FEM 解析の構成則が終局挙動に与える影響評価

大日本コンサルタント 正会員 清水英樹 九州工業大学 正会員 幸左賢二 九州工業大学 学生会員 鹿子嶋専

1. はじめに

RC橋脚の耐震設計においては、帯鉄筋や中間帯鉄筋により、軸方向鉄筋に囲まれたコアコンクリートを十分に 拘束すれば、変形性能が向上することが知られている。そこで、本研究では、中間帯鉄筋を有する壁式橋脚を想 定した長方形断面を有するRC壁型供試体を用いて、一般的な土木構造物で考えられる1.0N/mm²の軸圧縮応力下 における正負交番載荷実験を実施した。さらに、実験結果を解析的に評価する目的で、簡便な2次元弾塑性FEM解 析により構成則をパラメータとして数値シミュレーションを試みた。

2. 実験概要

図-1に本実験で対象とした供試体形状を示す. 幅400mm × 奥行800mmの長方形断面の壁部材を対象としており, 各断面内に2本の中間帯鉄筋を配置した. ただし, 帯鉄筋の配置間隔は, 図に示すように, 道路橋示方書で示されている最大標準間隔150mmとした. 帯鉄筋と中間帯鉄筋にはD13を用い, 実構造物のせん断補強筋比 (ρ_w =0.35%) と同等となるように, せん断補強筋比 ρ_w を0.44%, 横拘束筋体積比を1.3%に設定した. また, 本実験では設計上, 曲げ破壊が発生するように, 軸方向鉄筋にD19を70mm間隔で配置し, 引張主鉄筋比 ρ_t を1.1%に設定した.

3. 弾塑性 FEM 解析 (その1)

実験の破壊性状を評価するため、2次元弾塑性FEM解析 をDiana ver9.2を用いて実施した. 図-2に解析モデルの要 素分割図を示す. 要素は,8節点アイソパラメトリック要素を用い, 載荷方法は実験と同様に, 橋脚天端に1.0N/mm²相当の軸力を載荷さ せた状態で,水平載荷点に変位制御によって正負交番載荷を行って いる. ここで、解析の載荷ステップは、実験と同様に降伏変位をδ v=10.2mmと仮定して決定している. なお,解析計算には割線法を 使用し、ひずみエネルギー基準で判定誤差0.1%の条件で採用した. また, すべての鉄筋は, コンクリートと完全付着となる埋め込み鉄 筋要素を、降伏判定にはvon-Misesの基準を用いている。図-3に圧 縮側のコンクリートの応力-ひずみ関係を示す. 圧縮強度は実験と 同様に 36.45N/mm^2 とし、ピーク時のひずみを0.002とした。軟化勾 配は,帯鉄筋及び中間帯鉄筋によるコンクリートの拘束効果を模擬 するため、星隈らの応力-ひずみ関係を用いた、コンクリートの降 伏判定は、収束しやすくするため、2軸圧縮状態での強度上昇を考 えていない.

図-4に解析の荷重 - 変位関係を示す。解析は, $8\delta_y$ まで発散せずに終了している。実験の標準ケースと比較すると,荷重については実験値と概ね同様の値であった。また,解析の荷重は変位50mm以降で10%程度減少しているが,実験結果程の低下はみられなかった。

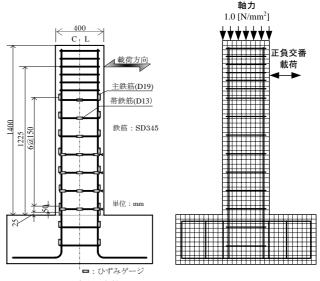


図-1 壁式供試体

図-2 要素分割図

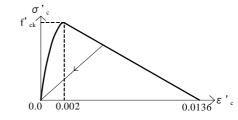


図-3 コンクリート σ - ϵ モデル(圧縮側)

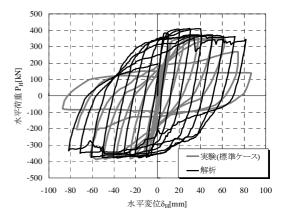


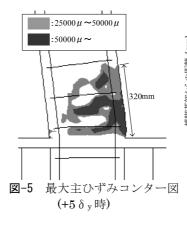
図-4 荷重-変位関係

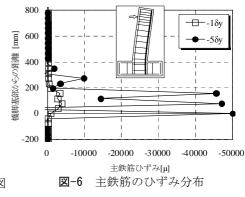
図-5 $C+5\delta$ _v時の最大主ひずみ分布を示す. 図より基部から320mm付近にひずみは集中 しており、柱下端の中立軸は圧縮主鉄筋位 置となっている.しかし、その分布状況は 上下方向にひずみの大きな箇所と小さな箇 所が交互に存在している. 図-6に解析の主 鉄筋ひずみ分布を示す. $-1\delta_v$ 時では分布が 滑らかであるのに対して、-5δ_v時と変位が 進むと, 隣合う節点間でひずみが振動する 様な現象が発生している. このようなこと から,荷重-変位関係の様に全体としての 挙動は,解析であたかも再現できているよ うな結果であるが, 個別の部材や部位に着 目すると値は得られているが, 信頼性に欠 ける結果となっており,大変形状態での実 現象を十分には再現できていない.

4. 弾塑性 FEM 解析 (その 2)

前述での不具合を解消し2軸圧縮状態で の強度上昇を考慮するため、解析モデルに 表-1の様に変更を加えた. コンクリートの2 軸圧縮強度の条件にDrucker-Pragerの降伏 条件を使用し,解析途中が発散し易くなっ たため、非線形解析判定誤差基準を0.1%か ら2.0%に緩和させた.また、解析の載荷ス テップは、柱主鉄筋の降伏変位を6.0mmと して載荷ステップを決定している.

図-7に解析の荷重-変位関係を示す. モ





解析モデルの修正 表-1

変更項目	解析モアル	
	変更前	変更後
2軸圧縮 状態での 強度上昇	非考慮	考慮 Drucker-Prager
要素分割	同形状(正 方形)基本	鉄筋位置 基本
非線形解 析判定 誤差基準	0.1%	2.0%

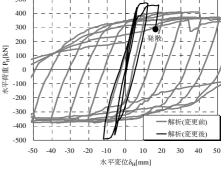
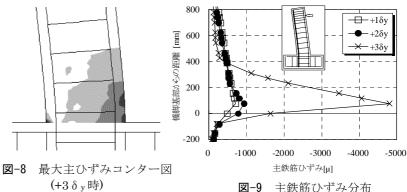


図-7 荷重-変位関係



主鉄筋ひずみ分布

デル変更後の解析は、+3δ、の除荷途中で発散している.発散原因は、柱基部の圧縮側かぶりコンクリート要素が エネルギーの釣り合いが取れなくなったことである. 図より最大荷重がモデル変更前に比べ変更後が1割程度大き くなっているが、これは2軸圧縮状態での応力上昇を考慮した影響よりも、非線形解析の判定誤差基準を0.1%から 2.0%に緩和させた影響と推定される. 図-8に+3 δ 、時の最大主ひずみ分布を示す. 図-5と比較すると, ひずみの大 きさは小さいもののひずみの集中は同様の傾向となっている. また, ひずみの分布形状は, 柱基部引張縁を頂点 とした三角形分布となっており、ひずみの大きな箇所と小さな箇所が交互に存在するような状況は見られない。 図-9にモデル変更後の主鉄筋ひずみ分布を示す.図より+ 1δ 、時と+ 2δ 、時に対して+ 3δ 、時は、柱基部付近のひず みが大きく進展し、基部から400mmの高さに折れ点が出現している.このような状態であっても、図-6の様に隣 合う節点間でひずみが振動する様な現象が生じていない.これらのことから,2軸応力状態での強度上昇を Drucker-Pragerの構成則を用いて解析を行った場合,変更前の解析モデルと比較して個別の部材や部位の評価の信 頼性が向上していると考えられる.

5. まとめ

- (1) 荷重-変位関係の様に全体としての挙動は, 2 軸圧縮状態の強度上昇を考慮しないモデルでも評価可能である が、個別の部材や部位に着目すると信頼性に欠ける結果となった.
- (2) Drucker-Prager 構成則に変更後の解析は、+3δ_νの除荷途中で発散しているが、部材の応力-ひずみ関係に着 目すると実験結果に対応しており、変更前モデルと比較して個別部材評価の信頼性が向上したと考えられる.