

V-256

鉄筋コンクリート柱の非線形FEM解析 における変形性能と耐荷機構の検討

武蔵工業大学

武蔵工業大学

トータルインフォメーションサービス

学生員 山口 英樹

正会員 吉川 弘道

正会員 金刀 督純

1. はじめに

鉄筋コンクリート柱の非線形FEM解析においてコンクリートのひび割れに関するモデルによってその構造物の破壊モードは異なる。そこで本解析では引張軟化特性を大きく左右すると考えられる二つのパラメータに着目し、さらに鉄筋とコンクリートの間に付着要素を用いた場合の解析結果についての比較、検討をおこなう。

2. コンクリートのひび割れに関するモデル化

(1) 応力の制御：コンクリートのひび割れ発生基準は第一主応力基準とする。ひび割れ発生後は直交異方性体とし、その剛性マトリクスは次のように表される。

$$[D_{cr}] = \begin{bmatrix} \beta_n E & 0 & 0 \\ 0 & E & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{nt} G \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

ひび割れ引張軟化モデルとして、図1に示すようにひび割れ発生後にひび割れ直交方向の応力 σ を引張強度 f_t を用いて $\alpha_n f_t$ ($0 \leq \alpha_n \leq 1$)で応力一定とする(a)同時解放型とひび割れ発生ひずみ ϵ_{cr} からさらに基準ひずみ ϵ_f だけ生じたときに応力が $\alpha_n f_t$ となる(b)ひずみ依存型を本解析では用いた。ひずみ依存型の軟化モデルは次式¹⁾で表される。

$$\sigma(\epsilon) = f_t \cdot \alpha_n^{\frac{\epsilon - \epsilon_{cr}}{\epsilon_f}} \dots\dots\dots (2)$$

(2) 回転ひび割れモデル²⁾：ひび割れ発生後、ひび割れ面におけるせん断剛性は $\beta_{nt} G$ で表され、 β_{nt} はせん断剛性低減率とよばれ、 $0 \leq \beta_{nt} \leq 1$ の範囲で用いる。ここで、この β_{nt} やせん断ひずみ増分が大きい場合、ひび割れ面に過剰なせん断応力が発生し主応力軸の回転にともなう応力硬化がおこることが考えられる。そこで本解析ではひび割れ発生後、応力硬化により再び引張強度に達したときひび割れ直交軸を主ひずみ軸を一致させることにより軟化を促す回転ひび割れモデルを用いた。

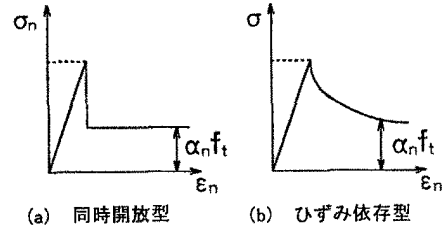


図-1 ひび割れ後の応力軟化モデル

表-1 材料物性

Concrete			Reinforcement			
Compressive Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Tensile & Compressive Yield Point (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Hoop Yield Point (MPa)	Young's Modulus (GPa)
30	28	0.19	380	206	380	206

表-2 解析モデル

	α_n	β_{nt}	引張軟化モデル	主鉄筋付着考慮
case 1	1%	20%	同時開放型	なし
case 2	1%	20%	ひずみ依存型	
case 3	1%	5%		
case 4	5%	20%		
case 5	1%	20%		あり

3. 解析概要

(1) 解析対象モデル：本解析では鉄筋コンクリート柱モデルを対象として解析を行った。 $a/d=3.0$ の複鉄筋長方形断面であり、せん断補強鉄筋についてはピッチ7.5cmの帯筋配筋となっている。各材料物性については表1に示す。荷重条件としては一方向水平荷重である。このモデルを基にパラメータ(表2)として、ひび割れ後のコンクリート材料特性であるせん断剛性低減率 β_{nt} 、および残留応力比 α_n を考慮して解析をおこなった。さらに主鉄筋とコンクリートの付着を考慮したモデルについても検討した。

(2) 解析モデル：本研究ではコンクリート部を4節点アイソパラメトリック平面応力要素、鉄筋をトラス要素、主鉄筋とコンクリートとの間の付着について

Key word：分布ひび割れモデル、引張軟化モデル、回転ひび割れモデル、せん断剛性、応力残留率

武蔵工業大学：〒158 世田谷区玉堤 1-28-1, Tel. 03-3703-3111 (3241), Fax 03-5707-2125

E-mail address: yamaguti@shear.civil.musashi-tech.ac.jp

はボンド要素でそれぞれ表した。境界条件としては、フーチング部との接合を考慮して、柱基部を xy 完全拘束とした。荷重条件は変位制御とし、 $0.025\text{cm} \times 300\text{step}$ で解析をおこなった。鉄筋については負担応力が降伏強度に達した時点でその剛性を $1/100$ とするバイリニア型完全弾塑性モデルとする。付着要素はせん断付着破壊のみを考慮し、付着強度を 2.94MPa とする。

4.FEM シミュレーション結果

応力解放の影響 (case1&2): 図2より case1 におけるの広域にわたるひずみの分布から、ひび割れが柱全面に生じていることがわかる。主応力図により両者を比較すると、ひび割れの拡散が認められる case1 では圧縮ストラットが幅広く形成されるのに対し、case2 では2本程度の分散した圧縮ストラットとして存在している。case2 では圧縮ストラットの不整形に起因し急激な耐力の低下が起ったと考えられ、変形性能を吟味するうえで重要な点であるといえる。

せん断低減率の影響 (case2&3): 図3のせん断補強筋のひずみ分布で比較すると、case3 ではそのひずみが拡散していることが認められる。これはせん断剛性の低減に伴うコンクリートの残留応力の低下によるもので、せん断補強筋の負担が増加した結果と考えられる。また、コンクリートの第一主ひずみ分布は case2 では基部に集中することに対して、case3 では部材軸斜め方向にひずみが分布しているが、 β_{nt} の値によってコンクリート自体のせん断耐力が case2 より過小評価された結果と考えられる。さらに残留応力比の異なる case2 と case4 ではひずみ分布が case4 で全体的に抑えられることが認められる。

付着の影響 (case2&5): 主鉄筋との付着を考慮した case5 では曲げひび割れが生じた部分で第一主ひずみが大きく分布していることが認められており、図4のせん断補強筋のひずみ分布では case5 でのひずみ量の大きさは若干大きくなるもののその分布は局所的に集中している。

5. まとめ

ひび割れに関する材料パラメータに着目した解析の結果、ひずみの分布の状態によって変形性能に影響をうけることが示された。今後はこれらのパラメータが鉄筋比等の設計レベルでのパラメータにどのように関与し、解析モデルにどう影響を与えるのかについて吟味する必要があると考える。

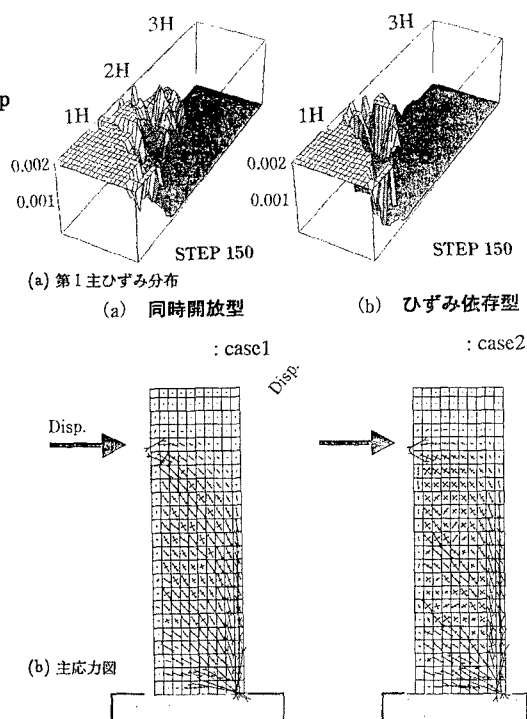


図-2 応力解放モデルによる比較

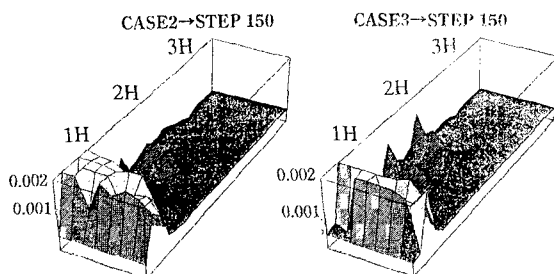


図-3 β_{nt} の変化と補強筋ひずみ分布の関係

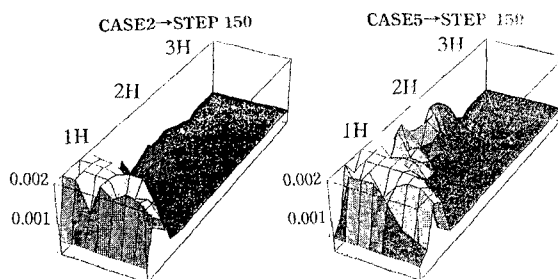


図-4 付着考慮によるせん断補強筋ひずみ分布の変化

参考文献

- (1)吉川弘道,西藤邦夫,金井哲純: 引張強度の空間的変動を考慮したコンクリートの FEM 破壊シミュレーション,コンクリート工学協会,コンクリート工学論文集第7巻第2号 1966.7
- (2)Rots,J.G.: 「Computational Modeling of Concrete Fracture」