

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1

鉛直載荷試験(報告 2)

(社)コンクリートパイプ建設技術協会 正会員 ○岡田 亮太 正会員 寺川 洋平

海老澤 朗 横山 雅樹

(独) 土木研究所

中谷 昌一

白戸 真大

一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会

昇 健次

1. はじめに

道路橋示方書¹⁾において、耐震設計上重要な橋は、レベル2地震後にも橋としての機能を速やかに回復することが要求されており、基礎も地震後に、特に点検・修復作業を行うことがなくとも橋の支持に必要な抵抗特性が残存するように設計されている。近年、地盤改良体と構造体の複合構造が多く提案されており、そのうち杭工法の系統として提案されたプレボーリング杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法が道路橋示方書に示されている。しかし、道路橋基礎として使用された歴史が浅いことから、地盤改良体との複合体がレベル2地震時の荷重を受けた場合、鉛直・水平支持機構が変化し、橋の再供用に影響を及ぼすような事態になるのかは、これまでの経験からは判断できない。そこで、地盤改良体と構造体の複合構造の例としてプレボーリング杭工法を取り上げ、大地震後の状態を想定した杭の鉛直・水平載荷試験を行い、地盤改良体部の損傷や地盤強度の回復が、鉛直支持特性および水平抵抗特性に及ぼす影響について検討をおこなっている。養生期間は、第一回目の載荷を基準に約1ヶ月後、1年後（原則として）としている。なお、約1ヶ月養生後までの試験結果についてはすでに報告²⁾されており、本報告ではその後行った1年間養生後の鉛直載荷試験結果について報告する。なお、本研究は、(独)土木研究所および鋼管杭・鋼矢板技術協会との3者共同研究の一環として取りまとめたものである。

2. プレボーリング杭工法

セメントミルクを噴射する掘削ビットを用い、あらかじめ地盤を掘削・泥土化した地盤に、根固め液、杭周固定液を注入し攪拌混合してソイルセメント状にした後、既製杭を沈設する工法である。

3. 載荷試験概要

試験杭は、PHC 杭の場合、ひび割れ発生以降のひずみ測定が不可能となるため、SC 杭(杭径 400mm、鋼管厚 6mm、杭長 15m)を用いた。試験地盤のボーリング柱状図、ひずみゲージ取付位置を図 1 に示す。試験体数は、図 2 に示すように、地盤改良体部の強度と厚みをパラメーターとし計 4 体とした。地盤改良体部の強度については、施工時管理値として $0.5 \sim 1.0 \text{ N/mm}^2$ の値を規定していることから、最低値の 0.5 N/mm^2 (実測平均値 $\sigma_{53}=0.31 \text{ N/mm}^2$)、その比較対象として実務上発現しているであろう強度を想定した 2.0 N/mm^2 (実測平均値 $\sigma_{53}=1.96 \text{ N/mm}^2$) の 2 種類を目標値とした。根固め部の設計基準強度は 20 N/mm^2 (実測平均値 $\sigma_{53}=24.5 \text{ N/mm}^2$) である。載荷試験の工程を表 1 に示す。載荷試験方法は各基準³⁾⁴⁾に準拠した。第 0 ステップにて常時許容相当の鉛直・水平支持力を確認(表内①・②)した後、第 1 ステップにて極限支持力③及び、地盤の降伏時変位を 1δ とした時の 4δ まで水平荷重をかける④。この状態でレベル 2 地震時相当の荷重をかけたことになる。その直後、杭頭沈下量が $0.1D$ になるまで鉛直載荷し、レベル 2 地震直後の鉛直支

キーワード プレボーリング杭工法, 鉛直載荷試験, 地盤改良体

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)コンクリートパイプ建設技術協会 TEL. 03-5733-5881

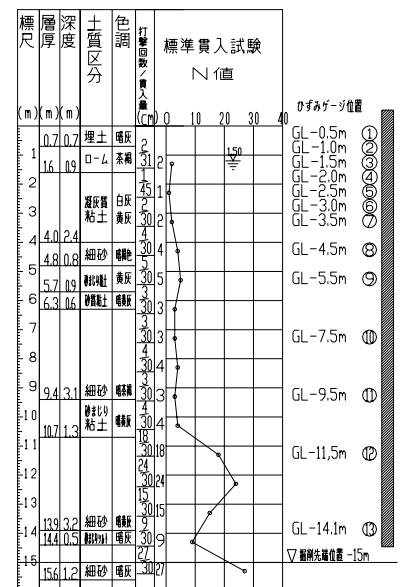


図1 土質柱状図およびひずみゲージ位置

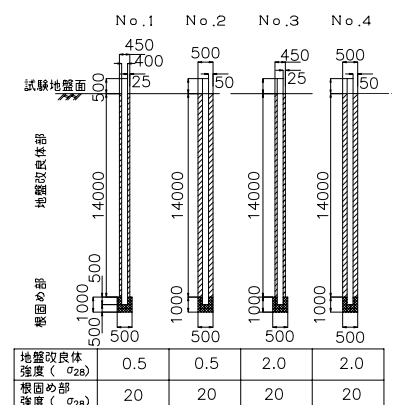


图2 载荷杭施工形状

持力を確認する(⑤)。その後は、水平載荷試験により乱れた地盤の強度の回復を期待し、1ヶ月間養生し、第2ステップにて鉛直支持力(⑥)、水平支持力(⑦)を確認、さらに1年間(No2 杭は6ヶ月間)養生後、鉛直支持力(⑧)、水平支持力(⑨)を確認する。

4. 載荷試験結果

既往の報告²⁾では、2-1ステップまでの結果として以下の点を報告している。①常時許容相当の鉛直荷重時(0ステップ)、および1回目の極限荷重時(1-1ステップ)には、各試験体間で荷重-沈下曲線に大きな差が見られない。②大地震後の状態を想定した2回目の極限荷重時(1-3ステップ)は、全ての杭において支持力が減少する傾向にあり、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減少などにより、周面摩擦力が減少したことが示唆される。③1ヶ月養生後の極限荷重(2-1ステップ)に支持力の回復は見られない。

図3に各杭における杭頭荷重-杭頭沈下曲線を示す。沈下量10mm以下の領域に着目すると、荷重-沈下曲線が曲線状(1-1ステップ)から直線状(1-3,2-1ステップ)に変化しているのと同様に、3-1ステップにおいても荷重-沈下曲線が直線状となっている。

図4に杭頭荷重($P_o=1800\text{kN}$)に対する杭先端軸力と周面摩擦力の割合を示す(代表として杭No1)。周面摩擦力の割合は、1-3ステップで減少した後、1-3,2-1,3-1ステップでほぼ一定となっており、この傾向はNo2,3,4杭においても同様に見られた。以上より、1年間養生後においても、水平載荷による地盤への影響や、地盤改良体部への影響が残存し、周面摩擦力の回復が期待できないことを示す結果となった。なお、1-3,2-1,3-1ステップにおける極限支持力が、道路橋示方書に示される算出式により求めた1100kNを満足することを確認している。

5. 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結果から、常時許容、極限(1-1ステップ)の支持力特性に大きな差は見られなかった。また、大地震に相当する水平荷重を受けた後の極限支持力は減少し、1年間養生後においても、極限支持力の回復は見られなかった。今後、杭体のひずみ分布の解析を行うとともに、このような基礎の挙動が地震後の橋の挙動にどのような影響を与えるのかについて検討を行う予定である。

参考文献：1)道路橋示方書・同解説 (社)日本道路協会 H14.3

2)長谷川ほか 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1～3 土木学会第63回年次学術講演集 H20.9

3)杭の鉛直載荷試験方法・同解説 (社)地盤工学会 2002.5 4)杭の水平載荷試験方法・同解説 (社)地盤工学会 1983.10

表1 載荷試験工程

荷重階	載荷方法	荷重状態
第0ステップ	① 鉛直荷重(0-1ステップ)	常時許容鉛直支持力
	② 正負交番水平載荷(0-2ステップ)	杭頭変位10mm以内かつ地盤が降伏しない荷重
第1ステップ	③ 鉛直荷重(1-2ステップ)	杭頭沈下0.1D=40mm以上
	④ 正負交番水平載荷(1-2ステップ)	4δに達する変位(1δ:荷重変位曲線の折れ点にあたる荷重)
	⑤ 鉛直荷重(1-3ステップ)	杭頭沈下0.1D=40mm以上
1ヶ月待機(地盤の回復を期待)		
第2ステップ	⑥ 鉛直荷重(2-1ステップ)	杭頭沈下0.1D=40mm以上
	⑦ 正負交番水平載荷(2-2ステップ)	④の最大変位に達する荷重
1年間待機(地盤の回復を期待)		
第3ステップ	⑧ 鉛直載荷(3-1ステップ)	杭頭沈下0.1D=40mm以上
	⑨ 正負交番水平載荷(3-2ステップ)	④の最大変位量に達する荷重

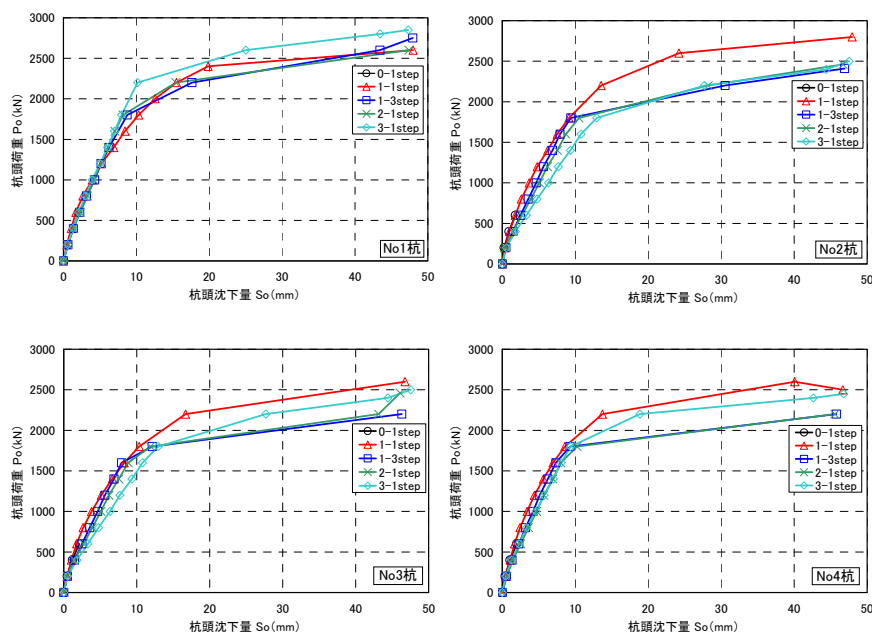


図3 杭頭荷重-杭頭沈下曲線

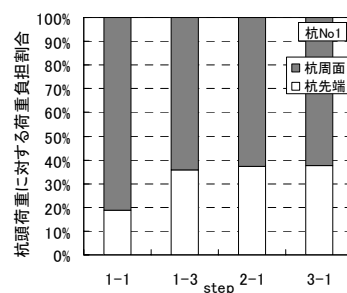


図4 杭先端軸力と周面摩擦力の割合