

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

(社)コンクリートパイル建設技術協会 正会員 ○本間裕介

木谷好伸

吉原雅美 正会員

岡田亮太

(独)土木研究所

中谷昌一

野々村佳哲

鋼管杭協会

正会員

平田尚

1. はじめに

同報その1で説明したプレボーリング杭工法で施工された杭は、杭と地盤間に設けられた地盤改良体部との複合効果により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、これらの効果によって、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考えられるが、この損傷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、一連の研究では、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）において、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った。なお、本報告では約1ヶ月間養生後までの水平載荷試験の結果（履歴特性）について報告し、詳細は同報その1を参照されたい。

2. 試験概要

表1 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

載荷試験計画について表1に示す。同表に示すように、試験工程は第0～第3ステップの計4工程を設定し、常時許容レベルを想定した第0ステップ以降の第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載荷を行う計画とした。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た試験とした。第0ステップでは、常時鉛直荷重となる600kNまで作用させた後、水平変位10mmに達するまで正負交番荷重を与える計画とした。第0ステップ以降の各ステップについては、はじめに極限鉛直荷重(先端沈下量40mm)を作用させ、その後に水平変位4δ(1δ=15mm)に達する正負交番荷重を与える工程とした。

正負交番水平載荷の載荷計画を図1および図2に示す。第0ステップは、加力点変位10mmを正負方向に3サイクル繰り返す計画とした(図1参照)。なお、加力点変位10mmは地盤が降伏しない程度の変位量として定めた値である。続いて、第1～3ステップの各ステップは、地盤が降伏する際の荷重 P_{y0} までは、 $1/4P_{y0}$ 、 $2/4P_{y0}$ 、 $3/4P_{y0}$ の荷重階で正負方向に1サイクル設け、以後1δずつ変位を増加させて3サイクルの正負交番載荷を最大4δまで行う計画とした(図2参照)。

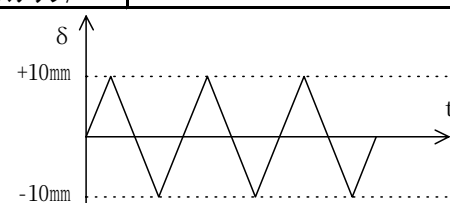


図1 第0ステップ載荷サイクル



図2 第1～3ステップ載荷サイクル

3. 試験結果

加力点における荷重変位関係を試験体ごとに図3に示す。同図より、各試験体ともに、変位10mmまでの第0ス

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 日本工築2号館3F (社)コンクリートパイル建設技術協会 TEL.03-5733-5811

テップでは、弾性的な安定した履歴ループを描いており、各試験体間で大きな違いは見られないことがわかる。大地震時を想定した第1ステップに入ると、地盤の降伏後（第2サイクル）から履歴ループが非線形性を帯び、極端にくびれた形状を示していく様子を読み取れる。これは、地盤の塑性化の進展および地盤改良体部と粘性土地盤との間に隙間が生じたことに起因すると推測される。また、同一変位時の繰り返し履歴ループに着目すると、各試験体とも1回目から2回目にかけて急激な耐力低下を示していることがわかる。この現象の原因として、粘性土地盤に繰り返し荷重が加わることによって地盤が乱されたことに加えて、地盤改良体部に生じた損傷により杭体の複合曲げ剛性が変化したことも要因のひとつと考えられる。さらに、第1ステップ後に1ヶ月間の養生を経た2回目の大地震時では、各サイクルの履歴ループは、第1ステップのそれと大きく異なり、第1ステップの時の46サイクル2回目の履歴ループの形状をなぞるような傾向が示されている。このことから、養生1ヶ月間程度では、一度目の大地震時に受けた地盤強度の低下および地盤改良体部の損傷の回復はほとんど見込めないことが示唆される。

続いて、水平地盤反力係数 k_{H0} と地表面位置での杭変位の関係について、代表して試験体 No. 3 のみ図4に示す。水平地盤反力係数 k_{H0} 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。なお、杭体の曲げ剛性は、地盤改良体部およびゲージ保護鋼を考慮に入れず、杭体の軸部について公称値から求めた値を用いている。同図には、道路橋推定式¹⁾で求めた k_{H0} についても付記している。同図より1回目の大地震時（第1ステップ）までは、逆算 k_{H0} 値は推定式より大きな値が得られていることがわかる。しかし、2回目の大地震を受けた際には、逆算 k_{H0} 値は変位に対してほぼ横ばい状態であり、推定式を下回る傾向が示されている。なお、他の3試験体についても同様な傾向であることを確認している。

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について大地震時の杭の水平抵抗特性を調べるために、同一杭に対して数回の正負交番水平載荷試験を実施した結果、次の知見が得られた。(1)履歴ループの傾向は、各試験体で大きな違いは見られない。(2)各試験体とも、粘性土地盤に見られる繰り返しによる耐力低下を示した。(3)大地震後1ヶ月程度の間の養生では、杭の水平抵抗の回復はあまり期待できない可能性が示唆された。今後、第3ステップの載荷試験と詳細な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加えていく予定である。なお、本報告は、(独)土木研究所および鋼管杭協会との3者共同研究の一環として取りまとめたものである。

参考文献 1) (社)日本道路協会、道路橋示方書

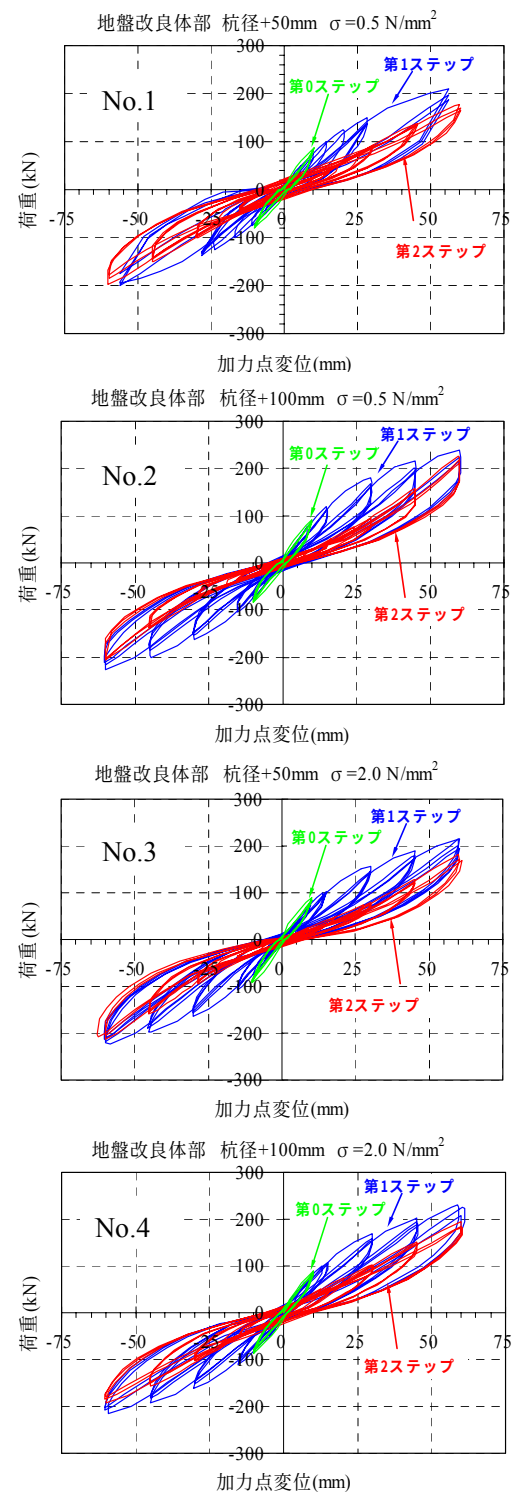


図3 荷重変位関係

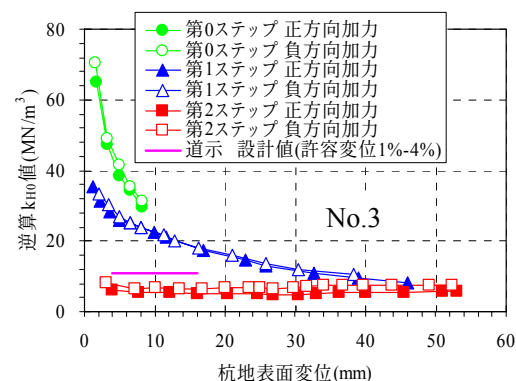


図4 逆算 k_{H0} 値と変位の関係