

立命館大学理工学部 学生員○高橋 弥成
立命館大学大学院理工学研究科 学生員 鶴橋 宏昌 学生員 日比野憲太
立命館大学理工学部 正会員 高木 宣章 正会員 児島 孝之

1. はじめに

RC梁の力学的挙動を把握するための解析手法の提案を目的として、ひび割れ要素を有限要素メッシュ間のコンクリートが破壊基準に達した部分に自動的に挿入し、ひび割れの進展による各要素の局所的な応力の増大、および最終的な破壊性状が解析可能なプログラムの開発を目的としている。その一環として、本研究ではせん断耐荷機構のモデル化を試みたものである。

2. 要素特性

コンクリートは2次の四辺形要素を用い、図1に示す引張縁切断型Mohr-Coulombの破壊基準を用いた。軸方向鉄筋は2次の梁要素を使用し、応力-ひずみ関係にはひずみ効果を考慮したモデルを用いた。ひび割れは2次のひび割れ要素^[1]を用い、鉄筋とコンクリート間の付着には付着要素^[2]を用いた。付着特性には、逆解析から得られる要素特性を用いた。

ひび割れ要素の構成則には、ひび割れが閉じる状態（圧縮状態）およびひび割れが開く状態（引張状態）があり、以下のように定義した。

圧縮状態：ひび割れ要素の任意の点と同座標を有するコンクリート要素の主引張 σ_1 および主圧縮 σ_2 と原点を通る直線と図1の破壊面との交点を σ_1' 、 σ_2' とする。式(1)を用いて σ_{-max} 、 τ_{max} を求め、図2に示す圧縮応力-ひび割れ幅関係の①、②式の σ_{-max} 、および図3に示すせん断応力-すべり関係の②式の τ_{max} の値を決定する。

$$\sigma_{-max} = \sigma_{1c}' + \sigma_{2c}' \quad \tau_{max} = \sqrt{-\sigma_{1c}' \sigma_{2c}'} \quad (1)$$

引張状態：図2の引張軟化曲線の④式の σ_{+max} は、ひび割れ要素の挿入によって多少のひずみエネルギーの解放を表現するため、引張強度低減係数 A_{rr} を定義して $\sigma_{+max} = A_{rr} \cdot f_t$ により算出する。また、図3の②式の τ_{max} は、図4のせん断応力-ひび割れ幅関係から算出される τ' を用いる。

3. 解析概要

コンクリートと鉄筋の材料特性を表1に示す。解析に使用した要素分割を図5に示す。対称性を考慮してはりの左側1/2を解析した。支点部のy方向、はり中央部のx方向を固定した。軸方向鉄筋は、梁中央部のx方向と回転角方向を固定した。

表1 コンクリート・鉄筋の材料特性

コンクリート (N/mm ²)		
圧縮強度	引張強度	弾性係数
27.9	2.87	2.79×10^4
軸方向鉄筋 (N/mm ²)		
降伏強度	引張強度	弾性係数
349	516	2.06×10^5

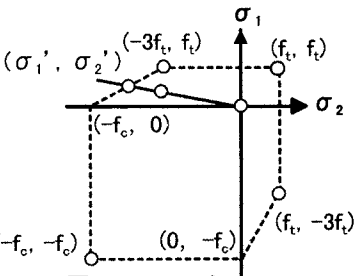


図1 モーラー・クーロンの引張縁切断型破壊

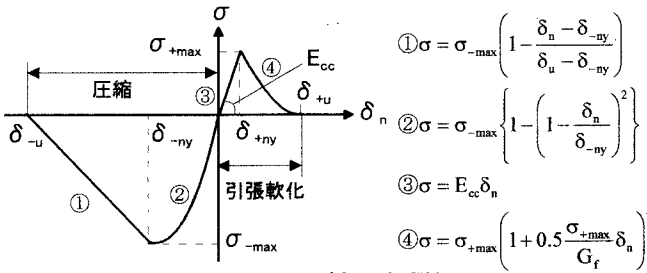


図2 引張軟化・圧縮応力-ひび割れ幅関係

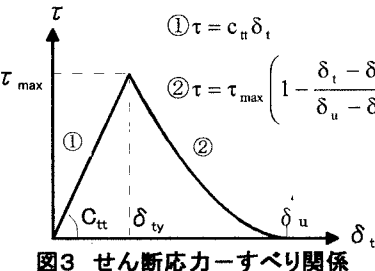


図3 せん断応力-すべり関係

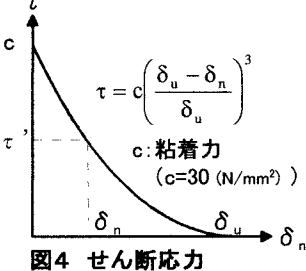


図4 せん断応力-ひび割れ幅関係

4. 結果および考察

本解析から得られた各荷重レベル a, b, c (図 6 参照)でのひび割れ進展状況、その荷重レベルでの鉄筋軸力と曲げモーメント、および支圧応力と付着応力分布を図 7 に示す。

荷重レベル a では、曲げスパン中立軸付近までひび割れが進展し、軸方向鉄筋のひび割れ発生部分では、局所的に付着応力が増加している。荷重レベル b では、①のひび割れの中央付近に左右の曲げひび割れをつなぐひび割れの発生が確認できる。①のひび割れ部では局所的な付着応力、鉄筋曲げモーメントおよび支圧応力の増大が確認できる。荷重レベル c では、①のひび割れがさらに進展して上縁に達するとともに、最大荷重に到達した。最終的に①のひび割れでせん断破壊が生じ、そのひび割れ部で、鉄筋の曲げモーメント、支圧応力、付着応力が最大となった。その後、荷重が低下し計算の収束が困難となったため解析を終了した。

本解析モデルでは、最終的に①の曲げせん断ひび割れが載荷点に達したとき最大荷重に到達した。斜めひび割れの進展は必ずしも適切であるとはいえず、最大荷重時に支点近傍に向かって発生する斜めひび割れは確認できなかった。これは、ひび割れ先端部での応力状態の乱れが適切に表現されていないことが原因であり、今後ひび割れ先端部での応力が高精度に解析できるひび割れ要素の開発が必要であると考えられる。

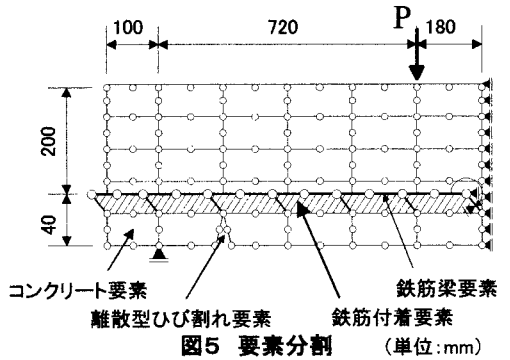


図5 要素分割 (単位:mm)

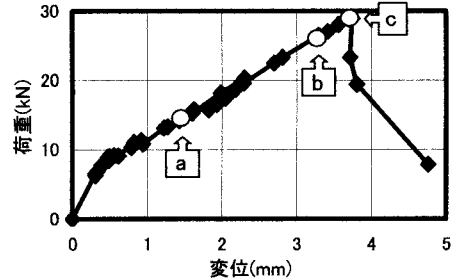


図6 経時変化の各荷重段階

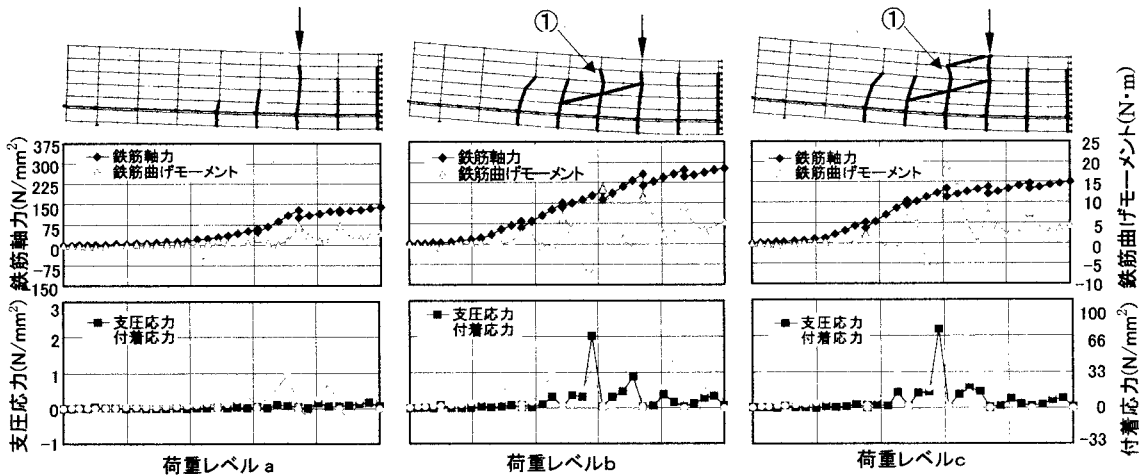


図7 各荷重段階におけるひび割れ進展状況および応力分布

5. 結論

コンクリートに発生するひび割れにアイソパラメトリックひび割れ要素を導入することにより、単鉄筋長方形断面を有するRC梁の曲げせん断ひび割れの進展および部材の破壊性状、せん断耐荷機構をある程度をモデル化することが可能となった。

【参考文献】

- [1] 児島・高木・松尾・日比野：コンクリートのひび割れを表現する離散モデルとその基本特性，土木学会論文集，No. 655/V-48, 1-12, 2000. 8
- [2] 山田崇雄，日比野憲太，高木宜章，児島孝之：有限要素法による鉄筋とコンクリート間の付着性状の表現，土木学会第 55 回年次学術講演会，V-550, 2000