

RCはりの斜め引張破壊機構における混合モード破壊

清水建設技術研究所 正会員 長谷川 俊昭

1. はじめに

斜め引張破壊する鉄筋コンクリートはりの内部には複雑で多様な混合モード破壊が生じる。これらを合理的に把握評価することは斜め引張破壊機構の解明と合理的なせん断設計につながると考えられる。本研究では、著者のRCはりの解析結果¹⁾から斜めひび割れ経路上の有限要素の応答を抽出して検討し、混合モード破壊過程ならびに斜め引張破壊機構について議論する。

2. 有限要素の応答と混合モード破壊

cross-diagonal meshを用いた解析ケースA01¹⁾およびDelaunay三角分割法によるメッシュを用いた解析ケースD04²⁾の斜めひび割れ経路から図-1, 2に示した有限要素を選定し、それらの応力-ひずみ応答(図-3~15)ならびに応力とひずみの主軸角度 θ_σ , θ_ε (図-16~20)を検討した。両解析ケースにおいて $\sigma_1 - \varepsilon_1$ 関係, $\sigma_{xx} - \varepsilon_{xx}$ 関係, $\sigma_{yy} - \varepsilon_{yy}$ 関係の軟化応答として現れるモードⅠ引張破壊とともに $\tau_{xy} - \gamma_{xy}$ 関係の軟化応答として現れるモードⅡせん断破壊が生じて互いにこれらのモードが影響し合う複雑な混合モード挙動が認められた。要素cとdでは $\sigma_1 - \varepsilon_1$ 関係の軟化応答(ひび割れ発生)に随伴して載荷初期に $\tau_{xy} - \gamma_{xy}$ 関係の軟化応答が生じるが、その後のせん断ひずみ増加によるひび割れ上の摩擦とひび割れダイラタンシーの抑制ならびに応力主軸の回転によるひび割れ面での拘束応力の発生($\sigma_2 - \varepsilon_2$ 関係の硬化によって現れる)などの原因によってせん断軟化からせん断硬化に移行していることがわかる。図-19, 20では要素cおよびdが引張軟化開始直後すなわち破壊進行領域の初期段階において比較的大きな主軸回転を受けていることや応力とひずみの共軸性が保持されていることも示されている。このように混合モード破壊挙動や主軸回転の影響は破壊進行領域の初期段階から生じており、完全に開口しきったひび割れの状態から生じているものではないため、そのような影響を軽視または無視する力学モデルは注

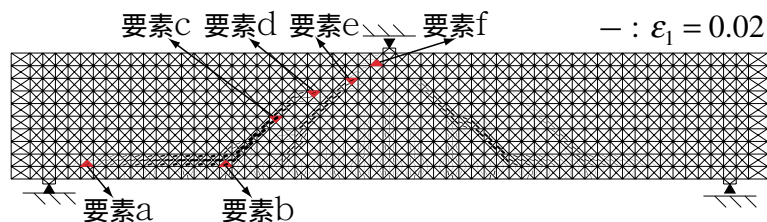


図-1 解析ケースA01のひび割れ状況と検討する有限要素

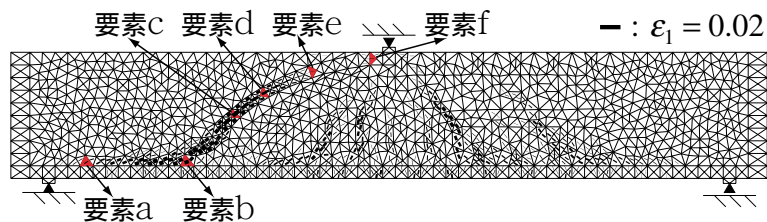


図-2 解析ケースD04のひび割れ状況と検討する有限要素

図-3 図-4~15の凡例

—	$\sigma_1 - \varepsilon_1$
- - -	$\sigma_2 - \varepsilon_2$
—	$\sigma_{xx} - \varepsilon_{xx}$
- - -	$\sigma_{yy} - \varepsilon_{yy}$
- - -	$\tau_{xy} - \gamma_{xy}$
●	最大耐力時の $\sigma_1 - \varepsilon_1$
▲	最大耐力時の $\sigma_2 - \varepsilon_2$
■	最大耐力時の $\sigma_{xx} - \varepsilon_{xx}$
◆	最大耐力時の $\sigma_{yy} - \varepsilon_{yy}$
▼	最大耐力時の $\tau_{xy} - \gamma_{xy}$

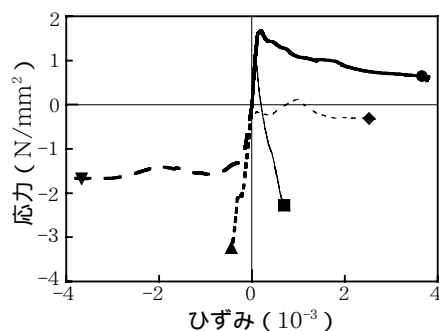


図-4 解析ケースA01の要素a

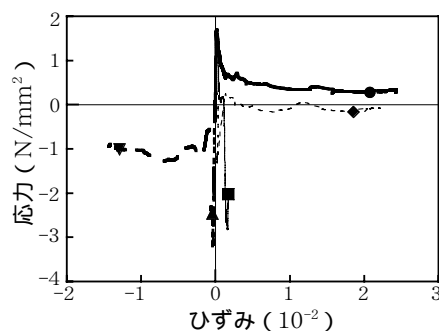


図-5 解析ケースA01の要素b

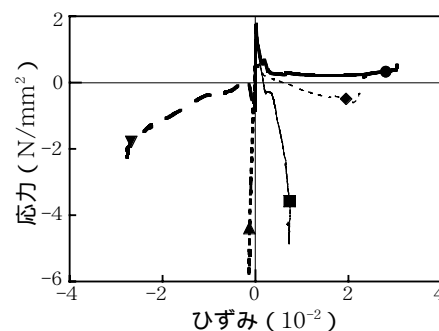


図-6 解析ケースA01の要素c

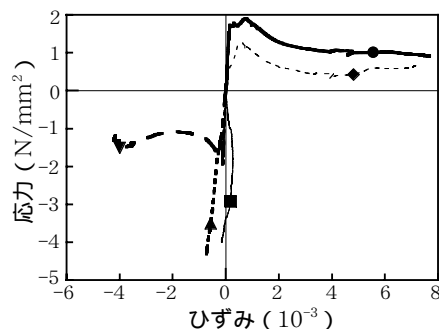


図-7 解析ケースA01の要素d

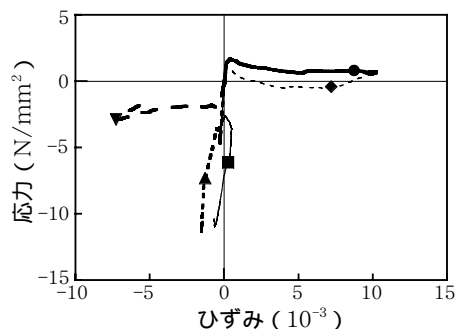


図-8 解析ケースA01の要素e

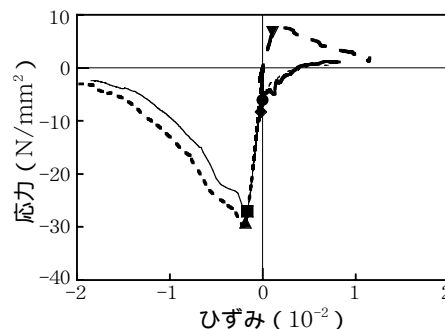


図-9 解析ケースA01の要素f

キーワード：鉄筋コンクリート，斜め引張破壊，混合モード破壊，有限要素破壊解析，多等価直列相モデル
〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-6960 FAX 03-3820-5959

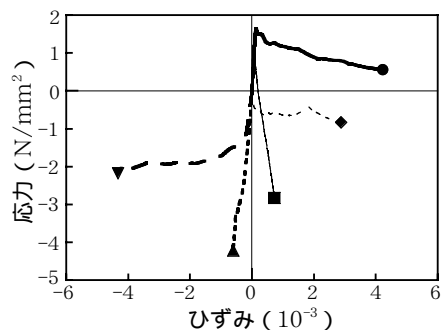


図-10 解析ケースD04の要素a

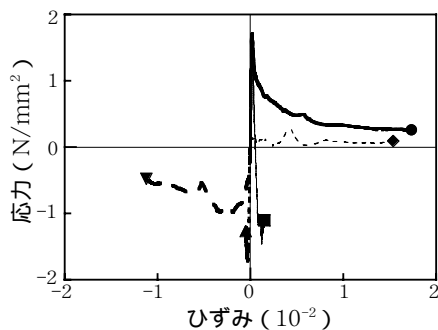


図-11 解析ケースD04の要素b

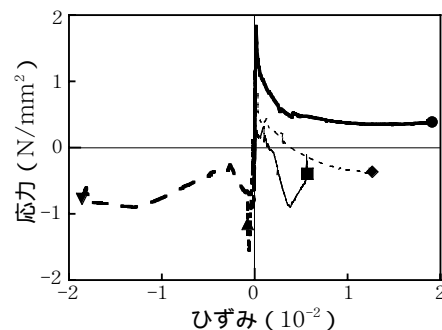


図-12 解析ケースD04の要素c

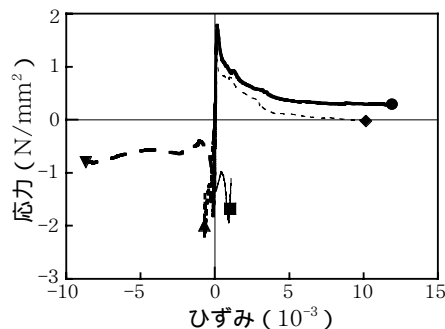


図-13 解析ケースD04の要素d

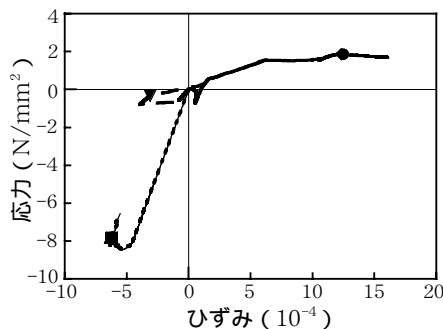


図-14 解析ケースD04の要素e

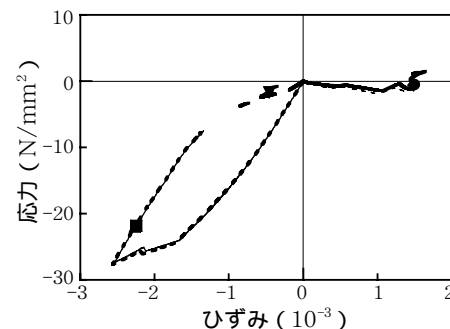


図-15 解析ケースD04の要素f

意を要する。破壊進行領域内の混合モード破壊現象や主軸回転は、完全に開口しきったひび割れに対する骨材のかみ合いモデル、共軸性に基づく回転ひび割れモデル、せん断低減係数をゼロとしたまたは簡易なせん断則を付与した多方向ひび割れモデルなどでは精度よく再現することができず、本解析で利用した多等価直列相モデルや一般化マイクロプレーンコンクリートモデルなどの数少ない精巧な構成モデルが精度よくとらえられることができるものである。一方、要素bでは引張縁の大きなCMSD（ひび割れ肩口すべり変位）および鉄筋によるdowel作用のため大きなせん断ひずみが生じているにもかかわらず引張縁の大きなCMOD（ひび割れ肩口開口変位）による引張ひび割れひずみのためせん断軟化がほぼ単調に進行し要素cやdのような再硬化は生じていない。斜め引張破壊による最大耐力をとらえることができた解析ケースA01では要素e（図-8）が要素cやdとほぼ同様な混合モード応答を示し、要素f（図-9）がせん断破壊の載荷板直下への進展を表わすせん断軟化応答を示している。しかし斜め引張破壊を再現できなかった解析ケースD04では斜めひび割れ先端の要素eが図-14のように引張軟化に達しておらず、また図-15のようにせん断軟化破壊が載荷板直下に進展していない。

3. まとめ

RCはりの斜め引張破壊解析における有限要素の応答について考察することによってRCはり内に生じる混合モード破壊の合理的かつ明快な解釈を行なった。

【参考文献】

- 1) 長谷川俊昭：RCはりの斜め引張破壊に関する数値解析的検討，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，V-141，pp.281-282，2002年。
- 2) 長谷川俊昭：RCはりの斜め引張破壊解析における有限要素メッシュ依存性，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，V-387，pp.771-772，2004年。

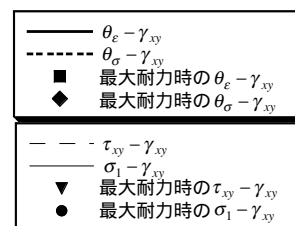


図-16 図-17～20の凡例

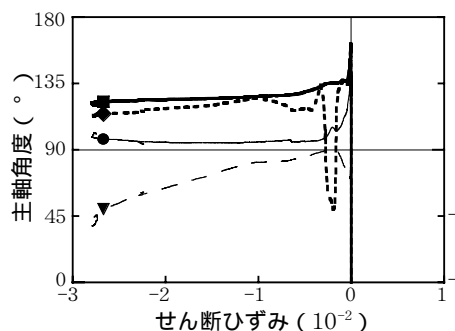


図-17 解析ケースA01の要素c

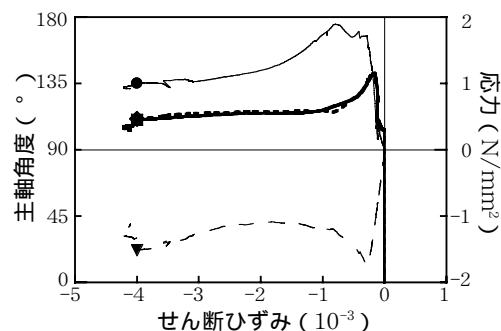


図-18 解析ケースA01の要素d

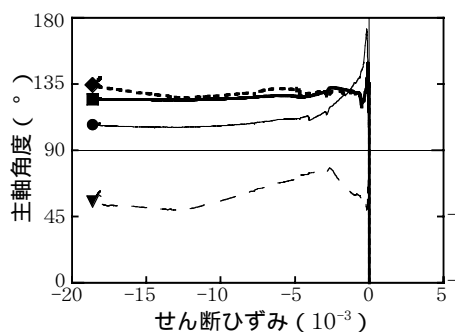


図-19 解析ケースD04の要素c

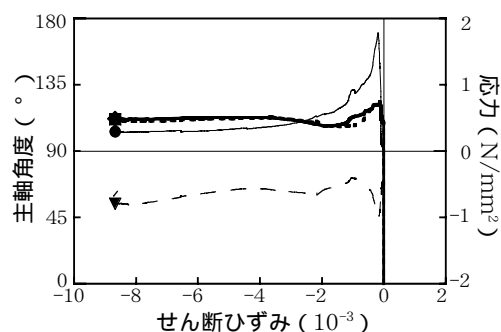


図-20 解析ケースD04の要素d