

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

1. はじめに

本研究は、せん断破壊先行型のRCはりの力学的挙動を把握するために有限要素法解析を行う。RC構造部材は、ひび割れ発生以降その変形性状は線形ではなくなり、ひび割れ幅の増加によるひび割れを挟んだコンクリート間での応力伝達、鉄筋の付着特性およびすべりに大きく依存していると考えられる。そこで、コンクリートに発生するひび割れや鉄筋とコンクリート間の付着を離散型のアイソパラメトリック界面要素として表現した。解析結果を実際のRCはりの曲げせん断試験結果と比較することにより、本解析で用いた要素の妥当性および問題点についての検討を行う。

2. 解析概要

図1に解析に使用した供試体モデルを示す。その要素分割図を図2に示す。対称性を考慮してはりの左側1/2のみの解析とした。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、中央部のx方向と回転角方向を固定した。せん断スパン有効高さ比(a/d)は3水準(3.6, 3.0, 2.0)とした。要素を多分割すると部材中のひび割れの進展経路が複雑となる。本解析では部材の破壊に及ぼす主要なひび割れの表現を目的としているため、数回の解析結果から要素分割数を5×6分割とした。

3. 要素特性

コンクリートには2次の四辺形要素、軸方向鉄筋には2次のはり要素を用いた。それらの要素特性を表1に示す。ひび割れの進展およびひび割れ発生によるコンクリートの引張軟化現象を表現する2次の離散型ひび割れ要素[1]、鉄筋と周辺部コンクリートとの付着を表現する2次の付着要素[2]を使用した。また本解析では、コンクリート要素中の最大主引張応力がコンクリートの引張強度となるように載荷荷重の調整を行い、ステップごとに再メッシュ分割を行ってひび割れを1つつつ挿入するひび割れ要素増分法を用いた。付着特性にはRILEMのはり型付着試験結果を逆解析して求めた解析結果を用いた。

4. 結果および考察

図3に荷重-変位関係を示す。解析値と実験値の荷重-変位曲線の勾配は、3水準ともよく一致している。これは、曲げひび割れ発生まではコンクリートと軸方向鉄筋が完全に付着しており、はりが弾性的な挙動を示すためである。実験結果と比較すると解析結果は最大耐力に達していないことがわかる。これは、使用している再メッシュ分割プログラムでは分岐するひび割れやダウエルひび割れ等を考慮できないためであり、斜めひび割れ発生後に解析が終了してしまった。図4に a/d=3.6

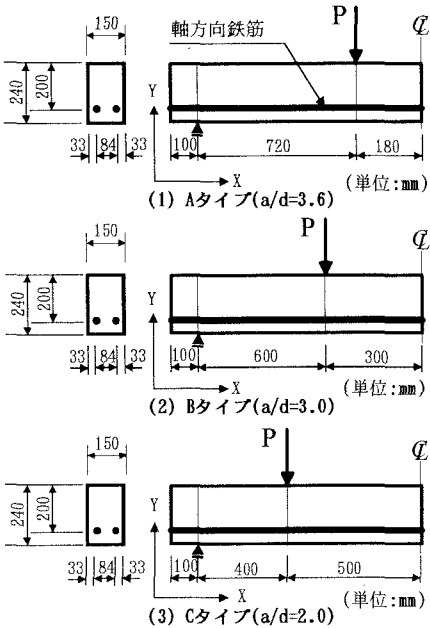


図1 供試体モデル

表1 コンクリート・鉄筋の要素特性

| コンクリート |      |                    |
|--------|------|--------------------|
| 圧縮強度   | 引張強度 | 静弾性係数              |
| 26.7   | 2.88 | $3.55 \times 10^4$ |
| 軸方向鉄筋  |      |                    |
| 降伏強度   | 引張強度 | 弾性係数               |
| 396    | 601  | $2.06 \times 10^5$ |

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

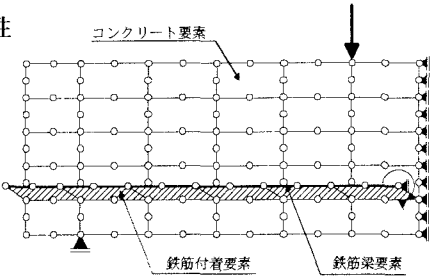


図2 要素分割図

における斜めひび割れ発生時のひび割れ状況図を示す。ひび割れ面の骨材のかみ合わせ作用を小さくすると、 $a/d$  にかかわらず曲げひび割れが卓越し、せん断ひび割れ発生前に破壊してしまう。現在のひび割れ要素は、ひび割れの垂直方向の応力と変位の関係にのみ非線形性を導入しており、ひび割れ面での骨材のかみ合わせ作用による影響は弾性値として扱っている。今後は引張軟化特性ならびに骨材のかみ合わせ作用の相関関係も考慮したひび割れ要素の要素特性の開発が必要である。

図5に解析モデル下縁のコンクリート応力、軸方向鉄筋応力、コンクリートと軸方向鉄筋間の付着応力および軸方向鉄筋支圧応力分布を示す。コンクリートの下縁応力は、支点で反力を受け持つため、支点周辺で強い圧縮応力を受けている。軸方向鉄筋応力は、曲げスパンではほぼ一定値を示し、せん断スパンでは載荷点から支点方向に向かってほぼ一定の割合で低下している。ひび割れの進展に伴いコンクリートの引張応力が低下し、軸方向鉄筋の引張応力が増加している。

軸方向鉄筋を横切るひび割れが進展すると、付着応力は増加した。ひび割れ発生点でコンクリートの節点分離され、付着応力は左右で正負に分布し、両引き試験的な分布を示した。また、支圧応力は、ひび割れが大きく進展しているところで増大している。これは、ダウエル作用により局所的に軸方向鉄筋の変位が増大したためであると考えられる。このことから、本解析手法によるせん断耐荷機構のモデル化が適切に表現されていることが確認できる。

## 5. 結論

### (1) 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はりの曲げひび割れの発生および斜めひび割れ発生までの部材の破壊性状、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。

### (2) 今後部材降伏までの解析を行う上で、再メッシュ分割プログラムの改良、そしてより適切なひび割れおよび付着要素特性の開発が必要である。

#### 【参考文献】

- [1] 児島・高木・松尾・日比野：ひび割れ要素を用いたコンクリートの曲げひび割れの進展に関する有限要素法解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.3，pp.61-66，1999
- [2] 児島・高木・日比野・山田：有限要素法によるコンクリートと鉄筋の間の付着特性のモデル化，土木学会関西支部年次学術講演概要，V-3-1，1999.5

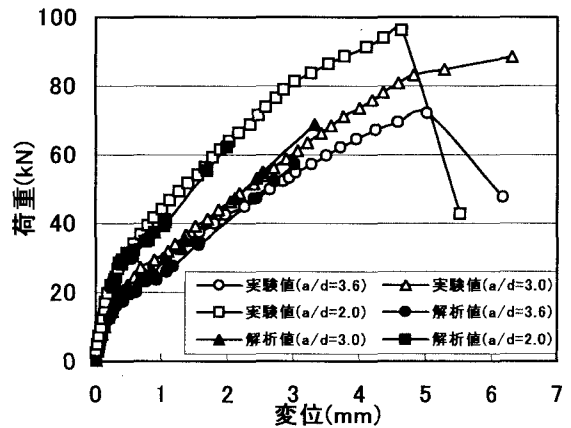


図3 荷重 - 変位関係

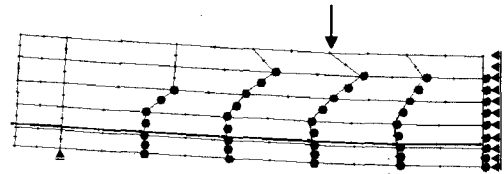


図4 ひび割れ状況図( $a/d=3.6$ )

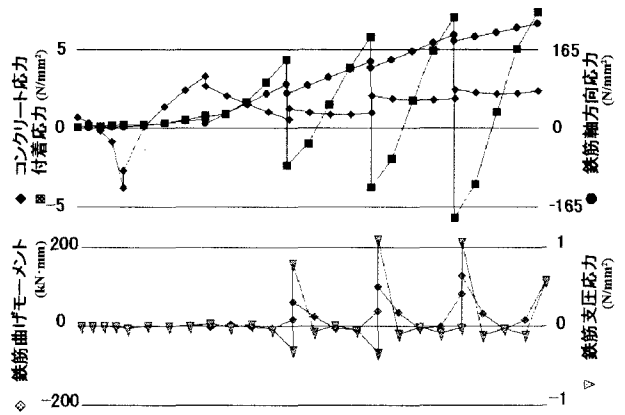


図5 コンクリート下縁部の応力、軸方向鉄筋の応力、付着応力および支圧応力の分布