

I-B 398 新しい液状化対策杭の小型振動台実験における振動変位抑制効果の定量評価

飛鳥建設技術研究所 正会員 森 伸一郎
 同 上 正会員 三 輪 滋
 同 上 正会員 榎 島 修
 同 上 正会員 笹 木 弘

1. はじめに

著者らは、液状化した地盤の中でも、地盤との相対変位に対して安定した水平抵抗を発揮することを機能として有するような杭を、新しい液状化対策杭として研究している^{1)~4)}。杭軸方向に平行な方向に翼状突起物を有することが、この杭の形状的な特徴である。（以下、翼付杭と略す。）

振動台実験により、小型の杭模型を用いて振動変位の抑制効果に関する実験を実施した^{2)~4)}。地震時に振動している液状化地盤において頭部に質量を持つ杭の振動変位を抑制する物理的なメカニズムの解明は今後の課題であるが、ここでは、地盤振動の影響が無視できるものと仮定したとき、杭頭質量慣性力に起因する杭頭部の振動変位振幅を抑制する物理的なメカニズムについて着目し、翼付杭の振動変位抑制効果を定量的な評価を試みる。

2. 翼付杭の杭頭変位抑制効果の定式化

2.1 翼付杭の杭頭変位抑制効果の数式表現

ここでは、杭頭自由・先端固定の場合を想定して、翼付杭の杭頭の振動変位抑制効果を、普通杭（無対策杭）の振動変位に対する低減係数として表す。図-1に杭頭変位低減係数の意味を模式的に示す。

$$\delta u = \alpha u \cdot \delta n \quad (1)$$

δu : 翼付杭の杭頭変位
 δn : 普通杭の杭頭変位
 αu : 翼付杭の杭頭変位低減係数

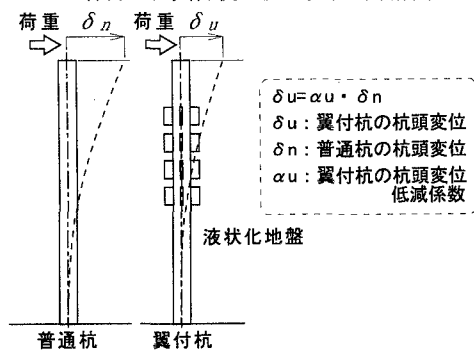


図-1 翼付杭の杭頭変位低減係数

翼付杭の杭頭変位抑制効果は、翼を付加することにより発現する。翼の付加は杭体の剛性変化と周辺地盤との相互作用の変化をもたらす。相互作用の変化は杭周辺の応力状態に起因するものであり、飽和砂地盤ではさらに間隙水圧応答の変化をもたらす。そこで杭頭変位低減係数 αu を低減の要因別に分けて考える。

2.2 剛性増加による低減係数: αr 剛性増加による低減係数 αr は、杭体に翼が付いたことによる杭軸方向の曲げ剛性の増加による杭頭部の柔性的低減によるものである。この αr は、端部に集中荷重が作用する片持ち梁であるので、実験でも計算でも求められる。

2.3 相互作用の変化による低減係数: αw 翼状の突起物が存在することによる相互作用の変化とは、相互作用ばねの増大を意味しているが、単なる受圧面積増加による地盤ばねの増大 (αw_1) だけではなく、翼状突起物が付いたことによる見かけの水平地盤反力係数の変化による地盤ばねの増大 (αw_2) も含むと考えている。この相互作用の変化による低減係数を $\alpha w (= \alpha w_1 \cdot \alpha w_2)$ とする。この低減係数は、地盤の密度、細粒分含有率、弾性係数、ダイレイタンシー特性などの違いにより異なるものと考えている。

2.4 サイクリックモビリティ発現による低減係数: αc 地盤と杭との相対変位が増大すると、杭周辺地盤の3次元なせん断ひずみの増加に伴い杭周辺の間隙水圧が急激に小さくなる現象に起因して、見かけの相互作用ばねの剛性が回復する現象が考えられる。メカニズム的には近傍地盤の3次元応力ひずみ空間の $\tau_{max} \sim \gamma_{max}$ の変化に起因する杭周面土圧～杭相対変位の変化の総和として現れるという仮説を考えている。現象的には杭頭水平力～杭頭変位の関係に現れる⁴⁾。このようなサイクリックモビリティ（以下CMと略す）発現による変位の低減効果を低減係数 αc として表す。

2.5 翼付杭の杭頭変位低減係数の定式化

(1)式で定義した翼付杭の杭頭変位低減係数を、前述した各要因による低減効果が独立して評価できることを仮定して、次式で表す。 α_r は結果として現れるものであり目的とする効果は α_w と α_c である。

$$\alpha_u = \alpha_r \cdot \alpha_w \cdot \alpha_c \quad (2)$$

- α_u : 翼付杭の杭頭変位低減係数
- α_r : 剛性増加による低減係数
- α_w : 相互作用変化による低減係数
- α_c : サイクリックモビリティー発現特性の変化による低減係数

3. 実験結果による低減係数の定量的評価

杭頭変位の低減効果は地盤の相対密度に依存する³⁾ので、飽和砂地盤を緩い場合（Dr=41-47%, 平均 45%）と密な場合（Dr=65-75%, 平均 71%）に分けて、低減効果を要因別に定量評価する。翼付杭の杭頭変位低減率の実験結果と(2)式に基づいて分析した要因別低減係数を表-1に結果を示す。

実験に用いたアクリル製小型模型杭²⁾では、全断面有効とすると $\alpha_r=0.912$ である。また、加振実験SLの結果を基に、杭をウィンクラー型の水平ばねに支持された先端固定・杭頭自由の梁に置き換えたモデルで、普通杭の杭頭変位が合うように逆算した地盤ばねを求め、同じモデルから計算で求めた杭頭変位比すなわち低減係数 $\alpha_r \cdot \alpha_w$ を求めた。これらを表-1に示した。

最大値の低減効果は、18の加振実験でその発現理由が微妙に異なる。1mm以上の変位の両振幅の低減率の平均値は、定常的に現れるものであるので、低減係数 $\alpha_r \cdot \alpha_w$ と捉えることができる。最大値の低減率が平均低減率の平均値を下回る場合があるが、この場合には、CMが発現したものと捉えられる。

表-1は以上のような解釈から実験結果を整理し、各要因の低減係数を算出したものである。実験から逆算された α_w は数値解析的に逆算された α_w に比べて小さく3次元的な相互作用の変化が杭頭変位の低減に貢献していることがわかる。また、逆算されたCM発現による低減係数 α_c は密な地盤よりも緩い地盤で小さく、対策の効果が現れていることがわかる。密な地盤の場合には特に相対変位が大きくなるとCMが発現され α_w に既にその一部が評価されていると考えられる。

図-2に以上の定量的な翼付杭の各要因を加味した杭頭変位低減率を図示する。

4. まとめ

小型模型実験により、翼付杭の杭頭変位低減効果を定量的に評価した。今後の検討課題は、効果発現のメカニズムの解明、実際の杭～地盤を想定したときの適用性や低減効果の向上方法の開発である。

なお、この実験は、飛島建設と川崎製鉄が共同研究として実施したものである。

参考文献

- 1) 森伸一郎, 三輪滋: 新しい液状化対策杭の振動台実験, 第23回土木学会地震工学研究発表会講演概要, pp.357-360, 1995.7
- 2) 笹木弘, 森伸一郎, 三輪滋, 榎島修: 新しい液状化対策杭の振動変位抑制効果を評価する小型振動台実験, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集I, 1996.9 (投稿中)
- 3) 榎島修, 森伸一郎, 三輪滋, 笹木弘: 新しい液状化対策杭の小型振動台実験での振動変位抑制効果に及ぼす影響要因, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集I, 1996.9 (投稿中)
- 4) 三輪滋, 森伸一郎, 笹木弘, 榎島修: 新しい液状化対策杭の小型振動台実験での振動変位抑制のメカニズム, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集I, 1996.9 (投稿中)

表-1 翼付杭の杭頭変位低減率の実験結果と要因別低減係数

翼付杭の杭頭変位低減率		相対密度 45%	相対密度 71%	
実	最大値低減率 : $\alpha_u(\max)$	0.715 ~ 0.853	0.733 ~ 0.875	
	平均低減率 : $\alpha_u(\text{mean})$ 平均低減率の平均値	0.791 ~ 0.851 0.820	0.721 ~ 0.811 0.781	
験	平均低減率を下回る 最大値低減率 : $\alpha_u(\max)\text{low}$	0.715-0.755 平均 0.735	0.733-0.761 平均 0.750	
	数	地盤がないとき $\alpha_u = \alpha_r$	0.912	履歴少
計		逆算地盤ばね (Kg/cm ³) 地盤反力の受圧面考慮	0.041	0.413
	算	$\alpha_u = \alpha_r \cdot \alpha_w$ α_w	0.900 0.987	0.865 0.948
逆		$\alpha_u(\text{mean}) \rightarrow \alpha_r \cdot \alpha_w$ α_w	0.820 0.899	0.781 0.856
	算	$\alpha_u(\max)\text{low} \rightarrow \alpha_r \cdot \alpha_w \cdot \alpha_c$ α_c	0.735 0.896	0.750 0.960
実験		$\alpha_u = \alpha_r \cdot \alpha_w \cdot \alpha_c$: 参考 α_c (C.M. 現象を確認)	分析未実施	0.694 ~ 0.735 0.891 ~ 0.941

実験の平均低減率: 変位が両振幅で1mm以上の変位振幅の低減率のこと
参考のため表の最下部には慣性力~杭頭変位関係に明瞭にCMが確認された位相での低減率を示した。

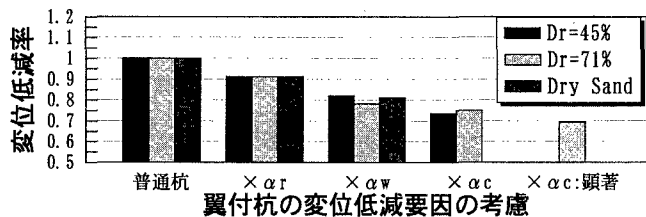


図-2 翼付杭の各要因を加味した杭頭変位低減率