

軸方向鉄筋の座屈およびコンクリートの繰返し劣化特性を考慮した RC 柱の変形挙動解析

日中コンサルタント (株) 正会員 ○川瀬 瞳
中部大学大学院 学生会員 近藤貴紀

豊橋市役所 正会員 亀田好洋
中部大学 正会員 水野英二

1. はじめに

一般に、繰返し曲げを受ける鉄筋コンクリート (RC) 柱の塑性ヒンジ部におけるポストピーク領域での変形特性として、かぶりコンクリートの剥落に始まる内部コンクリートへの破壊進展ならびにそれに伴う軸方向鉄筋の座屈・破断が挙げられる¹⁾。ここでは、一方向繰返し曲げ载荷下での RC 柱の耐荷特性を考察し、軸方向鉄筋の座屈およびコンクリートの繰返し劣化特性を考慮した RC 柱の繰返し変形挙動を解析的に検証した。

2. 繰返し曲げを受ける RC 柱の耐荷特性

一例として、繰返し曲げ力を受ける、コンクリート強度 $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ 、横拘束筋間隔 $s = 65 \text{ mm}$ を有する柱供試体 (高さ $1,000 \text{ mm}$ 、断面 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$) の水平荷重—水平変位曲線を図-1 に示す。载荷区間ごとの荷重—変位曲線の開始点 (载荷方向の変化点) を基準として整理した「抵抗強度 (以降、強度と称す) —変位曲線」 (図-2) およびその分類図¹⁾ (図-3) を用いて、以下に RC 柱の耐荷特性を説明する。ここで、強度とは、変化点以降の荷重と载荷方向の変化点での荷重との差である。図-2 の強度—変位曲線は、繰返し変位幅が増えるに従い、図-3 に示すように、1) 図中の限界曲線 (RC 柱の $P-\delta$ 曲線) に漸近するように、強度が上昇・下降する曲線 A (図-2: 曲線①～②)、2) 一旦、強度が一定または減少した後に、再度上昇し、下降する曲線 B (図-2: 曲線③～④)、3) 軸方向鉄筋の座屈とコンクリートの強度劣化とにより塑性ヒンジ化した曲線 C (図-2: 曲線⑤) へと変化する。

3. 軸方向鉄筋の座屈およびコンクリート劣化特性を考慮した有限要素ファィバー解析

3.1 構成モデル

座屈発生までの軸方向鉄筋 (鋼材) には、鋼素材としての修正二曲面モデル²⁾ (図-4) を、座屈発生後の軸方向鉄筋には、横拘束筋間隔に応じて繰返し圧縮耐力の低減特性 (図-5) を採用した。一方、コンクリートの構成モデルとして、図-6 に示すようなひずみ軟化型構成モデル²⁾ を採用した。すなわち、コアコンクリートの応力—ひずみ関係は、圧縮領域では一軸圧縮強度まで上昇した後、軟化挙動を示すものと仮定した。一方、

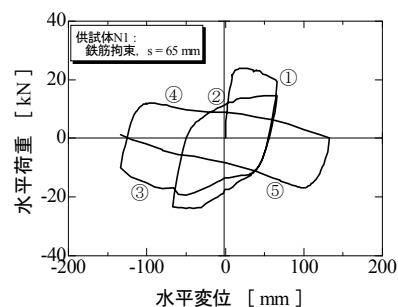


図-1 実験曲線

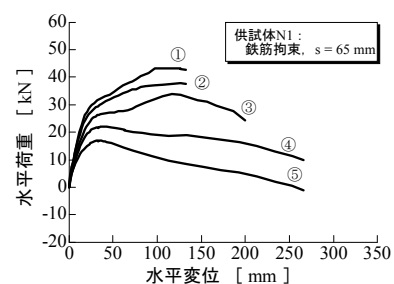


図-2 強度—変位曲線

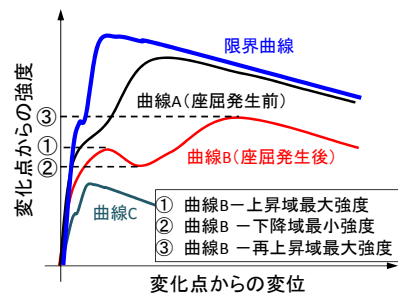
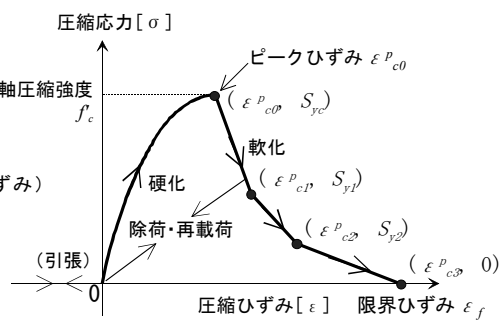
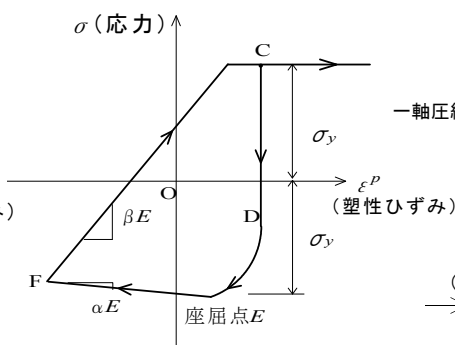
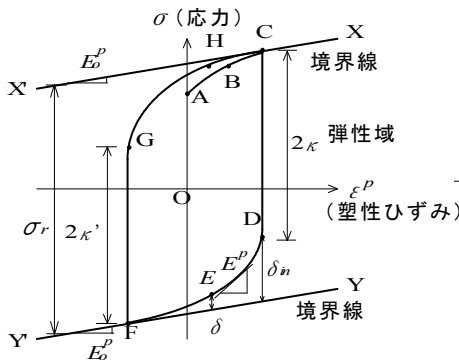
図-3 強度—変位曲線の分類¹⁾

図-4 鋼材の応力—ひずみ (座屈前) 図-5 鋼材の応力—ひずみ (座屈後) 図-6 コンクリートの応力—ひずみ

キーワード: RC 柱, 繰返し変形挙動, FEM 解析, 軸方向鉄筋の座屈, コンクリートの劣化

連絡先: 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学 工学部 都市建設工学科 TEL: 0568-51-1111(代)

表-1 材料定数と構成モデルのパラメータ²⁾

横拘束筋 間隔 s(mm)	コンクリート：強度とパラメータ					軸方向鉄筋(D10)：強度とパラメータ										横拘束筋(D6)
	設計基準 圧縮強度 40 MPa	E _c (GPa)	S _{yc} (MPa)	S _{y1} (MPa)	S _{y2} (MPa)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	E _s (GPa)	ε _{st}	E _{p0} (GPa)	κ ₀ (MPa)	e	f	a	降伏強度 (MPa)	
		31.8	-36.6	-14.0	-8.0			183.4	0.0223	1.643	443.0	500.0	55010	-0.505	326	
65,90 105,120	36.6	ε _{p0}	ε _{p1}	ε _{p2}	ε _{p3}	360	452	b	c	α	M	ζ	E _{st} ^p (GPa)	ω	引張強度 (MPa)	
		-0.0023	-0.015	-0.018	-0.169			2.17	14.4	0.191	-0.37	296.0	3.14	0.0092	423	

引張領域では、コンクリートの強度はゼロであると仮定した。

3.2 材料定数

鉄筋ならびにコンクリートの材料定数と構成モデルのパラメータを表-1 に示す。

3.3 解析モデル

有限要素解析プログラム FEAP を用いてファイバーモデルによる二次元有限要素解析を実施した。供試体諸元（高さ H：1,000 mm，断面：200 mm×200 mm）に基づき，1 要素長：100 mm，高さ方向に 10 分割した解析モデル（図-7），さらに断面分割モデル（図-8）を採用した。ここで，図中の黒色のブロックは軸方向鉄筋を示す。

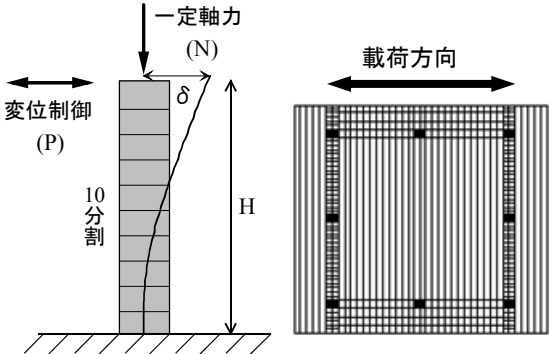


図-7 柱解析モデル 図-8 柱断面モデル

3.4 解析結果

本解析では，i）かぶりコンクリートが剥落する状態（柱基部圧縮側の曲率の蓄積量： 90×10^{-5} ）を満たし，ii）さらに引張側に反転した後に圧縮側への荷重経路にて軸方向鉄筋の圧縮応力が降伏応力となる時に座屈が発生すると設定した（図-5）。解析結果を図-9 に示す。図中，赤破線は実験曲線，青実線は座屈を考慮しない解析結果，黒実線は座屈を考慮した解析結果を示す。座屈を考慮した解析結果では，図-1 に示した荷重経路④および⑤の前半にて座屈が生ずるが，それら荷重経路の後半にて，まだ十分なコンクリート強度が内部で発揮されるため，強度の増加が生ずる。それゆえ，柱基部の曲率の蓄積量が $200 \times 10^{-5} \sim 500 \times 10^{-5}$ まで変化する間にコンクリート強度が 10 %程度に低下（劣化）するように追加の設定をした。解析結果を図-10 に示す。解析結果は概ね実験挙動を再現している。

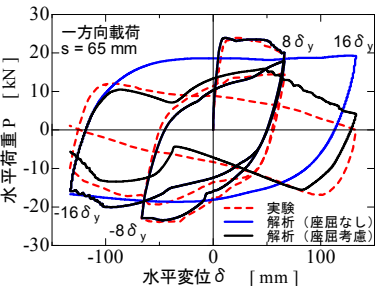


図-9 解析結果（座屈考慮）

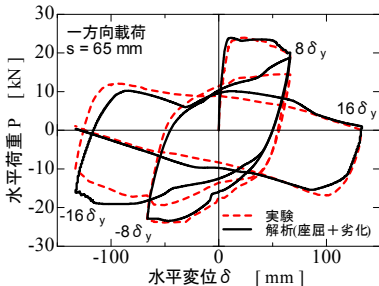


図-10 解析結果（座屈＋劣化）

4. まとめ

- 1) 軸方向鉄筋の座屈およびコンクリートの繰返し劣化を柱基部の曲率量で制御できるようモデル化した。
- 2) 本解析モデルにより，大変位領域までの座屈挙動ならびにコンクリートの繰返し劣化挙動を概ね再現できた。
- 3) さらに，多くの実験データを用いて解析的な検証を行い，精緻なモデルの構築を行う必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり，平成 26 年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（C）25420493）および中部大学特別研究費 A を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 近藤貴紀・亀田好洋・水野英二：軸方向鉄筋の破断防止策を施したSFRC 柱の二方向繰返し耐荷特性に関する実験的研究，土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.70, No.2(応用力学論文集Vol.17), I_385-I_396, 2014.
- 2) 鈴木森晶・水野英二：繰返し曲げを受けるRC柱の鉄筋座屈特性に関する実験的ならびに解析的研究，応用力学論文, Vol.13, pp.331-342, 2010.8.