

第 I 部門

二軸曲げを受ける RC 柱の耐震特性に関する軸力の影響

大阪市立大学大学院工学研究科 (JIP テクノサイエンス (株)) 正会員 ○佐藤 知明
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 角掛 久雄
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田 俊行
 (株) オガノ 正会員 島田 功

1. 概要

RC 橋脚の設計においては、じん性確保のため、一般に、コンクリートに余裕を持った設計が行われる。すなわち、平均軸圧縮応力が 1.0 MPa より小さな断面で設定する場合が多い。しかしながら、二軸曲げ状態での平均軸圧縮応力とじん性の関係を定量的に示された研究はあまり見受けられない。これまでに、筆者ら¹⁾は、平均軸圧縮応力が 1.0 MPa とした水平二方向載荷時の変形特性や最大荷重値より得られる耐力の相関関係、損傷の状態などについて検討してきたが、本研究では、作用させる平均軸圧縮応力を $\pm 50\%$ 変化させ、同様の実験を実施し、さらに 3 次元非線形 FEM 解析を行った。

2. 実験および解析の概要

図-1 に供試体の概要を示す。RC 柱は 250×250 mm の正方形断面とし、柱の主筋には D13 を 8 本配置し、帯鉄筋は R6 を 90 mm 間隔で配置した。なお、フーチング上面から載荷点までの高さは 800 mm である。

載荷方法については、以下のような荷重を順次載荷している。まず、(1) 設定した軸力 N を RC 柱に導入し、(2) Y 方向荷重 F_Y を載荷する。その後 (3) X 方向への正負交番載荷 F_X を実施する (図-2: 水平方向への荷重図)。今回の実験では、柱基部に作用する軸圧縮応力度を 0.5, 1.0, 1.5 MPa と変化させている。なお、Y 方向荷重は一定の荷重強度とし、一軸曲げを受ける場合の初降伏荷重強度の 60% 程度に設定した。供試体の名称およびコンクリートと鉄筋の材料特性を表-1 に示す。

また、各実験に対する 3 次元 FEM 解析では、コンクリートは Solid 要素、鉄筋は Beam 要素とし、両者が完全剛結するものとしてモデル化した。材料試験結果をもとに、コンクリートは Drucker-Prager の降伏条件を、鉄筋は第二勾配を初期勾配の 1 % とするバイリニアモデルで非線形特性を設定した。なお、解析においては、X 方向の正負交番載荷は行わず単調載荷として解析している。

3. 実験および解析結果

図-3(a)-(c) に実験結果から得られた X 方向の荷重-変位曲線の履歴を示す。また、図中の ● 印は鉄筋降伏が発生した時点である。図(a)-(c) は、それぞれ No.05, No.10, No.15 の結果である。図より、作用軸力が低い No.05 に比べ、No.10 および No.15 のものが、正負の鉄筋降伏位置をつなぐ傾きは急であり、軸力が大きいほど初期の剛性が高くなることを示している。また、最大耐力が発生するとき (図中 ○ 印) の変位量については、軸力が高いものほど減少する傾向を示した。これら 2 点より、水平二方向載荷時においても、軸力の高いものほど、地震時応答に重要な要素となる変形性能 (じん性) が低下することが実験により確認できた。

表-1 実験供試体名称および材料強度

名称	平均軸圧縮 応力 (MPa)	コンクリート		鉄筋		Y 方向荷重 強度 F_Y (kN)	一軸曲げ時 初降伏荷重に 対する倍率
		圧縮強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)	降伏強度 (MPa)	ヤング率 (GPa)		
No. 05	0.5	21.3	24.2	368.3	188.7	22.3	0.58
No. 10	1.0	28.8	28.6			29.1	0.66
No. 15	1.5	21.3	24.2			27.0	0.60

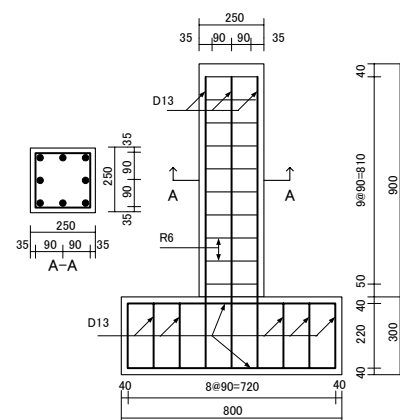


図-1 基準供試体

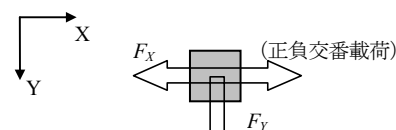


図-2 載荷方法

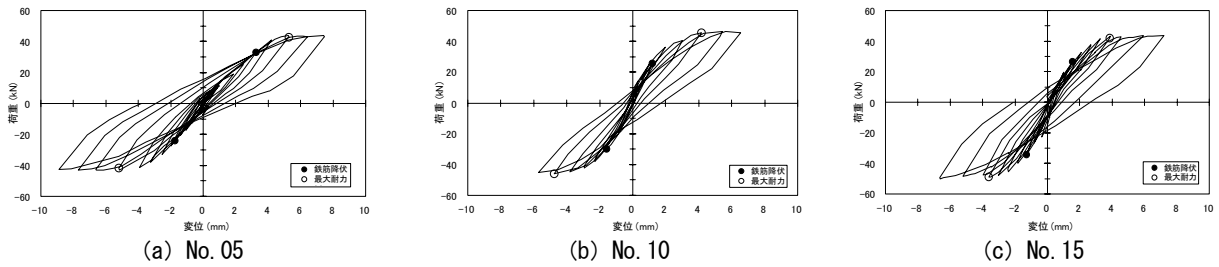


図-3 荷重-変位関係 (X方向)

次に、二方向載荷時の最大耐力の相関関係を図-4 に示す。今回の実験結果は ▲ 印であり、他の ■ 印は平均軸圧縮力を 1.0 MPa とし、Y 方向荷重強度を変化させたこれまでの実験結果である。図中の曲線は、平均軸圧縮力を 1.0 MPa、Y 方向荷重をパラメータとし、X 方向への単調漸増載荷として、FEM を用いて算出した計算値である。実線は、圧縮側最外縁コンクリートが終局ひずみに達するときの作用荷重値を結んだもの、破線は、同計算における引張側鉄筋降伏時の相関図値である。

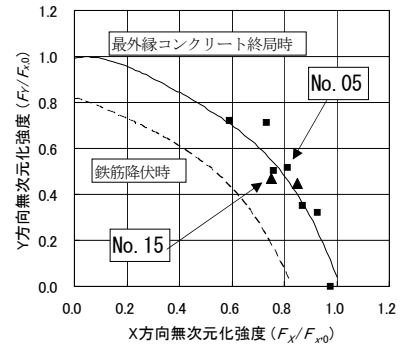


図-4 水平二方向載荷の耐力力相関関係

今回の軸力を変化させた実験結果は、図中の曲線で示された相関曲線に対し、作用軸力の大きい No.15 は曲線の内側に、逆に No.05 は外側にプロットされ、双方ともにほぼ相関曲線近傍であった。したがって、本供試体の有する最大耐力は、圧縮側最外縁コンクリートが終局ひずみに達する状態で算定されることがわかる。

最後に、No.05 および No.15 の損傷状態について、実験ならびに解析結果を図-5 に示す。まず、図(b)は実験終了時の損傷状況図であり、図中、実線はひび割れを、ハッチング部は圧縮破壊領域を示している。図(a)は圧縮側から見た応力図であり、また、図(c)は引張側から見たひずみ分布である。

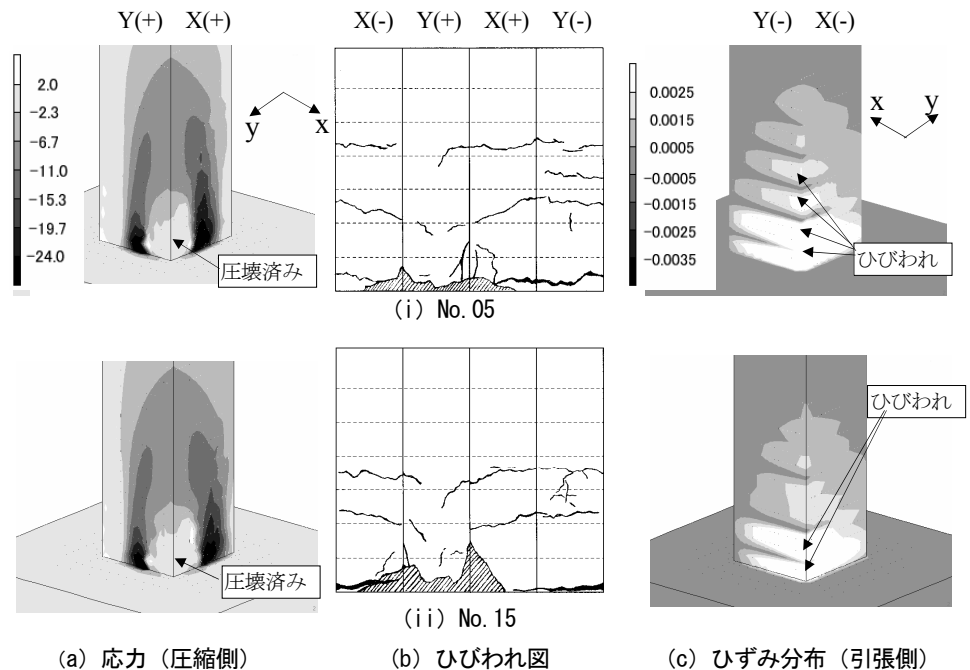


図-5 損傷状態に関する検証

例えば、No.05 について見てみると、FEM 結果は、圧縮側コーナ部部の圧縮破壊に関連すると推定される複雑なひび割れ形状、ならびに、引張側ではひび割れ高さが良好に一致していることがわかる。

4. まとめ

1) 荷重-変位関係より、水平二方向載荷においても、軸力の高いものほど、地震時応答に重要な要素となる変形性能（じん性）が低下することが確認できた。2) 水平二方向載荷時の最大耐力についての相関関係より、平均軸圧縮応力が 1.0 MPa の結果と、ほぼ同様の結果を示すことがわかった。3) 平均軸圧縮応力を変化させた場合においても、3 次元非線形 FEM 解析により、実験を再現できることがわかった。

参考文献：1) 佐藤知明，他：一定軸力を受ける RC 柱の繰返し二軸曲げ実験，コンクリート工学年次論文集，Vol. 25, No. 2, pp. 283-288, 2003