

小口径合成鋼管杭工法「ハイスpekクマイクロパイル工法®」の開発

粕谷 悠紀 高橋 真一 山本 彰
 稲川 雄宣 渡辺 郁夫 北出 啓一郎
 (本社土木本部) (金町耐震化JV工事事務所) (本社土木本部)

Development of High-Standard Micro-Piles Method

Yuki Kasuya Shinichi Takahashi Akira Yamamoto
 Yusen Inagawa Ikuo Watanabe Keiichiro Kitade

Abstract

There is an increasing need to maintain the basement of bridges or earth structures. On the other hand, a consideration of the construction noise, traffic control, and influence on structures in the proximity has become an important issue for construction sites located in urban areas. Therefore, the “high-standard micro-piles method” was developed as a new construction method for reinforcing existing structures. This paper describes the schematic design process of this method. The results of field tests, including static axial compressive load tests and horizontal alternate load tests, which were conducted to examine the reliability of the present method, are also reported. An application example involving a pile of a temporary landing pier near a railway embankment is also introduced, along with its measurement results.

概 要

近年、橋梁や土構造物等の老朽化が問題視されており、基礎部においても維持管理・補強・更新のニーズが高まっている。一方、都市部の工事では、騒音問題、交通規制、そして近接構造物への影響などに配慮することが重要な課題となっている。そこで、既設構造物に対する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小口径合成鋼管杭工法「ハイスpekクマイクロパイル工法®」を開発した。本論文では、本工法の概略設計法を述べるとともに、実施した小規模試験施工、押込み載荷試験および水平交番載荷試験の結果について述べる。さらに、鉄道盛土に隣接する工所用棧橋基礎杭に現場適用し、トラブルなく十分な精度で施工できること、および現場載荷試験の結果より十分な杭の性能を有していることが確認できた。

1. はじめに

近年、橋梁や土構造物の老朽化に対する維持管理・補強・更新のニーズが高まっており、現状では建設後50年を経過する橋梁が約18%であるが、10年後には約43%、20年後には約67%に急増するといわれている¹⁾。このため、今後社会インフラの維持管理・補強・更新の増大が予想されており、これらの既設構造物に対する補強対策の開発が求められている。

一般に、常時あるいは地震時の支持力不足あるいは杭の耐力不足が問題となる既設構造物の補強対策として、増し杭工法がある。しかし、都市部においては大型重機を使用した場合に、道路占有に伴う交通規制が生じるだけでなく、狭隘地では施工ができないなどの課題がある。また、周辺構造物付近での増し杭の掘削等による地盤のゆるみの危険性の懸念もあり、周辺の地盤や構造物に影響を与える可能性などの課題が挙げられる。

このため、交通規制を最小限に抑えられるコンパクトな機械を用い、周辺の地盤や構造物への影響が比較的小さい小口径杭の採用が望まれる。しかし、既存の小口径

杭（マイクロパイル）工法は、施工上の理由から特殊鋼管を使用し、継ぎ杭1本あたりが1.5mと短尺であるため、鋼管のコストが高いうえに高価な継手が多く必要であることが課題であった。そこで、既設構造物における補強工事等において、狭隘地や空頭制限下等でも施工可能かつ経済性に優れた小口径合成鋼管杭工法「ハイスpekクマイクロパイル工法®」（以下、本工法という）を開発した。Fig. 1に本工法の適用例を示す。

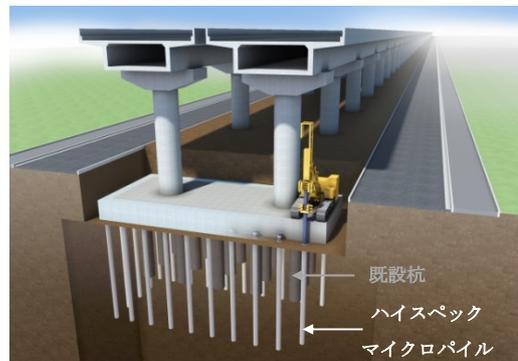


Fig. 1 ハイスpekクマイクロパイル工法の適用例
 Example of High Standard Micro-Piles Method

本報告では、最初に本工法の概要、特徴および概略設計法について述べる。次に、小規模試験施工の結果や実大載荷試験結果について述べる。6章では、鉄道営業線に隣接した工事用栈橋基礎杭の施工事例と現場載荷試験結果について述べる。

2. ハイスペックマイクロパイル工法の概要

2.1 工法の概要

Fig. 2に本工法の概要を示す。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小口径合成鋼管杭工法である。本工法で使用する施工機械は、汎用的なロータリーパーカッションドリルであり、クローラ型やスキッド型等がある。鋼管は、一般構造用炭素鋼管を標準とする。鋼管の継手は、鋼管単体と同等以上の強度および剛性を有するねじ継手を用いる。削孔時に孔底に残留するスライムによる支持力低下を改善するため、鋼管先端部に取付けた攪伴ビット（Photo 1）を用いて地盤改良することが本工法の特徴である。グラウトの設計基準強度は $30\text{N}/\text{mm}^2$ とする。杭頭部は、鋼管を基礎フーチング等へ定着させる支圧板方式を標準とする。

本工法の標準的な施工手順を以下とFig. 3に示す。

- 1) 削孔機の据付、削孔角度の確認後、インナーロッドを併用した二重管方式ロータリーパーカッションドリルにて削孔する。削孔後にスライム残留高さを計測し、5cm以上残留している場合は、5cm以下になるまでケーシング内を洗浄する。
- 2) インナーロッド回収後、揚重機でケーシング内に鋼管を建込む。鋼管の接続はねじ継手により行う。
- 3) グラウトを鋼管内外に充填注入する。
- 4) 鋼管を回転させながら上下させることでスライムとグラウトを先端攪伴ビットで攪伴して、杭先端部に改良体を造成する。
- 5) 地盤中のケーシングを3~5m回収するごとにグラウトを鋼管内外に補充注入する。
- 6) 鋼管を所定の高さまで引き上げ、バンド固定する。鋼管と杭頭部は、ねじ継手により接続する。

2.2 工法の特徴

以下に本工法の特徴を示す。

- 1) 狭隘地、近接施工、上空制限、山岳地（斜面）などの特殊条件下での施工が可能である。
- 2) 杭先端部を地盤改良することにより、確実な先端支持力が得られる。また、杭先端部と杭頭部で鋼管をセンタリングすることにより、全長にわたって適切にかぶりを確保した高品質杭の構築が可能である。
- 3) 継ぎ杭1本あたりの鋼管長が最大で6mであるため継手箇所が少なく、さらにねじ継手による鋼管接続のため、鋼管の建込みに要する時間が少ない。



Photo 1 杭先端部の構造
Structure of the
Tip of the Piles



Photo 2 ねじ継手の構造
Threaded Joint

Fig. 2 ハイスペックマイクロパイル工法の概要
Model of High Standard Micro-Piles Method

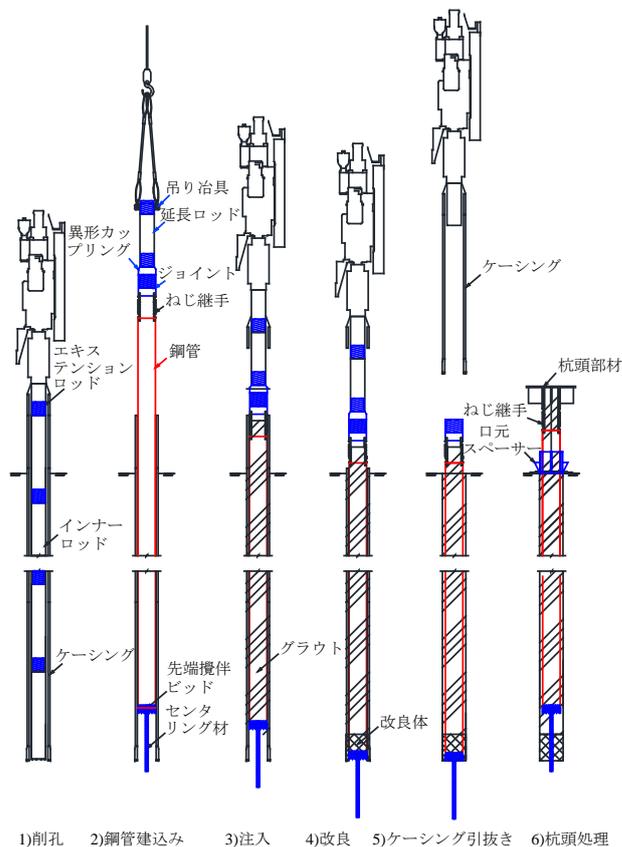


Fig. 3 施工手順
Construction Process

- 4) 市場に流通している一般構造用炭素鋼管等を使用するため、杭材や継手が安価で入手しやすい。
- 5) 杭径、施工機械が小さいため、施工時に近接構造物への影響が少なく、環境にも配慮されている。

3. 設計法

本工法は、道路橋示方書・同解説IV下部構造編²⁾ (以

下、道示Ⅳという)の場所打ち杭の設計を参考にしている。Fig 2と以下に本工法の設計法の概略を示す。

- 1) 杭長は、地表面から鋼管の先端までの長さとし、支持層への根入れ長は0.5m以上とする。
- 2) 杭径は、ケーシングの削孔ビット外径(=グラウト体の直径: D_g)をいう。
- 3) 杭先端における単位面積当たりの極限支持力度 q_d は、道示Ⅳの場所打ち杭を参考にN値30以上の砂礫層および砂層で $3,000\text{kN/m}^2$ 、N値50以上の良質な砂礫層で $5,000\text{kN/m}^2$ とする。
- 4) 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度は砂質土で $5\text{N} (\leq 200)\text{kN/m}^2$ 、粘性土で c または $10\text{N} (\leq 150)\text{kN/m}^2$ を採用する。後述する載荷試験により、これらの基準値を満足していることを確認している。
- 5) 押し込み支持力は、杭頭から $1/\beta$ 範囲は水平変位が大きいため、安全側になるように周面摩擦力を無視する。一方、引抜き抵抗力は、杭先端位置までの範囲の周面摩擦力を考慮する。
- 6) 水平地盤反力係数は、水平載荷試験から求める場合と地盤調査、土質試験結果等を考慮して推定する場合の2種類がある。
- 7) 杭体の曲げ剛性 EI は、簡便に鋼管のみの部材として算出する。
- 8) 杭体の応力度照査は、曲げ応力度とせん断応力度について検討する。この際の杭体とは、鋼管のみをいう。
- 9) 継手部の設計は、圧縮強度、引張強度、曲げモーメント、せん断強度に対する検討を行い、鋼管と同等以上の強度を有する仕様(材質・肉厚)を決定する。
- 10) 杭頭部の設計は、杭頭部に作用する押し込み力、引抜き力、水平力および曲げモーメントに対して安全であることを照査する。

4. 小規模試験施工の実施

4.1 小規模試験施工の概要

本工法の施工性および出来形を確認するため、試験施工を実施した。試験施工における確認事項は、①杭先端部に造成する改良体の出来形、鋼管外周のかぶり、②改良体およびグラウトの強度である。

Table 1に小規模実験の概要を、Fig. 4に小規模実験の断面図を示す。対象土質は珪砂、山砂、砂礫(最大粒径53mm)の3種類とし、深さ1m程度の浅層地盤をそれぞれ作製した。試験杭(改良体先端まで750mm)はロータリーパーカッションドリルを用いて造成し、28日以上養生した後掘り起して地表面から改良体先端までの深度、出来形径(3測点)を計測した。鋼管外周のかぶりの計測位置は、地表面付近の最も薄い部分を基準とし、断面方向に4方向計測した。改良体の強度は、コアドリルにてコア抜きし

Table 1 小規模実験の概要
The Abstract of Small Test

対象土質	珪砂, 山砂, 砂礫
施工本数	各3本
鋼管径	$\phi 165\text{mm}$
目標改良体径	$\phi 225\text{mm}$ 以上
目標改良体長さ	250mm以上

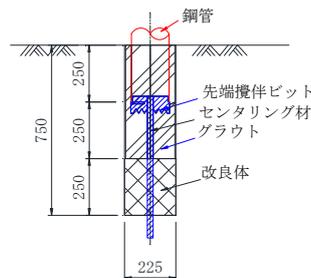


Fig. 4 小規模実験の断面図
Cross Section of Small Test

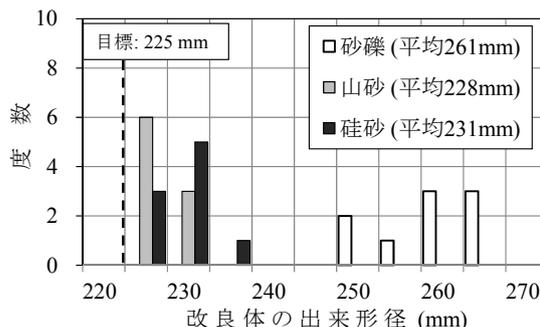


Fig. 5 改良体の出来形径のヒストグラム
The Histogram of Diameter for Soil Cement

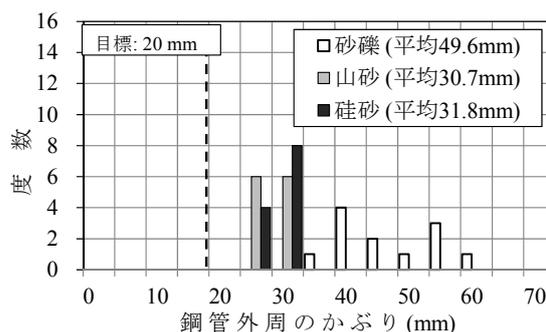


Fig. 6 鋼管外周のかぶりのヒストグラム
The Histogram of Diameter and Covering Depth for Grout

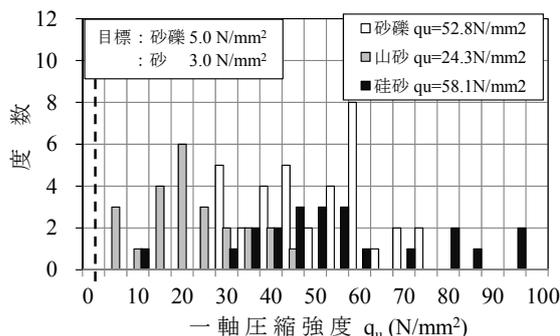


Fig. 7 改良体の一軸圧縮強度のヒストグラム
The Histogram of compressive strength for Soil Cement

た供試体を整形し、一軸圧縮試験により求めた。

4.2 小規模試験施工の結果

4.2.1 改良体の出来形径 Fig. 5に改良体の出来形径のヒストグラムを示す。この図から、砂礫地盤に造成

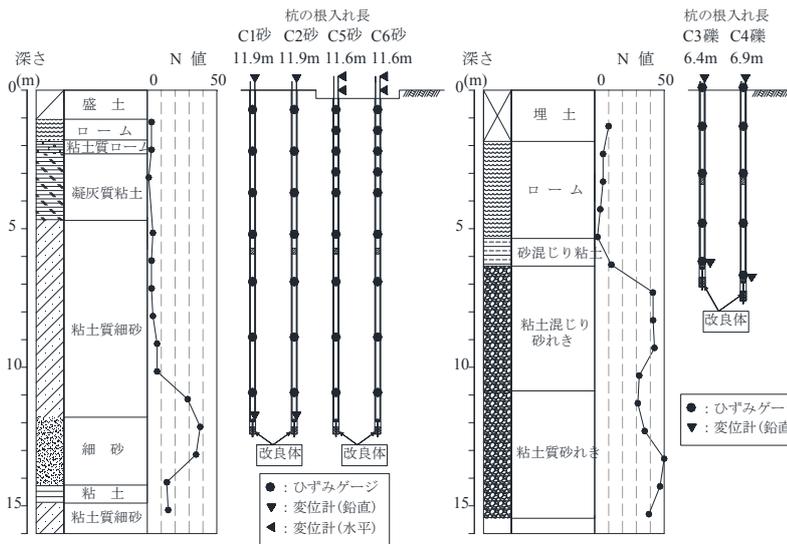


Fig. 8 地盤条件および試験杭模式図
Soil Condition and Test Piles Model



Photo 3 実験状況 (押し込み载荷試験, 砂礫地盤)

View of Test (Static Axial Compressive Load Tests, Gravel)

した改良体の直径は250mm以上で、目標径より25mm以上大きくなる結果となった。また、山砂地盤と珪砂地盤においても改良体の直径は225mm以上となり、いずれも目標径を満足する結果となった。

4.2.2 鋼管外周のかぶり Fig. 6に鋼管外周のかぶりのヒストグラムを示す。この図から、砂礫地盤に造成した杭の鋼管外周のかぶりが最も大きくなる結果となった。いずれの地盤においても鋼管外周の平均かぶりは30mm以上となり、目標値20mmを満足する結果となった。

4.2.3 改良体の強度 Fig. 7に改良体の一軸圧縮強度のヒストグラムを示す。山砂地盤に造成した改良体の平均一軸圧縮強度は24.3N/mm²で、砂礫地盤および珪砂地盤に造成した改良体の平均一軸圧縮強度は50N/mm²以上であり、目標強度を大きく上回る結果となった。なお、各土質の目標強度は、3章で述べた場所打ち杭における杭先端の極限支持力度と同じ値に設定している。

5. 実大载荷試験による検証

5.1 実大载荷試験の概要

杭の支持力特性と水平抵抗特性を確認するため、実大载荷試験を実施した。Fig. 8に地盤条件および試験杭模式

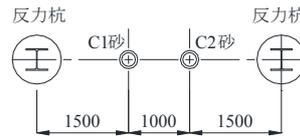


Fig. 9 試験杭および反力杭の配置
(押し込み载荷試験, 砂地盤)

Arrangement of Test Piles and Reaction Piles
(Static Axial Compressive Load Tests, Sand)

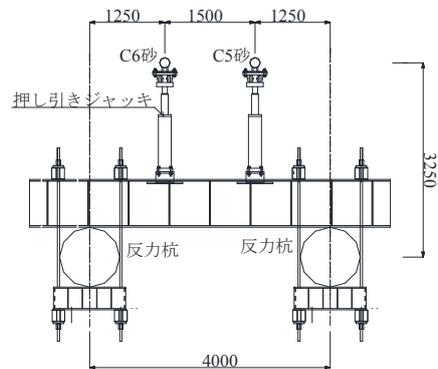


Fig. 10 試験杭および反力杭の配置 (水平交番载荷試験)

Arrangement of Test Piles and Reaction Piles
(Horizontal Alternate Load Tests)

Table 2 試験杭の諸元

Test Piles Parameters

ケース	C1砂	C2砂	C3れき	C4れき	C5砂	C6砂
载荷方向	押し込み			水平交番		
鋼種	STK400		STK490		STK400	
鋼管径	φ165.2mm					
鋼管肉厚	4.5 mm		7.1 mm		4.5 mm	
杭径	φ225.0mm					
改良体長	250 mm		350 mm		250 mm	

図を示す。実大载荷試験は2つの地盤条件で実施している。試験地盤1は、GL-4.7mまでロームおよび凝灰質粘土、GL-4.7m以深は粘土質細砂と細砂層で構成されている。一方、試験地盤2は、GL-5.5mまでロームおよび砂混じり粘土、GL-5.5m以深は砂礫と粘土質砂礫で構成されている。

Table 2に試験杭の諸元を示す。押し込み载荷試験杭は4本施工し、支持層および杭長を変化させている。試験地盤1 (砂地盤) の支持杭はN値30程度に根入れしており、試験地盤2 (砂礫地盤) の支持杭はN値40程度に根入れしている。Fig. 9に試験地盤1における押し込み载荷試験杭および反力杭の配置を示す。試験地盤2では、反力杭を使用せず、鉄板とウエイトによる実荷重を反力としており、試験杭間のピッチは3.0mである。Photo 3に試験地盤2で用いた実荷重ウエイト方式の実験状況を示す。Fig. 10に試験地盤1における水平交番载荷試験杭および反力杭の配置を示す。水平交番载荷試験杭は試験地盤1で2本施工し、杭の仕様は同一である。いずれも鋼管径はφ165.2mm、杭径はグラウト体の直径のφ225.0mmである。

押し込み载荷試験は、地盤工学会基準「杭の鉛直载荷試験方法・同解説³⁾」に準拠し、载荷方法は段階载荷・多サイクル方式で実施した。測定項目は、杭頭荷重、杭頭

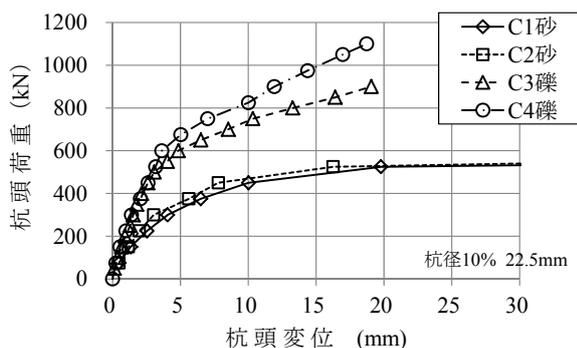


Fig. 11 杭頭荷重－杭頭変位関係

Relationship between Pile Head Load and Displacement

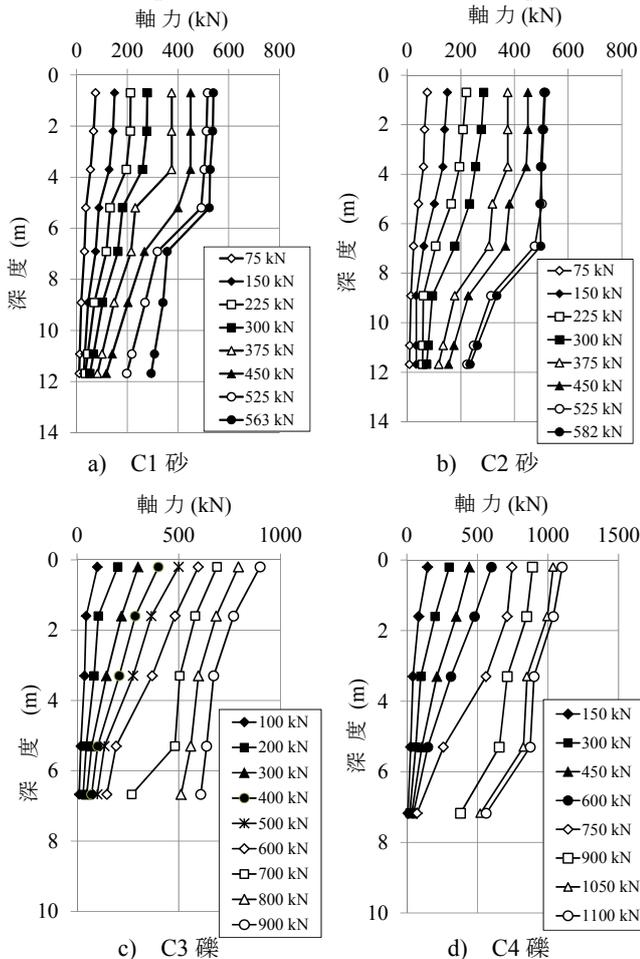


Fig. 12 軸力分布

Distributions of Axial Force

および杭先端変位、鋼管のひずみである。杭先端変位は二重管方式で測定した。一方、水平交番荷重試験は、地盤工学会基準「杭の水平荷重試験方法・同解説⁴⁾」に準拠し、荷重方法は段階荷重・多サイクル方式による正負交番で実施した。測定項目は、杭頭荷重、荷重点変位および荷重点+0.5m変位、鋼管のひずみである。

5.2 押し込み荷重試験結果

Fig. 11に杭頭荷重と杭頭変位の関係を示す。「杭の鉛直荷重試験方法・同解説³⁾」によると、押し込み荷重試験による設計上の極限支持力は、杭頭変位量が杭径の10%

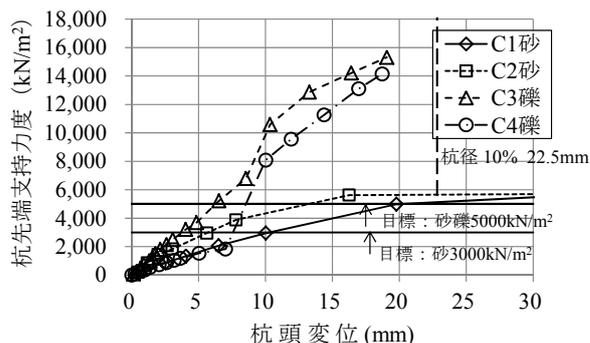


Fig. 13 杭先端支持力度－杭頭変位関係

Relationship between End Bearing Pressure and Displacement

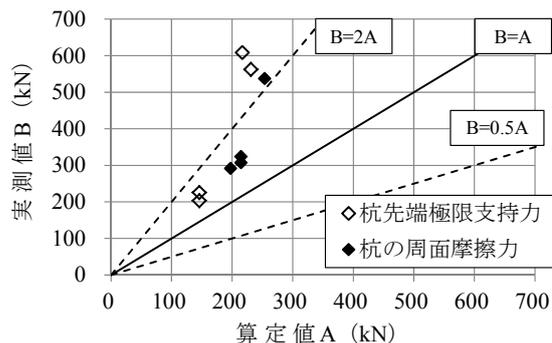


Fig. 14 各支持力の算定値と実測値の比較

Relationship between Calculation Load and Measuring Load

を超える場合は、杭径の10%を超える時の荷重としている。いずれのケースも杭径10%の杭頭変位は22.5mmであり、極限支持力はそれぞれN値30の層で527kN、532kN、N値40の層で900kN、1100kNであった。C1砂とC2砂のケースでは、450kN付近で曲線の勾配が変化しており、降伏荷重と判断できる。その後、525kNをわずかに上回った段階で極限支持力に到達している。一方、C3礫とC4礫のケースでは、荷重の初期段階では弾性的な挙動を示しており、C1砂とC2砂に比べて大きな初期剛性を有する結果となった。その後、600kN付近で曲線の勾配が変化しており、降伏荷重と判断できる。なお、C3礫とC4礫のケースは、杭頭変位が杭径10%の22.5mmに到達していないものの、杭頭荷重が反力装置の実荷重を上回る危険性が生じたため、安全を考慮して試験を終了している。

Fig. 12a)～d)に各杭の軸力分布を示す。ここで、軸力は鋼管と鋼管内外のグラウトを考慮し、試験で得られたひずみに各断面積および各ヤング係数を乗じることで算出した。いずれの杭も荷重の増加に伴い、杭先端部に到達した軸力(=杭先端支持力)も増加しており、支持杭の挙動を示している。この杭先端支持力をグラウト体の断面積で除した値が杭先端支持力度であり、Fig. 13に杭先端支持力度－杭頭変位関係を示す。C1砂とC2砂のケースにおける杭径10%時の杭先端支持力度は、5,000kN/m²以上であり、目標とする3,000kN/m²を大きく上回る結果となった。一方、C3礫とC4礫のケースにおける杭径10%時の杭先端支持力度は、14,000kN/m²以上であり、目標とする5,000kN/m²の3倍程度の結果となった。

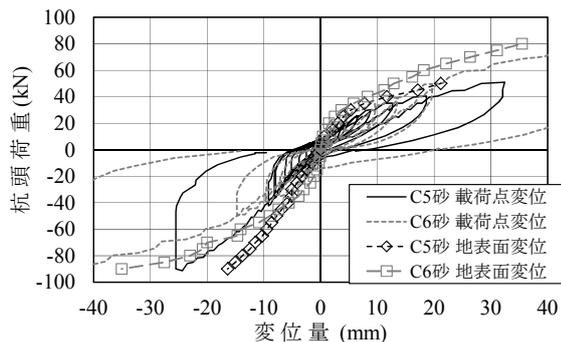


Fig. 15 杭頭荷重—水平変位関係

Relationship between Load and Horizontal Displacement

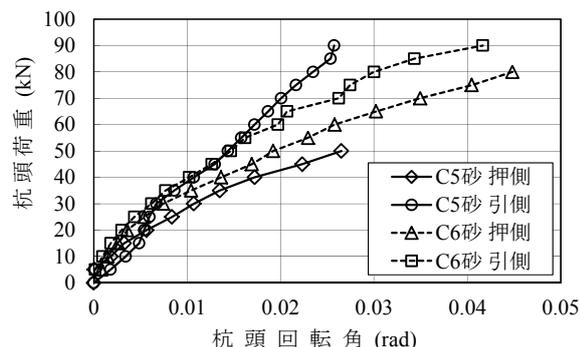


Fig. 16 杭頭荷重—杭頭回転角関係

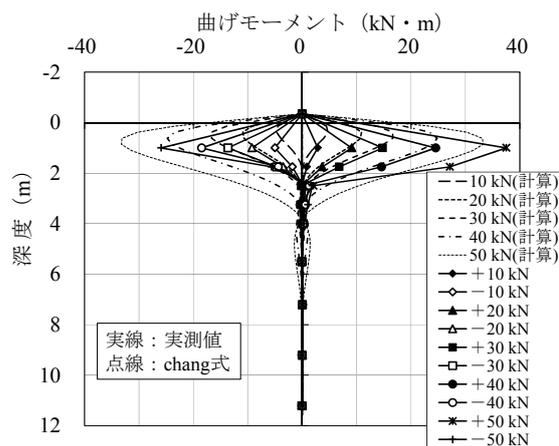
Relationship between Load and Angle of Rotation

Fig. 14に杭先端極限支持力と杭の周面摩擦力における算定値 (=A) と実測値 (=B) の比較を示す。ここで、算定値とは、3章の設計法で示した設計値と定義する。B=Aの実線よりもプロット点が上にあれば算定値以上であることを示す。この図から、いずれのケースにおいても杭先端極限支持力と杭の周面摩擦力の実測値は算定値の1.5倍程度以上であり、道示IVに記載されている場所打ち杭の支持力推定式により評価できることが確認できた。

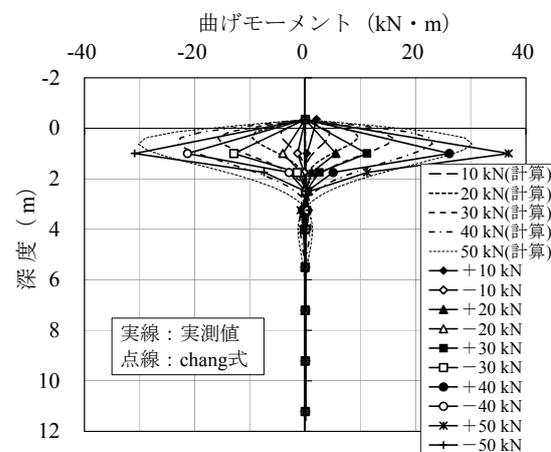
5.3 水平交番載荷試験結果

Fig. 15に杭頭荷重と水平変位の関係を示す。水平交番載荷試験の場合は、荷重および変位量が正負交番に発生する。この図では、各杭の載荷点の水平変位量を荷重履歴曲線で示し、地表面の水平変位量は載荷点変位と載荷点+0.5m変位から換算して算出している。載荷点変位の荷重履歴曲線より、いずれの杭も水平変位量が±10mm程度、杭頭荷重で±40kNまでは弾性的な挙動を示す結果となった。±40kN到達後は載荷とともに曲線の勾配が変化し、最大荷重に到達している。道示IVによると、許容水平変位量は杭径の1%、杭径1.5m以下では15mmとしている。各杭・各方向における水平変位量が15mm時の水平抵抗力は、C5押：43kN、C5引：-85kN、C6押：53kN、C6引：-65kNであった。

Fig. 16に杭頭荷重と杭頭回転角の関係を示す。この図には、押側と引側を併せて示している。杭頭回転角が0.01radにおける杭頭荷重は30～40kNで比較的ばらつき



a) C5砂



b) C6砂

Fig. 17 曲げモーメント分布
Distributions of Bending Moment

が小さいものの、0.02radにおける杭頭荷重は40～70kNで杭や載荷方向によって差異が生じた。

Fig. 17a)とb)に各杭の曲げモーメント分布を示す。この図は、載荷段階ごとに曲げひずみ（同一深度の杭軸に対し対称的な位置に貼った2つのひずみゲージの差の半分）の深度分布を図示し、杭体のヤング係数と断面係数を乗じることによって曲げモーメント分布が得られる。ここで、Changの方法とは、杭の水平載荷試験から杭の設計に用いる水平地盤反力係数を求める代表的な手法であり、地盤を均質な弾性体と仮定した時の水平地盤反力係数を求める手法である。Fig. 16より、いずれの杭および載荷方向においても曲げモーメントは $1/\beta$ となるGL-1.0m付近で最大となる傾向を示し、GL-3.0m以深ではほとんどゼロであった。さらに、曲げモーメント分布は、計算値と実測値は概ね一致する結果が得られた。なお、鋼管本体の降伏曲げモーメント $M_y=20.9\text{kN}\cdot\text{m}$ に相当する水平荷重は±40kN程度であり、それ以上の水平荷重においても粘り強く水平抵抗を発揮する結果となった。

Fig. 18に水平地盤反力係数と地表面変位量の関係を示す。載荷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水平地盤反力係数 k_h を求める。

Fig. 18より、水平地盤反力係数は水平変位量の増大に伴い急激に低下する傾向がみられる。各杭・各方向における水平変位量が15mm（道示IVにおける杭径1.5m以下の許容水平変位量）時の水平地盤反力係数は、C5押：38,494kN/m³、C5引：99,254kN/m³、C6押：50,882kN/m³、C6引：68,199kN/m³であり、引側のほうが大きくなる傾向がみられる。これらの結果は、Table 3に示すように、道示IVに記載されている各種調査・試験結果（GL-1.0m ≡ 1/β）の変形係数E₀から算定した水平地盤反力係数をいずれも上回ることを確認した。

6. 実現場での施工事例と計測

6.1 工事の概要

Fig. 19に本工法を適用した鉄道盛土に隣接する工事用栈橋の断面図を示す。Fig. 19に示すように、工事用栈橋は営業線に近接しており、一部の杭は施工時に架空線による空頭制限を受ける厳しい条件であった。当現場で使用している鋼管はφ216mm（杭頭部のみ）とφ165mmの二重管で、杭長は約12m～17m、杭本数は40本である。当該箇所の地層構成は、斜面上と擁壁基礎まではN値10以下の盛土からなり、擁壁基礎以深はN値15～50程度の細砂からなる。なお、基礎杭の設計は、鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物⁵⁾（以下、鉄道指針という）に準じて行った。当現場で行った二重管杭の詳細な施工手順は、既往の文献⁶⁾に譲る。

6.2 施工結果

Photo 4に上段杭の削孔状況を示す。上段杭の施工では、鉄道営業線に最も近接しており、列車通過時には列車見張員の合図により揚重作業は一時停止とするが、削孔・グラウト充填作業は継続した。また、作業足場から6.8m上空の架空線の影響と鉄道近接作業による安全性を考慮して、内管1本あたりの長さは6mから4mに変更した。施工中は大きなトラブル・不具合等もなく、順調に施工できることを確認した。

基礎杭の出来形管理項目は、打設角度、杭頭高、杭根入れ長、偏心量の4項目であり、いずれも全数検測する。Fig. 20に示すように、栈橋杭の打設角度は1本につきXY方向の2か所計測しており、管理基準の±2.5°以内を十分満足する結果となった。栈橋杭の杭頭高は、施工足場から杭天端までの距離を計測しており、管理基準の0～-100mm以内を十分満足していることを確認している。

6.3 計測結果

実現場で杭の性能を確認するため、75tクローラークレーンの自重および走行荷重を利用した現場載荷試験を実施した。計測対象は、上段杭、中段杭、下段杭の3本で、計測項目は杭体のひずみと鉛直変位、水平変位である。

6.3.1 荷重－変位関係 Fig. 21に各杭の杭頭荷重と杭頭鉛直変位の関係を示す。図中には、3章で示した設計

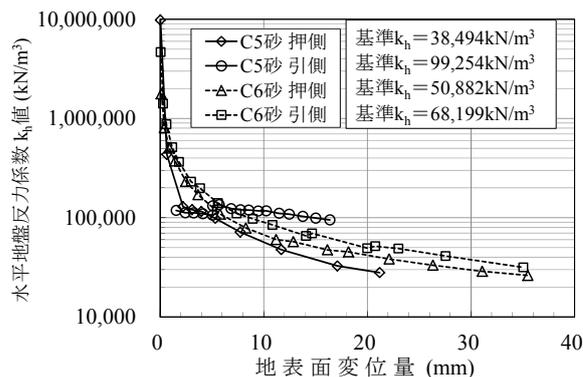


Fig. 18 水平地盤反力係数－地表面変位量関係
Relationship between Coefficient Horizontal Subgrade Reaction and Horizontal Displacement

Table 3 各種調査・試験結果から求めた k_h の算定値
Calculation of Coefficient Horizontal Subgrade Reaction

標準貫入試験結果から推定した k _h (kN/m ³)	孔内水平載荷試験結果から推定した k _h (kN/m ³)	三軸圧縮試験結果から推定した k _h (kN/m ³)
21,237	25,238	14,524

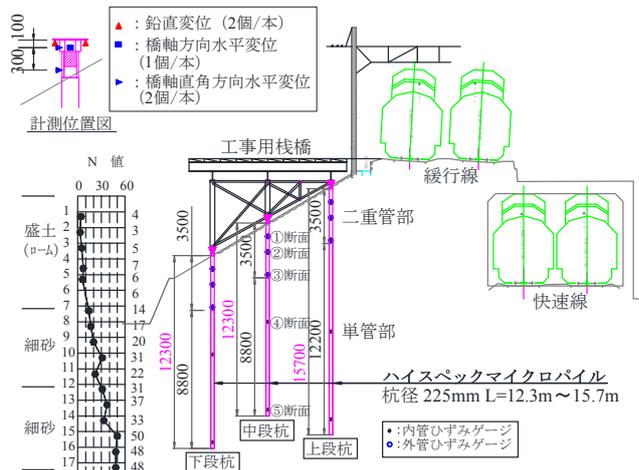


Fig. 19 鉄道盛土に隣接した工事用栈橋基礎杭の断面図
Cross Section of Pile Foundation for Temporary Landing Pier Adjacent Railway Embankment

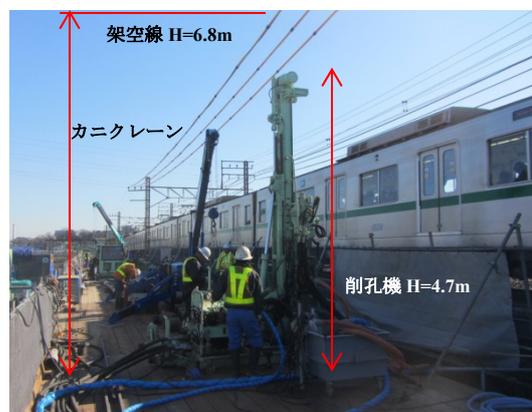


Photo 4 鉄道営業線での近接施工
Neighboring Work Nearby railway

法（道示IV）と鉄道指針を用いて算定した設計支持力と設計時の想定変位を併せて示す。計測結果より、実測値

は弾性的な挙動を示しており、降伏に至っていないことが確認できた。また、いずれの計測杭においても各設計支持力と設計想定変位に収まっていることが確認できた。さらに、各計測杭の最大荷重は、75tクローラークレーンが計測杭の真上付近に位置する自重時および走行荷重時に発生しており、下段杭：369kN、中段杭：283kN、上段杭：152kNであった。なお、上段杭の最大荷重と設計荷重に差異が大きいのは、上段杭の上部に架線があり75tクローラークレーンが上段杭の真上に載荷できなかったためである。

6.3.2 軸力分布 Fig 19に各杭におけるひずみゲージの断面位置を、Fig. 22に各杭の軸力分布を示す。各図の荷重段階は、各計測杭と関連性が高いケースを選定して示している。ここで、軸力は①断面～③断面（二重管部の下端）までは内管の軸力と外管の軸力の和とし、④、⑤断面は内管の軸力とする。いずれの杭も荷重の増加に伴い軸力差が増大し、周面摩擦力が良好に発揮されている。一方、75tクローラークレーンの自重あるいは走行しただけでは杭先端部に軸力がほとんど発生していない。これは、各区間の周面摩擦力のみで支持されているためと推定される。

7. おわりに

狭隘地や空頭制限下等でも施工可能かつ経済性に優れたハイスpekマイクロパイル工法を開発した。以下に得られた所見を示す。

- 1) 本工法の杭先端部に造成する改良体は、対象とする土質条件に対して所定の出来形（出来形径、かぶり）および強度が確保されることを確認できた。
- 2) 杭先端極限支持力と杭の周面摩擦力の実測値は算定値の1.5倍程度以上であり、道示IVに記載されている場所打ち杭の支持力推定式により評価できることが確認できた。
- 3) 水平交番載荷試験によって得られた水平地盤反力係数は、道示IVに記載されている各種調査・試験結果の変形係数 E_0 から算定した値をいずれも上回ることを確認した。
- 4) 工事用栈橋の基礎杭に現場適用した結果、施工中は大きなトラブル・不具合等もなく、順調に施工できることを確認できた。
- 5) 実現場で杭の性能確認を行った結果、いずれの計測杭も各設計支持力と設計想定変位に収まっていることが確認できた。

謝辞

本工法の現場適用ならびに現場載荷試験にあたっては、東日本旅客鉄道株式会社の東京支社、金町耐震化JV工事事務所に多大なるご協力をいただきました。また、試験施工および実大載荷試験にあたっては、日本基礎技術株

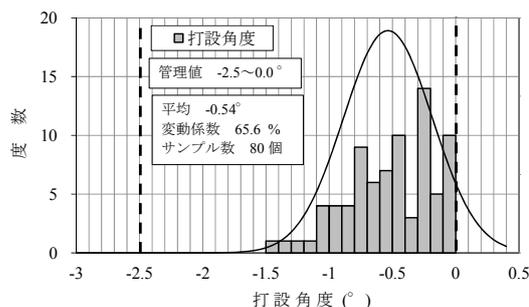


Fig. 20 出来形管理 (打設角度)

Management of work (Driving Angle)

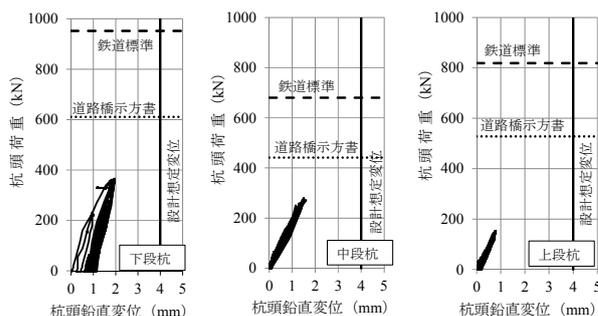


Fig. 21 杭頭荷重-杭頭鉛直変位関係

Relationship between Pile Head Load and Settlement

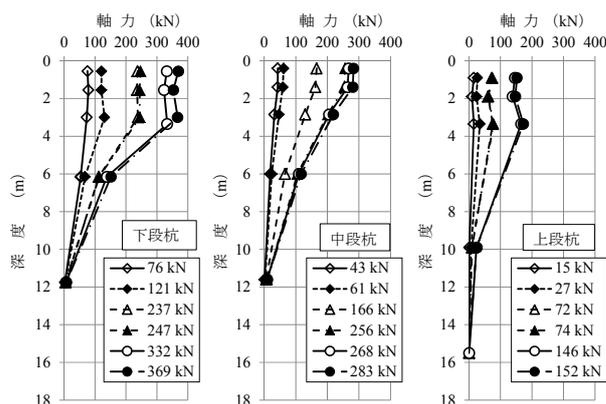


Fig. 22 軸力分布

Distributions of Axial Force

式会社、システム計測株式会社にご協力をいただきました。関係諸氏に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路構造物の現状（橋梁）,2013.4
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編,pp.377-456,2012.3
- 3) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説,2004.9
- 4) 地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説,2010.7
- 5) 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・抗土圧構造物,pp.217-255,2002.6
- 6) 粕谷悠紀，他：鉄道営業線に近接した高性能型マイクロパイル工法の施工,第 50 回地盤工学研究発表会,pp.1391-1392,2015.9