

RC 造柱梁接合部の損傷および残存耐震性能評価
(その 4) ファイバーモデルによる非弾性履歴挙動に関する解析的検討
Residual Seismic Capacity and Damage Evaluation of RC Beam-Column Joint
(part 4) Analytical Verification of Inelastic hysteretic Behavior by fiber model

伊東大地¹, ○伊藤唯¹, 河井慎太郎¹, 西尾淳¹, 田嶋和樹², 白井伸明²
 Daichi Ito¹, *Yui Ito¹, Shintaro Kawai¹, Atsushi Nishio¹, Kazuki Tajima², Nobuaki Shirai²

The residual seismic capacity of the RC joint specimens was evaluated in Part 3. However, the skeleton curve representing the restoring force characteristics was estimated by the FE analysis under monotonic loading. Thus, the effect of cyclic loading on the residual seismic capacity was not considered. The fiber model is capable of simulating cyclic responses of the joint. Cyclic behavior of the RC beam-column joint specimen was simulated by the fiber model, and the result was compared with the test result in Part 4.

1. はじめに

前報(その 3)では, RC 造柱梁接合部の残存耐震性能評価を行った. しかし, 耐震性能評価に用いる履歴を設定する際, 単調荷重による FEM 解析結果と, 既往の研究で提案されている直線の除荷時剛性を用いている. そのため, 繰り返し荷重の影響を精度よく評価できるモデルとは言い難い. また, FEM 解析から直接除荷時の挙動を予測することも可能であるが, 時間コストが大きく, 繰り返しや動的解析に対応させることは現実的ではない. それに対し, ファイバーモデルは繰り返しに対応可能な簡易解析モデルであり, 部材の復元力特性を精度よく推定可能な数値解析手法である.

本報(その 4)では, 数値解析をベースとした RC 造柱梁接合部の耐震性能評価法の構築を目的として, ファイバーモデルによる解析モデルの構築を行う. 具体的には, FEM による単調荷重の柱梁接合部の解析を実施するとともに, ファイバーモデルによる柱梁接合部の繰り返し荷重の解析を行い, これらの結果について比較検討する.

2. 解析概要

解析対象実験の概要は前報(その 1)に示した通りである. なお, 本報の解析では, 柱心と梁心が一致している無偏心試験体を解析対象試験体とする.

2. 1. FEM 解析概要

Fig-1.に要素分割図, Table-1 に使用要素, 構成則を Fig-2.に示す. コンクリートの 1 軸圧縮応力-ひずみ関係の G_{fc} は中村らの提案式^[1]より求め, L_c は要素体積 V と等価な体積を持つ立方体の一辺の長さ ($L_c = \sqrt[3]{V}$) とした. コンクリートの 1 軸引張応力-ひずみ関係は

上昇域を線形弾性, 下降域を大岡らの 3 直線モデル^[2]とした. G_f は大岡らの提案式から求め L_c は圧縮側と同様とした. 鉄筋の応力-ひずみ関係は bi-linear 型とした. 付着-すべり関係には CEB モデル^[3]を採用した. 解析には汎用コード DIANA9.3 を用いた.

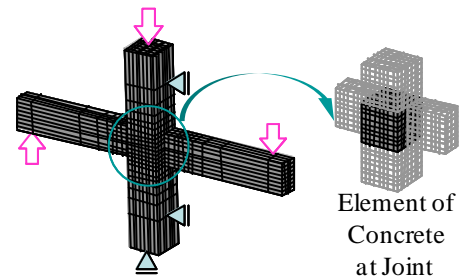


Figure 1. Mesh Division

Table-1. Elements Used

	Using Element
Concrete	Solid Element
Shear Reinforcement	Embedded Reinforcing Bar Element
Longitudinal Bar in Beam	
Longitudinal Bar in Column	Truss Element
Interface between Concrete and Longitudinal Bar in Beam	Line Surface

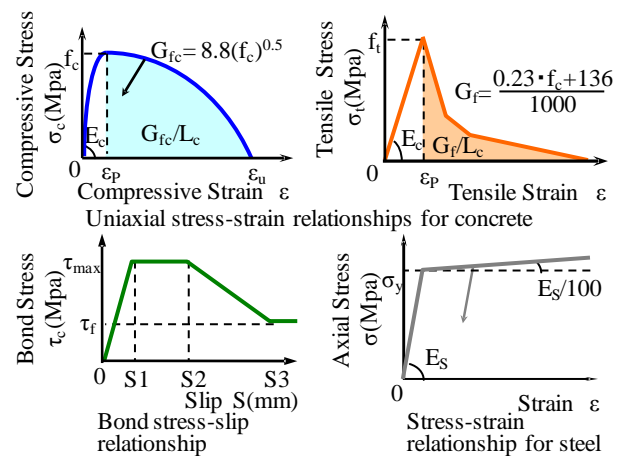


Figure 2. FEM Constitutive Law

1 : 日大理工・院・建築 2 : 日大理工・教員・建築

2. 2. ファイバーモデルによる解析概要

本研究では, Lowes らによって開発された柱梁接合部モデル^[4]を用いた (Fig-3.). このモデルでは, 3 種類の復元力特性の入力が必要とされる. 柱および梁主筋の付着強度劣化に伴う剛性及び強度低下を模擬する 8 個の鉄筋のすべり成分, 接合部コアのせん断破壊による強度および剛性損失を模擬する 1 個のせん断パネル成分, 接合部の厳しい荷重の下での接合部と各部材間のせん断耐力の損失を模擬する 4 個の界面—せん断成分である.

ファイバーモデルにおける試験体の要素分割図を Fig-4. に示す. 解析には汎用コード OpenSees^[5]を用いており, 界面のすべり成分には OpenSees^[5]内の材料モデルである Barslip Material^[6]を用いた. パネル部分と界面のせん断成分については, 共に剛体とした.

3. 解析結果

Fig-5. に実験結果および解析結果 (FEM, ファイバーモデル) を示す. FEM とファイバーモデルによる解析結果の骨格曲線は, 共に実験結果の全体の挙動を良好に模擬している. Fig-5. に記載したファイバーモデルによる解析結果は鉄筋のすべりを考慮したモデルであるが, すべりを考慮しないモデルとの挙動の差はほとんど見られなかった. ファイバー解析に用いた BarslipMaterial は, 鉄筋が降伏した後に履歴への影響が大きくなるモデルであるが, 解析では鉄筋が降伏していないことが要因として考えられる.

層間変形角 2%以降, 実験結果を見ると耐力が低下し始めており, FEM でもその挙動を捉えているが, ファイバーモデルによる結果は耐力低下が生じていない. これは, 本モデルではせん断バネを剛体としており, 耐力低下を模擬していないためである. また, 繰り返しの履歴におけるピンチング挙動を模擬できていないことが問題点としてあげられる.

4. まとめ

FEM とファイバーモデルによる RC 造柱梁接合部の解析結果は, 実験結果の骨格曲線を良好に模擬した. ファイバーモデルについては, 今後, 本研究において構築した解析モデルを基本モデルとして, せん断パネル部分の復元力特性や繰り返しの履歴について検討を行っていく.

【謝辞】 本研究は科学研究費補助金(基盤研究(C), 代表者:白井伸明)の助成を受けて行われたものである.

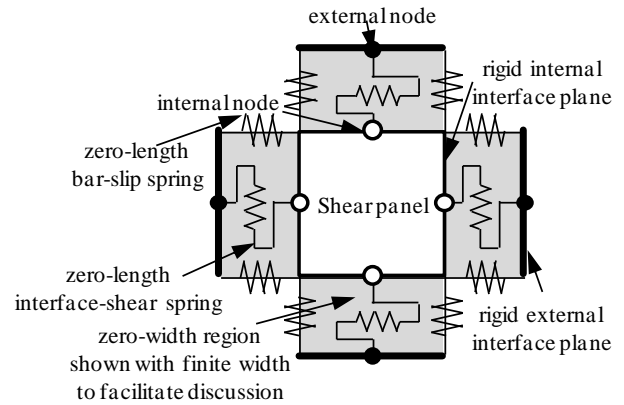


Figure 3. Components of the beam-column joint model

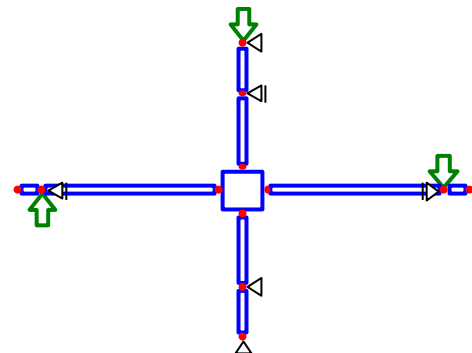


Figure 4. Modeling of Fiber Model

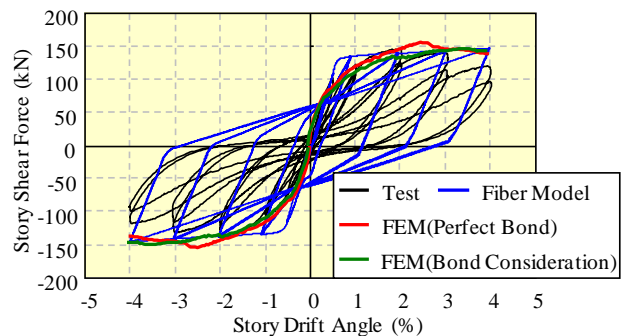


Figure 5. Story Shear Force—Story drift angle relationship

5. 参考文献

- [1] Nakamura, H., and Higai, T.: Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, ASCE, pp.471-487, 1999.10
- [2] 大岡督尚ほか: コンクリートの破壊パラメータに及ぼす短繊維混入および材齢の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 529 号, pp.1-6, 2000.3
- [3] CEB:CEB-FIP MODEL CODE1990 DESIGN CODE, Thomas Telford Service Ltd, 1993
- [4] Laura N.Lowes : "A Beam-Column Joint Model for Simulating the Earthquake Response of Reinforced Concrete Frames", PEER Report, 2003
- [5] Open System for Earthquake Engineering Simulation <http://opensees.berkeley.edu/index.php>
- [6] <http://opensees.berkeley.edu/OpenSees/manuals/usermanual/index.html>