

- 2 構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究

液状化および側方流動による杭基礎の破壊過程の解明

Enhancement of Earthquake Performance of Infrastructures Based on Investigation into Fracturing Process

(研究期間 平成 13～15 年度)

建築生産研究グループ

Dept. of Production Engineering

平出 務

Tsutomu Hirade

Synopsis - The report presents two research items. One is construction experiments of test soils for shaking table tests, especially for liquefaction-related shaking table tests. In liquefaction-related shaking table tests using large-scale sand boxes, quality control of saturated sands is one of critical issues. The target is to make homogeneous saturated sand soils. The other is shaking table tests on dynamic pile soil interaction in liquefaction process. Combination of shaking table tests and oscillator tests or actuator tests is an effective tool for clarifying dynamic behavior and the change of saturated soil properties in liquefaction process from viewpoint of soil-structure interaction.

【研究目的及び経過】

兵庫県南部地震では、液状化によって多くの構造物基礎が破壊され、液状化地盤における構造物の動的応答と破壊過程解明の必要性が再認識された。本研究では、次の項目を主な研究目的とし、検討を行った。

- (1) 大型土槽での均質飽和砂地盤作製法の確立
- (2) 振動台液状化実験による液状化過程における杭基礎の動的挙動と地盤物性変化の把握。

【研究内容及び研究結果】

- (1) 大型土槽での均質飽和砂地盤作製法の確立

大型土槽での均質飽和砂地盤作製の基礎資料を得ることを目的に、砂搬送装置、砂撒き装置を作成し、水中落下法と水中振動フルイ法を組み合わせた地盤作製実験を実施し、作製地盤の相対密度を凍結サンプリング試料により評価した。実験シリーズ一覧を表 1 に、凍結サンプリング試料による相対密度の深さ方向分布の図 1 に示す。実験より以下の知見が得られた。

水中落下法に砂撒き装置を使うことにより、より均質な砂質地盤を作製することができる。砂撒き装置を使わずに直接砂を投入すると、均質な地盤とはならない。

地盤作製の途中で起振機により加振して地盤を締め固めることで相対密度を高めることが可能で、相対密度 90% 程度まで作製することができる。乾燥砂、湿潤砂のいずれを用いても、相対密度の異なる 2 層均質地盤を作製することができた。

砂撒き装置の走行速度を変化させることで、密度の異なる層構造の地盤を作製できる可能性が珪砂 3, 5 号で確認された。

- (2) 振動台液状化実験による液状化過程における杭基礎の動的挙動と地盤物性変化の把握

- 1) 大型せん断土槽を用いた液状化実験と起振機実験による杭基礎の動特性の把握

地盤の完全液状化から過剰間隙水圧が消散過程での杭の動特性把握を目的とした液状化実験で、過剰間隙水圧消散過程での起振機実験を実施した。実験シリーズ一覧を表 2 に、地盤杭基礎系の起振機実験における基礎の伝達特性を図 2 に示す。実験からは、過剰間隙水圧の消散と共に、地盤の卓越振動数が明確となること、過剰間隙水圧の消散と共に、杭周囲の地盤剛性が回復していく現象が確認され、地盤下層部でより早く回復していくこと等が確認された。

- 2) 過剰間隙水圧過程での地盤物性（特に剛性と減衰）の変化と杭基礎の動的挙動把握

地震動により過剰間隙水圧が上昇し始める初期液状化段階から完全液状化に至る過程での地盤物性の変化と杭基礎の動的挙動把握を目的とする、せん断土槽を用いた杭基礎液状化地盤系の振動台加振と杭頭アクチュエータ加振を組み合わせた実験を実施し、杭頭における剛性と減衰を評価した。実験シリーズ一覧を表 3 に、Case2-2 における杭頭の荷重と変位の関係から求めた杭頭剛性、減衰と地盤の平均過剰間隙水圧比の関係を図 3 に示す。杭頭剛性は平均過剰間隙水圧比の上昇とともに低下するが、減衰率は平均過剰間隙水圧比が 0.7 程度までの範囲で、20～30%程度との結果が得られた。

【備考】 本研究の詳細については以下の論文を参照のこと。

- 1) 水野二十一，平出 務，飯場正紀：液状化過程における杭基礎の挙動，第 3 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集，pp.253-258，土木学会，2002 年 3 月
- 2) 水野二十一，平出 務：液状化実験のための地盤作製法の改良と作製地盤の品質，第 4 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集，pp.119-124，土木学会，2003 年 3 月

- 3) 平出 務，水野二十一：水中振動ふるい法により作製された地盤品質，第 5 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集，pp.97-102，土木学会，2004 年 3 月
- 4) 水野二十一，平出 務：液状化過程における杭 地盤系の剛性と減衰，第 5 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集，pp.269-274，土木学会，2004 年 3 月

表 1 地盤作製実験シリーズ一覧

実験シリーズ	実験 Case	地盤作製条件				凍結サンプリング試料による平均相対密度
		使用砂	作製時条件	砂置き装置 走行速度(m/min)	砂置き出し 速度(m ³ /min)	
	Case1	珪砂 5号 乾燥砂		0.3	0.05	40% (1.0mまでの平均)
	Case2	珪砂 5号 乾燥砂	水中への直接投入	-	-	-
	Case3	珪砂 5号 乾燥砂	下層作製後、起振機による締め固め	1.25	0.05	下層(0~0.8m):91% 上層53%
	Case5	珪砂 5号 湿潤砂	下層作製後、起振機による締め固め	0.3	0.05	下層(0~0.9m):76% 上層39%
	Case1	珪砂 3号 乾燥砂	途中で走行速度を切り替え	下層:1.25 上層:0.3	0.05	下層(0~0.8m):71% 上層(0.8~1.2m):50%
Case2	珪砂 7号 乾燥砂	途中で走行速度を切り替え	下層:1.25 上層:0.3	0.05	下層(0~0.7m):42% 上層(0.7~1.3m):44%	

表 2 大型せん断土槽を用いた液状化実験シリーズ一覧

実験シリーズ	入力	水位(m)
実験シリーズ1 地盤-杭基礎 モデル	-1 ポートアイランド波 20gal	G.L.-0.5m
	-2 ポートアイランド波 50gal 消散過程の計測	
	-3 ポートアイランド波 100gal	G.L.
	-4 ポートアイランド波 150gal 消散過程での起振機実験	
実験シリーズ2 地盤-杭基礎 モデル	-1 ポートアイランド波 20gal	G.L.
	-2 SIN波3Hz 40gal 消散過程での起振機実験	
	-3 SIN波3Hz 100gal 消散過程での起振機実験	
実験シリーズ3 地盤-杭基礎-建物 モデル	-1 ポートアイランド波 20gal	G.L.
	-2 ポートアイランド波 300gal 消散過程での起振機実験	
	-3 ポートアイランド波 800gal 消散過程での起振機実験	

表 3 せん断土槽を用いた液状化実験シリーズ一覧

実験 Case	地盤密度 (g/cm ³)	相対密度 (%)	初期地表面 よりの平均 沈下量(mm)	振動台加振条件	杭頭アクチュエータ 加力(1Hz)	
Case1	-1	1.372	25.0	Sin 3Hz	液状化 最大加速度100gal 目標変位 10mm	
	-2	1.426	43.2	110.9	Sin 3Hz	再液状化 最大加速度300gal 目標変位 5mm
	-3	1.379	27.3	64.9	Sin 3Hz	液状化 最大加速度100gal 目標変位 10mm
Case2	-1	1.379	27.3	64.9	Sin 3Hz	再液状化 最大加速度300gal 目標変位 3~5~3mm
	-2	1.481	60.5	112.5	Sin 3Hz	液状化 最大加速度100gal 目標変位 18mm
	-3	1.496	64.7	115.2	Sin 3Hz	再液状化 最大加速度300gal 目標変位 0~5mm
Case3	-1	1.358	20.0	86.9	Sin 3Hz	液状化 最大加速度100gal 目標変位 25mm
	-2	1.358	20.0	86.9	Sin 3Hz	再液状化 最大加速度300gal 目標変位 10mm
	-3	1.497	65.0	143.6	Sin 3Hz	液状化 最大加速度100gal 目標変位 10mm

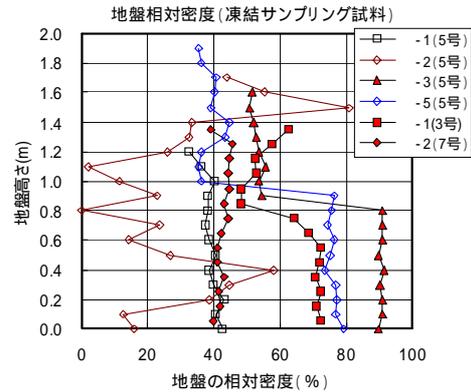


図 1 地盤の相対密度分布

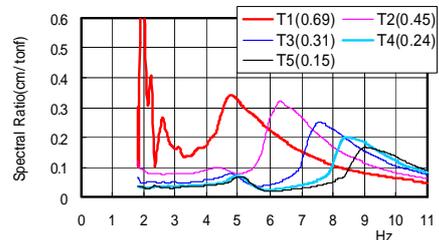


図 2 起振機実験における基礎の伝達特性

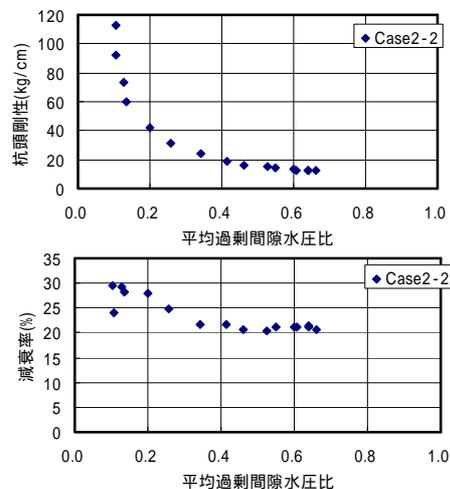


図 3 杭頭の剛性、減衰と平均過剰間隙水圧比