

V-28

正負交番载荷を受ける高強度 RC 柱の荷重－変位
関係に関する解析的研究

東北大学大学院 学生会員 ○鈴木 将

東北大学大学院 正会員 秋山 充良

東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

高強度コンクリートおよび高強度鉄筋を用いた RC 部材は、New RC 総プロ¹⁾等の建築分野を中心に開発が進められたのに対し、近年は、土木分野でも、自重軽減と施工の省力化を目的に高橋脚などではこれら高強度材料が使用されつつある²⁾。しかし、高強度材料の使用に関し、例えば、i)一軸圧縮を受ける高強度 RC 柱では、コンクリートの高強度化に伴い、最大強度後の圧縮軟化挙動が極めて脆性的となり、靱性改善のため普通強度 RC 柱以上の十分な横拘束筋が必要になる³⁾、ii)せん断スパン比が 3.0 以上の腹鉄筋のない高強度 RC はりでは、コンクリート圧縮強度が 60MPa 以上になると、そのせん断強度に頭打ちの傾向が認められる⁴⁾、iii)軸方向鉄筋に高強度鉄筋を使用した RC 柱の正負交番載荷実験を行うと、塑性率 3 程度で鉄筋の破断が生じる場合がある⁵⁾、など、材料の高強度化が必ずしも配筋作業の省力化や部材の高性能化に繋がらない可能性が指摘される。

著者らはこうした背景のもと、高強度 RC 柱の耐震設計では、使用するコンクリートと鉄筋の材料強度に関し、作用軸力の大きさなどを関数とした最適組み合わせ解が存在するとの考えに立ち、実験的、解析的研究を進めている。本稿は、その一環として、ファイバー解析による高強度 RC 柱の正負交番載荷実験の再現解析を実施し、高強度 RC 柱の耐震解析に用いるコンファインドコンクリートの応力－ひずみ関係について論じたものである。

2. 解析概要

解析対象 RC 柱の諸元^{5), 6)}を表-1 に示す。この RC 柱の再現解析では、RC 柱を二次元はり要素によりモデル化し、柱基部のみをファイバー要素、その他を弾性要素とした。なお、柱基部の要素長は道路橋示方書⁷⁾から得られる塑性ヒンジ長とし、弾性要素は降伏剛性を仮定した。コンクリートの応力－ひずみ関係は、図-1 のように最大応力の 20%を収束応力とした道路橋示方書の式(道示式)および New RC 総プロで提案される評価式(New RC 式)を用いた。なお、道示式に設けられているコンクリート圧縮強度、横拘束筋の降伏強度の上限値は無視している。コンクリートの内部曲線は、原点と最大応力点を結ぶ割線剛性を除荷剛性として与え、引張応力は無視した。軸方向鉄筋の応力－ひずみ関係は Menegotto-Pinto モデルとした。なお、フーチングからの軸方向鉄筋の拔出しの影響は、柱基部に設けた非線形回転バネにより評価した。このバネの特性は、高強度コンクリートへの適用性も報告されている鉄道構造物等設計標準・解説耐震設計⁸⁾の手法に基づき設定した。

表-1 解析対象供試体の諸元

供試体	σ_c (MPa)	軸方向鉄筋		横拘束筋		σ_N (MPa)	σ_N / σ_c
		σ_y (MPa)	ρ_t (%)	σ_y (MPa)	ρ_s (%)		
RC-1 ⁵⁾	24.0	312	1.11	312	0.87	1.46	0.06
UNIT1 ⁶⁾	59.8	442	3.14	1368	1.56	17.9	0.30

σ_c : コンクリート圧縮強度, σ_y : 軸方向鉄筋の降伏強度, ρ_t : 鉄筋比,
 σ_y : 横拘束筋の降伏強度, ρ_s : 横拘束筋の体積比, σ_N : 作用軸力

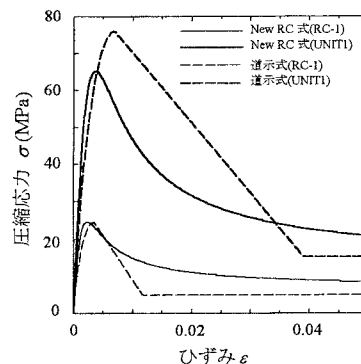


図-1 コンクリートの応力－ひずみ関係

3. 解析結果

解析結果と実験結果の比較を図-2 および図-3 に示す。兵庫県南部地震後の設計基準に従い設計される通常の RC 橋脚の諸元を有する RC-1 供試体では、コンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係の選択が解析結果に与える影響は小さく、道示式や New RC 式を用いることにより、十分に実験時の荷重-変位関係を再現できる。図-1 に示されるように、RC-1 供試体を対象とする場合、New RC 式は、道示式に比べ過大な収束応力を与える。しかし、ファイバー解析より得られる荷重-変位関係では、塑性率 10 程度を超える大変形域まで両者の解析結果に差が生じない。これは軸力比が 0.06 しかなく、曲げ載荷時の断面内の圧縮領域が小さいためである。一方、軸力比が大きい UNIT1 供試体では、中立軸が図心軸寄りとなり、解析に用いるコンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係の選択が解析結果に与える感度は大きく、図-1 に示されるように、その適用範囲を超えた材料強度から定めた道示式を用いると、UNIT1 供試体の荷重を過大評価する。これに対し、New RC 式は、UNIT1 供試体に近い諸元を持つ実験供試体の一軸圧縮実験から導出されており、これを用いることで、UNIT1 供試体の荷重-変位関係を十分な精度で追跡できる。ただし、New RC 式を用いた場合でも、断面内のひずみ勾配の存在による圧縮靱性の改善効果を過小評価する傾向が見られ、これが大変形域の荷重低下を過大評価する結果となっている。今後は Shamim, A.S. and Yeh, C.C.⁹⁾のように、圧縮軟化開始ひずみの設定を見直すなどの作業が必要である。

4. まとめ

耐力低下域までを対象とした解析のため、要素長の設定に関しても併せて検討する必要があるが、正負交番載荷を受ける高強度 RC 柱の荷重-変位関係の再現解析では、コンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係として New RC 式を用いることの妥当性が示された。

参考文献

- 1) (財)国土開発技術研究センター：建設省総合技術開発プロジェクト報告書，1993. 2) 増川淳二ほか：高強度鉄筋を用いた RC 橋脚部材の開発，コンクリート工学論文集，第9巻，第1号，pp.123-132，1998. 3) 例えば，Daniel, C. et al. : High-Strength Concrete Columns Confined with Rectangular Ties, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.120, No.3, pp.783-804, 1994. 4) 佐藤成禎ほか：超高強度コンクリートを用いた腹鉄筋のない RC はりのせん断強度式，第 57 回年次学術講演会講演概要集，第 V 部門(V-129)，CD-ROM，2002. 5) 家村浩和ほか：アンボンド芯材を活用した高耐震性能 RC 構造の開発，土木学会論文集，No.710/I-60，pp.283-296，2002. 6) 小室努ほか：強度の異なる軸鉄筋をもつ高強度コンクリート柱，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17, No.2, pp.441-446，1995. 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002. 8) (財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999. 9) Shamim, A.S. and Yeh, C.C. : Analytical Moment-Curvature Relations for Tied Concrete Columns, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.118, No.2, pp.529-544, 1992.

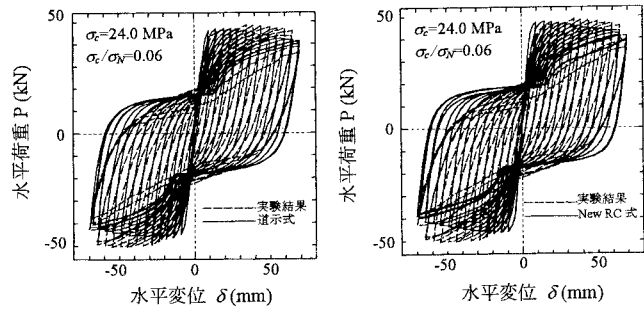


図-2 RC-1 供試体の荷重-変位関係

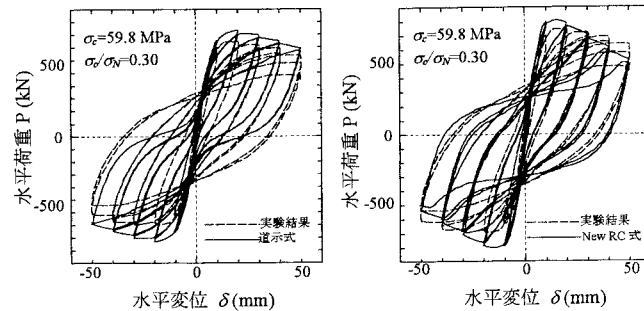


図-3 UNIT1 供試体の荷重-変位関係