

液状化地盤-杭基礎構造物系の過渡共振現象に関する実験的研究
その1 せん断土槽を用いた振動台実験

せん断土槽 液状化 杭
振動台 動的相互作用

正会員 三好 将史*1 同 八尾 眞太郎*2
同 榊井 健*3 同 小林 恒一*4
同 藤田 良太*1

1. はじめに

液状化する可能性のある地盤(液状化地盤)に杭基礎構造物を建設する場合、液状化時の杭基礎構造物の挙動の把握が耐震設計において重要である。地盤が液状化すると、地盤剛性および杭に作用する地盤反力が低下することにより、地盤-杭基礎構造物系の固有振動数が小さくなる。既往の研究によれば、液状化過程において地盤-杭基礎構造物系の固有振動数と入力波の卓越振動数が一致すると、過渡的に共振する現象(過渡共振現象)が発生し過大な応答になる場合があることが報告されている¹⁻³⁾。一方、現行の設計体系⁴⁾では液状化地盤における杭体応力の算定は液状化状態を対象としたものであり、完全に液状化するまでの過程(液状化過程)における取り扱いが適切に提案されていない。

本研究は液状化過程における杭基礎構造物の過渡共振現象を実験により把握することを目的とし、せん断土槽を用いた杭基礎構造物模型の振動台実験を行う。基本的な性状を把握するため、漸増振幅の正弦波による加振での応答を定量的に捉える。本報その1では、液状化の進行に伴い地盤-杭基礎構造物系の固有振動数が低下し、過渡的な共振現象を起す場合があることを確認する。

2. 実験概要

実験装置を図1に示す。幅1000mm×奥行き400mm×深さ1135mm(内寸)の大きさを持つせん断土槽を用い、土槽中央に杭基礎構造物模型を配置する。砂層は飯豊珪砂5号を用いて作成する。土質試験結果を表1に示す。地盤作成はボーリングによる方法⁵⁾とし、相対密度42%の飽和地盤を作成する。予備試験により、水平地盤反力係数 k_h は $4.12 \times 10^3 \text{ kN/m}^3$ 、地盤の一次固有振動数は約10Hzと得られている。

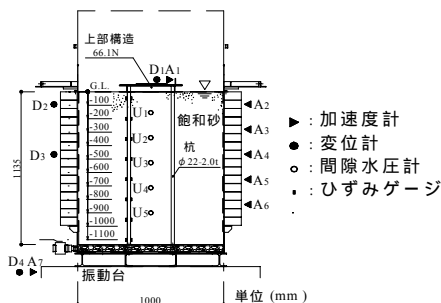


図1 実験装置

表1 飯豊珪砂5号の土質試験

ρ_s/ρ_w	D_{50}	D_{10}	U_c	e_{max}	e_{min}
2.616	0.525mm	0.285mm	1.98	0.756	0.440

杭基礎構造物模型を相似則⁶⁾に従い設計する。実大構造物として杭基礎を有するS造3層構造物を想定する。なお、杭基礎構造物模型は、実大構造物の上部構造を1質点に縮約している。表2に実大構造物および杭基礎構造物模型の諸元を示す。杭基礎構造物模型は上部構造(重量66.1N)に4本のポリカーボネイト製杭(22mm-t2.0mm,弾性係数 $3.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$)を剛接している。

表2 実大構造物および杭基礎構造物模型の諸元

	実大構造物	杭基礎構造物模型
杭径(見つけ幅) B	0.90m	22mm
杭長 L	20.0m	1135mm
許容鉛直支持力	999.6kN	17N
相互作用長さ β^{-1}	3.45m	170mm

振動台への入力、正弦波による水平1方向加振とする。振動数を一定とし、間隙水圧計 U_3 (G.L.-526mm)の過剰間隙水圧比が1.0に達するまで加速度振幅をスイープアップし、その後は一定の加速度振幅を有する定常波とする。2Hzから30Hzまで1Hzごとに29ケースの実験を行う。なお、各実験ケースで地盤の液状化の進行が同様になるように、加速度振幅の増加率を調整する。ここでは間隙水圧計 U_3 の過剰間隙水圧比が上昇時から約4.5秒間で1.0に達するようにした。

3. 実験結果

3.1 過剰間隙水圧

入力振動数が2Hz、5Hz、10Hz、15Hzの各実験ケースについて得られた入力加速度と上部構造の応答加速度の時刻歴、過剰間隙水圧比の時刻歴を図2~10にそれぞれ示す。過剰間隙水圧比の時刻歴より、いずれのケースにおいても上層から液状化が進行している様子がわかる。これは他の入力振動数の実験においても同様の傾向が見られた。従って、本研究では間隙水圧計 U_3 の過剰間隙水圧比の値が地盤状態の変化を代表していることを見なし、これを地盤状態の変化を表すパラメータとして用いることとする。また、以下のように特徴的な地盤状態と時刻を定義する。

- ・非液状化状態 : 全ての間隙水圧計の過剰間隙水圧比がほぼ0である状態
- ・液状化開始時 : 過剰間隙水圧の上昇が始まる時刻
- ・完全液状化時 : 間隙水圧計 U_3 の過剰間隙水圧比が初めて1.0に達した時刻
- ・完全液状化状態 : 間隙水圧計 U_3 の過剰間隙水圧比が1.0に達している状態
- ・液状化過程 : 液状化開始時から完全液状化時までの間

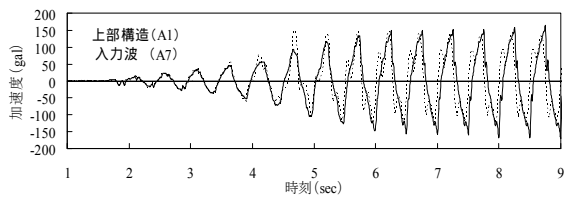


図2 加速度時刻歴 (2Hz)

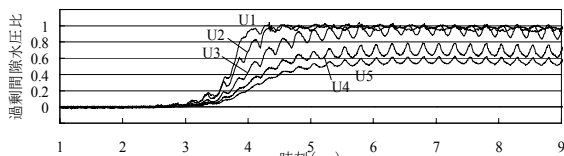


図3 過剰間隙水圧比時刻歴 (2Hz)

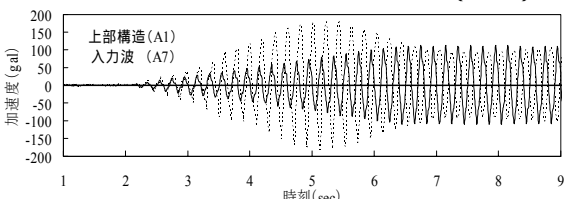


図4 加速度時刻歴 (5Hz)

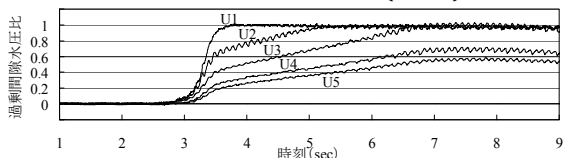


図5 過剰間隙水圧比時刻歴 (5Hz)

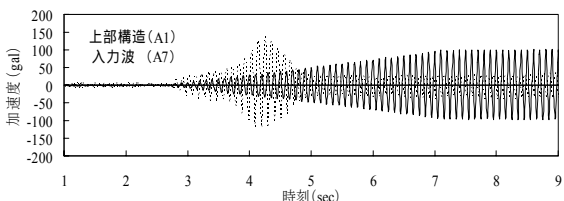


図6 加速度時刻歴 (10Hz)

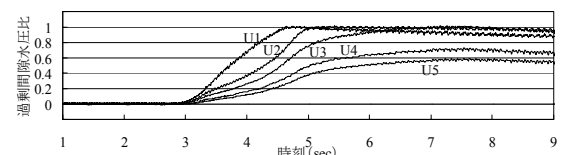


図7 過剰間隙水圧比時刻歴 (10Hz)

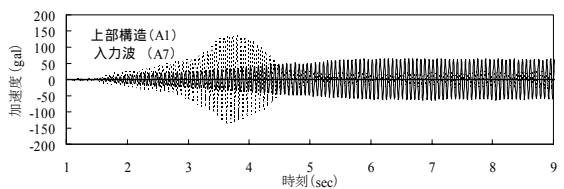


図8 加速度時刻歴 (15Hz)

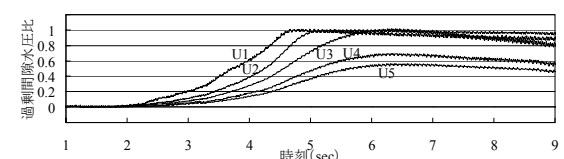


図9 過剰間隙水圧比時刻歴 (15Hz)

3.2 地盤-杭基礎構造物系の応答加速度

液状化の進行に伴う地盤-杭基礎構造物系の応答の振動数特性の変化を確認するため、地盤状態の変化に伴う加速度増幅率の振動数特性の変化を求めた。振動数特性は、各実験ケースごとに同じ地盤状態となる時刻について、加速度増幅率を求め、それらを連ねることにより得る。加速度増幅率は入力加速度に対する応答加速度の最大値の比とし、それぞれの時刻の前後 0.25 秒間 (加振開始時は後 0.5 秒間、液状化時は後 1.0 秒間) のフーリエスペクトルの最大値の比として定義した。上部構造と地表面について求めた加速度増幅率の振動数特性を図 10 に示す。同図中、非液状化状態は間隙水圧が上昇しない程度で入力加速度で入力振動数を 2~30Hz までスイープアップして得られたフーリエスペクトル比を示している。

図 10 より過剰間隙水圧比 0.2 における地盤-杭基礎構造物系の固有振動数は約 15Hz であり、完全液状化状態の約 3Hz まで、過剰間隙水圧の上昇に伴って地盤-杭基礎構造物系の固有振動数が低下していくことがわかる。

図 4、6、8 に示したように、入力振動数が 5Hz、10Hz、15Hz の場合の上部構造の応答加速度は液状化過程で最大値を示しており、液状化過程で過渡共振現象が発生していることが確認できた。入力振動数が 4Hz 以下のケースでは液状化過程における応答のピークは見受けられなかった。

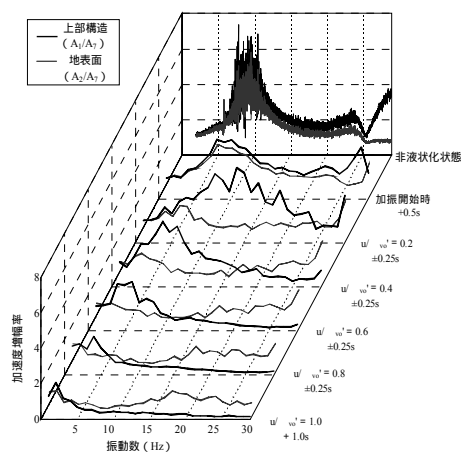


図10 液状化の進行に伴う加速度増幅率の変化

4. おわりに

せん断土槽を用いた杭基礎構造物模型の振動台実験を行った結果、以下の知見を得た。

- ・非液状化状態から完全液状化状態における地盤-杭基礎構造物系の加速度増幅率の振動数特性を表す曲線から、液状化の進行に伴い地盤-杭基礎構造物系の固有振動数が低下し、過渡的な共振現象を起す場合があることがわかった。

参考文献は本報その 2 に合わせて示す。

*1 関西大学大学院工学研究科 大学院生
 *2 関西大学工学部建築学科 教授・工博
 *3 関西大学工学部建築学科 助教授・工博
 *4 (株)ジオトップ 技術開発本部 工博

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kansai Univ.
 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kansai Univ., Dr. Eng.
 Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kansai Univ., Dr. Eng.
 GEOTOP Corporation, Dr. Eng.