

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2

水平載荷試験(報告2)

(社)コンクリートパイル建設技術協会 正会員 ○吉川那穂 正会員 鳥畑 淳  
 正会員 本間裕介 正会員 津田和義  
 (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

プレボーリング杭工法で施工された杭は、杭体の曲げ剛性および杭幅で設計が行われている。しかし実際には、杭と地盤間に地盤改良体部が設けられており、これらの複合効果によって、杭の曲げ剛性および杭載荷幅も増大すると考えられるが、どの程度水平抵抗が増加するかは定量化されていないのが現状である。さらに、大地震時には地盤改良体部に損傷が発生するとともに、地盤の塑性化によって強度が低下することが考えられるが、これらが水平抵抗へ与える影響について検討された事例も殆ど見られない。そこで筆者らは、大地震時および大地震後における杭の水平抵抗特性を調査するために、一定期間の養生（第一回目の載荷を基準に約1ヶ月間養生後、6ヶ月間以上の養生後）をおいて、同一杭に対して数回の鉛直および水平荷重を与えて、地盤強度の回復や地盤改良体部の損傷が水平抵抗特性に及ぼす影響について検討を行い、約1ヶ月間養生後までの水平載荷試験の結果（履歴特性）について報告<sup>1)</sup>した。本報告では、追加報告として6カ月間以上の養生後の水平載荷試験結果と、載荷試験後に掘り起こした試験杭と地盤改良体の状況について報告する。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. 試験概要

試験地盤の土質柱状図を図1に示す。GL-2.0~2.5m区間で孔内水平載荷試験を実施している。試験条件および杭の曲げ剛性を表1に示す。試験杭は、SC杭 400-板厚6mm(SKK400)-15mを用い、ひずみゲージを保護するための保護鋼が対角2方向に取り付けてある。地盤改良体(ソイルセメント)のパラメータとしては、厚みを2種類と圧縮強度を2種類の計4条件を設定した。なお、本報の解析では地盤改良体の曲げ剛性は考慮せず、杭体+保護鋼の曲げ剛性で行っている。

載荷試験計画を表2に示す。試験は計4工程を設定し、各工程ごとに鉛直載荷試験と正負交番水平載荷試験を行った。第0ステップは常時許容レベルとし、以

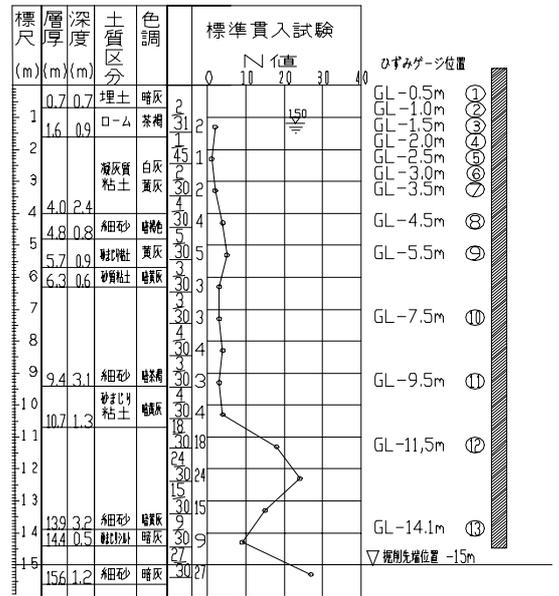


図1 土質柱状図およびひずみゲージ

表1 試験条件, 杭曲げ剛性

杭径 D=400mm, 厚さ t=65mm			
杭 No	地盤改良体		曲げ剛性 E <sub>Ie</sub>
	厚み (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	杭体+保護鋼 (MN・m <sup>2</sup> )
No.1	25	0.5	81.6
No.2	50	0.5	81.6
No.3	25	2.0	83.4
No.4	50	2.0	82.3

表2 載荷試験計画

荷重階	載荷方法	荷重状態
第0ステップ	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 鉛直載荷(1-1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 鉛直載荷(1-3ステップ)	杭頭沈下0.1D=40mm以上
1ヶ月程度待機(地盤の回復を期待)		
第2ステップ	⑥ 鉛直載荷(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
半年以上待機(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

キーワード プレボーリング杭工法, 水平載荷試験, 地盤改良体

連絡先 〒105-0013 東京都港区浜松町2-7-15 日本工業2号館3F (社)コンクリートパイル建設技術協会 TEL. 03-5733-5881

降の第1~3ステップは、すべて大地震時を想定した荷重状態まで荷重を行った。第1ステップは、第0ステップ実施後直ぐに行い、第2ステップは、地盤強度の回復程度を調べる目的で第1ステップ実施後1ヶ月間の養生を設け、第3ステップは、さらに6ヶ月間以上の養生を設けて試験を実施した。その他の詳細な試験条件については参考文献1)を参照されたい。

3. 荷重試験結果と掘り起こし状況

各試験杭を代表して杭 No.2 の試験結果と掘り起こし状況を、図3、図4、写真1、2に示す。

図3は荷重～変位関係である。第1ステップで地盤が降伏した後から、履歴ループは極端にくびれた形状を示し、その後の第2,3ステップでは、この履歴ループをなぞるような形状であった。

図4は、加力点で得られた荷重変位関係を用いて弾性支承梁法(Chang式)により逆算した水平地盤反力係数  $k_h$  と、地表面変位の関係である。1回目の大地震時(第1ステップ)までに比べ、2回目以降の  $K_h$  は小さくなっており、変位に対してほぼ横ばい状態であった。

③写真1は地盤改良体の周囲の土を除去し、水洗いした後の写真である。地盤改良体は自立していたが、加力軸側には数本の縦クラックが確認でき、側面には網目状の細かいクラックが多数認められた。クラック幅は土の除去直後は顕著ではなかったが、時間の経過とともに顕著になった。

写真2は地盤改良体を杭周の1/4程度除去した後の写真である。杭体と地盤改良体の間には隙間が認められ、容易に杭体から外すことができた。なお他の試験体についても同様の傾向であった。

以上のことから、図3のようなくびれた形状の履歴ループや、図4の第2ステップ以降の  $K_h$  の低下は、杭体と地盤改良体の間に生じた隙間と、地盤の塑性化による強度低下が複合的な要因となっていると考えられる。

また、図3の第2ステップの以降の履歴ループが、第1ステップの46サイクル2回目の形状とおなじ傾向であり、図4の第2ステップ以降  $K_h$  が変化のないことから、大地震後養生期間を6ヶ月程度や1年程度おいても、大地震時に生じた地盤の強度低下の回復はほとんど見込めないことが示唆される。

4. まとめ

粘性土地盤中にプレボーリング杭工法で施工された杭の、大地震時の杭の水平抵抗特性を調べるために、同一杭に対して複数回の正負交番水平荷重試験を実施した結果、次の知見が得られた。(1)本試験条件の範囲では、地盤改良体の厚み・圧縮強度が履歴ループの傾向にあてる影響は小さい。(2)各試験体とも、杭体と地盤改良体の間に生じた隙間と、塑性化による地盤の強度低下が、水平抵抗に大きな影響を与える。(3)大地震後6ヶ月以上の養生期間をおいても、杭の水平抵抗の回復は期待できない。今後、杭体のひずみ分布の解析を行うとともに、大地震後を考慮した水平抵抗の評価方法について検討を加えていく予定である。

参考文献 1)鳥畑ほか: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, pp.231-236,平成20年9月

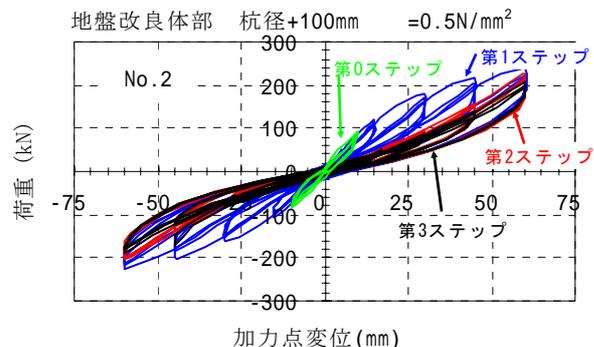


図3 荷重～変位関係(No.2)

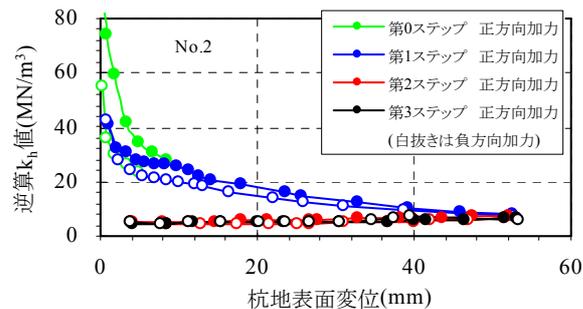


図4 逆算  $K_h$  値～変位関係(No2)



写真1 地盤改良体外観(No.2)



写真2 杭と地盤改良体(No.2)