

RC柱の終局耐荷力に関する基礎的研究

名古屋大学工学部 学生会員 ○ 河南 正幸
 名古屋大学大学院 学生会員 中村 光
 名古屋大学工学部 正 会員 田辺 忠顕

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物が地震荷重を受け最終的な破壊にいたる場合、柱の一部のコンクリートが崩落し、露出した鉄筋が座屈し、耐荷力を失うという現象がよくみられる。これらは、動的に振動している最中に生じる現象であり、最終的な振動破壊現象を明らかにするためには、上記の現象を解明する必要がある。本研究は、その準備のための数値解析理論の開発である。大幢ら¹⁾は、異自由度を有する鉄筋とコンクリートの有限要素間の結合を用いて、コンクリートに関しては微小変形理論を、鉄筋に関しては有限変形の定式化を行ったが、鉄筋は弾性状態としての定式化にとどまっていた。そこで、本研究においては、柴田ら²⁾の行った断面力表示構成則を用いて、鉄筋の弾塑性状態に対する定式化を行い、より現実に近い有限要素解析を行った。

2. 解析理論

2-1 コンクリートと鉄筋の結合

今回コンクリートを1節点3自由度(X, Y, Z方向変位)のアイソパラメトリック立体要素、鉄筋を1節点3自由度(X, Y方向変位, Z軸回り回転角)を有する梁要素で表し、この異自由度を有する両要素を図-1に示すような体積のない仮想的な結合要素(X, Y, Z方向変位, Z軸回り回転角の4自由度)を用いて結合した。

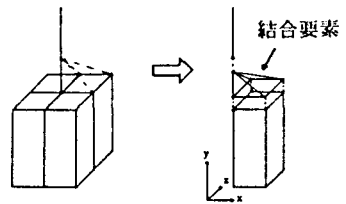


図-1 コンクリートと鉄筋要素の結合

この両要素について、変位差が零になる条件をラグランジュの未定乗数法を用いて表すと、変分式から導かれる平衡方程式は増分形で次のようになる。

$$\begin{bmatrix} [K^{(1)}] & [0] & [\hat{R}^{(1)}] \\ & [K^{(2)}] & [\hat{R}^{(2)}] \\ \text{Sym.} & & [0] \end{bmatrix}^{(n)} \begin{Bmatrix} \{\Delta q^{(1)}\} \\ \{\Delta q^{(2)}\} \\ \{\Delta \gamma\} \end{Bmatrix}^{(n+1)} = \begin{Bmatrix} \{\Delta F^{(1)}\}^{(n+1)} + F r^{(n)} \\ \{\Delta F^{(2)}\}^{(n+1)} \\ \{0\} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{ここに、} [\hat{R}^{(1)}] = - \int_{V^{(2)}} [\Psi^{(1)}]^t dS, [\hat{R}^{(2)}] = \int_{V^{(2)}} [\Psi^{(2)}]^t dS \quad (2)$$

ただし、上付きの(n)または(n+1)は、それぞれ第(n)あるいは第(n+1)段階の諸量を、上付き()内の添字1, 2はそれぞれ鉄筋要素、コンクリート要素を表し、 $[K^{(1)}]$, $[K^{(2)}]$ は、それぞれ鉄筋領域 $V^{(1)}$ 、コンクリート領域 $V^{(2)}$ の剛性マトリクス、 $[\hat{R}^{(1)}]$, $[\hat{R}^{(2)}]$ は、領域 $V^{(1)}$, $V^{(2)}$ と仮想結合要素との結合マトリクス、 $\{\Delta F^{(1)}\}$, $\{\Delta F^{(2)}\}$ は領域 $V^{(1)}$, $V^{(2)}$ にかかる外力ベクトル、 $F r$ は釣合方程式が完全に満足されないために生じる不平衡力、 $\{\Delta q^{(1)}\}$, $\{\Delta q^{(2)}\}$ は各要素の節点変位、 $\Delta \gamma$ は結合要素に関する一般化座標の列マトリクスである。

なお、 $\{\Psi^{(1)}\}$, $\{\Psi^{(2)}\}$ は結合要素と領域 $V^{(1)}$, $V^{(2)}$ を結合する体積のない仮想結合要素の補間マトリクスである。

2-2 鉄筋の構成則²⁾

今回用いた降伏関数 F は、以下のような式で示される。

$$F = m/\alpha + n - 1 + (1 - \alpha)(n - n^2)/(1 - 1/f) \quad (3)$$

$$m = M/M_o, \quad n = N/N_o, \quad f = \text{形状関数}$$

$$\text{ここに、} \alpha = 1 - (1 - 1/f) \text{EXP}(-\beta \bar{\phi}_o) \quad (4)$$

$$\beta = \text{弾塑性係数、} \bar{\phi}_o = \phi_o / (M_o/EI), \quad \phi_o = \text{塑性曲率}$$

この降伏関数Fを使って、次に示す弾塑性状態における構成則 $[D_{oo}]$ を求めることができる。

$$[D_{oo}] = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$D_{11} = EA - (EA)^2 / \lambda', \quad (\partial F / \partial N) (\partial F / \partial N)$$

$$D_{22} = EI - (EI)^2 / \lambda', \quad (\partial F / \partial M) (\partial F / \partial M)$$

$$D_{12} = D_{21} = -E^2 A I / \lambda', \quad (\partial F / \partial M) (\partial F / \partial N)$$

$$\lambda' = EA (\partial F / \partial N) (\partial F / \partial N) + EI (\partial F / \partial M) (\partial F / \partial M) - (\partial F / \partial \phi_o) (\partial F / \partial M)$$

3. 解析モデル

地震荷重を受けコンクリートが崩落した場合を考慮し、また、実験供試体とすることも考えて図-2に示すようなモデルを考えた。解析においては、2.に示した理論を用い、柱上部の軸方向変位増分 δ_N を制御して行った。

4. 数値計算例

解析の一例として、 $l=15(\text{cm})$ のモデルを挙げ、図-3にその解析結果を示しておく。

ただし、解析に用いたコンクリート及び鉄筋の特性は以下に示す通りである。

a) コンクリートの特性

弾性係数; $E_o = 200,000 (\text{kg/cm}^2)$, ポアソン比; $\nu = 0.2$

圧縮強度; $f_o' = 210 (\text{kg/cm}^2)$

b) 鉄筋の特性

直径; $16.0 (\text{mm})$, 弾性係数; $E_s = 2,100,000 (\text{kg/cm}^2)$

降伏点強度; $f_{sy} = 4,000 (\text{kg/cm}^2)$

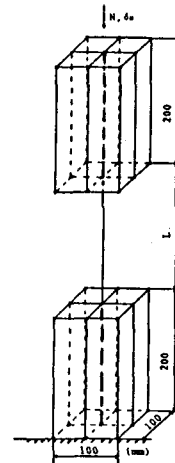


図-2 解析モデル

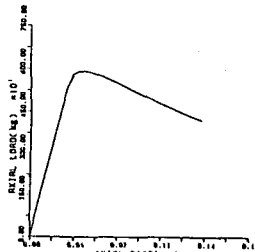
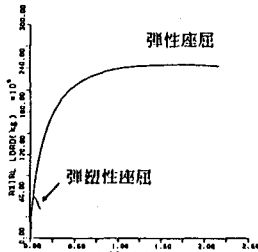


図-3 N- δ_N 曲線 (弾性及び弾塑性) 図-4 N- δ_N 曲線 (弾塑性拡大図)

5. あとがき

現在、コンクリートが崩落する前の段階として、鉄筋を拘束しているコンクリートの剛性が著しく減少した場合の計算を行っており、その値については当日発表したいと考えている。

<参考文献>

- 1) 大幢 ; 鉄筋コンクリート柱の終局破壊に関する基礎的研究, 名古屋大学卒業論文, 1988
- 2) 柴田 ; 断面力表示構成則を用いた鋼骨組構造物の弾塑性有限変位解析, 名古屋大学修士論文, 1988