

東京工業大学 ○園田勝志  
武智工務所 山下啓明 細川義隆  
東京工業大学 時松孝次

【はじめに】

液状化過程における杭構造物地盤系の相互作用についての実験研究は現在まで数多く行われて来た。しかし、それらの多くは正弦波による定常加振実験であり、液状化過程における複雑な杭構造物地盤系の相互作用の影響を見落している可能性がある。そこで、本研究では比較的大型の杭構造物地盤系模型に対する振動台実験を不規則波でも行うことにより、液状化過程における杭構造物地盤系の相互作用を明らかにすることを目的としている。

【実験の概要】

杭構造物地盤系模型は図-1に示す大型せん断土槽(4m×2m×2m)内に作成した。せん断土槽は高さ8cmの角パイプを25段積み重ねたもので、地盤のせん断変形を拘束しないようになっている。杭構造物模型は、直径4.86cm・肉厚3.2mm・長さ2mの鋼管4本を、正方形に組んだフランジの四隅に溶接したもので、先端は振動台上にボルトで固定、頭部には270kgの重りをボルトで固定してある。杭構造物系の空中および水中加振時の固有周期はどちらもほぼ2.7Hzであった。模型と実物の相似則と相似比を表-1に示す。

砂地盤はせん断土槽にあらかじめ杭及び水を入れておき、そこに砂(珪砂6号)を投入して作成した。砂の物理定数を表-2に示す。砂地盤作成後、杭頭部の重りを取り付け、約15時間放置した。その後コーン貫入試験・せん断波速度の測定・杭の水平載荷試験等を行い、最終的に水平振動による液状化実験を行った。水平加振は、5Hzの正弦波約20波および不規則波により行なった。不規則波には、相似則にあわせて時間軸を短縮したタフト波(E-W成分)を用いた。実験中、加速度・変位・歪・間隙水圧を測定した。各種センサーの設置状況を図-1に示す。

【実験結果】

図-2に、地盤の相対密度が約50%の場合について、5Hzの正弦波、および不規則波加振の液状化試験における主要測定値の時刻歴を比較して示す。不規則波の加振では開始後約4秒ほどで全層がほぼ液状化し、それにつれて地表面加速度の応答が小さくなりまた周期が長くなっていることが分かる。

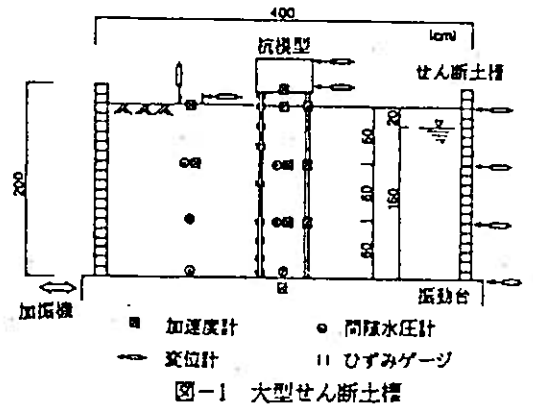


図-1 大型せん断土槽

表-1 相似則と相似比

量	相似則	相似比
長さ	$l \sim l_p$	1/8
密度	$\rho \sim \rho_p$	1
時間	$t \sim t_p$	1/√8
加速度	$(l \sim l_p)^2 / (t \sim t_p)^2$	1
ひずみ	$\epsilon \sim \epsilon_p$	1
曲げ剛性	$(\rho \sim \rho_p) \cdot (l \sim l_p)^3$	1/8 <sup>3</sup>
内部摩擦角	$\phi \sim \phi_p$	1

表-2

珪砂6号の物理定数

$D_{10}$ (mm)	0.17
$D_{50}$ (mm)	0.28
$U_c$	1.71
$G_s$	2.651
$\rho_{s,0.075}$ ( $g/cm^3$ )	1.819
$\rho_{s,0.075}$ ( $g/cm^3$ )	1.298

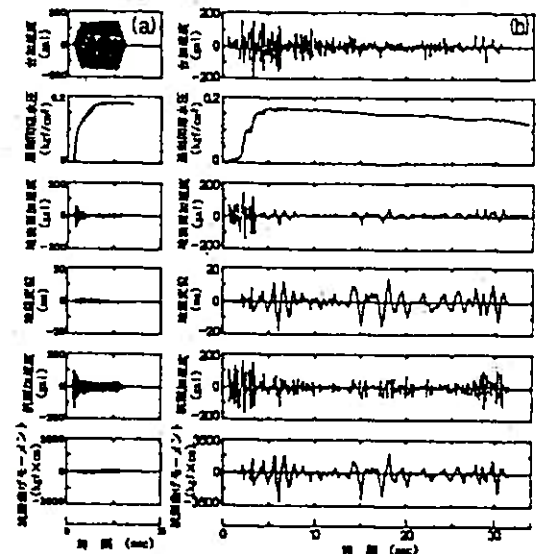


図-2 時刻歴 (a)正弦波加振 (b)不規則波加振

Dynamic response of piles during soil liquefaction; Sonoda, K. (Tokyo Institute of Technology), Yamashita, H., Hosokawa, Y. (Takechi Engineering Co.,Ltd), and Tokimatsu, K.

杭頭加速度も同様の傾向が認められるが、杭頭曲げモーメントは液状化後かなり大きくなっている。一方、5Hz加振の実験では、地表面加速度、杭頭加速度については同様の現象が観察されるが、液状化後の杭頭曲げモーメントは不規則波の場合に比べ1オクターブ程度小さくなっている。

以上の現象の差異を明らかにするために、図-3、4に、不規則波入力の場合の液状化試験について、入力加速度に対する杭頭の加速度フーリエ・スペクトル比および地盤表面の加速度フーリエ・スペクトル比の経時変化を示す。図をみると、加振初期(0~2s)から液状化直後(4~8s)にかけて、スペクトル比が最大値を示す振動数は約7Hzから約1Hzまで下がっている。せん断波速度から推定した地盤の微小ひずみレベルの固有振動数は約10Hzであるから、液状化により地盤の固有振動数が1/10程度に低下したことになる。なお杭の卓越振動数は、地盤が液状化するしないにかかわらず、地盤の卓越振動数と良く対応している。また完全液状化後の杭の卓越振動数は、液状化した地盤との相互作用により、水中加振時の杭の固有振動数よりかなり低くなっている。以上の結果は、地盤の液状化の程度に関係なく、杭の応答に与える地盤の影響が大きいことを示している。

図-3、4から、液状化後の地盤および杭の2Hz以上のスペクトル比の値がかなり小さいことが認められる。このことは、5Hz入力の実験で液状化前後から杭、地盤ともに応答がほとんど無くなってしまったことに対応すると考えられる。

不規則波入力の実験で、地盤が完全に液状化した6.5秒前後に杭に生じた曲げモーメント分布を図-5に示す。図には、この時杭頭に生じた慣性力45kgf(相対加速度160galと重りの質量270kgをかけあわせた値)を、空中で杭頭に加えた静的水平載荷試験時に測定した曲げモーメント分布も示した。振動試験の曲げモーメントが水平載荷試験の曲げモーメントより大きいことは、地盤が液状化することにより、地盤が水平力を分担できなくなるばかりでなく、液状化した地盤の変形により、杭に大きな応力が生じていることを示唆している。実際、図-1の時刻歴をみると杭頭曲げモーメントは地表面変形の影響を強く受けていることが分かる。すなわち、地盤変形の影響によると考えられる杭の変形量12mmを杭頭に加えて生ずる曲げモーメントと図-5に示す杭頭慣性力の影響による曲げモーメントを加えあわせた分布は、図-5に示す液状化試験で求められた曲げモーメント分布に比較的良く対応づけられる。

一方、液状化後に地盤応答変形量が小さいと考えられる正弦波5Hzの加振実験では、杭に生ずる曲げモーメントは慣性力を空中で静的に加えた時に生ずる曲げモーメントとほぼ同じであった。以上の結果は、地盤の固有振動数が間隙水圧の上昇とともに変化する液状化過程における地盤構造物系の応答特性を把握するためには、一定周波数が卓越した波を入力した実験を行なうだけでは不十分であることを示している。

#### 【結び】

定量的結論を導くには行なった実験数が少ないが、砂地盤が液状化する過程に於て、杭は地盤の影響を強く受け、特に完全液状化後も杭構造物地盤系の相互作用によって、従来考えられていたよりも大きな応力が杭に生じる場合のあることが示された。

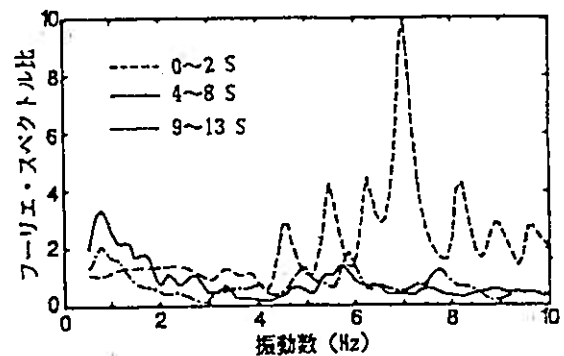


図-3 杭頭加速度スペクトル比

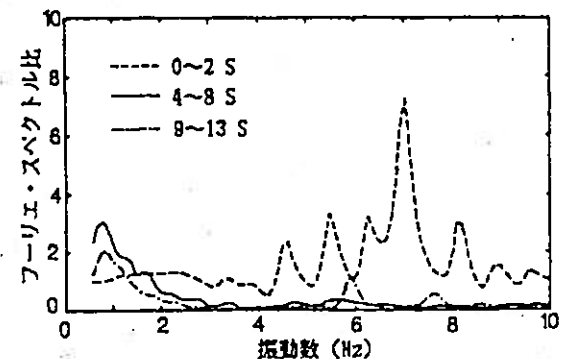


図-4 地表面加速度スペクトル比

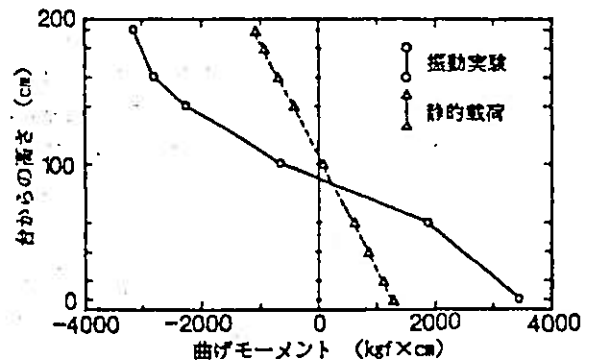


図-5 モーメント分布