

# 液状化地盤の流動が群杭基礎構造に及ぼす外力特性に関する研究

早稲田大学大学院 学生会員 高橋 祐幸 清水建設 正会員 張 至鎬  
 大林組 正会員 樋口 俊一 早稲田大学 フェロー会員 濱田 政則

## 1. はじめに

1964年新潟地震や1995年兵庫県南部地震などの既往の地震において、液状化地盤が水平方向に移動する現象、いわゆる側方流動が杭基礎などの地下構築物に大きな被害を及ぼした。既往の研究では、単杭による基礎構造模型に作用する流動外力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<sup>1)</sup>。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、重力場における群杭による基礎模型を用いた流動実験を行い、流動外力が単杭に比べ、どのように変化するのかを検討した。

## 2. 実験概要

実験は、図-1に示す長さ250cm、高さ100cm、奥行き150cm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した。土槽は振動台に一定の傾斜角(5%)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に示すように水圧計を群杭の外側(W1~W12)と内側(W13~W15)、土槽の流動方向(AF)と加振方向(AS)に加速度計を設置した。地表面にはレーザー変位計(H1, H2)を設置し、変位の時刻歴を測定した。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/mm<sup>2</sup>)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)から5.0Dまで変化させた実験(case1~case4)および、各杭が互いに影響しない間隔と考えられる10.0Dの実験(case5)、単杭による実験(case6)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3Hz、最大振幅260galとした。実験条件は表-1に示すとおりである。

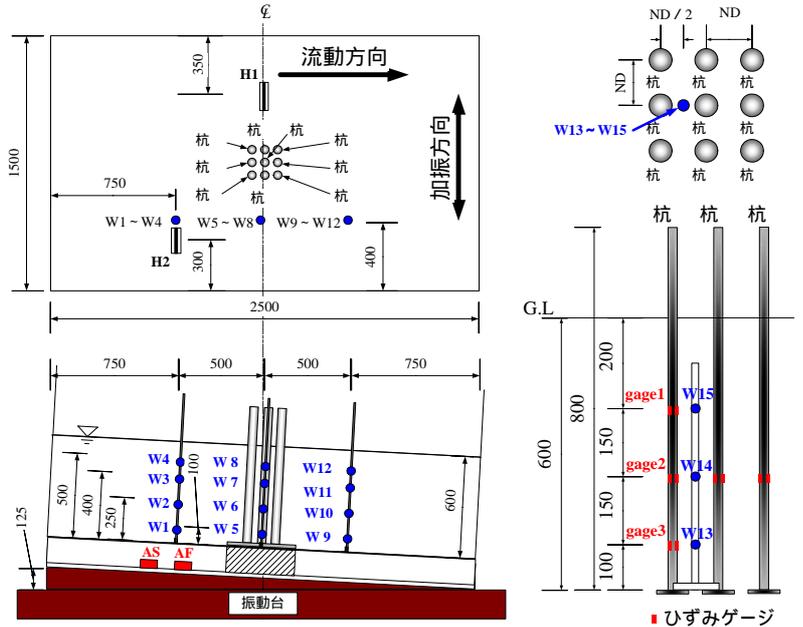


図-1 模型地盤の概要と模型杭

表-1 実験条件

実験名	杭間隔 (cm)	相対密度 (%)	加振加速度 (gal)
case1(2.5D)	5.0	46.1	263
case2(3.0D)	6.0	42.2	260
case3(4.0D)	8.0	49.3	259
case4(5.0D)	10.0	45.3	259
case5(10.0D)	20.0	47.2	261
case6(単杭)	-	40.4	259

## 3. 計測値の時刻歴の比較

図-2, 3に実験結果の一例として、杭間隔が3.0Dの場合(case2)と5.0Dの場合(case4)で得られた各計測値の時刻示す。同図には、群杭外側に設置した水圧計(W6)群杭内側に設置した水圧計(W14)、杭杭に設置したレーザー変位計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のgage1からgage3の位置における曲げモーメントを示した。

図-2によれば、地表面速度は加振開始から約2.0秒で最大を示しており、その後は減少している。模型杭の曲げモーメントは、地盤の流動速度が増加する実験の前半部においては大きく増加するがその後は急激に減少し、加振開始から5秒付近では杭の曲げモーメントはgage1からgage3までほぼ0に収束している。一方、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に達しており、速度、曲げモーメントの最大値の時刻に一致している。図-3からも同様の傾向が見られる。これ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。

キーワード 液状化, 側方流動, 流動外力, 群杭, 杭間隔

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学 濱田研究室 TEL03-5286-3147, hiroyuki-t@fuji.waseda.jp

#### 4. 杭の配置が流動外力に与える影響

流動方向に対して杭に発生する曲げモーメントがどのように変化するかを検討する。配置されている9本の杭の中で最大の曲げモーメントを発生した杭によって、その他の杭を正規化した。流動方向に配置されている杭、の最大曲げモーメントに対する低減率を図-5(a)に示す。道路橋示方書では、荷重方向に対して前列の杭から後列にいくほど荷重分担が小さくなるとされているが、本研究では杭間隔によらず、発生する曲げモーメントの大きさは、上流 下流 中流の順になっている。流動直角方向にも同様の検討を行い、上流側に配置されている杭、の結果を図-5(b)に示す。流動直角方向に対して外側に配置されている杭と杭に比べて内側に配置されている杭に発生する曲げモーメントは大きく低減しており、杭間隔を変化させても同様の傾向が見られる。5.0Dに関しては、杭に発生している曲げモーメントが杭に比べて、低減している結果となっているが、これは模型地盤の表面が均一でなく流動方向に対して対称に流れが発生しなかったことが原因であると考えられる。流動方向、流動直角方向ともに、内側に配置されている杭に発生する曲げモーメントは低減しているという結果が得られた。この理由として、過剰間隙水圧比が1.0に達した状態の地盤は、流体に近い性質を持ち流動の妨げになる物体がある場合流動速度が低減されていることが考えられる。

#### 5. 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(case1からcase5)を単杭における実験(case6)の時刻歴の最大値で正規化を行い、各実験ケースの低減率の値を比較する。単杭に発生する曲げモーメントに対する各杭の低減率を図-5に示す。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率に影響はなく一定の値となる事が確認できる。各杭同士が互いに影響しないと考えられていた間隔10.0Dの実験結果を見ると、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、単杭と比較すると低減している。2.5Dから5.0Dの単杭に発生する曲げモーメントの低減率の平均値一覧を表2に示す。流動方向に対して概ね対称な低減率となっている事から、安定した流動が発生していることが確認できる。一般的に、杭間隔が5.0D以下になると群杭の影響が現れ、杭間隔が小さくなるほど単杭に対する変化が著しくなるとされているが、液状化地盤は群杭間も液体として流動し、杭間隔による影響は固体の場合に比べ小さいという結果が得られた。

表2 単杭に対する低減率の平均値

杭	杭	杭
0.32	0.15	0.24
杭	杭	杭
0.19	0.06	0.14
杭	杭	杭
0.29	0.16	0.22

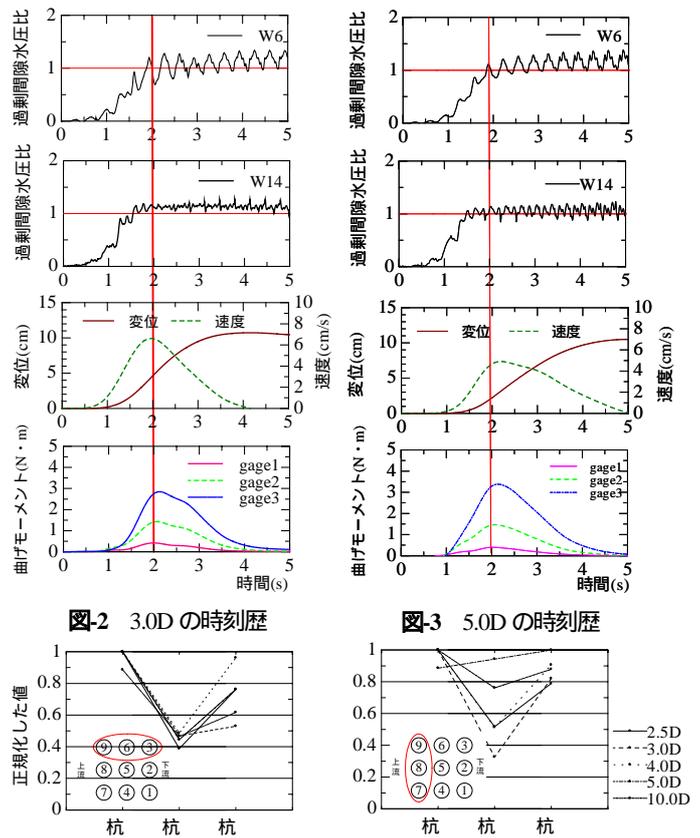
#### 6. まとめ

本研究は重力場における群杭模型を用いた流動実験を行い、以下の知見が得られた。

- ・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。
- ・各杭に発生する曲げモーメントは、流動方向に対して上流側に配置させている杭が最も大きく、次いで下流、中流の順で低減される。流動直角方向に対する低減効果は両端に配置されている杭は、中央に配置されている杭に対して大きな曲げモーメントが発生する。
- ・群杭において杭間隔を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。

#### 参考文献

- 1) 張至鎔, 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/ -68, pp191-201, 2004.7



(a) 流動方向における比較 (b) 流動直角方向における比較

図4 杭の配置が流動外力に与える影響

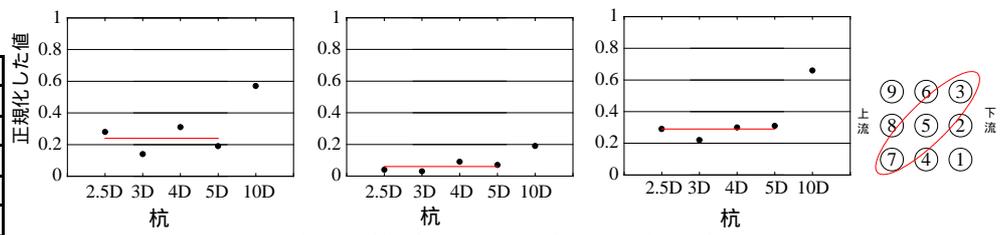


図5 杭間隔が曲げモーメントに与える影響の比較