

群杭に作用する液状化地盤の流動外力特性についての実験的研究

早稲田大学大学院
早稲田大学学生会員 ○東條 紀明
フェロー会員高橋 祐幸 藤澤 惣
濱田 政則

1. はじめに

1964 年新潟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、完全に液状化した地盤において単杭に作用する流動外力は地盤流動速度に起因していることが示されている。流動の影響を耐震設計法に反映させるためには、群杭構造に作用する流動外力の特性を明らかにする必要がある。本研究では、まず拘束圧の小さい重力場で実験を行い、その後拘束圧の大きい遠心载荷場において実験を実施した。そしてそれぞれの群杭構造に作用する流動外力に関する流動実験をもとに、群杭に作用する流動外力特性について検討した。

2. 群杭を設置した模型実験

(1) 重力場における模型実験概要

図-1に示すように、長さ250cm 高さ100cm 奥行き150cmの剛土槽を用いた。模型地盤の層厚は60cmとし、ボイリングによって液状化層のみの飽和地盤を作成した。土槽は振動台に傾斜5%で固定されており、流動方向と直角な水平方向に加振させることで液状化させ、地盤の流動を発生させた。水圧計を群杭の外側(W1~W12)と内側(W13~W15)に設置し、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、3本×3本の正分配列とし、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、パイプ内部にひずみゲージを設置した。実験ケースは表-1に示すとおりである。

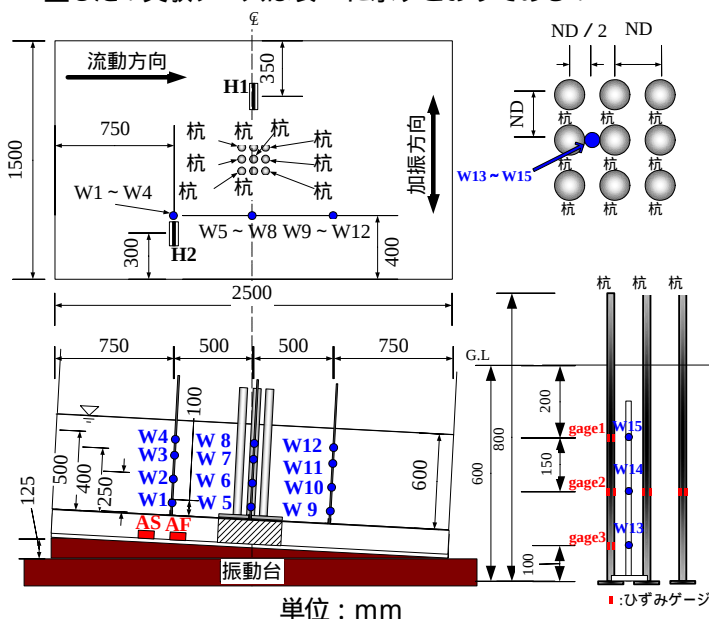


図-1 模型地盤の概要および計測器の配置

表-1 実験ケース

caseNo.	杭間隔		相対密度	加速度
	—	cm	%	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	単杭		40.4	259

(2) 遠心载荷場における模型実験概要

図-2に示すように、実験は長さ100cm、高さ100cm、奥行き37.5cmの剛土槽を用いた。模型地盤は上流側の層厚が30cm、下流側の層厚が20cmとし、砂を空中落下させることによって液状化層のみの飽和地盤を作成した。地表面傾斜は10%とし、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させ、地盤の流動を発生させた。なお、遠心加速度は30gである。模型杭は3本×3本の正分配列とし、ステンレス製の中空パイプ(外径20mm, 肉厚0.5mm, 弾性係数210kN/mm²)で、パイプ内部にひずみゲージを設置した。実験ケースは表-2に示すとおりである。

表-2 実験ケース

caseNo.	杭間隔			相対密度	加速度	
	—	cm	実地盤換算cm	%	m/s ²	実地盤換算Gal
case6	5.0D	10.0	300.0	37	115	384
case7	2.5D	5.0	150.0	38	118	393
case8	2.5D	5.0	150.0	39	133	442
case9	単杭			44	135	450
case10				41	136	453
case11				43	135	450

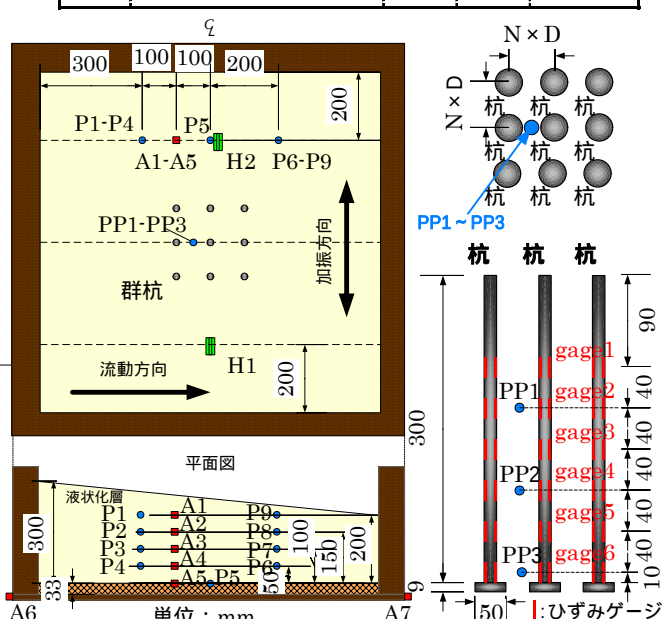


図-2 模型地盤の概要および計測器の配置

キーワード 液状化, 側方流動, 杭基礎, 流動外力, 群杭

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 E-mail: n.tojo@ruri.waseda.jp

(3) 実験結果

図-3, 4 に実験結果の一例として, case1(重力場)と case8(遠心载荷場)(いずれも杭間隔 2.5D) で得られた各計測値の時刻歴を示す。同図には, 群杭外側の水圧計(W5 及び P5) 群杭内側の水圧計(W13 及び PP3), 杭横に設置したレーザー変位計 H1 より求めた流動変位と速度, 上流外側に配置されている杭の曲げモーメントを示す。これらによれば, 群杭外側と群杭内側の過剰間隙水圧比はどちらの実験ケースもほぼ 1.0 に達し, 地盤全体が液状化しており, その後に, 流動速度および杭の曲げモーメントが最大値を示している。

また, 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する。このことより, 完全に液状化した地盤内において, 群杭構造に作用する流動外力は地盤流動速度に起因する力が卓越していると考えられる。

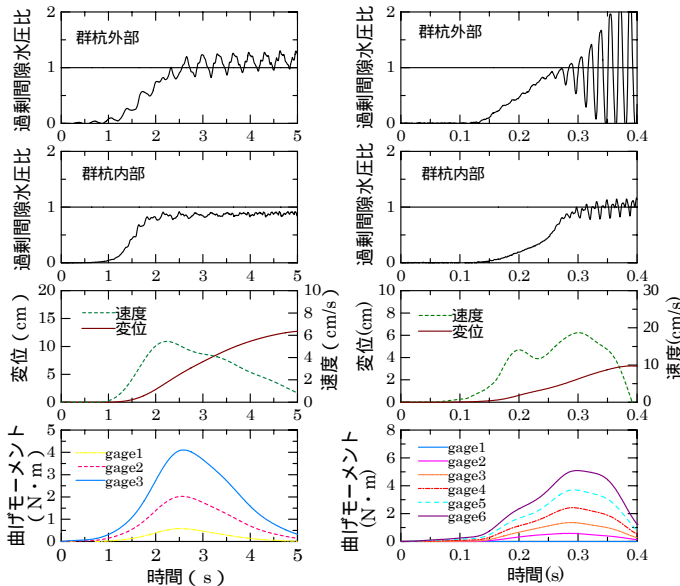


図-3 重力場の時刻歴

図-4 遠心载荷場の時刻歴

3. 群杭に発生する曲げモーメントの分布

各ケース 9 本の杭の中で最大の曲げモーメントが発生している杭によって, その他の杭の曲げモーメントを正規化する。いずれのケースも模型杭の中央の値を用いている。図-5 に流動直角方向の結果を, 図-6 に流動方向の結果を示す。なお, 重力場と遠心载荷場それぞれ杭間隔 2.5D および 5.0D の結果である。図-6 によると, 上流および中流ともに外側の杭がほぼ等しい値を取っているのに対し, 中央の杭は外側の杭より小さい。ただ外側の杭の値に多少の差が見られるのは, 実験時の地盤形成による誤差と考えられる。また, 遠心载荷場における中流の曲げモーメントは中央の杭の値が大きく, 外側との差が小さい傾向があることがわかる。図-6 では, 全てのケースにおいて上流, 下流・中流の順に大きい値を示した。この理由として, 液状化地盤は流体に近い性質を持ち, 流動を抑制する物体がある場合, 流動速度が低減することが考えられる。

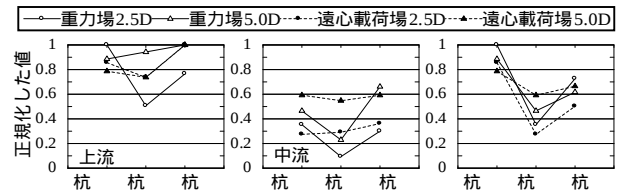


図-5 流動直角方向

図-6 流動方向

4. 杭間隔の変化が曲げモーメント与える影響

杭間隔の変化が各杭に発生する曲げモーメントに与える影響を検討する。群杭を設置した実験(case1~case8)の各杭 9 本に発生する曲げモーメントの最大値を単杭における実験(case5 及び case9~case11)の曲げモーメントの最大値で正規化した。なお, いずれのケースも模型杭の中央の値を用い, 同条件のケースについては平均値を用いた。その結果を図-7 に示す。

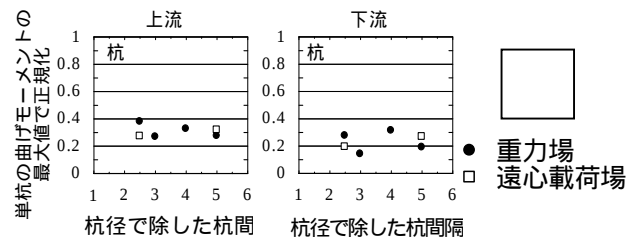


図-7 杭間隔が流動外力に与える影響

図-7 によると, 拘束圧の大きさに関わらず, 流動方向に対して上流側と下流側に設置してある杭には, 杭間隔の相違が発生する曲げモーメントに与える影響は小さく, 単杭に対する比は概ね一定の値となる。上流側・下流側に関して, 本研究で行った杭間隔 2.5D から 5.0D までは隣接している杭による抑制効果の影響範囲がほぼ等しいことが推察される。

5. まとめ

- () 群杭内側の地盤も群杭外側と同様に液状化が発生した場合, 模型杭には地盤流動速度に起因した流動外力が作用する。
- () 群杭に発生する曲げモーメントの分布は, 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。流動直角方向に注目すると, 外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。
- () 流動方向に対して上流および下流に配置されている杭に発生する曲げモーメントは, 重力場でも, 拘束圧の小さくなった遠心载荷場の実験においても, 杭間隔の相違によって受ける影響は小さい。

6. 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/ -68, pp191-201, 2004.7
- 2) 高橋祐幸, 濱田政則: 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, 土木学会第 61 回年次学術講演会, 3-294, 2006.9