

小口径鋼管杭の先端支持力向上に関する小規模試験施工

マイクロパイル、先端支持力、小規模試験施工

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○粕谷 悠紀、山本 彰
(株)大林組 技術研究所 正会員 稲川 雄宣、高橋 真一

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設された橋梁や土構造物の老朽化に対する維持・補修のニーズが高まっている。特に狭隘地における既設構造物の耐震補強工事は、コンパクトな機械を用いた施工かつ短工期でローコストな杭の施工が要求される。そこで、当社はボーリングマシンを用いて二重管削孔し、φ300mm 以下の汎用的な鋼管杭を建込んだ後にグラウトを注入し、地盤中に鋼管を定着させる小口径鋼管杭工法「ハイスpekクマイクロパイル工法」を開発した。

本工法の削孔時における杭先端部分の乱れによる支持力低下を改善するため、杭先端支持力の向上を目的とした小規模試験施工を実施した。本報では、杭先端の改良パターンを変化させた小規模押し込み荷重試験結果と、先端攪伴ビットや攪伴方法の違いに着目した施工性試験結果について報告する。

2. 小規模押し込み荷重試験

(1) 試験概要：長さ 6.0m×幅 3.0m×深さ 2.5m の人工地盤（足利砂による埋戻し地盤、各層 30cm 撒きだし・転圧）を造成し、杭先端の改良パターンを変化させた試験杭（STK400、φ165.2、4.5t、L=1.65m）を 3 本構築した。図-1 に押し込み荷重試験ケースを、表-1 に足利砂の室内土質試験結果を示す。図-2 に示すように、地盤造成後に実施した簡易貫入試験結果（2 測点）より、平均換算 N 値は 10 程度であった。Case1-1 の「削孔深度=鋼管根入れ長」を基本ケースとし、Case1-2 は鋼管先端から手練の改良土 1D(D:鋼管径)、Case1-3 は手練の改良土を 1D 構築し、グラウト（目標基準強度 $\sigma_{28}=30\text{N/mm}^2$ ）を鋼管先端まで 1D 充填した。改良土の配合は、セメント添加量 100kg/m^3 のグラウト（W/C=45%）を添加し、Case1-2 と Case1-3 の改良土におけるコアの平均一軸圧縮強度（ σ_{28} ）は 5.2N/mm^2 であった。また、グラウトは鋼管先端から 1D 上の高さまで注入しており、杭先端支持力の違いに着目するため鋼管外周にフリクションカット剤を塗布した。なお、二重管削孔のケーシングを模擬した塩ビ管は鋼管先端から 1D 引き上げた高さに設置している。

押し込み荷重試験は反力ウエイトを用いた静的荷重試験方式とし、荷重方法は単サイクル・段階荷重方式で行った。図-3 に押し込み荷重試験状況を示す。なお、試験杭間の距離は、地盤工学会基準¹⁾に基づき 1.5m とした。

(2) 試験結果：図-4 に各ケースにおける押し込み荷重試験の荷重—変位関係を示す。図-4 より、Case1-1 は荷重が 30kN で、Case1-2 は荷重が 40kN で急激に変位が進行し、頭打ちになる傾向がみられる。一方、Case1-3 は変位量が 10mm、荷重が 40kN 付近で勾配に変化がみられるものの、漸増する傾向がみられた。図-5 に各指針類の地盤から決まる極限支持力と杭径 10% 変位時における実験結果を示す。ここで、杭径とはグラウト径 ($D_g: \phi 216\text{mm}$) である。図-5 より、Case1-2 および Case1-3 の極限支持力は、「鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物²⁾」および「建築基礎

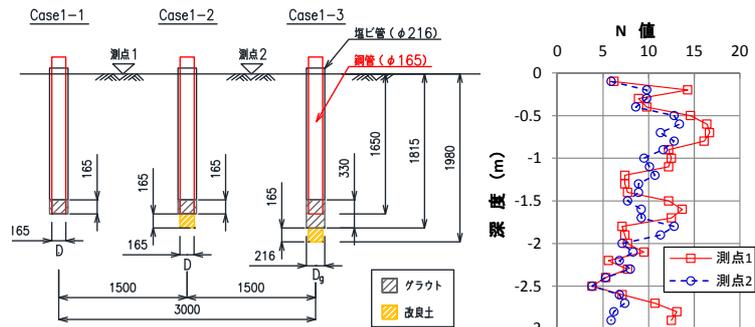


図-1 押し込み荷重試験ケース 図-2 簡易貫入試験結果

表-1 足利砂の室内土質試験結果

物性項目	記号	単位	試験結果	備考
土粒子の密度	ρ_s	g/cm ³	2.638	
自然含水比	w	%	6.7	
最大粒径	—	mm	9.5	
平均粒径	D_{50}	mm	0.95	
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	g/cm ³	1.926	
最適含水比	w_{opt}	%	12.3	
粘着力	c	kN/m ²	19.3	CD試験
内部摩擦角	ϕ	°	36.5	締固度90%
地盤材料分類名	細粒分まじり砂礫砂			SG-F

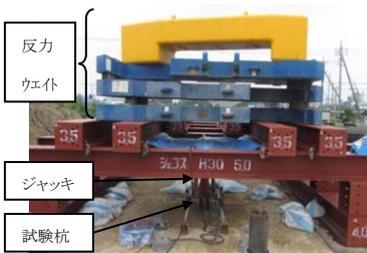


図-3 押し込み荷重試験状況

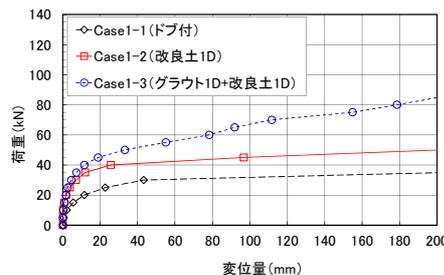


図-4 荷重—変位関係

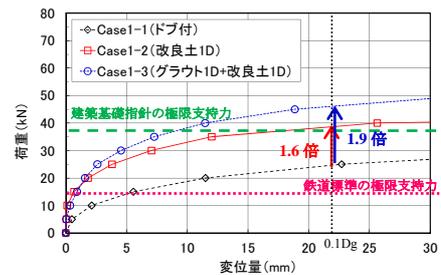


図-5 荷重—変位関係 (0.1D 付近)

Small Field Test of Micro Pile to improve Tip Bearing Capacity, Obayashi Corporation, Yuki Kasuya, Akira Yamamoto, Yusen Inagawa, Shinichi Tkahashi, Japan Foundation Engineering Corporation, Takeshi Suzuki

構造物設計指針³⁾」の場所打ちコンクリート杭の極限支持力以上となること、杭先端を地盤改良することにより 1.6～1.9 倍の先端支持力増大が得られることを確認した。

3. 杭先端改良施工性試験

(1) 試験概要： 延長 3.0m×幅 3.0m×深さ 1.02m の人工地盤（山砂による埋戻し地盤）を造成し、杭先端の改良パターンを変化させた試験杭（STK400、φ165.2、4.5t、L=0.6m）を 4 本構築した。各試験杭間の距離は 1.0m である。表-3 に試験ケースを、図-6 に Case2-4 の先端攪伴ビットを、図-7 に杭先端部の地盤改良状況を示す。各ケースで先端攪伴ビット形状を変化させており、Case2-1 および Case2-2 は回転のみ、Case2-3 および Case2-4 は攪伴時に回転+パイプロさせながら地盤改良した。図-8 と以下に試験杭 1 本の施工手順を示す。

- ① 現地地盤を地表面から 1.02m 掘削し、0.3m ごとに山砂を敷均し・転圧し、0.69m 分埋戻す。その後、L=0.5m の塩ビ管を設置し、地表面まで同様に埋戻す。
- ② 塩ビ管内に注入ホースを差込み、グラウトを地表面まで注入する。
- ③ 先端に攪伴ビットを溶接した鋼管を建込んだ後に削孔機と鋼管を接続し、杭先端部を 0.215m（165mm[1D]+50mm[先端攪伴ビット長]）地盤改良する（図-7）。攪伴方法および攪伴時間は鋼管ソイルセメント杭の施工管理方法⁴⁾を参考に 2 往復 2 分とした。
- ④ 鋼管と削孔機を切り離し、塩ビ管を 1D 引上げ、井桁固定する。鋼管は単管やぐらとレバーブロックを用いて高さを調整し、グラウトを補充注入する。

(2) 試験結果： 図-9 および図-10 に施工後に掘り起こした試験杭の出来形計測結果を示す。いずれのケースにおいても、グラウトの杭径および改良体の杭径・造成長は設計値以上であることを確認した。なお、掘り起し後の試験杭と土砂の判別は、フェノールフタレイン液を用いて行った。

表-4 に各ケースにおける改良体をコア抜きした際の供試体状況およびコアの一軸圧縮試験結果を示す。杭先端部の地盤改良時にパイプロしていない Case2-1 および Case2-2 のコアは、グラウトと山砂が上手く攪拌されておらず不均一であるのに対し、杭先端部を地盤改良時にパイプロさせた Case2-3 および Case2-4 はグラウトと山砂が概ね均一に攪拌されており、特に Case2-4 はむらがないことがわかる。各ケースの一軸圧縮試験を実施した結果、Case2-4 が最も大きく $q_u (\sigma_1) = 10\text{N/mm}^2$ 程度であった。本試験における改良体の目標強度は、鋼管ソイルセメント杭のソイルセメント柱⁴⁾を参考として 1.0N/mm^2 としており、いずれのケースも満足する結果となった。

4. おわりに

本報告では、杭先端の改良パターンを変化させた小規模載荷試験と杭先端改良施工性試験を実施した。その結果、杭先端を地盤改良することにより 1.5 倍以上の先端支持力増大効果が期待できること、地盤改良時にパイプロさせることで良好な品質の改良体を構築できることを確認した。今後は、地盤条件を変化させて同様な施工性試験を行い、その後実大載荷試験を実施して杭全体の極限支持力を確認する予定である。

【参考文献】 1) 地盤工学会：地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・同解説,2002. 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物,p.268,2013.1. 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針,p.205,2001. 4) 地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ 17 杭基礎の調査・設計・施工から検査まで,p.371,p.393,2004.

表-3 杭先端改良施工性試験ケース

ケース	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case2-4
先端ビット形状	一文字型	十文字型	三枚刃型	一文字羽根付型
パイプロの有無	なし	なし	あり	あり



図-6 一文字羽根付型 (Case2-4)



図-7 杭先端部地盤改良状況

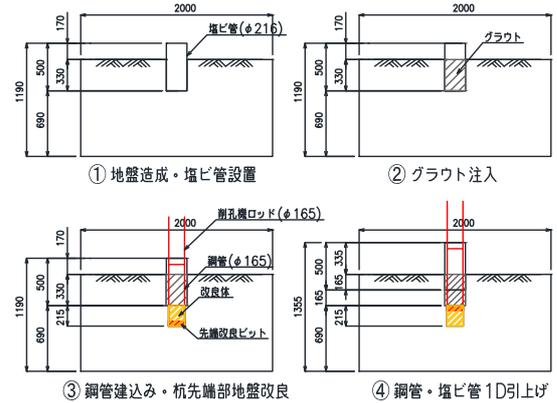


図-8 施工手順

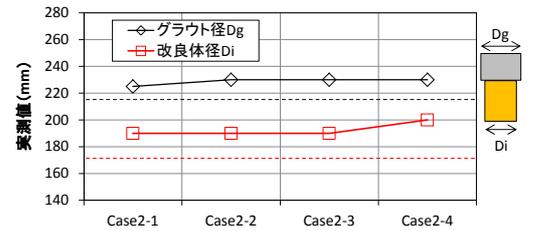


図-9 出来形計測結果 (杭径)

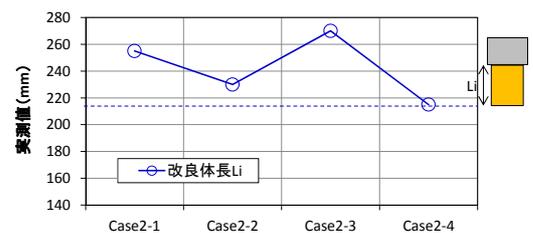


図-10 出来形計測結果 (改良体長)

表-4 改良体のコア状況・一軸圧縮強度

ケース	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case2-4
改良体のコア抜き状況				
改良体の均一性	×	×	△	○
一軸圧縮強度 σ_3 (N/mm ²)	4.0	6.0	10.2	10.3