

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 畑中 重光

名古屋大学 工学部 正 会員 田辺 忠顕

1. はじめに

地震荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の終局耐荷挙動を明らかにするためには、曲げ及びせん断力の作用下での鉄筋コンクリート柱の終局耐荷力を明らかにすることが、まず第一歩と考えられる。この場合に、P-Δ効果（大変形による軸力の二次モーメント効果）、コンクリートが劣化した後の鉄筋の座屈などが考慮される必要がある。滝本ら¹⁾は、曲げ変形のみを考慮して幾何学的非線形性を取り扱ったが、本研究では、有限変形問題の定式化の中にせん断変形も考慮して有限要素解析を行った。最終的には、柱の座屈実験も考えているが、ここでは有限要素法の定式化についてのみ述べることにする。

2. せん断剛性をも考慮に入れた増分理論

はり要素における、有限変形問題の仮想仕事方程式は次式となる。

$$\iiint \{ \sigma_x \delta (V_p' - yV_b'') + \tau_{xy} \delta V_s' \} dx dy dz + \iiint \sigma_x^{(0)} \delta (V_b'^2 + V_s'^2) dx dy dz \\ + \iiint \sigma_x \delta (V_b'^0 V_b' + V_s'^0 V_s') dx dy dz - \iint (f_x \delta U_x + f_y \delta U_y + f_z \delta U_z) ds = \delta W_r \quad (1)$$

$$\delta W_r = \iint (f_x^{(0)} \delta U_x + f_y^{(0)} \delta U_y + f_z^{(0)} \delta U_z) ds \\ - \iiint \{ \sigma_x^{(0)} \delta (V_p' - yV_b'') + \tau_{xy}^{(0)} \delta V_s' \} dx dy dz \\ - \iiint \sigma_x^{(0)} \delta (V_b'^0 V_b' + V_s'^0 V_s') dx dy dz \quad (2)$$

ここで、

$$V_p = (1-x/L)(u_1, u_2) \quad (3)$$

$$V_s = (0, 0, 2k, 6kx)(A, B, C, D) \quad (4)$$

$$V_b = (1, x, x-2k, -6kx+x)(A, B, C, D) \quad (5)$$

$$\begin{Bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -3/L & -2/L & 3/L & -1/L \\ 2/L & 1/L & -2/L & 1/L \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} V_1 \\ \theta_1 \\ V_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

$$k = EI/GA \quad (7)$$

V_b : 曲げによるたわみ変形増分

V_s : せん断によるたわみ変形増分

V_p : 軸力による軸方向変形増分

変位は次式のような三次式で仮定する。

$$Y = A + B X + C X^2 + D X^3 \quad (8)$$

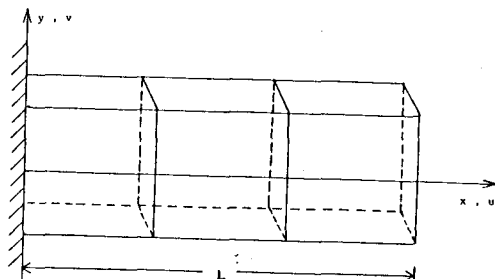


図.1 解析モデル

上つきの (o) は前段階までの諸量を表わす。

以上より、式 (1) (2) は、次式の様に最終的に定式化ができる。

$$(K + K_0 + K_g) \Delta U = \Delta F + F^{(0)} - (K + K_0) U^{(0)} \quad (9)$$

K は式 (2) の第二項から K_0 は式 (2) の第三項から

K_g は式 (1) の第二項から導かれる。

$F^{(0)}$: 前段階までの荷重

$U^{(0)}$: 前段階までの変位

K_g : 初期応力マトリクス

K_0 : 初期ひずみマトリクス

曲げ、せん断を考慮した剛性マトリクスは $[K] = T^T K^* T$ となり、 K^* は断面の剛性を一定とすると、以下のように導かれる。ここで、 T は部材がたわむことによって必要となる部材の座標変換マトリクスである。断面の剛性が x, y のそれぞれの方向で変化する場合には、そのたびごとに数値積分を行う必要が出てくる。

$$\frac{EI(1+T)}{L^3(1-T)} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 2L(2+T)/(1+T) & -6L & 2L(1+2T)/(1+T) \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L(1+2T)/(1+T) & -6L & 2L(1+2T)/(1+T) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$T = 12EI/L^2 GA \quad (11)$$

3. 解析方法

式 (2) において、 K_g と K によって幾何学的非線形性が、また EI 、 GA が各ステップ毎に変わることによって、材料非線形性が考慮されている。ここで材料非線形性のうち、ひびわれの進展については、断面の引張ひずみが引張ひずみ限界を上回った場合に、その位置にひびわれが発生するものとする。また各ステップの圧縮部コンクリートの弾性係数 E は、例えば、以下の様な Popovics 式を用いて算定する (図. 2 参照)。

$$\sigma / F_c = n(\epsilon / \epsilon_m) / (n-1 + (\epsilon / \epsilon_m)^n) \quad (12)$$

ただし、 $n = 0.057 F_c + 1$

F_c : 圧縮強度 ϵ_m : 圧縮強度時のひずみ度

解析に際しては、断面内で平面保持の仮定が成り立つとする。

また実際の数値計算においては 'arc-length' 法と増分法を組み合わせた収束計算を行なわせている。

なお、計算結果他については、当日発表する予定である。

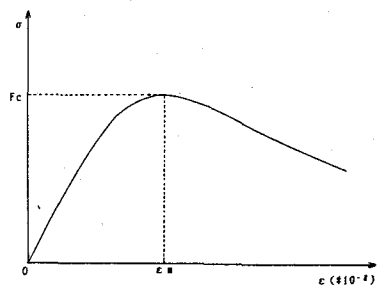


図-2 $\sigma \sim \epsilon$ 曲線

4. 参考文献

- 1) 滝本和志 RC構造物の振動終局破壊の予測方法に関する研究、名古屋大学修士論文、1985
- 2) 川井忠彦 座屈問題解析、培風館、p p 139 - p p 159