

## 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

○東郁斗  
 鈴木秀  
 張鋒

## 1. 研究背景

日本は軟弱地盤かつ地震大国であり、構造物を安定させるため、支持層まで定着する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も液状することがある。さらに既往の研究<sup>1)</sup>では地震時杭基礎の損傷は杭頭よりも地下水位近傍、層境界で大きくなるケースも報告されている。従って、地下水位や層境界の杭の地震時力学特性に着目すべきと考えられる。本実験では相対密度 60~65%の中密な飽和・不飽和地盤を作製し、モデル杭基礎・地盤の相互作用を 1g 振動台実験により検証した。

## 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：18kN，最大振幅：0.05m，最大加振重量：18kN，最大加振加速度：9.80m/s<sup>2</sup>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 Laminated 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。杭基礎模型の諸元は以下の表1に示す

表1：杭基礎模型寸法

	実物寸法	模型寸法
杭径(m)	1.00	0.02
杭張(m)	25.00	0.50
杭の曲げ剛性(N/m <sup>2</sup> )	1.11E+09	1.89E+02
上部構の質量(kg)	750000.00	6.00
フーチング幅(m)	9.00	0.18
杭間隔(m)	3.0	0.06

## 2.3 実験ケース

図3に示すように、本実験では、飽和地盤(Case1)、飽和・不飽和地盤(水位: Case2: GL-0.10m; Case3: GL-0.20m; Case4: GL-0.30m)の4ケースを実施した。

## 2.4 地盤作製方法

飽和地盤は含水比 5%に調整した豊浦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か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

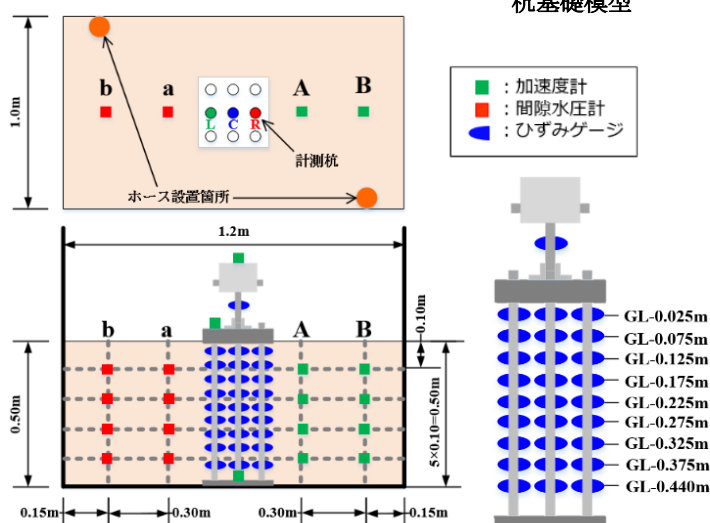
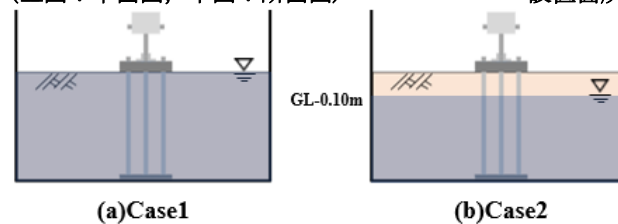
実験の計測機器設置箇所を図1、ひずみゲージの設置箇所を図2に示す。加速度計は振動台実験装置、上部構造物、フーチングに各1箇所、地盤中の杭基礎近傍の地点Aと遠方の地点Bに4深度ごとに設置した。ひずみゲージは、橋脚部、及び群杭9本、中奥行き方向中央の3本の杭(左からL杭, C杭, R杭)を対象に9深度設置した。



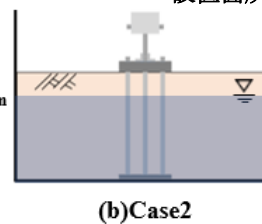
写真1：1G 場振動台実験装置



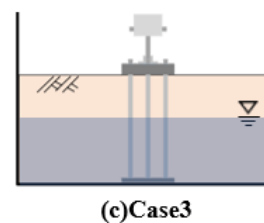
写真2：杭基礎模型

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

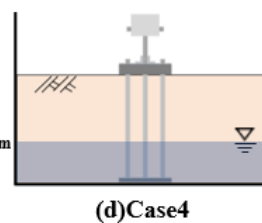
(a) Case1



(b) Case2



(c) Case3



(d) Case4

図3：実験ケース模式図

## 3. 実験結果と考察

## 3.1 応答加速度

図4に Case1 の入力加速度の全体図と拡大図の時刻歴を示す。装置の都合上、入力加速度を統一するのは困難であるが、全ケースにおいて、加振直後に大きな値をとりその後に 2m/s<sup>2</sup> 付近の値で安定しており、全ケースで概ね一致している。なお、加振時間 10 秒に対して、その前後 2 秒を追加した計 14 秒の結果を示している。

### 3.2 曲げモーメント

図5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している。右曲がりを負、左曲がり为正としている。また、Case2,3,4の水位も図に示す。Case1では杭頭付近で曲げモーメントが最大となっていることが分かる。これは上部工の慣性力により、固定端の杭頭部がヒンジ固定の杭下端部に比べて曲げモーメントが発生しやすいのが原因と考えられる。また、Case2,3,4ではCase1とは異なり地盤内で最大曲げモーメントが発生している。このことから、上部構造物にかかる慣性力よりも、地盤変位や飽和・不飽和地盤という剛性の違いによる影響が顕著に表れていると考えられる。

### 3.3 軸力

図6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。圧縮を正、引張を負としている。どのケースにおいても杭にかかる引張力は、深度が深くなるにつれて0に近づいている。これは、引張側の杭に周面摩擦力が作用したことで、軸力が杭下端まで伝播しなかったためであると考えられる。また、杭にかかる引張力は計画水位が下がるほど小さくなっていることが分かる。これは、不飽和地盤の割合が増えることで拘束圧が増し、周面摩擦力が強くなった結果、軸力が小さくなったのではないかと考えられる。

### 3.4 軸力・曲げモーメントの相関関係

図7に最大曲げモーメントが計測された深度における曲げモーメントと軸力の履歴関係を示している。R杭とL杭が逆向きの軸力を受けていることから、慣性力が作用した時杭に引張力と圧縮力が交互に作用していることがわかる。

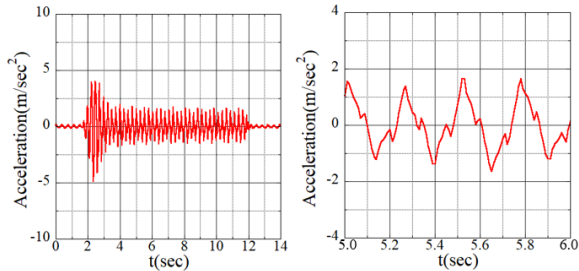


図4：入力加速度(Case1)  
(左図：全体図、右図：拡大図)

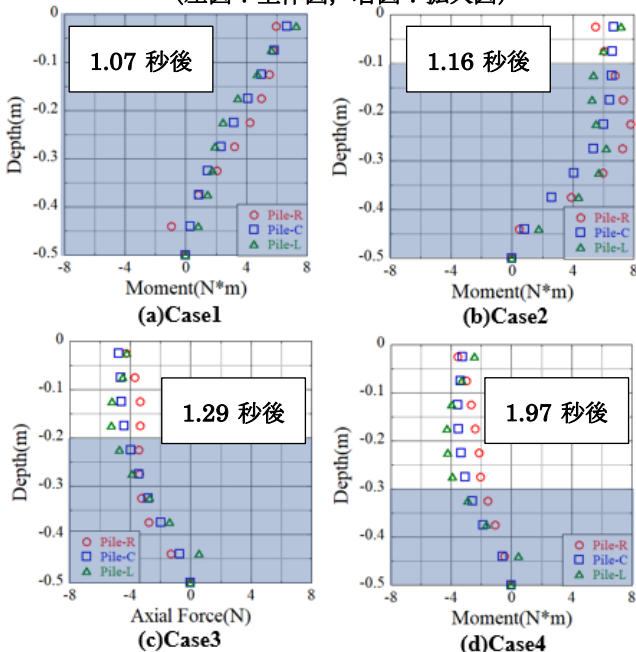


図5：曲げモーメント

また、計画水位が下がるにつれて、変化のループが小さくなっていることが分かる。これは不飽和地盤の割合が増えることにより、杭周辺地盤の拘束圧が増加したためであると考えられる。

### 4. まとめ

本実験では、異なる地盤条件下で1g振動台実験を実施し、地盤・杭基礎の相互作用に関わる力学挙を検討した。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、飽和地盤においては地震動による慣性力が優位とされる杭頭付近で確認された。一方、水位が地盤内にある場合、地盤内で最大曲げモーメントが発生し、慣性力よりも地盤変位や剛性の変化による影響が大きいとされる。

また、杭頭に作用する引張力は水位が下がるほどに周面摩擦力の増加により小さくなった。

さらに、軸力・曲げモーメントの履歴関係は、水位が下がるにつれて、変化のループが小さくなることが確認できた。

### 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

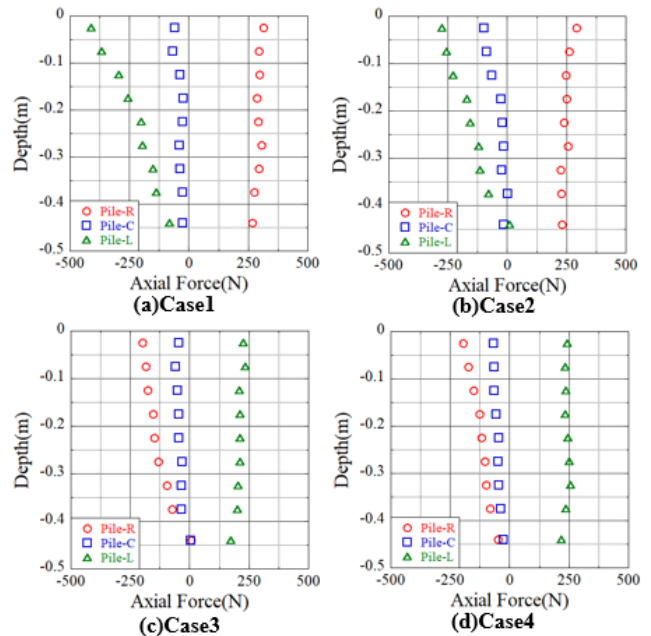


図6：軸力

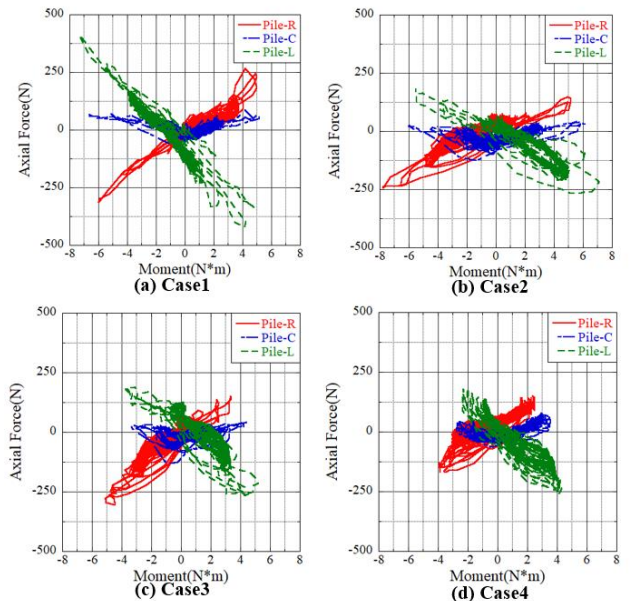


図7：軸力-曲げモーメント関係