

京都大学大学院 学生員 和田 隆之

京都大学工学部 正 員 丹羽 義次

京都大学工学部 正 員 小林 昭一

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造の破壊については往來から多くの実験的研究が行なわれているが、その崩壊に至るまでのたわみや応力などの解析は鋼構造に比べてかなり遅れている。これは、鉄筋とコンクリートの成す複合系としての挙動が非常に複雑であることやコンクリート自身のもつ非線形性が原因しているからである。特に鉄筋コンクリートの特徴として、内部に広がったひびわれが構造全体のせん断抵抗や剛性を減少させ、その変形挙動に大きな影響を与えることがあげられる。これらのことを考慮したFEMによる構造解析が行なわれているが、多くの要因を組み入れるほど問題が複雑になり多大な計算時間を必要とする。本報告では、鉄筋コンクリートはりできるだけ簡単な理想モデルで表わし、ひびわれに対しては異方性要素を用いることによって、FEMでその破壊に至る過程での解析を行なった。

2. 鉄筋コンクリートの解析モデル

解析に用いたモデルは次のように仮定した。

- (1) 曲げをうける単純支持長方形断面の単鉄筋コンクリートはりを対象とし、平面応力問題として二次元で解析する。コンクリートは三角形要素で、鉄筋は棒要素でモデル化した。
- (2) ひびわれが生じていないコンクリートは等質等方弾性体であるとする。
- (3) ひびわれが形成された領域では、等質等方な三角形要素をひびわれ面に垂直な方向の引張りに対しては抵抗しない異方性特性をもつ要素に変換する。ひびわれが発生した要素の材料特性を示す応力-ひずみマトリックス $[D_{ck}]$ は主応力方向に局所座標系をとり、一般に、

$$[D_{ck}] = \begin{bmatrix} \frac{f E_Y}{1-f \nu_{YX}^2} & \frac{f \nu_{YX} E_Y}{1-f \nu_{YX}^2} & 0 \\ \text{Symmetric} & \frac{E_Y}{1-f \nu_{YX}^2} & 0 \\ & & G_{XY} \end{bmatrix} \quad \text{----- ①}$$

と表わされる。 f は弾性係数比 E_X/E_Y である。このマトリックスを全体座標系に変換して要素の $[D]$ マトリックスが得られる。

$$[D] = [T]^T [D_{ck}] [T] \quad \text{----- ②} \quad [T] \text{ は ひずみの座標変換マトリックス}$$

①式のように表示しておく要素特性について種々の考慮が可能である。要素のひびわれが開いているときには $E_X=0$ (即ち $f=0$)、 $G_{XY}=0$ 、 $\nu_{YX}=\nu$ 、 $E_Y=E$ であると仮定し、応力の再分配によって X 軸方向のひずみが負になるときは $f=1$ とし、閉じたひびわれ面でのかみ合わせの効果を考慮して $G_{XY}=\lambda G$ の値をとるものとする。ここで λ はせん断抵抗の有効率である。

(4) 鉄筋は曲げによる抵抗を無視して引張り圧縮のみに抵抗する棒要素の連結系でモデル化し、コンクリート要素と節点で結びつける。このような鉄筋のモデルはコンクリート要素の任意の位置に補強材として容易に組み込むことができる利点をもつ。

(5) まず鉄筋とコンクリートの間のすべりは無いと仮定した場合を考え、さらにジョイントエレメントを用いて、すべりを考慮した場合も試みる。

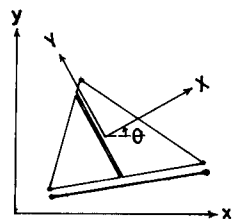


図-1. ひびわれを生じた三角形要素と棒要素

3. 解析条件および解析手法

コンクリート、鉄筋鋼材の破壊条件については、Von-Mises の降伏条件に従う完全弾塑性体であると仮定する。さらにコンクリートについては、引張りを含む範囲では主引張り応力が限界応力に達すると、それに垂直にひびわれが生じて引張りに抵抗を失い、ひびわれ面のせん断抵抗が低減するものとする。計算手法としては、まず弾性計算を行ない、主応力を計算して先に述べた条件が満足されるまで繰り返し要素を変換する繰り返し法を用いた。

4. 計算例

図-2に示した単鉄筋コンクリートはり解析した。ここではせん断抵抗の有効率 $\lambda=0$ とし、鉄筋とコンクリートのすべりを考えていない。問題の対称性を考慮して軸方向の $1/2$ のみ考え、コンクリートの弾性係数は $2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、引張り限界応力は 25 kg/cm^2 とした。

図-3は荷重-最大たわみを、図-4はスパン中央における荷重-圧縮ひずみを示したものである。鉄筋コンクリートはりの非線形な挙動をよく表現していると思われる。また、ひびわれ発生直後、設計荷重状態、限界状態のおのおのにおけるひびわれ伸展状態を図-5に示す。実際の鉄筋コンクリートはりにみられるように、まずスパン中央部に垂直ひびわれが発生成長し、せん断による斜めひびわれが発生して、ついには構造全体が不安定になる。この解析によって限界状態における内部応力分布が図-6のように得られた。この計算例から、ひびわれを考慮することで鉄筋コンクリートはりの変形挙動がかなりよく表現されることが明らかになった。

その他の計算例については現在計算実行中であり、当日発表の予定である。

参考文献

- 1) Valliappan, S. and Doolan, T.F., Nonlinear Stress Analysis of Reinforced Concrete, ASCE, Vol. 98, ST4, 1972, pp 885~898.
- 2) R. E. Goodman et al, A Model for the Mechanics of Jointed Rock, Proc. ASCE, SM3, 1968, pp 637~659

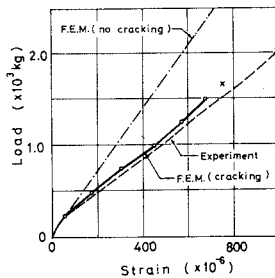


図-4 荷重-圧縮ひずみ

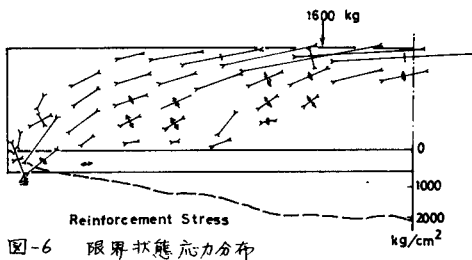


図-6 限界状態応力分布

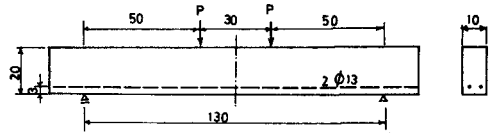


図-2 単鉄筋コンクリートはり

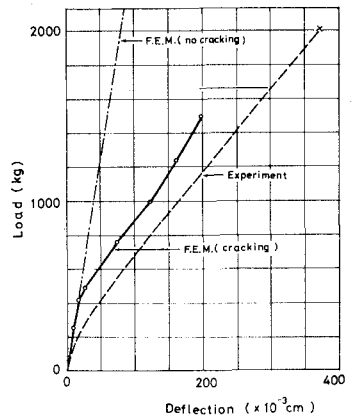


図-3 荷重-最大たわみ

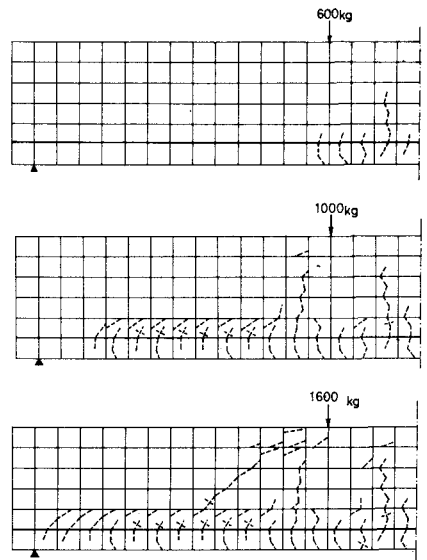


図-5 ひびわれ伸展状態