

側方流動地盤における杭の群杭効果に関する遠心模型振動実験

西松建設技術研究所 正会員 今村 眞一郎 東京理科大学 学生員 小谷 直也
 西松建設技術研究所 正会員 宮崎 啓一 東京理科大学 正会員 塚本 良道
 西松建設技術研究所 正会員 萩原 敏行 東京理科大学 正会員 石原 研而

1. はじめに

側方流動の被害事例¹⁾をもとに、地盤の水平変位分布や杭の破壊・変形モードなどが明らかにされているが、地震時に杭に作用する流動圧や群杭効果に関しては十分に解明されていないのが実状である。そこで本研究では、2層地盤について側方流動を模擬した遠心模型振動実験を実施し、杭の配置条件や地盤構成の違いによる杭の流動圧の相違や群杭効果の影響について、過去に実施した単層地盤の結果²⁾と比較・検討したので以下に報告する。

2. 実験概要

図-1に、模型地盤の概要と各種センサーの設置位置を示す。模型杭は、杭径16mm、肉厚0.4mmのステンレス製の杭であり、実物換算して 800mm、 $EI=744MN \cdot m^2$ と等価な曲げ剛性をもつ鋼管杭を想定している。図中の計測杭にはひずみゲージを深さ方向に8段、1段につき流動方向の圧縮、引張側に2枚のひずみゲージを貼り付けた。また、杭下端は土槽底面に設置した固定治具に剛結し、杭頭は自由とした。2層地盤の構成は既往の文献¹⁾を参考に、地盤材料として上層の非液状化層に豊浦砂を、下層の液状化地盤には鳥取県境港市竹ノ内工業団地より採取したシルト ($D_{50} = 0.06mm$, $e_{max} = 1.586$, $e_{min} = 0.858$, $k=2.0 \times 10^{-3} cm/s$) を使用した。模型地盤の作製は、杭を設置したせん断土槽（幅650mm、奥行き400mm、深さ400mm）内に、水中落下法により相対密度45%、厚さ240mmの液状化層（シルト）を作製した後、空中落下法により相対密度約70%、厚さ60mmの非液状化層（豊浦砂）を作製した。実験は、横断方向に配列した杭の配置条件の違いによる群杭効果を調べるため、表-1に示す9ケースを実施した。ここで、半無限壁式杭とは杭を横断方向に一系列に配置したものである。なお、全ての側方流動実験は、遠心力場50gにおいて、予め3.5%傾斜させた模型地盤の底面に最大加速度200Galの正弦波20波（周波数2Hz、10sec）を入力して行った。

3. 実験結果および考察

1) 過剰間隙水圧挙動

以下に示す実験結果は、実物換算して示した。2層地盤では、加振終了時において非液状化層下部の地点を除き、過剰間隙水圧比は0.8~0.9に達しており、深い位置ほど液状化に近い状態であった。非液状化層下部の地点では間隙水の転移と考えられるが、過剰間隙水圧比が0.6~0.7であった。一方、単層地盤では少なくとも深さ12.5mまではほぼ液状化に達し、単層・2層地盤ともに、加振終了時（10sec）に杭に作用する流動圧が最大となる同様な傾向を示した。

2) 側方流動分布と杭の変位分布

2層地盤の結果について、加振終了時における地盤の側方変位分布を図-2に示し、杭の曲率をもとに差分法により求めた、杭のたわみ分布を図-3に示す。地盤変位が杭変位よりも大きくなり、特に液状化層中央部付近では相対変位が大きいことが確認できる。また、図-2には比較のために、単層地盤での単杭ケースを示している。2層地盤では、単層地盤に比べ流動量が約20%程度抑制されていることが判る。これは非

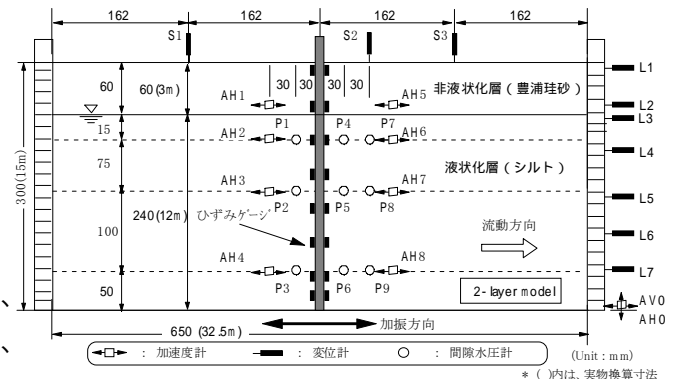


図-1 模型地盤の概要と各種センサーの設置位置

表-1 実験ケース

Code	地盤構成	杭配列	杭間隔 (杭径:D)	Dr (%)	(%)
Test SKN-1	単層地盤 全層:シルト	単杭	—	45	3.5
Test SKN-2		2本杭	1D	45	3.5
Test SKN-3		2本杭	2D	45	3.5
Test SKN-4		4本杭	1D	45	3.5
Test SKN-5		半無限壁杭	0	45	3.5
Test SKN-8	2層地盤 上層:豊浦 下層:シルト	単杭	—	70 / 45	3.5
Test SKN-9		2本杭	1D	70 / 45	3.5
Test SKN-10		4本杭	2D	70 / 45	3.5
Test SKN-11		半無限壁杭	0	70 / 45	3.5

キーワード 遠心模型実験, 側方流動, 群杭効果, 液状化, 斜面

連絡先 〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4054 西松建設技術研究所 : 046-285-7101 Fax : 046-285-7104

液状化層が、液状化層の上層付近の地盤流動を抑制していることが原因と考えられる。いずれのケースにおいても杭本数の配置条件の違いにより、地盤の剛性低下に伴う地盤の流動量の抑制効果を明確に確認できる。

3) 曲げモーメント分布

加振終了時の曲げモーメント分布

を図-4に示す。単杭ケースでは、2層地盤の境界付近の曲げモーメントは極めて小さく、非液状化層の拘束により、曲げモーメントの変曲点が2層地盤の境界より下の液状化層の中央部付近で現れていることが確認できる。これは、非液状化層では杭を押し返す受働状態となっていると推定できる（図-3参照）。一方、群杭ケースでは、杭本数の増大につれて、単杭ケースで非液状化層と液状化層の境界より下方（約6.5m）で発生していた負の最大曲げモーメントが減少傾向を示している。特に、4本杭、半無限壁式杭では正の曲げモーメント分布に転ずる様子が良く判る。

4) 杭の流動圧に関する群杭効果

図-5に、単層・2層地盤について杭本数と流動圧の合力の関係を示した。全液状化層のようにすり抜けしやすい単層地盤の場合でも、杭間隔を1Dの条件とすれば杭1本当当たりの流動圧が杭本数に比例して低減し、群杭効果が発揮されることを過去の実験²⁾で確認している。図のように、2本杭（2D）の場合では、単杭の0.9、1.3倍の流動圧合力が作用し、4本杭（1D）の場合でも単杭の流動圧を下回るとはいえ、両ケースともばらつきが多い傾向を示した。この理由については別報²⁾を参照されたい。

一方2層地盤では、流動圧合力は杭本数に比例していると考えられ、杭間隔によらず相関性が高いことが判る。これは非液状化層で杭が拘束されることにより、地盤流動の拘束効果がよりあらわれることを示唆している。したがって、2層地盤では2本以上で構成される群杭の場合、杭間隔が2D程度以下の条件であれば、地盤流動を抑制できることが言える。

5) 液状化層の流動圧分布と土圧係数

図-6にピーク時の流動圧分布を示す。液状化層の流動圧分布は液状化層中央部付近で最大となる弓なりの形状分布を示し、杭本数の増大に伴う流動圧の低減傾向が確認できる。また、最大流動圧を全応力で除して側圧係数を算定すると、2本杭では1.35、4本杭で0.69を示し、これに対し半無限壁式杭では0.32を示し、道路橋示方書³⁾で示されている流動力の土圧係数0.30とほぼ同じ値であった。

4. おわりに

今回の遠心模型振動実験の結果より、非液状化層を含む側方流動地盤の横断方向に配列された杭に関して、群杭効果による杭の流動圧の低減効果を明らかにし、この効果は杭本数と比例関係にあることを明らかにした。

【参考文献】 1) 濱田政則・若松加寿江：液状化による地盤の水平変位の研究，土木学会論文集，No.596 / -43, pp.189-208, 1998. 2) 今村眞一郎・平野孝行・萩原敏行・石原研而・塚本良道・今 広人：遠心力載荷振動実験による側方流動圧に関する群杭効果の評価，第37回地盤工学研究発表会，2002（投稿中）. 3) 道路橋示方書・同解説 耐震設計編：（社）日本道路協会，pp. 127-133, 2002.

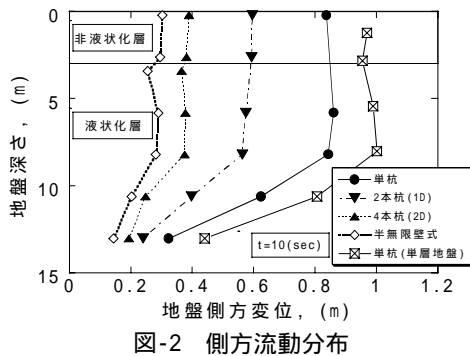


図-2 側方流動分布

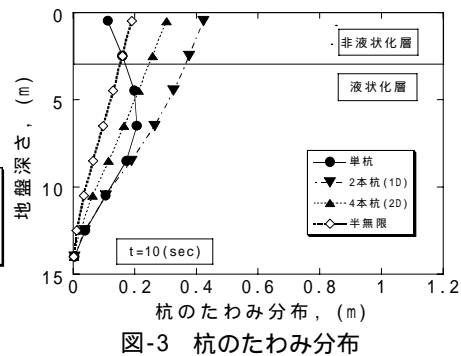


図-3 杭のたわみ分布

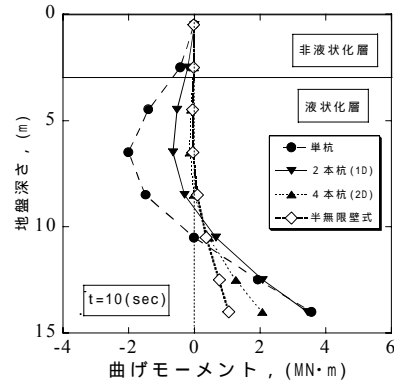


図-4 曲げモーメント分布

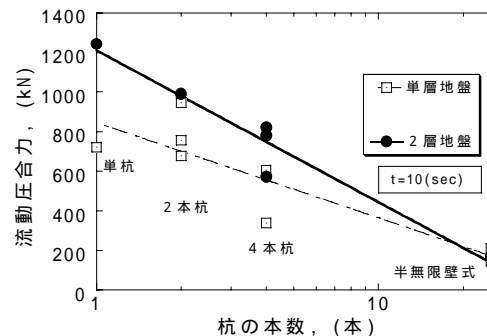


図-5 杭本数と流動圧合力の関係

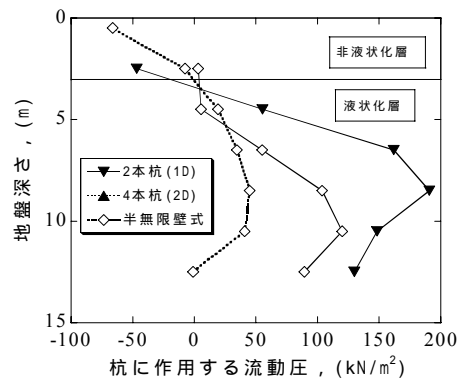


図-6 流動圧分布