

## 液状化地盤における杭の地盤反力係数の推定に及ぼす影響要因

西松建設技術研究所 正会員 ○今村眞一郎

### 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では、全層液状化地盤を対象に杭の地盤反力係数の推定式を構築し、液状化直後の過剰間隙水圧消散過程における交番載荷実験結果との比較から、その推定式の有用性を示した。本報告では、入力波や液状化地盤表層にある比較的薄い非液状化層が杭の地盤反力係数の推定に及ぼす影響について調べた。

### 2. 実験方法

図-1に、遠心模型実験の概要図を示す。模型地盤は、珪砂8号と脱気水を用いて、杭基礎が設置されたせん断土槽内に、深さ280mm、相対密度60%の飽和砂地盤を作製した。模型杭の曲げ剛性は、外径500mm、肉厚12.7mmの実鋼管杭の曲げ剛性( $EI_p=1.19 \times 10^5 \text{ kNm}^2$ )と概ね対応するもので、この杭を中心間隔30mm(1.2m)で4本組合せ、杭の上下端をフーチングと土槽底面に剛結した。杭のひずみ計測および地盤反力係数の算定方法の詳細は既報<sup>1),2)</sup>を参照されたい。

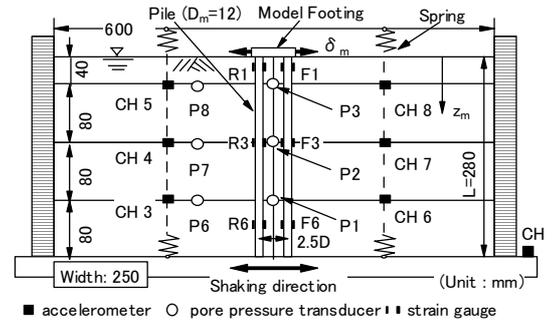


図-1 実験概要図

表-1 実験条件

Series	Code	$\delta_p/D_p$	加振条件	交番載荷試験
PF series	PF-0	0.17	加振なし	1Hz, $v_m=13\text{mm/sec}$
	PF-1	0.17	3Hz, 140Gal, 85波	1Hz, $v_m=13\text{mm/sec}$
	PF-2	0.33	3Hz, 140Gal, 81波	1Hz, $v_m=25\text{mm/sec}$
	PF-3	0.50	3Hz, 150Gal, 92波	1Hz, $v_m=38\text{mm/sec}$
QF series	QF-1	0.42	3Hz, 110Gal, 20波	2Hz, $v_m=31\text{mm/sec}$
	QF-2		3Hz, 147Gal, 50波	2Hz, $v_m=63\text{mm/sec}$
RF series	RF-1		兵庫県南部地震, 250Gal(圧縮)	
	RF-2		宮城地震, 250Gal	
GF series	GF-2		3Hz, 147Gal, 50波	
	GF-3			

実験は表-1に示す条件とし、振動実験ではフーチングを固定した状態で模型地盤のみを遠心力場40gで加振し、加振終了直後に水平交番載荷を実施した。本報での検討対象は、既報<sup>1)</sup>で報告したPF1~3とQF1,2を統合した規則波シリーズ、不規則波(兵庫県南部地震, 宮城沖地震)を入力したRFシリーズ、非液状化層厚を2種類(GF-2:0.48m, GF-3:1.44m)変化させたGFシリーズとした。以下に述べる実験結果は全て実物換算値とした。

### 3. 入力波と非液状化層厚の影響

図-2は、前報<sup>1)</sup>に倣い不規則波(RF)および非液状化層(GF)シリーズ、深さ4.8mでの水平変位と地盤反力係数を $(1 - (\Delta u/\sigma')^{0.3})^{0.6}$ (深さ4.8mでの低減係数)で除して正規化した

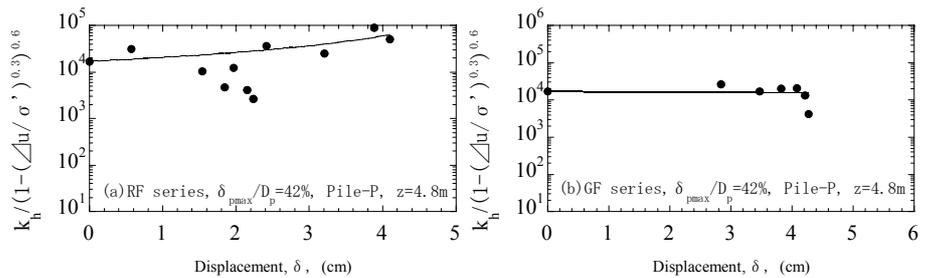


図-2 水平変位と正規化した地盤反力係数の関係

た地盤反力係数の関係である。規則波の場合、正規化した地盤反力係数は、過剰間隙水圧比の大小に関わらず、水平変位の増大に伴い低下する傾向が認められた<sup>1)</sup>。図-2から、両者の関係はいずれも一義的な関係として整理できるが、RFシリーズでは水平変位の増大に伴い増加し、GFシリーズでは漸減傾向を示している。規則波シリーズでは、静的交番載荷試験(PF-0)による初期地盤反力係数 $k_{h0}$ を加えた水平変位と正規化した地盤反力係数との関係は、以下の(1)式で表すことができた。

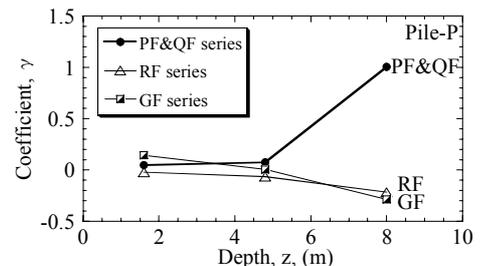


図-3 シリーズ別の深度と係数 $\gamma$ の関係

キーワード 遠心力模型実験, 液状化, 地盤反力係数

連絡先 〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4054 西松建設愛川技術研究所 TEL:046-285-7101, FAX:046-285-7104

$$k_h = (1 - (\Delta u / \sigma')^\alpha)^\beta k_{ho} \left( \frac{1}{1 + \gamma |y / y_1|} \right) \quad (1)$$

ここに、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ：実験定数、 $y$ ：水平変位量(cm)、 $y_1$ ：初期地盤反力係数  $k_{ho}$  を求めた水平変位（杭径 1%：0.48cm）である。

図-3 は、3 シリーズについて、深さ別に最小二乗法により求めた係数  $\gamma$  を比較したものである。各シリーズから得られた係数  $\gamma$  はそれぞれ異なるとともに、深度によっても増減する傾向が異なっている。このように係数が変化するのには、周波数特性の異なる入力波や地下水位の違いによって深さ方向の液状化程度が変化し、液状化継続時間や有効応力の回復程度の違いが杭の断面力分布特性に影響を与えていることが考えられる<sup>2)</sup>。

図-4 は、杭径  $D_p$  で正規化した非液状化層厚  $z/D_p$  と GF シリーズの係数  $\gamma$  の関係であり、GF と同じ加振条件で入力した QF-2 も併せて示した。図から、非液状化層の有無や深度の違いによって係数  $\gamma$  の正負が反転している。この係数  $\gamma$  の正負の反転は、図-2 に示した (1) 式による近似曲線のように、水平変位量の増大に伴う地盤反力係数の増減傾向を意味するものである。すなわち、非液状化層の有無の違いにより杭の断面力分布が変化し、各深さにおける地盤反力変位曲線にも影響することを示唆している<sup>2)</sup>。

しかし、図-4 から非液状化層厚さの違いによる係数  $\gamma$  には大きな差は認められない。これは、非液状化層が液状化の発生に伴う液状化地盤からの過剰間隙水によって軟化し、地下水位 0.48m と 1.44m(=3 $D_p$ ) では非液状化層厚の影響をあまり受けなかったことが原因として考えられる。地盤反力係数の推定は、非液状化層厚別の係数  $\gamma$  を用いた方が、その精度も個々に向上することを確認しているが、ここでは係数  $\gamma$  の違いが推定精度に大きな影響を与えないこと、データ点数も少ないことを踏まえ、GF シリーズ (GF-2, GF-3) を統合して推定式の係数  $\gamma$  を求めることにした。

4. 交番载荷実験結果との比較

GF シリーズで代表して、(1) 式による推定地盤反力係数と実験値を深度別に比較したものを図-5 に示す。図中に示した推定比 (=実測値/推定値) の平均値  $PR_{ave}$  は、深さ 1.6m、8.0m の場合には 1.0 を上回るケースも認められ、推定精度は若干低下している。一方、深さ 4.8m では標準偏差 SD の値が 1 を下回り推定精度も良好である。RF シリーズも同様な結果であるが、水平変位に伴う地盤反力係数の挙動は各シリーズで深さにより異なり、規則波シリーズとは異なる結果となった。このことから、係数  $\gamma$  の違いは地盤反力係数の推定誤差にも影響するため、深度、入力波および地盤構成に考慮した推定式を構築することが必要と考えられる。

5. おわりに

推定値と入力波や非液状化層厚を変化させた交番载荷実験結果を比較した結果、実験傾向を捉えるとともに推定精度も良好であった。また、地盤反力係数の推定精度の向上を図るには、推定式のパラメータ  $\gamma$  を深度のみならず、入力波や地盤構成に応じて求めることが必要であることが確認された。

【参考文献】 1) 今村眞一郎：液状化地盤における杭の地盤反力係数の推定，土木学会第 64 回年次学術講演会論文概要集，III-116, pp.231-232, 2009. 2) 例えば，今村眞一郎，藤井齊昭：液状化地盤における組杭の水平抵抗の評価，第 41 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.1921-1922, 2006.

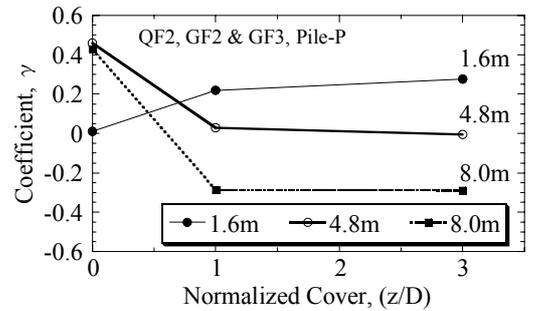


図-4 正規化した非液状化厚と係数の関係

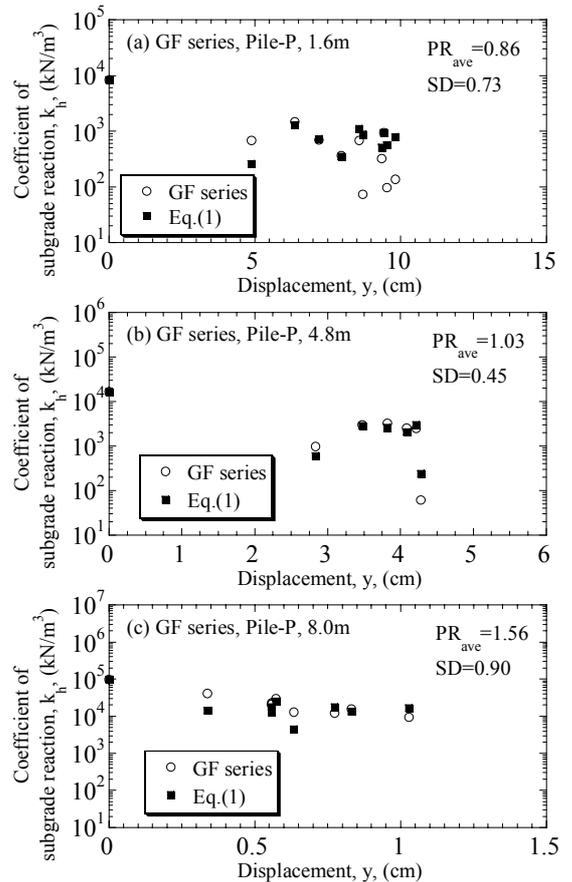


図-5 実験値と推定地盤反力係数の比較