

液状化過程における杭基礎—地盤系の動的挙動について

○小林恒一¹⁾・八尾 眞太郎²⁾・榊井 健³⁾・三好 将史⁴⁾・吉田 望⁵⁾

- 1)正会員, ジャパンパイル, 中央区新川1-17-18, koichi_kobayashi@japanpile.co.jp
- 2)関西大学工学部, 吹田市山手町三丁目, yao@ipcku.kansai-u.ac.jp
- 3) 関西大学工学部, 吹田市山手町三丁目, masui@ipcku.kansai-u.ac.jp
- 4)大林組, 呉市焼山町, miyoshi.masayoshi@obayashi.co.jp
- 5)正会員, 東北学院大学工学部, 多賀市中央1-13-1, yoshidaan@tjcc.touhoku-gakuin.ac.jp

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杭基礎構造物系—地盤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¹⁻³⁾。

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模型の振動台実験を行った。ここでは、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、さらに、液状化の進行に伴う杭体曲げモーメントの変化について検討した。

2. 実験概要

実験装置³⁾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模型を配置する。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ーリングによる方法で作成する。

杭基礎構造物模型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($\phi 22\text{mm} \times l 2.0\text{mm}$, 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 RINKAI92H⁴⁾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。

表1 特徴的な地盤状況と時刻の定義

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

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。

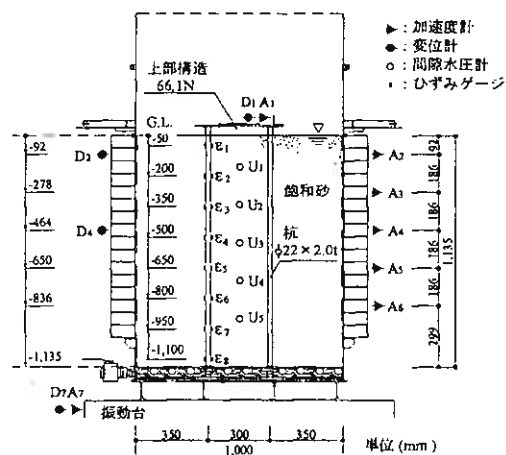


図1 実験装置

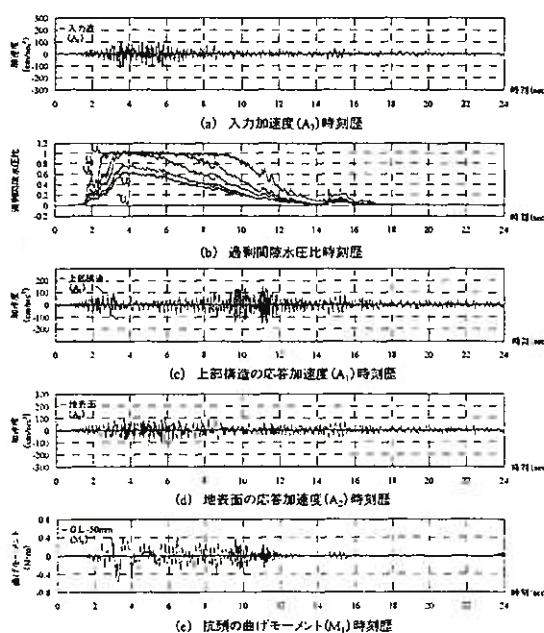


図2 実験結果(時刻歴波形)

4. 液状化過程における加速度応答の変化

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_3 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 \blacktriangledown で示している。これらは、正弦波加振による実験結果³⁾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。

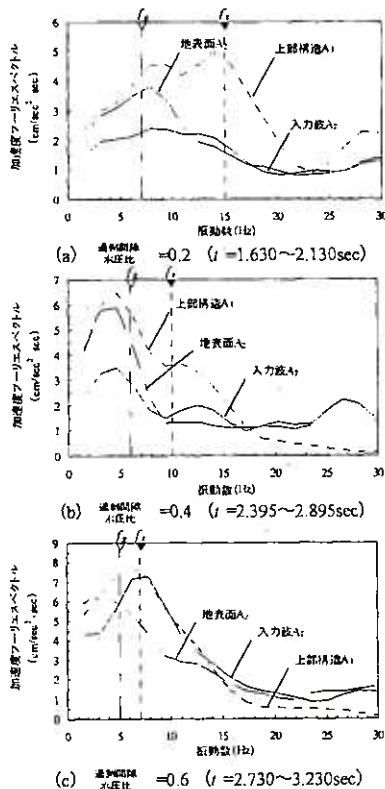


図 3 液状化過程の加速度フーリエスペクト

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を無視し、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。

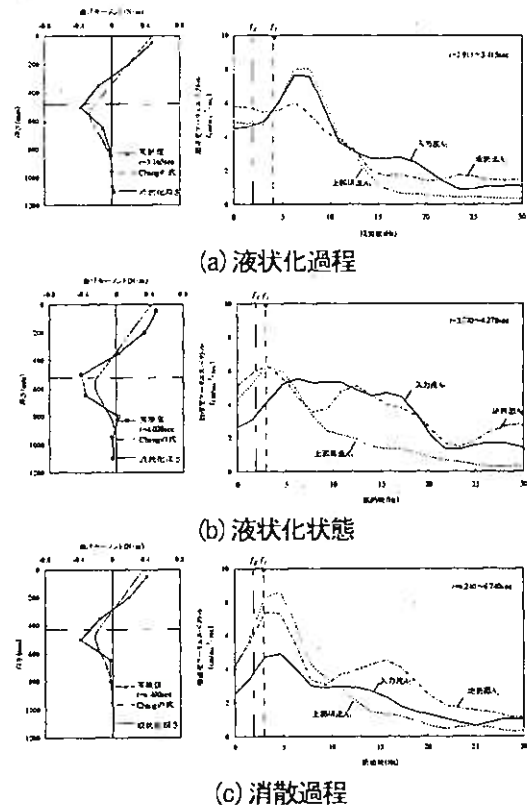


図 4 杭体曲げモーメント分布と加速度フーリエスペクトル

6. おわりに

- (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、野坂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/III-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.