

論文の内容の要旨

論文題目 二重管削孔を用いた小口径合成鋼管杭工法の鉛直支持力特性
および水平抵抗特性に関する研究

氏 名 粕 谷 悠 紀

場所打ち杭工法では、掘削後のスライム残留による支持力低下が課題であった。一方、既存のマイクロパイル工法（直径 300mm 以下の杭工法総称）は、鋼管をケーシングとして削孔する自穿孔式であるため、鋼管外周のかぶりが 10mm 程度と小さいうえに確実に確保されるかどうか、杭周面の摩擦抵抗が適切に発揮されるかどうかは不明であった。また、施工上の理由から特殊鋼管を使用し、さらに継ぎ杭 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多い。そこで、既設構造物基礎における補強工事等において、十分なかぶりを確保でき、狭隘地や空頭制限下等でも施工可能かつ低コストで高品質な小口径合成鋼管杭工法を開発した。ここで、本研究で対象とした小口径合成鋼管杭とは、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て構築する杭のことをいう。

本研究は、杭先端部を地盤改良すること、二重管削孔と杭上下のセンタリング機構によりかぶりを 20mm 以上確保することを特徴とした小口径合成鋼管杭の鉛直支持力特性および水平抵抗特性等を明らかにすることを目的とした。この目的を達成するため、杭の鉛直載荷試験や水平交番載荷試験を実施し、極限支持力や水平方向地盤反力係数等を評価することにより、道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編 平成 24 年度版および平成 29 年版（以下、道示 IV という）の場所打ち杭の設計法に準拠する性能が確保できるかどうかを検証した。また、低コスト化を実現するために開発した独自のねじ継手の各種構造試験を実施し、母材の鋼管と同等以上の性能を有するかどうか検証した。加えて、現場で施工した実大杭について様々な計測を行い、設計した杭の鉛直支持力特性や水平抵抗特性と比較検証した。本論文は以上の成果を全 8 章でまとめたものである。各章の要旨を以下に示す。

第 1 章では、本研究に至る背景や経緯および本研究の目的について明記した。また、既存のマイクロパイル工法に関する既往の研究や適用事例を概説し、本論文の位置付けを明確にした。

第 2 章では、本研究で対象とした杭工法の基本的な考え方、技術概要、特徴、杭構造、各部材

等について明記した後、施工手順や各工程の施工方法について詳述した。汎用的な鋼管と独自に開発したねじ継手により、既存工法と比べて杭部材が低コストとなり、コストを縮減できることを明らかにした。

第3章では、杭の鉛直支持力特性に関する基礎的な検討結果について明記した。鋼管とグラウトとの付着強度試験結果より、グラウトの一軸圧縮強度から鋼管とグラウトの最大付着応力度の下限値を表現でき、安全側に設定した推定式を提案した。また、地盤から決まる極限支持力 R_u と鋼管とグラウトとの付着耐力 R_{FU} は、 $R_u < R_{FU}$ の関係にあることを明らかにしたことから、鉛直支持力の検討に際しては地盤から決まる極限支持力のみを検討することとした。

支持力模型実験結果および小規模押し込み載荷試験結果より、杭先端部を地盤改良することで残留したスライムによる鉛直支持力の低下を解決できるだけでなく、改良により従来の鉛直支持力よりも大きくなることを明らかにした。施工した杭の試掘調査により出来形・品質特性を確認した結果、対象とする土質条件に対して所定の出来形（掘削深さ、出来形径、鋼管外周のかぶり）や品質（改良体およびグラウトの目標強度）を確保できることを明らかにした。

第4章では、地盤に打設した杭の押し込み載荷試験および引抜き載荷試験から得られた杭先端支持力度や杭の最大周面摩擦力度などの鉛直支持力特性について明記した。二重管削孔と杭上下のセンタリング機構で適切にかぶりを確保した結果、杭先端極限支持力と杭の周面摩擦力の実測値は、いずれも計算値の1.5倍程度以上であることから、道示IVの場所打ち杭の設計法に基づいて算定される鉛直支持力よりも大きくなることを明らかにした。

H24年道示IVを参考に提案した杭の軸方向ばね定数 K_v の推定式は、鋼管の軸剛性ばねを用いた12例の押し込み載荷試験結果に基づいて導出した。H29年道示IVを参考に提案した K_v の推定式は、研究対象の杭工法独自の補正係数を算定して導出した。

第5章では、杭の水平抵抗特性に関する基礎的な検討結果について明記した。鋼管同士を接続するねじ継手部に着目し、継手を有する鋼管の曲げ試験・繰返し曲げ試験・せん断試験の構造試験を実施した。その結果、いずれの試験ケースにおいても最大曲げモーメントおよび最大せん断強度等の試験値は規格値を上回ることで、継手を有する鋼管は鋼管単体よりも大きくなることを明らかにした。

第6章では、地盤に打設した杭の水平交番載荷試験から得られた荷重-変位関係や、Changの考え方をを用いて算定した水平方向地盤反力係数 k_H -地表面変位量関係などについて明記した。二重管削孔と杭上下のセンタリング機構でグラウトと地盤を一体化した結果、各許容水平変位量（H24年およびH29年道示IV：15mm，建築基礎構造物設計指針：10mm）での実測 k_H は各種調査・試験より推定した計算 k_H よりも大きくなることを明らかにした。

第7章では、鉄道盛土上に計画された大型重機揚重作業用の工事用栈橋基礎杭について、設計・施工・現場計測を行った結果を明記した。梁ばね計算により各基礎杭に作用する設計外力を算定し、鉛直支持力などを照査した。現場計測データから杭頭荷重－杭頭鉛直変位関係を整理した結果、設計で想定される8割程度の鉛直荷重が作用しても弾性的な挙動を示すことから、十分な支持性能を有していることを明らかにした。また、第4章で提案した K_v の推定式を実施工杭の微小変位レベルで比較検証した結果、実測 K_v は計算 K_v と概ね同等であることを明らかにした。さらに、現場計測結果を基に算定した各杭の実測 k_H は、道示IVに基づく標準貫入試験の変形係数から推定した計算 k_H よりも大きくなることを明らかにした。

第8章は結論であり、各章で得られた成果を要約している。