

研究速報 : 組積造建築の高耐震性能化に向けての一考察

その他のタイトル	A Study on Seismic Performance Evaluation and Enhancement of Masonry Buildings
著者	真田 靖士, 中村 友紀子, 山内 成人, 八巻 勝俊, 崔 琥, 中埜 良昭
雑誌名	生産研究
巻	56
号	6
ページ	505-509
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/2261/00078708

doi: [info:doi/10.11188/seisankenkyu.56.505](https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.56.505)

組積造建築の高耐震性能化に向けての一考察

A Study on Seismic Performance Evaluation and Enhancement of Masonry Buildings

真田 靖士*・中村 友紀子**・山内 成人***・
八巻 勝俊**・崔 琥***・中埜 良昭***

Yasushi SANADA, Yukiko NAKAMURA, Naruhito YAMAUCHI, Katsutoshi YAMAKI, Ho CHOI and Yoshiaki NAKANO

1. はじめに

1999年のトルコ・コジャエリ地震や台湾・集集地震、昨年もアルジェリア・ブームルデス地震、イラン・バム地震と、極めて大きな建築物被害を伴う地震災害が世界各地で後を絶たない。被害要因については設計法、施工の質などに起因する技術的な問題から各国に固有の社会的な問題まで多岐にわたり一概に議論することは困難であるが、技術者の立場から考察すると一つの共通点に気がつく。それは日本の建物ではあまり用いられない組積造壁が多用されていることである。組積造壁あるいは組積造壁を有する建物の耐震性能を正しく評価し然るべき措置をとることにより、世界の地震災害は劇的に軽減できると考えられる。

このような背景の下、本研究では地震に対して脆弱な無補強組積造（以下、URM）建築を合理的に耐震化するための手法について議論する。はじめに、筆者らが既に実施した韓国のURM壁を有する鉄筋コンクリート造（以下、RC）柱梁架構の耐震実験から得られた結果、とくに本構造の水平力抵抗機構について考察する。続いて、以上により得られた知見に基づいて、URM壁が比較的大きな水平耐力を合理的に発現し得る手法を提示するとともに、要素実験を実施して本手法の有効性について検討する。

2. 枠組組積造壁の耐震実験

2.1 試験体および実験方法の概要

筆者らは2003年度、韓国の1980年代の学校建物を対象に、その外壁や間仕切壁として用いられる無補強ブロック造壁を有するRC実大架構の耐震実験¹⁾を実施した。本実験では開口形状および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) 無開口のブロック造壁を有する無開口試験体と、b) 加力方向負側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

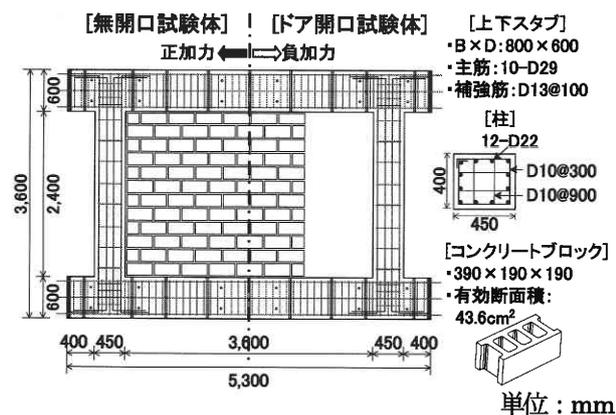


図1 試験体

果について考察する。これらの試験体はともに1階の架構を想定しており後述するように作用軸力は等しい。材料試験結果をはじめとするその他の詳細事項については文献1)を参照されたい。

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までそれぞれ2.5回ずつ繰り返した（厳密な載荷履歴については文献1)を参照）。また、鉛直方向には1440 kNの一定軸力を加えた。

2.2 実験結果の概要

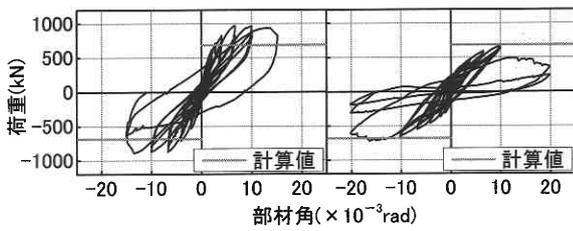
無開口試験体、ドア開口試験体ともに圧縮側柱脚部が曲げ降伏した後にはせん断破壊して終局に至ったが、両者の耐震性能には大きな違いが見られた。

図2に各試験体の荷重-変形関係を示す。同図には、URM壁を無視し、且つ架構両端の柱の頭部と脚部が曲げ降伏すると仮定した場合に柱の曲げ降伏耐力の計算値 $M_u^{(2)}$ に基づいて算出される架構全体への入力せん断力の計算値 $(= (M_{u左柱} + M_{u右柱}) / (h_c / 2), h_c: 柱内法高さ)$ を併せて示した。実験より得られた架構全体のせん断耐力は、柱のみの曲げ降伏を仮定した場合の入力せん断力の計算値に対して、無開口試験体で約1.4倍、ドア開口試験体では

*東京大学地震研究所 地震火山災害部門

**新潟大学工学部 建設学科

***東京大学生産技術研究所 基礎系部門



(a) 無開口試験体 (b) ドア開口試験体

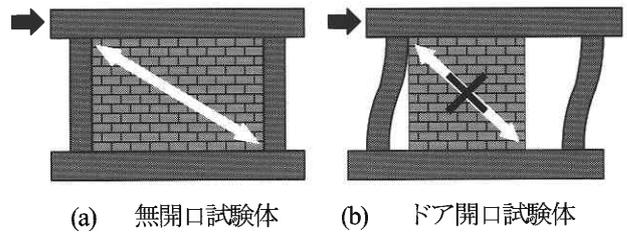
図2 荷重-変形関係

は同程度であったことから、両者の水平力抵抗機構は大きく異なることが推察される。また、架構に入力されるせん断力が異なるため、両者の変形性能にも大きな違いが見られた。これらに代表される両試験体の性能の違いについて以下で解説する。

2.3 枠組組積造壁の水平力抵抗機構

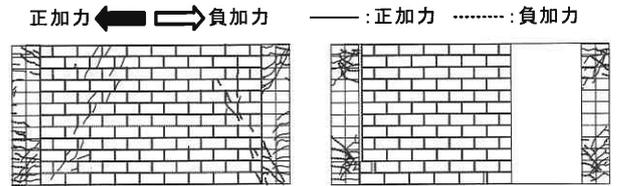
前述のように、無開口試験体は柱のみの水平耐力の計算値のおよそ1.4倍の耐力を発現したが、この結果に基づいてURM壁が負担する最大平均せん断応力度(= (架構全体の耐力-柱のみの水平耐力の計算値) / URM壁の水平断面積)を計算するとおおよそ0.4 N/mm²となる。これは一般的なRC柱(1<せん断スパン比<3)、壁(両側柱付壁)の終局時平均せん断応力度がそれぞれ1 N/mm²、3 N/mm²と想定されている³⁾ことを考慮すると比較的大きなせん断力レベルであると言えよう。一方、ドア開口試験体の水平耐力は柱のみの耐力の計算値とほぼ一致したため、URM壁が負担する平均せん断応力度はおおよそ0ということになる。これは、無開口試験体ではURM壁が周囲をRC架構に拘束されており架構の変形に追随してせん断変形するため、図3(a)に示すような壁対角線方向の圧縮ストラットが形成されるが、ドア開口試験体では開口部に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図3(b)のように壁は脚部を水平に横断した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。図4には各試験体の最終破壊状況を示すが、試験体のひび割れパターンは上記の考察を裏付けている。すなわち、本構造におけるURM壁の水平耐力の大部分は組積ユニット間水平方向の接着力や摩擦力ではなく、壁全体のせん断変形に伴う圧縮ストラットによって発現されると考えるのが妥当である。

以上では、URM壁が効果的に耐力を発現するためには、壁面内方向の圧縮ストラットの形成が重要であることについて述べたが、続いて、圧縮ストラットの形成条件について考察を加える。本実験で対象とした枠組組積造壁では圧縮ストラットの形成に壁周辺の架構が寄与するところが大きく、圧縮ストラット端部の反力を周辺フレームに依存している。すなわち圧縮ストラット形成の一つ目の条件として、「圧縮ストラット端部の反力の確保」が挙げられる。



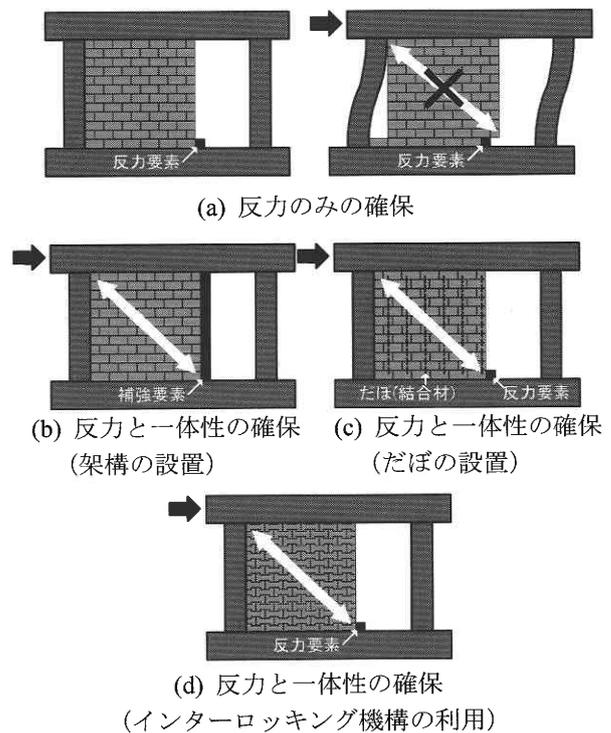
(a) 無開口試験体 (b) ドア開口試験体

図3 水平力抵抗機構



(a) 無開口試験体 (b) ドア開口試験体

図4 最終破壊状況



(b) 反力と一体性の確保 (架構の設置) (c) 反力と一体性の確保 (だばの設置)

(d) 反力と一体性の確保 (インターロッキング機構の利用)

図5 圧縮ストラットの形成方法

ドア開口試験体は本条件を満足しなかったために圧縮ストラットが形成されなかったと考えられる。ここで、仮に図5(a)に示すようにURM壁の開口側脚部に何らかの反力要素を確保すれば上記の条件は満足することとなるが、これだけではすべりを生じる目地が1段上方に移動するだけで、依然として圧縮ストラットが形成されないことは容易に予想できる。ドア開口試験体に圧縮ストラットを形成するためには、図5(b)のようにドア開口に沿う補強要素を

設け、壁全体の一体性を確保する必要がある。従って、圧縮ストラット形成の二つ目の条件は、「面材の一体性の確保」と表現することができよう。無開口試験体は結果的に上記の二条件を満足している。

ところで、面材の一体性を確保するためには、無開口試験体や図5(b)のように壁周辺に架構を設ける方法の他にも、組積ユニット同士に大きな結合力を確保する方法が挙げられる。具体的には、図5(c)に示すようにユニット間にだば(結合材)を設ける方法(鉄筋による補強組積造もこの一種と考えられる)や、図5(d)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(インターロッキング機構)を利用する方法である。とくに後者は従来のURM壁で用いられてきた素材以外の二次材料(壁周辺の枠、鉄筋、だばなど)を必要とせず、在来の壁を遥かに上回る耐震性能を実現できる可能性を有しており、その耐震性が確認された場合、とくに耐震化されていない組積造建築を多用する途上国での利用価値は大きいと判断する。そこで、以下では本手法の有効性、実現性を検証するため、組積ユニットに加工を施したURM壁の要素実験を実施した。

3. 組積造建築の高耐震性能化の実現可能性

3.1 インターロッキング機構を利用したURM壁の要素試験体

本研究では、URM壁のプロトタイプとして、図6(a)に示す従来型の直方体ユニットを組積する壁に加え、図6(b)のように凹凸を設けた組積ユニットを用いる壁の2種類を想定した。さらに、各壁の最小結合単位として図6中黒枠で示す4種類の要素を仮定した。以下では、これらのURM壁要素を簡略に表現した3種類の試験体の要素実験を行った結果を報告する。各試験体の詳細を図7に示す。無加工試験体は普通れんが4種をモルタルを介して3段に組積した試験体である。加工試験体I、IIは無加工試験体と同一の普通れんがに図7(b)、(c)の加工をそれぞれ施し、同様に組積した試験体である。モルタルの配合は、文献4)、5)を参考に施工性や期待される目地強度などを考慮して、セメント：砂：水=1：2：0.5とした。

3.2 実験結果

試験体(モルタル)材齢4週強度時にプリズム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・材質評価センターのオートグラフを用いて実施した。図8(a)に各試験体の加力条件を、写真1に加工試験体Iの加力時の様子をそれぞれ示す。

図9に実験より得られた各試験体の荷重-変形関係を示す。ここで、荷重とはオートグラフのロードセルにより計測された力、変形とはオートグラフ加力ヘッドの下垂り量を指す。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水平目地あたりの平均せん断応力度

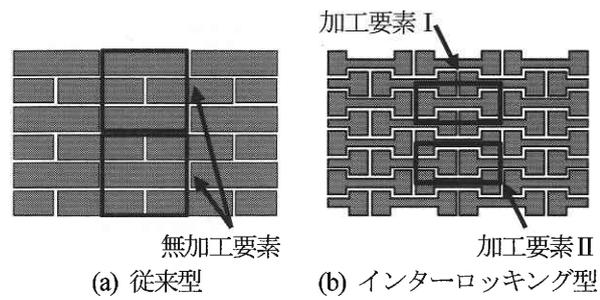


図6 URM壁のプロトタイプ

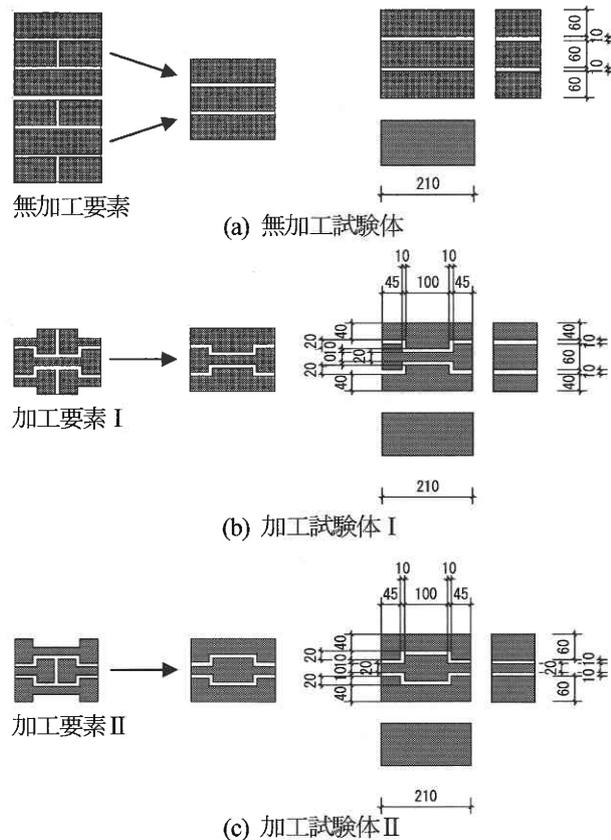


図7 プリズム試験体の詳細

(=荷重/(2×各試験体の水平接着面断面積(ともに210cm²)))を併せて示した。各試験体の1水平目地に対する最大平均せん断応力度は、無加工試験体で0.62 N/mm²、加工試験体Iで1.41 N/mm²、加工試験体IIで1.33 N/mm²であり、加工試験体の耐力が無加工試験体を2倍以上上回る結果となった。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荷重を行ったため、無加工試験体も非常に高い耐力を発現したこと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下にあるため、水平目地にはより大きな引張応力が作用し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水平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

研究速報

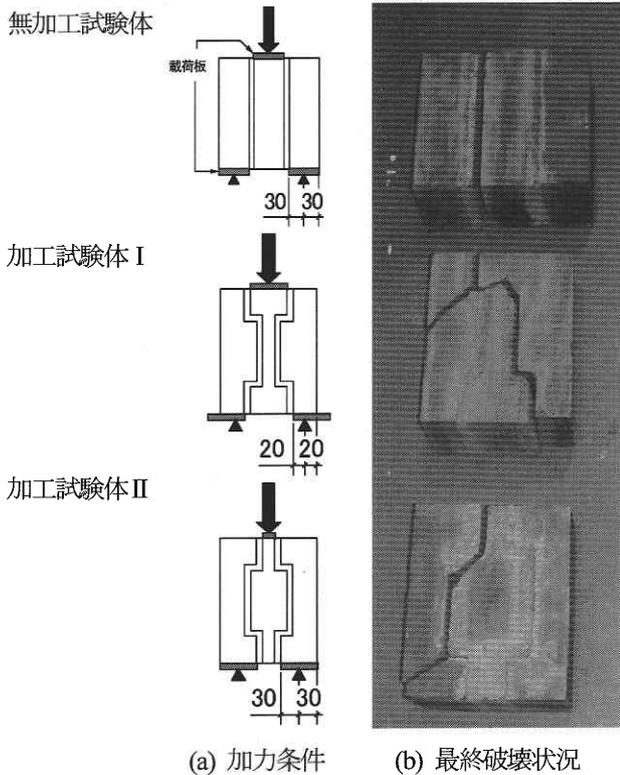


図8 加力条件および最終破壊状況



写真1 要素実験の様子

受けてひび割れが生じても、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、純せん断下に近い耐力を発現することが期待される。こうした破壊経過が如実に観察された例が加工試験体 I であり、れんが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再度耐力を発現する現象が捉えられた。図 8(b) にすべての試験体の最終破壊状況を示す。無加工試験体はれんがとモルタルの接着面の剥離により最大耐力に達したのに対し、加工試験体 I, II は、れんがが

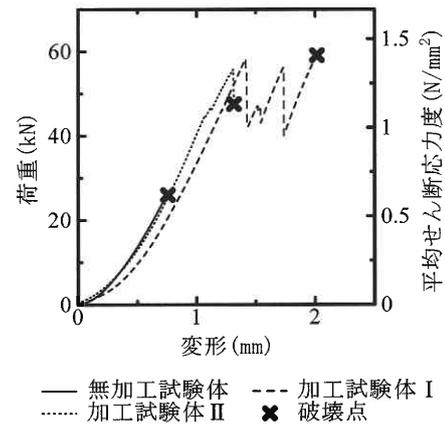


図9 荷重-変形関係

局部的にせん断変形し引張破壊して終局に至ったことがわかる。

4. ま と め

本研究では地震に対して脆弱な URM 建築を合理的に高耐震性能化するための手法を実現することを目的として、枠組組積造壁の実大実験より得られた URM 壁の水平力抵抗機構について整理するとともに、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。本稿で得られた知見は下記の通り要約される。

- 1) URM 壁を有する RC 架構において、壁が合理的に耐力を発現するためには、壁面内方向の圧縮ストラットの形成が不可欠である。
- 2) URM 壁の圧縮ストラットの形成には、圧縮ストラット端部の反力と、壁の一体性を確保する必要がある。
- 3) URM 壁の一体性を確保する一手法としてインターロッキング機構を利用する方法がある。本手法の大きな利点は、従来の URM 壁で用いられてきた素材以外の二次材料を必要としない点である。
- 4) インターロッキング機構を利用した URM 壁の要素実験を実施した結果、本構造のせん断耐力は従来の直方体ユニットを用いた壁を大きく上回ることを確認した。また、本構造は曲げせん断力下においても効果的に耐力を発現することが期待される。

以上では、URM 壁の面内方向の性能について議論した。面外方向の性能については今後の課題とするが、本稿で示したインターロッキング機構は面外の性能にも有効に機能し得ると考えており、その検証実験を計画している。

謝 辞

本稿で報告した要素実験は、本所と東京大学地震研究所、新潟大学工学部との共同研究の一環として実施した。試験体の製作には本所魚本研究室金田尚志氏の協力を、実験の実施には吉川研究室桑水流理助手の協力をそれぞれ得た。

ここに記して謝意を表する。

(2004年9月28日受理)

参 考 文 献

- 1) 崔琬, 中埜良昭, 真田靖士, 山内成人, 朴珍和: 「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IV, pp.651-656, 2004年8月
- 2) 日本建築学会: 「鉄筋コンクリート構造計算用資料集」, 2002年1月
- 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年10月
- 4) 日本規格協会: 「JISハンドブック2004 建築II 試験・設備」, 2004年1月
- 5) 日本建築学会: 「建築工事標準仕様書・同解説 JASS7 メーソソリー工事」, 2000年1月