

二重管削孔を用いた高性能小口径杭工法の水平交番載荷試験

(株)大林組 正会員 ○粕谷悠紀 高橋真一

1. はじめに

既設構造物基礎の耐震補強工事等において、狭隘地や空頭制限下でも施工可能かつ経済性に優れた高性能な小口径合成鋼管杭工法（以下、本工法という）を開発した。本工法は、ボーリングマシンを用いて二重管削孔し、鋼管を建込んだ後にグラウトを充填し、地盤中に鋼管を定着させる技術である。既報¹⁾では、 $\phi 165.2\text{mm}$ 鋼管を用いた水平交番載荷試験結果を報告した。本報では、 $\phi 267.4\text{mm}$ 鋼管を用いた杭の水平抵抗特性を確認するために実施した、水平交番載荷試験結果について述べる。

2. 試験概要

図-1 に地盤条件およびねじ継手を含む試験杭模式図を示す。試験地盤は、GL.-7.3m までロームおよび粘土、GL.-7.3m 以深はシルト混じり砂、GL.-8.6m 以深は砂礫、GL.-10m 以深は礫混じり砂で構成されている。鋼管径は $\phi 267.4\text{mm}$ 、鋼管肉厚は 9.3mm、削孔径は $\phi 335.0\text{mm}$ 、杭長は 9.5m、杭先端部の改良体長は 500mm である。

図-2 に水平交番載荷試験杭および反力杭の平面配置図を示す。水平交番載荷方法は、500kN の押し引きジャッキを 1 台使用し、鋼材を介して行った。水平荷重はジャッキと接続された圧力変換器を用いて計測した。また、反力杭 2 本（鋼管ソイルセメント杭 $\phi 267.4\text{mm}$ 、ソイル径 $\phi 600\text{mm}$ 、 $L=11\text{m}$ ）を使用する反力杭方式とした。水平交番載荷試験は、地盤工学会基準「杭の水平載荷試験方法・同解説²⁾」に準拠して行った。同基準より、基準杭、基準梁の配置は、試験杭から 5.0D 以上、反力杭から 5.0D の影響範囲外に設置した。測定項目は、杭頭荷重、載荷点変位および載荷点+0.5m 変位、鋼管のひずみである。なお、これら 2 点の変位量と変位計間の高さより杭変形角を算出し、地表面変位量を推定した。

載荷方法は、段階載荷・多サイクル方式による正負交番で実施した。荷重段階は 10kN ピッチで載荷を行った。図-3 に荷重サイクル図を示す。試験は $\pm 130\text{kN}$ まで水平交番載荷して終了した。

3. 試験結果

図-4 に杭頭荷重－杭頭水平変位（載荷点変位、地表面変位）を示す。水平荷重の進行に伴い各水平変位も増大するが、水平荷重は最大荷重まで増加傾向であることから、粘り強く水平抵抗を發揮した。これは、杭が鋼管とグラウトから構成される合成鋼管杭であるため、曲げ座屈しにくいことを示唆している。道路橋示方書・同解説IV下部構造編³⁾（以下、道示IVという）によると、地表面の許容水平変位量は杭径 1.5m 以下では 15mm としている。各方向における地表面水平変位量が 15mm 時の水平抵抗力は、押側で 129kN、引側で 125kN であり、押側と引側で差異はほとんどみられなかった。

キーワード 高性能小口径杭、水平交番載荷試験、地表面変位量、水平方向地盤反力係数

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 地盤技術研究部 TEL 042-495-1015

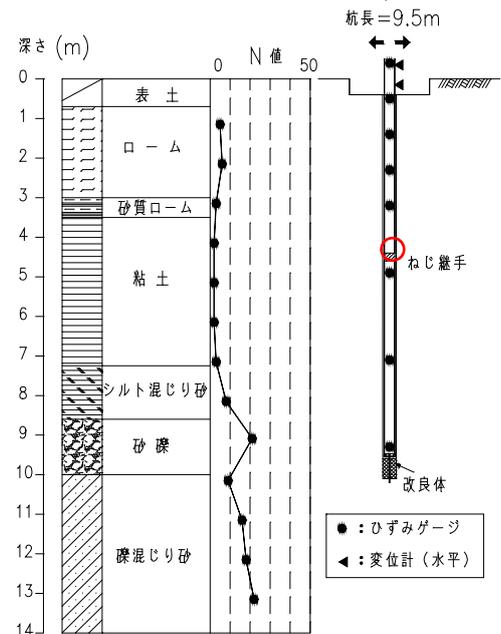


図-1 地盤条件と試験杭模式図

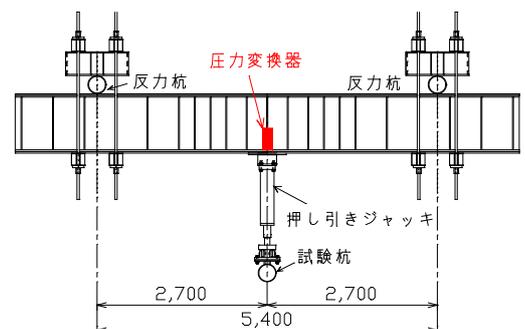


図-2 試験杭および反力杭の平面配置図

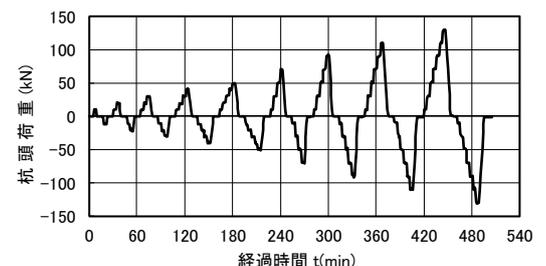


図-3 荷重サイクル図

図-5 に試験杭の曲げモーメント M 分布を示す。図中には、実測値（表記：実線）に加えて Chang の方法⁴⁾から算定した計算値（表記：点線）を示す。いずれの荷重方向においても M は、GL.-1.0～2.0m 付近で最大となる傾向を示し、GL.-5.0m 以深ではほぼゼロであった。また、実測値の M_{max} は、計算値のその 7 割程度と小さい。この理由として、杭が鋼管とグラウトから構成される合成鋼管杭で曲げ座屈しにくいことから、計算値で最大となる GL.-1.0m 付近に M が集中していないこと、計算値よりも深い深度まで M が生じていることなどが挙げられる。

図-6 に水平方向地盤反力係数 k_H —地表面水平変位量関係を示す。荷重点の変位量から杭の特性値 β を算出し、各荷重や水平変位量に対する k_H を求めた。同図より、地表面水平変位量の増大に伴い急激に低下する傾向がみられた。15mm 時の k_H は 48,000kN/m³ 程度であり、荷重方向による差異はほとんどみられない。また、荷重初期における押側の k_H が引側のそれよりも大きくなる理由として、試験杭施工時に削孔機を押し側に据え付けたことにより表層地盤が締固まり、 k_H が増大した可能性が挙げられる。

道示IV³⁾に準拠した水平抵抗に関与する地盤深さ $1/\beta$ における変形係数を把握するため、標準貫入試験、孔内水平荷重試験、三軸圧縮 (UU) 試験を実施した。表-1 に各種調査・試験結果から得られた変形係数 E_0 、 k_H の推定に用いる係数 α 、 $1/\beta$ から推定した k_H を示す。 k_H の算定結果は、最大でも三軸圧縮 (UU) 試験の 36,000kN/m³ 程度であった。

図-7 に地表面水平変位量 15mm 時の k_H における実測値と計算値の比較結果を示す。同図は杭基礎設計便覧⁵⁾に加筆したものである。 k_H の実測値は 48,000kN/m³ 程度であり、いずれも計算値を上回ることが明らかになった。実測値が計算値よりも大きくなる理由として、統計データの実測値 A は計算値 B 以上のデータが 2/3 程度あり、推定法が安全側であることが挙げられる。なお、既報¹⁾も同様な大小関係であり、鋼管寸法の違いによる影響はみられない。

4. まとめ

高性能小口径杭工法における $\phi 267.4\text{mm}$ 鋼管を用いた杭の水平交番荷重試験結果を示した。その結果、以下の結論を得た。①実測値の最大曲げモーメントは Chang の方法⁴⁾から算定した計算値の 7 割程度と小さくなった。②地表面水平変位量 15mm 時における水平方向地盤反力係数の実測値は、各種調査・試験結果から得られた変形係数から推定した計算値を上回ることがわかった。

【参考文献】1) 粕谷悠紀ら：二重管削孔を用いた高性能小口径杭工法の水平抵抗特性、土木学会論文集 C, Vol.73, No.2, pp.116-130, 2017.4. 2) 地盤工学会：杭の水平荷重試験方法・同解説, 2010.7. 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編, 2012.3. 4) Chang, Y. L.: Discussion on “Lateral Pile Loading Tests” by Feagin, Trans. ASCE, 1937.2. 5) 日本道路協会：杭基礎設計便覧, pp.126-131, 2007.1.

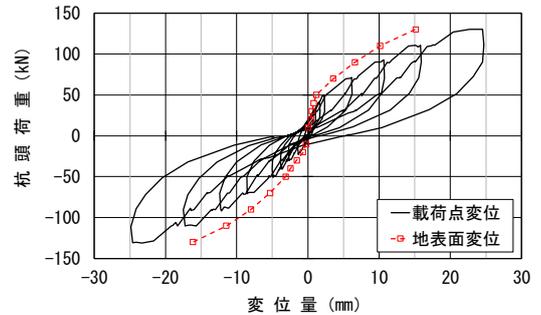


図-4 杭頭荷重—水平変位関係

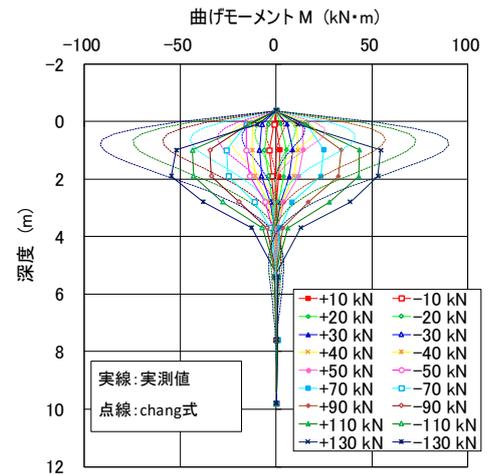


図-5 曲げモーメント M 分布

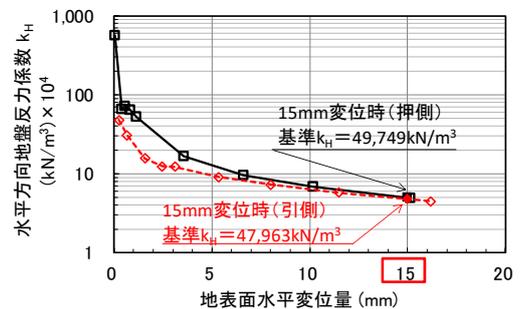


図-6 k_H —地表面水平変位量

表-1 各種調査・試験結果から求めた k_H

各種調査・試験	E_0 (kN/m ²)	α	β (m ⁻¹)	$1/\beta$ (m)	k_H (kN/m ³)
標準貫入試験	14,000	1	0.61	1.64	25,769
孔内水平荷重試験	2,661	4	0.56	1.77	19,039
三軸圧縮(UU)試験	4,670	4	0.66	1.52	35,377

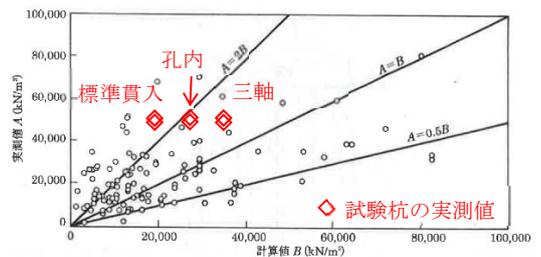


図-III.2.7 水平方向地盤反力係数 k_H の推定精度

図-7 k_H の実測値と計算値の比較結果 (杭基礎設計便覧⁵⁾に加筆)