

地盤内の間隙水圧レベルが杭の水平抵抗に与える影響

西松建設技術研究所 正会員 今村 眞一郎
 西松建設技術研究所 正会員 萩原 敏行
 中央大学理工学部 正会員 藤井 齊昭

1. はじめに

旧来の許容設計法から限界状態設計法、性能設計法への設計思想の軸速が移りつつある現在、将来の杭の水平抵抗問題を捉える時、小変形から破壊状態に至る大変形までの地盤と杭の相互作用を連続的に捉える必要がある。そのためには、杭の水平地盤反力 p と水平変位 y の関係に非線形性を導入し、地震時においては動的な応答による p - y 関係を明らかにしておく必要がある。そこで本研究では、緩い飽和砂地盤に振動を加え、地盤内に間隙水圧が残存している僅かな間に、杭基礎の交番載荷試験を行い、地盤内の間隙水圧レベルと杭の水平抵抗との関係を調べた。

2. 遠心模型実験概要

図-1に、載荷システムと各種センサーの位置を示す。当システムは、模型地盤を加振中は杭頭を固定に保ち、加振終了時の信号を受けて任意の水平変位と載荷速度で、所定の回数、杭頭に交番載荷を繰り返してできる。模型杭は杭径12mm、肉厚0.8mmの銅製杭とし、実物で 508mm、肉厚12.7mmの鋼管杭の曲げ剛性とほぼ相似となる。杭基礎は4本の組杭基礎であり、図-1のように、杭先端にはアルミ製のツバ付きコマ、上端部はツバとテーパ付きのコマを挿入することで各固定部の補強を行い、理想に近い固定条件を保持した。これは、杭境界での固定条件の確保に工夫を重ねた結果で、この他にも杭材を降伏荷重まで数回引張ることで初期歪みを均一化し、曲げと軸力の計測を専用杭で計測することで、安定した信頼性の高い、曲げひずみと軸ひずみ計測の実現を可能にした。模型地盤の作製は、4本杭を予めせん断土槽底盤に固定した後、水中落下法により8号珪砂 ($D_{50} = 0.07\text{mm}$, $e_{\text{max}} = 1.333$, $e_{\text{min}} = 0.703$, $k = 2.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$) を用いて、相対密度60%、厚さ280mmの地盤を作製した。実験条件を表-1に示す。実験は40g遠心力場にて2段階で行われ、いずれも杭の配置は同じで、杭の中心間隔は杭径の2.5倍とした。なお、交番載荷の周波数は、予備試験の結果、液状化の継続時間を考慮し1Hzとした。

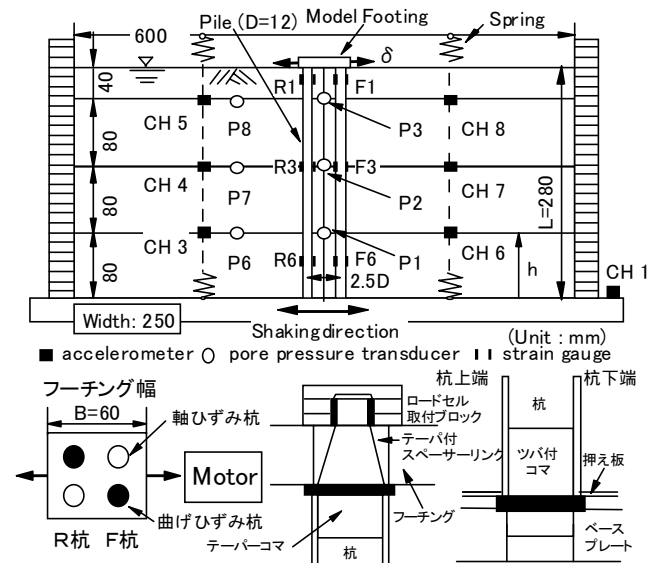


図-1 実験システムと各種センサーの位置

1) BFシリーズ：模型実験の境界条件を明確にし、模型に振動を与えない状態で地盤反力を把握するため、模型地盤の高さを $0 \sim 280$ ($=L$) まで4段階に変化させ、杭端部を傷めないように載荷点での最大変位量を $\pm 2\text{mm}$ とした。

2) AFシリーズ：正弦波加振直後に行う交番載荷試験では地盤高さは $h=L$ とし、最大変位量を $2 \sim 6\text{mm}$ に変化させた。

3. 実験結果および考察

1) 地盤層厚による影響 (BFシリーズ)

以下に示す実験結果は全て実物換算して示した。繰り返し載荷した時、載荷点の水平変位が $\pm 2\text{mm}$ (杭径の約17%) の時の各計測位置における曲げモーメント分布を図-2に示す。実線で示したBF-1 (水地盤、 $h=0$) では、杭の上部を除けばほぼ軸対称の直線に近い形で曲げモーメントの値が分布している。一方、地盤の層厚を変化させたケースのうち、

表-1 実験ケース

Code	地盤深さ (実換算)	h/L	杭頭変位 (mm)	$/D$ (D:杭径)	加振条件
BF-1	水地盤	0	2	0.17	
BF-2	101(4m)	0.36			
BF-3	199(8m)	0.71			
BF-4	280(11m)	1			
AF-1	280(11m)	1	2	0.17	3Hz, 150Gal, 25波
AF-2		1	4	0.33	3Hz, 150Gal, 25波
AF-3		1	6	0.5	3Hz, 150Gal, 50波

キーワード 遠心模型実験, 液状化, 交番載荷試験, 水平抵抗

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

BF-2, 3, 4 ($h=0.36, 0.71, 1$) について考察すると、 h/L が大きくなるに従い、曲げモーメント分布に明瞭なピークが見られるようになり、その出現位置は地表寄りになってくることが判る。また、地盤反力と変位が弾性範囲内で、 $h=0.71$ ($17D, D$: 直径) の模型であれば、杭の下端部に曲げモーメントが零になる様子が認められ、交番载荷の方向によって、前面列になる杭の曲げモーメントは後列のものより約20%大きくなり、これが繰り返されることが確認できた。

2) 加振後の地盤における抵抗 (AFシリーズ)

ここでは、加振を加えないBFシリーズと直接対比させるため、地盤反力が弾性的な挙動を示すと考えられる $\sigma=2\text{mm}$ ($\sigma/D=17\%$) の結果について中心に考察を述べる。図-3に4本組杭の中央における間隙水圧の時刻

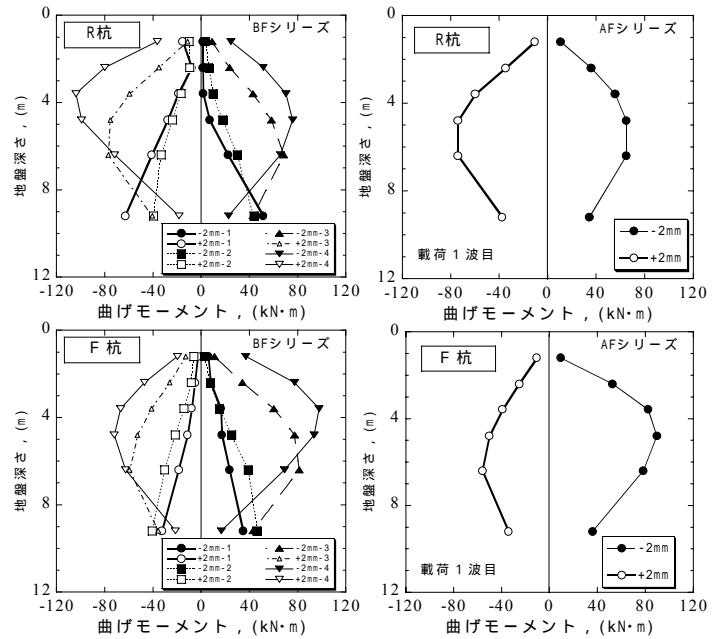


図-2 曲げモーメント分布

歴、図-4に交番载荷1, 2および4波目における、地盤深さ方向の過剰間隙水圧分布を示し、過剰間隙水圧比が1に相当する値を破線で示した。図から加振によって地盤が完全に液状化していると判断できるのは、地表から層厚の1/2深さまでである。いずれのケースにおいても、载荷の第1波目ではこの深さまでの地盤で、有効応力がゼロになっていたとみなされるが、加振エネルギーの小さかった $\sigma/D=17\%$ (AF1) と33% (AF2) の場合は間隙水圧の消散も早く、第2波目では既に表層部以外は有効応力の6割以上が回復していることが判る。一方、加振エネルギーの大きかつ

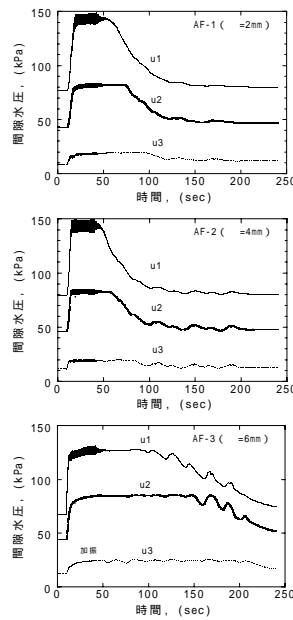


図-3 間隙水圧時刻歴

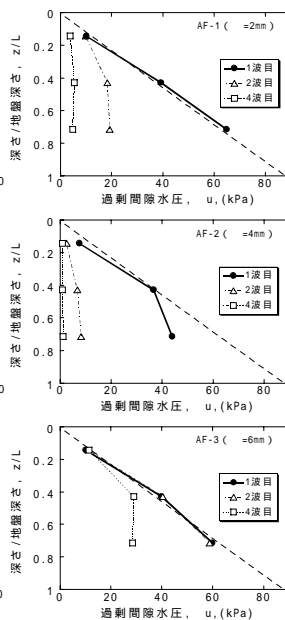


図-4 過剰間隙水圧分布

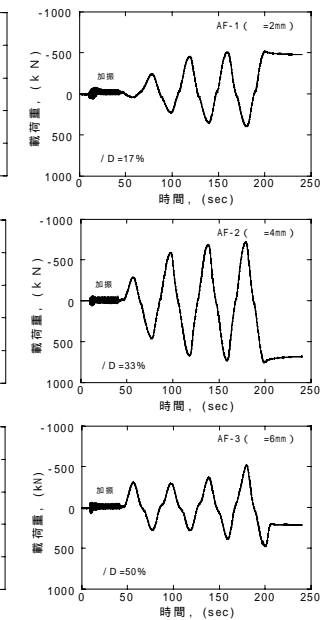


図-5 載荷重の時刻歴

た $\sigma/D=50\%$ (AF3) の場合、第2波目でも未だほぼ全層にわたって第1波目と同じ間隙水圧を維持していたことが判る。次に、図-5に載荷重の時刻歴を示す。加振エネルギーの小さかった $\sigma/D=17\%$ と33%では加振後、急速に過剰間隙水圧の減少した様子が、載荷重の時刻歴においても明確に現われていることが確認できる。また、同じ加振条件の $\sigma/D=17\%$ と33%のデータを比較すると、載荷重は杭頭変位に比例して大きくなっていることが判る。図-2より当然のことながら、両者の曲げモーメントは相似になっている。ここで $\sigma/D=17\%$ における載荷重および曲げモーメントと、BFシリーズ ($h=0.71L$) のケースと比較すると両者は極めて近いことを確認している。このことは、加振によって表層から0.3L (杭径Dの約7倍) の深さまでが液状化して、地盤反力がなくなったと解釈してもよいことになる。このように、地表面からある深さまでの地盤反力がゼロとする考え方は、従来の杭基礎の耐震設計として広く取り入れられており、今回の実験によって現行の耐震設計の考え方に関する妥当性が検証されたと言える。

4. おわりに

加振エネルギーの大きさによって、加振後の過剰間隙水圧の継続時間に相当な影響があることが確認され、加振による地盤内の有効応力から判断すると一見同じようにみえても、その状態で行った杭の載荷試験の結果は、加振エネルギーに大きく左右される結果となった。