

解析プログラム (Abaqus・Diana・Engineer's Studio) における 鉄筋コンクリートの材料非線形特性の比較

大成建設株式会社 正会員 ○中野 正貴
正会員 辻田 智宏

1. はじめに

鉄筋コンクリート (以下, RC と称す) は, レベル 2 地震のような大きな外力を受けることによりひび割れが発生し, 顕著な非線形特性を示す. 従来, RC 構造物の解析は線形解析が主流であったが, コンピュータの発展により解析プログラムの高機能化が進み, RC の材料非線形解析を実行することが可能となった.

RC の材料非線形解析を適用することが出来る解析プログラムとして, ¹⁾Abaqus や ²⁾Diana, ³⁾Engineer's Studio があげられる (以下, FEM-A,B,C と称す). それぞれの解析プログラムにより, 材料非線形特性の設定方法は異なるが, その設定によりどの程度 RC の挙動に違いが出るのかを検証した記録は少ないと考えられる. 本稿では, この 3 つの解析プログラムを用いて RC の材料非線形特性を比較した結果を報告する.

2. 解析概要

比較解析を 2 ケース行った. まず, 要素を単純せん断させたときの RC 挙動を比較した (以下, ケース①と称す). 解析モデルを図 1 に示す. 要素は 1 要素から構成される積層シェル要素である. 荷重に関しては, 0kN から 2,000kN まで面内せん断力を漸増荷重させた.

次に, 要素に曲げが発生したときの RC 挙動を比較した (以下, ケース②と称す). 解析モデルを図 2 に示す. 要素は 25 分割された積層シェル要素であり, RC 断面のモデル化は, ケース①と同一である. 荷重に関しては, シェル要素の表面に 0kN/m² から 2,000kN/m² まで均一な鉛直下向きの分布荷重を漸増荷重させた. 結果を抽出する位置は, モデル中心位置の要素とする.

材料条件はケース①②とも共通とした. コンクリートの構成側は, FEM-B, C では⁴⁾コンクリート標準

示方書に準拠した材料非線形特性 (分散ひび割れモデル) を設定した. 前川モデルにおける⁴⁾ひび割れ面でのせん断伝達モデルを図 3 に示す. FEM-A では⁵⁾ユーザーサブルーチン機能などを用いなければ FEM-B, C と同じひび割れ面でのせん断伝達挙動をモデル化出来ない. そのため, 図 4, 図 5 に示すコンクリートの圧縮, 引張挙動のみ FEM-B, C と同様の設定とした.

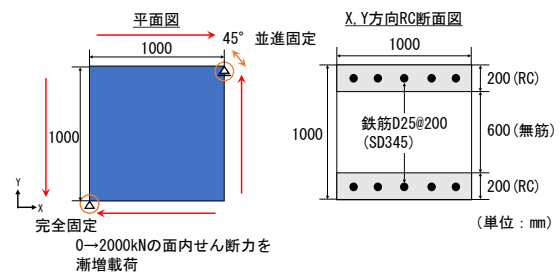


図 1 解析モデル(ケース①:単純せん断)

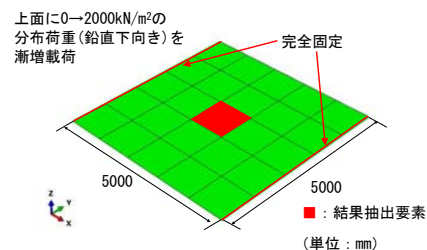


図 2 解析モデル(ケース②:曲げ)

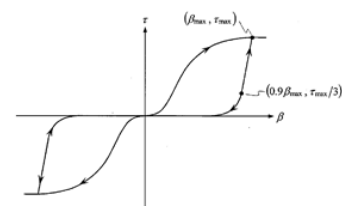


図 3 ひび割れ面でのせん断伝達挙動

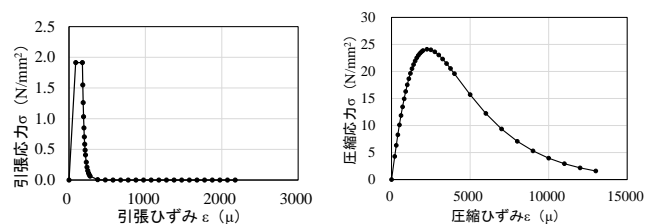


図 4 無筋コンクリート領域の構成則

キーワード 鉄筋コンクリート, 材料非線形解析, 面内せん断力, 積層シェル要素

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5420

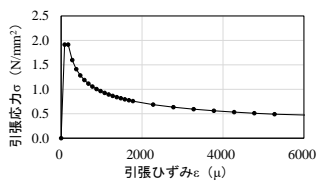


図5 RC領域の構成則(引張)

3. 解析結果

3.1 ケース①：単純せん断

ケース①の結果を以下に示す。

- RC領域の最大主応力ー最大主ひずみ関係の比較を図6に示す。FEM-B, Cでは主応力が引張強度に達した後、 0.5N/mm^2 付近まで低下した。この挙動は、図5で設定した構成則と概ね一致している。一方、FEM-Aでは主応力が引張強度近くに達した後、強度低下せずそのまま上昇した。
- 鉄筋の応力ー载荷ステップ関係の比較を図7に示す。鉄筋に応力が発生するステップは、全ての解析プログラムとも90ステップ付近であった。しかし、最終ステップにおける鉄筋の発生応力は、FEM-B, Cでは 320N/mm^2 まで上昇したが、FEM-Aでは 50N/mm^2 までしか上昇しなかった。
- FEM-B, CのRC挙動は図5で設定した構成則と概ね一致したが、FEM-Aは異なる挙動を示した。これは、図3に示すせん断ひび割れによる剛性低下をモデルに入力していないことが原因だと考えられる。
- FEM-B, Cではコンクリートにひび割れが生じた後、鉄筋に引張応力が入っておりひび割れ面での力の伝達がモデル化出来ていると確認できる。

3.2 ケース②：曲げ

ケース②の結果を以下に示す。

- 無筋コンクリート領域のX方向における応力ーひずみ関係の比較を図8に示す。FEM-A, B, Cともに応力が引張強度に達した後、急激に低下した。非線形挙動はおおよそ一致した。
- 結果から曲げが卓越する部材では、ひび割れ面におけるせん断伝達挙動の設定に依らず、FEM-AとFEM-B, Cの結果が一致することが確認できた。

4. まとめ

3つの解析プログラムを用いて、面内せん断が卓越する場合(ケース①)と曲げが卓越する場合(ケース②)におけるRC挙動の比較を実施した。ケース①では入力した材料の構成則の違いにより、FEM-Aと

FEM-B, Cの結果に差異がみられた。この結果から、面内せん断が支配的な部材に対する検討では、FEM-Aの使用に注意しなければいけないと考えられる。曲げが卓越する部材の解析においては、FEM-A, B, Cともに材料の非線形領域においても同程度の結果が得られることが確認できた。非線形解析においては、プログラム内部で複雑な計算が行われその過程を追うことが難しいため、本検討のような簡易モデルなどで要素の挙動を確認することが重要である。

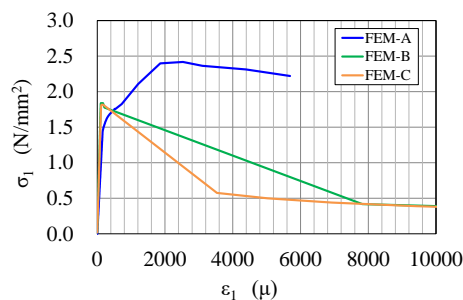


図6 RC領域の応力-ひずみ関係(ケース①)

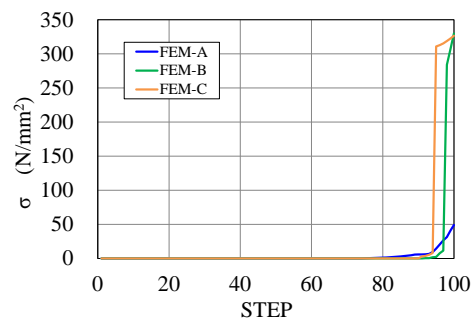


図7 鉄筋の応力-载荷ステップ関係(ケース①)

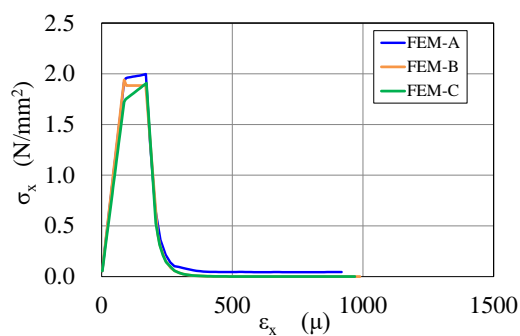


図8 無筋コンクリート領域の応力-ひずみ関係(ケース②)

参考文献

- 1) Abaqus Analysis User's ガイド : ©Dassault Systemes, 2018
- 2) Diana10.5 Documentation : ©DIANA FEA
- 3) Engineer's Studio Manual Version-10.0.6.0 : ©FORUM8
- 4) コンクリート標準示方書【設計編】: 土木学会, 2017
- 5) 福浦尚之, 前川宏一: RC多方向ひび割れモデルを組み込んだ有限要素解析による非線形挙動の比較検討, 第72回土木学会年次学術講演会, p.V-188, 2017.