

6. 2 地盤沈下に係る対応事例

海面最終処分場の跡地利用促進に適用できる可能性の高い地盤や廃棄物の沈下に係る対策技術は、既存の研究事例等を参照して当該最終処分場に妥当な方法を用いるとよい。

適用可能性の高い対策技術としては、①準好気性埋立、②掘削・置換工法、③载荷盛土工法、④重錘落下締固め工法(動圧密工法)、⑤静的締固め工法、⑥廃棄物層地盤改良工法(浅層混合処理工法)、⑦深層混合処理工法、⑧複合管杭打ち工法等がある。

【解説】

海面最終処分場の跡地利用促進に適用できる可能性の高い地盤対策技術について、跡地形質変更ガイドライン等の内容とともに、「港湾における管理型海面最終処分場の高度利用の指針―底面遮水層を貫通する杭の施工にあたって―平成 31 年 3 月 管理型海面処分場の利用高度化技術に関する委員会」(国土交通省港湾局委託)による情報等を参考に取りまとめている。

当該指針に示された跡地利用の高度化技術を参考にしながら、土地利用の内容にかかわらず跡地利用を促進可能な技術としての効果や環境保全上の留意点等の観点から検討した地盤対策に係る技術の一覧を表 6-11 に示す。

なお、護岸の安定性を確保するために護岸の基礎も改良されており、護岸の沈下は抑制されている。したがって、護岸部の土地利用は護岸の安定性を低下しない限り、高度に行うことができる。ただし、一般に護岸部とともに埋立地全体の地盤改良が実施されている事例はほとんどないので、ここでは埋立地部分を対象として整理している。

地盤対策技術としては、護岸建設時に実施する対策、埋立方法に関係する対策、跡地利用時に実施する技術に分類できる。また、対象地盤の観点から廃棄物層を対象とする技術及び底部地盤層を対象とする技術に分類できる。

海面最終処分場の跡地利用を促進・高度化するためには、底部遮水層として軟弱層が存在することが多いため底部地盤の改良等による沈下対策が必要である。また、近年の埋立廃棄物は焼却残渣主体となっており強度が高い地盤が形成される事例も増加しているが、廃棄物層が分解・圧縮等により沈下する場合は廃棄物層の改良も必要である。

さらに、液状化しやすい廃棄物(一般に粒径が多様で形状が複雑な焼却残渣等は液状化しにくい、鉦さい等のように粒径が比較的揃った廃棄物等は液状化のおそれがある。)を埋め立てた最終処分場については、液状化対策も必要である。

そこで、対策技術の適用可能性は、下記の点を評価して判定した。

- ・ 底部地盤の遮水性を維持できること
- ・ 実績を有する、又は類似の工事事例があること
- ・ 改良の効果が確実であること
- ・ 経済面で可能性のある技術であること

これらの工法のうち、有効な技術と評価された①準好気性埋立、②掘削・置換工法、③载荷盛土工法、④重錘落下締固め工法(動圧密工法)、⑤静的締固め工法、⑥廃棄物層地盤改良工法(浅層混合処理工法)、⑦深層混合処理工法、⑧複合管杭打ち工法について、以下に具体的な方法等について整理した。

表 6-11 地盤沈下及び遮水工の保全に係る適用技術一覧³⁴⁾ (1/2)

ライフステージ	対策技術	技術の概要	適用対象		形質変更部位	管理型海面処分場での実績	管理型海面処分場の利用促進		コスト	技術的留意事項	跡地利用時における環境保全効果・留意点
			廃棄物層	基礎地盤			技術成熟度	適用可能性			
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。	—	○	—	有	1	中	護岸建設と基礎改良はセットであり一般的には高価なので、護岸本体を利用して合わせて延長・拡幅することは高価になりやすい。高度利用される場所が限定される場合は、埋立後の改良と比較しても同程度のコストになる可能性もある。	・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。	利用用途に合わせた護岸形式を選定するものであるから、特に跡地利用時において環境保全効果はない。
	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。	—	○	—	有	1	中	埋立地内基礎地盤を全面的に改良するのは一般的に高価である。用途に合わせた一部の改良や、基礎地盤が浅くて改良層が薄い場合など、埋立後に改良するよりは廉価となることもある。	・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。	—	○	—	無	1	低	埋立地内基礎地盤を全面的に改良するのは一般的に高価である。用途に合わせた一部の改良や、基礎地盤が浅くて改良層が薄い場合など、埋立後に改良するよりは廉価となることもある。	〃	跡地利用時に杭等の遮水層貫通が適切な工法であれば、利用時も遮水性の保全ができる。
埋立	区画埋立(分別)	埋立地内を複数の区画に分け、将来の土地利用計画に合わせた複数の受け入れ基準を設定して埋め立てる工法	○	—	—	有	—	—	区画のための仕切が必要となり、道路や埋立用の設備も必要となるため一般的には高価となる。	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。	小区画・多数の分割はコスト高を招く。底部地盤の沈下があれば効果が少ない。
	薄層埋立	廃棄物を底層パーズや浮き棧橋、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	○	—	—	有	—	—	埋立地底部の軟弱土を乱さないための工法であり、特に大きな追加費用はない。	—	改良地盤や底部粘性土層のかく乱防止のための工法であり、単独では環境保全効果は期待できない。
	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	—	—	水面下に埋め立てる土砂等が確保できれば、特に費用の追加はない。	—	底部地盤や水面下埋立物の沈下対策が必要である。廃棄物の早期安定化には効果がある。
維持管理・跡地利用	地盤改良工	盛土工	—	—	表層	有	—	—	盛土材が確保できれば工事費は廉価となる。地盤の圧密に時間を要するので、工程的な余裕が必要である。	・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。	保有水浸透経路の変化、ガスの滞留、高密度化に伴う安定化の遅延などに留意する必要がある。
		廃棄物の掘削・置換	○	—	中・底層	有	4	中	利用部全層の廃棄物の掘削除去は高価となる。廃棄物が焼却灰等の場合は効果が少ない。	・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。	掘削時における発生ガスへの対応、水質変化への対応等が必要である。施工後は汚染リスクがなくなる。
	載荷盛土工法	○	○	表層	有	—	—	盛土工と同様である。ただし、盛土を除去するため、リバウンドが生じる廃棄物の場合は、全量盛土除去はできない。	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。	保有水の浸透経路の変化、ガスの滞留などに留意する必要がある。	
	バーチカルドレーン工法(不貫通SD)	—	○	底層	有	—	—	埋立地底部地盤までドレーン層を打ち込むので、埋立層と軟弱土の層厚次第であるが、盛土工等よりは高い。	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。	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。ドレーン部がガス道となり、浸透経路の変化などにより浸出水やガス性状と量の変化が懸念される。	
	プラスチックボードドレーン+真空圧密工法	—	○	底層	有	—	—	同上	〃	〃	
	振動締め固め工法	○	—	中層	無	—	—	廃棄物層厚次第であるが、盛土工よりは高価である。	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。	浸透水の水質、発生ガスの性状と量の変化、浸透水の浸透、流出経路などの変化が懸念される。	
	動圧密工法	○	—	中層	有	—	—	廃棄物層厚次第であるが、盛土工よりは高価である。	〃	〃	
	リフューズプレス工法	○	—	中層	有	4	—	廃棄物層厚次第であるが、盛土工よりは高価である。	〃	〃	
	浅層/中層混合処理工法(固結工法)	○	—	中層	無	—	—	残留沈下量次第であるが、混合剤の割合や柱状改良部の割合でコストは変化する。盛土工よりは高価である。	〃	固結部は透水性が低下するので、ガスの滞留、廃棄物層内の嫌気化と分解の遅延、ガスや水質の悪化等が懸念される。	
	サンドコンパクションパイル工法	○	—	中層	無	—	—	残留沈下量次第であるが、混合剤の割合や柱状改良部の割合でコストは変化する。盛土工よりは高価である。	〃	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。ドレーン部がガス道となり、浸透経路の変化などにより浸出水やガス性状と量の変化が懸念される。	
深層混合処理工法	—	○	底層	無	1	中	軟弱層の深さと厚さでコストは変化する。廃棄物の下部を改良するため一般的には高価である。	〃	遮水層を貫通することによる遮水性能の低下が懸念される。廃棄物層も改良する場合は、浸出水やガスの性状変化、分解の遅延等が懸念される。		

技術成熟度：— 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、海面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、海面処分場での適用が有望視される技術、低 海面処分場での適用に検討要素がある技術

※ 高度利用：廃止前を含む処分場跡地において、底層利用や廃棄物層の地盤改良を伴うような大型構造物を設置する利用

出典：「港湾における管理型海面最終処分場の高度利用の指針—底面遮水層を貫通する杭の施工にあたって—平成 31 年 3 月 管理型海面処分場の利用高度化技術に関する委員会」をベースに変更・追加

〇は、底部地盤の改良等に対して跡地利用促進の効果が期待できる適用可能性の高い技術を示す。

■は、廃棄物の改良等に対して跡地利用促進の効果が期待できる適用可能性の高い技術を示す。

□は、利用高度化に資する技術を示す。

表 6-11 地盤沈下及び遮水工の保全に係る適用技術一覧³⁴⁾ (2/2)

ライフステージ	対策技術	技術の概要	適用対象		形質変更部位	管理型海面処分場での実績	管理型海面処分場の利用促進		コスト	技術的留意事項	跡地利用時における環境保全効果・留意点	
			廃棄物層	基礎地盤			技術熟度	適用可能性				
維持管理・跡地利用	構造物基礎工 既成杭打設工法	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。	○	—	中層	有	—	—	コンクリート版で利用施設を支持するため、一般的には高価であると考えられる。また、大規模な沈下に対応するためには、数回の設置替えも必要となる場合もあり、維持費も必要である。	—	
		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	—	○	底層	無	3 実証試験済	高	二重管のため三重管構造の杭施工より安価である。	・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。 ・杭周辺の透水性が高くなり、浸出水やガスの量が変化する懸念がある。	
		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	○	○	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。 ・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、杭周囲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。	—
		PHC杭 〔(一重管) 中掘り・廃棄物掘削除去併用〕	〃	○	○	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〕	ハ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併用する工法	○	○	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杭を打設する工法	—	○	底層	有	4	中	—	三重管構造のため、通常の杭施工よりは高価である。	・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。 ・遮水層を貫通することによる遮水性の低下が懸念される(跡地形質変更ガイドライン)ため、高度利用の指針を踏まえて適切に施工する必要がある。 ・杭周辺の透水性が高くなり、浸出水やガスの量が変化する懸念がある。
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にフーチングを構築し、その上に橋脚等を構築する工法	—	○	底層	無	—	—	—	鋼管をつないで井筒状に形成する構造であるため打設する杭数も多く、杭工法の中では最も高価である。	・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：一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：一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

※ 高度利用：廃止前を含む処分場跡地において、底層利用や廃棄物層の地盤改良を伴うような大型構造物を設置する利用

出典：「港湾における管理型海面最終処分場の高度利用の指針—底面遮水層を貫通する杭の施工にあたって—平成 31 年 3 月 管理型海面処分場の利用高度化技術に関する委員会」をベースに改変・追加

は、底部地盤の改良等に対して跡地利用促進の効果が期待できる適用可能性の高い技術を示す。

は、廃棄物の改良等に対して跡地利用促進の効果が期待できる適用可能性の高い技術を示す。

は、利用高度化に資する技術を示す。