

飽和・不飽和砂質地盤に建設される群杭基礎の地震時水土連成特性に関するモデル実験

名古屋工業大学 学生会員
 名古屋工業大学 学生会員
 名古屋工業大学 正会員
 名古屋工業大学 正会員

○鈴木秀
 千野伸晶
 岩井裕正
 張鋒

1. 研究背景

軟弱地盤が広く分布する日本では先端支持杭基礎が多用されている。しかし、過去の地震により多数の杭基礎が被災し、レベル2地震動時には中密地盤であっても液状化に至ることが明らかになっている。さらに既往の研究¹⁾では、液状化地盤の杭の損傷は杭頭と比較して地下水位近傍、層境界で大きくなると結論付けられており、目視点検でも地下水位近傍でのひび割れが確認されている。以上のことから、中密地盤に建設された杭基礎の、地下水位近傍における地震時力学特性の把握は重要事項であると考えられる。

本実験では、相対密度65%の中密な飽和・不飽和地盤を作製し、振動台実験を実施した。

2. 実験概要

2.1. 実験装置

本実験に用いた振動台実験装置を写真1に示す。本装置はメンテナンス性の優れた空圧式加振装置を有し、主な性能は、最大空気圧:1.0MPa、最大振幅:0.05m、最大加振重量:18kN、最大加振加速度:9.80m/s²である。また振動台上には、土層境界付近での波の反射等を防ぎ、実地盤での挙動に近づけるためにせん断土槽が装備され、奥行方向1.0m×加振方向1.2m×高さ0.8mで1層0.03m×25層から構成されている。

2.2. 杭基礎模型

実験には写真2に示す縮尺S=1/50のアルミ製の杭基礎模型を用いる。また、端部の条件として、上端が固定端、下端がヒンジ固定となっている。

2.3. 実験ケース

本実験では、乾燥地盤(Case1)、飽和地盤(Case2)、飽和・不飽和地盤(Case3:計画水位GL-0.10m, Case4:計画水位GL-0.20m)の4ケースを実施した。図3に実験ケースの模式図を示す。

2.4. 地盤作製方法

乾燥地盤は、豊浦標準砂を所定の高さ(0.60m)から空中落下させることにより作製した。飽和地盤は含水比5%に調整した豊浦標準砂を角材で締め固め、大気圧通水法により通水することで作製した。飽和・不飽和地盤は、飽和地盤と同様に通水を行った後に、計画水位まで水位を下げることで作製した。水位の確認方法として、位置水頭を利用する方法と土槽内の2箇所にホースを設置し、竹ひごを用いて水位を確認する方法を採用した。

2.5. 計測機器設置箇所

実験の計測機器設置箇所を図1、ひずみゲージの設置箇所を図2に示す。加速度計は振動台実験装置、上部工構造物、フーチングに各1箇所、地盤中の杭基礎近傍の地点Aと遠方の地点Bに4深度ごとに設置した。ひずみゲージは、橋脚部、及び群杭9本中奥行き方向中央の3本の杭(左からLeft杭, Center杭, Right杭)を対象に9深度設置した。

3. 実験結果と考察

3.1. 応答加速度

図4にCase2の入力加速度の全体図と拡大図の時刻歴を示す。全ケースにおいて、加振直後に4m/sec²、その後に2m/sec²付近の値で安定しており、全ケースで概ね一致している。



写真1: 1G場振動台実験装置

写真2: 杭基礎模型

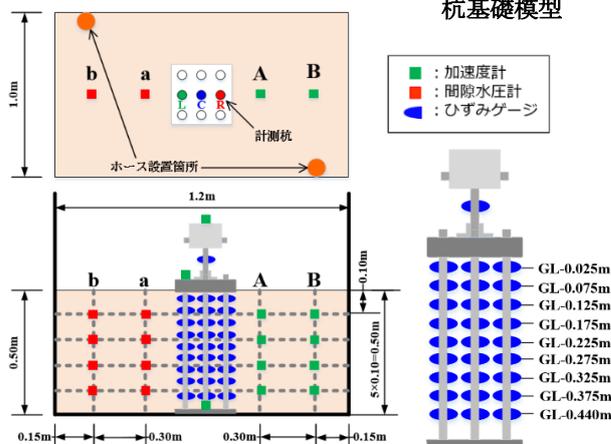
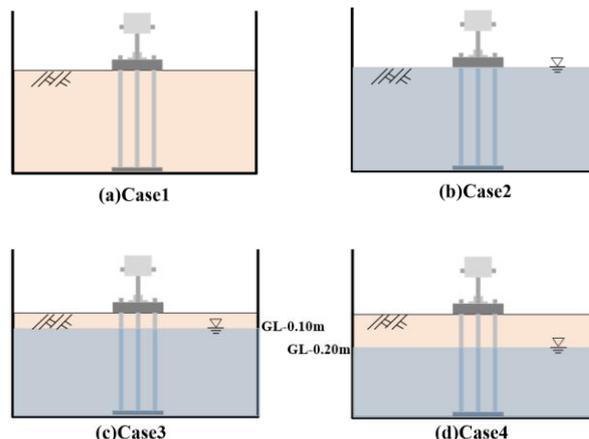
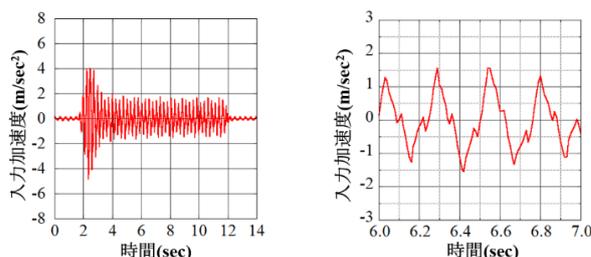
図1: 計測機器設置箇所
(上図: 平面図,
下図: 断面図)図2: ひずみゲージ
設置箇所

図3: 実験ケース模式図

図4: 入力加速度 (Case2)
(左図: 全体図, 右図: 拡大図)

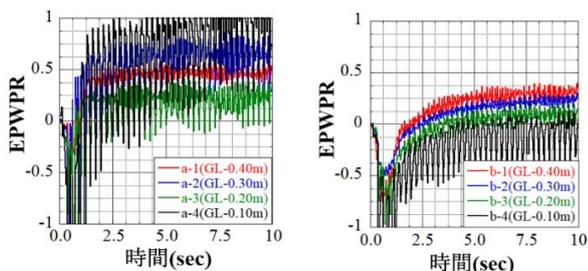


図5：過剰間隙水圧比-Case2
(左図：構造物近傍，右図：構造物遠方)

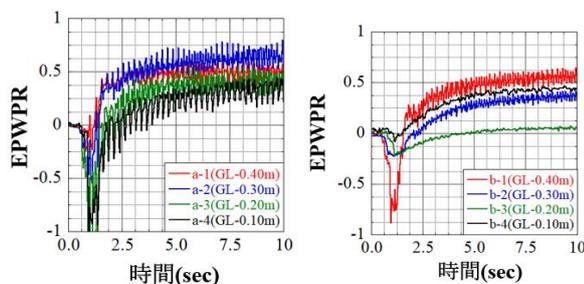


図6：過剰間隙水圧比-Case3
(左図：構造物近傍，右図：構造物遠方)

3.2. 過剰間隙水圧比

図5に飽和地盤(Case2), 図6に計画水位 GL-0.10m の飽和・不飽和地盤 (Case3) の過剰間隙水圧比の時刻歴を示す. 加振直後に負の値をとっていることから, 地盤内がせん断膨張していることが分かる. また, 構造物遠方では値が1を下回っているが, 構造物近傍では1を超える箇所も見られ, 構造物自体の振動の影響を受けることで液状化しやすいと考えられる. また Case2 では加振直後に負の値となった後に上昇に転じているが, Case3 の b-4 では顕著に負の値をとることなく上昇に転じている. このことから, 加振により水位が上昇し, それに伴い水圧が上昇したことが確認できた.

3.3. 曲げモーメント

図7にR, C, L各杭のうち最大曲げモーメントが計測された時刻における曲げモーメントの深度分布を示し, その時刻も同時に示す. また Case2, 3 の水位も図7に示す. 乾燥地盤(Case1), 飽和地盤(Case2) では, 杭頭付近で曲げモーメントが最大となっている. これは加振に伴い生じた慣性力により, 固定端である杭頭部がヒンジ固定である杭下端部に比べて曲げモーメントが発生しやすいためだと考えられる. 一方で, 計画水位 GL-0.10m の飽和・不飽和地盤 (Case3) では, 杭頭付近ではなく計画水位よりもさらに 0.10m 程度深い位置で最大曲げモーメントが発生した. この結果から, 飽和・不飽和地盤のような不均一な地盤では加振によって作用する慣性力の影響よりも, 地盤の変位や剛性の変化の影響が顕著であると考えられる. 計画水位よりも深い位置で曲げモーメントが最大化した原因として, 地盤内の層境界が計画水位よりも深い位置で形成されたためではないかと考えられる.

3.4. 軸力

図8に最大曲げモーメントが計測された時刻における軸力の深度分布を示す. 全ケースで, 圧縮側の杭 (Case1ではPileL, Case2, 3ではPile-R) と中央の杭 (Pile-C) は各深度において概ね均等に軸力を受け持っていることが分かる. 一方で, 引張側の杭 (Case1ではPile-R, Case2, 3ではPile-L) は深度が大きくなるにつれて軸力が0に近づいている. この結果から, 引張側の杭に周面摩擦力が作用したことにより杭下

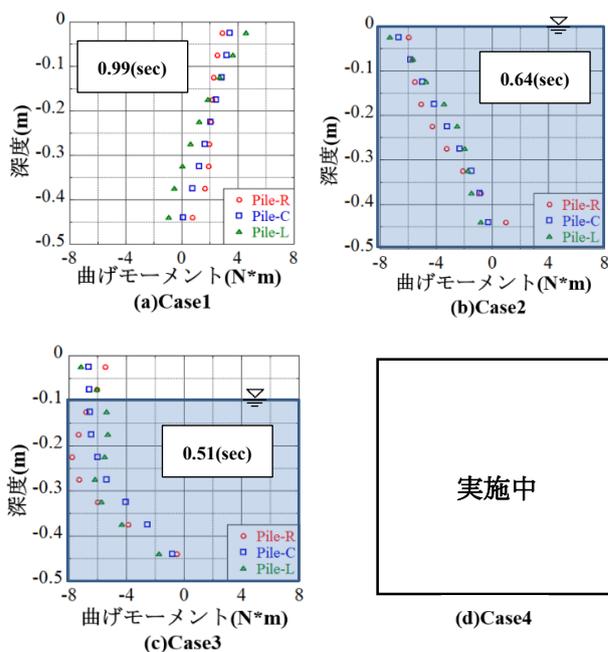


図7：曲げモーメント分布

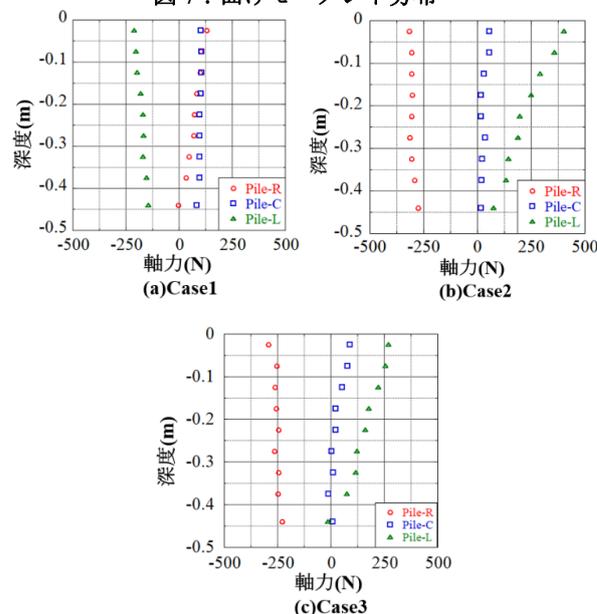


図8：軸力分布

端まで軸力が伝搬しなかったと考えられる.

4. まとめ

本実験では, 異なる地盤条件下で振動台実験を実施し, 杭基礎の力学挙動について検討した. 以下に本実験で得られた結果を示す.

最大曲げモーメントは, 乾燥地盤や飽和地盤などの一様な地盤においては, 地震動による慣性力の影響が優位とされる杭頭付近で確認された. 一方, 水位が地表面下の地盤内にある場合, 地下水位付近の地盤内に発生し, 上部工慣性力よりも地盤の変位や剛性の変化による影響が大きいと考えられる.

また, 軸力は全ケースにおいて圧縮側と中央の杭が均等に軸力を受け持っているのに対し, 引張側の杭は周面摩擦力が作用したため, 杭下端まで軸力が伝搬しなかったと考えられる.

参考文献

- 1)伊藤浩二, 後藤洋三: 液状化地盤における杭基礎の非線形地震応答解析, 大林組技術研究所報, No.62, 2001