

環境研究総合推進費 次世代事業(補助金)

【重点課題4】 災害・事故に伴う環境問題への対応に貢献する研究・技術開発

『震災からの迅速復旧ためのレジリエントな 最終処分場の実用化』

(3J173001)

研究代表者

九州大学大学院工学研究院

教授 島岡 隆行

研究組織

九州大学 ・ 安藤ハザマ ・ 三友プラントサービス

報告内容

1. 研究の背景及び目的

2. 研究の内容及び体制

3. 主な成果

課題1：埋立用材の調整

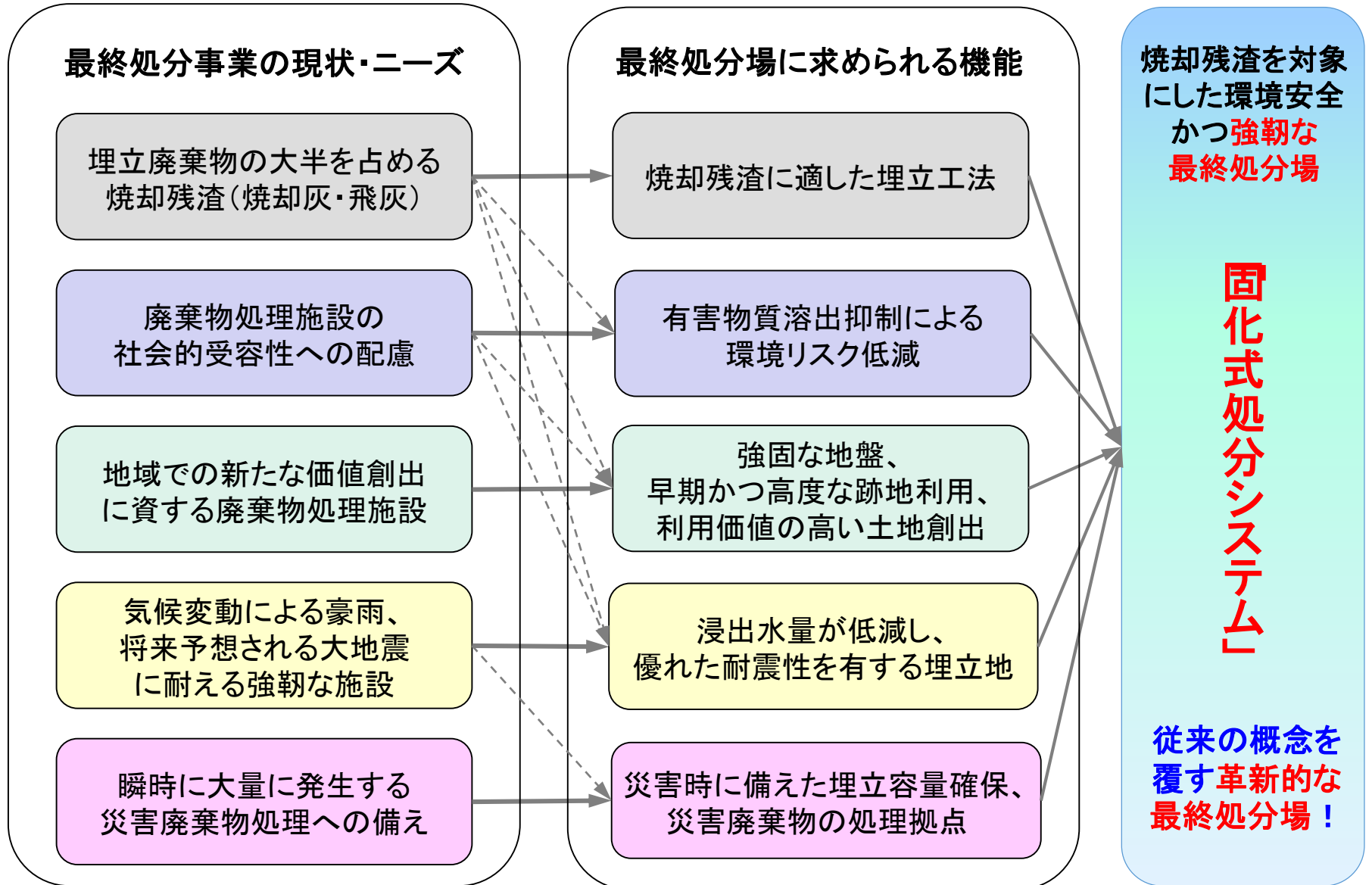
課題2：施工性と埋立地盤特性

課題3：耐久性と環境影響評価

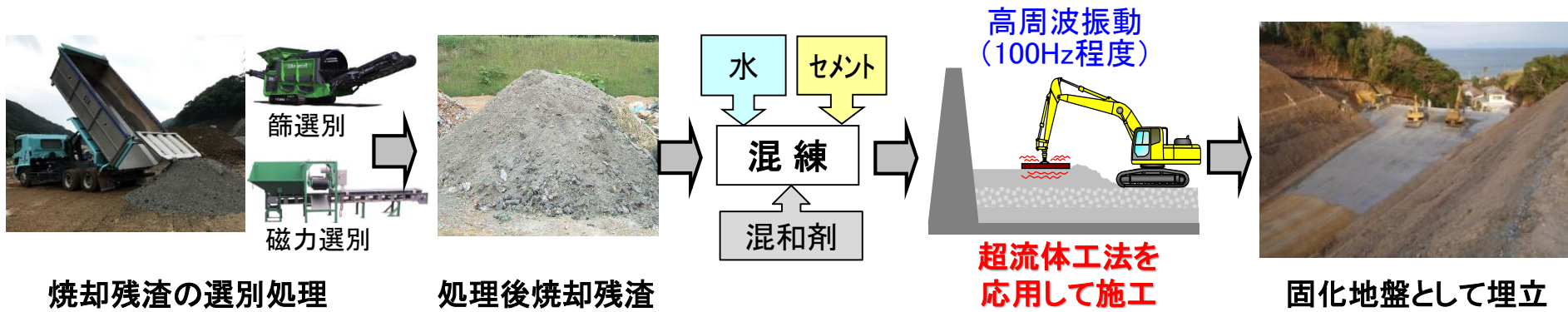
課題4：経済性評価

4. まとめ

1. 研究の背景及び目的



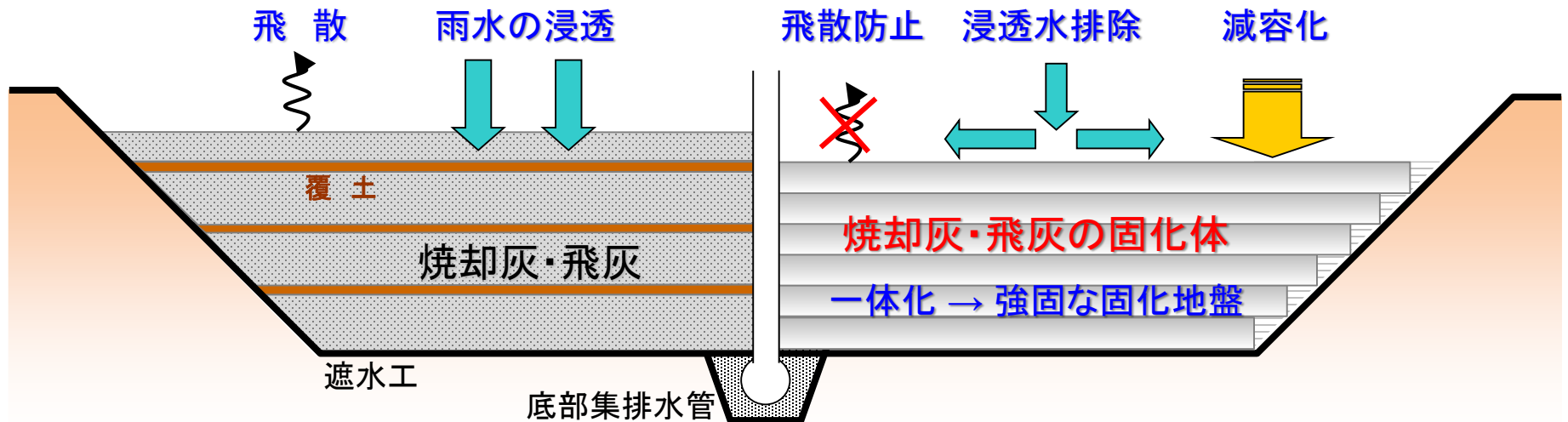
廃棄物固化式処分システムとは？



従来型処分場

VS

固化式処分場

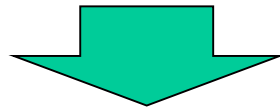


固化式処分システムの機能と到達目標

- ① **強固化** → 耐震性の向上 → 廃棄物処理システムの強靱化
→ 地盤改良せずに高度な跡地利用 } 5 N/mm²以上
- ② **減容化** → 埋立容量の増加(延命化) } 減容化率20 %以上
- ③ **飛散防止** → 覆土不要 → 埋立容量の増加
→ 飛散による汚染リスクゼロ
- ④ **浸透抑制** → 浸出水量低減(豪雨への対応) 透水係数 10^{-7} cm/s以下
→ 有害物質の溶出抑制 → 環境汚染リスク低減 放流水水質基準以下
→ 早期廃止、跡地利用の早期化
→ ライフサイクルコスト低減 従来型以下のコスト

行政ニーズ/環境政策への貢献

1. 社会的受容性の高い固化式処分システムの実現により、最終処分場は過疎地につくる**迷惑施設**から、**都市型処分場**へと移行する。廃棄物の発生地点と終着地点の距離が短くなり、**受益と受苦の乖離の解消**に寄与。
2. 立地条件が良い都市型の固化式処分場において創出された**環境安全かつ強固な土地の価値は高く**、高度な跡地利用により**経済的便益**を生み出すことができる。
3. 固化式処分場の跡地には、中間処理施設を建設することもできる。固化式処分場は**地域循環圏の拠点**として効率的な廃棄物処理にも貢献する。
4. 巨大地震にも耐える強固な地盤を活かし、地盤改良なしに大型選別装置や仮設焼却炉を設置でき、**災害廃棄物二次仮置場**と**リサイクル・中間処理の場**として機能する。**迅速な復旧・復興**に貢献する。



固化式処分システムの社会実装により、廃棄物処分事業は、**環境安全かつ強靱な地盤を創造する革新的な事業**となる。

2. 研究の内容及び研究体制

最終処分、焼却残渣の研究実績が豊富で各種分析装置を保有する『九州大学』、石炭灰固化研究、施工実績が豊富な『安藤ハザマ』、プラント設計・建設実績の豊富な『三友プラントサービス』の共同研究体制

課題	研究テーマ	実施年度	到達目標	実施概要	研究分担
課題1 埋立用材の調整	(1) 材料	H29-R1	前処理システム、最適示方配合決定手法の確立	<ul style="list-style-type: none"> 焼却残渣の固化に最適な粒度への調整(磁力選別、篩選別) 焼却残渣の性状変動に対応した最適示方配合 実規模のバッチャープラント設計 	安藤ハザマ 三友プラントサービス
課題2 施工性と埋立地盤特性	(2) 施工性	H29-R1	実証規模 $>3 \text{ m}^3$	<ul style="list-style-type: none"> 固化式埋立処分の実証施工(模型槽) 固化式埋立処分の打設速度、打設圧の検討 	安藤ハザマ 三友プラントサービス
	(3) 埋立地盤特性	H29	減容化率 $>20 \%$	<ul style="list-style-type: none"> 固化式処分の適用による減容効果 	九州大学 安藤ハザマ
課題3 耐久性と環境影響評価	(4) 耐久性	H29-R1	埋立地盤強度 $>5 \text{ N/mm}^2$	<ul style="list-style-type: none"> 打設時の遮水シートへの負荷量 一軸圧縮強度、透水係数 固化地盤の長期耐候性、潮解性、物質移動 	九州大学 安藤ハザマ
	(5) 環境影響	H29-R1	重金属溶出量 $<$ 放流水質基準	<ul style="list-style-type: none"> 溶出試験、含有量試験、細孔溶液、細孔隙分布計測 表流水、浸出水の水質、水量、水収支把握、埋立ガス分析 ガス発生のパテンシャル、影響評価 	九州大学 安藤ハザマ
課題4 経済性評価	(6) 経済性	H29-H30	ライフサイクルコスト $<$ 従来型処分	<ul style="list-style-type: none"> 従来システムとのLCC比較 跡地利用便益の算定 	九州大学 安藤ハザマ 三友プラントサービス

3. 主な成果

課題1：埋立用材の調整

課題2：施工性と埋立地盤特性

課題3：耐久性と環境影響評価

課題4：経済性評価

課題1：埋立用材(焼却残渣)の調整

① 磁力選別および篩選別による鉄分等の粗雑物(混練不適物)の除去

福岡市の処分場で一般廃棄物焼却残渣を用いた実証試験を実施



焼却灰 (51 t)



飛灰 (17 t)



磁力選別(焼却灰のみ)



大寸法
固形物

鉄分

選別後
(40mm篩下)

磁力選別された鉄分及び篩選別

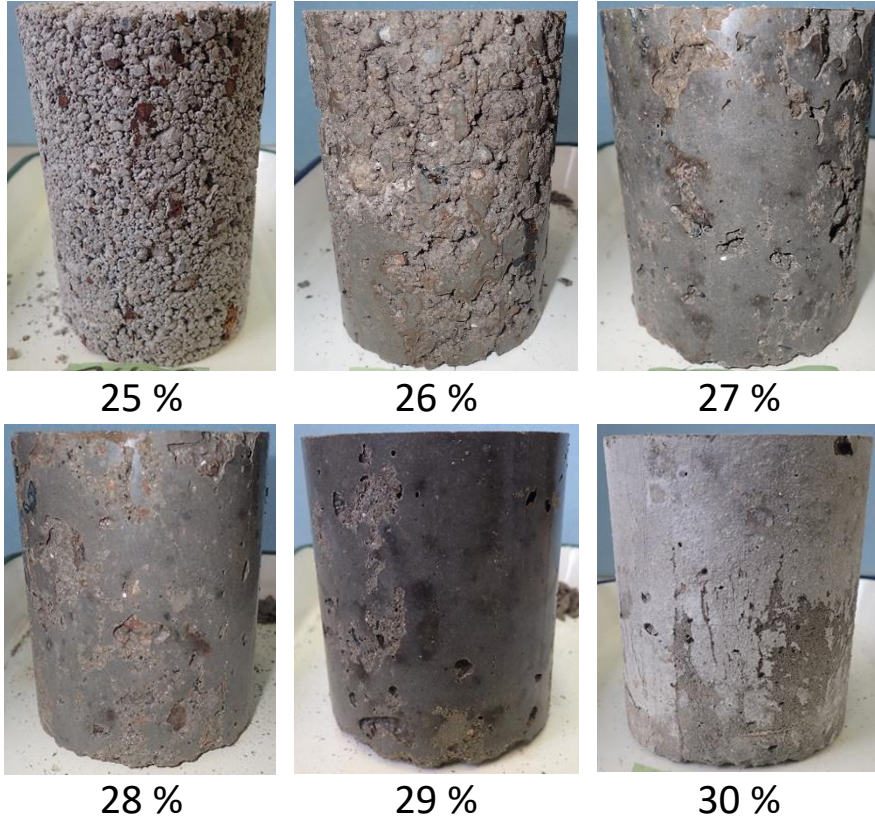
実証試験結果

項目	単位	選別前	磁力選別	篩選別	選別後
焼却灰	t (%)	51.0 (100.0)	3.3 (6.4)	1.0 (2.0)	46.7 (91.6)
飛灰	t (%)	17.0 (100.0)	-	0.2 (1.2)	16.8 (98.8)
選別速度	t/min	-	0.64	0.53	-

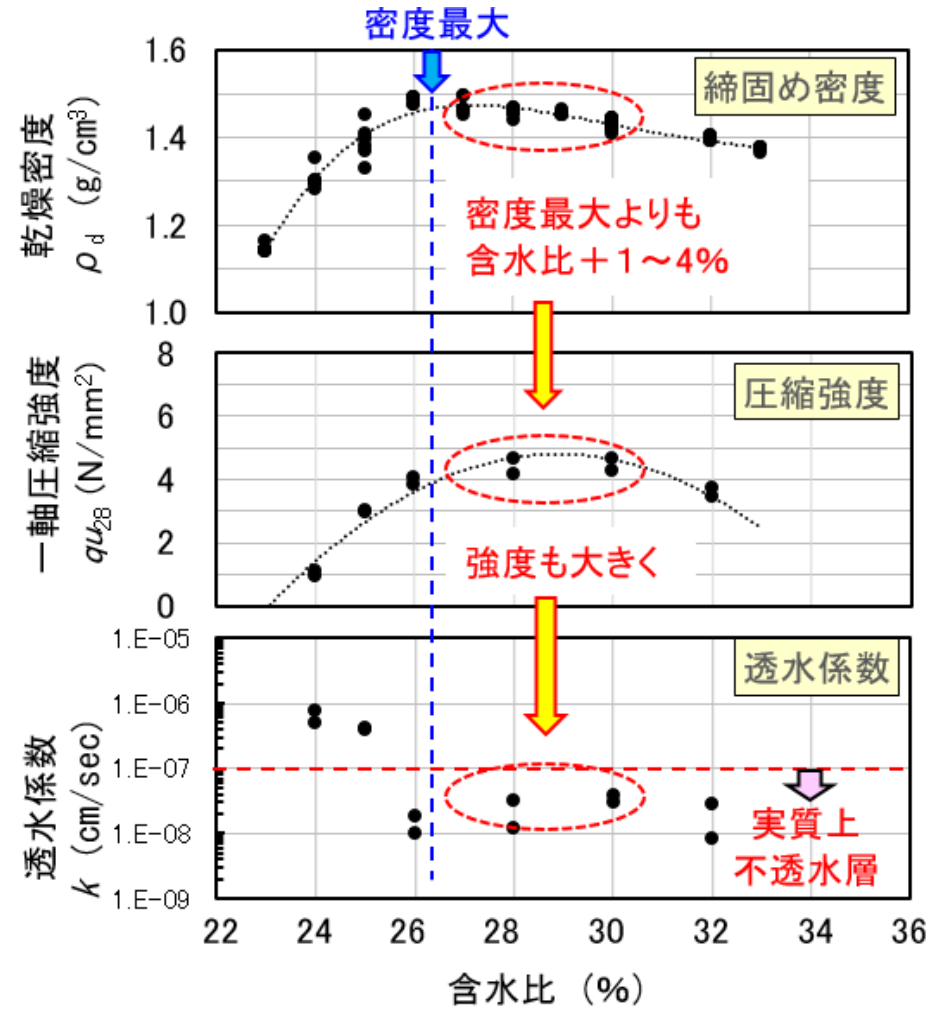
- 選別後の焼却灰及び飛灰の回収率それぞれ**92%**及び**99%**
- 選別速度は最終処分場に搬入された焼却灰及び飛灰の**即日選別が十分に可能**

② 一般廃棄物焼却残渣の性状に応じた最適示方配合

焼却施設や排出日により性状が異なる焼却残渣に対して最適な配合を適切に決定できる指標等を明らかにする。



配合時の含水比による固化体の相違



密度、強度、透水係数と配合時の含水比の関係

- 固化処理に適した含水比は、密度が最大となる含水比+1~4%。
- 簡易な小型テーブルバイブレータ試験で得られる密度最大時の含水比を指標に、一般廃棄物焼却残渣の性状に応じた最適示方配合を決めることができる。

③ 産業廃棄物焼却残渣の性状に応じた最適示方配合

「固化式処分システム」が産業廃棄物焼却残渣（産廃灰）にも適用可能かを検討した。



産廃灰S

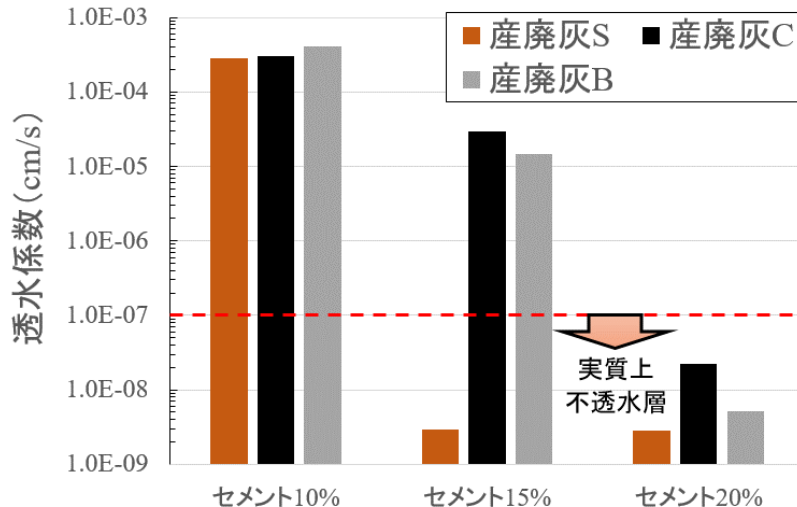
（産廃ロータリーキルン焼却灰）

産廃灰C

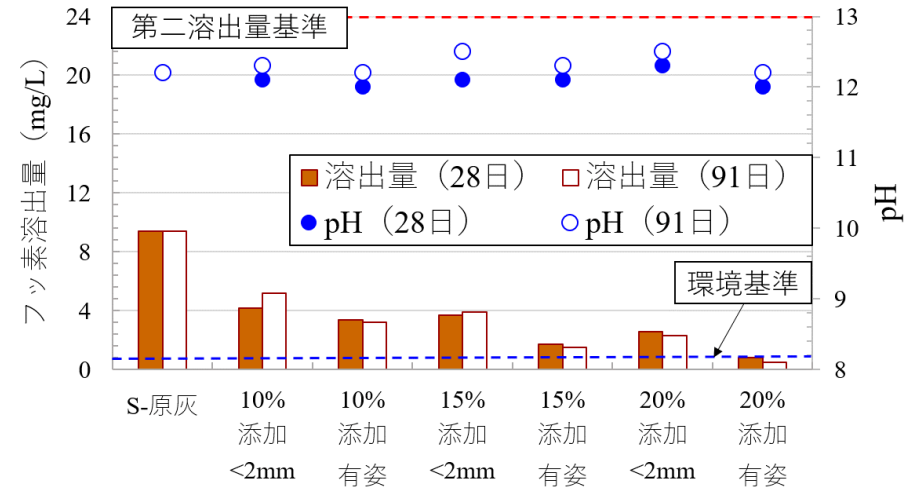
（産廃ロータリーキルン焼却灰）

産廃灰B

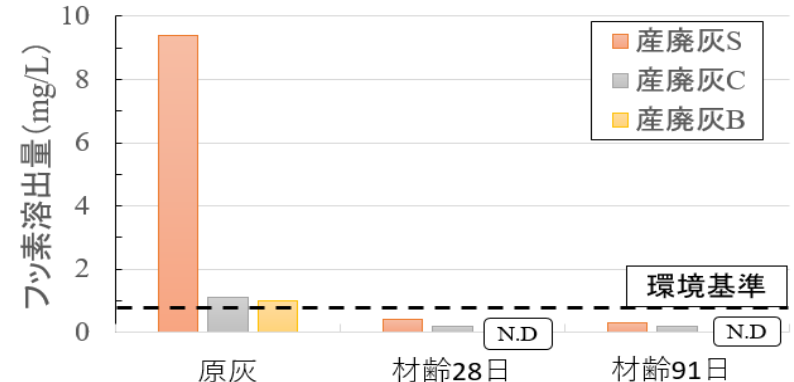
（木質バイオマス焼却飛灰）



透水係数とセメント添加率の関係



フッ素溶出量とセメント添加率の関係 (産廃灰S)

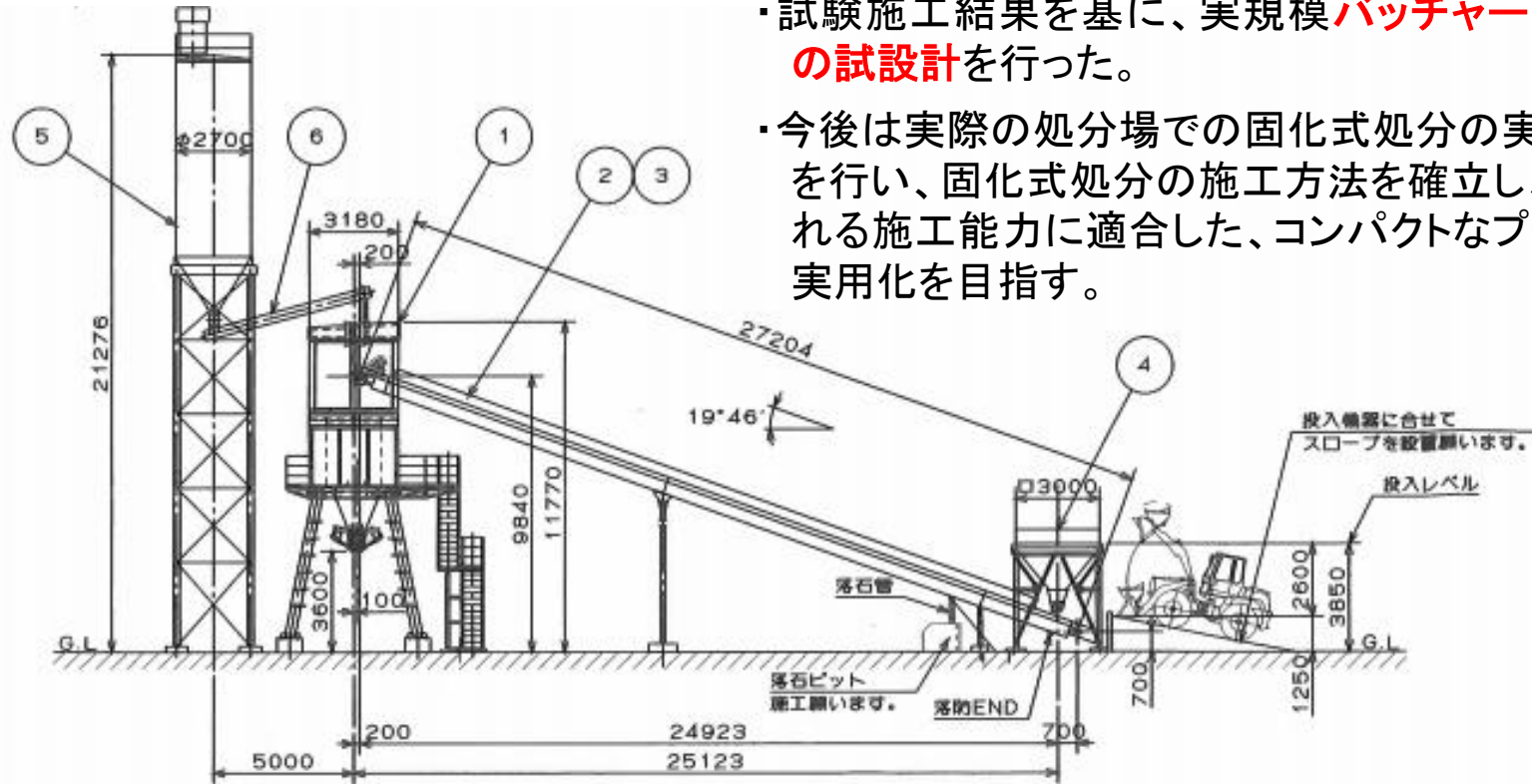


フッ素溶出量 (セメント10%+石炭灰10%)

- ・セメント添加率を20%程度にすることで開発目標を達成
- ・石炭灰の添加により、セメント量の削減、有害物質溶出量の大幅な低減が図れる。

④ バッチャープラントの設計

- ・試験施工結果を基に、実規模 **バッチャープラントの試設計**を行った。
- ・今後は実際の処分場での固化式処分の実証試験を行い、固化式処分の施工方法を確立し、要求される施工能力に適合した、コンパクトなプラントの実用化を目指す。



主要諸元表

No.	名 称	数量	動力	仕 様
①	バッチャープラント本体	1		STB-100P-4T
②	計量ベルトコンベヤ(砂利用)	1	7.5kW ×2	450W×90t/h 胴、フード、片歩履、側板、落防板、付 (ピーコントラス)
③	計量ベルトコンベヤ(砂用)	1	7.5kW	450W×80t/h 胴、フード、片歩履、側板、落防板、付 (ピーコントラス)
④	受材ホッパー	1	0.75kW ×3	6m³ パイプレータ、流量調整カットオフゲート、付
⑤	セメントタンク	2		50t(高架式)
⑥	計量スクリュー	2	3.7kW×2 0.75kW×2	50t/h ロータリーバルブ×2 付

課題2：施工性と埋立地盤特性



従来型処分

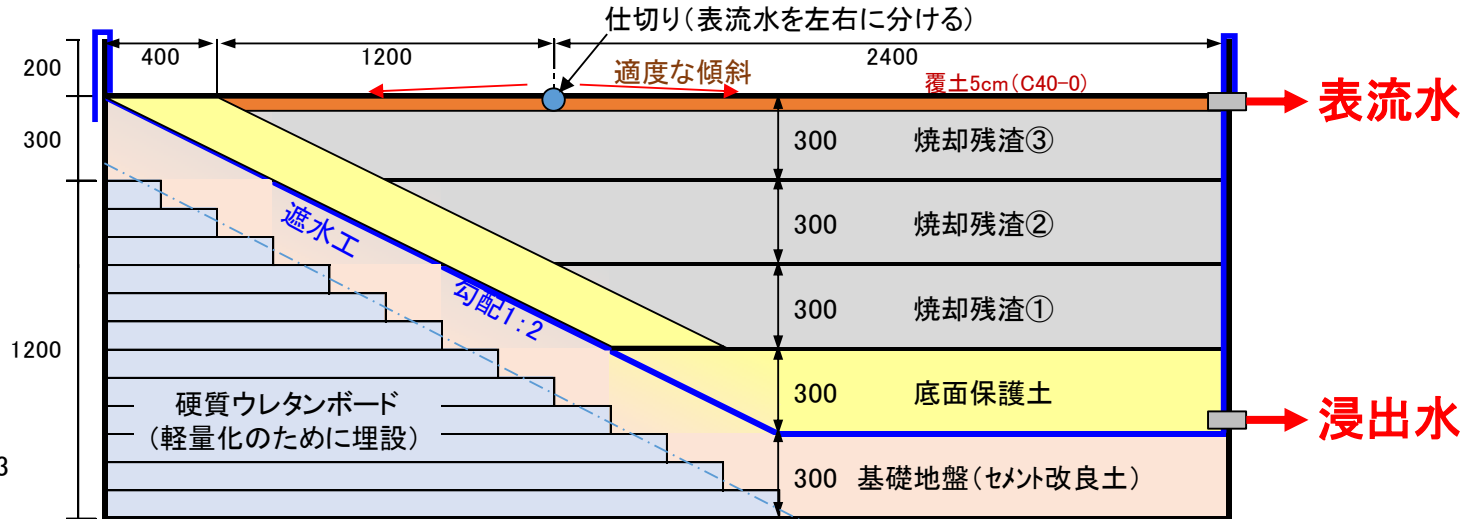
固化式処分

九州大学 屋外実験場、2017年8月8日竣工

埋立模型槽の断面図

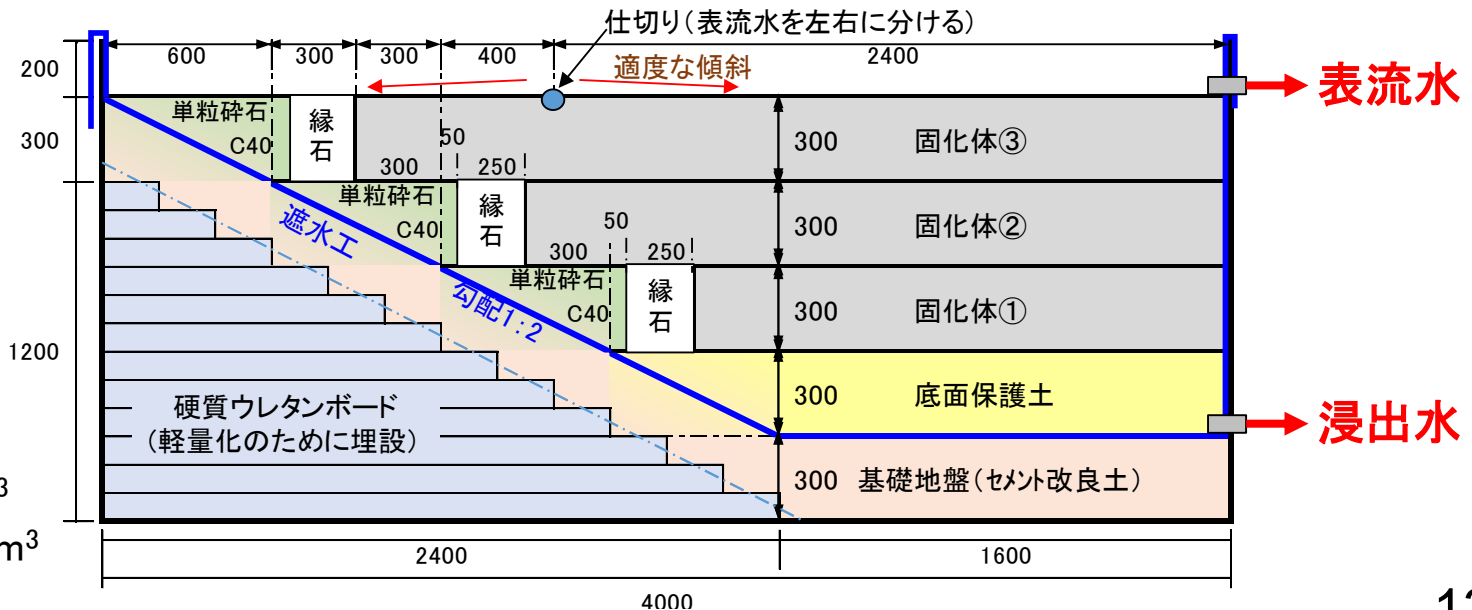
従来型

- ・ 充填質量:
焼却残渣 4.60 t
- ・ 充填密度:
焼却残渣 1.23 t/m³



固化式

- ・ 充填質量:
焼却残渣 4.53 t
+ セメント 5.04 t
- ・ 充填密度:
焼却残渣 1.27 t/m³
+ セメント 1.41 t/m³



① 施工性



焼却残渣、セメント、水の配合と混練

- ・焼却灰：飛灰＝3：1
- ・セメント添加率：10%
- ・含水比：28%



混練物の振動締固め

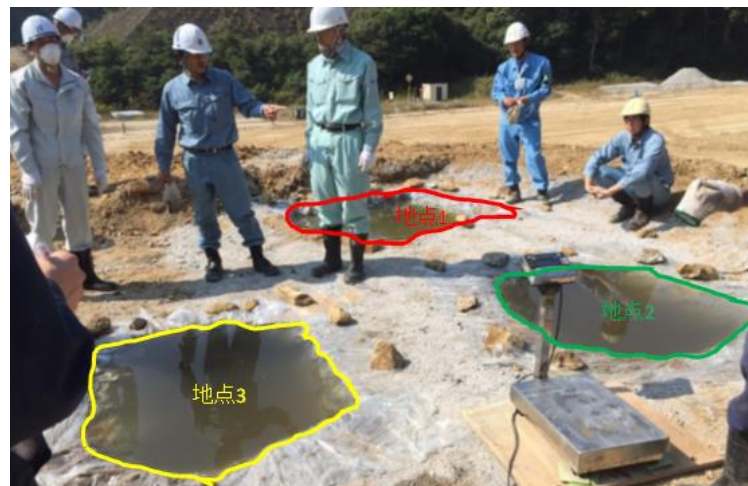
・約15～30秒/箇所



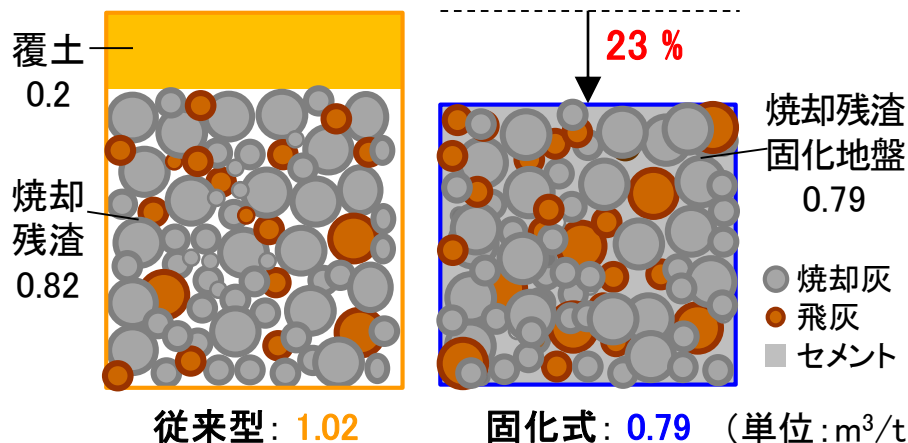
固化式処分の施工完了

- ・都市ごみ焼却残渣の**固化式処分の施工が問題なく可能**であることを**確認**

② 減容効果

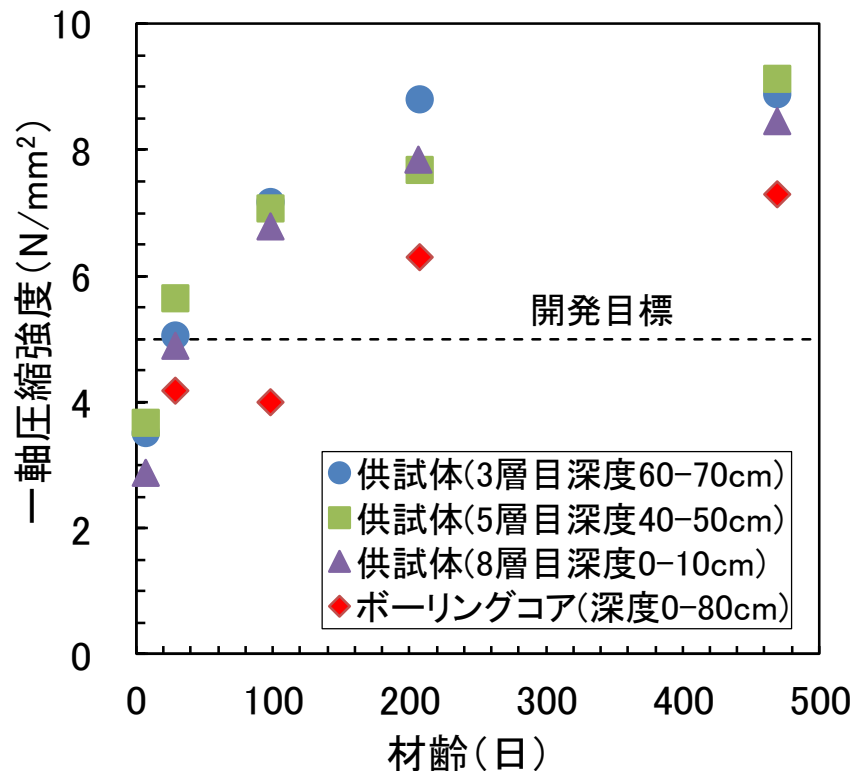


現場密度試験(水置換法)による従来型埋立地盤の密度の確認



固化式処分による減容効果: 約23%

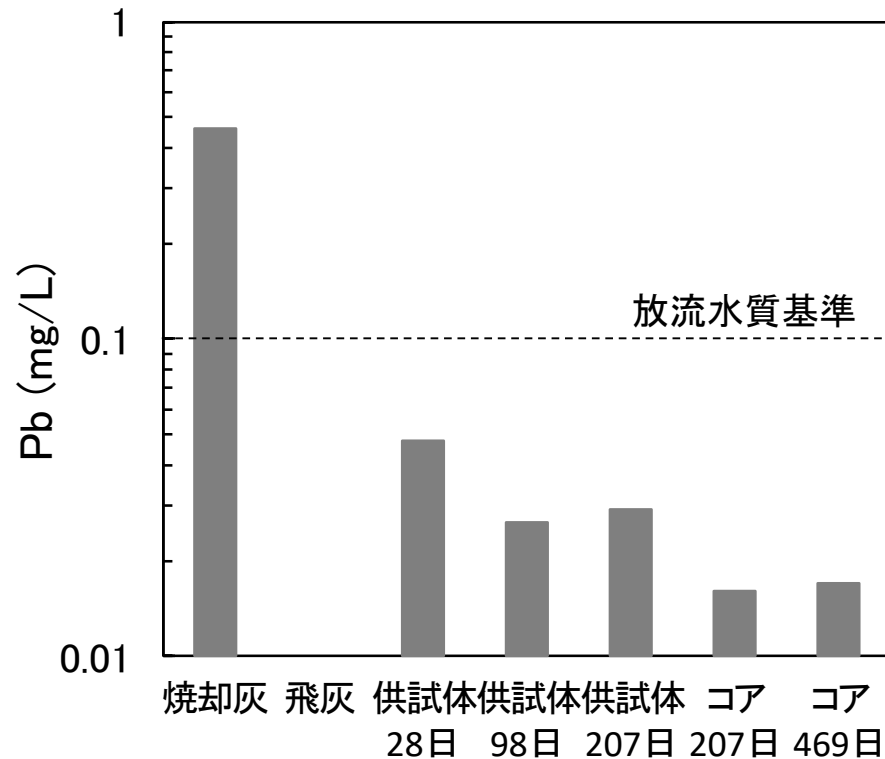
③ 一軸圧縮強度、飽和透水係数



一軸圧縮強度と材齢の関係

- ボーリングコアの強度は材齢とともに増加し、469日目に7.2 N/mm²に到達
- 透水係数は $1.9 \times 10^{-9} \sim 3.5 \times 10^{-9}$ cm/sであり、埋立地盤は実質上不透水層
- 強度、透水係数ともに開発目標を達成

④ 有害物質溶出濃度



鉛の溶出濃度

- 鉛、セレン、ふっ素の溶出が確認されたが、いずれの溶出濃度も放流水質基準以下であり、有害物質溶出濃度は開発目標を達成

⑤ 孔隙構造

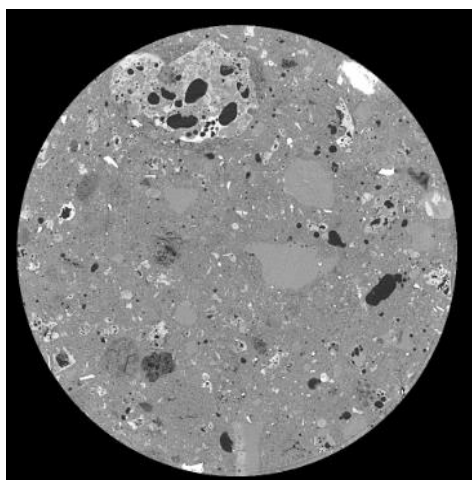
試料:



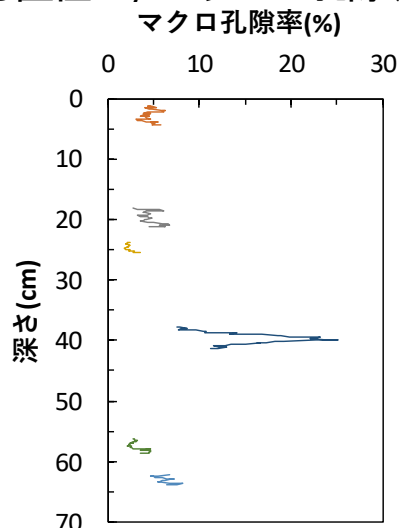
→ 深さ方向 ボーリングコアサンプル

マクロ孔隙

(マイクロX線CT法で把握できる直径47 μm 以上の孔隙)



マイクロX線CT画像

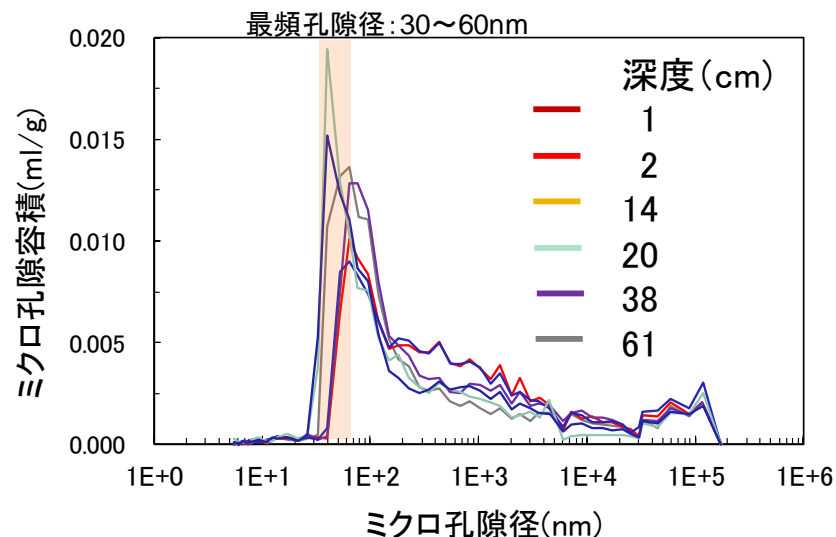


マクロ孔隙率の分布

- 深さ40 cm付近でマクロ孔隙率が高いのは、混練物が乾燥し、含水比が低下し、密実に締固まらなかったためであり、混練物の含水比管理は重要である。
- 締固め不良部を除くと、マクロ孔隙率は2~8%

ミクロ孔隙

(直径47 μm 以下の孔隙、水銀圧入法で測定)

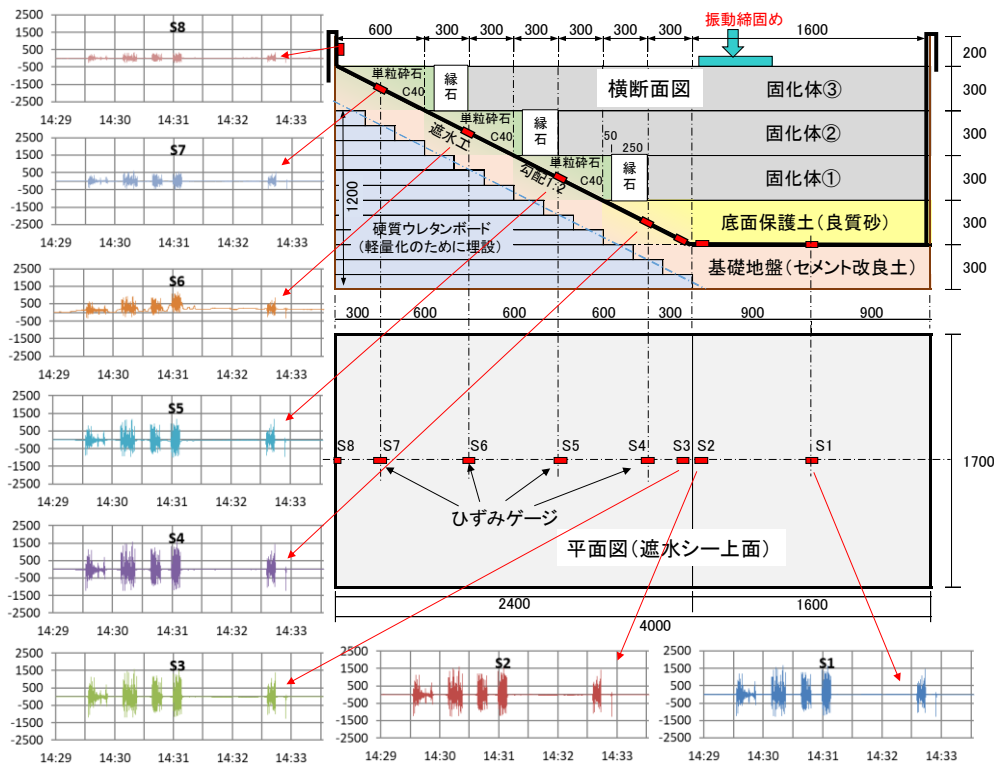


ミクロ孔隙径分布

- ミクロ孔隙の最頻孔隙径は30~60 nm
- 累積ミクロ孔隙容積は0.125 ml/g程度であり、ミクロ孔隙率は13~14%である。

課題3：耐久性と環境影響評価

① 打設時に遮水シートに及ぼす負荷



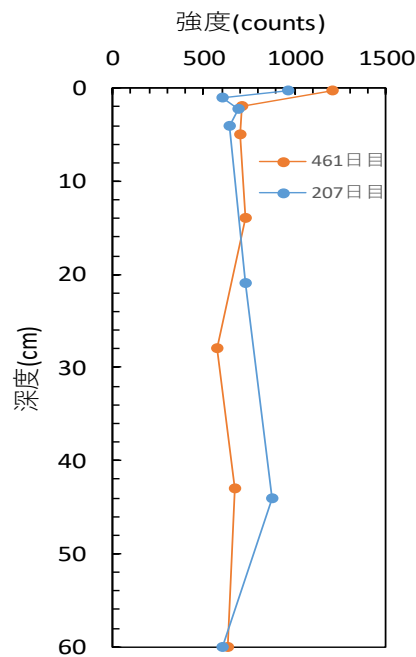
ひずみ測定結果 (横軸は時刻、縦軸はひずみ(μ))

- 固化式処分施工時のひずみは、最大2000μ程度であり、遮水シートに**問題を与えない**大きさであった。
- 固化式処分施工時における**遮水シートの引込み**等への悪影響は認められなかった。

② 長期屋外曝露の影響



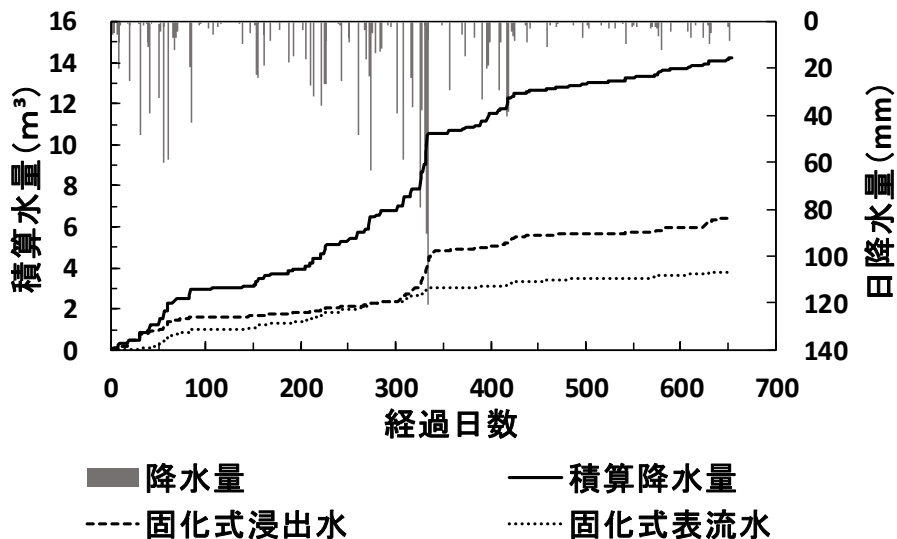
表層におけるポップアウトの発生



CalciteのXRD回折強度と深度の関係

- 表層にポップアウト発生、長期屋外曝露を受ける際には**表面の保護が必要**
- 表層は大気中CO₂による**炭酸化**を受けている。
- 表層以深では炭酸化の影響等は認められない。埋立地盤の**低透気性**が示唆された。

③ 水収支



固化式埋立模型槽における降水量および積算水量

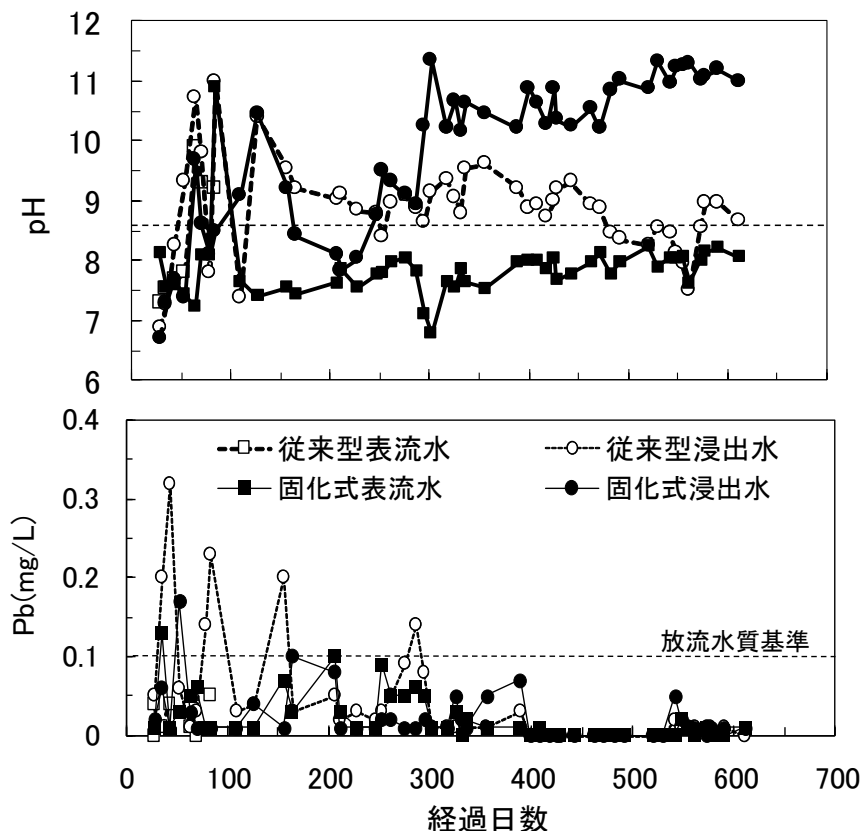
650日間の水収支 (単位: %)

	表流水	浸出水	蒸発量
固化式	26.8	45.2	28.0
従来型	0.004	49.1	50.9

※ 蒸発量は100%から表流水量と浸出水量の割合を引いたもの

- 水処理対象水(表流水+浸出水)の発生割合(浸出係数)は、**従来型51%**に対し、**固化式72%**
- 固化式では従来型に比べて表流水の発生が多くなる。

④ 表流水および浸出水の水質



pHおよび鉛濃度の経時変化

- 固化式表流水**: 初期を除き、**放流水質基準を満足した**。
- 固化式浸出水**: 鉛濃度は初期を除き、基準を満足した。**pHが上昇**傾向を示し、特に300日目付近で顕著に上昇した。

⑤ 間隙水の水質

間隙水(固化体を圧搾して得られた細孔溶液)の水質

項目	単位	コア採取日		放流水質基準
		98日目	207日目	
pH	—	11.3	11.1	5.0~8.6
水銀	mg/L	0.0018	0.019	<0.005
カドミウム		0.048	0.037	<0.1
鉛		0.23	0.82	<0.1
ヒ素		0.064	0.069	<0.1
シアン		<0.1	<0.1	<1
セレン		1	2.5	<0.1
フッ素		<0.08	24	<8

- **間隙水**のpH、水銀、鉛、セレンおよびフッ素濃度において放流水質基準を超過していた。
- 固化式処分の埋立地盤は実質上不透水層であるため、間隙水が外部へ流出することは考えられないものの、**間隙水は放流水質基準を満足しないものであることが確認された。**

⑥ ガス組成

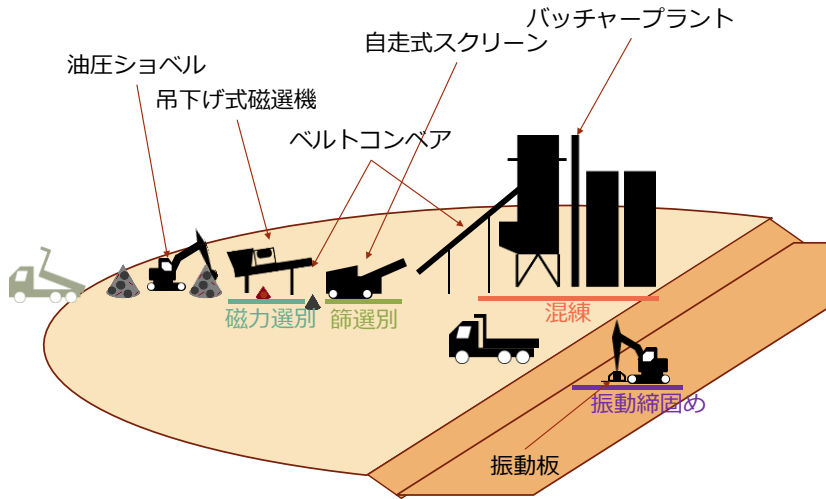
密閉して一定期間経過後のボーリング孔内のガス組成

(単位: %)

項目	ボーリング孔	
	#1	#2
N ₂	82.4	82.9
O ₂	16.8	16.2
H ₂	0.7	0.9
CO ₂	0.0	0.0
CH ₄	0.0	0.0
合計	100.0	100.0

- ガス組成は大気に近いものであり、埋立**ガスの活発な発生は認められなかった。**
- 少量ながらO₂の消費やH₂の発生が起きていることが推察された。

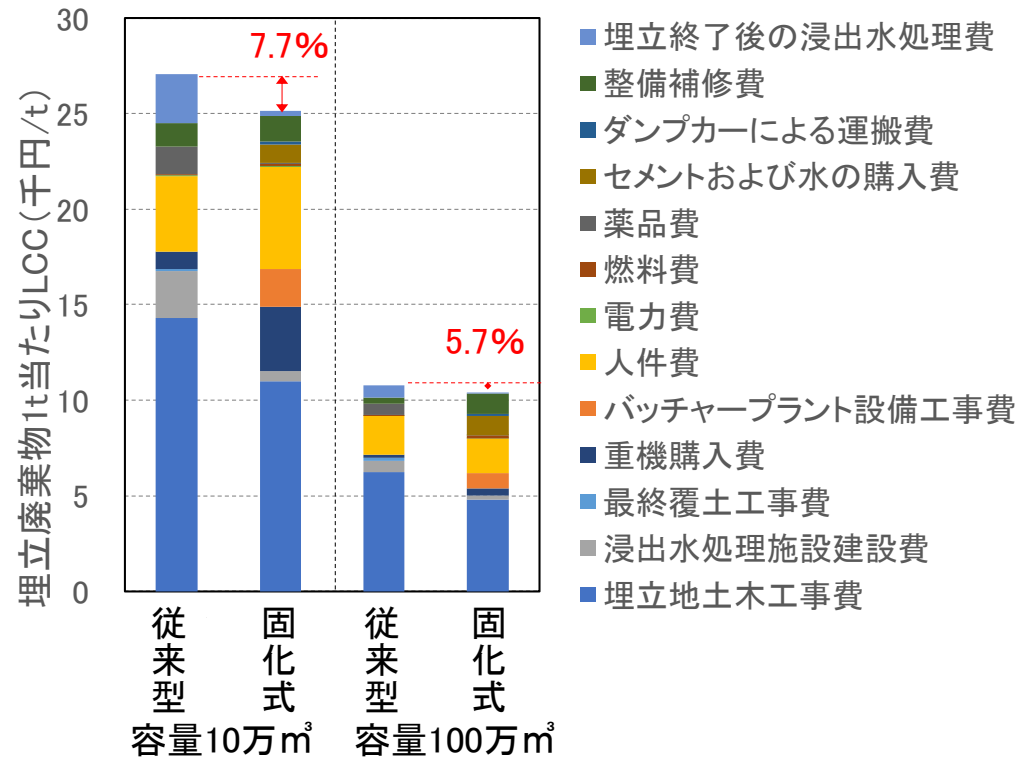
課題4：経済性評価



固化式処分場の前処理プロセスと必要設備

評価ケースの概要

項目	従来型 (小)	固化式 (小)	従来型 (大)	固化式 (大)
埋立容量 (千m ³)	100	100	1,000	1,000
埋立ごみ量 (千t)	141	183	1,410	1,830
供用期間(年)	20			
埋立終了後の維持管理 期間(年)	15	3	15	3



ライフサイクルコストの比較

- 固化式処分は、従来型に比べて、**経済的に有利**であることが示された。

4. ま と め

課題1：埋立用材の調整

- 固化式処分の前処理である**埋立用材の調整**(焼却残渣の粒度調整)の実証試験を行い、焼却残渣の選別率や選別速度を明らかにした。
- 振動締固め試験で得られる最適含水比を指標に、変動する一般廃棄物焼却残渣の性状に応じた**最適示方配合**を決めることができる。
- 産業廃棄物焼却残渣にも固化式処分の適用が可能であることが示された。

課題2：施工性と埋立地盤特性

- 一般廃棄物焼却残渣の**固化式処分の施工**は可能であることを実証した。
- **埋立地盤は開発目標を達成**(一軸圧縮強度 $\geq 5 \text{ N/mm}^2$ 、有害物質溶出濃度 \leq 放流水質基準、減容効果 $\geq 20 \%$)した。

課題3：耐久性と環境影響評価

- **長期間、屋外に曝露されると**表層にポップアウトが発生し、被覆等の対策が必要
- 固化式処分場が及ぼす**環境影響**(水収支、表流水水質、ガス組成)を明らかにした。

課題4：経済性評価

- 固化式処分は、従来型に比べて**経済的にも有利**である。



実用化に向け、処分場における実規模での実証試験など、さらなる研究が望まれる。 21

ご清聴、ありがとうございました。