

密な砂地盤中に構築された円形立坑の遠心載荷実験の3次元再現解析

横浜国立大学 正会員 ○小松怜史
(一財) 電力中央研究所 正会員 松尾豊史
東電設計(株) 正会員 渡部龍正
(株) 電力計算センター 非会員 布施貴朗

1. はじめに

鉄筋コンクリート製(RC)地中構造物の地震応答や損傷状況を高精度に評価し、耐震性能照査の合理化を図るためには、三次元有限要素法(FEM)解析が有効である。筆者らは、これまでに、密な地盤が液状化する場合に対して地盤・構造物連成系での三次元 FEM 解析手法の適用性検討を行ってきた^{1),2)}。一方で、実務適用に向けては、静的な地震力を設定した三次元 FEM 解析手法なども求められている。そこで本検討では、立坑の三次元形状の影響が出やすいと考えられる、円形立坑で行った遠心載荷実験結果³⁾の再現解析を試み、地盤の応答を分析した。

2. 実験条件

実験の詳細は別報³⁾に譲り、ここでは解析結果の考察に必要な概要のみを記す。遠心模型実験概要図を図-1に示す。遠心実験は 30G の遠心加速度によって実験を行っており、RC 円形立坑の寸法は実規模相当で断面外径が 6.9m、内径が 5.4m、壁厚 0.75m、高さ 14.4m である。弾性模型の外観を図-2に示す。質量を RC 模型と同等にし、RC 模型の半分程度の剛性（ひび割れ後の剛性と等価）とするため補強鋼板とボルトにより補強している。入力加速度波形を図-3に示す。地盤は栃木県産珪砂 5 号を相対密度約 90%と密に締め固められた条件である。実験での地層条件は、上層が不飽和層（乾燥状態）、下層が飽和層（飽和状態）である。

3. 解析条件

解析コードは COM3⁴⁾を用いた。RC 立坑の解析物性値は、実験の配筋条件及び材料試験に基づいて設定した。解析モデルを図-4に示す。RC 試験体、地盤、せん断土槽はすべてソリッド要素でモデル化した。RC 試験体ー地盤間とせん断土槽ー地盤間には、剥離とすべりを考慮したジョイント要素を設けた。境界条件について、解析モデル底面は固定境界とし、側方（せん断土槽）については、自重解析時には鉛直ローラーとし、動的解析時は側方を拘束していない。実験条件と同様に排水条件にて解析を実施した。

4. 解析結果および考察

図-5に実験において最大加速度に至る時刻（主要動開始から約8秒後）までの、地表面の主加振方向の加速度、立坑の主加振方向の頂部変位、液状化層の過剰間隙水圧比の実験結果と解析結果の比較を示す。なお、変位の解析結果は実スケールに換算してすべて 30 倍している。また、比較検討位置は図-2を参照されたい。実験結果を概ね解析結果は再現できていることが分かる。また、同時刻における過剰間隙水圧比のコンターを図-6に示す。液状化層内で広く液状化が生じていることが分かる。図-7に同時刻まで加振方向(X方向)の地表面の地盤変位が最大となった時の、地盤の各深さ（地表面で底板から 1680 mm、不飽和地盤で底板から 1500 mm、飽和地盤で底板から 780 mmの位置）における変位コンター（上段が加振方向である X 方向、下段が加振直交方向である Y 方向）を示す。いずれの深さにおいても、地盤が構造物周りをすり抜けているような現象が確認されており、特に液状化層において顕著であることが分かった。地表面と不飽和地盤に関して、本実験条件では、ほぼ同様な地盤の動きをしていることが分かった。

5. おわりに

本検討結果は、構造物が線形に挙動する領域での検討である。今後は、過剰間隙水圧比の変化に伴う地盤の動きに関する分析、構造物が非線形性を示すような場合における分析などを行う予定である。

キーワード 液状化、地盤・構造物連成解析、遠心模型実験、密な地盤

〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 土木工学棟 310 TEL:045-339-3067 E-mail:komatsu-satoshi-yx@ynu.ac.jp

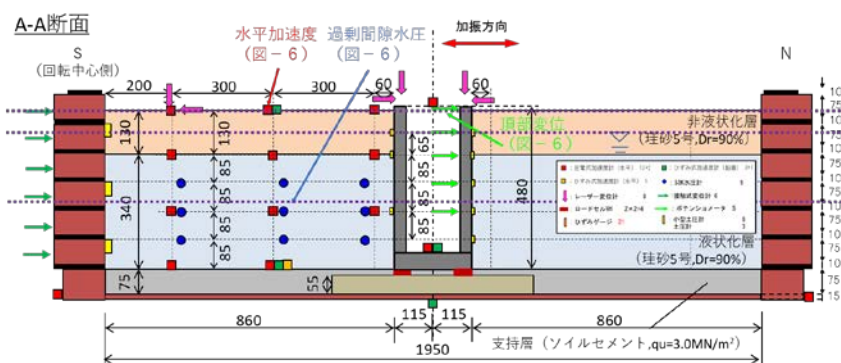


図-1 遠心模型実験概要図



図-2 弾性模型の外観

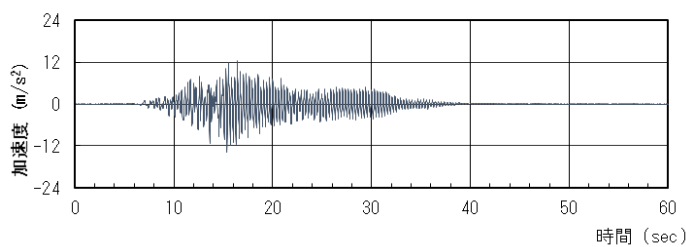


図-3 入力加速度波形

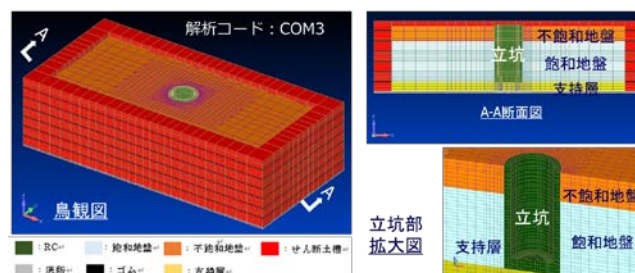


図-4 解析モデル

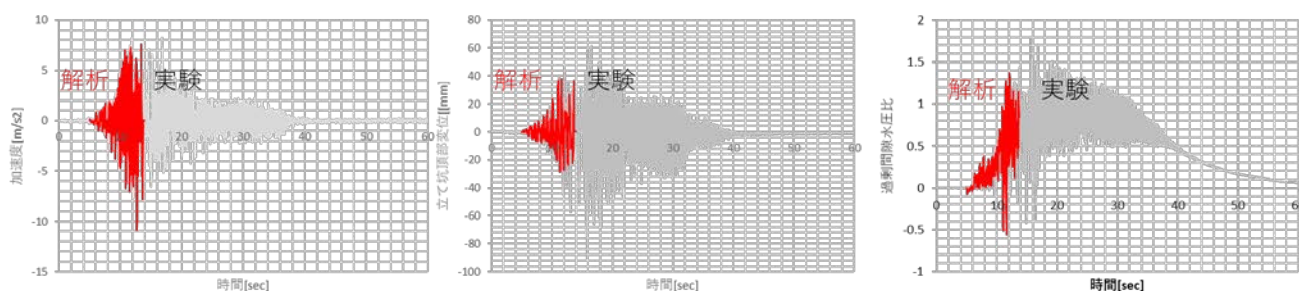


図-5 地表面の加速度 (左), 立坑の頂部変位 (中), 過剰間隙水圧比 (右) に関する実験と解析の比較

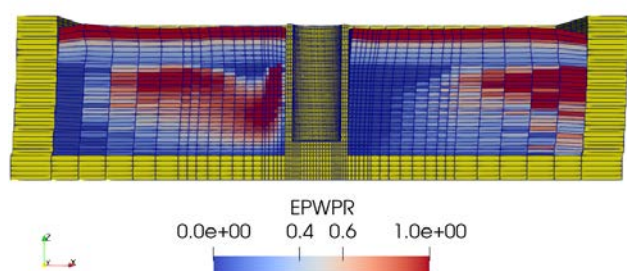


図-6 過剰間隙水圧比のコンター

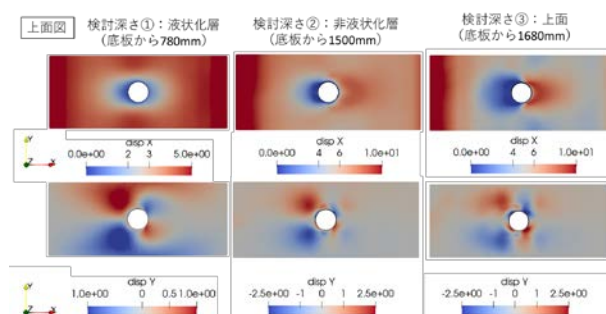


図-7 地盤の各深さでの変位コンター

謝辞

本研究は、電力8社と日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)が実施する研究の成果を参照した。関係各位に謝意を表す次第である。

参考文献

- 渡部龍正, 松尾豊史, 石丸真, 加藤一紀: 密な地盤に埋設されたRC立坑の地震応答に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集 Vol. 43, 2021. 7.
- 渡部龍正, 島端嗣浩, 小松伶史, 山口和英, 熊田広幸: 密な地盤に埋設されたRC立坑模型の遠心載荷実験の再現解析に基づく検討, 土木学会第77回年次学術講演概要集, CS10-76
- 山口和英, 高田祐希, 長井秀樹, 熊田広幸: 密な地盤中に構築された円形立坑の遠心載荷実験の事前解析, 土木学会第77回年次学術講演概要集, CS10-74
- K. Maekawa et al.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, CRC Press