は H 型とピーナッツ型試験体のみ行った。ピーナッツ型試験体の応力図を図 11 に示す。同図より、回転中心は壁体上面にあり、キープブロックのみ抵抗すると仮定した。最大荷重から試験体中央部に作用した最大曲げモーメント M_{max} を算出し、これがキープブロックの引張力 T と回転重心からキープブロックの図心までの距離 X による抵抗モーメントと釣り合っていると仮定し計算した (表 1)。その際、キープブロックは同じ面積を持つ 2 種類の長方形断面に置換した (図 12, ①はキープブロックの横方向長さを固定, ②は縦方向長さの平均を縦方向長さとして固定)。表 1 より、キープブロックの引張応力度はキープブロックの長方形断面算定方法と関係なくほぼ同程度の値となっている。H 型試験体およびピーナッツ型試験体の引張応力度は、それぞれ平均 0.89N/mm^2 および 0.88N/mm^2 とほとんど同様な値となった。一方、既存型試験体は壁を寝かせる過程で地面とのなす角度が 21° の時点で、自重により倒壊した。その際の耐力 F を式(1)により算出した。

$$F = m \cdot g \cdot \cos 21^\circ = 3.4\text{kN} \tag{1}$$

ここで、 m は既存型試験体の組積ユニットの総重さ (377kg)、 g は重力加速度 (9.8m/s^2) である。

表 1 の最大荷重 (P_{max}) と式(1)の値を比較すると、既存型試験体の耐力は、耐震ブロック壁試験体の耐力の $1/4$ 程度であり、面外方向の耐震性能が著しく低いことがわかる。

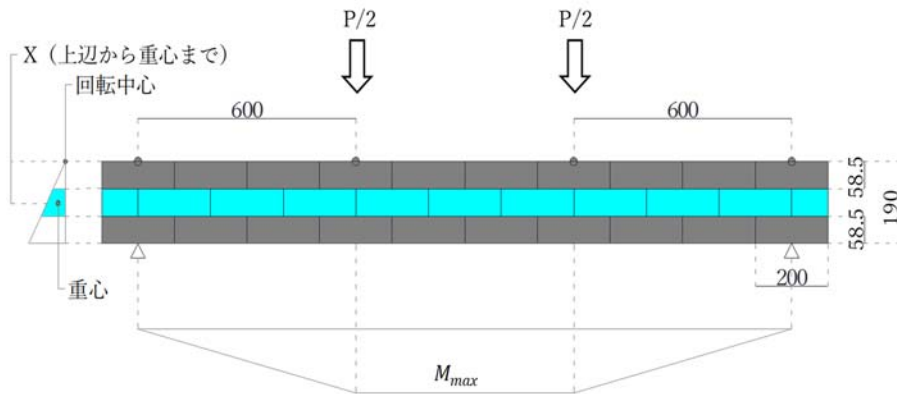


図 11 ピーナッツ型試験体の 4 点曲げ応力図

表 1 4 点曲げ試験結果およびキープブロックの引張応力度

Type		P_{max} (kN)	M_{max} (kN・mm)	X (mm)	T (kN)	引張応力度 (N/mm^2)
ピーナッツ型	①	14.8	4437	106.5	41.7	0.89
ピーナッツ型	②	14.8	4437	106.3	41.7	0.89
H 型	①	12.6	3780	99.7	37.9	0.88
H 型	②	12.6	3780	100.8	37.5	0.87

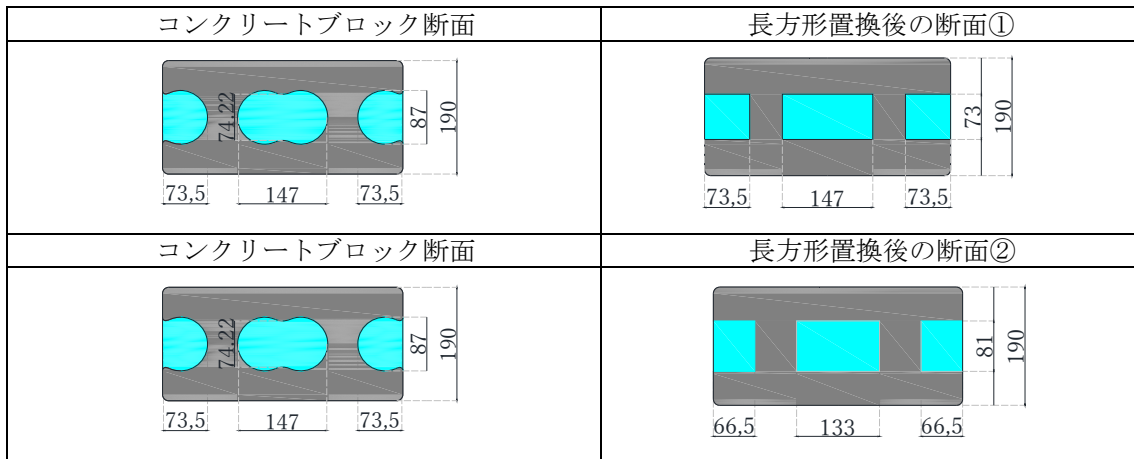


図12 コンクリートブロック置換断面

以上の結果より、耐震ブロック造壁体は既存型壁体に比べ、変形能力、エネルギー吸収能力および再利用率などで優れることを確認した。また、本研究で開発した2種類の耐震ブロックの面外引張応力度は非常に高く、試験体を寝かす際に面外転倒した既存型試験体に比べて著しく面外方向の耐震性能が向上したことが確認できた。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1 . 発表者名 H. Choi, KW. Jin, JC. Jeong, BS. Kim, EJ. Hwang
2 . 発表標題 In-plane Seismic Behavior of New Type Masonry Walls without Joint Mortar
3 . 学会等名 Proceedings of The 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 DG Jose Tomas, Hata Ryuki, Pradhan Sujan, Rokhyun Yoon, Sanada Yasushi, Ho Choi, Jin Kiwoong
2 . 発表標題 Experimental Evaluation of Out-of-Plane Performance of Non-Structural Brick Masonry Wall Using Shaking Table Test
3 . 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告集
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Sujan Pradhan , Jose Diaz Guzman , 畠龍樹 , 尹口ク現 , 真田靖士 , 崔琥 , 晉沂雄
2 . 発表標題 Out-of-Plane Performance Evaluation of Brick Masonry Infill Wall Using Shaking Table Test - Part 1 Experimental program
3 . 学会等名 Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Jose Diaz Guzman , Sujan Pradhan , 畠龍樹 , 尹口ク現 , 真田靖士 , 崔琥 , 晉沂雄
2 . 発表標題 Out-of-Plane Performance Evaluation of Brick Masonry Infill Wall Using Shaking Table Test - Part 2 Experimental results and evaluation of the out-of-plane resistance
3 . 学会等名 Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 崔琥, 晉沂雄, 鄭在天, 金峰ソク, 黄彦ジュ
2. 発表標題 無目地モルタル耐震ブロックの実用化研究 - その2 面内静的載荷実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崔琥
2. 発表標題 無目地モルタル耐震ブロックの実用化研究 (その1) 有限要素解析による形状決定
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 Ho Choi
2. 発表標題 DIAGONAL COMPRESSIVE STRUT MECHANISM OF INFILL MASONRY WALLS FOR MULTI BAYS AND STORIES
3. 学会等名 7th International Colloquium on Performance, Protection and Strengthening of Structures Under Extreme Loading and Events
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ho Choi
2. 発表標題 Shear Strength Evaluation of Masonry Infill Walls
3. 学会等名 The Proceeding of the Korea Concrete Institute
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ho Choi, Bongseok Kim, Kiwoong Jin, Jaecheon Jeong, Eonju Hwang
2. 発表標題 In-plane Seismic Performance of Seismic Concrete Block Walls without Joint Mortar
3. 学会等名 The Proceeding of the Korea Concrete Institute
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ho Choi, Makoto Maruta
2. 発表標題 Analytical Evaluation on Seismic Capacity of Korean Typical School Building
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (ISAIA) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shear Strength Evaluation of Masonry Infill Walls
2. 発表標題 Shear Strength Evaluation of Masonry Infill Walls
3. 学会等名 The Proceeding of the Korea Concrete Institute
4. 発表年 2018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
研究分担者	晉 沂雄 (Jin Kiwoong) (60727006)	明治大学・理工学部・専任講師 (32682)	

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
---------	---------