

大規模鉄筋コンクリート構造物の非線形解析に用いるモデル化に関する妥当性確認

大成建設(株) 正会員 ○園部 秀明 正会員 堀田 渉 正会員 鈴木 俊一
 (株)アーク情報システム 川村 稔也
 香川大学 正会員 本山 紘希
 東京大学 正会員 堀 宗朗

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故以降、我が国の既設原子力発電所の耐震設計に用いる基準地震動の見直しが行われ、事故以前の地震動と比較し、最大加速度等が大幅に増大している。このため、従来の耐震評価手法を用いた場合、原子力施設の安全裕度が低下する。より現実的な構造物の応答を得るために、詳細モデルによる非線形地震応答解析が必要とされており、筆者らは、ソリッド要素モデルを用いた数値解析が可能な、大規模非線形有限要素法プログラムを開発している。本プログラムを用いることによって、高性能計算を利用した大規模鉄筋コンクリート構造物の非線形解析の実施が可能となった。一方で、特に実務利用にあたっては解析モデルの適切な縮約が必要である。解析の精度を保証しつつ、解析コストが膨大とまらないモデル化が望まれる。その1案として、ソリッド要素と構造要素を併用した鉄筋コンクリート部材のモデル化手法が考えられる。

このモデル化手法の妥当性および適用範囲について検討するには、実構造物や実験の計測との詳細な比較検討が必要となってくる。そこで、本報告では妥当性確認の第一歩として、損傷を含む鉄筋コンクリート構造物の復元力特性を再現できるかを、実験レベルで確認することを目的とした。対象とする実験は、ボックス形式の鉄筋コンクリート構造物の正負交番載荷実験¹⁾とし、再現解析を行い実験結果と比較した。なお、使用したプログラムには、前川ら²⁾の提案するコンクリート材料構成則を基として、山下・堀ら³⁾、本山ら⁴⁾により再構築された構成則が実装されている。

一般に、解の収束性の議論を行う場合は、複数モデルの解析により確認する必要があるが、これについては別途検討を行っており、本検討では、モデル化手法の妥当性確認を目的としているため、解析モデルは1つとした。

2. 実験概要と解析モデルの構築

実験モデルは、一辺の長さが1,575mm、高さ1,000mm、厚さが75mmの耐震壁の上に加力スラブを設置したものである。鉄筋は複配筋(D6を70mm間隔、かぶり15mm)で設置されている。実験における荷重条件は、鉛直に一定軸力となるようにしたのち、段階的に目標変位を大きくしながら、各変位について2回の交番載荷を行っている(図-1)。本検討では、せん断ひずみレベルにして2/1000程度までの比較的小さいひずみ領域を解析対象とした。

試験体の解析モデルおよび境界条件を図-2に、各部材のモデル化方法を表-1に示す。1要素の1辺の寸法は100mm~150mmとし、壁の厚さ方向には4分割とした。自由度は約10,000である。複配筋は、鉄筋群(縦筋と横筋一段)の重心位置(壁表面から22mm)に鉄筋比を表現できる厚さをもった平面応力要素を設定することで表現した(図-3)。コンクリートおよび鉄筋の入力物性値を表-2、表-3に示す。試験体の底面は完全拘束とし、図-1の載荷ステップを加力スラブの中心に強制変位として載荷させた。

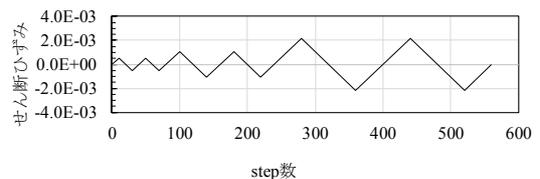


図-1 載荷ステップ

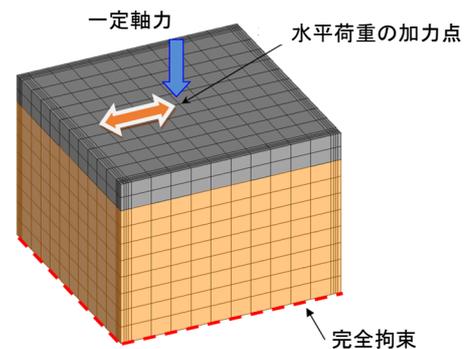


図-2 解析モデルと境界条件

キーワード 高性能計算, 非線形解析, 鉄筋コンクリート構造物
 連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株) 原子力本部 TEL03-5381-5315

表-1 部材のモデル化方法

部 材	使用要素
壁部コンクリート	非線形ソリッド要素
壁部鉄筋	平面応力要素(バイリニア)
加力スラブ(灰色箇所)	線形ソリッド要素

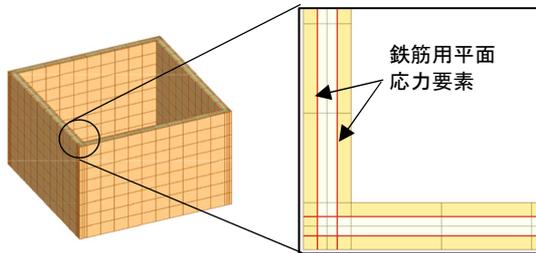


図-3 鉄筋のモデル化

表-2 入力物性値 (コンクリート)

	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度	質量密度 (ton/m ³)
ボックス壁	2.63×10 ⁴	0.21	34.9	圧縮強度の 1/30	2.34

表-3 入力物性値 (鉄筋)

	ヤング係数 (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	ポアソン比	断面積 (mm ²)	質量密度 (ton/m ³)
鉄筋(D6)	2.05×10 ⁵	383	—	31.67	7.85

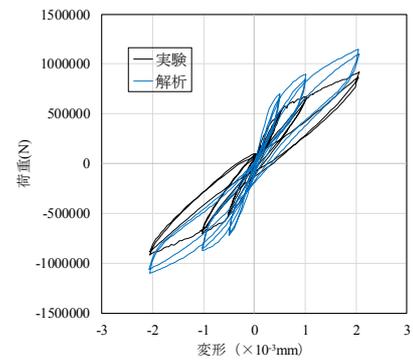


図-4 荷重-変位関係 (基本解析ケース)

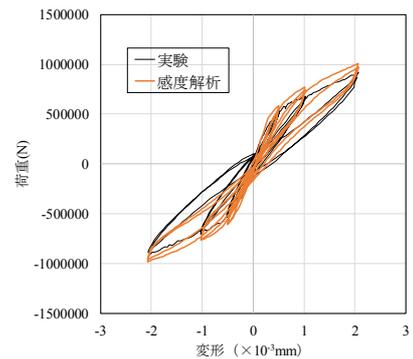


図-5 荷重-変位関係 (感度解析ケース)

3. 解析結果

図-4 に荷重-変位関係を示す (基本解析ケース). 履歴形状は原点付近ですぼまる形状であり, また, 繰返し載荷時の履歴形状が逆 S 字 (スリップ形状) である点も実験と整合する. 初期勾配を合わせるためにヤング率と圧縮強度を 8 割にして解析した感度解析結果を図-5 に示す (感度解析ケース). 入力物性値の調整により, 荷重-変位関係が変化するタイミングが実験とより整合している. 図-6 に示す初期ひび割れ分布の比較も概ね一致しているが, 解析では隅角部底面からひび割れが発生しているため, 底面部の定着を含めた境界条件の影響を詳細に検討する必要がある.

4. まとめ

RC ボックス型耐震壁の交番載荷実験の再現解析を行った結果, 本解析モデルの妥当性が概ね確認された. 今後は, 構成則とモデル化の精査をさらに行うとともに, 開発したプログラムにより, 原子力発電所の建屋の地震応答解析を実施し, 耐震安全性評価に活用することを目標とする.

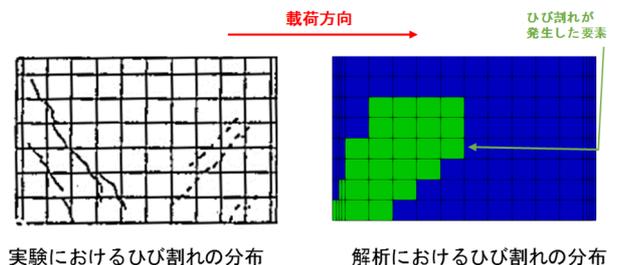


図-6 初期ひび割れ分布 (5 ステップ目)

本報告の一部は, 2017 年度経済産業省資源エネルギー庁公募研究の一部として実施したものである. ここに記して感謝の意を表する.

参考文献

- 1) 羽場崎敦, 北田義夫, 鳥田晴彦, 西川孝夫: 斜め方向入力を受ける RC ボックス型耐震壁の復元力特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 541 号, pp.129-136, 2001.
- 2) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, A.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Taylor and Francis, 2003.
- 3) 山下拓三, 堀宗朗, 小国健二, 岡澤重信, 牧剛史, 高橋良和: 大規模有限要素法解析のためのコンクリートの非線形構成則の再定式化, 土木学会論文集 A2, Vol.67, No.1, pp.145-154, 2011.
- 4) 本山紘希, 堀宗朗, 秋葉博, 田中聖三: コンクリート構成則を用いた大規模有限要素法解析のスケラビリティの観点からの実用性検証, 土木学会論文集 A2, Vol.73, No.2, pp.211-221, 2017.