

地盤改良を用いた液状化地盤における杭基礎の補強効果

西松建設技術研究所 正会員 ○今村眞一郎
中央大学理工学部 正会員 藤井齊昭
同上 阿部利明 成田哲治

1. はじめに

筆者らは、遠心力場において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载荷試験を行い、入力波、非液状化層厚および地盤内の間隙水圧レベルが杭の水平抵抗に及ぼす影響を調べてきた^{1)~3)}。本報告では、液状化地盤における杭の水平支持力の向上を目的として、杭基礎周辺に打設したドレーン工法や固化改良による液状化対策効果に関する遠心模型実験の結果について述べる。

2. 実験概要

実験に用いた模型概要を図-1に示す。模型地盤は、試料に珪砂8号 ($D_{50}=0.07\text{mm}$, $e_{\max}=1.333$, $e_{\min}=0.703$, $k=2.0 \times 10^{-3}\text{cm/s}$) を用いて作製した深さ280mm、相対密度60%の飽和砂地盤である。図-1に示す杭は、実物で杭長11.2m、杭外径500mmの鋼管杭に相当するもので、この杭を中心間隔1.2mで4本組合せ、杭の上下端はフーチングと土槽底面に剛結した。振動実験では振動台と独立した不動点にフーチングを固定した状態で模型を40gの遠心力場で加振し、加振が終了する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载荷を実施した。加振実験で模型に与えた規則波形は加速度 147Gal 、周波数 3Hz の50波であり、これは宮城沖地震を念頭に等価な規則波に換算したものである。加振直後の杭への交番载荷はひずみ制御で行われ、杭頭でのたわみが杭径の50%、载荷周波数を 2Hz とした。実験条件は図-1に示す通りであり、未改良 (Case1)、フーチング直下を深さ3.2mまで固化改良した逆台形地盤改良 (Case2)、杭基礎周辺地盤に打設したドレーンの根入れ長を2種類に変化させたドレーン改良 (Case3, Case4) の計4ケースを実施した。改良地盤は珪砂8号と寒天水溶液を混合したもので、一軸圧縮強度は約 100kPa である。また、ドレーン材模型は外径 8.5mm (内径 6mm) の中空プラスチック材を不織布で巻いたもので、実物換算にして直径 340mm で、水平方向透水係数は約 100cm/sec である。Case4 (根入れ長 11.2m) ではドレーン材の置換率を1.4%、Case3 (根入れ長 5.2m) では置換率をCase4の2倍 (2.8%) とした。

3. 振動実験

Case2~4について、杭間および周辺地盤における過剰間隙水圧比の経時変化を深度別に図-2に示した。過剰間隙水圧の減少過程で曲線が大きく乱れているのは、後述する杭の2サイクルの交番载荷の影響によるものである。ここではCase1の結果を図示していないが、浅い位置では加振開始とともに上昇した間隙水圧は18波目ほどで水圧比が1となり、杭間および周辺地盤でも深さ 9.6m までは完全に液状化していた。Case2も同様に杭間、周辺地盤ともに水圧比は $0.8\sim 1.0$ に達し、ほぼ液状化していると判断できる。Case2の改良体直下 (深さ 6.4m) では改良体による過剰間隙水圧の抑制効果が若干認められるが、深さ 9.6m では周辺地盤に比べて杭間での水圧の消散がやや遅い。Case3 (根入れ長 5.2m) では、ドレーンが設置されていない深さ 9.6m では杭間および周辺地盤ではともに液状化している。これに対し、ドレーンが設置されている深さ 2.4m では水圧比が 0.4 程度まで

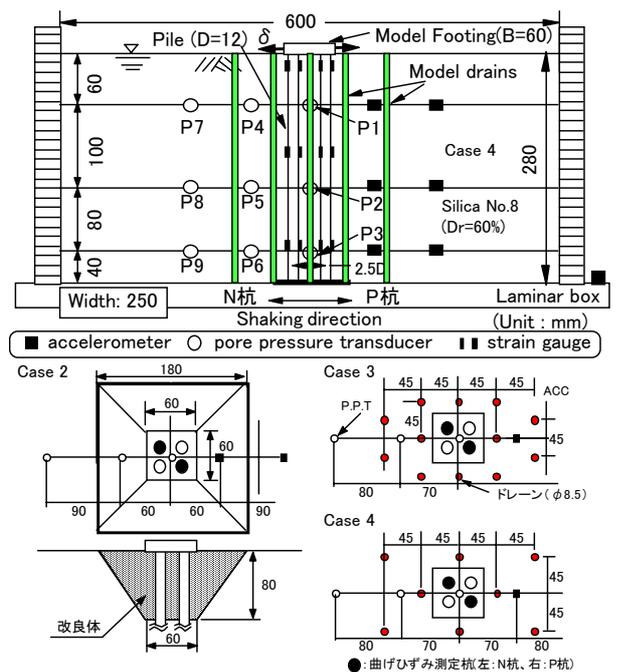


図-1 実験概要図および実験条件

キーワード 遠心模型実験, 杭, 液状化, ドレーン工法, 水平支持力

連絡先 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4054 西松建設愛川衝撃振動研究所 Tel 046-285-7101 Fax 046-285-7104

抑制されている。Case4（根入れ長 11.2m）では、杭間では深さに依らず水圧比が 0.35～0.6 程度まで抑制されていることがわかる。

4. 交番载荷試験

図-1に示すN杭で代表して、加振直後の交番载荷試験による杭の曲げモーメント、地盤反力およびたわみ分布図を図-3～5に示す。図-3は交番载荷の1、2波目の時の曲げモーメント図で、図-4、5に示す地盤反力およびたわみは、各ケースの2波目における曲げモーメント値を高次式により近似し、曲げモーメント分布の近似式を繰り返し微分積分して算定したものである。図-2から加振直後の载荷1波目のCase1では地盤が液状化していると判断されたが、未だ確かな地盤反力が作用している曲げモーメント分布の形をとっており、水圧比が1に近くても地盤反力が期待できる。しかしながら、载荷2波目になるとCase4を除き、いずれも片持ち梁の曲げモーメント分布の形に変化している。Case2では、载荷1波目および2波目ともに杭の全長にわたって地盤反力が全く作用していない片持ち梁の分布を示している。筆者らが過去に実施した実験¹⁾では表層3.5mまでは水平抵抗がゼロになることを確認している。これを踏まえ、フーチング直下を逆台形状に固化改良したが、杭の補強効果は全く認められなかった。この原因としては、改良体の形状、ならびに液状化した周辺地盤に水平抵抗をとることができなかつたためと考えられる。固化改良を用いて杭の補強効果を上げるためには、改良体の形状や改良範囲も含めて検討する必要がある。一方、Case3では地盤上層で水圧比の抑制効果が認められたにも関わらず、浅い位置における地盤反力は認められない。ドレーンによる排水効果が顕著に認められたCase4では、確かな地盤反力があることは図-4からも明らかで、この傾向は図-5のたわみ分布図において杭の曲率の差として現れている。したがって、ドレーンを用いて杭の水平抵抗を確保するためには、根入れ長を浅くしてドレーンの置換率を増やすよりもむしろ液状化全層にわたって根入れをすることが有効である。

5. おわりに

- 1) 固化改良ケースでは、未改良ケースとほぼ同じ断面力となり、フーチング直下の部分改良による杭の補強効果は認められなかった。補強効果を上げるためには、改良体の形状や範囲について検討する必要がある。
- 2) ドレーンを用いて杭の水平支持力を確保するためには、根入れを浅くしてドレーンの置換率を増やすよりもむしろ液状化全層にわたって根入れをすることが有効である。

参考文献：1) 今村ら：地盤内の間隙水圧レベルが杭の水平抵抗に与える影響，土木学会第 57 回年次学術講演会論文概要集，pp. 1261-1262, 2002. 2) 今村ら：液状化前後の地盤における組杭の交番载荷試験，土木学会第 58 回年次学術講演会論文概要集，pp. 611-612, 2003. 3) 今村・藤井：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，2006（投稿中）。

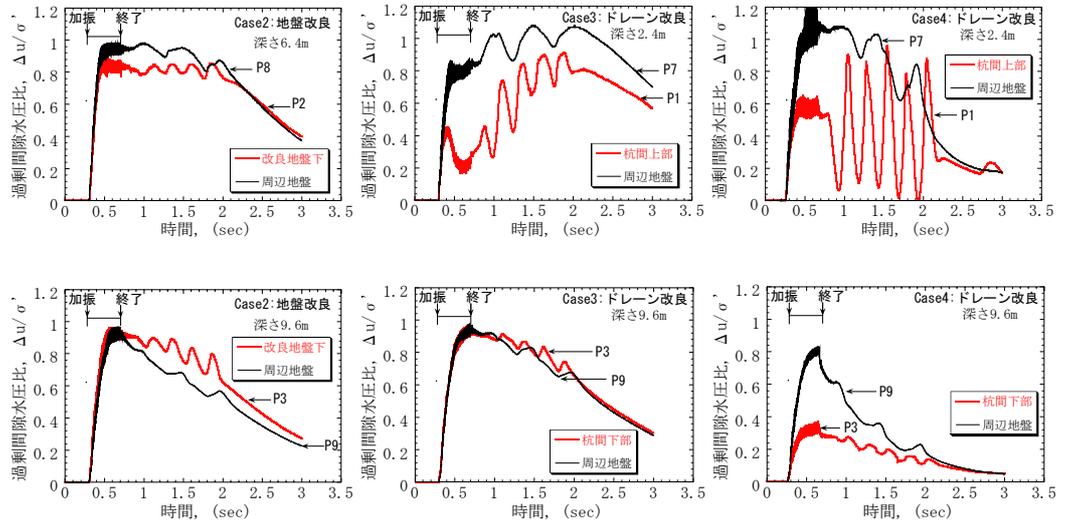


図-2 過剰間隙水圧比の経時変化

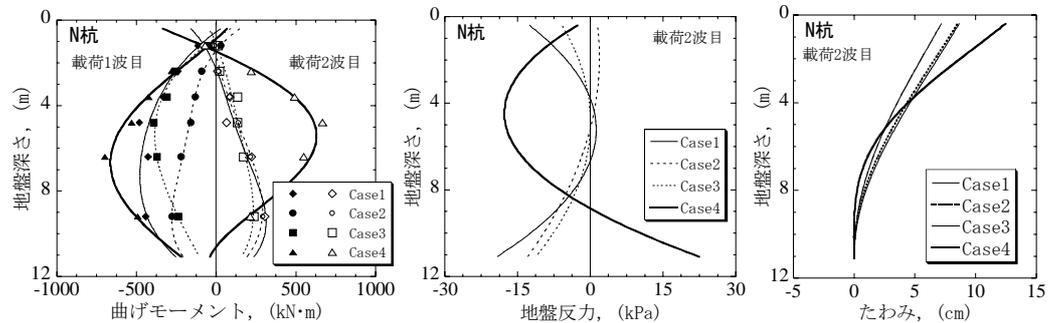


図-3 曲げモーメント分布

図-4 地盤反力分布

図-5 たわみ分布