

有限変位を考慮した 鉄筋コンクリート部材の終局強度解析

熊本大学 正 員 崎元 達郎 熊本大学 正 員 坂田 力
熊本大学 学生員 渡辺 浩 熊本大学 学生員 森島 伸吾

1. はじめに：RC構造物の耐震設計の基本的な考え方として、大地震の入力に対しては鉄筋降伏後の大きな塑性変形によって、エネルギー吸収を図ろうとする考え方がある。そのために、RC構造物の最終的な変形能力を求める静的正負繰返し載荷実験が、近年数多く行われるようになった。しかしながら、実験的研究は、具体的ではあるけれども、個別の一般性に乏しい欠点を有している。一方、一般性を有する解析的研究は、これまで行われたものの多くは、部材断面のモーメント-曲率関係に基づいたものであり、部材降伏後のメカニズムや軸力が作用する場合の有限変位効果などの各種要因が終局変位に及ぼす影響を明らかにする機能を有しているものは少ない¹⁾。本研究は、上記の問題点に鑑みて有限変位効果を考慮して、RC平面骨組構造物が終局状態に至るまでの挙動を解析するプログラムを開発しようとするものである。

2. 解析理論：増分移動座標法により定式化する。1節点3自由度(u, v, θ)のはり-柱要素を用いた有限要素法を用いることとし、断面分割法により材料の非線形性を、断面分割要素毎の応力を積分した断面力を要素とする初期応力マトリックスにより幾何学的非線形性を考慮する。

解析上の仮定は以下のである。a)鋼・コンクリートとも一軸(直)応力-直)ひずみ関係が、ひずみ硬化・軟化を含めてすべての履歴に対して与えられるものとする。b)部材は十分に細長いものとし、せん断ひずみ・せん断応力度の变形、降伏に及ぼす影響は無視する。c)変位は大きくても、ひずみは微小である。d)局部破壊や断面欠損は生じないものとする。e)鉄筋とコンクリートは、完全に付着しているものとして、相互のすべりは考慮しない。増分つり合い方程式は次式で与えられる²⁾。

$$(K_{ep} + K_g) \cdot \Delta U = P - (T \cdot \bar{F} - \bar{P})$$

ここに、 K_{ep} ：塑性の影響を考慮した微小変位の接線剛性マトリックス

K_g ：断面力を要素として含む初期応力マトリックス

ΔU ：節点変位増分ベクトル， P ：節点外力増分ベクトル， T ：座標変換マトリックス

$\bar{F}$ ：部材座標による全断面力ベクトル， $\bar{P}$ ：全外力ベクトル

$T \cdot \bar{F} - \bar{P}$ ：荷重又は変位の増分途中で生じる不釣り合い力

くり返し計算により、これが0になった時点がつり合い状態となる

3. 繰返し荷重を受けるコンクリートの応力-ひずみ曲線¹⁾

コンクリートの応力-ひずみ関係は図-1に示すように圧縮領域においては、ひずみが ϵ_c (圧縮強度時のひずみ)までは二次曲線とし、それ以降 ϵ_u まで直線的に応力は減少するとした。応力降下直線の勾配はスターラップ量及びコンクリートの圧縮強度によって影響され、その影響の程度の定式化については、Kent and Parkモデル³⁾により決定した。繰返し応力下の挙動は、例えばB点(ひずみが ϵ_c 以下)において除荷が行われた場合は、二次曲線ACのA点における接線勾配 $E_{c0} = 2 \cdot f'_c / \epsilon_c$ の直線に沿って応力は減少するとし、D点(ひずみが ϵ_c 以上)において除荷が行われた場合は、スケルトンカーブ上の点(ϵ_o, σ_o)

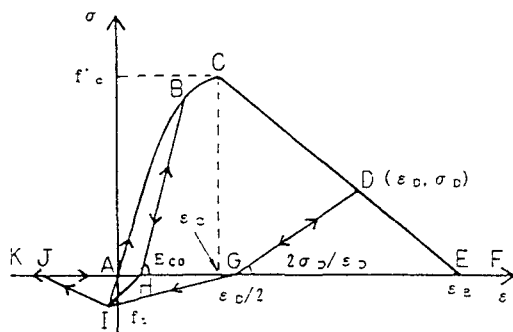


図-1 応力-ひずみ関係(コンクリート)

と横軸の ε 軸上の点 $(\varepsilon_0/2, 0)$ とを結ぶ、傾き $2 \cdot \sigma_0 / \varepsilon_0$ の直線に沿って応力は変化するとした。

引張領域においては、応力は最大引張応力 f_t (I 点) までは傾き E_{s0} で増加し最大引張応力を越えるとそれ以降、 $2,000 \mu$ の点 J までの間引張応力が直線的に低減すると仮定した。

繰り返し時に応力が圧縮側から引張側に移るときは、応力は最大引張応力点を直線的に目指し、さらに、引張側から圧縮側に移るときは、引張応力に転じたときのひずみまでは応力は零で、そのひずみに到達した後には圧縮応力を受け持つとした。

4. 繰り返し荷重を受ける鉄筋の応力-ひずみ曲線¹⁾

鉄筋の応力-ひずみ関係は図-2 に示すように、バイリニア型の弾性-ひずみ硬化モデルを採用する。つまり、単調増加荷重の場合は引張側・圧縮側ともに降伏点までは傾き E_s で応力は上昇し、降伏点を越えると初期勾配の $1/100$ の傾きで応力は上昇するとした。除荷する場合には、応力の符号が逆転しない間は降伏前と同じ傾きで進行し、逆転したときは図中に示す傾き $E_{B,i} (= -E_s \cdot \log_{10} (\varepsilon_i - \varepsilon_y) / 6) < i$ は繰り返し履歴を表している) で単調増加荷重時の降伏直線 (直線 BC, 直線 FG) に交わるまで応力は上昇し、それ以降、降伏直線上を移動すると仮定した。

5. 数値解析法

(1) 断面分割方法：骨組は、図-3 (a) のように節点間のはり-柱要素に分割し、部材要素は図-3 (b) のように層状に分割する。具体的には、図-4 (a) のような複鉄筋長方形断面を考えて、図-4 (b) のように層状に分割を行う。断面要素の図心でひずみ、応力度、接線係数を評価すると、断面剛性及び断面力は、それぞれ次式で計算される。

$$\bar{E}A = \sum E_i A_i, \quad \bar{E}I = \sum E_i y_i^2 A_i + \sum E_i I_{oi}$$

$$\bar{N} = \sum \sigma_i A_i, \quad \bar{M} = \sum \sigma_i A_i y_i$$

(2) 数値計算法：材料的・幾何学的非線形性に対する収束計算は、Newton-Raphson法に基づく変位増分法により行う。

6. 解析例：解析例については、講演当日発表する。

参考文献

- 1) 中村 他；「鉄筋コンクリート柱の終局変位に…」 土木学会論文集 第420 / V-13, 1990.8 pp.115-124
- 2) 端元 他；「薄肉開断面部材の非線形解析」 構造工学論文集 Vol.32A 1986.3 pp.255-264
- 3) Kent, D.C and Park, R. ; Flexural members with confined concrete, Proc. of ASCE, Vol. 97, No. ST7, pp.1969-1990, July 1971.

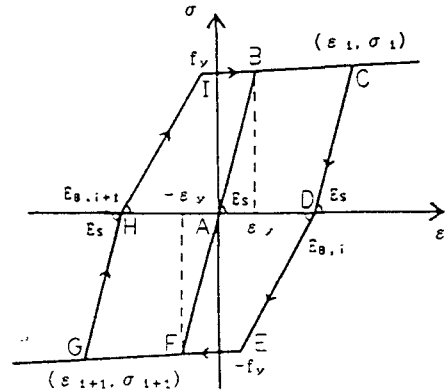


図-2 応力-ひずみ関係 (鉄筋)

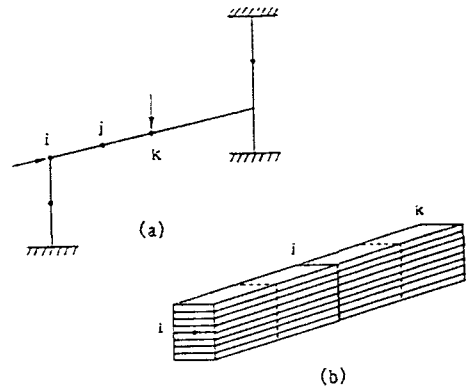


図-3 骨組と部材のモデル化

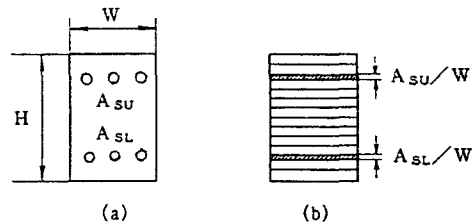


図-4 断面分割方法