

密な砂地盤中に構築された円形立坑の遠心载荷実験の計画と事前解析

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○山口 和英
 (株) 大林組 正会員 高田 祐希 正会員 永井 秀樹
 東北電力(株) 熊田 広幸

1. はじめに

原子力発電所に係わる新規制基準の制定および地震に関する知見の蓄積により基準地震動が見直され、その加速度が増大していく趨勢にあり、密な地盤であっても液状化が生じる可能性が懸念されている。密な地盤中に構築される構造物に対する液状化の影響については、これまで検討事例が少なく、特に今回対象とした円形立坑に対する検討はこれまで殆んど行われていない。よって、密な砂地盤中に構築された円形立坑に対する液状化の影響を検討するにあたり、その基本データを取得するための遠心载荷実験を実施することとした。本実験では、実験中に構造物が地震荷重により降伏する「非線形模型」および降伏せずに線形の状態を保つ「線形模型」の2種類の縮小模型を製作した。本稿では、遠心载荷実験の計画およびその事前解析について述べる。

2. 遠心载荷実験の計画

遠心载荷装置用のせん断土槽の中央に、円形立坑模型を設置し、30Gによる遠心载荷を行い、所定の地震波をせん断土槽下面より入力する計画とした。模型は、実構造物の縮尺1/30の縮小模型とし、「非線形模型」はモルタルと鉄筋(D2)で製作した。「線形模型」はナイロン12を材料として3Dプリンタで製作し、ボルトと鉄板で補強した。構造物の支持層は、セメント改良土を用い岩盤を模擬した。表層地盤は、栃木県産珪砂5号を用いた相対密度90%の密な砂地盤とした。地下水位は、GL-130mm(実構造物ではGL-3.9m)に設定した。

実験ケースを表1に示す。ケース1を基本ケースの非線形模型、ケース2を線形模型としてケース1と比較できるように配慮した。遠心载荷実験の計測計画の断面図を図1に示す。計測項目は、土圧、間隙水圧、構造物ひずみ、加速度、変位等とし、模型底版下面にロードセルを配置して構造物全体系での荷重～変位関係を計測できるように計画した。

表1 実験ケース

実験ケース	立坑形状	模型	地盤	備考
1	円形	非線形	液状化地盤	基本ケース
2	円形	弾性	液状化地盤	線形と非線形の比較用

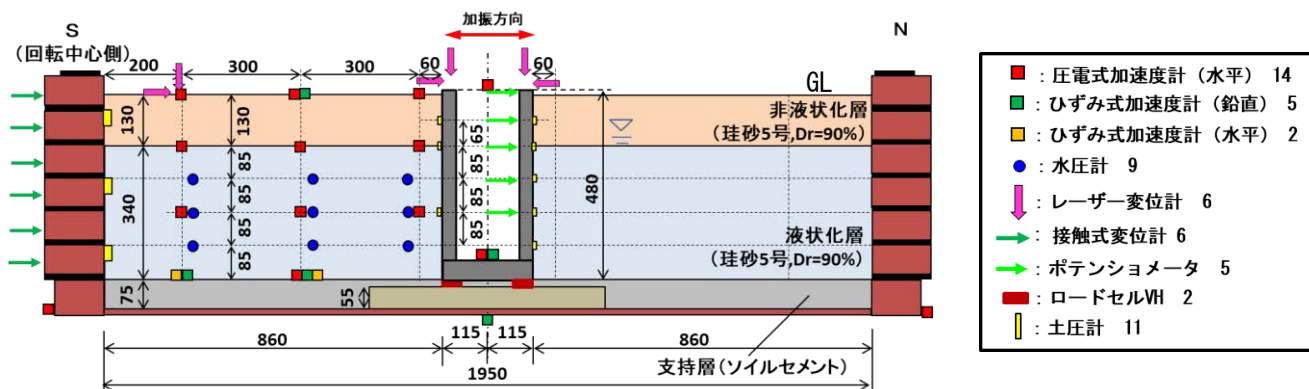


図1 遠心载荷実験の計測計画図(1/30モデル)

キーワード 円形立坑, 遠心载荷実験, 液状化, 二次元有効応力解析

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 070-6485-4839

3. 事前解析

遠心载荷実験の事前解析として地盤の液状化を考慮した大規模地震時に対する2次元FEM有効応力解析を行った。解析モデルを図2に、入力地震波を図3に示す。解析プログラムはFLIP2Dを用いた。地盤はカクテルグラスモデルとし、構造物を魚骨モデル、構造物ー地盤間にジョイント要素を設けた。なお、カクテルグラスモデルの液状化パラメータは、過年度に実施した室内試験およびそれに基づくパラメータフィッティングの結果を適用した。ケース1の非線形模型に対する解析では、構造物の魚骨モデルの梁要素に非線形が考慮できるようにM- ϕ 関係を導入した。ケース2は、構造物を弾性モデルとした。

解析結果として、ケース1の過剰間隙水圧比の最大値分布を図4に示す。過剰間隙水圧比が0.7~0.9程度であり大きな間隙水圧が発生することを確認した。ケース1とケース2の底版下せん断力の時刻歴を図5に示す。底版下せん断力はケース1が小さくなっていることが分かる。ケース1とケース2の底版下せん断力の最大値時刻における側壁の応答加速度および作用土圧を図6に示す。応答加速度は両ケースに有意な差は認められない。水平土圧は側壁上部の地下水位以浅で小さくなっている。これに合わせ鉛直土圧も地下水位以浅で小さくなっている。よって、ケース1では、構造物の非線形化により構造物のせん断剛性が低下して構造物に作用する土圧が低減することにより底版下せん断力が小さくなったと考える。底版下水平せん断力と側壁頂部変位との関係を図7に、側壁下端でのモーメントと側壁頂部変位との関係を図8に示す。モーメント~変位関係では、ケース1とケース2の両ケースにおいて最大モーメント時に最大変形となる相関が認められる。

4. おわりに

実験の事前解析を実施することで、密な地盤に設置された円形立坑の基本的な地震応答を把握することができた。今後、遠心载荷実験を実施し、計測データを元に解析の妥当性検証などを行う予定である。

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)が実施する研究の一環として実施した。関係各位に謝意を表す次第である。

参考文献: 1) 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.

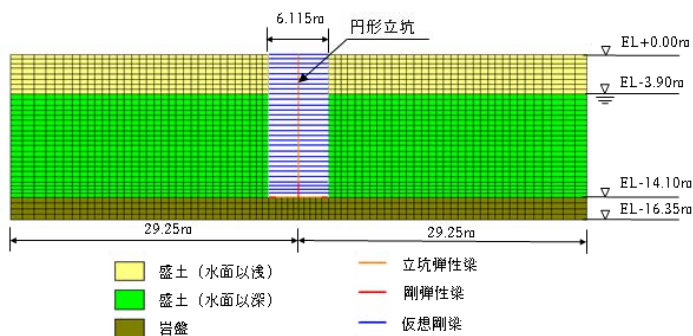


図2 有効応力解析モデル (実スケール)

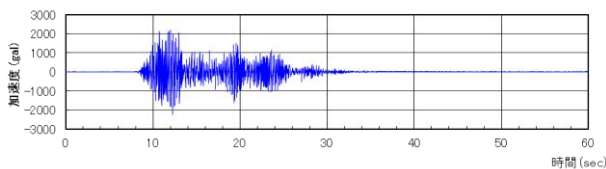


図3 入力地震動

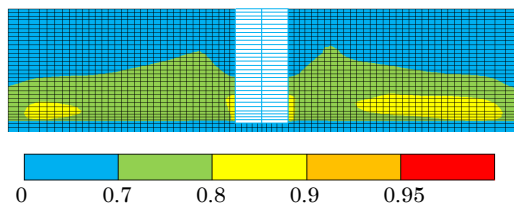


図4 過剰間隙水圧比分布 (ケース1)

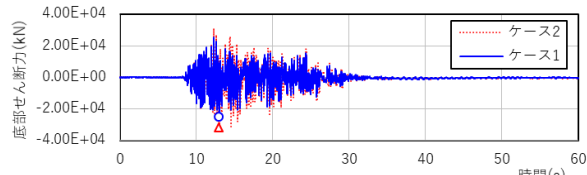


図5 底版下面の時刻歴せん断力の比較

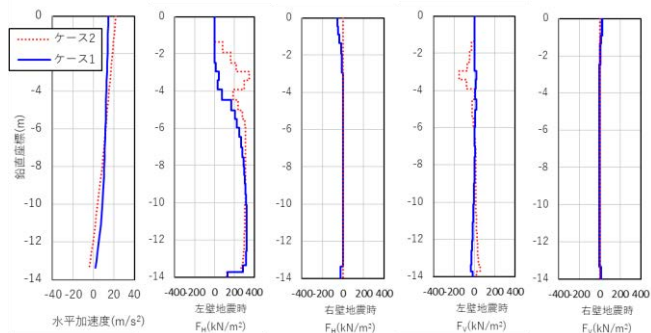


図6 土圧分布の比較

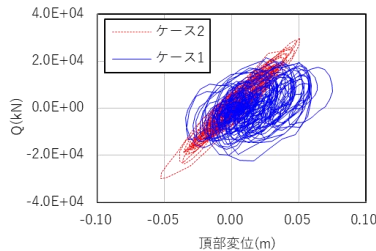


図7 せん断力~変形関係

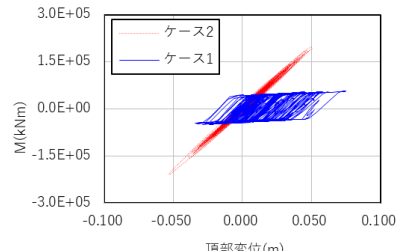


図8 モーメント~変形関係