

高靱性セメント・高強度鉄筋を用いた RC 橋脚の変形挙動解析

九州工業大学大学院 学生会員 ○溝上 瑛亮
 九州工業大学 正会員 幸左 賢二
 株式会社長大 正会員 佐藤 崇

1. はじめに

本論文では RC 橋脚の変形性能の評価を目的に、標準的な強度の材料を用いた No.1 供試体と、高靱性セメント、高強度鉄筋を併用した No.2-9 供試体について、正負交番載荷実験および有限要素解析を用いて変形性能の比較を行なった。

2. 供試体概要

図-1 に一般的な単柱式橋脚の 1/5 の大きさを模擬した供試体の基本断面形状および配筋を示す。対象供試体は普通コンクリート (30.3N/mm²) と普通鉄筋 (D19, SD345 : No.1) を使用した供試体、高靱性セメント (95.2N/mm²) と高強度鉄筋 (D19, SD490 : No.2-9) を使用した供試体である。供試体形状は高さ 1600mm、断面形状は、400mm×400mm の正方形断面で、水平荷重載荷点高さを 1400mm とした。No.2-9 の高靱性セメント材料の打設範囲は、柱基部より 700mm までの高さとし、それ以上の範囲は普通コンクリートで打設している。解析は 2 次元 FEM モデルとし、コンクリート要素には 8 節点のアイソパラメトリック要素を用い、要素は 40mm×40mm の正方形要素となるように分割した。鉄筋には埋め込み鉄筋要素を用い、コンクリートと鉄筋は完全付着モデルとした。境界条件はフーチング下面を固定とし、載荷条件は実験と同様の載荷位置で変位制御のプッシュオーバー解析とし、線形剛性法による収束計算を行った。軸方向鉄筋モデルは 2 次勾配を弾性係数の 1/10000 倍とした Bi-linear モデルとし、圧縮側の鉄筋は図-2 に示すように座屈開始ひずみに達すると応力が低下するモデルを用いた。ここで、軸方向鉄筋の座屈開始ひずみは畑中らの座屈ひずみ算定式を用い、座屈ひずみ到達後の挙動は中村らの座屈モデルを用いた。なお、圧縮鉄筋で局所的なひずみの集中が発生することを考慮し、座屈ひずみは塑性ヒンジ区間での平均的なひずみに変換した。

3. 実験・解析結果

図-3, 4 に No.1, No.2-9 の実験の荷重変位関係を示す。図-3 より、No.1 の実験の履歴は、+38y で最大荷重 (201kN) に到達し、その後+78y まで荷重を保持して変位が進展したが、柱基部のはらみ出しとかぶり部の圧壊の発生とともに急激に荷重が低

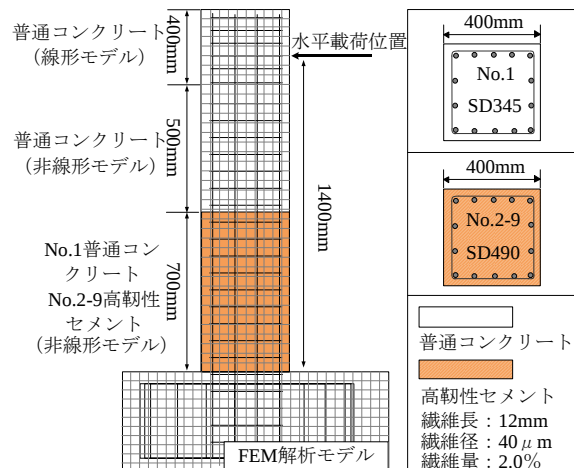


図-1 解析対象供試体

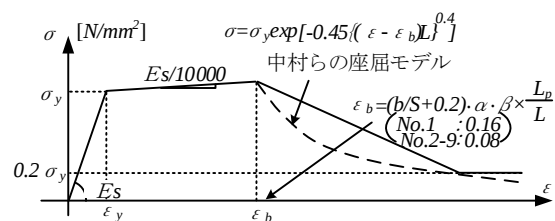


図-2 軸方向鉄筋座屈モデル

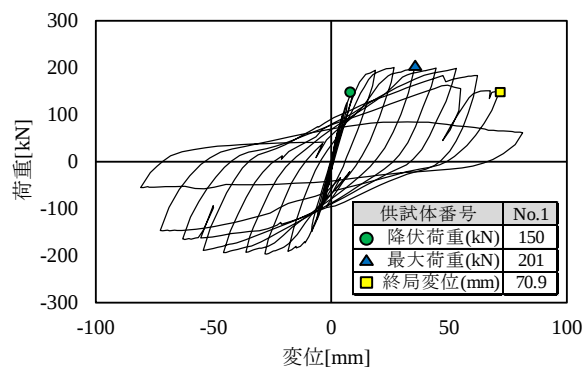


図-3 荷重変位履歴 (No. 1)

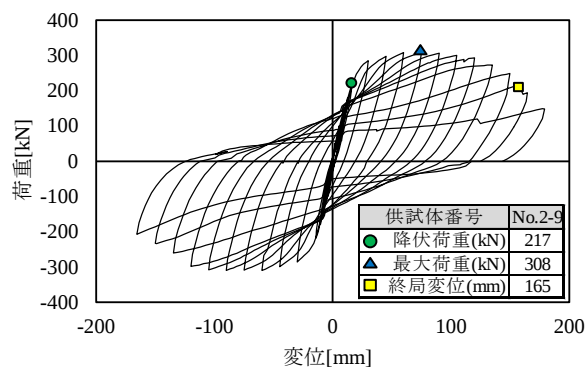


図-4 荷重変位履歴 (No. 2-9)

キーワード RC 橋脚, 高靱性セメント材料, 高強度鉄筋, 正負交番載荷実験, FEM 解析

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 建設社会工学科 TEL093-884-3123

下した. 同様に図-4 に示す No.2-9 の実験の履歴は+58y で最大荷重 (308kN) に到達し, その後+98y まで荷重を保持したまま変位が進展し, No.1 と同様の現象で荷重が低下した.

図-5, 6 に No.1, No.2-9 の FEM 解析の荷重変位履歴を示す. 図-5 より, No.1 の FEM 解析の履歴は, [a] から [b] にかけて実験で荷重が低下する水平変位 (63mm) とほぼ同様の変位 (60mm) で荷重が低下している. 同様に図-6 に示す No.2-9 の FEM 解析の履歴は, 実験で座屈が生じた [b'] 以降, 荷重が低下する水平変位 (135mm) とほぼ同様の変位 (148mm) で座屈による荷重低下が生じており, 両供試体ともに実験の座屈発生時を再現できていることが確認できる.

図-7 (a) に示すように No.2-9 では柱基部圧縮側最小主ひずみベクトル分布は, 実験で軸方向鉄筋が座屈する直前から終局変位にかけて圧縮端のフーチングと柱の界面に最小主ひずみが集中しており, 最大値は-0.53 から-0.93 に増加した. 同図 (b) に示すコンクリートの応力ひずみ関係に柱基部コンクリート要素 (灰色) の鉛直ひずみ成分をプロットすると, 座屈開始直前の変位でひずみが-0.14 であった. このことから, 軸方向鉄筋の座屈直前の変位では圧縮コンクリートは既に圧縮応力を殆ど負担していない状態であり, 軸方向鉄筋の応力負担が支配的であったことが推察される.

図-8 は圧縮側軸方向鉄筋の応力ひずみ履歴であり, 各着目変位 [a'] ~[c'] 時の応力ひずみ状態を示す. 同図より圧縮側軸方向鉄筋は実験で座屈が発生する [a'] 点から [b'] 点に向かう途中で座屈開始ひずみに到達し, 終局時 [c'] にかけて応力が $243\text{N}/\text{mm}^2$ 低下していることがわかる. これは FEM 解析で圧縮側軸方向鉄筋のひずみが座屈ひずみに到達して応力が低下したためであると考えられる. No.1, No.2-9 とともに実験結果の荷重低下を再現できたことから, 解析結果からも No.2-9 の変形性能向上の効果を確認することができた.

4. まとめ

- 1) 正負交番載荷実験結果より, No.1 の最大荷重は 201kN , 終局変位は 70.9mm , No.2-9 の最大荷重は 308kN , 終局変位は 165mm となり, 高靱性セメント材料と高強度鉄筋を併用した No.2-9 は, 標準的な強度の材料を使用した No.1 より, 最大荷重は 107kN , 終局変位は 94mm 向上する良い結果が得られた.
- 2) FEM 解析を行った結果, No.1, No.2-9 の実験で発生した軸方向鉄筋の座屈による荷重低下を再現することができ, FEM 解析からも高靱性セメント材料と高強度鉄筋を併用した No.2-9 は標準的な強度の材料を使用した No.1 と比較して変形性能の向上を確認することができた.

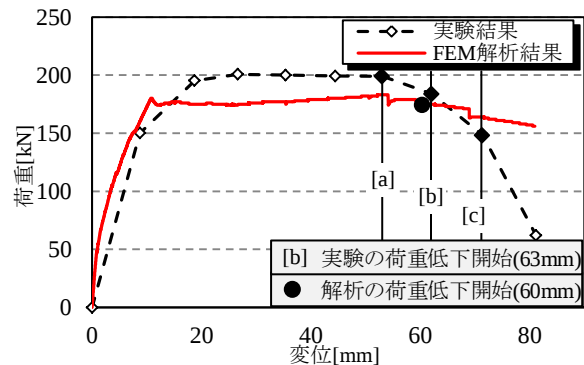


図-5 圧縮側軸方向鉄筋履歴 (No. 1)

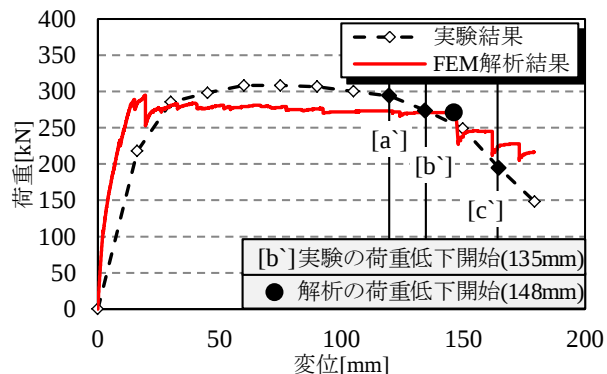
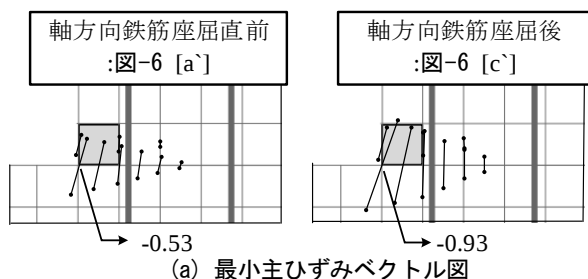
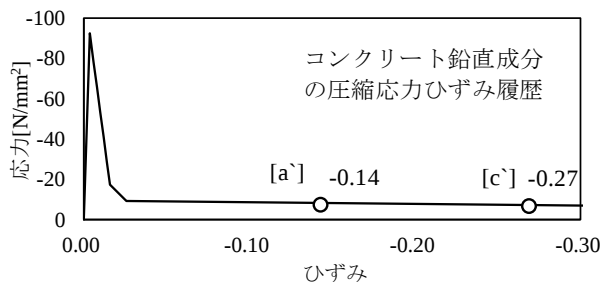


図-6 圧縮側軸方向鉄筋履歴 (No. 2-9)



(a) 最小主ひずみベクトル図



(b) 基部の圧縮応力ひずみ

図-7 基部の圧縮応力ひずみ履歴 (No. 2-9)

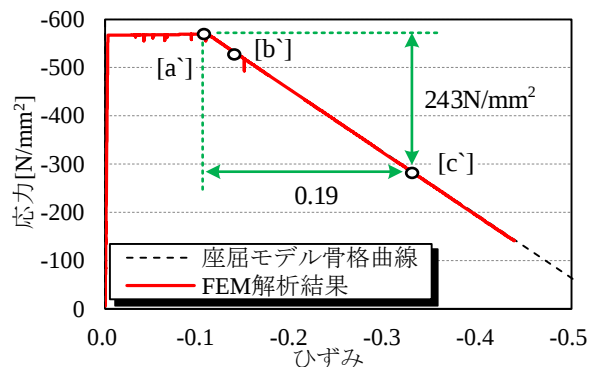


図-8 圧縮側軸方向鉄筋履歴 (No. 2-9)