

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06178

研究課題名(和文) 補強材を用いることなくレンガ同士の噛み合いを利用した組積造の耐震性向上策の開発

研究課題名(英文) Seismic reinforcement method using interlocking bricks without reinforcement materials

研究代表者

古川 愛子 (Furukawa, Aiko)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00380585

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ブロック同士のインターロッキング(噛み合い)を利用した組積造の耐震性向上策について研究を行った。噛み合いの強いI型は、噛み合い部に応力集中が生じブロックが破壊しやすく、耐力向上を期待できないことがわかった。ブロック形状を、噛み合いの弱い波型にすることで、応力集中が緩和され、耐力が向上することがわかった。組積造壁に地震荷重を模擬した水平力を載荷し、上載荷重は2, 4, 6階建を想定して3通りとした。2階建の場合は、波型の耐力が大きく、直方型の耐力が最小となった。6階建の場合は、摩擦力が向上するため、直方型も比較的大きな耐力を示した。波型は、上載荷重が小さいときに、特に耐力向上効果のあることがわかった。

研究成果の概要(英文)：A seismic reinforcement method using interlocking bricks was studied. I-shaped bricks was found to be brittle due to stress concentration and strength of masonry wall was not increased. By introducing wave-shaped interlocking bricks, stress concentration was reduced and strength was improved. The horizontal load imitating seismic force was applied with three kinds of vertical loads. The vertical loads corresponding to 2-story, 4-story and 6-story buildings were considered. As for the 2-story vertical load case, wave-shaped masonry wall had the largest strength and rectangular masonry wall had the least strength. As for the 6-story vertical load case, the strength of rectangular masonry wall increased since the friction force increased. It was found that the wave-shaped masonry brick wall is especially effective for low-story buildings with small vertical load.

研究分野：地震工学

キーワード：組積造 インターロッキング 耐力向上 ブロック形状 直方型 I型 波型

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19(共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の自然災害による死者の約 60%は地震により亡くなっており、地震による死者の約 75%は建物の倒壊により亡くなっている。そして、建物倒壊による犠牲者の大多数が、開発途上国で多く建設されている耐震性の低い組積造の倒壊によって亡くなっている。レンガや石材などを積み上げて建設する組積造は、地震の揺れに対して非常に脆弱であるにも関わらず、現在でも、世界の約 6 割もの人口が住んでおり、かつ地震の多発地帯に多く建設されているので、地震の度に多くの組積造が壊れ、多くの尊い命が失われている。これらの組積造は、地域で調達できる安価な材料を使って、居住者自身によって建設されるなど、工学的な配慮がほとんどなされていないのが現状である。世界中で多発する地震による人的被害を軽減するには、開発途上国の組積造の耐震性向上が不可欠である。

2. 研究の目的

開発途上国に多く建設されている組積造は、地震の度に倒壊して多くの犠牲者を出しており、耐震性の向上が急務である。入手困難な補強材や、材料費の嵩む補強材を用いた工法では、普及が難しいと考えられることから、本研究では補強材を用いることなく組積造の耐震性を向上する工法の開発を目指す。具体的には、凹凸のあるレンガ形状を用いることで、レンガ同士の噛み合い（インターロッキング）により、破壊しにくい組積造の実現を目指す。

3. 研究の方法

まず、インターロッキングブロックの耐震性向上効果を調べるために、直方型、土型、I 型のレンガで構成される組積造壁を作成し、斜め圧縮試験を実施した。荷重-変位関係、破壊状況、耐力を比較した。

次に、インターロッキングブロックの形状について検討を行った。噛み合い効果の異なる、I 型（直角型）、I 型（鈍角型）、砂時計型（三角型）、砂時計型（波型）のブロックで構成される組積造壁について、斜め圧縮試験を実施した。荷重-変位関係、破壊状況、耐力を比較した。画像計測により、ひずみの面的分布も計測した。

さらに、試験方法を見直し、地震荷重を模擬した実験を行った。2 階建て、4 階建て、6 階建ての 3 通りの建物を想定し、3 通りの上載荷重を考えた。荷重-変位関係、破壊状況、耐力を比較した。画像計測により、ひずみの面的分布も計測した。

いずれの実験も、数値解析により再現して、現象の理解を深めた。実験を再現できるようなモデル化についても検討を行った。

また、研究期間中に、ネパール・ゴルカ地震が発生し、組積造が被害を受けた。現地に行き、組積造の調査をするとともに、

振動計測を行い、実際の組積造の特性について調査を行った。

4. 研究成果

まず、インターロッキングブロックの耐震性向上効果を調べる行った、直方型、土型、I 型の組積造壁の斜め圧縮試験を実施では、予想に反して、直方型の耐力の方が土型、I 型よりも大きいことがわかった。直方型の場合は、主に目地で破壊が生じ、レンガの破壊は軽微であった。一方、土型、I 型は、目地だけでなくレンガも破壊が生じた。数値解析により検討したところ、土型、I 型では、レンガ同士の噛み合い部に応力集中が生じ、レンガ自身が破壊し易くなってしまふことが原因であることがわかった。

最初の実験結果を踏まえ、噛み合い効果が強すぎると応力集中が起こってしまうので、ブロック形状を見直して、噛み合い効果を低減することで、応力集中を緩和し、耐震性を向上できないかと考えた。噛み合い効果の異なる 4 つのブロック形状として、I 型（直角型）、I 型（鈍角型）、砂時計型（三角型）、砂時計型（波型）について斜め圧縮試験を行った（図 1）。波型が最も噛み合い効果が小さい形状である。斜め圧縮試験により、同じ I 型でも直角型よりも鈍角型の方が耐力が大きいこと、角のない波型の耐力が最も大きくなる傾向が見られ、期待通りの結果が得られた（図 2、表 1）。数値解析からも、波型にすることで応力集中が軽減され、ブロックが破壊しにくくなることがわかった。しかし、これらの実験は斜め圧縮試験であり、実際の地震荷重を模擬したものではなかった。

最後に、地震荷重を模擬した実験を行った。直方型、I 型、波型の 3 通りの組積造壁に対して、2 階建て、4 階建て、6 階建ての 3 通りの建物を想定し、3 通りの上載荷重を考えた。その結果、2 階建ての場合は、波型の耐力が大きく、直方型の耐力が最小となった。しかし、6 階建ての場合は、摩擦力が向上するため、直方型も比較的大きな耐力を示した。波型のブロックは、上載荷重が小さいときに耐力向上効果のあることがわかった。（図 3、4、5）

以上のことから、インターロッキングブロックは、応力集中を引き起こすため、必ずしも直方型よりも優れているわけではないことがわかった。I 型よりも波型の方が、応力集中が起こりにくいので、耐力が大きい傾向が見られた。応力集中の起こりにくい波型ブロックは、上載荷重の小さい低層建物の場合に、直方型よりも耐力向上効果を期待できる可能性のあることがわかった。

数値解析については、要素間の線形ばねを切断することで、ブロック内部の破壊と目地での破壊の双方を表現できるようにした。最大荷重は概ね良い精度で再現できた

が、変位の再現精度には課題を残した。変位の再現性を向上させるには、非線形のはねを用いる必要のあり、構成則の高度化が必要であることがわかった。(図6, 7, 8)

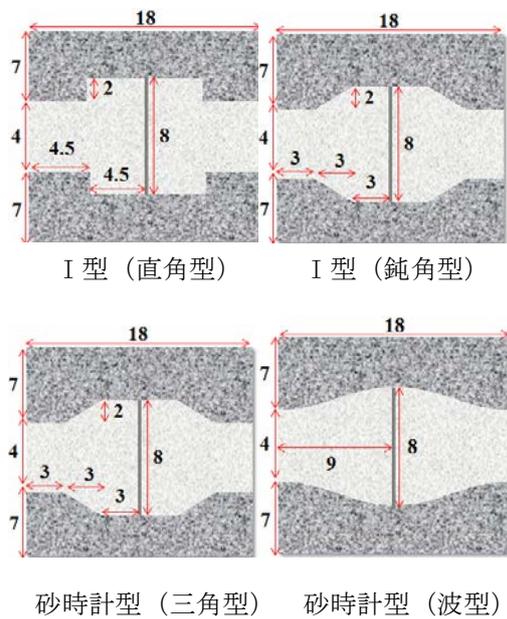


図1 斜め圧縮試験の試験体

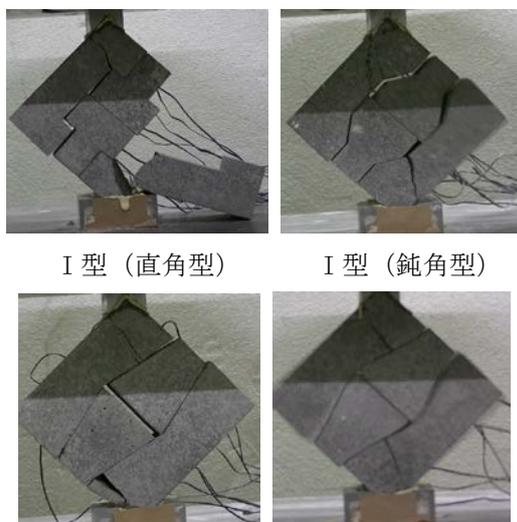


図2 斜め圧縮試験の破壊状況

表1 斜め圧縮試験の最大荷重 (kN)

モデル	1体目	2体目
I 型 (直角)	13.2	10.8
I 型 (鈍角)	14.5	11.9
砂時計型 (直線状)	14.2	14.2
砂時計型 (波状)	20.2	20.8



図3 せん断試験の試験体

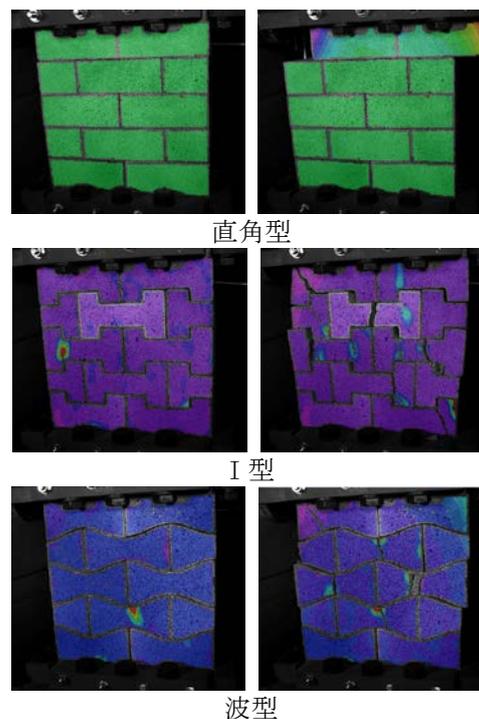
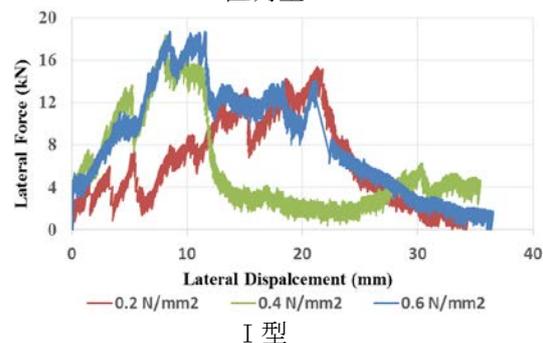
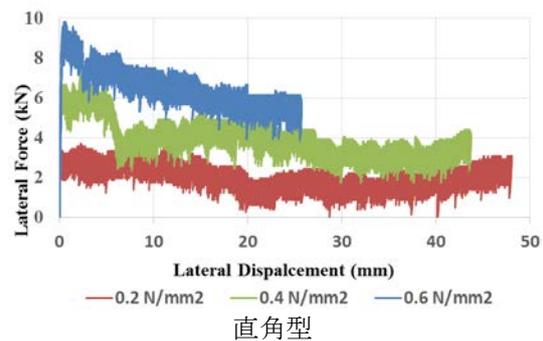


図4 載荷時の破壊状況と水平方向ひずみ分布



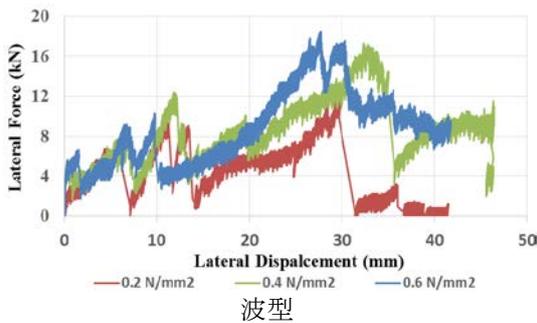
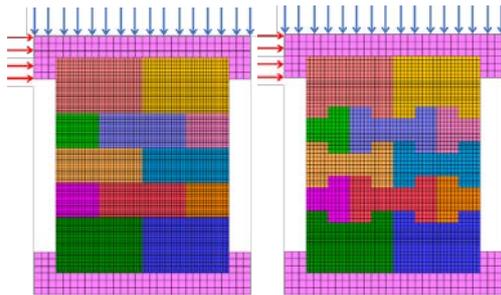


図5 荷重-変位関係



直方型 I型
図6 解析モデル

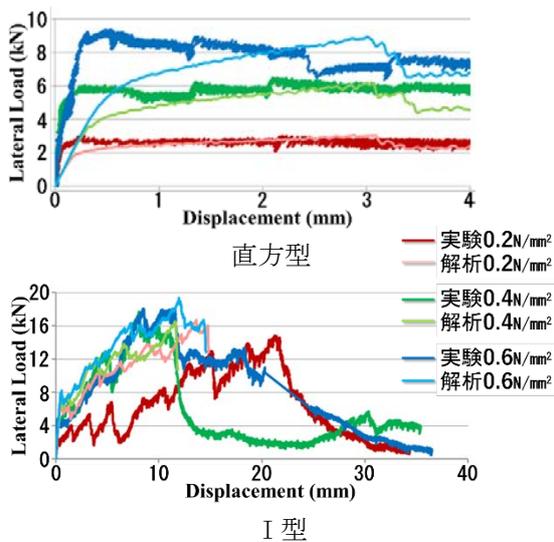
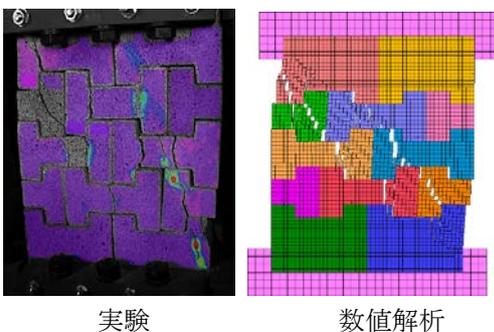


図7 実験と数値解析の荷重-変位関係の比較



実験 数値解析
図8 実験と数値解析の破壊状況の比較
(I型)

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 3 件)

- ① Aiko Furukawa, Junji Kiyono, Rishi Ram Parajuli, Hari Ram Parajuli and Kenzo Toki, Evaluation of damage to an historic masonry building in Nepal through comparison of dynamic characteristics before and after the 2015 Gorkha Earthquake, *Frontier in Built Environment*, 3:62, 2017.
- ② 古川愛子, 増田景也, Gerry Tri Satya Daru, 清野純史, インターロッキングブロックの形状が組積造壁の荷重-変位関係および破壊挙動に及ぼす影響, *構造工学論文集*, Vol. 64A, pp. 241-249, 2018年3月.
- ③ 古川愛子, 木村翔太, 清野純史, 凹凸のある煉瓦で構成される組積造壁の破壊メカニズムと耐力向上効果の検証, *土木学会論文集A1 (構造・地震工学)*, Vol. 74, No. 4, (地震工学論文集第37巻), 2018年.

[学会発表] (計 4 件)

- ① Aiko Furukawa, Gerry Tri Satya Daru, STUDY ON SHAPE EFFECT OF INTERLOCKING BRICKS ON RESISTANCE OF MASONRY STRUCTURES, 第71回土木学会年次学術講演会, 仙台, p. 535-536, 2016年.
- ② 増田景也, 古川愛子, 清野純史, インターロッキングブロックの形状が組積造壁の荷重-変位関係に及ぼす影響に関する研究, 第72回土木学会年次学術講演会, I-674, p. 1347-1348, 2017年.
- ③ 八木亮介, 古川愛子, 清野純史, 材料強度が組積造壁のインターロッキング機能に及ぼす影響について, 平成30年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2018年.
- ④ Johannes Jefry Prasetyo, Aiko Furukawa, Junji Kiyono, STUDY ON THE LOAD-DISPLACEMENT RELATIONSHIP OF INTERLOCKING BRICK WALLS DURING LATERAL LOADING, 第73回土木学会年次学術講演会, 2018年.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古川愛子 (Aiko FURUKAWA)
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号：00380585

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし