

杭間隔の相違による傾斜した液状化地盤の流動速度に対する影響に関する一考察

早稲田大学大学院 学生会員 ○高橋祐幸 宮内良 東條紀明
早稲田大学 フェロー会員 濱田政則

1. はじめに

既往の地震において、側方流動が杭基礎などの地下構築物に大きな被害を発生させた。既往の模型実験によれば、単杭には地盤流動速度に起因した力が卓越するということが明らかにされている¹⁾。この知見をさらに発展させて耐震設計法に反映させるためには、群杭構造に対する流動外力の特性を解明する必要がある。本研究では、重力場における流動実験及び流体解析により、杭間隔が流動外力や杭周辺の地盤の流動に与える影響を検討した。

2. 重力場における模型実験

(1) 実験概要

実験は、図-1に示す長さ250.0cm、高さ100.0cm、奥行き150.0cmの剛土槽を用い、重力場で実施した。模型地盤は相対密度約45%で全層を飽和状態とする。土槽は振動台に5%の傾斜角をもって固定されており、流動方向と直角な水平方向に加振することにより液状化を生じさせ、地盤の流動を発生させた。模型地盤の層厚は、流動方向の中央点において60cmである。

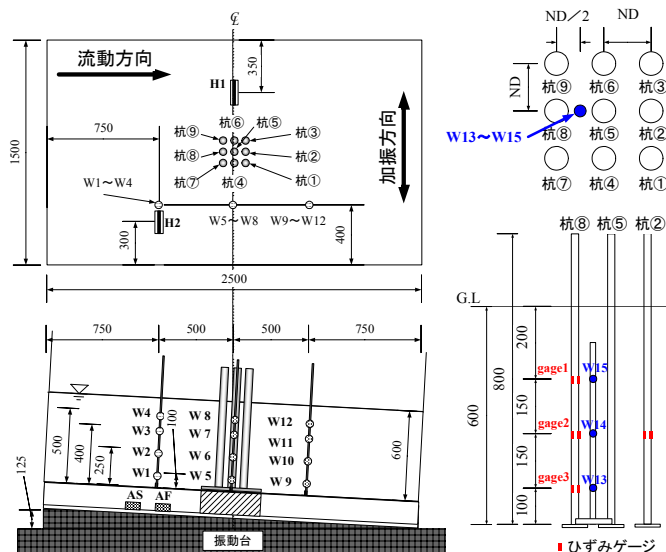


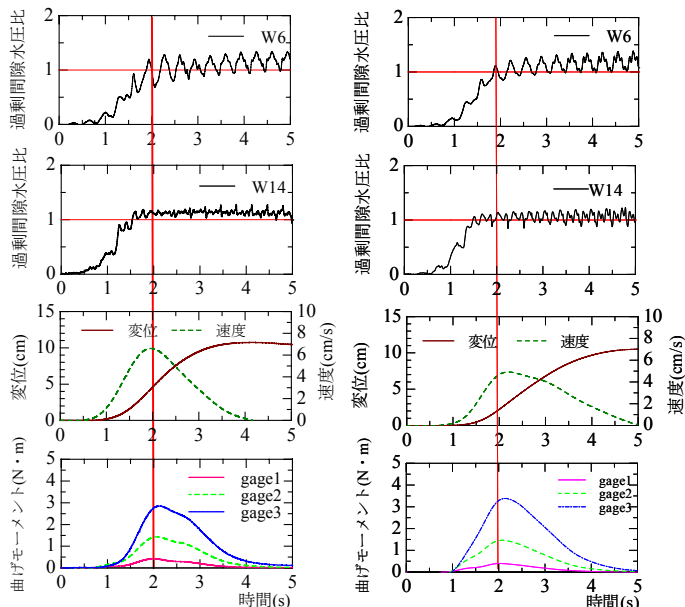
図-1 模型地盤の概要と模型杭

図-1に示すように水圧計を群杭の外側(W1~W12)と内側(W13~W15)、地表面にはレーザー変位計(H1, H2)を設置した。模型杭は、アルミニウム製の中空パイプ(外径20mm, 肉厚0.5mm, 弾性係数70kN/mm²)で、液状化地盤の流動による曲げひずみをパイプ内部表面に設置したひずみゲージより測定した。杭の配置は3×3の正方とし、道路橋示方書において最小間隔とされている2.5D(D; 杭径), 3.0D, 4.0D, 5.0Dまで変化させた実験、および各杭が互いに影響しない間隔と考えられる10.0D, 単杭による実験の計

6 ケースを実施した。加振入力はスイープ正弦波加速度で、加振周波数3.0Hz, 最大振幅260.0galである。

(2) 各計測器の時刻歴

図-2に杭間隔が3.0Dの場合および5.0Dの場合における群杭外側の過剰間隙水圧比(W6), 群杭内側の過剰間隙水圧比(W14), 杭横のレーザー変位計H1より求めた地表面流動変位と速度, 上流外側に配置されている杭⑨のgage1からgage3の曲げモーメント時刻歴を示す。これによれば、群杭外側の水圧計W6と内側の水圧計W14の過剰間隙水圧比はどちらの実験ケースも2.0秒付近で1.0に達し、速度と曲げモーメントの時刻歴はほぼ相似形である。このことより、群杭構造に作用する流動外力も、単杭構造の場合と同様に地盤流動速度に起因していると推測される。



(1) 3.0Dの時刻歴

(2) 5.0Dの時刻歴

図-2 各計測器の時刻歴

3. 杭間隔の変化が流動外力に与える影響

各杭における曲げモーメントの時刻歴の最大値(杭間隔2.5Dから10.0D)と単杭における実験の時刻歴の最大値との比を求め、各実験ケースの杭配置による曲げモーメントの低減の程度を検討する。図-3に杭③, ⑤, ⑦の結果を示す。同図より杭間隔を2.5Dから5.0Dまで変化させても単杭に発生する曲げモーメントに対する低減の割合に大きな影響はないことが分かる。杭隔10.0Dの場合、2.5Dから5.0Dまでと比べ大きな曲げモーメントが発生しているが、単杭の6割の値となっている。杭間隔を十分に大きくしても、複数の杭を配置することによって、流動が抑制されているためと考えられる。

キーワード 液状化, 側方流動, 群杭, 杭間隔, 地盤流動速度

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学 社会環境工学科 濱田研究室 TEL03-3208-0349

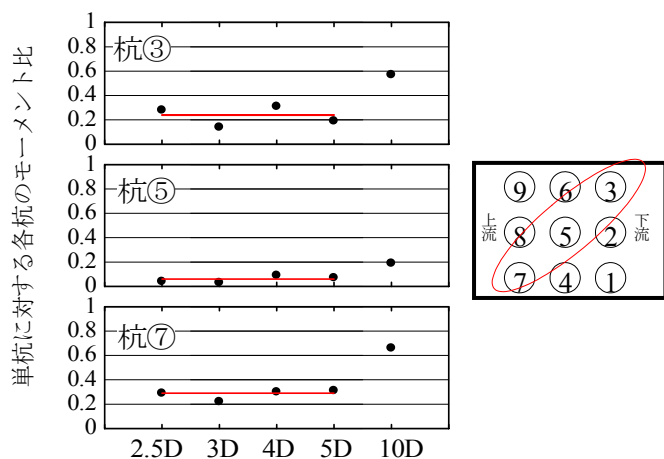


図3 杭間隔が曲げモーメントに与える影響の比較

4. 数値解析による検討

(1) 解析モデル

模型実験では計測が困難な杭周辺の地盤流動の様子を明らかにし、杭間隔の変化が群杭周辺の地盤流動速度に与える影響を汎用流体解析ソフト「PHOENICS」を用いて検討した。解析モデルは図4のように流動による地表面勾配の変化を考慮し、側面と底面の境界では流動速度0、地表面は自由表面とした。流体の密度は 1.8g/cm^3 とし、粘性係数は時間的にも深さ方向にも一定の値を用いた。

濱田らによれば、液状化土の粘性係数はせん断ひずみ速度によって変化する非線形的な性質を有し、かつ粘性係数は拘束圧のほぼ1.5乗に比例し増大するとされている²⁾。本解析に用いる粘性係数は、この経験値をもとに決定した。

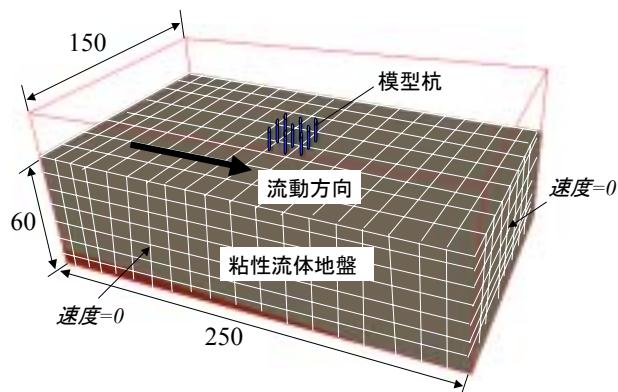


図4 流体三次元解析モデル

(2) 実験値と解析値の流動速度比較

case6 (単杭) の地表面に設置したレーザー変位計 H1, H2 によって算出された流動速度の実験値と解析値を図5に示す。

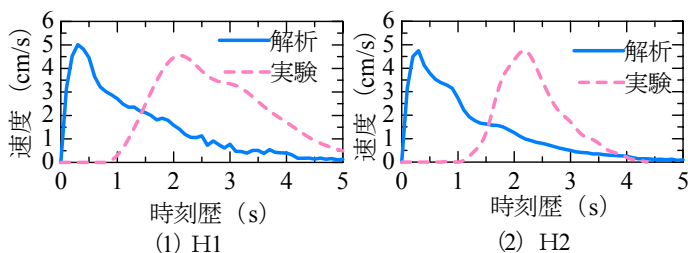


図5 実験値と解析値の流動速度比較

図5によれば、実験値と解析値の最大値はほぼ一致しているが、最大値を示す時刻に差がある。模型地盤は過剰間隙水圧比が1.0に近づくにつれて流体的な性質が卓越していくと考えられる。一方、解析では始めから流体として取り扱うため、流動速度の最大値が早く現れ、実験値との差が生じる。しかし、最大値がほぼ一致し実験値と解析値の時刻歴が相似形となることから、模型地盤を粘性流体と評価できると考えられる。

(3) 群杭周辺の流動に関する考察

図6に、単杭、杭間隔2.5D、10.0Dの杭周辺における速度ベクトル図を示す。図中、赤で示しているように単杭と比べ、群杭の杭間隔2.5Dでは、上流側の杭付近で流動方向が変化し、群杭全体を回りこむように流動しており、杭間をすり抜ける流動速度も減少する。杭間隔10.0Dにおいても、杭間隔2.5Dに比べると杭間の流動速度が増加しているが、単杭の周辺速度には達していない。群杭構造では杭同士が互いに影響を及ぼしあい、上流側の杭付近で流動方向が変化し、杭間をすり抜ける流動速度は、減少する結果となった。

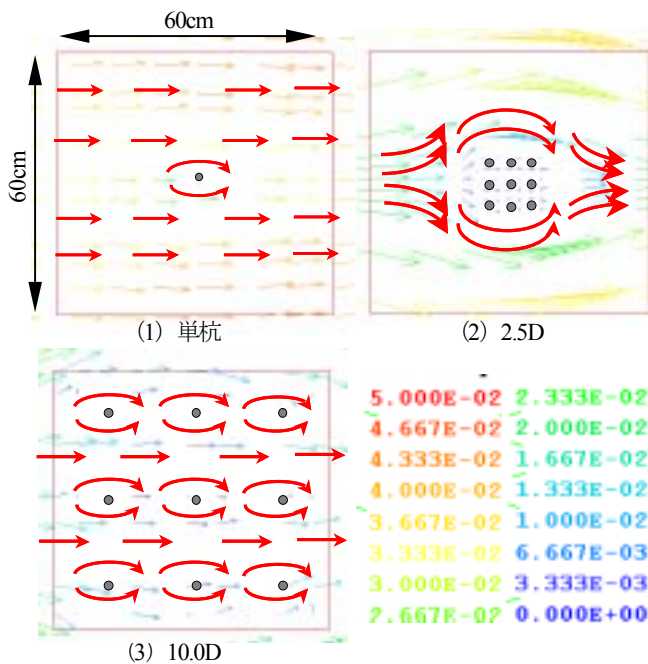


図6 杭周辺の地盤流動ベクトル図

5. まとめ

- ・ 群杭内側における地盤も外側と同様に液状化が発生し、杭に作用する流動外力は単杭構造の場合と同様に、地盤流動速度に起因した力が卓越していると推測される。
- ・ 杭間隔を2.5Dから5.0Dまで変化させても、単杭に対する低減率はほぼ一定であるといえる。このことより、杭間隔が5.0Dまでは単杭と10.0Dに比べ杭間における流動を抑制できると考えられる。

参考文献

- 1) 張至鎬, 濱田政則: 液状化地盤の流動が基礎杭に及ぼす外力特性に関する研究, 土木学会論文集, 第766号/I-68, pp191-201, 2004.7
- 2) 濱田政則ら: 液状化土の流動特性に関する研究, 地震防災向上に関するシンポジウム論文集, pp261-266, 2001.3