

# 超軟弱粘土層へ打設する鋼管矢板の 施工時の安定対策について

大住 俊揮<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 第一建設管理官室(〒552-0007 大阪市港区弁天1丁目2番1-1500号)

大阪港では、主航路浚渫において発生する浚渫土砂の土砂処分場として新島地区護岸の整備を行っている。本航路の浚渫は、ポンプ浚渫で計画され、同工法は海水とともに土砂を吸引し、直接土砂投入場所へ放出する仕様から、大量の排水が場外へ放流されることになるため、環境対策として沈殿池を計画した。沈殿池と土砂投入場所の中仕切りには、大阪港沖の超軟弱粘性土地盤(N値=1以下)が厚く堆積する区域であり、経済性を考慮し自立鋼管矢板構造で計画された。今般鋼管矢板を施工したところ、打設の影響により矢板周辺の地盤強度の低下が想定以上に大きく、支持力不足により自沈する事象が発生した。

本報告は、超軟弱地盤に施工する鋼管矢板施工時の支持力不足等の検討及びその対策について報告する。

キーワード 軟弱粘性土、施工検討、鋼管杭、対策検討、土砂処分場

## 1. はじめに

大阪港では、国際コンテナ戦略港湾事業を推進するために不可欠な大阪港主航路の増深・拡幅時に発生する浚渫土砂を受け入れる土砂投入場所を主航路に隣接する新島地区(図-1)に現在整備中である。



図-1 大阪港及び新島地区航空写真

大阪港主航路の浚渫方法は、ポンプ浚渫で計画されており、大量の排水が場外へ放流されることになることから、環境対策として、鋼管矢板形式の沈殿池を計画、施工中である。

新島地区周辺は大阪港沖であるため、軟弱な粘土層となっている。今般沈殿池を施工したところ、鋼管矢板の打設に伴い自沈する事象が発生した。

本論文では、超軟弱粘性土地盤に施工する鋼管矢板について、施工時の自沈に対する要因の検討及びその対策工について報告を行う。

## 2. 新島地区護岸埋立について

新島地区は、大阪港主航路の浚渫により発生する土砂を受け入れる施設である。夢洲地区につながる主航路の浚渫で、約530万m<sup>3</sup>の土砂により新島地区を埋立する計画となっている。港湾事業において、浚渫方法はポンプ浚渫の他にグラブ浚渫があるが、浚渫面積が広く、大量の土砂を扱う浚渫となるため今回はポンプ浚渫方式で計画している。

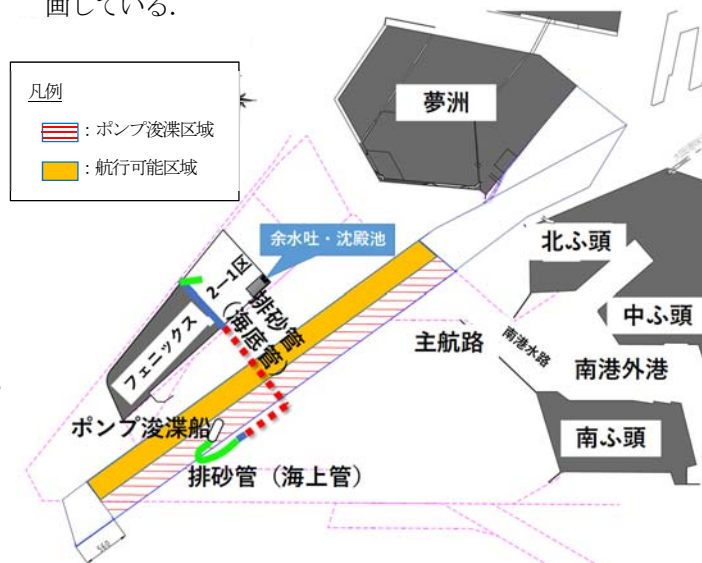


図-2 新島地区護岸埋立計画

(1) ポンプ浚渫について

ポンプ浚渫とは、スパッドにより船体を固定し、固定点を中心に船体をスイングさせながら、海底に土砂を吸い込む装置(カッターヘッド)をおろして、海底の土砂を海水とともに吸い込んで、土砂を取り除く浚渫方法である。詳細な工程は以下のとおり。

- ① 船の先端にある吸水管を海底に降ろす。
- ② 吸水管の先端についているカッターヘッドを回転させて、海底の土砂を切り崩す。
- ③ 切り崩された土砂は、船に内蔵されているポンプの力によって海水と一緒に吸い込まれ、船の後ろに続く長い排砂管の中を通り、埋立地へ投入される。

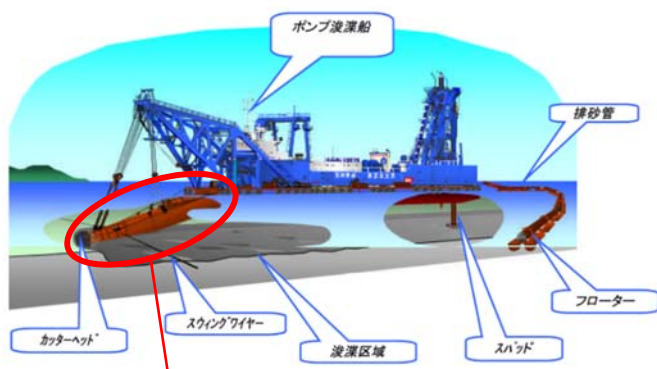
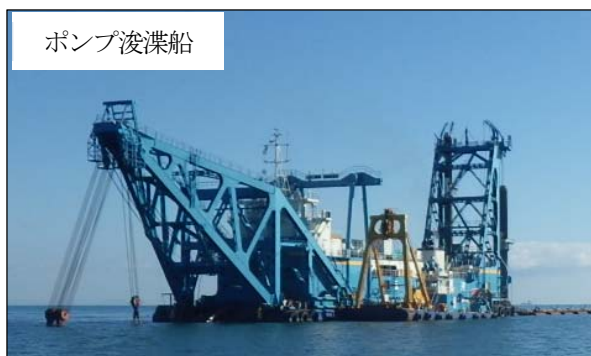


図-3 ポンプ浚渫船の構成

(2) 沈殿池施設について

新島地区2-1区は、大阪主航路の浚渫による浚渫土砂を投入する。ポンプ浚渫において、海水とともに土砂を投入するため、環境対策として泥水以外の余水のみ護岸の外へ排出する余水排水のための「沈殿池」施設を整備中である。沈殿池施設については、軟弱粘土層に設置す

ることを考慮し、経済性等を踏まえ自立鋼管矢板構造(図-5)で設計した。

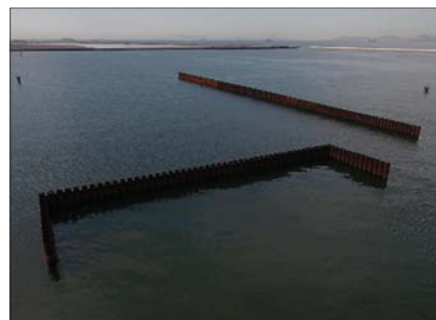


図-4 2021年3月末時点の余水吐施設

3. 沈殿池、余水吐施設

前述のとおり、土砂投入における環境対策として、沈殿池及び余水吐施設を整備中である。

(1) 余水吐施設について

新島地区では、濁りを管理しながら泥水を基準値以下で排出するため、沈殿池方式の余水吐施設を計画している。仕組みは以下の通り。

- 沈殿池という小さな枠を設けることで、
- ① 埋立地のなかに投入した泥水の中の土砂のみを沈殿池に到達するまでに沈降させてゆく。
  - ② 沈殿池に到達し、越流堰を上澄みの泥水のみ越流堰させる。越流堰を超えた泥水は、土砂のみ汚濁防止膜により沈降する。そしてさらに濁りの低くなった泥水内の土砂を余水吐に到達するまでさらに沈殿池のなかで沈降させてゆく。

この行為を埋立地内と沈殿池内で2段階行い護岸の外に排出する際には濁りを基準内におさえる。

埋立地と沈殿池、沈殿池と余水吐の間には、高さのある越流堰という堰をもうけることで、沈降した土砂を侵入させないという仕組みとした。

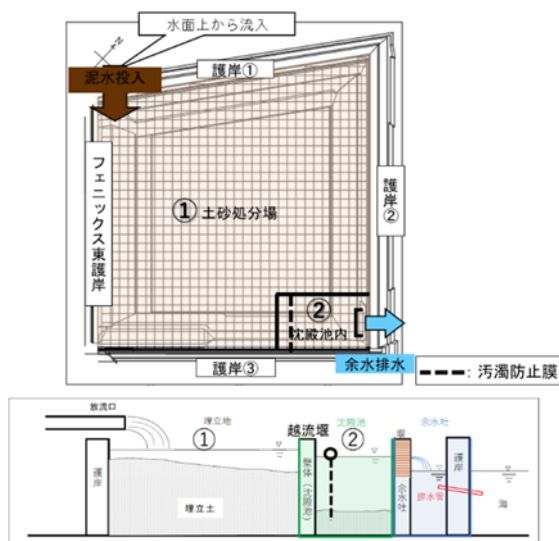


図-5 沈殿池施設の概念図

(2) 沈殿池構造形式

構造形式については、経済性や施工性を考慮し鋼管矢板形式を採用しており、沈下量、地盤条件（改良、未改良）、波圧（施工時）、土圧（埋立て時）によって杭径、板厚が設定されている。なお、水平方向荷重（波圧、土圧）が検討対象となるため、支持力については検討されていない。また、根入れ長（杭長）の決定ケースは波圧作用時（施工時）である。

未改良部：φ900×t10, L=29.5m

改良部：φ800×t9, L=35.0m

(3) 鋼管矢板施工方法

鋼管矢板の打設工法は、油圧式バイプロハンマによる振動工法であり、下記手順による。

- ① 鋼管矢板打設位置と施工時の安定を確保するため、導杭、導梁からなる導材を設置。
- ② 導材を利用し、所定の位置へ鋼管矢板打設
- ③ 鋼管矢板を所定の本数打設後、導材を撤去
- ④ ①～③繰り返し
- ⑤ 鋼管矢板打設完了後、継手処理

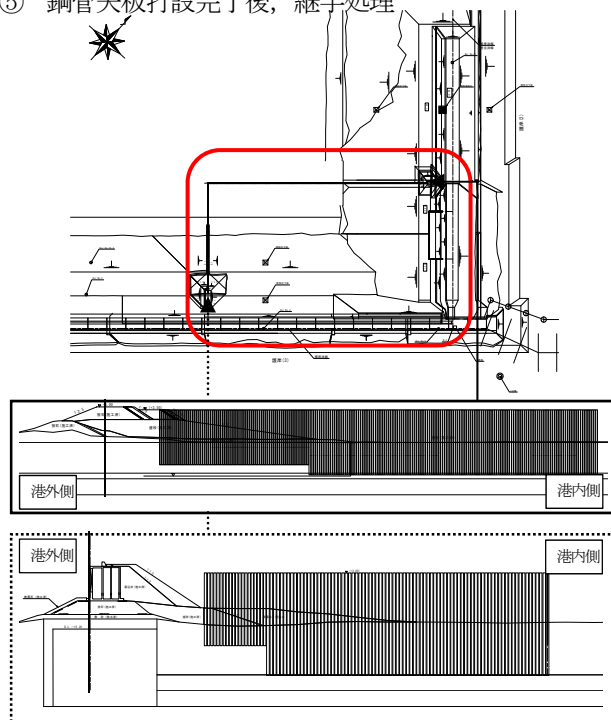


図6 沈殿池施設の位置図・断面図

4. 粘性土地盤周面支持力不足の判明と対策

(1) 鋼管矢板打設時の状況

沈殿池の鋼管矢板打設において、改良部の鋼管矢板（No. 100）打設完了後に、未改良部の鋼管矢板を打設するため、導杭を打設したところ、導梁設置前に導杭の沈下が発生した。導杭は突出長（16.3m）と長いため、それ以上の根入れ長を確保することに配慮し、導杭長は

L=33.0mとしていた。

さらに、近傍柱状図よりN値が上がり始め、先端支持力にも期待できる可能性がある砂混りシルトまで導杭を延長（L=42.0m）する対策を実施したが、同様に自重で沈下したため、未改良部の導杭施工は不可能と判断した。

次に、未改良部の鋼管矢板：L=35mについても、同様に自重で沈下する可能性が考えられたため、試験的に単杭（No. 146）として打設した。バイプロハンマを用いて打設後、30分間経過観測：131mmで沈下が収束した。また、試験杭を引き抜くためバイプロハンマを杭頭に設置したところ、さらに沈下が進行した。

鋼管矢板が導杭と同様に沈下すると天端高の確保が困難となるため、沈下対策について検討する。

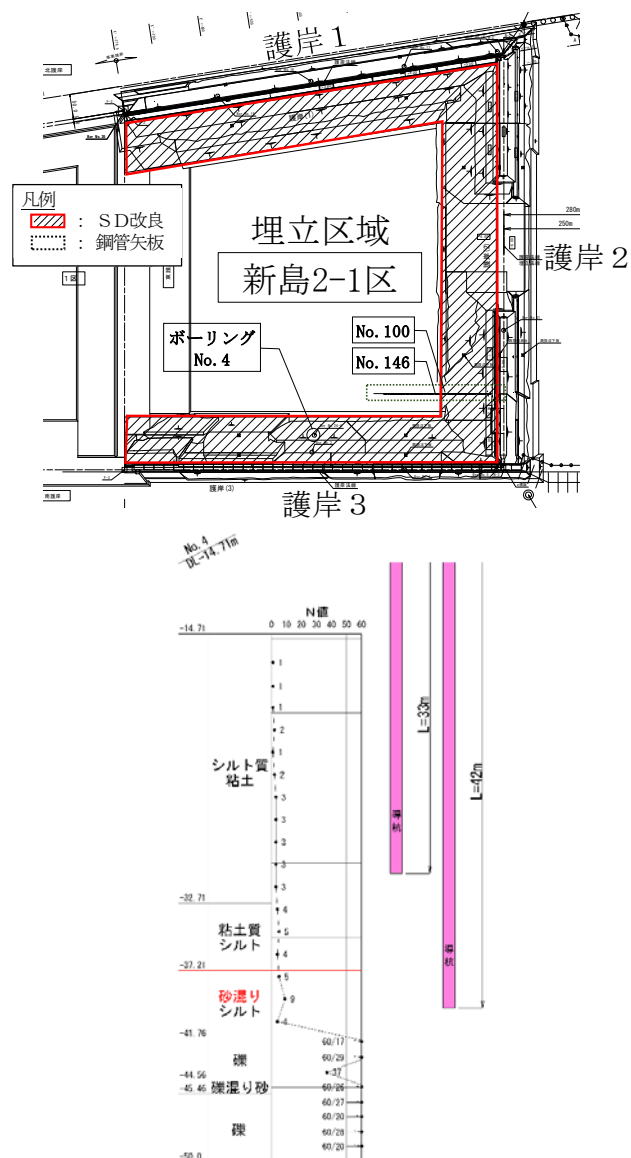


図7 地盤改良の状況、柱状図及び土質条件

(2) 導杭, 鋼管矢板打設時沈下の要因

要因としては, 以下が考えられる.

- ① 原地盤のバラツキにより, 設計の想定よりも周面摩擦力や先端支持力が小さかった.
- ② バイブロハンマの振動により地盤が乱され, 周面摩擦力が低下した.

以上の沈下要因を踏まえ, 今後の課題は以下のとおりとした.

- ① 原地盤の土質定数を見直すには, 追加土質調査が必要となり早期の対応が困難である.
- ② 地盤の乱れに着目し, 施工時の周面摩擦力を確保するための対策を提案する.

(3) 鋼管矢板打設時の対策工

導杭の打設結果より, バイブロハンマ打設後乱された土質である原地盤の先端支持力, 周面摩擦力には期待できない.

そこで, 一般的に粘性土地盤に比べてセットアップ率が小さく, 回復時間が早い砂質土 (敷砂) を投入し, 周面摩擦力を確保する.

セットアップは杭打設により周辺地盤で乱された土粒子が, 時間とともに再形成され回復する現象のことを表す.

セットアップ終了のおおよその目安は, 砂質土で5日以上, 粘性土では14日以上とされている<sup>1)</sup>. なお, バイブロハンマによる強度低下, 強度回復について明確に示された文献がないため, 打撃工法に関する文献を参照した<sup>2)</sup>.

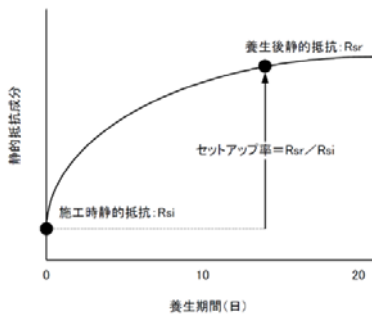


図-8 セットアップ概念図

表-1 セットアップ概念図

項目	セットアップ率	
	小 ←	→ 大
地盤の種類	砂質土	粘性土
抵抗場所	先端	周面
ハンマーの性能	打撃間隔が長い	打撃間隔が短い

1) 強度低下 (セットアップ率)

セットアップ率のバラツキは大きいですが, 沖積層の周面支持力の平均は図-9より11.8倍≒12倍である. このことから, 強度低下率 1/12 と仮定した.

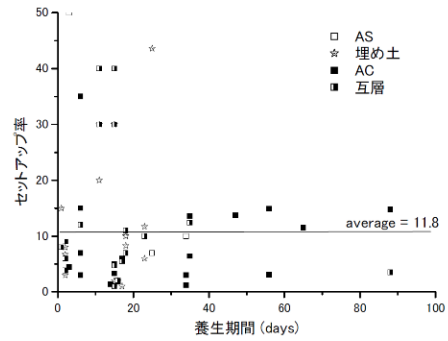


図-9 セットアップ率

2) 敷砂層厚

敷砂は, N値=3とし, 強度低下がないものとして極限支持力と杭自重のつり合いより層厚を設定した<sup>3)</sup>. なお, 安全側に粘性土の支持力には期待しないこととし, 次式(1a)(1b)より算出する.

$$r_{fs} = 2 \cdot N \tag{1a}$$

$$R_{fs} = r_{fs} \cdot L_{fs} \cdot U \geq W \tag{1b}$$

$r_{fs}$  : 周面摩擦力度,  $R_{fs}$  : 周面摩擦力,  $L_{fs}$  : 層厚

$N$  : N値,  $U$  : 周長,  $W$  : 杭自重

3) 設置範囲

設置範囲については, 鋼管矢板諸元が仮設時 (波浪) にて決定されていることを考慮し, 水平力に対しても抵抗できるように, 受働崩壊角を考慮して次式(1c)より設定した.

$$B_s = L_{fs} / \tan \zeta_s \tag{1c}$$

$B_s$  : 天端幅,  $\zeta_s$  : 受働崩壊角 (20.7度)

この結果, 未改良部分の軟弱粘性土地盤については層厚4.0m, 天端範囲22m(片側10.6mずつ)の敷砂を行うことで周面摩擦力を確保し施工することとした.

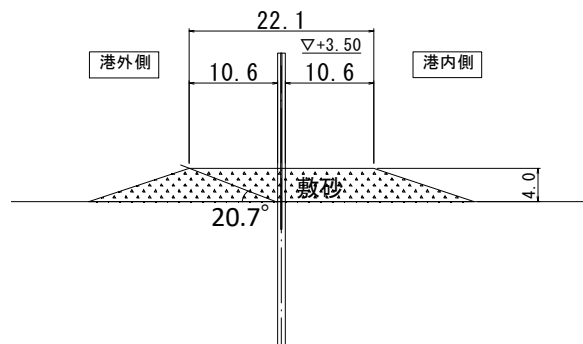


図-10 対策工断面図

5. 試験杭による載荷試験

対策工に於いて、打設時の鋼管矢板自重は敷砂の周面摩擦力のみで負担する。しかし、今回事象の要因となっている沖積粘土層 (Ma13) は、大阪港一体に分布する軟弱地盤であり、今後も同様の課題が起ころう。このため、沖積粘土層の特性を少しでも明確にすることを目的に、簡易な載荷試験を実施した。

(1) 試験杭の設定

試験杭は、工事期間内に手配可能なH型鋼杭H-400とした。また、下記のとおり杭長を設定した。

最小長さ：横抵抗杭とした場合の必要根入れ長  $2.5/\beta$  を確保する長さ (21.0m)

最大長さ：H型鋼杭自重と周面摩擦力が釣り合うを長さ (26.0m)

決定長：載荷時の偏心などを考慮し、突出長と同程度以上の根入れ長を確保する長さ (26.0m)

(2) 試験方法

正式な試験方法としては「静的載荷試験」や「動的載荷試験」などがあるが、本試験は、現地施工が進行中であり、短期間にて方針を決定する必要がある。さらに簡易なものであることから、クレーン吊り荷重による押込み試験を実施する。不採用とした試験の選定理由を以下に示す。

表-2 試験方法の選定

試験	不採用理由
静的載荷試験	反力装置(反力杭, 載荷梁)が大掛かりとなるため
動的載荷試験	杭先端地盤が軟弱粘性土地盤のため、打撃時沈下量が大きくなるリスクがあるため
クレーン引抜き	地盤と杭の縁が切れる際の衝撃が大きくなるリスクがあるため

(3) 試験実施時期と反力装置について

試験実施時期は、杭打設直後、地盤強度回復途中、地盤強度回復後の三段階が考えられる。しかし、本試験はクレーン吊り荷重を利用するため、荷重の微調整が困難である。大きな杭の沈下、傾斜が発生するリスクがあるため、杭打設直後の試験は実施しないこととした。

地盤強度回復途中の試験は鋼管矢板打設完了時点(試験杭打設から7日後)とし、地盤強度回復後の試験は、確実に回復完了している数ヶ月後とした。

反力装置は、H鋼杭を把持しながら載荷することができるパイプロハンマを使用する。なお、パイプロハンマは試験杭及び導杭打設に使用する [CM2-160] とする。パイプロハンマ重量を以下に示す。

表-3 反力パイプロハンマ [CM2-160] 諸元

	単位	荷重
本体重量	(kg)	8,400
	(t)	8.4
試験杭重量	(t)	3.9
反力合計	(t)	12.3

(4) 計画最大荷重

計画最大荷重は極限支持力 (11.8t) 以上とした。また、回復途中 (7日後) の極限支持力は50%程度まで強度回復しているものと仮定した。なお、今回確認する「粘性土」の周面摩擦力は全体の7割を占める。

表-4 荷重, 支持力一覧

支持力	極限支持力			比率	
	回復後		回復途中		
	(kN)	(t)	(t)		
先端支持力	15.8	1.6	0.8	0.08	
周面摩擦力	砂質土	38.4	3.9	3.9	0.20
	粘性土	139.0	14.2	7.1	0.72
合計	193.2	19.7	11.8		

(5) 載荷方式, 測定項目について

載荷方式には、段階載荷方式、連続載荷方式がある。本試験では、クレーン操作で対応可能な範囲で段階載荷方式とした。

(6) 実施工及び結果

試験結果を、以下に示す。

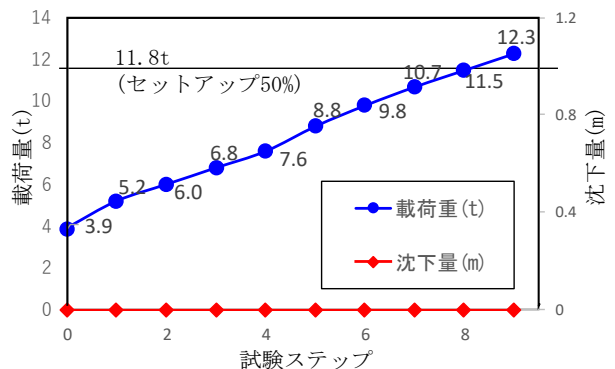


図-11 試験結果

試験杭は沈下せず、想定していた極限支持力11.8t以上の支持力を確認できた。想定以上の支持力が発揮された要因として下記事項が考えられるが、今回試験結果から要因の特定は難しい。

- ① セットアップ率が想定より大きかった
- ② 現地盤のバラツキにより粘性土地盤の強度が想定より大きかった
- ③ 砂質土の周面摩擦力度が想定より大きかった
- ④ 砂質土の層厚が想定より厚かった

## 6. おわりに

試験杭打設から7日後に実施した載荷試験結果より、想定以上の支持力を確認できた。このことから、導杭及び鋼管矢板打設直後の沈下は、バイブロハンマの振動によって粘性土地盤の周面摩擦力が低下したことが要因で発生したものと考えられる。

また、敷砂による対策工を実施した結果、導杭及び鋼管矢板の打設直後の沈下を発生させることなく施工完了することができた。このことから、打設直後においても敷砂の周面摩擦力が発揮され、対策工として有効であったといえる。

今回の試験では砂質土（敷砂）と粘性土の周面摩擦力の分離や打設直後に強度低下した軟弱粘土層の周面

摩擦力を直接確認できていない。これらの解明は今後の課題である。

数ヶ月後に実施予定の試験では、強度回復後の周面摩擦力を確認できる。この結果から、強度低下率を推定できる。その際、砂質土と粘性土を分離することが望ましい。（例えば、押込み試験後、杭撤去途中で砂質土部で、載荷試験を実施する等）

### 参考文献

- 1) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説
- 2) 港湾空港技術研究所：載荷試験を活用した鋼管杭の設計・施工管理手法の体系化，No1202，2009
- 3) 株式会社エコー：大阪港北港南地区航路(-16m)汚濁防止施設構造検討業務 報告書