

第1部門

組積造の地震時挙動に関する研究

京都大学工学部 学生会員 ○横井 千晶
 京都大学工学研究科 正会員 清野 純史
 京都大学工学研究科 正会員 小野 祐輔
 京都大学工学研究科 正会員 Charles Scawthorn

1. はじめに

2003年12月26日に発生したイラン・バム地震では、深刻な人的被害・建物被害が生じた¹⁾。バム市内の約85%の建物が一部損壊・倒壊し、さらに人的被害のほとんどが建物倒壊によるものであったと思われる。そして、その被害建物の多くはアドベ造をはじめとする無補強組積造であった。組積造の家は多くの途上国において伝統となっており、しかも安価なため、現在でも多数存在するのだが、このような家は耐震性が極めて低いにもかかわらず、無補強のものも多く存在する。組積造の費用対効果の高い耐震補強は工学的に重要な問題である。そこで本研究では、典型的な構造の組積造についてモデル化し、二次元有限要素法を用いて地震時シミュレーションを行い、その挙動について検討する。

2. 解析モデルの概要

本研究では、二次元有限要素法解析コード7S-²⁾を用いて解析を行った。

本研究での解析対象物は、図-1(a)のような家を想定し、(b)(c)の正面と側面の2枚の壁の解析を行った。屋根は分布荷重として壁の上部に作用させた。

レンガは等方弾性体の性質を持つソリッド要素と仮定し、モデル化した。本研究では二次元で解析しているため、この等方弾性体の性質を考慮するために平面応力問題としている。

また、レンガ同士の接合面およびレンガの中央には、図-2のように、Caoら³⁾により考案されたジョイント要素を導入することにより非線形性を考慮し、接合面において発生する可能性のある剥離や滑動といった現象を取り扱うことができるようにしている。

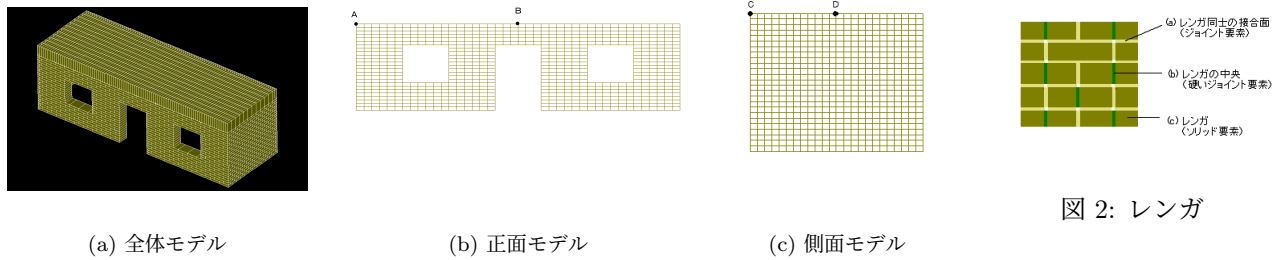


図 2: レンガ

図 1: 解析モデル

本研究で用いた二次元ジョイント要素は、図-3に示すように、節点1～4からなる長方形から構成されており、初期状態においては面1-2と面3-4は密着しているものとする。なお破壊基準としては、Mohr-Coulombの破壊基準を用いた。

物性を表-1～3に示す。

表 1: ソリッド要素のパラメータ

ヤング率 $E[\text{tf/m}^2]$	せん断波速度 $V_s[\text{m/s}]$	ポアソン比 ν	単位体積重量 $\gamma[\text{tf/m}^3]$	粘着力 $c[\text{tf/m}^2]$	内部摩擦角 $\phi[\text{deg}]$	減衰定数 h
1.70×10^6	1.91×10^3	0.15	2.0	2.86×10^2	36.9	0.18

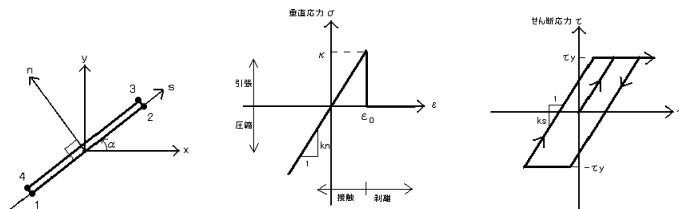
表 2: レンガ中心部におけるジョイントのパラメータ

法線方向の剛性 $k_n[\text{tf/m}^2]$	せん断方向の剛性 $k_s[\text{tf/m}^2]$	初期引張強さ $\kappa[\text{tf/m}^2]$	粘着力 $c[\text{tf/m}^2]$	内部摩擦角 $\phi[\text{deg}]$
4.37×10^{10}	4.37×10^{10}	10^{30}	10^{30}	36.9

表 3: 接合面におけるジョイントのパラメータ

法線方向の剛性 $k_n[\text{tf/m}^2]$	せん断方向の剛性 $k_s[\text{tf/m}^2]$	初期引張強さ $\kappa[\text{tf/m}^2]$	粘着力 $c[\text{tf/m}^2]$	内部摩擦角 $\phi[\text{deg}]$
3.58×10^6	1.57×10^6	2.55×10^1	3.57×10^1	36.7

解析には、2003年12月26日のイラン・バム地震の際にバム市中心部(E58.35,N29.09)で観測された地震波のうちNS成分を解析モデルの水平方向に基盤面から入力した(図-4)。



(a) 要素モデル (b) 垂直方向 (c) せん断方向

図 3: 2次元ジョイント要素とその構成関係

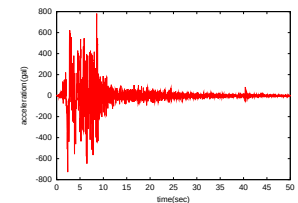


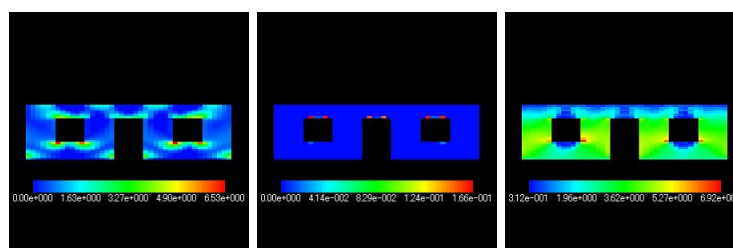
図 4: 入力地震動の加速度波形

3. 解析結果

本研究では、まず自重のみの作用時の静的解析により、応力およびひずみを求めた。次に、この値を初期値とし、地震波作用時の動的解析を行った。

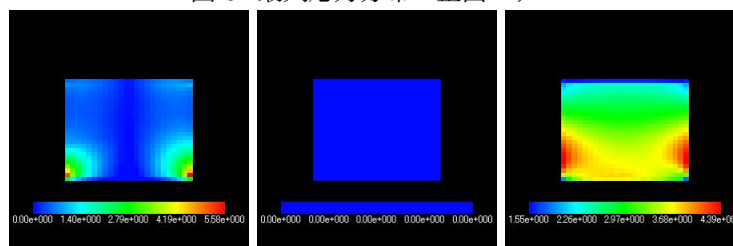
ソリッド要素の応力の全解析時間における最大値の分布図を図-5 および図-6 に示す。

ここで注目すべき点は、正面モデルの両サイドで引張応力・圧縮応力・せん断応力が大きな値をとることである。このように開口部の両側には応力やひずみが集中するため、他の部位と比べて弱点になる可能性があることがわかる。側面モデルに関しても壁の両サイドに比較的大きな応力が分布していることがわかる。



(a) 引張 (σ_x) (b) 引張 (σ_y) (c) せん断 τ_{xy}

図 5: 最大応力分布：正面モデル



(a) 引張 (σ_x) (b) 引張 (σ_y) (c) せん断 τ_{xy}

図 6: 最大応力分布：側面モデル

4. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

1. 2003 年イランバム地震でアドベ造やレンガ造などの組積造が大被害を受け、多くの死傷者が発生したことを勘案し、それら組積造構造物が地震時にどのような挙動をとるのかを FEM を用いて検討した。
2. 組積同士を結びつけるとともに、剥離や滑動などの現象も再現できるジョイント要素を全てのソリッド要素間に導入し、解析を行った。
3. 典型的な組積造構造物を想定し、その 3 次元モデルを基に、正面と側面の壁のモデル化を行い、平面応力問題として解析を行った。
4. 静的な自重解析結果を初期値にして、2003 年イランバム地震の際に市内中心部の市庁舎で観測された波形の水平成分を入力し、震動解析を行った。その結果、想定した組積造構造物モデルがかなり強固な構造パラメータを有していたため、剛体的な震動挙動を示した。
5. 側面の壁の挙動に関しては、壁全体が交番載荷状態にあるため、全体として単純圧縮引張の状態が生じ、対角線方向のせん断力およびせん断ひずみが顕著に生じている。正面の壁の挙動に関しては、開口部の隅角部に応力やひずみの集中が生じるため、ここが壁全体の弱点になりうることがわかった。

参考文献

- 1) International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, <http://www.iiees.ac.ir/>
- 2) 土岐憲三・三浦房紀: 地盤-構造物系の非線形地震応答解析, 土木学会論文報告集, 第 317 号, pp.61-68, 1982.
- 3) Zengyan Cao and Hiroyuki Watanabe: "Earthquake response predication and retrofitting techniques of adobe strustures", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.2594, Vancouver, B.C., Canada, 2004.