

レンガ壁付き三層 RC 造骨組の耐震性能評価に関する解析的検討

(その 3) FEM 解析による静的および動的挙動の把握

Analytical Study on Seismic Capacity Evaluation of 3-story RC Frame with Infilled Masonry Wall

—Challenge to Blind Prediction Contest "FRAMA-2015"—

(Part3) Predictions of Static and Dynamic Response by FEM Analysis

○河野圭一郎¹, 田嶋和樹², 長沼一洋², 白井伸明²

*Keiichiro Kono, Kazuki Tjima, Kazuhiro Naganuma, Nobuaki Shirai

Abstract: In Part 3, the nonlinear 3-D FE analyses were conducted for the 3-story RC frame with masonry walls and the lateral capacities predicted were discussed. The results by the FE analyses were also compared with those by the fiber analysis. Consequently, the following conclusions were derived. First, how to model the masonry wall has a significant impact on the responses; and secondly, the modeling of slip and opening displacement at the joint is a key issue to enhance an accuracy of analytical prediction.

1. はじめに

前報(その 1)では, FEM 解析に基づいてレンガ壁の解析モデルを構築した. 前報(その 2)ではレンガ壁の復元力特性を利用し, ファイバー解析で構築した全体モデルに対してプッシュオーバー解析および地震応答解析を行った. 本報(その 3)では, 骨組全体モデルに対する 3 次元非線形 FEM 解析を実施し, 前報で得られたプッシュオーバー解析および地震応答解析結果と比較を行う.

2. レンガ壁を有する 3 層 RC 造骨組のモデル化

2. 1. 解析モデル概要

解析モデルの概要を Fig.1 に示す. 解析対象試験体は X 軸に対して左右対称である. また, 水平載荷時の加力は X 方向に左右均等に加力する. そのため, 解析モデルの対称性を考慮して 1/2 モデルを作成し, 境界面には対称条件を設定した. 要素分割は, 柱, 梁およびスラブには四辺形要素を採用し, ひび割れモデルは固定ひび割れモデルとした. また, フーチング, 鋼製鋳塊には六面体要素を用いており, 鉄筋は埋め込み鉄筋でモデル化した. また, レンガ壁については前報(その 1)で構築したものと同様のモデルを用いた.

2. 2. 材料構成則

Fig.2, 3 にコンクリート, Fig.4 に鉄筋の応力-ひずみ関係をそれぞれ示す. コンクリートの圧縮側には修正 Ahmad モデル, 引張特性にはテンションステイフィングモデルとして出雲らのモデルを採用した. また,

軟化域は破壊エネルギーを 0.147(N/mm)とした土木学会コンクリート標準示方書の式を採用している. 鉄筋の構成則は Bi-linear 型とし, 降伏後の二次勾配は初期剛性の 1/100 とした. レンガおよびモルタルの材料構成則は前報(その 1)で構築したものをを用いる.

Half Model

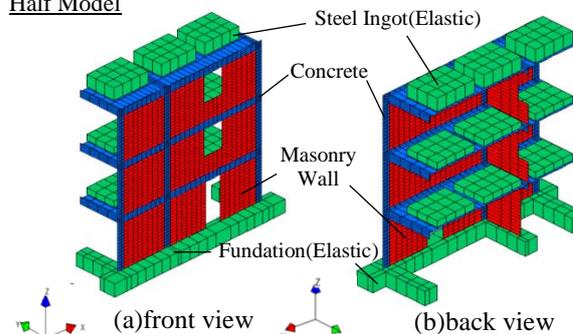


Figure.1 Finite Elements Mesh Division of Specimen

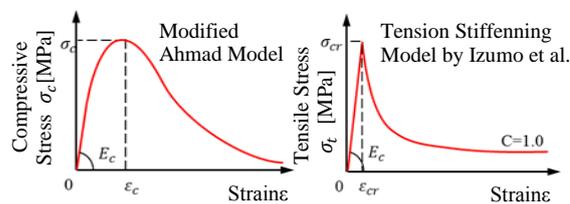


Figure.2 Stress-Strain Relationships of Concrete

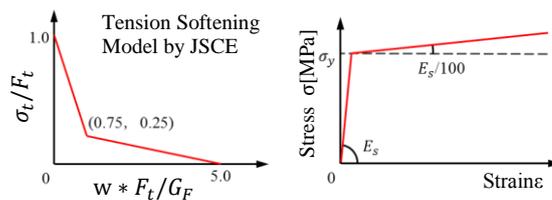


Figure.3 Tension Softening Model of Concrete

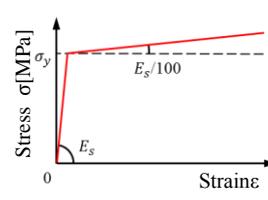


Figure.4 Stress-Strain Relationship of Steel

3. 解析結果

3. 1. プッシュオーバー解析

ベースシア-頂部変形角関係を Fig.5 に示す. 図中には, 前報(その2)で得られたファイバー解析の結果も示す. ファイバー解析の結果と比較すると, FEM 解析の結果は初期剛性が若干高く, 最大耐力は低いことがわかる. これはレンガ壁のモデル化の違いによる影響であると考えられる. ファイバーモデルでは, 復元力特性をせん断バネに導入するのに対し, FEM モデルでは, レンガやモルタル目地をそれぞれ独立した要素としてモデル化しているため, モルタル目地のずれや開口による影響を詳細に表現することができるため, より実現に近い挙動を示すと考えられる.

3. 2. 固有値解析

固有値解析結果を Fig.6 に示す. FEM 解析では 1/2 モデルを構築したため, 1 次モードが X 方向並進モードとなり, ファイバー解析での 2 次モードに対応する. このときの固有値はおおよそ近い値を示しており, 両モデルは X 方向からの地震動に対して同様な挙動を示すと考えられる.

3. 3. 地震応答解析

以上の結果を踏まえて地震応答解析を実施する. 入力地震動は前報(その2)で用いたものと同様であり, X 方向から入力する. なお, 減衰定数は 1% とした. このときの頂部ベースシア-頂部変形角関係を Fig.7 に示す. 図中には, 併せてファイバー解析結果も示す. Low, Medium においてはファイバー解析と同様の結果を示したが, High においてはファイバー解析より塑性化が進行している. また, 履歴はループを描いているものの, ファイバー解析同様にスリップ型の形状を示しており, エネルギー吸収能力は低いと考えられる. これは前報(その1)にも示したように, レンガ壁のエネルギー吸収能力が低いためである.

次に, 最大耐力近傍(500kN)におけるひび割れ図(変形倍率 100 倍)を Fig.8 に示す. 1 階柱に顕著なひび割れが見られ, 1 層の変形が著しいことから, このモデルの崩壊形は 1 層層崩壊型であることがわかる. レンガ壁においては, 目地モルタルに沿ってひび割れが入っており, レンガ壁は目地に沿ってせん断方向にずれる壊れ方をすることが高い. この結果から, レンガ壁のモルタル目地のずれや開口部の影響を詳細に表現することが解析の精度を高める上で重要であると考えられる.

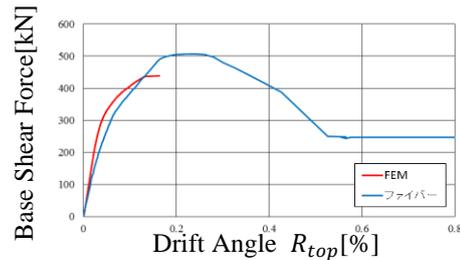


Figure.5 Base Shear Force - Drift Angle Relationship

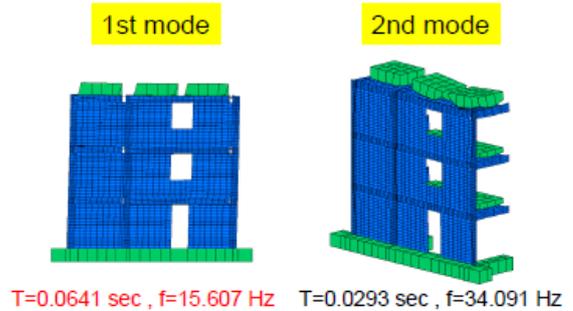


Figure.6 Mode Shapes and natural periods by Eigenvalue Analysis

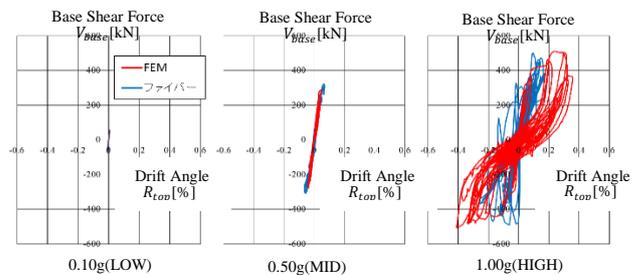


Figure.7 Base Shear Force-Drift Angle Relationships

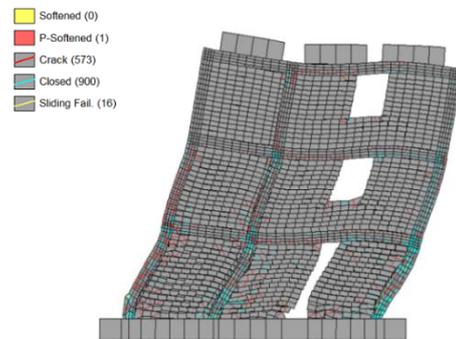


Figure.8 Failure Mechanism at maximum demand

4. まとめ

レンガ壁付き 3 層 RC 造骨組のモデルを構築し, 水平載荷時の挙動について予測し, ファイバー解析の結果と比較した. その結果, レンガ壁のモデル化の違いが骨組全体の応答に影響を及ぼし, 目地のずれや開口部のモデル化が重要であることを確認した.

5. 参考文献

- [1] Framed-masonry Composites for Modeling and Standardization:Frama-2015 International Benchmark