

岩盤を支持層とする鋼管杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究

鋼管杭・鋼矢板技術協会 道路・鉄道技術委員会 岩チーム

1. はじめに

近年、施工機械・施工機材の能力向上や山間部などの施工条件がより厳しい場所での案件数の増加等により、岩盤を支持層とする杭の設計・施工事例が増加しつつある。しかし、岩盤を支持層とした杭基礎の地盤調査方法や設計方法（杭先端極限支持力度の推定式）、施工法（施工管理方法）などについては、明確に示されていないことから、実務では設計者の判断により、砂れき層の支持力推定式を準用したり、杭工法の選定が限定的になったりしているのが現状である。

そこで、国立研究開発法人土木研究所を中心に、一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会、一般社団法人コンクリートパイル建設技術協会、一般社団法人日本基礎建設協会および一般社団法人全国地質調査業協会連合会の5団体で、岩盤の力学特性や杭工法などの条件の違いを考慮し、それぞれの条件

において岩盤を支持層とする杭基礎の地盤調査法、杭先端の極限支持力度の推定式、施工管理方法を明らかにすることを目的に、平成27年度から平成29年度の3年間に渡って共同研究を実施した。

本報文では、本共同研究の枠組みの中で新たに実施した鋼管杭工法の施工試験の結果と、その施工試験で確認した施工管理方法に基づき施工した杭の載荷試験の結果について紹介するとともに、岩盤を支持層とする各工法における施工上の留意点を取りまとめた。

2. 共同研究の概要

本共同研究では、支持層の対象となる岩盤条件について、力学特性や変形特性、さらには岩盤特有の亀裂状態や風化状態をもとに区分し、その区分に応じてH24道示Ⅳ¹⁾に記載の主要な杭工法の既往の載荷試験結果をあてはめ、杭先端の支持力推定式を提案する

上で不足している条件について、新規に載荷試験（施工試験）を実施している。また、杭先端の支持力機構や施工法が同様と見なせる杭工法については表1に示すグルーピングをして評価している。

鋼管杭工法では、鋼管ソイルセメント杭工法2件、中掘り杭工法コンクリート打設方式1件の計3件の載荷試験（施工試験）を鋼管杭・鋼矢板技術協会の会員会社で実施した。

なお、回転杭工法は、施工実績はあるものの載荷試験数が少なく、杭先端の支持力機構や施工法の独自性から他工法とグルーピングができなかったことから、本共同研究においては参考扱いとした。

3. 鋼管ソイルセメント杭工法の施工・載荷試験

鋼管ソイルセメント杭工法では、岩盤を支持層とする施工事例は多数あるものの、載荷試験を行った実績がな

表1 岩盤区分と載荷試験の実施状況

区分	工学的指標による地盤条件			グループ1	グループ2		グループ3	
	生成年代	一軸圧縮強度 (MN/m ²)	変形係数 (MN/m ²)	中掘り杭工法 セメントミルク 噴出攪拌方式	プレボーリング系		中掘り杭工法 コンクリート 打設方式	場所打ち杭工法 (オールケーシング)
					鋼管ソイルセメント杭 工法	プレボーリング杭 工法		
硬岩	新鮮岩 又は亀裂の 少ない岩	10以上	500以上	X	X	X	●◇	◇
	亀裂が 多い岩		500未満					●◇
軟岩	風化軟岩	10未満		500未満	◇	●	●◇	●◇
	堆積軟岩		鮮新世以降		◇	●	●◇	

●：新規載荷試験、◇：既往載荷試験

かったことから、本共同研究の中で風化軟岩および堆積軟岩（泥岩）を対象に施工試験および荷重試験を行った。

施工・荷重試験の諸元を表2に、杭姿図とひずみゲージ貼付位置を併記した柱状図を図1に示す。

(1) 施工試験

施工はこれまでの知見に基づき、砂・砂れきと同様の施工機械の構成および施工手順で行っている²⁾。施工試験の状況を写真1に、施工管理装置の出力図を図2に、荷重試験後のコア強度試験結果を表3に示す。

風化軟岩では、一軸圧縮強度10MN/m²以上、換算N値300以上の砂岩（本共同研究では風化軟岩相当と評価）を支持層とする岩盤において、砂・砂れきと同様の施工設備で施工要領に規定される精度を確保しながら掘削できることを確認した。また、杭先端固化部のコアボーリングおよび未固化試料の一軸圧縮試験結果より、従来の施工方法および施工管理方法で、所定の品質（強度）が確保されることを確認した。

一方、堆積軟岩（泥岩）では、岩盤の硬さに応じた鋼管ソイルセメント杭としての必要強度は満たしていたものの、同一現場で実施したプレボーリング杭の根固め部の一軸圧縮強度と比較すると低めの値となった。コア試験体が部分的に混入した岩塊（掘削片φ20mm程度）に沿って破壊したことから、杭先端固化部に岩塊が混入することにより、杭先端固化部の一軸圧縮強度が低下する可能性があることが示唆された。

(2) 荷重試験

荷重試験の状況を写真2に、荷重試験の結果一覧を表4に、総合図を図3に、杭頭荷重と杭頭変位、杭先端変位の関係を図4に、杭先端荷重と杭頭変位の関係を図5に、軸力分布図を図6に示す。なお、杭先端荷重は杭先端上方1D位置での値（D：ソイルセメント柱径）とした。

風化軟岩の試験では、杭頭部の変位が46.45mm（ソイルセメント柱径の4.6%）で荷重装置の能力上限に達して

表2 施工・荷重試験の諸元

施工法	鋼管ソイルセメント杭工法		中掘り杭工法コンクリート打設方式	
	先端地盤	風化軟岩（砂岩）	堆積軟岩（泥岩）	亀裂が多い硬岩（弱風化岩）
施工日	2016年7月22日	2016年11月7日	2017年6月27日	
試験場所	長崎県松浦市志佐町	福島県いわき市泉町	岡山県美作市竹田	
鋼管	径	800mm	800mm	800mm
	板厚	21mm	21mm	14mm
ソイル径	1,000mm	1,000mm		
鋼管先端深度	G.L.-17.9m	G.L.-14.5m	G.L.-23.8m	
ソイル先端深度	G.L.-18.4m	G.L.-15.0m		
先端地盤の一軸圧縮強度 q_u	14,950kN/m ²	1,400kN/m ²	20,750kN/m ²	
杭先端から下方3D区間の平均N値	400	61.8	500	
荷重試験	試験方法	地盤工学会基準（JGS1811-2002）杭の押し込み試験方法		
	荷重ステップ	6サイクル12段階	3サイクル5段階	6サイクル11段階
	荷重試験日	2016年8月19日	2016年12月14日	2017年7月28日
	養生期間	28日	38日	29日

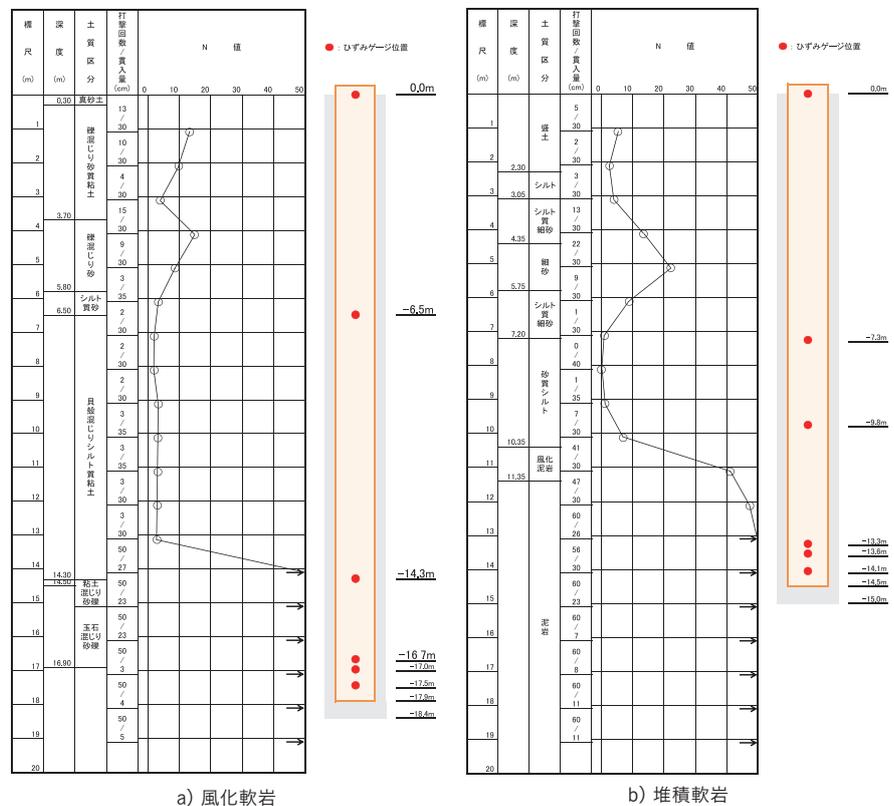
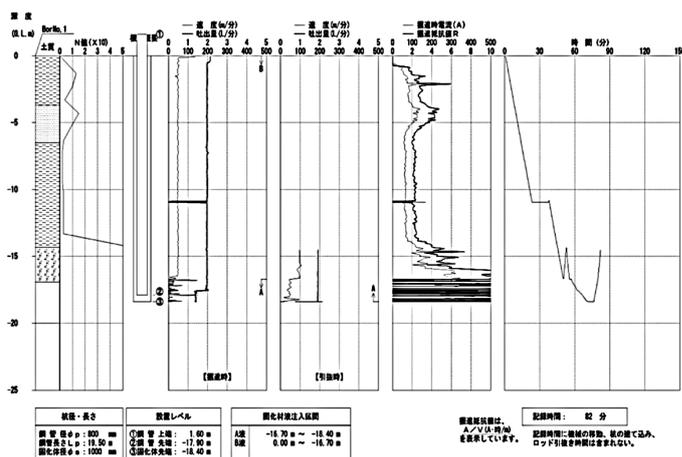


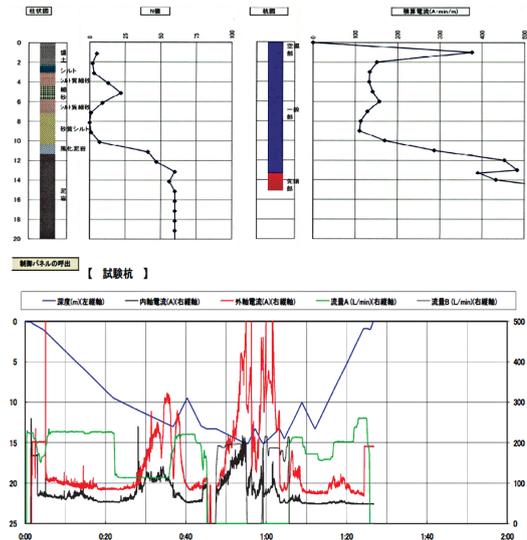
図1 鋼管ソイルセメント杭工法施工・荷重試験の柱状図



写真1 鋼管ソイルセメント杭工法の施工試験状況



a) 風化軟岩



b) 堆積軟岩

図2 鋼管ソイルセメント杭工法施工管理装置の出力

表3 鋼管ソイルセメント杭工法 杭先端固化部および岩の一軸圧縮強度

	風化軟岩		堆積軟岩	
	深度	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	深度	一軸圧縮強度 (N/mm ²)
杭先端固化部	GL-16.84m	26.2	G.L.-13.5m	5.81
	GL-17.41m	18.2		
岩	平均値 22.2		G.L.-14.5m	8.58
			G.L.-14.8m	4.83
	GL-19.41m	12.2	G.L.-19.1m	1.82
	平均値 13.95		G.L.-19.43m	1.77
	GL-19.76m	15.7	G.L.-19.63m	1.40
			平均値 1.66	

表4 載荷試験の結果一覧

施工法	鋼管ソイルセメント杭工法		中掘り杭工法コンクリート打設方式	
	先端地盤	風化軟岩(砂岩)	堆積軟岩(泥岩)	亀裂が多い硬岩(弱風化岩)
最大荷重時	杭頭荷重 P _{0max} (kN)	19,200	8,000	15,000
	杭頭変位 S _{0max} (mm)	46.45	50.77	71.99
	先端荷重 P _{pmax} (kN)	11,989	3,895	12,755
	先端変位 S _{ppmax} (mm)	16.17	36.93	21.68
ワイブル分布曲線による先端極限支持力 R _u (kN)	14,636	4,678	13,855	
杭先端の極限支持力度 q _d = R _u /A (kN/m ²)	18,635	5,957	27,564	
杭先端の極限支持力度 q _d /先端地盤の一軸圧縮強度 q _c	1.3	4.3	1.3	

試験を終了した。道示IV¹⁾においては、杭頭部の変位が10%に達した時の荷重を極限支持力と定めており、ここでは式(1)に示すWeibull分布曲線³⁾で外挿して整理を行った。

$$\frac{P_o}{P_{ou}} = 1 - e^{-\left(\frac{S_o/D}{S_{os}/D}\right)^m} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

ここに、

P_o : 杭頭における任意の軸方向荷重 (杭頭荷重)

P_{ou} : 杭頭における極限支持力

e : 自然対数の底

S_o : 任意の杭頭荷重によって生ずる杭頭変位

S_{os} : 杭頭変位の特性値

D : 杭径

m : 変位指数

先端極限支持力は14,636kN、杭先端の極限支持力度は18,635kN/m²となり、H29道示IV⁴⁾における極限支持力度(砂れき)の上限12,000 kN/m²を上回ることを確認した。

堆積軟岩の試験では、岩盤を支持層とした場合の急速載荷試験の実務における適用性を確認するために、本試験(静的載荷試験)の後に、急速載荷試験を実施することから、極限状態に到達する前に載荷を終える必要があり、杭頭部の変位が50.77mm(ソイルセメント柱径の5.1%)で試験を終了し、Weibull分布曲線で外挿して整理

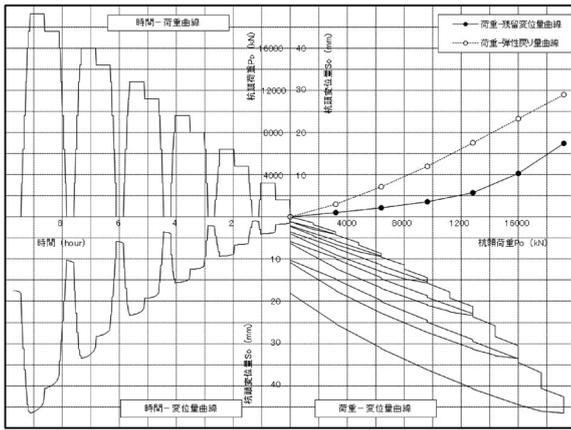


a) 風化軟岩

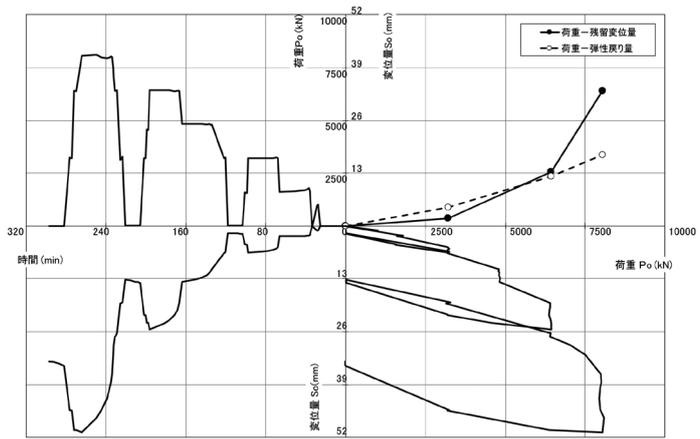


b) 堆積軟岩

写真2 鋼管ソイルセメント杭工法の載荷試験状況

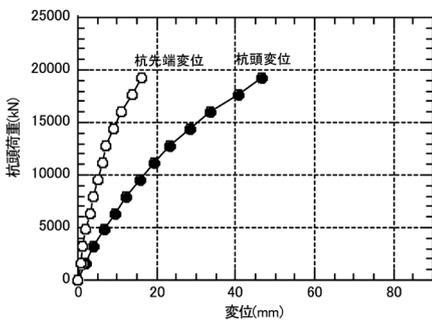


a) 風化軟岩

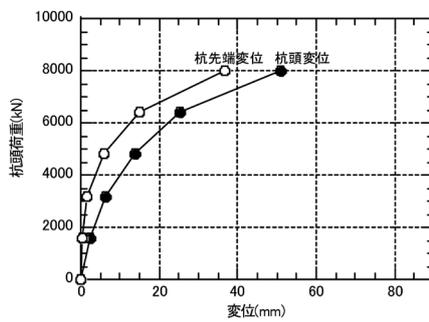


b) 堆積軟岩

図3 鋼管ソイルセメント杭工法の総合図

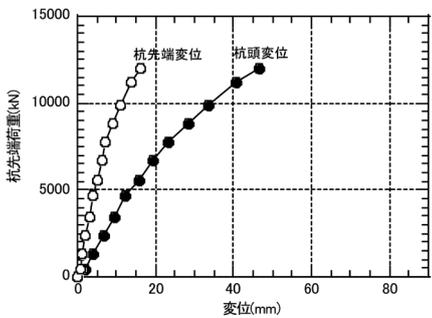


a) 風化軟岩

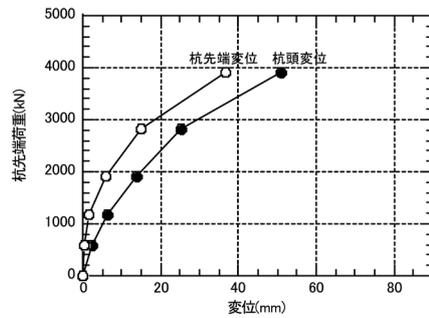


b) 堆積軟岩

図4 鋼管ソイルセメント杭工法の荷重変位関係 (杭頭荷重)



a) 風化軟岩



b) 堆積軟岩

図5 鋼管ソイルセメント杭工法の荷重変位関係 (杭先端荷重)

を行った。先端極限支持力は4,678kN、杭先端の極限支持力度は5,957kN/m²となった。杭先端の極限支持力度を先端地盤の一軸圧縮強度 q_u で除した値は4.3となり、場所打ち杭に関する既往設計式⁵⁾である $3q_u$ 以上で、Skempton⁶⁾により提案されている極限支持力度 $4.5q_u$ と同程度であった。

4. 中掘り杭工法コンクリート打設方式の施工・荷重試験

中掘り杭工法コンクリート打設方式では、荷重試験による支持力確認の事例がほとんどなかったことから、中掘り掘削方法の一つとして、硬岩でも掘削が可能なダウンザホールハンマ施工を対象に、新たに杭先端部のずれ止め仕様、施工管理方法・項目を設定した上で、施工試験および荷重試験を実施

した。

ダウンザホールハンマの工法概要を図7に示す⁷⁾。主に仮設建造物の杭基礎として広く適用されている施工方法である。先端にケーシングトップとずれ止めを取り付けた鋼管杭の中にダウンザホールハンマをセットし、ハンマ先端のビットを拡径した状態でコンプレッサーからのエアでハンマピストンを往復運動させ、ビットの衝撃力で岩盤を掘削し、エアリフトで掘削ずりを排出すると同時に鋼管杭を沈設する。なお、ビットの拡径は中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式におけるフリクションカッター相当以内(鋼管φ800mm未満は掘削径≦鋼管径+18mm、鋼管φ800mm以上は掘削径≦鋼管径+24mm)とする。所定深度まで掘削した後に、先端ずれ止め部の洗浄および孔底のスライム処理を行い、コンクリートを打設する。適用の杭径の目安は400~1200mm程度である。

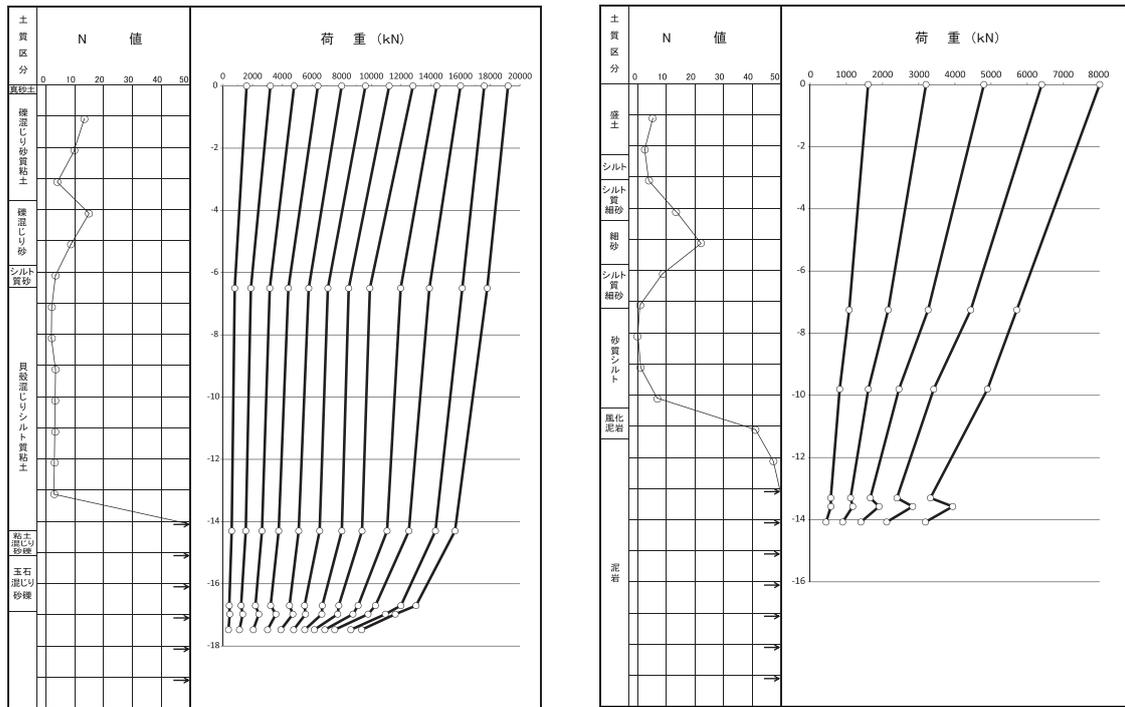
施工・荷重試験の諸元を表2に、杭姿図とひずみゲージ貼付位置を併記した柱状図を図8に示す。

(1) 施工試験

施工試験の状況を写真3に示す。

今回の施工試験では、一軸圧縮強度が20MN/m²超の硬岩でも、掘削孔の曲りや杭心ずれは所定の掘削精度を確保しながら掘削できることを確認した。

支持層の確認は、場所打ち杭と同様に掘削試料と土質柱状図や試料サン



a) 風化軟岩

b) 堆積軟岩

図6 鋼管ソイルセメント杭工法の軸力分布

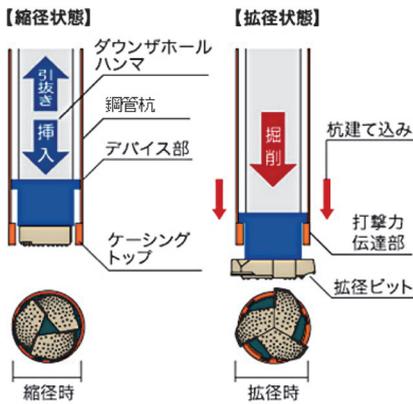


図7 ダウンザホールハンマの工法概要 (図中ではずれ止め省略)

載を写真5に示す。

管内洗浄後はエアリフトにより孔底(スライム)処理を実施し、重錘で孔底に残留スライムがないことを確認した。孔底処理後にハンマを回収し鋼管を孔底まで押し込み、トレミー管を用いて鋼管先端から約1500mmの高さ(鋼管先端ずれ止め最上段から500mm以上としている)までコンクリートを打設した。載荷試験後のコア強度試験結果を表5に示す。なお、杭先端根固め部以深の地山部(岩)については亀裂が多く、一軸圧縮試験が実施できなかった。

(2) 載荷試験

載荷試験の状況を写真6に、載荷試験の結果一覧を表4に、総合図を図9に、杭頭荷重と杭頭変位、杭先端変位の関係を図10に、杭先端荷重と杭頭変位、杭先端変位の関係を図11に、軸力分布図を図12に示す。なお、G.L. - 9.85m以深は摩擦低減材を塗布した。

載荷は、杭頭部の変位が71.99mm(鋼管径の9.0%)で載荷装置の能力上限に達して試験を終了した。

先端極限支持力は13,855kN、杭先端

の極限支持力度は27,564kN/m²となり、同一評価グループである場所打ち杭のH29道示IV⁴⁾における極限支持力度(良質な砂れき)の上限8,000 kN/m²を大幅に上回ることを確認した。

5. 施工上の留意点と対策

(1) 鋼管ソイルセメント杭工法

基本的には砂・砂れきを支持層とする場合と同様の施工方法および施工管理方法²⁾となるが、以下に留意点と対策を示す。

① 泥岩や土丹等で杭先端固化部に岩塊が混入する恐れがある岩盤においては、極力岩塊の混入を抑える観点から、杭一般固化部のセメントミルクを注入攪拌しながら一旦掘削底まで掘進し、その後杭先端固化部のセメントミルクに切替えてソイルセメント柱を造成するのが良い。これは、堆積軟岩(泥岩)で実施した施工試験において、砂・砂れきを対象とした方法で施工した鋼管ソイルセメント杭と掘削底から根固め液を注入したプレボーリング杭工法の固化体の出来栄を比較した結果、プレボー

ル等の対比を基本とし、機械振動や岩打設時の発生音などの施工時情報も参考に行った。今回の施工試験では、写真4に示すように、想定支持層深度で掘削試料の状態(粒径、含有物の変化等)や色味を確認したところ、コアサンプルと同様の緑色の岩片が発現し、支持層への到達が確認できた。

管内洗浄は、鋼管先端から上方2000mmの範囲において、水を添加したエア(圧力1.2MPa)を3往復、計300秒(100秒/往復)噴出する方法とした。本洗浄方法は、別杭で洗浄効果を確認した結果によるものであり、洗浄前後の比

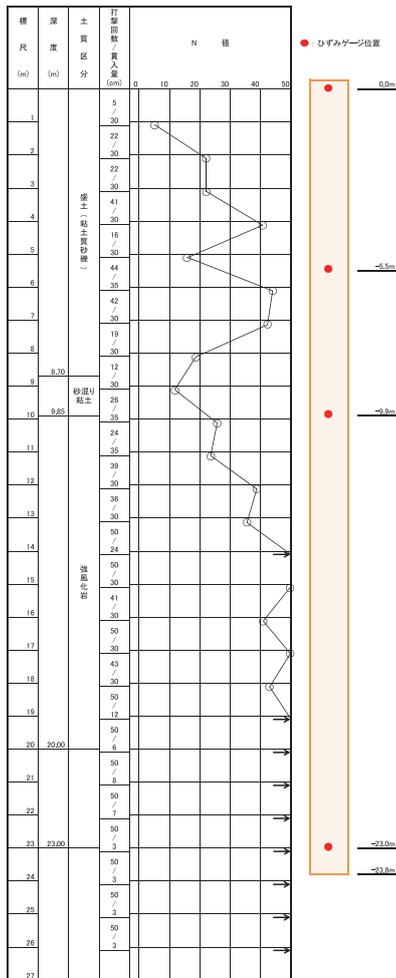


図8 中掘り杭工法コンクリート打設方式施工・載荷試験の柱状図

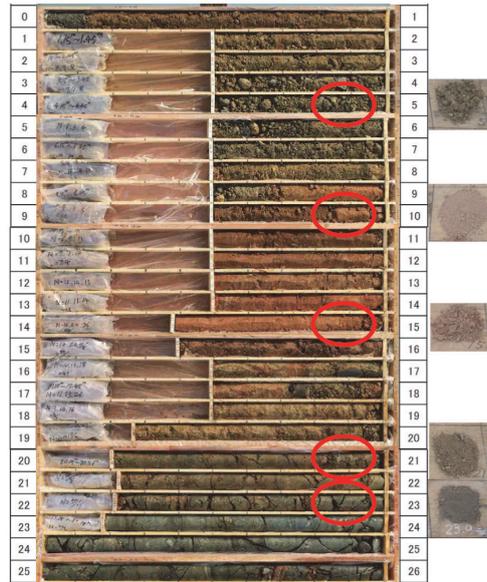


写真4 掘削試料とコアサンプルの比較

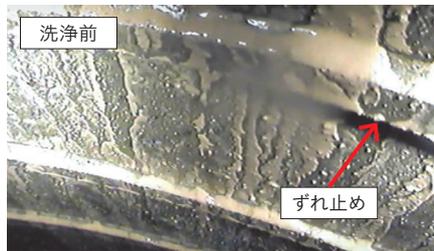


写真5 管内洗浄効果の確認

表5 中掘り杭工法コンクリート打設方式杭先端根固め部の一軸圧縮強度

	深度	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	
杭先端 根固め部	GL-23.2m	42.4	平均値 39.2
	GL-23.35m	35.9	

リング杭工法でのコア試験体の方が均質で良好であったことによるものである。

- ②岩盤の硬さや傾斜によって杭心ずれのおそれがある場合は、トランシットなどで常時測量し傾斜を補正しながら施工する。岩盤の傾斜が30度程度を超えるような場合においては工法の再選定を含めて検討を行う。

(2) 中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式

基本的には砂・砂れきを支持層とする場合と同様の施工方法および施工管理方法⁸⁾となるが、以下に留意する。

- ①中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式は、他の杭工法に比べて杭先



写真6 中掘り杭工法コンクリート打設方式の載荷試験状況

端仕様や根固め部形状が工法ごとに異なるため、岩盤を支持層とした載荷試験が実施されていることおよび施工管理方法が確立していることが適用の前提条件となっている。本条件に現時点で合致しているのはTAIP工法およびTN工法の2工法である。

- ②鋼管ソイルセメント杭工法の施工試験から得られた知見に基づき、中掘り杭工法セメントミルク噴出攪拌方式においても、泥岩や土丹等で杭先



写真3 中掘り杭工法コンクリート打設方式の施工試験状況

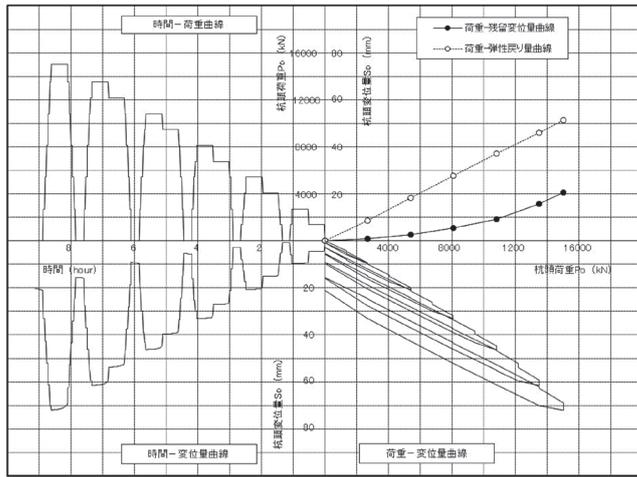


図9 中掘り杭工法コンクリート打設方式の総合図

ずれ止めは、式(2)で算定される管内の付着力 P_u が先端極限支持力 R_u 以上になるように設定する。ずれ止めの仕様は、杭先端の極限支持力度やコンクリートの圧縮強度、鋼管の板厚等により変化するが、杭先端の極限支持力度を $12,000\text{kN/m}^2$ 、コンクリートの圧縮強度を 24N/mm^2 と 30N/mm^2 、鋼管の板厚を 9mm 以上かつ杭径の 1% 、ずれ止めの高さを 6mm 、ピッチを 100mm (ずれ止め高さの 15 倍を確保した 50mm ラウンド)とした場合の仕様例を表6に示す。なお、最少段数は 2 段とした。

$$P_u = \pi \cdot (D-2t) \cdot L_d \cdot \tau_d$$

$$= \pi \cdot (D-2t) \cdot (n \cdot l_z) \cdot \tau_d \text{ 式(2)}$$

ここに、

D : 鋼管径

t : 鋼管板厚

L_d : 鋼管と中詰めコンクリートとの付着有効範囲 $= n \cdot l_z$

n : ずれ止め段数

l_z : ずれ止め間隔 (mm)

τ_d : 鋼管内面と中詰めコンクリートの付着強度 (N/mm^2)

$$= (3.5 + 190 \sigma_c \cdot \frac{h}{l_z} \cdot \frac{t}{D}) / \gamma_c \leq 15$$

σ_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

h : ずれ止めの高さ (mm)

γ_c : コンクリートの材料係数 (1.3)

コンクリート打設前にずれ止め部の管内洗浄を行うが、地中での作業となることから、完全に付着物が除去しきれずに微少の付着物が残留することも想定される。その不確実性を鑑みて管内面の付着物を模擬したグリースを塗布した状態での鋼管内コンクリートの押し抜き試験を実施している(写真7参照)。本報文では詳細については割愛するが、式(2)の鋼管先端のずれ止めへの適用性を確認している。

事前の地盤調査において、支持層が膨張性の岩盤である場合やスレーキング特性を持つ岩盤である場合には、できるだけ応力解放や吸水膨張反応による影響を小さくする観点から、支持層掘削からコンクリート打設までの作業を速やか(同日中)に実施することが良いと考えられる。一方、中掘り杭工

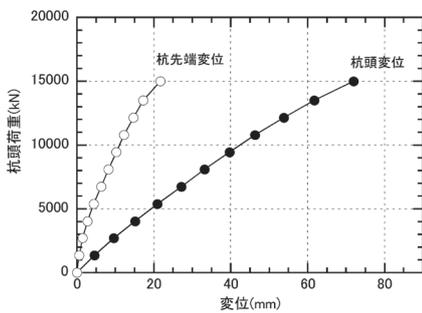


図10 中掘り杭工法コンクリート打設方式の荷重変位関係(杭頭荷重)

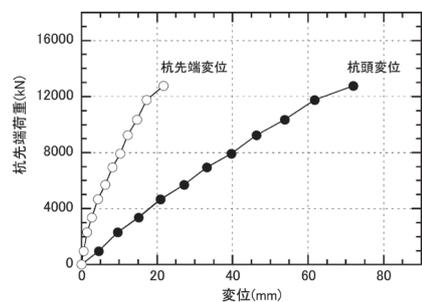


図11 中掘り杭工法コンクリート打設方式の荷重変位関係(杭先端荷重)

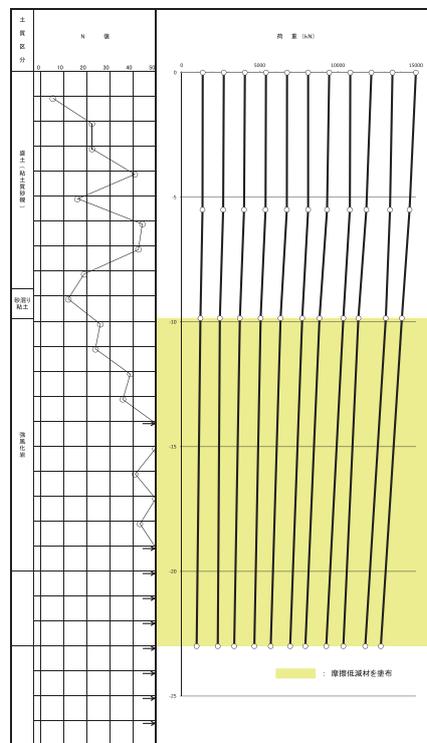


図12 中掘り杭工法コンクリート打設方式の軸力分布

端固化部に岩塊が混入する恐れがある岩盤では掘削底からセメントミルクを注入するのが良い。また、その他の留意点も鋼管ソイルセメント杭工法に準じる。

(3) 中掘り杭工法 コンクリート打設方式

中掘り杭工法コンクリート打設方式では、過去に不適切な施工管理(特に先端処理)によって基礎が沈下する不具合も生じていることから、所定の施

工法・施工管理方法を遵守する必要がある。

また、これまでの道示IV¹⁾においては、鋼管先端にずれ止めを設けず、鋼管先端から鋼管内径の4倍以上の高さまでコンクリートを打設する仕様となっていたが、硬岩のように大きな先端支持力度が期待できる場合においても、鋼管内面とコンクリートとの付着を確実に発揮させるために、式(2)に示す鉄道基準⁹⁾の付着式より先端閉塞に必要なずれ止めを設ける必要がある。

表6 中掘り杭工法コンクリート打設方式のずれ止め仕様例（杭先端極限支持力度12,000kN/m²）

鋼管			コンクリート 圧縮強度 σ_c (N/mm ²)	ずれ止め			τ_d (N/mm ²)	付着力と支持力の比較 $P_u \geq R_u$				
径D (mm)	板厚t (mm)	D/t		高さh (mm)	ピッチL (mm)	段数n		付着力 P_u (kN)	先端極限支持力 R_u (kN)			
400	9	44.4	24	6	100	2	7.42	1,781	1,508			
500	9	55.6				3	6.48	2,944	2,356			
600	9	66.7				4	5.84	4,271	3,393			
700	9	77.8				4	5.39	4,619	4,618			
800	9	88.9				5	5.06	6,216	6,032			
900	9	100				6	4.79	7,964	7,634			
1000	10	100				7	4.79	10,323	9,425			
1100	11	100				8	4.79	12,978	11,404			
1200	12	100				8	4.79	14,157	13,572			
400	9	44.4				30	6	100	2	8.61	2,067	1,508
500	9	55.6							3	7.42	3,371	2,356
600	9	66.7							3	6.63	3,637	3,393
700	9	77.8	4	6.07	5,202				4,618			
800	9	88.9	5	5.65	6,940				6,032			
900	9	100	6	5.32	8,845				7,634			
1000	10	100	6	5.32	9,827				9,425			
1100	11	100	7	5.32	12,612				11,404			
1200	12	100	7	5.32	13,758				13,572			

生じる可能性があることから、岩種によっては羽根部や鋼管の仕様選定に留意が必要である。また回転杭は羽根上面における地盤反力を推進力として貫入していくが、岩盤上層の地盤が軟弱である場合、岩盤への圧入に必要な推進力が得られずに滑りを生じる場合があることから、逆回転を織り交ぜたオペレーションや押し込み力を与えることが必要となり、また岩盤と岩盤直上の地盤の硬軟が著しく異なる場合には、工法の再選定を含めて検討を行う。

6. まとめ

岩盤を支持層とする鋼管杭工法の施工試験・載荷試験および施工上の留意点を紹介した。なお、地盤調査方法や杭先端の極限支持力度推定、施工管理方法について、本試験結果に基づき土木研究所の共同研究報告書および改定作業中の杭基礎設計・施工便覧に取りまとめられる予定であるので、そちらを参照されたい。

【参考文献】

- 1) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編、2012.3
- 2) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領、2017.3
- 3) 宇都, 冬木, 桜井：杭の載荷試験結果の整理方法、基礎工, vol.10, No.9, 1982.9
- 4) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編、2017.11
- 5) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株)：設計要領第二集橋梁建設編、2013.7
- 6) 山肩：大口径杭の現状と鉛直支持力に関する問題点、土と基礎、1980.11
- 7) (株) 横山基礎工事ホームページ
- 8) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式) 施工管理要領<標準版>、2017.3
- 9) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物、2016.1
- 10) 片野, 片山：新名神高速道路 朝明川橋・小牧高架橋の施工、土木施工, vol.54, No.11, 2013.11
- 11) 西岡, 山崎, 青木ら：軟岩に支持された回転圧入鋼管杭の引抜き抵抗力に関する研究、地盤工学シンポジウム論文集、2005.11
- 12) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法施工管理要領、2017.3



写真7 鋼管内コンクリートの押し抜き試験

法コンクリート打設方式では、杭1本当たりに打設するコンクリートが少量のため、複数本同時にコンクリート打設の方が施工効率は良く、経済的となる場合がある。このような施工手順を行う場合には、基礎底面の岩盤のスレーキング試験や吸水膨張試験を実施した上で、応力解放や吸水膨張反応による影響が小さいことを確認することが望ましい。

(4) 回転杭工法

回転杭工法は、前述のとおり載荷試験数が少ないことから、本共同研究では参考扱いとしているが、岩盤を支持層として適用された事例もある^{例えば10, 11)}。基本的には砂・砂れきを支持層とする場合と同様の施工方法および施工管理方法¹²⁾となるが、岩盤での施工においては、回転貫入中に砕けた岩塊が障害物となり、羽根部に想定以上の力が