

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 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。

2. 仮想仕事の原理による有限変形理論の定式化

1) 有限変形問題を扱うために、増分理論を用いて有限要素解析を行うために柱の仮想仕事方程式を導く

1.1) せん断変形を考慮するために、軸方向及び鉛直方向の各々の変位関数として $W(x,y), V(x,y)$ を用いる。

$$W(x,y) = W - y \cdot Vb' \quad (1 \cdot a)$$

$$V(x,y) = Vb + Vs \quad (1 \cdot b)$$

W : 軸力による軸方向変形増分 Vb : 曲げによるたわみ変形増分 Vs : せん断によるたわみ変形増分

1.2) この変位関数を用いて柱の仮想仕事方程式は次のように書ける。

$$\begin{aligned} & \iiint \{ \sigma_x \cdot \delta (W' - y \cdot Vb'') + \tau_{xy} \cdot \delta Vs' \} d v \\ & + \iiint \{ \sigma_x \cdot \delta (Vb' + Vs') (Vb^{(0)} + Vs^{(0)}) / 2 \} d v \\ & + \iiint \{ \sigma_x^{(0)} \cdot \delta (Vb' + Vs')^2 / 2 \} d v \\ & + \iint (f_x \cdot \delta u_x + f_y \cdot \delta u_y) d s = \delta Q_r \end{aligned} \quad (2 \cdot a)$$

$$\begin{aligned} \delta Q_r = & \iint (f_x^{(0)} \cdot \delta u_x + f_y^{(0)} \cdot \delta u_y) d s \\ & - \iiint \{ \sigma_x^{(0)} \cdot (\delta (W' - y \cdot Vb'') + \tau_{xy}^{(0)} \cdot \delta Vs') \} d v \\ & - \iiint \{ \sigma_x^{(0)} \cdot 1/2 \cdot \delta (Vb^{(0)} + Vs^{(0)}) (Vb' + Vs') \} d v \end{aligned} \quad (2 \cdot b)$$

ここで上付きの(0)のあるものはある荷重状態における解を表し、ないものは微小な荷重増分が作用した時の各増分を表す。

2) 有限変形理論を支配する仮想仕事方程式を用いて、それと等価な剛性方程式を導く。

2.1) 曲げ及びせん断力による部材の鉛直方向の全体変形を3次式で仮定する。

$$V = A + B \cdot X + C \cdot X^2 + D \cdot X^3 \quad (3)$$

2.2) 部材の回転角は曲げによる回転角 θb とせん断力による回転角 γs の和で表す。

$$dV/dx = \theta b + \gamma s \quad (4 \cdot a)$$

$$\theta b = Vb' = B + 6 \cdot D \cdot EI/GA + 2 \cdot C \cdot X + 3 \cdot D \cdot X^2 \quad (4 \cdot b)$$

$$\gamma s = Vs' = -6 \cdot EI/GA \cdot D \quad (4 \cdot c)$$

2.3) 以上の準備のもとで(2)式をマトリクス表示することが出来る。ただし、要素両端の回転角増分は曲げによる回転角増分とする。

$$(K + Kg) u^{(n+1)} = F^{(n+1)} + \sum F^{(n)} - \sum K \cdot u^{(n)} \quad (5)$$

上付きの(n)または(n+1)はそれぞれ第(n)あるいは第(n+1)段階の諸量を表す。

ここで K : 剛性マトリクス K_g : 初期応力マトリクス³⁾ F : 節点力 u : 節点変位 EI : 曲げ剛性
 GA : せん断剛性

3. 解析方法

対象としたRC柱(図1)は長さ120(cm)断面7*7(cm)、初期の材料特性として各剛性は $EI_0=3.75 \times 10^6$ (Kg cm²), $GA_0=4.9 \times 10^6$ (Kg), $EA_0=4.9 \times 10^6$ (Kg)を与えた。有限要素解析は、これを4要素に分割し、自由端での軸方向変位増分 δN 及び水平方向変位増分 δQ を制御して行った。各増分ステップにおいてはたわみを無視せずに、部材の変形にともなう部材位置の座標変換を行い、節点に生ずる不平衡力に対する収束計算はNEWTON RAPHSON 法を用いた。

曲げ剛性、せん断剛性の理想化は、モーメントが小さい間は初期剛性を保ち徐々に剛性低下した後再び剛性がほぼ一定の区間(第二剛性区間)に入り、そのまま降伏点までその剛性を保つとする。(図2)

4. 結果及び考察

図. 3は、曲げ剛性を圧縮側ひずみが 0.002 を越えたら徐々に低下させ第二剛性を初期剛性の 1/10 にする時、せん断力をかけ一定のせん断剛性 ∞ と 1000(Kg)を与えたときの荷重変位曲線である。上からせん断力のないもの、せん断力が 軸力の 1/200, 1/100 の時のもので、それぞれせん断力とせん断剛性による耐力への著しい影響を見ることができる。またせん断剛性の低下による耐力への影響が顕著に見られるのは EI/GA が3桁以上で、せん断剛性が小さくなるにつれ、その影響は著しくなっている。

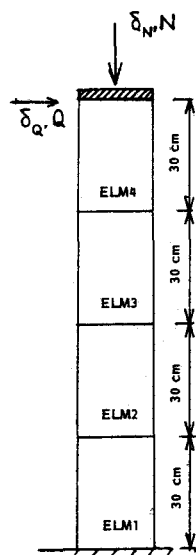


図1 モデル

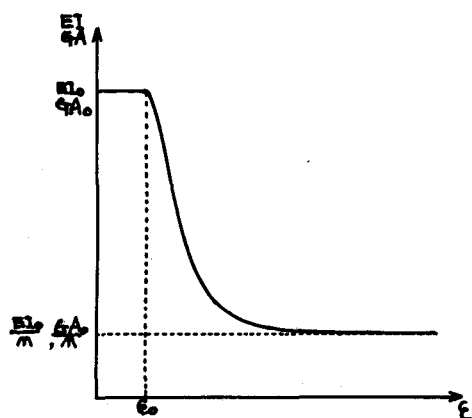


図2 曲げ剛性、せん断剛性

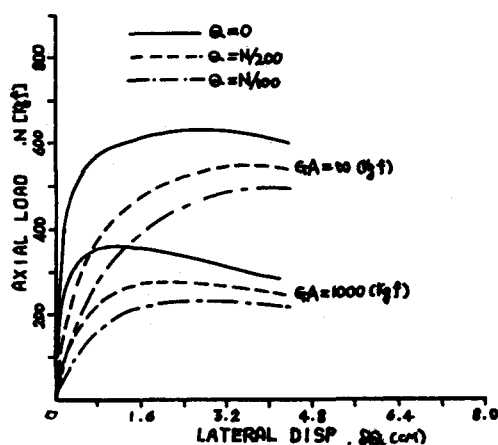


図3 せん断剛性及びせん断力の影響

5. 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、PP 139 - 159
- 3) HASEGAWA, A., IWAKUMA, T. and KURAHASHI, S. A LINEARIZED TIMOSHENKO BEAM THEORY IN FINITE DISPLACEMENTS, Proc. JSCE, 1985