

参考資料編

1. 高度利用技術の紹介

管理型海面最終処分場の高度利用を可能とするための対策技術には、埋立終了後の暫定利用及び処分場廃止後の跡地利用時における対策技術だけでなく、埋立終了前の段階において、護岸構造や埋立工法上の対策により埋立終了後の高度利用を可能にするものも存在する。

表-1 に管理型海面最終処分場の高度利用を可能とするための対策技術の一覧を示す。表中、着色部分が、他の技術との併用を問わず、単独で利用高度化を可能とする対策技術である。着色部分以外の利用技術については、単独では利用高度化に効果があるわけではないが、他技術と併用することで利用高度化に資する技術や、表層・中層利用等の跡地利用の促進に一定の効果をもつ技術である。

なお本表においては、現場での適用実績を有する技術だけでなく、アイデア段階や基礎実験の段階の技術についても幅広く対象とした。

表-1 管理型海面最終処分場の高度利用を可能とするための対策技術 (1/2)

※着色部分の対策技術が利用高度化に資する技術である。

ライフステージ	対策技術	技術の概要	利用高度化効果	適用対象		形質変更部位	管理型海面最終処分場での実績	管理型海面最終処分場の利用高度化		技術の適用の時期			技術的留意事項	規制上の留意事項
				廃棄物層	基礎地盤			技術熟度	適用可能性	計画時	埋立中	埋立後		
護岸建設	護岸本体部 (中仕切り護岸を含む)	海面処分場の外郭を構成する施設。構造形式として、重力式(ケーソン等)や矢板式(鋼矢板、鋼管矢板等)、セル式、緩傾斜式の実績が多い。	土地利用計画を踏まえた平面配置(中仕切り護岸の配置の工夫など)や、護岸形式とすることで、将来的に構造物の設置を可能とする。 例えば、廃棄物護岸の前面に岸壁を築造することで、遮水性と外的安定性を分ける護岸構造等が考えられる。	-	○	-	有	1	中	○			・跡地利用を踏まえた護岸構造形式の検討が必要である。 ・埋立計画段階で、土地利用計画を決定しておく必要がある。	港湾計画時点での詳細な跡地利用計画の立案に反映させる必要がある。また、計画の変更を伴う場合には変更手続きが必要である。(公有水面埋立法)。
	護岸基礎地盤 (地盤改良)	廃棄物埋立護岸の安定性を確保するため、基礎地盤を改良することで強度増加等を図る工法。主な工法として、サンドコンパクションパイル工法(SCP)や深層混合処理工法(DM)がある。	土地利用計画を踏まえた地盤改良範囲を設定することで、将来的に構造物の設置を可能とする。	-	○	-	有	1	中	○			・跡地利用を踏まえた改良範囲を設定する必要がある。 ・埋立計画段階で、土地利用計画を決定しておく必要がある。	〃
	埋立地内基礎地盤 (地盤改良)	埋立地内の基礎地盤の安定性確保、及び遮水性確保のための地盤改良で、主な工法として深層混合処理工法がある。	土地利用計画を踏まえた地盤改良範囲を設定するとともに、区画埋立工法を併用することで、将来的に構造物の設置を可能とする。	-	○	-	無	1	低	○			〃	〃
埋立	区画埋立(分別)	埋立地内を複数の区画に分け、将来の土地用計画に合わせた複数の受け入れ基準を設定して埋立てる工法。	埋立地内基礎地盤の地盤改良との併用により、早期廃止による早期の利用高度化を可能とする。	○	-	-	有	-	-		○		汚濁度の高い廃棄物を投入した区画(超軟弱な廃棄物層)の対策が必要である。	〃
	薄層埋立	廃棄物を底開ページや浮き桟橋、フローティングコンベア等で薄層に撒き出し、均一な地盤を造成する工法。	区画埋立(分別)及び埋立地内基礎地盤の地盤改良の併用により、早期廃止による早期の利用高度化を可能とする。	○	-	-	有	-	-		○		-	〃
	準好気性埋立 (水位より上)	地下水面下は安定型廃棄物で埋立て、陸化した時点で管理型廃棄物を陸上埋立処分と同様の準好気性埋立を行い、保有水等の汚泥成分濃度を低減させる工法。	〃	○	-	-	有	-	-		○		-	〃
維持管理・跡地利用	地盤改良工	盛土工	覆土上に盛土を行い、盛土上で跡地利用を図る工法。跡地利用にあたり、掘削廃棄物(覆土を含む)が発生しない。	本工法は利用高度化に効果はない。	-	-	表層	有	-	-		○	・盛土により地盤沈下することから、既設構造物(護岸や遮水工)への影響が懸念される。 ・形質変更に伴い保有水等の浸透経路の変化などに留意する必要がある。	処分場の閉鎖から廃止までの期間は維持管理基準が適用され、廃止後は最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドラインが適用される。
		廃棄物の掘削・置換	廃棄物層を除去(全層あるいは一部)し、良質土で置換えた後に構造物等を建設する。廃棄物層の沈下対策、及びガス対策工法として効果がある。	本工法により土砂埋立地と同じ方法での構造物設置を可能とする。	○	-	中層 底層	有	4	中		○	・形質変更に伴う掘削廃棄物の適正処理や水処理が必要である。 ・形質変更に伴い保有水等の水質、発生ガスの性状と量の変化、保有水等の浸透、流出経路などの変化が懸念される。	掘削廃棄物の処理方法については、処分場の閉鎖後と廃止後で異なることが想定されるため、環境部局への事前確認が必要である。 ・処分場の閉鎖から廃止までの期間は維持管理基準が適用され、廃止後は最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドラインが適用される。
	載荷盛土工法	盛土荷重によって軟弱粘性土地盤を圧密促進させる工法。粘性土地盤の支持力を増すとともに不等沈下を抑えることができる。	本工法単独では利用高度化に効果はないが、底層を対象とした構造物基礎工(杭など)との併用により、利用高度化を可能とする。	○	○	表層	有	-	-		○		載荷盛土による底部軟弱粘土地盤の圧密沈下に伴う保有水等の浸透経路の変化などに留意する必要がある。	処分場の閉鎖から廃止までの期間は維持管理基準が適用され、廃止後は最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドラインが適用される。
	パーカトルレン工法 (不貫通SD)	粘性土地盤内に遮水層を貫通させない砂柱を造成し、排水距離を短縮することで粘性土地盤の圧密促進を図る工法。粘性土地盤の支持力を増し、不等沈下を抑えることができる。	〃	-	○	底層	有	-	-		○		ドレン打設にあたり、残留する遮水層厚(粘性土層)を確実に確保する必要がある。	〃
	プラスチックボードドレン+真空圧密工法	底面遮水層を5m以上確保できる位置で回収可能なプラスチックボードドレン工法と真空圧密工法の併用により遮水層の機能を損なうことなく粘性土層の圧密促進を図る工法。粘性土地盤の支持力を増すとともに不等沈下を抑えることができる。	〃	-	○	底層	有	-	-		○		〃	〃
	振動締め工法	棒状の振動機を地盤中に挿入し、直接廃棄物地盤を締め固めることで支持力を増す工法。	〃	○	-	中層	無	-	-		○		形質変更に伴い保有水等の水質、発生ガスの性状と量の変化、保有水等の浸透、流出経路などの変化が懸念される。	〃
	動圧密工法	地表面に重錘を自由落下させ、廃棄物地盤を締め固めることで、減容化と支持力増加を図る工法。	〃	○	-	中層	有	-	-		○		〃	〃
	浅層/中層混合処理工法(固結工法)	地盤内でセメントや石灰等の安定処理材を混合し、地中に柱状の改良体を築造し、地盤の支持力を増す工法。	〃	○	-	中層	無	-	-		○		〃	〃
	サンドコンパクションパイル工法	地盤中に締め固めた砂柱あるいは砂礫柱を、振動あるいは衝撃荷重によって築造し、地盤の支持力を増す工法。	〃	○	-	中層	無	-	-		○		〃	〃
深層混合処理工法	地盤内でセメントなどの安定処理剤を注入しながら攪拌翼で混合し、地中に柱状の改良体を築造する工法で、地盤の支持力を増す工法。	事前に廃棄物を掘削して良質土で置き換えたり、攪拌に伴い廃棄物の連れ込みが無いことを確認することで、本工法の施工が可能となる。 施工後は、構造物設置のための基礎地盤として利用可能となる。	-	○	底層	無	1	中		○		形質変更に伴い保有水等の水質、発生ガスの性状と量の変化、保有水等の浸透、流出経路などの変化が懸念される。	遮水層を貫通する場合、遮水層の健全性を実験等により確認する必要がある。 ・掘削廃棄物の処理方法については、処分場の閉鎖後、廃止後で異なることが想定されるため、確認が必要である。 ・処分場の閉鎖から廃止までの期間は維持管理基準が適用され、廃止後は最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドラインが適用される。	

技術熟度：- 単独では高度利用に資さない、1 アイデア段階、2 理論的研究、基礎実験の段階、3 実証が必要な段階、4 実際の施工事例がある段階

適用可能性：- 単独では高度利用に資さない、高 実用化の可能性が高く、経済性に優れ、管理型海面最終処分場での適用が有望視される技術、中 実用化の可能性は高く、管理型海面最終処分場での適用が有望視される技術、低 管理型海面最終処分場での適用に検討要素がある技術

表-1 管理型海面最終処分場の高度利用を可能とするための対策技術 (2/2)

※着色部分（橙、黄緑）の対策技術が利用高度化に資する技術である。
このうち黄緑で示す技術は実証試験中であり、試験結果等を踏まえ、
内容を見直すことも考えられる。

利用 段階	対策技術	技術の概要	利用高度化効果	適用対象		形質 変更 部位	管理型海 面最終処 分場での 実績	管理型海面最終処 分場の利用高度化		技術の適用の 実施時期			技術的留意事項	規制上の留意事項
				廃棄 物層	基礎 地盤			技術 熟度	適用 可能性	計画 時	埋立 中	埋立 後		
維持管理・跡地利用	フローティング基礎 (+ジャッキアップ)	フローティング（浮き）基礎とすることで、杭を打設することなく遮水層をそのままの状態に維持したまま建物を建設する工法。不等沈下による建物傾斜の修正はジャッキシステムにより行う必要がある。	本工法は利用高度化に効果はない。	○	—	中層	有	—	—			○	—	・掘削廃棄物の処理方法については、処分場の閉鎖後、廃止後で異なることが想定されるため、確認が必要である。 ・処分場の閉鎖から廃止までの期間は維持管理基準が適用され、廃止後は最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドラインが適用される。
	鋼管杭 (二重管) オールケーシング+ 本杭打設	ケーシングチューブを回転(あるいは動揺)して地盤内に押し込み、内部の廃棄物をハンマーグラブにて取り除く。ケーシング内に廃棄物が存在しない状態とした上で、杭を中掘りや打撃等により打設する工法。 ・三重管基礎杭工法(場所打ち杭)をベースとし、外周管を割愛した効率的で安価な工法であり、底面遮水構造を維持したまま基礎杭を打設する工法。	様々な廃棄物による埋立地盤に対しても適用可能で、三重管工法より経済的であることから、高度利用化に対して高い効果が期待できる。	—	○	底層	無	3 実証 試験中	高			○	・ケーシングチューブの最小外径が 1m 程度であるため、小径の杭に適用する場合には、掘削除去数量が多くなり経済性に劣る可能性がある。 ・遮水層を貫通する場合、遮水層の健全性を実験等により確認する必要がある(ガイドライン) ・掘削廃棄物の処理方法については、処分場の閉鎖後、廃止後で異なることが想定されるため、確認が必要である。 ・処分場の閉鎖から廃止までの期間は維持管理基準が適用され、廃止後は最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドラインが適用される。	
	鋼管杭 (一重管) 中掘り・廃棄物 掘削除去併用	・杭の中空部に予めオガースクリュー等を挿入し、削孔と同時に杭を圧入する。杭が廃棄物層を貫通した後、ハンマーグラブ等による杭内の廃棄物等の掘削除去を併用する工法。	本工法は、あらゆる事態を想定した検討や施工における工夫を前提としているが、利用高度化に対して効果が期待できるものと考えられる。	○	○	底層	無	3 実証 試験中	低				○	・本工法は、中掘りによる杭打設と杭内の廃棄物の掘削除去を併用する工法であるが、オガースクリューを用いて廃棄物層を掘削する場合、紐状の廃棄物がオガースクリューに絡み付くなどして掘進や排土が不能になる可能性があり、オガースクリューは廃棄物の掘削には適用が困難となるおそれがあることに留意が必要である。 ・杭先端部における廃棄物の連れ込み防止対策として、効果と適用性の確認が必要であるが、杭の先端形状等の工夫も考えられる。
	PHC 杭 (一重管) 中掘り・廃棄物 掘削除去併用	〃	本工法は、上段の、鋼管杭における前提の他、PHC 杭に対する打設工法や杭の防食について十分な検討や確認を行った上で適用することで、利用高度化に対して効果が期待できるものと考えられる。	○	○	底層	無	3 実証 試験中	低				○	・焼却灰等に含まれる塩化物などに起因した高濃度塩水とコンクリート表面が直接接触することで生じる化学的浸食によるコンクリートの劣化が懸念される。 ・オガースクリューを用いて廃棄物層を掘削する場合、上段の鋼管杭の打設に関する留意点に加えて、PHC 杭は同外径の鋼管杭に比べ内径が小さいことから、廃棄物地盤への杭打設時に杭内部の目詰まりが生じやすく、杭本体に割れが生じる可能性がある他、杭の貫入が不能となる可能性がある。
	鋼管杭 (一重管) 打撃・廃棄物掘 削除去併用	・パイロハンマーや油圧ハンマー等を用いた打撃工法により杭を打ち込み、杭が廃棄物層を貫通した後、ハンマーグラブにより杭内の廃棄物等を掘削除去するとともに、拡大掘削ビット及び底ざらいバケットによる孔底処理を併用する工法。	本工法は、あらゆる事態を想定した検討や施工における工夫を前提としているが、利用高度化に対して効果が期待できるものと考えられる。	○	○	底層	無	3 実証 試験中	低				○	・本工法は、杭打設と杭内の廃棄物の掘削除去を併用に加え、杭先端部に連れ込まれた廃棄物を除去するための孔底処理を行うことを基本としており、必要な施工機材が多様となる。 ・杭先端部における廃棄物の連れ込み防止対策として、効果と適用性の確認が必要であるが、杭の先端形状等の工夫も考えられる。
	鋼管杭(塗布剤塗布) (一重管) 打撃・廃棄物掘 削除去併用	〃	〃	○	○	底層	無	3 実証 試験中	低				○	・上段の内容の他、塗布剤を補助的に使用することで、遮水性の確保をより確実にすることができる。
既成杭・場所打ち杭工法 (三重管基礎杭工法) オールケーシング +外周管打設 +本杭打設	ケーシングチューブを回転(あるいは動揺)して地盤内に押し込み、内部の廃棄物をハンマーグラブにて取り除く。ケーシング内に廃棄物が存在しない状態とした上で、外周管を立込み、遮水性を確保した後、本杭を立込む工法。 ・底面遮水構造を維持したまま基礎杭を打設する工法。	様々な廃棄物による埋立地盤に対しても適用可能で(施工実績有)、高度利用化に対して効果が期待できる。	—	○	底層	有	4	中				○	利用高度化の実績はあるものの、施工コストが高く、工期も長期化することに留意する必要がある。	
鋼管矢板井筒基礎	鋼管杭を継手を介した完全な連続閉鎖型の井筒状(円形、または矩形)に打ち込み、井筒の内部を掘削した後、フランジを構築し、その上に橋脚等を構築する工法。	鋼管矢板打設前に廃棄物層を掘削して遮水性材料で置き換えたり、遮水性材料の性能や杭周囲(特に継手部)の遮水性等を確認することで、本工法の施工が可能となる。	—	○	底層	無	—	—				○	・鋼管杭が連続するため、廃棄物掘削のためのケーシングが利用困難で、遮水性材料による置き換えとその性能評価が必要である。 ・廃棄物の掘削・置換との併用となるため、三重管基礎杭工法よりも高価となる。	

技術熟度：— 単独では高度利用に資さない、1 アイデア段階、2 理論的研究、基礎実験の段階、3 実証が必要な段階、4 実際の施工事例がある段階
適用可能性：— 単独では高度利用に資さない、高 実用化の可能性が高く、経済性に優れ、管理型海面最終処分場での適用が有望視される技術、中 実用化の可能性は高く、管理型海面最終処分場での適用が有望視される技術、低 管理型海面最終処分場での適用に検討要素がある技術

<利用高度化技術の適用事例>

対策技術	事例の特徴(施工時の対策等)	事例
場所打ち杭(三重管基礎杭工法)	本杭打設に伴う廃棄物層撤去(オールケーシング工法)及び遮水機能維持のための外周管打設による三重管基礎杭工法。	東京港臨海道路(東京ゲートブリッジ)
廃棄物掘削・置換え	大型施設の躯体部の杭基礎化ならびにごみ層の除去。	夢の島処理場大型施設(杭基礎躯体部)
廃棄物掘削・置換え+鋼管矢板井筒基礎	鋼管矢板打設前の廃棄物層撤去(オールケーシング工法)及び置換え、保有水等流出防止のための鋼製遮水壁の設置。	第二名神高速道路桑名インターチェンジ

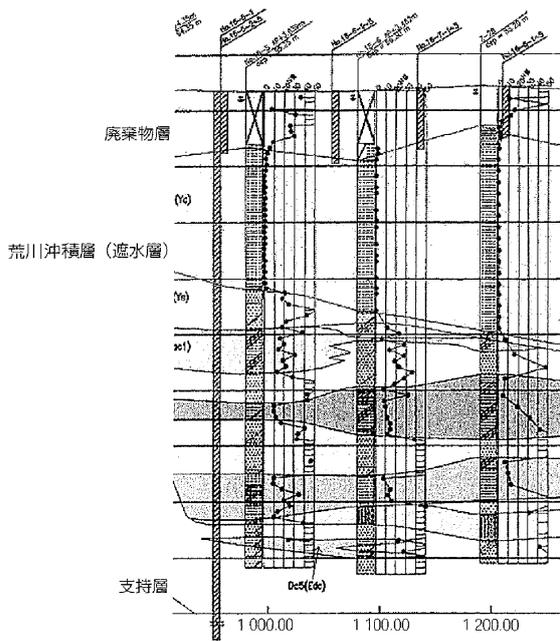


図-3 柱状図

第4工区の地盤状況(図-3)は、10m程度の埋立廃棄物層の下に20~40m近く軟弱な粘土層(荒川沖積層)が堆積しており、構造物を支えることができる支持層はその下に位置する。したがって、構造物の基礎杭はこれらの層を貫くこととなる。

この厚く堆積する軟弱な荒川沖積層は、処分場の重要な機能である遮水層(透水係数 10^{-5} cm/s以下が層厚5m以上)の役割を果たしており、これにより処分場内の汚水が区域外に拡散することを防いでいる。基礎杭が遮水層を貫くことは、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(以下、廃掃法)の処分場の構造変更となり、廃棄物処理施設の変更手続きが必要となる。こうしたことから、東京港臨海道路(Ⅱ期)事業は国土交通省の直轄事業であるが、都が海面に廃棄物処分場を建設してきたこと、また、その廃棄物地盤上の施工に関する経験を持っていたこともあって、5~7工区を除く区間においては、都が施工を受託している。

2. 廃棄物地盤上における基礎杭施工の課題

2-1 杭打設時の廃棄物巻き込みによる汚染拡散防止

第一に、廃棄物層の上から直接基礎杭を打設すると、廃棄物を杭先端に巻き込んだ状態で、ごみや浸出水を遮水層下まで引っ張り込むことが考えられる。

このことから汚染拡散を防ぐため、廃棄物を取り除いた状態で杭を打設できるように三重管基礎杭工法(図-4)で施工することとした。

2-2 杭と地盤の境界面の遮水性能確認

次に課題となったのが、長い間に杭と遮水層の境界面を介して、汚染された浸出水が遮水層を通過し、処分場の区域外に拡散するのではないかという点であった。杭と遮水層の境界面における透水性については、過去に検証された例はなく、これを実測することも技術的に非常に困難であ

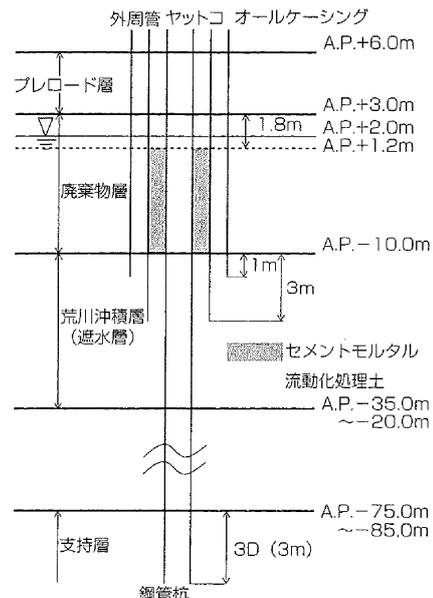


図-4 三重管基礎杭工法の概念

る。そこで、遮水層の浸透流計算と実験による検証を行った。計算上は、廃掃法の基準を十分に満足する結果となったが、さらに遠心模型実験装置(写真-1)を使って、大掛かりな確認実験を行った。この実験は、1/100サイズの模型を作り、模型全体を高速で回転させることにより、杭の境界面と一般部分とに浸透の差があるかどうかの確認実験を行ったものである。

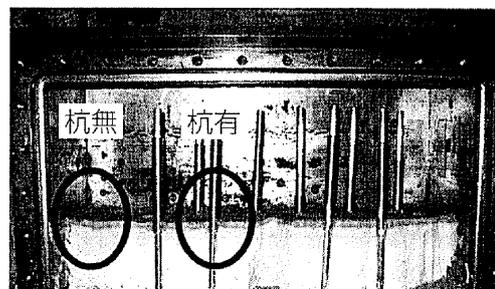
その計算と実験結果から、杭と地盤の境界面は遮水性能上弱点とはならないということが確認できた。

2-3 地震時における杭と遮水層の空隙発生の有無の確認

最後に課題となったのが地震により、遮水地盤と杭の間に空隙が発生し、この空隙を通過して汚染された浸出水が拡散するのではないかという点であった。

廃棄物地盤と遮水層に打ち込まれた杭径 $\phi 1000$ mmの杭頭に、地震時の許容変位量である $\delta=1.5$ cmが生じるように水平力を作用させた場合、遮水層上端での杭の地中部変位量は $\delta=0.2$ cm程度となる。

遮水層の粘着率 C 、変形係数 E_0 はボーリング調査結果より、 $C=20$ kN/m²、 $E_0=1600$ kN/m²で、杭($\phi 1000$ mm、 $t=19$ mm)の水平方向地盤反力係数は $K_h=8800$ kN/m³である。



杭周りと杭の無い一般部の地盤と比較しても浸透具合に違いはなく、杭に沿って赤色水の浸透も見られない。

写真-1 遠心模型実験

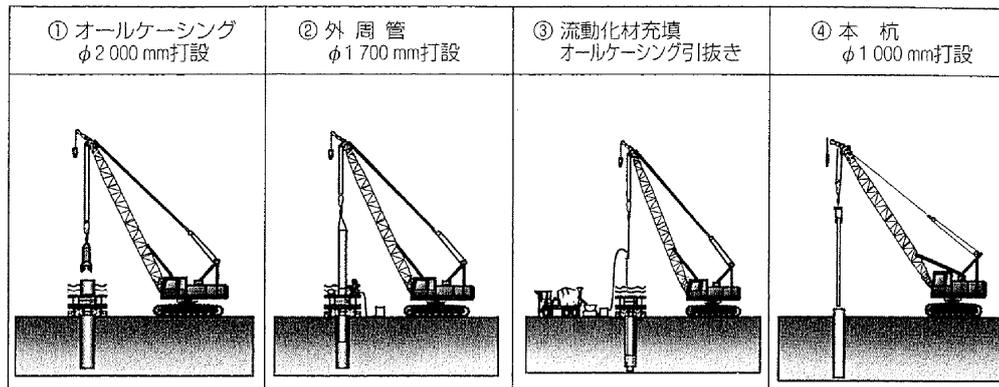


図-5 施工手順

したがって、杭の変位 ($\delta=0.2$ cm) による遮水層の杭反力は次のようになり、遮水層の粘着力 (C) 以下となる。

$$\begin{aligned}
 p &= K_h \times \delta \\
 &= 17.6 \text{ (kN/m}^2\text{)} < C \\
 &= 20 \text{ (kN/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 p &: 1\text{m}^2\text{あたり杭反力 (kN/m}^2\text{)} \\
 K_h &: \text{杭の水平方向地盤反力係数 (8 800 kN/m}^3\text{)} \\
 \delta &: \text{杭の変位量 (0.002 m)}
 \end{aligned}$$

よって、地震時に杭変位が生じたとしても、遮水層は十分に弾性限度内にあることが計算上明らかとなり、遮水層は杭の変位に追従し、境界面に隙間が生じる可能性はないと判断した。

3. 基礎杭構造

平成15～16年度に設置された東京臨海道路Ⅱ期事業技術検討委員会「耐震・基礎工構造検討分科会」「廃棄物地盤検討分科会」(両分科会ともに委員長：東京工業大学 日下部治教授)での検討結果を踏まえると図-4に示すような構造断面および各根入れ長さとなった。

4. 廃掃法の変更手続き

三重管基礎杭工法は、以上の検討を踏まえ、廃掃法における一般廃棄物および産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を満たす施工方法として、都知事より平成16年12月に許可を受けた。

5. 三重管基礎杭の施工

5-1 施工手順

本工事の施工場所は廃棄物最終処分場内であることから、杭の打設においては、廃棄物層から発生する浸出水を遮水することが重要な条件となる。そのため、オールケーシング工(全旋回掘削工法)のケーシングパイプ($\phi 2000$ mm)や、外周管杭($\phi 1700$ mm)の先端部が遮水層の粘性土に確実に貫入されていることが必要となる。

本工事では、各橋台・橋脚において、遮水層の高さ確認のボーリング調査を行い、杭の所要長さを決定し、図-4に示す杭の根入れ長さの確保に努めた。以下に施工(図-5)に際して留意したこと等を記述する。

手順①オールケーシング工によりケーシングパイプの打設を行い、鉛直方向の傾斜は、1/500 (0.2%) 以内に管理し、遮水層に1 mの根入れをした。

ケーシング内部をハンマグラブにより遮水層上端まで掘削を行うが、廃棄物層の掘削に伴い、有毒ガス(メタンガス、一酸化炭素等)や臭気の発生があったことから、ガス検知器を設置して監視を行うとともに、施工箇所には送風機を設置し、作業員はガスマスクを準備して安全に留意した。

ケーシング内部の廃棄物を掘削撤去したのち真水で洗浄を行い、廃棄物層からの浸出水がケーシング内部に流入していないことを確認するために、電気伝導度の測定(10 ms/cm未満)を行った。

手順②外周管杭の打設は、管の外側に50 mm高のスペーサーを取り付け、ケーシングパイプとの接触を避けるとともに、杭の傾斜管理は1/650 (0.15%) 以内となるように施工を行い、遮水層に3 mの根入れを行った。

手順③外周管打設後、外周管とケーシングパイプとの空隙部(約15 cm)の間詰については、平成17年度同地区での三重管杭施工実績において、廃棄物地盤で地熱が50～60℃前後と高温であり、セメントモルタルが早期の異常凝結を起こし、ケーシングパイプの引き抜きに支障をきたしたことから、本工事では、硬化速度の遅い流動化処理土(0.13～0.55N/mm²)を充填することとし、ケーシングパイプの引抜きを行った。

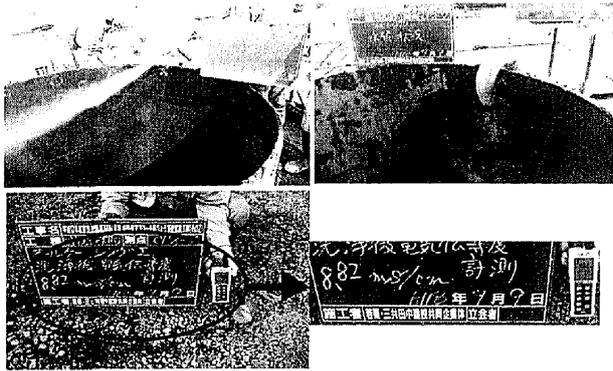
手順④鋼管杭(本管、 $\phi 1000$ mm)の施工は、外周管内部に浸出水の浸透が無いことを確認したのち、三点式杭打機により油圧ハンマの打撃工法で打設を行った。杭の傾斜管理は1/150 (0.67%) 以内となるように施工した。また、本杭打設後、外周管との空隙部(約35 cm)は、間詰にセメントミルクを充填し外周管との一体化を図った。

5-2 超軟弱層が堆積した地盤における長尺杭の支持力管理

本工事で施工する杭は長大橋梁の基礎杭であり、杭長は76.5～86 mと長尺であった。

また、杭には常時に軟弱層の圧密沈下によるネガティブフリクションが作用するため、確実な支持層への根入れを確保する必要があり、施工時の支持力確認が重要となる。

支持力確認方法としては、道示式やHileyの式などが一般的であるが、ネガティブフリクションの作用する地盤抵



上段 外周管φ1700mmの洗浄および水替え写真
下段 電気伝導度測定写真

写真-2 浸出水の有無確認

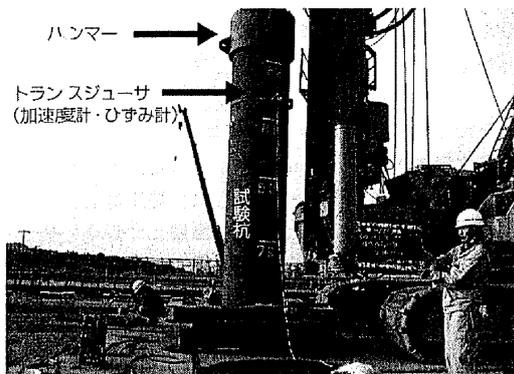


写真-3 衝撃載荷試験

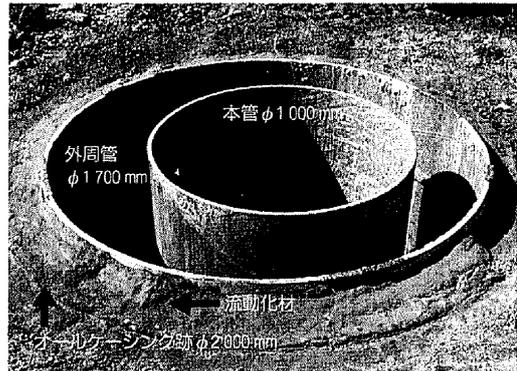


写真-4 基礎杭三重管施工



写真-5 施工完了

杭の分離ができないことや、長尺杭に適用した場合の信頼性に課題が残った。

このため本工事では、杭の打止め時の状態（施工時）と地盤回復後（養生後）の衝撃載荷試験結果の相関に基づいて、すでに得ている静的載荷試験結果を反映した施工管理式（Hileyの簡略式を基本）を用いて支持力確認を行った。

おわりに

廃棄物地盤上での基礎杭は、日本で初めての施工となるものであるが、平成17年2月よりスタートした処分場側の三重管による基礎杭は、ほぼ施工が終了し、現在、下部工の建設工事を行っている。

本稿は、基礎杭の施工を中心に記述してきたが、その内容は土木技術的にきわめて難易度も高く、さらに類似の廃棄物処分場の施工に先鞭をつける技術であるにもかかわらず、誌面の都合で十分な説明ができないのが残念である。また、施工に当たっては初めてのことはばかりで、試行錯誤の連続の中ではあったが、こうした大規模事業の執行に携わることのできることを喜んでいる次第である。

なお、Hileyの簡略式を基本とする施工管理式の説明は、誌面の都合で割愛したが、何らかの機会に説明できればと考えている。

最後に、都の環境局をはじめ、関係者の皆様には日頃から大変お世話になっていることを、誌面を借りて感謝を申し上げる次第です。

[プロジェクトデータ]

所 在：東京都江東区青海2丁目地先 中央防波堤外側埋立地
 事業主：国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所（東京都港湾局受託）
 基本設計：国土交通省関東地方整備局港湾空港技術調査事務所
 （株）オリエンタルコンサルタンツ
 詳細設計：国土交通省関東地方整備局港湾空港技術調査事務所
 （株）構造技術センター
 全体委員会（委員長：三木 千壽）（(財)沿岸開発技術研究センター）
 耐震・基礎工構造検討分科会（委員長：日下部 治）
 廃棄物地盤検討分科会（委員長：日下部 治）
 施 工：東京臨海道路（Ⅱ期）中防側アプローチ橋
 基礎工（その1）大林・東京建設JV
 （その2）若築・三共田JV
 工 期：基本設計 平成15年11月～平成16年 3月
 詳細設計 平成16年 5月～平成17年 2月
 施 工 平成18年 2月～平成19年 2月

Ⅱ.平成 26 年度 東京港基礎杭打設試験工事

港湾空港技術研究所資料 No. 1321

海面処分場における基礎杭の適用性 ー未処理廃棄物地盤における打設実験と杭周面透水試験ー

I S S N 1 3 4 6 - 7 8 4 0

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1321 June 2016

海面処分場における杭基礎の適用性
ー未処理廃棄物地盤における打設実験と杭周面透水試験ー

渡部 要一
水谷 崇亮
金子 崇
増門 孝一

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. 杭打設の条件設定	4
2.1 試験杭1	6
2.2 試験杭2	6
2.3 試験杭3	6
2.4 試験杭4	6
2.5 試験杭5	6
3. 杭打設の施工状況	6
3.1 試験杭1	6
3.2 試験杭2	6
3.3 試験杭3	6
3.4 試験杭4	7
3.5 試験杭5	7
4. 杭周面の透水試験	7
5. まとめ	9
謝辞	9
参考文献	9
付録-1 杭打設実験の詳細図面	11
付録-2 試験杭施工状況の記録	14
(1) 試験杭1	14
(2) 試験杭2	17
(3) 試験杭3	19
(4) 試験杭4	21
(5) 試験杭5	24
付録-3 杭先の水中カメラ観察	27
付録-4 施工時の水位観測	30
付録-5 遮水層粘土の圧密・透水・変形特性	32

Applicability of piled foundation at confined disposal facilities in coastal area – in situ demonstration for pile-driving and impermeable performance at untreated wastes ground–

Yoichi WATABE*¹
Takaaki MIZUTANI*²
Takashi KANEKO*³
Koichi MASUKADO*⁴

Synopsis

Locations of confined waste disposal facilities in coastal area generally have a great potential in land use for logistics, factories, commercial facilities, leisure facilities, and so on; however, most of them have not effectively used, because leakage of contaminated groundwater is concerned when piles are driven through the soft clay layer which takes a role as hydraulic barrier. In this study, applicability of piled foundations to the confined waste disposal facilities was examined through a series of field tests to demonstrate the performance of impermeability around piles in the clay layer (hydraulic barrier) when the piles are driven under a high level of construction management and quality control. The site conducted the field tests was reclaimed since the late 1970s with non-incineration wastes such as raw trash, plastic, vinyl, metal, concrete fragments. From the field tests, the following conclusions were obtained. When a steel pipe pile is driven by casing method (using hammer grab) or inner excavation method (using both auger and hammer grab), the tip of the pile didn't bring a waste into the clay layer and high-performance impermeability around the pile was confirmed. Note here that a hammer grab was necessary to remove the wastes/soils, particularly concrete fragments, from inside of the casing/pile. When a steel pipe pile is driven by hydraulic hammer, the tip of the pile brought a large amount of wastes into the clay layer, even though a hammer grab was used to remove the wastes from inside of the pile, resulting in low-performance impermeability around the pile. When a PHC pile, which has a thick pipe wall and a small inner diameter, was driven by inner excavation method (using auger), pile driving was terminated because inside of the pile was completely clogged by fine soils clinging to the auger.

Key words: Confined disposal facility in coastal area, pile, clay, hydraulic barrier

*1 Director of Geotechnical Engineering Department

*2 Head, Foundation Group

*3 Researcher, Soil Mechanics and Geo-environmental Engineering Group

*4 Tokyo Port Office, Kanto Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
Port and Airport Research Institute, 3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5053 Fax : +81-46-844-4577 e-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

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 —

渡部要一¹⁾・水谷崇亮²⁾・金子 崇³⁾・増門孝一⁴⁾

要 旨

海面処分場は、廃棄物を排出する大都市の港湾内に設置されている場合が多く、物流用地、工場用地、レジャー施設用地等として利用価値の高い場所に位置しているにもかかわらず、実際には、土地利用に伴う遮水工への影響が懸念され、土地利用がほとんど行われていない実情がある。本研究では、適切な施工方法と施工管理・品質管理によって、杭周面にける遮水性が保持されることを実証し、海面処分場の土地利用（跡地利用のみならず、供用中の暫定利用を含む）の促進を図るための基本技術を確立することを目的に、実際の処分場において各種工法により杭の打設実験ならびに杭周面の透水試験を行い、処分場における杭基礎の適用性について検討した。対象とした処分場は1970年代後半から埋立てが開始されており、杭打設実験実施位置周辺には、生ゴミ、プラスチック、ビニール、金属、コンクリートガラなど、焼却処理されていない雑多な種類の廃棄物が混在して埋め立てられていた。一連の実験結果から、以下の知見が得られた。ケーシング併用による二重管方式で打設した鋼管杭と中掘工法で打設した鋼管杭では、杭先に絡まった廃棄物の連れ込みはほとんど見られず、かつ、高い遮水性が得られた。油圧ハンマによる打撃工法で打設した鋼管杭では、漏水があることを示唆する試験結果が得られ、遮水工に関する環境省令を満足しなくなる可能性が高いと判断された。摩擦低減のための膨張性の塗布剤を使用した鋼管杭では、塗布材を使用しない鋼管杭よりもやや良好な遮水性が得られることが示唆された。肉厚であるが故に内径が小さく、内部をハンマグラブで掘削・除去できないPHC杭は、打設中に先端が閉塞し、杭の打設を途中で終了せざるを得なかった。

キーワード：海面処分場，杭，粘土層，遮水

-
- 1) 地盤研究領域長（兼 土質研究グループ長）
 - 2) 地盤研究領域基礎工研究グループ長
 - 3) 地盤研究領域土質研究グループ研究官
 - 4) 国土交通省関東地方整備局東京港湾事務所

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5053 Fax：046-844-4577 e-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

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、大都市の臨海部の土地として高度利用することができれば、その利用価値はきわめて高くなる。立地は良いのに埋立てが終わった廃棄物処分場で土地利用が進まない理由の一つに、構造物基礎に用いられる杭基礎の技術が確立されていないことが挙げられる。大都市の処分場は湾内に位置することが多く、軟弱な海成粘土層を底面遮水層としているため、立体的な建造物を建設して土地を高度利用するためには杭基礎が必用となる。しかしこの場合、杭基礎が軟弱層を貫通することから、保有水の漏水が懸念され、実際には高度利用は進んでいないのが実情である。

既往の研究成果¹⁾によると、小規模な実験室レベルの研究において、廃棄物を模した砂の層を貫通して下部の粘土層まで杭を打設した場合、廃棄物の連れ込みがあり得るが、杭先端形状や打設方法の工夫によりこれを防ぐことができること²⁾、遮水性に対する影響はほとんどないことが確認されている^{2), 3), 4), 5)}。また、杭と粘土との境界面での透水性に基づいて、遮水性が確保されることが実験的に確かめられている^{6), 7), 8), 9), 10), 11)}。

実地盤の工事実績を見てみると、遮水工となるケーシングに囲まれ、かつ、廃棄物を取り除かれた、いわば「処分場ではない空間」を創出してから、そこに本杭を打設する三重管工法の例(図-1)がある程度である。確実な施工を実現できることから、東京ゲートブリッジのような大規模工事において三重管工法が採用されたこと¹²⁾には合理的な理由があると言えるが、きわめて高価であるが故に、比較的小規模な工事においては、もっと実用的な杭基礎の施工技術・品質管理技術が待たれている状況にある。

本研究では、東京湾にある実際の海面処分場(中央防波堤外側処分場、図-2)における現地実証実験として、杭基礎打設による遮水層への影響を杭周面透水試験によって評価し、杭打設実験によって得られた施工面での知見、ならびに、杭周面の透水実験から得られた知見を取りまとめた。当該処分場は1970年代後半に埋立てが開始されており、杭打設実験実施位置周辺には、生ゴミ、プラスチック、ビニール、金属、コンクリートガラなど、焼却処理されていない雑多な種類の廃棄物が混在して埋め立てられている。焼却灰を中心に埋め立てている近年の処分場に比べ、杭の打設が困難なものになると考えられるが、最も施工が困難な部類に入ると予想される当該処分場で実施する実験は、処分場における杭基礎の適用

性を判断する上で安全側の判断が得られるはずである。

2. 杭打設の条件設定

実際に構造物を構築する際には、杭が遮水層を貫通して支持層まで達することが想定されるが、運用中の処分場での試験施工であるため、遮水層を貫通して杭を打設する許可を得ることは難しい。また、遮水層を貫通させてしまうと、その遮水性を簡易に調べる手段がなく、その評価が難しくなってしまう。一方、杭が遮水層の途中

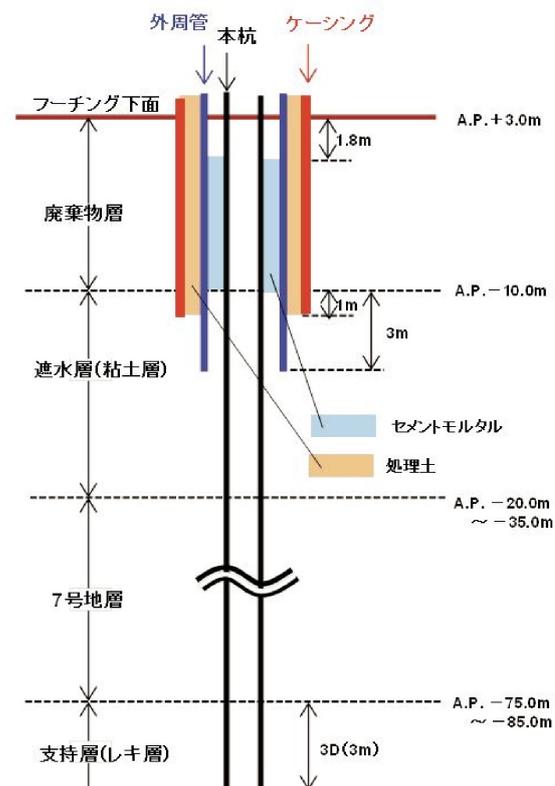


図-1 東京ゲートブリッジにおける三重管方式の杭の概念図



図-2 東京湾中央防波堤外側処分場で実施した杭打設実験の実施位置図(Google earthより)

で止まっている場合、図-3に概念図を示すように、杭内部を排土して杭内の水位を周囲より低下させることによ

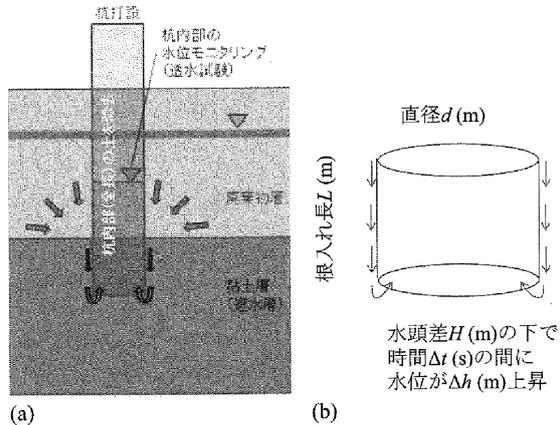


図-3 透水試験の概念図

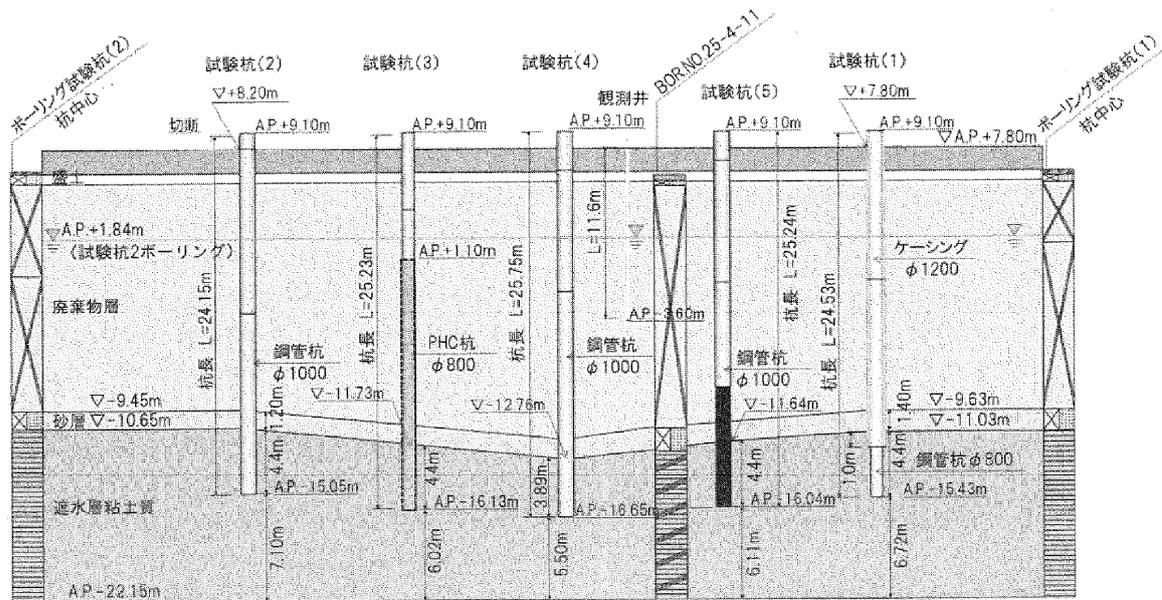
り透水試験を実施して、杭と遮水層粘土との付着による界面の遮水性を容易に評価できる。

そこで、本研究での試験杭は遮水層を貫通させず、遮水層への根入れ長を4.4m（一部の試験杭では3.9m）とした。これは、事前の地盤調査結果に基づき、杭先端から遮水層下端まで5.5m以上を確保することを考えた条件設定である（付録-1を参照）。遮水層の透水係数は $2 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 以下であり、構造を規定する基準類^{13), 14)}に照らして、試験杭の打設が処分場の遮水性に与える影響がないようにした。すなわち、透水係数が $2 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下の地層が5m以上、あるいは浸透時間で規定される遮水性能がこれと同等以上の地層が十分に確保できるように、さらに、地層に多少の不陸（ここでは0.5mを想定）があっても大丈夫なように設定したもので、透水係数に2オー

表-1 試験杭と打設および掘削方法

	試験杭1	試験杭2	試験杭3	試験杭4	試験杭5
打設工法	ケーシング併用 中掘圧入工法	中掘圧入工法	中掘圧入工法	ハンマ打撃工法	ハンマ打撃工法
杭の種類	鋼管杭 φ800mm	鋼管杭 φ1000mm	PHC(SC)杭 φ800mm	鋼管杭 φ1000mm	鋼管杭φ1000mm 塗布剤塗布 (杭先端から8m内外 両面)
廃棄物の掘削方法	全周回転掘削 ケーシングφ1200mm ハンマーグラブ	中掘り掘削 ハンマーグラブ	中掘り オーガ掘削	ハンマーグラブ	ハンマーグラブ
粘土の掘削方法	オーガ掘削& ハンマーグラブ	オーガ掘削& ハンマーグラブ	オーガ掘削	ハンマーグラブ	ハンマーグラブ

※試験杭4, 5は内側に先端補強バンドを設置する



試験杭(3)は貫入不可のため、中止引抜を実施

図-4 試験杭の施工条件。実際の施工位置に対応して描いているため、試験杭の順番に注意

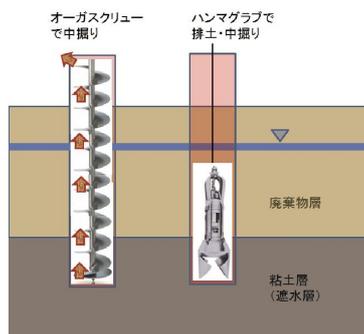


図-5 オーガースクリューによる中掘りとハンマーグラブによる土砂排出の概念図

ダーの余裕があることから、かなり安全側の設定になっている。

試験杭の施工条件は以下に示す5種類（試験杭1～試験杭5）とした（表-1、図-4）。オーガースクリューによる掘削とハンマーグラブによる掘削は、図-5のような概念図で説明できる。杭と粘土との付着が良くなるように、杭先端外側には先端補強バンドを取り付けないことにした。また、中掘り工法で施工する杭については、オーガースクリューを使った掘削の障害にならないように、内側の先端補強バンドも取り付けないことにした。ただし、ハンマー打撃工法で施工する杭については、杭の先端を破損しないように先端補強バンドが必要であることから、遮水性に影響しないように内側に補強バンドを溶接することにした。

2.1 試験杭1

直径1200mmのケーシングを全回転させながらハンマーグラブで土砂を掘削・排出して、遮水層への根入れ長1mまで打設した後、ケーシング内部に直径800mmの鋼管杭（先端補強バンドなし）を中掘り圧入工法で打設した。杭を粘土層に根入れ長4.4m（ケーシングの根入れ長1.0mを差し引くと実質3.4m）まで打設した後、杭とケーシングの間に砂を充填しながらケーシングを引き抜き、杭内部の水位を下げて杭周囲の透水試験を実施した。

2.2 試験杭2

直径1000mmの鋼管杭（先端補強バンドなし）を中掘り圧入工法で根入れ4.4mまで打設し、杭周囲の透水試験を実施した。

2.3 試験杭3

直径800mmのPHC杭を中掘り圧入工法で打設したが、掘進不能となり打設を断念した。

2.4 試験杭4

直径1000mmの鋼管杭（内側に先端補強バンド）を油圧ハンマーによる打撃工法で打設した。杭内部の廃棄物を除去後、粘土層への根入れ4.4m（当該地点は粘土層が薄いと判断されたため実際は3.9m）分も油圧ハンマーにより打設し、杭周囲の透水試験を実施した。

2.5 試験杭5

先端から8mについて内外両面に摩擦低減のための塗布剤を塗った直径1000mmの鋼管杭（内側に先端補強バンド）を油圧ハンマーによる打撃工法で打設した。杭内部の廃棄物を除去後、粘土層への根入れ4.4m分も油圧ハンマーにより打設し、杭周囲の透水試験を実施した。

3. 杭打設の施工状況

各試験杭の施工状況を以下に取りまとめた（詳細は付録-2を参照）。

3.1 試験杭1

ケーシング先端に付いている掘削用のビットによって、コンクリートガラなどが介在した地盤であっても、回転圧入によって掘進可能であった。このことはケーシングを併用せずに打設した他の試験杭の先端がコンクリートガラに当たって施工が大変であったことと対照的である。カメラ観察の結果、ハンマーグラブによる掘削で廃棄物はほぼ除去できていて（ただし、微細なプラスチック片がわずかに落ちていた）、ケーシング先端に大きなゴミ（梱包用プラスチックバンドやプラスチック袋など）は連れ込まれていないことが確認できた（付録-3を参照）。

3.2 試験杭2

中掘りのオーガースクリューでは、コンクリートガラなどが介在した地盤に当たり掘進不能となったり、廃棄物を除去できなかつたり、さらには、杭内の水で流されてしまうために砂質土を排出することができなかつたりした。また、粘土であっても排出する効率が悪く、先端が閉塞してしまうこともあった。このため、ハンマーグラブを併用する掘削に切り替えた。カメラ観察の結果、ハンマーグラブによる掘削で廃棄物はほぼ除去できていたが、杭先端に梱包用プラスチックバンドと思われるものが1本だけ確認された（付録-3を参照）。

3.3 試験杭3

オーガを杭先端より約2.5m先行させて掘進したが、約

7.0m打設後掘進不能となり、杭打ちを断念した。コンクリート杭は断面積が大きいと押し込み抵抗力が大きいこと、内径が小さいためにオーガースクリューが土砂と廃棄物で絡み閉塞することに加え、内径が小さいことはハンマーグラブを使えず、結果として障害物を除去できないことから、掘進不能と判断した。

3.4 試験杭4

杭先が約A.P. -8.0mより深くなるとコンクリートガラの影響により、打込みが困難な状況となったが、打撃を与え続けることにより、なんとか所定の深さまで打設できた。杭内部に入っている廃棄物はハンマーグラブを用いて排出した（写真-1、写真-2）。しかしながら、杭内部をカメラ観察した結果、多数の廃棄物片が杭底に残っていることが確認された（付録-3を参照）。

3.5 試験杭5

杭打設時の状況は試験杭4と同様の結果であったが、後述するように、杭周面の遮水性は試験杭4よりも改善されており、塗布材の効果が確認された。

4. 杭周面の透水試験

杭周面の遮水性に関する検討をするために、杭内部の土砂を完全に除去した状態にして、杭内部の水位を周辺の水位より約2m低く設定して透水試験を実施した。試験開始から5週間は水位差2.0m、それ以降は水位差2.5mと設定したが、杭内部の水位上昇によって設定値よりも小さくなったり、あるいは、降雨（特に2015年9月8～10の豪雨）で周辺地下水位が上昇したことによって設定値よりも大きくなったりしている。計測項目は、杭周辺の地下水位すなわち廃棄物層の保有水の水位と杭内部の水位の時間変化である。稼働中の廃棄物処分場内であることから、廃棄物層の保有水位は管理されていて、所定の水位を越えるとポンプで排水が行われるようになっているが、降雨が多いと一時的に保有水位が上昇する傾向が見られた。連続的な水位計測となるように自記録式水圧計をケーブルで吊り下げて設置し、定期的にデータを回収するとともに、データがドリフトしていないかを確認するため、ロープ式水位計によって手計測も実施した。

計測された水位の時間変化を図-6にまとめた。杭の根入れ長 L (m)、水頭差 H (m)の下で時間 Δt (s)の間に水位が Δh (m)上昇するものとし、杭周面の漏水を杭部分にあった地盤の透水に置き換えて、透水係数 $k = (L\Delta h)/(H\Delta t)$ を求めた（図-3bを参照）。



写真-1 ハンマーグラブによる廃棄物の排出



写真-2 排出された廃棄物の例

$$k = \frac{L}{H} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{1}{i} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

ここで、 i は動水勾配である。

杭の根入れ長4.4m、水頭差1.5mとした場合、基準省令に書かれた透水係数の上限値 1.0×10^{-5} cm/sに相当する水位上昇は一日あたり0.00295mである。一日あたり0.00295mの水位上昇は数日間経てばロープ式水位計による手計測でも十分に測定可能な値であり、施工時の遮水性の確認方法として、同様の透水試験は有効であるといえる。換言すれば、1日で水位上昇が明瞭に確認できるような状況にあった場合、遮水性が基準を満たさないと判断できる（付録-4を参照）。

試験杭2では、水位計測開始から数ヶ月間の水位変化はほぼゼロであり、蒸発等のためか試験杭2では水位がわずかに低下する傾向すら読み取れた。全体としてはこのような傾向にあるものの、計測開始から半年ほど過ぎた夏期には、一時的に水位が上昇する傾向が見られた。電気

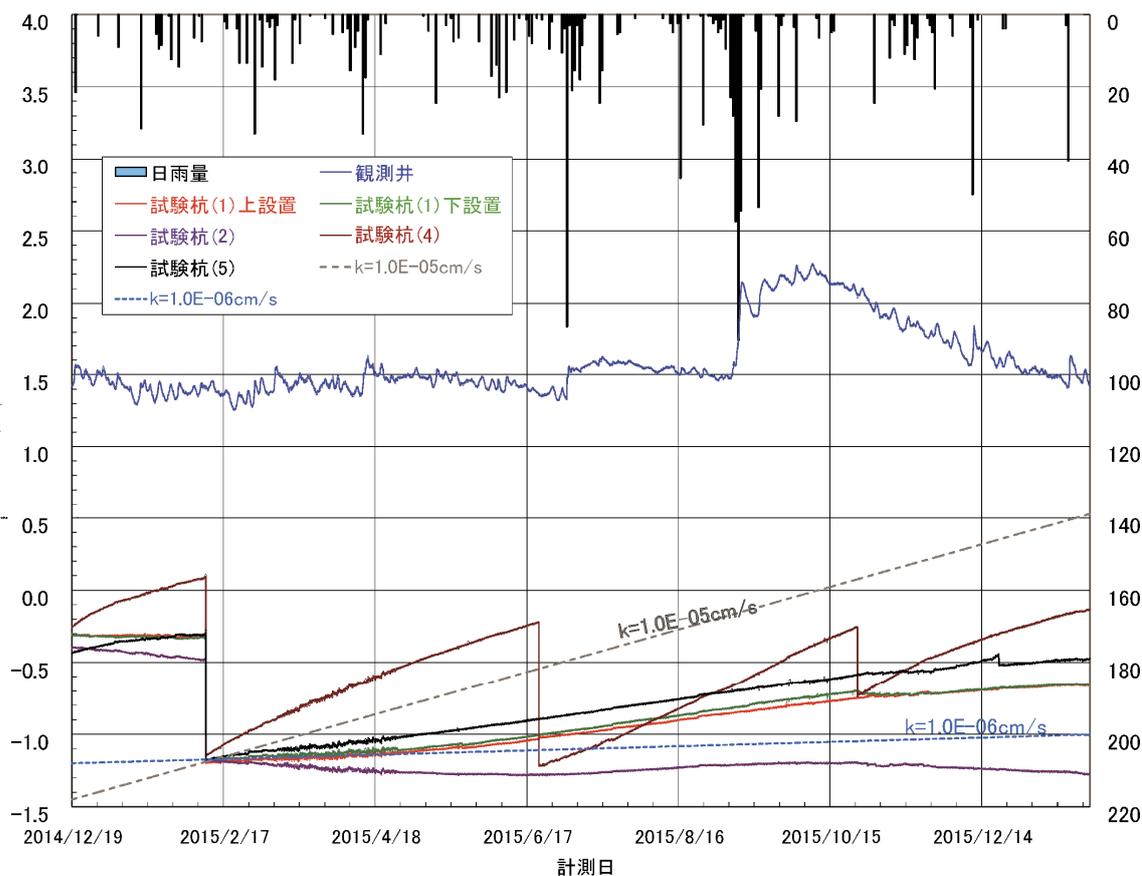


図-6 杭内水位低下による透水試験結果（試験杭1, 2, 4, 5の比較）

計測でも手計測でも同様に見られたことから、実際に水位が上昇したと考えられる。その理由については明らかではないが、夏場に水温が上昇したために体積が膨張した可能性（水の熱膨張率は $2.1 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ）のほか、ちょうどその時期（6～10月）に実験施設近傍において約2mの盛土工事があったために、粘土地盤の沈下にもなってネガティブフリクションによって杭が連れ込まれ、相対的に杭が若干貫入されたために杭内部に粘土が入り込み、あるいは、杭底の粘土から圧密による排水があり、その分だけ水位が上昇した可能性が考えられる。このように、試験杭2については、透水係数を評価することができないほどに透水係数が小さいことを確認できた。遮水層の透水係数が $2.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 程度であったことから考えると、遮水性が十分に発揮されていれば、蒸発による水位低下が浸透による水位上昇に勝ることになる。

試験杭1では、若干の水位上昇が見られたものの十分に基準省令を満足する遮水性が得られている。しかしながら、遮水層の透水係数が $2.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 程度であったことからすると、試験杭1では遮水性がやや低下している可能

性も指摘できる。試験杭2で見られたように蒸発分も加味すれば、遮水性はもっと低下している可能性すらある。遮水層への根入れ部分の上部1mでケーシングを引き抜いて周囲を砂に置き換えたため、実質的な根入れ長が試験杭2よりも1m短かったことが原因の一つに挙げられる。加えて、ケーシング内が排土された状態で杭を打設したため、杭が動揺してケーシング底部で杭から粘土が剥離し、ケーシング引き抜きの際に投入した砂が剥離した空間内に入り込んで水みちになった可能性も考えられる。なお、試験杭2で透水係数を評価できないほどに遮水性が良いことを考えると、試験杭1でも根入れがもっとあれば試験杭2と同様に良好な遮水性が得られることを期待できる。

試験杭4は水位上昇が速く、基準省令に対応する透水係数 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 相当よりも透水係数が大きかったことから、遮水性が不十分であることがわかる。遮水層上面の不陸により、試験杭4では遮水層への根入れ長が他の杭よりも0.5mほど短い3.9mであったが、その影響では説明できないほどに低い遮水性しか得られなかった。

試験杭5での計測結果は、基準省令と照らし合わせれば、それをぎりぎり満足する遮水性能を有していると判断される。なお、遮水性が良好な試験杭2において、杭内部の水が蒸発する影響が見られたことを考慮すると、基準省令を満足しなくなる恐れもある。

試験杭4や試験杭5における遮水性能の低下は、杭の周面と遮水層の粘土との付着が不十分であることが原因であり、梱包用プラスチックバンドなどのひも状のものやプラスチック製やビニル製の袋などの廃棄物が杭先端に引っかかって連れ込まれたことなどに起因していると考えられる。ただし、試験杭5は、塗布剤により廃棄物の連れ込み防止を図ったために、試験杭4に比べてやや良好な試験結果が得られた可能性がある。また、塗布剤の膨張が、杭と周面地盤との境界面での遮水性を改善していることが示唆される結果でもある。一方で、杭先端で実施したカメラ観察では、試験杭5も試験杭4と同様に杭先に多くの廃棄物が連れ込まれている様子が確認された（付録-3を参照）ことから、ここで得られた両者の遮水性の違いは、廃棄物の種類の違いなど評価が難しい要因の影響を受けた結果である可能性もある。

5. まとめ

ケーシングにより二重管方式で打設した試験杭1と中掘工法で打設した試験杭2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を満足する遮水性能が得られた。特に試験杭2の透水試験では、漏水量が少なすぎて透水係数が評価できないほどの高い遮水性が得られた。一方、油圧ハンマによる打撃工法で打設した試験杭4と試験杭5では、杭先端のゴミの連れ込み量が多く、結果として漏水量も多くなった。なお、摩擦低減のための膨張性の塗布剤を使用した試験杭5では、塗布材を使用しない試験杭4よりも良好な遮水性が得られた。

これらの打設実験や透水試験の結果から判断すると、海面廃棄物処分場における杭の打設に関して、以下の知見が得られた。

1) 試験杭1のように、ケーシングを併用する杭の打設では、ケーシングを遮水層に少し根入れした状態において、ハンマーグラブを用いるなどしてケーシング内部から廃棄物や土砂を排出・底浚いした後、水中カメラでケーシング先端の状態を観察して廃棄物の取り残しがないことを確認する必要がある。この状態で問題がなければ、本杭を打設しても廃棄物の連れ込みはないことは明らかであるが、遮水層の途中

まで杭を打設した状態で、念のため透水試験を実施して遮水性を確認するなど、施工管理・品質管理が行われることが望ましい。

- 2) 試験杭2のように、中掘圧入工法での施工については、適切な施工管理を行えば、海面廃棄物埋立処分場において適用可能であり、十分な遮水性が期待できる。遮水層にある程度根入れした状態でハンマーグラブ等を使って排土・底浚いし、杭内の廃棄物や土砂をきれいに排出した後、水中カメラで杭先端の状況を観察して廃棄物の取り残しや杭先端での廃棄物の巻き込みがないことを確認する。また、杭内部の水位を周辺の水位より下げて透水試験を実施して遮水性を確認する。このように、廃棄物が連れ込まれていないことの確認と、遮水性の確認の両面からの施工管理・品質管理がきわめて重要である。なお、梱包用プラスチックバンドのような強度のある長い廃棄物が杭先端に引っかかって連れ込まれた場合、ハンマーグラブではこれを取り除けない可能性があることに留意が必要である。
- 3) 試験杭3のように、内径が小さな杭では、杭内部の廃棄物や土砂を排出することが難しく、施工が困難である。
- 4) 試験杭4と試験杭5のように、油圧ハンマを使った打撃工法での杭打設は、杭先端での廃棄物の連れ込みが著しく、海面廃棄物処分場での適用は不適と判断される。

(2016年1月25日受付)

謝辞

本研究を実施するにあたり、国土交通省港湾局、国土交通省関東地方整備局、東京都港湾局・環境局から多大なご協力をいただいた。また、実験計画立案では、菊池喜昭氏(理科大)、小田勝也氏(みなと総研)、平尾隆行氏(中電コンサルタント)、服部 晃氏(日本触媒)、竹本誠氏(中電コンサルタント)を中心とする研究準備会メンバー、杭打設実験の施工では、辻北智志氏(東洋建設)らを中心とする施工関係者から、また、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(事務局:みなと総研)の委員・関係者から多くのアドバイスをいただいた。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

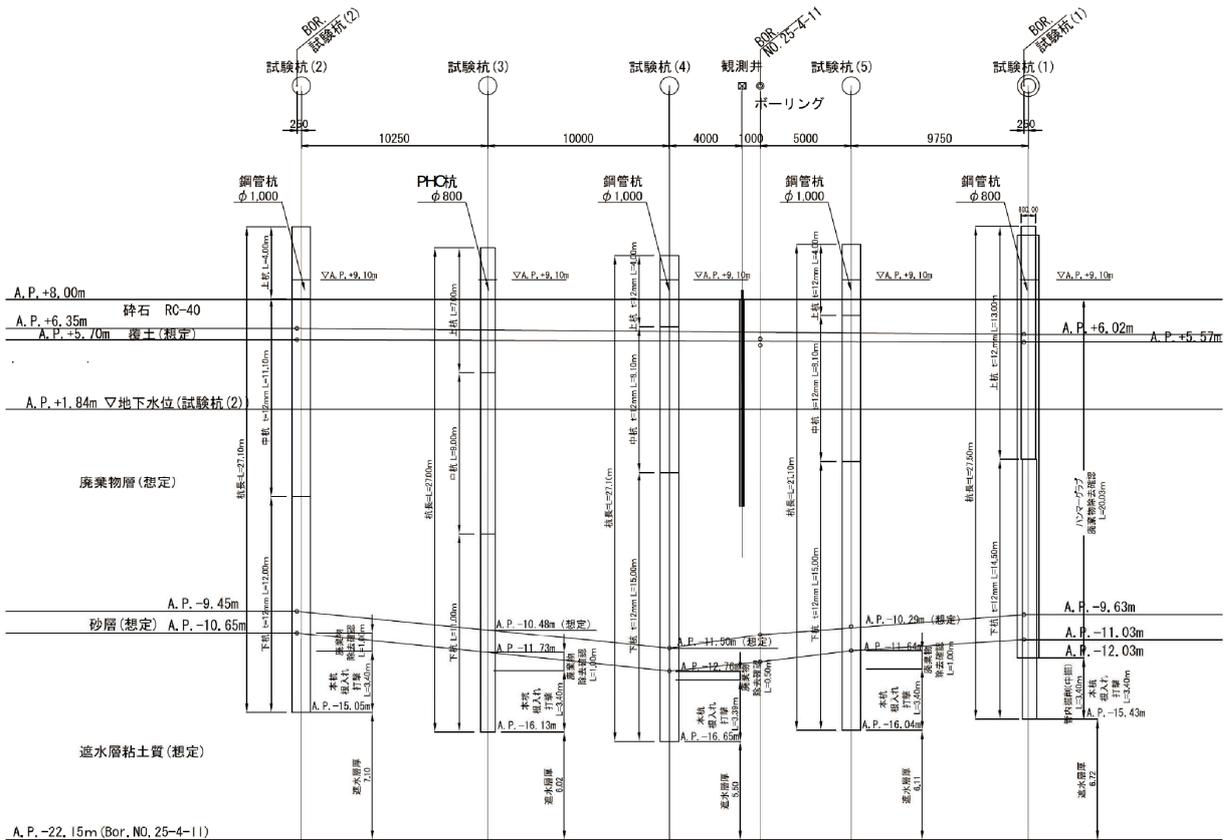
- 1) 菊池喜昭, 森脇武夫, 勝見 武, 平尾隆行, 葛川 徹, 服部 晃, 岡本功一, 山田耕一, 佐々木広輝: 管理型海面廃棄物処分場に打設する基礎杭が底面遮水基盤に与える影響, 港湾空港技術研究所資料, No.1252,

2012.

- 2) 福田賢二郎, 上田正樹, 杉原広晃, 渡部要一: 海面管理型処分場の遮水基盤への基礎杭打設の影響, 第39回地盤工学研究発表会, pp.2267-2268, 2004.
- 3) 平尾隆行, 葛川 徹, 眞田一磨, 森脇武夫, 服部 晃, 岡本功一: 杭基礎打設による海面処分場の底面遮水工に与える影響 (短期的現象) の考察, 第44回地盤工学研究発表会, pp.1907-1908, 2009.
- 4) 葛川 徹, 森脇武夫, 岡本 拓, 服部 晃, 岡本功一, 渡辺修士, 平尾隆行, 眞田一磨: 杭基礎打設時の表面処理が海面処分場の底面遮水工に与える影響 (短期的影響), 第20回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp.403-404, 2009.
- 5) 葛川 徹, 森脇武夫, 服部 晃, 岡本功一, 平尾隆行, 眞田一磨: 杭基礎打設による海面処分場の底面遮水工に与える短期的影響 (杭先端部) の考察, 第21回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp.483-484, 2010.
- 6) 嘉門雅史, 勝見 武, 濱田 悟, 乾 徹: 廃棄物埋立地盤における杭打設が粘土層の遮水性能に及ぼす影響の評価に関する研究, 第39回地盤工学研究発表会, pp.2265-2266, 2004.
- 7) 嘉門雅史, 濱田 悟, 勝見 武, 乾 徹: 杭打設による粘土層の遮水性能への影響に関する実験的研究, 京都大学防災研究所年報, 第47号, B-21, pp.133-142, 2004.
- 8) 嘉門雅史, 勝見 武, 乾 徹, 濱田 悟: 鋼管杭打設粘土地盤と杭境界面における漏水量とその評価, 材料 別冊, 第54巻, 第11号, pp.1100-1104, 2005.
- 9) 富士曉士, 勝見 武, 嘉門雅史, 乾 徹: 改良型透水試験装置を用いた鋼管杭-粘土境界面における透水量の評価, 第7回環境地盤工学シンポジウム, pp.281-286, 2007.
- 10) 菊池喜昭, 橋爪秀夫: 杭周辺地盤の透水性に関する室内透水試験, 第6回環境地盤工学シンポジウム, pp.217-224, 2005.
- 11) 菊池喜昭, 菅野高弘: 海面廃棄物処分場の遮水基盤を貫通する杭の施工可能性に関する研究, 地盤工学会誌, pp.28-29, 2008.
- 12) 片山廣明, 手塚博治, 山下公平: 廃棄物処分場における三重管基礎杭, 橋梁と基礎, pp.43-46, 2008.
- 13) 総理府・厚生省令: 一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分に係る技術上の基準を定める命令, 1998年改正.
- 14) 港湾空間高度化センター: 管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル (改訂版), 2008.

付録-1 杭打設実験の詳細図面

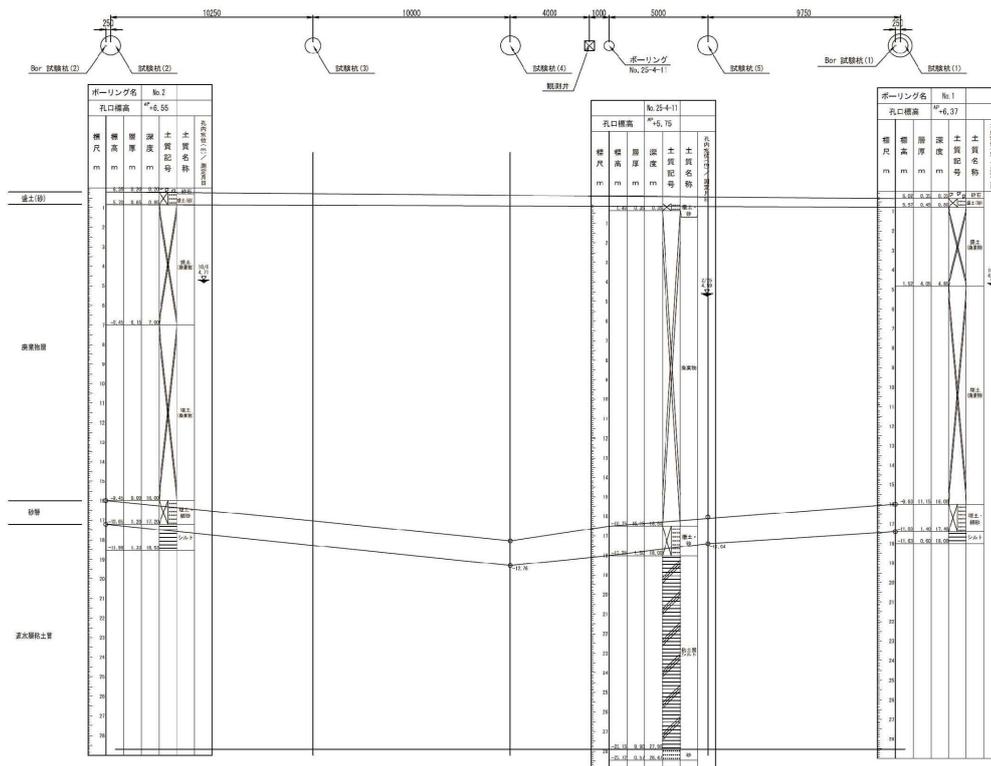
東京湾中央防波堤外側処分場において実施した杭の打設実験の断面詳細図を付録図-1.1に、ボーリング調査によって得られた試料の写真と柱状図をそれぞれ付録写真-1.1と付録図-1.2に、また、杭打設実験の準備工として施工したジオテキスタイルを使った碎石盛土の詳細図を付録図-1.3にそれぞれ示す。杭は、下杭、中杭、上杭で構成されており、地層構成を考慮し、杭打設や杭内カメラ観察の作業性を考慮してそれぞれの長さを設定した。試験杭1は本杭打設前にケーシング内をカメラ観察したので、中杭と上杭に分けず、一本もの（ここでは上杭と称している）とした。試験杭3については、下杭と中杭はPHC杭であるが、上杭は透水試験とは関係ないのでSC杭で準備した（PHC杭が打設不能となったため、結果的には使わなかった）。いずれのいずれの杭も、打設完了後に杭頭をA.P.+9.10mで切断して高さを揃えて透水試験を実施した。一連の現地施工を終え、透水試験を継続している現場の状況を付録写真-1.2に示す。

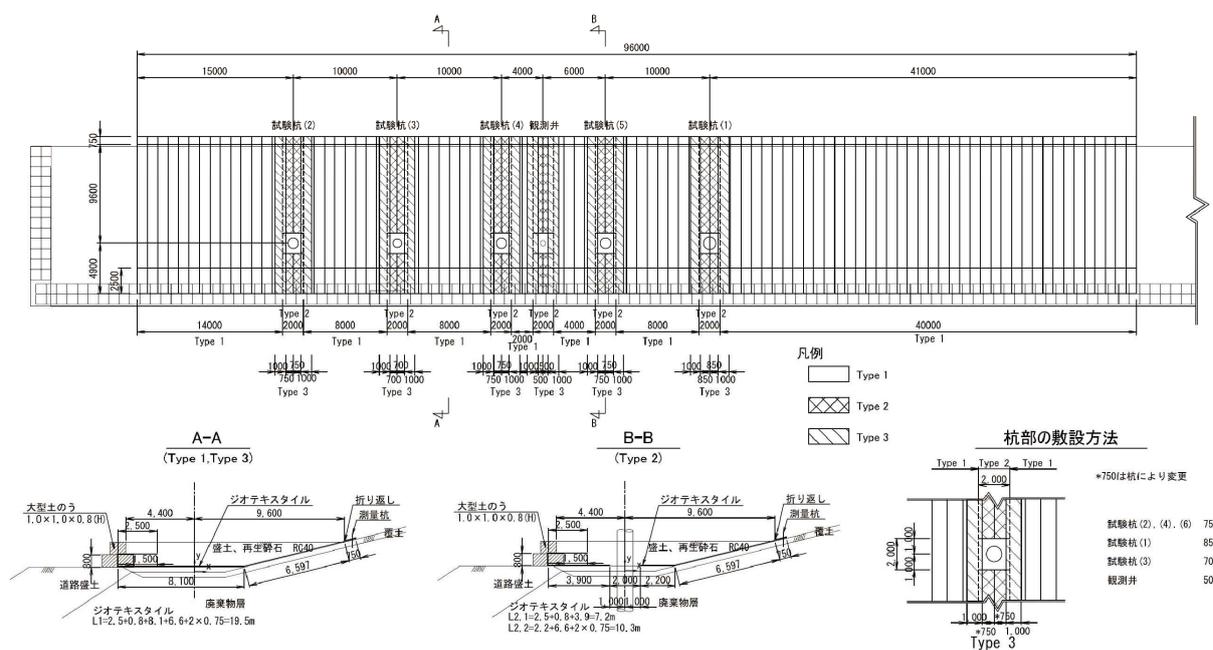


付録図-1.1 施工断面詳細図



付録写真-1.1 ボーリングコア写真 (試験杭1近傍)





付録図-1.3 ジオテキスタイル敷設および碎石盛土の計画図



付録写真-1.2 透水試験実施中の現地状況