

軸力と二軸曲げを受ける RC 柱の帯鉄筋による拘束効果に関する解析的検討

大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 ○北田 裕久
 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
 (株) オガノ フェロー 島田 功

1. 目的

既往の研究では、二軸曲げ作用下での帯鉄筋による拘束効果に関する研究はあまり見受けられない。そこで、本研究では破壊領域付近の拘束状態を把握するために、帯鉄筋に着目した実験を実施し、それに対して解析的検討を行うものである。一般的に二軸曲げを受ける RC 柱の解析的検討においては、ファイバーモデルがよく用いられている。しかし、その応力-ひずみ関係は元来一軸曲げに対するものであり、二軸曲げへの適用は十分に検討されていないので、3次元非線形 FEM 解析により、拘束効果の影響を推定するものである。本研究では、基準となる供試体から帯鉄筋径と帯鉄筋間隔を変化させ、帯鉄筋径のみ異なる場合と帯鉄筋間隔のみ異なる場合および拘束鉄筋量がほぼ同じで径と間隔が異なる場合で比較する。

2. 実験概要

基準供試体（供試体名：R6-90）は図-1 に示すような 250×250 mm の正方形断面柱に対して、主筋には D13 を 8 本配置し、帯鉄筋には R6 を 90 mm 間隔で配置した。なお、フーチング上面から荷重点までの高さは 800 mm である。実験は、上述したように基準供試体に対し、帯鉄筋径と帯鉄筋間隔を変化させ、計 3 体実施した。供試体の概要およびコンクリートと鉄筋の材料特性を表-1 に示す。

荷重方法は、以下のような順序で荷重させている。

荷重 1：一定軸力 N を荷重。

荷重 2：一定強度の Y 方向荷重 F_Y を荷重（図-2 参照）。

荷重 3：X 方向への正負交番荷重（図-2 参照）。

なお、軸力 N は軸圧縮応力が 1.0 MPa となるように荷重し、Y 方向一定荷重強度 F_Y は、一軸曲げを受ける場合の初降伏荷重強度 P_{y0} に対する 0.66 倍の 29.1 kN とした。X 方向への荷重は、荷重点位置に設置した変位計にて変位制御とした。

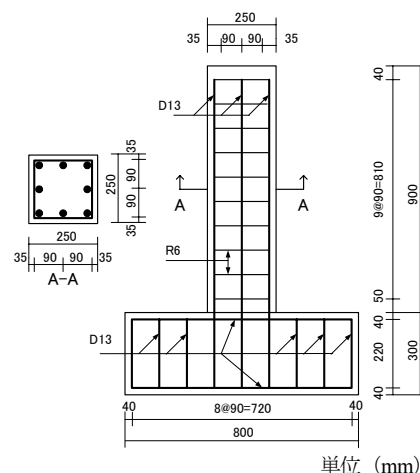


図-1 基準供試体

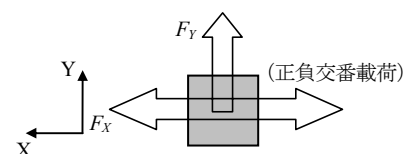


図-2 荷重方法

3. 解析モデル

解析モデルは、コンクリートを Solid 要素、鉄筋を 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。降伏条件はコンクリートが Drucker-Prager 則とし、鉄筋はバイリニア型として第二次勾配は初期勾配の 1% として

いる。荷重方法は実験に準拠するが、X 方向への荷重のみ条件を変更し、片側への単調荷重とした。

4. 実験値との比較

基準供試体（供試体名：R6-90）に対する、X 方向荷重-変位曲線を図-3 に示す。解析では単調荷重かつ、約

表-1 供試体概要および材料特性

供試体名	帯鉄筋			主鉄筋 (D13)		コンクリート	
	径	間隔 (mm)	横拘束筋の体積比 (%)	ヤング係数 (GPa)	降伏強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	ヤング係数 (GPa)
R6-90	R6	90	0.698	167.6	358	186.9	24.2
R8-90	R8	90	1.24				25.7
R6-50	R6	50	1.26				24.6
							23.8
							24.7
							23.9

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3 丁目 3 番 138 号 大阪市立大学大学院工学研究科 TEL 06-6605-2723

5 mm の変位までしか実施していないが、引張側では実験値と類似した傾向を示しており、本解析モデルは妥当であると考えられる。

次に、X 軸正方向側の高さ 140 mm に配置された帯鉄筋のひずみと X 正方向への荷重強度との関係を図-4 に示す。解析結果においては、Y 方向荷重導入時のひずみの増加が現れたものの、荷重 20 kN 付近までの傾きはほぼ近似している。しかし、約 20 kN 以上になると、大きく異なる結果となった。ここでは鉄筋とコンクリートの結合条件の差異が影響しているものと考えられる。つまり、解析では鉄筋とコンクリートの結合条件を剛としているため、コンクリートのひびわれや主鉄筋の降伏による影響が大きく反映されたものと考えられる。

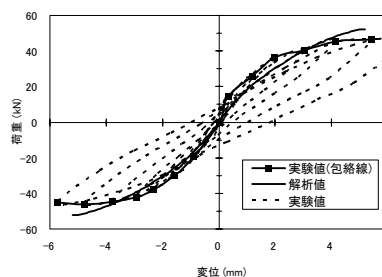


図-3 P- δ 曲線 (X 方向)

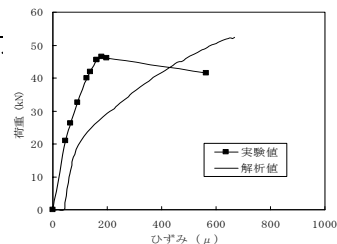


図-4 X 方向荷重-帯鉄筋ひずみ曲線

5. コンクリート内部状況

塑性ヒンジ高さ (0.5D = 125 mm) における柱横断面の終局状態での鉛直ひずみ分布を図-5 に示す。帯鉄筋間隔が等しい、R6-90 と R8-90 は類似の傾向にある。R6-50 においても類似した傾向を示しているが、引張ひずみ（赤系統の分布）の分布に若干の差異が見られる。

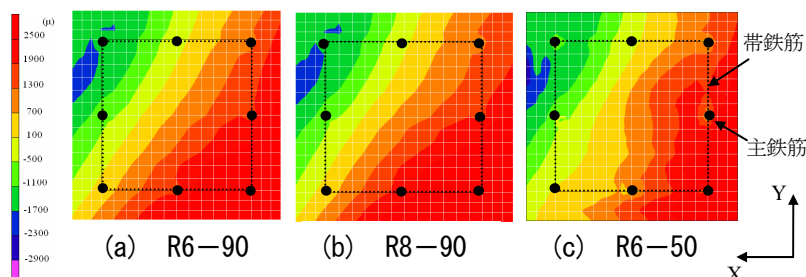


図-5 塑性ヒンジ高さ断面における鉛直ひずみ分布

次に、帯鉄筋による拘束状態の違いをみるために、基部付近において、図-6 のように帯鉄筋が配置されている横断面と帯鉄筋と帯鉄筋の間の横断面について着目した。図-6 に示す拘束領域の中で、圧縮状態が最も顕著に現れる位置 (×印) における鉛直方向への応力-ひずみ関係を図-7 に示した。同図には、R8-90 に対して道路橋示方書¹⁾ (以下、道示という) に記されているコンクリートの拘束効果式を適用した値を黒の点線として示した。また、X 方向の荷重に対する横断面方向 (X 方向) のひずみの関係を図-8 に示す。

図-7 において、ひずみが約 500 μ 以降は帯鉄筋の間の断面は帯鉄筋配置断面より応力が低めの結果となったが、それ以前は断面の違いおよび帯鉄筋量による顕著な違いは見受けられなかった。設計式である道示式は帯鉄筋の間の断面の値と近似している結果となり、二方向曲げに対する設計にも適用可能であると考えられる。

図-8 において、帯鉄筋の間の断面では拘束鉄筋量のほぼ等しい R8-90 と R6-50 とがほぼ近似しており、拘束効果は拘束鉄筋量による影響が最も大きいものと考えられる。ただ、帯鉄筋の配置断面においては R8-90, R6-50, R6-90 の順で拘束効果は大きくなり、径、間隔の順で拘束効果に影響するものと考えられる。

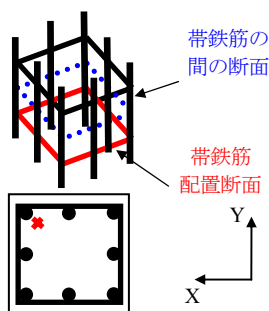


図-6 着目位置

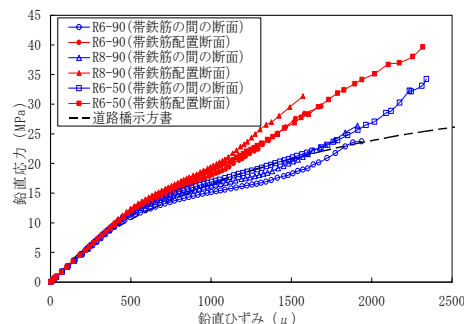


図-7 鉛直方向での荷重-ひずみ関係

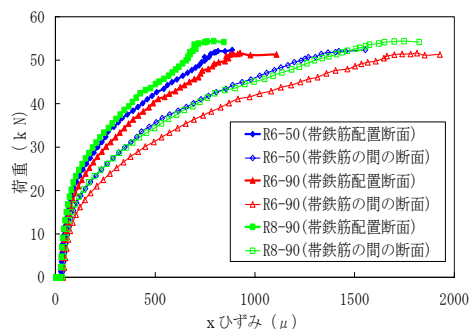


図-8 柱内部での荷重-ひずみ関係

6. まとめ

作用荷重が増加するにつれて、帯鉄筋配置断面と帯鉄筋の間の断面とでは拘束効果に差異が生じる。また、帯鉄筋の間の断面では拘束鉄筋量が同程度のものは類似の傾向を示すのに対し、帯鉄筋配置断面では帯鉄筋径を大きくする、帯鉄筋間隔を小さくするの順で拘束効果は大きくなることが確認できた。

参考文献：1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，pp.160-161，2002。