

高強度鉄筋を用いた RC 橋脚に関する解析的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○曾我部直樹
(株)コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史

1. はじめに

降伏強度が 685N/mm² 相当の高強度鉄筋（以下、高強度鉄筋と称する）を RC 橋脚へ適用することにより、SD345 等の普通強度鉄筋を用いる場合に比べて、断面寸法や配筋量を低減することができる。高強度鉄筋を主鉄筋や帯鉄筋に適用した RC 橋脚については、幾つかの実験的な検証¹⁾が行われているが、曲げ、せん断特性や破壊性状を解析的に検証した事例は少ない。そこで、本研究では、主鉄筋、帯鉄筋に SD685 相当の高強度鉄筋を適用した中空 RC 橋脚の縮小模型に対する正負交番載荷実験を対象とした 3 次元非線形 FE 解析を行い、曲げ、せん断特性や破壊性状の再現性について検証を行った。

2. 解析の概要

解析の対象とした試験体¹⁾は、主鉄筋と帯鉄筋に SD685 相当の高強度鉄筋を用いた山岳部の PC ラーメン橋の中空 RC 橋脚を模したものである（図-1）。主鉄筋として引張鉄筋比が 0.37% となるように、SD685 相当 D10、D4 鉄筋を配置している。また、帯鉄筋として帯鉄筋比が 1.34% となるように、SD685 相当 D4 鉄筋を配置している。試験体の鉄筋、およびコンクリートの材料試験結果を表-1、2 に示す。実験では、855kN の軸力を作用させた上で、基部における平均曲率を制御値とした同一振幅における繰返し回数 1 回の振幅漸増型正負交番載荷が行われている。

本研究で用いた 3 次元非線形 FE 解析手法は、任意の載荷経路依存性を考慮した材料構成モデルに基づく RC 平面モデルを 3 次元に拡張したものである²⁾。解析モデルでは、基部の部材接合面に 16 節点からなる接合要素³⁾を挿入して、フーチングからの主鉄筋の伸出しを考慮した（図-2）。要素分割については、直交する 3 方向に対して鉄筋配置に応じた分割を行っており、鉄筋が密に配置されている領域（RC 領域）では、テンションスティッフニングを考慮し、これに対応する鉄筋モデルとしてコンクリートとの付着の影響を考慮した平均応力-平均ひずみ関係を用いた⁴⁾。一方、鉄筋の付着作用が及ばない領域（無筋領域）については、要素寸法に対応したコンクリートの引張軟化

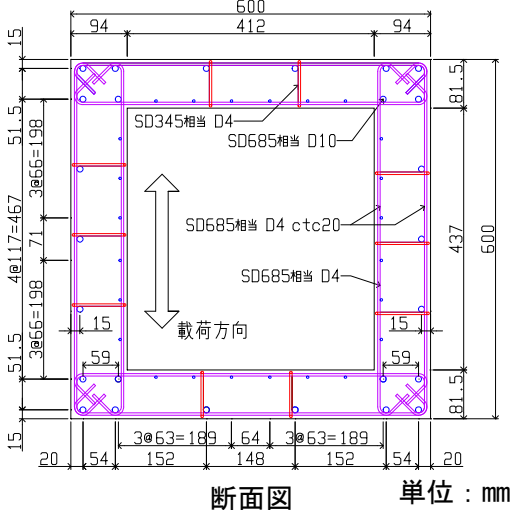
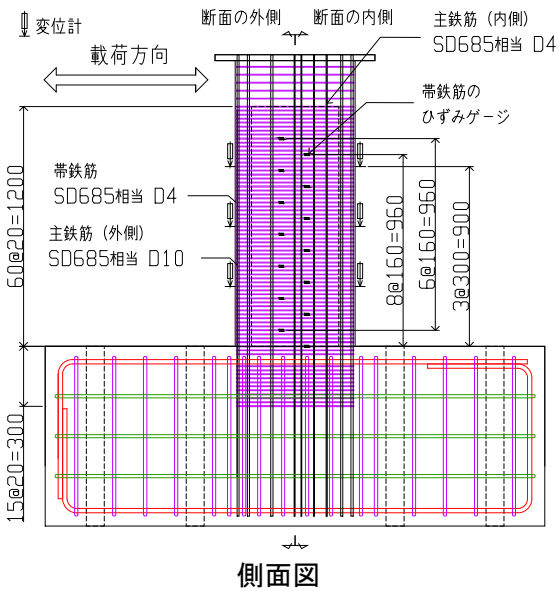


図-1 解析の対象とした RC 柱部材

表-1 鉄筋の材料試験結果

適用箇所	種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	伸び (%)	
					降伏棚の ひずみ値	伸び
主鉄筋	SD685相当 D10	758	947	212	1.9	17.4
帯鉄筋	SD685相当 D4	691	843	222	2.1	9.7
中間 帯鉄筋	SD345相当 D4	381	567	198	-	24.8

表-2 コンクリートの材料試験結果

適用箇所	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)
柱部	46.2	29.5	3.6

キーワード 高強度鉄筋, 3 次元非線形 FE 解析, 曲げ特性, せん断特性

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-485-1111

曲線を適用した。なお、基部の要素における主鉄筋については、座屈モデル⁵⁾を適用している。コンクリートの圧縮モデルには弾塑性破壊型構成則を適用し、引張モデルと同様に要素寸法に応じた圧縮強度以降の軟化勾配を与えている⁶⁾。鉄筋とコンクリートの各モデルには、表-1, 2に示す実験時の材料試験値を適用した。以上を踏まえた解析モデルに対して、実験と同様に基部における平均曲率を制御値として、正負交番で曲げ変形を漸増させた。解析では、1ステップにおける平均曲率の漸増分を実験の3倍としたため、繰返し回数は実験よりも少なくなっている。

3. 解析結果と考察

曲げモーメント-曲率関係について、実験結果との比較を図-3に示す。なお、曲率は基部から1.5Dの位置における鉛直方向の相対変位に基づいて、同区間の平均曲率を算出したものである。図-3より、最大曲げ耐力や剛性、履歴形状が実験結果とよく一致していることが分かる。最大耐力経験後については、約 $\pm 3\phi_y$ ($\phi_y \div 6.0 \times 10^{-6}/\text{mm}$) 以降の解析において実験よりも曲げ耐力の低下が大きいものの、大変形領域で曲げ耐力が低下する傾向を再現できている。

次に、載荷方向に対して平行となる帯鉄筋のひずみ分布について、1, 2, 6 ϕ_y 時における実験結果と解析結果の比較を図-4に示す。実験では、基部から200mmの付近の帯鉄筋ひずみが最大となり、試験体の上部に向かってひずみが減少する分布形状を示しているが、解析結果においても同様な大きさや分布形状が得られており、せん断特性についても良好に再現できたと評価できる。

4. まとめ

本研究では、主鉄筋と帯鉄筋の両方にSD685相当の高強度鉄筋を用いた中空RC柱部材に対する正負交番載荷実験を対象として、3次元非線形FE解析による再現解析を行った。その結果、本研究で適用した解析手法、高強度鉄筋の特性や基部における主鉄筋の伸出しや座屈を考慮した解析モデルによって、高強度鉄筋を用いたRC柱部材の曲げ、せん断特性や破壊性状を良好に再現できることが確認された。

参考文献

- 1) 例えば曾我部ら：RC橋脚における軸方向鉄筋、帯鉄筋への高強度鉄筋の適用に関する実験的研究，土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)，Vol.67, No.1, pp131-149, 2010
- 2) Hauke, B. and Maekawa, K.: Three-Dimensional Modelling of Reinforced Concrete with Multi-Directional Cracking, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, No.634/V-45, pp.349-368, November 1999.
- 3) 三島ら：鉄筋コンクリート離散ひびわれを構成する材料モデルの開発，土木学会論文集，No.442/V-16, pp.171-179, 1992.2
- 4) 玉井ら：一軸引張部材における鉄筋の降伏以後の平均応力-平均ひずみ関係，土木学会論文集，第378号/V-6, pp.239-247, 1987.
- 5) Dhakal, P. R. and Maekawa, K.: Post-Peak Cyclic Response Analysis and Energy Dissipation Capacity of RC Columns, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, No.676/V-51, pp.117-133, May 2001.
- 6) El-Kashif, F. K. and Maekawa, K.: Time-dependent nonlinearity of compression softening in concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, JCI, Vol.2, pp.233-247, 2004.

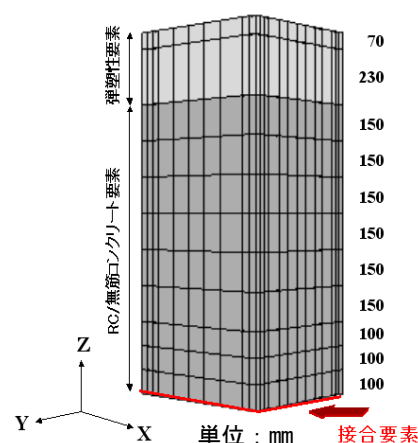


図-2 解析モデル

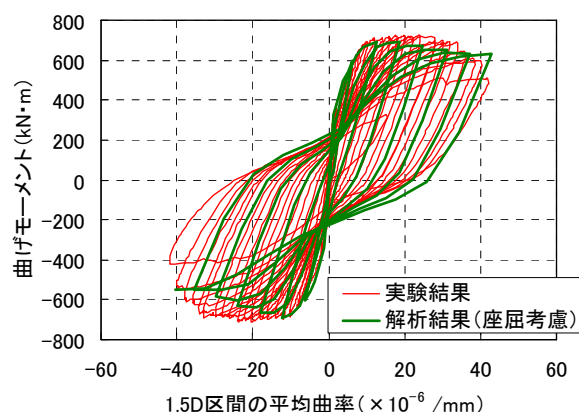


図-3 曲げモーメント-曲率関係の比較

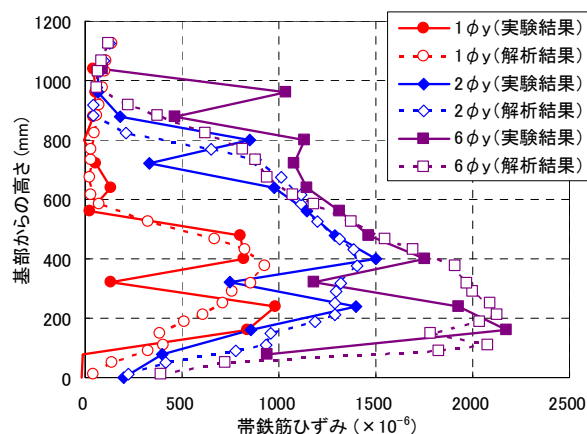


図-4 帯鉄筋ひずみ分布の比較