

管理型海面処分場の利用促進のための試験杭の打設について

上中 一弘¹

¹近畿地方整備局 神戸港湾事務所 保全課 (〒651-0082神戸市中央区小野浜町7番30号) .

管理型海面処分場に適切な遮水性を確保した状態で基礎杭を打設することが可能になれば、低レベルの利用状態にある処分場跡地の利用レベルを向上させ、その経済効果を周囲に波及させる事が可能となる。そこで、より安価で確実な遮水層を貫く杭打設方法について知見を得るべく、尼崎西宮芦屋港にて、焼却灰等の廃棄物地盤において実施した杭打設試験で以下の知見が得られた。まず、オールケーシングを併用した中堀圧入工法は未処理廃棄物地盤に加え、焼却灰等の廃棄物地盤でも有用性が確認された。一方、中堀圧入工法、打撃工法を単独で用いた場合にはそれぞれ施工上の課題及び杭先端における廃棄物の連れ込みが確認された。また、打撃工法に併用する補助工法については一定の有効性が確認できた。

キーワード 管理型海面処分場, 杭, 粘土層, 遮水, 跡地利用

1. はじめに

海面処分場は大都市の海面を埋め立てて造成されることから、土地利用上大きなポテンシャルを有している。しかしながら、図-1.1のとおりその利用実態は公園やグラウンド、農地等の基礎工が不要な底層利用となっているのが実態である。これは、海面処分場がその立地上軟弱地盤であり、高層利用を行うには基礎杭の打設が不可欠である一方、遮水層として自然に堆積した粘土層地盤の遮水性を期待している事から、これを貫くことによる影響を適切に把握しなければならないためである。

このため、本試験施工は既往の知見を踏まえ、焼却灰等の廃棄物地盤における杭の打設における影響等を調べるために実施した。なお、実施に当たっては別途設けられている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より意見をいただきながら施工している。

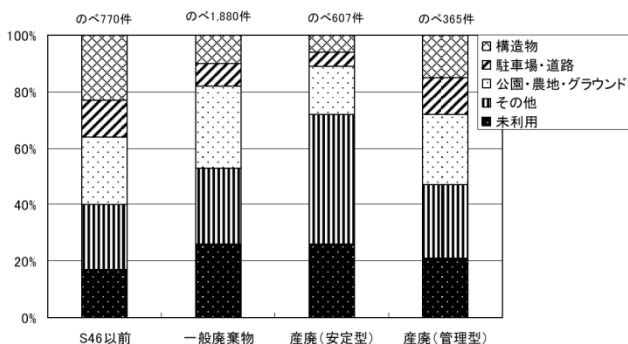


図-1.1 廃止された最終処分場跡地利用の実態¹⁾

2. 既往の知見について

(1) 既往の施行事例

菊池ら¹⁾の調べによると管理型処分場への杭打設事例は2件あるが、内1件(第二名神高速道路桑名ICでの橋梁基礎杭打設)は処分場の構造基準が定められた平成10年前後に検討されており、処分場外周全体に遮水壁を不透水層まで打設するような工法をとっているため、本項ではもう1件の東京港臨港道路建設に伴う橋梁基礎杭打設について事例を示す。

a) 概要

東京港臨港道路第(II)期事業においては一部の工区が廃棄物処分場に位置する橋梁工区となっている。

当該工区は厚さ10m程度の廃棄物層の下に遮水層となる厚さ20~40mの軟弱な荒川沖積層が堆積しており、橋梁構造を支える支持層はその下部に位置する。このため、杭が遮水層を貫いても遮水機能を保持するような基礎杭施工方法が検討された。

b) 施工方法

本工区では以下の方法で杭の施工が実施された。

まず、オールケーシング工法により廃棄物層を掘削、除去し、その中に廃棄物層と杭を隔離するための外周管、及び本杭を打設することにより、遮水機能を保持しつつ基礎杭の打設をおこなっている。(図-2.1)

しかしながら本工法はケーシング、外周管、本杭と三重の施工が必要であり多大な施工費用を要することが課題である。

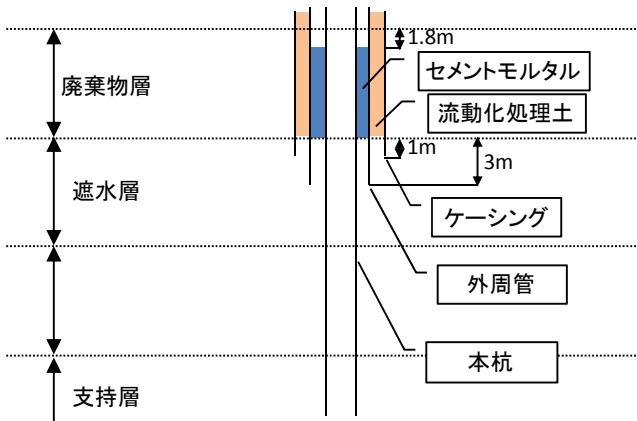


図-2.1 三重管工法の概念図²⁾

(2) 模型実験

菊池ら¹⁾が、管理型海面処分場に基礎杭を打設する際に遮水層に与える影響について実施した模型実験の結果が2012年にとりまとめられている。以下にその結果の概要を示す。

a) 杭打設に伴う廃棄物等の連込み

廃棄物等の連込みによる遮水層への影響深度は、粘土の圧密状態の違いにより異なり、正規圧密状態では杭径程度、過圧密状態では杭径の3~6倍程度まで影響がある。また、廃棄物等の連込み低減の観点からは、杭打設工法として中堀工法が最適である。

b) 粘性土地盤と杭等の境界面における透水特性

杭と粘土の間に空隙が出来ないように施工した場合でも粘土が過圧密状態であれば杭境界面での透水性が多少上昇するが、それはわずかであり、ほとんど問題にならない。また、正規圧密状態であれば透水係数の上昇はほとんどない。

また、杭と粘土の間に空隙が生じるよう施工した場合には、相当量の通水が杭境界面で生じるが、正規圧密状態まで載荷すれば粘土と杭の空隙はほとんど閉塞し、閉塞後の境界面の透水性は非常に低くなる。

このことから、粘土と杭との境界面における透水性は、杭打設後の圧密状態による影響が大きいが、杭打設前の圧密度の違いによる影響はほとんどない。

(3) 未処理廃棄物地盤における現場試験

本試験に先立ち、東京港の海面処分場（中央防波堤外側処分場）で未処理廃棄物地盤に対する杭の打設試験が実施されており、渡部ら³⁾が2016年にその結果をとりまとめている。以下にその結果の概要を示す。

オールケーシングを併用した中堀圧入工法及び中堀圧入工法では、杭先に絡まった廃棄物の連れ込みは見られず、いずれも基準省令に示された遮水性能が得られた。

一方、打撃工法で施工した杭では先端に梱包用プラスチックバンドのような紐状のもの等の廃棄物の連れ込み量が多く、漏水量も多くなった。

また、PHC杭についても中堀圧入にて試験を行った

が、断面積が大きいため押し込み抵抗力が大きいこと、内径が小さいため杭内部でオーガスクリュと土砂と廃棄物が絡まり閉塞すること、内径が小さいためハンマグラブが使用出来ないことによって打設不能となった。

3. 試験実施上の着目点

上述の既往の知見を踏まえ、ガイドライン作成の基礎資料として以下の点に着目して試験を実施した。

- ・三重管に変わる安価な各施工方法の適用性の判断材料として焼却灰等の地盤における杭先端の廃棄物の連れ込み状況の確認と杭周面における遮水性の確認
- ・杭先端の廃棄物連れ込み確認としての水中カメラ観察の有効性の確認
- ・施工時の留意点、課題の抽出

4. 試験内容

(1) 試験場所の概要

今回の試験は、尼崎西宮芦屋港尼崎地区の西の端に位置する大阪湾広域臨海環境整備センター所有の尼崎沖埋立処分場の管理型区画にて実施した。試験場所と各杭の打設位置を図-4.1、図-4.2に示す

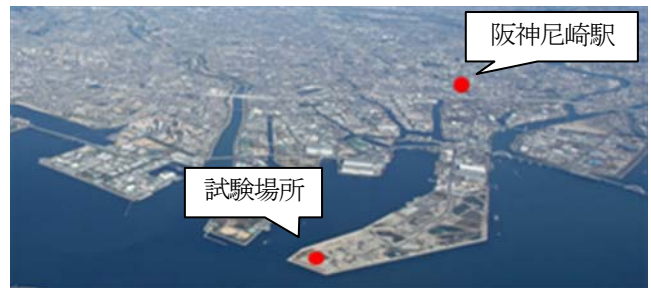


図-4.1 試験場所

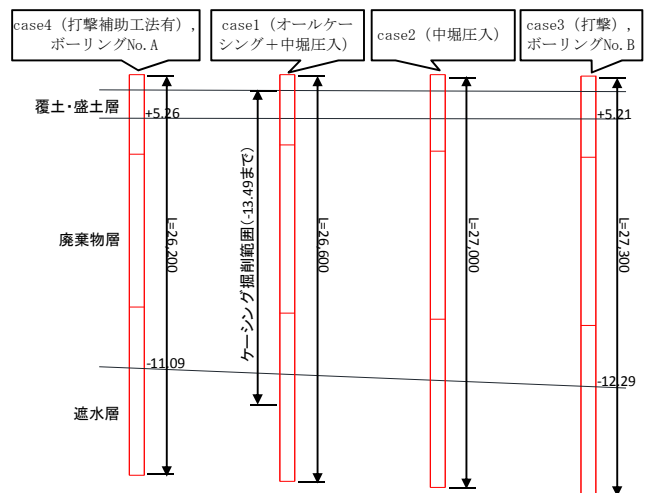


図-4.2 試験杭打設位置

(2) 事前調査

杭の打設試験の実施に先立って打設箇所にて、廃棄物層の性状確認及び遮水層の深度確認のため土質調査を実施した。なお、調査箇所は杭打設箇所を30mの直線で結んだ両端において実施している。

a) 廃棄物層の特性

本試験地の廃棄物層は焼却灰が構成の主要要素を占めているが、粉碎されたプラスチック片等の混入も見られた。表-4.1に詳細を示す。

b) 粘土層の特性

本試験地の遮水層を構成している沖積層上部は尼崎粘土層と呼ばれる海成の沖積粘土層である。一般には高含水量で柔らかく、組成均質なシルト質粘土又は粘土質シルトをなす。土質調査の結果として、本試験地は廃棄物層以深に存在するAsc層（粘性土Ⅰ層）と、さらに下のAc層（粘性土Ⅱ層）で構成される事が判明した。

粘性土Ⅰ層は埋立以前の海底面下を覆う表層堆積物で、層厚は1.40～2.20mである。砂質粘土や粘土で構成され、柔らかい部分と硬い部分が互層状をなし、N値は7～11を示した。

粘性土Ⅱ層は海底面下堆積物に相当する粘性土層である。概ね組成均質な粘土質シルト又はシルト質粘土で、N値は3を示した。

また、圧密状況については、圧密降伏応力と有効上載圧の関係から図-4.2のボーリングNo.A側において未圧密（粘性土Ⅰ層）及び正規圧密（粘性土Ⅱ層）を示したが、ボーリングNo.B側では両層とも過圧密を示している。これは調査位置が近接していても盛土・覆土及び廃棄物等の上載圧によって、対象粘性土層が受けた人為的な応力履歴の違いによるものと考えられる。

(3) 杭の諸元と打設深度

打設する杭は鋼管杭（φ1000, t=12）とし、打撃工法にて打設を行う2本については先端内側に先端補強バンドを取り付けている。

表-4.1 廃棄物の組成試験結果一覧表

採取地点	NO.A及びBの平均				
	GL8m付近		GL13～14m付近		
	重量(kg)	組成(重量%)	重量(kg)	組成(重量%)	
組成 (乾きベース)	プラスチック類	0.007	0.1	0.007	0.2
	木・草類	0.001	0.0	0.021	0.6
	紙類	0.001	0.0	0.001	0.0
	繊維類	0.002	0.0	0.000	0.0
	金属類	0.080	1.5	0.072	2.0
	ガラス・陶磁器類	0.052	1.0	0.090	2.5
	下水汚泥	0.000	0.0	0.000	0.0
	無機性汚泥	0.000	0.0	0.015	0.4
	焼却灰	2.620	47.7	2.785	77.8
	スラグ	0.000	0.0	0.000	0.0
	改良土	0.000	0.0	0.000	0.0
	土砂・石	2.730	49.7	0.593	16.5

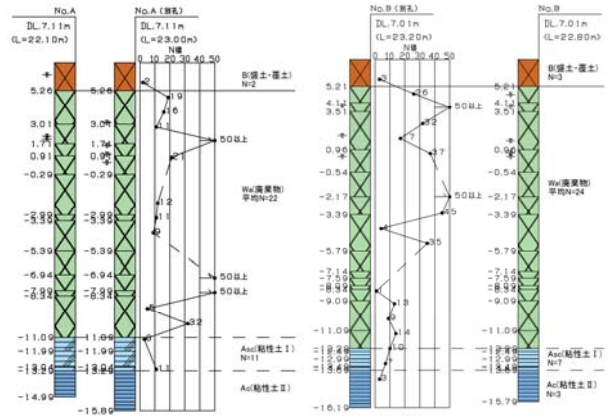


図-4.3 土質調査結果

また、打設深度は廃棄物除去を確認するための2m、水位変化観測のための根入5mの計7m遮水層に貫入するように土質調査結果から設定した。なお、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によって最終処分場の遮水工は透水係数が $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下の地層を5m以上確保するものとなっているため、杭の打設深度はこれを確保する深度で設定されている。

(4) 杭打設方法

今回試験を行う打設工法は委員会において、東京港における試験結果及び実施工への適用性を加味して決定された。

a) case1オールケーシング+中堀圧入（二重管）

本工法はオールケーシングにて廃棄物層を除去後、ケーシング内に杭を立て込み、間詰砂充填後、中堀圧入にて遮水層に杭を貫入させる工法である。（図-4.4）

本工法の利点は三重管より安価な事、ケーシング内の廃棄物層を撤去した後に杭を立て込む事により、杭先端における廃棄物の連れ込みを確実に防止できる点にある。欠点としては通常の中堀圧入に加えてオールケーシングでの先行掘削が必要となるため後述の工法に比べ費用及び工期がかさむことである。

b) case2中堀圧入（一重管）

本工法は中堀圧入によって遮水層上面まで杭打設後、ハンマグラブにて杭内の廃棄物を除去し、杭先端の廃棄

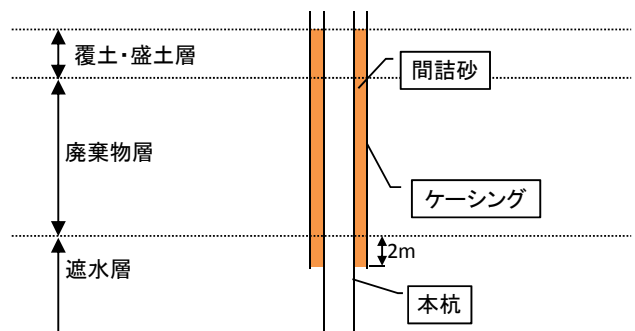


図-4.4 二重管工法の概念図

物の連れ込みを確認した後、再度中掘圧入にて遮水層に杭を貫入させる工法である。

本工法の利点としてはcase1のようなケーシングの打設が不要なため費用及び工期が低減出来る点にある。しかしながら、東京港での試験の際には廃棄物がオーガスクリュに絡まるような施工上の課題が判明している。

c) case3打撃（一重管）

本工法は油圧ハンマによって遮水層上面まで杭打設後、ハンマグラブにて杭内の廃棄物を除去し、杭先端の廃棄物の連れ込みを確認した後、再度油圧ハンマにて遮水層に杭を貫入させる工法である。

本工法の利点は各ケースの中で最安価で施工可能である事である。欠点は杭先端における廃棄物の連れ込みが懸念される。

d) case4打撃+補助工法（一重管）

本ケースは杭先端に連れ込まれた廃棄物の除去方法として、下記の補助工法の有用性を確認するために実施した。case3との差異は以下の補助工法を追加で実施している点である。

まず、ハンマグラブにおける廃棄物層の除去後、オーガスクリュを立て込み拡大ビットにおいて杭先端の遮水層を拡大掘削する。その後、底ざらいバケット（ドリリングバケット）において土砂を除去している。（図-4.5）

(5) 杭内カメラ観察

杭先端の廃棄物連れ込みを確認するために遮水層確認後1m及び2m掘削した段階で杭内の水替えを行い、それぞれ水中カメラにて観察を実施した。なお、case1についてはオールケーシングによる掘削時に実施している。

(6) 杭内水位観測

杭周面における遮水性の確認のため、所定の深度まで杭を打設後、杭先端までハンマグラブで遮水層を除去、杭内水位を地下水水位-2.0mに調整し、水位観測を実施した。なお、観測は一年間を予定し、本論文執筆時点で継続中である。

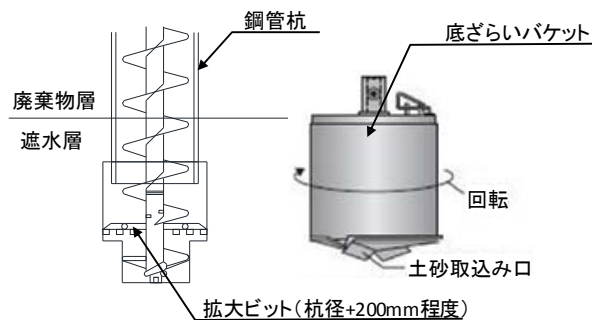


図-4.5 補助工法の概念図

5. 試験結果

(1) 試験杭打設結果

計画では遮水層が-11.09m~-12.29mで確認できる予定であったが、各杭とも遮水層が想定より深い位置で確認された。これは、計画段階では粘性土I層の上端を遮水層の上端としていたが、実際に掘削した土を確認すると、粘性土I層は廃棄物層と遮水層と呼べる粘性土層との遷移層を形成しており、想定より深い位置にならなければ遮水層と考えられる完全な粘土層が確認できなかったためである。

また、case2においてはハンマグラブでの掘削効率が低下する場面が見られた。これは、オーガスクリュによって、廃棄物と地下水が攪拌され泥土状になったためである。

さらに、case3,4においては打設時に鉋滓層にあたり一時打設不能になる場面が見られた。この鉋滓層は廃棄物搬入時等の仮設道路等の跡と考えられる。

以下に、各ケースごとの詳細を示す。

a) case1オールケーシング+中掘圧入（二重管）

計画では-11.49m程度で遮水層が確認できる想定であったが、遮水層が確認されたのは-14.08mであった。

杭打設に際し、障害は発生しなかった。

また、後述のカメラ観察で、底面に廃棄物の散在は確認されたが、杭先端への連れ込みは確認されなかった。

（図-5.1）

b) case2中掘圧入（一重管）

計画では-11.89m程度で遮水層が確認できる想定であったが、遮水層が確認されたのは-14.00mであった。

杭の打設においては日をまたいで打設作業を行った場合に杭周面摩擦の増大により一時打設不能になる場面が見られた。また、ハンマグラブでの杭内掘削の際に杭内の廃棄物が泥状となり掘削が困難になる場面が見られた。

また、後述のカメラ観察で、底面に廃棄物の散在は確認されたが、杭先端への連れ込みは確認されなかった。

（図-5.2）

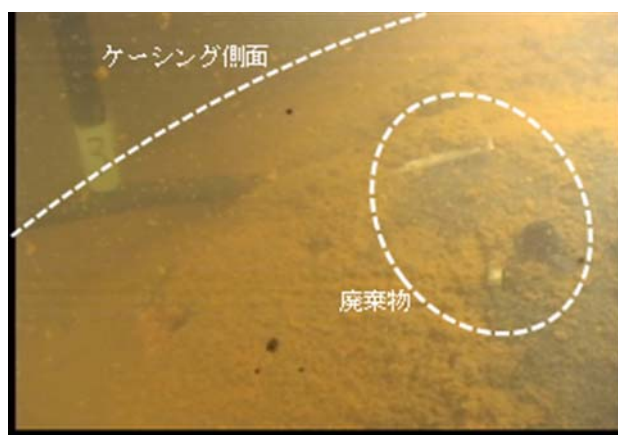


図-5.1 case1水中カメラ観察写真

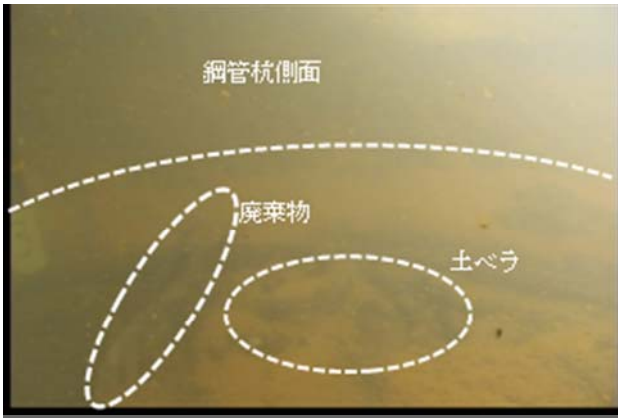


図-5.2 case2水中カメラ観察写真

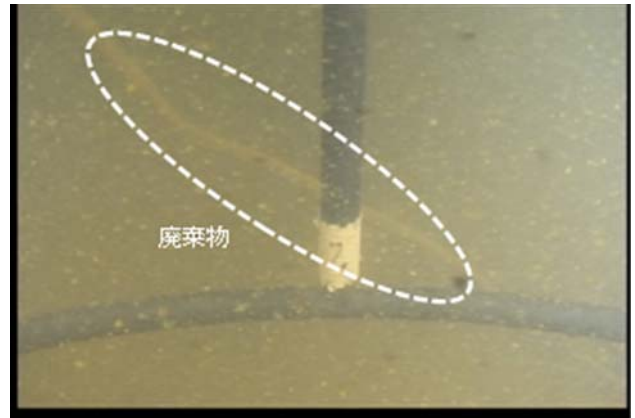


図-5.4 case4補助工法施工前水中カメラ観察写真

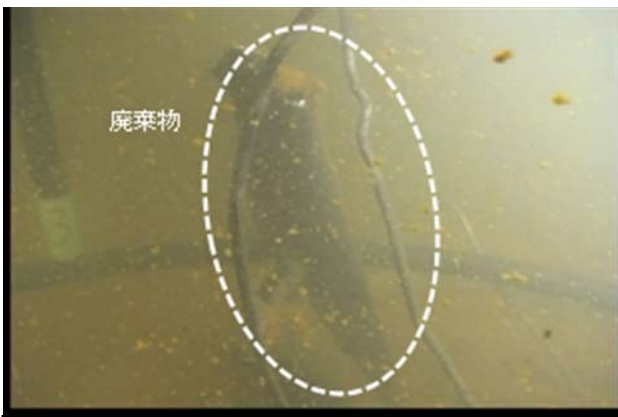


図-5.3 case3水中カメラ観察写真



図-5.5 case4補助工法施工後水中カメラ観察写真

c) case3打撃（一重管）

計画では-12.29m程度で遮水層が確認できる想定であったが、遮水層が確認されたのは-14.00mであった。

杭の打設においてはGL-2.0m付近で障害物（鉍滓層）にあたり一時打設不能になる場面が見られ、GL-3.8mまでブレーカにて障害物の破碎を行った。その後の打設においても障害物層にあたっていると思われる場面はあったが打設は可能であった。

また、後述のカメラ観察で、底面に多くの廃棄物の散在と鉛直方向に突出している廃棄物が確認された。この鉛直に突出している廃棄物は杭先端に連れ込まれていると考えられる。（図-5.3）

d) case4打撃+補助工法（一重管）

計画では-11.09m程度で遮水層が確認できる想定であったが、遮水層が確認されたのは-12.50mであった。

杭の打設においてはGL-2.5m付近で障害物層（鉍滓層）にあたり一時打設不能になる場面が見られ、GL-3.5mまでブレーカにて障害物の破碎を行った。その後の打設においても障害物層にあたっていると思われる場面はあったが打設は可能であった。また、補助工法については拡大ビットでの掘削及び底ざらいバケットの施工に際し障害は発生しなかった。

また、後述のカメラ観察で、補助工法実施前の観察で

は杭先端への連れ込みと考えられる鉛直方向の廃棄物の突出が確認されたが、補助工法施工後の観察では廃棄物は確認されなかった。（図-5.4, 5.5）

(2) 杭内カメラ観察結果

計画では遮水層確認後、1m及び2mの時点でカメラ観察を行う予定であったが、前述の遷移層があったことにより、予定通りの深度ではカメラ観察は実施できなかった。また、水替えを行っただけでは浮遊物による懸濁がひどく観察が困難であったが、水替後、一晚静置することで懸濁物は沈降し杭の周面における廃棄物の連れ込みが確認できる程度まで改善された。

(3) 杭内水位観測結果

杭打設時から2017年3月15日までの水位観測結果を以下に示す。各ケース共4.3～10.7cmの水位低下が見られた。この水位変動は杭内水位を周辺地盤の地下水位から低下させて試験を実施している事を考慮すると、杭内からの漏水ではなく、杭内の水の蒸発によるものと推察される。（図-5.6）

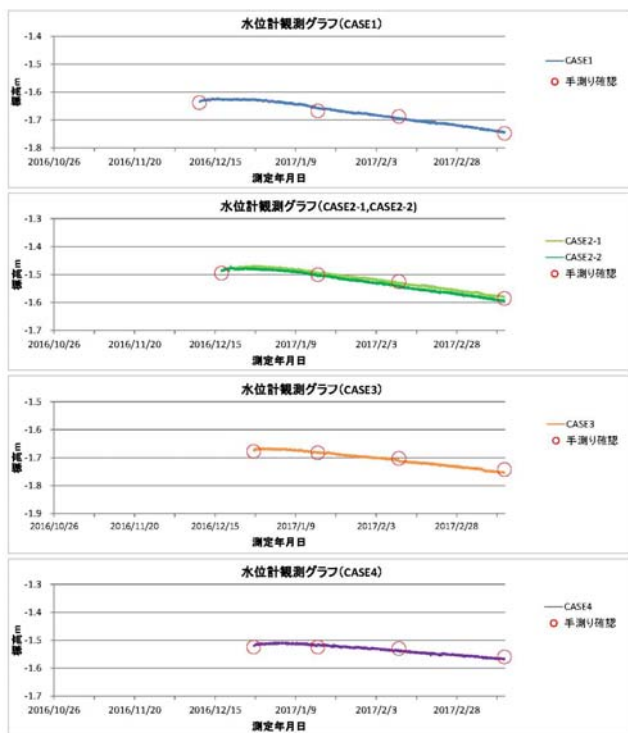


図-5.6 杭内水位観測結果

6. まとめ

(1) 廃棄物の連れ込みについて

a) オールケーシング+中堀圧入工法の有効性の確認

廃棄物の連れ込みもなく、焼却灰等地盤においても当該工法の有効性が確認された。

b) 中堀圧入工法、打撃工法での有効性の確認

打撃工法においては廃棄物の連れ込みが確認された。一方、中堀圧入工法において、廃棄物の連れ込みは確認されなかった。これはオーガスクリュによって杭先端を削孔しながら圧入するため廃棄物の連れ込みが生じにくいと考えられる。

また、打撃工法においても拡大ビット及び底ざらいバケットによる補助工法を用いる事において廃棄物の連れ込みは確認されなかった。

(2) 施工時の課題の抽出について

a) 障害物層に対する留意点

焼却灰を主とする処分場であっても、礫や仮設道路の跡と思われる鉋滓層など、杭が貫入不能になるような障害物が埋設されている可能性があることが確認された。このような場合ブレーカによる破砕や深い箇所であればオールケーシングによる先行削孔などが追加が必要となる。なお、オールケーシング+中堀圧入で施工した場合

においては当初からオールケーシングによる先行掘削を行うため、このような不測の事態にも当初計画通りの工法で対応が可能である。

また、施工計画の段階において事前調査として詳細な埋立履歴だけでなく、仮設道路の状況等も含めた埋立時の履歴を入手することで最適な工法の選択に役立てられると考える。

b) オーガスクリュによる掘削について

中堀圧入工法を単独で用いる場合、杭先端への連れ込み確認のための杭内掘削が、廃棄物と保有水が混合され、泥土状となり、その中に含まれる針金等がハンマグラブの可動部に絡まり、掘削が困難になる事が判明した。

(3) 水中カメラ観測について

杭先端における廃棄物の連れ込み状況の確認方法として一定の有効性が確認できた。透明度を上げる方法として静置時間を設けること、水替え時に濁りの少ない水、汚れのない水槽を用いる事が考えられる。

(4) 杭内水位観測結果について

case3において廃棄物の連れ込みが確認されたが、いずれの杭についても水位は減少傾向であり、杭周囲における遮水性は確保されていると考えられる。なお今後、一年間継続観測を実施する予定である。

謝辞：本試験施工を実施するにあたり、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の委員・関係者から多くのアドバイスをいただいた。また、試験施工を実施するにあたっては、施工計画の立案及び事前調査において、中電技術コンサルタント株式会社、現地施工において、東洋建設株式会社、杭内水位のモニタリングにおいて応用地質株式会社から多大なご協力をいただいた。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 菊池喜昭, 森脇武夫, 勝見武, 平尾隆行, 蔦川徹, 服部晃, 岡本功一, 山田耕一, 佐々木広輝: 管理型海面処分場に打設する基礎杭が底面遮水基盤に与える影響, 港湾空港技術研究所資料No. 1252, 2012年
- 2) 前田宏, 宮崎祥一, 諸星一信, 長廻幹彦, 馬場英之: 三重管基礎杭工法の開発・施工, 一般社団法人国土技術研究センター第10回国土技術開発賞ホームページ
- 3) 渡部要一, 水谷崇亮, 金子崇, 増門孝一: 海面処分場における基礎杭の適用性—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, 2016年