

無補強組積造建築の一耐震化手法について

真田靖士¹⁾・中村友紀子²⁾・山内成人³⁾・八巻勝俊⁴⁾・崔琥⁵⁾・中埜良昭⁶⁾

- 1) 正会員 東京大学地震研究所，東京都文京区弥生 1-1-1, ysanada@eri.u-tokyo.ac.jp
- 2) 正会員 新潟大学工学部，新潟県新潟市五十嵐 2 の町 8050, nakamura@eng.niigata-u.ac.jp
- 3) 非会員 東京大学生産技術研究所，東京都目黒区駒場 4-6-1, nyama@iis.u-tokyo.ac.jp
- 4) 非会員 新潟大学工学部，新潟県新潟市五十嵐 2 の町 8050, t01k710a@mail.cc.niigata-u.ac.jp
- 5) 学生会員 東京大学大学院工学系研究科，東京都目黒区駒場 4-6-1, choiho@iis.u-tokyo.ac.jp
- 6) 正会員 東京大学生産技術研究所，東京都目黒区駒場 4-6-1, iisnak@iis.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

1999年トルコ・コジャエリ地震，台湾・集集地震，昨年もアルジェリア・ブーメルデス地震，イラン・パム地震と，極めて大きな建物被害を伴う地震災害が世界各地で後を絶たない。これらの地震では日本の建物ではあまり用いられない組積造建築の被害が際立つ。組積造建築の耐震性能を正しく評価し然るべき措置を取ることにより，世界の地震災害は劇的に軽減できると考えられる。

以上のような背景の下，本研究では地震に対して脆弱な無補強組積造（以下，URM）建築を効果的且つ経済的に耐震化するための手法について議論する。はじめに，筆者らが 2003 年に実施した韓国の URM 壁を有する鉄筋コンクリート造（以下，RC）架構の耐震実験の結果，とくに本構造の水平力抵抗機構について整理する。続いて，本実験の知見に基づいて，URM 壁が合理的に水平耐力を発現する手法を提示し，要素実験を行い，本手法の有効性について検討する。

2. 枠組 URM 壁の耐震実験

2.1 試験体と実験方法の概要

2003 年，筆者らは韓国の学校建物の外壁や間仕切壁として多用される無補強ブロック造壁を有する RC 実大架構を対象に，静的加力実験¹⁾を実施した。本実験では開口形状と軸力を変動因子とする計 4 体の試験体を計画したが，本報では図 1 に示す a) 開口のないブロック造壁を有する無開口試験体と，b) 負加力方向の柱に隣接するドア開口を有するドア開口試験体の 2 体の実験結果について考察する。

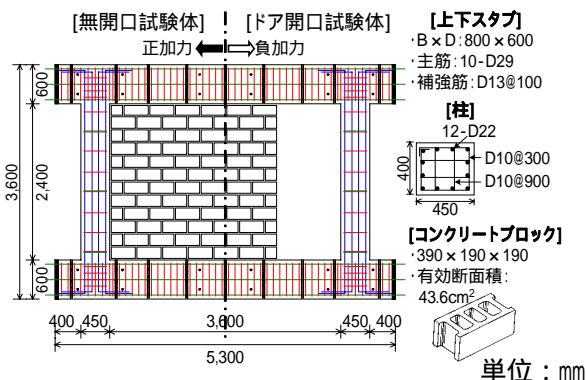


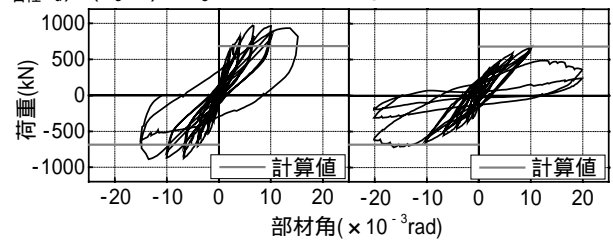
図 1 枠組 URM 壁試験体

水平力の載荷方法は試験体面内方向への準静的な正負交番載荷とし，原則として試験体の頂部変形角 1/1000, 1/500, 1/250, 1/150, 1/100, 1/50 まで各 2.5 回ずつ繰り返した（厳密な載荷履歴は文献 1）を参照）。鉛直方向には 1440kN の一定軸力を加えた。

2.2 実験結果の概要と URM 壁の水平力抵抗機構

無開口試験体，ドア開口試験体ともに圧縮側柱の脚部が曲げ降伏した後にせん断破壊し終局に至ったが，両者の耐震性能には大きな違いが見られた。

各試験体の荷重 - 変形関係を図 2 に示す。同図には，URM 壁を無視し，柱の曲げ耐力 $M_u^{(2)}$ のみに基づき算出される架構全体の水平耐力の計算値 $(= (左柱 M_u + 右柱 M_u) / (h_c / 2), h_c: 柱内法高さ)$ を併せて示した。



(a) 無開口試験体 (b) ドア開口試験体

図 2 枠組 URM 壁の荷重 - 変形関係

図 2 より，実験より得られた架構の耐力は上記の計算値に対し，無開口試験体で約 1.4 倍，ドア開口試験体で同程度であった。この結果に基づき無開口試験体の URM 壁が負担する最大平均せん断応力度 $(= (架構全体の耐力 - 柱のみの耐力の計算値) / URM 壁の水平断面積)$ を計算すると約 $0.4N/mm^2$ となる。この値は一般的な RC 柱 ($1 < \text{せん断スパン比} < 3$)，壁（両側柱付壁）の終局時平均せん断応力度が $1N/mm^2, 3N/mm^2$ と想定されている³⁾ことを考慮すると比較的大きな応力度レベルである。一方，ドア開口試験体の耐力は柱のみの耐力の計算値とほぼ一致したため，URM 壁が負担する平均せん断応力度は約 0 になる。これは，無開口試験体の URM 壁は周囲を RC 架構に拘束されており架構の変形に追従してせん断変形するため図 3(a) に示す圧縮ストラットが形成されるが，ドア開口試験体は開口部に URM 壁の変形を拘束する要素がないため，架構が大きく変形しても壁は図 3(b) のように脚部に発生した水平ひび割れに沿って

剛体運動するのみであり、圧縮ストラットが形成されないためと考えられる。以上の結果は、URM壁の耐震性能は壁をせん断変形させ、圧縮ストラットを形成させることで向上し得ることを意味している。

上記のメカニズムに着目すると、圧縮ストラット端部の反力と組積ユニット同士の結合力を何らかの手法により確保できれば、枠組 URM 壁のみならず、周辺に架構を有さない単純な URM 壁の性能も論理的には向上できることになる。そこで、本研究では図 3(c)のように組積ユニットに凹凸を設けユニット間の噛み合いを利用することで上記を実現する方法に着目した。本手法の利点は、従来の URM 建築で使用されてきた材料以外の二次材料を用いずに、本構造を高耐震化し得る点にある。

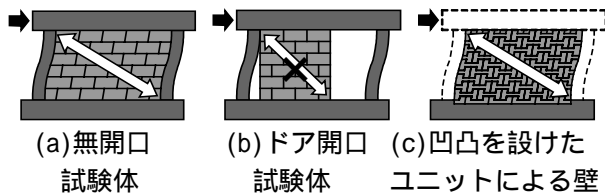


図 3 水平力抵抗機構

3. URM 建築の高耐震化の実現可能性

3.1 凹凸を設けたユニットによる URM 壁要素試験体

本研究では URM 壁のプロトタイプとして図 4(a)の凹凸を設けたユニットと従来型の直方体ユニットによる 2 種類のレンガ造壁を想定した。同図中黒枠で示す 4 種類の要素を最小結合単位と考え、これらを簡略に表現した図 4(b)に示す 3 種類の試験体の要素実験を計画した。無加工試験体は普通レンガ 4 種をモルタルを介して 3 段に組積した試験体（目地厚 10mm）である。加工試験体は無加工試験体と同一の普通レンガに図 4(c)の加工をそれぞれ施し、同様に組積した試験体である。

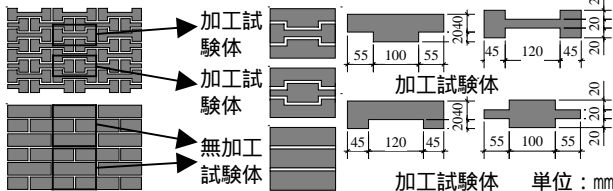


図 4 URM 壁のプロトタイプおよび要素試験体

3.2 実験結果

試験体（モルタル）材齢 4 週強度時に要素試験体のせん断実験を実施した。実験は東京大学生産技術研究所、材料・材質評価センターにて行った。図 5 に各試験体の加力条件、写真 1 に実験の様子を示す。

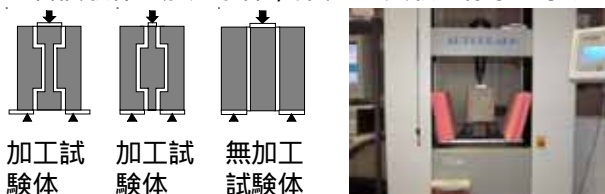


図 5 加力条件 写真 1 実験の様子

図 6 に各試験体の荷重 - 変形関係を示す。ここで、荷重とは試験機のロードセルにより計測された力、変形とは試験機の加力ヘッドの降下量である。また、同図右側の縦軸には荷重（左側の縦軸）に対応する各試験体の 1 水平（加力方向に平行）目地あたりの平均せん断応力度（=荷重/(2×水平接着面断面積)）を併せて示した。各試験体の 1 水平目地の最大平均せん断応力度は、加工試験体 で 1.41N/mm²、加工試験体 で 1.33N/mm²、無加工試験体で 0.62N/mm² であり、加工試験体の耐力が無加工試験体の耐力を 2 倍以上上回った。ただし、本実験では試験体の各ユニット間に純せん断に近い载荷を行ったため、無加工試験体も非常に大きな耐力を発現した点に留意する必要がある。実際の URM 壁は純せん断ではなく曲げせん断を受け、目地には局部的に引張応力が作用して早期にひび割れが生じるため、本実験で記録したレベルのせん断力は負担できないと考えられる。一方、加工試験体では曲げせん断を受けひび割れが生じて、ユニット間の噛み合いが確保される限りせん断抵抗機構を失わないため、純せん断に近い耐力の発現が期待される。このメカニズムが如実に観察された例が加工試験体 であり、レンガとモルタルの接着面の剥離により一旦耐力が低下するが、ユニット間の噛み合いにより耐力を回復する現象が捉えられた。写真 2 に各試験体の破壊状況を示す。無加工試験体はレンガとモルタルの接着面が剥離し終局に達したが、加工試験体 はレンガが局部的にせん断変形し引張破壊して終局に至った。

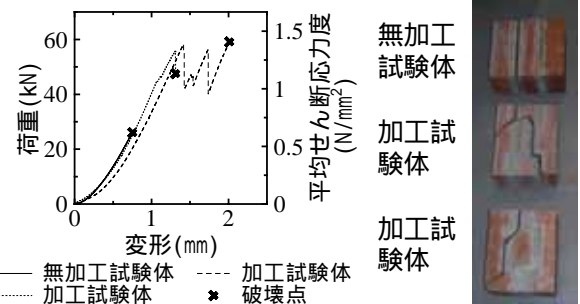


図 6 要素実験結果 写真 2 破壊状況

4. まとめ

本研究では URM 建築を合理的に高耐震化する手法の実現を目的に、以下の検討を行い各知見を得た。

- ・ 枠組組積造壁の実大実験結果より URM 壁の水平力抵抗機構を整理した。壁が合理的に耐力を発現するためには圧縮ストラットの形成が重要である。
- ・ 組積ユニットに凹凸を設けた URM 壁の要素実験を実施した。本構造のせん断抵抗は従来のユニットを用いた場合を上回る。本構造は曲げせん断下においても効果的に耐力を発現すると期待される。

参考文献

- 1) 崔雄ほか：「無補強組積造壁を有する鉄筋コンクリート造架構の耐震性能評価その 1-3」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2 構造, pp.651-656, 2004.8
- 2) 日本建築学会：「鉄筋コンクリート構造計算資料集」, 2002.1
- 3) 日本建築防災協会：「2001 年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説」, 2001.10