杭基礎の大変形挙動後における支持力特性に関する研究-その３
鉛直載荷試験

(社)コンクリートパイル建設協会　正会員○長谷川　央　　西村　裕
飯田　努
(独)土木研究所　中谷　昌一　　白戸真大
鋼管杭協会　正会員　大久保　浩弥

１．はじめに

杭本体構造と地盤改良体の複合体からなる基礎や杭は，地震時に地盤改良体にひび割れが発生すると地盤改良体と杭体の追従性に影響が出て、杭本体構造と地盤改良体の付着が低下するおそれがある。しかし、このような場合の鉛直支持特性について検討された事例は少ない。このような問題をふまえ、本研究では大地震後における鉛直方向支持性能を調査するため、約１ヵ月後、6 ヶ月以上後と期間を空け、同一のプレボーリング杭に対して載荷試験を行い地盤や地盤改良体部（ソイルセメント部）による支持力特性の変化について検討を行う計画である。本報告では第一回の鉛直載荷試験から約１ヶ月後の鉛直載荷試験までの結果を報告する。

２．試験概要

試験杭の諸元は、同報１に示したとおりである。また、試験地盤のボーリング柱状図、ひずみゲージ取り付け位置を図 2 に示す。試験杭は、極限荷重載荷時において杭体のひずみ特性に影響を及ぼさない SC 杭(直径 D=400㎜、鋼管厚 t=6㎜、杭長 L=15m)を用いた。

試験体数は地盤改良体部強度と厚みを変えた 4 体とした。なお、地盤改良体部強度は施工時管理値として 0.5～1.0N/㎟と規定していることから、最低 0.5N/㎟、比較対象として 2.0N/㎟の 2 種類を用いた。載荷試験工程について表 2 に示す。第 0 ステップとして、常時鉛直支持力を試験荷重とする鉛直載荷試験、弾性範囲内の荷重での正負交番水平載荷試験を行う。第 0 ステップ終了後、第 1 ステップとして杭頭沈下量が杭径の 10%の 40㎜以上の鉛直載荷試験と、水平変位量 4δに達する正負交番水平載荷試験を行う。第 1 ステップ試験荷重載荷後 、地盤の回復を待たずに鉛直載荷試験を行う。第 1 ステップ試験荷重載荷後、1 ヶ月程度の時間をおき杭周辺地盤の回復を待ってから、第 2 ステップとして第 1 ステップと同様に鉛直載荷試験・正負交番水平載荷試験を実施し、鉛直支持力・水平抵抗力を記録する。第 2 ステップ終了後、第 3 ステップとして 6 ヶ月以上程度の時間を置き杭周辺地盤の回復を待ってから第 2 ステップと同様に鉛直・正負交番水平載荷試験を実施し、鉛直支持力・水平抵抗力を記録する。

表１　試験杭一覧

試験体№	地盤改良体部厚み(㎜)	根固め部施工形状	地盤改良体部強度(N/㎟)
1	D+50(1.125D)	拡大根固め型	0.5
2	D+100(1.25D)	ストレート型	0.5
3	D+50(1.125D)	拡大根固め型	2
4	D+100(1.25D)	ストレート型	2

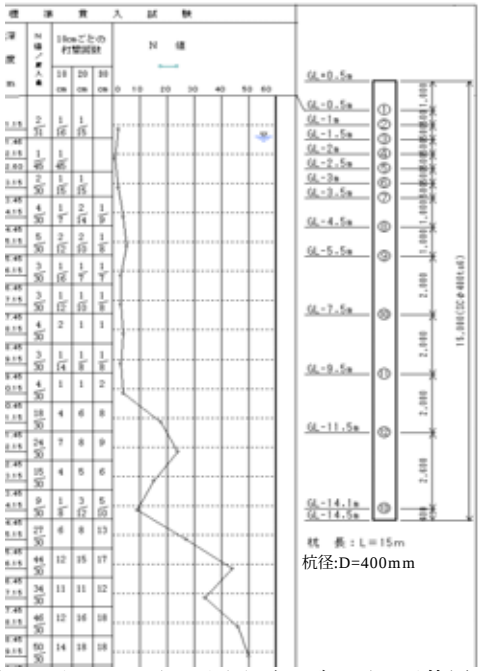

図２　ボーリング№2 図及びひずみゲージ位置

３．試験結果

図 3 に各ステップにおける杭頭部の荷重-沈下曲線を示す。各載荷段階毎に試験結果を見ていくと、第 0 ステップにおいては、どの試験体においても載荷荷重 600kN では大差は見られない。

キーワード　プレボーリング杭工法、鉛直載荷試験、地盤改良
連絡先　〒105-0013　東京都港区浜松町 2-7-15 日本工築 2 号館 3F　(社)コンクリートパイル建設技術協会　TEL.03-5733-5881

表 2　載荷試験工程

載荷試験段階	載荷パターン	荷重状態
第 0 ステップ (杭打設から 1 ヶ月後)	①鉛直載荷(0-1 ステップ)	常時許容鉛直支持力
	②正負交番(0-2 ステップ) 水平載荷	杭頭変位 10㎜ 以内かつ地盤が降伏しない荷重
第 1 ステップ (第 0 ステップ終了後)	③鉛直載荷(1-1 ステップ)	杭頭沈下 0.1D＝40㎜ 以上
	④正負交番(1-2 ステップ) 水平載荷	4δに達する荷重（1δ：荷重変位曲線の折れ点にあたる荷重）
	⑤鉛直載荷(1-3 ステップ)	杭頭沈下 0.1D＝40㎜ 以上
1 ヶ月程度待機（地盤の回復を調査）		
第 2 ステップ (第 1 ステップから 1 ヵ月後)	⑥鉛直載荷(2-1 ステップ)	杭頭沈下 0.1D＝40㎜ 以上
	⑦正負交番(2-2 ステップ) 水平載荷	④の最大変位量に達する荷重
6 ヶ月以上程度待機（地盤の回復を調査）		
第 3 ステップ (第 2 ステップから 6 ヶ月後以上)	⑧鉛直載荷(3-1 ステップ)	杭頭沈下 0.1D＝40㎜ 以上
	⑨正負交番(3-2 ステップ) 水平載荷	④の最大変位量に達する荷重

1-1 ステップでは、試験体№2 において 2800kN と若干他の試験体より大きい支持力になった。また、1-3 ステップでは、試験体№1 以外は、支持力が 78～85%に低下し 2200kN となった。さらに、沈下量 10㎜ 程度以下の領域に着目すると、荷重-沈下関係が曲線状（1-1）から直線状（1-3 以降）に変化している。すなわち、後者は杭体を一様圧縮したときの形状に近い。このことから、1-2 ステップの水平載荷試験による地盤への影響や、地盤改良体部に生じたひび割れあるいは杭体との付着力の喪失などにより、周面摩擦力が減少したことが示唆される。なお、2-1 ステップでは、支持力の回復はなく、1-3 ステップと変わらない結果となった。

図 4 に試験体№3 の各ステップを重ねた荷重-沈下曲線を示す。これより、1800kN付近に明確な折れ点が存在する。これは、1-1、1-3、2-1 ステップにおいてもほぼ位置は変らないことがわかる。また、道路橋示方書・同解説[1)]で示されている式(1)より算出した、極限支持力 1100kN を上回っている事が確認できた。他の試験体についても同様の傾向が見られた。

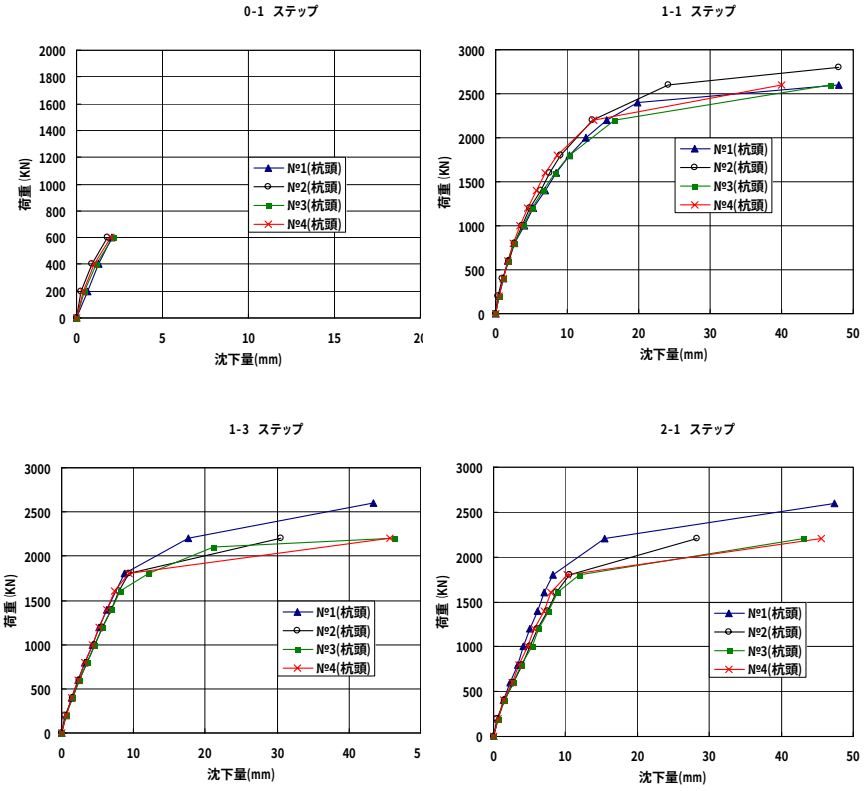

図 3　荷重-沈下曲線

$$Ru = qd \cdot Ap + U \cdot \sum (Li \cdot fi) \cdots (1)$$

ここに、qd;先端極限支持力度、Ap;杭先端面積、U;杭の周長、Li;層厚、fi;層の周面摩擦力度

3．まとめ

地盤改良体部の厚さ、強度を変えた試験杭の鉛直載荷試験を実施した結果、以下のことがわかった。1.常時荷重時、第 1 回目(1-1 ステップ)の極限荷重時における支持力の大きな差は見られない。2.第 2 回目(1-3 ステップ)以降の極限荷重においては、全ての試験杭において支持力は減少し、その原因としては周面摩擦力の低下が考えられる。

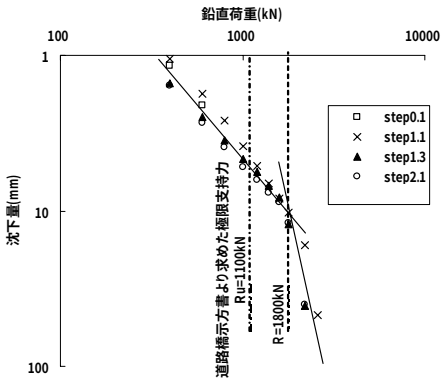

図 4　№3 荷重-沈下曲線

3.極限荷重後の 1 ヶ月間では、支持力の回復は見られない。今後、第 3 ステップの載荷試験と詳細な解析を行い、追って結果を報告する予定である。なお、本研究は首記 3 者の共同研究の成果をまとめたものである。

参考文献：1)(社)日本道路協会,道路橋示方書