

V-219 鉄筋コンクリート柱の終局耐荷力に関する基礎的研究

名古屋大学大学院 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、曲げ、せん断によるクラックの発生等により剛性低下が生じ、鉄筋とコンクリートの相互補強作用を失って耐荷力を失ったり、あるいは、さらに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みられる。これらは、動的に大きな水平変位を生じ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。そこで、上記の目的のために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、鉄筋に関しては、柴田ら²⁾の行った断面力表示構成則を用い鉄筋の弾塑性状態に対する定式化を行い、またコンクリートに対しても softening を考慮した応力度-ひずみ度曲線を用いることにより塑性化を考慮にいれ、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6自由度(X, Y, Z 方向変位, X, Y, 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, X, Y, Z 軸回り回転角の6自由度)を用いて結合した。

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次のようになる。

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

ただし、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、コンクリートの剛性マトリクス、 $[\hat{K}^{(1)}]$, $[\hat{K}^{(2)}]$ は、各要素と仮想結合要素との結合マトリクス、 $\{\Delta F^{(1)}\}$, $\{\Delta F^{(2)}\}$ は各要素にかかる外力ベクトル、 $\{\Delta q^{(1)}\}$, $\{\Delta q^{(2)}\}$ は各要素の節点変位ベクトル、 $\{\Delta \gamma\}$ は結合要素に関する一般化座標の列マトリクスである。

2-2 鉄筋の構成則²⁾

軸力 N と一軸曲げモーメント M を受ける完全弾塑性体からなる円断面の挙動を考える。この断面において、降伏関数概念図は、図-2のようになる。ここで、

$$F_1 = f \cdot m + n - 1, \quad F_2 = m + n^2 - 1 \quad (2)$$

ただし、 $m = M/M_p$, $n = N/N_y$

と表せ、 F_1 から F_2 の間をうめるべき降伏関数 F を定めると次式のようになる。

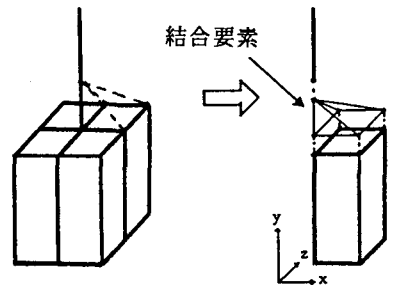


図-1 コンクリートと鉄筋要素の結合

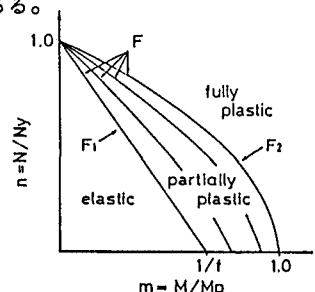


図-2 降伏関数概念図

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

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

β = 弾塑性係数、 $\phi_p = \phi_p / (M_p / EI)$ 、 ϕ_p = 塑性曲率

この降伏関数Fを用いることにより、鉄筋の構成則を評価する。

3. 解析モデル

地震荷重を受け中間部コンクリートが劣化した場合を考慮し、図-3に示すようなモデルを考えた。解析は、柱上部の軸方向変位増分 δ_N を制御して行った。ただし、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

圧縮強度； $f_c' = 300 \text{ (kg/cm}^2\text{)} (\varepsilon = 0.002 \text{ のとき})$

ポアソン比； $\nu = 0.2$

b) 鉄筋の特性

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

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

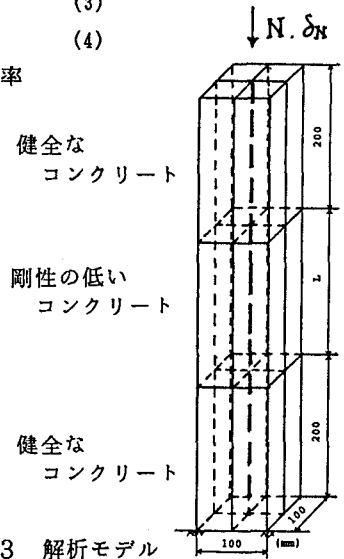


図-3 解析モデル

4. 解析結果及び考察

まず、中間部分の剛性低下の影響を調べるために、中間部分の圧縮強度を 100, 60, 30 kgf/cm と変化させた。この解析結果を示すと図-4のようになる。また、劣化する部分の長さによる影響をみるために $L = 9, 15, 21 \text{ cm}$ と変化させた。図-5にこの結果を示す。ただし、断面耐荷力(健全部) = 38.0 (ton) である。

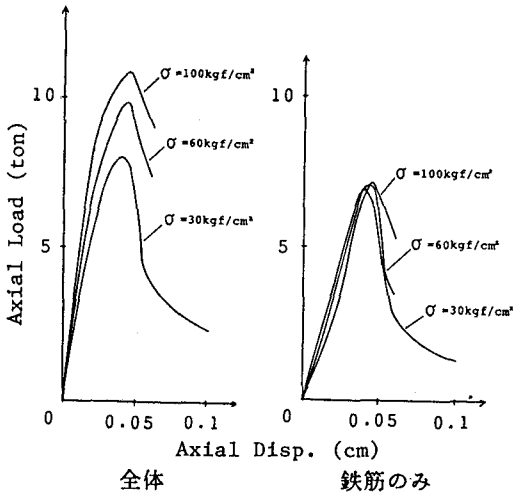


図-4 N- δ_N 曲線

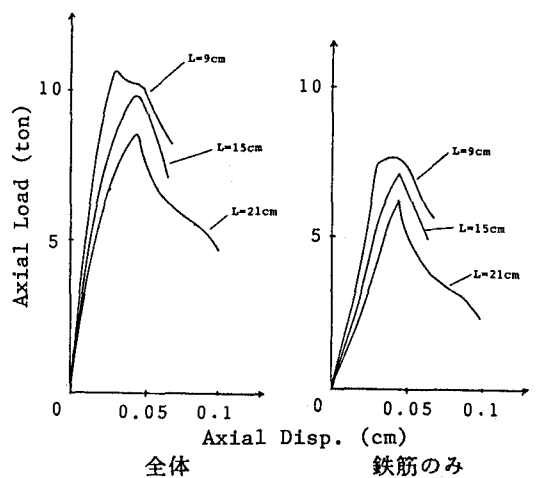


図-5 N- δ_N 曲線

これらより次のことが言える。1) 劣化したコンクリート中に埋没されている鉄筋が座屈する現象を解析的に追求する準備がととのった。2) 鉄筋コンクリート柱の軸力-軸方向変位の関係は、内部鉄筋のその関係に依存する面が多い。3) 大変形により、コンクリートの剛性が著しく低下したり劣化する部分が長区間にわたれば、健全な鉄筋コンクリート柱に対する耐荷力の減少は大きく、構造物は急激に崩落することになる。

<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，第43回年次学術講演会講演概要集 1988.
- 2) 柴田・宇佐美；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，第43回年次学術講演会講演概要集 1988.