

V-321

RC部材の非線形解析について

東北大学工学部	学生員	張 一泳
東北大学工学部	正会員	佐藤孝志
東北大学工学部	正会員	尾坂芳夫

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)構造をより合理的, 経済的に解析あるいは設計するためには, 部材の終局限界状態に至る力学的挙動を究明する必要がある. そのためには, RC部材の非線形挙動, すなわち, 材料の塑性的性質, 動的効果などによる剛性低下, ひびわれの発生と進展による影響, 鉄筋とコンクリートとの複合機構などを正確に把握し, それらの諸特性を考慮した材料や部材のモデル化の開発が必要である. 本報告では2次元平面応力状態を仮定できるRC部材のために作成した非線形解析プログラムの概要を紹介し, さらにその妥当性を検討するために既往のせん断実験結果との比較を行った.

2. プログラムの構成関係

(1) コンクリートの挙動は一般的に1軸応力の状態は少なく, 多軸応力下の挙動である. そこで, 直交異方性仮定を用いる. さらに変形履歴を表すために等価1軸ひずみ理論を考慮した(式b). ひび割れのないコンクリートの材料構成式として次のような直交異方性弾塑性構成モデルを用いた(式a).

$$[D] = 1/\phi \begin{bmatrix} E_1 & \mu_{12}\sqrt{E_1 E_2} & 0 \\ & E_2 & 0 \\ \text{Sym} & & 1/4 [E_1 + E_2 - 2\mu_{12}\sqrt{E_1 E_2}] \end{bmatrix} \quad \text{--- (a)} \quad \begin{matrix} \text{ここで } \phi = 1 - \mu_{12}^2 \\ \mu_{12}^2 = \nu_{12}\nu_{21} \end{matrix}$$

$d\epsilon_{iu} = d\sigma_i / E_i$ --- (b) と Saenz 式を利用, Kupfer らの強度包絡線基準とポアソン比 ν を決めて弾塑性係数 E_1, E_2 を決めることができる(図1).

(2) 鉄筋は1次元応力状態であると仮定した線材モデル(図2), および単純な Von Mises の降伏関数 $F = J_2$ に複合硬化する弾塑性材料に関する Axelsson の構成方程式を用いた面材モデルの2つの方法で定式化を行った.

(3) ひびわれたコンクリートの構成関係はひびわれの影響を平均的にとらえ, 連続体に置き換えることができる分布ひびわれモデル(Smeared Cracking Models)を用いた.

$$[D_{cr}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & \beta G \end{bmatrix} \quad \text{(c)} \quad \begin{matrix} \text{ここで } \beta \text{ は骨材のかみあいによる抵減せん断剛性係数である.} \\ (0 \leq \beta \leq 1) \quad \beta = 1: \text{ひびわれが閉じている場合.} \\ G: \text{せん断弾性係数} \quad \beta = 0: \text{ひびわれが開いている場合.} \end{matrix}$$

(4) 主軸の回転については野口の提案を用いた, また, 載荷と除荷の反復を考慮してひびわれの開閉については4つのひびわれパターンを考えた(図3). さらに, 付着は完全付着として考えた.

3. 解析手法及び解析例

今回の解析の場合, βG の評価に関してはコンクリートが劣化していく過程の見掛け上の平均値として定義し, β の値として 0.3 を採用している. 有限要素は8節点サブパラメトリック要素として組み込んでいる. 要素の剛性方程式の体積積分には積分次数 2×2 の Gauss 積分法を用いている. ひびわれ破壊, 圧縮破壊判定などは Gauss 積分点に置ける応力度によって行っている. また, 荷重制御方式による増分解析で行い, 除荷は載荷の時と逆向きの力を与えることにした. 解析例としては Bresler と Scordelis (1963) のせん断抵抗機構に関して行われた実験の結果(せん断補強されたはり)との比較を行った. 実験では最初に破壊荷重の約30%まで載荷して, いったん除荷し, 次に破壊まで載荷している. 解析でも同じ載荷方法で結果を得ている.

4. 考察

部材全体の挙動を対象にした場合、図4、図5（鉄筋が面材モデル化されている場合）のように解析結果は実験値とよく対応している。線材モデルの場合も同様な結果が出ている。主応力とひびわれ状況図は、剛性とひびわれパターンを予測することができるので、全体的挙動については解析によるほぼ予想が可能である。今後はひびわれ進展による βG の評価、付着-滑り特性の定式化などを加えて、繰り返し載荷実験の解析にも適用する予定である。

なお、本研究の有限要素解析programはOwen, Hintonの"PLAST"を参考にして作られている。

参考文献

- (1) Darwin, D. and D. A. Pecknold: Analysis of RC Shear Panels Under Cyclic Loading, ASCE, Vol. 102, ST2, pp355-369, 1976. 2 (2) Axelsson, K. and A. Samuelsson: Finite Element Analysis of Elasto-Plastic Materials Displaying Mixed Hardening, Int. J. for Numerical Methods in Eng. Vol. 14, 1979 (3) 野口, 長沼: 繰り返し荷重を受けるRC部材のせん断解析モデル, 第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, 日本コンクリート工学協会, 1983 (4) Blesler, B. and A. C. Scordelis: Shear Strength of Reinforced Concrete Beams, ACI. Vol. 60, No1, pp51-74, 1963. 1

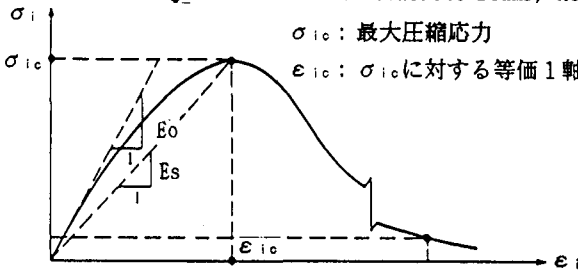


図1. 圧縮応力-等価1軸ひずみ曲線

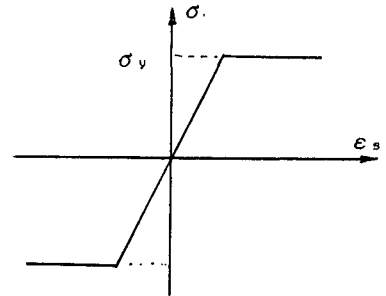


図2. 鉄筋の応力-ひずみ関係

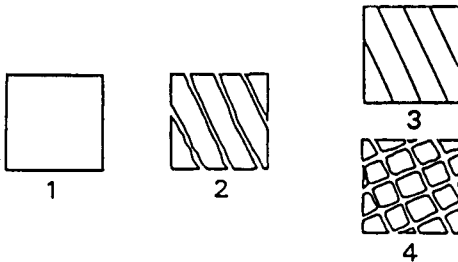


図3. ひびわれの開閉

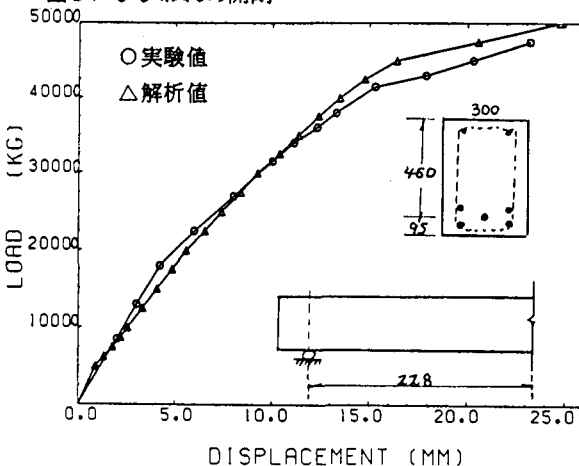


図4. 荷重-変位関係図

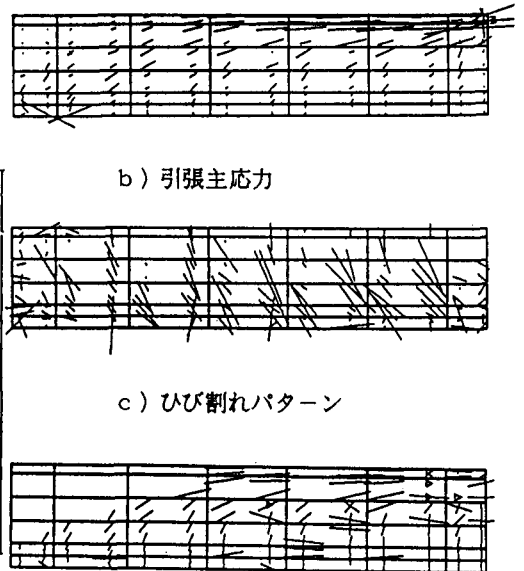


図5. 破壊レベルでの状況図