

側方流動地盤中の単杭基礎に関する遠心模型実験

(株)大林組技術研究所 正会員 樋口俊一  
 山口大学工学部 正会員 三浦房紀  
 (株)大林組技術研究所 正会員 松田 隆

1. はじめに

液状化地盤内にある杭基礎に作用する外力は、地盤の物性が時々刻々変化するために非常に複雑となる。これまで液状化地盤中の杭の挙動に関する研究は多く行われているが、統一的に外力の評価を試みた例は少ない。このような観点から、本研究は液状化地盤から杭に作用する外力を評価するために、遠心場における振動実験を実施し、液状化発生から側方流動に至る一連の過程における杭の挙動を調べた。

2. 実験の概要

本実験では遠心重力  $30g (294m/s^2)$  場において、地表面が傾斜した飽和地盤模型を加振して液状化現象を誘起し、側方流動を発生させた。地盤の液状化により杭に作用する側方流動力に着目することから、模型地盤の地表面傾斜方向と加振方向は直角方向とした(図-1)。なお、模型地盤地表面の勾配は10%である。

表-1に実験ケースを示す。実験パラメータとして地盤の液状化の程度に影響を及ぼすと考えられる地盤の密度と入力加振波の最大振幅・波形形状を設定した。また、非液状化層の有無についても検討した。

表-1 実験ケース

ケース	1	2	3	4	5
地盤構成*	A	A	A	A	B
相対密度 $D_r$ (%)	40	40	80	40	40
入力波形**	1	1	1	2	2
最大入力加速度( $g$ )	12	4	12	12	12

\* 地盤構成A: 全層液状化層, 地盤構成B: 下部液状化層 + 上部非液状化層  
 \*\* 入力波形1: 60HzSin波振幅漸増, 入力波形2: 60HzSin波一定振幅

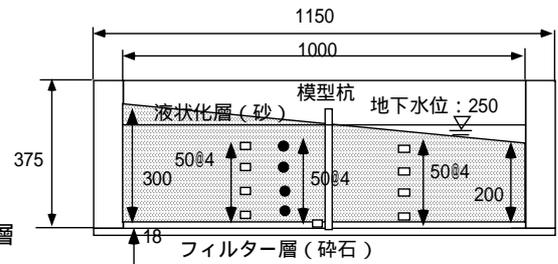


図-1 側方流動地盤模型(ケース1)

地盤内部および地表面には液状化時の地盤の応答性状と応答変位を把握するため、加速度センサーと間隙水圧計、変位計を設置した。図-2に模型杭を示す。模型杭はステンレス製中空パイプで、外径20mm、肉厚0.5mmである。杭は液状化地盤中で力を受けても弾性変形範囲内で挙動することを念頭に設計した。また、境界条件を明確にするため杭先端部は土槽底版に固定し、作用力の分布が把握できるように、側方流動方向に対し上下流方向6断面にひずみゲージを配置した。表面に大きな凹凸が出来ないように、ひずみゲージは杭の内面に取り付けられた。

3. 実験結果

実験で観察された代表的な知見を以下に示す。

- (a) 緩い地盤では側方流動地盤が杭をすり抜けるが(ケース1), 締め固めた地盤では地盤が杭を完全にはすり抜かず, 杭に残留変位が生じた(ケース3)。
- (b) 地盤が杭をすり抜ける場合(ケース1)でも, 杭が拘束される場合でも(ケース3), 杭基部には同じ程度の最大曲げモーメントが生じた。
- (c) 間隙水圧が徐々に上昇する場合(ケース1)と即座に上昇

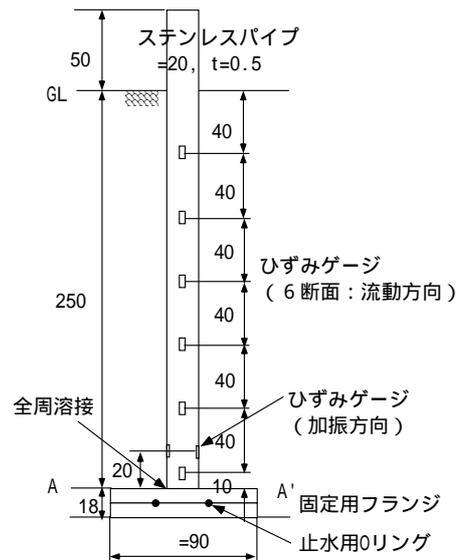


図-2 模型杭

Keywords: 液状化, 側方流動, 杭基礎

連絡先: (株)大林組技術研究所土木耐震構造研究室 郵便番号 204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640

Tel.0424-95-0947, Fax.0424-95-0909, e-mail higuchis@tri.obayashi.co.jp

する場合( ケース 4 )では加振後の残留変位はほぼ等しく、杭基部最大曲げモーメントもほぼ等しい。

表-2にそれぞれの実験ケースにおける計測結果を示す。

以上のような実験結果を踏まえて、本論文では側方流動地盤の動きと、杭に作用する力について考察する。

( 1 ) 杭に作用する外力分布の推定

図-3は杭基部の最大曲げモーメント発生時刻における杭の曲げモーメントの深度方向分布形状を3次関数で最小二乗近似し、それを2回微分して算定した外力の深さ方向の分布である。これよりケース1, 2, 4での外力分布は地表面で大きく、深くなると小さくなるのがわかる。一方ケース3では地表面に近い方が外力は小さくなっている。これらの差異は次のように説明できる。ケース1, 4では液状化地盤が流体的な性質を示すため、流動速度が大きい地表面に近いほど杭に作用する力が大きくなる。一方ケース3は地盤密度が高いため過剰間隙水圧比が1に達しても地盤が剛性を保ち、かつ地盤深部ほど地盤バネが大きいいため、地盤の変位が小さくても大きな力が作用する。

( 2 ) 側方流動地盤の挙動

図-4は地盤が完全に液状化して側方流動したケース1の、地中及び地表面の変位時刻歴を示したものである。図より、側方流動地盤の地中変位は地表面に近い方から始まり、大きさも大きいことがわかる。これは、地盤の液状化が表層付近から始まり、地中部に進展していくからである。本実験では全てのケースで同様の液状化発生パターンとなった。

図-5は地盤が完全に液状化した時刻での、ケース1とケース4の地盤の流動速度をプロットしたものである。地盤の流動速度は、変位計の時刻歴を数値微分して求めた。図のように、地盤の流動速度は同じ地盤条件でも、振動実験の入力波形により異なっている。

一方、液状化地盤の粘性係数が同じだと仮定すると、ケース1と4では流動速度分布が異なるため杭に作用する力も異なるはずであるが、表-2に示した杭基部の最大曲げモーメントの大きさは両者で大きな差異は見られない。これは、濱田ら<sup>1)</sup>が指摘した側方流動地盤の粘性係数のひずみ速度に依存した非線形性によるものと考えられる。

4 . あとがき

現在耐震設計に取り入れられている杭基礎等に作用する側方流動による外力は、静止土圧分布を仮定しているのが一般的である。一方、この実験ではそれは地盤密度等によって流体的な分布又は土圧的な分布を示すことが示唆された。今後、実験結果のさらなる分析により杭基礎等に作用する側方流動外力の評価を進める。

なお本研究は、「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」の一環として実施されたことをここに記し、関係各位に謝意を表する。

表-2 各実験ケースでの代表的な計測値

ケース	1	2	3	4	5
過剰間隙水圧比	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0
地盤変位(mm)	47.1	13.6	24.1	51.1	17.0
杭残留変位(mm)	0.0	0.3	0.9	0.0	4.0
杭基部最大曲げモーメント(Nm)	19.2	8.3	18.3	20.5	42.0

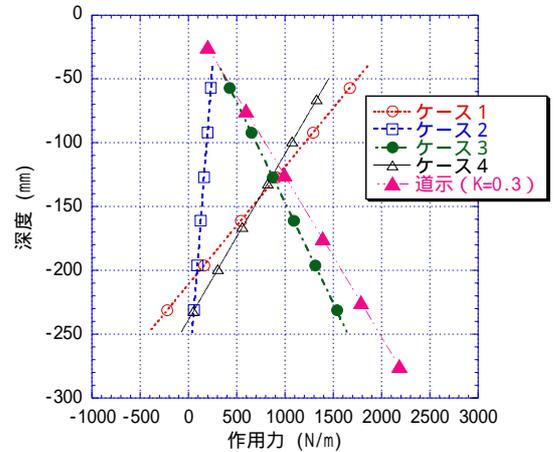


図-3 杭基部の最大曲げモーメント発生時刻において杭に作用する外力の深度分布

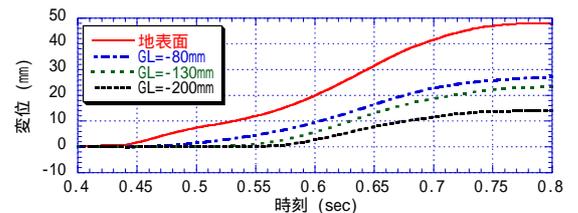


図-4 地表面及び地中変位の時刻歴 ( ケース 1 )

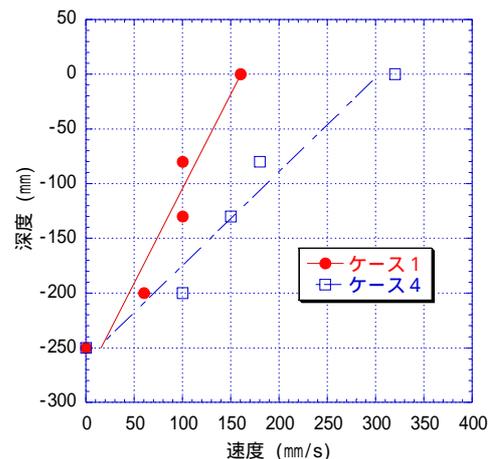


図-5 地表面及び地中の地盤流動速度

参考文献 .

1) 濱田ら：液状化土の流動特性に関する研究，土木学会 第2回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集，pp261-266，2001.3 .