

## インターロッキング機構を利用した組積造壁の耐震性に関する基礎的研究

京都大学工学研究科 学生員 木村 翔太  
 京都大学地球環境学堂 正会員 古川 愛子  
 京都大学地球環境学堂 正会員 清野 純史  
 京都大学工学研究科 非会員 荒木 慶一

### 1. 研究の背景と目的

世界の地震災害による死者の半数近くは、開発途上地域で多く建設されている耐震性の低い組積造建築物の崩壊・倒壊によるものである。これまで、組積造建築物の倒壊・崩壊を防ぐ耐震補強として、PP-band<sup>1)</sup>や廃タイヤゴム<sup>2)</sup>を用いた補強方法が提案されているが、これらの補強方法は既存建築物を対象としたものである。新設組積造建築物を対象とした補強方法として、凹凸のある煉瓦同士のインターロッキング（噛み合わせ）を利用した補強方法が提案されている<sup>3)</sup>。本研究は、実験と解析の両面から、インターロッキング機構を有する組積造壁の特性について理解を進めることを目的とする。

### 2. 本研究で使用する組積造壁の基本性能

組積造建築物は一般的に、直方体の煉瓦が用いられ、馬目地型（図 1(a)(b)）と呼ばれる水平方向に目地の通ったものが採用されている。しかし、直方体煉瓦で構成されている組積造壁は、地震慣性力などによって、煉瓦とモルタル目地の接着面がひとたび破壊すると、摩擦以外の応力伝達機構を失うため、非常に脆弱な状態となる。そこで、本研究では、図 1(c)(d)のような凹凸を有する煉瓦を作成した。地震慣性力などの外力を受けた際、馬目地型と同様に、煉瓦とモルタル目地の接着部分で破壊が発生したとしても、煉瓦に凹凸を設けているため、煉瓦が破壊しないと仮定すれば、煉瓦同士の噛み合いが発生し、抗力を有することが期待できる。そのため、煉瓦とモルタル目地の接着部分破壊後も煉瓦同士の噛み合い効果によって、組積造壁全体として耐力を有することが可能であると考えられる。

本研究では、図 1 に示す高さの異なる 2 種類の直方体煉瓦で構成された馬型組積造壁（馬 1 型、馬 2 型）、凹凸を有する 2 種類の煉瓦で構成された組積造壁（土型、I 型）の計 4 種類の組積造壁を考え、斜め圧縮試験とその静的再現解析、動的外力を考慮に入れた個別要素解析により、耐力を比較した。煉瓦は、JIS2101 に基づく耐火煉瓦を用いた。また、モルタルは、普通ポルトランドセメントを使用した。

### 3. 斜め圧縮試験

インターロッキング機構の有無による組積造壁の応答の違いについて検討するため、馬 1 型、馬 2 型、土型、I 型の 4 通りの組積造壁に対して、万能材料試験機を用いて、斜め圧縮試験を実施した。試験は各組積造壁に対して、3 回実施した。本試験で使用する

煉瓦は、煉瓦毎に強度が異なることが明らかになったため、組積造壁の耐力については比較せず、破壊形態について定性的に述べる。

馬 1 型と馬 2 型の組積造壁では、図 2(a)のように主に煉瓦とモルタル目地の接着面で破壊が発生したが、煉瓦自身の破壊が発生するケースも見られた。

一方で、凹凸を有する煉瓦で構成された土型と I 型の組積造壁では、図 2(b)のように、煉瓦とモルタルの接着面での破壊に加えて、煉瓦自身の破壊も多く確認された。これは、煉瓦の凹凸の窪み部分に応力集中が発生したためであると考えられる。

### 4. 静的有限要素による斜め圧縮試験の再現解析

斜め圧縮試験における各組積造壁の挙動特性を検討することを目的として、汎用解析ソフト MARC を用いて 2 次元静的解析を行った。有限要素解析における煉瓦とモルタルのモデル化は、煉瓦とモルタルが一体となったユニット要素とし、ユニット要素間の破壊（煉瓦とモルタル目地の接着面での破壊）を表現できるものとした。また、斜め圧縮試験では、煉瓦の破壊も見られたため、ユニット要素をさらに分割することで、ユニット要素の破壊（煉瓦の破壊）を表現できるモデル化とした。馬 1 型では、長手方向を 4 分割、短辺方向を 2 分割し、馬 2 型は長手方向 4 分割、短辺方向も 4 分割とした。土型、I 型についても同様の大きさの要素で分割した。本解析では、ユニット要素を変形体と仮定し、接触解析を行った。物性値は、各実験供試体の要素試験から求めた値を用いた。以下、解析結果を述べる。

各組積造壁の破壊モードに関して、直方体煉瓦で構成された馬 1 型組と馬 2 型組の積造壁では、ユニット要素間のせん断破壊が発生・進展した。一方、凹凸を有する加工煉瓦で構成された土型と I 型の組積造壁では、ユニット要素間のせん断破壊に加えて、ユニット要素内部の破壊が発生し、実験と整合する結果が得られた。

図 3 に、最大耐力に達する直前の最大主応力のコンター図を示す。インターロッキング機構を有する組積造壁は、壁体を構成する加工煉瓦の凹部分に応力集中が発生していることが見て取れる。

### 5. 個別要素法を用いた動的解析

個別要素法では、構造物を剛体要素の集合体としてモデル化し、接触要素間にばねとダッシュポットを配置し相互作用力をモデル化する。要素毎に運動方程式を立式し、陽解法により時間積分することに

より要素の挙動を追跡する。本研究では、接触面の離散化によりばね定数を理論的に導出できるようになった改良版個別要素法を用いて解析を行った。煉瓦のモデル化は、有限要素解析のモデル化と同様に、煉瓦の破壊を考慮するため、1個の煉瓦を複数の要素に分割した。本解析では、組積造壁の1次固有振動数を持ったSIN波を面内方向(2000gal, 11.3Hz)に3波、面外方向(800gal, 2.43Hz)に2波入力し動的解析を行った。以下に解析結果を述べる。

面内方向へSIN波を加振した際(図4)、馬1型と馬2型組積造壁は、破壊が横目地方向に進展・貫通した。そのため、加振終了後は摩擦以外の水平抗力は有しておらず、非常に脆弱な状態となり、水平ずれが生じた。一方で、インターロッキング機構を有する組積造壁は、煉瓦自身の破壊は発生せず、煉瓦の噛み合い効果により、横目地方向の破壊は完全に貫通することはなかった。面外方向にSIN波を加振した際(図5)、馬1型組と馬2型の組積造壁は、破壊が横目地方向に貫通し、その後、崩壊が発生した。しかし、土型とI型の組積造壁は、横目地方向での破壊は発生したが、縦目地方向の破壊が発生しなかったため、結果的に破壊が面内方向を完全に貫通することはなく、崩壊には至らなかった。

6. 結論

斜め圧縮試験と有限要素法を用いた静的解析より、インターロッキング機構を有する組積造壁は、凹凸部に応力集中が発生し、煉瓦の破壊が発生する可能性があることが分かった。一方、動的解析では煉瓦の破壊は発生せず、煉瓦の噛み合い効果によって破壊を免れる可能性があることも分かった。

参考文献

- 1) 目黒公朗：第30回土木学会地震工学研究発表会論文集，3-0053，2009.
- 2) Ahmet Turer, Materials and Structures, Vol.41, pp.1345-1361, 2011.
- 3) 真田靖士他，日本建築学会論文集，第605号，pp.159-166, 2006.

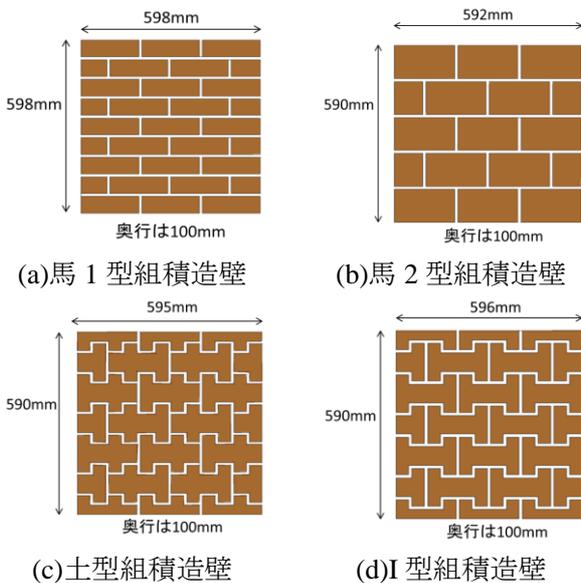


図1 組積造壁の供試体

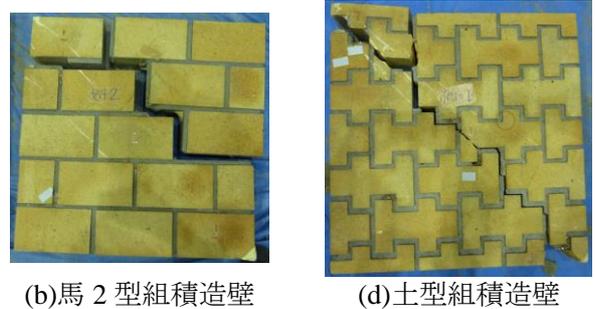


図2 斜め圧縮試験結果

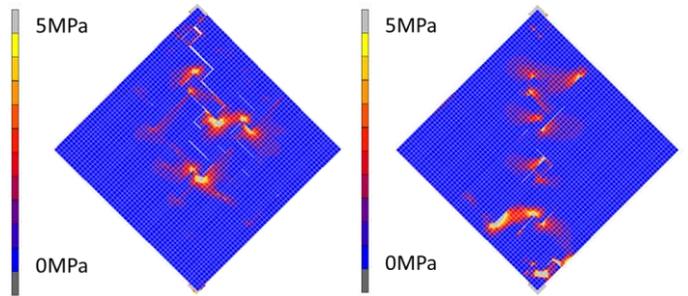


図3 静的解析における最大主応力のコンター図

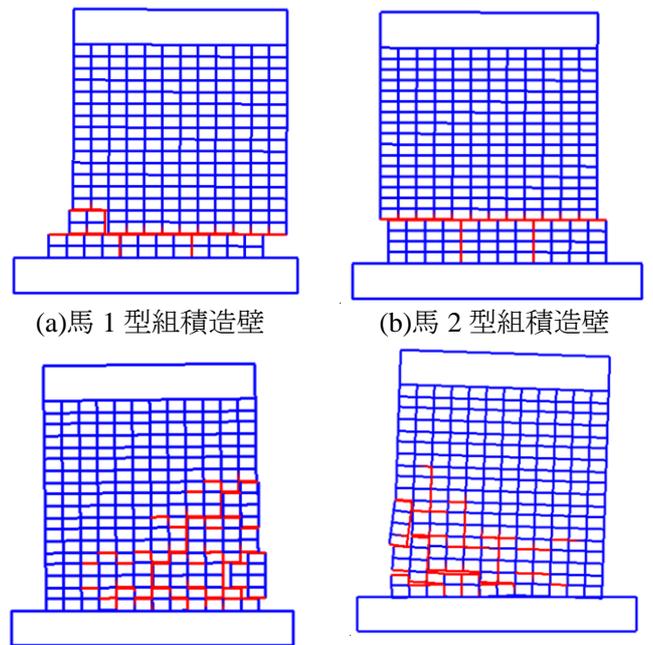


図4 動的解析における面内方向加振の結果

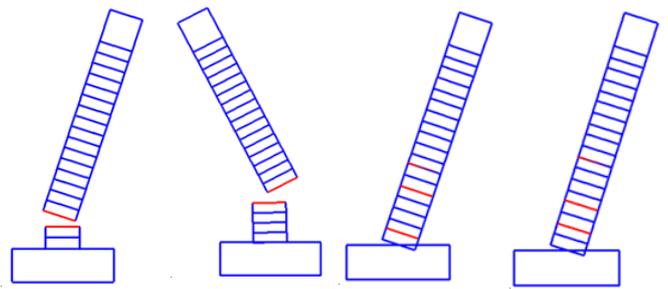


図5 動的解析における面外方向加振の結果