鋼繊維補強鉄筋コンクリートはりのせん断破壊に関する数値解析的研究

大成建設(株) 土木技術研究所 正会員 〇村田 哲 村田 裕志

1. はじめに

鋼繊維補強鉄筋コンクリート(以降, RSF と称す)構 造のせん断耐力は,鋼繊維混入の効果を引張軟化特性を 考慮した解析によって概ね予測することが可能となって いる.一方, RSF 構造のひび割れ性状を高い精度で予測 または再現した解析例は少ない.本研究は,せん断破壊 する RSF はりのひび割れ性状の再現を目的として比較的 要素分割の細かい非線形有限要素解析を行い,考察を加 えたものである.

2. 解析概要

鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案)¹⁾ S, (以降, RSF 柱指針と称す)の付属資料6に記載されて いる RSF はり3体のうち、最小寸法の試験体 I および最 大寸法の試験体 III を対象として、解析コード DIANA 9.6 による2次元の非線形有限要素解析を実施した. 図-1に解析対象の試 験体概要を,表-1に解析ケースを,図-2に要素分割をそれぞれ示す. 鋼繊維補強コンクリート(以降, SFRCと称す)は平面応力要素を用い, 要素の形状・節点数・寸法の異なる Case-A~E の 5 種類の要素分割と した.鉄筋は埋込鉄筋モデルを用いたトラス要素とし、Case-AS 以外で は鉄筋とコンクリートを完全付着させた. Case-AS では図-3に示す飯 塚ら²⁾のモデルを適用し、コンクリートと鉄筋の付着-すべり関係を考 慮した.ひび割れモデルは、Case-AF以外では回転ひび割れモデルを用 いた. Case-AF では固定ひび割れモデルを用い, せん断伝達モデルに Al-Mahaidhi³⁾の提案するモデルを適用した.ひび割れは1要素に1本, 45 度で発生すると仮定し、等価長さ Legは、三角形要素の斜辺の長さ、 四角形要素の対角線の長さを設定した.載荷は変位制御とし、増分は 0.01mm とした.

SFRCの構成則は、引張側に図ー4に示す RSF 柱指針の引張応力ーひ ずみ関係のモデルを用い、圧縮側には Thorenfeldt モデルに圧縮破壊エ ネルギー G_{fc} を適用したものを用いた.

3. 解析結果および考察

図-5および図-6に解析から得られた試験体 I および試験体 III の荷

重一変位曲線をそれぞれ示す.解析値と実験 値を比較すると、本解析は実験における初期 剛性を良好に再現できた.解析による最大荷 重は、試験体 I では実験値の±10%程度とな ったが、試験体 III では 10~40%程度大きい 結果となった.解析結果で比較すると、最大 荷重は、三角形要素より四角形要素が大きく



0.0

0.1

0.2

0.3

すべり mm

図-3 付着応カーすべり関係

0.5

0.4

0

5

付着応力 1



武田

均

邮柜		要素分割				鉾笛の	ていて『宇山わ
ケース		形状	節点	寸法 mm	L _{eq} mm	」 動 励 の 付 着 モ デ ル	いい高れ モデル
Case-A	А	三角	6	25	35.4	完全付着	回転
Case-B	В	三角	3	25	35.4	完全付着	回転
Case-C	С	三角	6	50	70.7	完全付着	回転
Case-D	D	四角	8	25	35.4	完全付着	回転
Case-E	Е	四角	4	25	35.4	完全付着	回転
Case-AS	А	三角	6	25	35.4	付着すべり	回転
Case-AF	А	三角	6	25	35.4	完全付着	固定





引張ひずみ*ε*

図-4 引張応力-ひずみ関係

(Case-A<Case-D, Case-B<Case-E),中間
節点のない要素が大きく(Case-A<Case-B, Case-D<Case-E),固定ひび割れモデルが大
きかった(Case-A<Case-AF).要素寸法を
2 倍としても最大荷重は同等であり (Case-A≒Case-C),鉄筋とコンクリートの付着-すべりを考慮しても同等であった(Case-A≒Case-AS).このように,一般
的な RC はりの解析と同様の傾向となった.

-595

図-7に、最大荷重に達した後 1500kN 程度まで耐力が低下した時 点の試験体 I の変形および最大主ひずみ分布を示す. 変形は 10 倍で 示した. コンクリートの最大主ひずみは 0.05~0.2mm のひび割れ幅 に換算したコンターで示した. ひび割れ幅は最大主ひずみを等価長 さ Lea で除すことによって求めた.

すべての解析ケースで、0.2mm 以上の斜めひび割れは1列の要素 に局所化して大きく開口した.要素寸法25mm で中間節点のある三 角形要素を用いた Case-A, Case-AF および Case-AS は、0.2mm 以上 の斜めひび割れが生じた要素の分布形状が上向きに凸となった.中 間節点のない Case-B は、0.2mm 以上の斜めひび割れが生じた要素の 分布形状が45度のメッシュ方向に依存した.要素寸法を2倍とした Case-C は、載荷点の内側に斜めひび割れが貫通した.四角形要素を 用いた Case-D と Case-E は、0.2mm 以上の斜めひび割れが生じた要素 の分布形状が下向きに凸となり、一般的な RC はりの解析と同様の傾 向となった.

図-8に、実験によるひび割れ図と Case-A の最大主ひずみ分布を 重ね合わせて示す. 比較的要素分割の細かい、中間節点のある三角 形要素を用いることで、実験の斜め引張ひび割れ、引張鉄筋の付着 によるひび割れを概ね再現できることが確認された. 斜めひび割れ に関しては、上向きに凸となる形状を概ね再現できた. ただし、解 析ではひび割れが分散し、ひび割れ本数が多くなった. これは、2次 元解析のために、鉄筋と SFRC の奥行方向の応力伝達を考慮できてい ないためと推察される.

4. まとめ

比較的要素分割の細かい,中間節点のある三角形要素を用いることで,RSF はりのせん断耐力およびひび割れ性状を概ね再現できることが確認された.

参考文献

- 土木学会:鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案), 1991.
- 2) 飯塚敬一ら:かぶり厚の影響を考慮した異形鉄筋の付着応力-す べり-ひずみ関係,土木学会論文集 E2, Vol.67, No.2, 280-296, 2011.
- Al-Mahaidi, R. S. H.: Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members. Tech. Rep. 79-1, Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, 1979.





図-8 実験によるひび割れ図と Case-Aの最大主ひずみ分布