

液状化の進行過程における杭基礎の地震時挙動に関する模型振動実験

(株)エイトコンサルタント 正会員 ○佐藤直毅
国土交通省土木研究所 正会員 田村敬一
国土交通省土木研究所 正会員 東 拓生
国土交通省土木研究所 正会員 小林 寛

1. はじめに

液状化地盤中の杭基礎の挙動や液状化地盤と杭基礎の動的相互作用については、まだ十分に把握されておらず、研究途上の段階である。最近の研究¹⁾では、液状化の進行過程において杭基礎構造物の卓越振動数と入力地震動の卓越振動数の関係により、ある特定の振動数では杭基礎構造物の応答が共振的に増幅することが報告されているが、加振の条件が正弦波という特殊な波形であり、定性的な現象の把握にとどまっている。そこで、本研究では模型振動実験により、液状化の進行過程における杭基礎構造物の卓越振動数の推移を把握し、地震波に対する杭基礎構造物の共振的な振動挙動について検討を行った。

2. 実験方法

図-1 に実験装置の概要及び計測器の配置、表-1 に実験模型の物性値の諸元を示す。地盤材料としては豊浦砂を用い、試験ごとに土槽底面からポンプにより水を注入しボイリングを行った後、予備加振を行い、所定の相対密度の飽和砂地盤を作成した。杭基礎模型は、鋼製のフーチングを4本(2×2)の亚克力製杭で支持する構造とし、杭頭部はフーチングに剛結、杭先端部は土槽に剛結とした。

実験は、2タイプの波形を用い表-2 に示す4ケースの加振を行った。ここで、ランダム波については、液状化の進行過程における地盤 - 杭基礎系の卓越振動数の推移を把握するため、1ステップを3secとし加速度を段階的に増加させた波形とした。

3. 実験結果

ランダム波加振実験における入力波とフーチング加速度の時刻歴の例を図-2 に、フーチング卓越振動数の時間変化の例を図-3 に示す。ここで、図-3 に示したフーチング卓越振動数は、加振の継続時間中におけるフーチング加速度の時刻歴にデータ・ウィンドウ(重み関数²⁾)を乗じてフーリエ変換した後、振動数領域で平滑化し算出した。フーチングの加速度は、4～10sec付近で入力波に比べ若干増幅しているのが見られたが、その後は、増幅は見られなかった。フーチングの応答は、図-2 に示したフーチングの加速度波形から液状化の進行に伴い長周期化していることが分かる。また、図-3 に示すように初期状態では30Hz程度であったフーチングの卓越振動数は、加振に伴い地表面から液状化が進行した影響により15Hz程度まで低下し、その後、液状化の進行に伴って低振動数に推移し、土槽全体が液状化した後は1Hz程度まで低下した。ランダム波加振実験における過剰間隙水圧比 Lu が $Lu=0.4$ の深度とフーチングの卓越振動数の関係を図-4 に示す。また、図中には加振実験前に地盤高さを調整することに

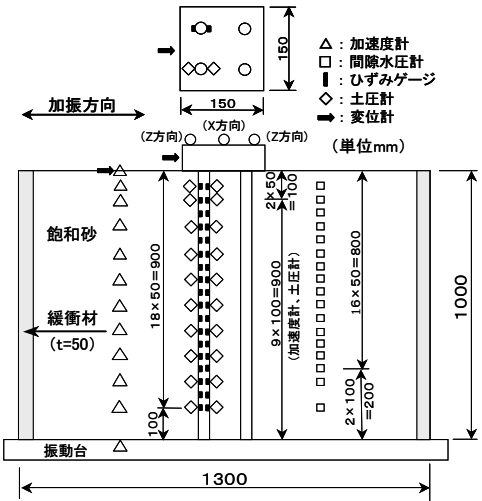


図-1 実験装置の概要及び計測器の配置

表-1 実験模型の物性値の諸元

		単位	物性値
砂地盤	飽和単位体積重量	N/m ³	18700
	相対密度	%	約 40
杭	杭 長	m	1.0
	杭 径	mm	25
	ヤング係数	N/m ²	3.2×10^9
	断面 2 次モーメント	m ⁴	1.9×10^{-8}
	杭間隔	—	2.6D
フーチング	辺 長	m	0.15
	重 量	N	149.4

表-2 実験ケース

実験ケース	入力波形	目標加速度 (m/sec ²)	備 考
CaseR-1	ランダム波	0.0 ~ 4.6	振動数一定 (f=0.5 ~ 50Hz)
CaseR-2		0.0 ~ 4.7	
CaseI-1	地震波 (板島橋)	0.5	時間軸圧縮 1/4
CaseI-2		1.0	

キーワード: 液状化, 杭基礎, 模型振動実験

連絡先: 〒700-8617 岡山県岡山市津島京町 3-1-21, TEL 086-252-8917 FAX 086-252-7509

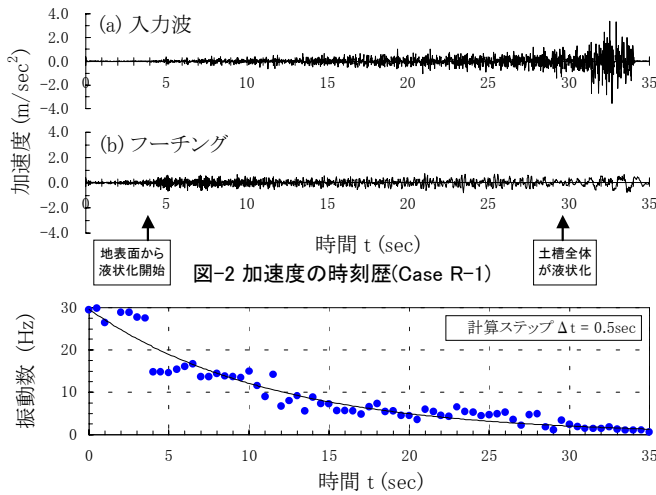


図-3 フーチング卓越振動数の時間変化(Case R-1)

よりとなる杭の突出長を変化させ、フーチングを打撃し基礎全体を振動させる実験(自由振動実験)により求めた杭の突出長と地盤—杭基礎系の固有振動数の関係を併せてプロットした。ランダム波加振実験の結果は、自由振動実験の結果と比較して右上にプロットされているが、フーチングの卓越振動数は液状化した深度が大きくなるにしたがって低くなっており、自由振動実験の結果と同様の傾向が認められる。

次に、地震波加振による実験ケースについて、地表面付近が液状化した CaseI-1、土槽中央付近までがほぼ液状化した CaseI-2 における入力波及びフーチングの加速度の時刻歴、並びに卓越振動数の時間変化をそれぞれ図-5,6 に示す。ここで、フーチングの卓越振動数は、液状化した地盤の状態を $Lu=0.4$ となる深度で代表し、図-4 の図中に示した回帰式により算出した。この

2 ケースは同じ地震波形で加振を行っているにもかかわらず、フーチングの加速度には、液状化の影響により生じたと考えられる差違が認められる。フーチングの加速度は、加振とともに大きくなるが、CaseI-1 では 3.2sec 付近、CaseI-2 では 2sec 付近で最大となっている。このように、CaseI-1 と CaseI-2 を比較すると、フーチングの加速度が最大となる時刻は異なっている。この理由としては、図-5,6 に示すように液状化の進行に伴い低下するフーチングの卓越振動数と入力波の卓越振動数が一致する時刻が CaseI-1 と CaseI-2 で異なるためと考えられる。なお、フーチングの加速度が最大となる時刻は、フーチングと入力波の卓越振動数が概ね一致する時刻であった。

4. まとめ

模型振動実験により、液状化の進行過程における杭基礎構造物の共振的な振動挙動について検討した。その結果、地震波を入力した場合でも入力波とフーチングの卓越振動数が一致する付近で共振的な現象が発生した。また、液状化が進行した程度によりフーチングの応答加速度が最大となる時刻が異なるという違いが認められた。

【参考文献】1)澤田,西村:液状化地盤中の基礎構造物の挙動に関する実験的研究,第24回地震工学研究発表会講演論文集,pp.597~600,1997 2)Tatsuoka,F.,K.Tokida,S.Yoshida and I.Maruyama:Shake table tests on dynamic behaviors of pile foundation model in liquefying sand layers,Proc. of 5th Japan Earthquake Engineering Symposium,Tokyo,1976

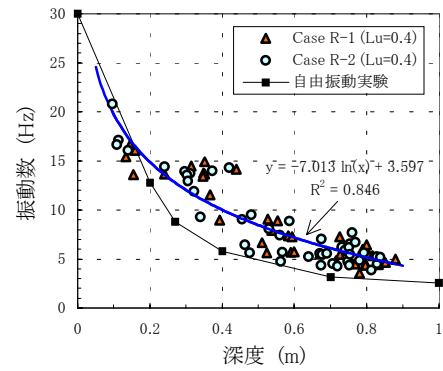


図-4 過剰間隙水圧比($Lu=0.4$)の深度とフーチング卓越振動数の関係

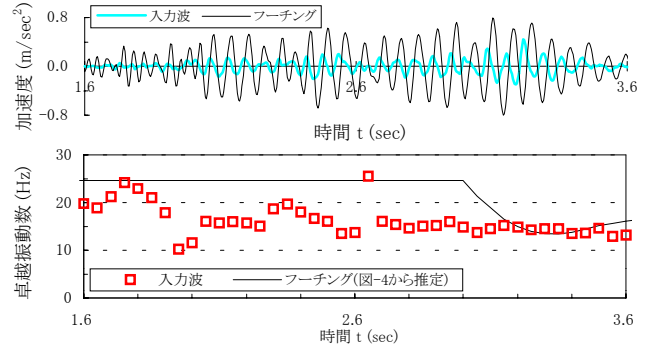


図-5 加速度の時刻歴及び卓越振動数の時間変化(CaseI-1)

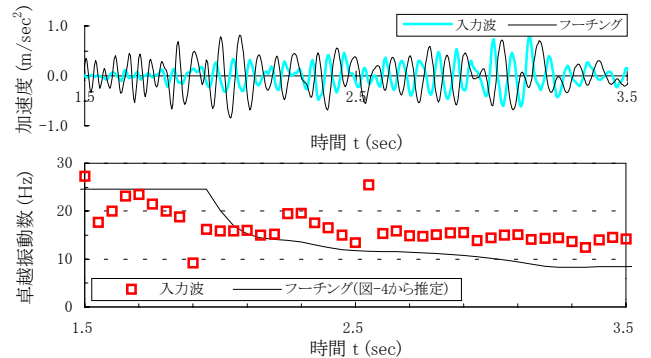


図-6 加速度の時刻歴及び卓越振動数の時間変化(CaseI-2)