

実大五層鉄筋コンクリート造建物におけるMSモデルを用いた繰り返し非線形解析

継続使用性	等価粘性減衰定数	正会員	○木戸 裕貴*1	同	小原 拓*1
Multi-Spring モデル	RC 造建物解析モデル	同	河野 進*1	同	向井 智久*2
		同	David Mukai *3		

1 はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、新耐震基準以降の鉄筋コンクリート造（以下、RC造）においてひび割れ等の損傷により、継続使用が困難な事例¹⁾が確認された。大規模な地震災害を経験し、地震直後から継続使用可能な性能を建物に求める声が大きくなってきている。

そこで地震後における継続使用性を向上させる技術の提案として従来の構造形式の範囲で、地震後の継続使用性確保に関する検討がなされた。2014年度および2015年度に2体の実大5層RC造建物試験体（以下、本研究では2014年試験体および2015年試験体とする）の静的繰返し載荷実験が行われた。向井らは、上記の2014年、2015年試験体を対象に材端バネモデルを用いて剛域長さやスラブの協力幅を主な解析変数とし、建物全体の挙動を評価できるモデル化手法について検討している²⁾。しかしながら、建物の継続使用性評価には、残留変形やエネルギー消費量等の情報が必要不可欠である。そこで本研究では、2014年および2015年試験体の繰返し非線形線材解析モデルを構築し、建物の構造性能を評価することとした。

2 モデル概要

2.1 解析対象試験体と静的繰返し載荷実験の概要

対象とする試験体は図-1に示す桁行方向（加力面内方向）2スパン、張間方向（加力面外方向）1スパンの実大

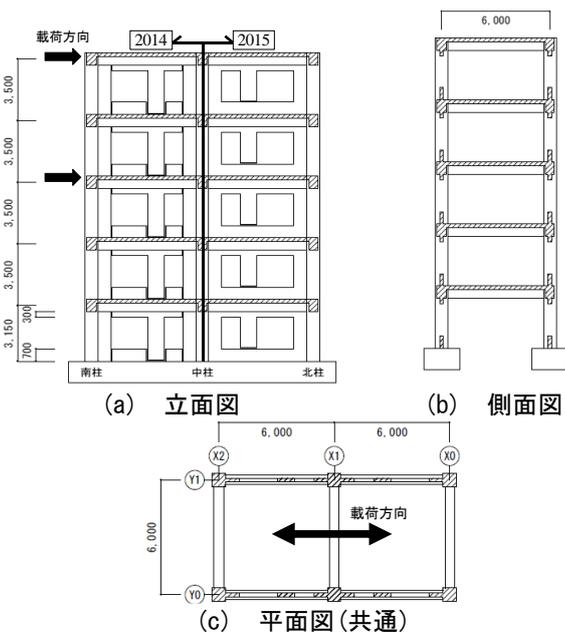


図-1 2014・2015年試験体の平面図及び立面図図面

5層の鉄筋コンクリート架構である。2014年試験体では、方立壁・垂れ壁・腰壁周りにスリットを設けており、2015年試験体では、方立壁のみにスリットを設けている。載荷方法は、両試験体とも図-1に示すようにR階と4階に水平力が1:2となるよう正負交番静的繰返し載荷を行っている。実験結果では2014年試験体はR=1.35%付近にてスリットで分離された方立壁と腰壁が接触し、耐力が上昇した。実験における最大ベースシアはR=1.0%程度で約4400kNであり、梁端部のスリット位置でのひび割れが支配的であった。2015年試験体は代表変形角1.0%付近で1~3層の壁端部が圧壊したことで、架構の耐力低下が生じた。また開口隅角部では腰壁・垂壁端部筋が座屈し、かぶりコンクリートが押し出され剥落が生じた。最大ベースシアはR=0.5%付近で約8000kNとなった。

2.2 解析概要

本解析に用いたプログラムは弾塑性汎用解析プログラムSNAPである³⁾。2014年試験体では、方立壁・垂れ壁・腰壁周りにスリットを設けているため、本解析ではモデル化していない。同様に、2015年試験体では、スリットを有する方立壁はモデル化しなかった。

部材の曲げ挙動は、部材端部に変形集中領域 l_p を仮定し、マルチスプリングモデル（以下、MSモデル）を用いた。図-2、3にMSモデル図およびモデル化した部材の断面分割概略図を示す。変形集中領域は、スラブ付き梁で梁せい、袖壁付き柱で柱せいと壁せいの半分を設定した。変形集中領域以外の曲げ挙動は弾性としてモデル化した。部材のせん断挙動は1つのバネで表現し、弾性とした。スラブについては協力幅を1mとして考慮しモデル化した⁴⁾。

文献²⁾に基づいて剛域長さは壁フェイス位置からD/4の

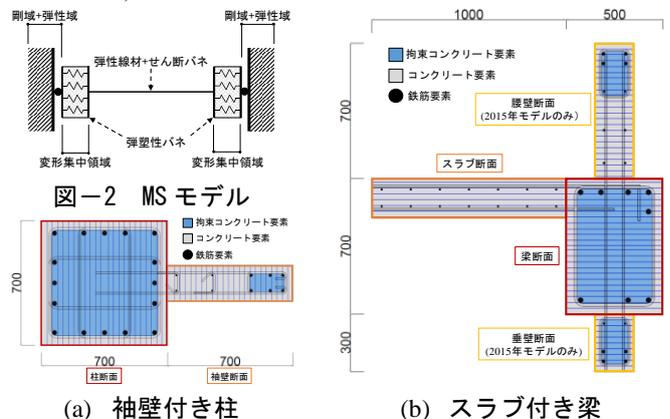


図-2 MSモデル (a) 袖壁付き柱 (b) スラブ付き梁

図-3 試験体の各部材における断面分割

NONLINEAR CYCLIC ANALYSIS OF FULL-SCALE FIVE STORY REINFORCED CONCRETE BUILDINGS USING MULTI-SPRING MODEL

KIDO Yuki, OBARA Taku
KONO Susumu, MUKAI Tomohisa
David Mukai

長さ分、柱梁接合部へ入り込んだ位置とした（Dは壁を含む柱梁せい）。また基礎底面を固定とした。

2.3 MSモデルにおける材料構成則

図-4にコンクリートおよび主筋の応力-ひずみ関係を示す。コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮側において最大圧縮強度までの応力上昇を星隈モデル⁵⁾、圧縮強度以降の強度低下を直線で表現した。またコアコンクリートには、横補強筋による拘束効果を考慮し、孫・崎野式⁶⁾を用いた。鉄筋の応力-ひずみ関係は修正 Ramberg-Osgood モデルを用いた。

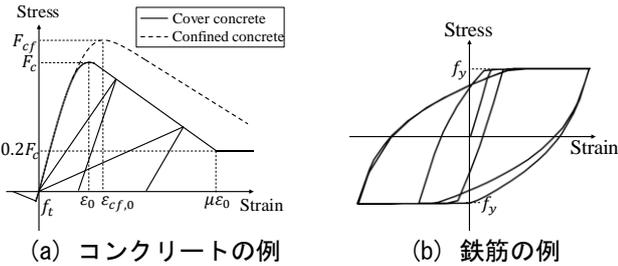


図-4 材料の応力-ひずみ関係

3 解析結果

3.1 ベースシア (Q) - 代表変形角 (R) 関係

図-5に各試験体のベースシア (Q) - 代表変形角 (R) 関係を示す。ベースシアは4層およびR層部分の水平力の合計とし、代表変形角はR階の水平変位をR階高さで除した値とした。

2014年試験体の実験では方立壁が代表変形角 R=1.5%手前で接触し、耐力が上昇したため、耐力が上昇する前の代表変形角 R=1.0%までを主な検討範囲とする。解析は実験を代表変形角 R=1.0%まで精度良く再現できた。最大耐力について実験値との誤差は6.0%以内であり、最大耐力時の代表変形角はほぼ同値であった。2015年試験体において、2014年試験体と同様に高い精度で除荷剛性を含めた履歴復元力特性を再現できた。

3.2 残留変形角

図-6に各試験体の代表変形角 R=2.0%までの残留変形角-代表変形角関係を示す。残留変形角は図-5のベースシア (Q) - 代表変形角関係 (R) における荷重 0kN における代表変形角とし、正載荷側と負載荷側の2サイクル目の平均値から算出した。

2014年試験体は R=1.0%まで実験値を高い精度で再現できた。R=1.0%以降の実験値は、付帯壁の接触による損傷により残留変形角が大きくなった。2015年試験体は R=2.0%まで高い精度で追跡できた。

3.3 等価粘性減衰定数

図-7に等価粘性減衰定数-部材変形角関係を示す。等価粘性定数は文献⁷⁾を参照し、解析、実験ともに各サイクルの2周目の履歴を用いて算出した。

2014年試験体は R=1.0%まで実験値を概ね再現できた。

解析は実験値より小さい値であったが、安全側の評価となった。2015年試験体では2014年試験体と同様に実験値を R=2.0%まで再現できた。実験では R=0.5%以降、2014年試験体よりも等価粘性減衰定数が大きくなったが、解析ではその傾向を再現できた。

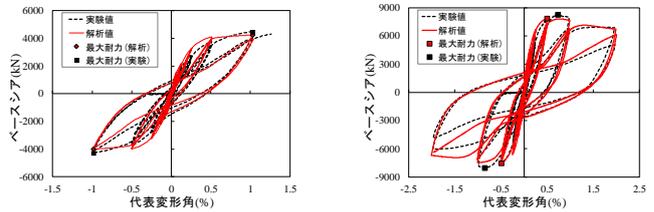


図-5 ベースシア-代表変形角関係

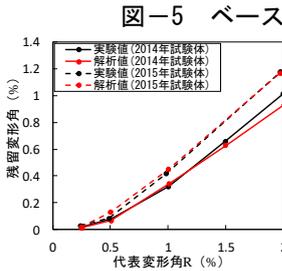


図-6 残留変形角

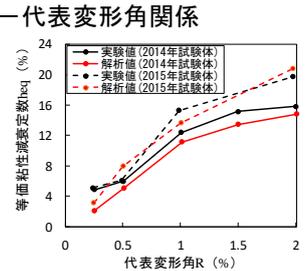


図-7 等価粘性減衰定数

4 まとめ

継続使用性の評価を目的に、実大5層RC造建物の解析モデルを作成し、実験結果の再現を行った。両試験体とも、本解析モデルにより実験から得られた荷重-変形角関係および残留変形角、等価粘性減衰定数を代表変形角 R=2.0%まで高い精度で再現出来ることが分かった。

謝辞

本実験は国総研総プロ「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」として実施され、建築研究所重点研究課題「庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性確保に資する耐震性能評価手法の構築」との共同研究で実験に参画し、実験データを得たものを利用しました。本研究は、東工大フロンティア研究所全国共同利用及び科学研究費基盤 A (代表: 河野進)、科学技術創成研究院 (WRHI) の補助を受け実施しました。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、(独) 建築研究所：平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震被害調査報告、国総研資料第 674 号、2012.3
- 2) 向井智久ほか：実大 5 層 RC 造壁付き架構試験体を対象とした静的非線形増分解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp539-542、2018.9
- 3) 構造システム：弾塑性解析ソフト SNAP Ver.7、第 12 版、2019.4
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説、2010
- 5) 星隈順一、川島一彦、長屋和宏：鉄筋コンクリート柱脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリートの応力-ひずみ関係、土木学会論文集、No.520、V-28、pp.1-11、1995.8
- 6) 日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧 第 2 版、pp249~250、1996
- 7) 柴田明徳、最新耐震構造解析 (第 3 版)、2003

*1 東京工業大学

*2 国立研究開発法人建築研究所

*3 ワイオミング大学

*1 Tokyo Institute of Technology

*2 Building Research Institute

*3 University of Wyoming