

側方流動振動台実験による杭への作用力に関する定式化の検討

鹿島建設(株) 正会員 ○林 寛*、正会員 吉迫和生、正会員 畔柳幹雄
 (社) 電力土木技術協会 正会員 須田嘉彦**
 東京理科大学 フェロー会員 石原研而

1.はじめに

兵庫県南部地震においては、埋立地または海岸線に近い地盤に位置していた施設に液状化および側方流動による被害が発生した。本検討では、液状化に起因した側方流動に対する杭基礎設計法の提案に向け、杭配置の違いによる杭への作用力を定式化することを目的に、側方流動の発生を模擬した小型の側方流動振動台実験を実施したので、その結果について報告する。

2.実験方法

振動台上に設置したせん断土槽内に、模型杭を設置した地盤を作製し、せん断土槽変形方向と直行する方向に加振（面外加振）することにより液状化を発生させ、加振を継続させながらせん断土槽を強制的に変形させることにより、側方流動の発生を模擬する。

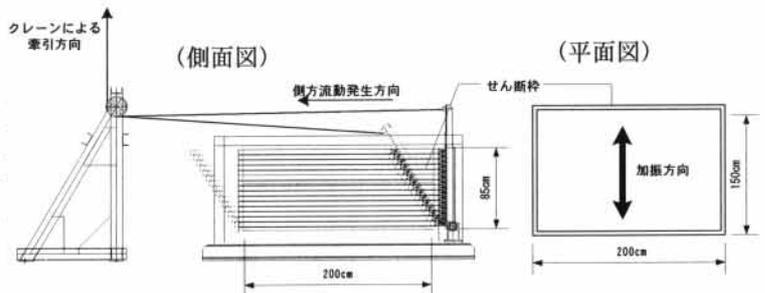


図-1 せん断土槽概要図

3.実験条件

実験条件の概要を以下に示す。

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	杭剛性 (kgf・cm ²)	杭配列		地盤条件		実験ケース	杭剛性 (kgf・cm ²)	杭配列		地盤条件	
		L=杭間隔, φ=杭径	流動方向	地盤厚さ	流動方向			地盤厚さ			
ケース1-1	注1) 低 (8.12 × 10 ⁴) 高 (2.03 × 10 ⁶)	単杭		非液状化層 有り	非液状化層 12.5cm 液状化層 37.5cm	ケース2-1	中 (9.80 × 10 ⁵)	単杭		非液状化層 無し	液状化層 50.0cm
ケース1-2	高 (2.03 × 10 ⁶)	3本×3本杭 (L=4φ)				ケース2-2		5本杭 (L=8φ)			
ケース1-3		5本杭 (L=2φ)				ケース2-3		3本×3本杭 (L=4φ)			
ケース1-4	低 (8.12 × 10 ⁴)	3本×3本杭 (L=4φ)				ケース2-4		5本杭 (L=2φ)			
				ケース2-5	壁[単杭連結] (L=1φ)						

注1) ● 高剛性杭 ○ 低剛性杭

- ・ 実験ケース：表-1 参照。
- ・ 実験土槽：土槽の内寸は長辺（牽引方向）2m、短辺（加振方向）1.5m、有効深さ 0.85m、せん断枠（一段当たり 5cm 厚）は枠間のベアリングにより長辺方向にスライドする機構（図-1 参照）。
- ・ 加振条件：ケース 1-1～4；正弦波 10Hz、700gal、6～8sec 加振、ケース 2-1～5；正弦波 4Hz、500gal、10sec 加振、ケース 1-1～4 は非液状化層が破壊しないよう振幅が小さい加振条件とした。
- ・ 側方流動条件：せん断ひずみ速度約 0.08%/sec¹⁾；牽引距離は地盤地表面高さにおいて 9～29cm。
- ・ 模型杭：高剛性杭 (d=3cm、EI=2.03×10⁶kgf・cm²)、中剛性杭 (d=3cm、EI=9.80×10⁵kgf・cm²)、低剛性杭 (d=3cm、EI=8.12×10⁴ kgf・cm²) の 3 種類を用いた。なお、高・中剛性杭は杭が受ける荷重を仮定し、ひずみ計測が可能かつ杭が降伏しないひずみ範囲で、また低剛性杭は実際の杭の物性値を基に相似則²⁾により設計した。

キーワード:液状化層、非液状化層、側方流動、杭基礎、設計法

連絡先:* 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 Tel.0424-89-7067 Fax.0424-89-7034

**〒105-0003 東京都港区西新橋 2-19-4 Tel.03-3432-8905 Fax.03-3435-1778

- ・主要計測項目：杭内部深度方向にひずみゲージ貼付（ひずみ分布から、差分近似によりモーメント分布、せん断力分布、作用荷重分布を把握）、地中変位計（地中水平変位の深度分布を把握）。

4.非液状化層からの杭への作用力に関する定式化の検討

実験結果を用いて、ある杭一本当たりへの非液状化層からの作用力の上限值 P_{nl} を、その杭配置に応じて(1)式のように定式化した。ただし、 P_{nl} は地盤と杭の相対変位 δ とともに増加するが、 δ が約 20mm 程度において停留する傾向が見られたことから、 $\delta = 20\text{mm}$ 時の作用力を P_{nl} とした。

α は、流動直角方向の杭の離隔(閉鎖率 $\eta = d/D$; d は杭径、 D は杭中心間隔)に関するパラメータで、閉鎖率 $\eta = 1$ (壁) の場合 1 であり、閉鎖率の減少につれて大きくなる(単杭の場合は、便宜上 $\eta = 0$ とする)。低剛性杭の場合には、高剛性杭の場合と比較して若干 α が小さめの値となっている。これは、上限荷重の作用時点が、杭の変形状態の違いの影響を受けて深度方向に異なること等が影響しているものと考えられる。

β は、流動方向の杭への作用力の低減率を表しており、上流側の杭に作用する力に対して、それに隣接して下流側に位置する杭への作用力の比率として評価される。実験結果から(1)式を用いて α 、 β を推定した結果を図-2、3 に示す。

$$P_{nl} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_{nl}^2 \cdot d \cdot K_p \cdot \alpha \cdot \beta^{j-1} \dots\dots(1) \text{式}$$

- γ : 地盤の単位体積重量 (t/m^3)
- H_{nl} : 非液状化層厚 (m)
- d : 杭径 (m)
- K_p : 受働土圧係数 ($= \tan^2(45^\circ + \phi/2)$)
- ϕ : 地盤の内部摩擦角
- α : 流動直角方向の杭の離隔に関するパラメータ (閉鎖率 η の関数)
- β : 流動方向の杭への作用力の低減率
- j : 着目する杭の上流側からの杭列番号

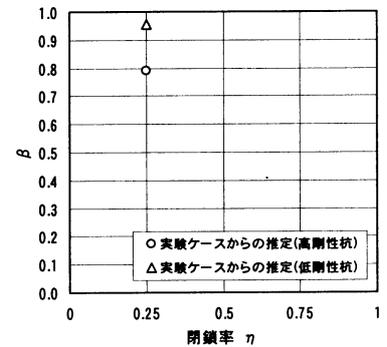
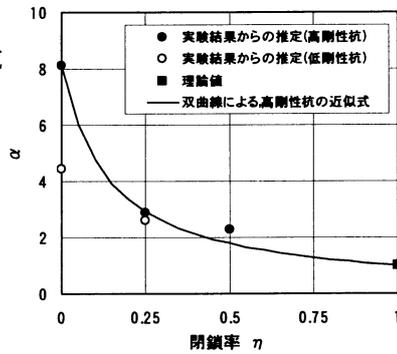


図-2 α と閉鎖率 η の関係(非液状化層) 図-3 β と閉鎖率 η の関係(非液状化層)

5.液状化層からの杭への作用力に関する定式化の検討

液状化層からの作用力の上限值 P_l を、その杭配置に応じて(2)式のように定式化した。ただし、 P_l は地盤と杭の相対変位 δ が約 20mm 程度でピークを示したことから、 $\delta = 20\text{mm}$ 時の作用力を P_l とした。非液状化層の場合と同様に、実験結果から(2)式を用いて α 、 β を推定した結果を図-4、5 に示す。

α の値は、概ね 1 から 2.5 の間にあり、 η が大きくなるにつれて小さくなる傾向を示しており、ほぼ一義的な関係が成立している。

$$P_l = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H_l^2 \cdot d \cdot K \cdot \alpha \cdot \beta^{j-1} \dots\dots(2) \text{式}$$

- γ : 地盤の単位体積重量 (t/m^3)
- H_l : 液状化層厚 (m)
- d : 杭径 (m)
- K : $\eta = 1.0$ における側圧係数 ($= 0.133$)
- α : 流動直角方向の杭の離隔に関するパラメータ (閉鎖率 η の関数)
- β : 流動方向の杭への作用力の低減率
- j : 着目する杭の上流からの杭列番号

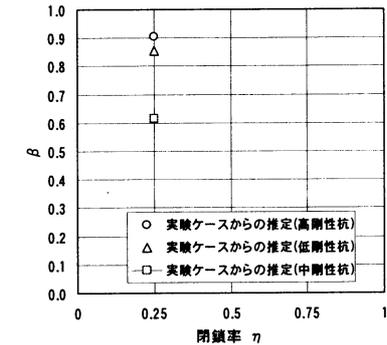
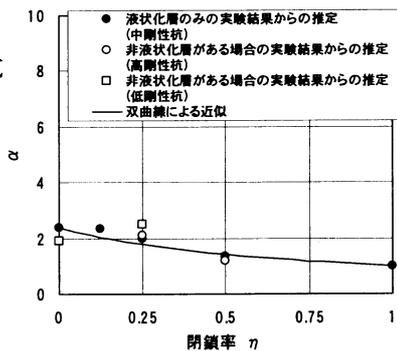


図-4 α と閉鎖率 η の関係(液状化層) 図-5 β と閉鎖率 η の関係(液状化層)

6.あとなぎ

側方流動の発生を模擬した小型の側方流動振動台実験を実施することにより、杭レイアウトの違いによる杭への作用力について、液状化層からの寄与と上部非液状化層からの寄与に分離して定式化を試みた。今後、大型の側方流動振動台実験を行うことにより、提案式の適用性を照査する予定である。

参考文献 1) 濱田正則・若松加寿江：液状化による地盤の水平変位の研究、土木学会論文集 No. 596/III-43 1998. 6、pp189~208

参考文献 2) 井合進：1 G 場での地盤・構造物系の模型振動実験の相似則について、第 19 回地震工学会研究発表会講演概要集 1987 年、pp341~344