

密な砂地盤中に構築された円形立坑の遠心載荷実験（その2：構造物の損傷評価）

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

1. はじめに

密な地盤が液状化した際の慣性力・土圧応答変化、床応答への影響を把握するために遠心載荷実験（遠心加速度 30G）を実施した。加振波は、①神戸波（ 1.5m/s^2 目標）→②十勝沖波加振 1 回目（ 1.9m/s^2 目標）→③十勝沖波加振 2 回目（ 1.9m/s^2 目標）の順番で入力した。その 1：実験概要では、①神戸波加振では弾性範囲内の応答に留まり、②十勝沖波加振 1 回目において基部にある軸方向鉄筋が降伏したこと、地盤が全層にわたって過剰間隙水圧比=1 に到達したこと、地盤変形量は小さい範囲に留まったことを報告した。その 2：構造物の損傷評価では、上記結果に引き続き、鉄筋降伏時の作用外力評価および構造物の損傷状況について報告する。

2. 鉄筋降伏時の作用外力の評価

図 1 に地盤変位・立坑総せん断力・立坑慣性力・過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。図中には合わせて鉄筋降伏のタイミングも示す。地盤変位は土槽せん断枠の累積変位を、総せん断力は二分力計 2 台の水平成分の和を表す。慣性力は、永井ら¹⁾にならい、立坑の質量に加速度計の値を乗じることで算出した。過剰間隙水圧比は、立坑背面に設置した水圧計の値を初期鉛直有効応力で除して算出した。ここで、構造物近傍における過剰間隙水圧比は、加振履歴の影響を受けていることや構造物近傍でせん断変形の抑制を受けたことも影響して厳密には 1 に到達していない。そのため過剰間隙水圧比=1 の判定は、自由地盤設置の水圧計の値より判断した。

(1) 地盤変位と総せん断力

地盤変位と総せん断力の関係に着目すると、両者のピークのタイミングはよく一致している。すなわち、RC 構造物が加振時に地盤変位の影響を受けていることがわかる。

(2) 総せん断力と慣性力

総せん断力と慣性力の関係を比較すると、慣性力の大きさは総せん断力に対して小さい。ここで、総せん断力に対する慣性力の寄与割合の関係を図 2 に示す。図中には、過剰間隙水圧比=1 に到達する前を赤、到達した後を青、さらに最小二乗法により算出した傾きを合わせて示す。その結果、過剰間隙水圧比=1 到達前後で総せん

断力に対する慣性力の寄与割合は大きく変わらず概ね 15~20%に留まることがわかる。それだけでなく、鉄筋降伏の前後においても（①神戸波加振と②十勝沖波加振 1 回目を比較することで）この割合は大きく変化していない。これらの応答は典型的な地中構造物の挙動に近い²⁾。

(3) 過剰間隙水圧比と鉄筋降伏のタイミング

過剰間隙水圧比の時刻歴より、鉄筋降伏は過剰間隙水圧比=1 到達後に生じたことがわかる。これは、樋口ら³⁾の実施した上部構造物+RC 造杭基礎の動の実験結果とは異なる結果（樋口ら³⁾では、鉄筋降伏後に過剰間隙水圧比=1 到達）であり、このことから本実験では慣性力の影響が少ないことが示唆される。

また、鉄筋降伏時の過剰間隙水圧比の値に着目すると、その値は全て負である。これは、鉄筋降伏を生じたタイミングが、正のダイレイタンスにより地盤剛性が一時的に回復した時であることを表している。鉄筋降伏と地盤のダイレイタンスの関係については、今後の課題である。

3. 構造物の損傷状況

図 3 に加振実験終了後の RC 構造物の損傷状況を示す。紙面の都合上、4 方向のうち一番ひび割れが多く発生した S 側の写真を示す。底面から 53mm（実換算 1.59m）の位置に曲げひび割れが集中した。曲げひび割れが 1 か所に集中した理由としては、低鉄筋比であったことが挙げられる。

図 4 には、一連の加振を通じた立坑内部の間隙水圧応答を示す。②十勝沖波加振 1 回目で間隙水圧の応答が上昇し始めた。これは、飽和地盤中の間隙水が立坑内に侵入、つまり RC 構造物の側壁のひび割れが内部まで貫通したことを示唆している。

4. まとめ

本実験より以下の知見が得られた。

- RC 構造物は、加振時に地盤変位の影響を受けて変形した。
- 総せん断力に占める慣性力の割合は、鉄筋降伏前後および過剰間隙水圧比=1 到達前後においても変わらず、15~20%に留まった。
- 鉄筋降伏は、過剰間隙水圧比=1 到達後に生じ

キーワード 密な地盤、液状化、円形立坑、遠心載荷実験

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組技術研究所構造技術研究部

た。

- 鉄筋降伏時の過剰間隙水圧比は負の値であり、地盤剛性が一時的に回復したタイミングであった。
- 十勝沖波加振 1 回目で軸方向鉄筋が降伏し、側壁に生じたひび割れは内部まで貫通した。

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)永井他：開口のある地中箱型構造物の地震時作用荷重および変形—遠心力模型振動実験による三次元地震時挙動の評価—，地盤工学ジャーナル，Vol.12，No.3，pp.323-336，2017。

2)川島：地下構造物の耐震設計，鹿島出版会，1994。

3)樋口他：RC 造杭基礎構造物の遠心模型振動実験，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.68，No.4（地震工学論文集第 31-b 巻），pp.I_642-I_651，2012。

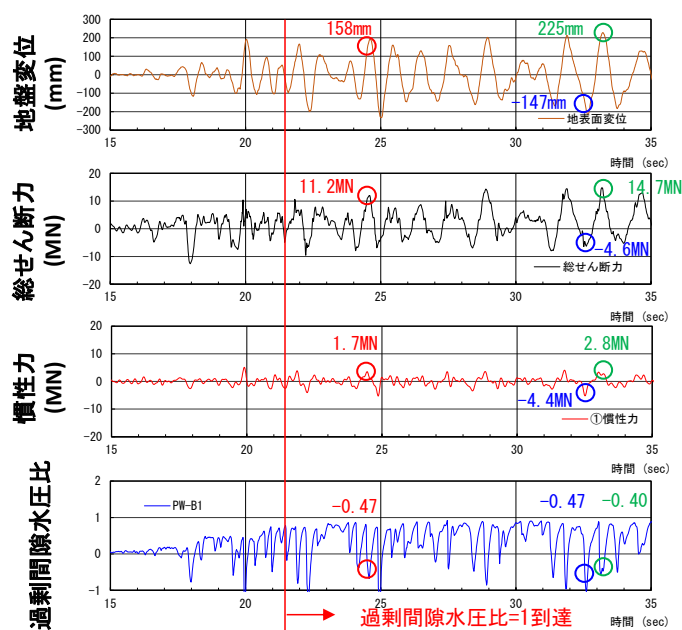


図1 鉄筋降伏時の地盤変位・立坑総せん断力・立坑慣性力・過剰間隙水圧比の時刻歴

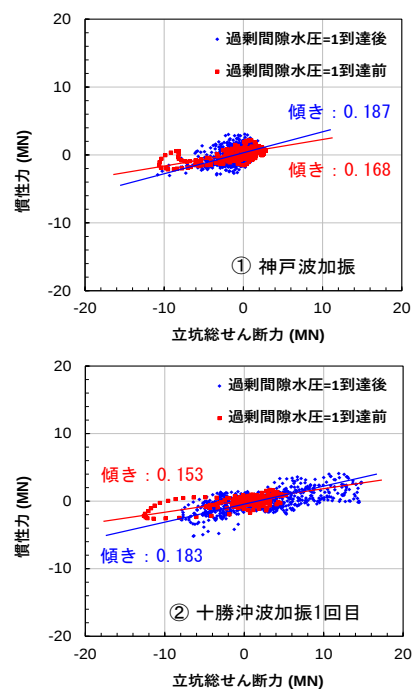


図2 総せん断力と慣性力の関係

- S側基部鉄筋の降伏 ($t=24.525s$)
- E側基部鉄筋の降伏 ($t=33.195s$)
- N側基部鉄筋の降伏 ($t=32.55s$)

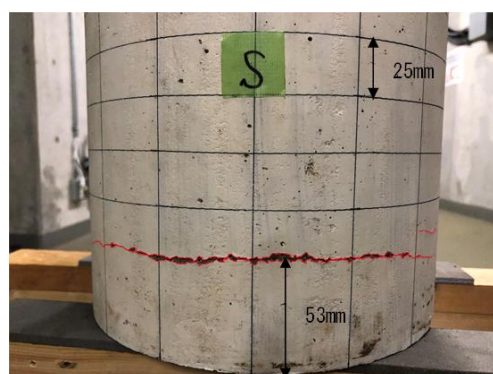
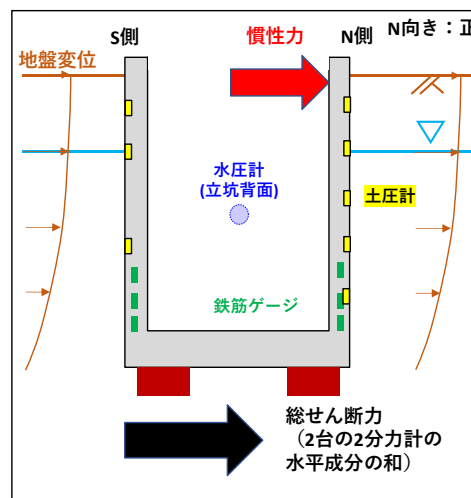


図3 RC 構造物の損傷状況

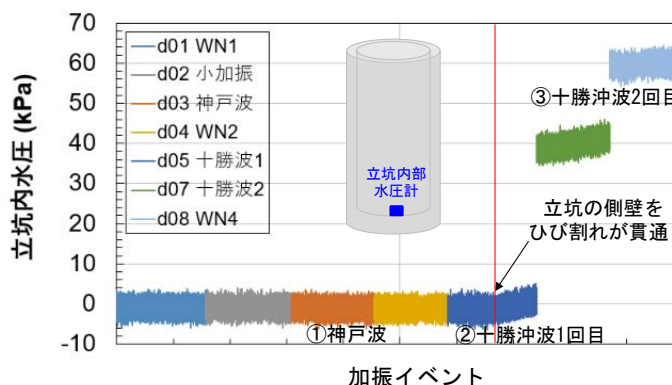


図4 立坑内部の間隙水圧応答