

大型振動台実験による側方流動時の杭への作用力に関する検討（その5）

杭への作用力の定式化

鹿島建設株式会社 正会員 林 寛* 正会員 畔柳 幹雄
 （社）電力土木技術協会 正会員 須田 嘉彦**
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 山本 裕司 正会員 森本 巖
 中央大学 理工学部 正会員 國生 剛治
 東京理科大学 フェロー会員 石原 研而

1. はじめに

兵庫県南部地震では、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及び側方流動による被害が発生した。本報告では、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、小型せん断土槽¹⁾及び実規模大の大型せん断土槽を用いた側方流動の再現実験を行い、その結果を用いて杭配置の違いによる杭への作用力の定式化について検討した結果を述べる。

2. 非液状化層からの杭への作用力に関する検討

大型振動台実験^{2)、3)、4)}では、せん断土槽を加振して液状化を発生させた後、微小加振に切換えた状態で土槽を強制的にせん断させることにより側方流動を再現した。

実験結果の分析により、文献⁴⁾に示すように非液状化層と液状化層の境界は、地表面より実験-1で1.4m、実験-2で2.4mの位置とした。また、実験後の杭周辺の非液状化層の掘削結果より、地表面から約1.2m付近を境に、深度の浅い領域では地表面に向かって受働崩壊を起

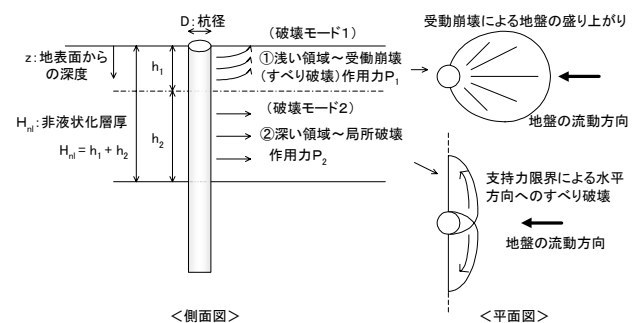


図-1 破壊モードの定義

こし、それ以深の領域では局所破壊を起している状況が観察された。そこで、図-1に示すように非液状化層の破壊形態は、受働崩壊領域（以下、この破壊形態を破壊モード1と呼ぶ）と局所破壊領域（以下、この破壊形態を破壊モード2と呼ぶ）の2つの領域で構成されていると仮定し、杭への作用力に関する定式化の検討を行うこととした。まず、破壊モード1の地表面からの深さ h_1 を実験後の掘削状況から判断したところ、実験-1、2とも1.2m程度となっていたことから、 h_1 と杭径 D は $h_1=3.8D$ の関係にあると考えられる。このため、実験-1 ($H_{n1}/D=4.38$)、実験-2 ($H_{n1}/D=7.52$)とも破壊モード1、2が混在していると判断される。これに対し、文献¹⁾に示す小型実験では、 $H_{n1}/D=3.8$ であったため、その破壊形態は破壊モード1のみであったと判断した。

破壊モード1による杭への作用力 P_1 は、二次元の受働土圧式に杭配置による効果を見込んだパラメータ γ_1 を乗じ、(1)式のように定式化した。一方、破壊モード2による杭への作用力 P_2 の評価については、テルツアギーの鉛直支持力公式($q=cN_c+\frac{1}{2}\gamma BN_\gamma+P_0N_q$)を援用（粘着力 c は砂質地盤を想定しているため0、自重に起因した抵抗力に関する支持力係数 N の項は、水平方向の支持力を考えるため無視できると判断し、(2)式のように定式化した。なお、 P_1 における γ_1 と同様に、 P_2 においてもパラメータ γ_2 を導入した。

$$P_1 = D \int_0^{h_1} q_1(z) dz = \alpha_1 K_p D \int_0^{h_1} \sigma'_v(z) dz \quad \dots(1)式$$

$$P_2 = D \int_{h_1}^{H_{n1}} q_2(z) dz = \alpha_2 K_0 N_q D \int_{h_1}^{H_{n1}} \sigma'_v(z) dz \quad \dots(2)式$$

ここに

- 1: P_1 に関するパラメータ(閉鎖率の関数)
 $\alpha_1 < = 0$ で $\alpha_1 = 8.1 >$
- 2: P_2 に関するパラメータ(閉鎖率の関数)
 $\alpha_2 < = 0$ で $\alpha_2 = 1.0 >$
- γ_1 : 閉鎖率(図-2参照)、 D : 杭径(m)
- K_p : 受働土圧係数($= \tan^2(45^\circ + \phi/2)$)
- K_0 : 静止土圧係数
- ϕ : 地盤の内部摩擦角
- $q_1(z)$: 破壊モード1による深度 z (m)における杭に作用する応力(kN/m²)
- $q_2(z)$: 破壊モード2による深度 z (m)における杭に作用する応力(kN/m²)
- $\sigma'_v(z)$: 深度 z (m)における有効上載圧(kN/m²)
- h_1 : 破壊モード1の層厚(m)、 H_{n1} : 非液状化層厚(m)
- N_q : 支持力係数($= ((1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)) \cdot e^{(2 \cdot \tan \phi)}$)
 局所破壊を考慮して α_2 として2/3を使用。

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

非液化化層全体からの杭への作用力 P_{nl} は、破壊モード 1 による影響が卓越すると考えて、破壊モード 1 と同型の(3)式で定式化し、破壊モード 1、2 からの杭への作用力を合計し、 P_{nl} とする(4)式を用いることにより、全作用力に関するパラメータ α を逆算して求めることとした。

(1) 単杭の場合の α と H_{nl}/D の関係

単杭の場合、小型実験から得られた知見より $\alpha_1=8.1$ 、また、(2)式の適用上 $\alpha_2=1.0$ となる。実験 - 1、2 の非液化化層からの作用力実測値から(3)式を用いて逆算した α と(4)式の近似式により算出した α の比較を表-1 に示す。これより、近似式により算出した値は、実測の荷重から逆算した α とよく整合していることが分かる。近似式の α の値は、 H_{nl}/D が大きくなるに従って破壊モード 2 の影響が大きくなり、減少する特性を持っている。

$$P_{nl} = \alpha K_p D \int_0^{H_{nl}} \sigma'_v(z) dz \quad \dots(3)式$$

ここに、
 α : P_{nl} に関するパラメータ (閉鎖率の関数)

$$P_{nl} = P_1 + P_2 \quad \dots(4)式$$

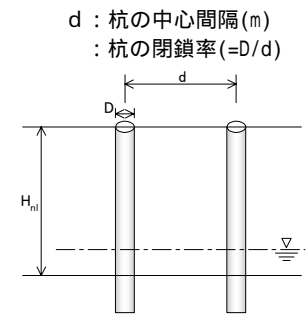


図-2 閉鎖率 η の定義

表-1 実測値と近似式により算出された α の比較

	実験 - 1		実験 - 2	
	実測値	近似式	実測値	近似式
非液化化層からの作用力に関するパラメータ	6.0	6.4	2.6	3.0

(2) 全作用力に関するパラメータ α と η の関係

P_1 に関するパラメータ α_1 と η の関係については小型実験から、一方 P_2 に関するパラメータ α_2 と η の関係については、実験データがないため FEM 解析等を用いて評価を加え、(4)式により全作用力に関するパラメータ α と η の関係を求めた結果、破壊モード 1、2 が混在する場合 ($H_{nl}/D > 3.8$) の α と η の関係は、破壊モード 1 のみ ($H_{nl}/D \leq 3.8$) の関係とほぼ同様に α の増加と共に η が減少する傾向を示すことが分かった。また、破壊モード 1、2 が混在するのは η の小さい範囲に限定され、 η が大きな範囲では α と η の関係は破壊モード 1 のみで規定される $\alpha_1 \sim \eta$ 線に漸近すると推定される。これらの知見をもとに、小型実験から得られた α と η の関係及び $\alpha=0$ における α と H_{nl}/D の関係をベースに、種々の H_{nl}/D 、 η に対する α を $P_1 = \alpha K D \int_{H_{nl}}^{H_{nl}+H_l} \sigma_v(z) dz \quad \dots(6)式$ (5)式のように定式化した。その結果を図-3 に示す。

ここに、
 H_l : 液化化層厚(m)
 K : $\eta=1.0$ における側圧係数 (小型実験より 0.13 と設定)
 α : P_1 に関するパラメータ (閉鎖率の関数)

3. 液化化層からの杭への作用力に関する検討

液化化層からの杭への作用力 P_l については、(6)式のように定式化した。試験結果から求めたパラメータ α と杭の閉鎖率 η との関係を図-4 (α と η の関係は(7)式) に示す。

4. あとがき

側方流動の発生を再現した小型及び大型振動台実験を行うことにより、杭レイアウトの違いによる杭への作用力について、液化化層からの寄与と非液化化層からの寄与に分離して定式化を試みた。今後、この結果を実構造物の杭基礎設計法に反映すべく更なる検討を加えて行く予定である。

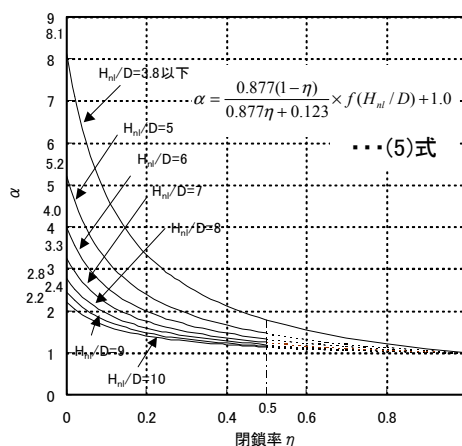


図-3 P_{nl} に関する α と η の関係

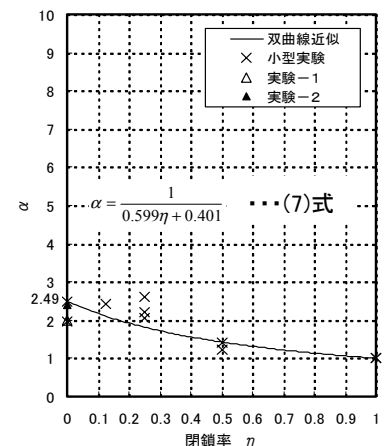


図-4 P_l に関する α と η の関係

<参考文献>

1)林他: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、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集 2001 第 3 部(A)、pp.688 ~ 689 2)須田他:大型振動台実験による側方流動時の杭への作用力に関する検討(その 1) - 実験概要、土木学会第 57 回年次学術講演会 2002(投稿中) 3)亀井他:大型振動台実験による側方流動時の杭への作用力に関する検討(その 2) - 実験結果、土木学会第 57 回年次学術講演会 2002 (投稿中) 4)山本他:大型振動台実験による側方流動時の杭への作用力に関する検討(その 3) - 杭への作用力と上限値、土木学会第 57 回年次学術講演会 2002 (投稿中)