

模擬地震動入力による液状化地盤-杭基礎構造物系の過渡共振現象に関する研究

液状化 動的相互作用 振動台実験

関西大学 正会員 三好 将史  
同 国際会員 八尾 眞太郎  
同 正会員 梶井 健  
応用地質 国際会員 吉田 望  
ジオトップ 正会員 小林 恒一

1. はじめに

地盤が液状化すると地盤剛性や杭に作用する地盤反力が低下する。そのため、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、その過程において入力波の卓越振動数と一致すると応答が大きくなる可能性がある。本論ではこのような現象を過渡共振現象と呼ぶことにする。その際の構造物や杭の応答は完全に液状化した状態の応答よりも大きくなる場合がある<sup>1-3)</sup>。

本研究は地震時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モデルの振動台実験を行う。液状化の進行に伴い低下する地盤-杭基礎構造物系の固有振動数と、時々刻々と変化する入力地震動の卓越振動数に着目して考察を行う。また、液状化地盤における杭体曲げモーメントについて考察する。

2. 実験概要

実験装置<sup>3)</sup>を図1に示す。せん断土槽は幅1000mm×奥行き400mm×深さ1135mm(内寸)の大きさを有し、土槽中央に杭基礎構造物モデルを配置する。地盤は飯豊珪砂5号を用い、平均相対密度42%の飽和地盤となるようにボイリングによる方法で作成する。

杭基礎構造物モデルは相似則に従い設計し、上部構造(重量66.1N)に4本のポリカーボネイト製杭(φ22mm-t2.0mm, 弾性係数 $3.0 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ )を剛接して作成してある。

なお、予備試験として水平載荷試験および共振試験を行った。水平地盤反力係数 $k_h$ は $5.25 \times 10^3 \text{kN/m}^3$ 、地盤の応答が卓越する固有振動数 $f_g$ は初期状態で約10Hz、上部構造の応答が卓越する固有振動数 $f_s$ は初期状態で約40Hzであることを確認している。

振動台への入力は水平1方向加振とし、南関東地震を想定して作成された人工地震波RINKAI92H<sup>4)</sup>を用いる。模擬地震動は時間の相似則に従い、時間軸を1/5に短縮する。間隙水圧計 $U_3$ の位置にあたる深さまでが液状化するように加速度振幅を調整して行う。

3. 実験結果

実験により得られた主要時刻歴を図2に示す。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と見なし、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にする。また、表1のように特徴的な地盤状態と時刻を定義する。図2を見ると、上部構造の応答加速度は4秒付近の液状化状態よりも、液状化過程において大きくなっていることがわかる。

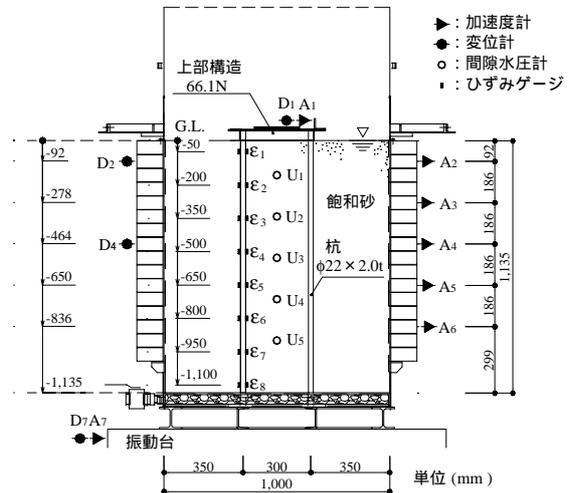


図1 実験装置

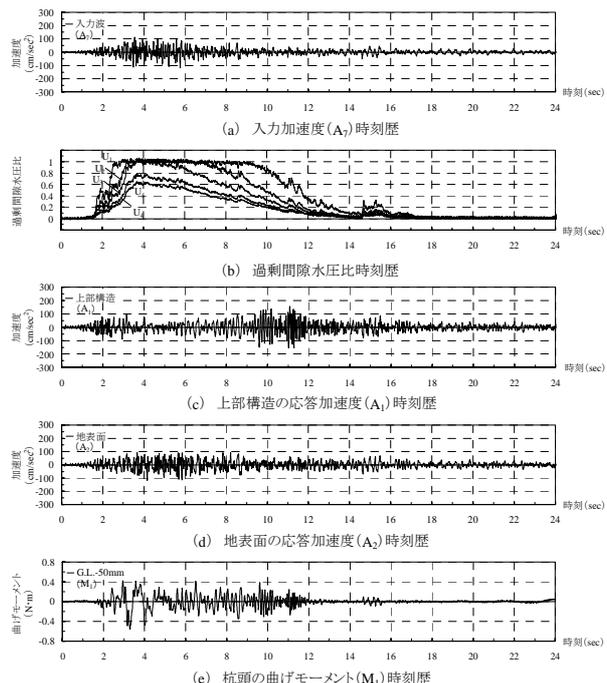


図2 主要時刻歴

表1 特徴的な地盤状態と時刻の定義

時刻・地盤状態	定義
非液状化状態	全ての間隙水圧計の過剰間隙水圧がほぼ0である状態
水圧上昇開始時	過剰間隙水圧の上昇が始まる時刻
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
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	水圧上昇開始時から液状化時までの間
消散過程	液状化状態以降の過剰間隙水圧の消散過程

A Study on the Transient Resonance Phenomena of Liquefied Soil-Pile Foundation System due to Simulated Earthquake Ground Motion  
MIYOSHI Masashi, YAO Shintaro, MASUI Takeshi ( KANSAI Univ. ), YOSHIDA Nozomu ( OYO Corp. ), KOBAYASHI Koichi ( GEOTOP Corp. )

#### 4. 液状化過程における加速度応答の考察

液状化過程において、間隙水圧計  $U_3$  の過剰間隙水圧比が 0.2, 0.4, 0.6 を示した時刻の前後 0.25 秒間について加速度フーリエスペクトルを求める。上部構造  $A_1$ 、地表面  $A_2$  および入力波  $A_7$  について求め図 3 に示す。同図中には、各地盤状態における  $f_g$  を、 $f_s$  を で示している。これらは、正弦波加振による実験結果<sup>3)</sup>において検討した各地盤状態における加速度増幅率の振動数特性から、過剰間隙水圧比の実験値を用いて推定した。入力波の卓越振動数が  $f_g$  に近い場合、地表面の応答が励起され、地表面の応答に伴って上部構造の応答も励起されている。入力波の卓越振動数が  $f_s$  に近ければ、上部構造の応答が卓越していることがわかる。入力波が広域の振動数成分を含んでいる場合は地表面および上部構造の両方の応答が励起されている。

#### 5. 杭体曲げモーメント

液状化過程、液状化状態、消散過程において杭頭で過大な曲げモーメントが発生した時刻の曲げモーメント分布を図 4 に示す。杭に作用している外力を考察するため、突出あり・固定端とする Chang の式<sup>5)</sup>による比較を行う。実験で得られた過剰間隙水圧比の深度分布より液状化深さを求め、液状化深さにあたる層は地盤反力が作用しないとみなし、上部構造慣性力を杭頭に静的に作用させることで杭体曲げモーメントを算定する。液状化深さより深い水平地盤反力係数の低減は考慮しない。同時刻の前後 0.25 秒間について求めた加速度フーリエスペクトルと併せて図 4 に示す。(a)を見ると実験値と Chang の式による算定値は概ね対応している。加速度フーリエスペクトルを見ると、上部構造の応答が励起されていることがわかる。(b),(c)は実験値と Chang の式による算定値には差異が見られる。加速度フーリエスペクトルを見ると、 $f_g$  と  $f_s$  が近く、地表面の応答が励起されており、構造物はその影響を受けていると考えられる。

#### 6. おわりに

本研究の結果、以下の知見を得た。

- (1) 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地震動の卓越振動数が一致すると応答が大きくなる場合があることがわかった。
- (2) 上部構造の応答が卓越した場合の杭体曲げモーメントは、上部構造慣性力と液状化深さを考慮した Chang の式で表現できることがわかった。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり、関西大学(当時)の笹田隆司氏、仙波昌史氏、坪昌宏氏、野阪明氏に協力していただきました。

#### 参考文献

- 1) 小林恒一, 吉田望, 八尾眞太郎: 大型せん断土槽を用いた液状化時の杭基礎の挙動, 第 8 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.819 ~ 824, 1990.12.
- 2) 澤田亮, 西村昭彦: 液状化地盤における基礎構造物の振動性状に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第 736 号 / -63, pp.129 ~ 142, 2003.6.
- 3) 三好将史, 八尾眞太郎, 榊井健, 藤田良太: 液状化地盤-杭基礎構造物系の過渡共振現象に関する研究 その 1 せん断土槽を用いた振動台実験, 第 39 回地盤工学研究発表会平成 16 年度発表講演集(新潟), 2004.7
- 4) 入力地震動部会, 臨海部構造安全委員会(1992): 臨海部における大規模建築物群の総合的な構造安全に関する調査・検討のうちの動的設計用入力地震動の設定に関する検討報告書, 日本建築防災協会
- 5) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001.10.

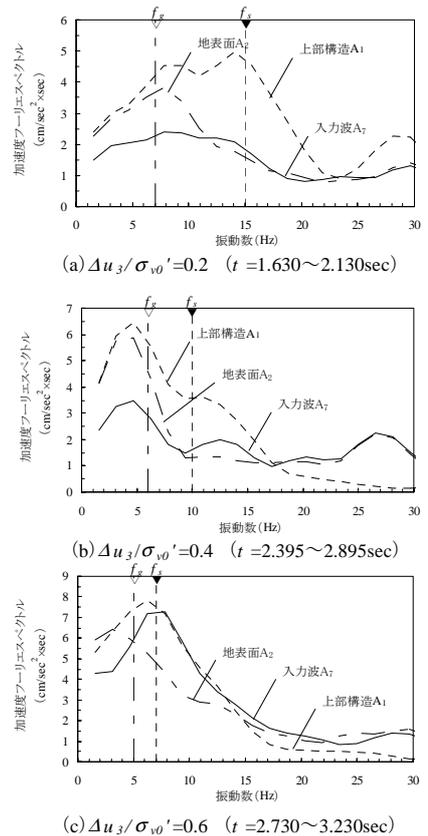


図 3 液状化過程の加速度フーリエスペクトル

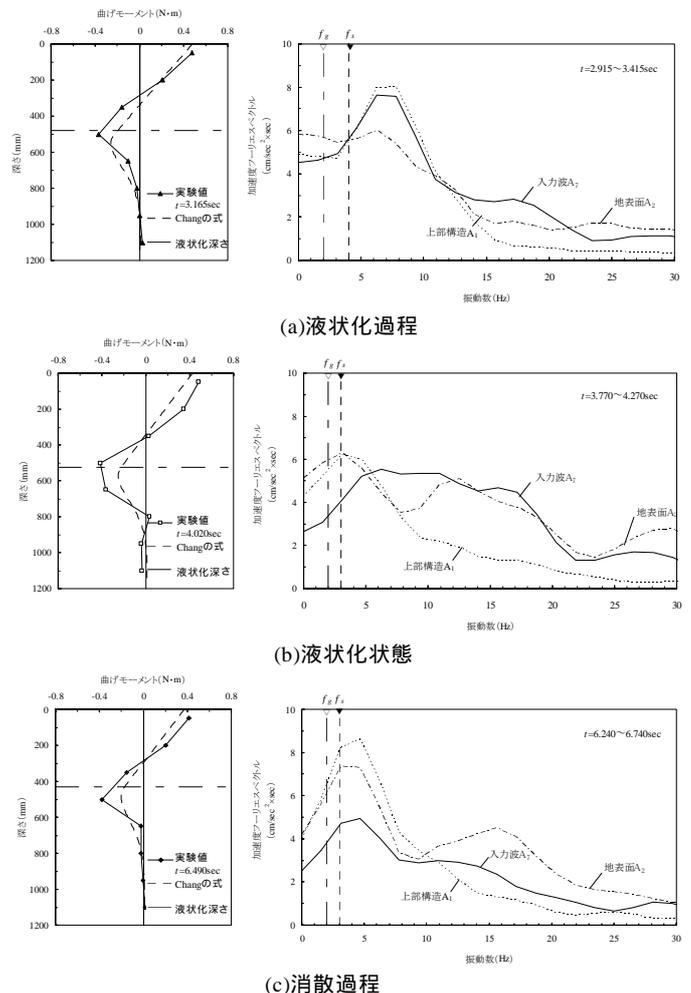


図 4 杭体曲げモーメント分布と加速度フーリエスペクトル