

B-60

ファイバーモデルを用いた脆性柱を有する RC 造 3 本柱骨組の耐震性能評価
 (その 1) 脆性柱を有する RC 造 3 本柱骨組の解析モデルの構築

Evaluation of Seismic Capacity of RC frames with brittle column by Fiber Model
 (part 1) Development of Analytical Model of RC Frames by Fiber Model

○荒井未菜美¹, 河井慎太郎², 平山貴也³, 田嶋和樹⁴, 白井伸明⁴
 Minami Arai¹, Shintaro Kawai², Takaya Hirayama³, Kazuki Tajima⁴, *Nobuaki Shirai⁴

Abstract: According to the current seismic design philosophy, reinforced concrete (RC) structures consisting of ductile components is desirable from a viewpoint of capability of the energy absorption. However, many existing RC structures designed according to the old design standards include not only ductile components but also brittle ones. In addition, seismic performance of the reinforced concrete frames including brittle components has not been clearly understood, since available experimental data is lacking. In Part 1, an analytical model by the fiber model for the reinforced concrete frame consisting of three columns is developed.

1. 研究背景

現在の耐震設計では靱性に富む部材で建物を構成し、建物全体としてエネルギー吸収能力を高めることが理想とされている。しかし、旧設計基準により設計された既存鉄筋コンクリート(以下、RC)造建物には靱性部材と脆性部材が混在したものが多く存在しており、過去の地震被害でも、柱がせん断破壊を起こし、層崩壊が生じた例が報告されている。既存RC造建物の耐震性能を評価する際には「RC造建物の耐震診断基準・同解説」¹⁾などが挙げられる。しかし、現行の基準では、曲げ型の柱に関しては地震応答と結び付けて論理的に定められたものであるが、せん断型の柱に関しては不明な点が多い。また、せん断型柱の最大強度以降の挙動に対する理解が十分でなく、靱性部材と脆性部材が混在した建物において脆性部材が破壊すると、脆性部材を順次取り除いて評価するという安全側の仮定に基づいた手法が採用されている。そのため、本来ならば、建物は徐々に耐力が低下するが、この手法だと一挙に耐力低下が生じることになる

本研究では、骨組に存在する脆性部材が骨組全体の耐震性能に及ぼす影響を把握し、地震応答と関連付けた数値解析ベースの耐震性能評価法を構築することを目的として、まず靱性部材と脆性部材が混在した基本的なケースとした 3 本柱骨組を対象とした解析モデルを構築し、脆性柱の位置や本数をパラメータとした検討を行う。本報(その 1)では Elwood らによって行われた脆性柱を有する 3 本柱骨組の振動台実験²⁾を対象とし、ファイバーモデルを用いた解析モデルを構築する。

2. 対象試験体概要

試験体の概要を Fig-1 に示す。試験体は 3 本の柱により構成され、中央柱はせん断補強筋間隔を広くすることで曲げ降伏後にせん断破壊する柱、外柱は曲げ降伏型の柱となるよう設計されている。梁部分には約 23t の質量を付加している。振動台には 1985 年 Chile 地震時に記録された地震動を縮尺したものが入力された。

3. 解析モデル概要

本研究では、Filippou らの研究³⁾を参考にして、ファイバーモデルにせん断サブ要素および接合部サブ要素を組み込み、非弾性変形挙動のモデル化を行う。なお、解析は数値解析コード OpenSees⁴⁾を用いた。Fig-2 に要

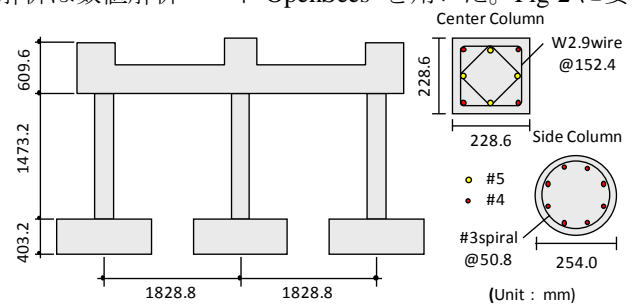


Figure-1 Geometry of Specimen

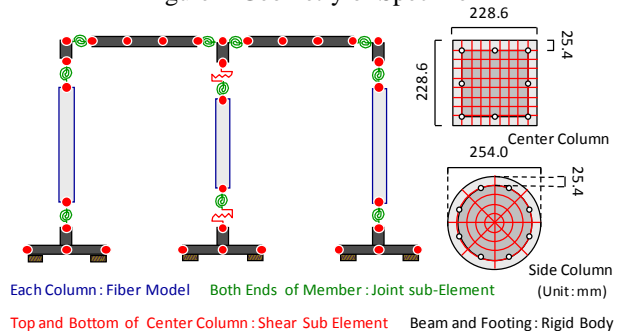


Figure-2 Modeling of Frame by Fiber Model

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・院・建築 3 : 日大理工・研究生 4 : 日大理工・教員・建築

素およびファイバー分割図を示す。各柱の断面は 9×9 のファイバーに分割し、コンクリートの構成則には OpenSees 内の材料コマンドである Concrete01 Material⁴⁾ を用いた。鉄筋はバイリニア型とし、降伏後の二次勾配を初期剛性の 1/100 とした。加力は、各柱の頭部に自重を負荷させた後、動的載荷で計測された水平変位を中央柱頭部に作用させた。

3. 1. せん断サブ要素のモデル化

せん断サブ要素は塑性ヒンジ領域に生じるせん断力-せん断変形関係を模したトリリニア型の復元力特性とする。モデル化の手順は、①Collins らによる修正圧縮場理論に基づく非線形断面解析プログラム Membrane-2000⁵⁾を用いて、せん断力-せん断変形関係の単調包絡線を算出、②RC 規準によるせん断ひび割れ強度算出式⁶⁾よりせん断ひび割れ点を決定、③Elwood らによるせん断限界曲線および、軸限界曲線²⁾よりせん断破壊点、軸破壊点を決定する。

3. 2. 接合部サブ要素のモデル化

接合部サブ要素は、鉄筋の抜け出しによる回転挙動をモデル化し、モーメント-回転角関係に基づくトリリニア型の復元力特性を付与した。RC 規準による曲げひび割れ時および降伏時モーメントの算出式⁶⁾および、Filippou らの研究を参考に算出した降伏前剛性 K_{joint} から各折れ点を決定した。また、降伏後の勾配は $K_{joint}/100$ とした。また、履歴特性に関しては、せん断サブ要素および接合部サブ要素共に、弾性応答以降で塑性率に応じて除荷時剛性が低下するモデルとした。Fig-3 に各サブ要素の復元力特性の概念図を示す。

4. 解析結果

Fig-4 および Fig-5 に骨組全体と中央柱の実験結果と繰返し解析結果との比較を示す。骨組全体の解析結果は、最大耐力以降、緩やかな耐力低下を模擬し、さらに、実験の履歴ループを良好に模擬している。中央柱に関しても実験結果の挙動を良好に捉えているおり、ファイバーモデルに各サブ要素を付与することで、脆性部材を有する骨組の耐震性能評価が可能であると考えられる。

5. まとめ

本報(その 1)では各サブ要素の復元力特性の算出法を示した。ファイバーモデルに各サブ要素を付与することで脆性部材を含む 3 本柱骨組の実験挙動を良好に模擬する結果となり、構築した解析モデルの骨組レベルでの適用性を確認した。

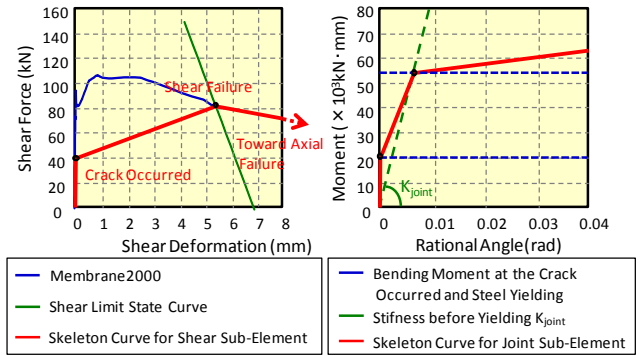


Figure-3 Modeling of Restoring Force

Characteristics for Sub-Elements

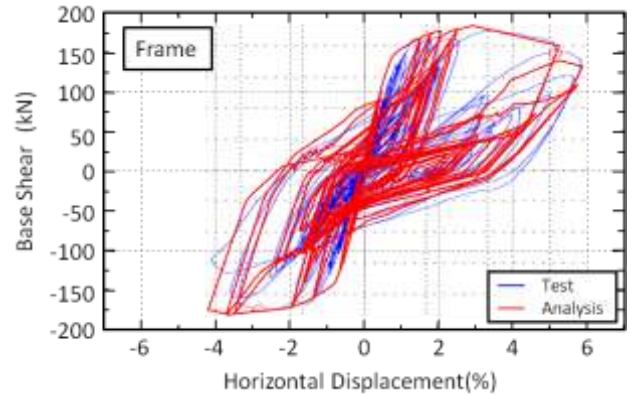


Figure-4 Cyclic Analysis Results for Overall Structure

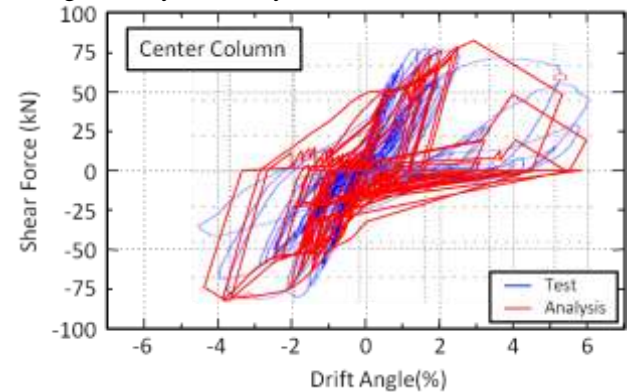


Figure-5 Cyclic Analysis Results for Center Column

6. 参考文献

- [1]日本建築防災協会：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
- [2]Kenneth John Elwood and Jack P. Moehle：Shake Table Tests and Analytical Studies on the Gravity Load Collapse of Reinforced Concrete Frames，2003.11
- [3]Filip.C.Filippou：Nonlinear Static and Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Subassemblages, UBC/EERC-92/-8, 1992.8
- [4]Open System for Earthquake Engineering Simulation - HomePage, <http://opensees.berkeley.edu/index.html>
- [5] Membrane-2000：University of Toronto – M.P.Collins HomePage, <http://www.ecf.utoronto.ca/~bentz/m2k.htm>
- [6]日本建築学会：鉄筋コンクリート計算規準・同解説，1991.11