

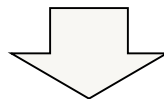
除去土壌再生利用実証事業について

環境省
中間貯蔵施設チーム

実証事業の概要

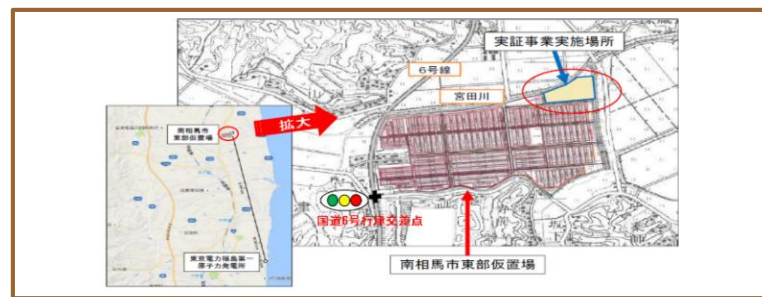
【目的】

中間貯蔵開始後30年以内の県外での最終処分に向けて、再生資材化した除去土壌の安全な利用を段階的に進めるため、再生資材化を行う工程上の具体的な放射線に関する取扱方法及び土木資材としての品質を確保するためのあり方の検討を進めることを目的とする。



【盛土実証試験概要】

- 業務名称:平成28年度除去土壌再生利用実証事業
- 発注者:環境省 福島地方環境事務所
- 受託者:除去土壌等減容化・再生利用技術研究組合
- 業務期間:平成28年12月2日～
- 実施場所:南相馬市小高区耳谷字南谷地120～129-3地内(東部仮置場内)
- 概要:
 - ・福島県南相馬市の仮置場内で、再生資源化実証試験および試験盛土を施工
 - ・必要な飛散・流出防止対策を講じながら、再生資源化した除去土壌等を用いた盛土構造物を造成し、その後、一定期間盛土構造物のモニタリングを実施(なお、盛土構造物はモニタリング終了後、撤去)

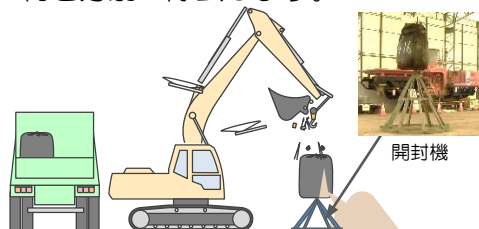


実証事業の概要 (2/4)

1. 再生資材化実証工程(平成29年4月～)

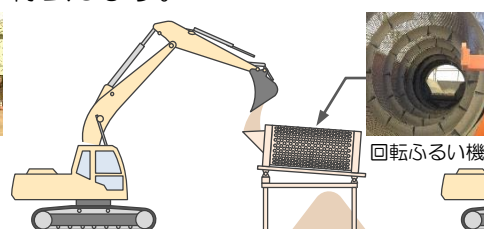
① 土のう袋の開封・ 大きい異物の除去

大型土のう袋を開封し、大きな異物を分別・除去します。



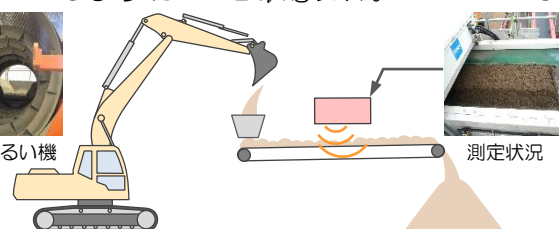
② 小さな異物の除去

ふるいでより小さな異物を分別・除去します。



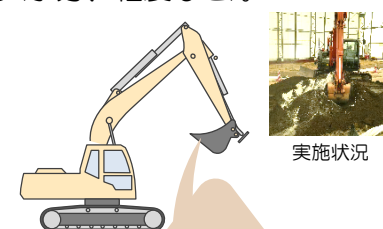
③ 濃度分別

放射能濃度を測定し、土壌を分別します(3000Bq/kg以下)。



④ 品質調整

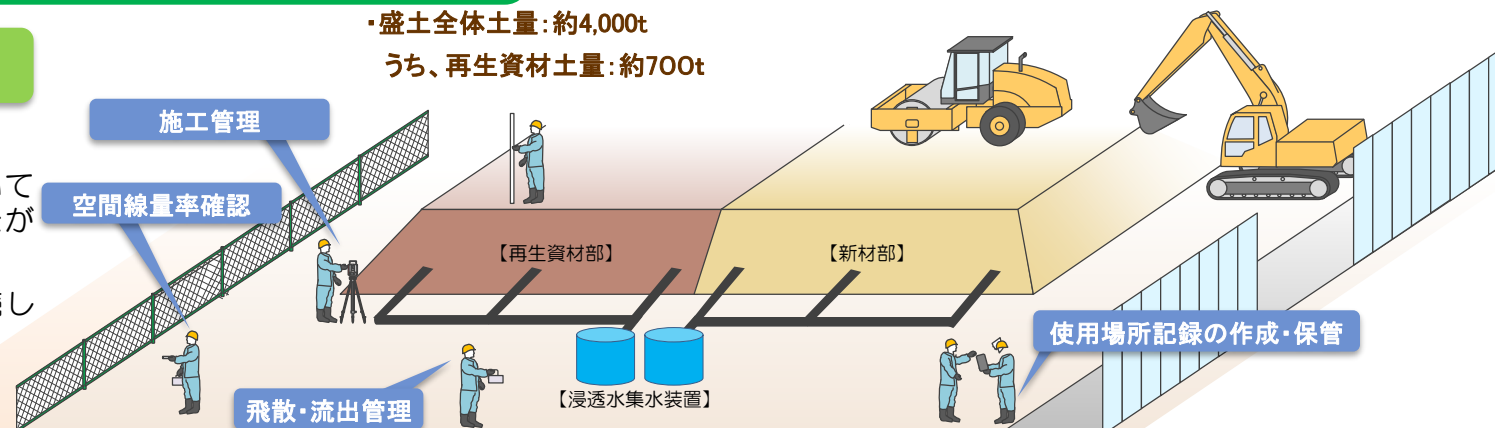
盛土に利用する土壌の品質を調整します(水分、粒度など)。



2. 試験盛土工程(平成29年5月～)

⑤ 試験盛土の施工・ モニタリング

- 試験盛土を施工します。
- 盛土の高さ、形状等については、地盤の状況を観察しながら決定します。
- 空間線量などの測定を続けます。



実証試験概要図

実証事業の概要 (3/4)

【試験状況写真】

平成29年5月12日撮影

再生資材化実証プラント

試験盛土ヤード

水処理プラント

a. (受入時)スクリーニング

車載型放射能濃度測定装置

放射能計測駆動装置付小型移動式クレーン

屋外用Ge検出器

重量・放射能濃度測定装置

b. 破袋・一次分別 (大きい異物の除去)

破袋状況

一次分別 スケルトンバケット (100mmふるい)

分別した異物の一例

異物 100mmオーバー (ブロック、岩石等)

異物 100mmオーバー (原木類、薪炭材、落葉等)

c. 改質・二次分別 (小さな異物の除去)

土壌改質 (本機改良機による改質材混合)

トロンダル内部

二次分別 (可搬式トロンダル: 20mmふるい)

土壌等 20~100mm (300×400×20mmふるいを通す)

d. 濃度分別

放射能濃度分別

高濃度土壌

低濃度土壌

e. 試験盛土の施工

再生資材

新材

平成29年5月31日撮影

30cm×2層 基準50cm

モデル施工状況

転圧試験

線量測定

実証ヤード全景と各試験状況

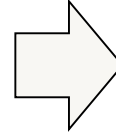
実証事業の概要（4/4）

【視察・見学会等への対応】

9月29日時点

67件（来訪者数：約750名）

- ・近隣住民・市民
- ・学生（福島高専、留学生等）
- ・自治体、関係省庁
- ・専門家
- ・海外視察団 など



理解醸成の一助

⇒今後の利用促進に向けた活動に繋げていく。

【工程（実績・予定）】

表1-1 工程表

工 種	内 容	平成28年度				平成29年度					
		12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
準備・片付工	・敷鉄板工 ・ヤード造成 ・遮水シート工 ・水処理設備工 他										
再生資材化処理工	・テント工 ・設備設置撤去 ・再生資材化処理										
盛土実証試験	・試験盛土 ・改質材・改良材添加土の 施工性確認試験 ・土質試験										
放射線計測等	・大気 ・盛土浸透水、排水 ・身体										

技術的確認項目

- 再生資材化試験
- 試験盛土
- 放射線管理

再生利用実証事業の工程に応じた 技術的確認項目（1/2）

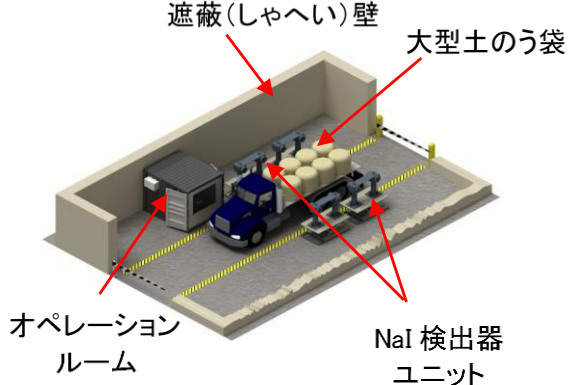
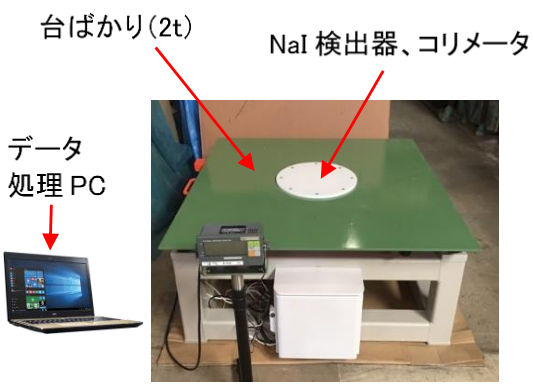
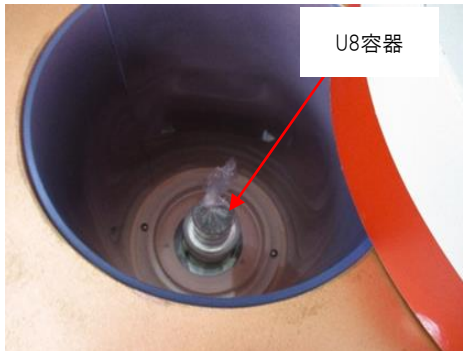
技術的確認項目		実証事業工程	再生資材化処理 (前処理、品質調整)工程				試験盛土工程		評価内容 (手引きへ活用)
確認項目		確認方法	受入れ	破袋	分別処理	品質調整	造成中	造成後	
再生資材化試験	スクリーニング方法 (受入時)	・表面線量測定 (タグ情報と比較) ・放射能濃度測定 (タグ情報と比較)	●	—	—	—	—	—	有効な受入時のスクリーニング方法
	スクリーニング方法 (分別・品質調整後)	・放射能濃度連続測定	—	—	●	●	—	—	妥当性のある検査ロット、頻度、手法
	土木資材としての品質・適用性	・土質試験 ・溶出試験(各種添加剤によるCs等溶出への影響)	—	● 土質	● 土質、溶出	● 土質、溶出	—	—	要求品質の確認方法
	設備等の処理性能	・稼動状況の記録 (トラブル事例含む) ・添加剤投入前後の変化を目視	—	●	● 添加剤等性能	● 添加剤等濃度分別機性能	—	—	大規模化の際の必要事項等

再生利用実証事業の工程に応じた 技術的確認項目（2/2）

実証事業工程 技術的確認項目			再生資材化処理 (前処理、品質調整)工程				試験盛土工程		評価内容 (手引きへ活用)
確認項目		確認方法	受入れ	破袋	分別処理	品質調整	造成中	造成後	
	土質性状判断	・目視確認 (タグ情報と封入物) ・表面線量測定 (タグ情報と対比)	—	●	—	—	—	—	実測値とタグ情報の差異
試験盛土	再生資材のトレーサビリティ	・施工情報の記録	—	—	—	—	●	●	再生資材利用の記録・保存方法
	盛土の出来形	・造成計画・実績確認 ・目視確認 (形質変更有無) ・測量 (盛土安定性等)	—	—	—	—	●	●	施設管理方法
放射線管理	放射能収支	・放射能量測定	●	●	●	●	●	●	放射能収支
	作業上の放射線安全	・個人被ばく線量測定 ・作業場所の放射能濃度、雰囲気測定	●	●	●	●	●	●	作業者の安全性被ばく管理のあり方
	周辺環境の安全	・空間線量率測定 ・粉じん測定 ・浸出水等放射能濃度測定	●	●	●	●	●	●	再生利用の安全性

再生資材化試験 <スクリーニング方法（受入時）の検討（1/3）>

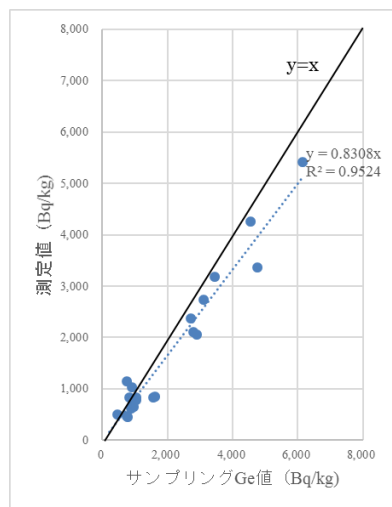
【放射能自動測定器の概要】

① 車載型放射能濃度測定装置	② 屋外用 Ge 検出器	③ 重量・放射能濃度測定装置
ダンプトラック荷台の側方に配置した NaI 検出器（4 台×2 列）により、荷台に積載したままの状態で大土のう袋毎の放射能濃度を測定	屋外用 Ge 半導体検出器により大土のう袋を回転しながら、大土のう袋 1 袋毎の放射能濃度を測定	大土のう袋毎に重量及び NaI 検出器により放射能濃度を測定し、タグ情報を手入力の上、測定結果を印字及びデータ登録
		
④ 放射能計測駆動装置付き小型移動式クレーン	⑤ 大土のう袋濃度測定車	(参考) サンプリング Ge
重機に備え付けた放射能計測駆動装置 (NaI 検出器 4 台) により大土のう袋 1 袋毎の放射能濃度を測定	4t ユニック車の荷台に備え付けた大型 NaI 検出器により、大土のう袋毎の放射能濃度を測定	サンプリング試料を U8 容器 (φ 50mm × 68mm) に詰めて、Ge 半導体検出器により放射能濃度を測定
		

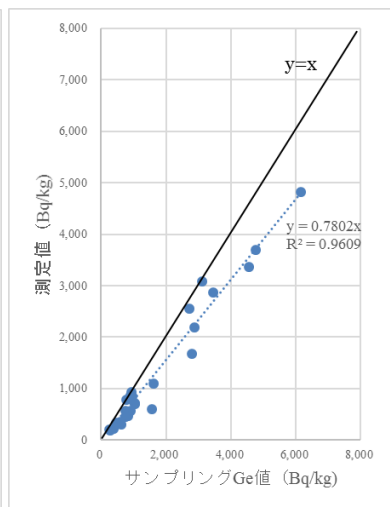
再生資材化試験 <スクリーニング方法（受入時）の検討（2/3）>

【各測定方法とサンプリングGeの比較】

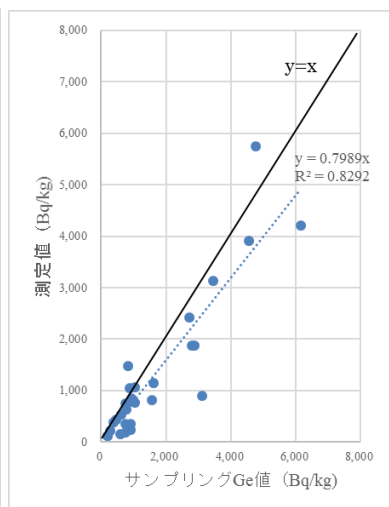
- 各測定方法とも、3種類の測定時間のうち、最も短い測定時間の結果を示す。
- 各測定方法の検出下限を下回る測定結果は、グラフに含めない。
- ④クレーン以外の測定方法は、「測定値/サンプリングGe」の平均値が1以下になり、サンプリングGe値より低い測定結果が出る傾向にある。
- サンプリングGeとの比較における留意点
 - サンプリングGeでは、U8容器に入らない50mm以上の異物を除去している
→異物は土壌と比較して放射能濃度が低い場合が多い
 - 破袋時に、大型土のう袋内の滞留水は回収できていない
→サンプリング試料の含水量が減少している可能性がある



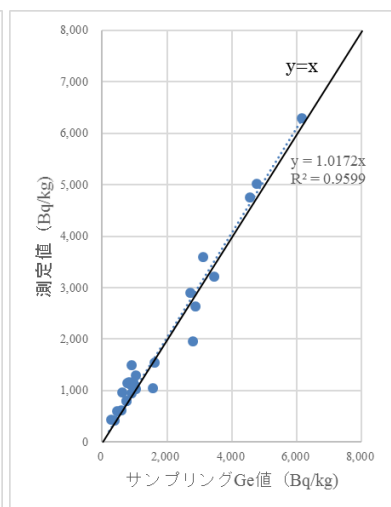
①車載型放射能濃度測定装置
測定時間: 30秒



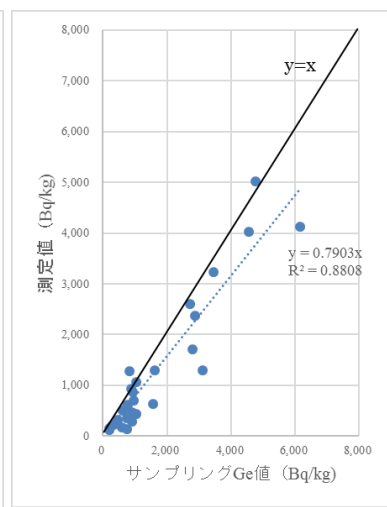
②屋外用Ge検出器
測定時間: 30秒



③重量・放射能濃度測定装置
測定時間: 60秒



④放射能計測駆動装置機能付き
小型移動式クレーン
測定時間: 15秒



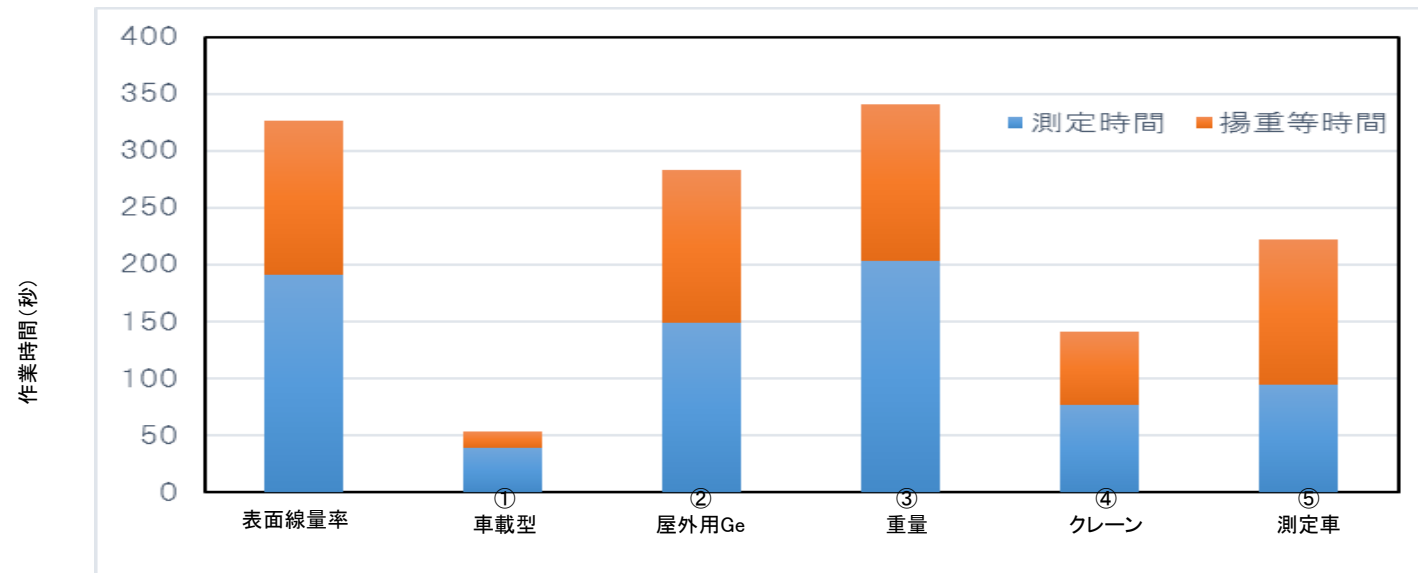
⑤大型土のう袋濃度測定車
測定時間: 15秒

各測定方法とサンプリングGe の比較

再生資材化試験 <スクリーニング方法（受入時）の検討（3/3）>

【測定に要する作業時間】

- 揚重作業等を含めた作業時間を計測した。
- 車載型放射能濃度測定装置は、5袋同時に測定できるため、1袋あたりに換算した。
- 1袋あたりの測定に要する作業時間は、車載型放射能濃度測定装置が50秒程度で一番短かった。



測定作業時間の比較

<スクリーニング方法(分別・品質調整後)の検討(1/4)>

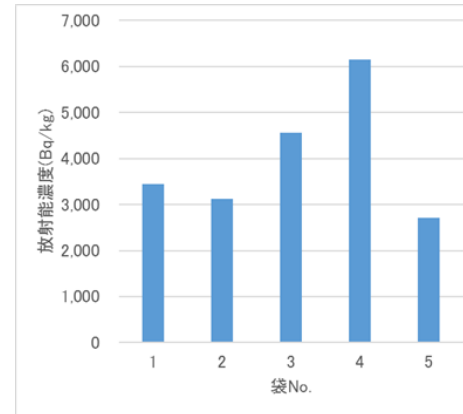
【詳細調査 サンプルングGe値】

- 詳細調査の対象とした大型土のう袋30袋について、各袋に封入されていた土壌の放射能濃度を測定した(袋毎に10点からサンプルングして混合し、代表試料1検体をGe半導体検出器で測定)。6ケースの概要及び30袋の測定結果を以下に示す。

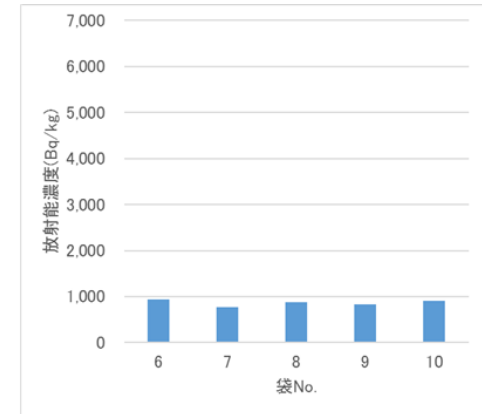
詳細調査の対象とした大型土のう袋30袋の概要

ケースNo.	袋体数	土壌の発生土地分類	放射能濃度相対レベル (タグ情報表面線量率情報より想定)	備考
1	5	住宅地	高	
2	5	住宅地	低	
3	5	大型施設	比較的高	粘性土対応として改質処理実施
4	5	大型施設	低	粘性土対応として改質処理実施
5	4	道路	低～高	
6	6	住宅地	低～高	

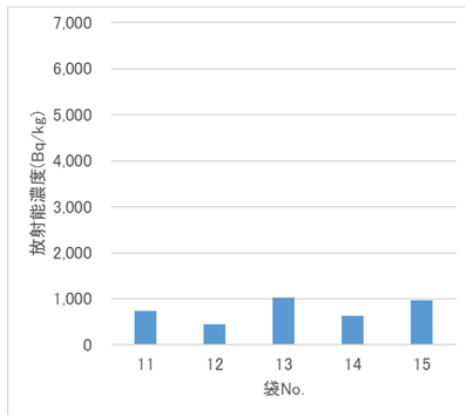
(合計 30袋)



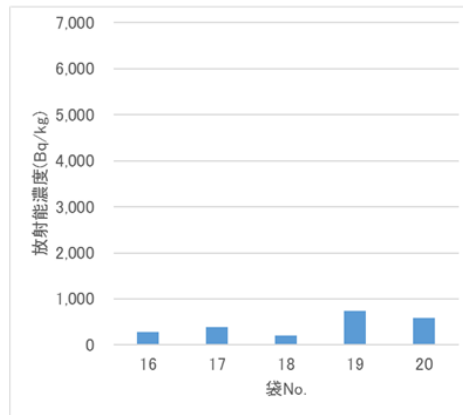
ケース1(住宅地、高レベル)



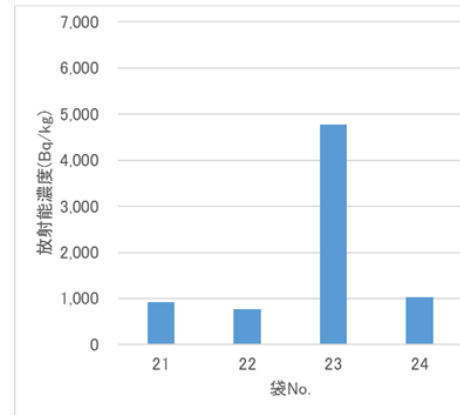
ケース2(住宅地、低レベル)



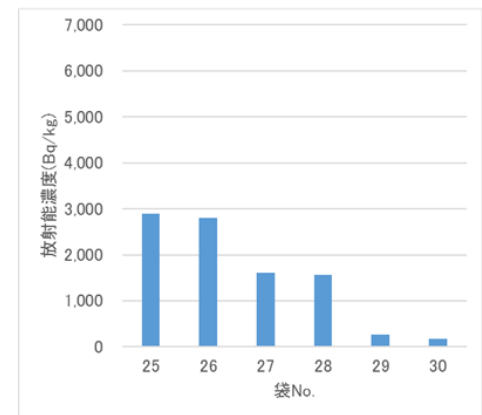
ケース3(大型施設、比較的高レベル)



ケース4(大型施設、低レベル)



ケース5(道路、低～高レベル)



ケース6(住宅地、低～高レベル)

<スクリーニング方法(分別・品質調整後)の検討(2/4)>

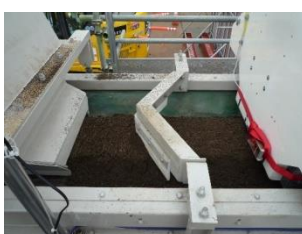
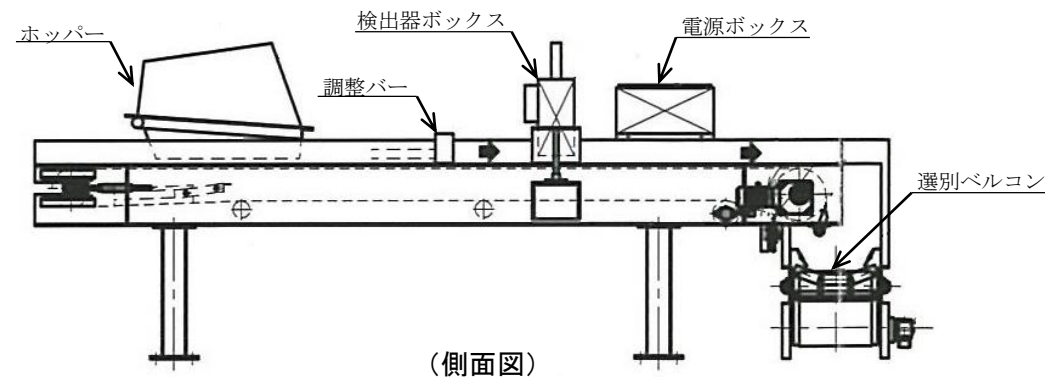
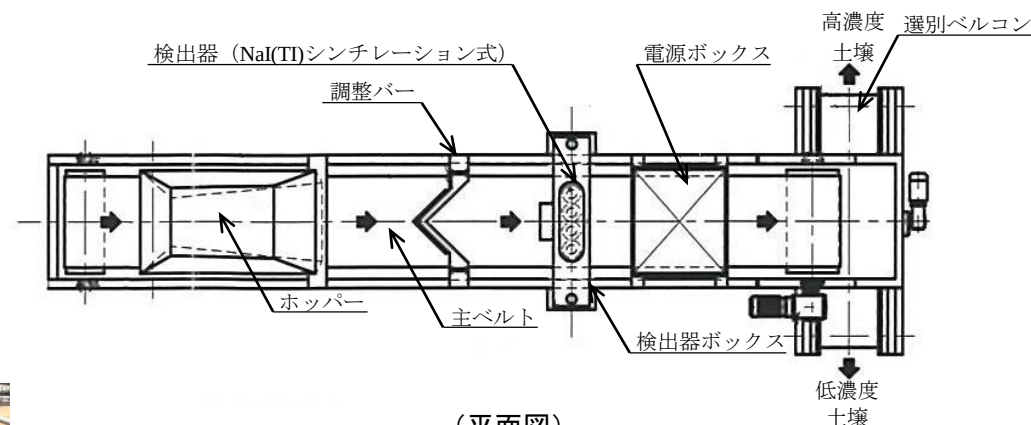
【放射能濃度分別機(放射能濃度連続測定装置)による測定について】

【概要】

- 分別処理や品質調整した土壌を放射能濃度分別機に投入し、1秒毎に放射能濃度を測定する。別途、測定対象土壌をサンプリングしてGe半導体分析器による放射能濃度を測定し、それらの結果を比較し、測定誤差を把握する。
- 放射能濃度分別機は、予め設定した閾値と測定値とを比較して、測定値が閾値よりも高い場合には高濃度側に、低い場合には低濃度側に土壌を搬送するという選別の仕組みとなっている。実際の挙動が測定値と閾値との関係と整合しているかを確認する。

放射能濃度分別機の仕様等一覧表

項目	仕様	備考
検出装置	Nal検出器4台	
時間当たり測定土量	13.9m ³ /h	主ベルト運送時の土壌高さ:12cm 主ベルト搬送速度:7.5cm/s
測定限界値	500Bq/kg	



(ホッパーへの土壌投入状況)

(主ベルト上 土壌搬送状況)

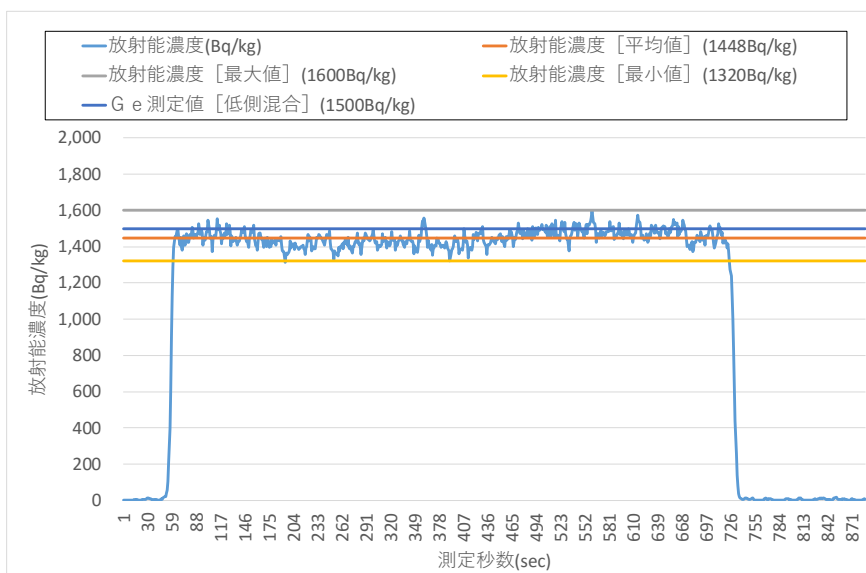
放射能濃度分別機による測定状況

放射能濃度分別機概要図

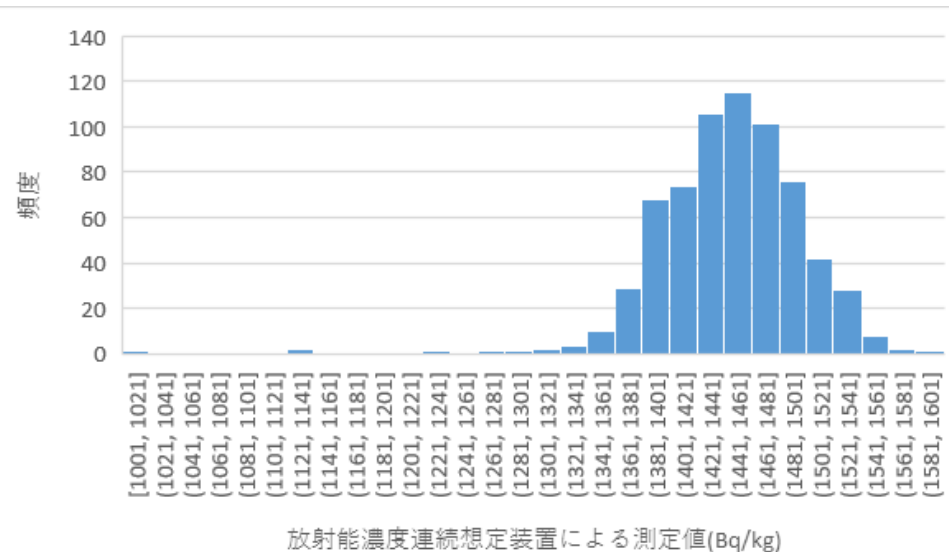
<スクリーニング方法(分別・品質調整後)の検討(3/4)>

【放射能濃度分別機による測定結果(その1)】

- ・ 分別処理及び品質調整の段階で放射能濃度を測定した。
- ・ 放射能濃度分別機による放射能濃度高濃度・低濃度の選別について、測定結果と閾値との関係に基づいて選別が行われていることを確認した。
- ・ 放射能濃度分別機の測定精度を確認するため、6つのケースについて、Ge半導体検出器による土壌濃度分析結果と比較した。
- ・ 比較の結果、放射能濃度が1,000Bq/kg以上の土壌に対し、20%以下程度の誤差で測定することを確認した。
- ・ また、今回採用した放射能濃度分別機が重量を計測する機能がないため、主コンベヤの単位長さ当りの土壌重量を土壌の搬送速度(一定)、搬送形状及びかさ密度を想定し、土壌濃度を算出している。このため、土壌の形状やかさ密度が事前の想定と異なる場合、測定精度が低下することを確認した。
- ・ ベルコン上を搬送される土壌の放射能濃度を1秒毎に測定した結果の例を以下に示す。



(測定値の経時変化)



(頻度分布)

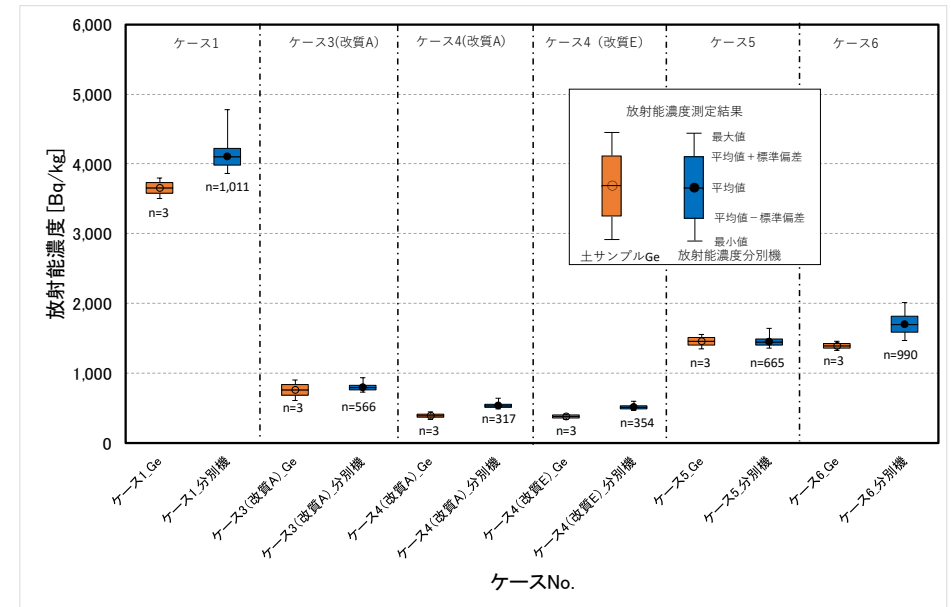
放射能濃度分別機による測定結果の例(ケース5)

<スクリーニング方法(分別・品質調整後)の検討(4/4)>

【放射能濃度分別機による測定結果(その2)】

- サンプリングした土壌のGe半導体分析器による放射能濃度測定結果(土サンプルGe値)及び放射能濃度分別機による放射能濃度測定結果を以下に示す。
- 土サンプルGeの平均値と放射能濃度分別機による測定値の平均値とを比較すると、放射能濃度が700Bq/kgを超える場合には下段に示す指標の値は1.0～1.2程度の範囲にあった。これに対し、700Bq/kg以下の場合には1.3～1.4程度の値であった。このことは、放射能濃度分別機による測定値が低濃度であるほど、バックグラウンドの影響が大きいと考えられる。

指標: $\frac{\text{放射能濃度分別機による測定値(A)}}{\text{土サンプルのGe測定値(B)}}$



ケース毎の放射能濃度測定結果

放射能濃度分別機による測定結果一覧表

詳細調査 ケースNo.	土サンプルのGe半導体分析器による 放射能濃度測定(土サンプルGe値)				放射能濃度分別機による測定				指標 (A/B)
	データ数N	測定値(Bq/kg)			データ数N	測定値(Bq/kg)			
		最小値	最大値	平均値 (B)		最小値	最大値	平均値 (A)	
1	3	3,550	3,720	3,657	1,011	3,760	4,660	4,104	1.12
3(改質A)	3	654	823	763	566	700	900	794	1.04
4(改質A)	3	364	418	387	317	480	620	534	1.38
4(改質E)	3	353	394	380	354	460	580	512	1.34
5	3	1,380	1,500	1,457	665	1,320	1,600	1,448	0.99
6	3	1,350	1,430	1,390	990	1,480	1,900	1,702	1.22

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(1/12)>

【対象とした大型土のう袋、製造した再生資材等】

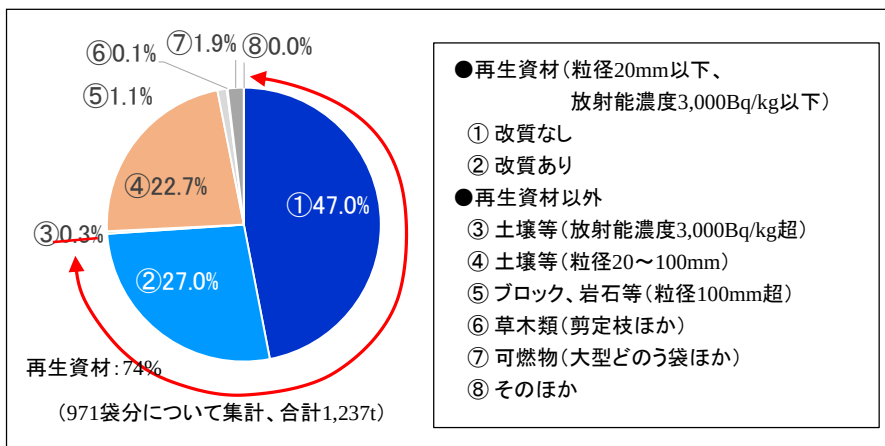
対象とした大型土のう袋数量一覧表

土壌の 土地発生分類	事前 準備	詳細 調査	通常 処理	合計
1_住宅地等	8	16	802	826
3_道路等	0	4	3	7
4_大型施設	0	10	157	167
11_仮置場	0	0	1	1
合計	8	30	963	1,001

- ・事前準備:放射能濃度分別機の校正等に使用
- ・詳細調査:大型土のう袋内にある土壌や異物等の重量、放射能濃度等を詳細に調査
- ・通常処理:一連の処理設備を用いて再生資材を製造

再生資材等製造量一覧表

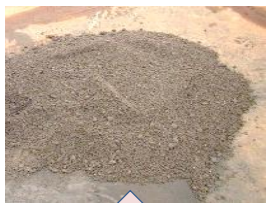
分類			重量(t)	割合
再生資材	改質なし		581.4	47.0%
	改質土	改質土(改質材A)	189.9	15.4%
		改質土(改質材E)	143.1	11.6%
		小計	332.9	
	小計		914.3	(73.9%)
再生資材以外	1_草木類(剪定枝、落葉他)		1.6	0.1%
	2_1以外の可燃廃棄物(タイベックス、ウエス、大型土のう袋他)		23.5	1.9%
	3_土壌等(土類、小石、砂利等)	二次分別処理20～100mm	281.1	22.7%
		放射能濃度分別機にて高濃度に判定された0～20mm	3.1	0.3%
	5_コンクリート殻等(ブロック、岩石等)	一次分別処理100mmオーバー分	13.3	1.1%
	6_アスファルト混合物		0.0	0.0%
	7_3,4,5,6以外の不燃・混合物(危険物・有害物を除く)		0.2	0.0%
	小計		322.7	(26.1%)
合計			1,237.0	100.0%



再生資材等製造量重量百分率

- 再生資材として利用可能なものは約74%
- 再生資材以外でも小石、砂利等の再生資材として利用可能なものが含まれており、資材化工程の改善により、再生資材として利用可能量を増やせる可能性あり

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(2/12)>

再生資材	 「改質なし」で分別	 「改質あり」で分別	二次分別
再生資材以外 (分別除去物)	 土壌等:20~100mm	 土壌等:20~100mm	(注)改質:二次分別(20mmふるい)を効率的に行うため、改質材を添加・混合
再生資材以外 (分別除去物)	 (草木類:木、枝)  (ブロック、岩石等)	 (可燃廃棄物:土のう袋)  (金属等)	一次分別

各種試料(再生資材及び分別除去物)の外観

- 含水が多く細粒分が多い土壌等は改質を行わなければ、二次分別工程で 20mm~100mmのレキ等除去物に汚染土が付着した状態(だま)になり、分別性能が悪くなることが確認された

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(3/12)>

【試験結果(抜粋)】

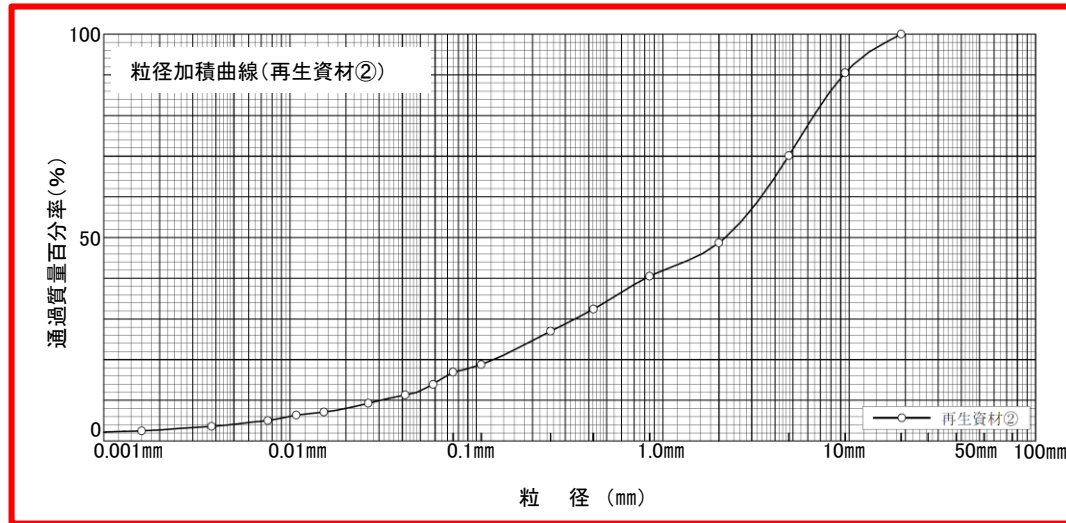
- ・ 粒度分布が良く、締固め作業上支障の無い土である事が確認できた
- ・ コーン指数は国土交通省の「発生土利用基準」でいう「第2種建設発生土」の基準800kN/m²を超えた結果が得られた(再生資材②及び新材①の粒径加積曲線を次ページに示す)

土質試験結果一覧

項目				試験結果(再生資材)				試験結果(新材)	
				再生資材①	再生資材②	再生資材③	再生資材④	新材①	新材②
一般	土粒子密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.657	2.641	2.649	2.636	2.655	2.636
	自然含水比	w_n	(%)	15.3	16.9	16.2	15.5	21.8	15.5
粒度	石分	75mm以上	(%)	—	—	—	—	—	—
	礫分	2～75mm	(%)	42.5	51.3	34.0	33.4	1.3	0.1
	砂分	0.075～2mm	(%)	41.3	31.8	45.3	40.9	77.9	71.1
	シルト分	0.005～0.075mm	(%)	11.1	12.8	15.2	18.6	13.0	23.1
	粘土分	0.005mm未満	(%)	5.1	4.1	5.5	7.1	7.8	5.7
	最大粒径	—	mm	19	19	19	19	19	4.75
	均等係数	U_c	—	100.54	109.61	63.86	92.66	21.04	13.11
	曲率係数	U_c'	—	2.59	1.11	1.15	1.22	9.27	3.55
分類	地盤材料の分類名			粘性土質 砂質礫	粘性土質 砂質礫	粘性土質 礫質砂	粘性土質 礫質砂	粘性土質砂	粘性土質砂
	分類記号			(GCsS)	(GCsS)	(SCsG)	(SCsG)	(SCs)	(SCs)
締固め	試験方法	—	—	A-c	A-c	A-c	A-c	A-c	A-c
	最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.890	1.817	1.799	1.790	1.498	1.483
	最適含水比	w_{opt}	(%)	13.4	15.5	15.6	14.9	24.7	23.3
コーン試験	突固め回数	—	—	25回/3層	25回/3層	25回/3層	25回/3層	25回/3層	25回/3層
	コーン指数	q_c	(kN/m ²)	1355	貫入不能	3775	貫入不能	貫入不能	貫入不能
その他	強熱減量	L_i	(%)	6.1	7.0	5.4	7.2	5.1	4.6
	PH試験	PH	—	—	—	8.91	—	—	—

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(4/12)>

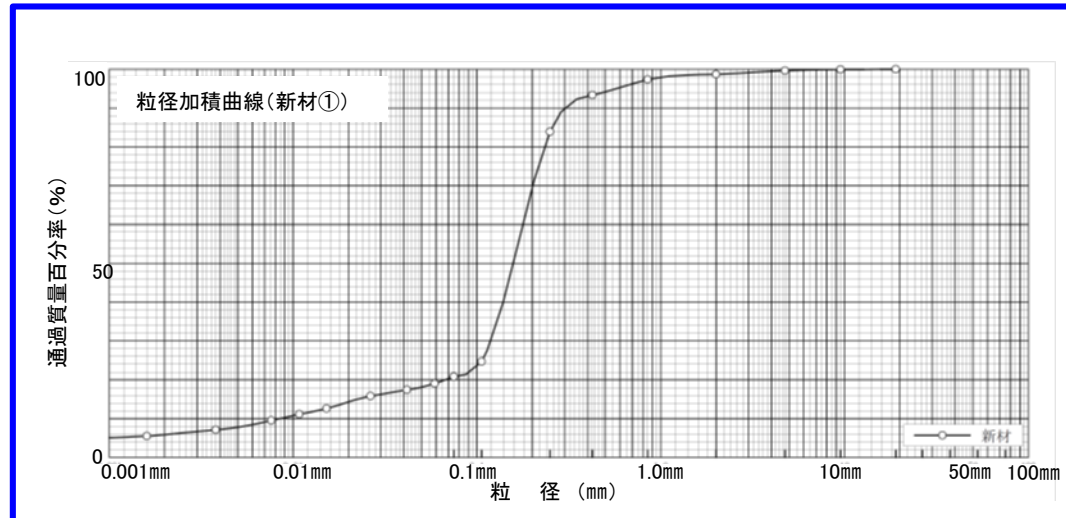
【再生資材②: 粒径加積曲線】



【再生資材】

- 粒径加積曲線の勾配がなだらかで、粒度分布が良く、締固め作業上支障の無い土である事が確認できた
- 選別された再生資材①～④とも同じ傾向を示している

【新材①: 粒径加積曲線】



【新材】

- 再生資材に比べ、粒径加積曲線の勾配が急であるが、締固めや重機の施工について支障の無い土である
- 新材①、②とも同じ傾向を示している

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(5/12)>

【改質材の選定】

- 5種類の改質材について室内試験を実施
- 改質前後の品質(20mm通過率及び10mm通過率、含水比、PH、コーン指数)を確認して改質材Aと改質材Eを選定

【各材料諸元(アンケート結果)】

改質材名	A	B	C	D	E
主成分	吸水性粘土鉱物 有機系高分子	天然鉱物 吸水材樹脂	石膏 鉄化合物 高分子凝集剤	無機材料 ゼオライト 高分子凝集剤 吸水性ポリマー	天然石膏 酸化鉄 高分子凝集剤
pH	材自体が中性	材自体が中性	材自体が中性	材自体が中性	材自体が中性
土壌環境基準への適合性	材料自体に基準を超過する指定物質は含まれていない。また、溶出量を増加させる効果もない	土壌環境基準で指定される汚染物質を含有せず、溶出もない	土壌環境基準に適合する石膏を選定して使用	有害物質を含まない	環境基準値をすべて満足する天然鉱石石膏を主材とする
硫化水素の発生抑制	硫化水素の発生はない	発生しない	鉄化合物を配合し、硫化水素が発生した場合、硫化鉄として保持	・硫化水素発生源を含有しない ・材料に鉄化合物を含み、対象物に硫化水素発生源が含まれていたとしても抑制可能	酸化鉄を調合し、鉄イオンが硫化イオンを吸着し硫化鉄とし安定化し、硫化水素の発生を抑制する
廃石膏ボード等のリサイクル品でない	リサイクル品ではない	リサイクル品でない	リサイクル品でない	リサイクル品でない	天然鉱石石膏を使用
放射性物質(Cs)の溶出防止対策	放射性物質の吸着効果がある	吸着材を配合することにより改質材がCsを吸着し、長期的な溶出を防止	なし	あり(ゼオライト配合)	なし
【強度発現】 ・400kN/m ² 以上発現のための最低添加量 ・元土含水率 ・元土コーン指数 ・改質後コーン指数	添加量 : 45kg/m ³ 元土含水率 : 43% 元土コーン指数 : 222kN/m ² 1時間後の改質後コーン指数 : 845kN/m ² 7日後の改質後コーン指数 : 773kN/m ²	添加量 : 20~40kg/m ³ 元土含水率 : 30~40% 元土コーン指数 : 30~70kN/m ² 1時間後の改質後コーン指数 : 500~1000kN/m ² 24時間後の改質後コーン指数 : 500~1000kN/m ² ※コーン指数は転圧条件により異なる	<室内試験結果> 添加量 : 50kg/m ³ 元土含水比 : 41.7% 元土細粒分含有率 : 46% 元土コーン指数 : 179kN/m ² 2時間後の改質後コーン指数 : 572kN/m ²	添加量 : 20~30kg/m ³ 元土含水率 : 約30% 元土コーン指数 : 約70kN/m ² 改質後のコーン指数 : 600~650kN/m ²	添加量 : 20~40kg/m ³ 元土含水率 : 25~40%程度 元土コーン指数 : 10~100kN/m ² 1時間後の改質後のコーン指数 : 500kN/m ² 以上 24時間後の改質後コーン指数 : 500kN/m ² 以上
ハンドリング性能 (20mm目開きの回転ふるいでの分別性能)	・20mm目開きを100%通過し、目詰まり無し ・5mm目開きを85%通過し、目詰まり無し	トロンメル(20mm)による篩いで目詰まり等が発生しないことを確認(4回間欠運転/日、10分程度/1回)	回転ふるいでの分別性能データなし <室内試験結果> 19mmふるい 改質前: 通過率5% 改質後: 通過率98%	手ふるい(目開き20mm)で目詰まり無し	改質土壌を15分間回転式ふるい機で分別しても目詰まり無し

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(6/12)>

【改質材の室内試験結果一覧】

(「原土+ベントナイト7.5%」の元試料に各改質材を添加した試料を供試体とした。)

改質材	添加量	20mm通過率	10mm通過率	pH	1時間後			7日後			放射性物質溶出量 (Bq/L)	
	(kg/t)	(%)	(%)	当日	コーン指数 (kN/m ²)	含水比(%)	乾燥密度 ρ_t (g/cm ³)	コーン指数 (kN/m ²)	含水比(%)	乾燥密度 ρ_t (g/cm ³)	Cs134	Cs137
原土				8.44							<0.5	<0.5
原土	ベントナイト7.5%	17.5	9.1	8.57	12	53.6	1.098	-	-	-	<0.5	<0.5
A	20	80.8	36.1	-	139	45.8	1.152	157	41.2	1.195	-	-
	30	90.8	63.4	-	167	45.2	1.135	170	42.9	1.163	-	-
	40	98.8	80.0	8.87	157	44.2	1.138	182	41.9	1.199	<0.4	<0.5
	30 (追)	99.0	73.5	-	120	42.5	1.168	-	-	-	<0.5	<0.6
B	30	68.7	24.3	-	148	41.8	1.187	167	37.1	1.267	-	-
	40	95.3	53.9	-	167	40.4	1.208	179	36.8	1.257	<0.5	<0.5
	50	97.8	61.4	8.93	191	39.5	1.202	201	36.1	1.259	<0.5	<0.4
C	50	82.8	35.0	8.06	457	41.4	1.214	478	38.8	1.247	<0.5	<0.5
	75	71.8	33.1	-	522	41.0	1.215	565	36.5	1.250	-	-
	100	70.7	32.4	-	574	39.6	1.242	688	36.9	1.272	-	-
	30 (追)	80.4	33.0	-	309	42.3	1.211	-	-	-	-	-
D	30 (追)	81.5	10.0	-	136	42.1	1.190	-	-	-	<0.5	<0.5
	40 (追)	99.8	82.4	-	173	42.2	1.179	-	-	-	<0.5	<0.5
E	10	58.7	18.9	-	102	44.5	1.170	253	38.4	1.278	-	-
	20	96.9	72.2	-	284	43.4	1.181	485	38.0	1.259	-	-
	30	99.8	86.4	8.01	327	44.5	1.165	728	37.8	1.258	<0.6	<0.6
生石灰	30	62.5	25.0	-	160	36.4	1.254	444	36.2	1.291	-	-
	40	66.7	30.1	-	191	39.3	1.233	478	37.0	1.298	-	-
	50	79.2	43.1	13.07	216	39.5	1.247	509	37.8	1.280	<0.5	<0.6

改質材A:
添加量30kg/トンで
20mm通過率99.0%

改質材E:
添加量30kg/トンで
20mm通過率99.8%

※測定時間を1時間とした時の当該試料におけるCs134、Cs137濃度で“<”は定量下限値未満を示す。

※ (追)の記載は、追加試験を実施した際の添加量

※ 赤枠は、改質材の選定根拠となった計測値

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(7/12)>

改質材・改良材添加土の施工性確認試験

【試験の目的】

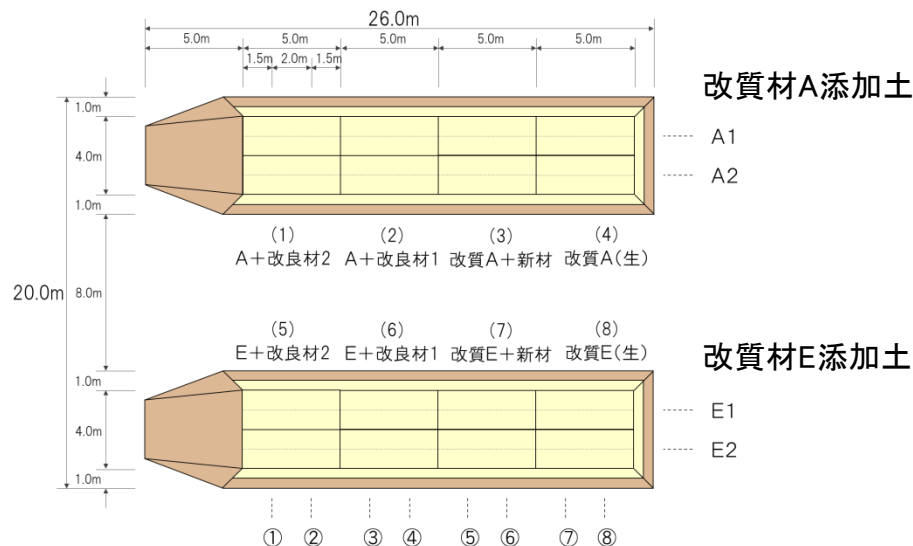
再生資材化処理では、二次分別工程にてトロンメル20mmの網で異物をふるい除去するために、比較的粘性の高い土壌に対しては改質材を添加しサラサラな状態に改質した。しかしながら、改質材は高分子成分を含んでいることから、実際の土壌中には水分を吸収したポリマーが含まれている。本試験は、ポリマーを含む改質土が、盛土資材として転圧性、トラフィカビリティーの面で、一般土(新材)と同等の取り扱いが可能なのかを確認することを目的とする。試験は、再生資材化処理設備解体後のテント内で行った。

【試験ケース】

室内試験の結果から再生資材化処理工程で使用した「改質材A」または「改質材E」が混合された原土を対象とした。

それぞれ①原土(生材)、②新材を混合した土、③土質改良材(石灰主成分)を混合した土、④土質改良材(中性固化材)を混合した土、の各4ケース(合計8ケース)について、転圧試験を行った。

【試験計画図】



盛土イメージ(改質材・改良材添加土の施工性確認試験)

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(8/12)>

【改質材】

～ 室内ふるい分け性等の試験結果より、下記2種類の改質材(A、E)を使用(3%添加)～

材料名	性状	特徴	主成分	備考
改質材 A		●材自体が中性 ●材料自体に基準を超過する指定物質は含まれていない。また、溶出量を増加させる効果もない	吸水性粘土鉱物 有機系高分子	・ 30kg/t添加時の20mm網の通過率：99.0%
改質材 E		●環境基準値をすべて満足する天然鉱石石膏を主材とする ●材自体が中性	天然石膏 酸化鉄 高分子凝集剤	・ 30kg/t添加時の20mm網の通過率：99.8%

【改質材・改良材添加土の施工性確認試験について】

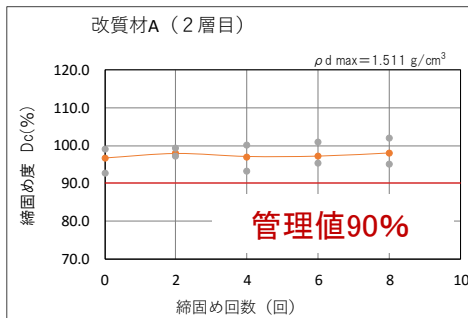
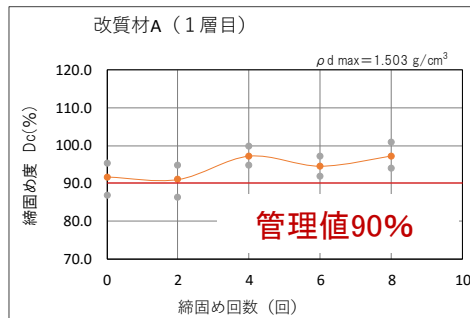
～ 汎用性のある改良材の中から、“生石灰を主成分とする改良材①”と“中性固化材②”を使用～

材料名	性状	特徴	主成分	備考
改良材①		●セメントを含まない独自の生石灰系固化材 ●高含水比のヘドロから各種土質の軟弱地盤の固化に効果を発揮する ●幅広い土質に改良効果を発揮する	主要原料：生石灰、石膏 CaO 75.0～80.0	高含水比の土へ対応可能
改良材② (中性固化材)		●中性域での土質固化に優れた固化材 ●石膏系の中性固化材に比べ強度発現に優れており、低添加量での改良が可能	主要原料：酸化マグネシウム 副原料：金属硫酸塩 (pH調整剤)	除染工事での使用実績あり

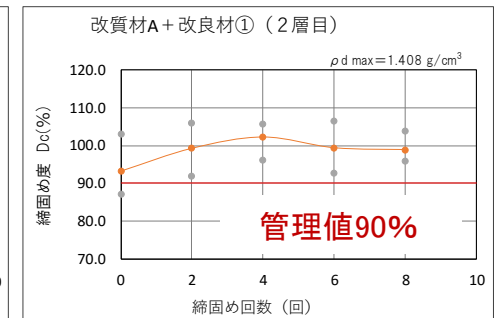
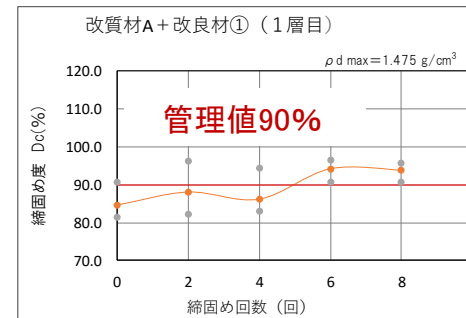
- ・ 室内試験結果より、改良材①、②ともに添加量5%とし、また新材の添加量は原土と1:1とした。
- ・ 土壌pHや放射性物質の溶出量等を分析し環境影響の有無を調査する。

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性 (9/12)>

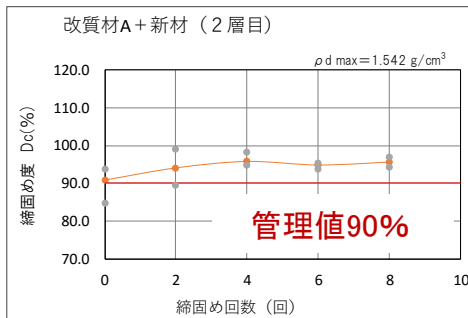
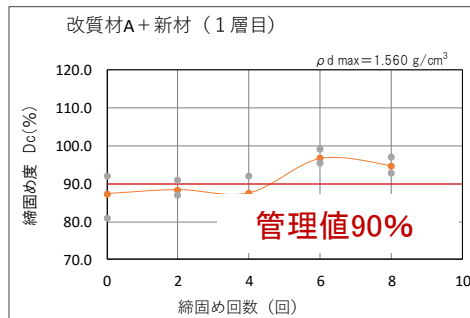
【改質材A添加土の試験結果 (締固め度)】



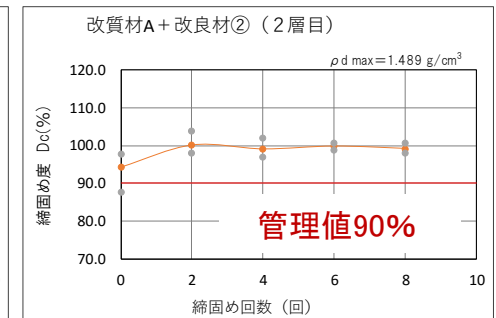
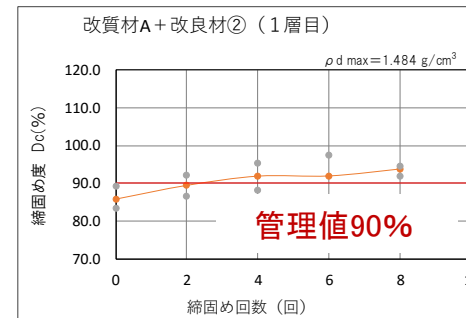
締固め度計測結果(RI): 改質材A添加土



締固め度計測結果(RI): 改質材A添加土+改良材①



締固め度計測結果(RI): 改質材A添加土+新材

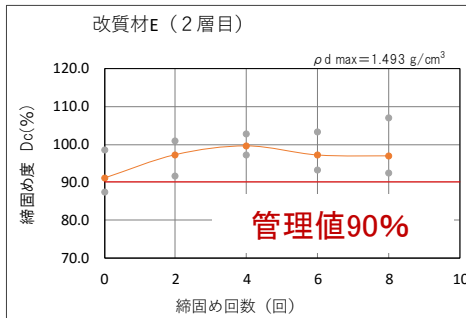
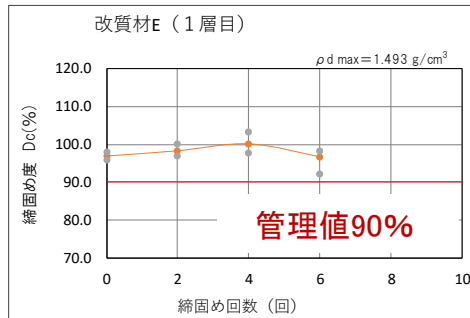


締固め度計測結果(RI): 改質材A添加土+改良材②

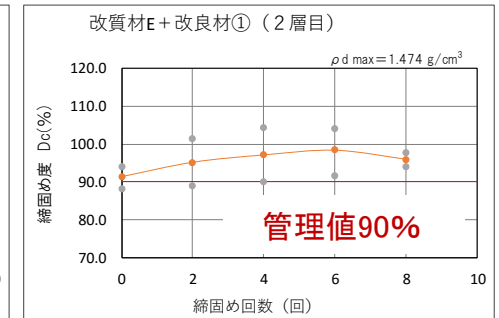
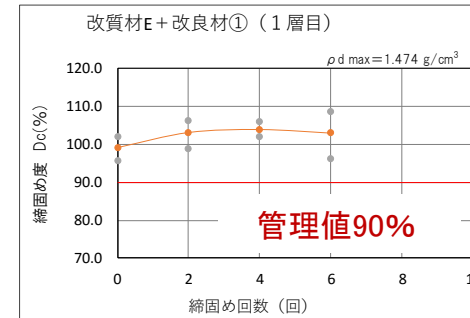
- モデル実証試験と同様、RI試験器による締固め度の管理が可能である事を確認
- 締固め回数の増加にともない、締固め度が上昇する事を確認

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(10/12)>

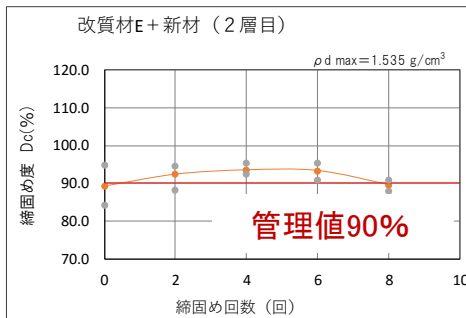
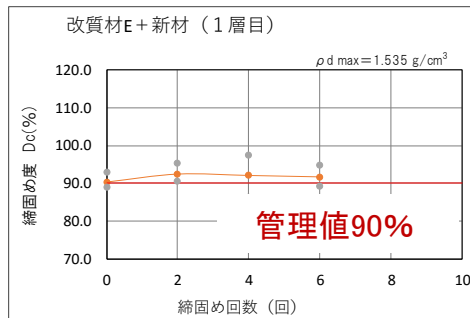
【改質材E添加土の試験結果(締固め度)】



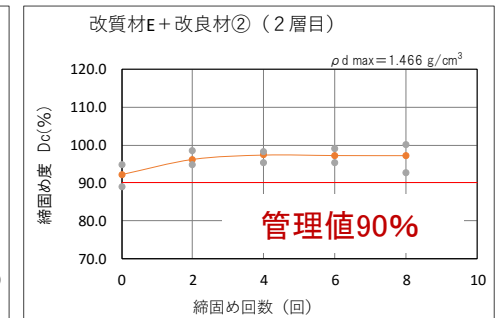
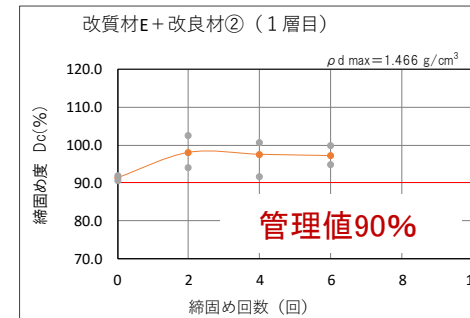
締固め度計測結果(RI): 改質材E添加土



締固め度計測結果(RI): 改質材E添加土 + 改良材①



締固め度計測結果(RI): 改質材E添加土 + 新材



締固め度計測結果(RI): 改質材E添加土 + 改良材②

- モデル実証試験と同様、RI試験器による締固め度の管理が可能である事を確認
- 締固め回数の増加にともない、締固め度が上昇する事を確認

再生資材化試験 <土木資材としての品質・適用性(11/12)>

溶出試験結果（改質材添加土）

【改質材添加によるCs溶出への影響調査】

30袋の詳細調査で、室内試験で使用した改質材（A材、E材）添加土について、セシウム溶出量を確認した。

【調査結果】

- セシウム（Cs134、Cs137）は、改質材添加前（無添加）及び添加後においてともに溶出は不検出であり、改質材添加の有無による溶出の影響は確認されなかった。

改質材添加によるセシウムの溶出試験結果一覧表

試験区分	試料名	Cs134	Cs137	pH
		(Bq/L)	(Bq/L)	
30袋の詳細試験	ケース3 無添加	<0.4	<0.5	8.4
	ケース3 改質材（A材）添加 3%	<0.4	<0.5	9.2
	ケース4 無添加	<0.5	<0.5	8.6
	ケース4 改質材（A材）添加 3%	<0.5	<0.5	7.8
	ケース4 改質材（E材）添加 3%	<0.6	<0.5	7.7

改質材一覧表

材料名	性状	特徴	主成分	備考
改質材 A		●材自体が中性 ●材料自体に基準を超過する指定物質は含まれていない。また、溶出量を増加させる効果もない	吸水性粘土鉱物 有機系高分子	・ 30kg/t添加時の20mm網の通過率：99.0%
改質材 E		●環境基準値をすべて満足する天然鉱石石膏を主材とする ●材自体が中性	天然石膏 酸化鉄 高分子凝集剤	・ 30kg/t添加時の20mm網の通過率：99.8%

再生資材化試験 ＜土木資材としての品質・適用性(12/12)＞

溶出試験結果（改質材添加土に土質改良材を添加した場合）

【改質材及び土質改良材の添加によるCs溶出への影響調査】

改質材・改良材添加土の施工性確認試験で、再生資材化処理工程において改質材（A材、E材）を添加した土について、新たに改良材添加等により改良した場合のセシウム溶出量を確認した。

【調査結果】

- セシウム（Cs134、Cs137）は、改質材添加前（無添加）及び添加後においてともに溶出は不検出であり、改質材添加の有無による溶出の影響は確認されなかった。

改良材一覧表

材料名	性状	特徴	主成分	備考
改良材①		●セメントを含まない独自の生石灰系固化材 ●高含水比のヘドロから各種土質の軟弱地盤の固化に効果を発揮する ●幅広い土質に改良効果を発揮する	主要原料：生石灰、石膏 CaO 75.0～80.0	高含水比の土へ対応可能
改良材② (中性固化材)		●中性域での土質固化に優れた固化材 ●石膏系の中性固化材に比べ強度発現に優れており、低添加量での改良が可能	主要原料：酸化マグネシウム 副原料：金属硫酸塩 （pH調整剤）	除染工事での使用実績あり

改質材・改良材添加によるセシウム溶出試験結果一覧表

試験区分	試料名	Cs134	Cs137	pH
		(Bq/L)	(Bq/L)	
改質材添加の再生資材土に土質改良材を添加した場合の影響確認試験	改質A材1層目(生)	<0.5	<0.6	7.9
	改質A材1層目(新材1:1添加)	<0.4	<0.6	7.5
	改質A材1層目(改良材②5%添加)	<0.5	<0.4	8.8
	改質A材1層目(改良材①5%添加)	<0.4	<0.5	12.7
	改質A材2層目(生)	<0.5	<0.5	8.1
	改質A材2層目(新材1:1添加)	<0.5	<0.5	7.9
	改質A材2層目(改良材②5%添加)	<0.5	<0.5	8.6
	改質A材2層目(改良材①5%添加)	<0.5	<0.5	12.6
	改質E材1層目(生)	<0.5	<0.5	8.1
	改質E材1層目(新材1:1添加)	<0.5	<0.5	7.5
	改質E材1層目(改良材②5%添加)	<0.4	<0.5	8.9
	改質E材1層目(改良材①5%添加)	<0.5	<0.5	12.6
	改質E材2層目(生)	<0.5	<0.5	8.3
	改質E材2層目(新材1:1添加)	<0.4	<0.5	7.8
	改質E材2層目(改良材(NP)5%添加)	<0.5	<0.5	8.8
	改質E材2層目(改良材(LS)5%添加)	<0.5	<0.6	12.4

再生資材化試験 <設備の性能(1/4)>

破袋（円錐コーン式破袋機）	破袋（人力）	一次分別	改質	二次分別	濃度分別
					
吊った状態	土のう袋の底部をカット	分別作業中遠景①	全景	全景	対象土投入
					
吊落とした状態	カット後フレコン外し状況遠景	分別作業中遠景②	対象土投入	対象土投入	測定（ベルコン上の白い箱が検知器）
					
油圧ショベルによる押し込み状態	カット後フレコン外し状況近景	分別作業中近景①	改質剤投入	内部	分別後排出状況（高濃度）
上写真のとおりの円錐コーン式破袋機を使用した作業では、フレコンがうまくさらえないなど時間を要したため、人力による作業で行った。					
	フレコンを外した後(底部は土砂下に残置)	スケルトンバケット	改質機内部攪拌機	分別後 20mm アンダー排出状況	分別後排出状況(低濃度)

再生資材化試験 <設備の性能(2/4)>

【処理速度】

- 各設備の要求性能として処理速度 $10\text{m}^3/\text{h}$ (10袋/h)以上を満足することを確認した

調査対象設備

処 理	設 備	仕様等
破袋	円錐コーン式破袋機	いずれの方法も重機による揚重作業を併用
	人力による袋切断	
一次分別	スケルトンバケット装着重機	100mmメッシュ
改質	可搬式土質改良機 (二軸パドルミキサー)	SR2000G 処理能力 $20\sim 135\text{m}^3/\text{h}$
濃度分別	連続式濃度分別機	主ベルト速度: $7.5\text{cm}/\text{sec}$ 処理能力: $13.9\text{m}^3/\text{h}$ (処理範囲 $9.5\sim 47.5\text{m}^3/\text{h}$)
二次分別	可搬式トロンメル	20mmメッシュ

【トラブル事例】

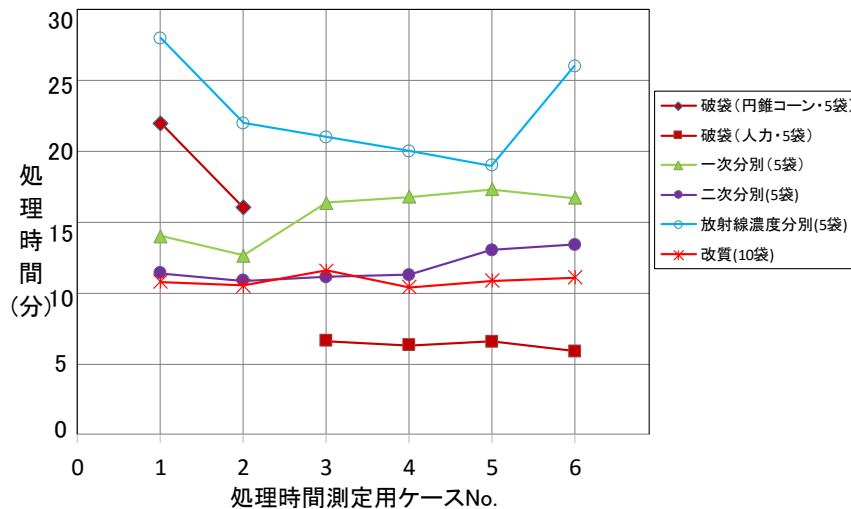
- 改質機への粘性土壌の入れ過ぎにより、土砂ホッパーが詰まる事例が1回発生した。



改質機の土砂詰りの状況



改質機土砂の排出作業状況



処理時間測定結果

(注) 処理時間の計測は、詳細調査で用いた大型土のう袋とは異なるものを用いて行った。

- 放射能濃度分別機の土砂ホッパー一部に粘性の高い土壌を投入した場合、ホッパー内に土壌が滞留して土壌を供給できない事例が複数回発生した。



ホッパー内土壌滞留状況

再生資材化試験 <設備の性能(3/4)>

【ゴミ・有機物(「ゴミ+草木類」)の除去率】

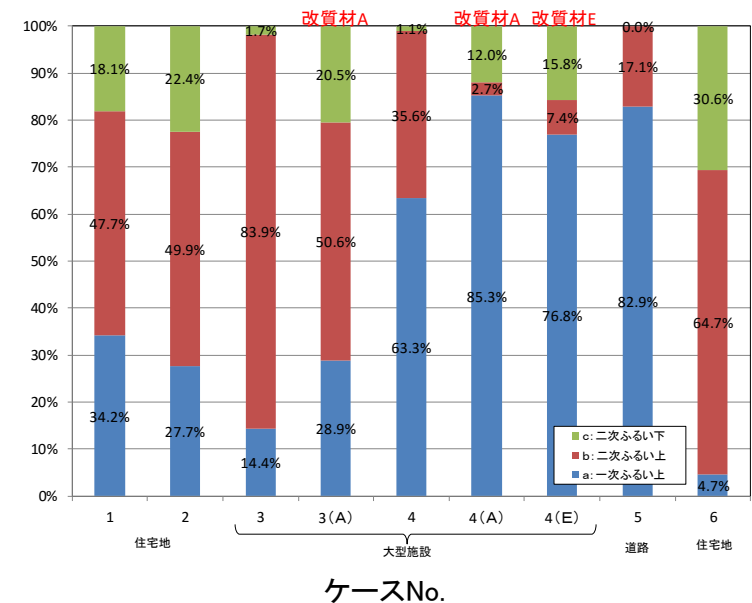
●一次分別・二次分別による除去率

- ケースにより「ゴミ+草木類」総量は26kg(ケース4, 4(A), 4(E)の合計:下表参照)～121kg(ケース5)と変動し、除去率も大きく変動。
- 一次分別除去率の最大値はケース4(A)の85%、最小値はケース6の5%。
- 二次分別除去率は、無改質のケースは17～84%。改質材を用いた3ケースのうち、ケース3(A)は51%で無改質と同等程度であったが、ケース4(A), 4(E)の2ケースはそれぞれ3%、7%と低めとなった。但し、ケース4(A), 4(E)はいずれも対象物絶対量が少ないため、評価方法による誤差が大きい可能性有り。
- 二次分別でも除去されなかった「ゴミ+草木類」の率は、総量が多いケース1, 2, 5のそれぞれで18%, 22%, 0%となり、「ゴミ+草木類」の性状による差異が出ているものと考えられる。

「ゴミ+草木類」の除去率等測定結果一覧表

ケースNo.	a 一次ふるい 上 (kg)	b 二次ふるい 上 (kg)	c 二次ふるい 下 (kg)	a + b + c (kg)	一次分別 除去率 $a \div (a+b+c)$ (%)	二次分別 除去率 $b \div (a+b+c)$ (%)	$c \div (a+b+c)$ (%)	全体重量 (土壌等 を含む) (kg)	【参考】 $(a+b+c) \div$ 全体重量 (%)
1	37.4	52.1	19.7	109.2	34.2	47.7	18.1	5,044	2.2
2	22.0	39.7	17.8	79.5	27.7	49.9	22.4	5,336	1.5
3	7.5	43.7	0.9	52.1	14.4	83.9	1.7	3,120	1.7
3(A)	6.8	11.9	4.8	23.5	28.9	50.6	20.5	2,596	0.9
4	5.7	3.2	0.1	9.0	63.3	35.6	1.1	1,823	0.5
4(A)	6.4	0.2	0.9	7.5	85.3	2.7	12.0	2,046	0.4
4(E)	7.3	0.7	1.5	9.5	76.8	7.4	15.8	2,316	0.4
5	100.6	20.7	0.0	121.3	82.9	17.1	0.0	3,707	3.3
6	1.1	15.2	7.2	23.5	4.7	64.7	30.6	7,331	0.3

(注) ケースNo.中の()内は改質材種類を示す



一次分別除去率と二次分別除去率 ()内は改質材種類

算定方法

・一次分別除去率 $= a \div (a+b+c)$

・二次分別除去率 $= b \div (a+b+c)$

ここに、

a: 一次ふるい上の「ゴミ+草木類」重量

b: 二次ふるい上の「ゴミ+草木類」重量

c: 二次ふるい下の「ゴミ+草木類」重量

再生資材化試験 <設備の性能(4/4)>

【ゴミ・有機物(「ゴミ+草木類」)等異物の除去性能】

●改質材の効果

①調査内容

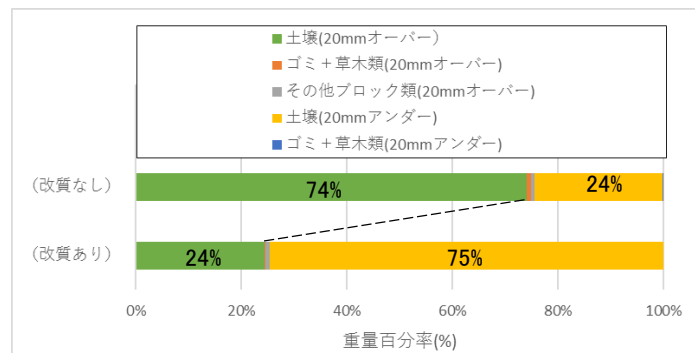
- 対象土: そのままの状態では二次分別が困難と判断した細粒分が多い砂質土(ケース3,4)
- 改質材添加量: 30kg/t
- 調査項目: 土壌の状況(目視観察)、土壌等の重量
～各ケースの土壌を分割し、改質せずに二次分別するものと改質して二次分別するものを比較

②調査結果

- 二次分別状況(目視観察結果)
 - 改質なし: 土壌が団粒化し、石等とともに土壌も20mmオーバーとして排出された
 - 改質あり: 土壌がサラサラな状態となり、土壌の多くは20mmアンダーにふるい分けられた
- 二次分別後の重量測定結果
「改質あり」の20mmアンダーの土壌割合は、「改質なし」の場合の約3倍となり、改質効果が認められた



(改質なし) (改質あり)
土壌等(20mmオーバー)の外観



ふるい分け試験結果(改質有無の比較)
注) ケース3と4の平均値

再生資材化試験 <土質性状判断方法の検討(1/3)>

【目視による土質、含水状況】

(1)概要把握調査

①調査内容

- 対象数量・発生地目:432袋(住宅地361袋、大型施設71袋)
- 対象項目:土質

粘土と砂との割合の感じ方	ザラザラとほとんど砂だけの感じ	大部分(70～80%)が砂の感じで、わずかに粘土を感じる	砂と粘土が半々の感じ	大部分は粘土で、一部(20～30%)砂を感じる	ほとんど砂を感じないで、ヌルヌルした粘土の感じが強い
分析による粘土	12.5%以下	12.5～25.0%	25.0～37.5%	37.5～50.0%	50%以上
記号	S	SL	L	CL	C
区分	区分1	区分2	区分3	区分4	区分5
簡易的な判定法*	棒にもハシにもならない	棒にはできない	鉛筆くらいの太さにできる	マッチ棒くらいの太さにできる	コヨリのように細長くなる
					

※判定にあたっては、土を少量の水でこねて土性を判定する。(前田・松尾、1974を一部改変)

土質の簡易判定法

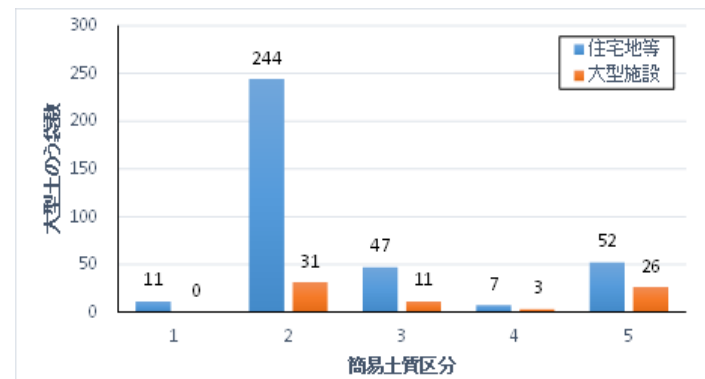
(*)全国農業協同組合連合会ホームページ:土壌診断の見方より抜粋し一部改変



土質判定状況

②調査結果

- タグ情報の地目が住宅:
 - 区分2が大半
- タグ情報の地目が大型施設:
 - 区分2、5が多い



土質の簡易判定結果

再生資材化試験 <土質性状判断方法の検討(2/3)>

(2)詳細把握調査

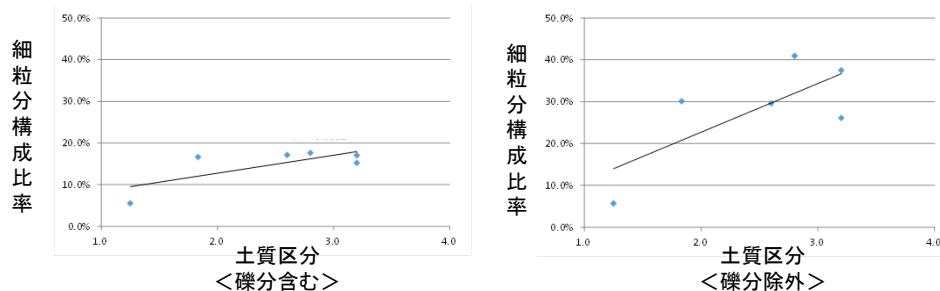
①調査内容

- 調査ケース：[住宅地]3ケース、[大型施設]2ケース、[道路]1ケース
- 対象項目：土質および含水状況・含水比

②調査結果

(a)土質(目視結果は、簡易判定法の結果を適用)

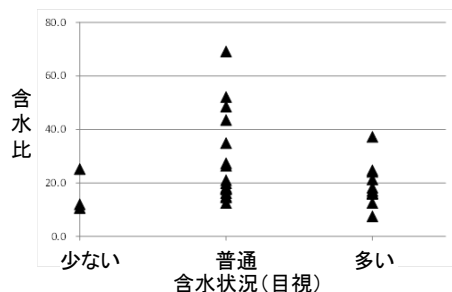
- 対象土壌から礫分を除外した場合、目視結果から細粒分比率(土質試験結果)をある程度推測可能



簡易判定による土質区分と土質試験による細粒分構成比率の関係

(b)含水状況・含水比

- 目視による含水状況判断では、含水比(土質試験結果)を想定することは困難



目視による含水状況と土質試験による含水比の関係

再生資材化試験 <土質性状判断方法の検討(3/3)>

【タグ情報及び目視情報と測定結果の関連性の評価】

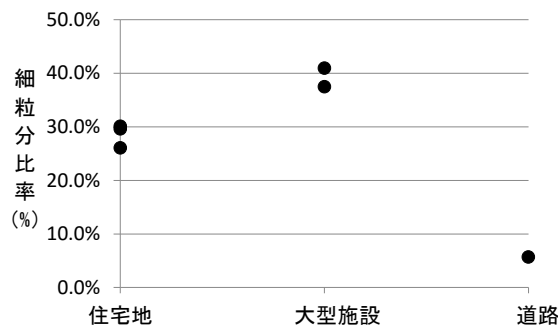
①調査内容

- 調査ケース：[住宅地]3ケース、[大型施設]2ケース、[道路]1ケース
- 対象項目：土壌密度(湿潤・乾燥)、土質(細粒分比率)、含水比、コーン指数、強熱減量

②調査結果

(a)土質(細粒分比率：礫分を除外)

- タグ情報「地目」により土質(細粒分比率)を推定は、ある程度可能
- 限定的なデータであるので、今後のデータ蓄積が必要



タグ情報(地目)と土質(細粒分比率：礫分除外)の関係

(b)土壌密度(湿潤)、土壌密度(乾燥)、含水比、コーン指数、強熱減量

- タグ情報「地目」が同一であっても、タグ情報「地目」により、推定することは困難

再生資材化試験＜再生資材のトレーサビリティの検討＞

再生資材の盛土構築部位の記録

【「大型土のう袋」及び「再生資材」の管理】

・大型土のう袋毎に、記録シートを用いて管理

①仮置場から搬入された「大型土のう袋」の管理シート

実証試験時確認情報																				除染工事参考情報						
N o	除去土壤容器番号	運搬日	破損日	分別搬入量 測定日	重量 (kg)	表面線量率 計測日	表面線量率 (μ Sv/h) 上面	表面線量率 (μ Sv/h) 側面1	表面線量率 (μ Sv/h) 側面2	表面線量率 (μ Sv/h) 側面3	表面線量率 (μ Sv/h) 側面4	表面線量率 (μ Sv/h) 平均値	表面線量率 (μ Sv/h) 最大値	Ge半減期検出値 による放射能 濃度(Bq/kg)	処理分類	詳細調査番号	受取場所	作成収集J V	備考	除去土壤等種別	土壌の発生 土地分類	収集日	容量 (m3)	除染エリア	計測日	表面線量率 (μ Sv/h)
1	f0601002519	2017/4/3	2017/4/5	2017/4/5	398	2017/4/3	0.37	0.50	0.52	0.43	0.43	0.45	0.52	3,700	事前準備	東部B-11	南相馬その4	H-1.2.3として仮置後再度搬出		3.土壤等	1.住宅地等	2016/1/20	1.0	小高区下浦	2016/1/21	0.60
2	f0601011910	2017/4/3	2017/4/5	2017/4/5	1,362	2017/4/3	0.50	0.45	0.40	0.50	0.30	0.43	0.50	—	事前準備	東部B-11	南相馬その4	A,B,Cとして仮置後再度搬出		3.土壤等	1.住宅地等	2016/3/3	1.0	小高区上浦	2016/3/4	1.10
3	f0601003341	2017/4/3	2017/4/5	2017/4/6	1,361	2017/4/3	0.06	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	—	事前準備	東部B-11	南相馬その4	A,B,Cとして仮置後再度搬出		3.土壤等	1.住宅地等	2016/1/27	1.0	小高区福岡	2016/1/28	0.10
4	f0601010897	2017/4/3	2017/4/5	2017/4/11	1,145	2017/4/3	1.00	0.75	1.95	0.50	0.80	1.00	1.95	4,301	事前準備	東部B-11	南相馬その4	H-1.2.3として仮置後再度搬出		3.土壤等	1.住宅地等	2016/3/2	1.0	小高区上浦	2016/3/3	0.92
5	f0601002129	2017/4/3	2017/4/6	2017/4/12	1,628	2017/4/3	0.16	0.17	0.19	0.20	0.17	0.18	0.20	985	事前準備	東部B-11	南相馬その4	試験艇に使用後、仮置、再度検診・運搬		3.土壤等	1.住宅地等	2016/1/16	1.0	小高区浦尻	2016/1/19	0.30
6	f0601002506	2017/4/3	2017/4/6	2017/4/12	1,247	2017/4/3	0.40	0.37	0.37	0.37	0.37	0.38	0.40	2,135	事前準備	東部B-11	南相馬その4	試験艇に使用後、仮置、再度検診・運搬		3.土壤等	1.住宅地等	2016/1/19	1.0	小高区浦尻	2016/1/20	0.45
7	f0601002581	2017/4/3	2017/4/5	2017/4/13	810	2017/4/3	0.08	0.09	0.12	0.13	0.10	0.10	0.13	369	事前準備	東部B-11	南相馬その4	試験艇に使用後、仮置、再度検診・運搬		3.土壤等	1.住宅地等	2016/1/22	1.0	小高区井田川	2016/1/23	0.15
8	f0601003483	2017/4/3	2017/4/5	2017/4/13	489	2017/4/3	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.40	9,273	事前準備	東部B-11	南相馬その4	H-1.2.3として仮置後再度搬出		3.土壤等	1.住宅地等	2016/1/26	1.0	小高区上浦	2016/1/27	1.07
39	f0601002552	2017/4/24	2017/4/24	2017/4/24	1,368	2017/4/24	0.12	0.16	0.12	0.19	0.19	0.16	0.19	—	通常処理	東部B-11	南相馬その4			3.土壤等	1.住宅地等	2016/1/21	1.0	小高区浦尻	2016/1/22	0.22
40	f0601002556	2017/4/24	2017/4/24	2017/4/24	1,189	2017/4/24	0.15	0.18	0.15	0.18	0.19	0.17	0.19	—	通常処理	東部B-11	南相馬その4			3.土壤等	1.住宅地等	2016/1/21	1.0	小高区浦尻	2016/1/22	0.27
41	f0601007335	2017/4/24	2017/4/24	2017/4/24	1,541	2017/4/24	0.15	0.18	0.15	0.19	0.20	0.17	0.20	—	通常処理	東部B-11	南相馬その4			3.土壤等	1.住宅地等	2016/2/17	1.0	小高区江津	2016/2/18	0.27
42	f0601010309	2017/4/24	2017/4/24	2017/4/24	1,289	2017/4/24	0.08	0.11	0.09	0.10	0.10	0.09	0.11	—	通常処理	東部B-11	南相馬その4			3.土壤等	1.住宅地等	2016/3/1	1.0	小高区浦尻	2016/3/1	0.29

除染工事参考情報
(除去土壤等種別・土地分類・除染エリア等)

②再生資材の管理シート

容器番号				作成日	パッチ 重量	製作運搬用大型土のう袋の検査管理表			
------	--	--	--	-----	-----------	-------------------	--	--	--

技術的確認項目

- 再生資材化試験
- 試験盛土
- 放射線管理

試験盛土の概要(1/3)

【実証試験概要】

- 再生資材化処理で得られた「再生資材」が盛土資材として活用できるかの検証のため、試験盛土を構築して試験・計測を行い、再生資材の盛土材としての品質について評価を行った。
- 比較検証のため、再生資材による盛土に隣接して同規模の「新材」による盛土を構築し、再生資材と同様の試験・計測を行った。
- 盛土供用時の追加的な被ばく線量が 0.01mSv/年 以下となるよう厚さ(t=50cm)を定めた覆土を行い空間線量率の計測を実施する。法面には浸食防止のため張芝を行う。

【試験項目】

- 再生資材について、以下の試験を行った。

再生資材試験項目

施工性の評価	盛土材としての品質評価	放射線計測
・砂置換法による土の密度試験 ・RI法による土の密度試験 ・施工時の沈下量計測	・土粒子の密度試験 ・土の含水比試験 ・土の粒度試験 ・地盤材料の工学的分類 ・突固めによる土の締固め試験 ・締固めた土のコーン指数試験 ・土の強熱減量試験 ・PH試験	・放射能濃度計測 ・表面線量率計測 ・作業環境における空間線量率計測 ・材料のトレーサビリティ

【品質管理項目と規定値】

- 盛土施工時の品質管理項目と規定値を以下に示す。

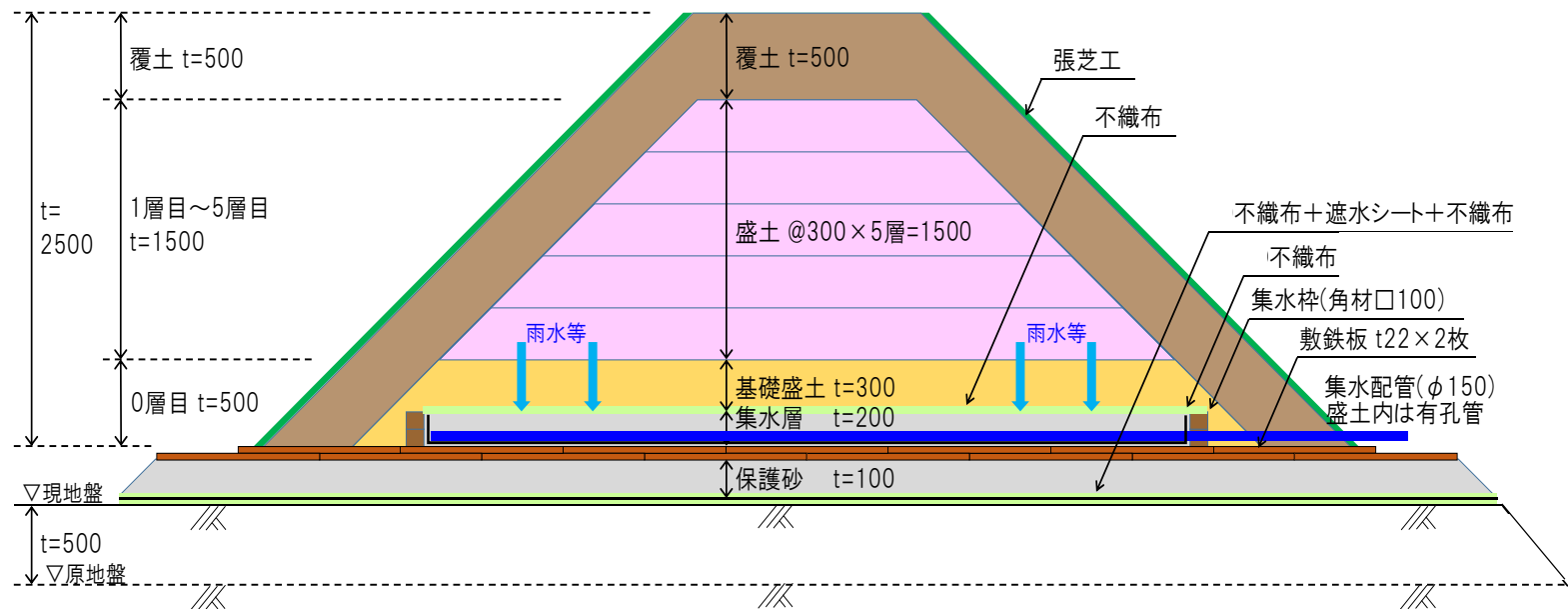
品質管理項目と規定値

施工性の評価		規定値	放射線計測
密 度 比	Dc:締固め度	90%以上	突固め試験は「JIS A 1210」
空気間隙率	Va:空気間隙率	15%以下	15%≦細粒分<50%の場合
		10%以下	50%≦細粒分の場合
一層の仕上がり厚さ		30cm以下	—
施工含水比		最大乾燥密度の90%以上が得られる含水比の範囲	

試験盛土の概要 (2/3)

【その他の試験】

- ・ 締固め度(RI)計測におけるバックグラウンド値(以後、B.G値という)の影響把握
- ・ 盛土浸透水、表面水等の排水モニタリング
- ・ 盛土及び地盤の動態観測(基盤面、周辺地盤)

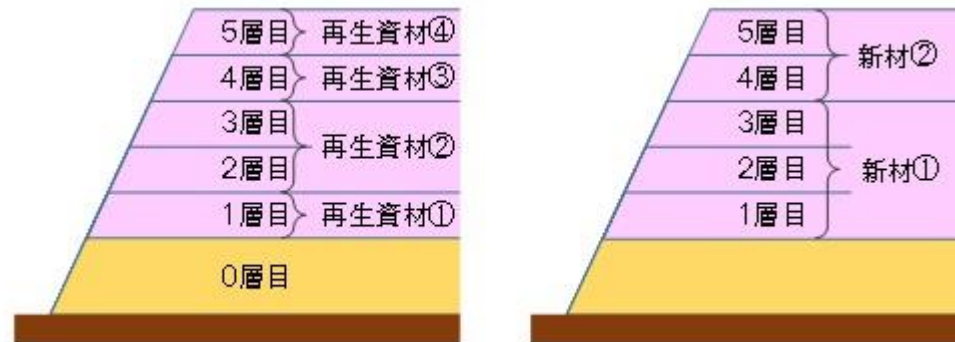


盛土イメージ(モデル実証事業)

試験盛土の概要 (3/3)

【実験の区分】

- 再生資材化処理において、4種類の再生資材を選別
- 新材は2種類を購入
- 1層目及び2層目の再生資材部にて、RI法におけるB.G値の影響、起振力等の検証を実施
- 3層目では、1～2層目で得られた条件を基に盛土実証試験を実施。
- 4層目及び5層目で、改良材を添加した再生資材の施工性について検証を実施



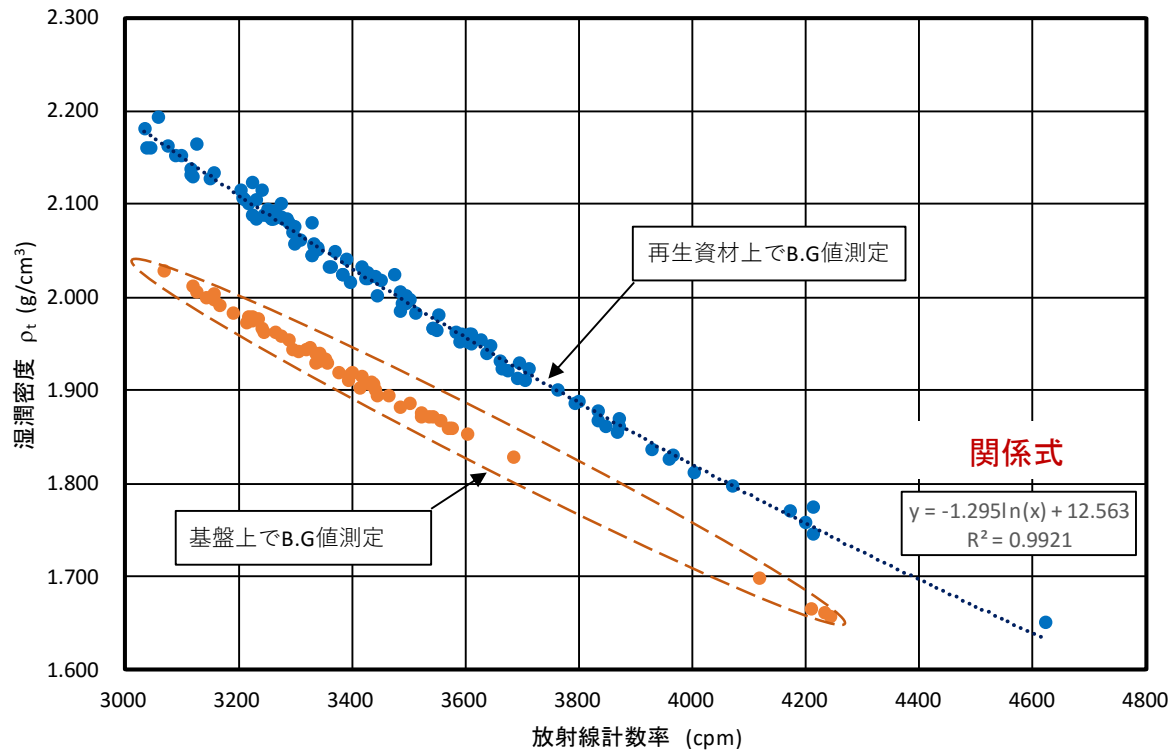
モデル実証事業材料区分
(再生資材①～④、新材①～②はP18参照)

使用改良材

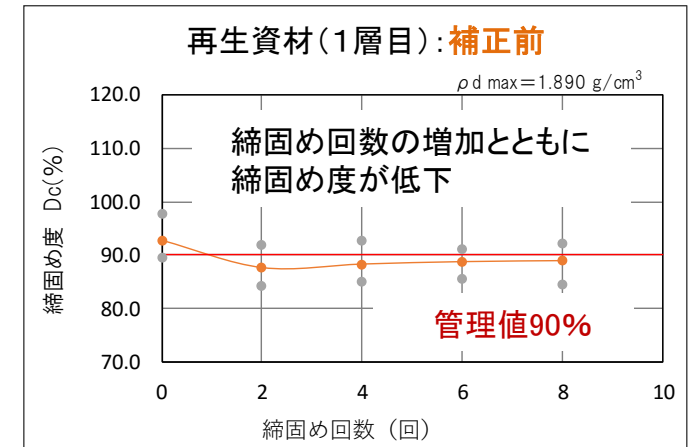
項目	4層目	5層目
改良材区分	中性固化材	中性固化材
名称	エコハードAⅡ	グリーンライムNP
主成分	半水石膏	酸化マグネシウム、金属硫酸塩
PH	6.0～8.5	8.0～8.5
添加量	30kg/t	30kg/t
備考	—	除染工事において適用事例有り

試験盛土 <盛土の出来形 (1/2)>

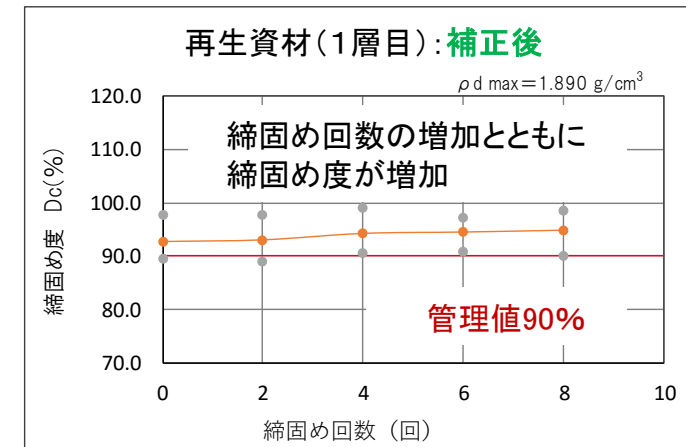
【締固め度(RI)計測におけるB.G値の影響把握】



- RI計測器によって計測された放射線計数率と内部演算によって求められた湿潤密度の関係は、再生資材上でB.G値を計測した場合と再生資材部以外でB.G値を計測した場合で明確に異なる傾向を示す
- モデル実証事業で使用した再生資材の放射能濃度はばらつきが小さく放射線計数率と湿潤密度の間に一義的な関係式が得られた
- 関係式により、再生資材部以外でB.G値を計測した場合でも湿潤密度を算出する事が可能
- 実施工では、再生資材上においてB.G値の測定を行う事が必要



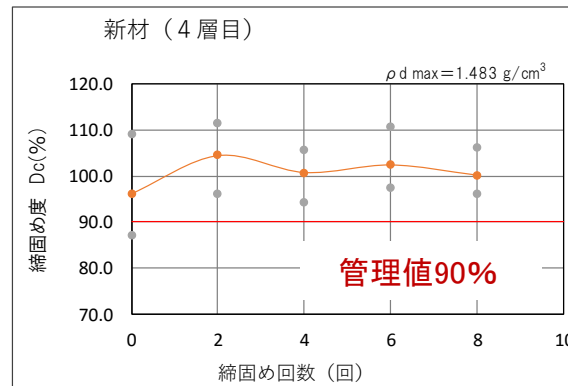
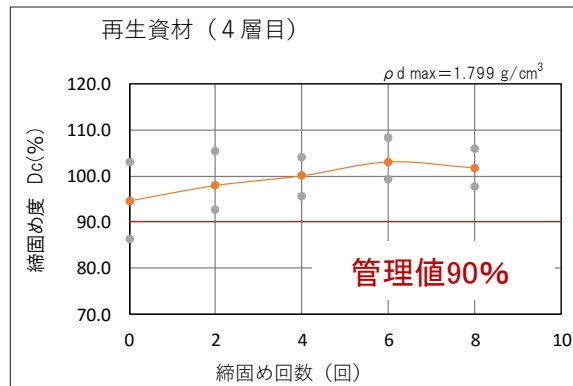
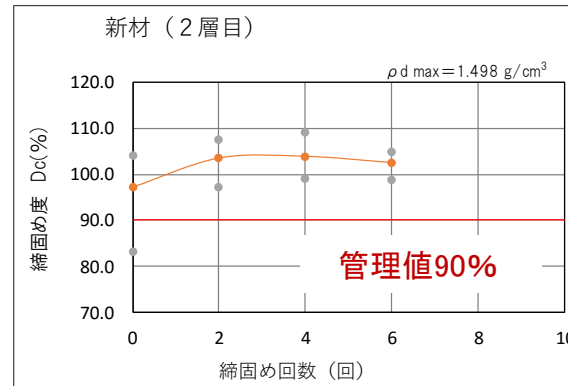
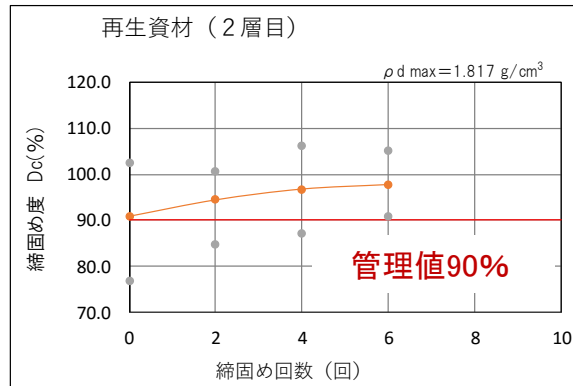
再生資材部以外でB.G値を計測した場合の締固め度の値



関係式にて補正後の締固め度の値

試験盛土 <盛土の出来形 (2/2)>

【締固め度(RI)計測結果 (抜粋)】



- 購入資材(新材)と同様、RI試験器による締固め度の管理が可能であることを確認
- 購入資材(新材)と同様、締固め回数の増加にともない、締固め度が上昇する事を確認

締固め度計測結果(RI)

締固め度(砂置換)計測結果

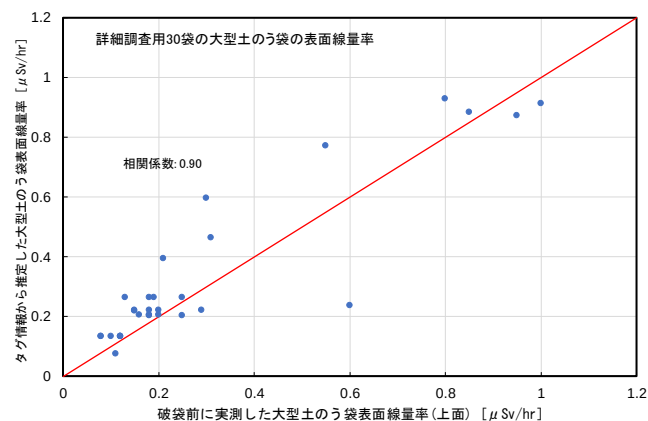
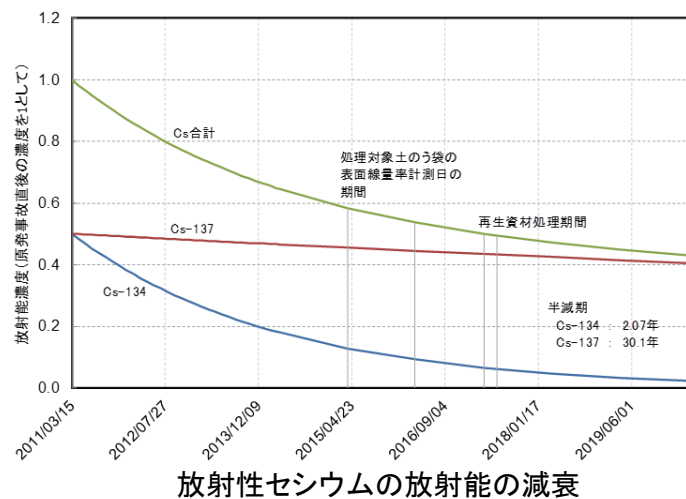
項目		再生資材部		新材部	
		締固め回数	締固め度(%)	締固め回数	締固め度(%)
第1層	再生資材	8	93.0	8	107.5
第2層	再生資材	6	93.3	6	102.3
第4層	再生資材+中性固化材①	8	98.6	8	99.1
第5層	再生資材+中性固化材②	8	93.0	6	95.6

試験盛土 <放射能濃度の分布 (1/3)>

【タグ情報と表面線量率等の測定結果の比較考査】

タグ情報(計測日、表面線量率)を基にした推定と実測の比較を実施。

- 放射性セシウムの放射能濃度の減衰から、Cs-134とCs-137の放射能濃度比の推定。
- 詳細調査用30袋の受入れた時の表面線量率を推定。
- タグ情報から推定した表面線量率は実測の表面線量率と一定の相関関係があることを確認。



【放射能濃度の測定・評価】

- 再生資材化の各段階で、詳細調査30袋の大型土のう袋の内容物について放射能濃度、重量の測定を実施
 - 破袋直後
 - 一次分別後
 - 改質後(改質を行った場合)
 - 二次分別後
 - 濃度分別後

試験盛土 <放射能濃度の分布 (2/3)>

詳細調査の各段階における土壌の放射能濃度(サンプリングによるGe半導体検出器による測定結果)

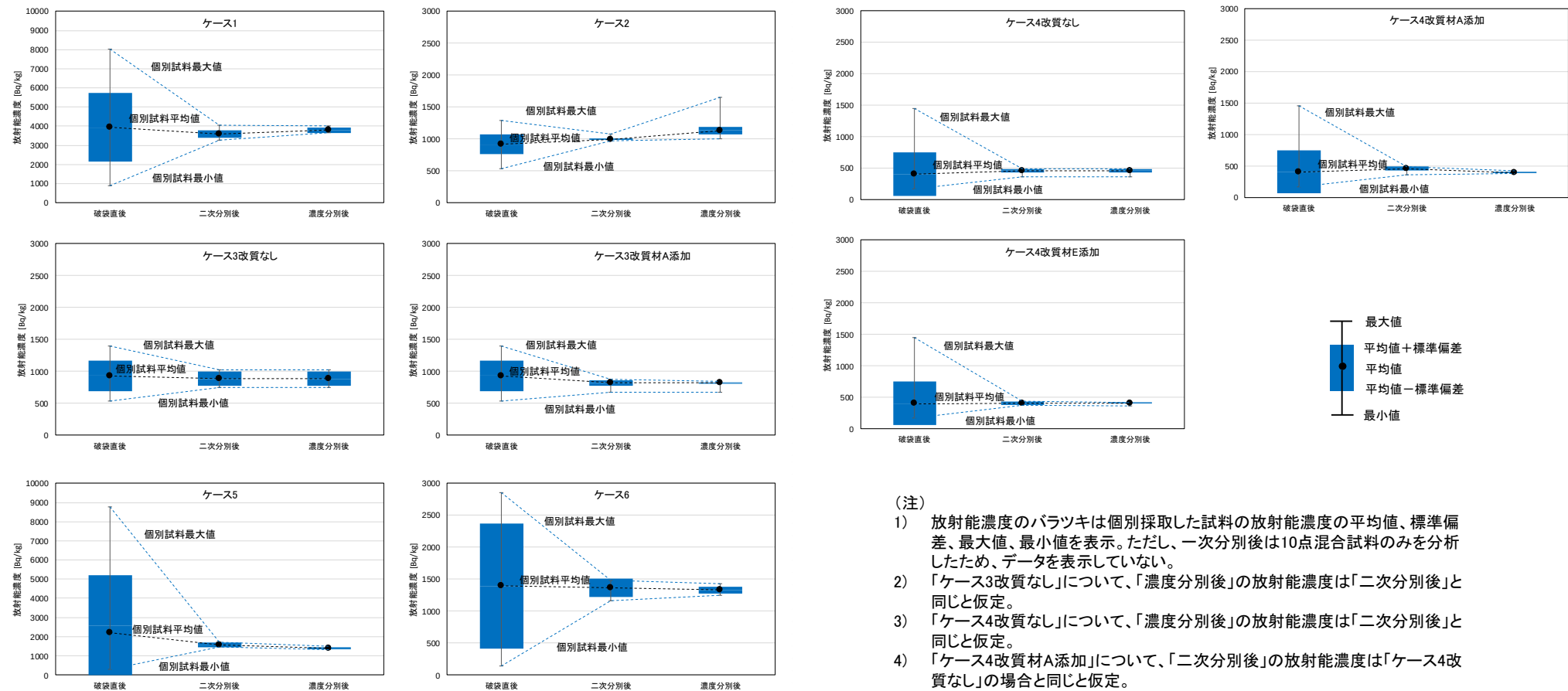
ケース		ID	放射能濃度(Cs合計) [Bq/kg]				相違※1
			10点混合	個別採取 (n=3～10)			
				最小	最大	平均	
(1)	破袋直後	1 f0601011902	3,451	2,441	4,316	3,172	
		2 f0601006286	3,120	889	7,444	3,723	
		3 f0601011912	4,564	2,755	5,296	4,644	
		4 f0601003495	6,145	5,538	8,029	6,301	
		5 f0601010854	2,708	2,134	3,403	2,925	
		加重平均	3,834	2,580	5,372	3,943	
	一次分別後	4,010	—	—	—	1.7%	
	二次分別後	3,546	3,272	4,067	3,602	-8.7%	
濃度分別後	3,721	3,608	4,006	3,800	-3.6%		
(2)	破袋直後	6 f0601003173	941	761	1,042	908	
		7 f0601003736	769	532	915	815	
		8 f0601006983	875	592	994	801	
		9 f0601008824	835	1,091	1,287	1,189	
		10 f0601008843	900	558	1,293	814	
		加重平均	860	722	1,108	917	
	一次分別後	1,067	—	—	—	16.4%	
	二次分別後	1,078	970	1,079	992	8.2%	
濃度分別後	1,492	999	1,647	1,132	23.5%		
(3)	破袋直後	11 f0601003915	742	772	1,400	1,038	
		12 f0601002578	453	825	1,104	931	
		13 f0601002577	1,028	852	1,096	1,011	
		14 f0601002944	629	533	662	616	
		15 f0601003722	969	836	1,180	1,007	
		加重平均	763	769	1,110	931	
	一次分別後(改質なし)	850	—	—	—	-8.8%	
	二次分別後(改質なし)	939	743	1,020	880	-4.9%	
	一次分別後(改質材A添加)	858	—	—	—	-7.8%	
	二次分別後(改質材A添加)	654	654	852	792	-12.3%	
濃度分別後(改質材A添加)	651	651	823	794	-12.1%		

ケース			ID	放射能濃度(Cs合計) [Bq/kg]				相違※1
				10点混合	個別採取 (n=3~10)			
					最小	最大	平均	
(4)	破袋直後	16	f0601002937	288	242	276	262	
		17	f0601002950	390	254	392	335	
		18	f0601002965	207	178	222	203	
		19	f0601002978	742	173	291	239	
		20	f0601002984	588	288	1,455	954	
		加重平均		454	227	541	407	
	一次分別後		327	—	—	—	-19.5%	
	二次分別後(改質なし)		364	364	493	462	13.5%	
	一次分別後(改質材A添加)		302	—	—	—	-25.9%	
	濃度分別後(改質材A添加)		418	384	430	397	-2.5%	
	一次分別後(改質材E添加)		346	—	—	—	-25.9%	
	二次分別後(改質材E添加)		393	374	438	410	0.9%	
濃度分別後(改質材E添加)		353	363	422	408	0.3%		
(5)	破袋直後	21	f0601002907	922	285	2,464	1,025	
		22	f0601002908	765	619	1,004	749	
		23	f0601002910	4,770	5,700	8,762	6,816	
		24	f0601002909	1,067	808	1,242	1,066	
		加重平均		1,740	1,672	3,138	2,213	
	一次分別後		1,090	—	—	—	-50.7%	
	二次分別後		1,492	1,448	1,719	1,567	-29.2%	
	濃度分別後		1,498	1,321	1,498	1,386	-37.4%	
(6)	破袋直後	25	f0601010900	2,887	2,623	2,851	2,723	
		26	f0601009360	2,798	2,424	2,751	2,548	
		27	f0601006299	1,607	1,464	1,780	1,580	
		28	f0601002539	1,572	934	1,202	1,088	
		29	f0601002843	259	318	347	333	
		30	f0601008832	204	136	168	148	
		加重平均		1,550	1,307	1,503	1,394	
	一次分別後		1,529	—	—	—	9.7%	
	二次分別後		1,348	1,161	1,478	1,366	-2.0%	
	濃度分別後		1,498	1,250	1,431	1,329	-4.7%	

※1 破袋直後の加重平均した濃度に対する相違。改質材を添加した場合はその添加分の重量を考慮。

試験盛土 ＜放射能濃度の分布（3/3）＞

【各段階における土壌の放射能濃度の分布について】



詳細調査の各段階における土壌の放射能濃度(サンプリングによるGe半導体検出器による測定結果)のバラツキの推移

再生資材の製造過程において、破袋直後、二次分別後、濃度分別後の濃度平均値がほぼ一定であることを確認

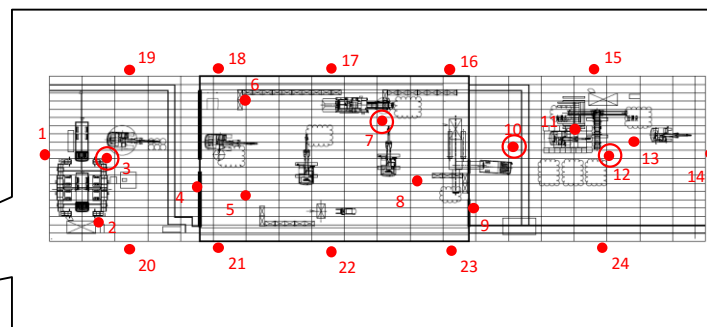
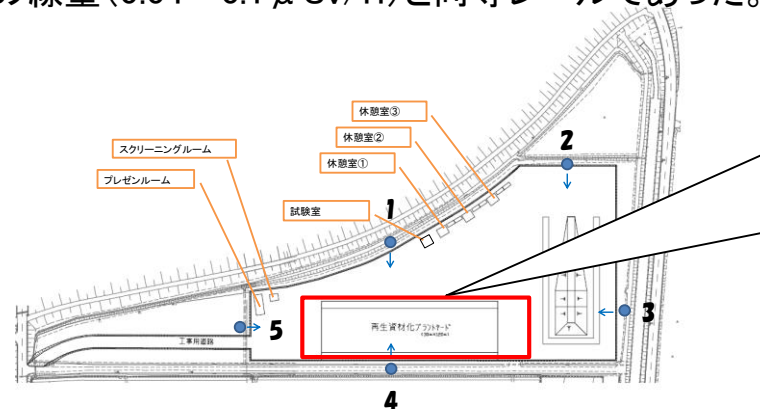
技術的確認項目

- 再生資材化試験
- 試験盛土
- 放射線管理

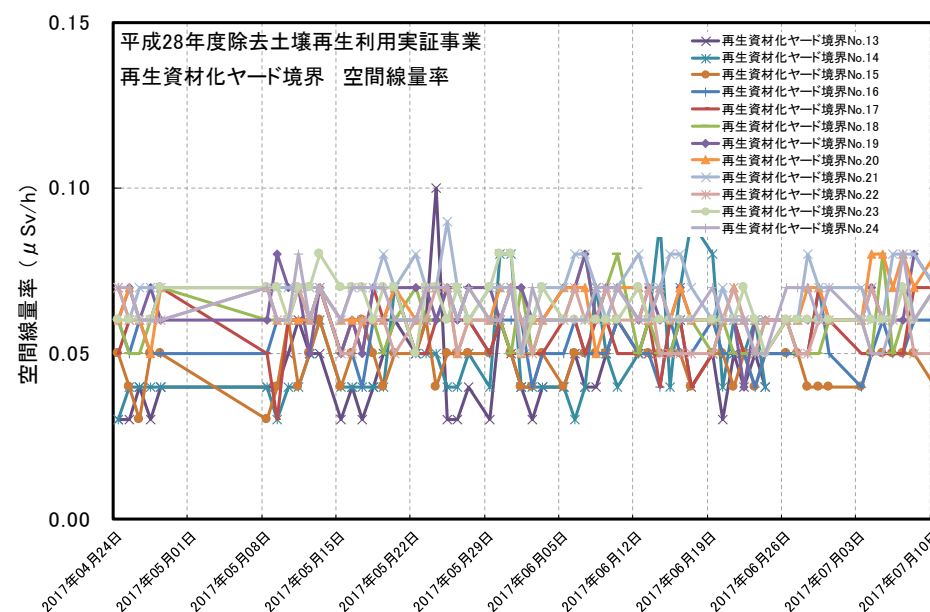
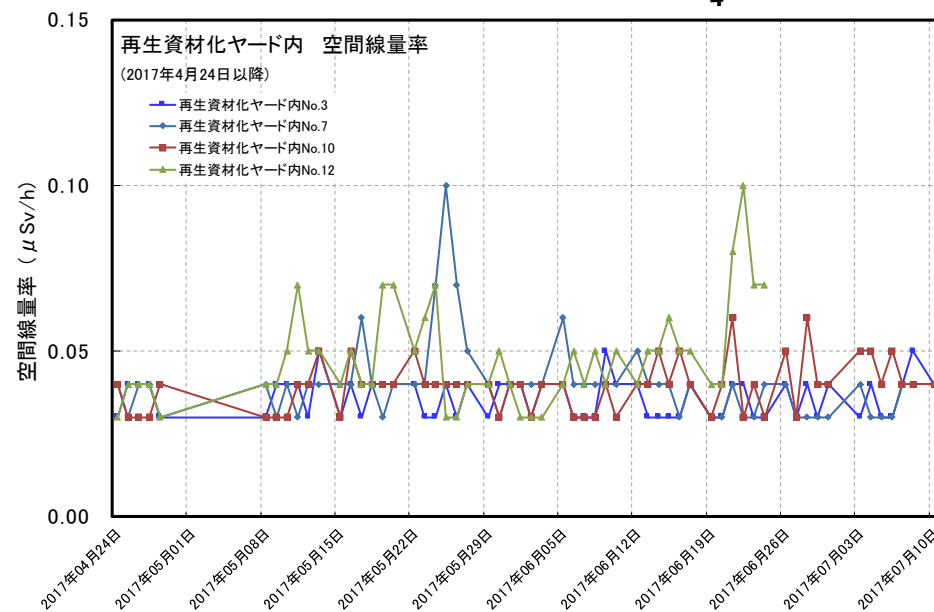
環境モニタリング <作業上の放射線安全 (1/5)>

【再生資材化ヤード】

- ・ ヤード内の作業エリアごとの境界や動線を考慮し、測定位置を設定。
- ・ NaIシンチサーベイメータにより、24地点での測定を実施。
- ・ 概ね敷地境界の線量(0.04~0.1 $\mu\text{Sv/h}$)と同等レベルであった。



空間線量率の測定位置

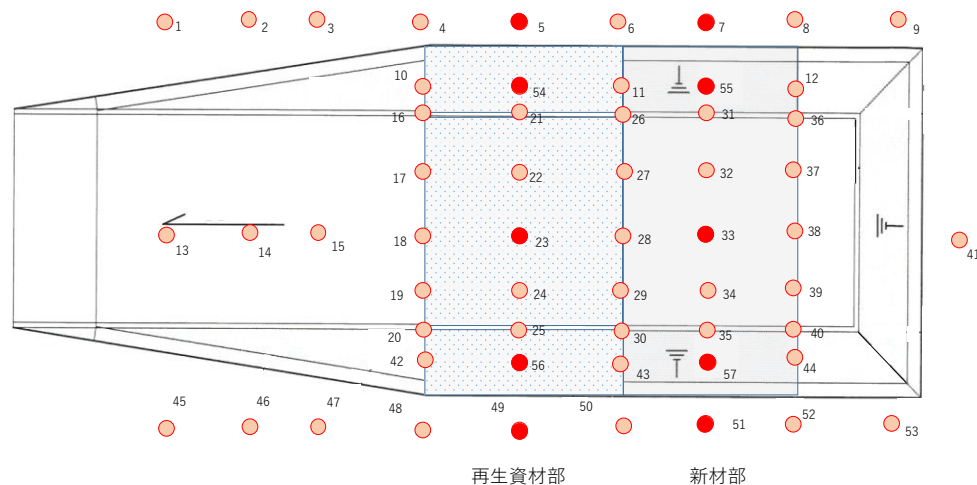


空間線量率の測定結果

環境モニタリング <作業上の放射線安全 (2/5)>

【盛土ヤード】

- 天端や法面の主要地点、及び法尻から1mの位置等を、測定点として設定し、NaIシンチサーベイメータにより、57地点での測定を実施。
- 再生資材部では、覆土前の空間線量率は天端中央で $0.19 \sim 0.21 \mu\text{Sv/h}$ 、法面中央で $0.13 \sim 0.18 \mu\text{Sv/h}$ であったが、50cm覆土を行うことにより、概ねバックグラウンドの空間線量率と同等の $0.05 \sim 0.06 \mu\text{Sv/h}$ となることが確認された。
- なお、盛土施工時に再生資材をサンプリングしGe半導体分析器により放射能濃度を分析した結果、 $411 \sim 1,000 \text{Bq/kg}$ (平均 771Bq/kg)であった。



空間線量率の測定位置

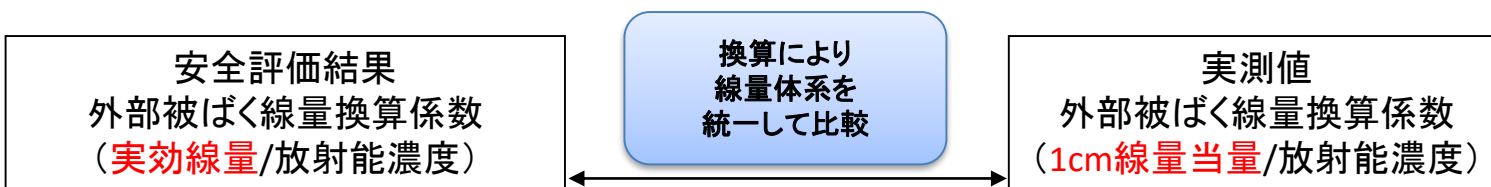
空間線量率の測定結果
空間線量率の測定位置の●点のモニタリング結果を記載
単位: $\mu\text{Sv/h}$

層数等	再生資材部			新材部		
	天端中央(No23)	法面中央(No54,56)	法尻から1m(No5,49)	天端中央(No33)	法面中央(No55,57)	法尻から1m(No7,51)
1層目転圧後	0.19	0.13~0.14	0.06	0.07	0.05	0.05
2層目転圧後	0.19	0.13~0.14	0.06~0.07	0.06	0.05	0.04~0.05
3層目転圧後	0.19	0.13	0.05~0.07	0.06	0.05	0.05
4層目転圧後	0.19	0.15~0.16	0.05~0.07	0.05	0.05	0.05~0.06
5層目転圧後	0.21	0.17~0.18	0.06~0.07	0.06	0.06	0.05~0.06
覆土後	0.06	0.05~0.06	0.05	0.05	0.05	0.05~0.06

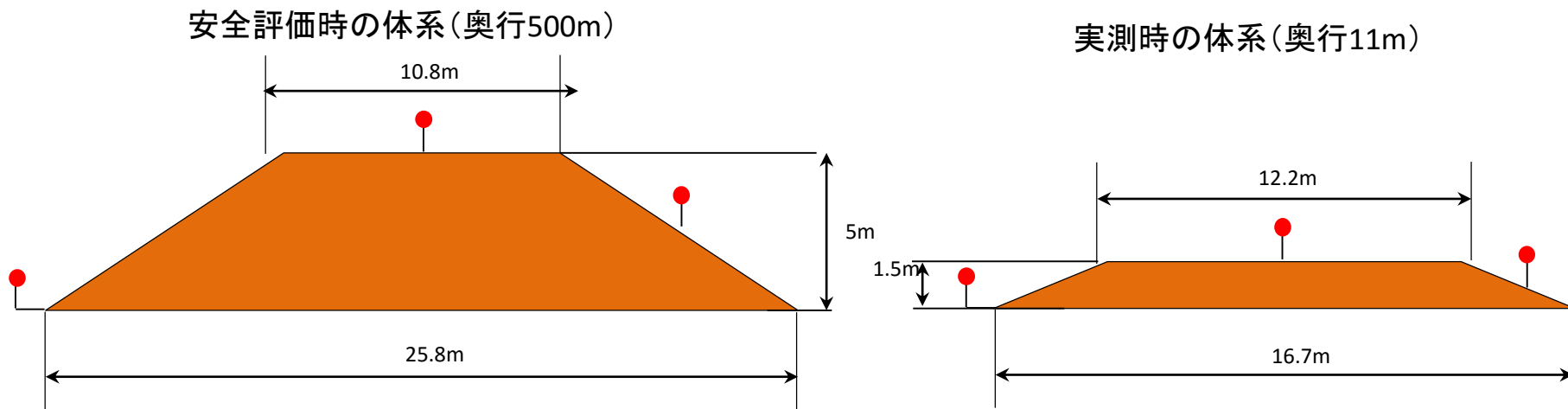
環境モニタリング <作業上の放射線安全 (3/5)>

【安全評価結果と実測値との比較】

- 外部被ばく線量換算係数を比較することにより、安全評価体系までの大きさの盛土施工において盛土施工及び盛土保護工作者並びに建設現場周辺居住者の年間被ばく線量が1mSv以下となることの確認を目的とする。
- ただし、外部被ばく線量換算係数の算出に用いた空間線量について、下記朱記のとおり、条件が異なるため、安全評価で用いた空間線量を実測値の線量体系に換算し、比較した。(実効線量を1cm線量当量に換算)



- また、安全評価時の盛土の大きさと実測時の盛土の大きさが異なるため、上記の比較と併せ実測時の盛土の大きさと同一の条件でMCNP5(安全評価に用いられた計算コードと同じ)を用いたシミュレーション計算を実施し、計算の確からしさを確認した。



● 外部被ばく線量評価点 (高さ1m)

環境モニタリング <作業上の放射線安全 (4/5)>

【盛土施工に係る作業者及び建設現場周辺居住に係る外部被ばく線量換算係数評価結果】

基本的考え方示す再生利用可能濃度限度を遵守することで、施工中の追加被ばく線量を1mSv/年以下に抑えられることを確認
外部被ばく線量換算係数に係る実証試験結果と計算評価の比較結果【暫定】

実証試験における確認項目	単位	実証試験 暫定結果	計算評価結果		実証/計算 【暫定】	
			評価体系	計算結果		
盛土施工作業に係る外部被ばく線量換算係数	Cs-134 μSv/h per Bq/g	3.41E-01※1	安全評価体系	線源形状:高さ5m、底面25.8m×500m、上面10.8m×500m 線源のかさ密度:2.0g/cm3 評価点:上面中点から高さ1m	4.01E-01※2	0.85
			実証体系	線源形状:高さ1.5m、底面16.7m×11m、上面12.2m×11m 線源のかさ密度:1.964g/cm3 評価点:上面中点から高さ1m	3.70E-01※3	0.92
	Cs-137 μSv/h per Bq/g	1.26E-01※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:上面中点から高さ1m	1.42E-01※2	0.88
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:上面中点から高さ1m	1.33E-01※3	0.95
保護作業に係る外部被ばく線量換算係数	Cs-134 μSv/h per Bq/g	2.16E-01※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:法面中央から高さ1m	3.89E-01※2	0.56
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:法面中央から高さ1m	2.86E-01※3	0.76
	Cs-137 μSv/h per Bq/g	7.99E-02※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:法面中央から高さ1m	1.38E-01※2	0.58
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:法面中央から高さ1m	1.03E-01※3	0.78
建設現場周辺居住に係る外部被ばく線量換算係数	Cs-134 μSv/h per Bq/g	3.53E-02※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:底面500mの辺の中点から1m、高さ1m	1.72E-01※2	0.21
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:底面11mの辺の中点から1m、高さ1m	1.19E-01※3	0.30
	Cs-137 μSv/h per Bq/g	1.31E-02※1	安全評価体系	線源体系等は、上記の安全評価体系と同じ 評価点:底面500mの辺の中点から1m、高さ1m	6.01E-02※2	0.22
			実証体系	線源体系等は、上記の実証体系と同じ 評価点:底面11mの辺の中点から1m、高さ1m	4.27E-02※3	0.31

【参考】

光子フルエンスから実効線量及び1cm線量当量への換算係数				
光子エネルギー(MeV)	E/Φ (pSv・cm2)	H*(10)/Φ(pSv・cm2)	換算係数の比	適用
【実効線量 (AP照射条件) ⇒ 1cm線量当量換算】				
0.600	2.908	3.44	1.18(= 3.44/2.908)	盛土施工
0.800	3.727	4.38	1.18(= 4.38/3.727)	盛土施工
【実効線量 (ISO照射条件) ⇒ 1cm線量当量換算】				
0.600	1.942	3.44	1.77(=3.44/1.942)	盛土保護工、周辺居住
0.800	2.594	4.38	1.69(=4.38/2.594)	今回は、簡易評価のため使用なし
各換算係数はICRP.pub.74掲載データに基づく(実効線量率はAP照射条件(盛土施工)又はISO照射条件(保護工及び周辺居住))				

※1: 実証試験結果は、1cm線量当量により測定・評価
※2: 安全評価は、実効線量により実施(MCNP5により計算)
実証試験結果との比較のため上表では既往の安全評価結果に
1.18(AP照射 (前方照射) 条件)又は1.77(ISO照射 (等方照射) 条件)を乗じ
、簡易的に1cm線 量当量による外部被ばく線量換算係数に換算し、比較
した。
※3: 実証体系での計算評価は、1cm線量当量により実施

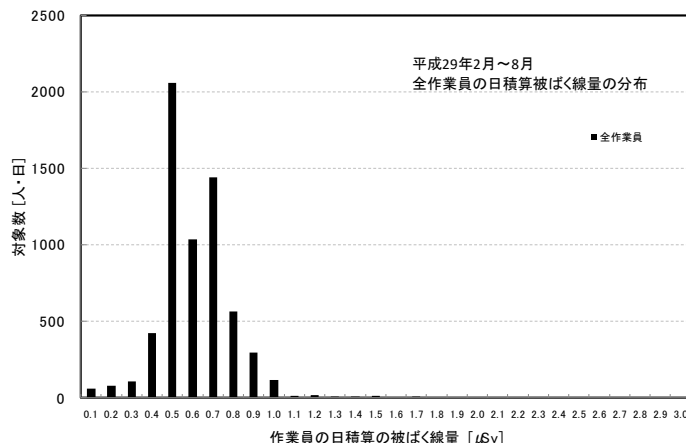
環境モニタリング <作業員個人被ばく線量(5/5)>

【測定方法】

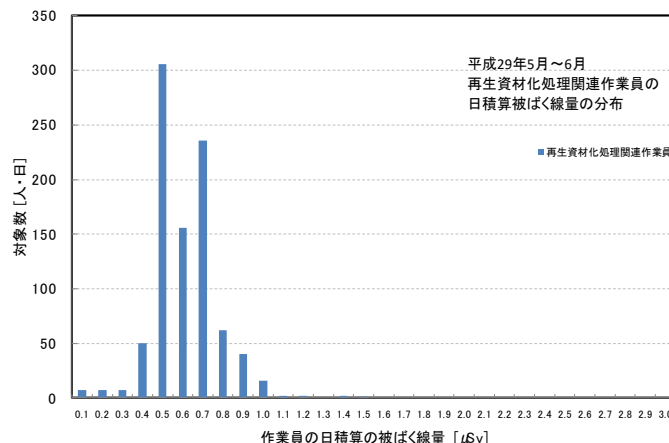
- 1時間ごとの個人線量当量が記録される個人線量計を作業員が装着し、日々の被ばく線量を測定。
- 作業員の胸部に装着し、作業員の作業開始時刻と終了時刻も併せて記録。

【測定結果】

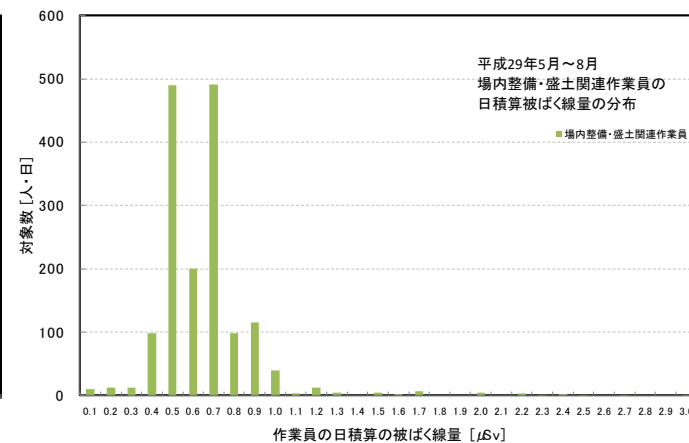
- 全作業員の日積算の被ばく線量(平成29年2月～8月分)は、平均 $0.61 \mu\text{Sv}$ 、最大 $3.0 \mu\text{Sv}$ 。
- 再生資材化処理の通常処理を実施した作業員の日積算の被ばく線量(5～6月分)は、平均 $0.61 \mu\text{Sv}$ 、最大 $1.5 \mu\text{Sv}$ 。
- 盛土施工の準備及び施工を実施した作業員の日積算の被ばく線量(5～8月分)は、平均 $0.65 \mu\text{Sv}$ 、最大 $3.0 \mu\text{Sv}$ 。被ばく線量が高い作業員は、RI試験等に従事した者であり、再生資材からよりもRI線源からの寄与が大きかったものと推測。
- なお、上記の日積算の被ばく線量には、除去土壌等や再生資材から受ける被ばく線量のみならず、バックグラウンドから受ける被ばく線量を含む。



全作業員の日被ばく線量の分布(2月～8月分)



作業員の日被ばく線量の分布
(再生資材化処理5～6月分)

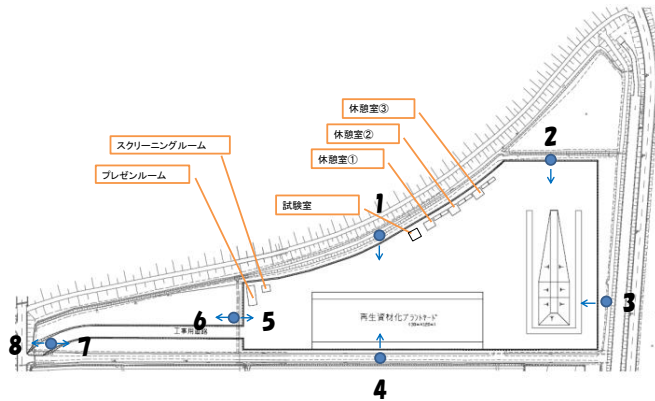


作業員の日被ばく線量の分布
(盛土等5～8月分)

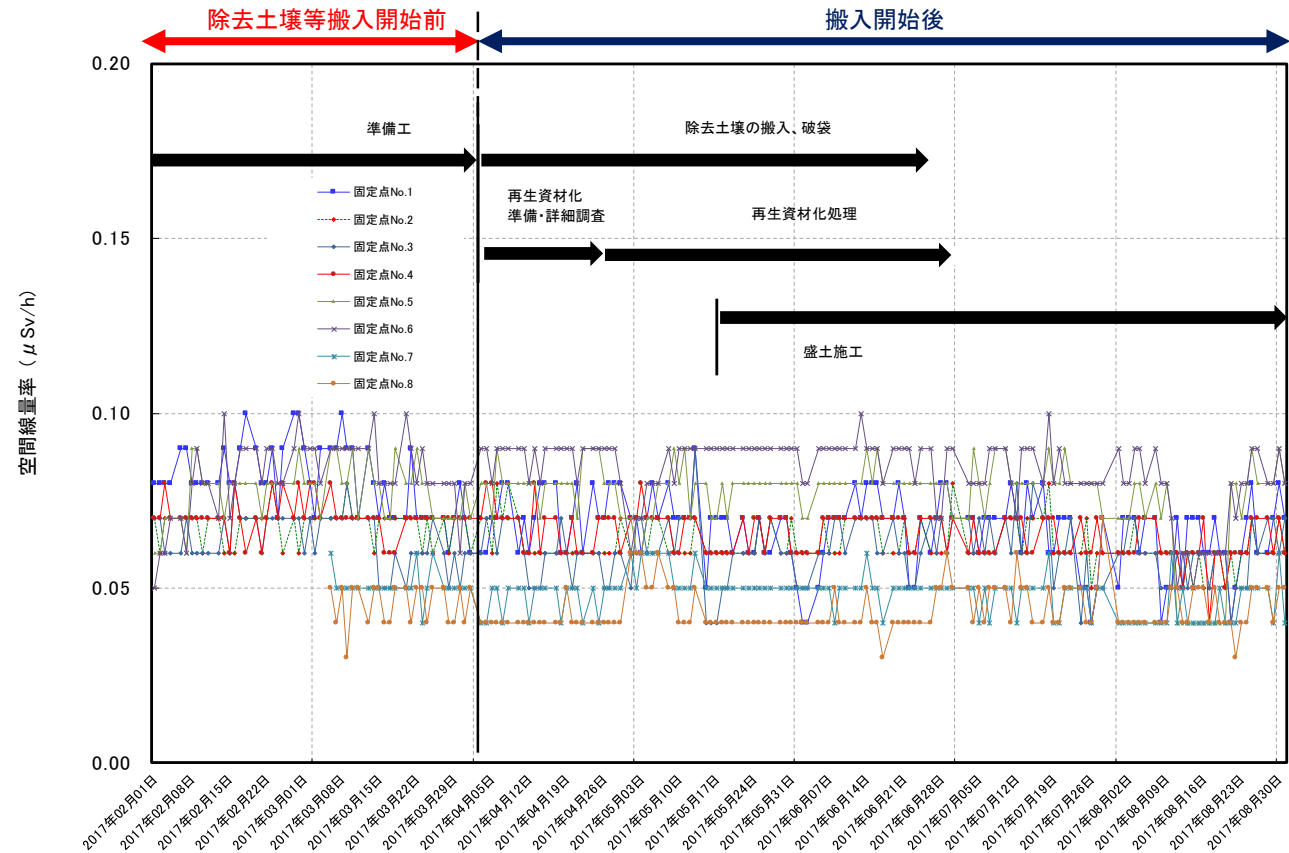
環境モニタリング <周辺環境の安全（1/8）>

【空間線量率】

- NaIシンチサーベイメータにより、6地点（のべ8方向）での測定を実施。
- 除去土壌搬入・破袋開始前から、空間線量率は概ね $0.04 \sim 0.09 \mu\text{Sv/h}$ 程度であり、大きくは変動していない。



空間線量率の測定位置及び測定方向



空間線量率の測定結果

環境モニタリング <周辺環境の安全（2/8）>

【輸送車両周辺等の空間線量率】

- 輸送車両周辺の空間線量率について、再生資材の大型土のう袋を積載した状態と、積載していない状態で、①～⑧は、車両から1mの距離において測定、⑨、⑩は運転席内において測定。

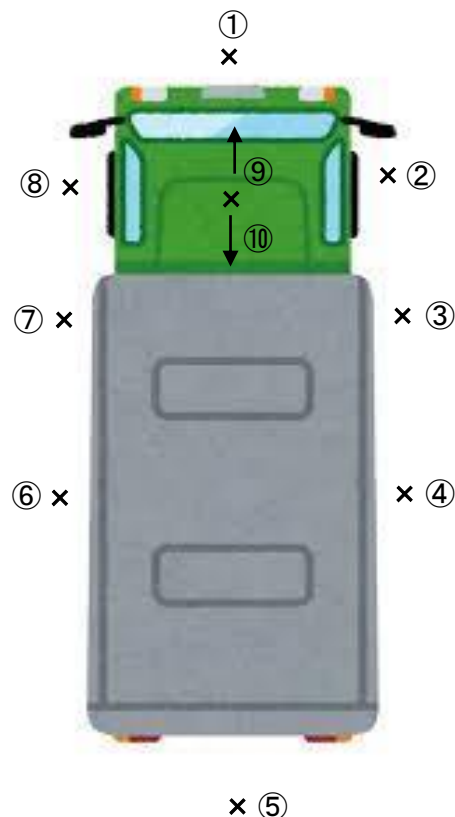


表 輸送車両の周辺1mにおける空間線量率(例)

測定点	空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)	
	積載時	非積載時
①	0.03	0.04
②	0.04	0.03
③	0.07	0.04
④	0.07	0.04
⑤	0.05	0.04
⑥	0.08	0.04
⑦	0.09	0.04
⑧	0.06	0.05
⑨	0.03	0.04
⑩	0.03	0.04

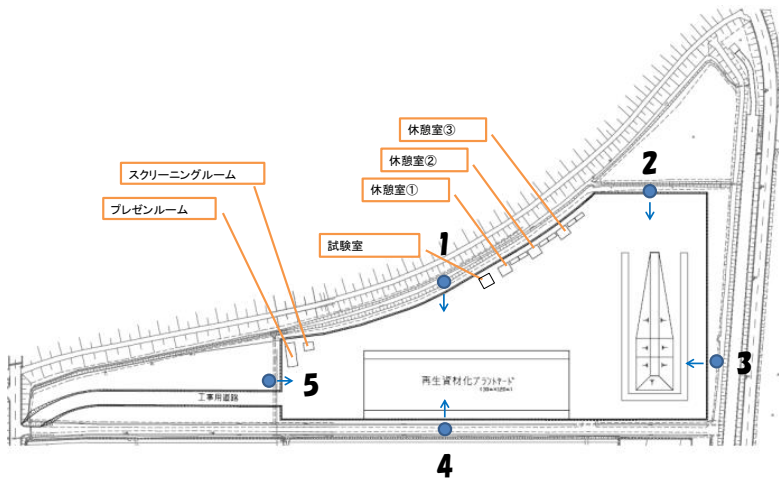
(※) 積載再生資材の濃度: 約800Bq/kg

- 積載時においても規制基準値である $100 \mu\text{Sv/h}$ を大きく下回ることを確認。
- なお、輸送車両運転席の空間線量率は、積載時、非積載時とも、バックグラウンド(0.03)と同程度。

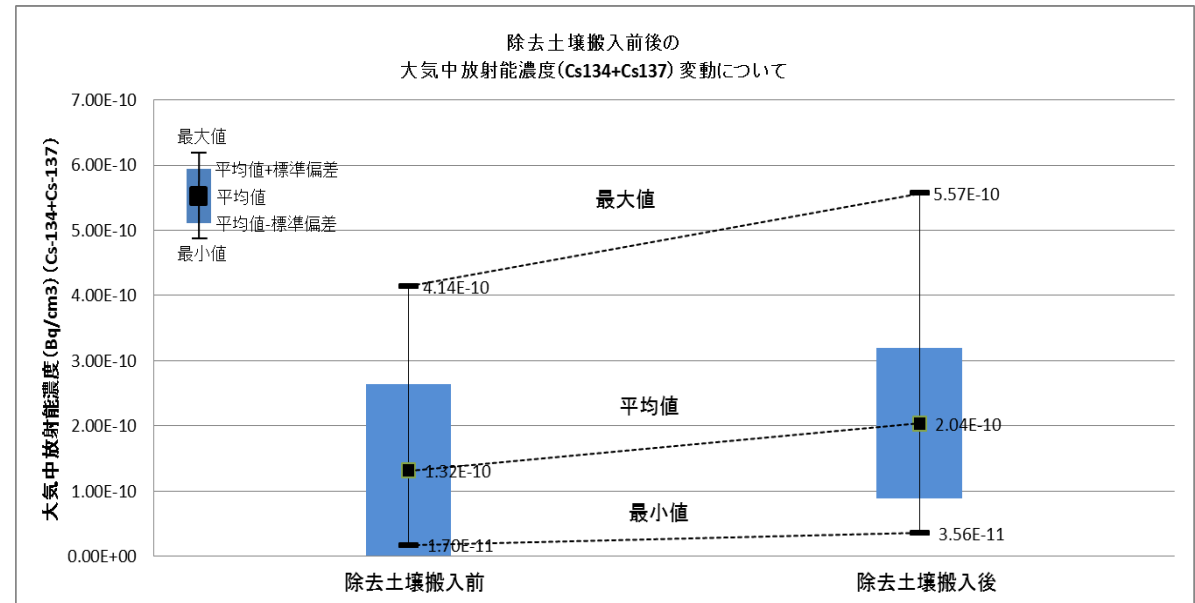
環境モニタリング <周辺環境の安全（3/8）>

【大気中放射能濃度】

- ダストサンプラにより吸引・捕集したダストを、Ge半導体検出器分析により放射能濃度測定。
- 基本的に1週間連続吸引したダストを1検体とし、概ね検出下限値が $5\text{E-}11\text{Bq/cm}^3$ 程度以下となるよう、Ge半導体検出器による分析時間数を設定。
- 大気中放射能濃度は除去土壌搬入・破袋開始前から大きくは変動していない。



大気中放射能濃度用ダスト採取位置及び吸引方向



除去土壌	Cs134濃度 (Bq/cm ³)	Cs137濃度 (Bq/cm ³)
搬入前 (H29年4月以前)	$2.25\text{E-}11 \sim 4.70\text{E-}11$	$1.70\text{E-}11 \sim 3.67\text{E-}10$
搬入後 (H29年4月以降)	$2.80\text{E-}11 \sim 6.27\text{E-}11$	$3.56\text{E-}11 \sim 4.98\text{E-}10$

大気中放射能濃度の測定結果

環境モニタリング <周辺環境の安全（4/8）>

【実証試験結果】

保守的に盛土着工前の最小濃度と盛土着工中の最大濃度を再生資材寄与の上昇と考えた場合の内部被ばく線量計算結果を示す。

盛土着工前後の大気中放射能濃度の測定結果

	測定地点	Cs-134濃度	Cs-137 濃度
盛土着工前の最小濃度	測定地点1	ND (2.55E-12Bq/cm ³ ※)	1.70E-11Bq/cm ³
盛土着工中の最大濃度	測定地点5	5.90E-11Bq/cm ³	4.98E-10Bq/cm ³
着工前と着工中の差		5.65E-11Bq/cm ³	4.81E-10Bq/cm ³

【結論】

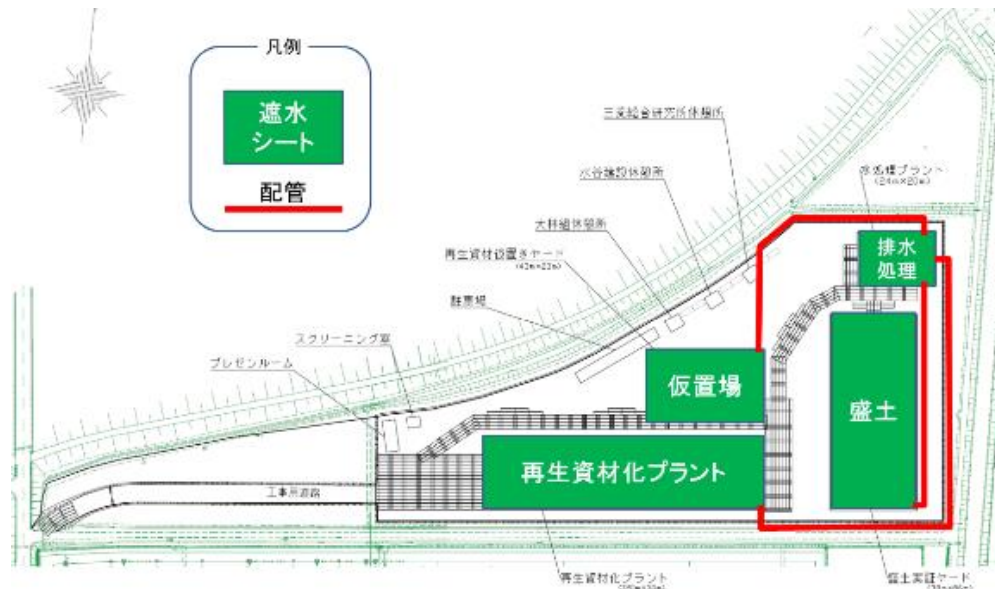
仮に盛土着工前の最小濃度と盛土着工中の最大濃度の差を再生資材寄与の上昇と考えた場合、作業員、成人及び子どもの吸入による内部被ばく線量は、 $10^{-3} \sim 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{年}$ オーダーとなり、施工中の作業員及び公衆被ばく限度となる1mSv/年と比べ、十分低いと評価される。

※現時点の濃度比を $^{137}\text{Cs}:^{134}\text{Cs}=1:0.15$ （事故後6年）と仮定した場合、Cs-137濃度より算出

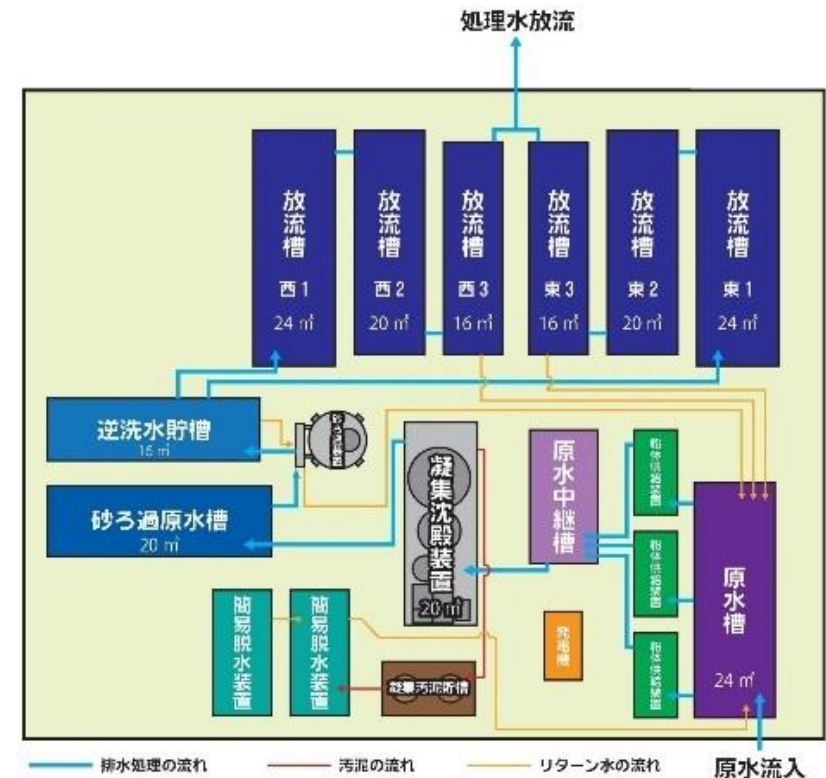
環境モニタリング <周辺環境の安全(5/8)>

【処理水(排水)】

- ・ 降雨等により発生した水等の排水を処理するため、排水処理設備を設置。
- ・ 凝縮沈殿処理、pH調整及び砂ろ過を実施後、南相馬市関連の排水基準に従い、公共水域へ放流。



排水処理設備の設置位置



排水処理設備図

環境モニタリング <周辺環境の安全(6/8)>

処理水の放射能濃度等の測定結果

項目		4月					5月				
		7日	14日	19日	26日	28日	13日	15日	16日	25日	30日
放射能濃度 (Bq/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	検出下限値	4.97	5.44	5.55	5.3	5.43	6.76	7.13	6.62	8.47	5.63
水素イオン濃度 (pH)		7.69	7.94	7.99	7.85	8.02	7.83	8.56	8.28	7.45	7.29
浮遊物重量 (SS量)		10.2	8.7	4.6	0.7	3.0	1.6	5.5	4.9	4.4	1.3

項目		6月									
		1日	2日	7日	12日	14日	19日	20日	22日	23日	28日
放射能濃度 (Bq/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	検出下限値	5.57	5.93	5.46	5.5	5.5	5.5	5.57	5.36	5.36	5.63
水素イオン濃度 (pH)		7.66	8.15	7.56	7.7	7.66	7.86	8.38	8.26	7.92	7.59
浮遊物重量 (SS量)		7.0	17.9	0.2	0.0	7.4	7.9	11.4	11.4	13.3	3.7

項目		7月										8月				
		3日	4日	5日	18日	19日	24日	25日	26日	28日	31日	2日	8日	9日	21日	31日
放射能濃度 (Bq/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	検出下限値	5.53	5.32	5.53	5.99	5.46	5.77	5.57	5.54	5.39	4.48	5.48	5.79	6.48	5.92	5.86
水素イオン濃度 (pH)		7.46	7.18	7.29	7.74	7.53	7.67	7.52	7.47	8.04	7.64	7.17	7.51	7.30	7.70	7.70
浮遊物重量 (SS量)		6.8	8.9	14.3	5.7	4.7	3.6	3.7	4.4	0.8	4.4	0.4	6.8	10.5	4.9	1.0

- これまでの放射能濃度の測定では、Cs-134、Cs-137ともにすべてND(検出下限値未満)である。
- 記載の検出下限値はセシウム合計に対する値である。
- 浮遊物重量(SS量)は、ポータブル濁度計での測定値。定期的に別途計量機関で浮遊物重量(SS量)を計測。

なお、各項目の放流基準(管理値)は下表のとおり。

計測管理項目及び放流基準

計測管理項目	単位	放流基準(管理値)
放射能濃度(Cs-134)	Bq/L	60 以下
放射能濃度(Cs-137)	Bq/L	90 以下
水素イオン濃度(pH)	—	5.8～8.6
浮遊物質量(SS 量)	mg/L	50 以下

【盛土浸透水の集水方法】

- 浸透水集水設備により、試験盛土の内部を浸透する雨水等を、再生資材部分と新材部分に分けて盛土底部で集水
- 集水層に溜まった浸透水を、ポンプを用いてタンクに集水・採取

【浸透水の放射能濃度(概要)】

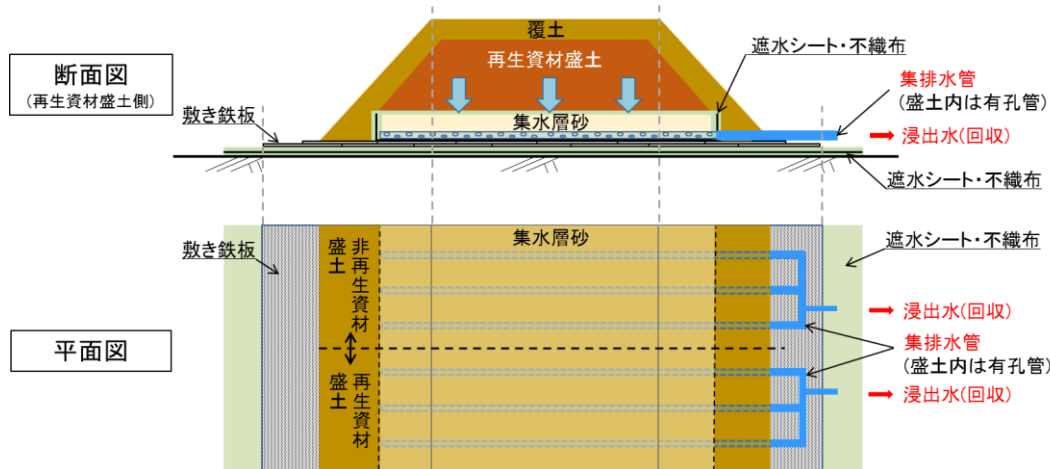
- 浸透水の放射能濃度の測定結果は、浸透水の採取を開始した平成29年5月15日から、すべて検出下限値未満
- 今回の検出下限値は通常的环境放出管理値よりも高精度の測定を行った結果、以下のとおりであった。
Cs-134 : 0.110Bq/L
Cs-137 : 0.143Bq/L
- 再生資材を利用した盛土の浸透水中に含まれる放射性物質の濃度が、検出下限値未満であることを確認した。



浸透水の集水設備の概観

環境モニタリング <周辺環境の安全（8/8）>

【浸透水の放射能濃度（詳細）】



確認項目	実証試験結果等
盛土のかさ密度	約2.0g/cm ³
盛土の空隙率	約0.05
再生資材中放射能濃度	約800Bq/kg
盛土浸透水中放射能濃度	解析時間: 36,000秒
・ ¹³⁴ Cs濃度 (Bq/L)	ND (検出下限値: 0.110Bq/L)
・ ¹³⁷ Cs濃度 (Bq/L)	ND (検出下限値: 0.143Bq/L)

【試験結果】

- いずれの測定も検出下限値未満(測定時間:36,000sec)であることを確認。
- 仮に¹³⁷Csが検出下限値である0.143Bq/L存在した場合
現時点の濃度比を¹³⁷Cs:¹³⁴Cs=1:0.15(事故後6年)と仮定した場合、¹³⁴Csの濃度は、0.021Bq/L程度となる。
- ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs濃度:約0.164 (Bq/L)

【結論】

- 安全評価に用いた分配係数270mL/gを用い、再生資材800Bq/kgの浸透水中放射能濃度を評価した場合(分配平衡が成り立っているとの仮定)、約3.0Bq/Lの溶出量となる。
- 実証試験結果は、検出下限値の濃度が浸透水中に含まれていると仮定しても安全評価結果を大きく下回っている。ただし、溶出量は、土壌pH、有機物含有量等によって変動する可能性があるため、再生資材製造・利用工程上のいずれかにおいて溶出量検査を行い、安全性を担保することを検討する。

【安全条件】

環境省告示「事故由来放射性物質による公共の水域及び地下水の汚染を生じさせるおそれのない廃棄物の要件」に適合すること(検出下限値10Bq/L～20Bq/Lで検出されないこと(Geによる測定))を参考にする。

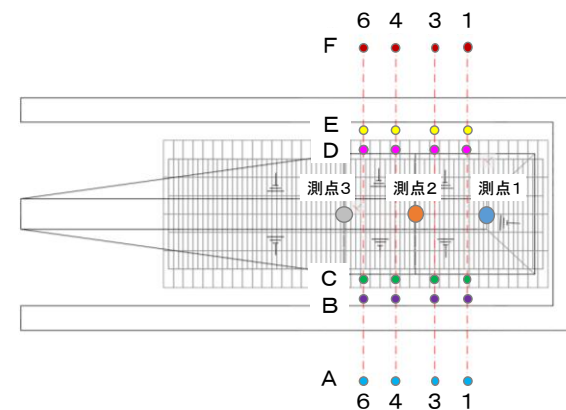
(参考) 地盤の状況 (1/3)

【概要】

- 軟弱な地盤であったため、基盤面の沈下が発生したので、基盤面及び周辺地盤の沈下を計測しながら、安全に配慮しながら作業を実施。
- 基盤面の沈下は発生したが、盛土においては、十分に締め固めをしながら施工が可能であった。また、盛土の形状変更を行ったが、実際に施工した盛土の形状で安全評価を実施したため、確認項目への基盤面沈下による影響はなかった。

【動態観測(基盤面・周辺地盤)】

- 計測期間：
基盤面(測点1, 2, 3) H29.4.13～
周辺地盤(A1～F6) H29.4.27～
- 測点1～測点3では基盤面沈下量、計測ライン1～6では水平変位量と沈下量を計測
- 覆土工及び張芝工後、測点1～3において天端部の変位量を計測



動態観測計測点配置図

【状況写真】



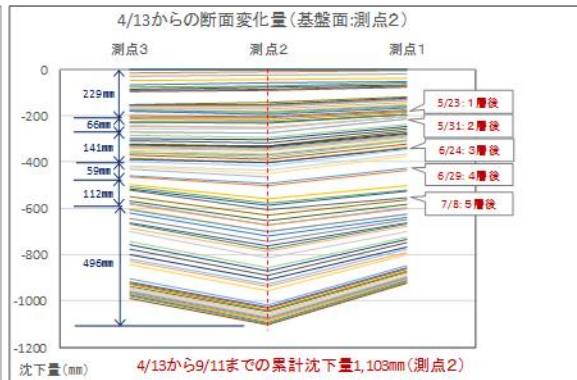
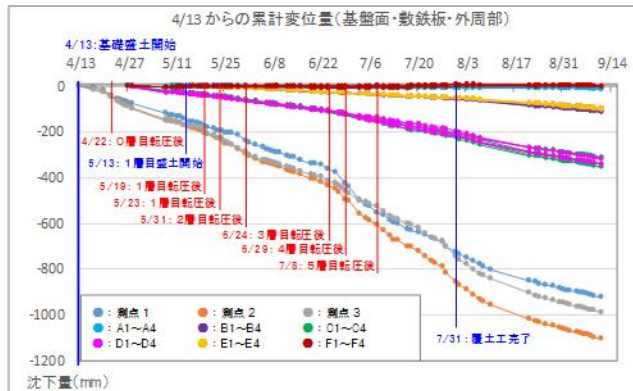
盛土施工状況(2層目)



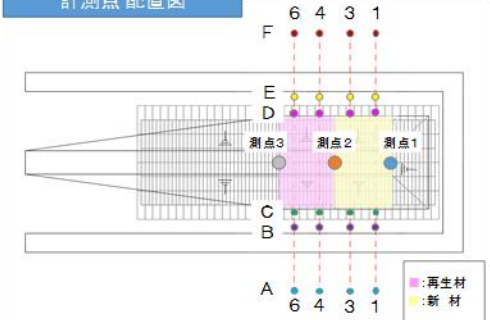
転圧状況(4層目)

(参考) 地盤の状況 (2/3)

累計変位量(測点1~3)

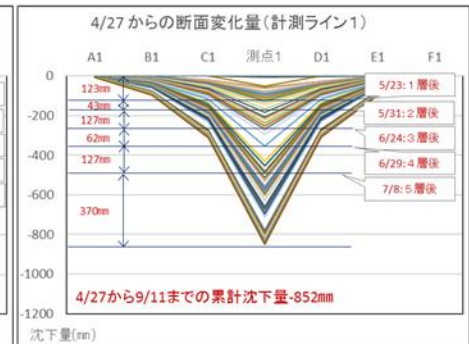
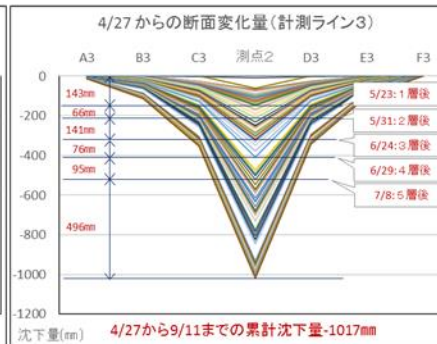
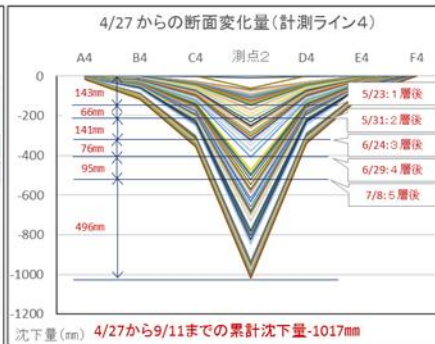
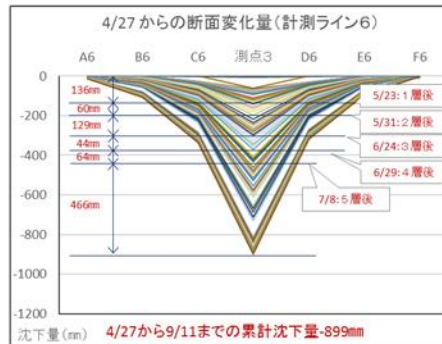


計測点配置図



累計変位量(計測ライン1~6)

7/31の覆土完了後、基盤面(測点)の沈下は収束に向かいつつある事を確認



状況写真



盛土(2層目)



盛土(4層目)



盛土(5層目)

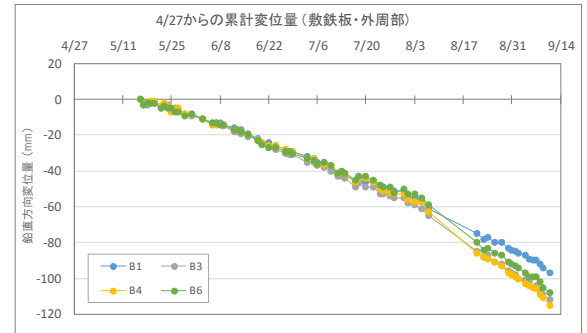
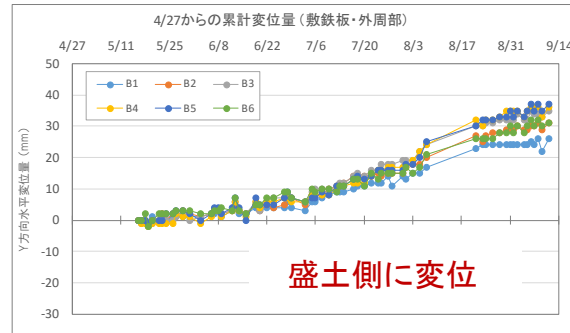
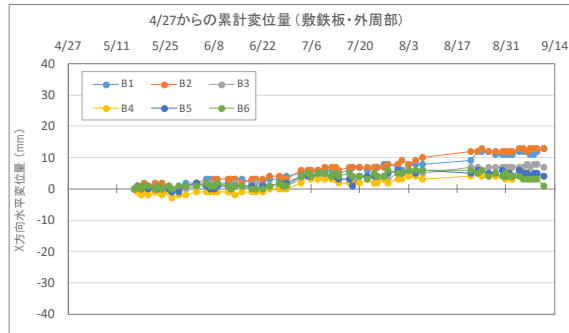
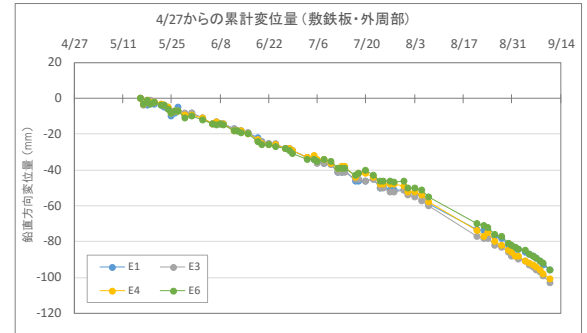
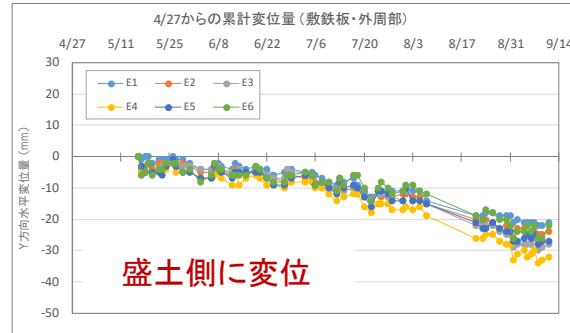
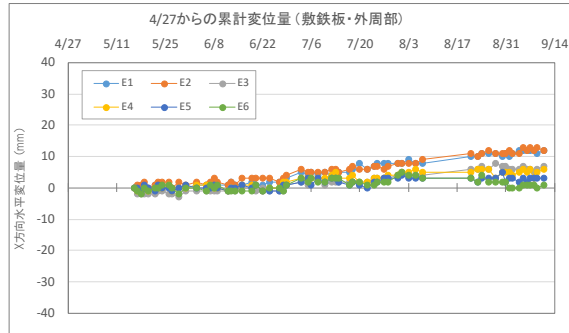


測点1~測点3 配置状況

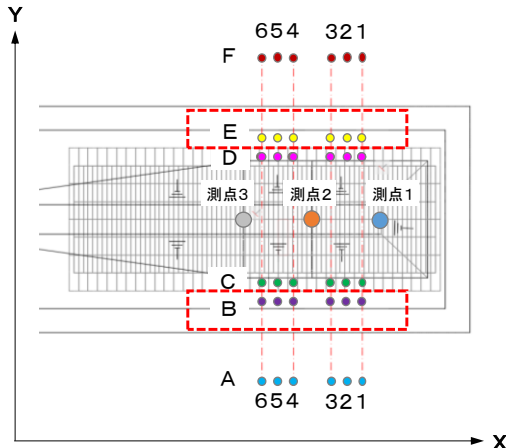
(参考) 地盤の状況 (3/3)

【水平変位及び鉛直変位の経時変化 (計測ラインB・E)】

計測期間：平成29年4月27日～平成29年9月11日



【計測点位置図】



- 盛土中心より14.5m、法尻から3.5m離れた計測点
- Y方向は沈下による影響で、盛土側に4cm程度変位 (安全側の変位)
- 鉛直方向は10～12cm程度沈下

(参考) 環境モニタリング <風向・風速・降雨量 (1/2)>

【風向・風速】

- 実証ヤード内に設置した風向・風速計(1台)により風向・風速を測定。

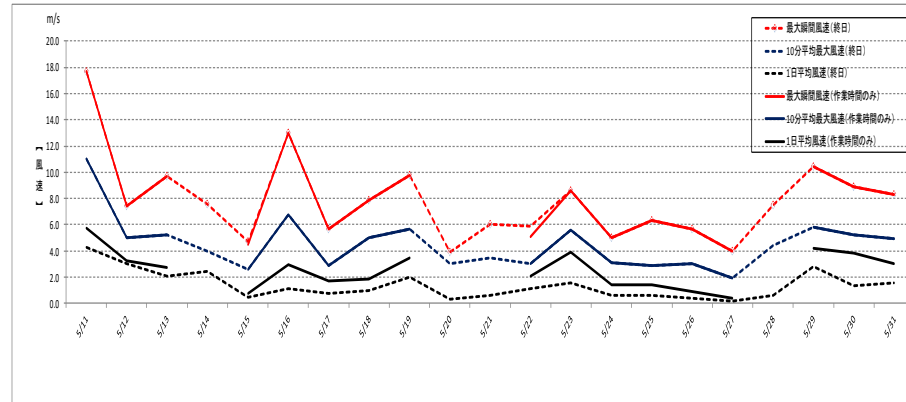


図4-10 実証ヤードにおける風速の変動(5月の例)

※実線は作業時間帯(施工日の午前8時30分～午後4時30分)に限って集計した結果、破線は終日にわたって集計した結果



図4-11 実証ヤードにおける風向の変動(5月の例)

※実線は作業時間帯(施工日の午前8時30分～午後4時30分)に限って集計した結果

(参考) 環境モニタリング <風向・風速・降雨量 (2/2)>

【降雨量】

- 実証ヤード内に設置した降雨計(1台)により降雨量を測定。

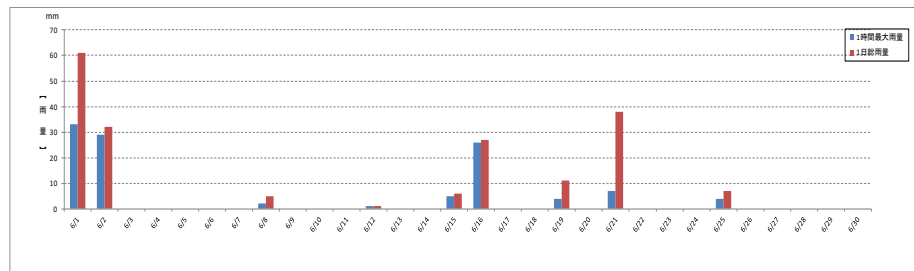


図4-12 実証ヤードにおける降雨量の変動(6月の例)

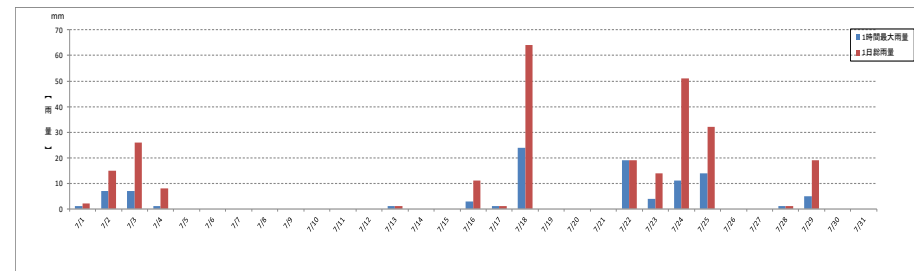


図4-13 実証ヤードにおける降雨量の変動(7月の例)

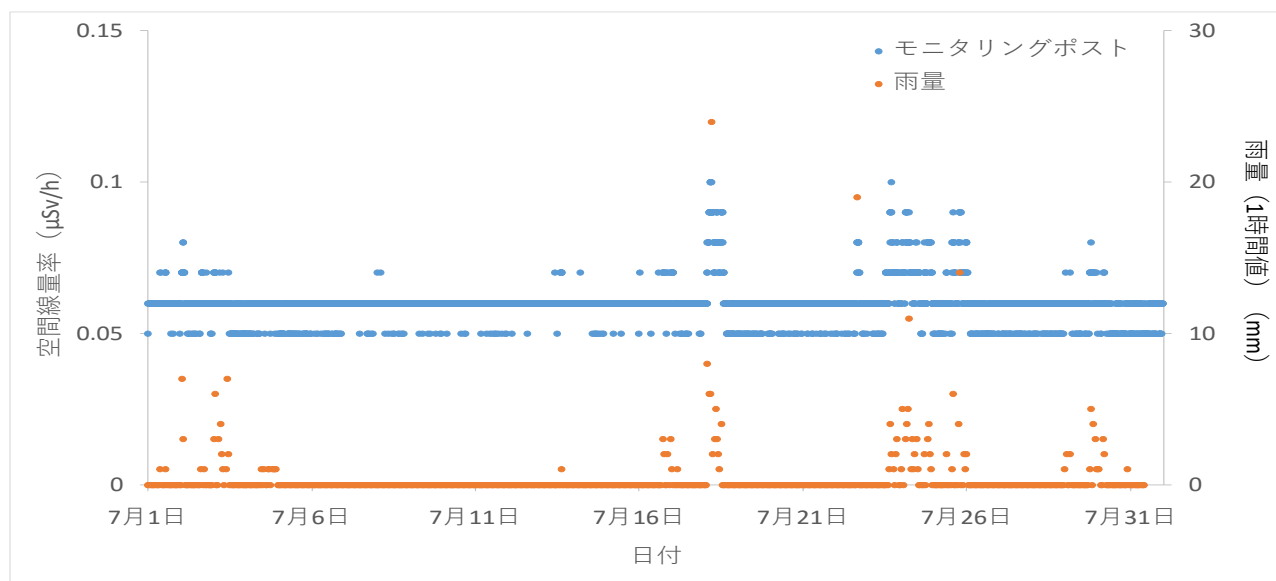


図4-14 空間線量率と降雨量の関係(7月の例)

まとめ

まとめ・課題（1/2）

実証事業工程		まとめ・課題
技術的確認項目		
確認項目	確認方法	
スクリーニング方法 (受入時)	・表面線量測定(タグ情報と比較) ・放射能濃度測定(タグ情報と比較)	・複数のスクリーニング方法等を比較検証し、一定の精度で測定可能なことを確認 ・岩石、コンクリート塊等表面汚染物が混入した除去土壌の放射能濃度を表面線量率から推定する場合は、その混入割合が誤差の要因となることを確認
スクリーニング方法 (分別・品質調整後)	・放射能濃度連続測定	・一定の精度で、連続的に放射能濃度に応じた分別が可能であることを確認
土木資材としての品質・適用性	・土質試験 ・溶出試験(各種添加剤によるCs等溶出への影響)	・再生資材について、粒度分布がよく、十分に締め固めが可能であることを確認 【課題】 ・除去土壌中に混入している岩石、コンクリート塊等の分別、再生利用方法について要検討
設備等の処理性能	・稼動状況の記録(トラブル事例含む) ・添加剤等前後の変化	・土壌の含水状況や土質によっては、改質材を使用することで異物の除去効率が向上することを確認 ・改質材、改良材の添加によりセシウムの溶出に変化がないことを確認

まとめ・課題（2/2）

実証事業工程		まとめ・課題
技術的確認項目		
確認項目	確認方法	
土質性状判断	・目視確認（タグ情報と封入物） ・表面線量測定（タグ情報と対比）	・タグ情報（地目）により、土質（細粒分比率）の推定はある程度可能【課題】 ・地目と土質の関係についてデータの蓄積が必要
再生資材のトレーサビリティ	・施工情報の記録	・施工場所等を整理した記録の整理を実施【課題】 ・管理項目が適切かについて要検討
盛土の出来形	・造成計画・実績確認 ・目視確認（形質変更有無） ・測量（盛土安定性等）	・管理目標値を上回る締め固めが可能であることを確認【課題】 ・用途、気象状況等に応じて余裕を見込んだ覆土厚の考え方
放射能収支	・放射能量測定	・再生資材の製造過程において、破袋直後、二次分別後、濃度分別後の濃度平均値がほぼ一定であることを確認
作業上の放射線安全	・個人被ばく線量測定 ・作業場所の放射能濃度、雰囲気測定	・外部被ばく線量は、外部被ばく線量評価の範囲内に収まることを確認【課題】 ・安心の観点からモニタリングを実施する場合の考え方について要検討
周辺環境の安全	・空間線量率測定 ・粉じん測定 ・浸透水放射能濃度測定	・大気中放射能濃度、空間線量率は施工前、施工中において大きな変動がないことを確認。 ・浸透水中放射能濃度は、全て検出下限値未満であることを確認

特措法における再生利用の位置づけ

放射性物質汚染対処 特措法	収集運搬	保管	処分	
			管理を伴う処分 (埋立・再生利用)	管理を伴わない 処分 (処分場の廃止)
「当面の考え方」※	管理期間中 (処理、輸送、保管)		管理期間終了後 (処分、再利用)	

※「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について」（平成23年6月3日、原子力安全委員会）。

再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方(平成28年6月)

【基本的考え方】

除去土壌を適切な前処理や分級などの物理処理をした後、用途先の条件に適合するよう品質調整等した再生資材(8,000Bq/kg以下を原則とし、用途ごとに設定)を一定の公共事業等に限定して利用するもので、公的主体による管理を行う。

【用途の限定】

長期間にわたって人為的な形質変更が想定されない防潮堤、海岸防災林、道路等の盛土材の構造基盤の部材や、廃棄物処分場の覆土材等に用途を限定する。

【公的主体による管理】

- 放射性物質汚染対処特措法に基づく基準等を策定し、環境省及び公物管理主体(自治体等)による管理を行う。
- 具体的には、追加被ばく線量が施工中1mSv/年、供用中0.01mSv/年を超えないよう制限するため、再生資材の放射能濃度の限定、覆土等の遮へい、飛散・流出の防止、記録の作成・保管、形質変更の管理等を行う。

【再生利用の進め方】

再生利用の本格化に向けた環境整備として、上記の考え方に従って実証事業、モデル事業等を実施し、放射線に関する安全性の確認、具体的な管理方法の検証、関係者の理解・信頼の醸成等を行う。

再生利用の手引きの目的等

目的

- 除去土壌等由来の再生資材の製造・運搬、供用、災害時における対応等、各段階における取扱いに関する留意事項を示すことにより、その安全確保を図ることを目的とする

位置づけ

- 「再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方(平成28年6月、平成29年4月一部追加)」を踏まえ、除去土壌を安全に再生利用する際の留意事項等をまとめるものであり、今後の知見の蓄積を踏まえ、随時改訂を行う

取扱い範囲

- 「再生利用の手引き」の取扱い範囲は、除去土壌由来の再生資材の製造・運搬、建設、供用の各段階における取扱いに関して、安全に利用する際の技術的事項及び責任体制に係る事項とする
- 再生利用の実施にあたって、建設(計画、設計、施工等)や供用(災害時の対応等)等に変更が生じる可能性があることから、それら変更に対する責任体制の在り方についても「再生利用の手引き」において明確にする

除去土壌再生利用実証事業から得られた技術的知見（1/2）

実証事業工程		技術的知見
技術的確認項目		
確認項目	確認方法	
スクリーニング方法 (受入時)	・表面線量測定(タグ情報と比較) ・放射能濃度測定(タグ情報と比較)	・有効な受入時のスクリーニング方法 ・測定時における測定精度、誤差要因等
スクリーニング方法 (分別・品質調整後)	・放射能濃度連続測定	・放射能濃度を連続測定する場合の留意点
土木資材としての品質・適用性	・土質試験 ・溶出試験(各種添加剤によるCs等溶出への影響)	・要求品質の確認方法 ・Csの溶出に影響を及ぼさないことが確認された各種パラメータの範囲等
設備等の処理性能	・稼動状況の記録(トラブル事例含む) ・添加剤等前後の変化	・大規模化の際の必要事項等

除去土壌再生利用実証事業から得られた技術的知見（2/2）

実証事業工程		技術的知見
技術的確認項目		
確認項目	確認方法	
土質性状判断	・目視確認（タグ情報と封入物） ・表面線量測定（タグ情報と対比）	・実測値とタグ情報の差異
再生資材のトレーサビリティ	・施工情報の記録	・再生資材利用の記録事項
盛土の出来形	・造成計画・実績確認 ・目視確認（形質変更有無） ・測量（盛土安定性等）	・RI計測器を用いた施工管理上の留意事項
放射能収支	・放射能量測定	・放射能の濃度分布
作業上の放射線安全	・個人被ばく線量測定 ・作業場所の放射能濃度、雰囲気測定	・作業者の安全性、被ばく管理のあり方 ・追加被ばく線量が比較的高くなる作業工程と作業時における留意点
周辺環境の安全	・空間線量率測定 ・粉じん測定 ・浸透水放射能濃度測定	・再生利用の安全性

再生利用の手引きの策定に向けた今後の取組方針

- 除去土壌再生利用実証事業において課題となっている点等、引き続き、実証事業等を通じ、技術的検討を行う
- 再生資材の製造、利用、災害時における対応の一連のフローについて、実際の事業の工程を想定して精査し、関係者の分担すべき役割、責任を抽出するとともに、再生資材を利用する上での留意事項を漏れなくリストアップする
- 実証事業等を通じ、再生資材を利用する際の管理項目について、漏れなくリストアップした上で、その対応を検討し、「安全」と「安心」の観点から必要な管理項目を検討する