

参考資料編

目 次

1. 高度利用技術の紹介（「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（平成28年度）」委員会資料を再編集）	1
2. 単管杭工法について	4
3. 杭工法に関連する高度利用又は技術実証試験等の事例	15
I. 三重管杭工法の事例（「橋梁と基礎」2008-4 から抜粋）	15
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 —未処理廃棄物地盤における打設実験と杭周面透水試験—）	19
III. 平成28年度 廃棄物埋立地盤における杭打設試験工事（港湾空港技術研究所資料 No. 1344 海面処分場における基礎杭の適用性（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—）	55
IV. 試験杭引き抜き結果（実証試験結果）	80
V. 実証試験結果のまとめ	108

1. 高度利用技術の紹介（「管理型海面最終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（平成 28 年度）」委員会資料を再編集）

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有する技術である。

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	廃棄物を底開バージや浮き桟橋、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	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。	
維持管理・跡地利用	地盤改良工	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。
	バーチカルドレーン工法(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	—	—			○	ドレーン打設にあたり、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ーン+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ー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	—	—			○	〃	〃	
	振動締め固め工法	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。		

〃 : 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

◎ : 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

※着色部分の対策技術が利用高度化に資する技術である。

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)

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ン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、外周管を省略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 実証試験済	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。 ・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。 ・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、オー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、オー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。 ・針金や未焼却の廃棄物(紐状)の廃棄物を含む廃棄物地盤では、杭周面における廃棄物の連れ込みが生じることが想定され、遮水性の低下が懸念されることに留意する必要がある。 ・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。	
	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ー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、ハンマン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、杭打設試験の結果から、杭打設により廃棄物を連れ込むおそれが高いため、現時点では推奨しない。	○	○	底層	無	3 実証試験済	低				○	〃
	PHC杭 (一重管) 中掘り・廃棄物掘削除去併用	〃	本工法は、杭打設試験の結果から、杭打設により廃棄物を連れ込むおそれが高いため、現時点では推奨しない。 また、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が必要である。	○	○	底層	無	3 実証試験済	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。 ・オー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、ハンマン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、杭打設試験の結果から、杭打設により廃棄物を連れ込むおそれが高いため、現時点では推奨しない。	○	○	底層	無	3 実証試験済	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 実証試験済	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ン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、フーチングを構築し、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面(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、三重管杭工法よりも高価となる。

〃 : 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
 〃 : 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

2. 単管杭工法について

(1) 工法の概要

単管杭工法は、杭を直接、打撃あるいは中掘り圧入によって廃棄物地盤に打設し、杭が廃棄物地盤を貫通した後、杭内の廃棄物等を掘削除去し、杭先端部における廃棄物の連れ込み等が無いことを確認した上で、杭を設計深度まで打設する工法である（図 2-1 参照）。

杭が廃棄物地盤を貫通した後、杭内の廃棄物等はハンマーグラブにより掘削除去する。また、杭先端部に連れ込まれた廃棄物を除去するために、拡大掘削ビット及び底ざらいバケットを用いた孔底処理を行う。

本工法については、実証試験結果（参考資料編 3. V. 参照）に示すように、杭打設による廃棄物の連れ込みが確認されたため、現時点では採用してはならない。

なお、本工法については、今後の技術の進展や知見の収集状況等を踏まえて、本指針の内容を見直すことも考えられる。

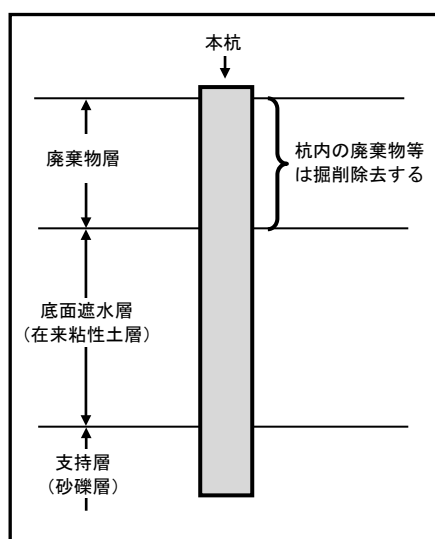


図 2-1 単管杭工法概念図

(2) 打撃・廃棄物掘削除去併用工法

バイプ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行い、杭先端部に連れ込まれた廃棄物を完全に除去する。その後、杭先端部における廃棄物の連れ込み等が無いことを確認した上で、杭を設計深度まで打設する。

① 技術の適用範囲

本工法は、現時点では杭先端部において廃棄物の連れ込みがあることを想定している。

杭打設により、底面遮水層へ連れ込まれる可能性がある石材やコンクリートがら、針金、未燃焼の廃棄物（紐類）などが存在しないことが事前調査結果によって明らかである廃棄物埋立地盤に対しては、試験施工により、ハンマーグラブによる杭内の廃棄物等の掘削除去後、杭先端部における廃棄物の連れ込み等が無いことが確認された場合に限り、拡大掘削ビット及び底ざらいバケットによる孔底処理（“（4）孔底処理”参照）の省略を検討することができる。

② 技術的な特徴

- 打撃工法によって杭が廃棄物層を貫通した後、杭内の廃棄物等の除去に、ハンマーグラブを使うことが基本となるため、杭内の廃棄物等の掘削除去が比較的容易である（“(5) (5) オーガースクリュー使用にあたっての留意事項”参照）。
- 廃棄物の連れ込みの有無の確認や継ぎ杭などにより打ち込み作業が中断され、周面摩擦の影響から杭打設再開時において杭の貫入が不能となる懸念がある場合に適応性が高い。特に、バイブロハンマーについては、廃棄物の連れ込み防止対策を行うために一時的に杭を引き上げる場合にも有効である。

③ 施工手順の概要

図2-2に、施工ステップと各施工ステップでの確認事項、主な施工機械を記載した施工概要図を示す。

杭打設にあたっては、廃棄物層を貫通して、底面遮水層（在来粘性土層）内に1～2m程度貫入した時点で、ハンマーグラブにより杭内の廃棄物等を除去する。この時、底面遮水層を掘削した際の排土に廃棄物の混在が確認された場合には、更にハンマーグラブ等により杭内の廃棄物等の除去を行う。当該排土に廃棄物が混在していないことが確認されるまで廃棄物等の除去を繰り返した後、杭先端部における廃棄物の連れ込みの有無をカメラ観察により確認する。

この時点で廃棄物の連れ込みが確認された場合には、拡大掘削ビット及び底ざらいバケットによる廃棄物の連れ込み防止対策を実施し、再度、杭先端部のカメラ観察を行い、杭内の廃棄物が完全に除去されていることを確認する。

杭先端部のカメラ観察と併せて、杭打設によっても遮水性が確保されていることを確認するため、杭内水位を保有水等の水位より1～2m程度下げ、24時間以上水位観測を行う。

これらの確認により、廃棄物の連れ込みや底面遮水層の遮水性に異常がないことを確認した上で、設計深度まで杭打設を行う。

なお、施工中における杭先端部の廃棄物目視確認及び杭内水位観測については、底面遮水層を5m以上確保した深度までに完了するものとする。

④ 施工手順（概要図）

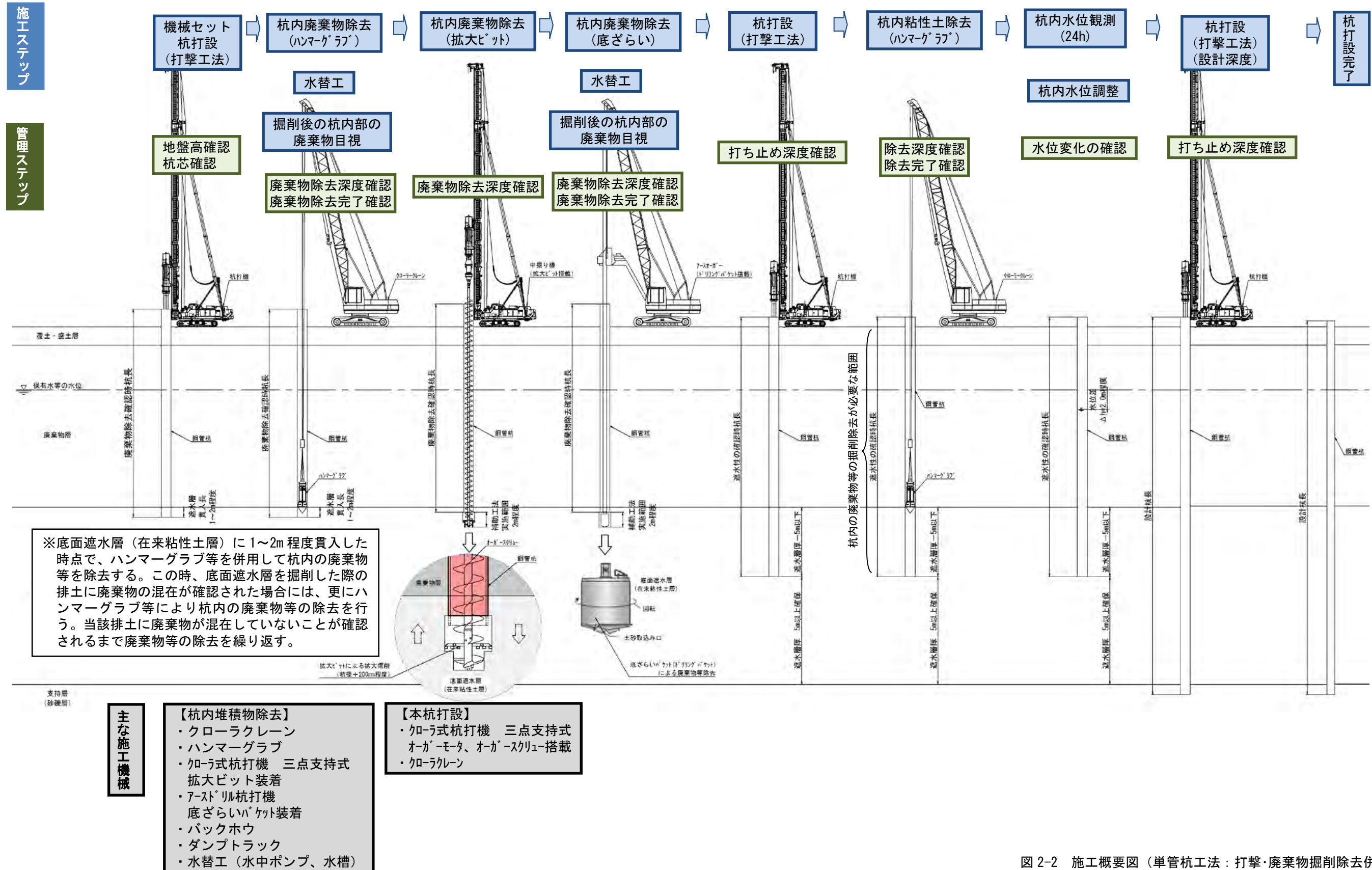


図 2-2 施工概要図（単管杭工法：打撃・廃棄物掘削除去併用工法）

(3) 中掘り・廃棄物掘削除去併用工法

杭の中空部に予めオー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行い、杭先端部に連れ込まれた廃棄物を完全に除去する。その後、杭先端部における廃棄物の連れ込み等が無いことを確認した上で、杭を設計深度まで打設する。

① 技術の適用範囲

本工法は、現時点では杭先端部において廃棄物の連れ込みがあることを想定している。

杭打設により、底面遮水層へ連れ込まれる可能性がある石材やコンクリートがら、針金、未燃焼の廃棄物（紐類）などが存在しないことが事前調査結果によって明らかである廃棄物埋立地盤に対しては、試験施工により、ハンマーグラブによる杭内の廃棄物等の掘削除去後、杭先端部における廃棄物の連れ込み等が無いことが確認された場合に限り、拡大掘削ビット及び底ざらいバケットによる孔底処理（“（4）孔底処理”参照）の省略を検討することができる。

② 技術的な特徴

- オーガースクリュー等により杭先端を削孔しながら杭を貫入するため、杭先端部において、針金や未燃焼の廃棄物（紐類）の連れ込みはほとんど生じない。ただし、杭内部の廃棄物等を完全に除去するためにハンマーグラブ等が必要となる。
- 針金や未焼却の廃棄物（紐状）の廃棄物を含む廃棄物地盤では、杭周面における廃棄物の連れ込みが生じることが想定され、遮水性の低下が懸念されることに留意する必要がある。
- オーガースクリューは、焼却灰等を主体とした廃棄物地盤を削孔する場合、杭内の廃棄物等と保有水等が混合し、泥状を呈する可能性があることに留意する必要がある（“（5）オーガースクリュー使用にあたっての留意事項”参照）。
- 廃棄物の連れ込みの有無の確認や継ぎ杭などにより打ち込み作業が中断され、周面摩擦の影響から杭打設再開時における杭の再貫入が不能となることが懸念される場合においては、1ランク以上高い打設能力を持つ打設機械を用いることが望ましい。

③ 施工手順の概要

図2-3に、施工ステップと各施工ステップでの確認事項、主な施工機械を記載した施工概要図を示す。杭打設にあたっては、廃棄物層を貫通して、底面遮水層（在来粘性土層）内に1～2m程度貫入した時点で、ハンマーグラブにより杭内の廃棄物を除去する。この時、底面遮水層を掘削した際の排土に廃棄物の混在が確認された場合には、更にハンマーグラブ等により杭内の廃棄物等の除去を行う。当該排土に廃棄物が混在していないことが確認されるまで廃棄物等の除去を繰り返した後、杭先端部における廃棄物の連れ込みの有無をカメラ観察により確認する。

この時点で廃棄物が確認された場合には、図2-2に示す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実施し、再度、杭先端部のカメラ観察を行い、杭内の廃棄物が完全に除去されていることを確認する。

杭先端部のカメラ観察と併せて、杭打設によっても遮水性が確保されていることを確認するため、杭内水位を保有水等の水位より1～2m程度下げ、24時間以上水位観測を行う。

これらの確認により、廃棄物の連れ込みや底面遮水層の遮水性に異常がないことを確認した上で、設計深度まで杭打設を行う。

なお、施工中における杭先端部の廃棄物目視及び杭内水位観測については、底面遮水層を 5m 以上確保した深度までに完了するものとする。

④ 施工手順（概要図）

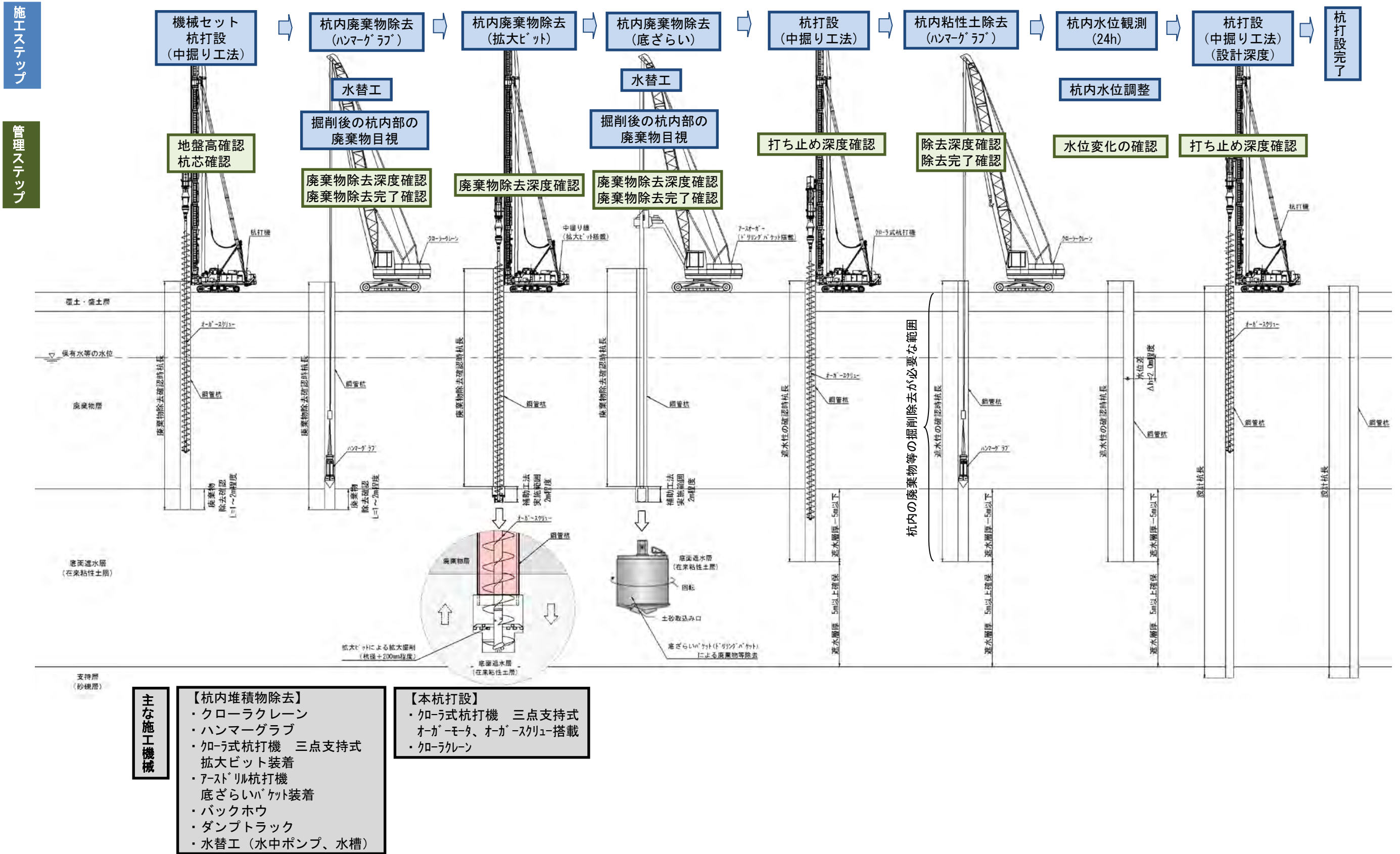


図 2-3 施工概要図（単管杭工法：中掘り・廃棄物掘削除去併用工法）

(4) 孔底処理

単管杭工法については、ハンマーグラブ等を併用した杭内の廃棄物等の除去（写真 2-1 参照）を行う他、杭先端部での廃棄物の連れ込みが確認された場合には、連れ込み廃棄物を確実に除去するために、拡大掘削ビットや底ざらいバケット等を用いた孔底処理を必ず行わなければならない（図 2-4、図 2-5 参照）。

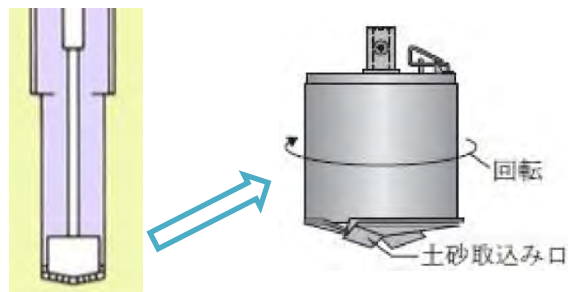
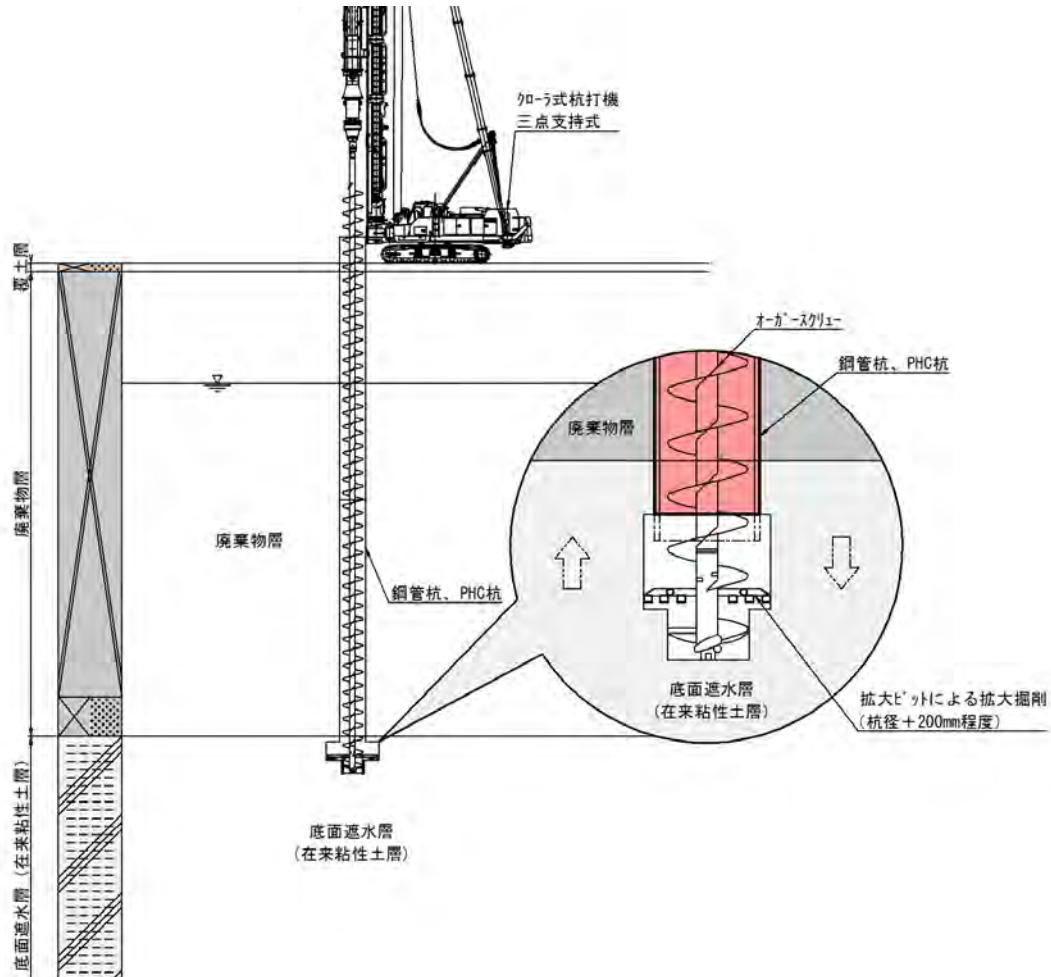


図 2-5 底ざらいバケットによる掘削底面の廃棄物除去のイメージ



写真 2-1 ハンマーグラブによる掘削状況及びハンマーグラブ本体の写真

(5) オーガースクリュー使用にあたっての留意事項

オーガースクリューを用いた廃棄物の掘削は、オーガースクリューに紐状の廃棄物が絡まることや、石材やコンクリート殻により目詰まりが生じることがある。その結果、杭内部において掘削土が詰まり排土されず、PHC 杭についてはひび割れが生じる可能性がある他、最悪の場合、杭の貫入が不能となる可能性がある。

加えて、廃棄物層下端付近においては、オーガースクリューの回転により廃棄物と杭内の保有水等が混合することで泥状を呈することがある。このような状態でオーガースクリュー引き上げ、ハンマーグラブによる杭内掘削を行う際には、泥状を呈した廃棄物に含まれる紐状の廃棄物や針金等がハンマーグラブの可動部に絡まりグラブ先端部が開かず、杭内掘削が不能となる事態が生じる可能性がある。

また、オーガースクリューの使用にあたっては、杭の内径、廃棄物の種類や大きさに応じたオーガースクリューの径及びピッチとする必要がある。また、施工にあたっては、廃棄物の種類に応じて掘削速度を調整するとともに排土状況を観察しながら掘削を行い、必要により、一旦オーガースクリューを引き抜き、オーガースクリューに密着している廃棄物等を取り除くなどの配慮が必要である。

(6) 杭本体に関する留意事項

杭内部の廃棄物を除去する場合、その施工には、ハンマーグラブやオーガースクリュー、底ざらいバケット等を使用する。これらの施工機器の使用にあたっては、杭内側の空間と施工機器とのクリアランス等を十分確認した上で適切な仕様を選定する必要がある。

また、肉厚の大きい杭を打設する場合、杭先端部での廃棄物の連れ込みの可能性が高くなることが想定される。この場合、中掘り工法やオールケーシング工法による廃棄物の掘削除去などの施工方法の工夫や、必要により杭先端部を尖らせるなどの杭先端形状の工夫についても検討する（図 2-6 参照）。

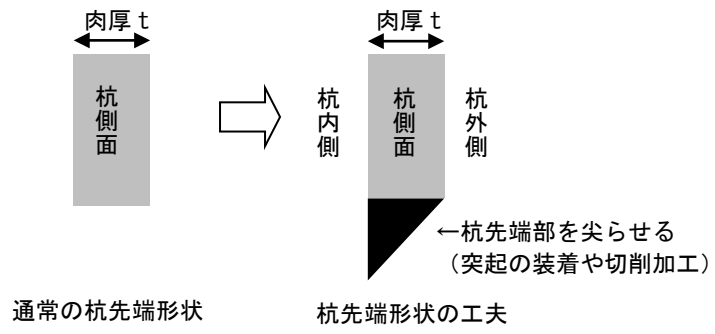


図 2-6 杭先端形状の工夫

○ 先端補強バンドについて

杭の打設に対する補強及び打込み性向上のために取り付けられる先端補強バンドについても、鋼管杭外側に装着した場合、前節の SL 杭と同様、杭周面の遮水性能を損なわずに杭打設を行う考え方とは相反するものがある。先端補強バンドについては、杭の内側に装着することが前提である（図 2-8 参照）。

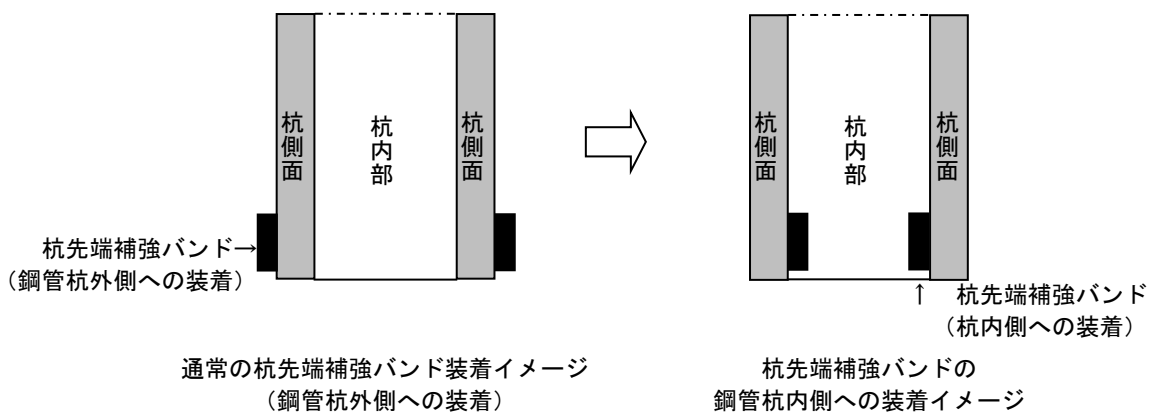


図 2-8 杭先端補強バンドの装着イメージ

○ 塗布剤の塗布について

補助的に杭表面に膨潤性止水材を塗布することで、杭周面の遮水性をより確実に確保することができる。膨潤性止水材は、杭と底面遮水層（在来粘性土層）との境界部の隙間に対する補強のための膨潤性、杭打設中に廃棄物を連れ込まない変形特性の両者の機能を併せ持ち、通常は固体であるが吸水すると膨潤してゲル状になる材料である。

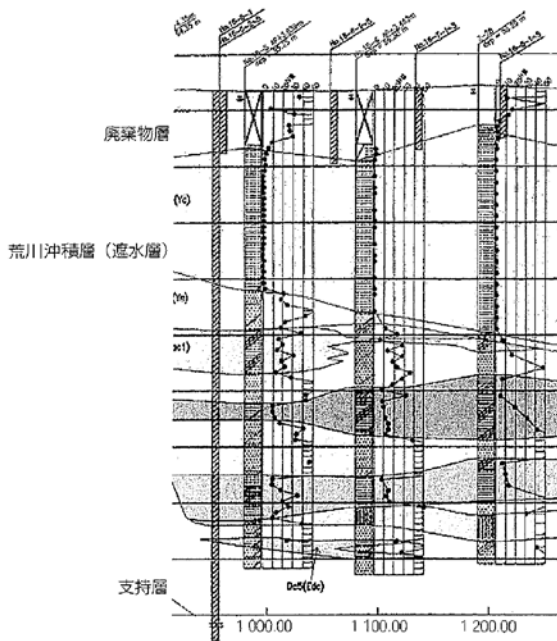


図-3 柱状図

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、汚染された浸出物が遮水層を通過し、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

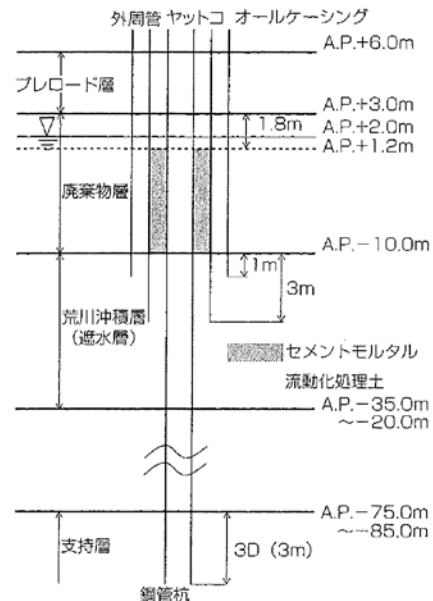


図-4 三重管基礎杭工法の概念

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の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、この空隙を通して汚染された浸出物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

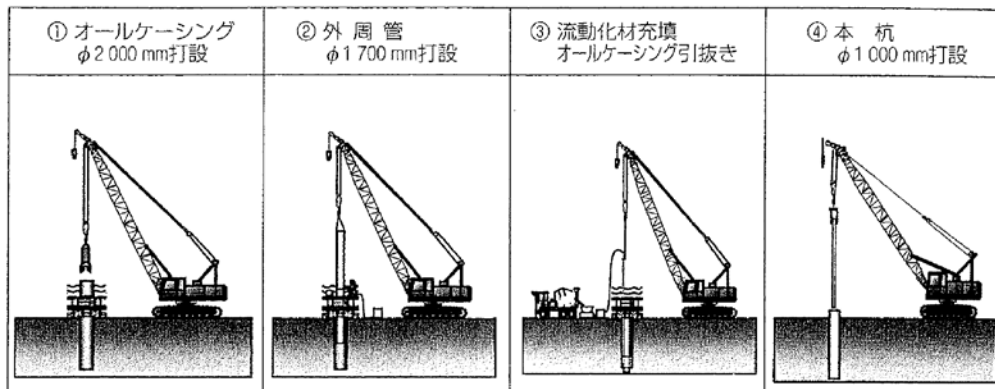


図-5 施工手順

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、

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

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港臨海道路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き抜きを行った。

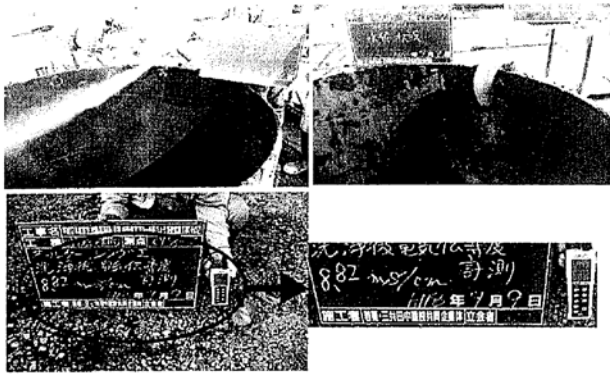
手順④鋼管杭(本管、 $\phi 1000$ mm)の施工は、外周管内部に浸出水の浸透が無いことを確認したのち、三点式杭打機により油圧ハンマの打撃工法で打設を行った。杭の傾斜管理は1/150 (0.67%) 以内となるように施工した。また、本杭打設後、外周管との空隙部(約35 cm)は、間詰にセメントミルクを充填し外周管との一体化を図った。

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

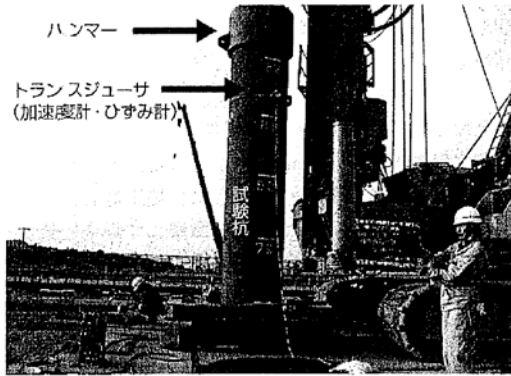


写真-3 衝撃載荷試験

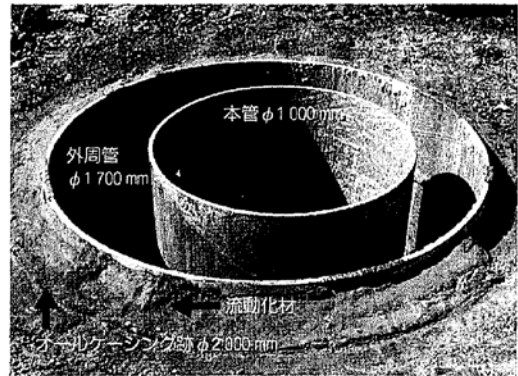


写真-4 基礎杭三重管施工

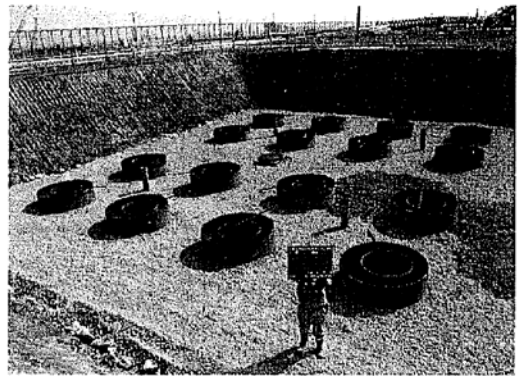


写真-5 施工完了

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感じている次第である。

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：東京港臨海道路（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）若葉・三共田中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)

ISSN1346-7840

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^{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してみると、遮水工となるケーシングに囲まれ、かつ、廃棄物が取り除かれた、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

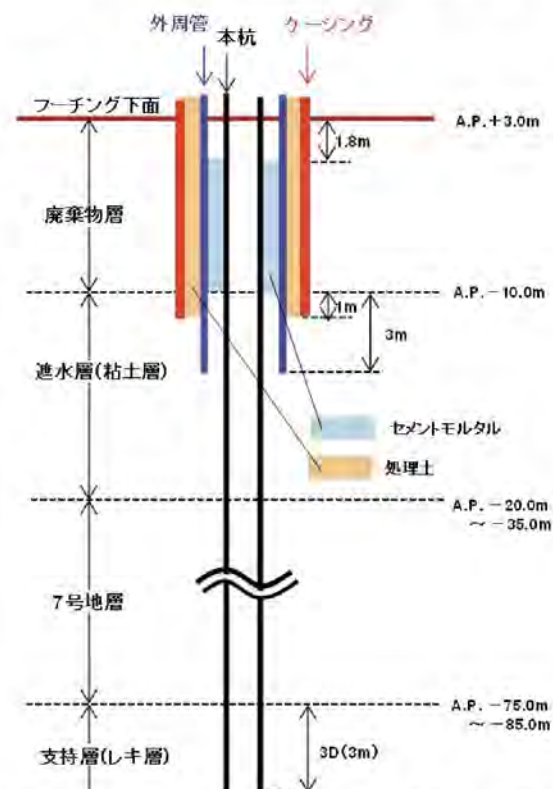


図-1 東京ゲートブリッジにおける三重管方式の杭の概念図



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

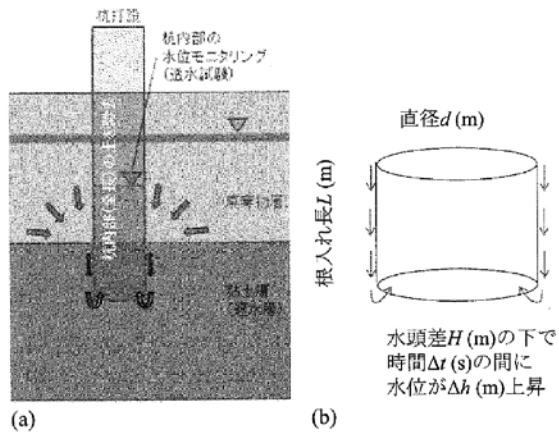


図-3 透水試験の概念図

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

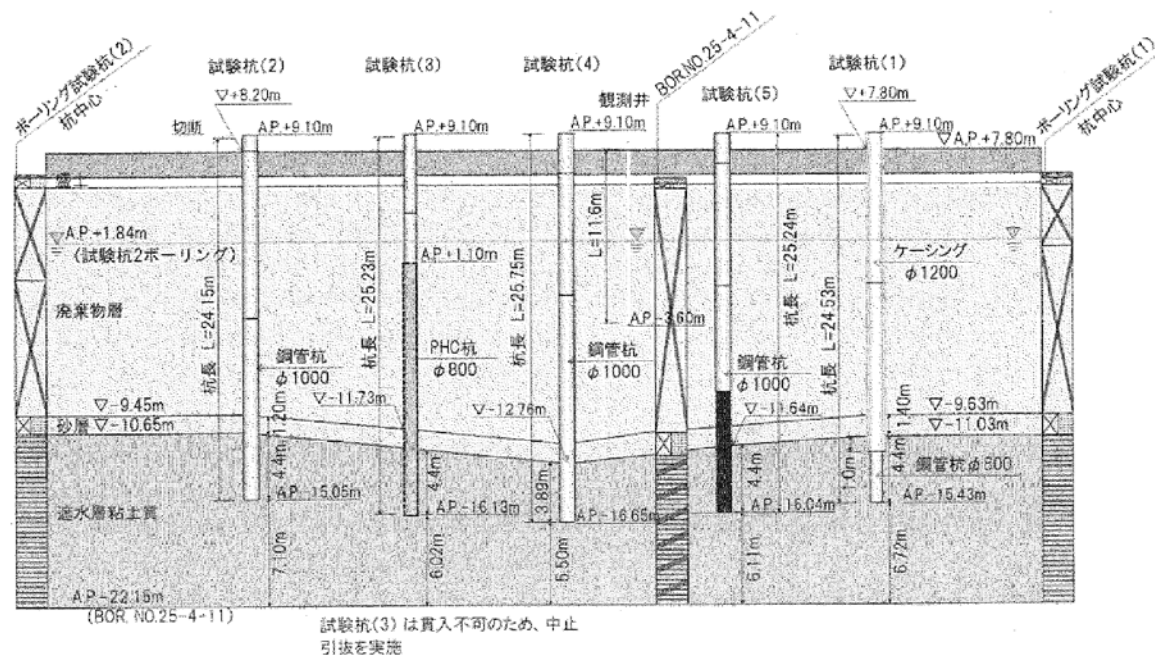


図-4 試験杭の施工条件。実際の施工位置に対応して描いているため、試験杭の順番に注意

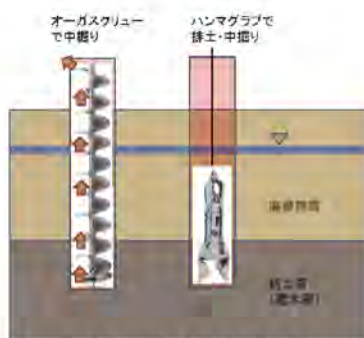


図-5 オーガースクリューによる中掘りとハンマーグラブによる土砂排出の概念図

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とした。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、遮水性能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

中掘り用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こと、内径が小さいこと、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

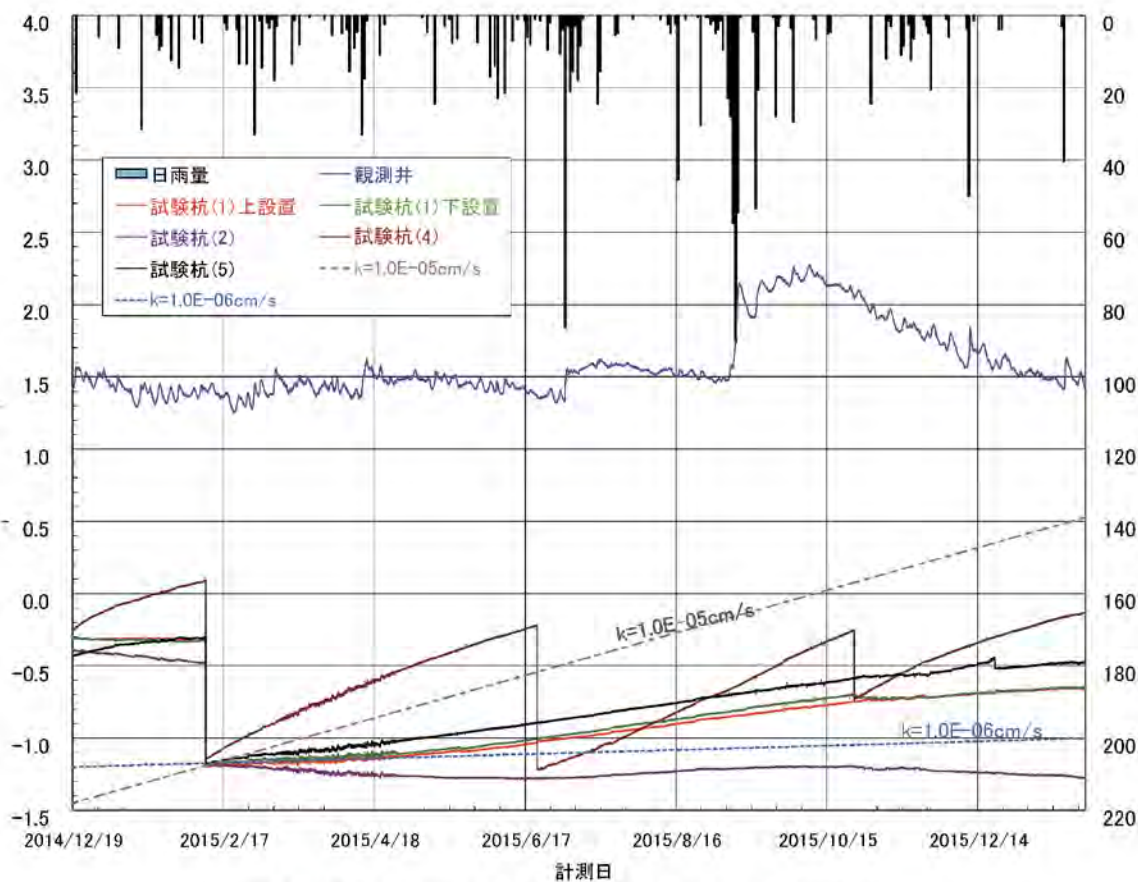


図-6 杭内水位低下による透水試験結果（試験杭1, 2, 4, 5の比較）

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、杭先端のゴム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

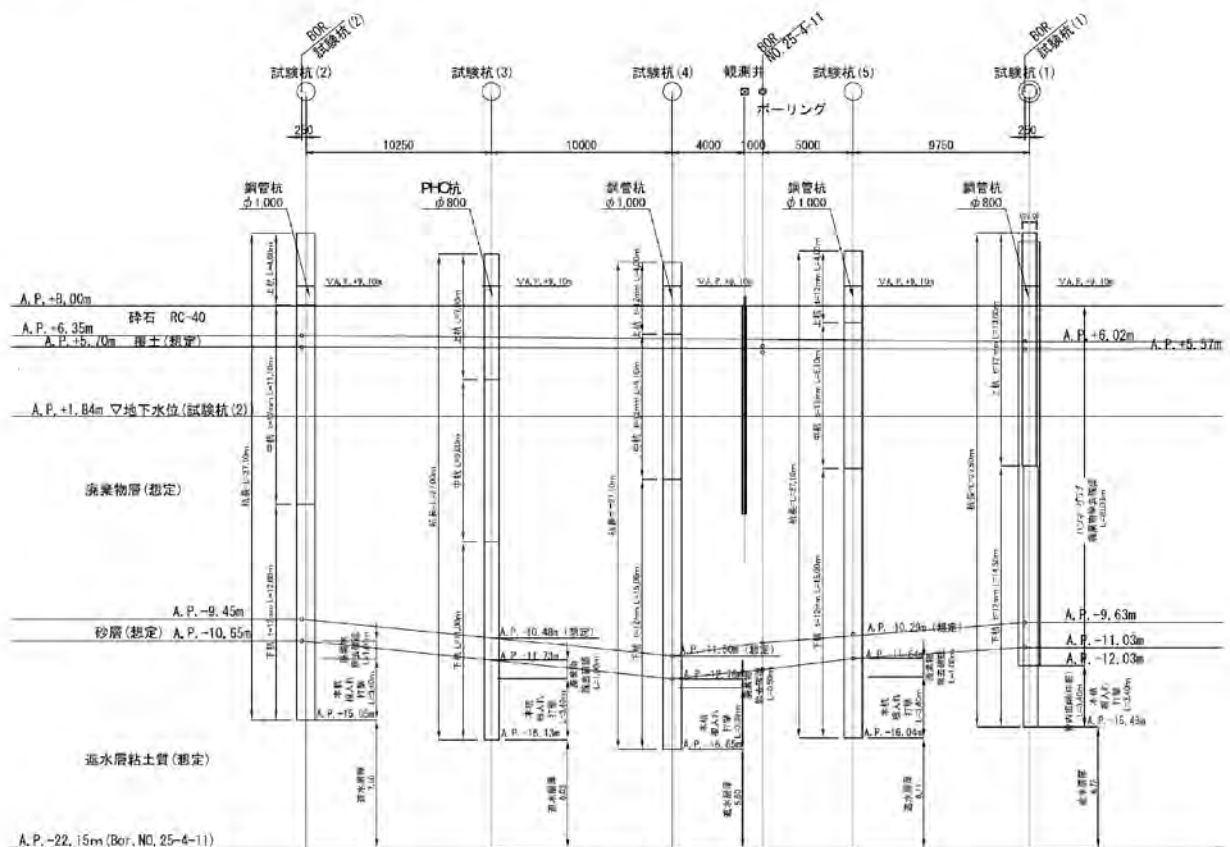
- 1) 菊池喜昭, 森脇武夫, 勝見 武, 平尾隆行, 葛川 徹, 服部 晃, 岡本功一, 山田耕一, 佐々木広輝: 管理型海面廃棄物処分場に打設する基礎杭が底面遮水基盤に与える影響, 港湾空港技術研究所資料, No.1252,

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, 渡辺修上, 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

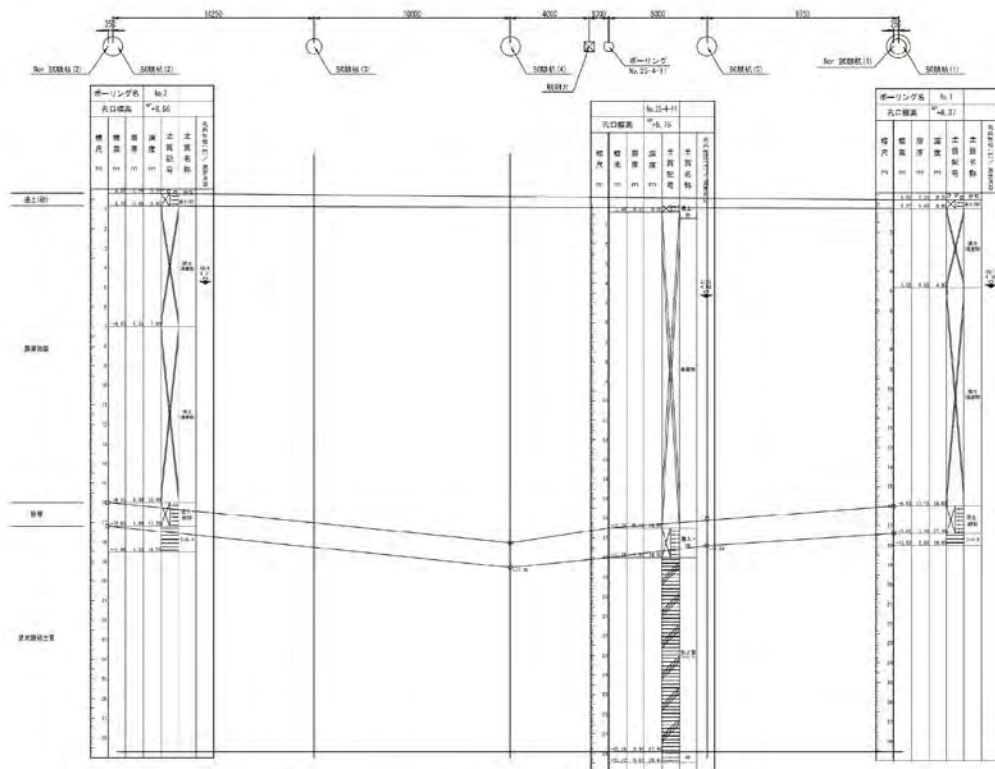
東京湾中央防波堤外側処分場において実施した杭の打設実験の断面詳細図を付録図-1.1に、ボーリング調査によって得られた試料の写真と柱状図をそれぞれ付録写真-1.1と付録図-1.2に、また、杭打設実験の準備工として施工したジオテキスタイルを使った砕石盛土の詳細図を付録図-1.3にそれぞれ示す。杭は、下杭、中杭、上杭で構成されており、地層構成を考慮し、杭打設や杭内カメラ観察の作業性を考慮してそれぞれの長さを設定した。試験杭1は本杭打設前にケーシング内をカメラ観察したので、中杭と上杭に分けず、一本もの（ここでは上杭と称している）とした。試験杭3については、下杭と中杭はPHC杭であるが、上杭は透水試験とは関係ないので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。



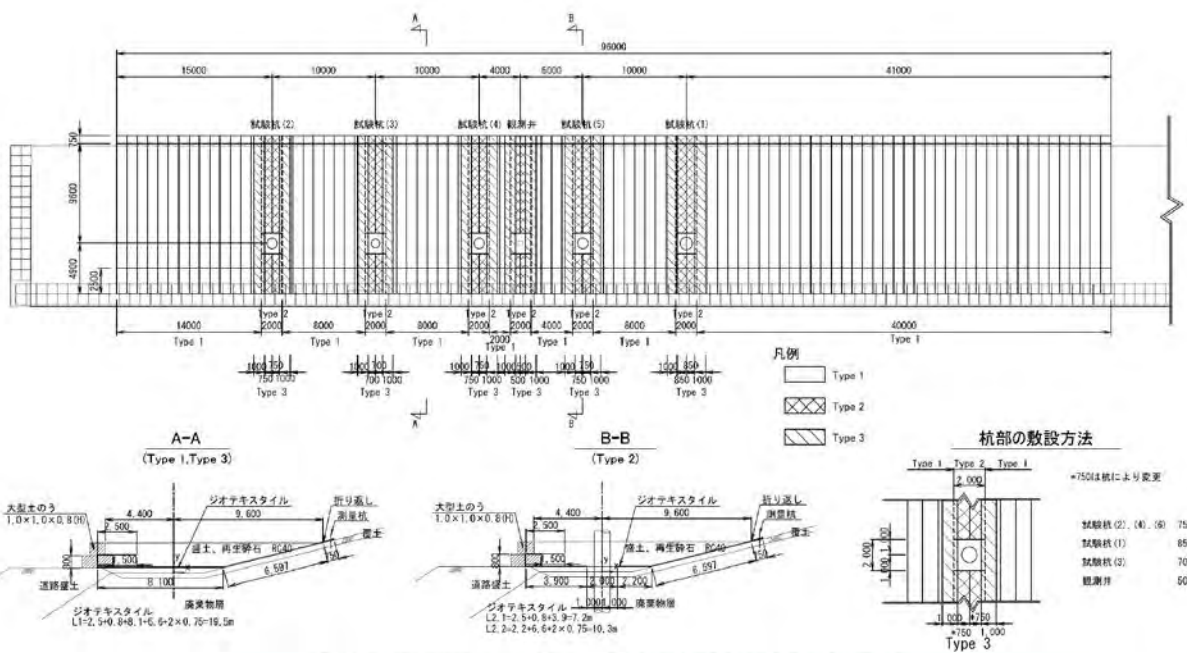
付録図-1.1 施工断面詳細図



付録写真-1.1 ボーリングコア写真 (試験杭1近傍)



付録図-1.2 ボーリング柱状図



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

付録-2 試験杭施工状況の記録

(1) 試験杭1

試験杭1の施工記録を付録表-2.1、付録図-2.1にとりまとめた。施工時の状況や判断を以下に項目別に記述する。

(a) 掘削土砂

ハンマーグラブによる杭内部からの掘削土の推移 (A.P. -7m~-11mの範囲) を付録写真-2.1に示す。廃棄物層から粘土層に変化していく様子がわかる。

(b) カメラ観察による廃棄物除去の確認

11/8に1回目の水替えを実施し、11/10にカメラ観察を実施した (付録-3を参照)。底面は確認できたが、濁りにより鋼管 (ケーシング) を確認できなかった。このとき、

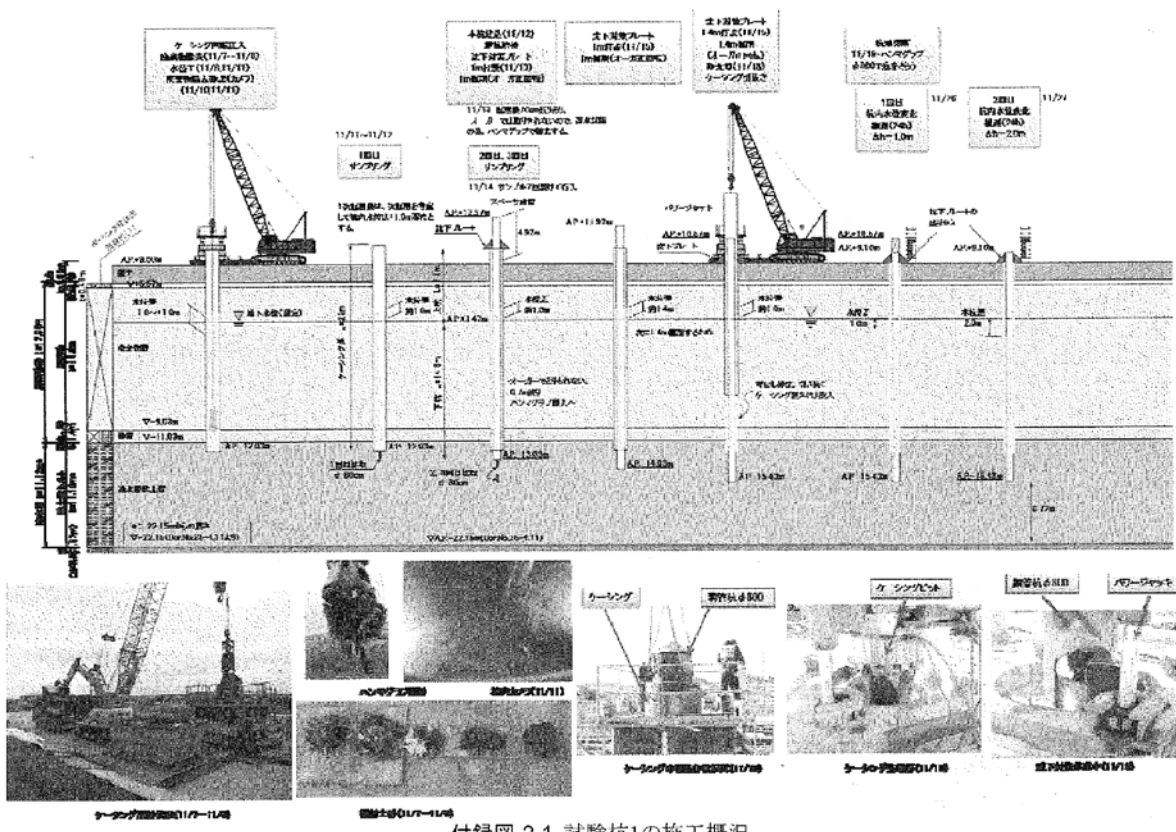
浮泥が沈降する様子が見られたので、鋼管杭と地盤との境界を確認するためには、浮泥の沈降を待ってそれをポンプで吸い上げることが必要であると判断した。そこで、翌11/11に再度2回目の水替えを行い、浮泥をポンプで除去した後、再度カメラ観察を実施したところ、ケーシングと底面の境界を確認することができた。カメラ観察は、ケーシングの東西南北の4か所において実施した。いずれもケーシングと地盤の境界において、廃棄物の連れ込みは確認されなかったが、ケーシングの際に数cmのプラスチック片が落下していた (付録-3を参照)。

(c) 鋼管杭φ800mmの建込み

ケーシング掘削後、ケーシングを敷鉄板にプレートを通じて溶接により沈下を防止しており、その内側に打設する鋼管杭はケーシングに対して沈下防止となるプレー

付録表-2.1 試験杭1の施工記録のまとめ

【試験杭(1)】			
ケーシング掘削	AP -10.00 mまで	全回転型φ1,200mm、ハンマーグラブ	11月7日
	AP -12.03 mまで	全回転型φ1,200mm、ハンマーグラブ 掘削完了	11月8日
水位確認・調整	AP +2.350 m	地下水位 ±1.0m AP. +1.68m	11月8日
1回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	11月8日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察	11月10日
2回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	11月11日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察	11月11日
試料採取	AP -12.03 m	サンプリング (AP. -12.03~AP. -12.83)	11月12日
水位確認・調整		地下水位 +1.0m	11月12日
鋼管杭打設 φ800mm 打撃工法	AP -13.03 m	鋼管圧入	11月13日
鋼管内掘削	AP -13.03 m	アースオーガ φ700	11月13日
		杭内土砂0.7m あり 透水試験用にグラブで撤去	----
試料採取 2深度分実施	AP -13.03 m	サンプリング (AP. -13.03~AP. -13.83)	11/14-11/15
		サンプリング (AP. -14.03~AP. -14.83)	11月15日
		渡部領域長より 続けて2本採取可能。(11/13)	----
水位確認・調整		地下水位 +1.0m	11月15日
鋼管杭打設 φ800mm 打撃工法	AP -14.03 m	鋼管圧入	11月15日
鋼管内掘削	AP -14.03 m	アースオーガ φ700	11月15日
	1.41m, 0.708m ³	杭内土砂1.41m あり 透水試験用にグラブで撤去	----
水位確認・調整		地下水位 +1.4m	11月15日
鋼管杭打設 φ800mm 打撃工法	AP -15.43 m	鋼管圧入	11月15日
鋼管内掘削	AP -15.43 m	アースオーガ φ700	11月15日
	3.13m, 1.573m ³	杭内土砂3.13m あり 透水試験用にグラブで撤去	---
ケーシング引抜き			11月18日
埋戻し		ケーシングと鋼管の間	11月18日
杭内土砂掘削	AP -15.43 m	φ800 ハンマーグラブ	11月19日
水位確認・調整	AP +2.160 m	地下水位 AP. +1.76m	
水位調整	AP +0.700 m	排水 (地下水位 +1.675m)	11月26日
1回目杭内水位観測		水頭差 0.975m	11月26日
水位調整	AP -0.310 mまで	排水 (地下水位 +1.660m)	11月27日
2回目杭内水位観測		水頭差 1.97m	11月28日了



付録図-2.1 試験杭1の施工概況



付録写真-2.1 試験杭1からの掘削土. A.P.-7m (左端) からA.P.-11m (右端) までの推移

トを事前に溶接しておいた。鋼管杭φ800mmの下杭と上杭を継いだ後にこれを建て込むと、自重のみで所定の深度（貫入量1m×2回，1.4m×1回で設定）まで自沈した。ケーシングと鋼管杭の間の埋戻しをケーシング引き抜き時に実施するため、鋼管杭がケーシング内で揺れて遮水層を乱してしまわないように、鋼管杭には鉄筋によるスペーサを溶接しておいた。

オーガ掘削は、杭先端深度に合わせて1m掘進を2回，1.4m掘進を1回実施したが、いずれも掘進量に対して約7割の残土量（高さ）が確認された。この結果，当初計画していたオーガ掘削では，掘削土が杭内に大量に残るため，後続して計画した水位観測試験が実施できないことがわかった。そこで，オーガ掘削後に，ハンマーグラブで底深い掘削する計画に変更した。しかし，φ800mmのハンマーグラブはあまり普及しておらず，機材の調達に

時間がかかり，現場への搬入は11/19となった。試験杭1ではケーシングの1m分の根入れが短く，ボーリングの危険があったために最終掘削後のみ水位観測試験を実施する計画であったので，ハンマーグラブによる杭内掘削よりも，その後のオーガによる掘進，サンプリング，およびケーシング引き抜きまでの作業を優先させた。

(d) ケーシングの引き抜き

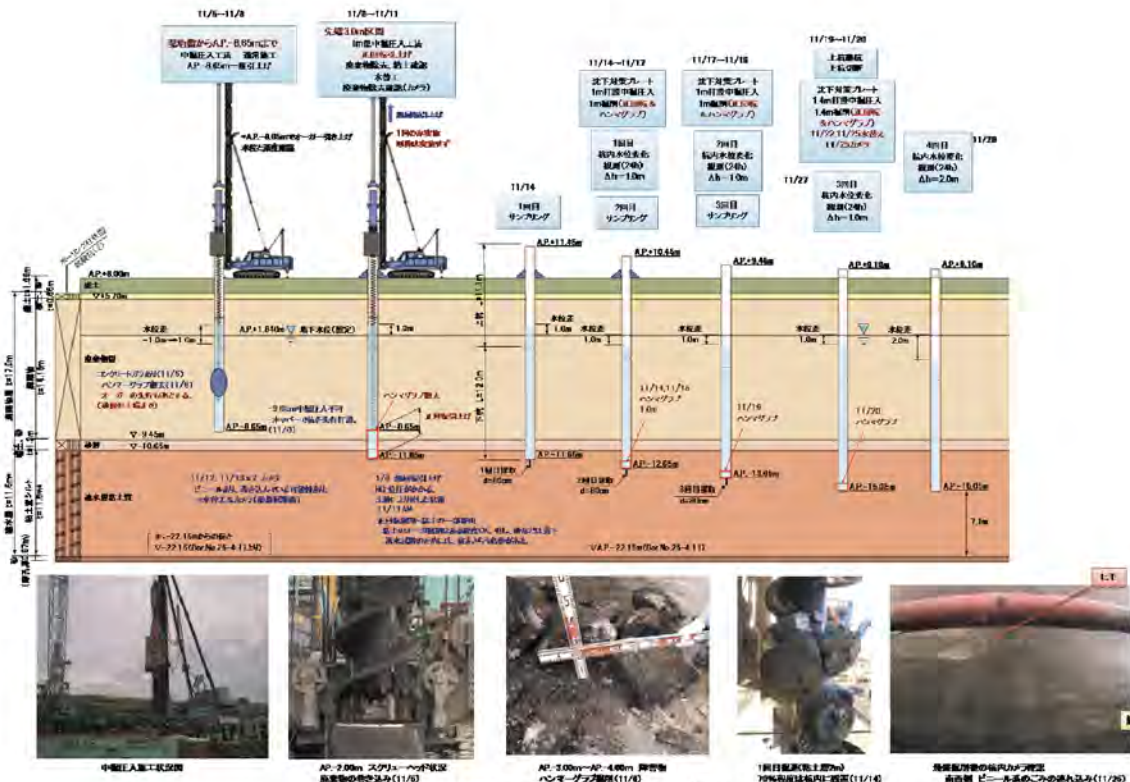
杭打設後にケーシングを引き抜く必要があるが，再生砂により埋戻しを実施した状態で引き抜くと，鋼管杭がとも上がりする可能性が懸念された。一旦とも上がりしてしまうと，杭と周面粘土層との摩擦が切れてしまい，とも上りを止めることが困難になると予想されることから，以下の手順で施工することにした。

ケーシングは2m～6m長のを継いで深さ22mまで掘進したので、順次引き抜いて切り取るケーシング分だ

け砂で埋め戻した（埋戻しの高さはレッドで計測・管理した）、ケーシングの引き抜きには、ケーシング引抜き専

付録表-2.2 試験杭2の施工記録のまとめ

手 順	深 度	備 考(参考)	
【試験杭(2)】			
鋼管杭打設 φ1,000mm 中掘工法			
下杭打設完了	AP -2.50 mまで	先端に障害物があり、これ以深打設 不可	11月5日
	AP -3.50 mまで	ハンマーグラブによる障害物(コンガラ)撤去	11月6日
	4.1m, 3.2m ³	ハンマーグラブ撤去数量	11月6日
	AP -6.60 mまで	アースオーガーのみによる先行削孔	11月6日
中杭 継杭 打設	AP -8.65 mまで	アースオーガー φ900 掘削深度はAP -8.65mまで	11月6日
		一度、オーガースクリュー引上げ	11月6日
水位確認・調整		地下水位 ±1.0m	11月6日
鋼管杭打設 中掘工法	AP -9.65 mまで	オーガー掘削 無回転引上げ	11月8日
		土砂で栓をした状態、先端で負圧の発生のおそれあり。	11月8日
鋼管杭打設 中掘工法	AP -11.65 mまで	オーガー掘削 正回転引上げ 底に4m以上残る	11月10日
	4.3m, 3.38m ³	ハンマーグラブによる土砂撤去	11月11日
水位確認・調整	AP -2.4m→2.8m	水中ポンプ	11月11日
1回目 水替え工		廃棄物層の除去確認のため、濁水から清水に水替え	11月12日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察 見えない	11月12日
2回目 水替え工		試験杭(1)にならない1日後の水替えを実施	11月13日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察	11月13日
1回目 試料採取	AP -11.65 m	サンプリング(AP-11.65m～AP-12.45m)	11月14日
水位確認・調整		地下水位 +1.0m	11月14日
鋼管杭打設 φ1,000mm	AP -12.65 mまで	鋼管中掘圧入	11月14日
鋼管内掘削	AP -12.65 mまで	オーガー掘削	11月14日
	0.95m, 0.745m ³	ハンマーグラブによる土砂撤去	11月15日
水位調整	AP 0.70 mまで	排水(地下水位 +1.71m)	11月15日
1回目杭内水位観測		水頭差 1.01m ～11/16まで	11月15日
2回目 試料採取	AP -12.65 m	サンプリング(AP-12.65m～AP-13.45m)	11月17日
水位確認・調整		地下水位 +1.0m	11月17日
鋼管杭打設 φ1,000mm	AP -13.65 mまで	鋼管中掘圧入	11月17日
鋼管内掘削	AP -13.65 mまで	オーガー掘削	11月17日
	1.45m, 1.14m ³	ハンマーグラブによる土砂撤去	11月17日
水位調整	AP 0.725 mまで	排水(地下水位 +1.71m)	11月18日
2回目杭内水位観測		水頭差 0.985m ～11/19 AM9:00まで	11月18日
3回目 試料採取	AP -13.65 m	サンプリング(AP-13.65m～AP-14.45m)	11月19日
水位確認・調整		地下水位 +1.4m	11月19日
鋼管杭打設 φ1,000mm	AP -15.05 mまで	鋼管中掘圧入	11月19日
鋼管内掘削	AP -15.05 mまで	オーガー掘削	11月19日
	1.25m, 0.981m ³	ハンマーグラブによる土砂撤去	11月20日
水位調整	AP +1.510 mまで	排水(地下水位 +1.65m)	11月20日
3回目 水替え工		試験杭(1)にならない1日後の水替えを実施	11月22日
4回目 水替え工			11月25日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察	11月25日
水位調整	AP +2.200 mまで	排水(地下水位 +1.87m)	11月25日
水位調整	AP +0.630 mまで	排水(地下水位 AP+1.67m)	11月27日
3回目杭内水位観測		水頭差 1.04m ～11/28	11月28日
水位調整	AP -0.380 mまで	排水(地下水位 AP+1.635m)	11月28日
4回目杭内水位観測		水頭差 2.02m ～11/29 了	11月29日 了



付録図-2.2 試験杭2の施工概況

用のパワージャッキを使用した。また、ケーシング引抜き中に鋼管杭が沈下してしまわないように、沈下防止用のプレートを逐次盛替えながらケーシングの引抜き作業を実施した。

(2) 試験杭2

試験杭2の施工記録を付録表-2.2、付録図-2.2にとりまとめた。施工時の状況や判断を以下に項目別に記述する。

(a) コンクリートガラ等の障害物に対する施工

コンクリートガラなどの層を掘削した状況を付録図-2.3で説明する。図中①の状況において、下杭打設完了直前に継杭のためにスクリーヘッドの高さ調整（オーガースクリューを30cm程度下げる）を実施中、杭打機がリバウンドしてしまう、オーガーヘッドが滑る、または、スクリーヘッドの刃先が何かに引っ掛かり電圧の異常上昇等が発生してオーガースクリューを貫入できなくなるなどの状態が発生した。その原因として、一般には、小さなガラが少量しかなければ、オーガで掘り進むことができることから、コンクリートガラや大きな転石等がある程度の範囲で広く分布していると考えられた。このような状況に対処するため、ハンマーグラブにより杭内と

先端部を掘削することにした。ボーリング記事に「GL. -13m (A.P. -6.45m) よりガラが漸減する」とあったことを考慮し、A.P. -6.45mまで先行してハンマーグラブで撤去することにした。

図中②では、掘削前に杭内に3.1m分の土砂（廃棄物）が入った状態から始め、廃棄物に含まれていたコンクリートガラも撤去した。しかしながら、杭先端より1.0m (A.P. -3.50m) までは撤去できたものの、その後は孔壁が崩れて掘削が進捗しなくなった（廃棄物を排出しても先に進まなくなった）ため、ハンマーグラブによる先行掘削を中止した。ハンマーグラブを使っても、杭先端より下で、かつ、杭の径よりも外側まで広がるガラの撤去は困難であった。上述した試験杭1のケーシングでは、先端にある切削用のビットで障害物を切断できたため、杭内に入った切断されたガラをグラブで撤去できた。しかし、試験杭2の中掘り圧入用の鋼管杭はガラを切断して貫入することはできない構造であることに留意が必要である。

このような状況でも中杭11.1mを打設するために、図中③のようにオーガによる先行削孔を4.1m実施した。先行削孔後に押し込むことが可能となり、図中④のように中杭の打設を完了した。その際、オーガは杭先端よりスクリーヘッド分となる1.10mまで先行させることを許

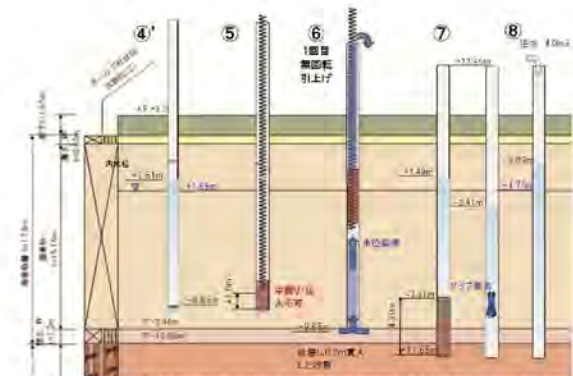
容したが、無回転引き上げを実施するA.P. -8.65mより深くは先行させないこととした。

(b) 掘削方法

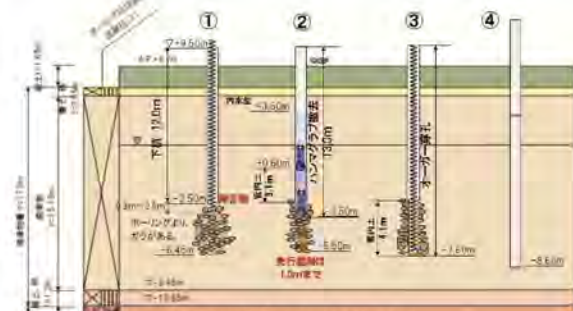
廃棄物層と遮水層との境界を確認しながら杭を所定の深さまで打設する状況を付録図-2.4で説明する。廃棄物層の下面と遮水層（粘土層）の上面との境界を確認するために、図中の④の状態から、当初はオーガ掘削で無回転引き上げを実施することを計画した。しかしながら、図中の⑤に示すように、鋼管内に廃棄物が詰まってオーガースクリューが先端まで達しない状況となり、所定の深さまで残り1m程度を残し、鋼管杭を圧入できない状況となってしまった。そこで、中掘工法で使う杭打ち機のホッパー（自重や内部の上砂を含め約10tある）を自由落下させて鋼管杭に打撃を与えることによって所定の深度（A.P. -9.65m）までの打設を完了した。

この後、地層境界を確認するために無回転引き上げを開始したところ、図中の⑥に示すように、スクリーヘッド先端から5m程度までの範囲において、廃棄物と土砂（細粒分が多い）がスクリーに絡み付き、鋼管が閉塞した状態になってしまった。この状態でオーガースクリューを引き上げると、杭先端に負圧が作用するため、水みちができるなど好ましくない状態になってしまう。杭内の水位は掘削前A.P. +2.61mから掘削後A.P. +2.65mで、水位はすぐに回復していた。また、杭内の土砂の高さはA.P. -6.25mであり、杭先にまだ3.4mの土砂が残っていた。上述のように負圧が杭先に作用すると、水みちを作ってしまう可能性が高いと判断されたため、無回転引き上げは実施しないこととした。そこで、A.P. -11.65mまでオーガによる中掘圧入を行い、オーガは常に正回転（掘削土を排出する方向に回転）を続けて停止させないことにした。また、オーガースクリューを杭先よりも先行させないこと、スクリーヘッドの先端はA.P. -11.65mより以浅とすること、再度鋼管内が閉塞した状態になった時は、オーガを逆回転させて土砂を落とし、ハンマーグラブで掘削することにした。

このような判断によって、粘土についてはオーガースクリューにより排出できたが、粘性のない砂や廃棄物のほとんどは、水とともに杭内に落下し、オーガースクリューでは引き上げることができなかった。所定の深度A.P. -11.65mまで杭を打設してオーガ掘削を完了したとき、杭内の土砂の高さはA.P. -7.31mで、約4.3mの土砂が杭内に残っていたため、これについてはハンマーグラブにより排出した。



付録図-2.4 廃棄物層と遮水層との境界付近における打設・掘削状況



付録図-2.3 障害物状況図

(c) カメラ観察による廃棄物除去状況の確認

杭内からの廃棄物除去の状況確認は、杭内に水中カメラを下ろして実施した。11/12に1回目の水替えを実施し、カメラ観察を試みた。ところが、底面は観察できたものの、水の濁りにより鋼管の壁面や鋼管の杭先の状況を観察できなかったため、11/13に2回目の水替えを実施した後、再びカメラ観察をした。その結果、杭内の底面には、粘土の塊、碎石、小さなゴミが確認された。鋼管の杭先の際を観察したところ、西側にひも状のゴミを確認したため、最終掘削完了時に改めてカメラ観察することにした。

最終深度まで打設・掘削完了後、2回の水替えを実施し、カメラ観察をした。掘削底面と鋼管の先端との境界が鮮明に観察され、南西側において、梱包用プラスチックバンドのゴミが確認された（付録-3を参照）。

(d) オーガ掘削とスクリーヘッドの状況

鋼管杭の床付け時、2回の1m掘進時、最終深度までの1.4m掘進時に、オーガ掘削後の杭内の残土量（高さ）をレッド測量により計測したところ、掘進長とほぼ同量の残土高さが確認された。このことから、オーガ掘削は、粘土を排出したというよりも、粘土をほぐしたと表現した方が適しているような状況になると示唆された。



(a) 廃棄物層掘削時



(b) 床付け時（粘土層1m）



(c) 1回目掘進時（粘土層2m）



(d) 2回目掘進時（粘土層3m）



(e) 3回目掘進時（粘土層4.4m）



(f) 粘土層4.4m付近のハンマーグラブ掘削粘土

付録写真-2.2 掘削時のスクリーヘッドの状況と排出土

スクリーヘッドを引き上げたときに、スクリーヘッドに付着してくる上砂の状況を付録図-2.5に示す。廃棄物層掘削時、ならびに粘土層掘削時（床付け時、1m掘進時×2回、最終深度までの1.4m掘進時）におけるスクリーヘッドの状況のほか、最終深度付近からハンマーグラブで掘削した遮水層粘土を示している。床付けの時点では、スクリーヘッドにひも状のごみが多く絡み付いていることが確認されたが、それ以降粘土層からはゴミは確認されず、廃棄物を掘削除去できていることが確認された。

(e) 変更項目

試験杭1と試験杭2の施工状況・観察状況を踏まえて、それ以降に施工した試験杭では、以下のように施工方法を変更することにした。すなわち、杭内部からの廃棄物や土砂の排出に、オーガースクリューを無回転で引上げることを試みたが、杭内に残った廃棄物と土砂により鋼管内が閉塞した状態となってしまう、引き上げ時に先端に著しい負圧が発生して、遮水層を乱してしまう恐れがあることがわかった。このような状況避けるため、オーガ掘削は常に正回転で行い、無回転引上げは実施しないことにした。また、途中での引上げも実施しないことと



(a) 正回転状態



(b) 逆回転状態

付録写真-2.3 特殊スクリーヘッド

した。後述する試験杭4と試験杭5では、当初の計画では、廃棄物層をハンマーグラブで掘削、遮水層の先端部(3m)をオーガ掘削する予定であったが、上述の経験を踏まえて、すべてハンマーグラブで掘削することに変更した。なお、カメラ観察のための準備で行う水替えは2回行うこととし、細粒分を沈降させて浮泥としてポンプ排出するため、1回目と2回目の水替えは1日あけて十分な沈降時間を確保することとした。

(3) 試験杭3

試験杭3の施工記録を付録表-2.3、付録図-2.5にとりまとめた。施工時の状況や判断を以下に項目別に記述する。

(a) PHC杭打設の準備

PHC杭は、現場への搬入前にJIS規格に対応した各種試験を実施し、クラック・欠陥等がないことを確認した。また、PHC杭の先端には、杭と粘土との付着をよくするために、フリクションカップを設置しないことにした。このため、地盤表層にある約2.0mの砕石地盤すら中掘り圧入できない恐れがあった。また、万一の際、クローラクレーンによる吊り上げだけではPHC杭を引き抜けない恐れがあったため、スクリーを逆回転すると突起が現れ、その突起を杭先端に引っ掛けて杭打機を使って杭を引き上げることができる特殊なスクリーヘッド（付録写真-2.3）を準備した。

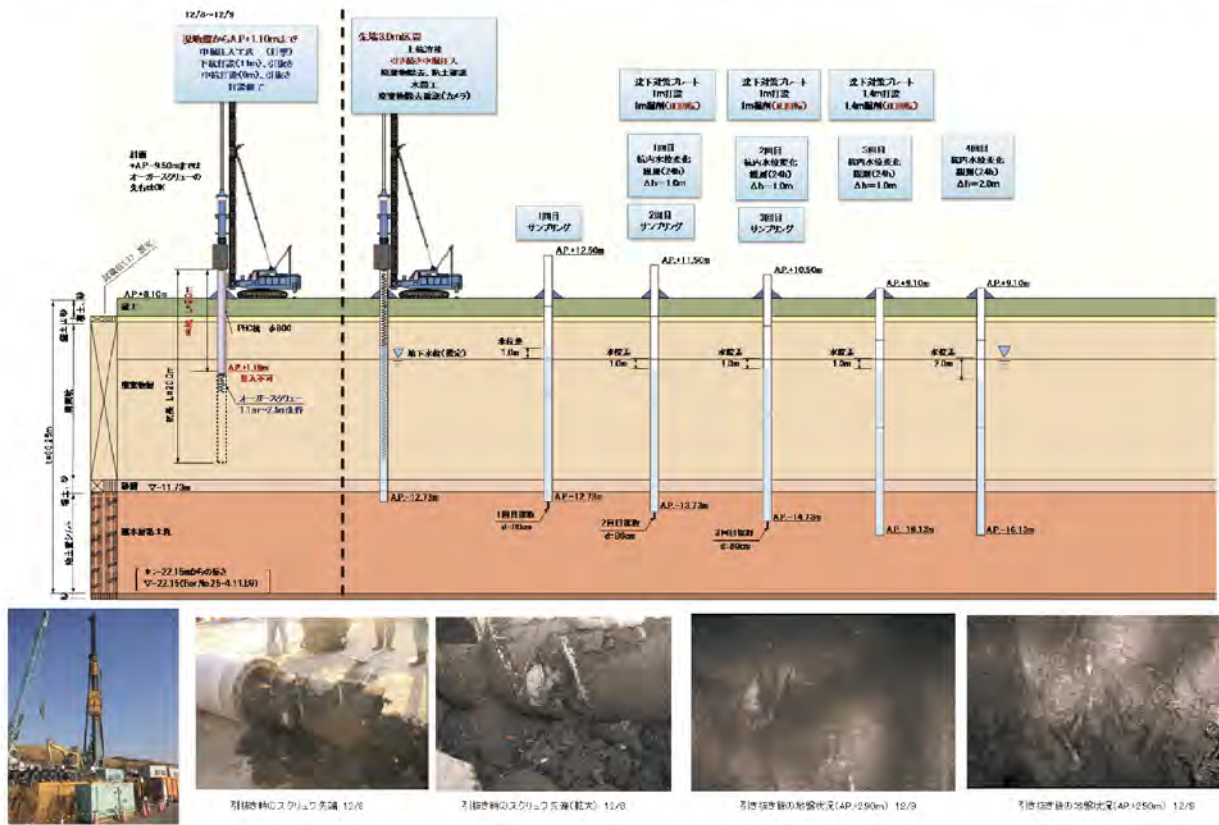
(b) PHC杭の打設状況

PHC杭の打設では、杭打機の正面方向と側面方向から鉛直性を誘導しながら作業した。試験杭2での経験から、オーガースクリューを2.5m先行削孔させて杭を圧入したが、途中で貫入が困難な状況になった。そこで、ベースマシン（三点杭打機）の自重を使って（付録図-2.6）、ベースマシンの前側が少し浮き上がる程度まで負荷をかけたが貫入の進捗が悪く、3.5m貫入したところで、ベースマシンと反対側の原地盤と同程度の高さ（偏心したときにモーメントが集中する位置）において、PHC杭に円周方向のクラックが発生してしまった（付録写真-2.4）。や

付録表-2.3 試験杭3の施工記録のまとめ

手順	深度	備考(参考)
【試験杭(3)】		
PHC杭打設 φ800mm 中掘工法		
下杭打設	AP +4.600 m	アースオーガ φ500 掘削、圧入&打撃
		打設 3.5m オーガースクリュー 2.5m先行
下杭引抜き		
中杭打設	AP +2.900 m	アースオーガ φ500 掘削、圧入&打撃
		打設 5.2m オーガースクリュー 2.5m先行
	AP +1.100 m	アースオーガ φ500 掘削、圧入&打撃
下杭引抜き		

12月8日
12月8日
12月8日
12月8日
12月8日
12月9日
12月9日了



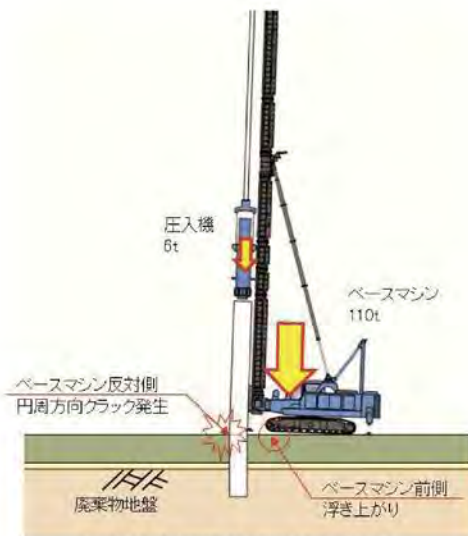
付録図-2.5 試験杭3の施工概況

むを得ず、上述した引抜き用特殊ヘッドによりPHC杭を持ち上げ、地盤との縁を切って（付着を切って）からクローラークレーンで引き上げた。

上述のように、下杭にはクラックが発生してしまったため、中杭として準備した杭を下杭として、再度PHC杭の中掘圧入を試みることにした。今回は、先端閉塞を防止するために、通常のスクリューヘッドを使うことにした。スクリューヘッドを杭先端より最大2.5mまで先行させることにして打設したが、5m貫入した状態でそれ以上の打設が不可能な状態になった。そこで、杭打機のホッパー（約9t）を使って杭頭に打撃を与え、打設の継続を



付録写真-2.4 PHC杭に発生したクラック



付録図-2.6 PHC杭の施工状況図



付録写真-2.5 杭内部の閉塞状態

試みたが、リバウンド量が20mm/回、貫入量2mm/回以下となったので、これ以上の作業の継続は困難と判断し、杭打ち作業を中断した。翌日、打設の継続を再開し、打設開始時には貫入量が3.0mm/回であったが、最終的には、1.8m打設したところで貫入量が約1.3mm/回となり、これ以上の打設継続は不可能と判断した。中杭を下杭とした今回の打設では通常のスクリューヘッドを使用したこともあり、杭内部は閉塞していなかった。

(4) 試験杭4

試験杭4の施工記録を付録表-2.4、付録図-2.7にとりまとめた。施工時の状況や判断を以下に項目別に記述する。

(a) 杭の打設と掘削状況

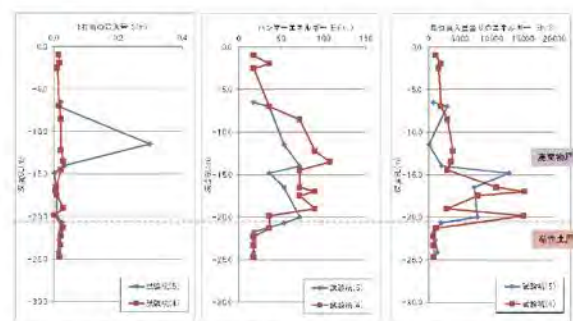
打撃工法により施工するため、杭先端に大きな負荷がかかることから、先端補強バンドを取り付けることにした。ただし、杭と粘土との付着を良くしなければならぬため、先端補強バンドは外側ではなく、内側に溶接し



付録写真-2.6 深度毎の掘削土砂。A.P. -7.75m (左上) からA.P. -12.76m (右下) までの推移



付録写真-2.7 遮水層からの掘削土砂。廃棄物が混じっている。



付録図-2.8 打設深度に対する1打撃あたりの貫入量S、打撃エネルギーEh、貫入量あたりに要したエネルギーEh/Sの深度分布図

た。杭の打設には、油圧ハンマNH-100 (ラム重量10t) を用いた。打設エネルギーEhは、打設記録として得られるラムの自由落下高さにラム重量を乗じて算出することができる。打設深度に対する1打撃あたりの貫入量S、打撃エネルギーEh、貫入量あたりに要したエネルギーEh/Sを付録表-2.5に示す。また、これを深度方向の分布図として示したものを付録図-2.8に示す。

A.P. +1.00m～A.P. -10.00mの掘削では、コンクリートガラが混じっていた。杭内水位観測により透水試験を実施するには、根入れ長を管理するために粘土層の上端を把握する必要があった。そこで、ハンマグラフによる掘

付録表-2.4 試験杭4の施工記録のまとめ

【試験杭(4)】			
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -11.85 mまで		11/21~11/22
鋼管内掘削	AP -7.65 mまで	ハンマーグラブ AP.+1.0m~-7.65mまでガラあり	11月22日
水位調整	AP -1.75 mまで	地下水位 AP+1.86m	11月22日
鋼管内掘削	AP -11.85 mまで	ハンマーグラブ	11月24日
	AP -11.75 mまで	ハンマーグラブ 粘土確認できず。再打撃	11月24日
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -13.25 mまで	油圧ハンマ打撃 実測 AP.-13.26m	11月24日
鋼管内掘削		ハンマーグラブ -12.76mで粘土層確認。	11月24日
水位確認・調整		地下水位 ±1.0m 以内	11月24日
1回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	11月25日
2回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	11月27日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察	11月27日
1回目試料採取	AP -13.26 m	サンプリング(-13.26~-14.06)	11月27日
水位確認・調整		地下水位 ±1.0m	11月28日
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -14.25 mまで	油圧ハンマ	11月28日
鋼管内掘削	AP -14.25 mまで	ハンマーグラブ	11月28日
水位調整	AP +0.660 mまで	排水(地下水位 +1.635m)	11月28日
1回目杭内水位観測		水頭差 0.975m ~11/29 10:00AM	11月28日
2回目試料採取	AP -14.25 m	サンプリング(-14.25~-15.05)	11月29日
水位確認・調整		地下水位 ±1.0m	11月29日
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -15.25 mまで	油圧ハンマ	11月29日
鋼管内掘削	AP -15.25 mまで	ハンマーグラブ	11月29日
水位調整	AP +0.710 mまで	排水(地下水位 +1.715m)	12月1日
2回目杭内水位観測		水頭差 1.005m ~12/2 8:40AM	12月1日
3回目試料採取	AP -15.25 m	サンプリング(-15.25~-16.05)	12月2日
水位確認・調整		地下水位 ±1.4mまで	12月2日
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -16.65 m	油圧ハンマ	12月2日
鋼管内掘削		ハンマーグラブ	12月2日
水位確認・調整		地下水位 ±1.0m 以内	12月2日
3回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	12月4日
4回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	12月6日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察	12月6日
水位調整	AP +0.710 m	排水(地下水位 +1.70m)	12月8日
3回目杭内水位観測		水頭差 0.99m	12月8日
水位調整	AP -0.430 mまで	排水(地下水位 1.55m)	12月9日
4回目杭内水位観測		水頭差 1.98m ~12/9 完了	12月9日

削土の土質の推移を見て、粘土層の深度を把握した。計画したA.P. -11.85mまで鋼管杭を打設し、杭内を予定のA.P. -11.75mまで掘削しても粘土は現れなかった。既存ボーリングBOR.NO.25-4-11の粘土層の境界A.P. -12.25mを基にA.P. -13.26mまで鋼管杭を再打撃し、内部をハンマーグラブで掘削した結果、A.P. -12.76mで粘土を確認できた。最終打設時の鋼管先端から遮水層の下端(A.P. -22.15m)までの厚さを5.5m以上確保することを今回の実験の条件としていたので、次段階以降の掘進と掘削深度を付録表-2.6のように変更した。

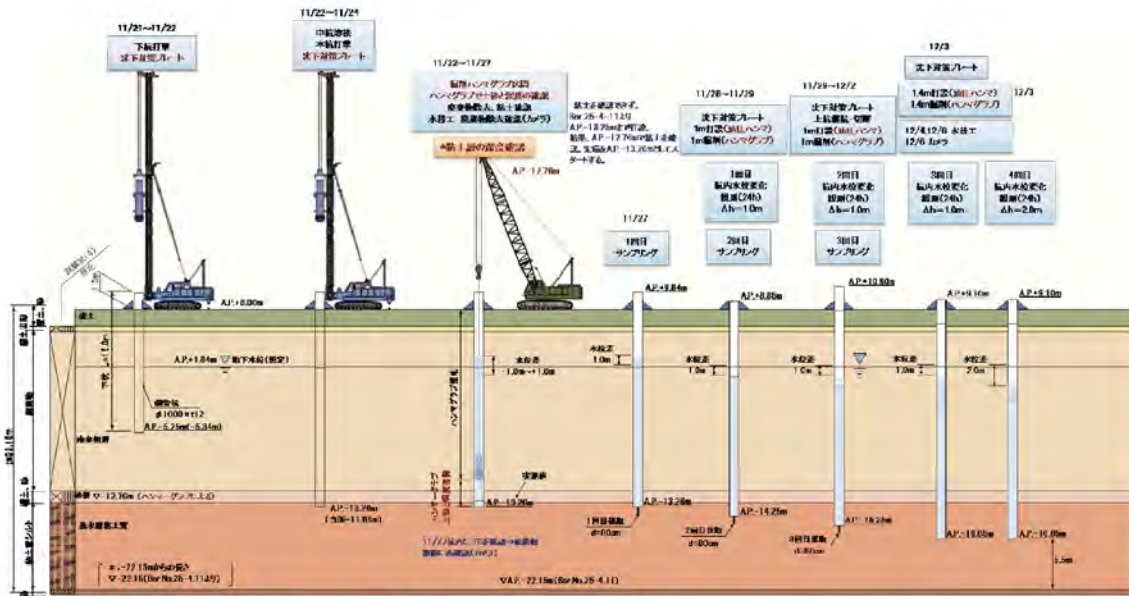
ハンマーグラブによる掘削土を付録写真-2.6に示す。廃棄物層から砂層を介して粘土層に推移していく様子が

わかる。また、粘土層を掘削している間にも、掘削土には常に廃棄物が混じっている状態であった(付録写真-2.7)。

(b) カメラ観察による廃棄物除去状況の確認

杭の先端深度がA.P. -13.26mの状態において、試験杭1と試験杭2の経験を活かして2回の水替えを実施した後、杭内の4方向(東西南北)の位置において水中カメラで観察したところ、大量のゴミが確認されたことから、最終掘削後に再度カメラ観察を実施することにした。

最終深度において2回の水替えを行った後、水中カメラで観察を行った結果、杭先端部と底面の境界に依然と



付録図-2.7 試験杭4の施工概況

付録表-2.5 打設深度に対する1打撃あたりの貫入量S, 打撃エネルギーEh, 貫入量あたりに要したエネルギーEh/S (試験杭5と試験杭4を併記)

試験杭(5)							試験杭(4)								
深度 (m)	貫入量 (m)	土層区分	貫入量毎の 打撃回数 (回)	1打毎の 貫入量S (m)	ラム落 下高 (m)	打撃エネ ルギー-Eh (kJ)	Eh/S (kJ/m)	深度 (m)	貫入量 (m)	土層区分	貫入量毎の 打撃回数 (回)	1打毎の 貫入量S (m)	ラム落 下高 (m)	打撃エネ ルギー-Eh (kJ)	Eh/S (kJ/m)
0.0								0.0	1.0	砕石	67	0.015	0.18	18	1206
								-2.0	1.0	砕石	56	0.018	0.36	36	2016
-6.5	6.5	砕石、廃棄物層	285	0.023	0.18	18	789	-2.5	0.5	砕石、廃棄物層	47	0.011	0.18	18	1692
-7.0	0.5	廃棄物層	42	0.012	0.36	36	3024	-7.0	4.5	廃棄物層	260	0.017	0.36	36	2080
-11.5	4.5	廃棄物層	15	0.300	0.54	54	180	-8.5	1.5	廃棄物層	65	0.023	0.72	72	3120
-14.0	2.5	廃棄物層	73	0.034	0.72	72	2102	-12.2	3.7	廃棄物層	162	0.023	0.9	90	3941
-14.8	0.8	廃棄物層	285	0.003	0.36	36	12825	-13.5	1.3	廃棄物層	44	0.030	1.08	108	3655
-16.5	1.7	廃棄物層	231	0.007	0.54	54	7338	-14.5	1.0	廃棄物層	43	0.023	0.72	72	3096
-20.0	3.5	廃棄物層	378	0.009	0.72	72	7776	-16.5	2.0	廃棄物層	301	0.007	0.72	72	10836
								-17.0	0.5	廃棄物層	85	0.006	0.9	90	15300
								-17.5	0.5	廃棄物層	55	0.009	0.72	72	7920
								-19.0	1.5	廃棄物層	50	0.030	0.9	90	3000
-20.7	0.7	廃棄物、砂、粘性土層	26	0.027	0.54	54	2006	-19.85	0.85	廃棄物層	360	0.002	0.36	36	15247
-21.7	1.0	粘性土層	51	0.020	0.18	18	918	-21.3	1.45	廃棄物、砂、粘性土層	51	0.028	0.36	36	1266
-22.7	1.0	粘性土層	58	0.017	0.18	18	1044	-22.3	1.0	粘性土層	45	0.022	0.18	18	810
-24.1	1.4	粘性土層	114	0.012	0.18	18	1466	-23.3	1.0	粘性土層	50	0.020	0.18	18	900
								-24.7	1.4	粘性土層	73	0.019	0.18	18	939

して廃棄物が確認された。これらの廃棄物は杭先に巻き込まれた状態で連れ込まれている廃棄物であると考えられ、梱包用のプラスチックバンドやビニル類が多く、木

片も見られた (付録-3を参照)。

(5) 試験杭5

試験杭5の施工記録を付録表-2.7、付録図-2.9にとりまとめた。施工時の状況や判断を以下に項目別に記述する。

付録表-2.6 施工深度の変更

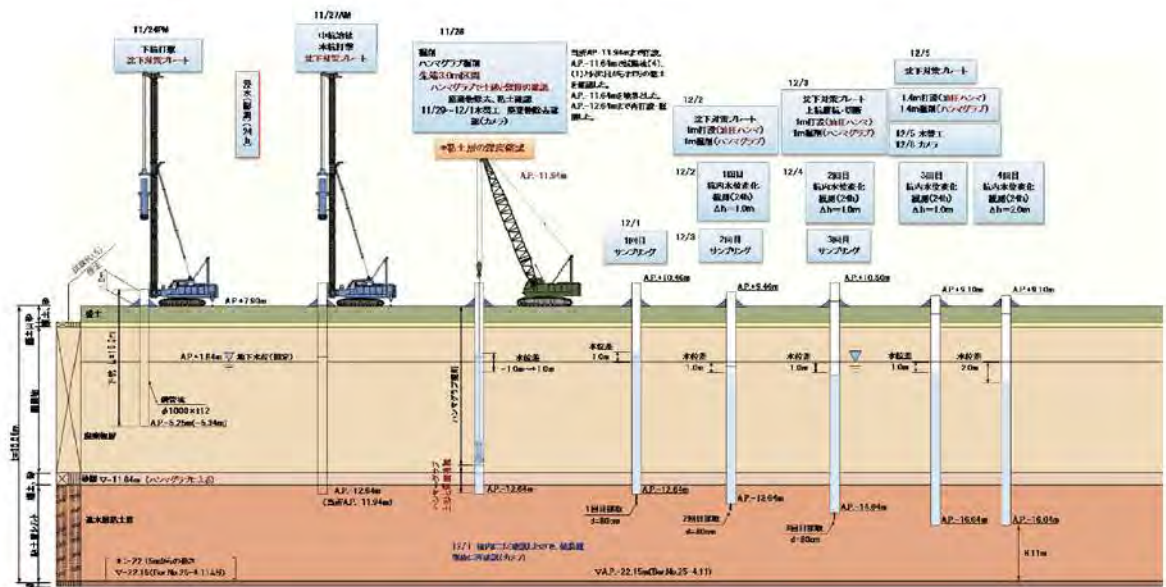
施工段階	深度 A.P. (m)	粘土層厚 (m)	備考
床付け	-13.26m	0.50m	A.P.-12.76mにて 粘土確認
1回目掘進	-14.25m	1.49m	
2回目掘進	-15.25m	2.49m	
3回目掘進 (最終深度)	-16.65m	3.89m	遮水層厚5.5m確保

(a) 塗布剤

塗布作業を行う業者が杭メーカーの工場敷地内に入ることが許可されなかったため、杭打設を行う現地にて塗

付録表-2.7 試験杭5の施工記録のまとめ

手 順	深 度	備 考 (参考)	
【試験杭(5)】			
塗布剤塗布		下杭内外面(杭先端から8mの範囲)	11/20-11/22
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -6.00 m		11月24日
浸水 (塗布剤膨潤)		24h	
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -11.94 mまで	油圧ハンマ打設	11月27日
鋼管内掘削	AP -11.94 mまで	ハンマーグラブ 粘土をAP.-11.64mで確認	11月28日
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -12.64 mまで	油圧ハンマ打設	11月28日
	AP -12.64 mまで	ハンマーグラブ	11月28日
水位確認・調整		地下水位 ±1.0m	11月29日
1回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	11月29日
2回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	12月1日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察	12月1日
1回目 試料採取	AP -12.64 m	サンプリング(AP.-12.64~-13.44)	12月1日
水位確認・調整		地下水位 +1.0m	12月1日
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -13.64 m	油圧ハンマ打設	12月2日
鋼管内掘削	AP -13.64 m	ハンマーグラブ	12月2日
水位調整	AP +0.730 mまで	排水(地下水位 +1.735m)	12月2日
1回目杭内水位観測		水頭差 1.005m ~12/3 10:15AM	12月2日
2回目 試料採取	AP -13.64 m	サンプリング(AP.-13.64~-14.44)	12月3日
水位確認・調整		地下水位 +1.0m	12月3日
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -14.64 m	油圧ハンマ打設	12月3日
鋼管内掘削	AP -14.64 m	ハンマーグラブ	12月3日
水位調整	AP +0.660 mまで	排水(地下水位 +1.675m)	12月4日
2回目杭内水位観測		水頭差 1.015m ~12/5 8:40AM	12月4日
3回目 試料採取	AP -14.64 m	サンプリング(AP.-14.64~-15.44)	12月5日
水位確認・調整		地下水位 +1.4m	12月5日
鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法	AP -16.04 m	油圧ハンマ打設	12月5日
鋼管内掘削	AP -16.04 m	ハンマーグラブ	12月5日
水位確認・調整		地下水位 ±1.0m 以内	12月5日
3回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	12月5日
4回目水替え工		水槽4槽、ポンプ2	12月8日
杭内廃棄物除去確認		杭内カメラ観察	12月8日
水位調整	AP +0.510 m	排水(地下水位 +1.555m)	12月9日
3回目杭内水位観測		水頭差 1.04m	12月9日
水位調整	AP -0.500 mまで	排水(地下水位 +1.515m)	12月10日
4回目杭内水位観測		水頭差 2.015m ~12/11 了	12月10日 了



付録図-2.9 試験坑5の施工概況



(a) A.P. -12.64m



(b) A.P. -13.64m



(c) A.P. -14.64m



(d) A.P. -16.04m

付録写真-2.9 粘土層掘進時の掘削土の状況

布作業を実施した。塗布剤の保管や作業時の換気、作業者の資格など、管理上の留意事項を以下にまとめる。

- ・塗布剤のこぼれ、漏洩、発散を防止するため、堅固な容器に入れて換気の良い場所に保管した。
- ・杭内における塗布作業では、プッシュプル型（片側送気、反対側吸気）の換気が必要である。

- ・屋内や坑内で有機溶剤を扱う際は、有機溶剤作業主任者を配置するとともに、作業者には特別教育を受講させる。

塗布作業場所には、送風機による換気が必要であるが、風がないと周辺にシンナーの様な揮発性の臭いが拡散してしまい、作業者以外の人もガスを吸ってしまうなど、

付録表-2.8 施工深度の変更

施工段階	深度 A.P. (m)	粘土層厚 (m)	備考
床付け	-12.64m	1.00m	A.P. -11.64mにて粘土を確認
1回目掘進	-13.64m	2.00m	
2回目掘進	-14.64m	3.00m	
3回目掘進(最終)	-16.04m	4.40m	遮水層厚6.11mを確保

周辺へ悪影響を与える可能性があることに留意が必要である。固まる前に垂れて塗りムラができてしまうため、塗布剤を一度に多く・厚く塗りすぎてはいけない。また、雨の日の作業では、ビニルシートなどで屋根を作り、雨が当たらないようにする必要がある。一方、鋼管杭の内側に塗布するとき、送風機による換気が必要であるが、風で塗布剤が飛び散ることがあるので、留意が必要である。なお、今回の作業では、杭の内側、外側の両面に1日あたり1層、3日間にわたり計3層を塗り重ねた。

(b) 杭の打設と掘削状況

試験杭4と同様に、鋼管の内側に先端補強バンドを設置した。打設深度に対する1打撃あたりの貫入量 S 、打撃エネルギー Eh 、貫入量あたりに要したエネルギー Eh/S を付録表-2.5に、また、これを深度方向の分布図としたものを付録図-2.8に示した。

試験杭5でも、試験杭4と同様に粘土層の上端深度をハンマーグラフにより掘削して確認した。計画したA.P.-11.94mまで鋼管杭を打設し、杭内掘削を実施した結果A.P.-11.64mで粘土を確認できた。これに合わせて、杭先端深度・掘削深度の設定を付録表-2.8のように変更した。

ハンマーグラフによる掘削上を付録写真-2.8に示す。廃棄物層から砂層を介して粘土層に推移していく様子がわかる。これより下にある粘土層を掘削している間にも、掘削土には常に廃棄物が混じっている状態であったことから(付録写真-2.9)、廃棄物が連れ込まれていたことがわかる。

(c) カメラ観察による廃棄物除去状況の確認

杭の先端深度がA.P.-12.64mの状態において、2回の水替え後、杭内の4方向(東西南北)の位置において水中カメラ観察を実施したが、大量のゴミが確認されたため、最終掘削後に再度カメラ観察を実施することにした。なお、1回目の観察では、カメラを下ろしていくと、廃棄物が多くてカメラが杭先端まで下がらない状況であった。

最終深度において、2回の水替え後に水中カメラ観察を行った。杭先端部と底面との境界に沿って廃棄物が連れ込まれていることが確認された。他の杭に比べると、



付録写真-2.8 深度毎の掘削土砂。A.P. -8.14m (左上) からA.P. -12.59m (右下) までの推移

プラスチックやビニル製の袋状のゴミが多いと感じられた(付録-3を参照)。

付録-3 杭先の中カメラ観察

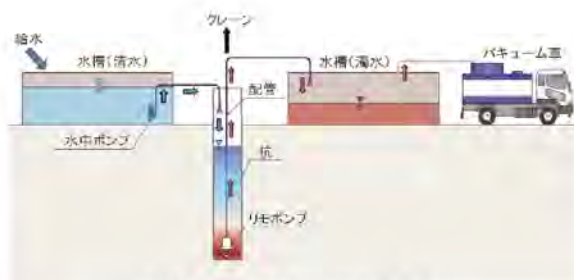
杭内の廃棄物除去状況を確認するために、水中カメラによる観察を行った。掘削したままでは杭内の水の濁りが激しく、視界不良となるため、カメラ観察の前に杭内の水を清水で置換えておく必要がある。水替えの方法には、場所打ち杭のスライム処理のやり方を適用した（付録図-3.1）。使用した主な施工機材を付録表-3.1に、その配置を付録図-3.2に示す。

杭の先端位置から管内水を浮泥とともに吸い上げ、杭頭より清水を供給することで水替えを行い、排水の色の変化により水替え完了を判断した。水替え直後は濁りがあるためカメラ観察できないことや、1回目の水替え後、時間が経過すると浮泥が沈殿して杭（試験杭1ではケーシング）と杭先の地盤との境界が不明瞭になることがわかったため、カメラ観察前に水替えを2回実施することにした。2回目の水替えでは、1回目の水替え後に沈殿した浮泥を吸い上げることが目的でもあるため、沈降に十分な時間を確保できるように、2回目の水替えは1回目の水替えの翌日以降に実施することにした。必要水量として、場所打ち杭の場合と同様に杭内水量の2倍程度（試験杭1では径が大きなケーシングが対象となるので25m³、試験杭2、4、5では21m³）と計画していたが、実際には、排水の濁りがなくなるまでには計画よりも多くの水量を必要とした（最初に実施した試験杭1では60m³で終了としたが、他の試験杭では十分な水替えのため100m³使った）。

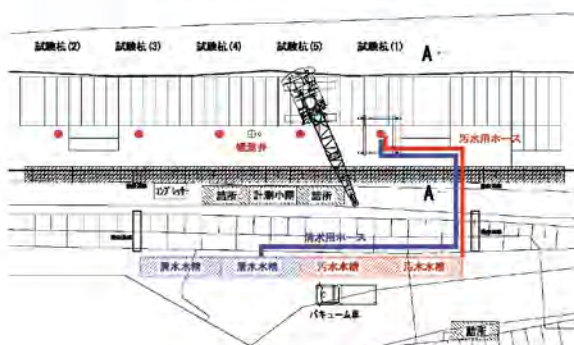
水替えを行った際に実施した水質試験の結果を付録表-3.2に示す。なお、使用した清水は全ての杭に対して同一箇所から購入した水を使用したため、初回（試験杭1）のみ水質試験を実施した。

杭内の水を清水で置換えた後、杭内の掘削底面を水中カメラにより観察した。杭が廃棄物（ゴミ）を連れ込んでいるかどうかを確認することが観察目的となるため、杭の先端部において東西南北の4方向にカメラを密着さ

した。杭の先端部において東西南北の4方向にカメラを密着さ



付録図-3.1 水替え工の概要図



付録図-3.2 水替え工の施工配置図

付録表-3.1 水替えに用いた機材一覧

施工機材	規格	数量	備考
リモポンプ	4インチ	1台	排水用
配管	φ100mm	28m	リモポンプ用
水中ポンプ	4インチ	1台	注入用
水槽	42m ³	2槽	清水用と濁水用
	35m ³	2槽	清水用と濁水用
発電機	90KVA	1台	
クローラクレーン	60KVA	1台	ハンマーグラブ掘削機材
給水車	80t		
バキューム車	4m ³	1式	濁水の処理用

付録表-3.2 水替え時の水質検査結果

試験杭	試験	単位	清水	濁水	置換水
試験杭1	水素イオン濃度	PH	7.7	8.3	8.0
	有機体炭素TOC	mg/L	6.2	34	4.6
	電気伝導率EC	mS/m	74.0	241	69.0
	濁度		4.8	335	10.7
試験杭2	水素イオン濃度	PH	—	8.3	7.8
	有機体炭素TOC	mg/L	—	39	7.2
	電気伝導率EC	mS/m	—	239	76.3
	濁度		—	—	22.8
試験杭4	水素イオン濃度	PH	—	8.3	7.7
	有機体炭素TOC	mg/L	—	220	5.8
	電気伝導率EC	mS/m	—	392	74.3
	濁度		—	—	19
試験杭5	水素イオン濃度	PH	—	7.9	7.8
	有機体炭素TOC	mg/L	—	92	4.9
	電気伝導率EC	mS/m	—	118	72.6
	濁度		—	—	32



付録写真-3.1 カメラ観察画像（試験杭1施工時のケーシング先端部）



付録写真-3.2 カメラ観察画像（試験杭2の1回目）



付録写真-3.3 カメラ観察画像（試験杭2の2回目）

せて撮影した。各試験杭において得られた撮影画像を以下に示す。

(1) 試験杭1

ケーシング先端部で撮影した水中カメラ観察画像を付録写真-3.1に示す。微細なプラスチック片と思われる廃棄物がわずかに観察されたが、廃棄物をきわめて良好に除去できていることが確認できた。

(2) 試験杭2（1m根入れ時）

杭先端が粘土層に1m根入れされた状態での杭先端部における水中カメラ観察画像（1回目観察画像）を付録写真-3.2に示す。わずかではあるが、廃棄物が取り切れずに残されていることが確認できた。

(2') 試験杭2（4.4m根入れ時）

杭先端が粘土層に4.4m根入れされた状態での杭先端部における水中カメラ観察画像（2回目観察画像）を付録写真-3.3に示す。廃棄物はほぼ取り切れているが、杭先端に巻き込まれて連れ込まれた梱包用プラスチックバンドが1本だけ残されていた。



付録写真-3.4 カメラ観察画像（試験杭4の1回目）



付録写真-3.5 カメラ観察画像（試験杭4の2回目）

(3) 試験杭4（0.5m根入れ時）

杭先端が粘土層に0.5m根入れされた状態での杭先端部における水中カメラ観察画像（1回目観察画像）を付録写真-3.4に示す。杭先端に大量の廃棄物が残っている様子を確認できる。

(3') 試験杭4（3.9m根入れ時）

杭先端が粘土層に3.9m根入れされた状態（最終深度）での杭先端部における水中カメラ観察画像（2回目観察画像）を付録写真-3.5に示す。0.5m根入れ時よりも廃棄物が減ってはいるが、杭先端にはまだ大量の廃棄物が残っている様子を確認できる。

(4) 試験杭5（1m根入れ時）

杭先端が粘土層に1m根入れされた状態での杭先端部における水中カメラ観察画像（1回目観察画像）を付録写真-3.6に示す。試験杭4と同様に大量の廃棄物が残っている様子を確認できる。なお、試験杭5の杭先に残っている廃棄物は、他の杭と比べるとプラスチックやビニルの袋状の廃棄物が多いのが特徴である。



付録写真-3.6 カメラ観察画像（試験杭5の1回目）



付録写真-3.7 カメラ観察画像（試験杭5の2回目）

(4') 試験杭5（4.4m根入れ時）

杭先端が粘土層に4.4m根入れされた状態（最終深度）での杭先端部における水中カメラ観察画像（2回目観察画像）を付録写真-3.7に示す。粘土を掘り進めても、依然として大量の廃棄物が残っている様子を確認できる。

付録4 施工時の水位観測

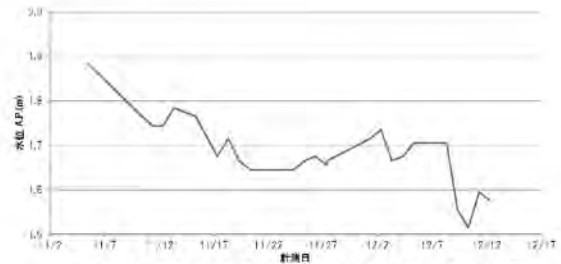
杭打設後に本格的に実施した透水試験については、本文中で記述しているが、ここでは、施工中に実施した水位観測の結果について取りまとめる。杭周辺の地下水位は廃棄物層内にあり、施工範囲のほぼ中央地点に設置した観測井（付録図-1.1を参照）で水位を計測した。水位は間隙水圧計により10分間隔で計測したほか、手動式水位計によっても計測した。

手動式水位計による測定結果を付録図-4.1に示す。一方、間隙水圧計による水位計測では、上述の手動式水圧計の計測値により初期値を設定し、10分間隔で計測した。試験杭2における1回目の杭内水位観測時に、手動式水位計では水位変化が観測されないにもかかわらず、間隙水圧計のデータは変化し、両者に乖離が見られた。そのため、間隙水圧計のデータは毎週2回（月曜と木曜）手動式の計測値に合わせて補正することにした（付録図-4.2）。間隙水圧計の計測値にドリフトが現れる理由はまだ明らかではないが、今回の計測では間隙水圧計のコード延長が100m程度と長く、計測方法に限界があったことも考えられる。

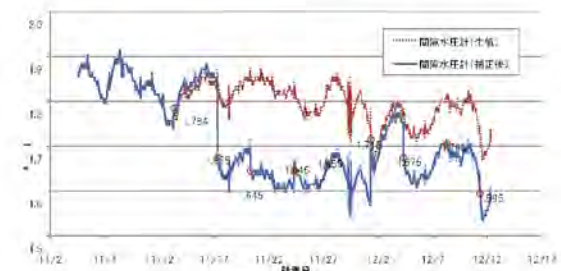
各試験杭の杭内水位観測は、パイピングの危険などを事前に検討しておき、安全を見込んで付録表-4.1の条件で実施した。上述のように、間隙水圧計による地下水位観測ではドリフト等により著しい誤計測が生じることがわかったため、以降は、手動式水位計により、0h、1h、3h、6h、24h（以降は24hごと）に計測することにした。手動式水位計で計測した水位計測結果を付録図-4.3に示す。周辺の地下水位はA.P. -1.7m前後にあり、これよりも1mまたは2mを水位を下げて透水試験を実施した。付録図-4.3において、水位を下げている部分が透水試験に該当するが、24hの杭内水位観測結果として、試験杭1および試験杭2では水位上昇は観測されなかったが、試験杭4や試験杭5においてわずかな水位上昇が見られた。

杭内土砂の掘削後の地盤の高さについて、その経時変化をレッドで測定した。杭の底の地盤表面は水平ではなく凹凸があるため、レッドの測定位置により異なる深度が得られ、また、浮泥があるなど、柔らかい地盤では測定する作業員により計測結果が多少異なった。

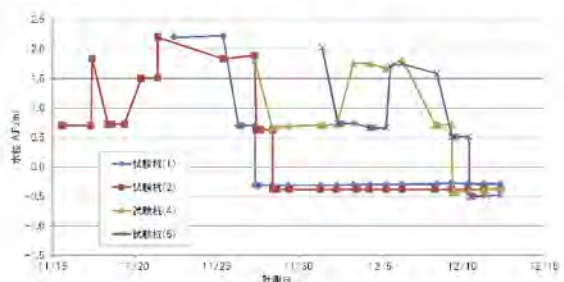
試験杭1は、ゴミがないことは遮水層に1m根入れしたケーシング内部で確認済みのため、他の杭とは異なり最終深度掘削後にカメラ観察を実施する必要がなく、水替



付録図-4.1 手動式水位計による地下水位測定結果



※丸印の位置で手動式水位計の計測結果に合うように補正
付録図-4.2 間隙水圧計による地下水位測定結果の補正



付録図-4.3 試験杭の内水位観測結果図

付録表-4.1 杭内設定水位（水位差：地下水位と杭内の水位の差）

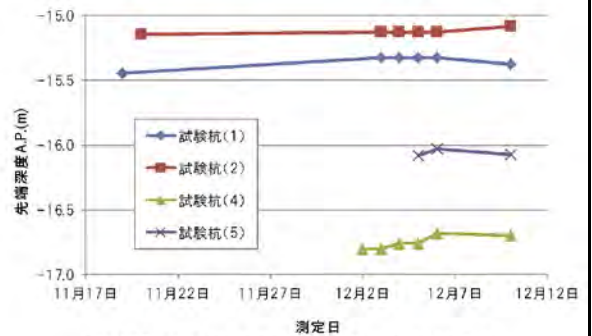
	1回目		2回目		3回目		4回目	
	杭内深度	水位差	杭内深度	水位差	杭内深度	水位差	杭内深度	水位差
	A.P. (m)	Δh (m)	A.P. (m)	Δh (m)	A.P. (m)	Δh (m)	A.P. (m)	Δh (m)
試験杭1	-15.43m	1.0m	-15.43m	2.0m	---	---	---	---
試験杭2	-12.65m	1.0m	-13.65m	1.0m	-15.05m	1.0m	-15.05m	2.0m
試験杭3	---	---	---	---	---	---	---	---
試験杭4	-14.26m	1.0m	-15.25m	1.0m	-16.65m	1.0m	-16.65m	2.0m
試験杭5	-13.64m	1.0m	-14.64m	1.0m	-16.04m	1.0m	-16.04m	2.0m

付録表-4.2 杭内の地盤面の深さ

試験杭(1)					試験杭(2)				
測定日	杭天端 A.P.(m)	深さ (m)	先端深度 A.P.(m)	備考	測定日	杭天端 A.P.(m)	深さ (m)	先端深度 A.P.(m)	備考
11月19日	9.10	24.55	-15.45	床付け時	11月20日	9.10	24.25	-15.15	床付け時
12月3日	9.14	24.47	-15.33		12月3日	9.14	24.27	-15.13	
12月4日	9.14	24.47	-15.33		12月4日	9.14	24.27	-15.13	
12月5日	9.14	24.47	-15.33		12月5日	9.14	24.27	-15.13	
12月6日	9.14	24.47	-15.33		12月6日	9.14	24.27	-15.13	
12月10日	9.10	24.48	-15.38		12月10日	9.10	24.19	-15.09	

試験杭(4)					試験杭(5)				
測定日	杭天端 A.P.(m)	深さ (m)	先端深度 A.P.(m)	備考	測定日	杭天端 A.P.(m)	深さ (m)	先端深度 A.P.(m)	備考
12月2日	9.10	25.9	-16.8	床付け時					
12月3日	9.14	25.94	-16.8						
12月4日	9.14	25.9	-16.76						
12月5日	9.14	25.9	-16.76		12月5日	9.06	25.14	-16.08	床付け時
12月6日	9.14	25.82	-16.68		12月6日	9.10	25.13	-16.03	
12月10日	9.10	25.8	-16.7		12月10日	9.06	25.13	-16.07	

えを実施していなかった。そのため、浮泥が厚く沈降・堆積している可能性が高く、実際、レッドを少し上下させるだけで測定結果が5cm~10cmも深くなるような状況であった。計測された地盤面の深さの一覧を付録表-4.2に示す。また、経時変化を図にしたものを付録図-4.4に示す。



付録図-4.4 杭内の地盤面深さの経時変化

付録-5 遮水層粘土の圧密・透水・変形特性

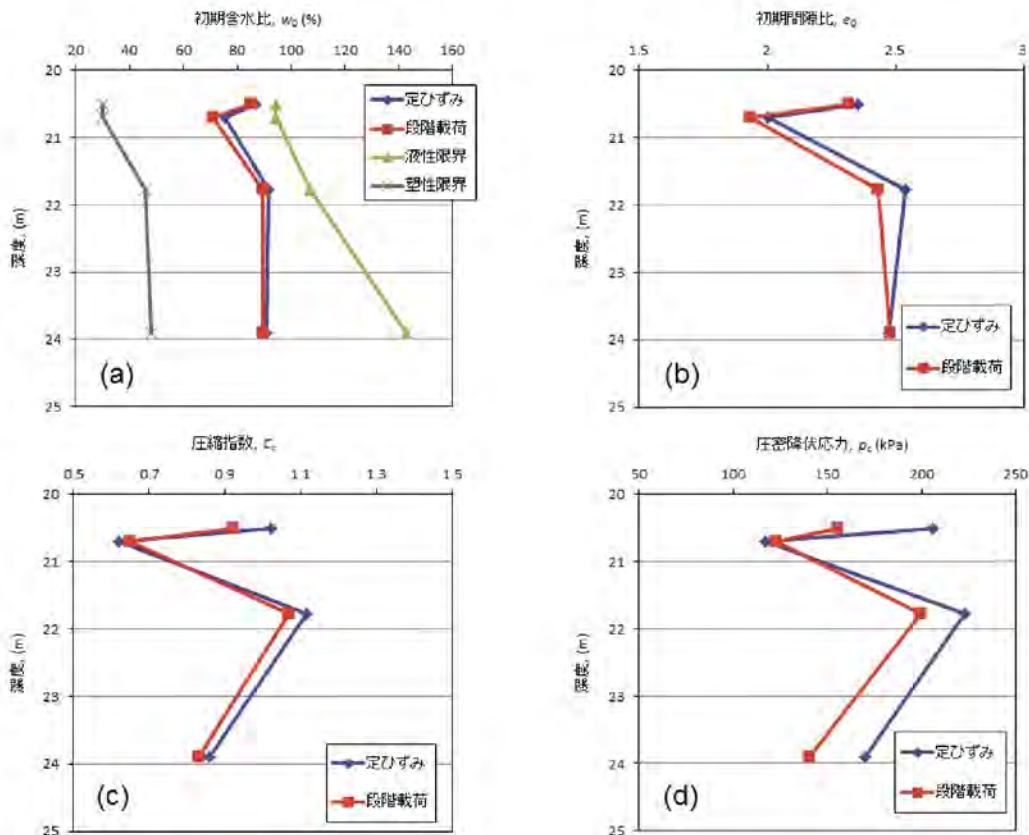
遮水層を構成する粘土層について、固定ピストン式シンウォールサンプラーで採取した不攪乱試料を用いて圧密試験を実施し、圧密・透水特性を調べた。試験結果をまとめたものを付録表-5.1に示す。定ひずみ速度載荷に

よる圧密試験（JIS A 1227）と段階載荷による圧密試験（JIS A 1217）を実施した。

圧密試験の結果として、(a) 初期含水比 w_0 、(b) 初期間隙比 e_0 、(c) 圧縮指数 C_c 、(d) 圧密降伏応力 p_c の深度分布を付録図-5.1に示す。深度20.8m付近で他よりもやや低塑性性な土の結果が得られているが、他は含水比が90%程度

付録表-5.1 遮水層の圧密特性

	試験名	土粒子密度	初期含水比	初期間隙比	湿潤密度	乾燥密度	飽和度	圧縮指数	圧密降伏応力
		ρ_s (g/cm^3)	w_0 (%)	e_0	ρ_t (g/cm^3)	ρ_s (g/cm^3)	S_{100} (%)	C_c ($0.001 \sim 0.01$)	p_c (kPa)
定ひずみ	4-11-T1 (20.30m~20.70m)	2.694	86.9	2.353	1.502	0.804	99.6	1.022	206
	4-11-T1 (20.30m~21.10m)	2.694	75.3	2.001	1.573	0.898	101.3	0.671	117
	4-11-T2 (21.50m~22.05m)	2.673	91.8	2.539	1.449	0.756	96.7	1.115	223
	4-11-T3 (23.50m~24.30m)	2.690	90.8	2.475	1.477	0.774	98.7	0.859	170
段階載荷	4-11-T1 (20.30m~20.70m)	2.694	84.9	2.315	1.503	0.813	98.8	0.921	156
	4-11-T1 (20.30m~21.10m)	2.694	70.8	1.934	1.568	0.918	98.5	0.649	123
	4-11-T2 (21.50m~22.05m)	2.673	89.6	2.431	1.477	0.779	98.5	1.069	200
	4-11-T3 (23.50m~24.30m)	2.690	89.6	2.481	1.465	0.773	97.1	0.831	140



付録図-5.1 供試体の初期条件と圧密試験結果の深度分布：(a) 初期含水比 w_0 、(b) 初期間隙比 e_0 、(c) 圧縮指数 C_c 、(d) 圧密降伏応力 p_c の深度分布

と高く、圧縮指数 C_c が0.9~1.2の比較的高塑性な土の特徴が現れた結果となっている。有効土被り圧 σ'_{v0} が150kPa程度であることを考えると、圧密降伏応力 p_c は同等もしくはそれよりわずかに大きい程度であり、ほぼ、正規圧密状態にあるといえる。なお、深度20.8m付近では、低塑性であるために試料が乱れやすかったと考えられ、圧密降伏応力は過小に評価されている可能性がある。

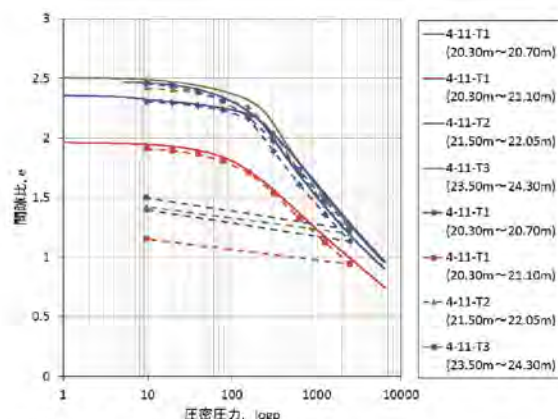
圧縮曲線を付録図-5.2に示す。圧密降伏応力を挟んで、過圧密領域と正規圧密領域の2つの直線で近似できるバイリニアな関係にある。自然堆積粘土では、年代効果により発達した土の構造が壊れていくために圧密降伏直後に急激な空隙比の減少が生じ、圧密降伏後に逆S字型の曲線が得られることが知られている（特に定ひずみ速度圧密試験の結果）。しかし、今回の試験結果にはそのような挙動は見られず、むしろ繰り返した後にモールドで圧密して作製した再構成試料のような挙動となっている。これは、もともと海底の浅いところに堆積していた粘土層であるが、約16mもの廃棄物層が埋め立てられた結果、粘土層が大きな圧力で圧密され、年代効果の影響がほとんど現れていないためであると考えられる。

圧密係数 C_c と圧密圧力 p の関係を付録図-5.3に示す。一般に過圧密領域での大きな値と正規圧密領域での小さな値とに分けられ、両者はそれぞれほぼ一定値になる。今回の試験結果においてもそのような傾向を読み取ることができるが、過圧密領域と正規圧密領域の圧密係数の差はあまり大きくはない。正規圧密においても圧密係数は $100\text{cm}^2/\text{day}$ よりも十分に大きな値が得られており、圧密が比較的速やかに生じる粘土であることが分かる。

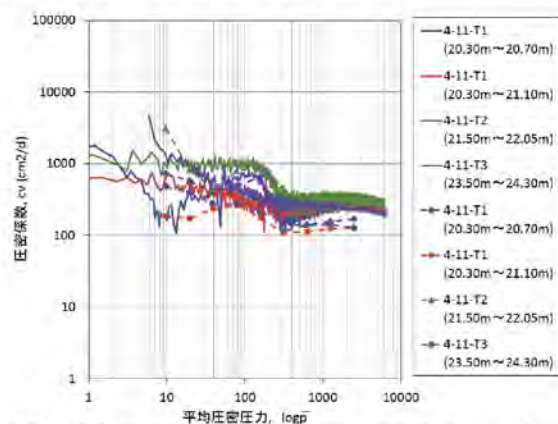
透水係数と圧密圧力の関係を付録図-5.4に示す。透水係数 k は空隙比 e の関数であると説明されていることと対応して、過圧密領域ではほぼ一定値、正規圧密領域では圧密圧力の増加とともに減少している。圧密降伏応力付近の透水係数が原位置の透水係数に近い値であると考えられるが、 $7 \times 10^{-8}\text{cm/s}$ から $3 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ の範囲にあり、いずれも基準省令（環境省令）に規定された遮水基盤として要求される $1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ 以下（層厚は5m以上）を十分に満足する遮水層であることが分かる。

原位置応力状態でまで応力経路を誘導した後、圧縮試験を行う再圧縮三軸圧縮試験CUC、伸張試験を行う再圧縮三軸伸張試験CUEを実施した。試料の含水比と湿潤密度、せん断試験時の強度として主応力差 q の最大時、ならびに応力比 q/p' の最大時の主応力差の値を付録表-5.2にとりまとめた。

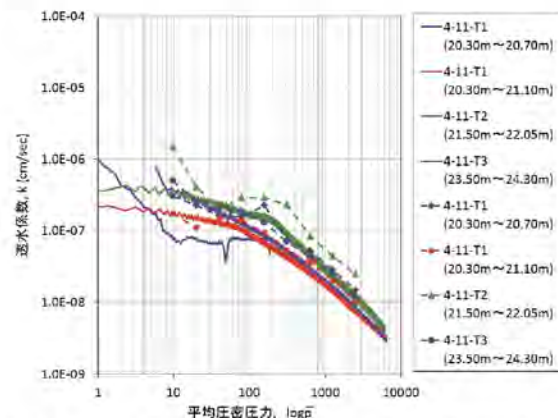
三軸試験で得られた応力～ひずみ関係を付録図-5.5の左図に示す。圧縮側の破壊ひずみ ϵ_{pl} は1.3%と小さく、そ



付録図-5.2 圧縮曲線 ($e-\log p$ 曲線)



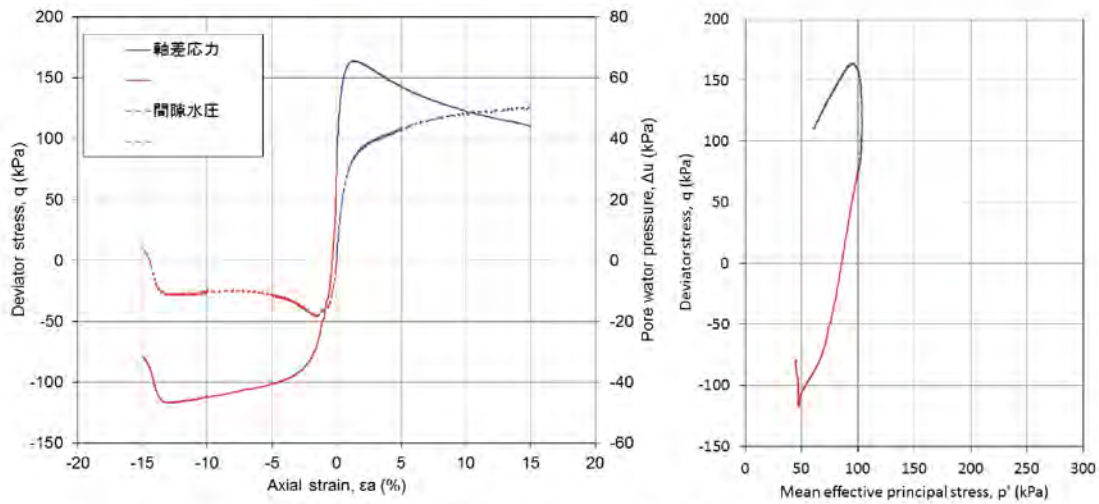
付録図-5.3 圧密圧力と平均圧密圧力の関係 ($\log c_v-\log p$ 曲線)



付録図-5.4 透水係数と平均圧密圧力の関係 ($\log k-\log p$ 曲線)

の後、ひずみ軟化が見られる。一方、伸張側はひずみ硬化傾向にあり、主応力差の絶対値が最大となるときに破壊ひずみ ϵ_{pl} は12.9%と大きい。伸張側は、破壊ひずみを過ぎると急激に主応力差が減少するように見えるが、局所的な変形が発生したためである。

三軸試験で得られた応力経路を付録図-5.5の右図に示



付録図-5.5 三軸試験結果：左図は応力～ひずみ関係、右図は応力経路

す、原位置から採取した不攪乱試料のうち、正規圧密状態にある粘土でよく見られる挙動を示している。伸張側の応力経路の最後の部分で急激な軟化が見られるが、応力～ひずみ関係（付録図-5.5の左図）において見られた急激なひずみ軟化に対応している。すべり線が発生して局所的にくびれが生じたためであり、通常の方法では、くびれた部分の断面積が局所的に小さくなったにもかかわらず、供試体の一様な変形を仮定した過大な計算上の面積で応力を算出していることから、主応力差を著しく過小に評価するようになったことが原因であり、このような特異な挙動はその土の本来の挙動を反映したものとはいえない。

付録表-5.2 三軸試験条件と試験結果

		深度(標高-A.P.)	
		No.1-2(13.03-13.88m)	
		CUC	CUE
供試体の状態	w_0 (%)	81.59	80.50
		81.05	
	ρ_s (g/cm ³)	1.529	1.527
		1.528	
$ q _{\text{最大}}$	q (kPa)	163.655	-117.314
	p' (kPa)	96.009	46.716
	Δu (kPa)	33.43	-10.96
	ε_r (%)	1.3	-12.9
$ q/p' _{\text{最大}}$	q/p'	1.84	-2.51
	q (kPa)	131.202	-117.314
	p' (kPa)	71.335	46.716
	Δu (kPa)	45.98	-10.96
	ε_r (%)	7.4	-10.4

圧密非排水三軸試験 (CU試験, $\sigma'_v=150\text{kPa}$, $K=0.5$)

港湾空港技術研究所資料 No.1321

2016. 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 © (2016) 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。