

液状化地盤中の杭基礎に作用する地盤変形の影響に関する遠心力模型実験  
 （その3 群杭基礎に作用する土圧）

長岡技術科学大学 学生会員 尾山康弘

（元（独）土木研究所実務訓練生）

（独）土木研究所 正会員 田村敬一 岡村未対

正会員 谷本俊輔 小野和行

**1. はじめに** 液状化した地盤と杭基礎の動的相互作用の問題については、これまで多くの研究<sup>1)</sup>が行われているがまだ十分に解明されておらず、研究途上の段階である。また、兵庫県南部地震では、杭頭部付近のみならず液状化層内部でも被害が報告されている。この液状化層内での被害は、液状化した地盤の変形に伴う土圧の影響であることが多くの研究で報告されているが、杭基礎に作用する土圧については未解明な点が多く残されている。

そこで本研究では、液状化した地盤と杭基礎の相互作用に着目した遠心力模型実験を行い、群杭基礎に作用する土圧の発生メカニズムについて検討を行った。

**2. 実験概要** 実験では、地盤のせん断変形に対する拘束を低減するためにステンレス製のせん断土槽（内寸 0.75m × 0.38m × 0.50m）を用い、33Gの遠心力場で一方向に加振した。土槽内には地盤変形により発生する土圧を精度よく計測するために、ロードセルを内蔵した杭模型を設置し、振動台上に剛結した反力フレームに杭頭を固定、杭先端は土槽底面に固定した。この杭は、上下端を固定されたステンレス板（幅 23mm × 厚さ 6mm）と、外径 30mm で高さ 45mm のパイプ 6 段から成り、パイプをロードセルを介してステンレス板に固定した。杭模型は、3 列 × 3 列（9 本）の群杭形式とし、杭中心間隔は 2.5D とした。また、地盤内には加速度計、間隙水圧計等を図-1 に示す位置に設置した。

模型地盤は、豊浦砂を用いて空中落下法により作成し、表-1 に示す実験ケースごとに目標相対密度を 40%、70% とした。地盤表面は遠心加速度を 33G まで上昇する過程、および加振により沈下した。そのため、表-1 に示した相対密度は、地表面沈下量を考慮して求めた地盤全体の平均的な相対密度である。また Case1 ~ 4 は、単杭形式の実験ケースであり詳細は参考文献 2) で示す。間隙水は、水の 33 倍の粘性に調整したメトロース水溶液を用い、真空槽内で浸透させて飽和地盤を作成した。

全実験ケースについて、図-2 に示すスイープ波を入力した。図-2 のうち、4.5 ~ 6.5 秒の部分は地盤を液状化させるための正弦波である。10.5 ~ 32.5 秒の間は、加速度振幅が一定、周波数が 4Hz から 1Hz まで変化するスイープ波形であり、時間とともに速度および変位の振幅が増加する。

**3. 実験結果** 実験結果の値は全て実物換算している。本研究では、地盤が完全に液状化した後、すなわち過剰間隙水圧が有効上載圧と等しくなった時刻以降について検討を行った。図-3 には、Case5-1 および Case6-1 の過剰間隙水圧の深度方向分布を時刻ごとにプロットしたものを示す。この図より、Case5-1 および Case6-1 とともに加振開始後 12 秒程度で地盤内が完全に液状化していることが確認できる。以下では、この時刻以降のデータを用いて整理を行っている。

キーワード：遠心力模型実験、液状化、群杭基礎、地盤変形、動水圧

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 6, TEL 029-879-6771 FAX 029-879-6735

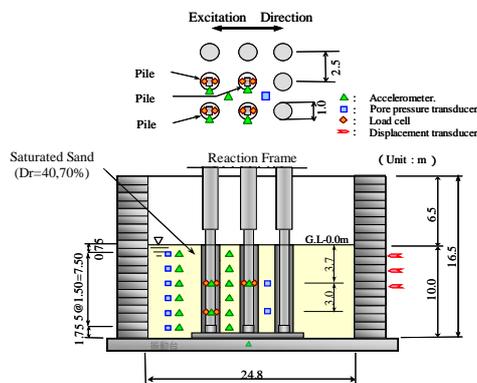


図-1 実験模型概要(原型スケール)

および計測器配置

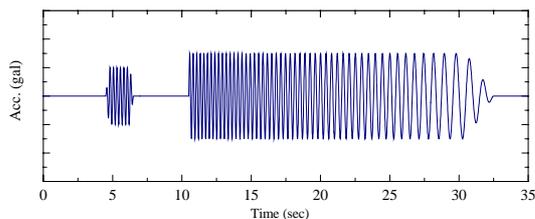


図-2 入力波形

表-1 実験ケース

Case	加振Step	相対密度 (%)	V <sub>s</sub> (m/sec)	間隙水	加振Level (gal)	杭形式
1	1	52	93	水	150	単杭
	2	65	110		400	
	3	74	165		500	
2	1	74	170	"	150	
	2	85	200		400	
3	1	46	150	メトロース水溶液	150	
	2	53	-		400	
4	1	71	92	"	150	
	2	77	-		400	
	3	82	180		500	
5	1	48	-	"	150	群杭
	2	78	173		400	
6	1	78	173	"	150	
	2	88	205		400	

3.1 動水圧としての土圧の評価 参考文献 2)では、単杭形式で杭基礎と流体的な地盤の相対変位が十分に小さい場合、杭基礎に作用する土圧は、流体中の円柱構造物に作用する地震時動水圧的な圧力で概ね評価できることを明らかにした。そこで本研究では、一般的に用いられる杭基礎形式である群杭形式の場合について、土圧 - 杭加速度との関係を考察する。ここで土圧は、ロードセル計測値をパイプの直径と高さで除したものである。

図-4 には、Case5-1 の GL-3.70m で計測した土圧と、同深度において杭に取りつけた加速度計から得られた杭加速度の時刻歴を示す。この図より、両者の波形および位相はよく一致しており、杭加速度に比例した土圧が杭に作用していることが分かる。さらに図-5 には、杭 および杭 の土圧-杭加速度履歴関係を示す。図中には、参考文献 2) に準じた地震時動水圧の評価式も合わせて示す。この図より、杭加速度に比例した土圧は、その評価式に概ね一致していることが確認できる。以上のことから、群杭形式の場合でも、杭に作用する土圧には、地盤が杭に動水圧として作用する成分が存在することが確認できた。

3.2 杭位置による作用土圧の違い 一般に群杭形式の場合、杭相互の干渉により、各杭の荷重分担が異なる。すなわち、荷重作用方向に対し、前列の杭から後列、両側の杭から中央の杭という配列で荷重の分担率が小さくなることが知られている。そこで、杭加速度に比例した土圧の作用分布を調べた。

図-6 は、杭に作用する土圧が、杭加速度と比例関係となる範囲について、土圧 - 杭加速度関係の傾きを杭位置ごとにプロットしたものである。さらに、図中には、同深度における単杭形式の Case3-1 および Case4-1 の結果も合わせて示してある。この図から分かるように、杭位置による作用土圧の違いはほとんど見られない。さらに単杭形式の場合と比較しても、明確な差はみられない。これは、以下のように説明できる。すなわち、図-6 では杭加速度に比例した動水圧的な土圧のみに着目しており、この時杭 - 地盤の相対変位は杭径のおよそ 5% 程度以下と小さい。したがって、地盤のせん断ひずみ振幅レベルも小さく、土は剛性の極めて小さな挙動を示す範囲にある。そのため、杭に作用する土圧は、液状化した土の重量と杭加速度のみの影響により生じるものと考えられる。また、この図には参考文献 2) に示す動水圧の値も示しているが、実験値はその 2 倍程度となっている。

4.まとめ 液状化した地盤の変形に伴い群杭基礎に作用する土圧に着目し、遠心力模型実験を行った結果、以下の知見が得られた。すなわち、地盤剛性の回復が卓越しない流体的な挙動を示す場合、杭加速度に比例して発生する土圧は、杭間隔が 2.5D の場合は杭本数の違いによらず地震時動水圧で概ね評価できる。また、その土圧は、杭位置および杭形式によって明確な差が見られないことを明らかにした。

【参考文献】1)例えば、鈴木、安達：液状化地盤における杭の地盤反力に関する実験的検討、第 36 回地盤工学研究発表会講演論文集、2001 年 6 月 2)小野、田村、岡村、谷本：液状化地盤中の杭基礎に作用する地盤変形の影響に関する遠心力模型実験(その 1,2)、第 38 回地盤工学研究発表会講演論文集、2003 年 7 月（投稿中）

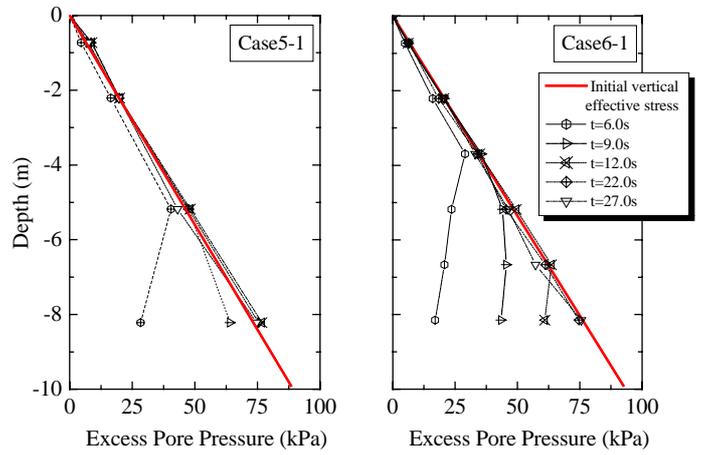


図-3 過剰間隙水圧の深度方向分布

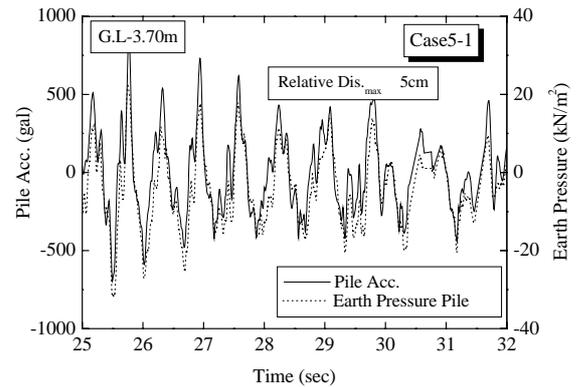


図-4 土圧、杭加速度時刻歴

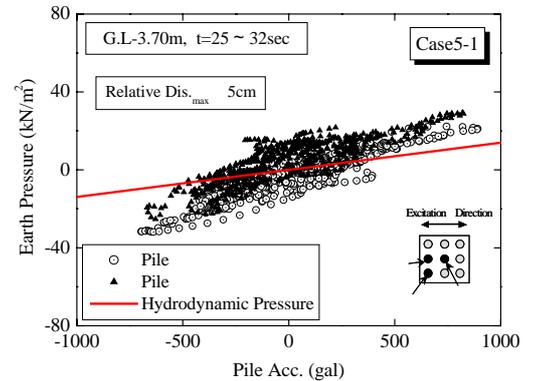


図-5 土圧-杭加速度履歴関係

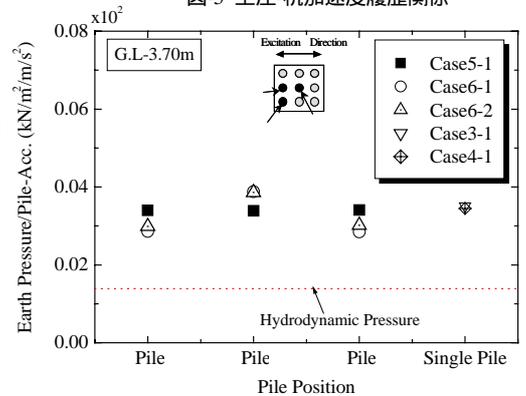


図-6 杭位置による土圧の違い