

Ⅲ-A152 杭基礎の液状化時挙動に関する大型振動実験の遠心振実験による再現

清水建設(株)技術研究所 正会員 佐藤正義 田地陽一  
Wayne State University 香川崇章  
科学技術庁 防災科学技術研究所 箕輪親宏

1. まえがき

遠心振動実験は、相似則をほぼ満足させた実験を行うことができ、実地盤の地震時挙動を再現するための有力な手段と考えられる。しかし、遠心振動実験では模型地盤を作成しようとした場合、実地盤と同一にすることができない部分が存在する。したがって、遠心振動実験が実際の地盤と構造物の地震時挙動をどの程度再現できるかをチェックするとともに、その問題点を解決するための実験技術を向上させる必要がある。これまで、過去に例をみない大型のせん断土槽を用いた乾燥砂の実験、飽和砂の実験および乾燥砂を用いた杭基礎の実験を実物とみなし、これを縮小したモデルによる遠心振動実験を行い、実物の再現実験を行う場合の問題点を検討してきた。ここでは、その一環として実施した杭基礎の液状化挙動の再現実験について報告する。

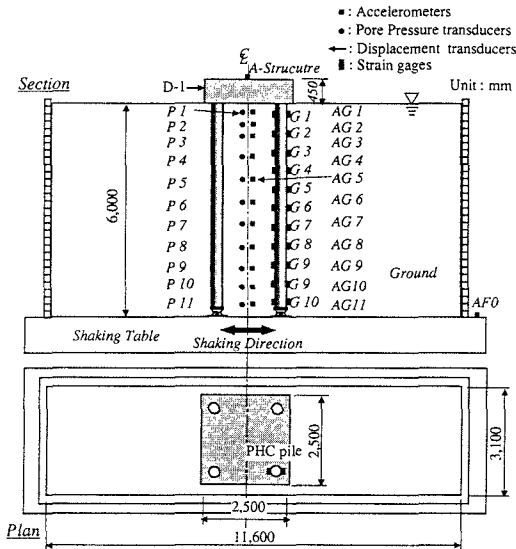


図1 大型振動実験の試験体

貼ったものを、PC鋼線とは別に設置した。実験に用いた振動台入力波は、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台で観測された地震波を用いた。実験結果として地震波の最大加速度約430galであった。

(2) 遠心振動実験

遠心振動実験は、大型振動実験の再現実験を行うために必要な事項として、地盤密度、杭基礎の諸元、振動台入力波のみを事前に入手し、実験終了後に大型振動実験の結果と比較する方法で行った。実験に用いたせん断土槽は、大型せん断土槽と似た形状をしており、内寸法は長さ80cm×高さ41cm×幅23cmである。表1は、遠心実験に適用した相似則を示したものである。模型地盤の試料は大型振動実験と同一の砂を用い、地盤の

2. 振動実験の概要

(1) 大型振動実験

大型振動実験は、防災科学技術研究所の振動台(サイズ: 15x15m、最大搭載質量: 500t)に設置された大型せん断土槽を用いて行った。せん断土槽の内寸法は長さ11.6m×高さ6m×幅3.1mであり、実験に用いた試料は銚田で採取した川砂である。模型地盤は自然乾燥状態の試料を水中落下法により作成した。地盤の平均相対密度は $D_r$ 約60%であった。間隙流体には水を用い、地下水位は地表面に設定した。構造物は鋼板を積み重ねた剛体(2.5×2.5×0.45m)で質量は22.2t、杭基礎は4本の実物のPHC杭を用いた。PHC杭は杭径300mm、肉厚86mm、長さ6mで、杭頭は構造物に剛結し、杭下端は土槽底板にピン結合した。図1に大型振動実験の計器配置を示す。加速度計、間隙水圧計は、杭基礎の中心位置の地盤に設置した筒状の柔なプラスチックネットに取付けた。また、杭の断面力を測定するため、杭製造段階で鉄筋にひずみゲージを

表1 実験に用いる相似則

		Symbol	Scale ratio	Unit	1g	Centrifuge
Sand	Thickness	$H_s$	$1/\lambda$	m	5.93	0.374 (0.395)
	Density	$\rho_s$	1	g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.98
Stratum	Length of pile	L	$1/\lambda^2$	m	6.0	0.4
	Diameter	D	$1/\lambda$	mm	300	20
	Thickness	t	$1/\lambda$	mm	86	0.5 (5.7)
	Young's modulus	E	1	MN/m <sup>2</sup>	44,100	206,000 (44,100)
	Geometrical moment of inertia	I	$1/\lambda^4$	cm <sup>4</sup>	36,300	0.146 (0.717)
Pile	Bending stiffness	$E \cdot I$	$1/\lambda^4$	MN-m <sup>2</sup>	16.0	0.00030 (0.00032)
	Area	A	$1/\lambda^2$	cm <sup>2</sup>	471	0.306 (2.09)
	Normal stiffness	$E \cdot A$	$1/\lambda^2$	MN	2,080	6.30 (9.22)
Footing	Mass	$m_f$	$1/\lambda^3$	kg	22,200	7.1 (6.6)
	Length	$L_f$	$1/\lambda$	m	2.5	0.16
Exciting acceleration		$\alpha$	$\lambda$	g	0.2	3.1

$1/\lambda = \text{model} / \text{prototype} = 1/15$

振動台実験、遠心実験、せん断土槽、杭基礎、液状化

〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 TEL.03-3820-5521 FAX.03-3820-5955

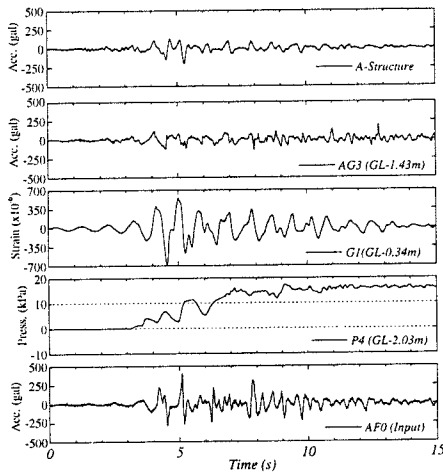


図3 大型振動実験の時刻歴

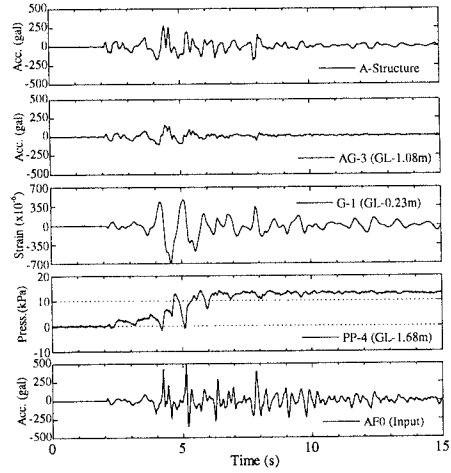


図4 遠心振動実験の時刻

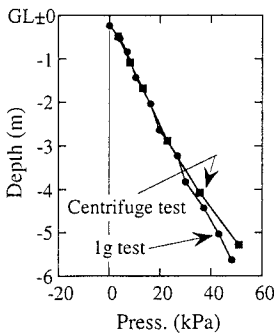


図5 地盤の間隙水圧分布の比較

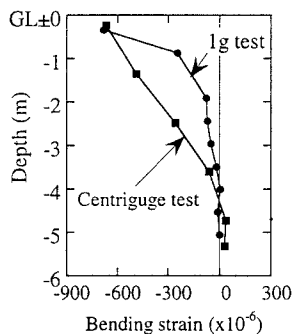


図6 杭の曲げひずみ分布の比較

作成方法も同一の方法とした。透水性の相似則を満足させるため、間隙流体には水の15倍の粘性(15cs)をもつシリコンオイルを用いた。杭基礎のモデル化は、実物PHC杭をそのまま縮小したものを作成できなかったため、PHC杭の初期の曲げ剛性に関する相似則を一致させた鉄パイプを用いた。模型杭は、径20mm、肉厚0.5mm、長さ40cmであり、杭本数、配置、杭頭、杭下端の固定条件とも大型振動実験と一致させた。遠心振動実験の振動台入力波は、大型振動実験のものを時間縮尺1/15、加速度を15倍にして用いた。

### 3. 実験結果の比較

図3に、大型振動実験における構造物と地盤の加速度応答、杭頭の曲げひずみと過剰間隙水圧および振動台入力波の時刻歴を示す。同様に図4は、遠心振動実験の時刻歴である。遠心振動実験の加速度入力波形は、大型振動実験のものを概ね再現できている。両実験ともほぼ地盤が全層にわたって液状化したため、構造物の加速度応答が減少しているが、その傾向は大型振動実験の方がやや顕著である。杭の曲げひずみについても、波形形状および振幅ともによく再現できている。過剰間隙水圧の上昇過程に関して、上昇過程で発生している振動成分の周期が異なるものの、遠心実験の結果は大型実験の傾向をとらえている。図5は加振終了時刻の約15秒後における過剰間隙水圧の深度分布を比較したものである。GL-6m( $\sigma'_{vo}=56\text{kPa}$ )で過剰間隙水圧は約58kPaとなっており、両実験ともほぼ地盤が全層にわたって液状化したことが分かる。図6は杭の曲げひずみが最大値を示した時刻における深度分布の比較である。両実験とも杭頭で大きなモーメントが生じているが、大型実験は杭頭のみが大きいのに対し、遠心実験は直線的に小さくなる傾向を示している。この違いについては、杭基礎の液状化時の応答特性が異なったことが考えられ、今後数値解析等によりさらに検討して行くことが必要である。

### 4. まとめ

大型振動実験と遠心振動実験での液状化時の杭基礎の挙動を比較した。液状化地盤の過剰間隙水圧の上昇過程や深度分布に関して、遠心振動実験は大型振動実験の液状化挙動を概ね再現でき、また杭の曲げひずみにおいても杭頭ではほぼ一致する結果が得られた。

本研究は防災科学技術研究所、Wayne State Univ. との共同研究である「地中埋設構造物の大型振動実験に関する研究(EDUS)」プロジェクトで実施しました。EDUSプロジェクトの関係者の方々に深謝の意を表します。