

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4 杭加速度に比例する土圧評価法の提案）

（独）土木研究所 正会員 小野和行 田村敬一  
 " 正会員 岡村未対 谷本俊輔  
 長岡技術科学大学 学生会員 尾山康弘

**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。このような背景を踏まえ、参考文献 1)、2) においては、群杭基礎に作用する土圧について考察し、杭加速度に比例する土圧を定量的に評価した。この関係は、杭基礎と地盤の相対変位が小さな範囲で成り立つものである。そこで本稿では、単杭基礎に加え、群杭基礎についても遠心力模型実験を行い、土圧が杭加速度に比例する範囲を明らかにするとともに、液状化地盤中の杭基礎設計法の一試案の提案を行う。

**2. 実験概要** 実験では、ステンレス製のせん断土槽（内寸 0.75m×0.38m×0.50m）を用い、杭基礎を設置した飽和地盤を 25G の遠心力場で一方向に加振した。図-1 に単杭基礎の実験模型概要および計測器配置を、表-1 には実験ケースを示す。ここで、群杭基礎の詳細については参考文献 1) を参照されたい。

杭模型は、25mmの角鋼の外周に、ロードセルを介して外径 42.3mm、高さ 60mmの円筒パイプを6段固定することにより、ロードセルを内蔵した構造とした。杭頭は、振動台上に剛結した反力フレームに、杭先端は土槽底面に固定した。地盤模型は、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。間隙水には、水の25倍の粘性に調整したメトローズ水溶液、または水を使用した。全実験ケースについて、参考文献 1)と同様のスイープ正弦波を入力した。

**3. 実験結果** 著者らは、遠心力模型実験<sup>2)</sup>の結果から、完全に液状化した地盤では、地盤変形に伴い杭基礎に作用する土圧が、地震時動水圧に相当する杭加速度に比例するものと、杭周りの流れによるものの重ね合わせによって表すことができることを明らかにしている。その杭周りの流れに起因する土圧は、杭周辺部の液状化した土の特性に強く依存し、各加振サイクルの中でせん断ひずみがある程度以上大きくなり、サイクリックモビリティにより土の剛性が回復すると急激に大きくなる。図-2 は、単杭基礎である Case1-3 の G.L.-2.25m において、測定した土圧 P から杭加速度に比例する土圧成分を控除した土圧 P' [kN/m<sup>2</sup>] (=P - 0.051 × Acc.[gal]); ケースおよび深度ごとに1次関数にて近似している)を、相対速度および相対変位に対してプロットしたものである。相対速度は、地盤加速度と杭加速度の差を1回積分、

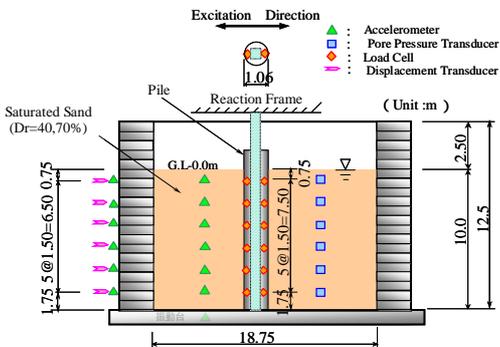


図-1 実験模型概要(原型スケール) および計測器配置

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	メトローズ水溶液		150
2		53	-	400			
4	1	71	92	"	150		
	2	77	-		400		
	3	82	180		500		
5	1	48	-	"	150		
	6	1	78		173	150	
		2	88		205	400	

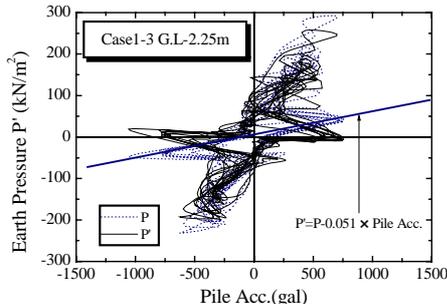


図-2(a) 土圧 P'-杭加速度履歴曲線

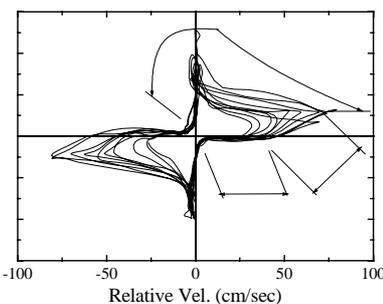


図-2(b) 土圧 P'-相対速度履歴曲線

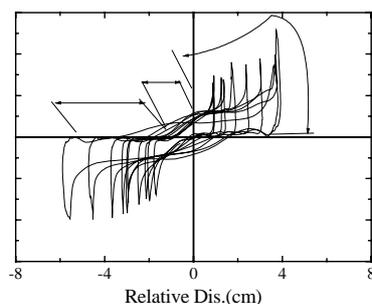


図-2(c) 土圧 P'-相対変位履歴曲線

キーワード：遠心力模型実験、液状化、杭基礎、相対変位、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

相対変位は2回積分して求めた地盤と杭の相対速度および相対変位である。図-2(b)および(c)の区間は、土圧  $P'$  がほぼゼロ、すなわち土圧  $P'$  が杭加速度に比例している区間である。その後、相対速度および相対変位の増加とともに土圧  $P'$  が増加する区間、が見られる。

**3.1 土圧と杭加速度の関係** 杭に作用する土圧が、杭加速度に比例するのは地盤 - 杭の相対変位がある程度小さく、かつ土が剛性の極めて小さな挙動を示す範囲に限られる。そこで、土圧が杭加速度に比例する地盤 - 杭の相対変位の範囲を調べた。

本研究では、地盤が完全に液状化した状態を対象としており、過剰間隙水圧が有効上載圧に達した直後からのデータを用いた。図-3には土圧  $P'$  と相対変位の関係を模式的に示す。この図は、図-2に示すように杭加速度に比例する区間、すなわち土圧  $P'$  がゼロの区間に着目したもので、その範囲の変位量を限界相対変位 ( $D_L$ ) とする。図-3(a)のように相対密度および相対変位が小さい場合には、土圧  $P'$  が増加しはじめるまでに要する相対変位量(区間の変位量)は、図-3(a)の限界相対変位量よりも大きい。一方、図-3(b)のように相対密度および相対変位が大きいケースの土圧  $P'$  -相対変位関係の場合には、加振中に限界相対変位は徐々に増加していく。以上のことより、相対密度ごとの限界相対変位の範囲を明らかにするために、地盤が液状化した直後と加振終了直前 ( $t=31$  秒) の限界相対変位を図-4に示す。この図は、限界相対変位を杭径で無次元化し、相対密度との関係を示したものである。図中の白抜き記号で示すデータは、図-3(b)のような剛性回復が生じなかったケースである。この図から確認できるように、液状化直後では、 $Dr=80\%$  程度の地盤では、少なくとも杭径の約3%まで、 $Dr=50\%$  程度では、杭径の約5%までの限界相対変位の範囲で土圧が杭加速度に比例する。また、限界相対変位の上限值は液状化直後の2倍程度であり、その値以上では土圧は杭加速度に比例せず、相対速度および相対変位に依存することとなる。

**3.2 土圧評価法の提案** ここでは地盤変形のみに着目し、前述の杭加速度に比例した土圧が杭に作用する場合の土圧の評価法を提案する。図-5に示すように、液状化層での  $D_s$  (地盤変位) および  $D_p$  (杭変位) から地盤 - 杭の相対変位を求め、図-4の限界相対変位により、この評価法の適用性を判断する。地盤 - 杭の相対変位が限界変位以下の場合、杭加速度に比例し、杭位置によらずおよそ  $35 [kN/m^2/G]$  <sup>1)</sup> の土圧を杭に作用させる。このとき、液状化層では突出杭として扱うものとする。

今後の課題として区間、での地盤変形の影響、さらには上下部構造の連成を考慮した土圧の評価法の検討が必要である。

**4. まとめ** 液状化した地盤変形に伴い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。その結果、杭加速度に比例した土圧を定量的に示した。すなわち、その影響範囲を地盤の相対密度ごとに地盤 - 杭の相対変位レベルで示し、液状化に伴い発生する地盤変形の影響のうち杭加速度に比例する土圧の評価法の提案を行った。

【参考文献】1)尾山、田村、岡村、谷本、小野：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) 第58回年次学術講演会論文集、2003年9月(投稿中) 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)

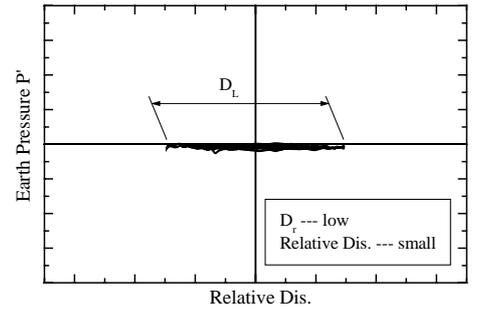


図-3(a) 土圧  $P'$  -相対変位の関係

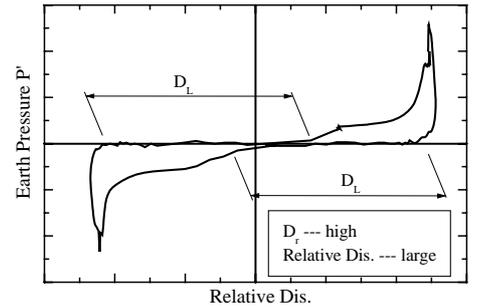


図-3(b) 土圧  $P'$  -相対変位の関係

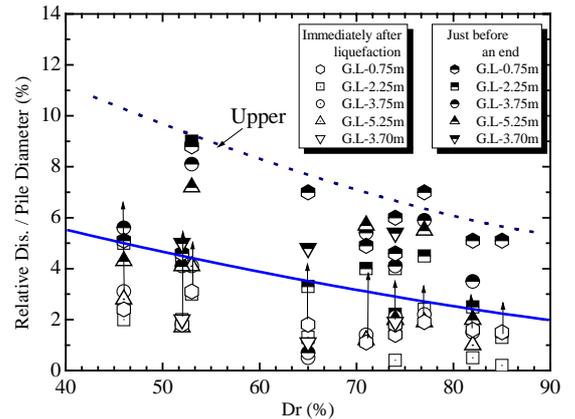


図-4 相対変位と  $Dr$  の関係

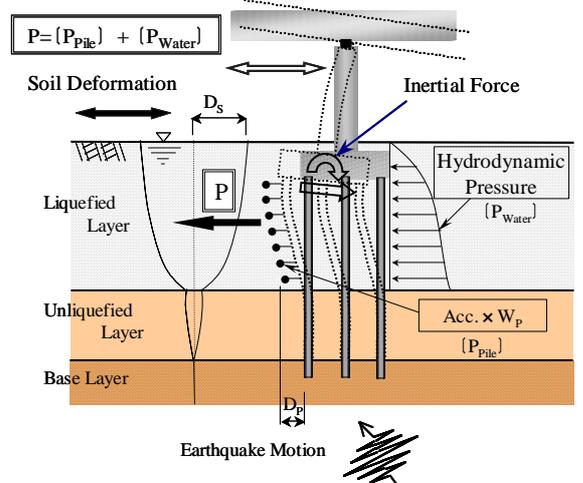


図-5 設計法の概念