

V-287

鉄筋コンクリート柱の終局破壊に関する基礎的研究

名古屋大学工学部 学生会員 大幡勝利
 名古屋大学工学部 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、上記の現象を説明する必要がある。この報告は、その準備のための数値解析理論の開発であって、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取り上げた。すなわち、両有限要素間の結合関係を表すために、ラグランジュの未定乗数を媒介にした体積のない仮想的な結合要素を用いて両要素を結合させ¹⁾、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理論²⁾を用いて定式化を行い、これらに基づいた有限要素解析を行った。

2. ラグランジュの未定乗数法による定式化

今回コンクリートを1接点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接点3自由度(x, y 方向変位、 z 軸回り回転角)を有する梁要素と考え、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を用いて結合した。

連続な2つの領域について、その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表される。

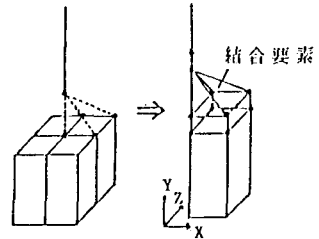


図1 コンクリートと鉄筋要素の結合

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

ここで

$$[\hat{K}^{(1)}] = - \int_s^{(12)} [\Psi^{(1)}][\Omega] dS, \quad [\hat{K}^{(2)}] = \int_s^{(12)} [\Psi^{(2)}][\Omega] dS \quad (2)$$

$$\{\Delta q^{(1)}\} = \Delta \{x, y, \theta\}^t, \quad \{\Delta q^{(2)}\} = \Delta \{x, y, z\}^t \quad (3)$$

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、 $[K^{(1)}]$ 、 $[K^{(2)}]$ はそれぞれ鉄筋の領域 $V^{(1)}$ 、コンクリートの領域 $V^{(2)}$ における剛性マトリクス、 $[\hat{K}^{(1)}]$ 、 $[\hat{K}^{(2)}]$ 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、 Δr は結合要素に関する一般化座標の列マトリクス、 $\Delta q^{(1)}$ 、 $\Delta q^{(2)}$ は各要素の接点変位である。

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り、 $[\Omega]$ はラグランジュの未定定数と $[\Delta r]$ の補間マトリクスである。また今回ラグランジュ乗数は要素内で一定と仮定し、 $[\Omega]$ は単位マトリクスとなった。

3. 解析結果及び考察

地震荷重などを受けてコンクリートが崩落した場合を考慮しかつ、実験供試体をこの形とする場合を考えて、図-2に示す単純なモデルを採用しコンクリートの崩落部分の長さ及びコンクリートと鉄筋の結合部分の剛性低下の有無が、このような柱部材の終局耐力に及ぼす影響を検討した。また鉄筋とコンクリートの結合部分の剛性低下は、鉄筋からの応力伝達によりコンクリートの拘束が減少するのが一般的と考えられ、結合部分付近のガウスの積分点の弾性係数を歪が 1.0×10^{-3} になったときから徐々に線形的に低下させ、 1.0×10^{-4} になった時に完全に拘束がなくなると仮定してその時までには零にした。なお解析は柱上部の軸方向変位増分 δN 及び水平方向変位増分 δQ を制御して行った。しかし以下の結果は、鉄筋は大きな歪領域でも弾性体とした場合であることに注意して頂きたい。

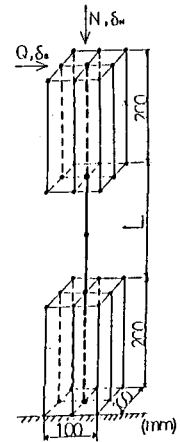


図2 解析モデル

図-3はコンクリート崩落部分を変えたときの軸力-軸方向変位曲線で、図中に示した短柱としての終局耐力と比較すると、弾性体としての鉄筋は $L=10(\text{cm})$ の時はそれ以上の耐力となり、 $L=15(\text{cm})$ 、 $20(\text{cm})$ の時はそれぞれ終局耐力の74(%)、40(%)となった。これよりコンクリートが長い区間において崩落した場合鉄筋が降伏点を持たない場合であってもただちに柱は崩壊することになる。図-4は鉄筋の露出部分の長さを15(cm)として水平方向荷重を軸方向荷重の1/100, 1/200, 0と変化させた時の解析結果である。それによると、さきに示したように結合部分の剛性を低下させた場合、耐力は更に2~5(%)程度低下している。ここでコンクリートと鉄筋の結合付近のみの剛性低下を考えた結果が終局耐力に及ぼす影響は5(%)未満と小さかったが、実際もっと広範囲にわたって破壊が進行したと仮定すればその影響はもっと大きくなると考えられる。以上の結果は予備的な検討結果であり今後鉄筋の塑性化を考慮しかつ、横方向鉄筋のある場合を考えて解析を進めたいと考えている。

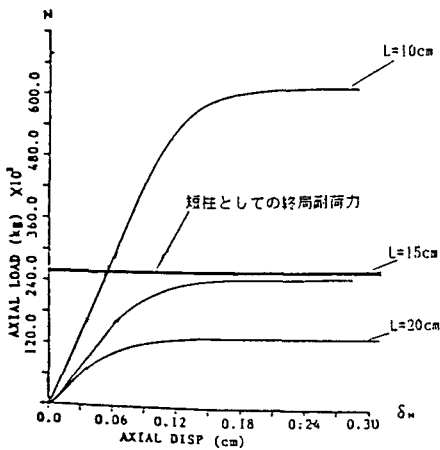


図3 N- δ_N 曲線

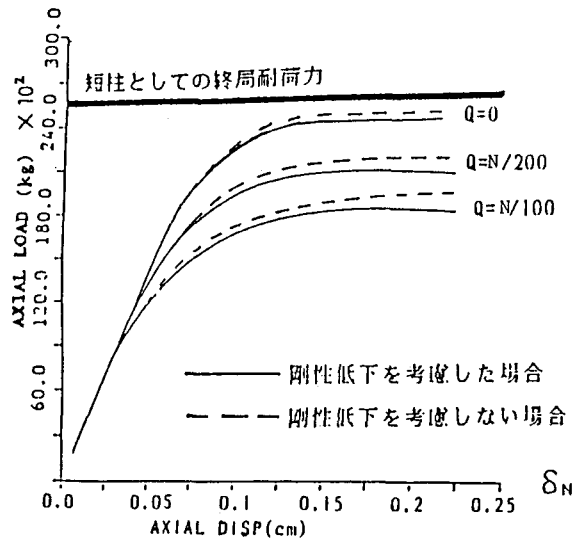


図4 結合部分の剛性低下時のN- δ_N 曲線

4. 参考文献

- (1) 矢川元基他、ラグランジュ乗数法を用いた効率的な弾塑性構造解析用プログラム"EPAS"の開発と応用、日本機械学会講演論文集、1979
- (2) 中村 光、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、1987