

環境放射能除染学会 第12回研究発表会
知のネットワーク会合

溶融スラグの再生利用等技術の実証

令和5年8月31日

株式会社大林組



1. 実証事業の概要

【背景】

- 中間貯蔵量削減のため、**双葉町の仮設減容化施設**において、放射性物質に汚染された廃棄物やその焼却灰・ばいじんが処理され、**熔融スラグ**が生成されており、その**再生利用が不可欠**である。

【現状の課題】

- 当該熔融スラグを用いた**再生利用品の安全性、安定性**は確認できていない。

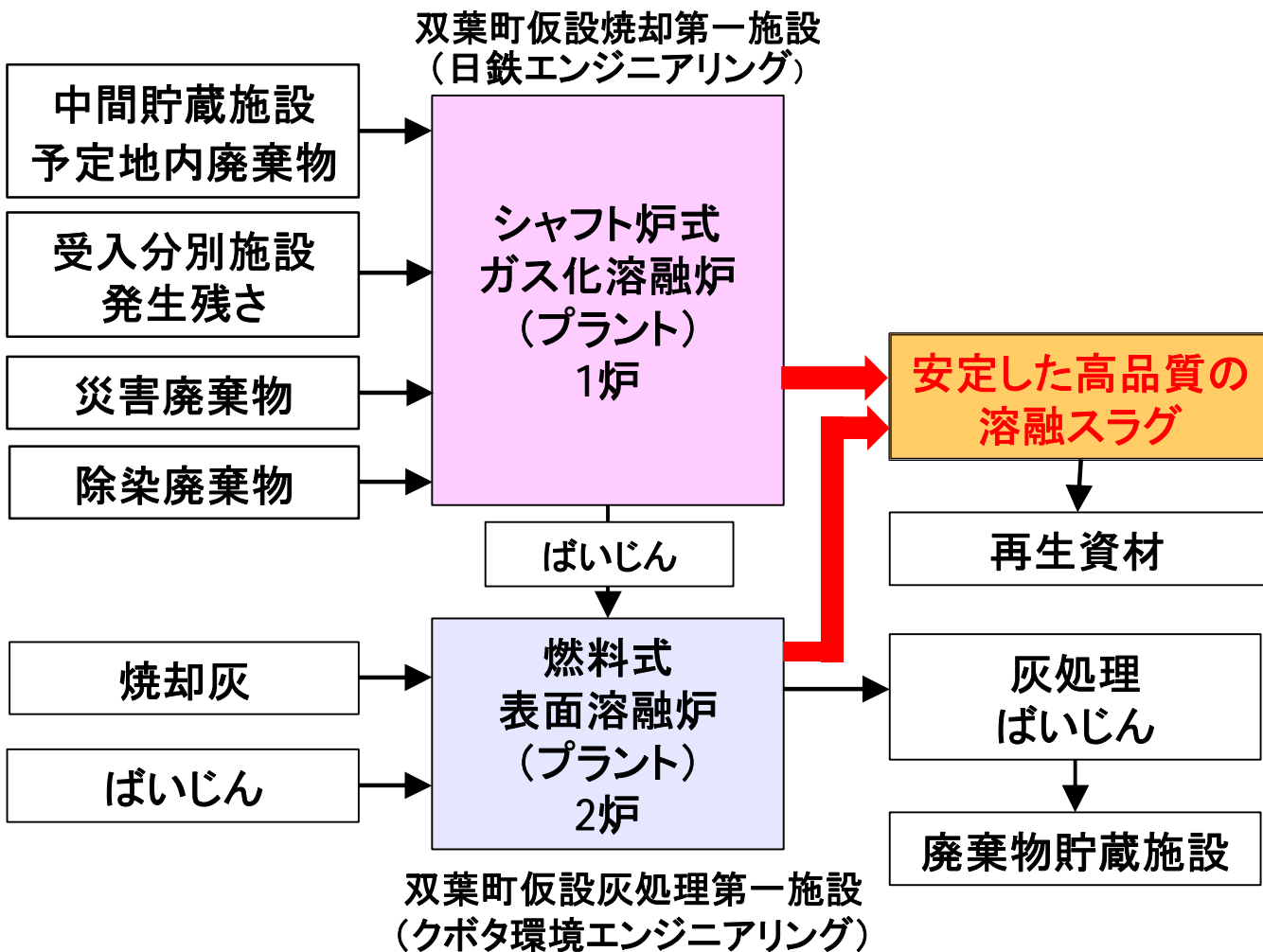


【実証事業の概要】

双葉町の減容化施設で生成される熔融スラグを用いた再生利用品（盛土、路盤、アスファルトコンクリート、コンクリート）の安全性、安定性を、**室内試験（1年目）**および**盛土・舗装道路・コンクリート構造物の試験施工等（2、3年目）**により確認した。

1. 実証事業の概要

■ 双葉町仮設減容化施設の概要



シャフト炉

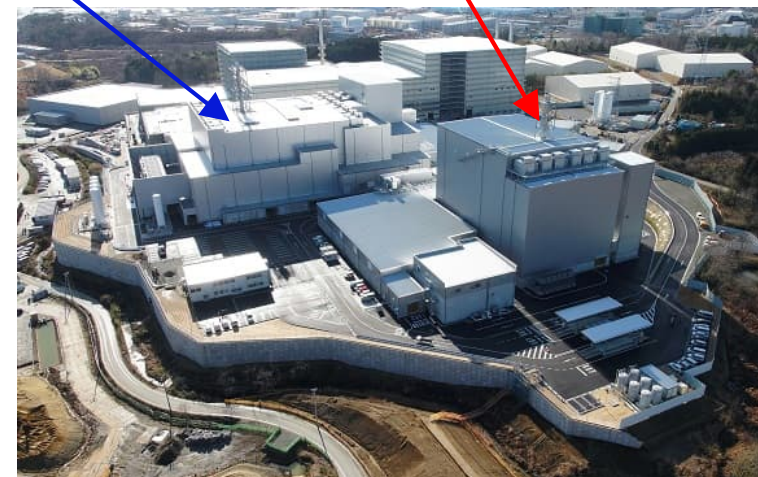


表面溶融炉

溶融スラグの外観

表面溶融炉

シャフト炉



仮設減容化施設の外観

(令和2年2月撮影、環境省公表資料に加筆)

(出典: 大林組公表資料に加筆)

<https://www.obayashi.co.jp/thinking/detail/project58.html>

2. 進め方

■技術実証フロー(令和2~4年度)

室内試験【1年目】

- ① 溶融スラグの放射性セシウム濃度確認
- 再生利用品材料としての適用性確認試験
- ② 盛土材、③ 路盤材、
- ④ アスファルトコンクリート、⑤ コンクリート
- ⑥ ④・⑤の残材を用いたタンクリーチング試験

各種再生利用品材料としての適用性評価

盛土・舗装道路・コンクリートに関する室内試験

配合の確認等

盛土・舗装道路の試験施工 コンクリート供試体の屋外暴露試験

施工方法、品質管理方法を実証

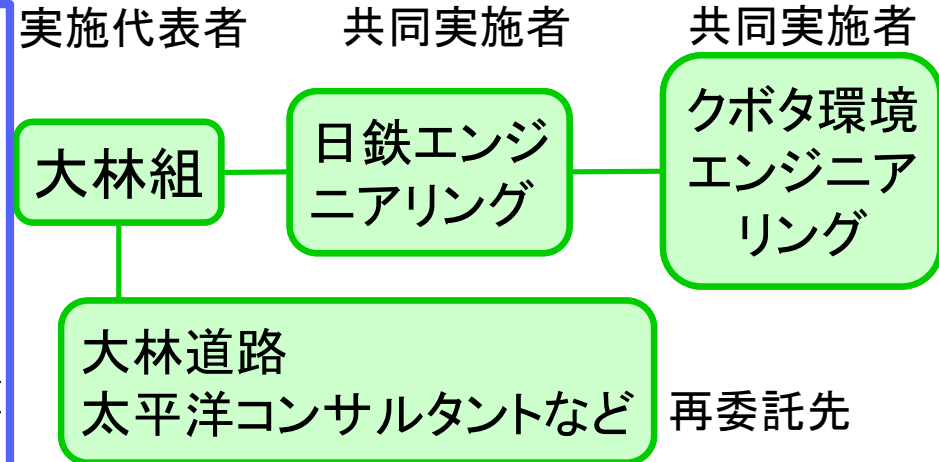
モニタリング

施工時・解体時：作業員の被ばく量、粉じん濃度、空間線量率
供用時：空間線量率、浸出水放射性物質濃度
舗装道路の変形量など

評価

追加被ばく線量、周辺環境への影響
舗装道路の安定性など

■実施体制



盛土 植生による保護



舗装道路 促進载荷走行



コンクリート供試体屋外暴露
仮設構造物等の外観

2. 進め方

■実施工程表(令和2～4年度)

年度・月	R2年度												R3年度												R4年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
準備						■	■																													
室内試験																																				
試験盛土・舗装道路の構築																																				
モニタリング																																				
試験盛土・舗装道路の解体・撤去																																				
評価、報告書作成																																				



試験盛土の構築

アスファルト舗装道路の構築

3. 成果の概要(令和2年度)

■実施試験一覧(令和2年度)

実施試験一覧

実施内容	区分	試験項目、方法等
溶融スラグの 性状確認	放射性物質濃度	放射能濃度等測定方法ガイドライン(第2版)
	重金属溶出量および含有量試験	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS A5031(コンクリート用溶融スラグ骨材) ・JIS A5032(道路用溶融スラグ) ・平成15年環境省告示第18号,19号 ・項目:カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、水銀、セレン、ふっ素、ほう素
	物理性状確認	各種JIS規格
再生利用品の 安全性・ 安定性確認	再生利用材料としての適用性確認 <ul style="list-style-type: none"> ・盛土材 ・路盤材 ・アスファルト舗装 ・コンクリート骨材 	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS A 5031(コンクリート) ・JIS A 5032(道路) ・各種JIS規格 ・国交省 共通仕様書・品質管理基準 ・舗装調査・試験法便覧
	安全性および安定性の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・表面線量率測定 ・タンクリーチング試験

3. 成果の概要(令和2年度)

■ 溶融スラグの性状確認

試験結果の概要

区分	試験項目、方法等	シャフト炉スラグ	表面溶融炉スラグ	
		粒度調整:あり	なし	あり
放射性物質 濃度(Bq/kg)	放射能濃度等測定方法 ガイドライン(第2版)	58	2,520	2,510
		86		3,350
重金属溶出量 および含有量	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS A 5031(コンクリート材料) ・JIS A 5032(道路材料) ・平成15年環告18号,19号 ・項目:カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、水銀、セレン、ふっ素、ほう素 	基準適合	—	基準適合
			次図参照	
物理性状	粒度分布	次図参照		
	コンシステンシー特性	NP	NP	NP
	最大乾燥密度(g/cm ³)(A-c法)	1.522	1.697	1.604
	コーン指数(kN/m ²)	534以上	995以上	340以上
	CBR(%)	21.1	23.5	33.8
	透水係数(m/s): 供試体の締固め度90%	5.28E-05	5.00E-05	2.06E-04
pH(—)	9.8	10.5	9.6	

3. 成果の概要(令和2年度)

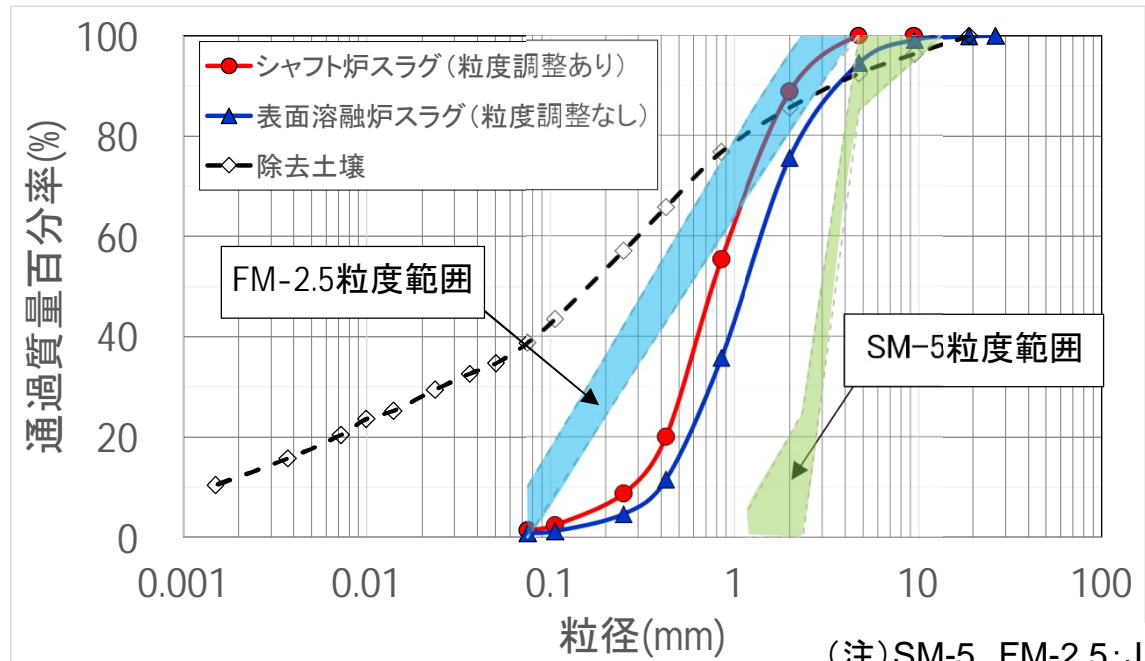
■ 溶融スラグの性状確認



シャフト炉スラグ

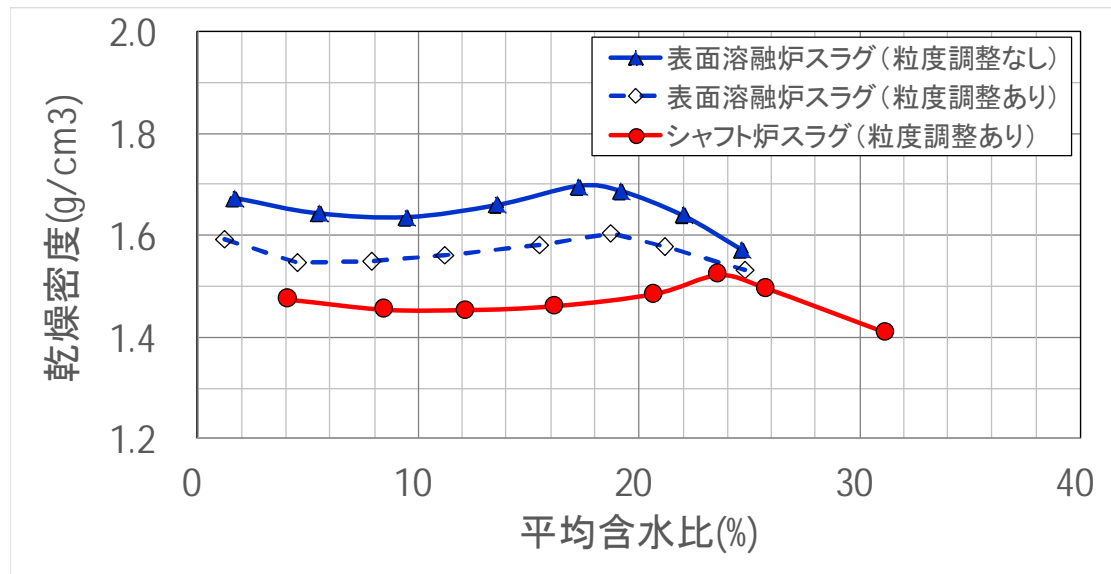


表面溶融炉スラグ



粒径加積曲線

(注) SM-5、FM-2.5: JIS A 5032
道路用スラグ細骨材の規格



締固め曲線

4. 成果の概要(令和3、4年度)

■試験施工・モニタリングの概要(令和3、4年度詳細)

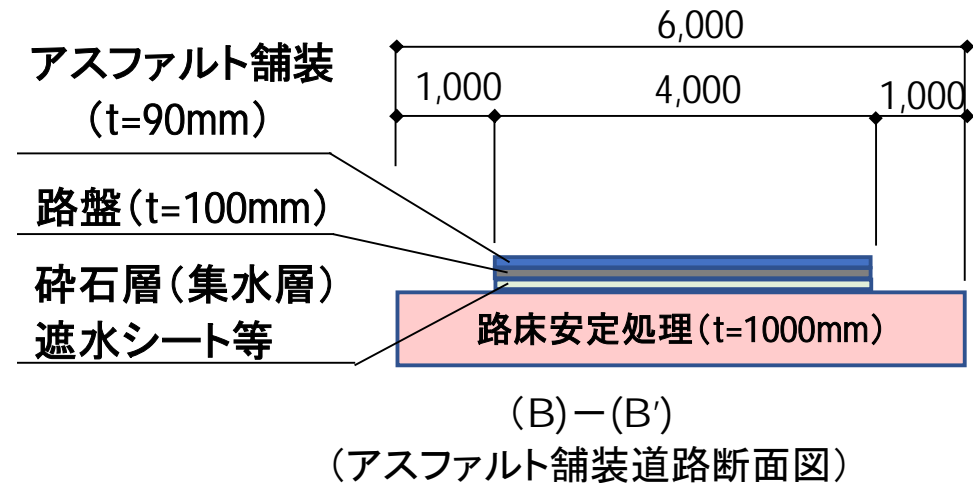
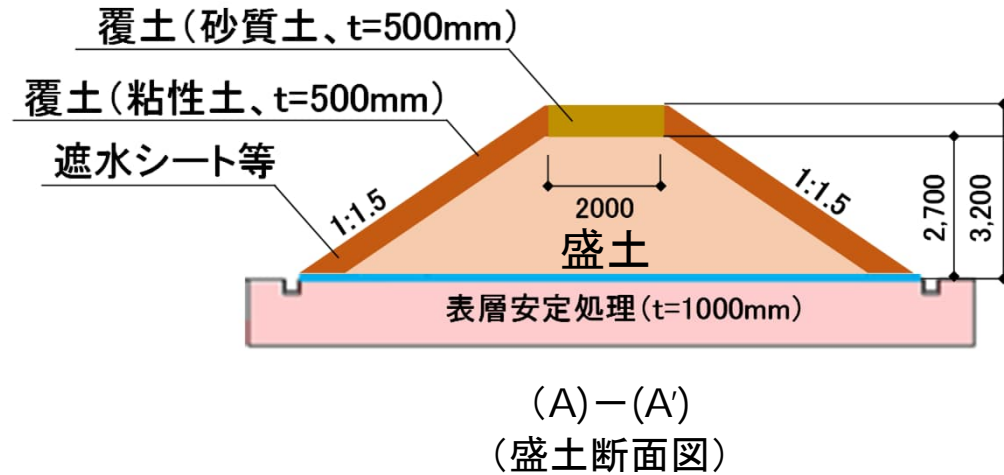
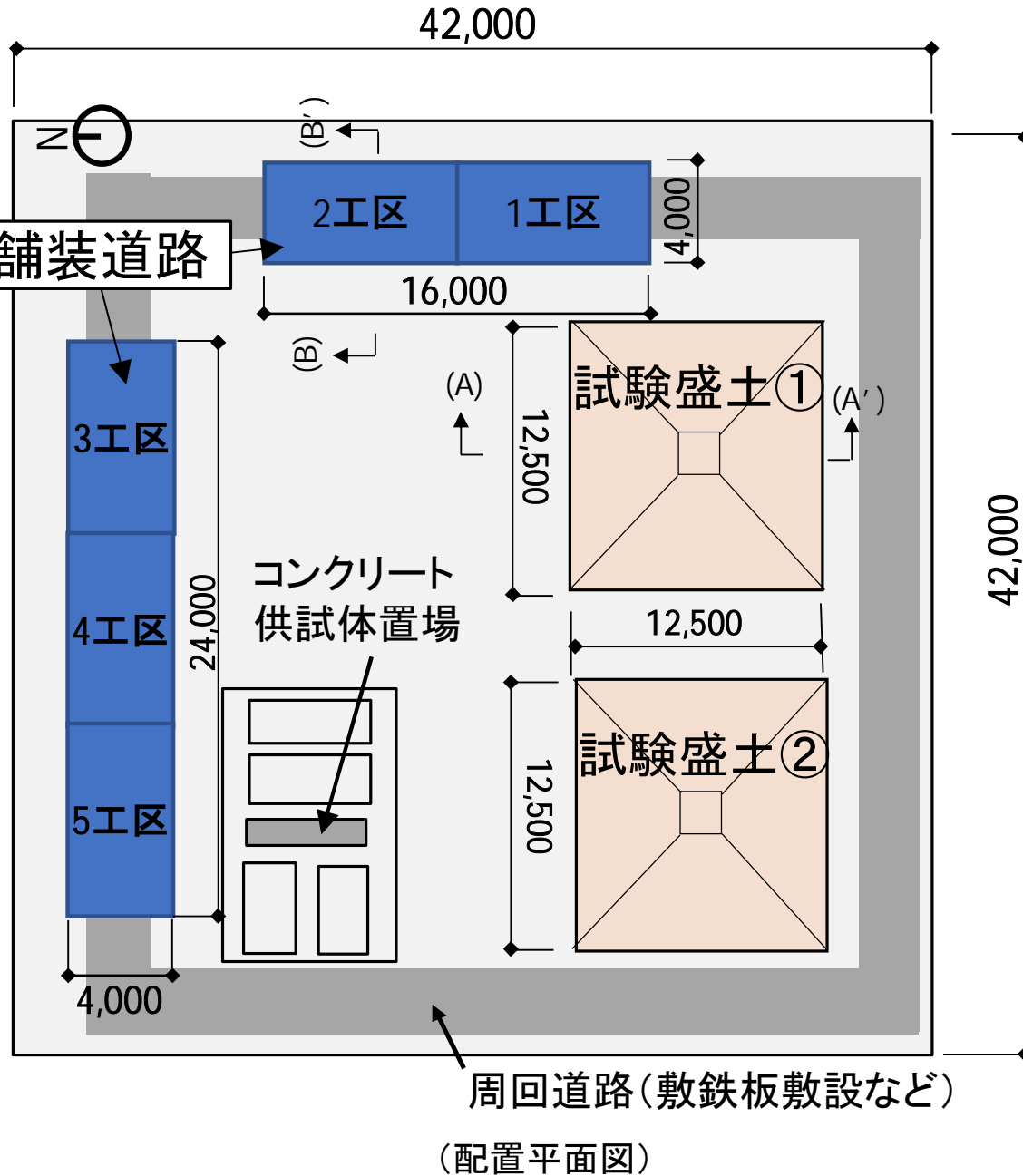
- 技術実証フィールドに**盛土2体**、**舗装道路(5工区)**、**コンクリート構造物**を施工、各種測定を実施
- 配合は、室内試験を実施して決定

試験施工の概要(令和3、4年度)

No.	構造物	使用材料 (溶融スラグ、除去土壌)	主な測定項目	
			供用時	構築・解体時
A	試験盛土①	<ul style="list-style-type: none"> ・ 除去土壌 ・ シャフト炉スラグ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空間線量率 ・ 浸出水の放射性物質濃度、pH ・ 外観観察 ・ 形状、沈下量 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空間線量率 ・ 作業員の被ばく量 ・ 粉じん量
B	試験盛土②	<ul style="list-style-type: none"> ・ 除去土壌 ・ 表面溶融炉スラグ 		
C	舗装道路 (5工区)	<ul style="list-style-type: none"> ・ アスファルト舗装材 ・ 路盤材 ・ シャフト炉スラグ ・ 表面溶融炉スラグ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空間線量率 ・ 沈下量 ・ 雨水表流水、浸透水の放射性物質濃度、pH、重金属濃度 ・ 道路の促進載荷走行(概ね2カ月に1回)後に以下を測定 <ul style="list-style-type: none"> ： 表面形状、ひび割れ率、わだち掘れ量、路面粗さ、FWDたわみ測定 	
D	コンクリート構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ シャフト炉スラグ ・ 表面溶融炉スラグ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空間線量率 ・ 外観観察 	

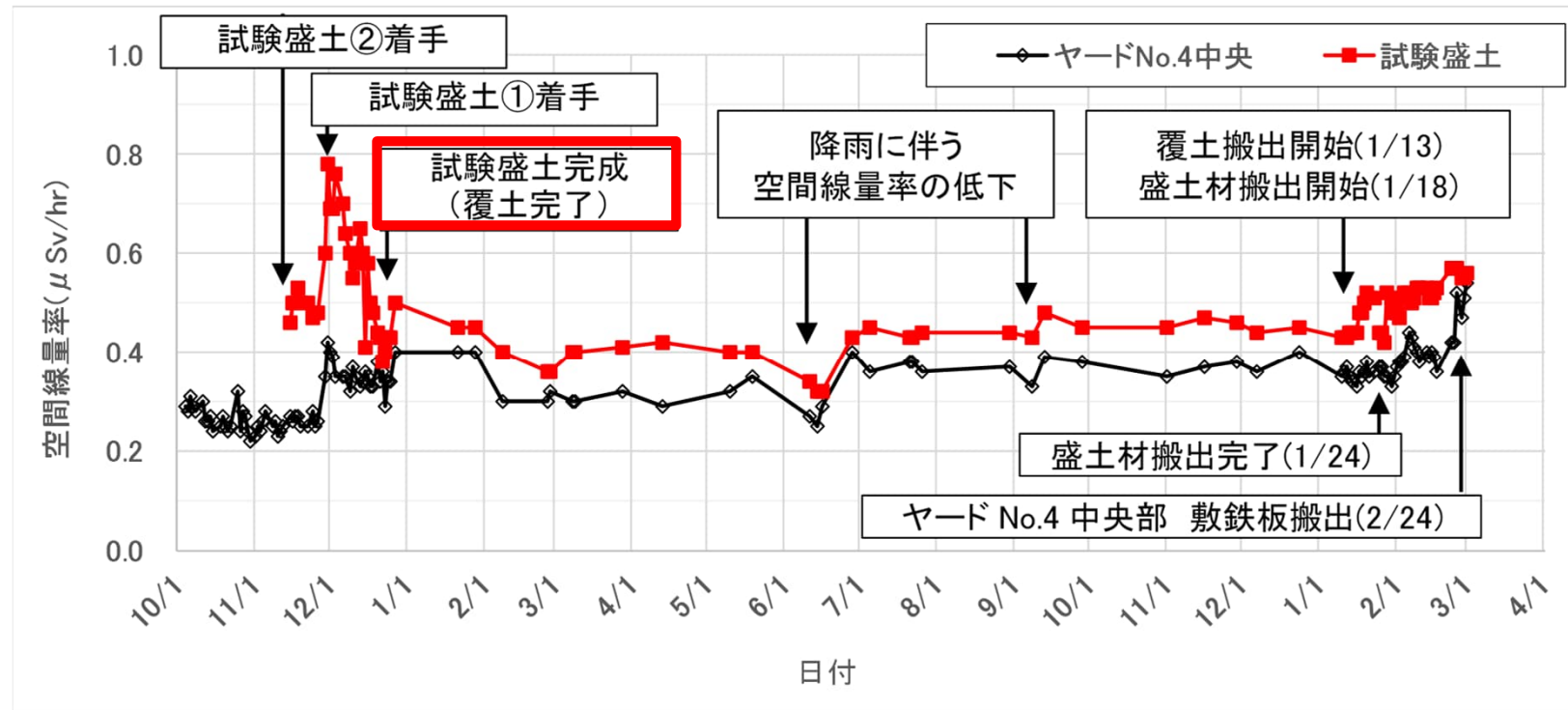
4. 成果の概要(令和3、4年度)

■技術実証フィールドにおける試験施工 構造物等概要図



4. 成果の概要(令和3、4年度)

■モニタリング結果(試験盛土)



盛土・覆土施工



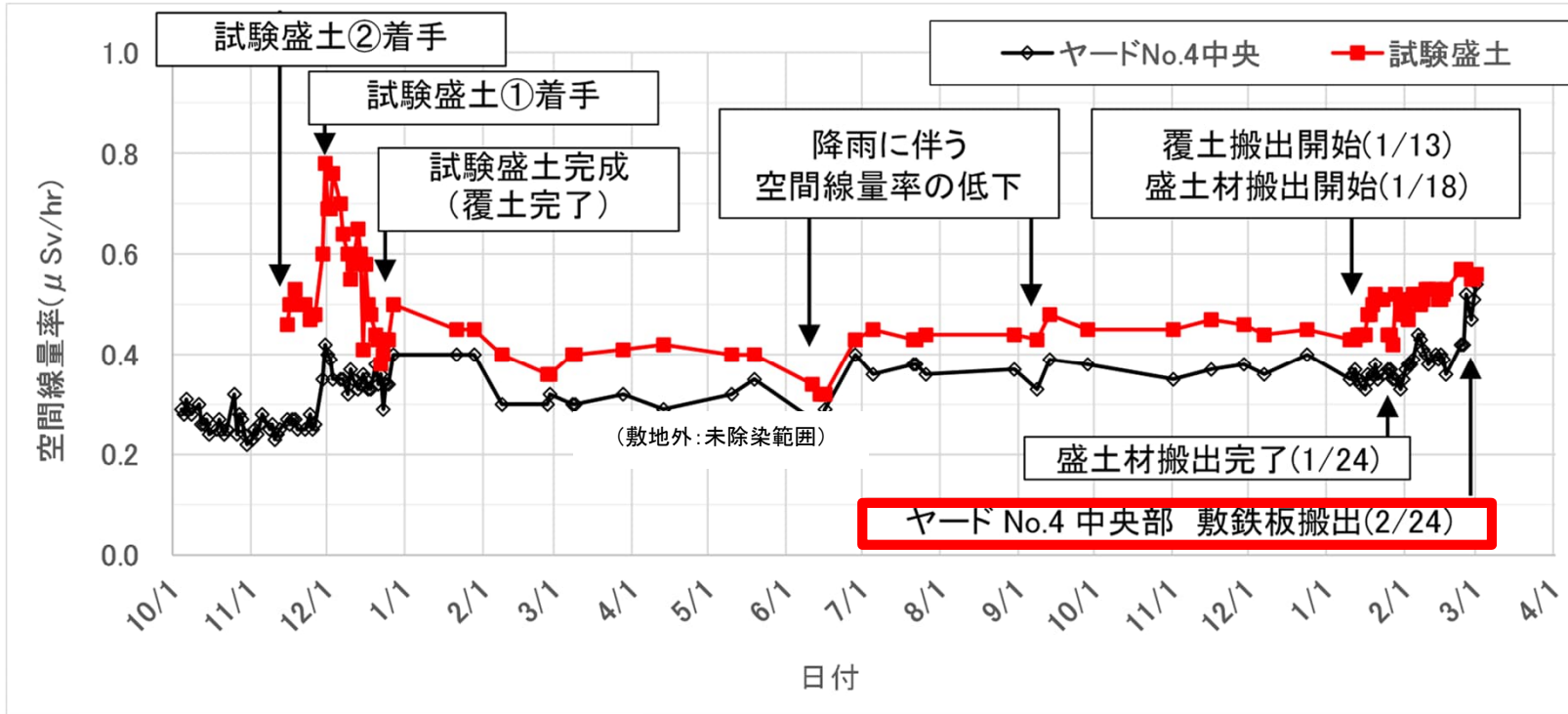
供用中
(法面は植生で保護)



盛土材搬出(盛土解体)

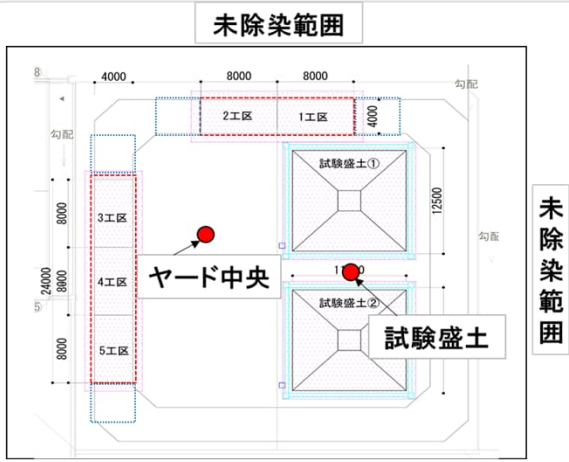
4. 成果の概要(令和3、4年度)

■モニタリング結果(試験盛土)



(注) 空間線量率の値は、以下の要因が影響しているものと推察される。

因子	ヤードNo.4中央	試験盛土部
未除染範囲との距離	遠い	近い
敷鉄板敷設の有無	有り	無し



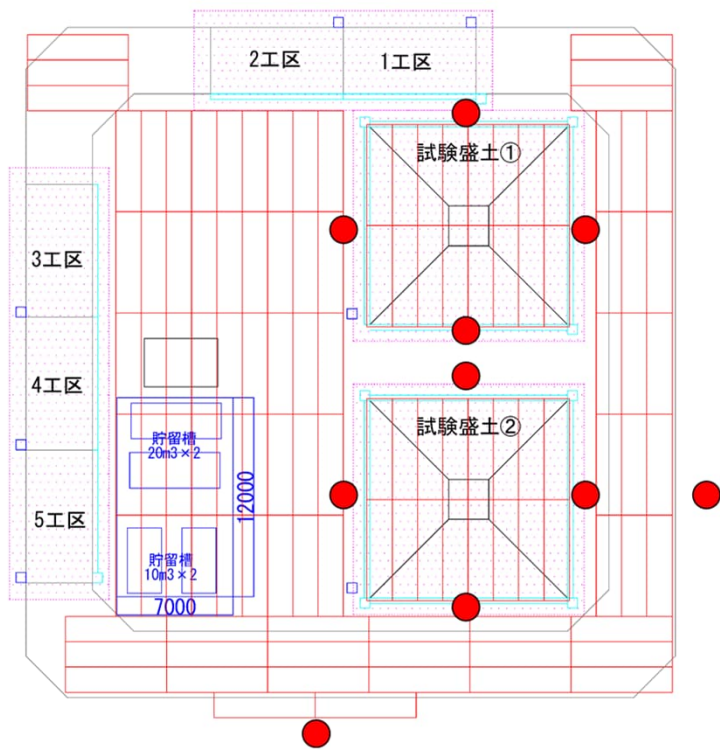
モニタリング位置・未除染範囲

試験盛土周辺の未除染範囲

ヤードNo.4中央の状況 (敷鉄板上で測定)

4. 成果の概要(令和3、4年度)

■モニタリング結果(粉じん濃度、大気中放射性物質濃度)



【モニタリング位置平面図】



1) 定量下限値: セシウム134:0.044Bq/kg、セシウム137:0.040Bq/kg

【測定結果】

4. 成果の概要(令和3、4年度)

■モニタリング結果(盛土浸出水、舗装道路雨水表流水・浸透水の水質)

水質分析の概要

試料の種類		採取期間	試験数 (1ケース 当たり)
盛土	浸出水	4月~1月	8
舗装道路	雨水表流水	9月、10月	2
	浸透水	9月	1

測定結果:いずれの試料も、

- 放射性物質濃度は定量下限値¹⁾未満
- pHは総理府令一般排水基準の範囲(海域以外の公共用水域に排出されるものの許容限度:5.8~8.6)
- 重金属等は地下水環境基準に適合

1)定量下限値:セシウム134:0.48~0.57Bq/L、
セシウム137:0.42~0.62Bq/L

■モニタリング結果(作業員外部被ばく量)

作業担当者の外部被ばく線量(個人被ばく線量計、2022/4~2023/2)

従事者	被ばく線量a (μ Sv)	従事日数 b(d)	a/b (μ Sv/d)	担当	従事者	被ばく線量 a(μ Sv)	従事日数 b(d)	a/b (μ Sv/d)	担当
A	42.7	21	1.5	現場管理	E	96.1	40	2.4	解体
B	103.6	84	1.2		F	80.1	41	2.0	
C	26.1	32	0.8		G	81.6	35	2.3	
D	15.8	20	0.8	定期点検 ・現場管理	H	64.2	30	2.1	

測定結果:当地で設定した外部被ばく線量上限値75 μ Sv/日^(注)を大幅に下回ることを確認

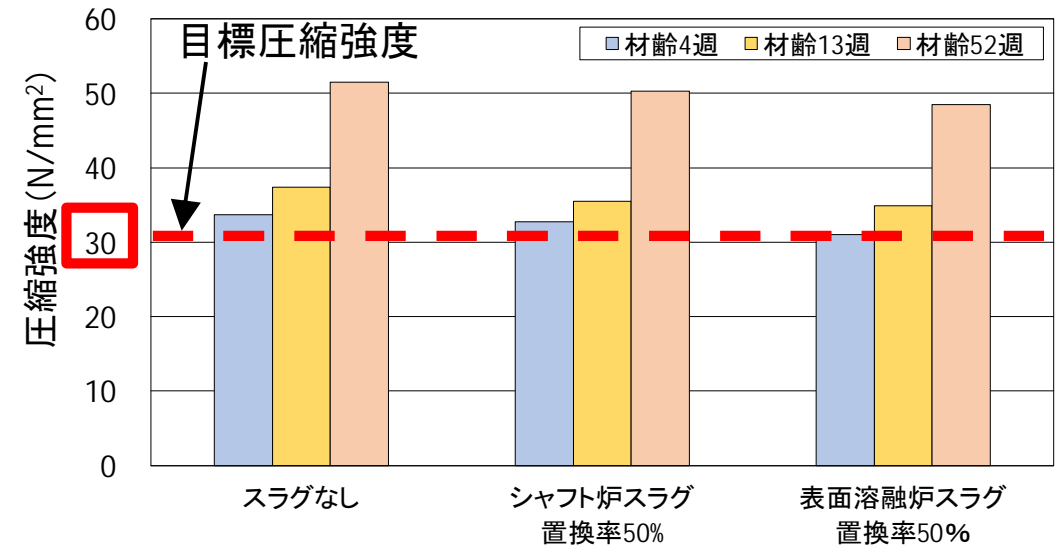
(注)一労働日の被ばく線量上限値として設定されている「5年で100mSv」
(国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告)を参考にした値。

4. 成果の概要(令和3、4年度)

■コンクリート試験結果(屋外暴露試験供試体)



【屋外暴露状況】



【圧縮強度試験結果(屋外暴露供試体)】



(スラグなし)



(シャフト炉スラグ)



(表面溶融炉スラグ)

【供試体の外観(材齢361日)】

4. 成果の概要(令和3、4年度)

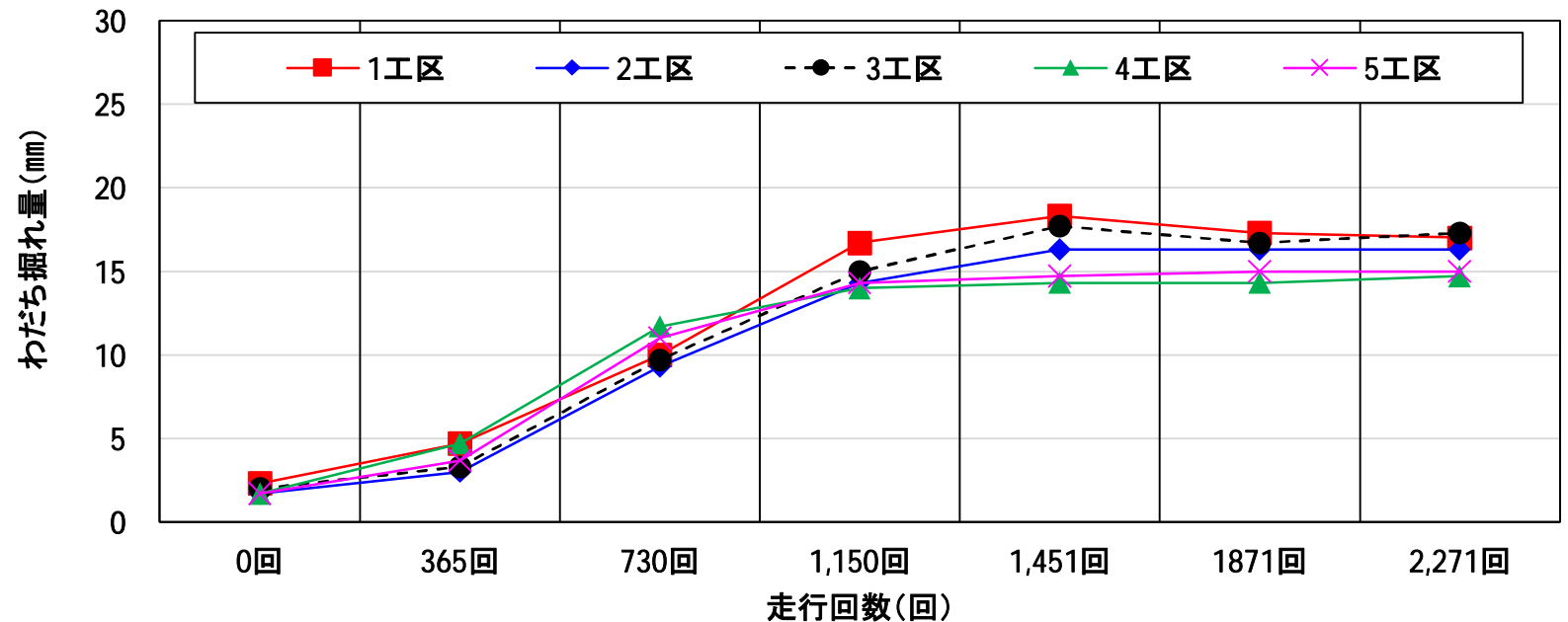
■モニタリング結果(舗装道路試験)

舗装道路試験の仕様一覧表(設計交通区分:N1)

工区No.	1工区	2工区	3工区(対照区)	4工区	5工区
表層t=4cm 密粒度(13)	シャフト炉 配合率10%		スラグ0%	シャフト炉 配合率15%	
基層t=5cm 粗粒度(20)	シャフト炉 配合率10%		スラグ0%	シャフト炉 配合率15%	
路盤: t=10cm	シャフト炉 置換率 100%	表面溶融炉 置換率75%	スラグ0%	シャフト炉 置換率 100%	表面溶融炉置 換率75%
基礎地盤	現場CBR8%以上(中性固化材による地盤改良)				



促進載荷試験:ダンプトラック走行状況



品質確認試験状況

わだち掘れ量の推移

5. 実証事業 成果のまとめ

■まとめ(1/3)

- 溶融スラグの放射性物質濃度及び重金属等の溶出量、含有量を測定。重金属等の溶出量、含有量は、環境安全品質(JIS規格)などの基準に適合していることを確認。
- 溶融スラグの物理的性状(含水比、粒度分布、締固め特性、pHなど)を確認。
- 再生利用用途(盛土材、路盤材、アスファルト舗装骨材およびコンクリート骨材)ごとに、JIS規格や国土交通省「土木工事 品質管理基準及び規格値(案)」などを参考にして配合試験、基準試験を実施。その結果、各用途とも配合等を調整することで、各種基準に適合する再生利用品を製造できることを確認し、試験施工等で採用。
- 溶融スラグを用いた試験盛土、アスファルト舗装道路とも、国土交通省土木共通仕様書や各種関連基準類にしたがって施工することで、所定の品質の構造物を構築できることを確認。

5. 実証事業 成果のまとめ

■まとめ(2/3)

構築物(盛土、舗装道路)供用時・解体時のモニタリング結果

- 盛土、舗装道路とも、モニタリング期間を通して**空間線量率の変動は小さかった**。盛土は、構築時の値よりも低い値が継続的に測定され、**覆土(厚さ50cm)の遮へい効果**が確認された。
- 舗装道路に対する促進載荷走行による機能確認試験の結果、**舗装道路の品質**は、溶融スラグ配合の有無や溶融スラグの種類によらず、**全5工区とも同程度**であることが確認された。溶融スラグを配合する場合でも、**従来の舗装道路の設計手法を適用できる**ものと考えられる。
- モニタリング期間を通じて、**盛土浸出水、舗装道路浸透水・表面水の水質は、放射性物質濃度は定量下限値未満、重金属濃度も地下水環境基準に適合**しており、人の健康保護および生活環境保全上の問題は認められなかった。
- 粉じん濃度、大気中放射性物質濃度、作業員被ばく量の測定結果から、**周辺環境や作業員への影響は低レベル**であることが確認された。

5. 実証事業 成果のまとめ

■まとめ(3/3)

室内試験の結果

- 国道などで多く採用されている**排水性舗装用骨材として適用可能**であることを確認できた。
- 1年間屋外暴露したコンクリート供試体について、圧縮強度の低下等、**品質の低下や劣化は認められなかった。**

3年間の実証事業の成果

- シャフト炉スラグ、表面熔融炉スラグが**盛土材、路盤材、アスファルトコンクリート、コンクリートの材料として適用可能**であることを確認できた。

ご清聴くださりまして
ありがとうございました。