液状化地盤における杭の地盤反力係数の推定

西松建設技術研究所 正会員 〇今村眞一郎

1. はじめに

筆者は、液状化地盤における杭の水平抵抗特性を明らかにすることを目的として、一連の遠心模型実験を行ってきた¹⁾.本報告では、過剰間隙水圧比、水平変位量が地盤反力係数に及ぼす影響を考察するとともに、杭の地盤反力係数の推定式を構築し、交番載荷実験結果との比較から、その推定式の有用性を検証した.

2. 遠心模型実験の概要

図-1 に遠心模型実験の概要図を示す. 模型地盤は, 試料に珪砂 8 号 (D₅₀=0.07mm, e_{max}=1.333, e_{min}=0.703, k=2.0×10⁻³cm/s), 間 隙流体に脱気水を用いて, 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, 実物で杭長

(Lp) 10.8m, 杭外径 (Dp) 500mm の鋼管杭に相当するもので,こ の杭を中心間隔 1.2m(2.5Dp)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.杭の曲げひずみ計測,杭の地盤反力係数 などの算定方法は既報を参照されたい¹⁾.

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40gの遠心力場で加振し, 加振終了と同時にトリガー信号を得て,杭 頭フーチングに水平方向の交番載荷を実 施した.載荷点における最大変位量 δp は 80mm~240mm (δ/D=17~50%)とした.

本報での検討対象は,既往の実験シリーズのうち,表-1 に示す 規則波シリーズ(PF1~3 と QF1~2 の統合データ)とした.

3. 地盤反力係数と過剰間隙水圧比,水平変位の関係

図-2 は、規則波シリーズ、深さ 4.8m において、地盤反力が極 値を示した時の過剰間隙水圧比と地盤反力係数比 k_h / k_{h0} (k_h :実 験から求めた地盤反力係数, k_{h0} :初期地盤反力係数)の関係であ る.初期地盤反力係数は、道路橋示方書・同解説設計指針²⁾を参 考に、PF0 から推定した地盤反力変位関係における基準変位 1% での割線勾配とした.加振後の地盤反力係数比は、有効応力の回 復に伴って増加しているが、両者の関係には線形性が認められな い.図-2 の考察に基づき、液状化による k_h の低減係数を、過剰 間隙水圧比 $\Delta u / \sigma$,を用いた関数(1)式で表すことができる.

$$k_{h}/k_{ho} = (1 - (\Delta u / \sigma')^{\alpha})^{\beta}$$
⁽¹⁾

ここに, α, βは任意定数である.

一方,図-3は,水平変位と地盤反力係数の関係を過剰間隙水圧 比別に示した.地盤反力係数は,水平変位の増大に伴って低下し,

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

600 9 CH 5 CH 8 P8 P3 80 CH 4 I CH 7 280 80 P2 CH 3 CH 6 IF6 P6 ŝ CH 2.5D Width: 250 (Unit Shaking direction accelerometer 0 pore pressure transducer I strain gauge 図-1 実験概要図

表-1 実験条件

Test code	δp(mm)	δp/ Dp	加振条件	交番載荷試験
PF 0	± 80	0.17	加振なし	1.0 Hz, v = 8 mm/sec
PF 1	± 80	0.17	3Hz, 140Gal, 85 波	1.0 Hz, v = 8 mm/sec
PF 2	± 160	0.33	3Hz, 140Gal, 81 波	1.0 Hz, v = 16 mm/sec
PF 3	± 240	0.50	3Hz, 150Gal, 92 波	1.0 Hz, v = 24 mm/sec
QF 1	± 240	0.50	3Hz, 110Gal, 20 波	2.0 Hz, v = 48 mm/sec
QF 2	± 240	0.50	3Hz, 147Gal, 50 波	2.0 Hz, v = 48 mm/sec



図-2 過剰間隙水圧比と地盤反力係数比の関係



同じ水平変位に対して過剰間隙水圧比が大きいほど小さくな る傾向が窺える.これを踏まえ,図-2の回帰式から得られたα, βを用いて,地盤反力係数を(1-(△u/σ')^α)^βで除して正規化 した値と水平変位の関係を図-4 に示す.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 伴って低下する傾向が認められる.

以上の結果は、時松らが行った大型振動台による実験結果³⁾ ともよく対応している.

4. 地盤反力係数と変位関係のモデル化

既往の研究³⁾と建築基礎構造設計指針⁴⁾を参考にして,図-4 のデータに初期地盤反力係数 kho を加えた地盤反力係数と水平 変位との関係は,(2)式で表すことができる.

$$k_{h} = \left(1 - \left(\Delta u / \sigma'\right)^{\alpha}\right)^{\beta} k_{ho} \left(\frac{1}{1 + \gamma |y / y_{1}|}\right)$$
(2)

ここに、γは任意定数、yは水平変位量(cm)、y₁は初期地盤 反力係数 k_{h0} を求めた杭径 1%に相当する水平変位量(0.48cm) である. なお、PF0の載荷試験では、深さ 8m における杭の水 平ひずみが 1%未満であったため、極大値での割線勾配とした.

5. 交番載荷実験結果との比較

図-5 は、(1)、(2) 式を用いて、各深度(1.6m、4.8m および 8.0m)に応じて推定した地盤反力係数と実験値と比較したもの である.推定地盤反力係数は、いずれの深さにおいても実験結 果の傾向を捉えており、実測値との整合性も良好である.

地盤反力係数は水平変位の増大に伴って低減するが、その低 減率は深さによって異なっている.したがって、地盤反力係数 の推定精度の向上を図るには、試験に対応した過剰間隙水圧比 の挙動を(1)式で正確に捉え、推定式の各パラメータを深度 に応じて求めることが必要である.

6. おわりに

遠心力場で実施した交番載荷試験の結果より,杭の地盤反力 係数の推定式を構築し,実験結果と比較した.その結果,深度 に応じた地盤反力係数の推定式の有用性を示すことができた.

また,推定式は既往の研究による大型振動台実験から得られた推定式と類似した双曲線関数で表すことがで きることも確認された.今後は、入力波、加振エネルギーおよび地盤構成などの違いが推定式のパラメータに 及ぼす影響について検討を進める予定である.

本研究を実施するにあたり、ご指導を戴きました中央大学 藤井齊昭名誉教授に謝意を表します. 【参考文献】

- 1) 例えば、今村眞一郎、藤井齊昭(2008):液状化前後の飽和砂地盤における組杭の水平抵抗、第43回地盤工 学研究発表会発表講演集、pp. 1637-1638.
- 2) 日本道路協会(2002): 道路橋示方書・同解説設計指針, pp. 253-257.
- 3)時松孝次,鈴木比呂子,佐伯英一郎(2002):大型振動台実験に基づく液状化過程での杭の水平地盤反力変 位関係のモデル化,日本建築学会構造系論文集,No.559,pp.135-141.
- 4) 日本建築学会(2001):建築基礎構造設計指針, pp. 66-72.



図-4 水平変位と正規化した地盤反力係数の関係



図-5 推定地盤反力係数と実験値の比較