

密な地盤の液状化が RC 構造物の地震応答に及ぼす影響
(その2) RC 立坑のせん断土槽振動実験シミュレーションに基づく検討

東電設計(株) 正会員 ○島端 嗣浩 横田 彩加
(一財)電力中央研究所 正会員 松尾 豊史
関西電力(株) 正会員 横田 克哉

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)製地中構造物の地震応答評価に、地盤・構造物連成系の三次元有限要素(FEM)解析を適用することで、より実挙動に近い評価が可能となり、耐震性能照査の合理化を図ることが可能である[1]。しかしながら、地盤の液状化が生じることで三次元形状の RC 構造物に与える影響について検討した事例は少ない。そこで、本検討では、解析範囲や実務での適用性向上などを目的として、既往検討において三次元解析手法の適用性が確認された振動台実験シミュレーション解析モデルを用いて、密な地盤が液状化した場合に三次元 RC 構造物に与える影響について、地盤の液状化領域をパラメータとし、全応力及び有効応力解析による検討を行った。

2. 検討概要

解析ケースを表1に示す。主な解析パラメータは液状化領域とし、全層非液状化、全層液状化、そしてモデル下層の一部が液状化するとした解析を行った。地盤の非線形特性は、まず、既往報告[2]で振動台実験シミュレーションにおいて解析手法の適用性を確認した R-O モデル（全応力）での検討を行い、その後、有効応力解析においても傾向を確認した。振動台実験概要を図1に示す。

解析コードは COM3[3]を用いた。構造物は分散びり割れ型の RC 構成則により材料非線形性を考慮し、その解析物性値は材料試験結果に基づいて設定した。地盤の解析物性値は文献[1]に基づいて設定した。地盤の非線形特性として全応力解析での検討は、液状化現象としてせん断剛性及び強度が低下した状態の挙動を確認することとし、剛性および強度を 2/3 に低減した条件とした。有効応力解析での地盤の解析物性値は、前報（その1）と同様に設定した。

解析モデルを図2に示す。RC 試験体、地盤、せん断フレームは全てソリッド要素でモデル化した。RC 試験体-地盤間とせん断土槽-地盤間には、剥離とすべりを考慮できるボンド要素を設けており、せん断土槽の各層は同図に示すように節点間を共有させず、側方地盤に付加重量として考慮されるよう作成した。

境界条件について、解析モデル底面は固定境界とし、自重解析時にはせん断フレームの節点を全拘束し、動的解析時にはその節点を水平ローラーとした。入力加速度波形を図3に示す。

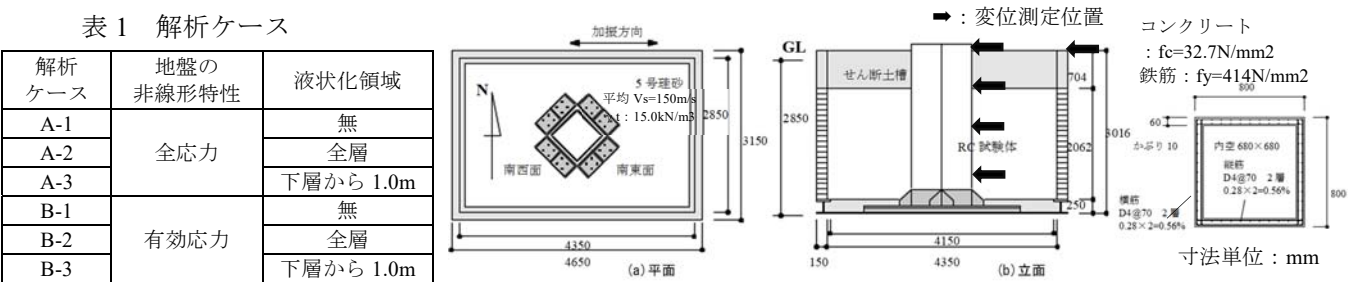


図 1 試験概要

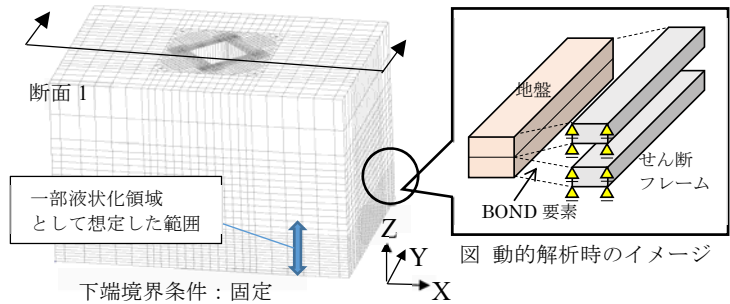


図 2 解析メッシュ

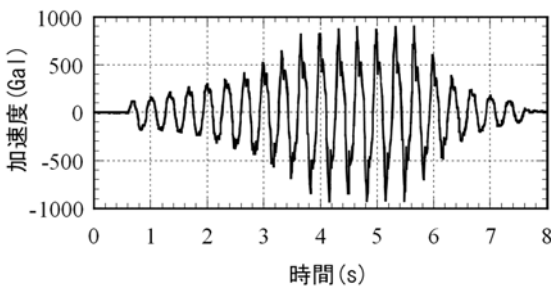


図 3 入力加速度波形

キーワード：三次元非線形解析、地盤・構造物連成解析、せん断土槽振動実験、RC 立坑、耐震性能照査
〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F TEL：03-6372-5588

3. 解析結果および考察

図3に示す断面1におけるRC試験体の水平変位最大時刻での変形図及びせん断ひずみ分布図を図4に示す。RC試験体中腹部近傍において有効応力解析の方で大きいせん断ひずみが確認できる等の違いも見受けられるが、せん断土槽全体変形としては概ね同じ挙動であった。地盤-RC試験体間及び地盤-せん断土槽間では、ボンド要素の特性として与えた剥離やすべりが確認できる。

RC試験体及びせん断土槽の地表面位置での水平変位時刻歴（Aシリーズ）を図5に示す。同図より、せん断土槽の最大水平変位は、概ね同じ値ではあるが、A-1が最も小さく、A-2、A-3の順に大きくなったことに対し、RC構造物は、A-2、A-1、A-3の順で変位が大きくなっており、液状化領域が異なることによってRC試験体の応答が異なった。図6には、全解析ケースでのRC試験体の変位分布（水平変位最大時刻）を示しており、有効応力解析においても全応力解析と同じ傾向となった。

RC試験体の損傷状況として、最大主ひずみ分布図及び鉛直方向ひずみ分布図を図7に示す。同図は、両解析手法でRC試験体の変位が最も大きい解析ケースについて示した。直土圧による箱型断面内での部材変形の影響と考えられる軸方向に伸びるひずみも生じているが、どちらの解析ケースも概ね同じ分布傾向であり、主に基部でのひずみが卓越した軸方向の曲げ変形モードであった。

4. おわりに

本解析条件において、今回対象とした密な地盤の液状化に対しては、全応力解析と有効応力解析は概ね同様の傾向を示すことが確認された。今後は、三次元条件下の有効応力解析による影響評価を行うとともに、全応力解析の適用性検討を行う予定である。

謝辞:本研究は、原子力リスク研究センター共通研究の一環で実施したものである。ここに謝意を表す次第である。

参考文献

- [1]土木学会原子力土木委員会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，2018。
- [2]松尾，島端，宮川，大友：鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の高度化，電力中央研究所報告 O19004，2019。
- [3]Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanmas, A.: *Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete*, SPON PRESS, 2003。

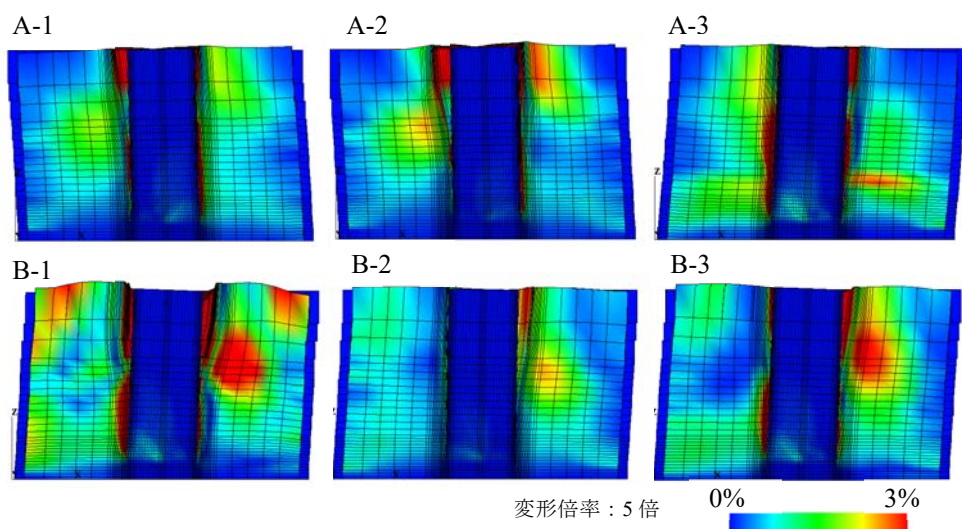


図4 変形図およびせん断ひずみ分布図

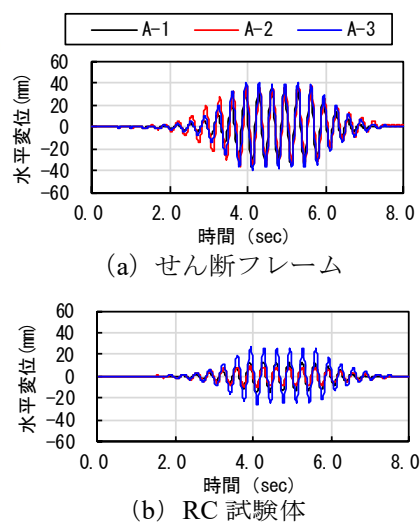


図5 地表面位置の水平変位時刻歴

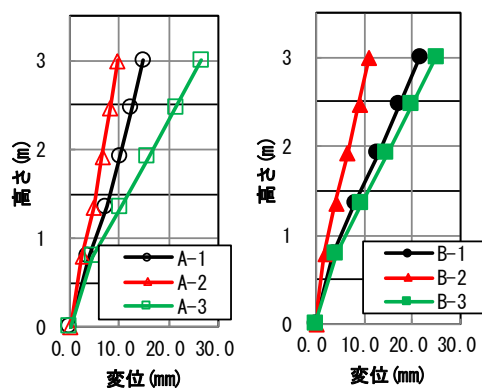


図6 RC構造物の水平変位分布

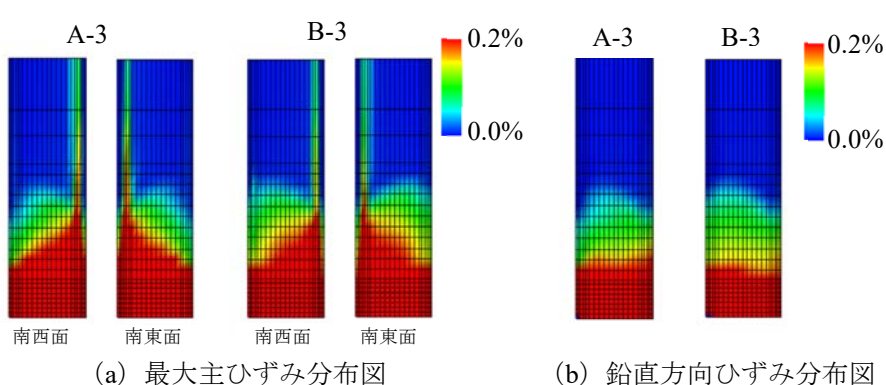


図7 RC試験体の損傷比較