

分散ひび割れ型 FEM による RC 部材の一軸引張挙動解析における各種モデル化の影響

(株)リテック

正会員 ○関下 裕太

(株)ドーコン

正会員 小林 竜太

JIP テクノサイエンス(株) 正会員 川口 和広

北武コンサルタント(株) 正会員 宮本 真一

1. はじめに

RC 部材の非線形有限要素解析では、ひび割れや鉄筋のモデル化が解析結果に大きな影響を及ぼす¹⁾。有限要素法によってひび割れや鉄筋をモデル化する場合には、それらを離散的に表現する方法と有限要素内に分布させる方法があり、その組合せとしては分散ひび割れ - 分散鉄筋、分散ひび割れ - 離散鉄筋、離散ひび割れ - 離散鉄筋の 3 つに分類される。解析によって得られる応答値は、いずれのモデル、いずれの組合せに対しても同一の解が得られる必要があるが、各モデルの特性を十分に把握した上で、適切な設定を行わなければならない、解析結果に大きな相違を生じる可能性がある。

そこで、本検討ではひび割れモデルと鉄筋モデルの組合せの違いが解析結果に及ぼす影響を把握することを目的として、分散ひび割れモデルに限定した形で、分散鉄筋とした場合および離散鉄筋とした場合における検討を実施した。

2. 解析概要および解析条件の概要

図 - 1 には解析で対象とした試験体の概要を示している。解析対象は、玉井ら²⁾が実施した一軸引張試験とした。試験体は、部材長 2,700mm、断面寸法 200mm×150mm の角柱断面で断面中心位置に異形鉄筋 D19 が 1 本配置されている。

本解析は、平面応力場を仮定した 2 次元解析とし、解析コードは分散鉄筋モデルには WCOMD を、離散鉄筋モデルには DIANA を使用した。境界条件および荷重条件は、モデル端部を拘束して、他端に水平方向の引張力を強制変位として与えた。有限要素タイプは、コンクリート要素には 8 節点アイソパラメトリック平面応力要素を、鉄筋要素には分散鉄筋モデルでは RC 要素に鉄筋比として与え、離散鉄筋モデルには 3 節点梁要素を用いた。なお、分散ひび割れモデルには多方向固定ひび割れモデルを適用し、離散鉄筋モデルには界面接合要素を用いて付着 - すべりを考慮した。

3. 分散ひび割れ - 分散鉄筋モデルに対する検討

3.1 解析モデルの概要

図 - 2 (a) に分散ひび割れ - 分散鉄筋モデルの要素分割図を示す。要素分割は部材軸方向に 10 分割とし、コンクリートの引張応力下における平均応力 - 平均ひずみ関係には岡

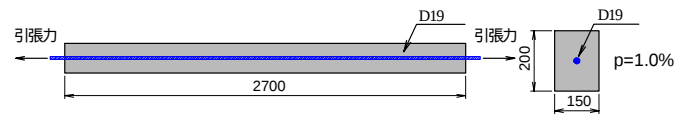


図 - 1 本解析で対象とした試験体の形状寸法

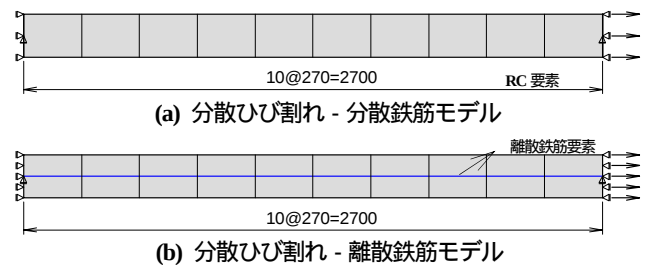


図 - 2 解析モデル (要素分割図)

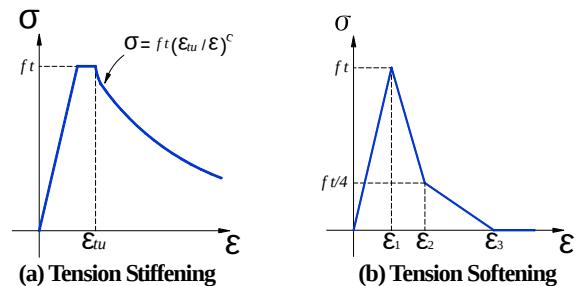


図 - 3 解析で用いたコンクリートの引張軟化特性

村ら³⁾が提案した引張軟化特性である図 - 3 (a)を採用した。ここで、付着パラメータ C は通常のコンクリートと異形鉄筋に対して与えられる 0.4 を標準値とした。なお、検討の一つとして本パラメータの影響を別途確認するものとした。一方、鉄筋の応力 - ひずみ関係はバイリニア型の鉄筋コンクリート中の鉄筋の平均応力 - 平均ひずみ関係を採用した。

3.2 解析結果および考察

図 - 4 (a) には分散ひび割れ - 分散鉄筋モデルで得られた荷重 - 変位応答を示している。図より、実験では変位 7.0mm 程度までは鉄筋とコンクリートの付着作用による Tension Stiffening 効果によって引張剛性が鉄筋単体のそれよりも大きく、その後は鉄筋単体の挙動に近づいている。一方、解析結果(図中赤線)は、実験結果と精度良く一致している。また、図中には付着パラメータ C が解析結果に及ぼす影響を確認するために、C = 0.2, 2.0 とした場合の荷重 - 変位応答を C = 0.4 とした解析結果と比較して示している。これより、付着パラメータの影響は実験結果を過大あるいは過小

キーワード：非線形有限要素法、一軸引張挙動、分散ひび割れモデル、鉄筋モデル

連絡先：〒062-0054 札幌市豊平区月寒東 4 条 9 丁目 5 番 27 号，株式会社リテック，TEL：011-851-0100

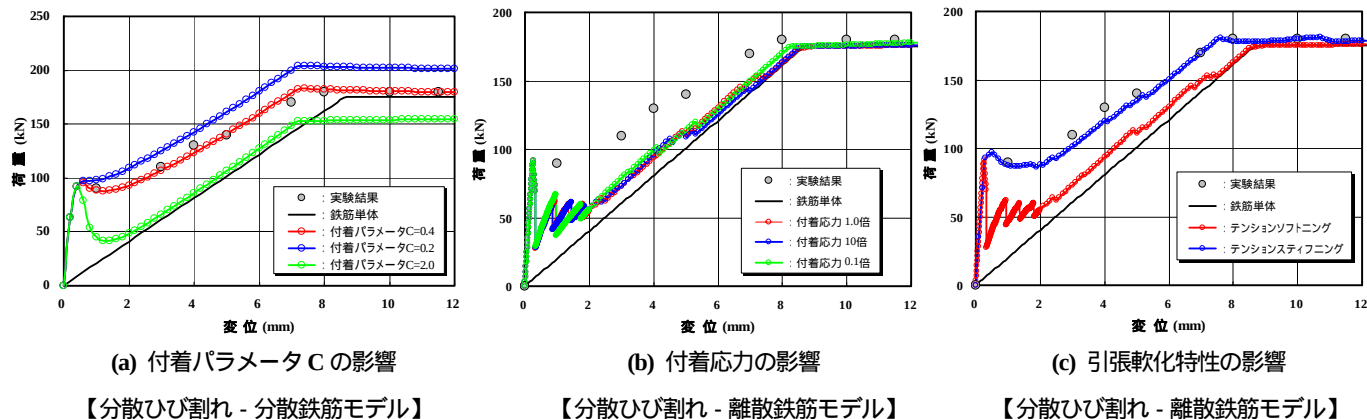


図 - 4 各検討ケースにおける荷重 - 変位応答の比較

に評価しており、解析結果に大きく影響していることがわかる。なお、部材軸方向の要素寸法の影響についても別途検討を行ったが、本解析では要素寸法に関わらずしく、解の唯一性が保証されていることが確認された。

4. 分散ひび割れ - 離散鉄筋モデルに対する検討

4.1 解析モデルの概要

図 - 2 (b)に分散ひび割れ - 離散鉄筋モデルの要素分割図を示す。要素分割は部材軸方向に 10 分割とした。本検討ではコンクリートの引張応力下の構成則として図 - 3 に示す Tension Stiffening と Tension Softening のそれぞれの引張軟化特性を用いた。ここで、Tension Softening モデルとした場合には、コンクリート標準示方書⁴⁾に準拠した引張破壊エネルギーを考慮した 2 直線モデルを用い、鉄筋要素には鉄筋単体のバイリニア型の応力 - ひずみ関係を用いるとともに、鉄筋の付着 - すべりの影響を島ら⁵⁾の提案式に基づいて考慮した。一方、Tension Stiffening モデルを用いた場合には、コンクリートと鉄筋間は完全付着を仮定し、鉄筋の平均降伏強度は分散ひび割れ - 分散鉄筋モデルと同様に鉄筋単体の降伏強度よりも低下させた。

4.2 解析結果および考察

図 - 4 (b)には付着応力が解析結果に及ぼす影響を検討するために、付着モデル式の付着応力を 1.0 倍、0.1 倍、10 倍とした場合の荷重 - 変位応答を比較して示している。図より、いずれのケースにおいてもひび割れ発生後に直ちに鉄筋単体の挙動に近づき、実験結果の再現性は低いことがわかる。図 - 4 (c)には引張軟化特性が解析結果に及ぼす影響を検討するために、Tension Softening と Tension Stiffening を設定した場合の荷重 - 変位応答を比較して示している。図より、Tension Softening では実験結果の再現性は低いが、Tension Stiffening では実験結果と良く一致していることがわかる。Tension Softening を採用する場合には、別途付着モデルを考慮することで Tension Stiffening

と同等の効果が得られるものと考えられるが、コンクリート要素に分散ひび割れモデルを適用した場合には、ひび割れが局所化せず分散されることから付着モデルが有効に機能しなかったものと考えられる。これより、分散ひび割れ - 離散鉄筋モデルでは、コンクリートの引張軟化特性に Tension Softening を適用した場合には実験結果を精度良く再現することはできず、Tension Stiffening を用いた方が精度の良い解を与えることが明らかとなった。

5. 結 論

本検討で得られた知見を要約すると、以下の通りである。

- 1) 分散ひび割れ - 分散鉄筋モデルを採用する場合には、コンクリートの引張軟化特性に Tension Stiffening モデルを用い、付着パラメータおよび鉄筋の平均降伏強度を適切に設定することで、実験結果を精度良く再現することが可能である。
- 2) 分散ひび割れ - 離散鉄筋モデルを採用する場合には、コンクリートの引張軟化特性に Tension Softening モデルではなく、Tension Stiffening モデルを用いた方が実験結果を精度良く再現することが可能である。

本検討は、北海道土木技術会コンクリート研究委員会の「材料劣化を考慮した構造性能評価に関する研究会」での活動成果の一部である。関係委員からは多くの貴重なご意見を頂戴しました。ここに記して謝意を表します。参考文献

- 1) 田所他：ひび割れおよび鉄筋のモデル化が RC 部材の引張挙動に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol.48A，pp.1239-1248，2002。
- 2) 玉井他：一軸引張部材における鉄筋の降伏以後の平均応力 - 平均ひずみ関係，土木学会論文集，No.378，pp.239-247，1987。
- 3) 岡村他：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1990。
- 4) 2007 年制定：コンクリート標準示方書【設計編】，土木学会，2008.3。
- 5) 島他：マッシュパなコンクリートに埋め込まれ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，No.378，pp.165-174，1987。