ISSN 1346-7328

国総研資料 第７４１号
平 成 25 年 ６月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.741 June 2013

持続可能な臨海部における廃棄物埋立処分に関する研究

淺井 正・小田勝也

Study on Sustainable Management of Waste Disposal Sites in Coastal Area

Tadashi ASAI, Katsuya ODA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料
No. 741　　2013 年 6 月
(YSK-N-270)

持続可能な臨海部における廃棄物埋立処分に関する研究

浅井　正*・小田勝也**

要　旨

廃棄物最終処分場では，閉鎖後，処分場からの保有水等が安定し，廃止基準を満足するまでに長期間が必要であることから，その間の管理コストの増大等の課題が生じている．このため，建設～埋立～閉鎖～廃止までの各段階でのコストの低減や閉鎖～廃止までの期間の短縮により持続可能な埋立処分を行うことが求められている．

このため，本資料では，埋立材料（廃棄物）の特性・性状に応じてコスト縮減が期待できる護岸性能・埋立工法の検討を行うとともに，建設，埋立造成，跡地利用，長期維持管理等に関するモデル化を行い，最適なコスト構造の検討を行った．

このような検討を行うことにより，持続可能な廃棄物埋立処分の実現に向けて，海面廃棄物最終処分場の運営管理者が長期コストの低減に向けた取り組みを進めるにあたり，事業の進め方の検討や個別の技術開発の実施の際の参考になるものと期待される．

キーワード：海面廃棄物最終処分場，持続可能性，廃棄物管理，経営シミュレーション，中間処理

*沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室長
**元沿岸海洋研究部沿岸防災研究室長（現（一財）みなと総合研究財団）
〒239-0826　横須賀市長瀬3-1-1　国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：0468-44-5024　Fax：0468-44-5068　　e-mail: asai-t2y2@ysk.nilim.go.jp

No. 741 June 2013
(YSK-N-270)

Study on Sustainable Management of Waste Disposal Sites in Coastal Area

Tadashi ASAI*
Katsuya ODA**

Synopsis

After the dumping of waste, it takes a long time to stabilize the water quality retained in a waste disposal site in coastal area. This is one of the primary factors to increase the total cost to maintain a waste disposal site. For sustainable management of the site, it is required to reduce the cost of each management phase, such as construction, dumping and stabilization, and to reduce the period to stabilize the water quality retained in the site.

Therefore, it is examined the new techniques of water permeability performance and landfill method suitable for characteristics of the respective waste materials. Through the questionnaire survey, it is also revealed not only the cost of each management phase but also the cost structure of the waste disposal site project. Modeling the cost effect to induce the new techniques, appropriate cost structure is examined through numerical analysis.

This paper would help administrators of coastal waste disposal sites to discuss the sustainable management schemes and the future technological development program to reduce life cycle cost.

Key Words : Coastal Waste Disposal Site, Sustainability, Waste Management, Management Simulation, Intermediate Process

---

*Head of Coastal Disaster Prevention Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department
**Former Head of Coastal Disaster Prevention Division, Marine and Coastal Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-468-44-5024 Fax : +81-468-44-5068 e-mail:asai-t2y2@ysk.nilim.go.jp

目　次

1. はじめに …… 1

2. 廃棄物海面処分場の廃止に係る法制度 …… 1
2.1 廃棄物の海面処分に係る諸法 …… 1
2.2 法制度上の論点 …… 1

3. 長期コストの低減化に向けた技術の類型化 …… 2
3.1 はじめに …… 2
3.2 廃棄物海面処分場のコスト構造の分析 …… 2
3.3 廃棄物海面処分場に係る長期コスト低減技術の類型化 …… 4

4. 建設，埋立造成，跡地利用，長期維持管理等に関するモデル化 …… 9
4.1 はじめに …… 9
4.2 処分場内の保有水の挙動に関する現地調査 …… 9
4.3 処分場内の保有水・浸出水の挙動に関する解析 …… 11

5. 最適なコスト構造の検討 …… 13
5.1 はじめに …… 13
5.2 廃棄物処分場の収支の検討 …… 13
5.3 廃止期間短縮によるコスト構造の改善に関する考察 …… 14

6. まとめ …… 18

7. おわりに …… 18

謝辞 …… 19
参考文献 …… 19
付録 …… 20
付録A 長期コスト低減技術の事例 …… 20
付録B 中間処理技術の事例 …… 43

1. はじめに

廃棄物最終処分場では，閉鎖後，処分場からの保有水等が安定し，廃止基準を満足するまでに長期間が必要であることから，その間の管理コストの増大等の課題が生じている．このため，建設～埋立～閉鎖～廃止の各段階でのコストの低減や閉鎖～廃止までの期間の短縮により持続可能な埋立処分を行うことが求められている．

本資料では，埋立材料（廃棄物）の特性・性状に応じてコスト縮減が期待できる護岸性能・埋立工法の検討を行うとともに，建設，埋立造成，跡地利用，長期維持管理等に関するモデル化を行い，最適なコスト構造の検討を行った．工法の検討においては，「コスト縮減効果」，「技術の信頼性」，「処分場への適用性」の観点から計画･設計～跡地利用までの各プロセスの技術を絞り込み，長期コストの低減に資する技術の類型化を試みている．埋立のプロセスのモデル化においては処分場内の浸出水の安定について検討を行うとともに，埋立処分におけるコスト構造を明らかにした．コスト構造の改善の検討においては有機物の含有量を減少させる中間処理による廃止期間の短縮の可能性について明らかにし，収支を改善できる方策を提示した．

2. 廃棄物海面処分場の廃止に係る法制度

2.1 廃棄物の海面処分に係る諸法

廃棄物の海面処分を行うにあたり関連する法律として，「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」，「公有水面埋立法」および「港湾法」がある．これらの法規制を廃棄物処分場の建設から廃止までの各段階に沿って示したものが**図-2.1**である．処分場の経営安定化の観点から，これらに関する法令から抽出される制度的課題について，①廃棄物埋立護岸の管理者と海面最終処分場の管理者（廃棄物処分場を設置した者のこと．本資料ではとくにことわりがない場合，管理者とは海面最終処分場の管理者を言う）の責任の区分，②海面廃棄物処分場の特性に合致した各種基準の運用等，③公有水面埋立免許における埋立地用途の扱いの 3 項目について整理すると以下のとおりとなる．

(1) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）

昭和 29 年の清掃法として制定され，その後経年的に追加，見直し等が行われている．生活環境保全等の観点から規制が増え，現在に至っている．とくに，平成 10 年の基準省令（一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部を改正する命令），廃止の確認制度の導入及び平成 16 年の指定区域制度・形質変更の事前届出義務が経営安定に大きく影響している．

廃掃法にもとづく，構造基準・維持管理基準・廃止基準は基本的に陸上処分場を対象として制定されたものであり，海面廃棄物処分についても一部を変更して適用することとされているが，その解釈・運用について不明確な点が残されている．これらの基準の導入に伴い，廃棄物処分場閉鎖後，廃止までに要する時間が長期化する懸念があること，これに伴い維持管理費が増大することが指摘されている[1)]．

廃止後の維持管理，土地利用については廃棄物処理法の適用外で，跡地形質変更制度により生活環境等への影響を回避することだけを対象としている．経営安定化の観点からは，跡地形質変更に伴う措置に要する費用負担が不明確で，跡地の所有者･利用者が負担せざるを得ず，原因者・処分場設置者の責任が不明確である．

(2) 公有水面埋立法

公有水面埋立法は，国民全体の共有財産である海面を含む公有水面を埋立てて土地を造成し，造成された土地を有効に活用するために，埋立免許等に必要な手続き，権利・義務等を規定した法律である．このため，公有水面埋立免許願書に埋立地の用途を明記するとともに，土地の処分計画書を添付することが義務化されている．
一方で，海面廃棄物処分場の供用期間は可能な限り長くすることが望ましい．上述のとおり廃止までの期間が不透明であることと併せ，公有水面埋立免許上の用途・処分計画が有名無実化することが懸念される．

(3) 港湾法

港湾区域内に設置される廃棄物海面処分場は港湾法における「港湾施設」である廃棄物埋立護岸として港湾管理者等が管理する．また，「港湾の施設」として港湾の施設の技術上の基準に基づいて建設・改良，維持管理することが必要である．このように廃棄物海面処分場は，廃掃法と港湾法の二重の適用を受けるが，その相互の関係，権限と責任が必ずしも明確ではない．

2.2 法制度上の論点

2.1 より，廃棄物海面処分場の廃止に関する論点は，次のように整理される．廃止までの期間の長期化により，閉鎖から廃止までの期間の責任や費用分担の明確化が

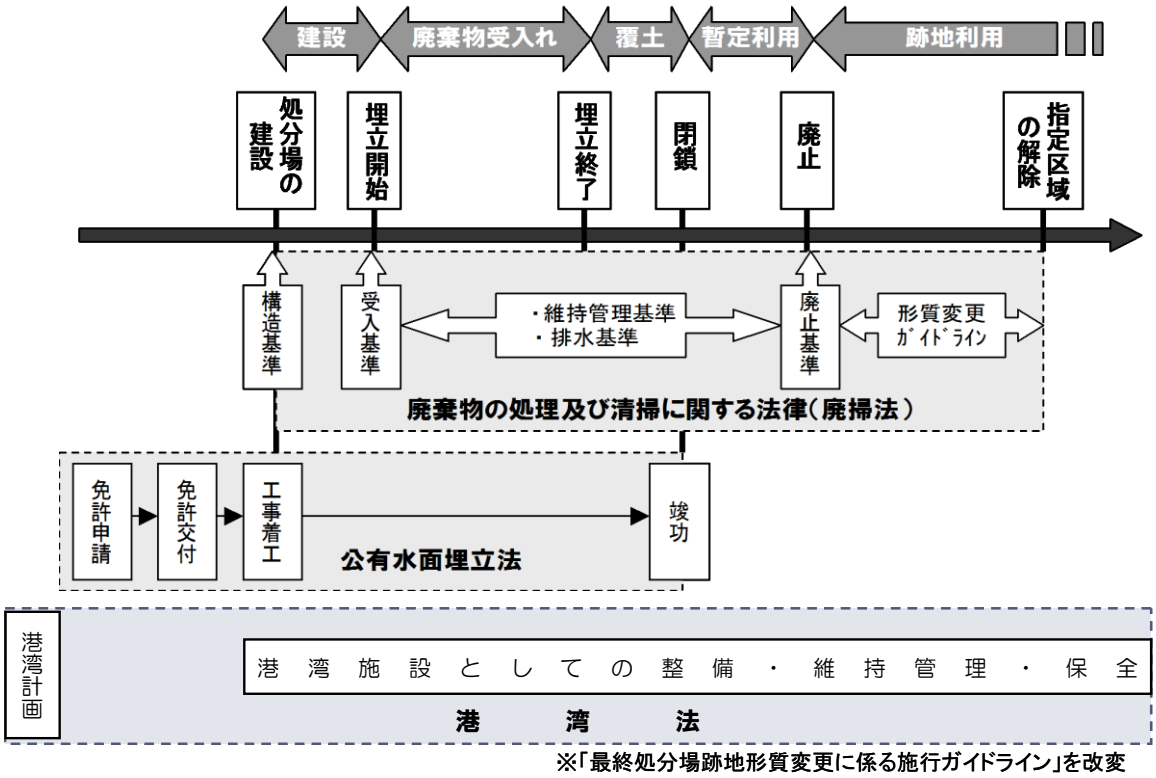


図-2.1　廃棄物海面処分場に係る法規制 [2)]

必要となるとともに，早期の跡地利用が困難になる等，廃棄物埋立護岸の管理者の経営安定に大きく影響する．

① 廃棄物埋立護岸の管理者と海面最終処分場の管理者の責任の区分については，港湾法と廃棄物処理法の間で必ずしも明確でなく，原因者・廃棄物処分場設置者の費用負担が不明確になっている．

② 廃棄物海面処分場の特性に合致した各種基準の運用等については，現行の各種基準は基本的に陸上処分場を対象として制定されたものであるため，不明確な点が残されている．このため，海面処分場への適合性が不足していることに起因した廃棄物処分場の廃止までに要する時間の長期化と維持管理費の増大が懸念される．

③ 公有水面埋立免許における埋立地用途の扱いについては，廃棄物処分場の延命化にともなう供用期間の長期化により，埋立地の用途・処分計画が有名無実化している．このため，廃棄物埋立護岸の管理者としては，跡地利用を計画的に進めることが困難になっている．

3. 長期コストの低減化に向けた技術の類型化

3.1 はじめに

2. で整理された廃棄物海面処分場の廃止に係る課題から，廃止までに要する時間の長期化により維持管理費の増大が懸念される．このため，廃棄物海面処分場の整備から管理運営，閉鎖，廃止までの各段階の収支について調査を行い，コスト構造を分析した．分析結果をもとに長期コストの低減に向けた技術的な課題を抽出し，課題解決に向けて関連する技術情報の収集・整理を行った．

3.2 廃棄物海面処分場のコスト構造の分析 [3)]

(1) 調査方法

表-3.1 に示す 10 管理者が管理運営する 14 箇所の廃棄物海面処分場を対象として，処分場の収支に関するアンケート調査を行った．廃棄物海面処分場の整備から管理運営，閉鎖，廃止までの各段階の収支項目を把握するため，調査項目は**表-3.2** に示すとおりとした．

(2) 廃棄物海面処分場のコスト構造

アンケート結果を整理にするにあたり，対象とした廃棄物海面処分場はそれぞれ廃棄物の受入容量等の規模が異なるため，単純に比較することができなかった．このため，各収支項目に大きな影響を及ぼすと考えられる処分場計画における施設諸元を用いて収支原単位を求めて整理することにした．**表-3.3** は各処分場の収支原単位から求めた平均値，最小値および最大値を示している．

表-3.1　調査対象とした廃棄物海面処分場

管理者	廃棄物海面処分場
川崎市	浮島廃棄物埋立地（1 期）
(財)徳島県環境整備公社	沖洲廃棄物最終処分場
(財)岡山県環境保全事業団	水島埋立処分場
(財)広島県環境保全公社	五日市地区廃棄物埋立処分場
ひびき灘開発(株)	響灘西部廃棄物処分場
東京都環境局	中央防波堤外側
	新海面処分場
(財)千葉県まちづくり公社	蘇我地区廃棄物埋立場
横浜市	南本牧廃棄物最終処分場
大阪湾広域臨海環境整備センター	尼崎沖埋立処分場
	泉大津埋立処分場
	神戸沖埋立処分場
	大阪沖埋立処分場
(財)愛知臨海環境整備センター	名古屋港南 5 区廃棄物埋立処分場

表-3.2　調査項目

段階	収入	支出
整備	補助金，交付税等 長期借入費	建設費（護岸，附帯施設，廃棄物地盤）
廃棄物受入～閉鎖	廃棄物処分料金	人件費 処分場施設等のランニングコスト 維持管理費
閉鎖～処分場廃止	賃貸借料金 維持管理積立金	人件費 閉鎖にともなう設備や工事の費用（最終覆土費用，法面保護費用，地盤か良否，雨水排水設備費用等） 維持管理費
跡地利用	賃貸借料金 土地売却費	人件費 処分場関連施設撤去工事費用 跡地利用施設整備費 維持管理費

この原単位の平均値を入力条件として，簡便なモデルを用いた廃棄物処分場プロジェクトの収支計算を行い，収支構造の分析を行った．この時の計算条件は**表-3.4** に示すとおりであり，収支計算上の収支がバランスするよう産廃処分料金を設定した．処分場計画諸元は，大阪湾広域臨海環境整備センターの泉大津埋立処分場と同程度の規模としている．

図-3.1 は総収入に占める各支出項目の割合を示している．最大の割合を示しているは，元利償還金の 37%である．続いて護岸建設費が 28%を占めており，初期の整備時に資金の調達が必要であることが元利償還金を増加させていると考えられる．そして，これを償還するための収入は主に埋立時の処分料金収入と廃止後の土地売却費であり，廃止までの期間を短縮させることが元利償還金を抑えるために重要であると考えられる．

また，整備コストについては，初期に必要な護岸建設費が 28%を占めており，その後の埋立費用と合わせると 41%となる．廃棄物処分場の護岸では埋立材料（廃棄物）の特性・性状に応じた止水工等の護岸性能が求められており，要求される性能に対応した工法を適切に導入することにより，コストの低減が図れるものと期待される．また，埋立工法やその後の地盤改良等を工夫することにより地盤の早期安定化を図り，廃止までの期間を短縮することも重要であると考えられる．

図-3.2 は，上記の計算例に対して，収支原単位の 1 項目ずつアンケート調査の最大値または最小値にそれぞれ入れ替えた場合に，計算上の収支がバランスする産廃処分料金の変化を示したグラフである．このグラフは収支

表-3.3　廃棄物処分場の収支原単位

	段階	収支項目		単位	原単位			備考
					平均値	最小値	最大値	
費用	整備	護岸建設費		百万円/m	15.2	5.4	34.1	護岸延長あたり
		附帯施設建設費		百万円/千 m³	0.9	0.0	5.0	受入容量あたり
	受入～閉鎖	埋立費		千円/m³	2.6	0.5	6.7	〃
		維持管理費	施設点検・補修費	千円/千 m²・年	219.8	1.6	690.5	処分場面積あたり
			浸出水処理費	千円/千 m²・年	161.9	1.0	523.8	〃
			水質モニタリング費	千円/千 m²・年	41.5	10.4	95.7	〃
		人件費		千円/千 m²・年	714.5	127.4	1047.6	〃
	閉鎖～廃止	埋立終了時費用	最終覆土費用	千円/千 m²	988.8	300.0	1923.4	〃
			法面保護費用	千円/千 m²	10.3	0.0	31.0	〃
			植栽費用	千円/千 m²	72.5	0.0	190.9	〃
			雨水排水設備費用	千円/千 m²	84.0	61.4	106.5	〃
			ガス抜き施設費用	千円/千 m²	0.4	0.0	1.1	〃
		維持管理費	廃棄物埋立施設維持管理費	千円/千 m²・年	99.3	1.6	273.5	〃
			浸出水処理施設運転管理費	千円/千 m²・年	102.6	1.0	166.7	〃
			水質モニタリング費	千円/千 m²・年	15.9	11.2	20.5	〃
		人件費		千円/千 m²・年	106.0	0.5	211.4	〃
収入	廃棄物処分料金（一般廃棄物）			円/トン	5,000～13,000			
	廃棄物処分料金（産業廃棄物）			円/トン	5,000～15.000			

原単位の変動による処分場の収支バランスへの影響を示している．護岸建設費，附帯施設建設費等の整備段階の初期コストや埋立費について，収支をバランスするために必要な産廃処分料金に幅がみられる．

処分場毎の費用の変動は，処分場の規模の増加による工事単価の減少のほか，埋立材料である廃棄物の性状に応じた護岸の遮水工法や埋立時の安定化処理などの採用による工事単価の増加による．また，附帯施設については，保有水等の集排水施設および処理施設はほぼすべての処分場で整備されており，3 箇所の処分場ではガス抜き施設が整備されている．このほか，廃棄物の受入のための浮桟橋，搬入道路，管理事務所等が整備されている場合がある．護岸建設費と一体として，附帯施設建設費を別個に計上できないと回答した処分場もある．

このため，廃棄物処分場の運営を安定させるには，護岸建設や埋立時に必要な技術的課題を解消し，追加的なコストの発生を防ぐことが重要であると考えられる．

3.3 廃棄物海面処分場に係る長期コスト低減技術の類型化 [4)]

(1)　長期コスト低減技術に関する情報収集

3.2 からコスト構造を安定させるためには，廃止までの期間を短くすることが重要であり，埋立材料である廃棄物の特性・性状に応じた護岸性能・埋立工法の検討が重要であることが示された．そこで，廃棄海面物処分場の整備から受入・閉鎖・廃止跡地利用にかかる長期コスト(護岸建設費，跡地利用のための用地造成費，長期維持管理費用)を低減するために効果があると思われる技術について情報を収集し，その内容や熟度，適用条件から評価して類型化した．

情報収集は既往文献の調査等により行い，概要，技術的特徴および導入に当っての課題等を整理して類型化した．文献資料として地盤工学会および廃棄物資源循環学会の研究発表会論文，データベースとして廃棄物処理技術情報および新技術情報提供システム(NETIS)に登録されている技術情報と情報収集の対象とした．この中から廃棄物海面処分場に関連する情報として 174 件を抽出し体系化した．情報収集にあたり，廃棄物処理のみならず，将来的に廃棄物処理技術として転用が可能と想定される技術・研究情報も対象としている．一部の技術については関係者へのヒアリングにより技術の内容を詳細に把握した．

(2)　長期コスト低減技術の分類

これらの情報の全てを，技術分類，時間軸，技術要素から分類するとともに技術開発の段階等により適用性を整理した．廃棄物処分場を取り巻く研究・技術項目を整理したものを**表-3.5** および**図-3.3** に示す．

表-3.4　処分場プロジェクトの収支計算の条件

項目	単位	設定値
処分場計画諸元		
護岸延長	m	6,000
廃棄物受入容量	m³	16,000,000
整備・運営期間		
整備	年	5
受入～閉鎖	年	20
閉鎖～廃止	年	10
廃止～売却	年	20
廃棄物受入計画		
一廃受入割合	%	50
一廃処分料金	円/トン	9,000
産廃処分料金	円/トン	22,094
一廃単位重量	トン/ m³	1.0
産廃単位重量	トン/ m³	1.0
資金調達		
起債額	百万円	50,000
償還期間	年	20
据置期間	年	5
利率	%	4
国庫補助金	百万円	25,000
その他		
附帯施設耐用年数	年	15

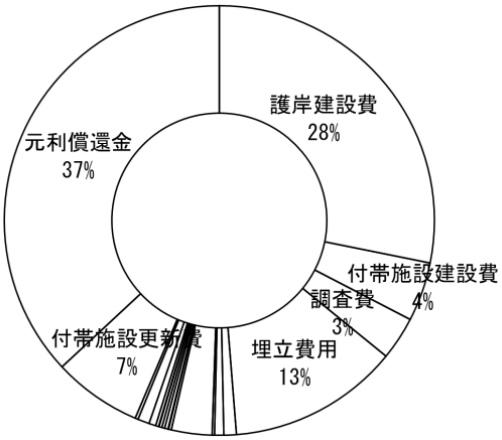


図-3.1　総支出に占める各種費用の割合

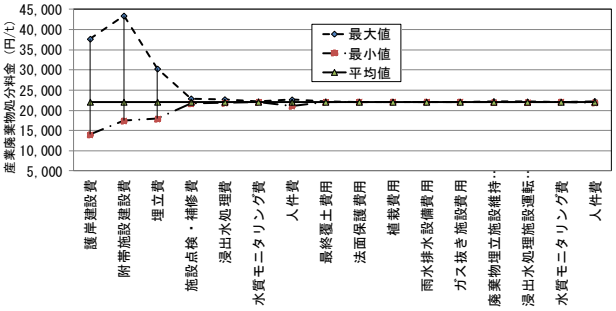


図-3.2　各種費用の変動による産廃処分料金の変化

表-3.5　廃棄物海面処分場に関連する技術

項目	分類	技術
共通	・物理特性 ・科学特性	・地盤工学にもとづく護岸構造特性，廃棄物性状，遮水材，混合材 ・廃棄物性状，遮水材耐久性，溶出
計画・設計	・計画（開発，リスク，循環） ・計画（嵩上，管理，固化処理）	・廃棄物処分場開発における手法，ファンド，リスクマネジメント，静脈物流，再利用 ・斜面安定，地下水位，配合設計
護岸	・護岸 ・遮水	・構造安定，変化量，振動対策，延命化，クローズドシステム，矢板 ・遮水材，止水材，杭基礎，矢板-本体，矢板-継手部，遮水工，地盤改良
水処理	・水処理	・浸透流制御，雨水，ボンド，浄化促進
埋立地	・土壌改質，地盤改良 ・埋立方法 ・埋立地盤 ・覆土 ・早期安定化	・固化処理，地盤改良工法，基礎工法，土壌改良，環境浄化材料 ・クローズド型処分場，混合廃棄物，固化処理，埋立管理，軽量盛土工，残土処理工，安定処理工，施工管理，軟弱地盤処理工 ・保有水，地盤特性，対策，管理（保有水），維持管理 ・降雨，覆土機能，トラフィカビリティ，緑化，解析，法面キャッピング，表面遮水工，中間覆土，残土処理工，最終覆土 ・工法，資源化，クローズドシステム，，安定化促進
跡地利用	・形質変更 ・跡地売却	・盛土（路体）材料，固化処理，施工性能 ・杭基礎，環境負荷低減

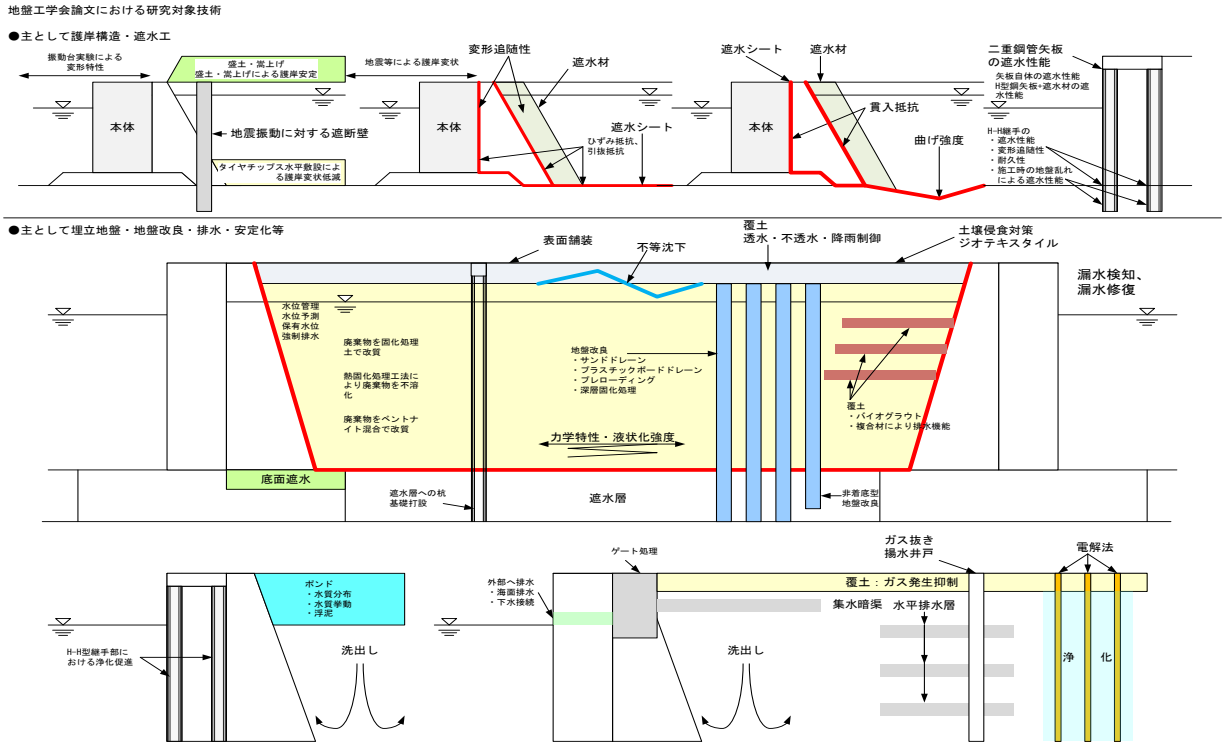


図-3.3　技術概要図（地盤工学会関係）

(3)　長期コスト低減効果が期待できる技術の抽出

収集した技術情報の中から，廃棄物海面処分場において長期コストの低減に効果が大きいと期待できるものとして，以下に示す 10 件を抽出した．抽出はコスト縮減効果，過去の実績，適用条件の 3 つの視点から行い，その判定基準は**表-3.6** に示すとおりである．これらの技術を類型化した結果を**表-3.7** に示す．なお，これらの長期コスト低減技術の事例を個表にとりまとめて，**付録 A** に示している．

①埋立地の早期安定化

【技術の概要：受入廃棄物の選別】

・性状が安定している廃棄物のみを受入れる．一般廃棄物は受入れない．
・地盤性状が安定している．
・浸出水が廃止基準を満足しやすい．

【管理運営に期待される効果】

・処分場閉鎖後の水処理に要する期間が短くなるため、維持管理費用が低減できる．
・跡地利用のための地盤改良の費用を低減できる．形質変更に対する経営リスクが低い．
・埋立廃棄物に対する跡地利用者のイメージが良くなる．このため，販売，利用拡大の機会が広がる．

②護岸および埋立地の免振

【技術の概要：免振】

・廃タイヤを加工したタイヤチップスを護岸構造物の裏込めとして利用する．軽量であり，弾性体であることから土圧低減，地震時変状低減が期待できる．

【管理運営に期待される効果】

・護岸構造物の地震時変状を低減できるため，護岸断面が小さくなり，護岸建設費が低減できる．
・液状化対策機能が高く，跡地利用時の地盤改良が不要となるため，経営者，跡地利用者双方の費用負担が軽減できる．
・護岸，地盤の免震性から，跡地利用時の付加価値の向上が期待できる．

③H-H 継手による積極的な水質浄化

【技術の概要：水質浄化】

・護岸部における鋼管矢板の継手を H 型鋼とし，H 型鋼の接触面に透水性をコントロール可能な膨潤止水剤を塗布する．H-H 継手部内には浸出水が漏水するが，海水と混合することで水質基準を満足する混合水が生成される．
・混合水を外部に排出することで，浸出水の洗出し効果が期待できる．
・H-H 継手部のメンテナンスが可能である．充填剤を注入することにより，浸出水漏水を防止できる．

【管理運営に期待される効果】

・水処理施設だけでなく，護岸部にも水処理機能を期待するため，処分場閉鎖後の水処理に要する期間が短くでき，維持管理費が低減できる．
・浸出水の浄化が，埋立地表層部だけでなく底部でも期待される．このため，形質変更に対する経営リスクが低い．
・浸出水漏水時の対応が可能であるため，周辺地域住民，事業者等への賠償・保障リスクが低い．

④凝集材による水質浄化

【技術の概要：物質の凝集】

・浸出水に含まれる汚濁物資を高分子凝集材で凝集させる．高度な水処理施設が不要であり，貯水ピット等の簡易な設備で効果が期待できる．

【管理運営に期待される効果】

・水処理施設の能力を抑えることができるため，建設コスト，運用コスト等の維持管理費用の低減ができる．

④内水ポンドによる水質浄化促進

【技術の概要：曝気】

・浸出水を貯留する内水ポンドを複数設置し，徐々に水を移動させることで曝気効果が得られ，水質の浄化が期待される．

【管理運営に期待される効果】

・内水ポンドを設置し，水処理施設の能力を抑えることができるため，建設コスト，運用コスト等の維持管理費用の低減ができる．

⑤廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備

【技術の概要：廃棄物の洗出しとクローズドシステム】

・受入時に廃棄物を清浄な水で洗浄することで，廃棄物から浸出する浸出水の汚濁，懸濁物質の濃度を低減させる．
・埋立地内部を複数の区画に区分し，廃棄物を特定の区画に集中させることで，早期に埋立地を築造する．

【管理運営に期待される効果】

・事前に廃棄物の洗出しをすることで，浸出水の水質濃度を抑えることができるため，水処理に要する期間の短縮ができる．

表-3.6　長期コスト低減効果が期待できる技術の抽出

項目	適用時期	No.	技術名	コスト縮減効果	過去の実績	適用条件	備考
計画・設計	計画時	1	埋立地の早期安定化	○	○	○	
護岸	設計・計画時	2	護岸および埋立地の免振	△	－	－	
	埋立～廃止時	3	H-H 継手による積極的な水質浄化	△	○	○	実証実験あり
水処理	埋立～廃止時	4	凝集材による水質浄化	○	○	△	廃棄物への適用性は今後の課題
	埋立～廃止時	5	内水ポンドによる水質浄化促進	△	○	○	
埋立地	埋立時	6	廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備	△	△	○	処分場への適用性は今後の課題
	埋立時	7	溶出物質の封込めおよび地盤改良	△	－	－	今後の技術開発を期待
	閉鎖～廃止時	8	雨水制御とガス放出機能	△	△	○	
	埋立～廃止時	9	井戸の最適配置による埋立地の早期安定化	△	○	○	
跡地利用	廃止以降	10	地盤改良範囲の低減	△	－	－	
	閉鎖～廃止時	1	埋立地の早期安定化	○	○	○	

※　○：適用，△：実績，知見はないが効果が期待できる

表-3.7　長期コスト低減効果が期待できる技術の類型化

項目	No	技術名	時間軸										技術的要素
			計画時	設計・計画時	受入～閉鎖	閉鎖～廃止					跡地利用		
			受入廃棄物性状	護岸断面の低減	地盤改良	水質浄化	水位管理	雨水制御	ガス制御	早期安定	跡地施設建設	フェールセーフ	封込め
計画・設計	1	埋立地の早期安定化	○							○	○		
護岸	2	護岸および埋立地の免振		○							○		
	3	H-H 継手による積極的な水質浄化				○				○		○	
水処理	4	凝集材による水質浄化				○							
	5	内水ポンドによる水質浄化促進				○				○			
埋立地	6	廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備								○			
	7	溶出物質の封込めおよび地盤改良			○					○	○		○
	8	雨水制御とガス放出機能				○	○	○	○			○	
	9	井戸の最適配置による埋立地の早期安定化				○			○	○			
跡地利用	10	地盤改良範囲の低減			○							○	
	1	埋立地の早期安定化	○								○	○	

・区画ごとに整備することにより，埋立が終了した区画から閉鎖～廃止～売却・跡地利用を進めることができる．このため，他の区画が埋立の途中でも土地売却による収入を確保できる．

⑦溶出物質の封込めおよび地盤改良

【技術の概要：廃棄物の固化】

・自硬性のあるスラグと廃棄物を混合し，混合物を水和反応により固化させる．
・混合廃棄物が固化することで，地盤強度を得ることとともに，廃棄物からの溶出物質を封じ込めが期待できる．

【管理運営に期待される効果】

・混合廃棄物が固化し地盤強度を発揮することで，跡地利用時の地盤改良が不要もしくは軽微となるため、経営者，跡地利用者双方の費用負担が軽減できる．
・溶出物質の封じ込めにより，水処理施設能力が低減できるため，水処理にかかわる維持管理費の低減ができる．

⑧雨水制御およびガス放出機能

【技術の概要：覆土の多機能化】

・覆土に対して，キャピラリーバリアやバリア層－透気層の組合せ等を用いて多機能化を図ることにより，ガスの排出制御・排出抑制が期待できる．
・メタンガス等のガス類をコントロールすることにより，フェールセーフとしての機能が期待できる．
・覆土の開口部を変えることにより，埋立地内への雨水等の浸出水量の制御ができる．

【管理運営に期待される効果】

・ガス抜き施設に対する維持管理費用の低減ができる．
・事故の発生等，ガスに関する経営リスクが低くなる．
・埋立地内への雨水浸透を制御することで，内水位管理に要するポンプ運転費用の低減が可能となる．

⑨井戸の最適配置による埋立地の早期安定化

【技術の概要：好気的状態の構築と水質浄化】

・無排土，無排水を可能とするケーシング技術により，有孔管を安価で埋立地に整備する．
・有孔管より，地中内の嫌気的な状態を好気的に遷移させることができるため，水処理に要する期間の短縮が期待される．
・定期的に井戸の水を排水することで，洗出しの効果が期待される．

【管理運営に期待される効果】

・安価で多数の井戸を設置でき，より詳細な水質管理ができるため，廃止時の経営リスクが低減できる．
・表層部における廃棄物の洗浄，分解が進むため，水処理期間が短縮できる．
・洗出し効果が得られる場合，水処理施設能力の低減や，水処理にかかる維持管理費の低減ができる．

⑩地盤改良範囲の低減

【技術の概要：非着底型杭状改良】

・非着底型杭状の地盤改良を行い，上屋荷重について地盤改良を通して地盤内に分散させる。

【管理運営に与える効果】

・限られた範囲で地盤改良を行うため，経営者，跡地利用者双方の費用負担が軽減される。
・同様に限られた範囲で行うため，形質変更に対する経営リスクを低くできる．

(4)　個別技術の課題

(3)で抽出したそれぞれの技術研究はまだ開発段階にあるものの多いため，それぞれ技術的課題を整理して**表-3.8**に示した．このうち主なものを以下に記述する．今後，これらの課題の克服が期待される．

①　集水方法の検討（技術③，⑧に対して）

廃棄物海面処分場の保有水等を集水する方法として，いくつかの手法が検討されている．通常，海面処分場の保有水等の集排水は上部集排水によるが，海面廃棄物処分場底部の保有水を集排水し，環境リスクの低減，維持管理を中心とした長期コスト低減を図ることが考えられる．ただし，現時点では現実的であるとは言い難い。

H-H 継手による積極的な水質浄化および雨水制御とガス放出機能では，護岸浄化機能及び水平暗渠による集水のための最適な配置についてはシミュレーションにより検討する事が望ましいとしている．

②　廃棄物の封じ込め（技術⑦に対して）

廃棄物中の有機物含有量は，閉鎖から廃止までの期間長期化の要因として重要である．水砕スラグ等により廃棄物を固化し，封じ込めによる不溶化が可能となれば，有機物含有量が低い場合と同程度の浸出水処理施設で十分であると想定され，施設建設および運転コストの低減が期待できる．また，固化により廃棄物地盤の支持力，強度が向上すれば，埋立後の地盤改良費用が低減できる可能性を有している．

表-3.8　技術課題一覧

No.	長期コスト低減技術名	課　　題
1	埋立地の早期安定化	○海面廃棄物処分場の運営における，産業廃棄物と一般廃棄物の受入の区別 ○保有水について，一般廃棄物を受入れている海面廃棄物処分場との比較による一般廃棄物の受入れの影響度の把握 ○産業廃棄物のみと，一般廃棄物・産業廃棄物の混合物について，組成の違いによる溶出特性の把握 ○受入れ廃棄物の組成と浸出水処理施設能力・建設費・維持管理費について整理
2	護岸および埋立地の免振	○基礎研究段階であり，免振構造にすることによる利点，コスト試算，実証試験等の推進が必要
3	H-H 継手による積極的な水質浄化	○H-H 継手の透水係数が現状では極めて低い．積極的に使用するために，希釈の効果が得られる程度まで透水係数のオーダーを高くする必要性(例えば 10^{-6}→10^{-3}等) ○外界へ放流可能な外海水と内部浸出水との希釈率と透水係数の関係 ○H-H 継手空間が小さいことによる貯留量や揚水頻度への影響 ○H-H 継手から埋立地内部もしくは埋立地外部へ自然に揚水する方法の開発
4	凝集材による水質浄化	○廃棄物浸出水への適用性 ○凝集後の水処理
5	内水ポンドによる水質浄化促進	○複数内水ポンドを必要とする期間 ○内水ポンドと集水管の接続方法
6	廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備	○エリア区分によるコスト増加分と経営資源確保との関係 ○廃棄物の事前洗出しコストと浸出水処理施設運営費との関係
7	溶出物質の封込めおよび地盤改良	○スラグ，廃棄物の混合物が固化するための割合 ○スラグ，廃棄物の混合に要する機材の設置費用，運転コスト ○浸出水処理施設の初期費用，維持管理費の低減 ○地盤改良費とスラグ，廃棄物混合との経済比較
8	雨水制御とガス放出機能	○海面処分場における空気循環と廃棄物分解の関係 ○処分場内へ空気を送り込み，準好気的な雰囲気を拡大することによる，浸出水の良質化の可能性 ○処分場へ空気を送込む物理的な手法が不明
9	井戸の最適配置による埋立地の早期安定化	○ケーシング配置密度と早期安定化効果
10	地盤改良範囲の低減	○地盤のバラツキと地盤改良体の応力分散 ○非着底型杭状改良地盤の設計手法 ○廃棄物地盤における安価な地盤改良工法の開発

③　受入廃棄物の管理（技術①に対して）

有機物含有量の低い廃棄物のみを受け入れている海面処分場は，比較的短期間での廃止が可能である．受入廃棄物の有機物含有量や溶出特性の把握が，処分場の早期安定化に対して必要と考えられる。

④　フェールセーフ（技術①，③，⑧，⑩に対して）

フェールセーフとは，「機械などで、一部に故障や誤操作があっても、安全なほうに作動する仕組み」（大辞林より）のことであり，事故防止の観点からいろいろな分野で取り入れられている．

H-H 継手による積極的な水質浄化は，緊急時に，継手部をモルタル等で充填することにより，埋立地内の保有水を外海へ流出させないようにできるという機能を有している．一方，鋼管内に波高の高い海側から海水を越流させることにより，鋼管内の水位(圧力)を処分場内より上げて，埋立地内の内水浄化に資するとともに，海側に内水(保有水)を漏らさないようにすることも可能である．

4. 建設，埋立造成，跡地利用，長期維持管理等に関するモデル化

4.1 はじめに

2. で整理された廃棄物海面処分場の廃止に係る課題から，廃止までに要する時間の長期化により維持管理費の増大が懸念された．3. での議論では，長期コストの縮減のためには浸出水の早期安定化が有効であることが示唆された．そこで，処分場内の保有水・浸出水の挙動について現地調査結果をもとにモデル化し，早期安定化に向けた検討を行った．

4.2 処分場内の保有水の挙動に関する現地調査 [5)]

(1)　現地調査の概要

処分場内の保有水・浸出水の挙動について把握するため，A 埋立地の廃棄物海面処分場において地盤・水質等に関する現地調査を行った．調査項目を**表-4.1**，処分場内の調査地点を**図-4.1** に示す．なお，対象とした廃棄物海面処分場は，規模が 22.3ha，埋立容量が 200 万 m^3 であり，埋立竣功から 10 年が経過している．

(2)　現地調査の結果

① 廃棄物層の状態

図-4.2 はボーリング調査の結果をもとに作成した地質断面図を示している．測線の位置は**図-4.1** に示すとおりである．今回，ボーリング調査は廃棄物層の下端である

GL-10m（NP-4.26m～-4.98m）付近まで行った．覆土（図中の明るいオレンジ色部分）の計画天端高さはNP+5.1m であるが，水準測量の結果は NP+5.2m～+5.8m の範囲であった．覆土の材料は礫と細粒分を多く含む砂質土であり，層圧は 0.8m～1.6m（平均 1.2m）であった．

廃棄物層は，主に燃えがら（焼却灰），汚泥，建設残土等で構成されている．廃棄物層の性状は，NP-2m～2m を境に上層（図中の暗いオレンジ色部分）と下層（図中の黄緑色部分）で異なる．上層は，砂礫状または礫混じり砂状であり，全体的には径 2～50mm 程度の亜円～亜角礫状および細～粗砂状の焼却灰または固形物が主体である．部分的に細粒土状（粘土状～シルト状）の粒子を多く含むとともに，プラスチック片・金属片・レンガ片等が部分的に多く混入する．下層は，汚泥を主体とする細粒土状廃棄物が主体となる．部分的に鉱さい等の固形物が混入するがプラスチック片・金属片・レンガ片等の混入量は少ない．

調査地点 B-2，B-4，B-7 では，廃プラスチックおよびビニール屑等が層厚約 3m（NP±0～3m 付近）で集中している（図中の水色部分）．この分布深度は，旧海水面付近（潮位の変動域）に相当することから，廃棄物の埋立処分の過程において，海水に浮く廃棄物が集中したものと推定される．

表-4.1　調査項目

調査期間	平成 20 年 9 月～12 月
調査項目	概要
ボーリング調査（土質調査）	7 箇所（ 下図の B-1～B-8） 標準貫入試験（7 箇所） 室内土質試験（密度，含水比，粒度，湿潤密度；7 箇所×上・中・下層） 室内土質試験（透水係数；3 箇所×下層）
現場透水試験	7 箇所（ボーリング孔を活用）
水位の連続観測（自記式水位計）	6 箇所（ボーリング孔を活用）
地中レーダー探査（電磁波レーダーによる断面調査）	横断 3 測線（測線 1～3） 縦断 3 測線（測線 A～C）
雨量調査（降雨量連続観測）	1 箇所（転倒マス記録雨量計）
土壌蒸発量	蒸発パン（縦 50cm×横 50cm×深さ 10cm）
表面流量連続観測	表面排水路の終末に三角堰を設置
浸透能測定	内径 298mm の塩ビ管に 40cm の高さまで水を満たした後の 1 時間あたりの水位低下量

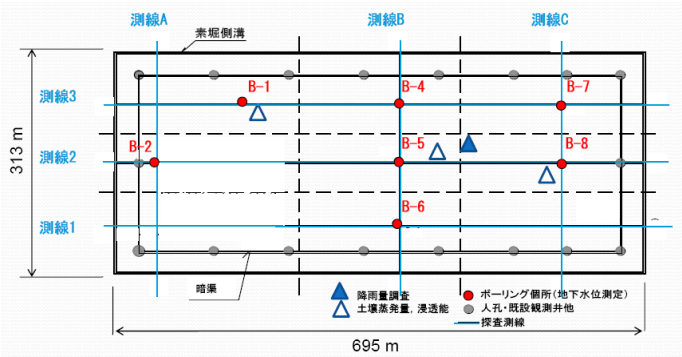
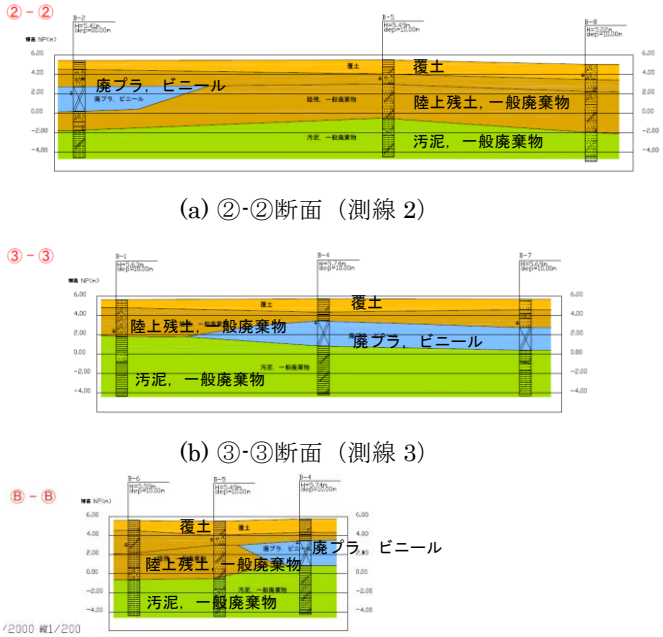


図-4.1　調査地点



(a) ②-②断面（測線 2）

(b) ③-③断面（測線 3）

(c) B-B 断面（測線 B）

図-4.2　地質断面図

表-4.2　ボーリング調査結果

	層厚（m）			土粒子の密度	自然含水比	透水係数
	粘性土 シルト	砂 砂質土	レキ混 じり土砂	ρ (g/cm³)	ω (%)	k (10^{-1}m/s)
B-1	5.95	4.05	0.00	2.978	38.0	0.0942
B-2	3.70	1.40	4.90	2.894	38.1	0.311
B-4	7.20	0.20	2.60	2.656	52.3	0.0164
B-5	4.75	3.50	1.75	2.824	25.9	0.648
B-6	8.80	1.20	0.00	3.977	55.6	0.483
B-7	3.80	3.45	2.75	3.029	29.2	4.25
B-8	0.70	9.30	0.00	2.681	26.0	0.205

② 廃棄物層の物理特性

廃棄物層の粒度分布は，礫分が 1～73%，砂分が 8～74%，シルト分が 5～56%，粘土分が 5～89%の範囲であった．上層の粗粒土が主体となる部分は砂質礫（GFS）または礫混じり細粒分質砂（SF-G）に，下層の細粒土が主体となる部分では砂混じり細粒土(S-F)または礫混じり砂質細粒土（FS-G）に，分類される。

廃棄物層の湿潤密度・含水比は，w_n = 13～74 %，ρ_t = 1.64～1.84 g/cm^3 の範囲である．下層の細粒土が主体となる箇所では w_n が高く，ρ_t が低い傾向にある．これに対して，上層の粗粒分が主体または礫分（固形物）が多く混入する箇所は w_n が低く，ρ_t が高い傾向にある．

③ 廃棄物層の透水係数

廃棄物層の透水係数は，サンプリング資料を用いた室内試験とボーリング孔を活用した現地試験との 2 通りの方法で行った．その結果，室内試験で得られた透水係数は 6×10^{-7}～2×10^{-5} cm/s の範囲であり粘性土相当の透水性を示した．これに対して，現地試験で得られた透水係数は 1×10^{-3}～4×10^{-1} cm/s の範囲であり，砂質土相当の透水性を示した．

室内試験用のサンプルは，廃棄物層下部の細粒分が主体である汚泥層から採取されており，その他の混入物の影響は少ないと考えられる．

現地試験では，覆土層の影響を避けるため，ストレーナーを GL-2.0～-9.0m の区間に設置した．このため，廃棄物層上部のプラスチック片等が混入している層の影響が強く表れていると考えられる．

表-4.3　透水係数

透水係数（cm/s）	
現場透水試験	室内透水試験
1.64×10^{-3}～4.25×10^{-1}	6.02×10^{-7}～1.85×10^{-5}

4.3 処分場内の保有水・浸出水の挙動に関する解析 [6)～8)]

(1)　解析手法

処分場内の保有水・浸出水の挙動を確認するために，処分場内の廃棄物地盤をモデル化して浸透流解析を行った．モデル化にあたり，①処分場の幾何学的モデル化，②廃棄物の涵養量（降雨浸透量），③保有水の集配水の方法（暗渠排水，井戸など），④廃棄物の水理定数（透水係数，有効間隙率）などに配慮した．

解析では，外周を集排水管（φ400）で囲まれている範囲に相当する長辺方向 612m、短辺方向 306m を浸透流解析の対象としてモデル化を行った．廃棄物地盤を単純化し，**図-4.3** に示すように長辺方向，短辺方向にそれぞれ 3 分割した水平一様な矩形としてモデル化を行っている．保有水の流動は，Darcy 則にもとづく 2 次元平面流を仮定して，差分法を用いた非定常浸透流解析を行って，各セルの保有水の水位を計算している．

このモデルを用いて各セル毎に保有水位の経時変化を求めるにあたり，地表からの涵養量は，降雨量に対する浸透率で与える方法と，**図-4.4** に示すような地表部にタンクモデルを作成して降雨に対して地表付近での一次的な貯留・流出（蒸発散）に伴う涵養の時間的な遅延が考慮できる方法の 2 通りで計算できるようにした．保有水の排水については，外周で一定の水位を超えた場合に，集配水管に保有水が流出し，そのまま外部へ排出されるものと仮定して計算を行った．

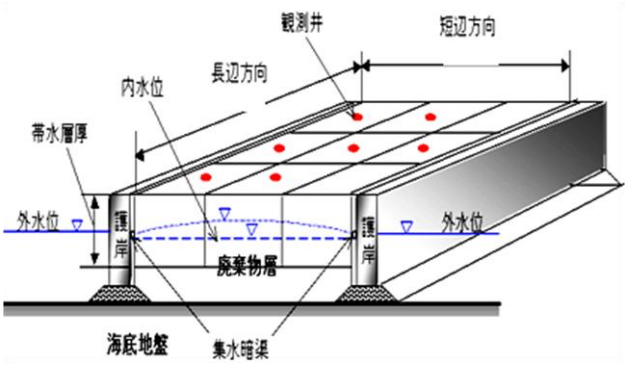


図-4.3　セルモデルの概念図

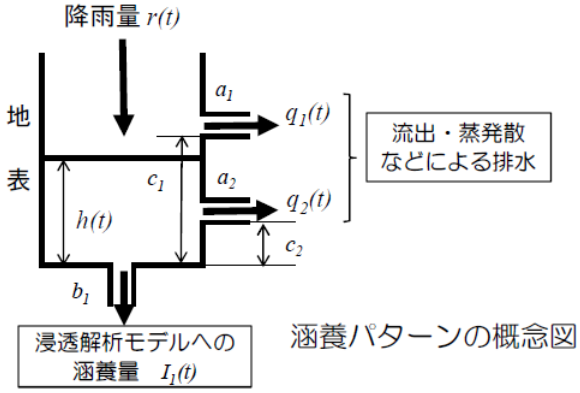


図-4.4　タンクモデルの概念図

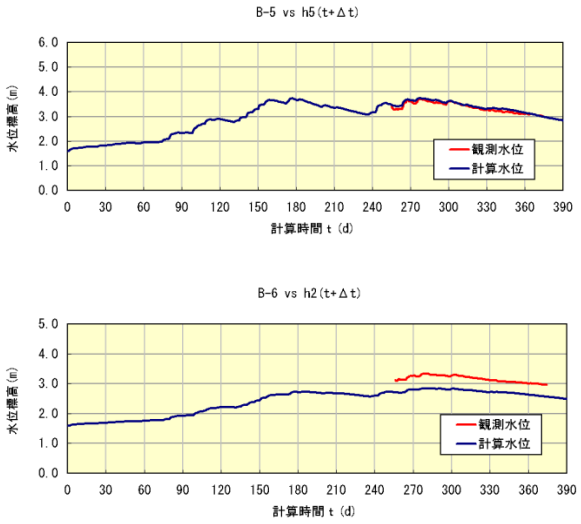
2)　処分場地盤内の浸透流について

現地調査の結果から，埋め立てられた廃棄物の不均質性により透水係数や涵養率等の地盤条件にばらつきがあることが指摘されている．このため，前述の浸透流解析モデルにより処分場内の保有水の挙動の把握が可能か，現地調査データを用いて検証した．

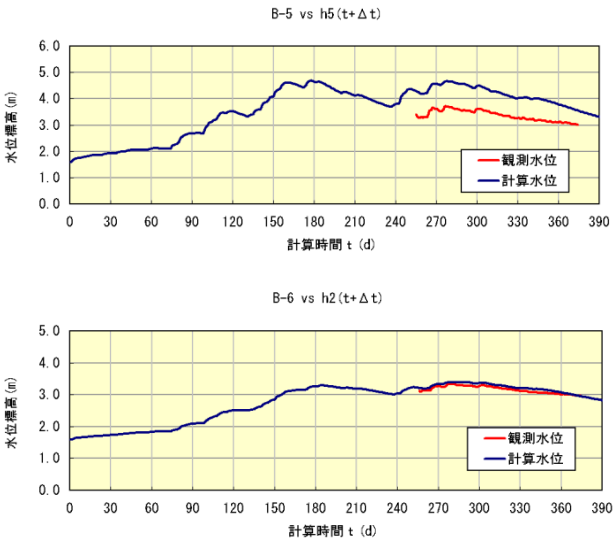
①□ 涵養率の影響について

図-4.6 は，タンクモデルにおける涵養率を 30%とした場合と 40%とした場合のそれぞれにおいて，降水量から計算される保有水位の時間変動の計算結果を示している．降水量は現地近傍のアメダスのデータを使用し，計算は観測開始の 252 日前から 390 日間実施している．ブロック名の B-5，B-6 はそれぞれ**図-4.2(c)**の地点名と対応している．

涵養率を，B-5 では 30%，B-6 では 40%とした場合に，観測水位との適合性がよくなっており，現地の保有水位を再現するためには，地点毎に涵養率を設定する必要があると考えられる．



(a) 涵養率 30%の場合（上図：B-5，下図：B-6）



(b) 涵養率 40%の場合（上図：B-5，下図：B-6）

図-4.5　涵養率が保有水位の変動に与える影響

涵養率がばらつく原因としては，**表-4.2** のボーリング調査結果から，透水係数の値が B-5 では 6.48×10^{-2}m/s であるのに対して，B-6 では 4.83×10^{-2}m/s になっており，地点による透水係数の変動による影響が考えられる．また，B-6 では外周に集排水管が設置されていることが要因として考えられる．

これに対して，現地の地盤の粒度組成を見ると，B-5 では砂・砂質土層の厚さが 3.65m と支配的であると考えられるのに対して，B-6 では粘土・シルト層の厚さが 8.8m となっており，透水係数の傾向と一致しない．これより，透水係数は，地盤全体の平均的な値を取るのではなく，ある特定の層が全体に影響を与えていると考えられる．現地の処分場で埋め立てられる廃棄物には，大きな径のものや透水性の高いものが含まれており，これらが透水係数に影響を与えていることが考えられる．

処分場内の廃棄物の分布について，マニュフェスト等から詳細を把握することは困難であり，涵養率の検証にあたっては現地調査により確認することが望ましい．

②　透水係数の影響について

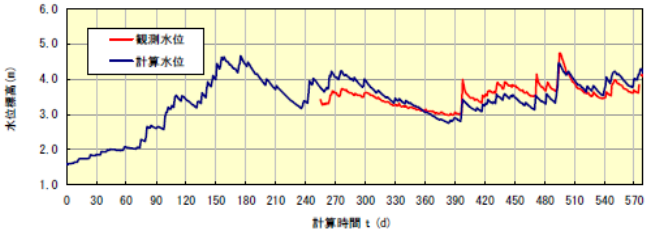
図-4.6 は，①で求められた涵養率を用いて浸透流解析を行い，保有水位の変動を計算した結果を示している．各ブロックの透水係数と有効間隙率は**表-4.4** に示すとおりである．

B-5 では 390 日目以降の観測水位の立ち上がりが早い状況がよく再現されている．これに対して B-7 では全期間にわたり立ち上がりが遅い．これは降水量が地表面から涵養する際の応答の違いと，その後の周辺への透水流の流速の違いによるものと考えられる．

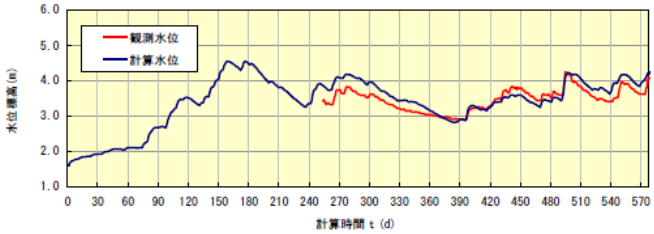
ブロック毎に透水係数や涵養率等を与えることにより，これらの応答を再現できることが確認できた．

表-4.4　各ブロックの透水係数および有効間隙率

ブロック	1	2	3	4	5
透水係数	5.0E-3	1.0E-3	1.0E-3	1.0E-2	5.0E-3
有効間隙率	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05
ブロック	6	7	8	9	
透水係数	1.0E-3	1.0E-3	5.0E-4	5.0E-4	
有効間隙率	0.05	0.15	0.05	0.05	



(a) B-5



(b) B-7

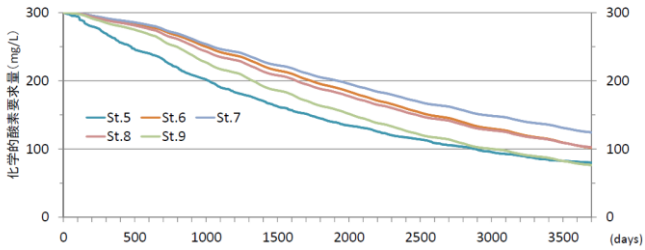
図-4.6　透水係数が保有水位の変動に与える影響

(3)　保有水の水質の挙動について

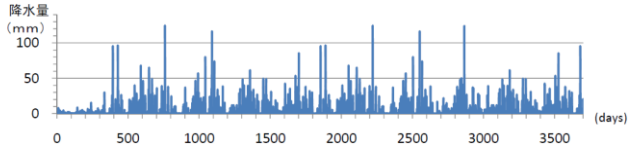
図-4.7 は，前述の浸透流解析結果をもとに，保有水の水質の挙動を計算した結果である．計算では，初期値として化学的酸素要求量（COD）を処分場内で一様として与え，ブロック間の移流による拡散のみが起こるものとして濃度の計算を行っている．この状況は，現場では，処分場の廃止後，雨水による集配水により保有水の水質が安定する状況を再現していると考えられる．なお，降水量は，現地近傍のアメダスで得られた 5 年間のデータを使用し，これを繰り返し使うことで 10 年間の変動を計算している．

保有水の水質は，10 年間で初期値の 26%（B-5：80.0mg/L，B-9：76.3mg/L）～41%（B-7：124mg/L）まで減少している．実際の処分場では，地盤の不均質性から特定の層で保有水の交換が行われると考えられるので，今回の計算より交換は悪くなると考えられる．また，地盤条件の違いにより水質の低減の度合いはブロック毎に異なるが，処分場全体で廃止基準を満足させるためには，最も濃度の高いブロックの値で検討する必要がある．

このため，陸域の処分場における廃止基準である 50mg/L と 10 年後の B-7 の濃度 124mg/L とを比較すると，さらに濃度を 40%程度に低減させる必要がある．移流拡散による濃度低減が時間に反比例すると仮定すると，陸域の廃止基準を満足するためにはさらに 10 年が必要であり，廃棄物の埋立が完了してから廃止までに 20 年以上の長期間が必要であることを示している．



(a) 保有水内の化学的酸素要求量（COD）の変動



(b) 計算に用いた降水量の変動

図-4.7　保有水の水質の挙動について

5. 最適なコスト構造の検討

5.1 はじめに

2. で整理された廃棄物海面処分場の廃止に係る課題から，廃止までに要する時間の長期化により維持管理費の増大が懸念された．このため，簡単なモデルを作成して廃棄物処分場の建設～埋立～閉鎖～廃止のプロジェクト全体としての収支計算を行い，廃止までに要する期間の長期化が長期コストに与える影響について検討した．

3. での議論では，長期コストの縮減のためには浸出水の早期安定化が有効であることが示唆された．4. での議論では，海面処分場では浸出水の安定に時間がかかることが示唆された．その解決のためには埋立の前に事前処理を行い，性状を安定させることが有効であると考える．そこで，事前処理による長期コストの低減に与える効果について検討を行った．

5.2 廃棄物処分場の収支の検討 [9),10)]

最適なコスト構造の検討にあたり，廃棄物海面処分場の整備・運営に関するプロジェクト全体の収支計算を行った．計算に使用したモデルは，3. の検討で使用したものと同じである．整備・運営の標準的な場合として，3.2 で求めた処分場の原単位の平均値を用いることとして，計算上の収支がバランスするよう産廃処分料金を設定した．この時の計算条件は**表-5.1** に示すとおりである．

表-5.1 の場合を基本ケースとして，廃止期間を長期化させた場合の計算結果と比較することにより，収支への影響等について検討を行った．

表-5.1　処分場の収支計算の条件

項　目	単　位	値
処分場計画諸元		
護岸延長	(m)	6,000
廃棄物受入容量	(m3)	16,000,000
処分場面積	(m2)	691,200
整備・運営期間		
整備期間	(年)	5
受入～閉鎖期間	(年)	20
閉鎖～廃止期間	(年)	3～25
廃止～売却期間	(年)	0
廃棄物受入計画		
一廃受入割合	(%)	50
産廃受入割合	(%)	50
一廃処分料金	(円/トン)	9,000
産廃処分料金	(円/トン)	19,678
一廃の単位重量	(トン/m3)	1.0
産廃の単位重量	(トン/m3)	1.0
資金調達		
起債額	(百万円)	50,000
償還期間	(年)	20
据置期間	(年)	5
利率	(%)	4
国庫補助金	(百万円)	25,000
その他		
暫定土地賃貸料	(円/m2･年)	0
付帯施設耐用年数	(円/m2･年)	15

5.3 廃止期間短縮によるコスト構造の改善に関する考察

(1) 廃止期間の長期化等による収支への影響

廃止期間の長期化等による収支への影響を検討するため，閉鎖～廃止までの期間を 3 年，10 年および 25 年とした場合について収支計算を行い，その結果を比較・検討した．

閉鎖～廃止までの期間の最大値は 25 年と設定した．整備期間を 5 年間，受入から閉鎖までの期間を 20 年と設定し,整備から売却までの事業期間を最大 50 年程度と仮定している．4.3 の保有水の挙動を解析した結果でも，水質の安定までに 20 年以上かかるとの結果が出ており，廃棄物の事前処理を行い浸出水の安定化を行わない場合，廃止までの期間は 25 年程度必要と考えられる．

処分場を廃止するためには，閉鎖後の処分場内の保有水の水質が 2 年間連続して廃止基準を満足する必要があり，その後廃止手続きを行うことになる．このため，閉鎖～廃止までの期間の最小値を 3 年としている．

閉鎖～廃止の期間を 10 年とした場合では，この期間内の管理費が収支に与える影響を検討するため，遮水工の管理費のみ計上した場合についても計算を行っている．閉鎖～廃止の期間を 3 年とした場合では，閉鎖後直ちに廃止を行っているものとみなして，管理費を計上していない．

廃止期間の長期化等による影響の検討のそれぞれのケースの計算条件は**表-5.2** に示すとおりである．

表-5.2　廃止期間の長期化等による影響の検討ケース

	閉鎖～廃止の期間	閉鎖～廃止の期間内に考慮する管理費の項目
①	3 年（最小）	考慮せず
②	10 年	遮水工の管理費のみ
③	10 年	水質管理等すべての管理費を考慮
④	25 年	水質管理等すべての管理費を考慮

図-5.1 の(a)～(d)は，それぞれケース①～④に対する計算結果から得られる各年次の収入，支出および累計収支の値をグラフに示したものである．

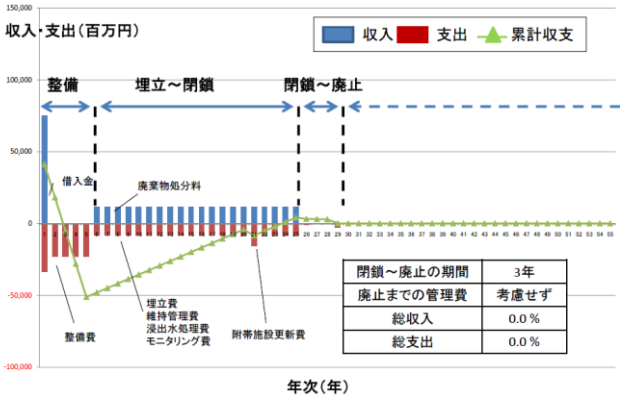
処分場の整備～埋立～閉鎖～廃止の間の収支の流れは次に示すとおりである．整備期間中は，最初の年度に補助金もしくは借り入れを行い，収入として計上した後，毎年整備費が支出される．廃棄物の埋立を開始した後は，廃棄物処分料が収入として計上されるが，埋立費の他，護岸の遮水工等の維持管理用や保有水・浸出水の処理費用，モニタリング費用が支出として発生する．これらの附帯施設は定期的に更新が必要になる．埋立が終了し処分場が閉鎖した後も，廃止するまでの間は遮水工等の維持管理用や保有水・浸出水の処理費用，モニタリング費用が必要となる．

図の(a)～(d)を比較すると閉鎖までの期間の収入・支出の増減の傾向は，ほぼ同じである．各ケースの収支の差は，主に閉鎖から廃止の間の管理費用の差によるものと考えられる．

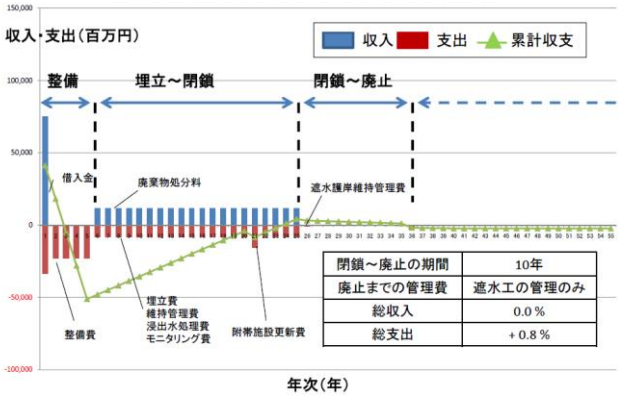
図-5.2 は，各ケースの総収入，総支出をグラフに示したものである．各ケースの総収入，総支出の値は，**表-5.3** に示すとおりである．今回の計算では，ケース①で処分場廃止までの間で収支がバランスするように廃棄物処分料金を設定している．

ケース④（廃止までの期間が 25 年）の総支出の額は，ケース①（廃止までの期間が 3 年）とくらべて 7.4%大きい．閉鎖後の毎年の支出は，グラフ上では判別できないほど微小であるが，25 年間累積すると無視できないほど増大している．

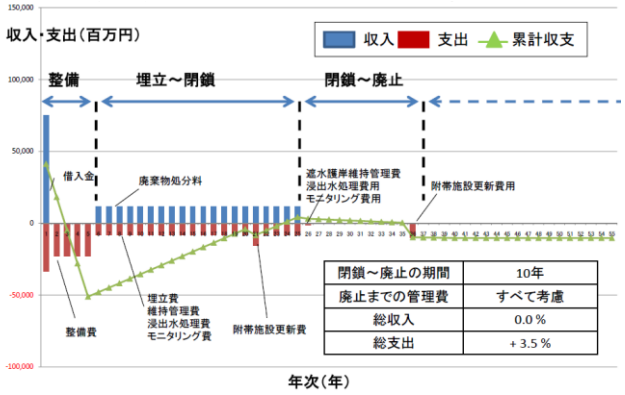
ケース④（廃止までの期間が 25 年）の総支出の額は，ケース③（廃止までの期間が 10 年）とくらべて約 2.1 倍である．総支出は閉鎖までの期間の増大に対して，管理費の増大により，ほぼ比例的に増加している．ただし，保有水・浸出水の処理やモニタリングのための附帯施設



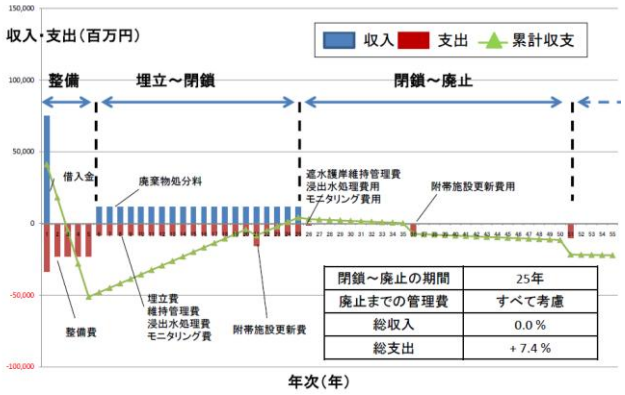
(a) ケース①：閉鎖～廃止の期間を最小にした場合



(b) ケース②：閉鎖～廃止の期間を 10 年にした場合
（閉鎖後，遮水工の管理費のみ考慮）



(c) ケース③：閉鎖～廃止の期間を 10 年にした場合
（閉鎖後，水質管理等のすべての管理費を考慮）



(d) ケース④：閉鎖～廃止の期間を 25 年にした場合
（閉鎖後，水質管理等のすべての管理費を考慮）

図-5.1　廃止期間の長期化等による収支への影響

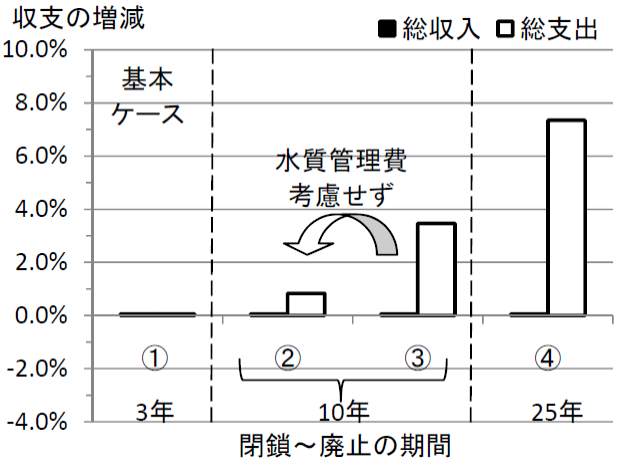


図-5.2　廃止期間の長期化等による総収支への影響

表-5.3　廃止期間の長期化等による総収支への影響

ケース	総収入	総支出
① 廃止期間（最小）	0.0 %	0.0 %
② 廃止期間（中）	0.0 %	+ 0.8 %
③ ②＋水質管理	0.0 %	+ 3.5 %
④ 廃止期間（大）	0.0 %	+ 7.4 %

の更新費用は，一定期間毎に必要になるため，階段的に増加する支出もある．

ケース③（廃止までの期間が 10 年，すべての管理費を考慮）の総支出の額とくらべて，ケース②（廃止までの期間が 10 年，遮水工の管理費のみ考慮）は 23%程度であり，総支出の大部分を保有水・浸出水の処理費用，モニタリング費用が占めていると考えられる．このため，長期的なコストの低減には，保有水・浸出水の処理費用，モニタリング費用の低減が有効であると考えられる．

なお，実際の処分場では廃止後の跡地の売却益で最初

の年度の借り入れを返済する場合もある．この場合では，廃止までの期間が長くなるほど返済時の利息が大きくなる．

(2) 廃棄物の中間処理による浸出水早期安定化の影響 [11)]

(1)より，今回の計算では，処分場の廃止までの期間が長期化することにより，総支出が 10 年あたり 3%程度上昇するという結果が得られた．また，4.3 で保有水の挙動を分析した結果では，処分場の閉鎖後，水質が安定し廃止するまでには 20 年以上が必要であるという結果が得られている．このことから埋立処分後に保有水に処理を加えることにより，水質を短期間で安定させることは難しいと考えられる．

これに対して，排出先から運搬される廃棄物に対して中間処理を施して，無害化した後に処分場に受け入れるのであれば，保有水の水質が改善され廃止までの期間の短縮が期待される．また処分場側では浸出水の処理費用や処理施設の維持管理費用の低減が期待される．

このほか，中間処理において選別や焼却，溶融処理を行う場合には，廃棄物の減容化による処分場の延命化も期待される．選別等により発生したリサイクル材の売却による収入も期待される．焼却や溶融処理等により，埋立材料のうち汚泥や廃材等を除去した場合には，地盤強度の増大も期待される等，管理運営や地盤条件の改善への様々な効果が期待される．なお，具体的な中間処理技術の事例については，とりまとめて付録 B に示している．

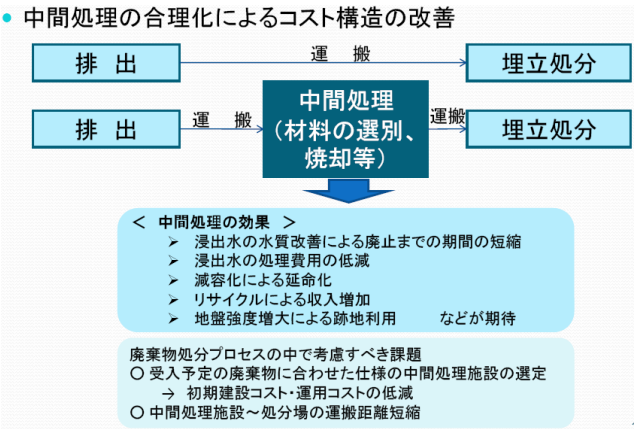


図-5.3　中間処理の合理化によるコスト構造改善のイメージ

ただし，現状では対策技術の確立を含め中間処理のコストが未知数であることと，中間処理施設から処分場までの運搬費が別途必要となる等，課題がある．このため，中間処理による浸出水の安定化が収支へ与える影響をプロジェクト全体の収支計算を行って検討し，コスト構造の改善に向けた今後の技術的な課題をとりまとめることとした．

収支計算の計算条件は，**表-5.4** に示すとおりである．閉鎖～廃止の期間は，中間処理により廃棄物からの溶出がないため，2 年間の水質のモニタリング後ただちに廃止できるとして，すべてのケースで 3 年と設定した．

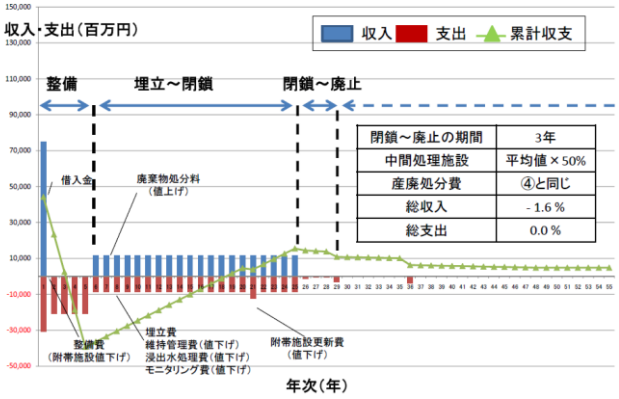
今回の計算では，最も合理的な場合の 1 つとして，中間処理施設の整備費用を処分場の整備費用の中に含める形で計算した．実際の処分場では外部の処理施設を利用する場合も考えられるが，中間処理の方法は廃棄物の性状や含有物により異なり，それぞれ別の処理が必要になる．処分場で扱う廃棄物の量が一定量あり，その種類が事前に明らかになっている場合には，処分場内で最適な方法を用いて処理を行う方が有利であると考える．また，外部の処理施設を活用する場合は，廃棄物の処分料金の中に，中間処理の費用と中間処理施設から処分場までの運搬費用が付加される．

中間処理施設の整備費用は，処分場へのヒアリング結果をもとに平均値および最小値，最大値を設定した．最小値，最大値については，処分場により単価のバラツキが大きいことと，今後の技術革新による処理コストの低減を期待することから，±50%と幅を持たせて与えることとした．中間処理施設の整備費用を最大値にした場合には，（総収入）－（総支出）の値が大きくマイナスになったため，収支バランスを取るために廃棄物処分料金を 1,500 円値上げした場合についても計算した．

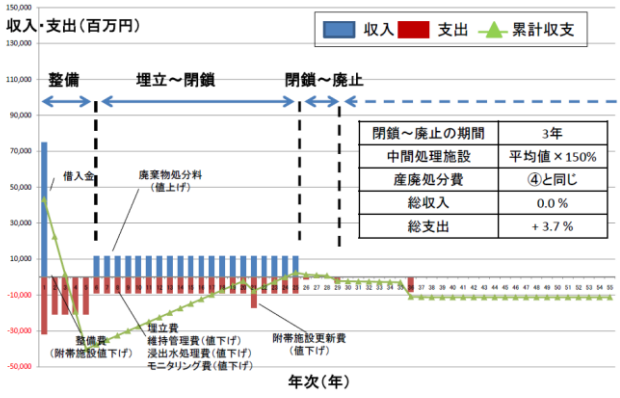
中間処理の実施により，埋立後の保有水・浸出水の処理費用も低減すると考えられる．このため、処理費用の単価を，3.2 で得られた収支原単位の最小値と仮定して計算を行った．

表-5.4　中間処理によるコスト構造への影響の検討の計算条件

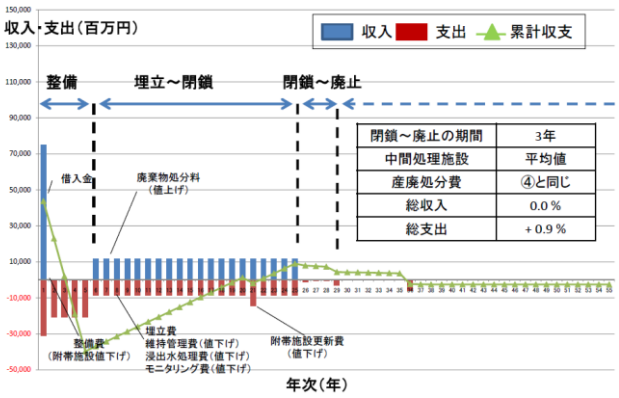
	閉鎖～廃止の期間	中間処理施設整備費	産廃処分料金
⑤	3 年	平均値×50%	③同じ
⑥	3 年	平均値	④同じ
⑦	3 年	平均値×150%	⑤同じ
⑧	3 年	平均値×150%	④+ 1,500 円



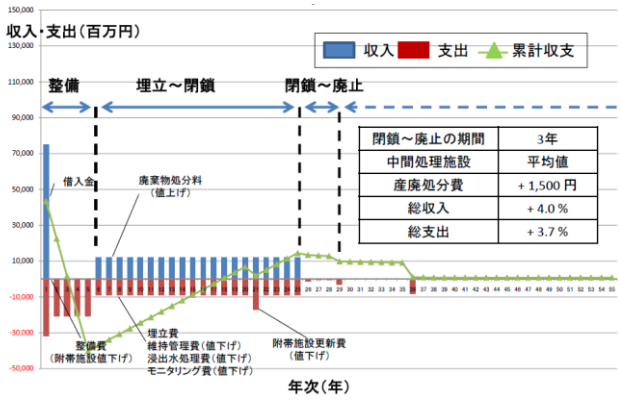
(a) ケース⑤：中間処理施設整備費用を最小値にした場合



(c) ケース⑦：中間処理施設整備費用を最大値にした場合



(b) ケース⑥：中間処理施設整備費用を平均値にした場合



(d) ケース⑧：中間処理施設整備費用を平均値にした場合（産廃処分費を 1,500 円値上げ）

図-5.4　廃棄物の中間処理による浸出水の早期安定化の影響

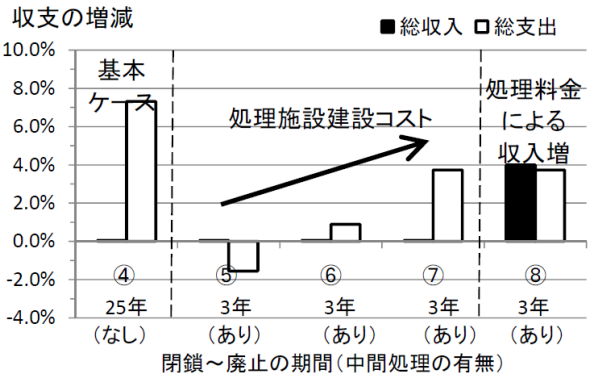


図-5.5　廃棄物の中間処理による浸出水の早期安定化の総収支への影響

表-5.5　廃棄物の中間処理による浸出水の早期安定化の総収支への影響

ケース	総収入	総支出
④廃止期間長期化	0.0 %	+ 7.3 %
⑤中間処理（小）	0.0 %	- 1.6 %
⑥中間処理（中）	0.0 %	+ 0.9 %
⑦中間処理（大）	0.0 %	+ 3.7 %
⑧産廃処分費値上げ	+ 4.0 %	+ 3.7 %

図-5.4 の(a)～(d)は，それぞれケース⑤～⑧に対する計算結果から得られる各年次の収入，支出および累計収支の値をグラフに示したものである．

中間処理施設の整備のため，(1)のケース④とくらべて，初年度の借入金および整備費用が大きくなっている．このため，整備費用の一部を跡地の売却益で返済する場合には，借入金の利子の増加にも留意する必要がある．

図-5.5 は，各ケースの総収入，総支出をグラフに示したものである．各ケースの総収入，総支出の値は，**表-5.5**

に示すとおりである．比較を容易にするため，この計算でも，ケース①で処分場廃止までの間で収支がバランスするように廃棄物処分料金を設定している．

標準的なケースであるケース④とくらべて，ケース⑤～⑧はいずれも総支出が小さくなっている．ケース⑤とケース⑥では，総支出の額が，処分場の閉鎖後直ちに廃止する場合（ケース①）と同等もしくは小さくなっている．ケース⑦の場合でも，ケース④とくらべて総支出の増加が 51%程度まで抑えられている．

このことは，中間処理を行うことにより埋立時の保有水・浸出水の処理費用を低減することができれば，総支出全体の額を大きく低減できる可能性を示唆している．今後，中間処理技術の向上と低コスト化とあわせて，処分場の廃止期間の短縮に向けた取組が期待される．

6. まとめ

本資料で得られた主な結論は以下のとおりである． コスト構造の分析と収支計算の結果から，建設コストの縮減および廃止までの期間の短縮が長期コストの低減に効果があると考えられる．しかし，保有水の挙動を解析した結果から，海面処分場では保有水の水質の安定に数十年程度の長時間が必要であることが示された．このため，中間処理を行った後に受け入れると仮定して収支計算を行い，長期コストを低減する可能性を示した．

(1) 海面廃棄物最終処分場の管理運営者へのアンケート調査にもとづきコスト構造を分析した．その結果，建設費（28%），附帯施設の建設・更新費（11%），埋立費用（13%）及び元利償還金（37%）の占める割合が大きいことがわかった．このため，建設コストの縮減とあわせて，廃止までの期間の短縮による支払利息の低減が長期コストの低減に効果があると考えられる．

(2) 既往文献等を調査した結果から，長期コストを低減することが期待される技術を10件抽出した．事業の計画段階から埋立地の早期安定化を図る技術の方が，整備以降の段階に適用する技術よりコスト低減効果が高いものと期待される．提案された技術には開発段階のものも含まれており，実用化に向けた課題の克服が望まれる．

(3) 埋立地内の保有水・浸出水の挙動把握のため，現地調査を実施した．現地調査の結果から，処分場内の透水係数の値は調査地点によりバラツキが大きく，埋立材料の不均質性の影響を受けていると考えられる．処分場内の保有水の浸透流解析を行うにあたり，埋立材料の不均質性を考慮して係数を設定することにより，現地の状況を再現することができた．開発されたモデルを用いた解析結果から浸出水の安定が長期化する傾向を検証した．

(4) 閉鎖から廃止までの期間の長期化による影響を処分場プロジェクト全体の収支計算結果を用いて検討した．全体のコスト構造の中で水質管理費用の占める割合は小さいが，処分場の閉鎖から廃止までの期間を3年から10年，25年と増加させた場合，保有水等の管理費用の増大により総支出を3～4%ずつ上昇させる結果が得られた．保有水の処理施設は定期的に更新が必要であり，廃止までの期間が長期化すると，付帯施設の更新によるコスト増加の影響もあらわれる．

(5) 長期コストの低減には，処分場を早期安定化させて廃止までの期間を短縮する手法や水質管理費用を低減する手法が有効と考えられる．このため，廃棄物を中間処理することにより処分場の早期安定化を図る手法を提案した．処分場プロジェクトの収支計算結果より，中間処理に対する初期コストを抑えることができれば，埋立時を含む全体の管理費用を低減できる可能性が示された．また，初期コストの増加に対する改善策として，過度な負担にならない範囲で廃棄物処理料金を値上げすることにより収支をバランスさせることができる可能性が示された．

7. おわりに

本資料では，持続可能な廃棄物埋立処分の実現に向けて，処分場の閉鎖～廃止までの期間の長期化による影響を低減するための方策についてとりまとめている．あわせて，長期コストの低減化が期待できる技術をとりまとめている．ここで提案された技術には開発段階のものも含まれており，海面処分場の設置運営主体等へ研究成果として得られた知見について周知し，現場での導入の可能性を具体的な検討を促すことが重要である．そして，今回開発したモデルについて，精度の向上が得られるように改善を図っていくことが必要である．

（2013年5月31日受付）

謝辞

最後に本研究は平成21年から平成23年度にかけて当研究室で実施した「持続可能な臨海部における廃棄物埋立処分に関する研究」で得られた研究成果をもとに，新たな検討を加えてとりまとめたものである．当時の研究室長である鈴木武氏，池田清氏および根木貴史氏並びに研究部長である数土勉氏には，取りまとめにあたり多くの助言をいただいた．本研究の実施にあたっては，当時の室員である有賀藍研究員および渡邉祐二研究員から多くの助力をいただいた．また，本研究で使用したアンケートや現地調査の実施に際しては，廃棄物最終処分場の管理者の皆様から多くの協力をいただいた．ここに記して深く感謝の意を表します.

参考文献

1) 環境省 HP：広域最終処分場計画調査(海面最終処分場の閉鎖・廃止適用マニュアル策定に向けた調査)報告書，2009.
2) （財）港湾空間高度化環境研究センター：管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル（改訂版），134p.，2008.
3) 根木貴史・渡邉祐二・淺井正・小田勝也・築地健太朗：海面廃棄物最終処分場経営シミュレーションの感度分析, 第 23 回廃棄物資源循環学会発表会講演論文集，2012.
4) 根木貴史・渡邉祐二・小田勝也・築地健太朗：海面廃棄物処分場の長期コスト低減技術の分類と考察，第 22 回廃棄物資源循環学会発表会講演論文集，2011.
5) 小田勝也・有賀藍・束原純・神原隆則・橋本和佳・前田直也・王寺秀介：海面廃棄物最終処分場における保有水水位の平面分布調査，第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，2009.
6) 小田勝也・有賀藍・束原純・神原隆則・橋本和佳・前田直也・王寺秀介：海面廃棄物処分場における保有水挙動予測モデルの再現性に関する検討，第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，2009.
7) 小田勝也・有賀藍・束原純・神原隆則・橋本和佳・前田直也・王寺秀介：海面廃棄物最終処分場における保有水挙動予測モデルのパラメータに関する検討，第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，2009.
8) 數土勉・有賀藍・小田勝也・田中裕一・田中裕作：海面処分場における保有水等挙動予測モデルのパラメータ適合方法，第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，2010.
9) 數土勉・有賀藍・小田勝也・田中裕一：簡易収支モデルを用いた海面廃棄物処分場の財政収支に関する一検討，第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，2010.
10) 根木貴史・渡邉祐二・小田勝也・築地健太朗：簡易収支モデルを用いた海面廃棄物処分場の財政収支に関する一検討，第 22 回廃棄物資源循環学会発表会講演論文集，2011.
11) 根木貴史・渡邉祐二・淺井正・小田勝也・築地健太朗：海面廃棄物最終処分場における中間処理内製化に関する考察，第 23 回廃棄物資源循環学会発表会講演論文集，2012.

付録 A　長期コスト低減技術の事例

本文の 3.3(3)で抽出された長期コスト低減技術 No.1～10 のそれぞれについて，その研究概要，長期コストへの考え方および参考論文リストを個表にとりまとめた．その内容は**表-A.1～A.10** に示すとおりである．

表-A.1　埋立地の早期安定化（No.1）

長期コスト低減技術名	埋立地の早期安定化	技術番号：No.1
技術名	海面廃棄物処分場の早期安定化	
主たる研究者名	(－)	
所属	ひびき灘開発株式会社	

研究概要

1. 廃棄物の選別

ひびき灘開発株式会社では，一般廃棄物および早期安定化に悪影響を与える廃棄物の受け入れを行っていない．これは，北九州市の廃棄物処分場では一般廃棄物を受入れており，産業廃棄物を受入れているひびき灘開発株式会社と住み分けができている．

また，長期にわたるモニタリングを行い，廃棄物と水質悪化との大まかな相関を把握しているため，水質管理の観点から廃棄物をコントロールしている．

2. コスト縮減

経営に当り徹底したコスト意識を持っているため，他の処分場と比較して維持管理費用が安価となっている．

3. 周辺環境

廃棄物処分場の地盤は岩盤であるため，廃棄物処分場築造並びに跡地利用のための地盤改良が不要である．

埋立地は，委員会を立ち上げて検討を行い，プレロードにより地盤改良を行っている．

4. 早期安定化

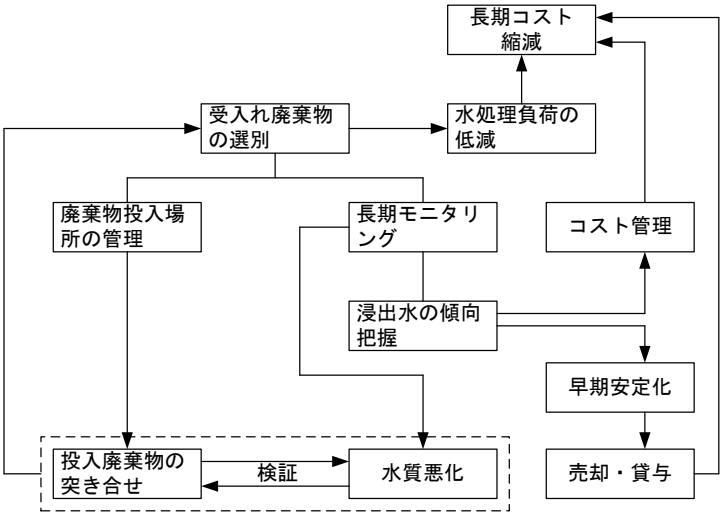
廃棄物を選別しているため，一般廃棄物等を受入れている廃棄物処分場よりも早く廃止のための基準を満足していると推定される．

埋立地内の保有水は，観測井戸を多数掘削して廃止以前より継続的にモニタリングを実施している．早期廃止に向けた膨大なデータを蓄積し，傾向を把握する事により，廃止手続きの円滑化を図っている．なお，観測井戸はモニタリング専用であるため，揚水による水処理は実施していない．

その他，早期安定化に資する設備は無い．

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念



長期コスト低減技術名	埋立地の早期安定化	技術番号：No.1
技術名	海面廃棄物処分場の早期安定化	
主たる研究者名	(－)	
所属	ひびき灘開発株式会社	

2. コスト

(1) 建設時

ひびき灘開発株式会社の埋立地における地盤改良については，立地等の周辺環境に恵まれた条件であるため，他の海面廃棄物処分場への適用は難しい．

(2) 搬入～廃止時

受入れ廃棄物を選別しているため，浸出水処理施設に求められる負担は他の海面廃棄物処分場と比較して低い．

埋立地内の保有水に対する水質モニタリングを，頻度高く実施していると推定される．このため，水質の傾向を把握しつつ，変な挙動について迅速な対応を行うことで，結果的にコスト管理に寄与していると考えられる．

また，1 号地を廃止した経験を有しているため，早期安定化させ廃止させるまでのプロセスを把握していることが，廃止以降の売却・貸付に大きく寄与していると考えられる．併せて，ナレッジマネジメントとして技術継承していると推定される．

3. これからの課題

○海面廃棄物処分場の運営として，産業廃棄物と一般廃棄物を区別する
○保有水について，一般廃棄物を受入れている海面廃棄物処分場とひびき灘開発株式会社との比較を行い，一般廃棄物を受入れる影響度を把握する
○産業廃棄物のみと，一般廃棄物・産業廃棄物の混合物について組成の違いによる溶出特性を把握する
○受入れ廃棄物の組成と浸出水処理施設能力・建設費・維持管理費について整理する

参考論文リスト

とくになし

表-A.2　　護岸および埋立地の免振（技術番号 No.2）

長期コスト低減技術名	護岸および埋立地の免振	技術番号：No.2
研究名	タイヤチップス水平敷設による地震時変状低減効果	
主たる研究者名	村上　哲	
所属	茨城大学　工学部	

研究概要(関連する研究も含む)

1. タイヤチップスの活用方策(関連する研究)

1.1 セメント系固化処理土をベースとした遮水材料

固化処理土部分を貧配合とし，さらに従来の固化処理プラントや混練り機械で混合することが可能なこと(設備の簡易さ)を想定し，ゴムチップ，液体ポリマーを混和材として用いて変形性能の向上を図り，その性能の確認を行なった．

○ゴムチップ：廃タイヤを破砕したもので，粒径 0.4～3.0mm，粒子比重 1.15，固化処理土に対し体積比で 10～50%添加した．

○液体ポリマー：水性ポリウレタン(エーテル系，比重 1.10)で土木用恒久止水材として使用されているものである．他にエステル系があるが，加水分解に対する耐久性の高いエーテル系を使用した．また，固化処理土部の 1m3 に対して 5～20kg をセメント混合土に手練り(2 分)で混合し，供試体を作成した．

○原料土：東京湾浚渫土砂(砂分 1.3%，シルト分 32.3%，粘土分 66.4%，液性限界 115.7%，塑性限界 48.6%，有機分 14.0%)

○セメント：普通ポルトランドセメント

○固化処理土部の配合：原料土の含水比約 200%，C/W＝0.05～0.06(セメントは粉体で使用，添加量 45～55kg/m3)

2. タイヤチップス水平敷設による地震時変状低減効果

液状化対策工法のうち，他産業廃棄物のひとつである廃タイヤを加工したタイヤチップスは，軽量であり，弾性体であることから護岸構造物裏込め地盤として土圧低減，地震時変状低減が可能である．

2.1 実験概要

我が国の重要な社会基盤施設である港湾の既存護岸において，地震時液状化被害に対する整備が求められている．液状化対策工法のうち，他産業廃棄物のひとつである廃タイヤを加工したタイヤチップスは，軽量であり，弾性体であることから護岸構造物裏込め地盤に利用することが期待されている．しかしながら，その敷設方法については十分な検討がされていない．

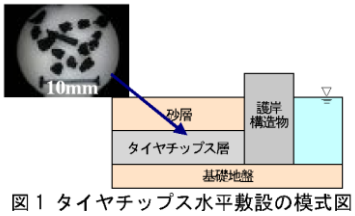


図 1 タイヤチップス水平敷設の模式図

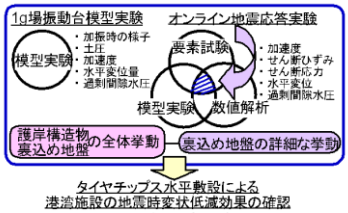


図 2 本研究の概要

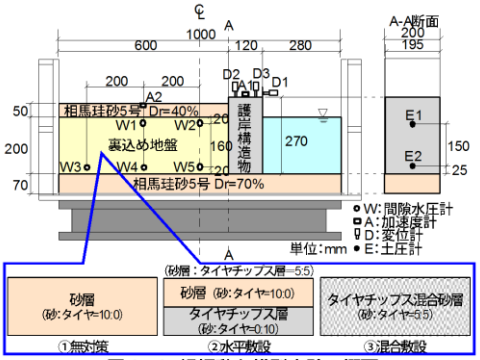


図 1　1g 場振動台模型実験の概要

港湾施設構造物裏込め地盤の深層に，タイヤチップスを水平敷設した条件(図 1 参照)で 1g 場振動台模型実験およびオンライン地震応答実験を行い，裏込め地盤の液状化低減効果，護岸構造物の免震効果および水平土圧・水平変位低減効果を確認する．オンライン地震応答実験とは，地震時の地盤挙動をシミュレートする実験であり，フィールドでの地震観測や，振動台模型実験で得られる応答と要素試験で得られる変形・強度特性および間隙水圧発生特性を同時に把握できる．

長期コスト低減技術名	護岸および埋立地の免振	技術番号：No.2
研究名	タイヤチップス水平敷設による地震時変状低減効果	
主たる研究者名	村上　哲	
所属	茨城大学　工学部	

3. タイヤチップ混合砂の動的変形特性と地震応答特性

本研究は，構造物の基礎となる砂地盤そのものの液状化防止および免震を図ることを目的に，水平地盤を対象に，オンライン地震応答実験を行った．

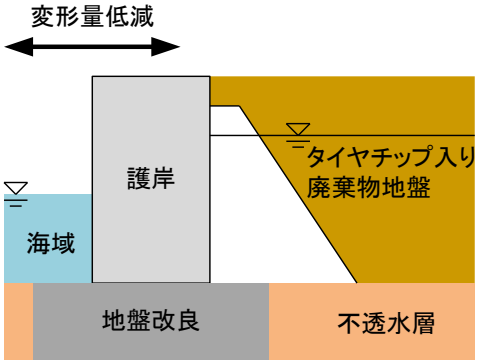
中空ねじりせん断試験の結果，タイヤチップのせん断剛性率は砂に比べ非常に低く，タイヤチップを30%混合した場合で，70%程せん断剛性率が低下すること，タイヤチップの混合率が高いほど高いひずみ域まで弾性的性質を示すこと，微小ひずみ域においても高い履歴減衰率が発揮されること，Geq/G0～(γ)SA および h～(γ)SA 関係に対する有効拘束圧の影響が小さくなることが確認できた．

オンライン地震応答解析の結果からは，タイヤチップを混合することで，減震・免震効果が期待でき，特にタイヤチップを単体で用いることにより，大幅な減震効果・液状化抑止効果・免震効果が期待できることが確認できた．また，最下層でタイヤチップを層状に利用する場合，その層厚が大きいほど効果は大きくなり，上部が砂層であっても同様の効果が期待できるため，同量のタイヤチップを用いる場合，混合するよりも最下層に層として配置する方がより大きな効果が期待できると考えられる．

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念

護岸構造は，レベル 2 地震動による変形により護岸構造諸元が決まる．タイヤチップ混入により護岸変形量が低減可能であれば，護岸断面(本体，地盤改良範囲等)が小さくなるため，建設費が削減される．



2. 付帯事項

廃タイヤをリサイクルするという観点より，廃タイヤ業者も受益者として想定が可能となる．その場合，廃タイヤを持ち込む住民も受益者としてみなすことが可能となる．

3. 試算条件

護岸背後の裏埋土が免震性を有する場合の護岸変形量に対する護岸本体(ケーソン)の施工費低減費用は，知見が無いため不明である．タイヤチップス廃棄物地盤と各種構造物との費用に関するトレードオフを整理すると次のとおりである．

構造物		廃棄物地盤
護岸建設費が減少	⇔	タイヤチップスの投入量が多くなり，廃棄物の受入量が減少
廃棄物受入施設の建設費が減少	⇔	→タイヤチップスの処分費用が増大
跡地構造物の地震対策費用が減少	⇔	→受入費用が減少

参考論文リスト

【茨城大学】

1) 御手洗義夫，川合弘之，川島仁，安原一哉，菊池喜昭：ゴムチップ入り固化処理土の海面処分場における変形追随性遮水材への適用性-その 1:遮水壁の設計変形量と配合設計-, 第 39 回地盤工学研究発表会, 2004.

2) 安原一哉，菊池喜昭，御手洗義夫，川合弘之，アショカ・K・カルモカル：ゴムチップ混合による固化処理土の変形性能および変形後の遮水性能改善効果-その 1：靭性の改善効果-，第 39 回地盤工学研究発表会，2004.

3) 川合弘之，御手洗義夫，安原一哉，菊池喜昭，アショカ・K・カルモカル：ゴムチップ混合による固化処理土の変形性能および変形後の遮水性能改善効果-その 2：変形透水試験-，第 39 回地盤工学研究発表会，2004.

4) 御代田早紀，安原一哉，兵動正幸，村上哲，金子清数奇崇，小峰秀雄：タイヤチップス水平敷設による港湾施設の地震時変状低減効果，第 45 回地盤工学研究発表会，2008.

5) 安原一哉，小峯秀雄，村上哲，藤原康成，木立恭史，御代田早紀，ヘマンタ・ハザリカ，兵動正幸：裏込めにタイヤチップス混合砂を適用した構造物の地震時変状低減のメカニズム，地盤工学会第 8 回環境地盤

長期コスト低減技術名	護岸および埋立地の免振	技術番号：No.2
研究名	タイヤチップス水平敷設による地震時変状低減効果	
主たる研究者名	村上　哲	
所属	茨城大学　工学部	

工学シンポジウム，2009.
6) 御代田早紀，安原一哉，村上哲，小峯秀雄，兵動正幸，金子崇： 1g 場振動台模型実験によるタイヤチップスを用いた地震時変状低減効果の検証，第 65 回年次学術講演会，2010.
7) 御代田早紀，安原一哉，村上哲，小峯秀雄，兵動正幸，金子崇：護岸構造物の地震時変状低減のためのタイヤチップスジオマテリアルの適用性，第 13 回日本地震工学シンポジウム，2010

【その他】

8) 伊藤弘毅，御手洗義夫，深沢建，岸田隆夫：管理型廃棄物処分場の遮水工に使用する変形追随性材料の開発-セメント系固化処理土をベースにした遮水材料の開発-，第 38 回地盤工学研究発表会，2003.
9) 御手洗義夫，伊藤弘毅，深沢建，岸田隆夫：管理型廃棄物処分場の遮水工に使用する変形追随性材料の開発　その２-各種産業廃棄物とポリマー混合体の高弾性遮水材料の開発-，第 38 回地盤工学研究発表会，2003.
10) 田中徹，岸田隆夫，御手洗義夫，川合弘之，中山晋一：ゴムチップ入り固化処理土の海面処分場における変形追随性遮水材への適用性-その 2：実物大模型実験-，第 39 回地盤工学研究発表会 2004.
11) 金子崇，兵動正幸，河田慎治朗，吉本憲正，中田幸男，ハザリカヘマンタ，タイヤチップ混合砂の動的変形特性と地震応答特性，第 8 回環境地盤工学シンポジウム，2009.

表-A.3　H-H 継手による積極的な水質浄化（No.3）

長期コスト低減技術名	H-H 継手による積極的な水質浄化	技術番号：No.3
研究名	H-H 継手を用いた連結鋼管矢板	
主たる研究者名	助教授　稲積　真哉	
所属	京都大学大学院　工学研究科　都市社会工学専攻	

研究概要

1. H-H 継手を用いた連結鋼管矢板

(1) 従来工法

従来継手における遮水処理の信頼性が低い原因は，主として従来型継手を持つ鋼管矢板の打設・嵌合性能に拠るものであり，不健全な嵌合状態の従来継手に対して，打設後処理として遮水処理を確実に実施することは根本的に不可能である．

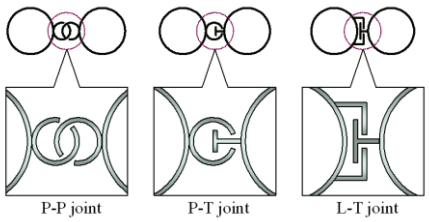


図-2　従来型継手（P-P，P-T および L-T 継手）の形状

(2) H-H 継手の優位性

①施工時の高い鉛直打設精度，②護岸構造としての安定性，③単位面積当たりに占める完全止水箇所の割合，④遮水材(膨潤止水材)の品質管理，⑤袋詰めモルタルの充填による不確実な遮水処理が不要，⑥H-H 継手内の平面空間における遮水処理等，従来型継手を持つ鋼管矢板の遮水処理における課題が総合的に解決される．

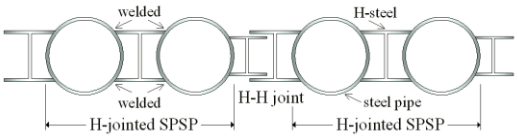


図-1　H-H 継手を施した連結鋼管矢板

(3) 遮水メカニズム

H-H 継手箇所は図で示されるように，互いの H 型鋼の接触面に 8～11mm の平面空間が形成される．その空間を充当するため，打設前に塗布もしくはシート状の膨潤止水材を接触面に塗布・接着することで実施され，H-H 継手の平面空間は，塗布・接着された膨張止水材が鋼管矢板施工時に水中で膨潤することにより閉鎖する．

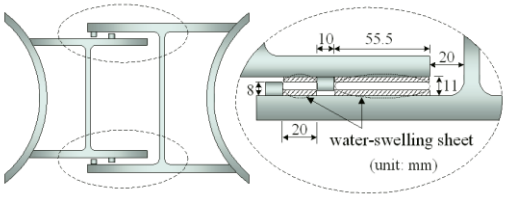


図-3　H-H 継手に実施される膨潤止水材を用いた遮水処理

(4) 海水環境における H-H 継手の遮水性能

右下図は，シート上の膨潤止水材を接着した H-H 継手を施した連結鋼管矢板の人工海水及び淡水環境における作用水圧と透水係数の関係を示している．これにより，作用水圧が 0.1MPa(水位差 10m)以下では，何れのシート厚で膨潤止水材を接着した H-H 継手を施した連結鋼管矢板とも，人工海水および淡水を用いた環境で同程度の透水係数を発揮する．人工海水と淡水では膨潤止水材が膨潤量の違いが現れるものの，同程度の遮水性が発揮される要因には，H-H 継手の間隙(11mm)の両面から膨潤した膨潤止水材の界面における圧力を上げることができる(図-5)．すなわち，水質に応じた膨潤界面の圧力の大きさは異なるものの，膨潤界面の圧力は，人工海水・淡水の何れの環境において 0.1MPa 以下の作用水圧と比較して十分大きいと考えられ，膨潤界面に水が浸透することが困難である．

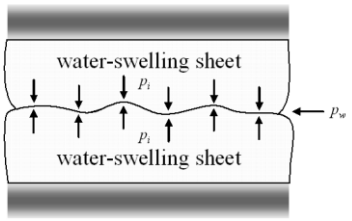
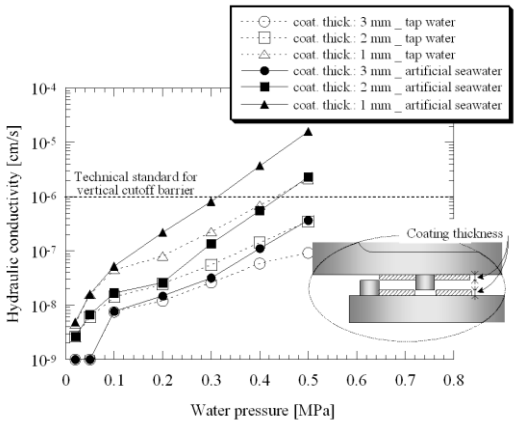


図-5　膨潤後の止水材の境界面圧力と作用水圧の関係



長期コスト低減技術名	H-H 継手による積極的な水質浄化	技術番号：No.3
研究名	H-H 継手を用いた連結鋼管矢板	
主たる研究者名	助教授　稲積　真哉	
所属	京都大学大学院　工学研究科　都市社会工学専攻	

2. H-H 継手を有効活用した浄化促進遮水壁の提案

H-H 継手を施した連結鋼管矢板遮水壁では，膨潤性止水材が接着される H-H 継手内に 30cm×30cm 程度の空洞空間(図 3 参照)が形成され，H-H 継手(フランジ嵌合面)の遮水特性に依存して空洞空間内へ浸出水が漏出・滞留する．H-H 継手を施した連結鉄鋼管矢板の遮水処理に関する既往の方針では，事前に接着・塗布される膨潤性止水材は仮止水用として捉え，形成される空洞空間内へモルタルを充填して本遮水を行うことも可能である．一方，有害物質を含んだ浸出水が処分場内から H-H 継手を施した連結鋼管矢板遮水壁を通過して処分場外に漏出する場合，浸出水は H-H 継手内に形成された空洞空間を必ず通過しなければならない．従って，H-H 継手内の空洞空間をモルタル等の充填によって塞ぐことは，モルタル内もしくはモルタル－鋼の界面において漏水を誘発する可能性がある．そこで，空洞空間内に存在する水を完全に排除すれば(空洞空間をドライな状況に維持すれば)，H-H 継手内における浸出水漏水経路の一つを完全に遮断することができる．実務的には，図 4 で示すように H-H 継手内の空洞空間に滞留した廃棄物からの浸出水を揚水ポンプ等によって集排水することで，浸出水の漏水経路はほぼ完全に遮断される

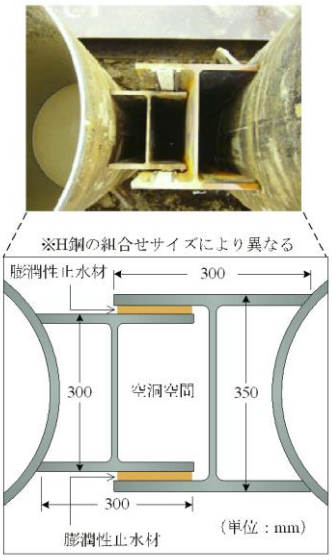


図 3　H-H 継手内に形成される空洞空間

下表は，H-H 継手を施した連結鋼管矢板による浄化促進遮水壁(集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁)の特徴を示している．集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁では，廃棄物から H-H 継手の空洞空間内に漏出(滞留)した浸出水を揚水作業によって集排水するため，結果的に有害物質を含んだ廃棄物の浄化が促進される効果が期待できる．鋼管矢板遮水壁が廃棄物の浄化促進機能も兼担することは，封じ込めの概念に即して建設される海面廃棄物処分場の長期的な環境への信頼性に対して大きな利点を添えると考えられる．

表 1　集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁の特徴

集排水機能を有する鋼管矢板遮水壁
(i) 埋立廃棄物（有害物質）の封じ込め
膨潤性止水材による漏水の抑制とともに，集排水による漏水経路の遮断
空洞内水位の管理による漏水の危険性を低減
(ii) 埋立廃棄物の浄化
廃棄物浸出水の集排水に伴う浄化促進
(iii) 維持・管理・補修
空洞空間の有効活用
(iv) 経済性
低頻度の集排水作業
空洞空間の有効活用

3. H-H 継手内空洞空間の有効活用

H-H 継手内部の空洞空間を有効活用した遮水・浄化促進技術として，①低水位環境を保持する(左図(b)参照)技術および②高水位環境を維持する(左図(c)参照)が考えられる．①低水位環境を保持する技術は，H-H 継手内部の空洞空間に低水位環境を形成することで，継手内部の空洞空間へ外部から水が流入する環境となり，流入した水をポンプ等で集排水することで遮水する工法である．また，①低水位環境を保持する技術では，水溶性有害物質を含有し得る廃棄物からの浸出水を揚水装置により排水するため，廃棄物の浄化を図ることも期待できる．一方，②高水位環境維持する技術では，H-H 継手内部の空洞空間の水位を予め周囲より高めておくことで，継手内部の空洞空間から外部へ流出する動水勾配を形成する遮水技術である．

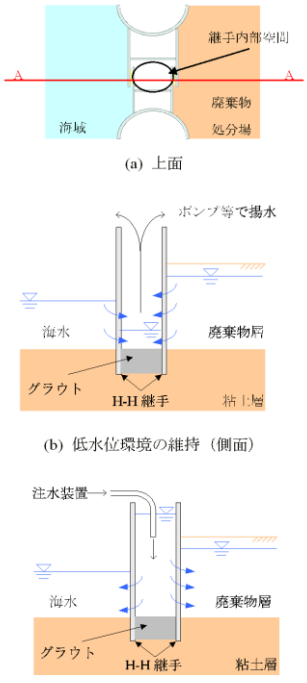


図 2　H-H 継手内空洞空間の活用方法

長期コスト低減技術名	H-H 継手による積極的な水質浄化	技術番号：No.3
研究名	H-H 継手を用いた連結鋼管矢板	
主たる研究者名	助教授　稲積　真哉	
所属	京都大学大学院　工学研究科　都市社会工学専攻	

4. 長期遮水性

下図によると，40℃の水温で養生した場合，養生時間に関わらず透水試験開始から 1 時間経過後の漏水量は確認されなかった．すなわち，H-H 継手を施した連結鋼管矢板は ke≦1.0×10-9 cm/s の透水係数を有するといえる．ここで，上述した劣化促進膨潤体膜強度試験の結果より，水温 40℃で 44 日間養生することで水温 20℃における約 1 年間の養生を表現することができることが明らかとなっている．すなわち，供用開始から約 1 年経過後においても，H-H 継手を施した連結鋼管矢板は供用開始直後と同等の遮水性能を発揮できると考えられる．また，H-H 継手を施した連結鋼管矢板の長期にわたる遮水性能は 1 年間養生した時点での透水係数から推測可能であることから，H-H 継手を施した連結鋼管矢板は供用開始から長期にわたってその遮水性能を発揮し続けることができるといえる．

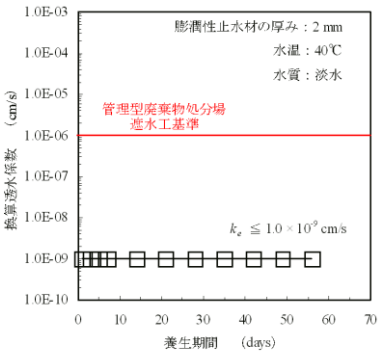
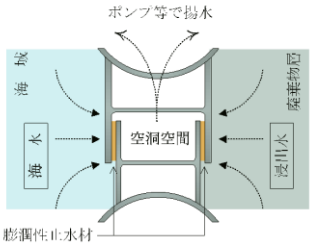
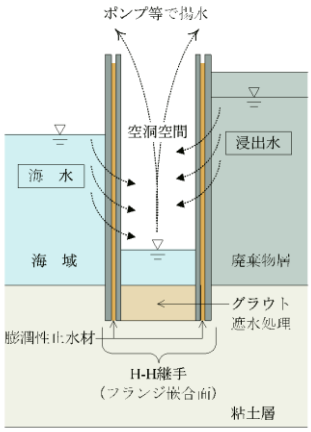


図 5　養生期間と換算透水係数の関係



(a) 上面

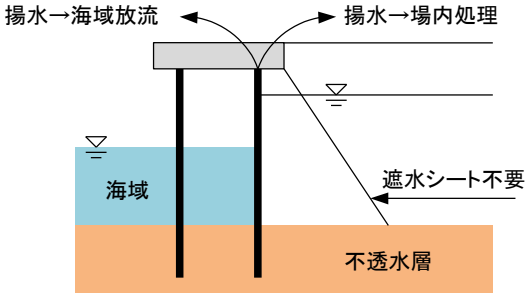


(b) 側面

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念

H-H 継手内部の空洞空間に滞留する保有水海水により希釈されるため，揚水し場内処理は，浸出水処理の規模・能力を小さくできる．また，放流して程度の水質であれば，更に浸出水処理施設の規模・能力を小さくできる．



参考論文リスト

【京都大学：稲積先生】

1) 稲積真哉，木村亮，嘉門雅史，三津田祐基，田村博邦，萩原敏行：H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能－海水環境における透水試験－，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.

2) 小林賢勝，稲積真哉，木村亮，嘉門雅史，橋本文男，西山嘉一：H-H 継手を施した連結鋼管矢板の遮水性能－膨潤止水材の耐久性－，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.

3) 稲積真哉，木村亮，嘉門雅史，小宮喜一，西山嘉一，関向三雄：連結鋼管矢板を用いた鉛直遮水壁の性能評価－遮水性が及ぼす影響－，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.

4) 稲積真哉，木村亮，嘉門雅史，山村和弘，西山嘉一，中島秀晃：連結鋼管矢板を用いた鉛直遮水壁の性能評価－設置条件が及ぼす影響－，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.

5) 稲積真哉，木村亮，嘉門雅史，吉田悦朗，山村和弘，坂之井秀輝：せん断透水試験による H-H 継手を施した連結鋼管矢板の変形追随遮水性能，第 41 回地盤工学研究発表会，2006.

6) 稲積真哉，木村亮，嘉門雅史，興北雅友，中島秀晃，西山嘉一：海面処分場における鋼管矢板の打設と遮水性能に関する検討，第 41 回地盤工学研究発表会，2006.

7) 稲積真哉，大津宏康，大竹雄，木村亮，嘉門雅史：海面処分場における鋼管矢板遮水壁の封じ込め性能評価，

長期コスト低減技術名	H-H 継手による積極的な水質浄化	技術番号：No.3
研究名	H-H 継手を用いた連結鋼管矢板	
主たる研究者名	助教授　稲積　真哉	
所属	京都大学大学院　工学研究科　都市社会工学専攻	

第 42 回地盤工学研究発表会，2007.
8) 若月正，西山嘉一，山村和弘，稲積真哉，木村亮：汚染水に暴露された膨潤性止水材の膨潤特性　H19　第 42 回地盤工学研究発表会，2007.
9) 稲積真哉，木村亮，西山嘉一，山村和弘，牛嶋純，金井直樹：鋼管矢板遮水壁における H-H 継手の有効活用技術の提案，第 43 回地盤工学研究発表，2008.
10) 稲積真哉，角田敏光，木村亮，若永克也，平井卓，若月正：鋼管矢板遮水壁における H-H 継手内空間の有効活用，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.
11) 角田敏光，稲積真哉，木村亮，若月正，葛卓造，山村和弘：土砂混在場における膨潤性止水材の膨潤挙動と遮水性能，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.
12) 稲積真哉，木村亮，角田敏光，西山嘉一：H-H 継手内部の空洞を活用した遮水・浄化促進技術の解析的検討，第 45 回地盤工学研究発表会，2010.
13) 稲積真哉，角田敏光，木村亮，若月正，西山嘉一：膨潤性止水材の劣化を考慮した H-H 継手を施した連結鋼管矢板の長期遮水性能，第 45 回地盤工学研究発表会，2010.

【その他】

14) 羽田晃，山田耕一，上野一彦，土田孝，渡部要一，阿部勝久：海面における管理型廃棄物処分場の遮水工法の開発その 2(室内施工実験による確認)，第 37 回地盤工学研究発表会、2002.
15) 鶴ケ崎和博，馬場慎太郎，三宅達夫：管理型海面処分場における鋼管矢板継手部への粘性土の適用性に関する室内模型実験，第 38 回地盤工学研究発表会，2003.
16) 渡部要一，山田耕一，吉野久能，鳥崎肇一，沖健，喜田浩：海面処分場の鉛直遮水工の遮水性能に関する実海域実証実験，第 39 回地盤工学研究発表会，2004.
17) 鳥崎肇一，沖健，喜田浩，柿本龍二，木下雅敬，渡部要一：遮水用継手を持つ鋼管矢板壁を変形させた状態での実海域遮水性能確認試験，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.
18) 沖健，鳥崎肇一，岡由剛，池田昌弘，渡部要一：遮水用継手を持つ鋼矢板壁を経系させた状態での実海域遮水性能確認試験，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.
19) 上野一彦，山田耕一，上田正樹，吉野久能，渡部要一：土質遮水材料を用いた鋼管矢板継手の実海域遮水性能確認試験(その２)，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.
20) 八木一善，石井康則，門場垣視，玉田健一：ベントナイトを含む鋼管矢板の継手管充填材に関する強度と透水特性，第 45 回地盤工学研究発表会，2010.

表-A.4　凝集材による水質浄化（No.4）

長期コスト低減技術名	凝集材による水質浄化	技術番号：No.4
技術名	高性能無機凝集材 SNK バイオ(Netis HK-090014-A)	
主たる研究者名	山田 英樹	
所属	新日本工業株式会社　技術開発部	

研究概要

【何の技術】

工事現場や工場等で発生する汚濁水を処理する時に使用する新たな無機凝集材であり，従来の有機高分子や化学成分を原料とする凝集剤(薬剤)とは異なる，天然無機鉱物を原料とする安全性の高い凝集材(天然材料)である．

【従来技術】

pH の高い汚濁水を処理する場合，従来は(PAC・有機高分子凝集剤+炭酸ガス中和)のように 2 つの薬剤を用いて，更にこれらの薬剤の性能が発揮出来ない事から，炭酸ガスによる前中和処理や硫酸による前中和処理を行っていた．又，有機高分子凝集剤による環境への影響や，PAC に含まれるアルミニウムによる人体への影響が懸念されている．

【適用性】

道路，トンネル，シールド，河川，港湾等の土木工事や建築工事で発生する汚濁水処理に適用出来る．更に，道路清掃時に発生する汚濁水の処理や大雨，自然災害による河川の泥水処理，並びに浄水場排泥池の泥水処理に適用出来る．

【新規性】

○有機高分子を配合せず，無機成分だけの凝集材である
○処理出来る汚濁水の対象が従来工法に比べ広範囲になっている
○低水温にも対応する為，自然条件に制限がない
○広範囲の pH に対応する為，強アルカリの汚濁水を処理する場合，硫酸や炭酸ガス等による前段での中和処理が不要
○凝集時間が早く，強い凝集作用を持つことから，水処理のスピードアップとコストが軽減される

【期待される効果】

○河川等の自然水域に直接放流しても魚類には影響がない
○汚濁水が 10℃以下の低水温でも簡単に処理出来る
○本品は中性の為，pH 値を調整するような中和処理が不要(二酸化炭素の削減)
○本品の凝集力を活用する事で，処理施設の小型化や処理工程の省略化が図れ，大規模な工事現場では大幅なコストダウンが期待出来る
○大規模な工事現場では大幅なコストダウンが期待できる

【適用範囲】

○水温：1～95℃　　○pH 値：4～14
○SS：50～20,000mg/L　　○BOD：0～8,000mg/L

【活用の効果】

○経済性：従来工法と比べ約 70%のコスト

【今後の課題】

○今後，重金属類を含む汚濁水に対して処理水の水質試験を行い，重金属類の除去性能に関して検証する．
○高濃度の有機分を含む汚濁水(畜産糞尿等)処理方法の研究をする．
○高濃度の海底土を含む濁水処理方法の研究をする．
○処理した汚泥の多目的な再利用の研究をする．

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念

保有水を貯留する内水ポンドに凝集材を投入し，濁りや浮遊物等の集約，pH の調整等を行い，その後の水処理に要する施設能力を低減させ，運転費用に要するコストを削減できると想定される．

2. 試算条件

廃棄物への適用性については，現段階で不明なのでコストは不明である．

3. 今後の課題

○廃棄物浸出水への適用性　　○凝集後の水処理

参考論文リスト

【新日本工業株式会社】
1）高性能無機凝集材 SNK バイオ(Netis HK-090014-A)：NETIS

表-A.5　内水ポンドによる水質浄化促進（No.5）

長期コスト低減技術名	内水ポンドによる水質浄化促進	技術番号：No.5
研究名	海面埋立処分場における内水ポンドの構造と水質浄化能の研究	
主たる研究者名	教授　貫上　佳則	
所属	大阪市立大学　大学院　工学研究科	

研究概要

1. 内水ポンドの構造と水質浄化機能

内水ポンドの自然酸化池としての機能をより活かすためには，従来の単槽のポンドとは異なり，複数のポンドを直列配置することで，各槽の水環境を変化させることができ，段階的に水質が改善されて後段の槽ほど水質のよい状況を生み出すことができると考えられる．

2. 水質浄化効果の評価に基づく海面埋立処分場内水ポンドの提案

生物学的水質浄化機能を想定した内水ポンドでの水質予測シミュレーションモデルを作成し，そのモデルを用いた水質浄化効果の評価を行った．なお，本検討では，内水ポンドの自然酸化池としての機能をより活かすため，従来の単槽の内水ポンドとは異なり，複数のポンドを直列配置した内水ポンドの導入を想定した．

2.1 水質予測シミュレーションモデルの作成

内水ポンドにおける水質浄化概念図を図 1 に示す．溶解性有機物は従属栄養好気性細菌による好気性分解で，無機態窒素は硝化・脱窒菌による硝化・脱窒で分解・除去されると考えられる．複数直列ポンドにおける水質浄化の概念図を図 2 に示す．

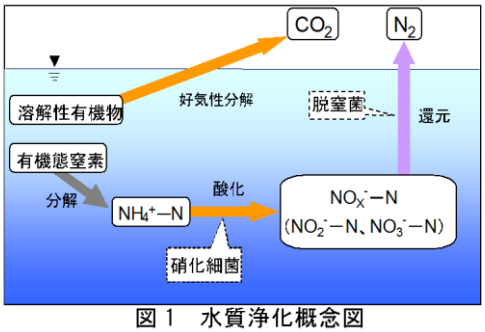


図 1　水質浄化概念図

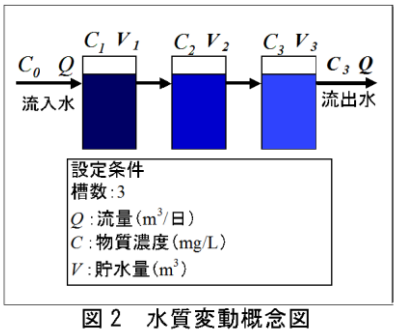


図 2　水質変動概念図

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念

複数の内水ポンドを設置することで長期的な水質浄化機能が発揮されると考えられる．

2. 試算

長期的な水質浄化機能が発揮されるため，徐々に処理費用が低減されると想定される．

ただし，施設処理能力は，溶出濃度の最大値により決まるため処理施設の建設費は変わらないと考えられる．

3. 今後の課題

○複数内水ポンドを必要とする期間

○内水ポンドと集水管の接続方法

参考論文リスト

【大阪市立大学】

1) 貫上佳則，吉川克彦，西村想，島岡隆行，八木美雄，西田卓史，高田光康：海面埋立処分場における内水ポンドの構造と水質浄化能，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.

2) 西村想，貫上佳則，吉川克彦，島岡隆行，八木美雄，西田卓史，高田光康：水質浄化効果の評価に基づく海面埋立処分場内水ポンドの提案，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.

【その他】

3) 前田直也，東原純，島岡隆行，小林哲男，牛越健一，古賀大三郎：海面最終処分場の内水ポンドの水質・浮泥調査事例，第 37 回地盤工学会研究発表会，2002.

4) 東原純，大島高志，榊俊博，前田直也：海面最終処分場の早期安定化実証試験例，第 37 回地盤工学会研究

長期コスト低減技術名	内水ポンドによる水質浄化促進	技術番号：No.5
研究名	海面埋立処分場における内水ポンドの構造と水質浄化能の研究	
主たる研究者名	教授　貫上　佳則	
所属	大阪市立大学　大学院　工学研究科	

発表会，2002.
5) 大坪政美，森下智貴，小林孝洋：繰り返し洗浄による焼却灰からの溶出水に含まれる塩類濃度，第 38 回地盤工学会研究発表会，2003.
6) 丹野忠幸，田頭健造，熊谷浩二：処分場の浸出集排水管周辺へのスラグの有効利用について，第 38 回地盤工学会研究発表会，2003.
7) 東原純，前田直也，鈴木嘉一：海面管理型処分場の廃棄物層内における保有水位と水質の挙動，第 38 回地盤工学会研究発表会，2003.
8) 東原純，前田直也，鈴木嘉一：廃棄物地盤の早期安定化対策に伴う保有水質変化の評価，第 38 回地盤工学会研究発表会，2003.
9) 小野論，福原誠，木田川純：廃棄物埋立跡地における地盤環境リスク，第 39 回地盤工学会研究発表会，2004.
10) 東原純，前田直也：焼却灰埋立地盤の汚濁成分洗出しに関する研究，第 40 回地盤工学会研究発表会，2005.
11) 前田直也，東原純，園田竹雪，弘中達夫：海面最終処分場における保有水位と降水量の関係，第 41 回地盤工学会研究発表会，2006.
12) 神原隆則，東原純，前田直也，柴田剛，木川修二：海面処分場におけるタンクモデルによる水収支解析，第 42 回地盤工学会研究発表会，2007.
13) 遠藤和人，井上雄三：模型土槽実験による廃棄物海面処分場の排水暗渠の評価，第 42 回地盤工学会研究発表会，2007.
14) 林豪人，澤松俊寿，徐永強，藪雅行，小橋秀俊：盛土排水パイプの集水性能に関する実験的評価，第 45 回地盤工学会研究発表会，2008.
15) 長森正尚，山田正人，石垣智基，小野雄策：管理型最終処分場の廃止基準に関する考察(5)，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.
16) 吉永尚司，樋口壯太郎，宮田剛史，花嶋正孝，為田一雄：早期安定型埋立処分システムの開発に関する研究(第 3 報)，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.
17) 八木正博，中道民広，長屋滋，吉川克彦，西村想，島岡隆行，八木美雄，西田卓史，高田光康：海面埋立処分場における好気的埋立の基礎実験，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.
18) 小宮哲平，島岡隆行，古賀大三郎，八木美雄，西田卓史，高田光康：埋立廃棄物中の汚濁成分の溶出に及ぼす保有水位変動の影響，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
19) 八木正博，中道民広，長屋滋，吉川克彦，西村想，島岡隆行，八木美雄，西田卓史，高田光康：海面埋立処分場における好気的埋立の基礎実験，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
20) 小田勝也，有賀藍，東原純，神原隆則，橋本和佳，前田直也，王寺秀介：海面廃棄物処分場における保有水挙動予測モデルの再現性に関する検討，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
21) 小田勝也，有賀藍，東原純，神原隆則，橋本和佳，前田直也，王寺秀介：海面廃棄物最終処分場における保有水水位の平面分布調査，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
22) 小田勝也，有賀藍，東原純，神原隆則，橋本和佳，前田直也，王寺秀介：海面廃棄物最終処分場における保有水挙動予測モデルのパラメータに関する検討，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
23) 山口隆三，松本真，島岡隆行，八木美雄，西田卓史，高田光康，浜田圭吾，木下暢男：海面埋立処分場の安定化促進のための基盤システム提案と実施　H21　第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
24) 田中宏和，森影早也香，長谷川耕治，吉田耕一郎，山田正人，遠藤和人，藤井直幸，大塚清紀：管理型最終処分場における埋め立て途中と終了後の浸出水水質挙動比較，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
25) 長森正尚，山田正人，石垣智基，小野雄策：管理型最終処分場の廃止基準に関する考察(6)，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
26) 石森洋行，遠藤和人，山田正人：鉛直ガス抜き管と水平ガス回収層のガス回収効果の違い，第 21 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2010.
27) 大石修，藤村葉子，小島博義，吉澤正，栗原正憲，伊藤康子：一般廃棄物処分場における水処理施設の最適管理手法，第 21 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2010.
28) 吉田英樹：海面廃棄物処分場跡地の安定化状況調査，第 21 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2010.
29) 長森正尚，山田正人，石垣智基，小野雄策：管理型最終処分場の廃止基準に関する考察(7)，第 21 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2010.

表-A.6　廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備

長期コスト低減技術名	廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備	技術番号：No.6
研究名	クローズド型処分場の安定化モデルにおける散水と埋立方法に関する研究	
主たる研究者名	教授　古市　徹	
所属	北海道大学大学院　工学研究科　北方圏環境政策工学専攻	

研究概要

1. クローズド型処分場の安定化モデルにおける散水と埋立方法に関する研究

具体的には，任意数のセルを，水平方向に埋め立てながら散水する場合，鉛直方向に埋め立てながら散水する場合，水平方向と鉛直方向に交互に埋め立てながら散水する場合に，散水の水質としてフレッシュな水質の場合と循環水を使用する場合の塩分溶出挙動の違いも含めた溶出挙動を比較した結果を示した．

1) フレッシュ水のみ散水した場合

右図 a)で示すように，フレッシュ水のみで散水した場合の換算係数の溶出特性への影響としては，換算係数が小さい方が，初期段階(散水回数の 1 回目)での溶出濃度が大きく，累計溶出塩分重量も大きくなる傾向を示した．また，換算係数が 0.3 の場合には，散水回数 2～5 回目までの溶出濃度が上昇する傾向を示した．

2) 循環水のみで散水した場合

右図 b)で示すように，循環水のみで散水した場合の液固係数の溶出特性への影響としては，液固係数が小さい方が散水 1 回目における溶出濃度が大きくなる傾向を示した．しかし，累計溶出塩分重量は，散水回数 20 回目における総量に殆ど違いは現れなかった．

このように，液固係数と換算係数を実際の溶出挙動にフィッティングできれば，このセルモデルを用いて，塩分等の溶出挙動を，ある程度の精度で模擬することが可能になると考えられる．

2. クローズドシステム処分場における廃棄物安定化指標

安定化指標として，埋立ガス，廃棄物層温度，廃棄物質(溶出試験)，浸出水に着目し，管理方法(散水方法)の異なる施設において行った調査結果を報告した．

2.1 発生ガス

各処分場のガス抜き管において採取したガスの分析結果(平均値)を右下表に示す．N 処分場，R 処分場は，CO2 が，大気濃度(約 380 ppm)に比べて高くなっているが，CH4 は，大気濃度(約 2ppm)とほぼ同等か若干高かった．一方，M 処分場は，CO2 と CH4 共に，大気濃度よりも高く，N 処分場，R 処分場よりも高濃度であった．M 処分場は，特に春先の雪解けの影響で廃棄物層中の含水率が高く，また調査直前にも降水量が多かったことから，嫌気性による分解が顕著に生じたと考えられる．

表-2　埋立廃棄物層内ガス分析結果

処分場		N処分場	R処分場	M処分場
測定日		2007/9/20	2007/9/19	2007/9/19
B.G.	CH_4(ppm)	1.87	1.94	2.12
ガス組成	CO_2(ppm)	1129	2067	4425
	N_2(%)	78.1	78.5	77.9
	O_2(%)	20.1	20.2	19.9
	CH_4(ppm)	2.67	4.59	169

2.2 埋立廃棄物の溶出試験

各処分場において埋立廃棄物をサンプリングして溶出試験を行った．CS 処分場において，2005 年，2006 年，2007 年に実施したほぼ同じ地点の焼却灰の深さ毎の結果を右図に示す．なお，TOC を有機分の指標とし，CL-を無機塩類の指標とした．調査期間が短いので，明確な傾向は見られないものの，N 処分場における 2006 年の TOC，Cl-は，上層部の濃度が低い傾向が見られ，散水による洗い出し効果が現れている．2007 年は，上積みの影響で上層部の濃度が高くなっていると考えられる．N 処分場の 2006 年の上層部において TOC 濃度が低下しているのは，廃棄物層の表層部が大気に触れ，好気性分解が進んでいる結果と考えられる．

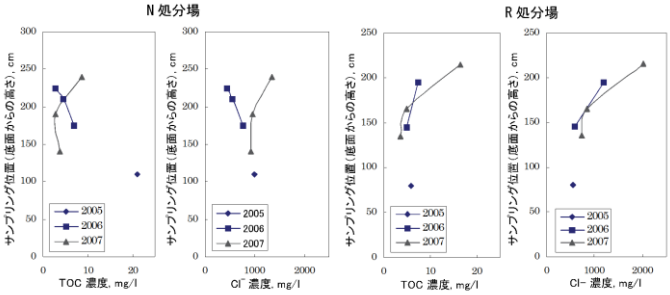


図-1　管理方法の異なる CS 処分場における焼却灰溶出試験結果

2.3 浸出水

CS 処分場の浸出水の水質の経時変化を右下の図-3 に示す．BOD を除く，COD，全窒素の濃度は，N 処分場が小さい傾向が顕著に認められる．これに対して，電気伝導率，塩素イオン濃度，カルシウム濃度は，両処分場で大きな差が見られない．このことから，散水量の多い N 処分場で有機物の微生物分解が早く進むが，無機塩類の洗い出しについては，両処分場では大きな差がないと考える．

次に，2007 年の浸出水水質のオープン型場と比較を右下の図-4 に示す．BOD，COD は，N 処分場，R

長期コスト低減技術名	廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備	技術番号：No.6
研究名	クローズド型処分場の安定化モデルにおける散水と埋立方法に関する研究	
主たる研究者名	教授　古市　徹	
所属	北海道大学大学院　工学研究科　北方圏環境政策工学専攻	

処分場に比べ M 処分場が明らかに高く，電気伝導率，塩素イオン濃度，カルシウム濃度は，その逆の傾向が顕著である．全窒素を除いて評価すると，微生物分解による有機分の分解は CS 処分場で早く進行した結果，浸出水中の濃度が低下していると考える．一方，無機塩類の洗い出しも，散水量が多いＣＳ処分場で大きく，短期的に浸出水中の濃度が高くなったと考えられる．その結果長期的には，埋立廃棄物中の無機塩類の含有量が少なくなり，溶出試験での濃度が低くなる．M 処分場では浸出水中の塩素イオン濃度が著しく低いことから，埋立廃棄物中に多くの無機塩類が残存しており，溶出試験において，-80cm で高い濃度を示したと考えられる．

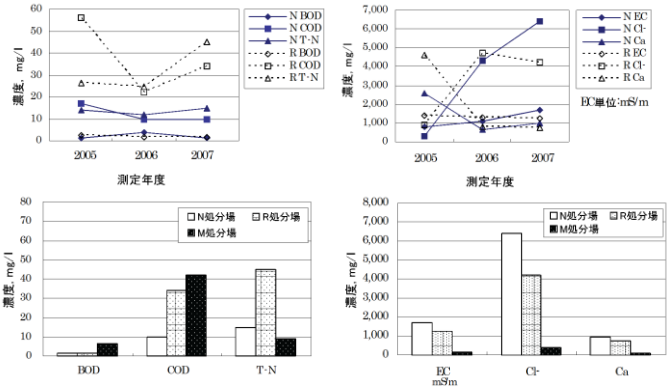


図-4 浸出水水質（オープン型との比較）

3. 焼却灰の埋立管理における前処理の効果

筆者らが開発してきた前処理法を実施可能な技術とするために実大規模での実証試験を行い，前処理の効果とその溶出特性について検証を行った．

3.1 試験結果

(1) 焼却灰層の温度推移

実証試験における焼却灰層内の温度推移を右図に示す．各層ともに試験開始直後から温度が上昇し，中層においては開始 1 週間後に 50℃を超えた．開始から 2 週間程度で各層とも温度は低下する傾向が見られたが，散水・通気期間中は外気温よりも高い温度で推移していた．試験中，表層にて測定した試験槽通過空気の CO2 濃度が低く推移していたことから，温度上昇の原因として水和反応の可能性が示唆された．

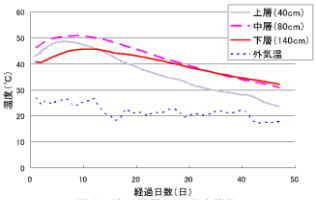


図 2　焼却灰層内の温度推移

(2) 浸出水水質の経時変化

実証試験期間中の浸出水の TOC(全有機炭素)濃度の推移を図 3 に示す．TOC は開始 5 日後をピークとして時間の経過とともに濃度が低下することが確認された．この傾向は EC,T-N,Cl でも確認され，前処理期間中の散水による洗い流しが進んでいることが示された．BOD 及び COD についても TOC 濃度と同様の傾向を示し，散水開始 50 日後では初期ピーク値の 1／10 程度まで低下した．

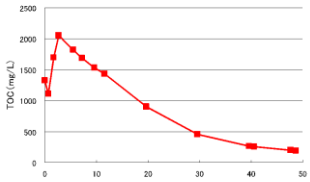


図 3　浸出水中の TOC 濃度の推移

(3) 溶出試験

散水試験終了後(65 日後)，表層より深さ 40-50cm，90-100cm の焼却灰を採取し溶出試験を行ったところ，前処理なしの焼却灰(9 回分平均値)と比較して EC で 1/3，TOC で 1/7 程度まで減少していることが確認された．このことから本研究の前処理手法によりほぼ均一に焼却灰の安定化を進めることが可能であることが確認された．

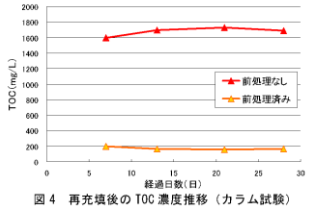


図 4　再充填後の TOC 濃度推移（カラム試験）

4. クローズドシステム処分場における散水と埋立方法

安定化モデルの検証に必要な様々な埋立条件における焼却灰の溶出挙動を把握するために，実験室レベルにおいて散水条件や埋立条件による焼却灰の溶出挙動を検証した結果を報告する．

4.1 実験方法

試験装置の概要を右下の図-1 に示す．内径 10cm，高さ 40cm の塩化ビニール製のカラムに焼却灰(主灰)を試験条件に設定した密度で充填した．散水は試験条件に基づいてタイマーにより給水ポンプを制御し，カラム上部から蒸留水を滴下して行った．散水によって生じる浸出水はカラム下部に受器を取り付けて採取した．試験条件に応じてカラム下部から給気を行った．試験装置は 25℃の恒温室内に設置した．

長期コスト低減技術名	廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備	技術番号：No.6
研究名	クローズド型処分場の安定化モデルにおける散水と埋立方法に関する研究	
主たる研究者名	教授　古市　徹	
所属	北海道大学大学院　工学研究科　北方圏環境政策工学専攻	

4.2 結果及び考察

(1)前処理期間と埋立期間(前処理～再充填後)の浸出水 EC

焼却灰の前歴が埋立後の浸出水水質に与える影響を検討した結果を図－４に示す．前処理として充填密度 1.3g/cm3 にて 1 から 3 ヶ月間 4mm/日で散水(一部通気を併用)後,焼却灰をカラムに再充填し，4mm/日で散水を継続して浸出水 EC 値の経時変化を検討した．前処理を行わない試験区と比較して散水などの前処理を行った試験区では，再充填後の初期の EC 値を低く抑えることが確認できた．期間は EC 値の低下割合が緩やかになる期間として本試験では１ヶ月程度が適していると考えられた.通気を行った試験区では前処理期間中 EC 値が高い傾向を示したが，再充填後は低く抑えられており，通気による焼却灰の乾燥・浸出水量の減少の影響が考えられた．

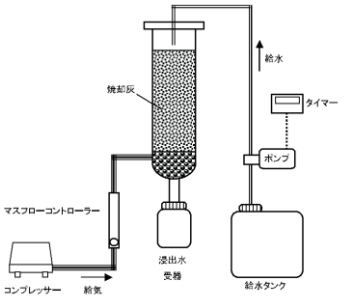


図-１　試験装置概要

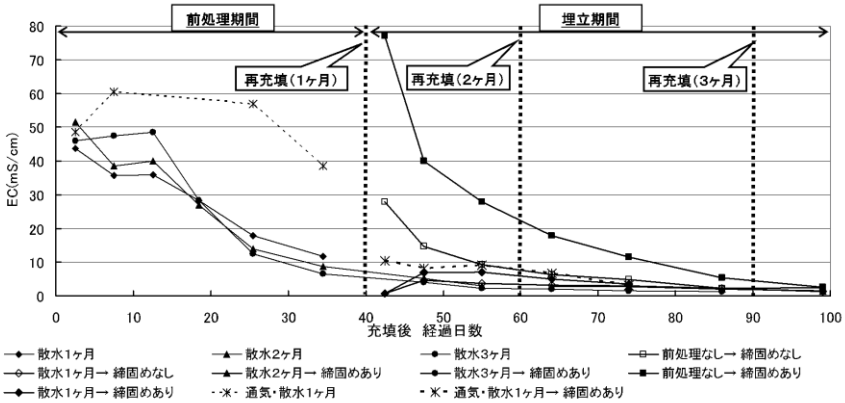


図-４　前処理期間と埋立期間（再充填後）の浸出水 EC

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念

広大な海面廃棄物処分場では，埋立開始～廃止までに長期間を要する．海面廃棄物処分場をいくつかのエリアに区分し，廃棄物を事前洗浄することで早期安定化した埋立地をいくつかの段階で売却，貸付することが可能となる．

トータルコストは，エリアを区分するための中仕切堤を築造コストが余計に必要となるため高くなると想定されるものの，途中段階で収入が得られるため廃棄物処分場の経営としてメリットがあると考えられる．

2. 試算条件

現段階では，海面廃棄物処分場への適用性が不明であるためコストは不明である．

3. 今後の課題

①エリア区分によるコスト増加分と経営資源確保との関係

②廃棄物の事前洗出しコストと浸出水処理施設運営費との関係

参考論文リスト

【北海道大学】

1) 大塚 義一，石井一英，花嶋 正孝，古市 徹：クローズド型処分場の安定化モデルにおける散水と埋立方法に関する研究，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.

2) 小日向 隆，小林 正利，石井 一英，柳瀬 龍二，花嶋 正孝，古市 徹：クローズドシステム処分場における安定化指標の調査研究(その 4)，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.

3) 大野 文良，東浦 有治，加藤 隆也，花嶋 正孝，古市 徹：クローズドシステム処分場における被覆部の移設方法の研究，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.

4) クローズドシステム最終処分場におけるメタン発生量の簡便な推定方法の提案，第 20 回廃棄物学会研究発

長期コスト低減技術名	廃棄物の事前洗浄および埋立地の区画整備	技術番号：No.6
研究名	クローズド型処分場の安定化モデルにおける散水と埋立方法に関する研究	
主たる研究者名	教授　古市　徹	
所属	北海道大学大学院　工学研究科　北方圏環境政策工学専攻	

表会講演論文集，2009.
5) クローズドシステム処分場における廃棄物安定化指標の研究調査(その 5)，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
6) クローズドシステム処分場における散水と埋立方法に関する研究，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
【その他】
7) 為田 一雄，趙 銀娥，樋口 壯太郎，花嶋 正孝，李 南勲：廃プラスチック類洗浄前処理による資源化と最終処分場早期安定化に関する研究，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.
8) 久保田 洋，矢島 聡，岡本 太郎，酒向 信一，山田 裕己：焼却灰の埋立管理における前処理の効果(３)，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.
10) 吉永 尚司，樋口 壯太郎，宮田 剛史，花嶋 正孝，為田 一雄：早期安定型埋立処分システムの開発に関する研究(第 3 報)，第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2008.
11) 弘末 文紀，桑本 潔，檜村 郁雄，今井 淳：焼却灰を主体とした最終処分場の安定化促進方法の検討（1）生物分解および洗い出し効果を高めた埋立構造･埋立方法，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
12) 山田 裕己，一瀬 正秋，今井 淳：焼却灰を主体とした最終処分場の安定化促進方法の検討（2）埋立前処理を行い，安定化を進めた焼却灰を埋め立てる方法，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
13) 小嶋 平三，及川 茂樹，大野 文良，坂本 篤，吉村 丈晴：焼却灰を主体とした最終処分場の安定化促進方法の検討（3）廃棄物の固化不溶化による早期安定化を目指した最終処分場の構造，第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
14) 海老原 正明，清永 定光，又吉 康治，落合 勝幸，清水 剛，寺嶋 利幸，金田 芳久，武下 俊宏，樋口 壮太郎，押方 利郎，花嶋 正孝：被覆型最終処分場対応早期廃止技術の実証研究（その１），第 20 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2009.
15) 長谷川雄一,加藤隆也,樋口壯太郎,為田一雄：被覆型最終処分場の散水量に関する研究，第 21 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，2010.

表-A.7　溶出物質の封込めおよび地盤改良（No.7）

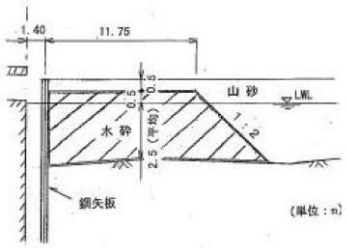
長期コスト低減技術名	溶出物質の封込めおよび地盤改良	技術番号：No.7
研究名	水砕スラグ埋め立て地盤の土質特性	
主たる研究者名	(－)	
所属	鐵鋼スラグ協会	

研究概要(関連する研究を含む)

1. 水砕スラグの埋立地盤

高炉水砕スラグの岸壁・護岸などの裏込め材への適用については，すでに「港湾工事用水砕スラグ利用手引き書」が発刊され，兵庫県南部地震の復興工事などで 100 万トン以上の使用実績がある．しかし，埋め立て地盤としての土質特性に関する研究は比較的少なく，地盤の地震応答解析に必要な動的変形特性のデータについては皆無である．

このため，水砕スラグ地盤の土質特性を調査した結果および，他の現場データも含めて水砕スラグ(海中)埋め立て地盤の土質特性をまとめた．



図－1　水砕スラグ埋め立て断面（七尾港）

2. 港湾工事における高炉水砕スラグの硬化促進工法

(1) 背景

これまでに港湾施設の裏込めに用いられた高炉水砕スラグは，そのほとんどについて硬化していることが判明している．しかし，施工直後から追跡調査を行った結果によると，硬化にはかなりの時間を要することが解っている．そこで，硬化促進のために，高炉スラグ微粉末を添加したところ，特に海水環境下で著しい硬化促進効果があることが解った．

(2) 目的

港湾工事の施工でスラグ微粉末を用いて，施工後の材料分離の可能性について検討した．

3. 超微粒子スラグを主材とした耐久性注入材

(1) 背景

水ガラスと普通セメントを組み合わせた懸濁型注入材は，ゲル化時間と固結強度を任意に調整できず，浸透性並びに耐久性に問題があった．これらの問題点を解決した本注入材は，1990 年初めに開発，実用化したもので，超微粒子高炉水砕スラグを主材(A 剤)とし，超微粒子消石灰(B 剤)と特殊水ガラス(C 剤)の 3 成分からなる．

(2) 目的

この注入材の特性として 1)粘度変化，2)耐久性，3)浸透性と固結能力について室内試験を行った．

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念

(1) 支持力

スラグと廃棄物を混合し，固化することで跡地利用の地盤改良が不要となる．

(2) 固化・保持

スラグが固化し，廃棄物からの溶出が削減することで，浸出水処理施設の規模，運転コストが低減する．

2. 試算条件

○スラグと廃棄物を混合した事例がないためコストは不明である．

3. 今後の課題

○スラグ，廃棄物の混合物が固化するための割合
○スラグ，廃棄物の混合に要する機材の設置費用，運転コスト
○浸出水処理施設の初期費用，維持管理費の低減
○地盤改良費とスラグ，廃棄物混合との経済比較

4. 共同研究の可能性

○共同研究の可能性がある．

長期コスト低減技術名	溶出物質の封込めおよび地盤改良	技術番号：No.7
研究名	水砕スラグ埋め立て地盤の土質特性	
主たる研究者名	(－)	
所属	鐵鋼スラグ協会	

参考論文リスト

【鐵鋼スラグ協会】

1) 山田 紘，千賀平造：水砕スラグ埋め立て地盤の土質特性，土木学会第 57 回年次学術講演会，2002.

【その他】

2) 菊池喜昭，内山明日香，佐藤宇紘，規久大義，西村大司：港湾工事における高炉水砕スラグの硬化側し工法，第 8 回環境地盤工学シンポジウム，2009.

3) 藤井 隆史，田中 秀和，綾野 克紀，阪田 憲次：鉄鋼スラグ水和固化体の pH が強度および耐久性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，2004.

4) 高橋裕徳，一井康二，植村一瑛，仁科晴貴，篠崎晴彦，木下洋樹：鉄鋼スラグを用いた SCP 改良地盤の変形特性，第 45 回地盤工学研究発表会，2010.

5) 尾上幸造，土手裕，鈴木祥広，関戸知雄，中澤隆雄：アルカリ刺激材添加量と養生条件の異なる鉄鋼スラグ水和固化体のアルカリ溶出特性および強度特性に関する検討，土木学会第 65 回年次学術講演会，2010.

6) 金沢智彦，若杉伸一，西垣誠，山本拓治，阿部義宏：極超微粒子注入材による地盤注入工法の開発-材料編，土木学会第 65 回年次学術講演会，2010.

7) 佐藤和男，利田靖治，相馬文幸，下田一雄：超微粒子スラグを主材とした耐久性注入材-，土木学会第 65 回年次学術講演会，2010.

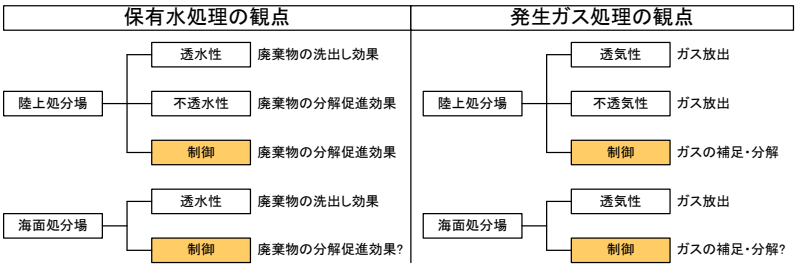
表-A.8　雨水制御とガス放出機能（No.8）

長期コスト低減技術名	雨水制御とガス放出機能	技術番号：No.8
研究名	多機能型覆土	
主たる研究者名	遠藤　和人	
所属	独立行政法人　国立環境研究所	

研究概要(関連する研究も含む)

1. 廃棄物処分場の覆土

廃棄物処分場の覆土は，良質な土砂もしくは粘性土を用いている場合が多いと想定されるが，覆土を多機能にすることで，処分場内の保有水処理及び発生ガス処理を促進し，維持管理コストを低減することが期待されている．

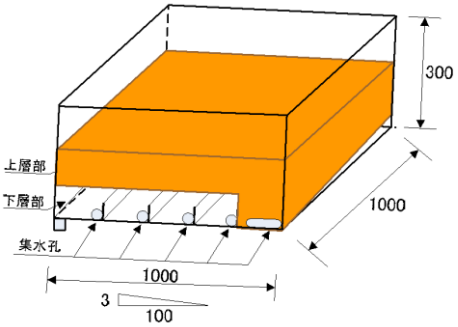


2. 覆土の制御

従来，通気性を有する最終処分場の覆土における雨水排除方法には，キャピラリーバリアがある．

2-1 キャピラリーバリア

実験装置は，上部に砂を敷詰め，下層部は空洞にしてキャピラリーバリアを構成している．上層部と下層部の境界面は 3% 勾配にし，底部では，上層部を浸透した水(以下，排除水とする)と下層部へ進出した水(以下，下層部浸出水とする)を別々に集水できるようにしている．



2-2 多機能覆土

(1) 背景

埋立終了後の廃棄物処分場跡地からは，排出ガスとして，二酸化炭素，メタン，窒素などが排出される．特に，メタンガスは燃焼性が高く，二酸化炭素の約 20 倍もの温室効果を持つとされている．清水らの報告より，東京湾におけるごみ埋立地盤からのメタンガスの発生は 15 年以上の長期にわたることが分かる．したがって，安全な跡地利用，温室効果ガスの削減を進めるためには，メタンガス対策を行う必要がある．その対策法として，メタン酸化細菌を廃棄物処分場覆土に育成させ，排出されるメタンガスを酸化分解させる方法が考えられる．廃棄物処分場覆土にメタン酸化細菌を育成させるためには，メタン酸化細菌の育成を考慮した覆土材およびその設計方法が求められている．

(2) 機能

多機能型覆土システムは，バリア層によって透水量を制御し，透気層(バイオフィルター層)によって透気量を制御しながら硫化水素ガスとメタンガスを処理し，表層には耐浸食性に優れた(植栽層)を有するメンテナンスを最小限にとどめた最終覆土である．植栽層，バリア層，透気層について必要な性能を図-1 に示す．植栽層においては浸食防止や透水性の制御が求められ，意匠としての機能も重要である．バリア層では，透水性制御，ガス拡散防止，浸食防止の機能が必要である．さらに，下部の透気層において酸化しきれない過剰なメタンガスや，吸着できない硫化水素ガスの反応予備領域としても期待することができる．透気層では，ガスの収集ならびに収集移動過程における硫化水素ガスならびにメタンガスの補足性能が要求される．また，透気性を確保するために粗粒土で構成さ

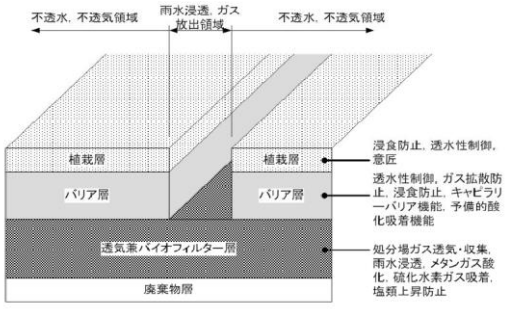


図-1　多機能型覆土に求められる性能

長期コスト低減技術名	雨水制御とガス放出機能	技術番号：No.8
研究名	多機能型覆土	
主たる研究者名	遠藤　和人	
所属	独立行政法人　国立環境研究所	

れる通気層は粘着性がないため，斜面安定の観点からはすべり面になることも検討しなければならない．

本研究で提案される多機能型覆土は，積層構造であるがキャピラリーバリア型覆土のように求められる材料品質が高くなくとも雨水浸透を構造的に抑制でき，同時に LFG 収集と酸化・吸着を行うことで，最終覆土上部への環境影響を減少させて跡地利用を可能にしようとするシステムである．鉛直方向の積層構造のみならず，平面的にも多様性を持たせた構造とすることで，集水域を設定し，最終覆土を介したガスと水の交換量を制御可能な工学的最終覆土となる．図-2 に多機能型覆土の概念断面図を示す．覆土表面は勾配を有する構造となっており，雨水を集排水可能である．また，バリア層の開口部面積を変化させることによって，廃棄物層へと浸透させる雨水量を調整できる．透気層はスラグ等の粗砂からレキ相当の粒径を有する粒状体によって構成されることを想定しているため，基本的には蒸発の影響を無視することが可能であり，浸透量の計算が降雨量によって簡便に計算できる利点を有している．また，廃棄物層はその安定化の進行にともなって生物分解に必要となる水分量(蒸発による消失量も含む)が変化する．一般的な経年変化として，廃棄物の安定化が進行するにしたがって基質となる有機物が減少するため，微生物活動も低下して必要となる水分量も減少することになる．廃棄物層への必要以上の給水は，水処理負荷を増大させることになるため，適正な水分供給を管理することが求められる．図-3 に示されるように，多機能型覆土は安定化度の違いによって開口部面積を変化させることで，廃棄物層への雨水浸透量を容易に制御することができ，同時に安定化の進行にしたがって減少する処分場ガスの排気口面積の制御としても機能する．

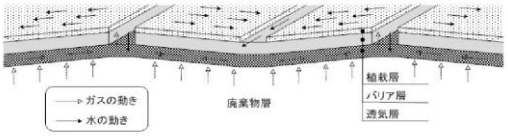


図-2 多機能型覆土の概念図

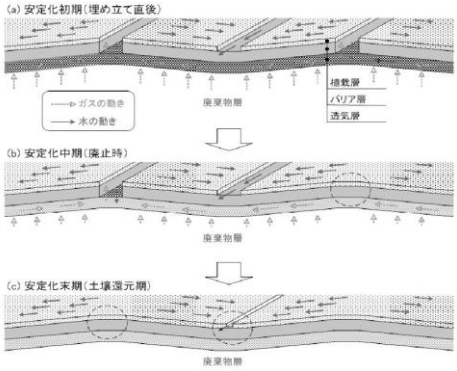
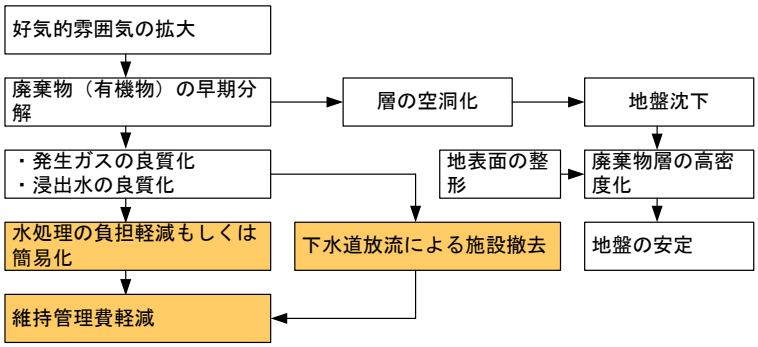


図-3 多機能型覆土の段階的施工イメージ

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念



2. コスト

2.1　処分場閉鎖～廃止

(1) 浸出水処理施設

多機能覆土は埋立完了後に施工され，廃棄物の洗出しが進み廃止した後に埋立地内部への雨水をコントロールする考えである．このため，埋立完了後の浸出水処理施設は，多機能覆土を導入しても施設規模，処理能力は変化しない．

なお，埋立処分場廃止御の保有水位管理において，雨水の浸透抑制としてキャピラリー機能は重要であるが，保有水位管理のための施設(排水暗渠等)を設置し適切に排水が可能であれば，浸出水処理施設の規模・能力は変化しない．

長期コスト低減技術名	雨水制御とガス放出機能	技術番号：No.8
研究名	多機能型覆土	
主たる研究者名	遠藤　和人	
所属	独立行政法人　国立環境研究所	

(2) 水処理運転費用

上記より，浸出水処理施設運転費用も変化しない．

(3) メタンガス等の処理費用

メタンガス等のガス類を，コントロールすることでフェールセーフとしての機能がある．また，ガス抜き施設が不要となれば費用低減となる．

(4) バリア層の費用

①シートキャッピング：10,000 円/m2～
②粘性土＋排水側溝：5,000 円/m2～
③キャピラリーバリア：5,000 円/m2～
④多機能型覆土：2,500 円/m2～

2.2 廃止以降

(1) 水位管理

○ポンプ運転費

仮に水位管理のためにポンプ運転しなければならない状況を想定する．100 万円/年程度のポンプ運転費用を要すると想定した場合，単位面積当たりのコストは 1.8 千円/千 m2 と推定される．廃棄物処分場面積を 113ha とすると，ポンプ運転費用は約 200 万/年と推定される．

キャピラリーによる浸透率を 10%と家庭すると，ポンプ運転費用は約 20 万円/年となりコストが縮減される．

3. これからの課題

○海面処分場における空気循環と廃棄物分解の関係．
○処分場内へ空気を送込み，純好気的な雰囲気を拡大することで，浸出水の良質化が可能であると想定される．処分場へ空気を送込む物理的な手法が不明である．

参考論文リスト

【遠藤氏】
1) 遠藤和人，Bulent Inanc，井上雄三：送気型井戸を用いた産業廃棄物処分場の現場透気係数の測定，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.
2) 池尻健, 呉佳曄, 遠藤和人:落球探査法を用いた最終処分場における覆土の埋立管理に関する研究　H17　第 40 回地盤工学研究発表会，2005.
3) 池尻健，呉佳曄，遠藤和人：落球探査を用いた最終処分場における埋立管理手法に関する一提案，第 41 回地盤工学研究発表会，2006.
4) 遠藤和人，小峰秀雄，石垣智基，呉佳曄：多機能型最終覆土の最終処分場への適用に関する提案，第 41 回地盤工学研究発表会，2006.
5) 内田佳子，小峰秀雄，安原一哉，村上哲，遠藤和人：メタン酸化菌の育成を考慮した廃棄物処分場覆土材選定のための保水性試験，第 41 回地盤工学研究発表会
6) 遠藤和人，山田正人，池尻健，呉佳曄：貫入ロッドを用いた現場透気係数試験法の提案，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.
7) 遠藤和人，石垣智基，小峰秀雄，呉佳曄：最終処分場の早期跡地利用を考慮した多機能型覆土の検討，廃棄物処理等科学研究費補助金　総合研究報告書概要版.

【その他】
8) 田中基弘，平野文昭，松藤康司，小林弘明，川端純一：最終処分場の覆土層における雨水排除方法に関する研究，第 40 回地盤工学研究発表会，2005.
9) 早崎勉，薦田敏郎，小澤一喜，若林秀樹：新しい覆土工法の提案，第 42 回地盤工学研究発表会，2007.
10) 荒川研佑，小澤一喜，川端淳一，間宮尚，山澤哲：覆土を用いた廃棄物処分場ガス除去性能の評価，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.
11) 小澤一喜，荒川研佑，川端淳一，間宮尚，山澤哲：廃棄物処分場の最終覆土内における酸素拡散に関する検討，第 44 回地盤工学研究発表会，2009.
12) 大庭靖貴，井澤淳，日下部治，小澤一喜，間宮尚，川合達司：バイオフィルターを用いた覆土のメタン除去性能の検討，第 45 回地盤工学研究発表会，2010.
13) 小澤一喜，間宮尚，川端淳一，大庭靖貴，日下部治：廃棄物処分場の最終覆土内における透気性・拡散性の評価，第 45 回地盤工学研究発表会，2010.

表-A.9　井戸の最適配置による埋立地の早期安定化（No.9）

長期コスト低減技術名	井戸の最適配置による埋立地の早期安定化	技術番号：No.9
技術名	最終処分場再生を目的とした先端着脱式鋼管ケーシングの開発	
主たる研究者名	椿　雅俊	
所属	東急建設株式会社　土木総本部　環境技術部	

研究概要

【目的】

廃棄物層内を好気的雰囲気へ変換することが有効であり，その方法として井戸を設置する方法がある．しかし従来工法のボーリング工法による廃棄物層の削孔は困難でありコスト高であるため，長期間放置させている処分場は少なくない．

従来工法において施工が困難なこと，コスト高を解消するために，先端部分が着脱可能な鋼管ケーシングを廃棄物層に無排土，無水で削孔し，先端内部に設置した有孔管を所定の位置に設置した後，ケーシングのみ回収する井戸の設置工法(鋼管ケーシング工法)の開発を行う．

図 2-1　施工機械

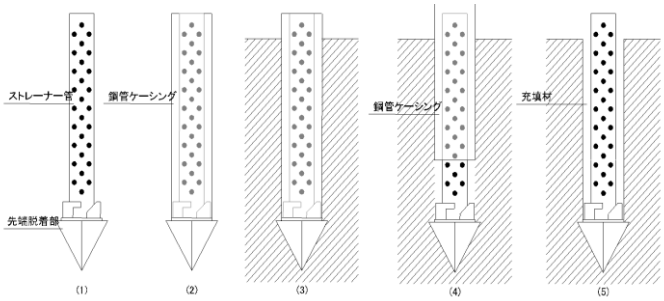
表 2-1　施工機械の仕様

機械寸法	機械幅(mm)	2400～2500		
	機械長(mm)	5200～5600		
	走行時機械高(mm)	2800～2900		
	施工時機械高(mm)	8700～9500		
	機械重量(t)	13～15		
機械性能	施工トルク(kN/m)	60～100		
	押込力(kN)	50以上		
	対応先端羽径(mm)	650以下		
施工可能杭種類	杭本体径(mm)	114.3	設置可能有孔管径(mm)	50～75(肉厚塩ビ管)
		139.8		50～75(肉厚塩ビ管)
		165.2		50～100(肉厚塩ビ管)
		190.7		50～100(肉厚塩ビ管)
		216.3		50～125(肉厚塩ビ管)
		267.4		50～150(肉厚塩ビ管)
		318.5		50～250(肉厚塩ビ管)
		355.6		50～300(肉厚塩ビ管)

【技術概要】

施工順序

①先端着脱部内部に有孔管をセットする
②鋼管ケーシングと先端着脱管を接続する
③廃棄物層内への削孔
④予定深度到達後先端部と鋼管ケーシングのロックを解除し，鋼管ケーシングを回収する
⑤削孔壁とストレーナー管との空隙を充填材等で埋め戻す



長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念

ケーシングを多数配置することで，地盤内の空気循環効果と保有水の汲み上げによる地盤の早期安定化を図る．これにより，閉鎖～廃止までの期間短縮を図りコストが縮減されると考えられる．

2. 試算条件

ケーシングを多数配置することによる早期安定化の効果が不明であるため，現段階でのコスト縮減も不明である．

3. 今後の課題

○ケーシング配置密度と早期安定化効果

参考論文リスト

【東急建設】
1) 最終処分場再生を目的とした先端脱着式鋼管ケーシングによる好気的改善技術の開発(H18 次世代廃棄物処理技術基盤整備事業補助金).
2) 廃棄物最終処分場における鋼管ケーシング削孔工法による多目的井戸システムの開発(H19 次世代廃棄物処理技術基盤整備事業補助金).

表-A.10　地盤改良範囲の低減（No.10）

長期コスト低減技術名	地盤改良範囲の低減	技術番号：No.10
研究名	非着底型杭状改良地盤の応力分担機構に関する実験的検討	
主たる研究者名	教授　松田　博	
所属	山口大学　工学部　社会建設工学科	

研究概要

1. 非着底型杭状改良地盤の応力分担機構に関する実験的検討

近年の土構造物に求められる要求性能の多様化により，盛土構造物等の基礎地盤において，軟弱地盤を低置換で改良し，所定の沈下や安定性を確保することが求められている．強度や剛性がばらつく地盤改良材においては，改良体の強度を超えるような大きな荷重が作用すると，図 1(a)に示すような座屈破壊やせん断破壊などが発生し，改良地盤全体としてのすべり破壊につながる．一方，非着底型地盤改良技術は，従来の地盤改良技術と比較して，経済性や環境面において有効な技術として期待されている．また，図 1(b)に示すような改良体直下に未改良土が残存する改良形式であるため，従来の着底型改良と比較して，改良体への応力分担率を小さくできる可能性がある．そこで本研究では，改良体に作用する鉛直荷重等を計測可能な載荷装置を作製し，圧密沈下時において，非着底型杭状改良地盤に作用する応力分担機構の経時変化について検討を行った．

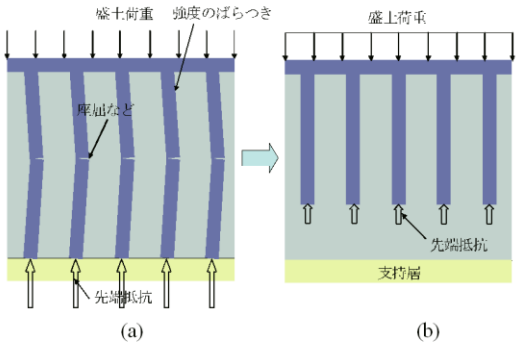


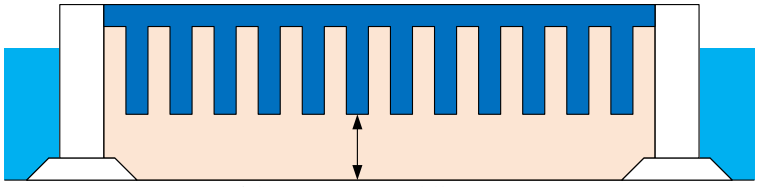
図 1 着底型改良の課題と非着底型改良の利点

長期コスト縮減への考え方

1. 基本概念

○改良体を着底させないため，地盤改良費が低減できる．また，改良体の周面摩擦により地盤改良体へ作用する応力が分散される．これにより，改良体の強度を抑えることが可能となり，改良体自体の費用が低減する．

○埋立完了後に地盤改良するため，埋立地が安定するまえに地盤改良し，埋立地の暫定使用が可能となる．



2. 試算条件

○室内実験による基礎研究の段階のためコストは不明である．

3. 今後の課題

○地盤のバラツキと地盤改良体の応力分散

○非着底型杭状改良地盤の設計手法

○廃棄物地盤における安価な地盤改良工法の開発

参考論文リスト

【広島大学：松田先生】

1) 鹿島 浩司，松田 博，石藏 良平，安福 規，大嶺 聖：非着底型杭状改良地盤の応力分担機構に関する実験的検討，第 45 回地盤工学研究発表会，2010.

付録 B　中間処理技術の事例

資料収集結果を踏まえ，**表 B-1** に中間処理施設の種類，求められる処理能力について整理して示す．あわせて，各中間処理施設の原理，機器，操作等の概要を次ページ以降に示す．

表 B-1　中間処理施設の種類・処理能力等

	号	施設の種類	処理能力	施設の中核設備
産業廃棄物処理施設(令第 7 条)	1	汚泥の脱水	10m³/日超過	脱水機
	2	汚泥の乾燥（天日乾燥施設を除く）	10m³/日超過	乾燥設備
		汚泥の乾燥（天日乾燥施設）	100m³/日超過	
	3	汚泥の焼却	5m³/日超過	燃焼室
			200kg/時以上	
			火格子面積 2m²以上	
	4	廃油の油水分離	10m³/日超過	油水分離設備
	5	廃油の焼却	１m³/日超過	燃焼室
			200kg/時以上	
			火格子面積 2m²以上	
	6	廃酸または廃アルカリの中和	50m³/日超過	中和槽
	7	廃プラスチック類の破砕	5t/日超過	破砕機
	8	廃プラスチック類の焼却	100kg/時超過	燃焼室
			火格子面積 2m²以上	
	8 の 2	木くず又はがれきの破砕	5t/日超過	破砕機
	9	有害物質又はダイオキシン類を含む汚泥のコンクリート固型化施設	すべてのもの	混練設備
	10	水銀又はその化合物を含む汚泥のばい焼施設	すべてのもの	ばい焼室
	11	汚泥，廃酸又は廃アルカリに含まれるシアン化合物の分解施設	すべてのもの	熱分解設備又は分解槽
	11 の 2	廃石綿等又は石綿含有産業廃棄物の溶融施設	すべてのもの	溶融炉又は破砕設備
	12	廃 PCB 等，PCB 汚染物又は PCB 処理物の焼却施設	すべてのもの	燃焼室
	12 の 2	廃 PCB 等又は PCB 処理物の分解施設	すべてのもの	反応設備
	13	PCB 汚染物又は PCB 処理物の洗浄施設又は分離施設	すべてのもの	洗浄設備又は分離設備
	13 の 2	産業廃棄物の焼却施	200kg/時以上	燃焼室
			火格子面積 2m²以上	
	14	産業廃棄物の最終処分場		
一般廃棄物処理施設(令第 5 条)	・処理能力が 5t/日以上 （焼却施設は，処理能力 200kg/時以上または火格子面積 2m² 以上） ・一般廃棄物の最終処分場			

出典：川崎市　環境局　廃棄物指導課　処理施設許可係，廃棄物処理施設の維持管理等について，平成 23 年度　廃棄物処理施設設置者等講習会　平成 23 年 4 月 22 日

【中間処理施設の原理，機器，操作等の概要】

1)　脱水機

○原理

混和機中で，事前に高分子凝集剤と混合凝集された汚泥をろ布上に均一分散供給し，重力とろ布の給水力を利用して濃縮させた後，もう一つのろ布で挟み込んで圧搾し脱水する．

その後，高圧によりろ布は洗浄され次の脱水工程に戻る．

離脱水性汚泥を低い含水率まで脱水するのに利用されている．

○洗浄

運転中に連続で洗浄

水量：大

○主なメンテナンス

ろ布の張替え（レーシングにより比較的容易）

駆動装置

○脱水機能の調整

①ケーキ厚は調整ロールにより調整することができる．

②プレスゾーン（圧縮脱水），ミリングゾーン（せん断脱水）ではロールにより圧縮力を調整することができる．

○設置スペース

大

○所要動力

小

○操作方法・操作性

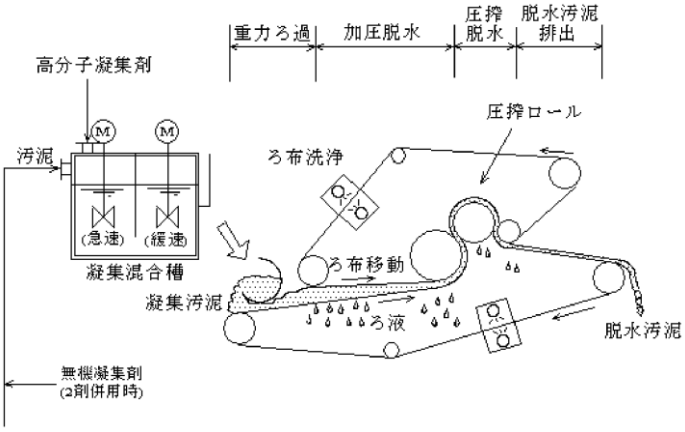
汚泥貯留槽を混合攪拌して濃度を均一化することにより，無人自動運転が可能である，脱水性能が安定している．

ろ布の走行状態などの確認が必要，やや操作難．

○従来型

ベルトプレス脱水機は，一般に上下 2 枚のろ布が多数のロールの間を通過していく間に脱水するもので，高分子凝集剤により調質した汚泥(凝集汚泥)を供給装置を介してろ布上に連続的に供給し，まず重力ろ過で流動性を減少させ，次にくさび状の加圧脱水部で水分を低下させ，最後に大小のロール間を通す圧搾脱水部でろ布張力による面圧と剪断力により水分低下をはかる機構となっています．

高分子凝集剤による調質は，汚泥粒子の荷電中和とフロックの形成を行うもので，ベルトプレス脱水機では通常，混合部(急速撹拌)と凝集部(緩速撹拌)からなる凝集混合槽にて行います．



○高効率型

従来型に低含水率比，処理量増加を目的として高加圧部第 2 重力ゾーンなどの機能を付加した方式であり，メーカーにより機構がかなり異なる．

出典：廃棄物ハンドブック，メーカーHP より抜粋

【中間処理施設の原理，機器，操作等の概要】

2） 遠心脱水

○原理

1000～3000G の遠心力を与えて固液間の比重差を利用して固液分離するもので，通常横軸型ドラム内に汚泥と高分子凝集剤を供給し，ドラムを高速回転させたとき，円周部に集まる固形物をスクリューで連続的に系外に搬出させるものである．

○洗浄

脱水後，内部洗浄が必要

水量：小

○主なメンテナンス

スクリューコンベヤおよび脱水ケーキ出口部の摩耗対応

駆動装置

○脱水機能の調整

ダムレベルおよび内外筒回転数の相違（差速）などにより脱水性が異なり，これらの調整により回収率を高められる．

○設置スペース

小

○所要動力

大

○操作方法・操作性

汚泥貯留槽を混合攪拌して濃度を均一化することにより，無人自動運転が可能である．

操作は容易．

○従来型

遠心力により固形分を分離脱水する．通常連続式スクリューデカンタが使われる．

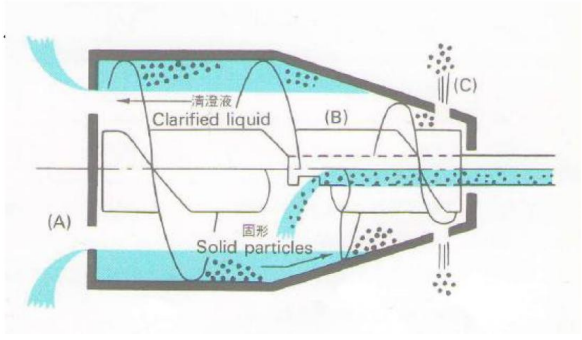
スクリューデカンタは，供給された原液を連続的に固形物と清澄液に分離・脱水する機械です．

○原理，

(1)分離した清澄液を取り出すためには，ボウルの大径側に排出口 A を設け，遠心力によってオーバーフローさせます．

(2)分離した固形物を取り出すためには，スクリュー・コンベアーB を設け，ボウルに対して僅かな回転差を持つスクリューによってボウルの円錐部へ掻き寄せ，ボウルの小径側に設けた固形物排出口 C から遠心力によって振り飛ばします．

これらの仕組みにより，連続供給される原液を連続的に分離し，固形物と清澄液が各専用排出口から得られます．



○高効率型

従来型に圧搾・圧密機構を付加し，従来型より 4～5%の低含水率化を実現した機種である．

出典：廃棄物ハンドブック，メーカーHP より抜粋

【中間処理施設の原理，機器，操作等の概要】

3)　スクリュープレス

○原理

パンチングメタルで形成された円筒と円筒内を低速で回転するスクリューコンベヤから構成される．供給された汚泥は，スクリューでゆっくり円筒内を移送される間に当初は重力脱水，その後加圧脱水される．本形式の脱水機は魚肉加工用として開発された後，下水汚泥や製紙排水汚泥脱水機として大型化してきた．

汚泥中に異物があっても連続運転が可能であり，特に繊維質含有汚泥の脱水に適している．

○洗浄

SS の回収率が悪いためドレンパンの洗浄が必要

水量：中

○主なメンテナンス

スクリュー本体，パンチングメタルの摩耗対応

駆動装置

○脱水機能の調整

スクリューコンベヤの回転数・出口部の押圧強度の調整により含水率を調整できる．

また，スクリュー部をスチーム加熱することで含水率を低減できる．

○設置スペース

大

○所要動力

中

○操作方法・操作性

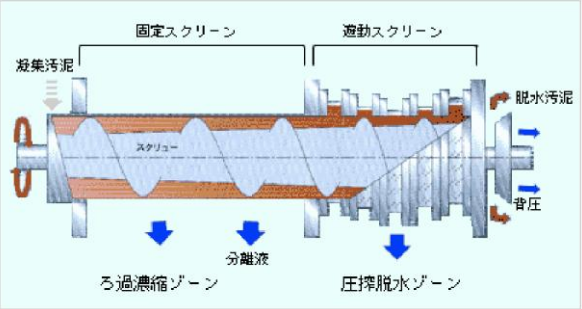
操作は比較的容易

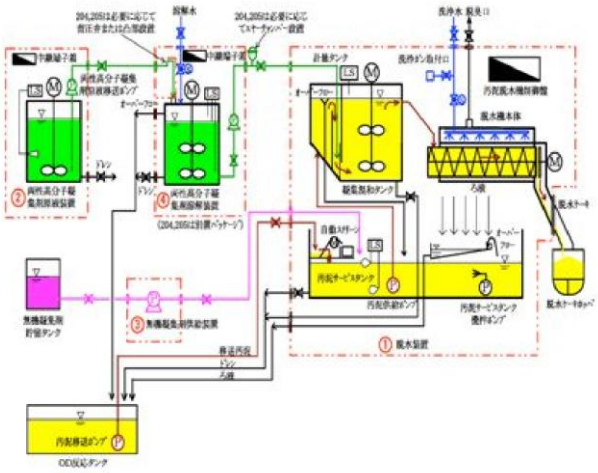
スクリュープレスは基本的に以下の 2 つの作用により脱水が行われる．

(a) スクリーンによる固液分離

(b) スクリューによる圧搾

汚泥投入口付近のろ過濃縮ゾーンでは，(a) の固液分離作用が大きく働き，固形物が圧搾脱水ゾーンに搬送されるに従って (b) の圧搾作用が大きく働くことになる．





出典：廃棄物ハンドブック，メーカーHP より抜粋

【中間処理施設の原理，機器，操作等の概要】

4) フィルタプレス

○原理

ろ布で形成された多数の室に凝集汚泥を圧入し，まずろ過脱水する．最終的には空気圧もしくは油圧にてろ布を圧搾し脱水する．

一定時間後，ろ布を開き，エアブローおよびろ布の移動によりケーキを落下させ，1サイクルを終わる．従来より難脱水性汚泥の脱水機として多用されている．

○洗浄

各サイクルごとに洗浄

水量：大

○主なメンテナンス

ろ布の張替え（エンドレスで手縫いまたはレーシングで交換1人1日程度の作業）

駆動装置

○脱水機能の調整

ダイヤフラムで圧搾するため，均一な水分となり，かつ，難ろ過汚泥を脱水できる．

○設置スペース

大

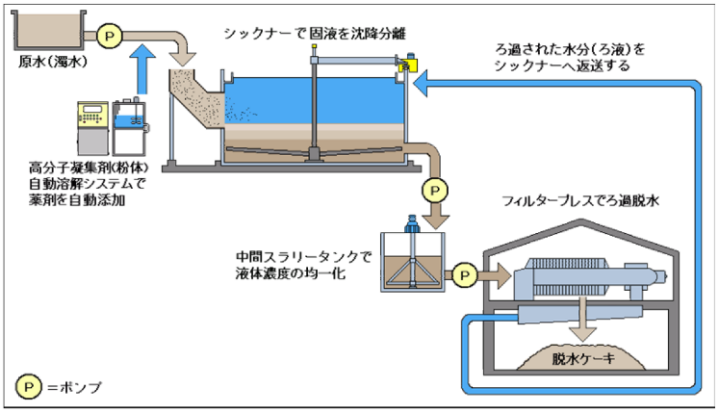
○所要動力

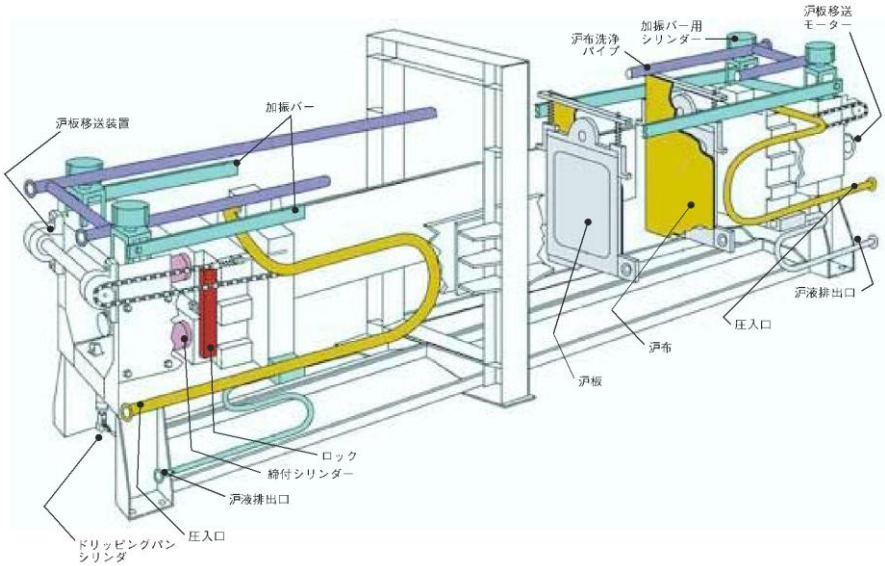
中

○操作方法・操作性

脱水，ケーキ排出ともタイマー操作により，無人自動運転が可能である．ケーキ剥離，ろ布の洗浄などにおいてやや操作難．

金属や樹脂製の凹凸のある中心に穴のあいたろ板にろ布を張ったものを直列に密着させたもので，スラリー（汚泥，掘削土，セメントなどが水中にまざったもの）をポンプでろ板中心の穴から加圧圧入する．圧入されたスラリは，その圧力で，水分のみが2枚のろ板の隙間のろ布の目から外へ排出され，ろ板間(実際にはろ布とろ布の間)に脱水ケーキが形成される．脱水完了後，ろ板を開板し，ケーキを排出する．最近の製品は，ケーキの排出を自動化したものが主流．





出典：廃棄物ハンドブック，メーカーHPより抜粋

【中間処理施設の原理，機器，操作等の概要】

5)　ドラムプレス

○原理

原液槽内に一定の水深で投入された凝集汚泥をドラム内負圧-300～-600mmHg でろ布面に付着させケーキを生成する．

ケーキはドラムの回転に従って水面上にあがり，ここでろ布を通して脱水する．最後にろ布はドラムを離れてスチャージロールを通り，ろ布表面のケーキを剥離排出する．その後，再びドラムに戻り次の脱水工程に戻る．

○洗浄

運転中に連続で洗浄

水量：大

○主なメンテナンス

ろ布の張替え（エンドレスファスナーの利用により比較的容易

駆動装置

○脱水機能の調整

①ドラムの回転数を調整することによってケーキ厚さを変えることができる．

②ケーキ層はケーキの剛性自体でろ布より剥離する限界点までとする．

○設置スペース

大

○所要動力

小

○操作方法・操作性

無人自動運転が可能であるが，濃縮汚泥の濃度コントロールが問題である．

汚泥濃度調整などやや操作難．

○真空吸着

真空ドラムが原液中に浸っている部分で真空吸引によりケーキをろ布面に吸着

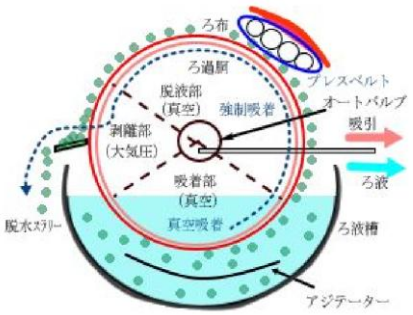
○強制吸着

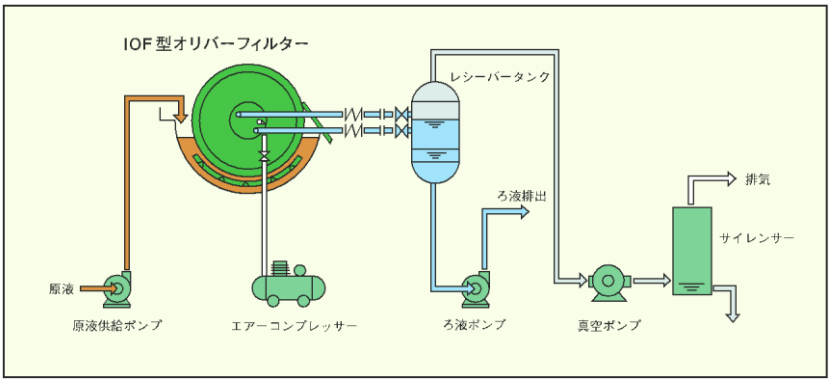
真空ドラムの回転によりろ布に付着したケーキをプレスでさらに脱水

○大気圧加圧脱水

無通気性のプレスベルトにより真空漏れをふさぎ，さらに大気圧でケーキを加圧脱水

脱水スラリー（ケーキ）の剥離，ろ液の抽出





出典：廃棄物ハンドブック，メーカーHP より抜粋

【中間処理施設の原理，機器，操作等の概要】

6） 多重円盤型脱水機

○原理

直径の異なる 2 種の円盤を交互に積層したろ体を駆動装置により矢印の方向に回転させ，2 種の円盤が構成するスリット上に凝集汚泥が架橋，堆積することで濃縮，脱水が行われる．

ケーキ出口に向けてろ体間隔が減少すること，ろ体の回転速度を出口側でやや低速にすることでケーキ内部に圧力を生じさせ脱水を行う．

油分が多く遠心型およびろ布使用の脱水機では脱水困難な汚泥の脱水に適している．

○洗浄

特に洗浄の必要なし

長期停止時ろ体ほかの洗浄必要

水量：極小

○主なメンテナンス

ろ体（円盤の交換）

駆動装置

○脱水機能の調整

円盤回転数により含水率を調整することができる．

○設置スペース

中

○所要動力

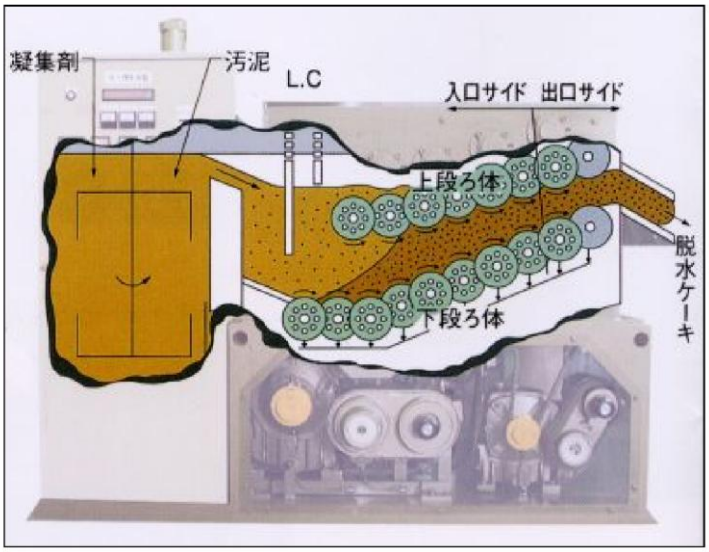
中

○操作方法・操作性

操作は比較的容易．

○脱水構造

ろ体を図のように箱の中に上段 8 本下段 10 本配置します．このろ体を駆動装置により上段下段各々矢印の方向に回転させます．するとろ液はろ液孔→ろ液 BOX→機外へと連続して排出されろ体面に補足された SS 粒子は濃縮されつつ，ケーキ出口に向かって搬送されていきます．その際上，下段ろ体の間隔がケーキ出口に向かって減少しており容積が減る事，ろ体の回転速度を入口サイド出口サイドに分け出口サイドを遅くしてやる事によりケーキ内部に圧縮力が生じます．又ろ体の回転が極めて低速度（1rpm 以下)なので汚泥ケーキ内部を無理に攪拌混練せずケーキ内部に至るまで毛細管現象を活性化させ続ける事により効率の良い脱水を行います．



出典：廃棄物ハンドブック，メーカーHP より抜粋

7）汚泥乾燥機

○概要

汚泥圧縮装置と一緒に使われる事例が多い．

○固体乾燥技術

固体乾燥の乾燥プロセスは，主たるプロセスが加熱系であるか非加熱系であるかに大別される．

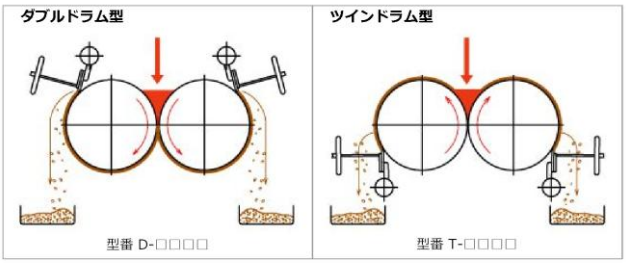
加熱系プロセスはさらに，対流や輻射または伝導による伝熱乾燥と，マイクロ波などによる内部発熱乾燥に分けられる．

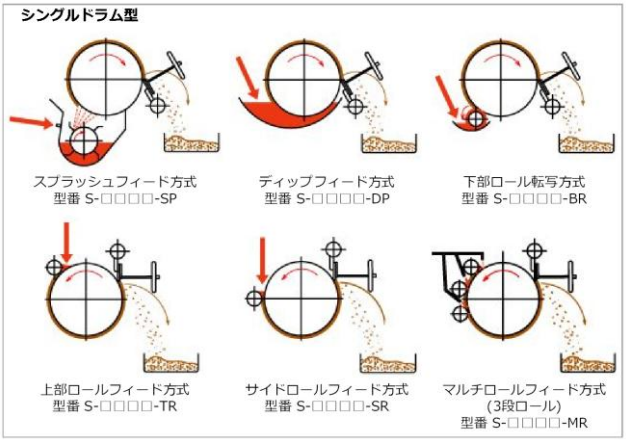
非加熱系プロセスとしては，真空乾燥（減圧乾燥を含む），遠心乾燥，吸収剤による乾燥，吸引乾燥，加圧乾燥，超音波乾燥などがあげられる．ただし，厳密には，非加熱系乾燥においても何らかの熱が副次的に加えられており，例えば真空乾燥では輻射伝熱もしくは伝導伝熱が利用されている．

○ドラムドライヤ

ドラムドライヤは，回転するドラム（円筒）の内部に熱媒体（一般には蒸気）を投入し，加熱されたドラムに液状原料を供給し，蒸発・濃縮を行うと同時に，ドラムの表面に薄膜状に付着させ，すみやかに蒸発乾燥を行い，ドラムが 1 回転する間に乾燥物は固定されたナイフでもって連続的にドラム表面より掻き取るという，伝導加熱型の乾燥機です．

ドラムドライヤを大別すると，その操作圧力により，常圧式と真空式とに区別され，ドラムの本数によりダブルドラム型，ツインドラム型，シングルドラム型に分類されます．





○真空式ドラムドライヤ

真空式ドラムドライヤとは，通常の常圧式ドラムドライヤのメカニズムを，真空チャンバーの中に組み入れ，機能上減圧状態にて連続運転を可能な形にしたドラムドライヤのことをいう．

○熱回収ドラムドライヤ

通常ドライヤの排気(蒸発ベーパ)は大気に放出されますが，この排気をスクラバコンデンサと熱回収器を介して熱回収し，その回収熱で前濃縮を行います．

○真空撹拌乾燥機

真空撹拌乾燥機は，伝導伝熱方式の撹拌乾燥機で，真空状態にて回分操作されるものが一般的である．

出典：廃棄物ハンドブック，メーカーHP より抜粋

8) 天日乾燥

○天日乾燥床　Sun Drying Bed

１．天日乾燥床の概要

天日乾燥床は，汚泥の脱水プロセスの最終段階に位置し，排泥池または濃縮槽によりスラッジを濃縮したのち，上澄水の排除とろ過により汚泥の含水率を低下させた後，天日による蒸発を手段として乾燥を行わせるための施設である．

天日乾燥床による汚泥乾燥が機械脱水方式よりも有利となるためには，

・十分な用地の確保が容易な場合
・中，小規模浄水場で排泥の頻度が少ない場合
・気候条件が乾燥に適する場合

などの条件をクリアする必要がある．ただし，用地の確保が可能であれば，大規模な施設であってもコスト的に有利なことがあり，汚泥処分に関する規制も機械脱水よりも緩い（汚泥処分参照）ので，機械脱水の更新時に天日感想床に切りかえるケースもある．

維持管理の容易さ，設備の運用に関する経済性などの点において他の方式より優れている．ただ，汚泥のかき取りには人手（高度な技能は必要としません）が必要となり，排泥の頻度が高いような水源には向かない．

天日乾燥床は，主として上水道，工業用水道事業の汚泥乾燥に使用されますが，小規模な場合は下水汚泥に使用されることもある．ただし，上水汚泥の組成が無機質中心であるのと比べると，下水汚泥は有機物を多く含むため，悪臭や蝿などの発生による 2 次公害の恐れがあり，消化汚泥を対象とする，透水速度を向上するなどの対策が必要になる．

天日乾燥床に類似する施設として，濃縮しない沈殿スラッジなどを直接受入れる，ラグーンと呼ばれるものがある．ラグーンは構造が簡単で，濃縮槽を省略できるなどの長所がある反面，天日乾燥床以上に用地を必要とするなどの欠点がある．このため，発展途上国を中心に用いられる技術である．

天日乾燥床の設計に当って留意すべき点は以下のとおり．

①処分するスラッジの含水率は 60%程度とすること．
②一日の処理能力が 100m^{3}をこえると産業廃棄物処理施設となり，技術上の基準が適用されることに留意．
③「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則」の制限を受けるため，浸透水が地下水を汚染しないよう，コンクリート製とすることが一般的であること．
④乾燥スラッジの搬出の都合から，形状は長方形が望ましいこと．ただし，敷地の有効利用を図るためであれば，形状は問いません．また，ブルドーザなどが入れるスロープを設けることも工夫のひとつである．
⑤天日乾燥床周りは植栽で隠すこと．草が生えたりして，あまり見た目が良くないことが多いので

このほか，天日乾燥床の機能を補助するための付帯施設として，上澄水分離設備（角落しなど），下部集水装置（排水のためのろ過層）を設置することになる．最近では，脱水促進装置（吸引脱水補助装置），乾燥促進装置（空気吹込み装置）などが実用化されているため，必要に応じてこれらの設備の導入を検討することができます．

【参考】

水道施設設計指針・解説（1990）　pp.330～
工業用水道施設設計指針・解説（1989）　pp.281～
下水道施設設計指針・解説 pp.503～
浄水の技術（1985）　pp.187～

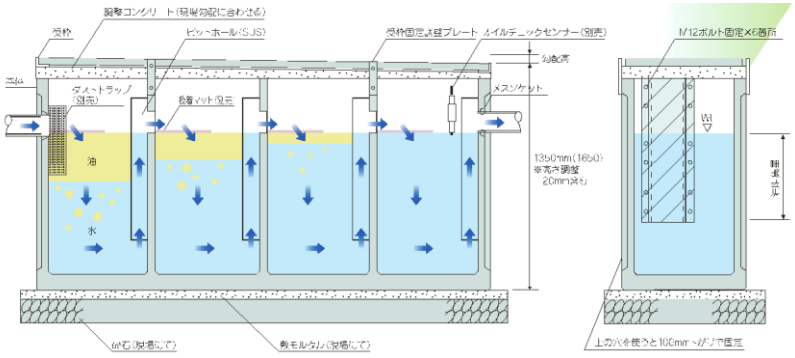
出典：メーカーHP より抜粋

9)　油水分離施設

○原理

油水分離とは，油と水が混ざり合った液体を分離装置にかけて分離させることを言い，工場排水の処理には欠かせない工程です．油水分離には「エマルジョン分離」と「油水分離」の大きく分けて 2 種類あります．エマルジョン＝乳化油を意味し，油と水が完全に混ざり合っている状態を指します．

○油水分離

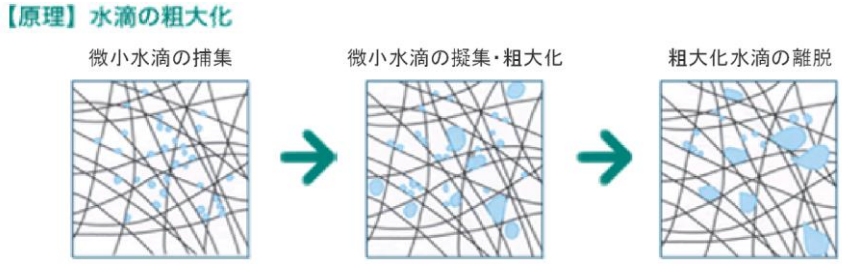


○エマルジョン分離

ミクロンオーダーで微小に分散した油水混合系は，静置分離では容易に分離できません．

＜ユーテック＞は，このように微分散して白濁した遊離液を超極細繊維フィルターにより捕捉し，擬集し，粗大化する機能を持っています．

このような機能により，ミクロンオーダーに微分散した遊離液をミリメートルオーダーに粗大化させ，比重差により瞬時に完全二層系に分離します．



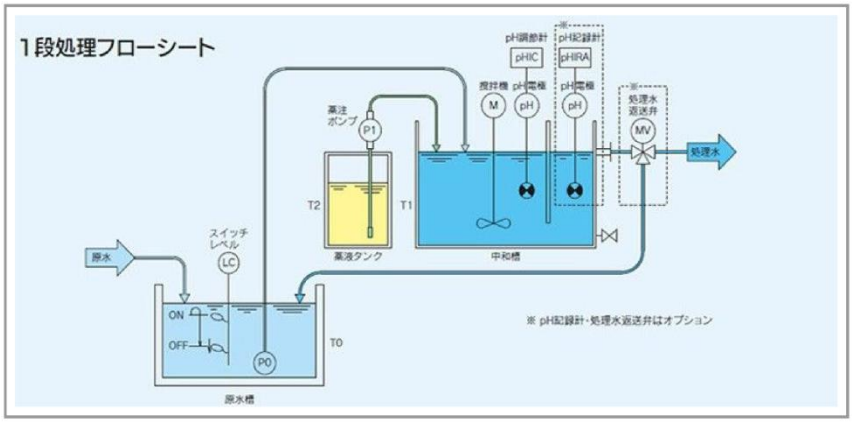
出典：メーカーHP より抜粋

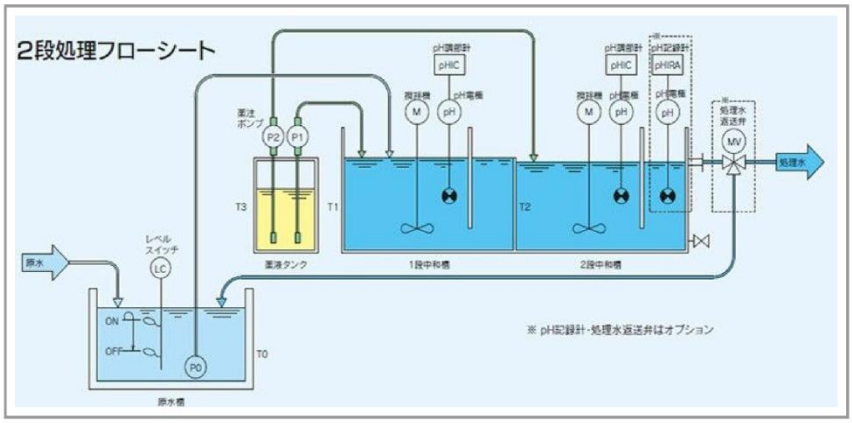
10） 中和槽

○概要

中和は，酸とアルカリを反応させ，有害物質を水に溶けにくい化合物にする作業です．そうすると，汚水に溶けている汚れがかなり除けます．

廃酸には苛性ソーダや消石灰などの中和剤，廃アルカリには硫酸などの中和剤を用いて対象の PH を調整します．





出典：メーカーHP より抜粋

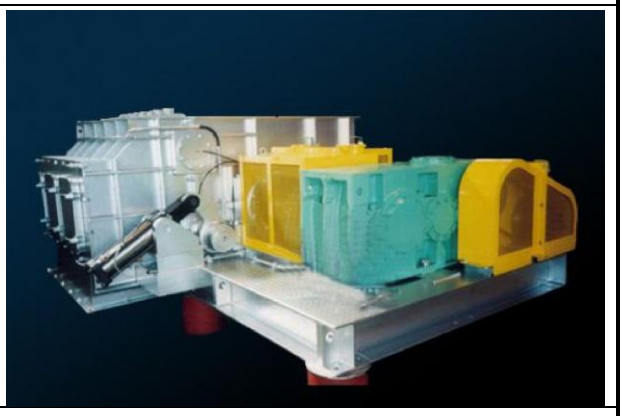
11） 破砕機

○概要

粗大ごみの処理は，破砕機で行う場合が多い．一般的に機械的に物を砕くときの作用力は，圧縮，衝撃，せん断，磨砕の四つに分類され，単独または組み合わせて利用される．構造面からは回転式，往復式に分類できる．

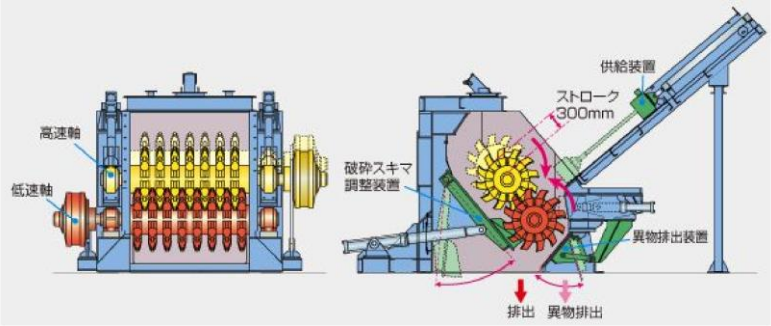
○切断機

往復移動刃と固定刃の間でせん断破砕する往復型せん断破砕機は，従来主として金属スクラップ処理業で使われていたギロチン切断機から発展してきたものが多い．また，数本の固定刃と油圧駆動される同数の可動刃により，粗大ごみの複数個所を同時にせん断する横型切断機は，焼却の前処理など粗破砕に適している．



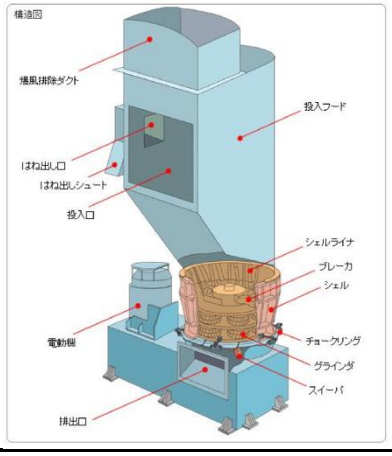
○低速回転式破砕機

切断刃を回転させ，せん断や引裂力を有効に作用させて破砕する．構造は，並行して設けられた回転軸の切断刃の相互作用でそれぞれかみ合いながら回転により被破砕物のせん断および引裂を行う．



○高速回転式破砕機

処理物は竪軸形のロータ上部に設けられたブレーカにより強力な衝撃，引裂を一次破砕が加えられる．砕かれた材料はさらにロータディスクに取り付けられた回転自由な多数のリンググラインダと，シェル内部に張られた突起付のシェルライナ間でせん断，衝撃，圧縮，磨砕の二次，三次破砕が加えられ，ロータ下部のスイーパにより強制的に遠心力で排出される．



出典：メーカーHP より抜粋

【破砕機】

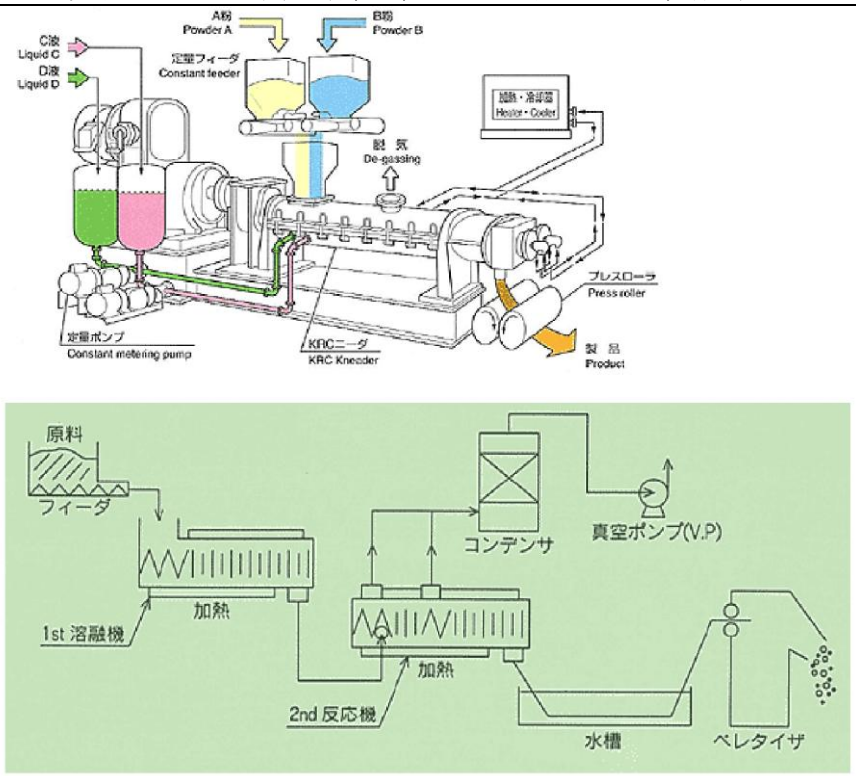
種類	対象	機種	種類	対象	機種	種類	対象	機種
一軸破砕機	木材	木材用チップ破砕機	二軸破砕機	廃プラスチック	二軸破砕機	粉砕機	ペットボトル	ペットボトル粉砕洗浄脱水機
	ペットボトル	一軸式ペットボトル粉砕機		廃プラスチック	容器包装プラ専用二軸破袋機		食品	食品リサイクル粉砕機
	廃プラスチック	一軸破砕機		コンクリートがら	コンクリートがら二軸回転式破砕機	破砕機	ガラス	ガラス瓶専用破砕機
	古紙	機密文書処理用一軸破砕機		瓦	瓦 破砕機		廃蛍光管	廃蛍光管専用破砕機
二軸破砕機	木材	木くず，木材用粗破砕機	三軸式破砕機	ペットボトル	三軸式 ペットボトル粉砕機		タイヤ	重粉砕機(マルチタイプ)
	ペットボトル	超低速回転 二軸破砕機	粉砕機	木材	圧砕式二次粉砕機(チッパー)	圧縮	缶	中身入り缶処理機

出典：メーカーHP より抜粋

12)　混練設備

○概要

焼却した灰を重金属固定剤，水，セメント等を混合して，練り固めるための設備である．



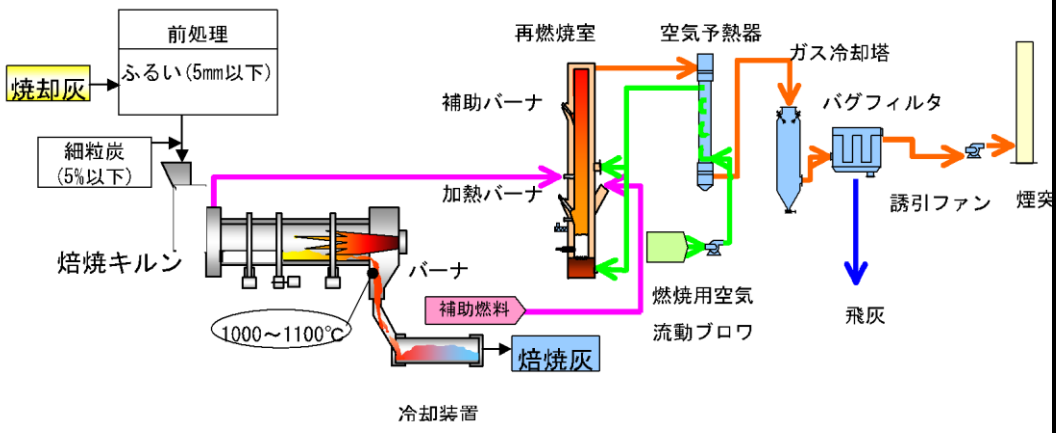
出典：メーカーHP より抜粋

13)　ばい焼室

○概要

ばい焼とは，鉱石などをその融点以下の高温度に加熱して科学的，物理的変化を起こさせる操作をいう．

ばい焼施設とは，現行の廃棄物処理施設としては，水銀またはその化合物を含む汚泥をばい焼し，水銀を蒸発させ回収する施設をいう．



出典：メーカーHP より抜粋

14） 溶融炉

○概要

溶融炉（ようゆうろ）は，工業原料やごみの焼却により生じた不燃物（残渣）や飛灰を高温で溶かす炉のこと．残渣や灰は溶融炉内で高温になり液状化し，出滓口（しゅっさいこう）から排出された後，冷却され溶融スラグとなる．溶融の目的として，減容化，無害化，再資源化が挙げられる．

○原理

・燃料溶融方式

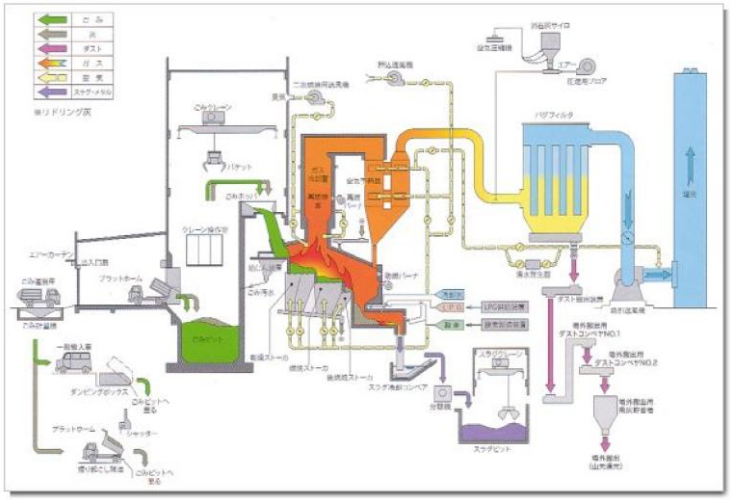
油などの燃料により，灰表面を 1300～1400℃に加熱することにより，有機物は熱分解，燃焼，ガス化する．溶融した無機質は，ガラス質のスラグとなって無害化される．重金属類の内低沸点のものはガス側に移行し，残りはガラス質マトリックス内に固定される．

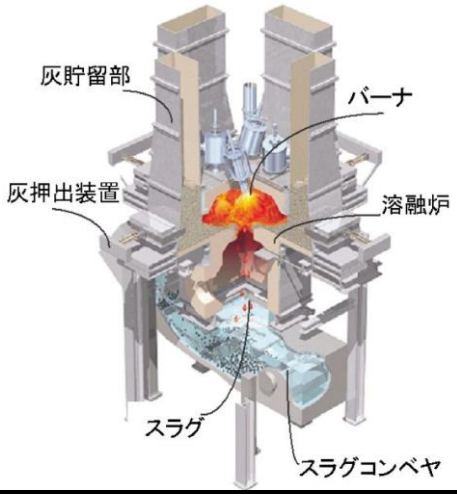
・電気溶融方式

溶融熱源として電力を使用する方法で，抵抗熱，アーク熱，あるいはプラズマを使用するものがある．炉内で溶融した灰のうち，金属は炉の底部に，スラグはその上部の層を形成する．

・ガス化溶融方式

ごみを前段のガス化炉により低酸素状態で加熱することで，可燃性のガスと炭に分解．発生したガスと炭を後段の溶融炉に投入し，1,300℃以上の高温で燃焼，炭を溶融することで溶融スラグを生成する．





出典：メーカーHP より抜粋

15） 反応設備

○原理

・脱塩素化分解方式

　　アルカリ剤や触媒等を PCB と混合させ化学反応させることにより，PCB の塩素を水素などに置き換え，PCB ではない物質にする方法.

脱塩素化反応であるため，ダイオキシン類等の副産物の生成がない．また，焼却と異なり，反応に由来するガスが発生しません.

・水熱酸化分解方式

（１）超臨界水酸化法

　　超臨界とは，臨界点を越えた状態のことを言い，水の場合は，374℃，218 気圧を越えた状態の水を超臨界水と言います.

液体と気体の中間の様な物性であり，強い酸化力を持っています．この酸化力を利用して PCB を炭酸ガスと水，塩化水素（塩酸）にまで分解する方法です．PCB 処理を行う場合は，650℃／250 気圧以上の状態下で反応させます.

（２）熱水分解法

　　超臨界の一歩手前の状態で処理を行います．超臨界状態とは異なり，液相と気相の区別が付きます.

水，酸素に炭酸ナトリウムを加えることにより熱水状態を作り出し，380℃，270 気圧下を PCB を酸化分解させます．超臨界水酸化法よりも穏和な条件下で反応が進行し，また炭酸ナトリウムを加えるため，塩酸などの腐食性物質を生成しません.

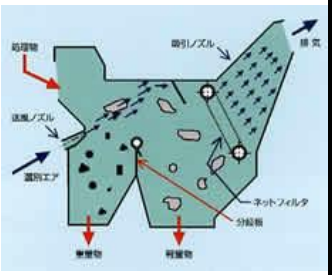
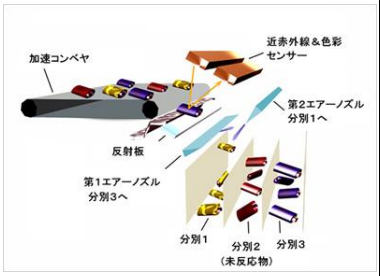
・還元熱化学分解方式

・光分解方式

紫外線照射（波長 250～300nm)により PCB を脱塩素させ，残留する微量の PCB を貴金属触媒により効率よく分解させる方法です.

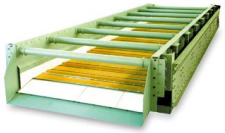
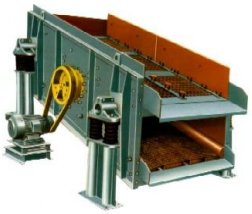
出典：廃棄物ハンドブックより抜粋

16） 選別機

項目	種類	機構	概要
選別	磁選機	永久磁石式磁選機	コンベアやシュートで運ばれてくる非磁性体原料の層から自動的に混入鉄分を除去．乾燥した原料，湿った原料，微細な原料，塊状原料，小容量処理，大容量処理のラインに適した理想的な磁選機．
		電磁石式磁選機	木材，石炭，砕石のように，ベルトコンベア，振動フィーダー，シュートなどで輸送される大量の原料から，混入鉄片を安全，かつ自動的に分離する．危険な場所，粉塵の多い場所やガスが発生するような場所で使用する．
		渦電流非鉄金属分離装置	回転する外側のドラムシェルの中で，レア・アースマグネットエレメントがそれよりはるかに高速で回転し，非鉄金属を跳ね飛ばす渦電流を発生させる．アルミ，銅，鉛などが，プラスチック，ゴム，ガラス，ごみ，焼却灰あるいは電化製品スクラップ等の非導電体から分離される．
	風力選別機	プラスチック選別機	気流中に処理物を投入し，その飛散距離の差により重量物と軽量物の2種類に分別する選別装置である．送風ノズルにより装置内に導入された選別エアーは，送風ノズルの斜め上方に対向する位置に設置された吸引ノズルにより吸引される．送風ノズルと吸引ノズル間にはクシ歯があり，気流に随伴する極軽量物を捕捉し，軽量物シュートに排出する． 
	光学式選別機	プラスチック選別機，プラボトル色彩選別機，段ボール・プラ選別機，紙・プラ選別機，ガラス色彩選別機，	定量ずつ加速コンベヤで搬送される対象物をセンサーが感知し，識別を行う．センサーからの信号を受けたエアーノズルが対象物を吹き飛ばし各ポケットに分別される． 

出典：メーカーHP より抜粋

17)　ふるい分け

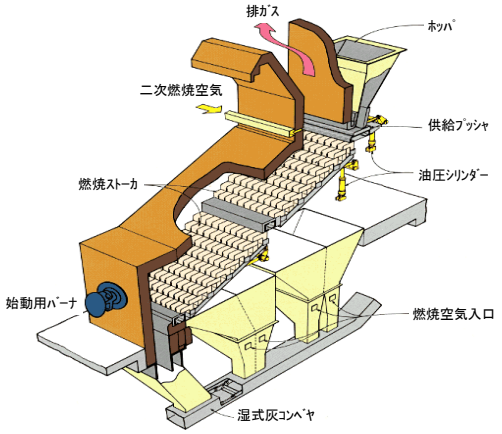
種類	機種	種類	機種	種類	機種
三次元運動	三次元運動ふるい機	振動	振動ふるい機	波動式	波動式スクリーン 
円形振動	円形振動ふるい機	水平型	水平型スクリーン	振動フィーダ＋振動ふるい	グリズリーフィーダ
水平回転	水平回転ふるい機	傾斜型	傾斜型スクリーン 		
水平旋回	水平旋回ふるい機	選別分級	選別分級機		

出典：メーカーHP より抜粋

18） 焼却炉

【焼却方式の概要】

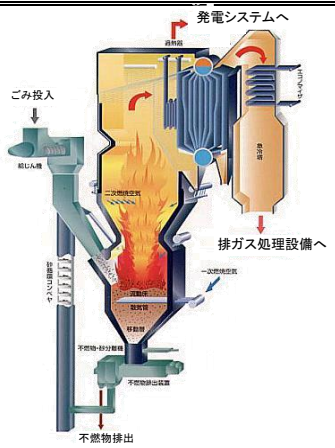
ストーカ式

項目	焼却炉（ストーカ式）
概念図	
概　要 注）	ごみを可動するストーカ（火格子）上でゆっくり移動しながら，ストーカ下部から吹き込まれる燃焼用空気により，乾燥・燃焼・後燃焼の３段階を経て焼却が行われ，焼却灰として排出される。ごみ中の不燃物及び灰分の大部分は，ストーカ終端から排出されるが，灰分の一部は燃焼ガス中に飛散し，集じん機にて飛灰として捕集する。

（出典）メーカパンフレット等より抜粋

注）概要については、概念図に示す代表技術について示す

流動床式

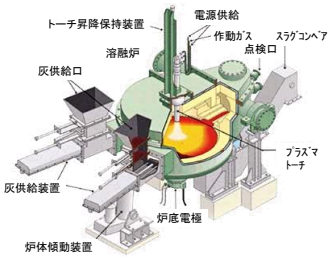
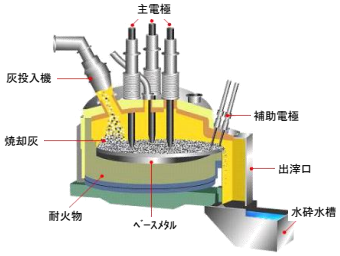
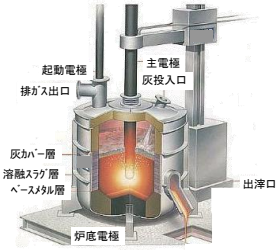
項目	焼却炉（流動床式）
概念図	
概　要 注）	ごみはクレーンで供給ホッパに投入され，ホッパ下部の給じん装置で解砕し，ほぐされた状態で炉内に供給される。 炉内に入ったごみは，下部から強い圧力で送られた燃焼用空気と流動する灼熱された砂に接触することにより，瞬時に焼却される。ごみ中の金属，がれき等の不燃物は，流動媒体等とともに流動床下部より排出されるが，灰分は燃焼ガスとともにガス中に飛散し，集じん機で捕集される。なお，流動床下部より排出された流動媒体は，不燃物と選別された後，再度炉内へ循環している。

（出典）メーカパンフレット等より抜粋

注）概要については、概念図に示す代表技術について示す

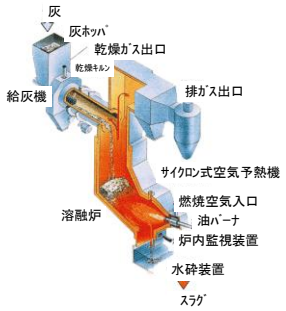
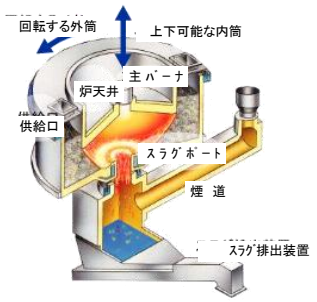
【灰溶融方式の概要】

○電気式

項目	プラズマ式	アーク式	電気抵抗式
概念図			
概　要 注）	直流アークの中にプラズマガスを流して高温高密度化したプラズマを作り，その熱で溶融する。	電極に電圧をかけることで，電極と炉底のベースメタル間でアークを発生させ，その熱で溶融する。	電極に電圧をかけることで，電極間の溶融した灰自身が発するジュール熱(電気抵抗熱)により溶融する。

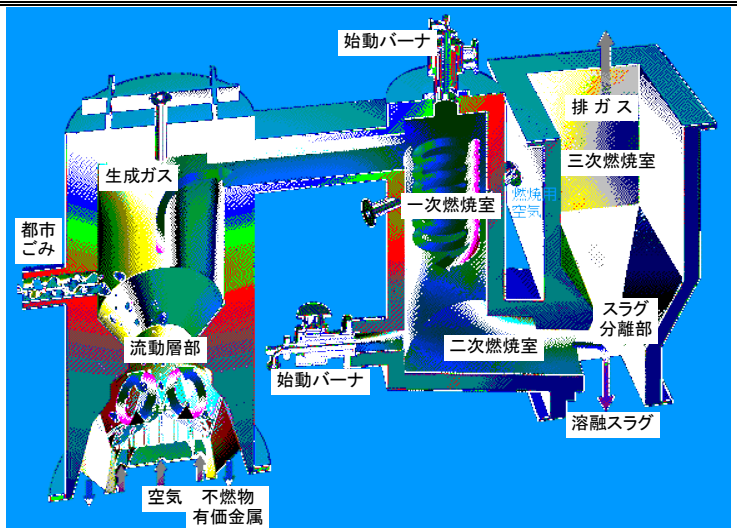
（出典）メーカパンフレット等より抜粋
注）概要については、概念図に示した代表技術について示す

○燃料式

項目	表面溶融式（固定型）	表面溶融式（回転型）
概念図		
概　要 注）	バーナ（都市ガス，灯油）を使用し，固定床上の灰を表面から溶融する。	原理は固定型と同じだが，外筒と炉底が一体構造となって緩速回転しており，灰を均一に配分して溶融する。

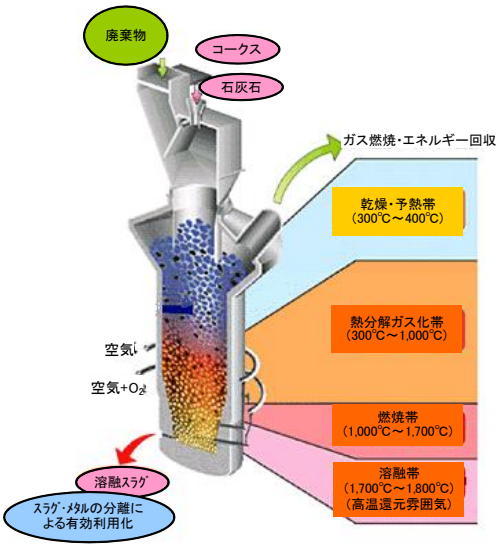
（出典）メーカパンフレット等より抜粋
注）概要については、概念図に示した代表技術について示す

【ガス化溶融方式(流動床式)】
○概要

項目	流動床式
概念図	
概　要 注）	焼却技術である流動床炉を熱分解炉に利用したもので，低酸素濃度雰囲気かつ焼却よりも低い温度（約600℃程度）で運転することで，ガス化反応を緩やかにし，ガスとチャーを後段の溶融炉で燃焼・溶融する。 ごみの熱分解に必要な熱源は，流動床炉内での部分燃焼によって賄っている。 流動床炉下部からは，鉄，アルミ等が未酸化の状態で排出される。砂は分離回収後、流動床炉内に循環される。一方，溶融炉内では灰分が溶融されてスラグとなる。

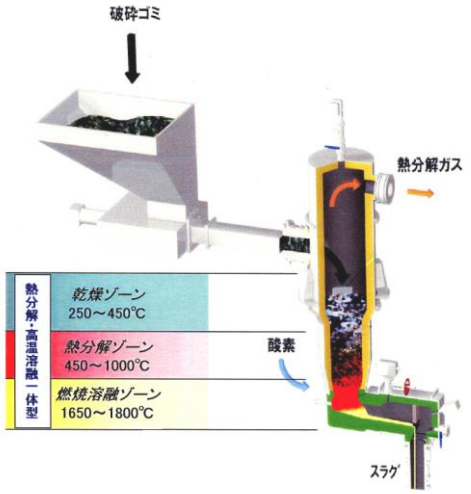
（出典）メーカパンフレット等より抜粋
注）概要については、概念図に示す代表技術について示す

【ガス化溶融方式(シャフト炉式)(コークスベット式)】
○概要

項目	シャフト炉式（コークスベット式）
概念図	
概　要 注）	高炉の技術を応用したもので、シャフト炉の中央部からごみとともにコークス及び石灰石を投入し、炉内では乾燥帯，熱分解帯，燃焼・溶融帯を経て炉底よりスラグとメタル（鉄・アルミ等の混合物）が排出される。また、炉内の熱分解ガスは炉頂部より排出され、後段に設置した燃焼室で燃焼される。 1970年代末から実績があり，種々の改良を経ながら現在に継承されている。

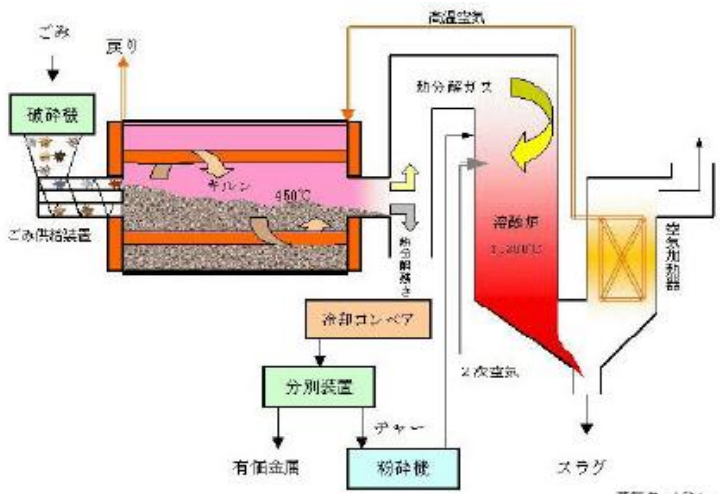
（出典）メーカパンフレット等より抜粋
注）概要については概念図に示す代表技術について示す

【ガス化溶融方式(シャフト炉式)(酸素式)】
○概要

項目	シャフト炉式（酸素式）
概念図	
概　要 注）	破砕されたごみは、給じん機で圧縮され炉内へ投入される。投入されたごみは炉底部の燃焼・溶融帯から上昇するガスにより乾燥され、熱分解帯を経て、炉底部の羽口より酸素が供給されることにより熱分解生成物のチャーと反応し、高温で溶融される。熱分解帯で得られた可燃ガスは燃焼室で完全燃焼される。一方溶融されたスラグは連続的にスラグ冷却槽に落とし込まれ急冷と同時に粒状となる。 　溶融炉下部では、チャーと酸素の高温燃焼が行われるが、燃焼の安定化のためにLPGが使用される。

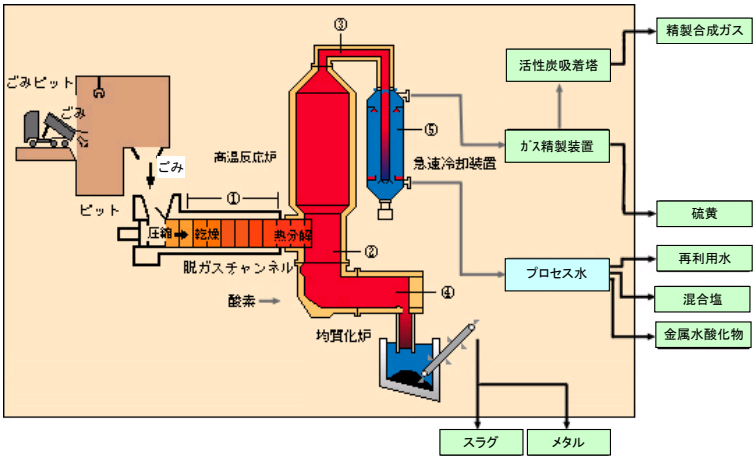
（出典）メーカパンフレット等より抜粋
　注）概要については概念図に示す代表技術について示す

【ガス化溶融方式(キルン式)】
○概要

項目	キルン式
概念図	
概　要 注）	熱分解ドラム（キルン）に投入したごみを間接加熱しながら約450℃の低温で熱分解する。キルン後部出口より排出された固体残渣は約80℃まで冷却された後，振動ふるいと選別機によって，鉄，アルミ等を未酸化の状態で回収する。鉄，アルミ以外の残渣は粉砕機により１mm以下にして溶融炉側へ送り込まれ，熱分解ガスとともに燃焼され，このときの燃焼熱で灰分が溶融されスラグとなる。 　1970年代にドイツで発案，シーメンス社が改良・開発したプロセスであり，1991年に我が国へ技術導入されている。

（出典）メーカパンフレット等より抜粋
　注）概要については、概念図に示す代表技術について示す

【ガス化改質方式】
○概要

項目	ガス化改質式
概念図	
概　要	熱分解ガスを回収して有効利用する技術である。 投入されたごみは圧縮・間接加熱されながら乾燥・熱分解（乾留）脱ガスされる。熱分解物（炭化物・チャー）は酸素の供給により高温溶融されスラグとメタルになる。一方，熱分解ガスからは，洗浄と改質を行って金属水酸化物，硫黄，混合塩等が回収されるとともに、塩化水素、硫化水素、ばいじん等の不純物を除去したガスは，ガスエンジン等を用いた発電に利用される。 ガス化改質方式であるサーモセレクト方式は，1992年に第一号機（100ｔ/日）がイタリアで稼働している。

（出典）メーカパンフレット等より抜粋
注）概要については概念図に示す代表技術について示す

19）　洗い出し

項目	種類	機種
洗出し	砂利・岩石・鉱石	ドラムウォッシャー
	重金属汚染土壌 混合廃棄物	磨砕処理装置
	排ガス洗浄	排ガス洗浄装置（スクラーバー）

出典：メーカーHP より抜粋

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ

No. 741　　June 2013

編集・発行　©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課　　電話:046-844-5019