

鉄筋コンクリート梁の破壊過程のシミュレーションについて

京都大学工学部 正員 丹羽義次 同 小林昭一  
 京都大学工学部 正員 福井卓雄 学生員 和田隆之

1 まえがき

鉄筋コンクリート梁の破壊についてはすでに多くの実験的研究がなされており、終極状態や破壊の形式については多くのことが知られている。しかし、その破壊過程については、コンクリートと鉄筋の複合系としての挙動、コンクリートの不均質性、非線形性、さらに低引張り応力下で生じるひびわれ等が大きな影響を与えるものと考えられる。本研究は、曲げをうける単鉄筋コンクリート梁を簡単な理想モデルで表わし、有限要素法を用いて、その破壊にいたる過程での内部応力状態、変形挙動の数値解析を行なったものである。

2 鉄筋コンクリートのモデル化

図-1のように曲げをうける単純支持の長方形断面単鉄筋コンクリート梁の解析を平面応力問題と仮定する。ひびわれを生ずる材料の解析に有限要素法を適用するために、等質等方材料において、ひびわれが形成される領域は

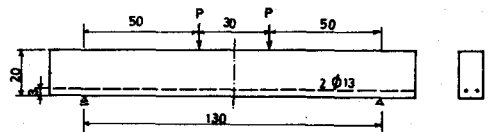


図-1 鉄筋コンクリート梁

局所的に異方性材料に変化したと考える。そこで、その領域の要素をひびわれ面に垂直な方向の引張りには抵抗しえない異方性特性をもつ要素に変換する。図-2に示すように、ひびわれに垂直な方向にX軸、平行な方向にY軸をと、局所座標系において、新しい要素の応力-ひずみマトリックス  $[D_{cr}]$  は一般に、

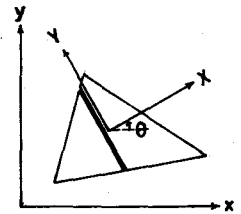


図-2 ひびわれを生じた要素

$$[D_{cr}] = \begin{bmatrix} \frac{f E_y}{1-f\nu_{yx}^2} & \frac{f\nu_{yx} E_y}{1-f\nu_{yx}^2} & 0 \\ \text{Symmetric} & \frac{E_y}{1-f\nu_{yx}^2} & 0 \\ & & G_{xy} \end{bmatrix}$$

と表わされる。f は弾性係数比  $E_x/E_y$  である。要素のひびわれが開いているときには、 $E_x=0$  ( $f=0$ )、 $G_{xy}=0$ 、 $\nu_{yx}=\nu$ 、 $E_y=E$  であると仮定する。系の内部での応力の再配分によつてX軸方向のひずみが負になるとき、このひびわれは閉じたと考えられ、 $E_x$ は最初の値Eにもどされなければならない。閉じたひびわれ面ではガミ合わせの効果をもつことを考慮して  $G_{xy}=\lambda G$  の値をとるものとする。ここで  $\lambda$  は0と1の間の値である。鉄筋は曲げに抵抗しない線要素でモデル化し、コンクリート要素と結合した。この場合、両者の間の相対すべりは考えない。

3 解析条件

コンクリートの破壊条件については、簡単のために 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、引張りに抵抗しえず、その面のせん断応力の抵抗力が低減す

るものとする。鉄筋鋼材も同様に Von-Mises の降伏条件に従う完全弾塑性体であると仮定する。

#### 4 解析結果と考察

破壊試験でせん断破壊を起こした梁と同型の数値モデルを解析した。ひびわれ発生直後、設計荷重状態、限界状態のおおのの荷重状態におけるひびわれの伸展状態を図-3に示す。まずスパン中央部に垂直ひびわれが広がり、次にせん断による斜めひびわれが発生するのがみられる。この斜めひびわれによって構造全体が不安定になる。このことから、このモデルは実際の鉄筋コンクリート梁の挙動をよく表現していると思われる。なお、その過程で鉄筋のまわりのコンクリートに次々と亀裂が生じていくのがみられるが、これはコンクリートと鉄筋の間のすべりは生じないものとしたためであろう。図-4は、ひびわれ発生前の線形状態、設計荷重状態、限界状態におけるコンクリートの内部応力分布と鉄筋の軸方向応力を示したものである。また図-5および図-6はスパン中央における荷重-たわみ曲線と荷重-圧縮ひずみ曲線を、おおのひびわれを考慮しない線形解および実験によって測定された値と比較したものである。この場合も解析による変形は実験値に比べて小さいが、鉄筋コンクリート梁の非線形な挙動はよく表現している。

#### 5 まとめ

単鉄筋コンクリート梁に曲げが作用する問題の簡単なモデルの数値解析の結果から、梁の強度と変形にはコンクリートのひびわれが重大な影響を与えることがわかれる。なお、曲げ破壊を起こす問題、その他の例については当日発表する予定である。

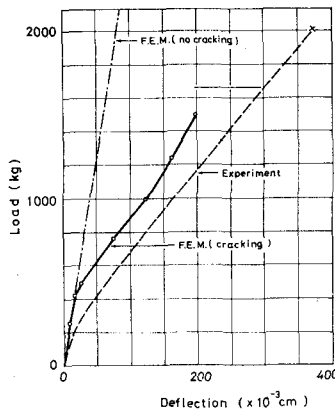


図-5 荷重-たわみ関係

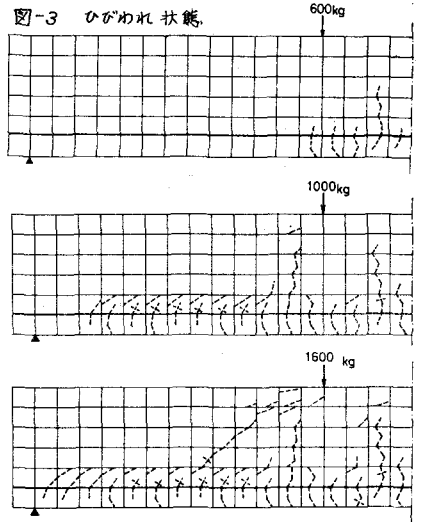


図-3 ひびわれ状態

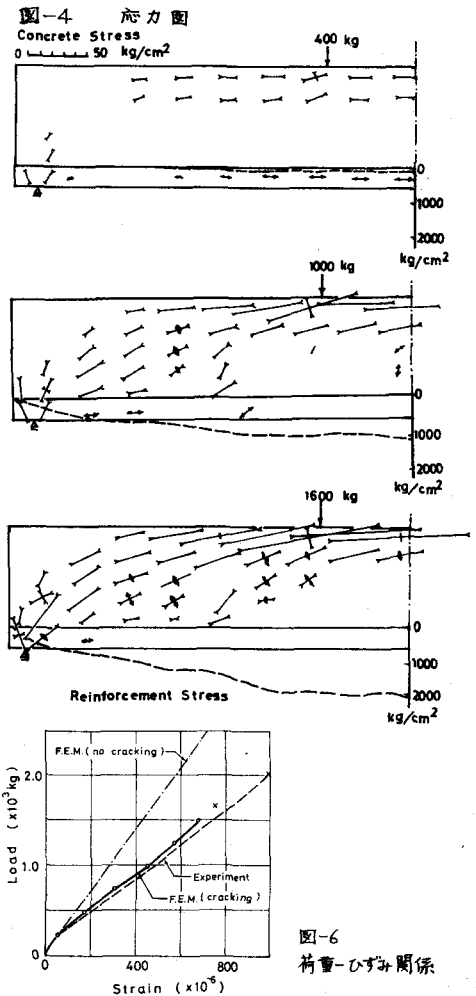


図-4 応力図

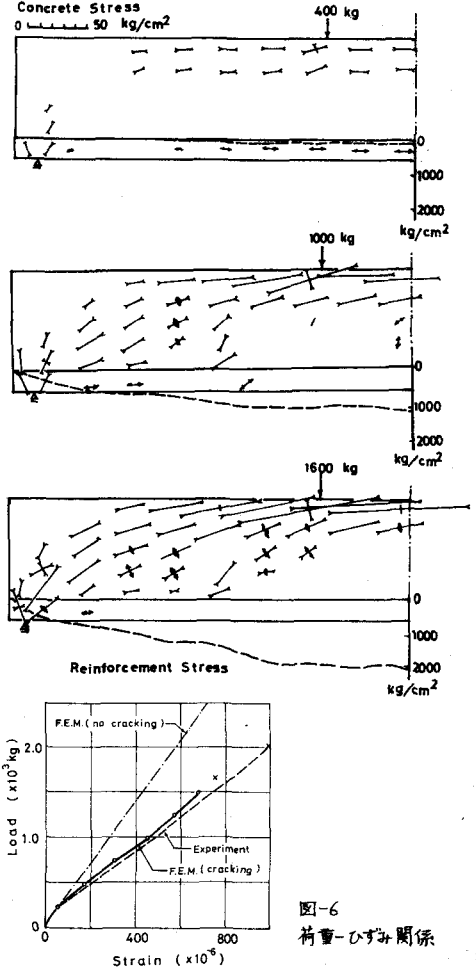


図-6 荷重-ひずみ関係