

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1344 June 2018

海面処分場における杭基礎の適用性（その2）

—焼却灰を主体とする廃棄物地盤における打設実験と杭周面透水試験—

水谷 崇亮・森川 嘉之・渡部 要一・津田 行男・宮原 祐二・松本 貴之
松尾 淳・市川 雅・松本 伸春・高木 悌二・上中 一弘

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 実証実験の概要	4
2.1 実施内容	4
2.2 実施位置	4
2.3 実施位置の地盤調査結果	4
2.4 試験杭の施工計画	6
3. 施工性の検証	10
3.1 概要	10
3.2 Case1: オールケーシング工法	11
3.3 Case2: 中掘り圧入工法	12
3.4 Case3: 打撃工法	12
3.5 Case4: 打撃工法+補助工法	12
4. 遮水機能の検証	12
5. おわりに	14
謝 辞	14
参考文献	14
付録 A 試験杭の施工状況	14

Applicability of pile foundations at confined disposal facilities in coastal area Part 2: in situ demonstration for pile-driving and impermeable performance at the landfill for waste incineration residue

Takaaki MIZUTANI*
Yoshiyuki MORIKAWA**
Yoichi WATABE***
Yukio TSUDA****
Yuji MIYAHARA****
Takayuki MATSUMOTO****
Jun MATSUO****
Yu ICHIKAWA****
Nobuharu MATSUMOTO*****
Teiji TAKAGI*****
Kazuhiro UENAKA*****

Synopsis

A study on techniques applied to the construction of foundations at the confined waste disposal facilities have been conducted. As a part of the study, pile construction was demonstrated at the confined waste disposal facility reclaimed with incineration residue. Steel pipe piles were used in the demonstration. The issues were the ways to prevent the waste entrained by a pile tip, and to preserve impermeability around the pile after the construction.

The demonstration revealed that it was effective to remove the waste with a hammer grab in conjunction with casing before pile installation. Both jacking the pile with inner drilling by flight auger and driving the pile by hydraulic hammer encountered some technical troubles during pile installation. These piling methods were concluded to be relatively low applicable to the construction at the ground reclaimed with incineration residue at present.

Key Words: Confined disposal facility in coastal area, pile, landfilled waste, clay, hydraulic barrier

* Head, Foundations group, Geotechnical Engineering Department
** Director, Geotechnical Engineering Department
*** Professor, Faculty of Engineering, Hokkaido University
**** Port and Airport Department, Kinki Regional Development Bureau
***** Kobe Ports and Harbors Office, Kinki Regional Development Bureau
Nagase 3-1-1, Yokosuka, 239-0826, JAPAN
Phone: +81-46-844-5057 FAX: +81-46-844-0618 e-mail: mizutani-t@pari.go.jp

海面処分場における杭基礎の適用性（その2）

—焼却灰を主とする廃棄物地盤における打設実験と杭周面透水試験—

水谷崇亮*・森川嘉之**・渡部要一***・津田行男****・宮原祐二****・松本貴之****
松尾淳****・市川雅****・松本伸春*****・高木悌二*****・上中一弘*****

要 旨

廃棄物の水面埋立処分を目的として海面に建設される最終処分場の埋立終了後の土地活用を促進するためには、廃棄物からなる地盤における構造物建設技術の向上に向けた研究が不可欠である。その一環として、廃棄物処分場における杭の施工方法の検討のため実証実験を行った。

試験地は焼却灰を主体とする地盤である。試行した施工方法は、オールケーシングにより廃棄物層を撤去した後に杭を中掘り圧入する工法、中掘り圧入工法又は油圧ハンマーによる打撃工法で廃棄物層に直接杭を施工する工法、打撃工法で杭を施工し杭先端部の拡大掘削等の補助工法を併用する工法である。いずれも杭径 1000mm の鋼管杭を使用した。廃棄物層における施工性、杭先端部における廃棄物の連込み状況、杭施工後の遮水性に着目して検証した結果、次のような知見を得た。

いずれの工法でも杭の施工は可能であった。オールケーシングにより廃棄物層を撤去した後に杭を施工する工法は比較的適用性が高い一方、中掘り圧入工法、打撃工法、打撃工法に補助工法を併用する工法ではいくつかの課題が確認され施工上の工夫を要するなど適用性がやや低いと判断された。遮水性はいずれの工法によっても良好に維持された。

キーワード：海面処分場，杭，廃棄物層，粘土層，遮水

* 地盤研究領域 基礎工研究グループ長
** 地盤研究領域長
*** 北海道大学 工学研究院 教授
**** 近畿地方整備局 港湾空港部海洋環境・技術課
***** 近畿地方整備局 神戸港湾事務所保全課
〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5057 FAX：046-844-0618 e-mail：mizutani-t@pari.go.jp

1. はじめに

廃棄物の水面埋立処分を目的として海面に建設される最終処分場（以下、「海面処分場」という。）は、大都市の臨海部に建設される例が多い。そのため、埋立が終了した海面処分場は、大都市臨海部の新たな土地として極めて高い利用価値を持つと考えられる。しかしながら、現実には、埋立終了後の海面処分場の土地利用はあまり進んでおらず、緑地や太陽光発電の用地といった表層の利用にとどまっている場合が多い。

埋立終了後の海面処分場の土地利用が進まない大きな理由として、海面処分場やその跡地における建造物の建設技術が未発達であることが挙げられる。海面処分場はその構造に様々な規定が設けられており、海面処分場に建造物を建設する際にもこれを遵守する必要がある。特に重要な構造として、廃棄物からの浸出液による公共水域や地下水の汚染を防止するための遮水構造が設けられており、この機能を維持しつつ大型建造物の基礎を構築することは非常に難しい課題である。また、海面処分場の地盤には廃棄物から成る層（以下、「廃棄物層」という。）が含まれている。廃棄物層は、一般的な砂、粘土等から成る土層とは異なる特性を示す上、埋め立てられた廃棄物の種類や埋立時期等に依存して幅広い特性を示す。そのため、既存の建設技術・施工法の廃棄物層への適用性を一律に評価することは難しく、廃棄物層の状態等を考慮した個別の検証が求められる。

このようなことから、海面処分場における建設技術開発の一環として、大型建造物の基礎の建設技術、特に杭基礎を構築するための杭の施工法に関する検討を行っている。本稿は、その一部として実施された、実際の海面処分場における杭施工の実証実験の状況を速報するものである。当該実証実験は、渡部ら（2016）に続くもので、同様の実験を地盤特性の異なる海面処分場にて実施したものである。渡部ら（2016）は未焼却の雑多な廃棄物が処分された海面処分場を対象に実証実験を実施したのに対し、本稿で紹介する実証実験は焼却灰を中心とする海面処分場で実施したものである。

なお、既往の検討状況等については渡部ら（2016）を参照されたい。その他、最新の検討状況のとりまとめとして、管理型海面処分場の早期安定化及び利用高度化技術に関する委員会（2017）も参考となる。

2. 実証実験の概要

2.1 実施内容

海面処分場において杭を施工する際の技術的な課題として、廃棄物層への杭の施工性の確認、杭施工に伴う廃棄物の連込み（杭先端等に付着した廃棄物が杭貫入とともに海面処分場下部の地盤へ連れ出される現象）、杭施工後の海面処分場の底面遮水層の遮水機能の維持等が挙げられる。

これに対し、本実証実験では、実際の海面処分場において、様々な施工法により試験杭を施工することで廃棄物層への杭の施工性の確認を行った。施工した試験杭は4本で、オールケーシング工法と中掘り圧入工法を併用したもの1本、中掘り圧入工法によるもの1本、打撃工法によるもの2本である。打撃工法で施工した試験杭のうち1本については、杭先端部の廃棄物除去を目的とした補助工法の併用を試みた。

いずれの杭についても、施工中及び施工後に杭内部を掘削し、杭内部の水中カメラ観察を実施することで、杭先端付近の廃棄物の連込み状況を確認した。さらに、試験杭の施工後には、杭内の水面を周辺地盤の地下水位より下げた状態とし、約1年間にわたって杭内水位の変動状況を観測することで杭施工後の底面遮水層の遮水機能を確認した。

先述のとおり、本実証実験の実施内容は、全体的には渡部ら（2016）と同様である。しかしながら、検討対象とした地盤の特性と杭の施工法は幾分異なっているため、これらについて以下に詳述する。

2.2 実施位置

実証実験は、大阪湾広域臨海環境整備センターの尼崎沖埋立処分場管理区画内で実施した。実施位置を図-1に示す。

2.3 実施位置の地盤調査結果

実証実験に先立ち、実施位置の地盤状況を確認するため、ボーリング調査を実施した。ボーリングは、試験杭（4本）の施工位置両端の2ヶ所（A孔及びB孔）で実施した。ボーリングの実施位置と試験杭の施工位置との平面関係を図-2に、ボーリング調査の結果得られた土層縦断図を図-3に示す。また、ボーリングA孔で得られたコアの写真を図-4に示す。

図-3に示したとおり、実証実験実施位置の地盤は、地表面から、盛土・覆土層（B）、廃棄物層（Wa）、粘性土層（Asc及びAc）という層構造となっている。

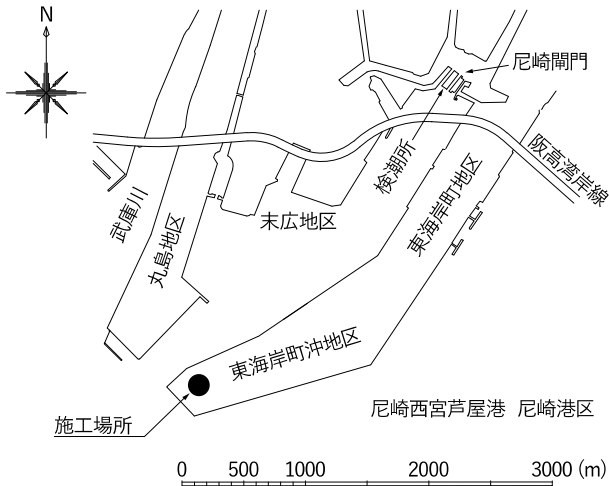


図-1 試験実施位置

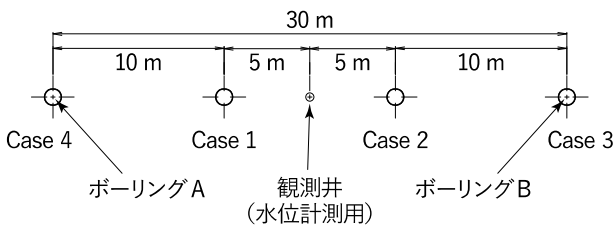


図-2 ボーリング実施位置

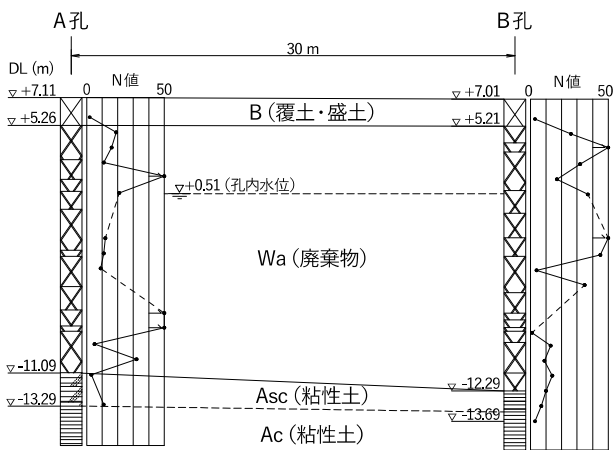


図-3 土層縦断面図

B は層厚 1.80~1.85m、N 値 2~3 で、粒径 10~40mm の角礫や長さ 70~100mm の硬い玉石を含む礫混じり砂質土からなる層である。マトリックスは細~粗粒径の砂で、少量のシルトを含んでいる。全体的に組成は不均質であったと報告されている。所々にプラスチック、ビニール等の廃棄物や植物片等が混在している。



図-4 ボーリング A 孔で得られたコア

Wa は層厚 16.35~17.50m の礫質土の状態を呈する廃棄物を主体とした層で、N 値は 1~50 以上と大きくばらついている。マトリックスは硬く固結した焼却灰や砂・砂質土、粘性土などで構成されている。土砂、礫（玉石）、鉄、ステンレス、ガラス、煉瓦、ブロック片、未焼却の紙、ビニール、プラスチック片、焼却灰等が雑多に混在し、全体に臭気強い。深度により、有機質シルト、砂質シルト又はシルト質砂を薄層状に挟む区間や焼却灰が硬く固結した区間を不規則に含む。また、層下端付近では、粘性土層に漸移的に変化していると報告されている。

Asc 及び Ac は沖積粘性土で、海面処分場建設前からの在来地盤と考えられる。Asc は層厚 1.40~2.20m、やや不均質で低塑性の砂質粘土や粘土により構成されてい

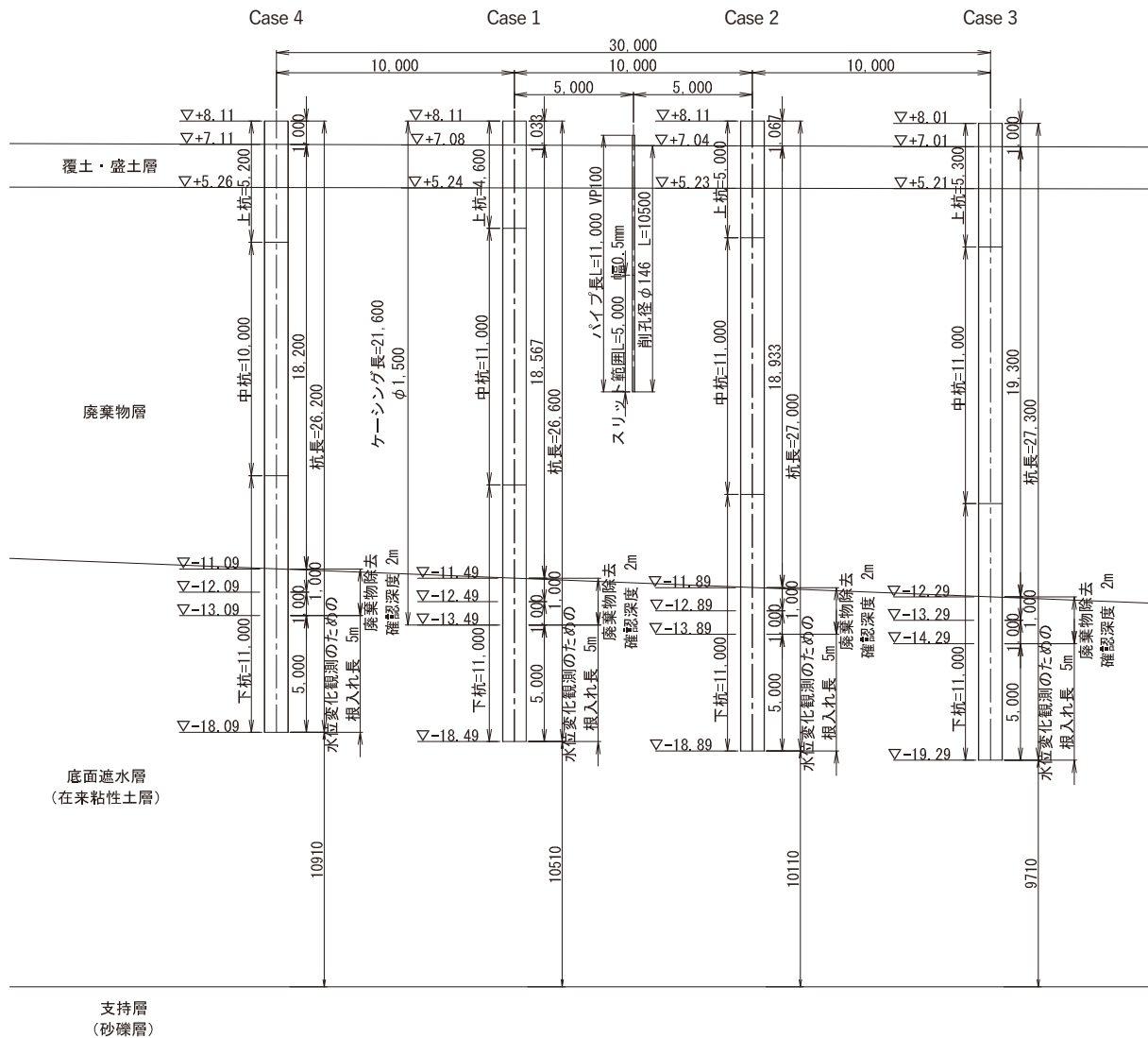


図-5 試験杭の施工計画図

表-1 各試験杭の概要

	Case1	Case2	Case3	Case4
	オールケーシング工法	中掘り圧入工法	打撃工法	打撃工法+補助工法
ケーシング施工	全周回転掘削機	-	-	-
杭施工	中掘り圧入機	中掘り圧入機	バイプロハンマー 油圧ハンマー	バイプロハンマー 油圧ハンマー
杭内掘削	ハンマーグラブ	ハンマーグラブ	ハンマーグラブ	ハンマーグラブ
補助工法	-	-	-	拡大ビット 底ざらいバケット

る。一方、Ac は組成均質なシルト質粘土あるいは粘土質シルトである。

2.4 試験杭の施工計画

本実証実験では、4本の試験杭（Case1～Case4）を施工した。試験杭の施工計画図を図-5に、各試験杭の概要を表-1に示す。試験杭はいずれも杭径1000mm、肉厚

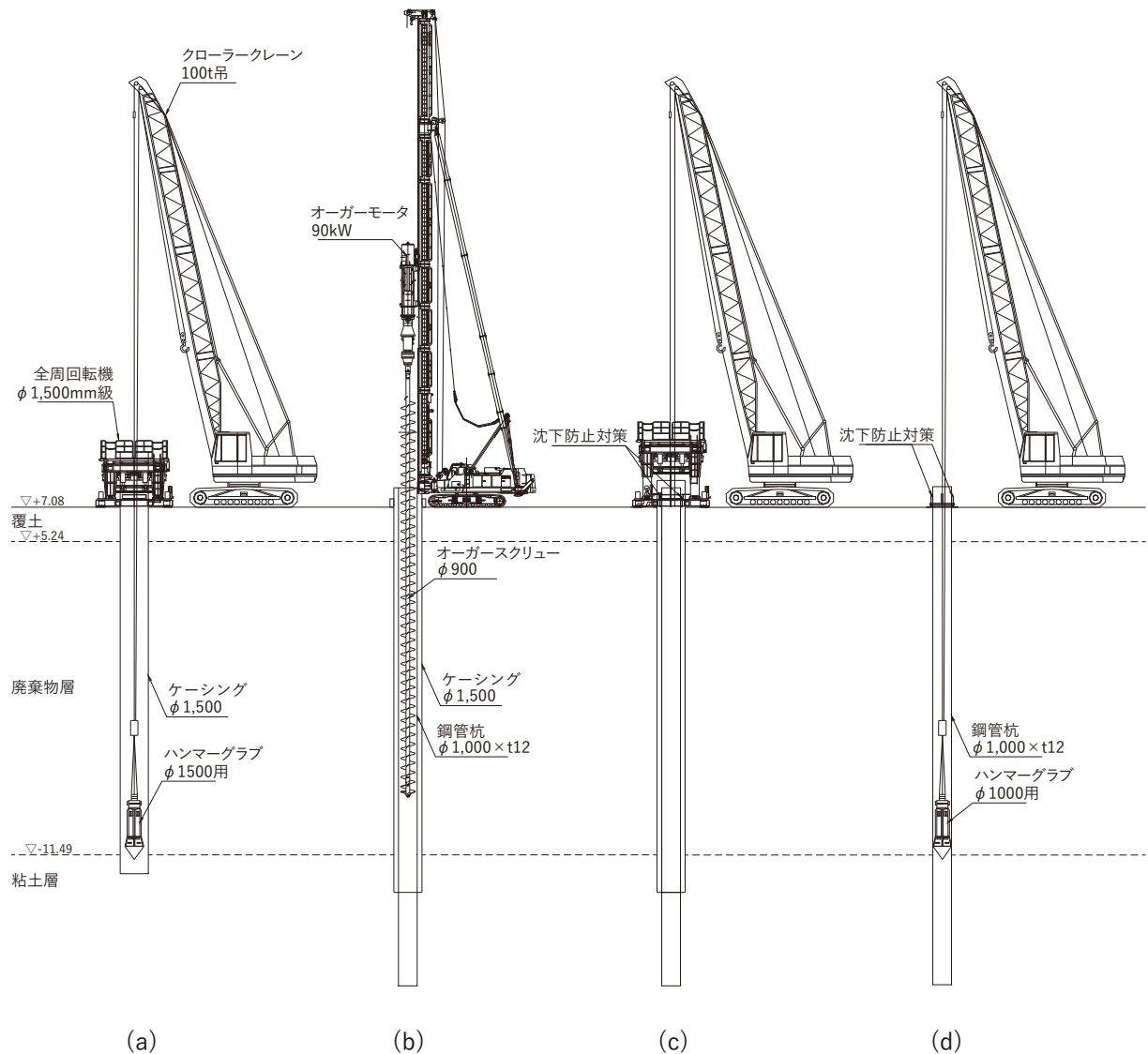


図-6 Case1 の施工イメージ

12mm の鋼管杭 (SKK400) である。施工後の杭頭位置は地表面から 1m 程度の高さとし、廃棄物層 Wa の下端から粘性土層 (Asc 及び Ac) へ 7m 貫入できるように試験杭の杭長を設定した。打撃施工する杭 (Case3 及び Case4) については、杭先端の内周面に先端補強バンド (厚さ 9mm、長さ 300mm) を溶接した。

Case1 は、オールケーシング工法と中掘り工法の併用により施工した。Case1 の施工イメージを図-6 に示す。施工手順は以下のとおりである。はじめに、全周回転機を用いて、ケーシングチューブ (φ1500mm) を設置する。ケーシングチューブは、ハンマーグラブで内部を掘

削しながら地盤へ貫入させていく (図-6(a))。ケーシングチューブ先端が、Asc 上端から 1m 貫入する深度まで到達したところで水中カメラをケーシングチューブ内に下ろし、廃棄物の残存状況の観察を行う。その後、ケーシングチューブをさらに 1m 貫入し、内部を再掘削して 2 回目の水中カメラ観察を実施する。次に、ケーシングチューブ内に試験杭 (上杭 4m、中杭 11m、下杭 11m) を建て込み、中掘り圧入工法によりケーシングチューブ先端から 5m 下 (Asc 上端から 7m 下方) まで貫入させる (図-6(b))。その後、試験杭とケーシングチューブの間に砂を充填しながら、ケーシングチューブを抜

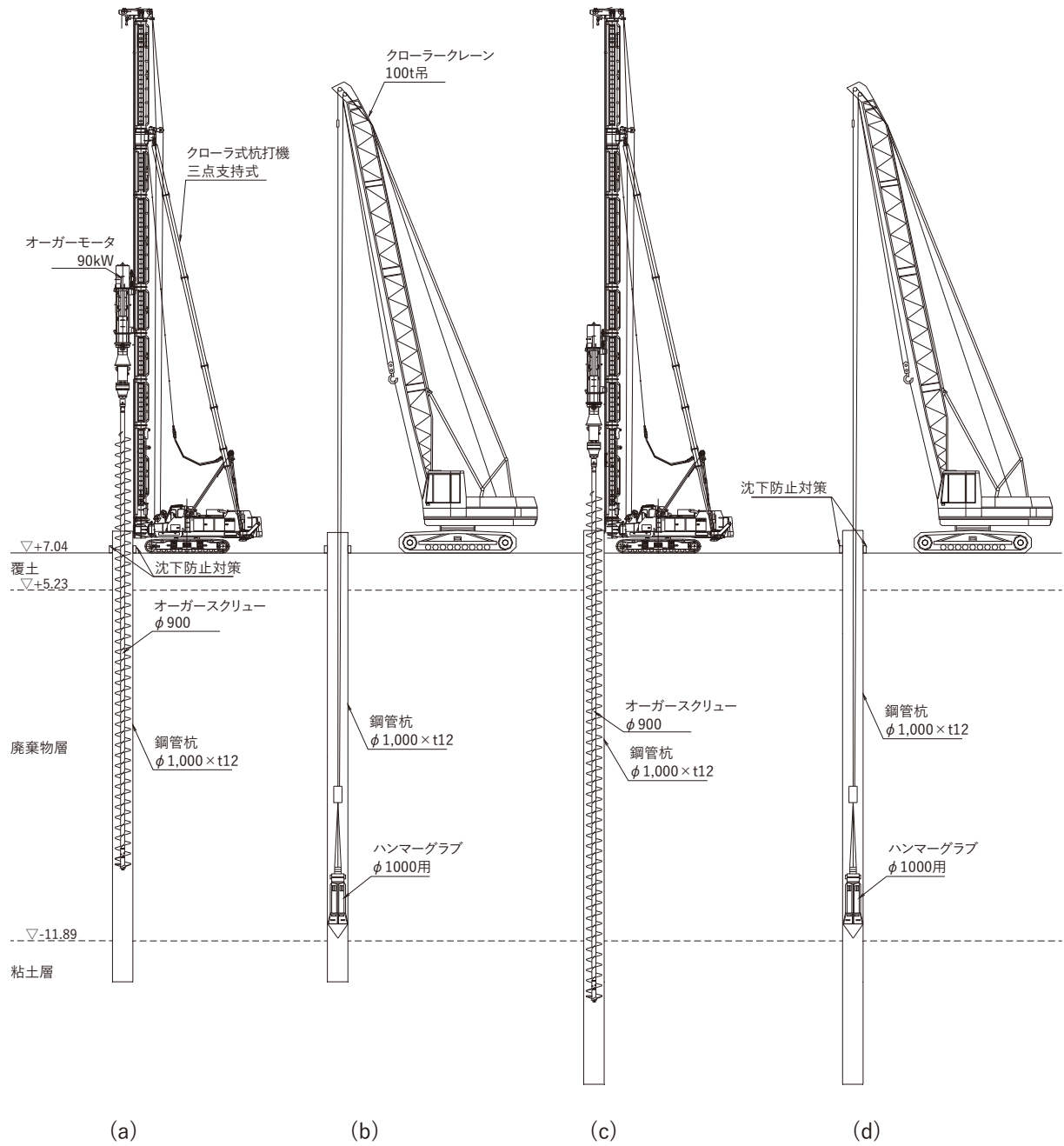


図-7 Case2 の施工イメージ

管する (図-6(c))。最後に、試験杭内部を杭先端までハンマーグラブにより掘削し (図-6(d))、水位調整をして水位計測に移るとい工程である。

Case2 は中掘り工法、Case3 は打撃工法により施工した。それぞれの施工イメージを図-7、図-8 に示す。Case2 (上杭 5m、中杭 11m、下杭 11m) は地表面から中掘り工法により施工を開始する (図-7(a))。一方、Case3 (上杭 5.3m、中杭 11m、下杭 11m) は下杭をパイ

ブロハンマーにより施工し (図-8(a))、中杭の溶接後から油圧ハンマーによる打撃施工に切り換える (図-8(b))。いずれのケースでも、Asc 上端より 1m 下方まで試験杭を貫入したところで杭内部をハンマーグラブで掘削し (図-7(b)及び図-8(c))、水中カメラによる廃棄物の残存状況の観察を行う。観察後、さらに試験杭を 1m 貫入、内部を掘削して 2 回目の水中カメラ観察を行う。その後、Asc 上端から 7m の深さまで、Case2 は中掘

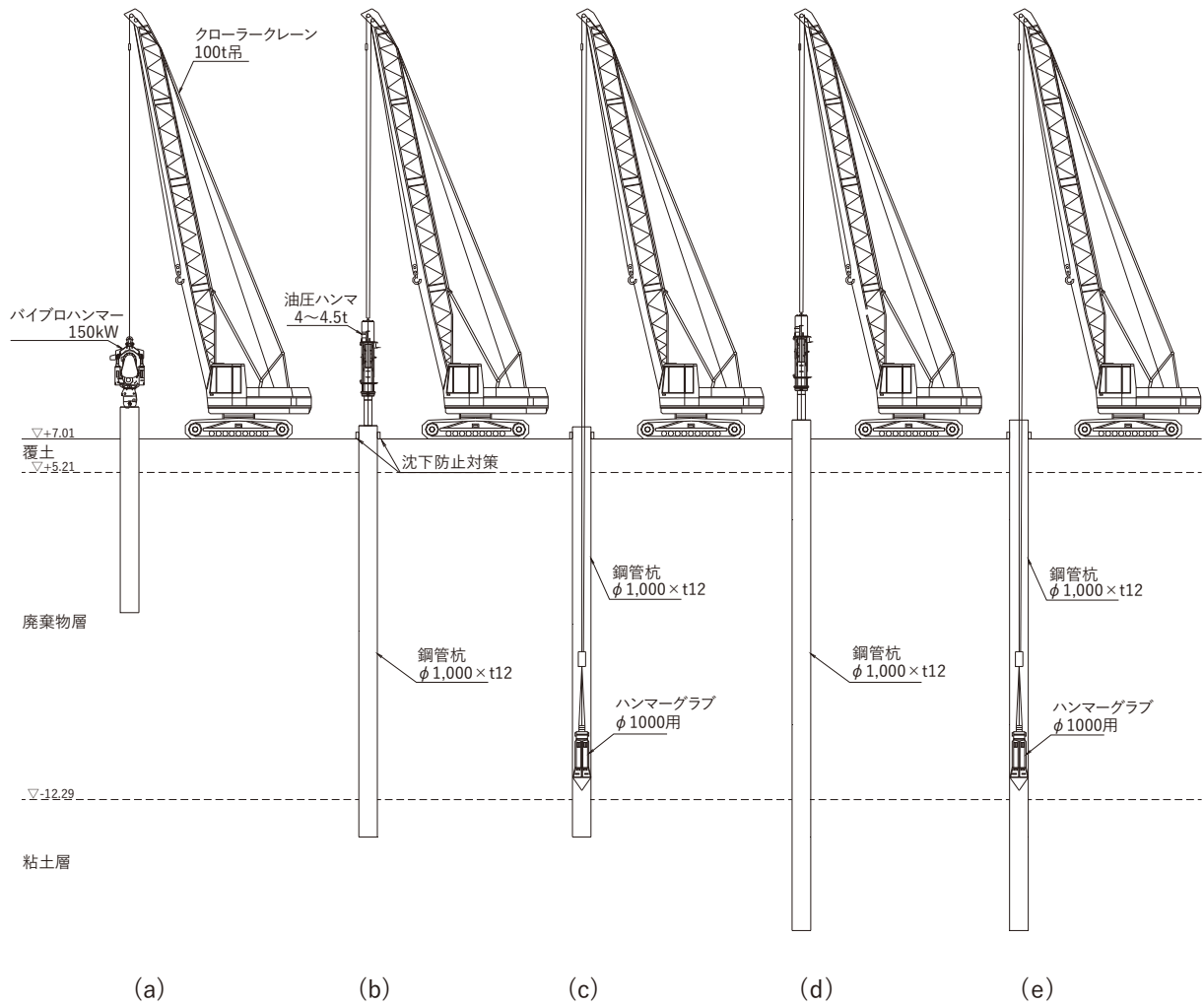


図-8 Case3 の施工イメージ

り圧入、Case3 は油圧ハンマー打撃により試験杭を連続的に貫入させる（図-7(c)及び図-8(d)）。杭貫入後、杭内部をハンマーグラブにより掘削し（図-7(d)及び図-8(e)）、施工完了である。その後、試験杭内部の水位を調整し、水位計測に移行する。

Case4 は Case3 と同様に打撃工法により施工したが、施工途中に拡大ビット及び底ざらいバケットを用いた廃棄物除去を試行した点が特徴である。Case4 の施工イメージを図-9 に示す。Case4（上杭 5.2m、中杭 10m、下杭 11m）では、1 回目の水中カメラ観察を行うまでは Case3 と同様の手順で施工を進める。観察後、パイプロハンマーにより試験杭を 0.5m 引き上げ、拡大ビットを用いて試験杭の先端から 1.5m 下方までの範囲を掘削する。これにより、杭先端から 1.0m 下方までの範囲を直径

1400mm 程度に拡大掘削できる（図-9(a)）。次に底ざらいバケット（φ800mm）により、拡大ビットで掘削した範囲の土を取り除く（図-9(b)）。この状態で 2 回目の水中カメラ観察を行う。その後は、油圧ハンマー打撃により Asc 上端から 7m の深さまで試験杭を貫入（図-9(c)）、内部をハンマーグラブにより掘削する（図-9(d)）。最後に杭内の水位を調整し、水位計測に移行する計画である。

いずれの試験杭についても、水位計測開始前には、地下水位-2m を目標に水位を調整する。地下水位は試験地に設けた観測井（図-2、図-5 参照）において計測した値を用いた。また、水位調整後には、杭頭に鋼製の蓋を設置することとした。

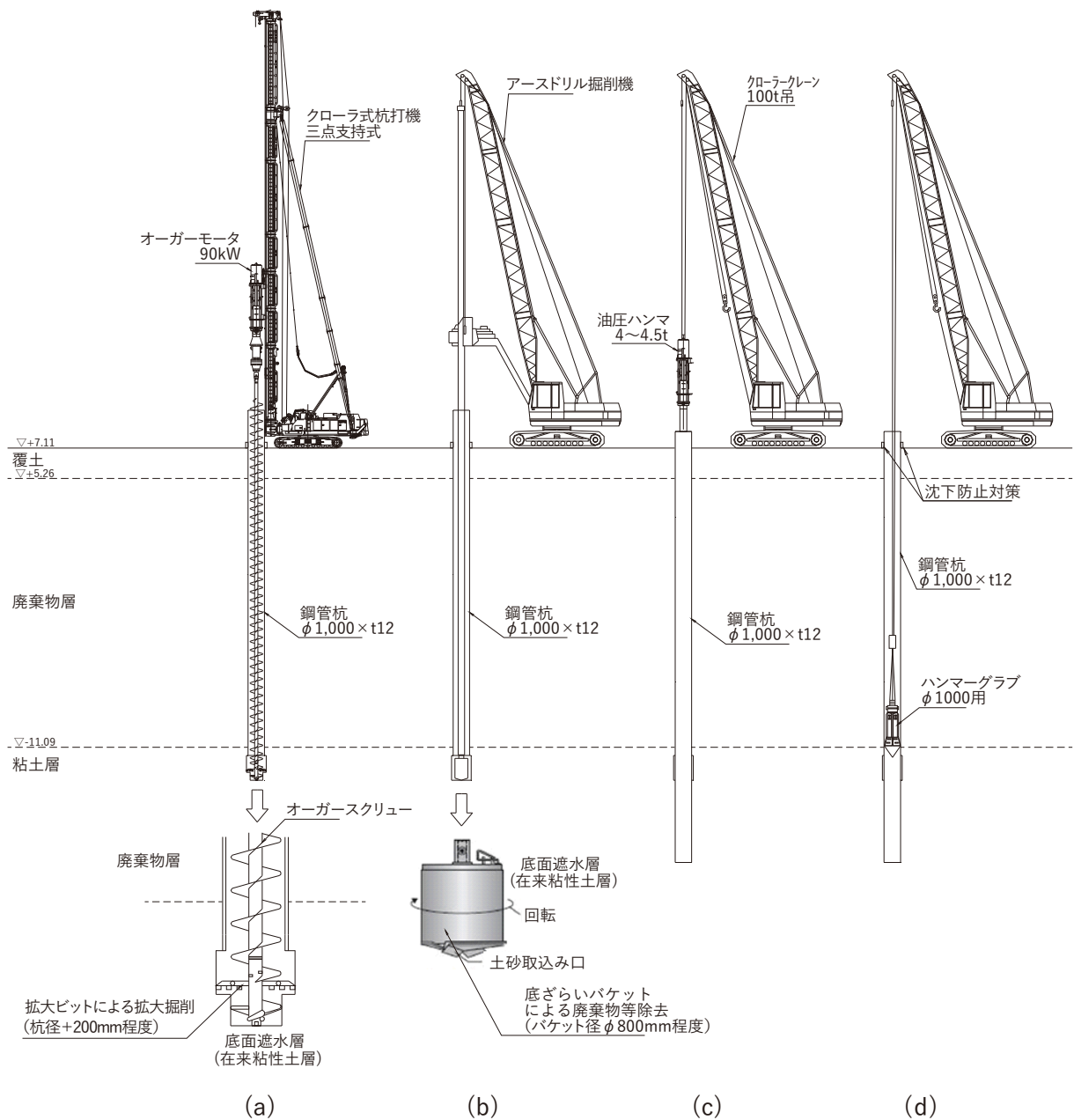


図-9 Case4 の施工イメージ

3. 施工性の検証

3.1 概要

実証実験では、試験杭内部の掘削時に上がってくる土を観察することで、杭先端が Asc に到達しているかどうかを確認しながら作業を進めた。その結果、試験杭の出

来形は、図-5 に示した施工計画とは大きく異なっている。施工出来型を図-10 に示す。

いずれのケースについても、施工自体は無事終わることができたが、施工過程においていくつかの課題が確認された。以下、各ケースについて、施工及び水中カメラ観察の結果から得られた成果及び課題を述べる。なお、

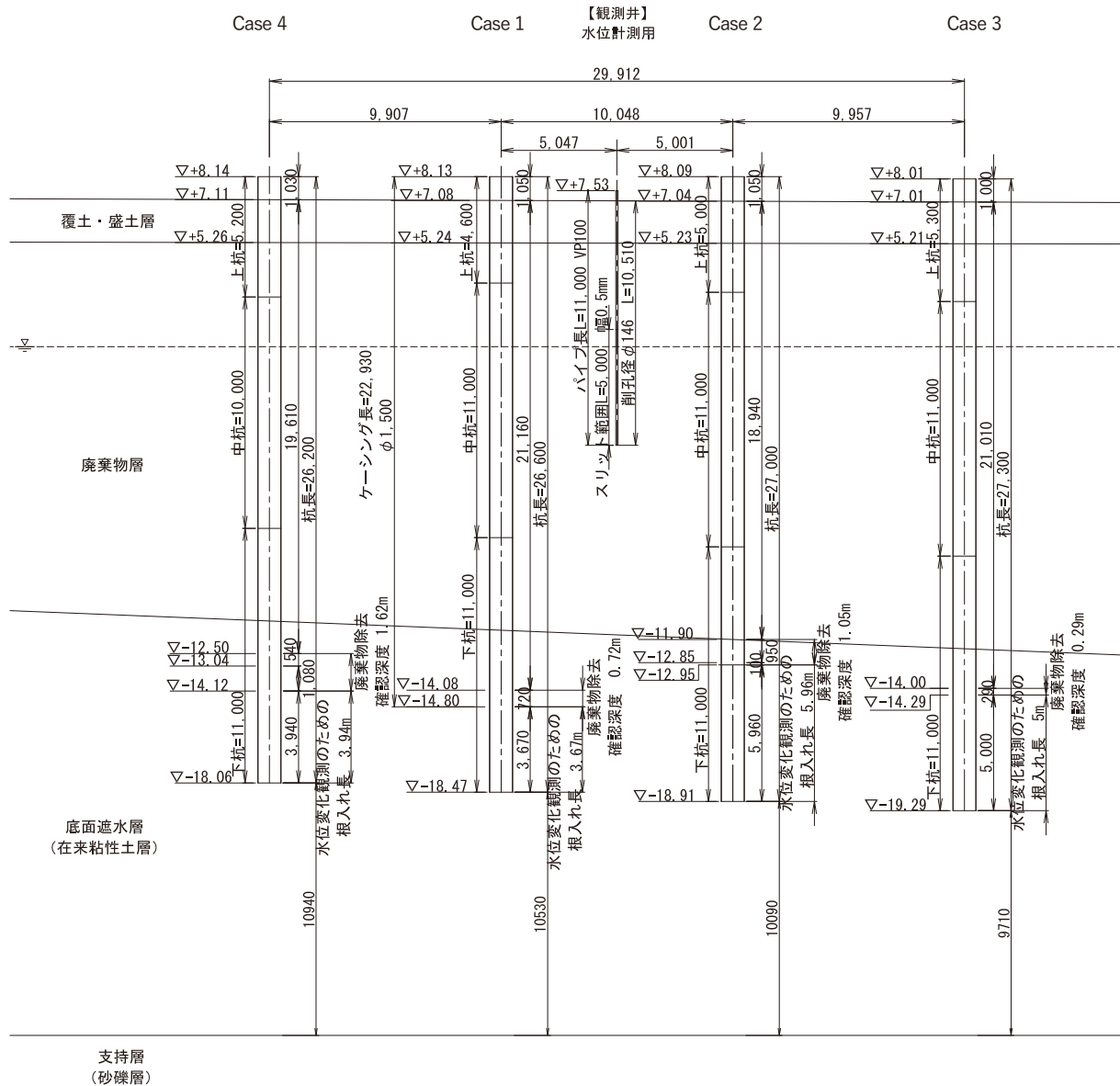


図-10 施工出来形図

施工状況、水中カメラ観察結果の詳細は、付録 A に示しているのので、あわせて参照されたい。

3.2 Case1: オールケーシング工法

オールケーシング工法による掘削時に、Wa と Asc の層境界の判別が難しく、結果的に当初計画の DL-13.49m より深い DL-14.80m までケーシングチューブを貫入させることとなった。層境界の判別が難しかった原因として、ケーシングチューブの押込みやハンマーグラブを用

いたケーシングチューブ内の掘削により地盤が乱されたこと、Asc に砂分が多く含まれており Wa との土質の差異が明確でなかったことなどが挙げられる。Asc と思われる粘性土が確認されてからも、1~2m 掘削するまでは排土中に廃棄物が混入しており、掘削底面には廃棄物が残存していた。また、中掘り圧入工法により施工した試験杭の内部をハンマーグラブで掘削する際にも、掘削初期の段階では排土中にプラスチック片等の混入が確認された。

以上より、焼却灰を主体とする地盤にオールケーシング工法と中掘り工法を併用して杭を施工することは可能であるが、廃棄物の連込みを防止するためには、ケーシングチューブを粘性土層（底面遮水層）に十分深く根入れし、確実に廃棄物を取り除く必要があると考えられる。なお、廃棄物が確実に除去できれば、それ以深への杭の施工は通常地盤に対する施工と大きな差異はないものと考えられる。従って、オールケーシング工法による廃棄物掘削後には、打撃工法なども適用できる可能性がある。

3.3 Case2: 中掘り圧入工法

中掘り圧入工法は、未焼却の廃棄物を主とする地盤へは適用が困難であった（渡部ら，2016）が、本実証実験で対象とした焼却灰を主とする地盤では比較的問題無く試験杭の施工を進めることができた。ただし、いくつかの課題が見られた。

課題の1つは施工機械の能力の問題である。本実証実験では、試験杭内部の水中カメラ観察にあたり、杭内水の水換えのため施工を途中で止めて一晩放置する場面があったが、翌朝の施工再開時に、施工機械の能力の不足により試験杭の貫入が不能となった。今回は Case3 等で用いるバイプロハンマーが利用できたので、これにより試験杭と地盤の縁切りを行うことで杭貫入を再開できた。今後、実工事への適用の際には、一般的な工事よりも1ランク高出力の施工機械を選択する、あらかじめバイプロハンマー等を準備しておく、杭周面に摩擦低減効果のある塗布剤等による特殊処理を行うなどといった対応を検討しておく必要がある。

もう1つの課題はオーガースクリューによる地盤の攪乱の影響が挙げられる。中掘り圧入工法では、杭内に設置したオーガースクリューにより地盤を乱すことで杭の圧入を容易にしている。そのため、本実証実験では、特に廃棄物層の下端付近において、地盤が乱されることで泥濁化してしまい、後にハンマーグラブで試験杭内の掘削を行うことが困難となった。これに対しては、スライムバケツ等を用いてヘドロ状の土砂を排土することが有効であった。

その他、水中カメラ観察時に、浮泥や杭内周面に貼りついていたりと思われる泥土（土ベラ）の落下等により杭先端部が埋没してしまい、杭先端を十分に観察できない現象が見られた。水中カメラ観察前の杭内部の掘削の際に、杭先端よりも下部まで余掘りしておく必要があるものと考えられる。

3.4 Case3: 打撃工法

バイプロハンマーで下杭の建込みを行う際、地表面から2~4m下のごく浅い深度に地盤が非常に固い部分があり、試験杭を貫入することができなかった。掘削してみたところ、恐らく鉱滓に由来すると思われる固結層が確認されたため、ブレイカーを持ち込んで固結層を破碎した後下杭の建込みを行った。一般に、廃棄物層には、このような固結物やコンクリート塊等が含まれる可能性があるため、打撃工法を適用する際には事前の土質調査の際などに注意深く確認する必要がある。

また、Case2と同様、水中カメラ観察時に杭先端部が埋没し十分に観察できなかった。そのため、杭先端部における廃棄物の連れ込み状況は不明である。しかしながら、途中過程まで同様な工法を用いた Case4 において、底ざらいバケツにより排土を行った際には、排土に多量の廃棄物が混入していた。このことから、焼却灰を主とする地盤において打撃工法を単独で用いた場合、未焼却の廃棄物を主とする地盤の場合（渡部ら，2016）と同様に、杭先端部における廃棄物の連込みを防ぐことは難しいと推測される。

3.5 Case4: 打撃工法+補助工法

Case3と同様、バイプロハンマーを用いた下杭の施工時に固結層で貫入不能となったため、ブレイカーによる固結層の破碎を行った。その後は特に問題なく施工を進めることができ、拡大ビット及び底ざらいバケツを用いた補助工法の施工結果も良好であった。底ざらいバケツによる排土には多くの廃棄物が混入していたものの、作業後の水中カメラ観察では杭先端部における廃棄物の連込みは見られなかった。実施工への適用を検討する際には、確実な廃棄物の除去のため、現場の条件に合わせて補助工法による杭先端下部の掘削範囲を適切に設定する必要がある。

4. 遮水機能の検証

試験施工が終了した杭から、順次、杭内の水位調整を行い、約1年間に渡ってその後の水位の変化を計測した。水位調整の際は、杭内の水面が、観測井で計測した処分場内の地下水位よりも2.1~2.3m深い位置になるようにした（詳細は付録A参照）。水位の変化は、杭内に設置した自記録式の水圧計により計測した他、適宜吊下げ式の水圧計を手作業で降下させて水圧計による自動計測結果との対比を行っている。水圧計はいずれのケースでも地表面から18m下（DL-11m付近）に設置した（動

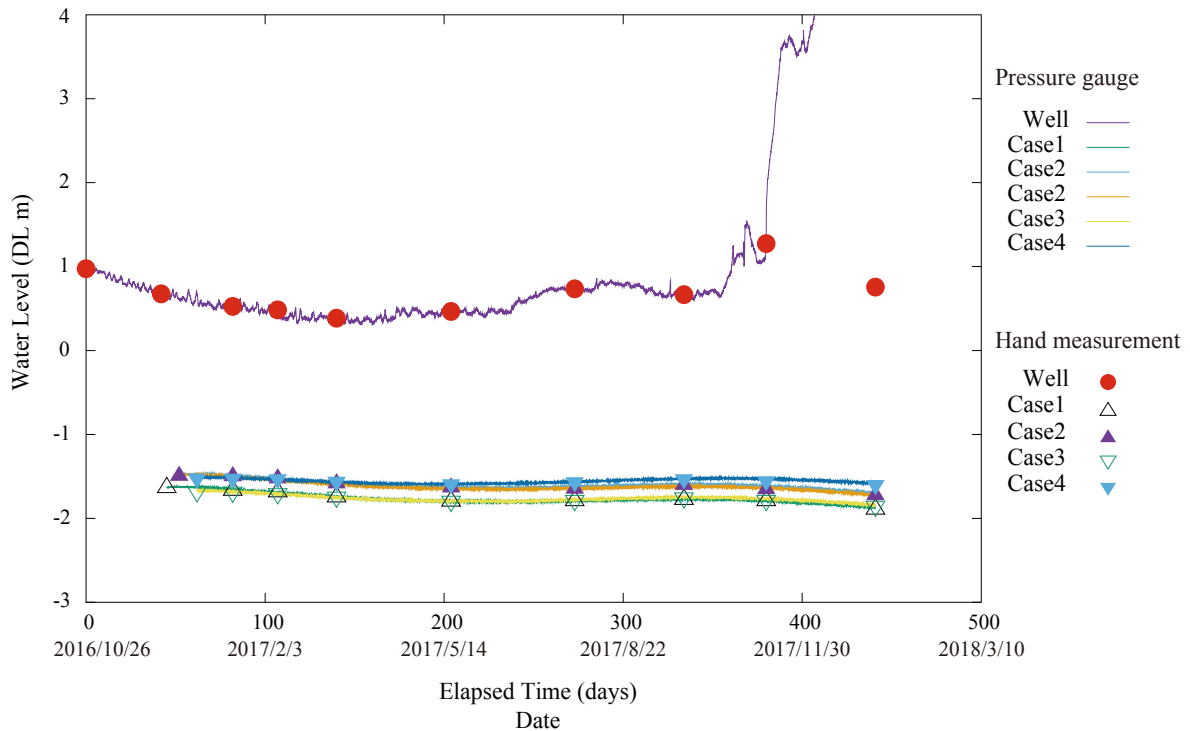


図-11 水位観測計結果（縦軸は DL で表した水位、横軸は観測井の観測開始からの経過日数及び観測日、Pressure gauge は水圧計による計測結果、Hand measurement は吊下げ式の水位計による計測結果、Well は観測井の水位）

作確認のため、Case2 のみ DL-4.96m と DL-10.96m の 2 箇所に設置した）。

観測井及び各試験杭における水位の計測結果を図-11 に示す。観測井で計測された水位を見ると、2017 年の秋頃から計測データの挙動が不安定となっており、機器の異常が発生したものと思われる。それ以降の記録として手作業による計測データを採用すると、1 年間の計測期間中に 1m 程度（当初の水位に対しプラスマイナス 50cm 程度）の幅で水位が変動していることが確認できる。これに対し、Case1～Case4 の杭内の水位の変動は、最大 25cm 程度にとどまっている。また、Case1～Case4 の水位の変動傾向は非常に良く一致していることがわかる。いずれのケースでも水位が経時的に低下する傾向が見受けられるが、Case4 ではその低下傾向は他のケースほど明確でない。

当初、各杭内の水位は処分場の地下水位（観測井で計測した水位）の 2m 以上深い位置に設定しており、処分場の地下水位が最も低下した 2017 年の春頃においても、依然として杭内水位の方が低い。従って、杭周面の遮水性が不十分な場合、杭内の水位は上昇する傾向を示すと考えられる。一方、杭周面の遮水性が確保されている場合は杭内水位はほぼ一定と考えられ、杭内水位の低下や季節変動が生じることは考えにくい（杭頭には蓋を設置し、大量の雨水流入や水の蒸発を防止している）。

渡部ら（2016）は、一部の杭について、今回の計測結果と同様な杭内水位の季節変動や低下傾向が見られたことを報告している。考えられる要因として、杭内空間における水の蒸発や、夏場の気温上昇に伴う水の膨張が計測結果に影響を与えたことなどが挙げられているが、明確な原因はわかっていない。しかしながら、先述のとおり杭周面の遮水性が不十分であれば杭内水位の上昇が確

認められるはずである。従って、今回の水位計測結果は、いずれのケースにおいても、杭周面の遮水性の大幅な低下がなかったことを示唆するものであると言える。

なお、海面処分場の遮水機能については、一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令（昭和五十二年総理府・厚生省令第一号、最終改正：平成二十九年六月九日環境省令第十二号）に規定がある。それによると、厚さが5m以上で、かつ、透水係数が $1.0 \times 10^{-7} \text{m/sec}$ である地層を、不透水性地層として取り扱っている。この不透水性地層の上下面に2mの水頭差が生じていると仮定すると、単位面積あたりの透水量は月当り 0.1m^3 程度である（水位変化量として見ると 0.1m ）。この値と比較すると、今回計測された杭内の水位変化量は十分に小さいと言える。

5. おわりに

海面処分場への杭の施工技術の検討の一環として、焼却灰を主として埋め立てられた実際の海面処分場において各種の施工法による杭施工の実証実験を実施した。実証実験では、各種施工法の廃棄物層への適用性や杭先端における廃棄物の連込み等について検証した。あわせて、杭内部の水位を調整し水位計測を継続的に行うことで、杭施工が遮水機能に与える影響を確認した。

実証実験では、オールケーシング工法と中掘り圧入工法を併用する方法、中掘り圧入工法、打撃工法、打撃工法に補助工法を併用する方法を試行した。その結果、いずれの工法でも掘削底面への廃棄物の残存が見られた。実施に適用する際には、杭先端部での廃棄物の連込み防止や掘削時の廃棄物の取り残しを防ぐため、杭あるいはケーシングチューブの先端を廃棄物層下の粘性土層（底面遮水層）に十分根入れするとともに、掘削時には余掘りを行うなどして廃棄物を確実に取り除く工夫が必要であると考えられる。また、中掘り工法、打撃工法を用いる場合には、廃棄物層中で杭の貫入や杭内の掘削が困難となる状況が生じ、様々な施工機器、用具、補助工法など用いることが必要となった。このことから、現時点では、廃棄物層での杭施工にオールケーシング工法が有効である一方、中掘り圧入工法や打撃工法については事前の十分な地盤調査や適切な施工方法の組合せの検討、施工不能時に対する準備等が必要で、廃棄物層への適用性はやや劣ると考えられる。一方、水位計測の結果によると、いずれの工法で施工した杭においても、杭の施工による遮水性能の低下などの懸念は無いと考えられる。

なお、本稿は実証実験を速報することを目的としている。今後、試験杭の引抜き時の調査やそれにあわせた水中カメラ観察の他、既往の研究成果との比較等、より詳細な考察を進め、手引き（案）への反映される予定である。

（2018年2月2日受付）

謝辞

本研究の実施にあたり、国土交通省港湾局、北陸地方整備局、中部地方整備局、中国地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局、大阪湾広域臨海環境整備センターから多大なるご協力を頂いた。深く感謝申し上げます。また、実証実験の計画立案にあたっては、管理型海面処分場の早期安定化及び利用高度化技術に関する検討委員会（国土交通省港湾局、委員長：嘉門雅史 環境地盤工学研究所理事長、事務局：みなと総合研究財団、中電技術コンサルタント）より、実証実験の実施にあたっては天田修氏、山崎智弘氏（いずれも東洋建設）をはじめ施工関係者より様々なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

管理型海面処分場の早期安定化及び利用高度化技術に関する検討委員会（2017）：港湾における管理型海面最終処分場の高度利用の手引き（案）—底面遮水層を貫通する基礎杭の施工にあたって—、事務局：一般財団法人みなと総合研究財団、中電技術コンサルタント株式会社。

渡部要一・水谷崇亮・金子崇・増門孝一（2016）：海面処分場における杭基礎の適用性—未処理廃棄物地盤における打設実験と杭周面透水試験—、港湾空港技術研究所資料、No. 1321。

付録 A. 試験杭の施工状況

各試験杭の施工状況を表-A.1 から表-A.4 に示す。なお、表中の日は、その杭の施工開始から何日目に行った作業であるかを表している。作業日が連続していない場合もあるほか、実作業時間が1日に満たない作業日や、複数の試験杭を同時進行で施工した作業日もあるため、表中の日数と実際に施工に要した時間とは必ずしも対応していないことに注意を要する。

表-A.1 Case1（オールケーシング工法）の施工状況

日	作業内容他	施工状況	
1	<p>ハンマグラブでケーシングチューブ内を掘削しながら、全周回転掘削機によりチューブを地盤に貫入。 DL-4m 付近で、排土内にドレーン材が確認された。 DL-13.83m まで掘削したものの、焼却灰や砂混りの粘性土の層が続き、完全な粘性土層を確認できず。 ケーシングチューブ長不足のため掘削を中断し、チューブ内の水替え。</p>	 <p>ケーシングチューブ貫入状況</p>	 <p>ペーパードレーン材</p>
2	<p>水中カメラ観察（1回目）。浮泥が多いものの、廃棄物の連込み等は見られず。 孔底を4m 埋め戻し、ケーシングチューブを2m 引き抜いて盛り替え（最上部の2m チューブを4m チューブに置換）後、掘削再開。 DL-14.08m で粘性土を確認。 DL-14.80m でケーシングチューブを床付けし、チューブ内の水替え。</p>	 <p>水中カメラ（1回目）画像</p>	 <p>粘性土確認状況</p>
3	<p>水中カメラ観察（2回目）。水替用水槽の鉄サビと思われるフロックが多いこと、孔底の不陸が大きくケーシングチューブ境界部は明瞭ではないものの、孔底部の粘性土は観察できた。数センチの大きさの廃棄物（プラスチック片等）が数点孔底に落ちていた。 作業性確保のためケーシングチューブを20cm ほど引き上げ、沈下防止対策を行う。 ケーシングチューブ内に下杭から、中杭、上杭まで建込み完了。</p>	 <p>水中カメラ（2回目）画像</p>	 <p>ケーシングチューブ沈下防止対策</p>
4	<p>杭打機をセット。杭にアースオーガーを挿入する際、杭と接触し杭が10cm 程度沈下した。 DL-18.20m まで杭を中掘り圧入した後、オーガー引抜き。オーガーに杭内水面に浮かんでいたプラスチック片等が付着していた。杭は自立状態で沈下せず。 ケーシングチューブ引抜き作業に備えチューブを接続・延長。 杭頭部に砂除けの傘を設置。 杭とケーシングチューブの間の間詰材（砂）を投入し、チューブを2m 引抜き。 続いて間詰材投入2回目を行い、ケーシングチューブを3m 引抜き。 作業中、杭に大きな変動は見られなかったが、杭頭はわずかに（見ため5cm 程度）変位した。</p>	 <p>中掘り圧入状況</p>  <p>杭頭部傘の設置状況</p>	 <p>オーガーの付着物</p>  <p>間詰材の投入状況</p>

表-A.1 Case1 (オールケーシング工法) の施工状況 (続)



日	作業内容他	施工状況
5	<p>間詰材投入とケーシングチューブ引抜きを3回繰返し(チューブ引抜き長6m、6m、7m)、チューブ抜管完了。間詰材の沈下待ちに時間を要した。杭打機により DL-18.47m まで杭を圧入し、杭打設完了。杭の沈下防止対策を実施。</p>	 <p>杭の沈下防止対策状況</p>
6	<p>ハンマーグラブにより杭内を DL-18.47m まで掘削。掘削中に杭内面に付着した土べらが落ちるようで、掘削底面の高さに変化が見られた。丁寧な作業を心掛け、最終的に孔底 DL-18.37m で杭内の掘削を完了。観測井水位 DL+0.695m に対し、杭内水位を DL-1.644m に調整。水位観測(6hr 後)。杭内の水位変化無し。</p>	
7	<p>水位観測(24hr 後)。杭内の水位変化無し。観測井水位は DL+0.645m。水位計設置(DL-10.92m)。</p>	 <p>水位計の設置作業状況</p>

表-A.2 Case2（中掘り圧入工法）の施工状況

日	作業内容他	施工状況	
1	<p>杭打機に下杭をセットし、中掘り圧入工法による施工を開始。杭先端が地表面から 3m 及び 7m 下がったところで貫入速度が遅くなる。障害物との接触と思われる。オーガーを上下させる等により突破。</p> <p>下杭を 10m 貫入したところで杭の施工を中断し、中杭をセットして下杭と溶接。</p>	 <p>下杭セット作業状況</p>	 <p>中掘り貫入施工状況</p>
2	<p>杭施工再開。</p> <p>DL+1～0m、DL-3～4m、DL-8m 付近で貫入抵抗が大きくなり、その都度、杭を上下させるなどで対応。障害物又は杭周面抵抗の増加等が原因考えられる。杭打機に 100ton 以上の負荷がかかるなど高負荷状態。途中、打合せのため 10 分程度作業中断した際も、再開時に施工継続が危ぶまれるほどの大きな抵抗力が確認された。</p> <p>DL-12.995m で貫入を中断し、杭内に負圧が発生するを防ぐため、オーガー先端から送気しながら、オーガーを引抜く。オーガー先端部の 1m 程度の範囲に粘性土が付着していた。</p> <p>ハンマーグラブにより杭内掘削を開始。杭内の土砂がオーガーにもまれたためか泥濁化しており、ハンマーグラブを毎回洗浄しなければ開閉できなくなる状況。ポンプによる泥水の吸出しを試みたが、泥土の濃度が高く、取り止め。ハンマーグラブを閉じたままバケツのように用い、ヘドロをある程度除去した後、通常の方法による掘削を再開。DL-12.9m 付近で粘土を確認し掘削終了。</p> <p>杭内の水替え。</p>	 <p>オーガー先端の粘性土付着状況</p>	 <p>ハンマーグラブ汚染状況</p>
		 <p>ハンマーグラブの洗浄</p>	 <p>粘性土確認</p>
3	<p>水中カメラ観察（1回目）。全体的に数センチ程度の廃棄物の破片や、こぶし大の白い物体も確認。大きな廃棄物の連込みは確認されなかった。</p> <p>杭内地盤高は昨日よりも上がっており、1m 程度の浮泥が沈降・堆積した模様。</p> <p>杭打機をセットし、杭の施工を再開するが、押込み 70ton、引抜き 120ton の荷重を加えても杭不動のため、作業中断。</p>	 <p>水中カメラ（1回目）画像</p>	 <p>水中カメラ（1回目）画像</p>

表-A.2 Case2（中掘り圧入工法）の施工状況（続）

日	作業内容他	施工状況	
4	<p>3日後、作業再開。 ハンマーグラブにより杭内堆積土砂を杭先端より約30cm下まで掘削。さらにスライムバケツを用いて泥水を除去。 杭内の水替え。</p>	 <p>スライムバケツ</p>	 <p>スライムバケツを用いた泥水除去</p>
5	<p>水中カメラ観察（2回目）。フロックが多く観察の障害となる。杭内周面に付着した土べら、番線のような金属くず、プラスチック片などを数個確認。 パイプロハンマー（150kW）で300A近い電流をかけ、杭と地盤の縁切りに成功。1.2m打ち下げた後、継杭作業のために30cm引上げ。 上杭を建込み、溶接。 中掘り圧入を開始。溶接に要した2時間ほどの間に杭の抵抗が増大したが、杭打機の自重を最大限加え、細かな上下を繰り返すことで貫入再開。DL-18.9mで中掘り圧入終了。 ハンマーグラブで杭内土砂を掘削。DL-14m付近からきれいな粘土を確認した。 杭内の水位調整（DL-1.0m）。</p>	 <p>水中カメラ（2回目）画像</p>  <p>DL-13m 付近の掘削土砂</p>	 <p>パイプロハンマーによる縁切り</p>  <p>DL-14m 以深の掘削土の確認状況</p>
6	<p>観測井水位 DL+0.635m に対し、杭内水位を DL-1.492m に調整。 水位観測（6hr 後）。杭内の水位変化無し。観測井水位は1cm低下。</p>		
7	<p>水位観測（24hr 後）。杭内の水位変化無し。観測井水位は DL+0.600m。 水位計設置（DL-4.96m と DL-10.96m の2深度）。</p>	 <p>水位計設置後の動作確認</p>	

表-A.3 Case3（打撃工法）の施工状況

日	作業内容他	施工状況	
1	<p>下杭を架台に吊り込み、バイブロハンマーをセット。打設開始。地表面より 2m 貫入したところから打ち下げ困難となり、一度引き抜く。杭打設箇所を試掘したところ、鉞滓と見られる障害物を確認。施工機械を調達して当該層を破碎するため、作業中断。</p> <p>下杭は Case4 に流用することとし、場所を移動する。</p>	 <p>バイブロハンマーセット状況</p>	 <p>引抜き後の杭貫入孔の様子</p>
2	<p>ブレイカーを用いて、杭打設範囲の鉞滓層を破碎。地表面から 2.0~3.3m の範囲にあった鉞滓層を撤去。バックホウの届かない深さ 3.8m 程度まではブレイカーによる破碎作業のみ実施。</p> <p>掘削箇所の埋戻し。</p>	 <p>破碎作業状況</p>	 <p>破碎作業近景</p>
3	<p>下杭（1 日目に貫入不能となった杭を使用）をセットし、バイブロハンマーによる施工を再開。貫入量 7.5~10m 付近で断続的に大きな抵抗がありリバウンドも大きかった。10m 貫入したところで下杭の施工完了。10m 貫入に 30 分程度を要しており、バイブロハンマーでの施工はぎりぎりの状況であった。</p> <p>中杭をセットし、下杭と溶接。</p>	 <p>下杭施工状況</p>	 <p>溶接状況</p>
4	<p>中杭天端に油圧ハンマーをセットし、打撃貫入開始。打撃可能深度まで貫入した後、杭周囲の地盤を掘削してさらに打撃貫入。杭先端深度 DL-13.3m 付近にて打撃終了。</p> <p>ハンマーグラブによる杭内掘削。土砂とともに水を上げてしまうため、杭内に注水し水位を適宜調整しながら作業を進める。DL-3.3m 付近で掘削土砂中にペーパードレーン材を確認。</p> <p>掘削土砂の観察で粘性土が確認できないため、油圧ハンマーで杭をさらに 1m 貫入。杭内掘削を再開。DL-13.8m で黒色の砂混り粘土、DL-14m で灰色の粘土、DL-14.5m で連続した粘土を確認。</p> <p>最終的に、杭天端 DL+7.663m（杭先端は DL-14.337m）、杭内掘削深度 DL-14.287m で作業終了。</p>	 <p>油圧ハンマー打撃施工状況</p>  <p>鉞滓と思われる掘削土 (DL-5.7m)</p>	 <p>杭周囲の地盤掘削状況</p>  <p>掘削土の確認 (DL-14m)</p>

表-A.3 Case3（打撃工法）の施工状況（続）

日	作業内容他	施工状況
5	杭内水替え（杭内水位 DL+1.5m）。	
6	<p>水中カメラ観察（1回目）。底面に鉄くずなどが観察された。杭内壁面に土べら（粘土塊）が付着し、杭先端が見えない部分もあったが、杭先端部に廃棄物は確認されなかった。</p> <p>底面の廃棄物を確認するために、杭内をハンマーグラブで1回掘削。番線、針金、空缶等の鉄くずを確認。</p>	 <p>水中カメラ（1回目）画像 水中カメラ（1回目）画像</p>
7	<p>沈下防止対策撤去。上杭を建込み、溶設。杭周囲を掘削。</p> <p>油圧ハンマーをセットし、杭の打撃貫入を開始。杭天端+8.01m で終了。杭周面を埋戻した後、杭の沈下防止対策。</p> <p>ハンマーグラブにより DL-19.29m まで杭内土砂を掘削。</p> <p>杭内水位を DL-1.64m（地下水位より 2.3m 下方）に調整。</p>	 <p>掘削土砂（粘土）の様子</p>
8	<p>観測井水位 DL+0.580m に対し、杭内水位 DL-1.639m（水位差 2.219m）。これを水位観測の初期値とする。</p> <p>水位観測（6hr 後）。杭内の水位変化無し。観測井水位は 5cm 程度変動。</p>	
9	<p>水位観測（24hr 後）。杭内の水位変化無し。観測井水位は DL+0.670m。</p> <p>水位計設置（DL-10.99m）。</p>	 <p>水位計の投入状況</p>

表-A.4 Case4（打撃工法+補助工法）の施工状況

日	作業内容他	施工状況	
1	<p>Case3 用にセットした下杭を移動し、バイプロハンマーにて施工開始。打込み深度 2.5m 付近より固い層に変化した様子で、バイプロハンマーに大きな負荷がかかる。徐々に打ち下げることはできたものの、固い層を押し下げていると思われたため、3m 打ち込んだところで作業中断。杭を引き抜いて横倒し、仮置き。バックホウで届く範囲を掘削したが障害物は確認できず。</p>	 <p>杭引抜き状況</p>	 <p>引抜き時に落ちたと思われる土砂</p>
2	<p>ブレイカーを用いて、杭打設範囲の鉋滓層を破碎。地表面から 2.5~3.1m の範囲にあった鉋滓層を撤去。バックホウの届かない深さ 3.5m 程度まではブレイカーによる破碎作業のみ実施。掘削箇所の埋戻し。</p>	 <p>破碎作業状況</p>	 <p>作業後の掘削底面</p>
3	<p>下杭（1 日目に貫入不能となった杭とは別の当初より Case4 用に準備していたもの）をセットし、バイプロハンマーによる施工を再開。貫入量 3~5.5m 付近、7.5~10m 付近で断続的に大きな抵抗がありリバウンドも大きかった。10m 貫入したところで下杭の施工完了。10m 貫入に 30 分程度を要しており、バイプロハンマーでの施工はぎりぎりの状況であった。中杭をセットし、下杭と溶接。</p>	 <p>バイプロハンマー施工状況</p>	
4	<p>中杭天端に油圧ハンマーをセットし、打撃貫入開始。杭先端深度 DL-12m 付近にて打撃終了。ハンマーグラブによる杭内掘削。土砂とともに水を上げてしまうため、杭内に注水し水位を適宜調整しながら作業を進める。計画では DL-11m 付近から粘性土に変わる予定が、掘削土砂の観察では黒い砂質粘土が続いたため、杭周囲の地盤を 1m 掘削し、油圧ハンマーで杭をさらに 1m 貫入。杭内掘削を再開。DL-12.1m から掘削土砂に灰色の粘性が混じり、DL-12.5m で粘土層到達と判断。掘削作業は杭先端まで実施。杭周辺を埋め戻し、杭を 0.5m 引上げ（杭天端 DL+8.39）。杭の沈下防止対策を実施。</p>	 <p>油圧ハンマーによる打撃施工</p>	 <p>周囲を掘削しさらに打撃貫入</p>
 <p>CASE-4 DL-12.1m</p> <p>DL-12.1m 付近の掘削土砂確認</p>		 <p>CASE-4 DL-12.5m</p> <p>DL-12.5m 付近の掘削土砂確認</p>	

表-A.4 Case4 (打撃工法+補助工法) の施工状況 (続)



日	作業内容他	施工状況	
5	<p>杭内の水替え。 6h 放置 (浮遊物等の沈降待ち)。 水中カメラ観察 (1 回目)。浮遊物の沈降が十分でない判断されたため、一晩放置してカメラ観察を再度実施することとした。底面に廃棄物らしきものが見られた。</p>	 <p>水中カメラ (1 回目) 画像</p>	
6	<p>水中カメラ観察 (1 回目再観察)。杭先端部に廃棄物等は見られず。底面に番線のようなものが確認された。 杭内地盤高 DL-12.707m より拡大掘削の後、底ざらいバケットによる排土を実施。排土 6 杯で DL-14.107m まで掘削。排土には鉄筋、番線、鉄板などが混入。 杭内の水替え。</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  <p>水中カメラ (1 回目再観察) 画像</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>水中カメラ (1 回目再観察) 画像</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>拡大ビット</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>拡大ビット掘削後の引抜き状況</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>底ざらいバケット</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>底ざらいバケットによる排土状況</p> </div> </div>	
7	<p>水中カメラ観察 (2 回目)。杭先端下を拡大掘削したことで、杭先端が明瞭に確認できた。杭先端部、底面ともに廃棄物は観察されず。 上杭を建込み、溶接。 油圧ハンマー打撃施工。杭天端高 DL+8.135m で施工終了。 ハンマーグラブによる杭内掘削。きれいな灰色の粘土が排土される。 観測井水位 DL+0.655m に対し、杭内水位 DL-1.46m (水位差 2.1m) に調整。</p>	<div style="display: flex;"> <div style="width: 50%;">  <p>水中カメラ (2 回目) 画像</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>杭内掘削の排土の状況</p> </div> </div>	

表-A.4 Case4（打撃工法+補助工法）の施工状況（続）

日	作業内容他	施工状況
8	<p>観測井水位 DL+0.580m に対し、杭内水位 DL-1.460m（水位差 2.04m）。これを水位観測の初期値とする。 水位観測（6hr 後）。杭内の水位変化無し。観測井水位は 5cm 程度変動。</p>	
9	<p>水位観測（24hr 後）。杭内の水位変化無し。観測井水位は DL+0.670m。 水位計設置（DL-10.89m）。</p>	 <p>水位計設置、確認状況。</p>

港湾空港技術研究所資料 No.1344

2018.6

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2018) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。