

福島県内における除染等の措置に伴い生じた
土壌の再生利用の手引き

参考資料（案）

平成31年 3 月

目 次

参考資料 1	放射線に係る基礎知識・・・・・・・・・・	3
参考資料 2	発生土利用基準（国土交通省）・・・・・・・・	7
参考資料 3	再生資材の品質検査項目及び検査方法・・・・・・・・	8
参考資料 4	要求品質に適合させるための主な改良手法・・・・・・・・	14
参考資料 5	再生資材の運搬車両等の洗浄処理方法例・・・・・・・・	15
参考資料 6	除去土壌等の再生利用に係る安全評価・・・・・・・・	16
参考資料 7	除去土壌再生利用実証事業の事例・・・・・・・・	26
参考資料 7－1	南相馬市における実証事業概要・・・・・・・・	26

参考資料 1 放射線に係る基礎知識

(放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 (平成 29 年度版) より一部抜粋)

放射能と
放射線

放射線・放射能・放射性物質とは

- 電球 = 光を出す能力を持つ

ルーメン (lm)
もしくは ワット (W)
▶ 電球の明るさの単位



ルクス (lx)
▶ 明るさの単位

- 放射性物質 = 放射線を出す能力 (放射能) を持つ



放射線



ベクレル (Bq)
▶ 放射能の単位

換算係数

シーベルト (Sv)
▶ 人が受ける放射線被ばく線量の単位

※ シーベルトは放射線影響に関係付けられる。

放射能と
放射線

放射線と放射能の単位



この岩には
放射能
(放射線を出す能力)
があります

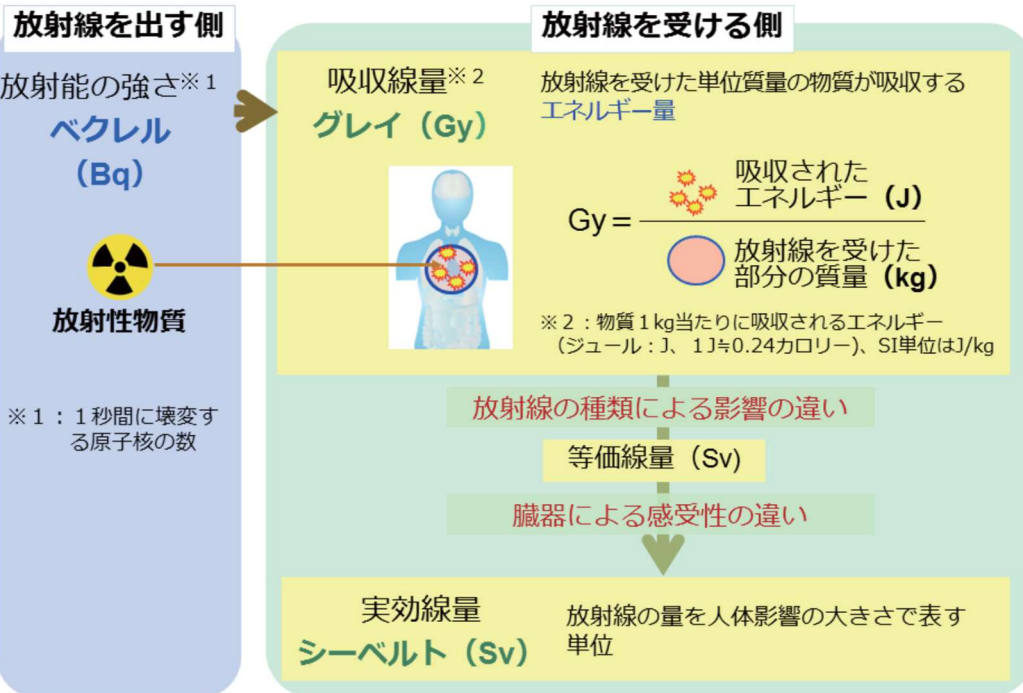
ベクレル (Bq)

放射能の強さの単位：
1 秒間に 1 個の割合で原子核が変化す
る(壊変する) = 1 ベクレル

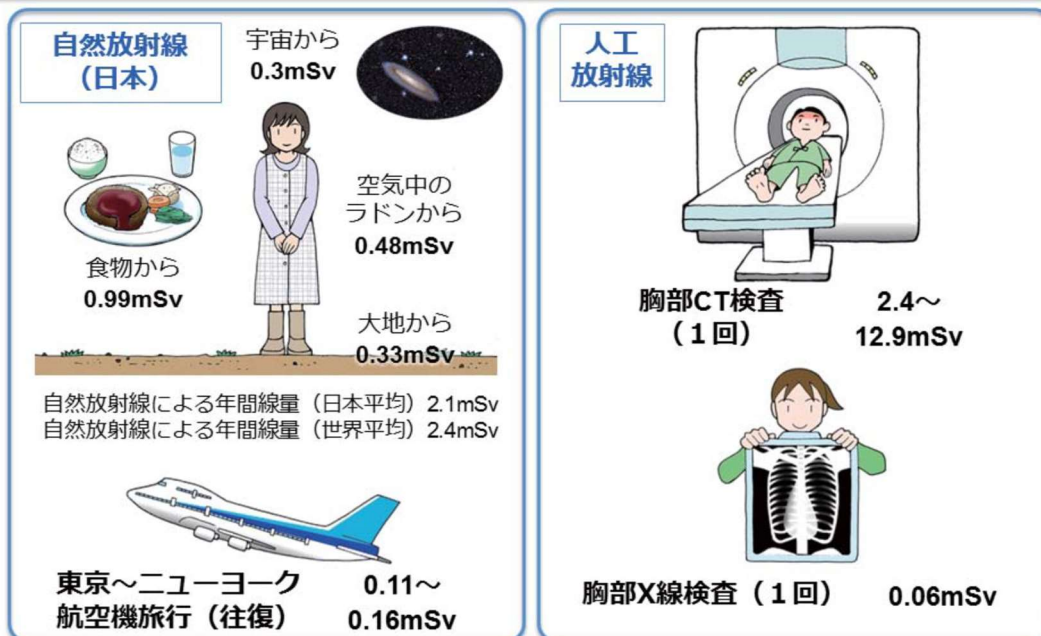
シーベルト (Sv)

人が受ける放射線被ばく線量の単位：
放射線影響に関係付けられる

放射線の単位 単位間の関係



身の回りの放射線 自然・人工放射線からの被ばく線量

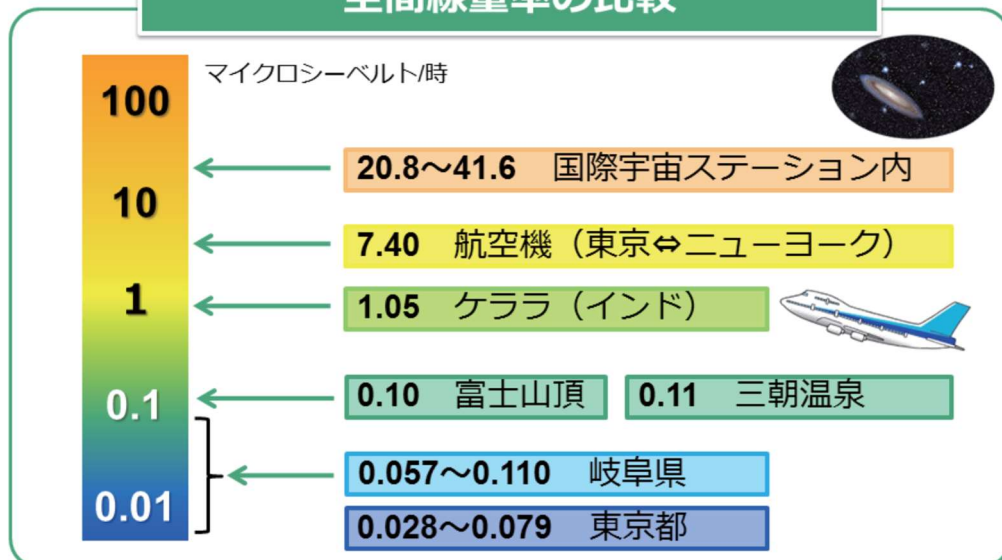


mSv：ミリシーベルト

出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告、原子力安全研究協会「新生活環境放射線 (平成23年)」、ICRP103 他より作成

時間当たりの被ばく線量の比較

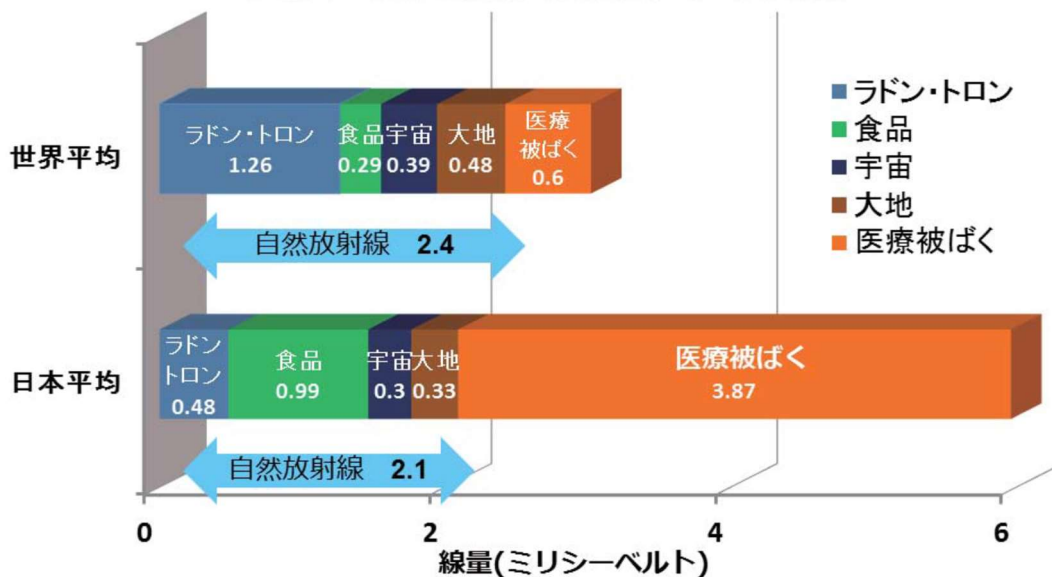
空間線量率の比較



出典：JAXA宇宙ステーションきぼう広報・情報センターサイト「放射線被ばく管理」2013、放射線医学総合研究所ウェブサイト「航路線量計算システム（JISCARD）」、放射線医学総合研究所ウェブサイト「環境中の空間ガンマ線線量調査」、古野、岡山大学温泉研究所報告、51号、P25-33、1981、原子力規制委員会放射線モニタリング情報（モニタリングポストの過去の平常値の範囲）より作成

年間当たりの被ばく線量の比較

日常生活における被ばく（年間）



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）2008年報告、
（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線」（平成23年）より作成

身の回りの放射線

自然からの被ばく線量の内訳（日本人）

被ばくの種類	線源の内訳	実効線量 (ミリシーベルト/年)
外部被ばく	宇宙線	0.3
	大地放射線	0.33
内部被ばく (吸入摂取)	ラドン222（屋内、屋外）	0.37
	ラドン220（トロン）（屋内、屋外）	0.09
	喫煙（鉛210、ポロニウム210等）	0.01
	その他（ウラン等）	0.006
内部被ばく (経口摂取)	主に鉛210、ポロニウム210	0.80
	トリチウム	0.0000082
	炭素14	0.01
	カリウム40	0.18
合 計		2.1

出典：（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線」（平成23年）

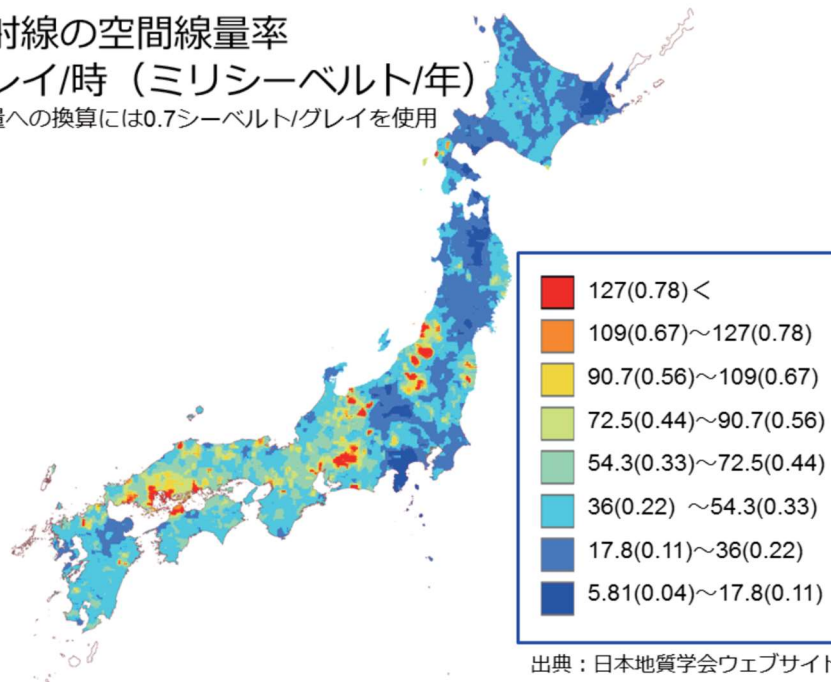
身の回りの放射線

大地の放射線（日本）

自然放射線の空間線量率

ナノグレイ/時（ミリシーベルト/年）

・実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



出典：日本地質学会ウェブサイトより

参考資料 2 発生土利用基準（国土交通省）

区分 (国土交通省令) *1)	細区分*2), 3), 4)	コーン 指数 q _c ^{*5)} (kN/m ²)	土質材料の工学的分類*6), 7)		備考*8)			
			大分類	中分類 土質 {記号}	含水比 (地山) w _n (%)	掘削 方法		
第1種建設発生土 〔砂、礫及びこれらに準ずるもの〕	第1種	—	礫質土	礫 {G}、砂礫 {GS}	—	*排水に考慮するが、降水、浸出地下水等により含水比が増加すると予想される場合は、1ランク下の区分とする。		
	第1種改良土*8)		砂質土	砂 {S}、礫質砂 {SG}	—			
			人工材料	改良土 {I}	—			
第2種建設発生土 〔砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの〕	第2a種	800 以上	礫質土	細粒分まじり礫 {GF}	—		*水中掘削等による場合は、2ランク下の区分とする。	
	第2b種		砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—			
	第2種改良土		人工材料	改良土 {I}	—			
第3種建設発生土 〔通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの〕	第3a種	400 以上	砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—			*水中掘削等による場合は、2ランク下の区分とする。
	第3b種		粘性土	シルト {M}、粘土 {C}	40%程度以下			
			火山灰質粘性土	火山灰質粘性土 {V}	—			
第3種改良土	—	人工材料	改良土 {I}	—				
		第4a種	砂質土	細粒分まじり砂 {SF}	—	*水中掘削等による場合は、2ランク下の区分とする。		
			第4b種	粘性土	シルト {M}、粘土 {C}			
火山灰質粘性土	火山灰質粘性土 {V}			—				
第4種改良土	—	有機質土	有機質土 {O}	40～80%程度				
		人工材料	改良土 {I}	—				
		粘土 a	200 未満	砂質土	細粒分まじり砂 {SF}		—	
粘土 b	粘性土			シルト {M}、粘土 {C}	80%程度以上			
	火山灰質粘性土			火山灰質粘性土 {V}	—			
粘土 c	有機質土	有機質土 {O}		80%程度以上				
	高有機質土	高有機質土 {Pt}		—				

- * 1) 国土交通省令（建設業に属する事業を行う者の再生資源の利用に関する判断の基準となるべき事項を定める省令 平成 13 年 3 月 29 日 国交令 59、建設業に属する事業を行う者の指定副産物に係る再生資源の利用の促進に関する判断の基準となるべき事項を定める省令 平成 13 年 3 月 29 日 国交令 60）においては区分として第1種～第4種建設発生土が規定されている。
- * 2) この土質区分基準は工学的判断に基づく基準であり、発生土が産業廃棄物であるか否かを定めるものではない。
- * 3) 表中の第1種～第4種改良土は、土（粘土を含む）にセメントや石灰を混合し化学的安定処理したものである。例えば第3種改良土は、第4種建設発生土または粘土を安定処理し、コーン指数 400kN/m^2 以上の性状に改良したものである。
- * 4) 含水比低下、粒度調整などの物理的な処理や高分子系や無機材料による水分の土中への固定を主目的とした改良材による土質改良を行った場合は、改良土に分類されないため、処理後の性状に応じて改良土以外の細区分に分類する。
- * 5) 所定の方法でモールドに締め固めた試料に対し、コーンペネトロメーターで測定したコーン指数（表一2参照）。
- * 6) 計画段階（掘削前）において発生土の区分を行う必要があり、コーン指数を求めるために必要な試料を得られない場合には、土質材料の工学的分類体系（(社)地盤工学会）と備考欄の含水比（地山）、掘削方法から概略の区分を選定し、掘削後所定の方法でコーン指数を測定して区分を決定する。
- * 7) 土質材料の工学的分類体系における最大粒径は 75mm と定められているが、それ以上の粒径を含むものについても本基準を参照して区分し、適切に利用する。
- * 8) 砂及び礫と同等の品質が確保できているもの。
- * 9) ・港湾、河川等のしゅんせつに伴って生ずる土砂その他これに類するものは廃棄物処理法の対象となる廃棄物ではない。（廃棄物の処理及び清掃に関する法律の施行について 昭和 46 年 10 月 16 日 環整 43 厚生省通知）
・地山の掘削により生じる掘削物は土砂であり、土砂は廃棄物処理法の対象外である。（建設工事等から生ずる廃棄物の適正処理について 平成 13 年 6 月 1 日 環廃産 276 環境省通知）
・建設汚泥に該当するものについては、廃棄物処理法に定められた手続きにより利用が可能となり、その場合「建設汚泥処理土利用技術基準」（国官技第 50 号、国官総第 137 号、国官計第 41 号、平成 18 年 6 月 12 日）を適用するものとする。

出典）「発生土利用基準について」（国土交通省、平成 18 年 8 月 10 日）

参考資料 3 再生資材の品質検査項目及び検査方法

再生資材の品質検査の実施にあたっては、以下の点に留意する。

- 粉じんの吸込み等を防止するため、保護具（マスク、手袋等）を使用すること。
- 試験後の再生資材は、再生資材化実施者へ返却すること。
- 試験後の廃液や消耗品等の廃棄物に放射性セシウムが含まれる可能性に留意し、適切に処理・処分すること。

1. 土木資材としての品質

表 土木資材としての品質検査項目（全用途共通）

試験項目	規格等	試験・測定手法
土質材料の工学的分類	JGS 0051	土質材料の観察、粒度組成、液性限界・塑性限界などに基づいて、土質材料を分類する。準拠規格においては分類を大分類、中分類、小分類とするが、本試験では中分類まで行う。
土粒子の密度試験	JIS A 1202	目開き 9.5mm のふるいを通過した土粒子について、土の質量と土の固体部分の体積を求め、土の固体部分の単位体積当たりの質量を求める。
土の含水比試験	JIS A 1203	(110±5)℃の炉乾燥によって失われる土中水の質量の、土の炉乾燥質量に対する比を求める。質量百分率で表す。
土の粒度試験	JIS A 1204	目開き 75mm のふるいを通過した土について、土粒子径の分布状態を質量百分率で表す。目開き 75μm のふるいに残留した土粒子についてはふるい分析を行い、目開き 75μm のふるいを通過した土粒子については沈降分析を行う。 なお、目開き 75mm のふるいに残留した石分については、JGS 0132「石分を含む地盤材料の粒度試験方法」に準拠して試験を行う。

試験項目	規格等	試験・測定手法
土の液性限界・塑性限界試験	JIS A 1205	液性限界については、土が塑性状態から液状に移る（板状にした供試体を黄銅皿の上で二つに分け、黄銅皿を1cm落下させることを25回繰り返した際に、分けた供試体が合流する）ときの含水比を求める。塑性限界については、土が塑性状態から半固体状に移る（供試体をひも状にしたときに、ひもが切れ切れになる）ときの含水比を求める。
突固めによる土の締固め試験	JIS A 1210	目開き 37.5mm のふるいを通過した土に水を加えて混合し、6～8 種類の含水比の試料を準備する。これらの試料をモールド内でランマーを規定回数自由落下させて突固め、突固めた試料の含水比と乾燥密度を求め、乾燥密度－含水比曲線、最大乾燥密度及び最適含水比を求める。
締固めた土のコーン指数試験	JIS A 1228	目開き 4.75mm のふるいを通過した土をモールド内に突固めによって締固めた供試体について、コーン先端を供試体上端面から 5cm、7.5cm 及び 10cm 貫入したときの貫入抵抗力を測定し、その平均貫入抵抗力とコーン先端の底面積からコーン指数を算出する。
土の強熱減量	JIS A 1226	(110±5)℃で一定質量になるまで炉乾燥した土を、(750±50)℃に強熱したときの減少質量を炉乾燥度の質量に対する百分率で表す。
塩化物含有量	JGS 0241	粒径 10mm 以上の土粒子を除去した供試体（乾燥質量約 50g に相当する量の湿潤試料）を 500mL の水と一緒に毎分 200 回、振とう幅 4～5cm で 6 時間振とうして、塩化物を液中に溶出させる。液中の塩化物イオンの量をイオンクロマトグラフ法を用いて測定し、塩化物含有量を算出する。
電気伝導度	JGS 0212	粒径 10mm 以上の土粒子を除去した供試体を質量比 5 倍の水に懸濁させ、30 分～3 時間静置したものを試料液として、電気伝導率計を用いて電気伝導率を測定する。
水素イオン濃度	JGS 0211	粒径 10mm 以上の土粒子を除去した供試体を質量比 5 倍の水に懸濁させ、30 分～3 時間静置したものを試料液として、pH 計を用いて pH を測定する。
吸水膨張率	JGS 2121	供試体は、円柱形で直径 40～60mm、高さ 20mm 程度を標準とする。鋼製リングに入れた供試体に所定の荷重（土被り圧や構造物荷重を考慮して設定）を加えて吸水させ、供試体の高さを測定し、吸水膨張率を求める。

表 土木資材としての品質検査項目（用途に応じて実施）

試験項目	規格	試験・測定手法
細粒分の混入率	JIS A 1223	供試体の炉乾燥質量に対して目開き 75 μ m のふるいを通過した分の炉乾燥質量が占める割合を、百分率で表す。なお、ふるい操作は水浸試料について行いふるいに残留した分の炉乾燥質量を測定することにより、ふるい通過分の炉乾燥質量を間接的に求める。
透水係数	JIS A 1218	試験方法は定水位透水試験と変水位透水試験の 2 種類があり、透水係数 10^{-5} m/s を目安として、これより小さい場合は変水位透水試験を選択する。変水位試験は、一定の断面及び長さを持つ供試体の中を、ある水位差を初期状態として浸透するときの水位の降下量、及びその経過時間を測定する。これらの測定値と試験体系の寸法を基に、透水係数を算出する。
CBR	JIS A 1211	「JIS A 1210：突固めによる土の締固め試験方法」に従い供試体を作製し、貫入ピストンを供試体に 1mm/分の速さで貫入させ、所定の貫入量（複数）のときの荷重を測定する。荷重を貫入ピストンの断面積で除して荷重強さを求め荷重強さ-貫入量曲線を描く。貫入量 2.5mm 及び 5.0mm における荷重強さを荷重強さ-貫入量曲線より求め、標準荷重強さに対する比率を算出して CBR とする。
修正 CBR	舗装調査・試験法便覧	「JIS A 1210：突固めによる土の締固め試験方法」に従い、突固め回数 3 層 92 回/層における試料の最適含水比①を求め、試料の約 50kg を最適含水比との差が $\pm 1\%$ 以内になるように水を加えてよく混ぜる。試料をモールドに入れ、各層 92、42 及び 17 回の突固めによる供試体を 3 個ずつ作る。「JIS A 1211：CBR 試験法」に従い、4 日間水浸後の CBR を測定する。各々 3 個の平均値から求める CBR-乾燥密度曲線と①で求めた含水比-乾燥密度曲線を図示して修正 CBR を求める。
骨材のふるい分け	JIS A 1102	105～110℃の温度で一定質量となるまで炉乾燥した試料について、ふるい分けを行い、各ふるいに残留する試料の質量を測定し、試料全質量に対する百分率で表す。
PI（塑性指数）	JIS A 1205	液性限界については、土が塑性状態から液状に移る（板状にした供試体を黄銅皿の上で二つに分け、黄銅皿を 1cm 落下させることを 25 回繰り返して分けた供試体が合流する）ときの含水比 $w_L(\%)$ を求める。塑性限界については、土が塑性状態から半固体状に移る（供試体をひも状にしたときに、ひもが切れ切れになる）ときの含水比 $w_P(\%)$ を求める。塑性指数は、 $w_L - w_P$ より算出する。
粗骨材のすりへり減量	JIS A 1121	粗骨材 5kg 又は 10kg と鋼球数 kg（粗骨材粒度区分による）を一緒に、水平回転軸を有する鋼製円筒内に投入し、毎分 30～33 回の回転数で、500 回又は 1000 回（粗骨材粒度区分による）回転させる。その後、試料を取出して 1.7mm の網ふるいでふるい、1.7mm 未満になった分の質量割合を求める。
硫酸ナトリウムによる骨材の安定性	JIS A 1122	試料について粒径による群分けを行い、各群について所定の重量をはかりとって各群の試料とする。各群の試料をそれぞれ別々の金網かごに入れて硫酸ナトリウムの飽和溶液に 16～18 時間浸漬した後、試料を液から取出して乾燥機内で 40℃/hr の割合で昇温して 105 $\pm$ 5℃の温度で 4～6 時間を乾燥する。この操作を 5 回繰り返した後、各群について試験前に使用したふるいを用いてふるい、ふるいにとどまった試料の質量を測定し、損失質量分率を求める。

試験項目	規格	試験・測定手法
土の一軸圧縮試験方法	JIS A 1216	供試体を一軸圧縮試験機で連続的に圧縮する。圧縮力が最大となつてから、引き続きひずみが 2%以上生じるか、圧縮力が最大値の 2/3 程度に減少するか、又は圧縮ひずみが 15%に達したら圧縮を終了する。この際の応力-ひずみ曲線を図示し、圧縮応力の最大値を一軸圧縮強さ (kN/m^2) とし、そのときのひずみを破壊ひずみ (%) とする。
土の非圧密非排水 (UU) 三軸圧縮試験	JGS 0521	三軸圧力室内に設置して水圧を利用して所定の等方応力状態になるように加圧した供試体について、非圧密非排水状態で軸圧縮を行い、強度・変形特性を求める。圧縮中は軸圧縮力 (N) と軸変位量 (cm) を測定する。主として飽和した粘性土を対象とする。
土の圧密非排水 (CU) 三軸圧縮試験	JGS 0522	三軸圧力室内に設置して水圧を利用して等方応力状態に圧密した供試体について、非排水状態で軸圧縮を行い、強度・変形特性を求める。圧縮中は軸圧縮力 (N) と軸変位量 (cm) を測定する。主として飽和した粘性土を対象とする。
土の圧密非排水 (CU) 三軸圧縮試験	JGS 0523	三軸圧力室内に設置して水圧を利用して等方応力状態に圧密した供試体について、非排水状態で軸圧縮を行い、強度・変形特性、及び主応力差最大時の有効応力を求める。圧縮中は軸圧縮力 (N)、軸変位量 (cm) 及び間隙水圧 (kN/m^2) を測定する。主として飽和した粘性土を対象とする。
土の圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験	JGS 0524	三軸圧力室内に設置して水圧を利用して等方応力状態に圧密した供試体について、排水状態で軸圧縮を行い、強度・変形特性を求める。圧縮中は軸圧縮力 (N)、軸変位量 (cm) 及び体積変化量 (cm^3) を測定する。主として飽和した土を対象とする。
土の繰返し非排水三軸試験方法	JGS 0541	三軸圧力室内に設置して水圧を利用して等方応力状態に圧密した飽和供試体について、非排水状態で繰返し軸荷重を加え、繰返し回数が 200 回程度を超えるか所定の両振幅ひずみに達したら繰返し载荷を終了する。繰返し軸差応力の片振幅または繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数との関係を求める。 主として砂質土を対象とし、地震、波浪などによる繰返し応力を非排水条件のもとで受ける飽和土の強度特性（特に砂質土では液化強度特性）を求めることを目的とする。
地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法	JGS 0542	等方あるいは異方応力状態にある地盤材料に対して、三軸試験機を用いて排水または非排水条件のもとで、一定振幅で 0.05～1.0Hz の一定の周波数で、正弦波あるいは三角波の繰返し軸荷重あるいは繰返し軸変位を 11 波载荷する。载荷が可能な限り、この繰返し载荷段階を繰返し、繰返し载荷中の変形特性を求める。 砂質土、粘性土、礫質土、軟岩、改良土などの地盤材料を対象とし、地震荷重・交通荷重・機械荷重などに対する数値解析に必要なとなる比較的小さいひずみレベルにおける繰返し载荷のもとでの地盤材料の変形特性を求めることを目的とする。
道路の平板载荷試験方法	JIS A 1215	地盤を水平にならし、所定の直径の载荷板を据える。载荷板の上にジャッキを置き、反力装置と組み合わせて载荷圧力が 35 kN/m^2 刻みになるように荷重を段階的に増加していき、荷重を上げるごとにその荷重による沈下の進行が止まるのを待って荷重計と変位計の読みを取る。地盤反力係数 (MN/m^3) を载荷圧力 (kN/m^2) と沈下量 (mm) の関係から求める。

2. 放射線安全性に係る品質

(1) 放射能濃度の検査

再生資材の平均濃度が、福島県内における除染等の措置に伴い生じた土壌の再生利用の手引き本編の1.2項表1に示す放射能濃度限度以下となっていることを確認するための検査を実施する。

(2) 再生資材の溶出試験

「中間貯蔵施設安全対策検討会及び環境保全対策検討会の検討結果取りまとめ」（平成 25 年 10 月、環境省）等において、土壌中の放射性セシウムの溶出特性は極めて低いことが示されている。

一方、高アルカリ環境下では、土壌中で放射性セシウムを固定していると考えられている風化黒雲母の一部が溶解し、構造中に固定されていた放射性セシウムが脱離する可能性が考えられる。しかし、構造中に固定されていた放射性セシウムが脱離しても、再生資材中に十分な風化黒雲母が存在していれば、今回の事故で放出された放射性セシウムと同様に、風化黒雲母に再固定されることになる。風化黒雲母と同様の結晶構造を有する粘土鉱物の溶解速度式によると、時間が経過しても十分な風化黒雲母が残存するので、たとえ再生資材が高アルカリ環境下にさらされても、再生資材からの放射性セシウムの溶出は抑制されるものとする。ただし、再生資材の品質保証の観点から、環境庁告示第 46 号に基づき放射性セシウムの溶出試験を行い、その記録を残すこととする。

なお、放射性セシウムの溶出試験にあたっては、環境省が実施した除去土壌等の再生利用に係る安全評価における収着分配係数 ($K_d=270 \text{ mL/g}$) との整合性を考慮し、再生資材の放射能濃度に応じて、検出下限値を設定するとともに、分析結果を評価する。

3. 環境安全性（特定有害物質等）に係る品質

表 環境安全性に係る品質検査項目

試験項目	規格	試験・測定手法
土壌溶出量	環境省告示 第 18 号	測定対象物質：四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレン、1,3-ジクロロプロペン、ジクロロメタン、トリクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、テトラクロロエチレン、ベンゼン、カドミウム、六価クロム化合物、シアン化合物、総水銀、アルキル水銀、セレン、鉛、砒素、ふっ素、ほう素、PCB、チラウム、シマジン、チオベンカルブ、有機リン化合物。 環境庁告示第 46 号に従い、次のように検液を作成する。 風乾して 2mm の目のふるいを通過させた試料（単位 g）と溶媒（純水に塩酸を加え、pH5.8 以上 6.3 以下にしたもの）（単位 mL）を測定対象物質が吸着しない容器の中で重量体積比 10%の割合で混合し、振とう機（振とう回数毎分約 200 回、振とう幅 4cm 以上 5cm 以下）で 6 時間連続して振とうし、振とう後に静置して上澄み液を孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過してろ液を取り、これを検液とする。 なお、揮発性有機化合物（四塩化炭素～ベンゼン）を測定対象とする場合は揮発による損失がないようにするため、試料（単位 g）と溶媒（純水に塩酸を加え、pH5.8 以上 6.3 以下にしたもの）（単位 mL）をねじ口付三角フラスコに重量体積比 10%の割合でとり、速やかに密栓して、マグネチックスターラーで 4 時間連続して攪拌し、振とう後に静置しガラス製注射筒等を用いて上澄み液を孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過してろ液を取り、これを検液とする。 測定は、それぞれの対象物質について JIS 等で定められた測定方法で行う。
土壌含有量	環境省告示 第 19 号	測定対象物質：カドミウム、六価クロム化合物、シアン化合物、総水銀、アルキル水銀、セレン、鉛、砒素、ふっ素、ほう素。 風乾して 2mm の目のふるいを通過させた試料（単位 g）と溶媒（塩酸 1mol/L）（単位 mL）を測定対象物質が吸着しない容器の中で重量体積比 3%の割合で混合し、振とう機（振とう回数毎分約 200 回、振とう幅 4cm 以上 5cm 以下）で 2 時間連続して振とうし、振とう後に静置して上澄み液を孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過してろ液を取り、これを検液とする。 六価クロム化合物については、溶媒を、純水に炭酸ナトリウム 0.005mol 及び炭酸水素ナトリウム 0.01mol を溶解して 1L としたものと、上記同様の操作を行い、検液を作成する。 シアン化合物については、試料 5～10g に水 250mL を加えて蒸留装置を用いてシアン化水素として留出させ、留出液の受液を水酸化ナトリウム溶液としてシアン化物イオンを回収する。受液を酢酸（1+9）で中和し、水を加えて定量して検液とする。 測定は、それぞれの対象物質について JIS 等で定められた測定方法で行う。

参考資料 4 要求品質に適合させるための主な改良手法

表 材料的特性の改良方法

分類	概要・工法名	特徴
粒度調整	混合処理：特定の粒径成分が過剰であれば、分級し、特定の粒径成分を減少させて再度混合する。また、分級済みの土壌であれば、任意の粒径成分を必要量添加して所定の粒度分布になるようにして混合する。	簡易にできる。特に最小粒径や最大粒径を調整する場合は容易である。
含水比調整	乾燥処理：土から水分を蒸発させることにより含水比を低下させ、強度を高める。天日乾燥などの自然式乾燥や、熱風などによる機械式乾燥がある。	汚泥の場合、乾燥の程度によっては固結状態まで可能であるが、通常はコーン指数 200kN/m^2 程度までの改良である。
	脱水処理：含水比の高い土から水を絞り出す。機械力を利用した機械式脱水処理と、重力などを利用した自然式脱水処理に大別される。通常、減量化や安定処理などの前処理に用いられるが、脱水処理土が直接利用できる場合もある。	汚泥の場合、コーン指数 200kN/m^2 程度までの改良であるが、土質によっては 200kN/m^2 以上まで改良できる。
	高度脱水処理：脱水処理土がそのまま土質材料として利用できる脱水処理技術。適用可能な脱水機として、打込み圧が 1.5MPa 以上のフィルタープレス等が開発されている。	汚泥の場合、コーン指数 400kN/m^2 以上まで改良できる。
	加水処理：含水比が低い場合は、必要な水量を対象土壌に散水する。	均一な加水が困難であり、攪拌作業を必要とする。
強度等の改良	安定処理：軟弱な土にセメントや石灰等の固化材を添加混合し、施工性を改善すると同時に、強度の発現・増加を図る。	固化材の添加量によって強度の制御が可能である。汚泥の場合、コーン指数で 200kN/m^2 以上から礫・砂状を呈するまで改良できる。
	高度安定処理：安定処理にプレスやオートクレーブ養生等の技術を併用し強度の高い固化物を製造する。セメント等の固化剤の添加量の増加によっても可能である。	固化物を解砕することにより、礫・砂状となる。
強熱減量の調整	強熱減量の小さい土等との混合により、有機物含有量を低下させる。	基準に適合した土があれば、容易に改良可能である。
	有機物の再分別を行う。	主工程に戻すので容易に実施可能である。
塩化物含有量の調整	塩化物含有量が 1mg/g を超える場合は、塩化物含有量の小さい土との混合等を講じて塩化物含有量を低下させる。	基準に適合した土があれば、容易に改良可能である。
電気伝導度の調整	電気伝導度が 200mS/m を超える場合は、電気伝導度の小さい土との混合等を講じて電気伝導度を低下させる。	基準に適合した土があれば、容易に改良可能である。
水素イオン濃度の調整	中和剤等による pH 調整が可能である。	周辺環境への悪影響が懸念されるため、安易な採用は避けることが望ましい。

参考資料 5 再生資材の運搬車両等の洗浄処理方法例

再生資材の運搬にあたっては、作業員、周辺住民及び周辺環境への安全性を確保するため、運搬の過程における放射性セシウムの汚染拡大を防止し、運搬車から再生資材が飛散、流出しないような措置を講ずる必要がある。

例えば、再生資材の搬出に当たって、保管場所からの飛散、流出を防止するため、再生資材の運搬車両等のタイヤ・車体、作業員の長靴等の洗浄等を行う等が考えられる。なお、洗浄にあたっては除染関係ガイドラインの第 2 編「除染等の措置に係るガイドライン」（平成 25 年 5 月第 2 版、環境省）の「Ⅱ. 4. (2) 排水の処理」、及び廃棄物関係ガイドラインの第五部「放射能濃度等測定方法ガイドライン」（平成 25 年 3 月第 2 版 環境省）の「第 5 章 排水及び公共の水域の水」に準拠して実施することとし、洗浄水については、濁水処理により粒子状物質を除去する。

参考資料 6 除去土壌等の再生利用に係る安全評価

1. 再生利用に係る追加被ばく線量評価に当たっての考え方

- 一般公衆及び作業者に対する追加被ばく線量が1 mSv/yを超えないことを条件として、再生資材中の放射性セシウム ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) の放射能濃度レベルを算出する。
- 算出した濃度レベルに基づき、供用時の一般公衆に対する追加的な被ばく線量の更なる低減のための遮へい厚等の施設設計に関する検討を行う。

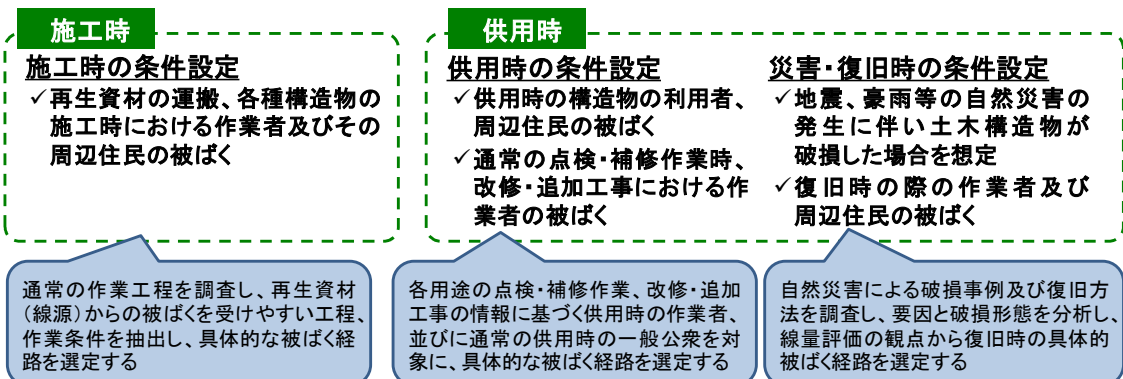
対象プロセス		減容化・運搬・保管等	施工・供用（補修・改修工事の対応、二次的な土地利用等を含む）
濃度レベルを算出するための目安値	作業者	1 mSv/yを超えないようにする（当面の考え方※1）	1 mSv/yを超えないようにする（作業者も一般公衆と同じ【公衆被ばく】扱い）
	一般公衆	1 mSv/yを超えないようにする（特措法※2基本方針）	1 mSv/yを超えないようにする。
再生資材の濃度レベル		—	万一の場合も速やかに補修等の作業を実施できるよう、確実に電離則及び除染電離則の適用対象外となる濃度として、特措法の規制体系における斉一性も考慮して、8,000 Bq/kg以下を原則とする。なお、用途ごとの被ばく評価計算から誘導された濃度（1 mSv/y相当濃度）がこれ以下の場合は、その濃度以下とする。
施設の設計による追加被ばく線量のさらなる低減		—	破損時等を除く供用時における一般公衆の追加的な被ばく線量が、放射線による障害防止のための措置を必要としないレベル（0.01 mSv/y*1）になるように適切な遮へい等の措置を講じる。

*1: ICRP勧告において「年に0.01～0.1 mSvの大きさのオーダー」は、「個人に何ら懸念を生じさせないと見なされる」リスクに相当し、かつ、「自然バックグラウンド放射線の変動と比べて小さい線量レベル」にも相当するとされている（ICRP Pub.104）。0.01 mSv/yはこのオーダーの下方に相当し、放射線による障害防止のための措置を必要としないレベルに相当する値。

※1「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）
 ※2「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」

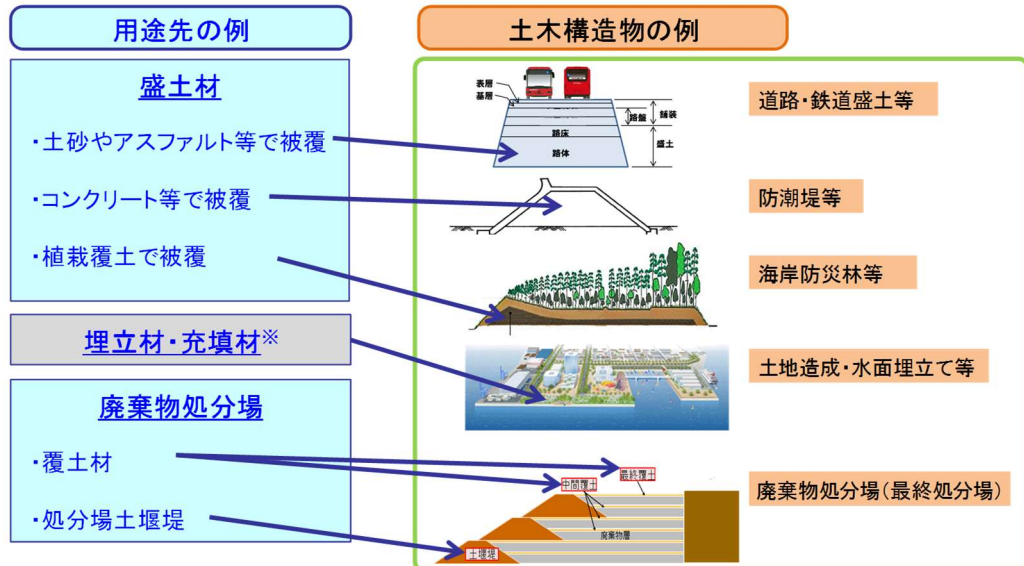
2. 放射能濃度を設定するための被ばく経路設定の考え方

- 再生利用先として想定される代表的な用途ごとに被ばく経路を設定し、被ばく評価計算により、1 mSv/y相当の放射性セシウムの放射能濃度レベルを算出する。
- 以下のような条件の下で被ばく経路を設定し、施工時・供用時を通じて作業者への特別な防護措置や施設利用・周辺居住の制限を設けずに再生利用が可能となるような再生資材の放射能濃度レベルを算出する。
 - (1) 用途ごとの作業工程及び施設利用の情報に基づいた評価
（既往のクリアランスレベル評価の際の設定を参照し、現実的なシナリオ・パラメータを設定）
 - (2) 不確実性の大きいパラメータについては、安全側に立った値を設定
 - (3) 利用開始時の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の存在比を考慮



3. 再生利用の用途先ごとに算出される放射能濃度レベル

- 以下の用途先の例のうち盛土材及び廃棄物処分場の覆土材・土堰堤を再生資材の放射性セシウムの放射能濃度レベル設定の検討対象とした。なお、用途先はこれらに限定するものではなく、今後の検討で適宜追加される。

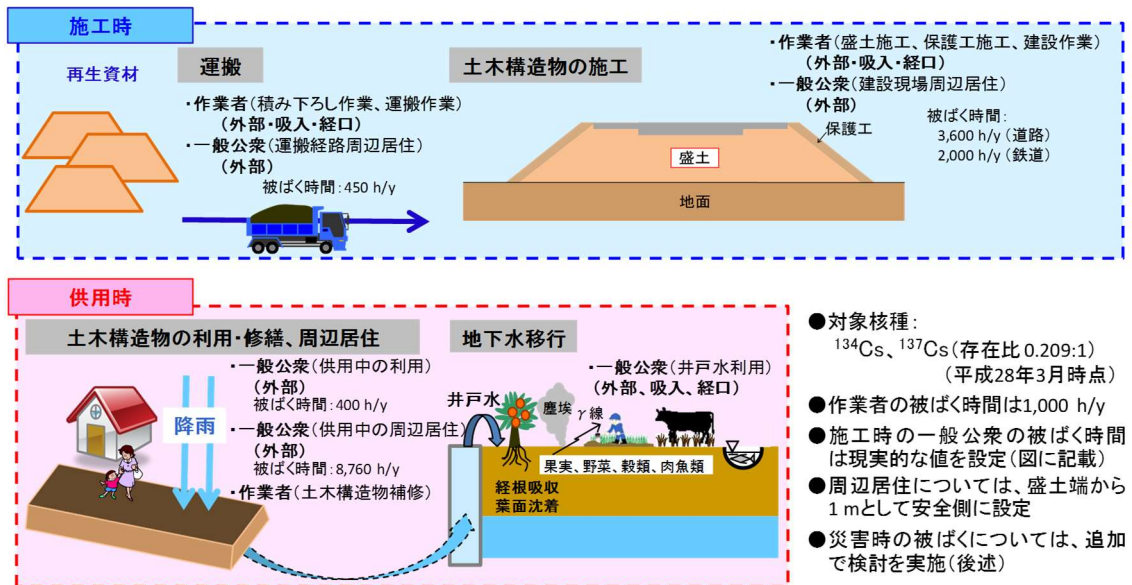


※被ばく線量評価結果については今後追加予定

3. 1 土砂やアスファルト等で被覆された盛土

(1) 被ばく経路の設定

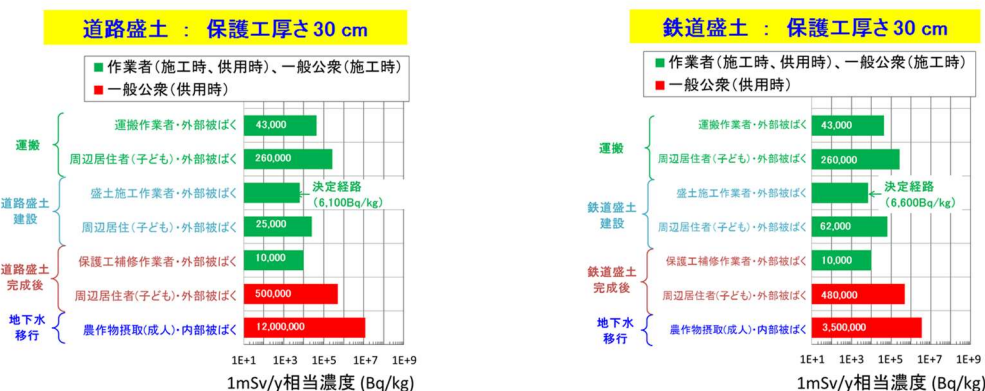
➤ 土砂やアスファルト等で被覆された盛土(例:道路、鉄道等)に再生資材を利用する場合を想定し、検討対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態(外部、吸入、経口)を整理し、被ばく経路を設定。



(2) 被ばく評価結果 (再生利用濃度レベル)

➤ 1 mSv/y(施工時、供用時)を超えない放射性セシウムの放射能濃度レベルを算出。道路盛土及び鉄道盛土を例とした場合の主要な被ばく経路における1 mSv/y相当濃度(決定経路:最も影響が大きい被ばく経路)は以下のとおり。

- (1) 道路盛土(施工作業員の外部被ばく): 6,100 Bq/kg
- (2) 鉄道盛土(施工作業員の外部被ばく): 6,600 Bq/kg

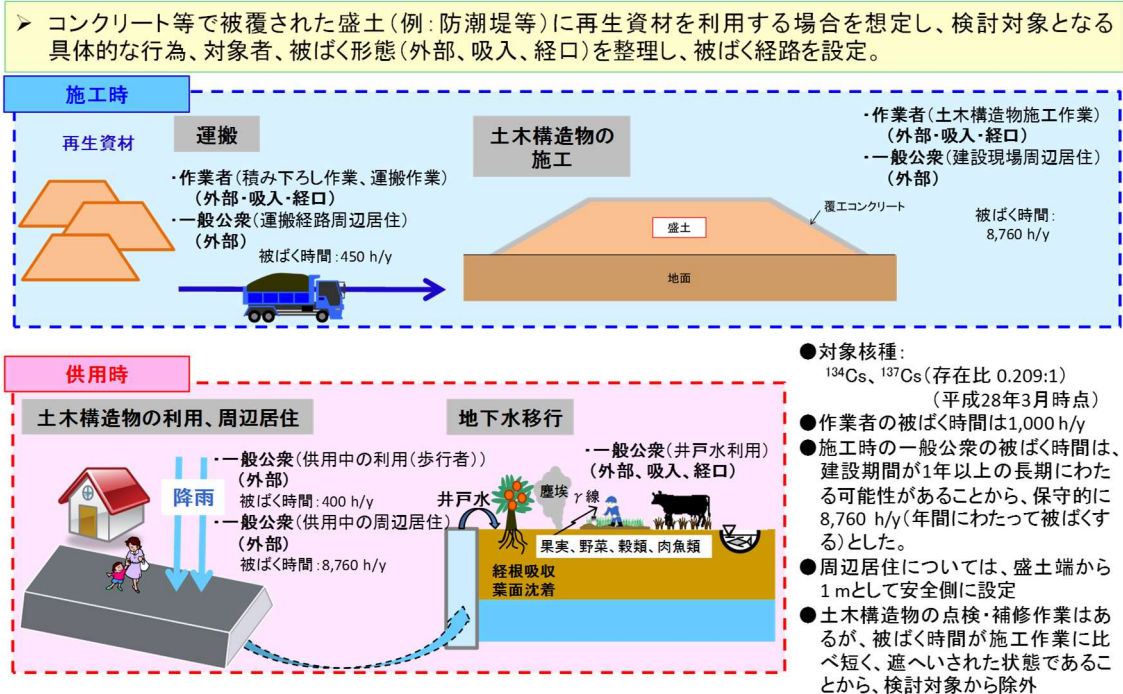


○ 保護工の厚さを変えて算出しても、最も影響が大きい被ばく経路は盛土施工作業員の外部被ばくであり、放射能濃度は同一の評価結果であった

※被ばく評価に用いた計算コード: クリアランスレベル評価コードPASCLR2、QAD-CGGP2Rコード、MCNP5コード

3. 2 コンクリート等で被覆された盛土

(1) 被ばく経路の設定



(2) 被ばく評価結果(再生利用濃度レベル)

➤ 1 mSv/y(施工時、供用時)を超えない放射性セシウムの放射能濃度レベルを算出。直立堤・傾斜堤(高さ8 m・15 m)を例とした場合の主要な被ばく経路における1 mSv/y相当濃度(決定経路: 最も影響が大きい被ばく経路)は以下のとおり。

- 傾斜堤(高さ8m)(施工作業員の外部被ばく): 6,900 Bq/kg
- 傾斜堤(高さ15m)(施工作業員の外部被ばく): 6,800 Bq/kg
- ◆ 直立堤(高さ8m)(施工作業員の外部被ばく): 7,500 Bq/kg
- ◆ 直立堤(高さ15m)(施工作業員の外部被ばく): 7,500 Bq/kg

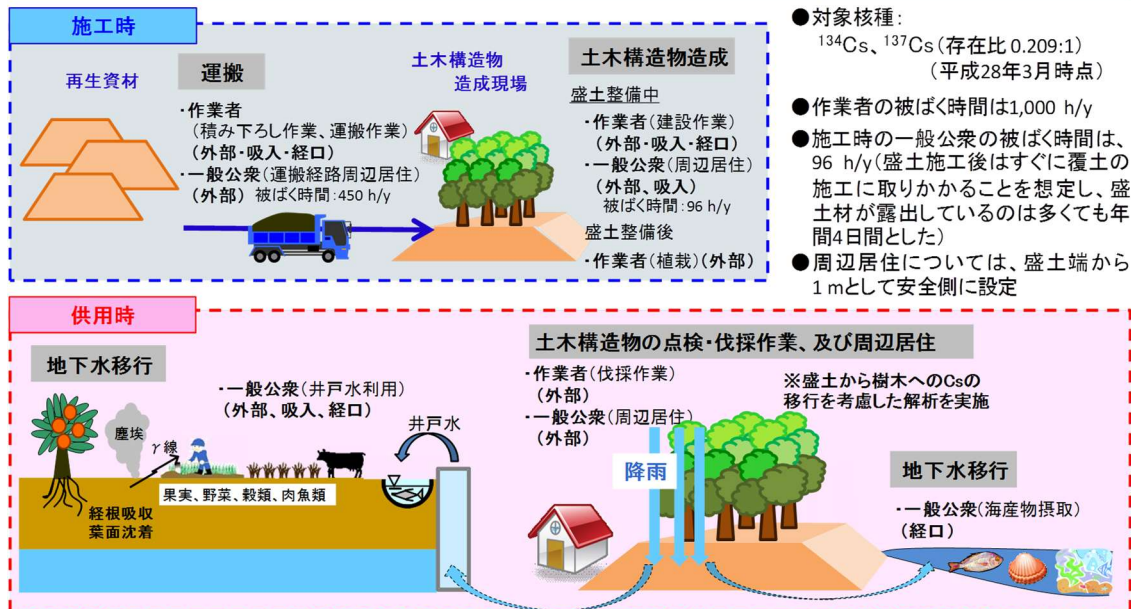


※被ばく評価に用いた計算コード: クリアランスレベル評価コードPASCLR2、QAD-CGGP2Rコード、MCNP5コード

3. 3 植栽覆土で被覆された盛土

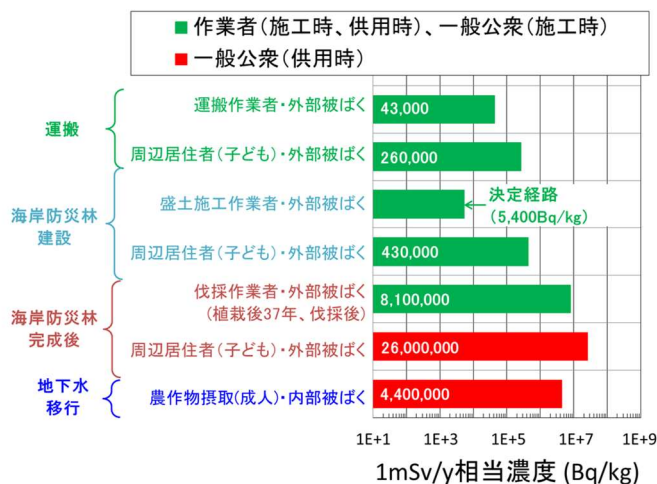
(1) 被ばく経路の設定

➤ 植栽覆土で被覆された盛土(例:海岸防災林等)に再生資材を利用する場合を想定し、検討対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態(外部、吸入、経口)を整理し、被ばく経路を設定。



(2) 被ばく評価結果 (再生利用濃度レベル)

➤ 1 mSv/y(施工時、供用時)を超えない放射性セシウムの放射能濃度レベルを算出。海岸防災林を例とした場合の主要な被ばく経路における1 mSv/y相当濃度及び決定経路(最も影響が大きい被ばく経路)は、施工作業員における外部被ばくで5,400 Bq/kgとなった。

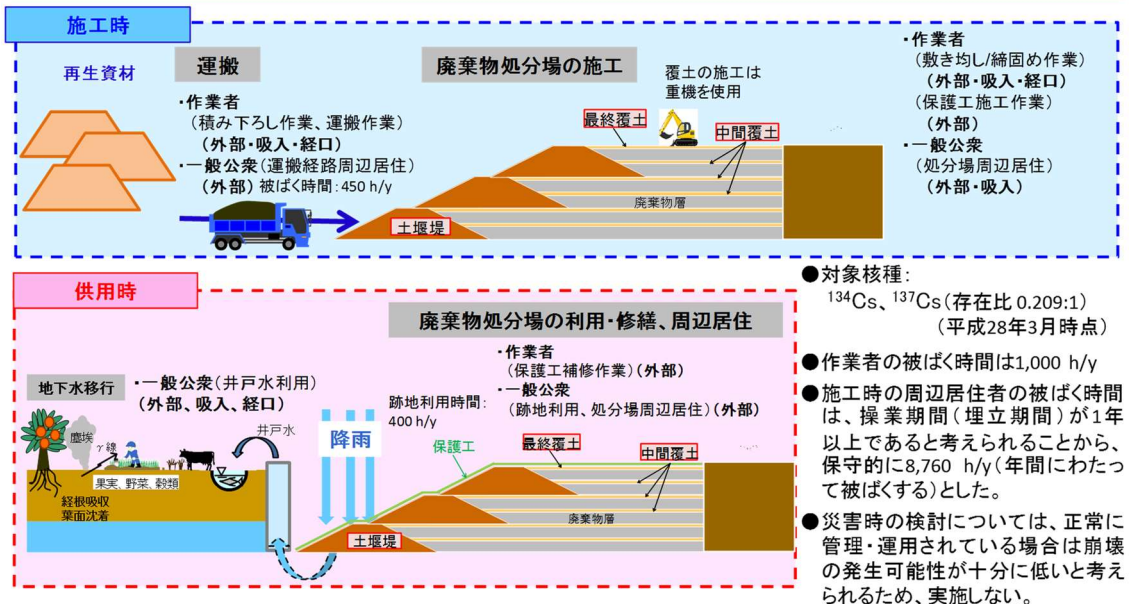


※被ばく評価に用いた計算コード: クリアランスレベル評価コードPASCLR2、QAD-CGGP2Rコード、MCNP5コード

3. 4 廃棄物処分場

(1) 被ばく経路の設定

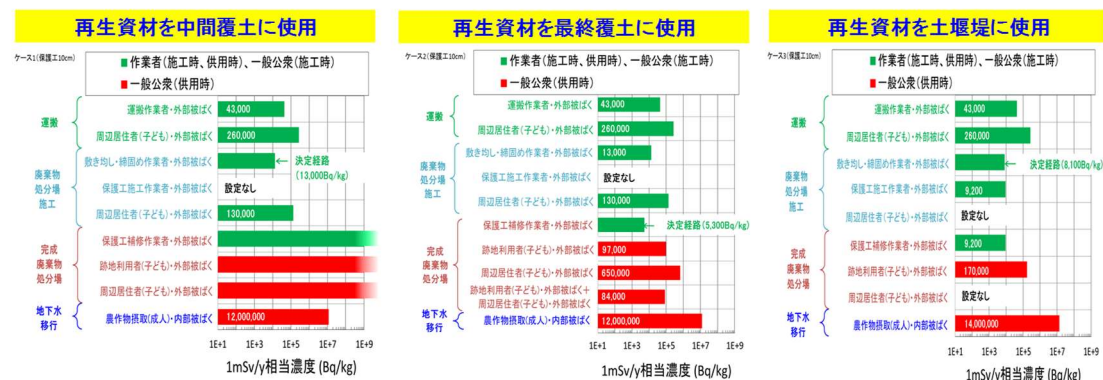
- 廃棄物処分場の中間覆土、最終覆土、土堰堤に再生資材を利用する場合を想定し、検討対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態(外部、吸入、経口)を整理し、被ばく経路を設定。



(2) 被ばく評価結果 (再生利用濃度レベル)

- 1 mSv/y(施工時、供用時)を超えない放射性セシウムの放射能濃度レベルを算出。廃棄物処分場を例とした場合の主要な被ばく経路における1 mSv/y相当濃度(決定経路:最も影響が大きい被ばく経路)は以下のとおり。

- (1) 中間覆土(敷き均し・締固め作業員の外部被ばく): 13,000 Bq/kg
- (2) 最終覆土(保護工補修作業員の外部被ばく): 5,300 Bq/kg
- (3) 土堰堤(敷き均し・締固め作業員の外部被ばく): 8,100 Bq/kg

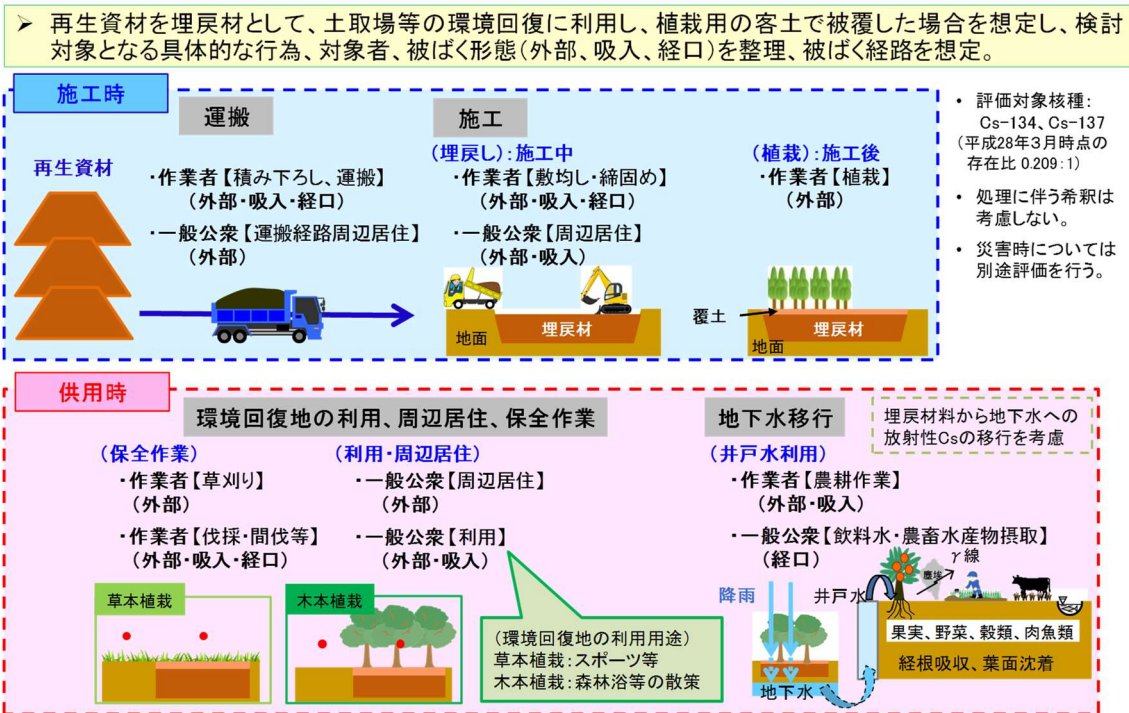


○保護工の厚さを10 cm~50 cmに設定して算出しても、最も影響が大きい被ばく経路と放射能濃度は同一の評価結果であった。

※被ばく評価に用いた計算コード: クリアランスレベル評価コードPASCLR2、QAD-CGGP2Rコード、MCNP5コード

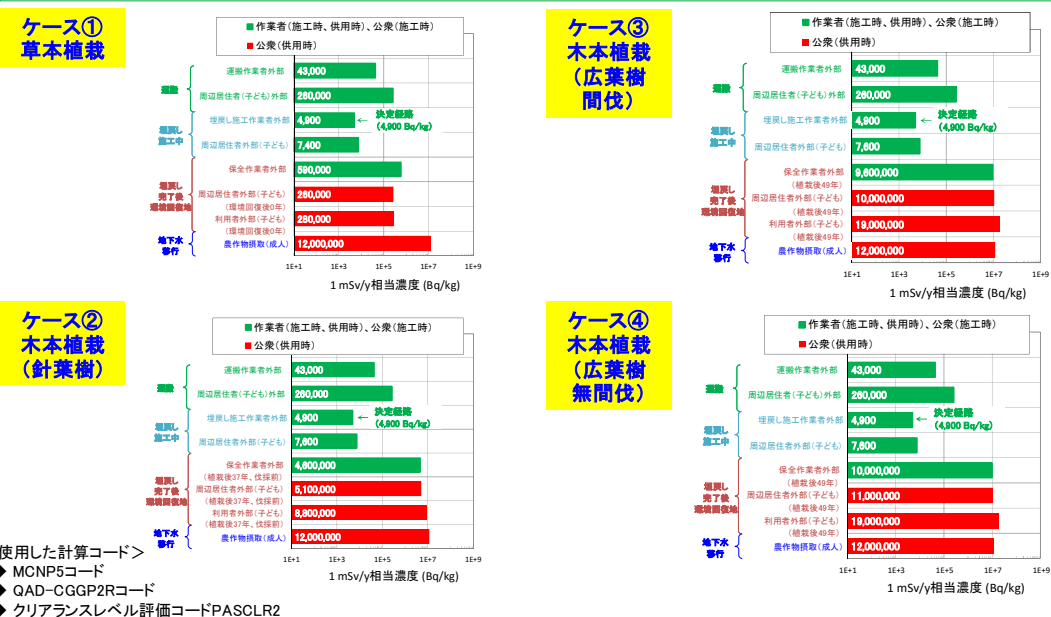
3. 5 土地造成

(1) 被ばく経路の設定



(2) 被ばく評価結果（再生利用濃度レベル）

➤ 1 mSv/y（施工時、供用時）を超えない放射性セシウムの放射能濃度レベルを算出。主要な被ばく経路における1 mSv/y 相当濃度及び決定経路（最も影響が大きい被ばく経路）は、すべてのケースで埋戻し施工中の埋戻し施工作業員における外部被ばくで4,900 Bq/kgとなった。



4. 用途ごとの再生資材として利用可能な放射能濃度

用途先		遮へい条件	年間の再生資材利用作業期間に応じた 再生利用可能濃度 (Bq/kg)※ ₁			追加被ばく線量の更なる 低減のために必要な 覆土等の厚さ (cm)
			6か月※ ₂	9か月※ ₂	1年※ ₂	
盛土		土砂やアスファルト等 で被覆	8,000以下	8,000以下	6,000以下	50 cm以上
		コンクリート等 で被覆	8,000以下	8,000以下	6,000以下	50 cm以上※ ₃
		植栽覆土で被覆	8,000以下	7,000以下	5,000以下	100 cm以上※ ₃
廃棄物 処分場	中間覆土材	保護工 (客土等)	8,000以下	8,000以下	8,000以下	10 cm以上※ ₄
	最終覆土材		8,000以下	7,000以下	5,000以下	30 cm以上※ ₃
	土堰堤		8,000以下	8,000以下	8,000以下	30 cm以上
埋立材・充填材		植栽覆土で被覆	7,000以下	6,000以下	4,000以下	40 cm以上(草本類) 100 cm以上(木本類)※ ₃

※1: 用途先ごとの被ばく評価計算により算出された1 mSv/年相当濃度の100 Bq/kg以下の位を切り捨てて表記した。なお、この再生利用可能濃度は、平成28年3月時点の¹³⁴Csと¹³⁷Csの存在比を基に算出しており、今後、時間経過とともに空間線量率への寄与が小さい¹³⁷Csが大部分を占めるようになり1 mSv/年相当濃度が変化するとともに、再生資材中の放射性セシウムが物理減衰するため、再生利用に伴う追加被ばくは、時間経過とともに低減する方向で推移する。

※2: 工事そのものの規模、再生資材の利用量、作業員の労務時間管理等により、作業員が1年間のうち再生資材に直接接触する作業(重機を用いた作業を除く)に従事する期間

※3: 用途先の構造上、一定の植栽基盤の厚さや覆土の厚さが必要とされる場合、追加被ばく線量の更なる低減のために必要な覆土等の厚さは、当該構造上必要とされる覆土等の厚さも含めた必要な厚さである。なお、追加被ばく線量の更なる低減のために必要な覆土等の厚さとしては、盛土におけるコンクリートで被覆した場合は30 cm、植栽覆土で被覆した場合は50 cm、埋立材・充填材における植栽覆土で被覆した場合は40 cmである。

※4: 中間覆土材は廃棄物処分場の構造上、土堰堤、廃棄物層、最終覆土により遮へいされているため、中間覆土のためだけの覆土等は不要

5. 災害・復旧時における追加被ばく線量の検討

(1) 土砂やアスファルト等で被覆された盛土、コンクリート等で被覆された盛土、植栽覆土で被覆された盛土

①評価方法

- 公共事業等により新設される土木構造物は、既往の災害時の教訓を生かして設計され、供用後には、必要に応じた維持管理・補修を行うことで、それぞれの構造物で考慮されている発生頻度・規模の災害等に対する耐性を保持している。
- 再生利用の安全性に万全を期す観点から、万一、災害等により構造物の大規模な破損等が生じた場合を想定し、放射性物質による影響を評価する。

想定した大規模災害と破損事象

土木構造物	土砂やアスファルト等で被覆された盛土 (道路・鉄道盛土 等)	コンクリート等で被覆された盛土 (防潮堤 等)	植栽覆土で被覆された盛土 (海岸防災林 等)
想定災害	地震・異常降雨	津波	津波・火災
破損事象	I. すべり崩壊 盛土内部により断面が円弧を描く円弧すべりにより大規模に崩落するケース II. 法面崩壊 盛土法面の表層が流出、崩壊するケース III. 分断崩壊 基礎地盤の液化化等により盛土が沈下をはじめ、その沈下量が大きい場合に盛土の形状が保てず全体的に分断しながら崩壊するケース	I. 決壊・流出 津波により堤防の一区間が決壊・流出するケース II. 法面崩壊 津波による洗掘により法面基部が破壊され、法面覆工が破壊されるケース	I. 津波 津波により防災林が破壊され津波堆積土や盛土の海への流出が発生するケース II. 火災 火災によりブルーム※ ¹ が発生するケース

※1 微細な放射性物質が煙のように流れる現象

* 大規模な破損等の評価に当たり、復旧に要する期間については、土砂やアスファルト等で被覆された盛土については最大3か月、コンクリート等で被覆された盛土及び植栽覆土で被覆された盛土については1年で評価

②評価結果

- 万一、津波等の災害により構造物の大規模な破損等が生じた場合であっても、想定したケースについて一般公衆及び作業者の追加被ばく線量はいずれも1 mSv/y以下となる結果が得られた。
- 大規模な破損等を防止するため、施設の計画・設計時において設置される地域及びその周辺の地形、地質、水理、災害履歴等を考慮するものとする。

土木構造物	評価対象として選定した災害の要因	8,000 Bq/kgの再生資材を用いた場合の追加被ばく線量検討結果(決定経路)	評価の条件等
土砂やアスファルト等で被覆された盛土 (例:道路盛土・鉄道盛土等)	地震及び異常降雨(豪雨)による「すべり崩壊」、 「法面崩壊」、 「分断崩壊」	作業者:0.64 mSv/y (分断崩壊、復旧作業者-外部) 一般公衆:0.21 mSv/y (すべり崩壊、周辺居住者(子ども)-外部)	・地震及び異常降雨(豪雨)によるすべり崩壊により崩落した盛土内の再生資材及び再生資材を含む回収土からの被ばくについて評価。 ・法面崩壊・分断崩壊により露呈した盛土内の再生資材からの被ばくについて評価。
コンクリート等で被覆された盛土 (例:防潮堤等)	津波による「決壊・流出」、 「法面崩壊」	作業者: 0.81 mSv/y (盛土高さ8 m) 0.84 mSv/y (盛土高さ15 m) (法面崩壊、復旧作業者-外部) 一般公衆: 0.0020 mSv/y (盛土高さ8 m) 0.0067 mSv/y (盛土高さ15 m) (決壊・流出、海産物摂取(成人))	・津波による防潮堤の法面覆工の破壊、あるいは防潮堤の一区間が決壊し、破壊・決壊面に露呈した再生資材からの被ばくについて評価。 ・広範囲に流出した再生資材からの被ばく、並びに海に流出した再生資材により汚染された海産物の摂取による被ばくについて評価。
植栽覆土で被覆された盛土 (例:海岸防災林等)	津波 火災	作業者:0.47 mSv/y (津波、復旧作業者-外部) 一般公衆:0.0036 mSv/y (津波、海産物摂取(成人))	・津波により広範囲に流出した再生資材からの被ばく、並びに海へ流出した再生資材により汚染された海産物の摂取による被ばくについて評価。 ・火災によりブルームが発生し、地表沈着したCsからの被ばく及び再浮遊したCsの吸入による被ばくについて評価。

(2) 土地造成

①災害・復旧時における検討条件

自然災害	検討結果
地震	遮へい材としての機能する覆土(草本植栽:厚さ30 cm、木本植栽:厚さ1 m)について、液状化等により部分的な覆土厚さの減少等の形状変化が生じる可能性が考えられるが、そのケースの評価は、より保守的な評価となる下記の津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。
津波	東日本大震災の被災地の視察結果 ^{*1,2)} によると水田において津波により影響を受けたのは表層2～3 cmであったことから、平場の土地造成地における津波による影響は小さいと考えられる。一方で、面積はわずかでであるが20～30 cmほどの深さの陥没様箇所が確認されたことや、倒木が認められたこと、堤防裏法尻背後で洗掘があったこと ^{*3)} などから、部分的に覆土厚さが減少し、埋戻材が露出する可能性はある。そこで、被ばく線量が最大となる埋戻材がすべて露出する条件を用いて評価を行った。 <草本植栽> 覆土がすべて津波で流され、埋戻材が露出した条件で被ばく線量評価を行った。 <木本植栽> 埋戻材の規模がより大きい草本植栽のケースで代替した。
火災	植栽した樹木の火災により発生したブルーム由来の被ばくが考えられる。 <草本植栽> 草本への放射性セシウムの移行量は木本と比べ小さいため、より保守的な評価となる木本の火災に対する評価で代替する。 <木本植栽> 放射性セシウムが移行した木本の火災により、放射性セシウムが拡散することを想定した被ばくを評価する。
暴風・竜巻	暴風・竜巻による倒木で根返りが発生することが考えられるが、下記の理由から評価の対象から外した。 <草本植栽> 草本のみのため倒木は発生しない。 <木本植栽> 倒木による根返りの発生は考えられるが、覆土厚を1 mとしており露出の可能性は低いと想定される。倒れた樹木からの被ばくについては、伐採作業員に対する評価に代替される。
異常降雨(豪雨)	草地や林地での侵食土深は0.1～0.01 mm/yであり、豪雨により100倍となった場合でも1～10 mmほどである ^{*4)} 。また、一降雨により年間の土砂流出量を上回った事例として10～30 m ³ /ha(1～3 mm相当)が報告されている ^{*5)} 。これらから、豪雨による覆土厚さの減少は津波の場合より少ないと考えられるため、より保守的な評価となる津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。一方、異常降雨の発生に伴う年間の浸透水量の増加が考えられ、その地下水移行への影響を評価した。 <草本植栽> より保守的な評価となる津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。浸透水量の増加による地下水移行への影響を評価する。 <木本植栽> 埋戻材の量が草本植栽に比べて少ないことから、より保守的な評価となる草本植栽のケースで代替する。

*1 南條正巳、農地土壌に対する東日本大震災の影響と対策 <http://www.agritohoku.ac.jp/agri-revival/ocu6b00000002cr-att/a1322803240058.pdf>
 *2 東北大学、東日本大震災・仙台市南東部における津波被災農地の視察 <http://www.agritohoku.ac.jp/soil/jpn/2011/04/arabama.html>
 *3 大久保隆介 他、津波越流時における海岸堤防の洗掘に関する数値解析モデルの構築、土木学会論文集(海岸工学)、70(2) pp.1991-1995 (2014)
 *4 北原曜、植生の表面侵食防止機能、砂防学会誌 54(5) pp.92-101 (2002)
 *5 早川博、圃場の耕起方法の違いによる地表面流発生メカニズムの解明 http://www.ric.or.jp/profile/works/kiyou/H25_3.pdf

②評価結果

- 万一、火災、異常降雨、津波等の災害が発生した場合であっても、想定したケースについて一般公衆及び作業者の追加被ばく線量はいずれも1 mSv/yを十分に下回る結果が得られた。
- 大規模な破損等を防止するため、施設の計画・設計時において設置される地域及びその周辺の地形、地質、水理、災害履歴等を考慮するものとする。

土木構造物	評価対象として選定した災害の要因	7,000 Bq/kgの再生資材を用いた場合の追加被ばく線量検討結果(決定経路)	検討結果概要
植栽覆土で被覆された造成地(例:土地造成) <木本植栽>	火災	作業員(消防士・ブルーム・内部): 針葉樹(42年目) 0.00076 mSv/y 広葉樹・間伐(59年目) 0.00022 mSv/y 広葉樹・無間伐(59年目) 0.00023 mSv/y 一般公衆(周辺公衆・ブルーム・内部): 針葉樹(42年目) 0.000030 mSv/y 広葉樹・間伐(59年目) 0.0000086 mSv/y 広葉樹・無間伐(59年目) 0.0000089 mSv/y	・いずれのケースでもブルームによる内部被ばく経路の線量が最大になったが、1 mSv/yを大幅に下回った。
植栽覆土で被覆された造成地(例:土地造成) <草本植栽で代表>	津波 異常降雨(豪雨)	作業員: 0.09 mSv/y (復旧作業員-外部) 一般公衆: 0.026 mSv/y (周辺居住者(子ども)-外部)	・被ばく線量が最大となる経路は、復旧作業時の外部被ばくであるが、1 mSv/yを下回った。

参考資料 7 除去土壌再生利用実証事業の事例

参考資料 7－1 南相馬市における実証事業

1. 実証事業の概要

【目的】

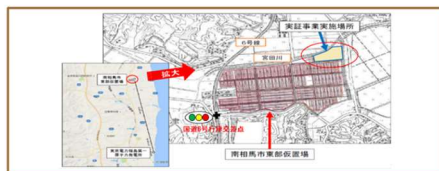
中間貯蔵開始後30年以内の県外での最終処分に向けて、再生資材化した除去土壌の安全な利用を段階的に進めるため、再生資材化を行う工程上の具体的な放射線に関する取扱方法及び土木資材としての品質を確保するためのあり方の検討を進めることを目的とする。



実証事業で得られた知見を「再生利用の手引き(仮称)」の作成等に活かす

【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
- 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)

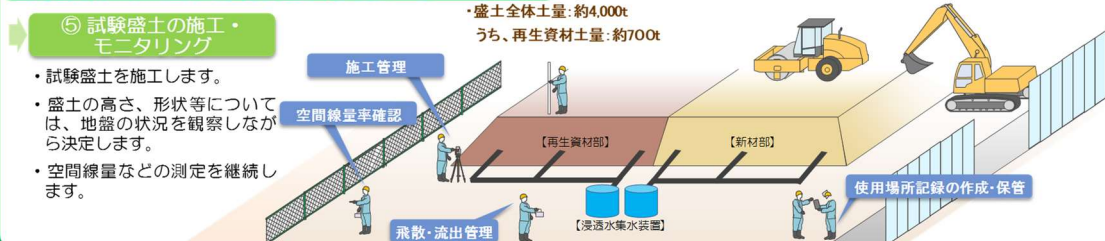


実証試験実施場所(約2ha)

1. 再生資材化実証工程(平成29年4月～)



2. 試験盛土工程(平成29年5月～)



実証試験概要図

【試験状況写真】

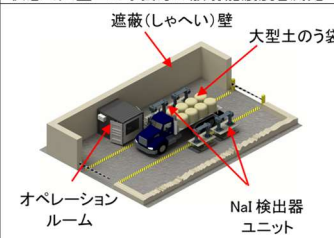
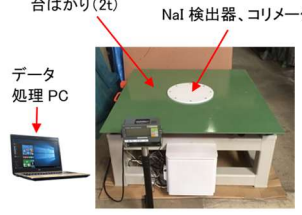


実証ヤード(約2ha)の全景と各試験状況

2. スクリーニング方法（受入時）

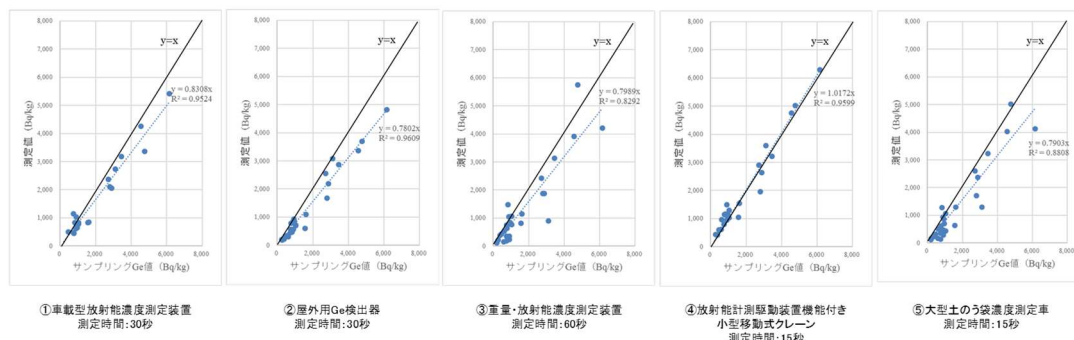
複数のスクリーニング方法を比較検証し、一定の精度で測定可能なことを確認した。また、岩石、コンクリート塊等表面汚染物が混入した除去土壌の放射能濃度を表面線量率から推定する場合は、その混入割合が誤差の要因となることを確認した。

【放射能自動測定器の概要】

① 車載型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型土のう袋毎の放射能濃度を測定	② 屋外用 Ge 検出器 屋外用 Ge 半導体検出器により大型土のう袋を回転しながら、大型土のう袋 1 袋毎の放射能濃度を測定	③ 重量・放射能濃度測定装置 大型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 重機に備え付けた放射能計測駆動装置 (NaI 検出器 4 台) により大型土のう袋 1 袋毎の放射能濃度を測定	⑤ 大型土のう袋濃度測定車 4t ユニックス車の荷台に備え付けた大型 NaI 検出器により、大型土のう袋毎の放射能濃度を測定	(参考) サンプル Ge サンプル試料を 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
		

【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



各測定方法とサンプリングGe の比較

3. スクリーニング方法（分別・品質調整後）

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した。

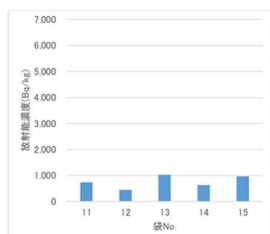
【詳細調査 サンプルGe値】

- 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点からサンプリングして混合し、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。

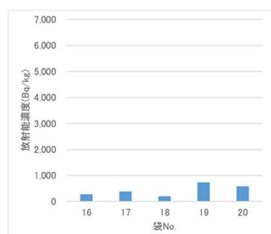
詳細調査の対象とした大型土のう袋30袋の概要

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 (タグ情報裏面検査率情報より判定)	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	

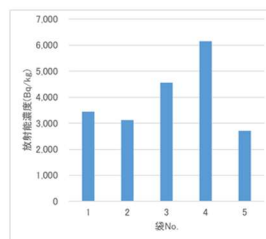
(合計 30袋)



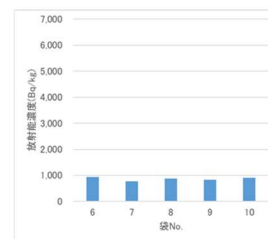
ケース3(大型施設、比較的高レベル)



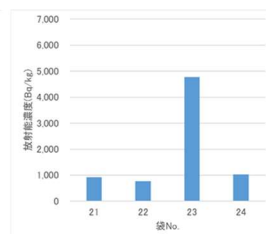
ケース4(大型施設、低レベル)



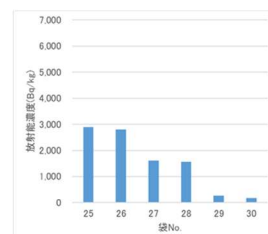
ケース1(住宅地、高レベル)



ケース2(住宅地、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)

【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

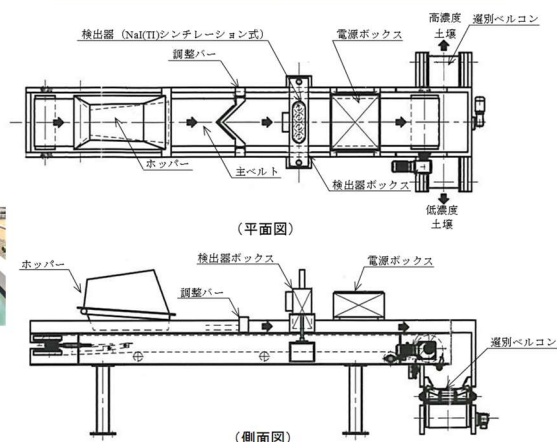
項目	仕様	備考
検出装置	NaI検出器4台	
時間当たり測定土量	13.9m³/h	主ベルト運送時の土壌高さ:12cm 主ベルト搬送速度:7.5cm/s
測定限界値	500Bq/kg	



(ホッパーへの土壌投入状況)

(主ベルト上 土壌搬送状況)

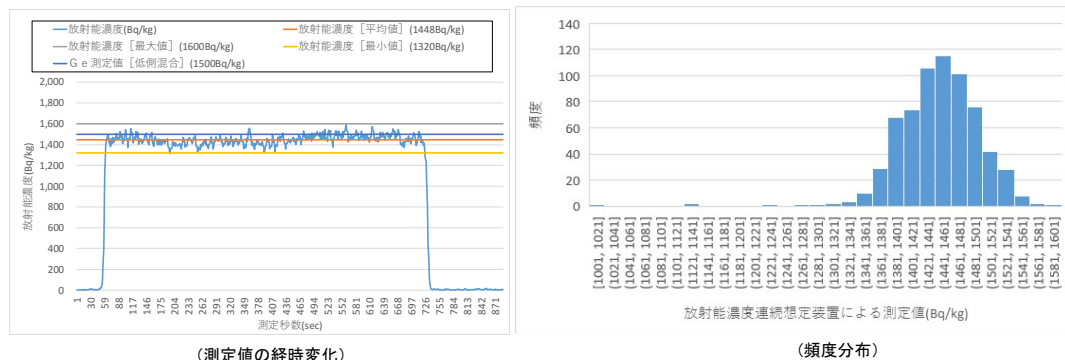
放射能濃度分別機による測定状況



放射能濃度分別機概要図

【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も確認した。
- ・ 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)

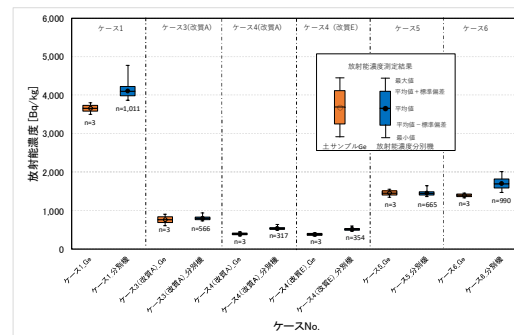
放射能濃度分別機による測定結果の例(ケース5)

【放射能濃度分別機による測定結果(その2)】

- ・ サ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: 放射能濃度分別機による測定値(A)

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

4. 土木資材としての品質・適用性

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した。

【対象とした大型土のう袋、製造した再生資材等】

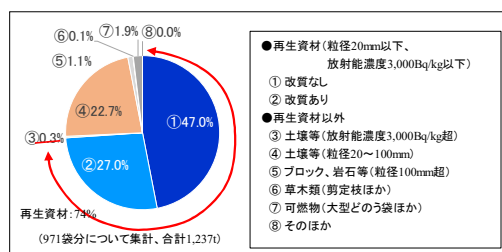
対象とした大型土のう袋数量一覧表

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(タイヤベックス、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オーバー半分	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%
- 再生資材以外にも小石、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



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

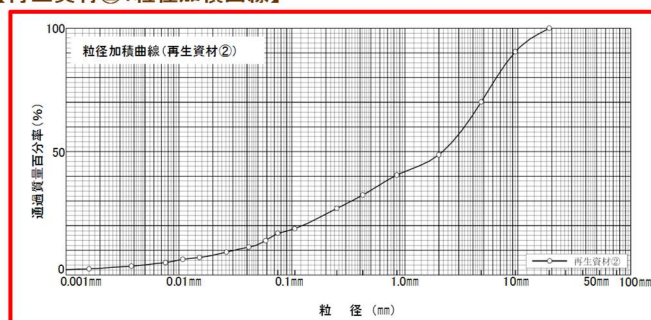
【試験結果(抜粋)】

- ・ 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

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_e	—	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	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
試験	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_L	(%)	6.1	7.0	5.4	7.2	5.1	4.6
	PH試験	PH	—	—	—	8.91	—	—	—

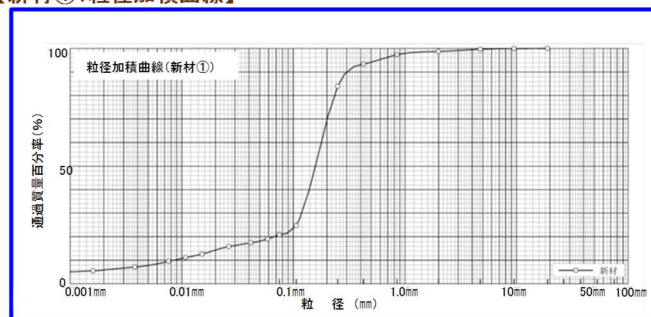
【再生資材②: 粒径加積曲線】



【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

【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 吸水性樹脂	石膏 鉄化合物 高分子凝集剤	無機材料 ゼオライト 酸化鉄 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 元土含水率 : 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

【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

※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

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%

改質材・改良材添加土の施工性確認試験

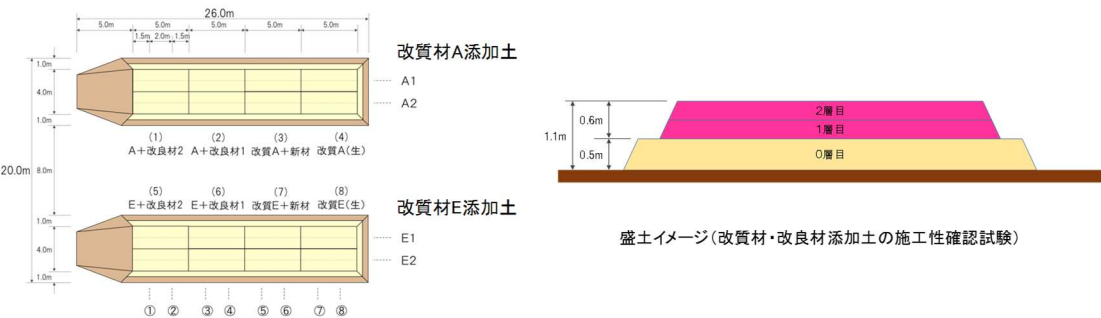
【試験の目的】

再生資材化処理では、二次分別工程にてトロンメルの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】



【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%

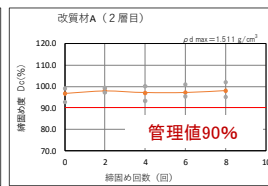
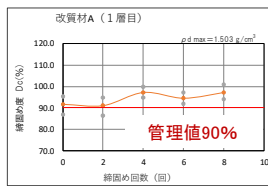
【改質材・改良材添加土の施工性確認試験について】

～ 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～

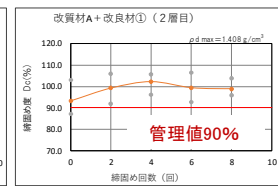
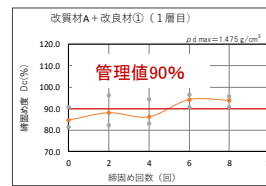
材料名	性状	特徴	主成分	備考
改良材①		● セメントを含まない独自の生石灰系固化材 ● 高含水比のヘドロから各種土質の軟弱地盤の固化に効果を発揮する ● 幅広い土質に改良効果を発揮する	主要原料：生石灰、石膏 CaO 75.0～80.0	高含水比の土へ対応可能
改良材② (中性固化材)		● 中性域での土質固化に優れた固化材 ● 石膏系の中性固化材に比べ強度発現に優れており、低添加量での改良が可能	主要原料：酸化マグネシウム 副原料：金属硫酸塩 (pH調整剤)	除染工事での使用実績あり

- ・ 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。

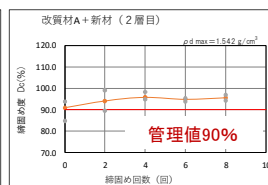
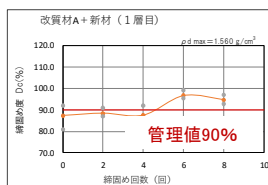
【改質材A添加土の試験結果(締固め度)】



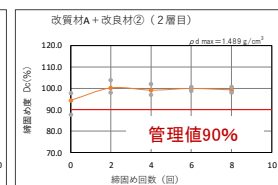
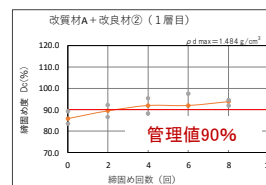
締固め度計測結果(RI):改質材A添加土



締固め度計測結果(RI):改質材A添加土+改良材①



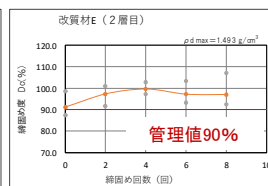
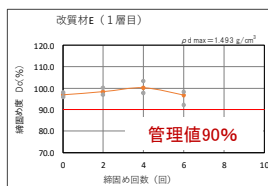
締固め度計測結果(RI):改質材A添加土+新材



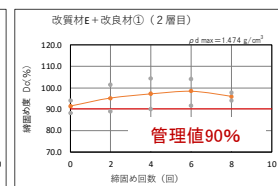
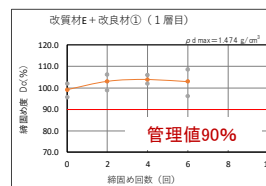
締固め度計測結果(RI):改質材A添加土+改良材②

- 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ことを確認
- 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

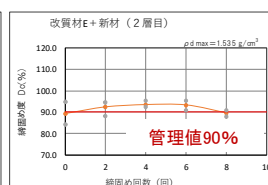
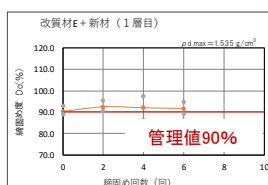
【改質材E添加土の試験結果(締固め度)】



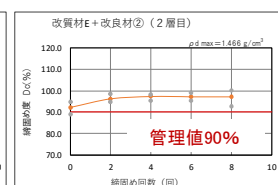
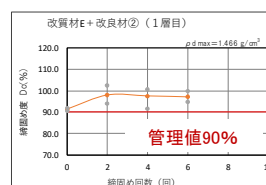
締固め度計測結果(RI):改質材E添加土



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ことを確認
- 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

【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も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 酸化物 高分子凝集剤	・30kg/t添加時の20mm網の通過率：99.8%

【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も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・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

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工材 ●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 （中性固化工材）		●中性域での土質固化に優れた固化工材 ●石膏系の中性固化工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

5. 設備等の処理性能

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した。また、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した。

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	土のう袋の底部分をカット	分別作業中遠景①	全量	全量	対象土投入
吊落とした状態	カット後フレコン内土壌状況遠景	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）
漏圧シヨベルによる押し込み状態	カット後フレコン内土壌状況遠景	分別作業中遠景③	改質材投入	内部	分別後排出状況（高濃度）
上写真の通り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さ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（底部は土砂下に設置）	スクルトンバケット	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）

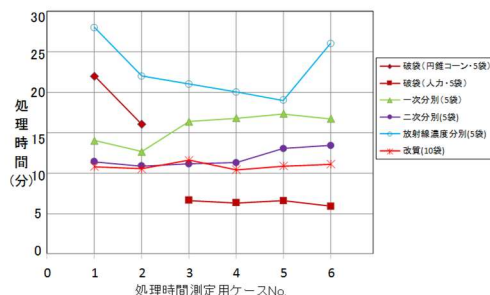
再生資材化処理 処理状況写真

【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 人力による袋切断	いずれの方法も重機による搬重作業を併用
一次分別	スク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 (二軸バドルミキサー)	SR2000G 処理能力 $20\sim 135\text{m}^3/\text{h}$ 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 $9.5\sim 47.5\text{m}^3/\text{h}$)
濃度分別	連続式濃度分別機	
二次分別	可搬式・ロンメル	20mmメッシュ

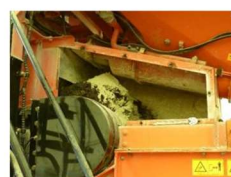


処理時間測定結果

(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。

【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

- 放射能濃度分別機の土砂ホッパー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

【ゴミ・有機物(「ゴミ+草木類」)の除去率】

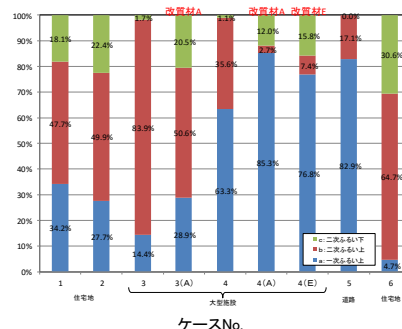
●一次分別・二次分別による除去率

- ・ 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 ÷ (a + b + c) (%)	二次分別 除去率 b ÷ (a + b + c) (%)	c ÷ (a + b + c) (%)	全重量 (土壌等 を含む) (kg)	【参考】 a + b + c ÷ 全重量 (%)
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

【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

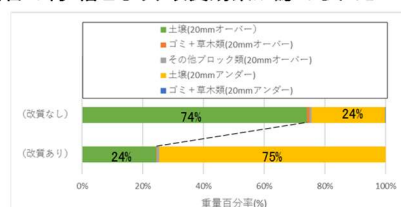
- ・ 対象土: そのままの状態では二次分別が困難と判断した細粒が多い砂質土(ケース3,4)
- ・ 改質材添加量: 30kg/t
- ・ 調査項目: 土壌の状況(目視観察)、土壌等の重量
 ～各ケースの土壌を分割し、改質せずに二次分別するものと改質して二次分別するものを比較

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

6. 土質性状判断

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であった。

【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	粘土がほとんど	粘土と砂がほぼ半々	砂がほとんど	砂がほとんど	砂がほとんど
区分による土質	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	粘土にもハンにもくれない	粘土にはくれない	粘土にハンに少しくっつく	粘土にハンに少しくっつく	粘土にハンに少しくっつく

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

土質の簡易判定法

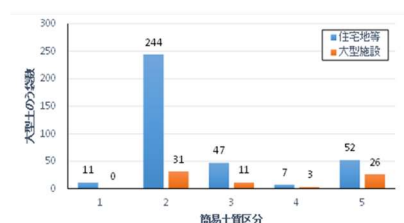
(*)全国農業協同組合連合会ホームページ：土壌診断の見方より抜粋し一部改変



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

(2) 詳細把握調査

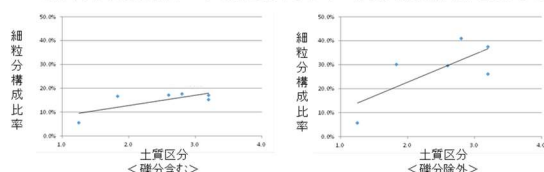
① 調査内容

- 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）

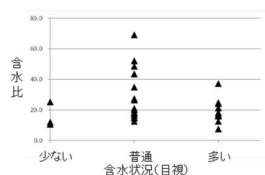
- 対象土壌から礫分を除外した場合、目視結果から細粒分比率（土質試験結果）をある程度推測可能



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

【タグ情報及び目視情報と測定結果の関連性の評価】

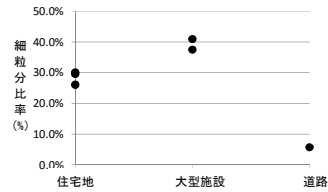
①調査内容

- 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

施工場所等を整理した記録の整理を実施した。

- ・大型土のう袋毎に、記録シートを用いて管理

[illegible][illegible]

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)

[illegible]

運搬日

汚染土壌容器番号

作成日

容器番号(再生資材)

再生資材の使用箇所

8. 盛土の出来形

管理目標値を上回る締め固めが可能であることを確認した。

【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($t=50\text{cm}$)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 - R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

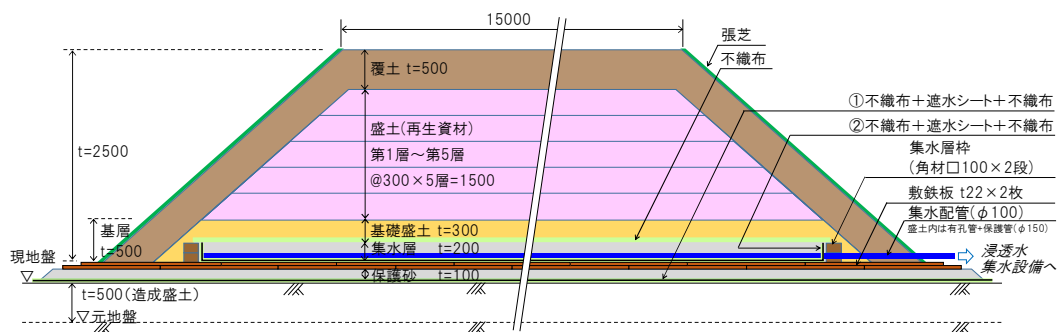
【品質管理項目と規定値】

- 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		

【その他の試験】

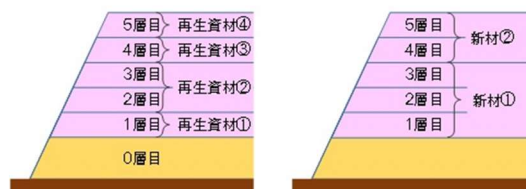
- 締固め度(RI)計測におけるバックグラウンド値(以後、B.G値という)の影響把握
- 盛土浸透水、表面水等の排水モニタリング
- 盛土及び地盤の動態観測(基盤面、周辺地盤)



盛土イメージ(モデル実証事業)

【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

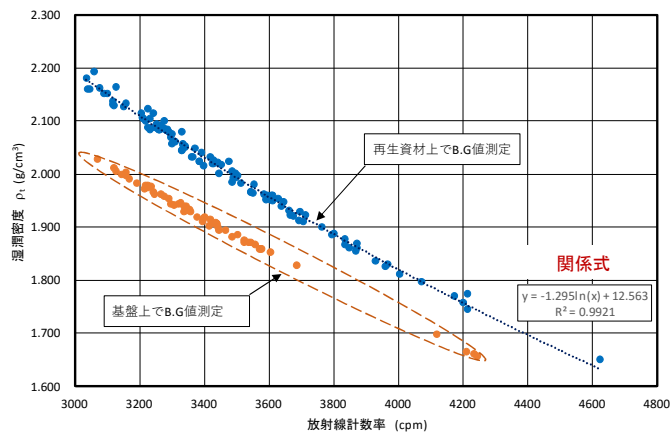


モデル実証事業材料区分
(再生資材①～④、新材①～②はP18参照)

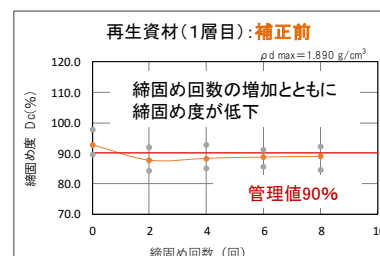
使用改良材

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	—	除染工事に於いて適用事例有り

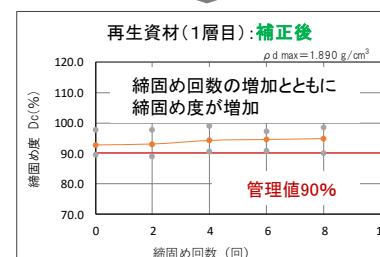
【締固め度(RI)計測におけるB.G値の影響把握】



- 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

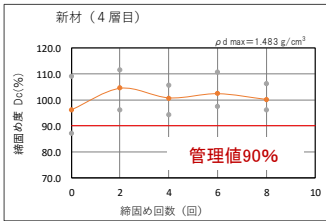
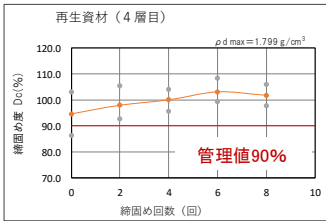
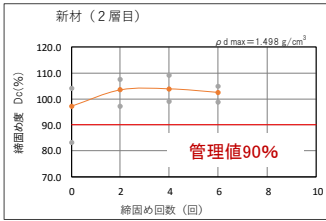
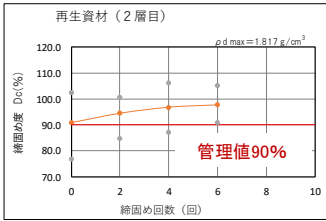


再生資材部以外でB.G値を計測した場合の締固め度の値



関係式にて補正後の締固め度の値

【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事を確認
- 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

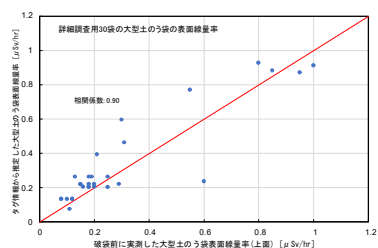
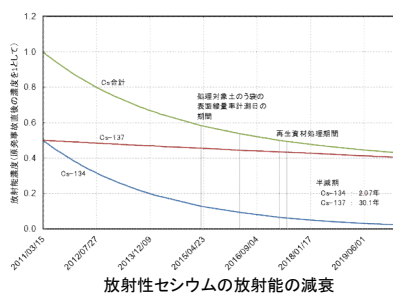
9. 放射能収支

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した。

【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】

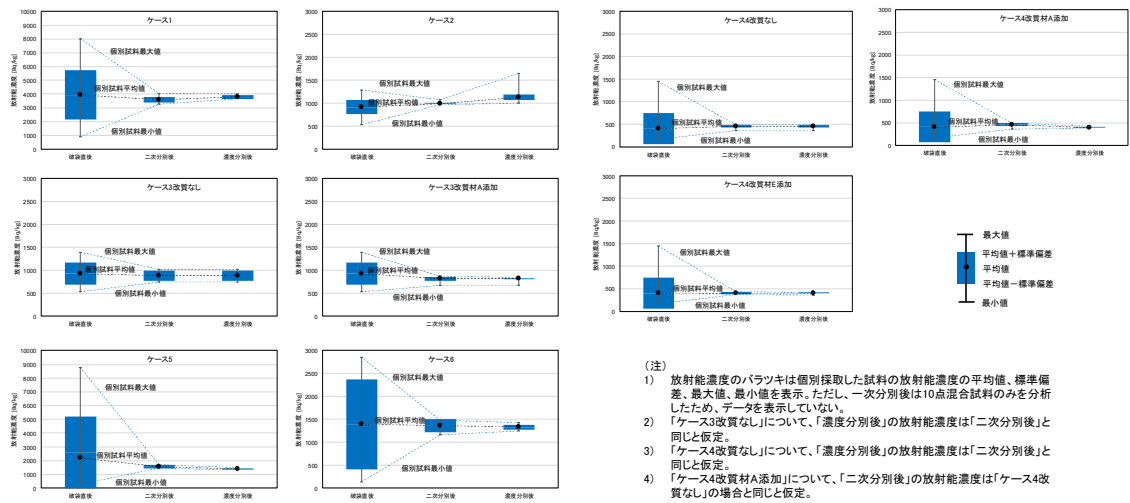
- 再生資材化の各段階で、詳細調査30袋の大型土のう袋の内容物について放射能濃度、重量の測定を実施
 - 破袋直後
 - 一次分別後
 - 改質後(改質を行った場合)
 - 二次分別後
 - 濃度分別後

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	8,028	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%
(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%
(3)	破袋直後	11 f0601003915	1,078	970	1,079	992	8.2%
		12 f0601002578	1,492	990	1,647	1,132	23.5%
		13 f0601002577	742	772	1,400	1,038	
		14 f0601002944	453	825	1,104	931	
		15 f0601003722	1,028	852	1,096	1,011	
		加重平均	629	533	662	616	
		一次分別後(改質なし)	969	836	1,180	1,007	
(4)	破袋直後	16 f0601002937	763	769	1,110	931	
		17 f0601002950	850	-	-	-	-8.8%
		18 f0601002965	939	743	1,020	880	-4.9%
		19 f0601002978	858	-	-	-	-7.8%
		20 f0601002984	654	654	852	792	-12.7%
		濃度分別後(改質材A添加)	651	651	823	794	-12.1%
		濃度分別後(改質材A未添加)	651	651	823	794	-12.1%

※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。

【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

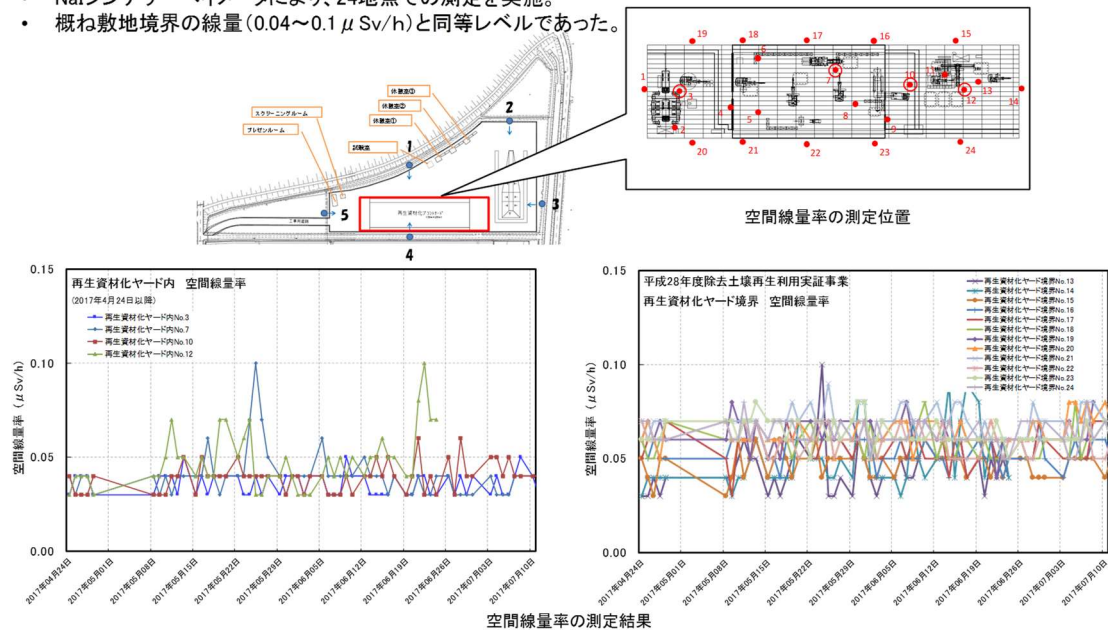
再生資材の製造過程において、破袋直後、二次分別後、濃度分別後の濃度平均値がほぼ一定であることを確認

10. 作業上の放射線安全

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

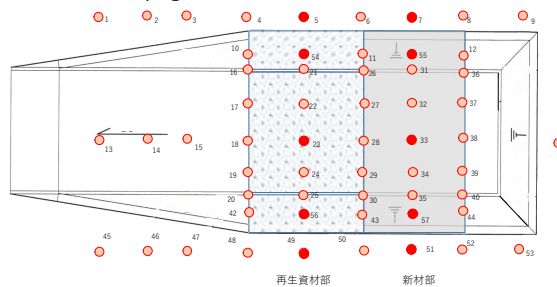
【再生資材化ヤード】

- 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。



【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0.19~0.21 $\mu\text{Sv/h}$ 、法面中央で0.13~0.18 $\mu\text{Sv/h}$ 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0.05~0.06 $\mu\text{Sv/h}$ となること確認された。
- 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、411~1,000Bq/kg(平均771Bq/kg)であった。



空間線量率の測定結果

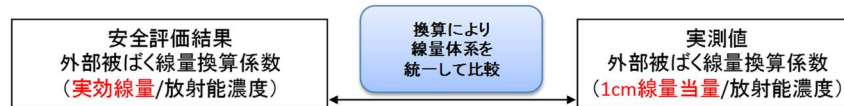
空間線量率の測定位置の●点のモニタリング結果を記載

単位: $\mu\text{Sv/h}$

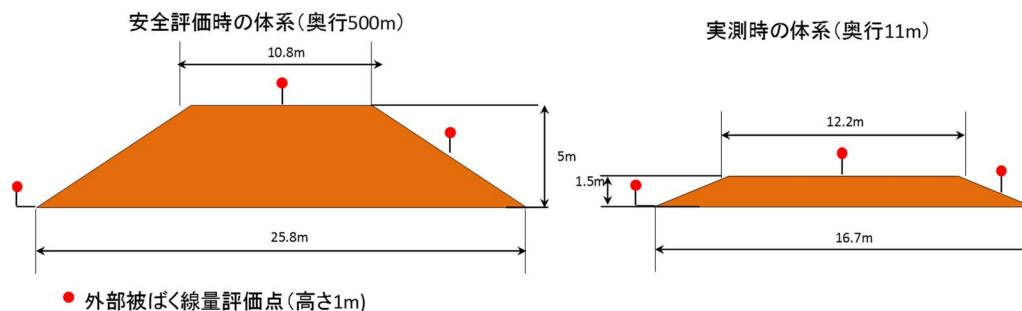
層数等	再生資材部			新材部		
	天端中央(No23)	法面中央(No54,56)	法尻から1m(No5,49)	天端中央(No33)	法面中央(No55,57)	法尻から1m(No7,51)
1層目転圧後	0.19	0.13~0.14	0.06	0.07	0.05	0.05
2層目転圧後	0.19	0.13~0.14	0.06~0.07	0.06	0.05	0.04~0.05
3層目転圧後	0.19	0.13	0.05~0.07	0.06	0.05	0.05
4層目転圧後	0.19	0.15~0.16	0.05~0.07	0.05	0.05	0.05~0.06
5層目転圧後	0.21	0.17~0.18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

【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工において盛土工及び盛土保護作業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)

【盛土工に係る作業員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】

基本的考え方に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、上記の安全評価体系と同じ 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、上記の安全評価体系と同じ 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、上記の安全評価体系と同じ 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、上記の安全評価体系と同じ 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、上記の安全評価体系と同じ 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】

※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

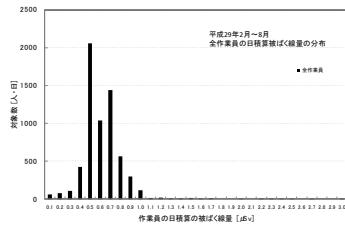
光子フルエンスから実効線量及び1cm線量当量への換算係数	光子エネルギー(MeV)	E/D (pSv/cm2)	H*(10)/D(pSv/cm2)	換算係数の比	適用
【実効線量 (AP照射条件) ⇒ 1cm線量当量換算】					
0.600	2.908	3.44	1.18 (= 3.44 / 2.908)		盛土工
0.800	3.727	4.38	1.18 (= 4.38 / 3.727)		盛土工
【実効線量 (ISO照射条件) ⇒ 1cm線量当量換算】					
0.600	1.942	3.44	1.77 (= 3.44 / 1.942)		盛土保護工、周辺居住
0.800	2.594	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(盛土工)又はISO照射条件(保護工及び周辺居住))					

【測定方法】

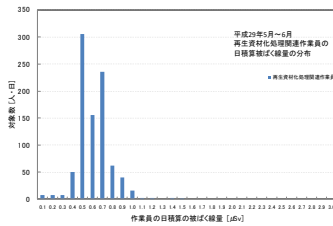
- ・ 1時間ごとの個人線量当量が記録される個人線量計を作業員が装着し、日々の被ばく線量を測定。
- ・ 作業員の胸部に装着し、作業員の作業開始時刻と終了時刻も併せて記録。

【測定結果】

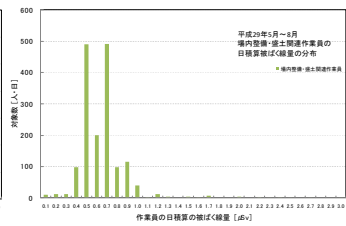
- ・ 全作業員の日積算の被ばく線量（平成29年2月～8月分）は、平均 $0.61 \mu\text{Sv}$ 、最大 $3.0 \mu\text{Sv}$ 。
- ・ 再生資材化処理の通常処理を実施した作業員の日積算の被ばく線量（5～6月分）は、平均 $0.61 \mu\text{Sv}$ 、最大 $1.5 \mu\text{Sv}$ 。
- ・ 盛土施工の準備及び施工を実施した作業員の日積算の被ばく線量（5～8月分）は、平均 $0.65 \mu\text{Sv}$ 、最大 $3.0 \mu\text{Sv}$ 。被ばく線量が高い作業員は、RI試験等に従事した者であり、再生資材からよりもRI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）



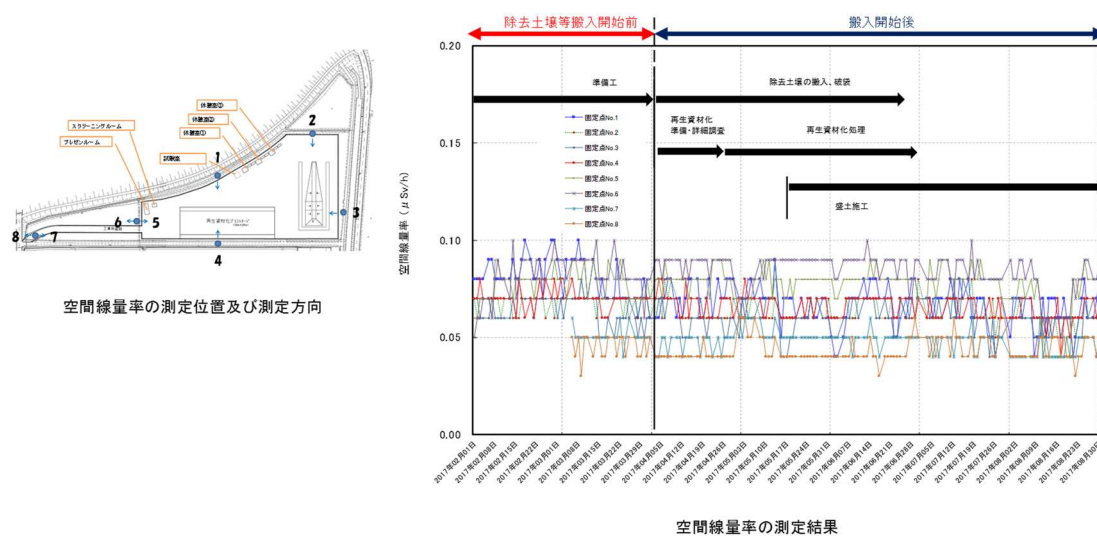
作業員の日被ばく線量の分布
（盛土等5～8月分）

1 1. 周辺環境の安全

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した。また、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した。

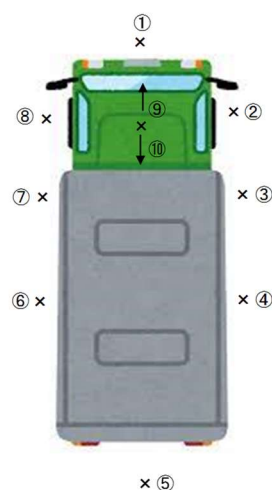
【空間線量率】

- 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0.04～0.09 $\mu\text{Sv/h}$ 程度であり、大きくは変動していない。



【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。



(※) 積載再生資材の濃度：約800Bq/kg

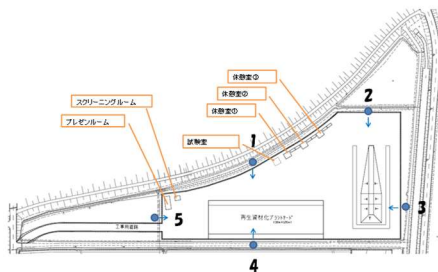
表 輸送車両の周辺1mにおける空間線量率(例)

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

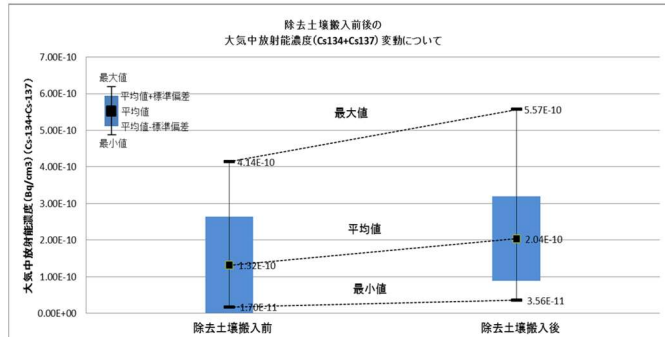
- 積載時においても規制基準値である100 $\mu\text{Sv/h}$ を大きく下回ることを確認。
- なお、輸送車両運転席の空間線量率は、積載時、非積載時とも、バックグラウンド(0.03)と同程度。

【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5E-11Bq/cm3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/cm3)	Cs137濃度 (Bq/cm3)
搬入前 (H29年4月以前)	2.25E-11～4.70E-11	1.70E-11～3.67E-10
搬入後 (H29年4月以降)	2.80E-11～6.27E-11	3.56E-11～4.98E-10

大気中放射能濃度の測定結果

【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

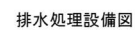
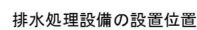
	測定地点	Cs-134濃度	Cs-137濃度
盛土着工前の最小濃度	測定地点1	ND (2.55E-12Bq/cm3※)	1.70E-11Bq/cm3
盛土着工中の最大濃度	測定地点5	5.90E-11Bq/cm3	4.98E-10Bq/cm3
着工前と着工中の差		5.65E-11Bq/cm3	4.81E-10Bq/cm3

【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、 $10^{-3} \sim 10^{-2} \mu\text{Sv/年}$ 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137Cs:134Cs=1:0.15(事故後6年)と仮定した場合、Cs-137濃度より算出

- ・ 降雨等により発生した水等の排水进行处理するため、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。



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	6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。

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

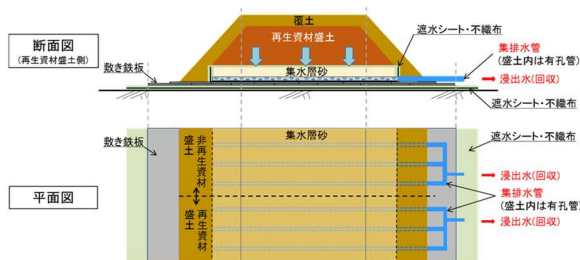
【浸透水の放射能濃度(概要)】

- ・ 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

【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(GeIによる測定))を参考にする。

1 2. 実証事業の事例から得られた技術的知見

(1) 再生資材化工程

- 再生資材化工程において用いる設備は、処理対象とする除去土壌の土質や異物の混入状況、再生資材として要求される品質等に応じて、合理的かつ効率的に選定する。
- 再生資材化工程において用いる設備については、飛散・流出防止、被ばく線量の低減、作業性の確保等の観点から、適切な設備を選定する。
- 除去土壌を収納した大型土のう袋の表面線量率から放射能濃度を推定する際には、岩石、コンクリート塊等の径が比較的大きく表面汚染が支配的な異物が混入している場合や、大型土のう袋の除去土壌の含水率が高い場合に、サンプリング測定と比較して誤差を生じる可能性がある。
- 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場合があるが、改質材を使用する場合には、再生資材化に使用する設備・装置の仕様に応じて適切な改質材を選定する。また、除去土壌と改質材を混合する設備の構造によっては、作業場所における粉じん濃度が高くなることが懸念されるため、留意が必要である。
- 再生資材に改良材を添加することによって、再生資材の材料強度（コーン指数）を向上させることが可能であるが、改良材を使用する場合には、土壌環境基準値を満たし、かつ再生資材として要求される品質等に応じて、適切な改良材を選定することが重要である。

(2) 品質検査

①放射線安全性に係る品質

- 放射能濃度分別機により全量検査を行うことにより、予め設定した放射能濃度の閾値以下となる再生資材と閾値を超える除去土壌を、一定の精度で分別することが可能である。その測定精度は、使用する放射能濃度分別機によると考えられるが、低濃度であるほどバックグラウンドの影響を受け誤差が大きくなる可能性があることに留意する必要がある。
- 実証事業においては、セシウム (Cs-134、Cs-137) 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。

②土木資材としての品質

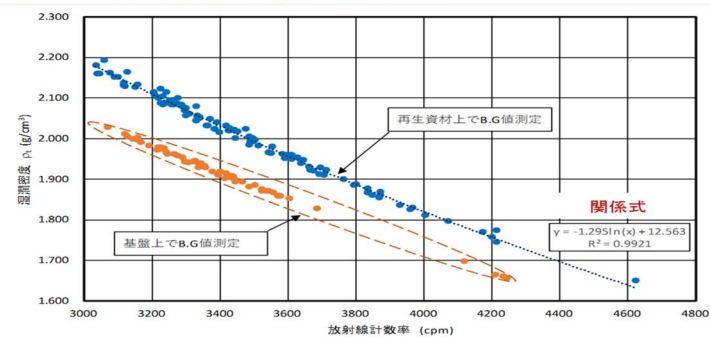
- 実証事業においては、再生資材は粒度分布が良く、締固め作業上支障の無い土である事が確認できた。コーン指数は国土交通省の「発生土利用基準」でいう「第2種建設発生土」の基準 800 k N/m^2 を超えた結果が得られた。また、購入資材 (新材) と同様、締固め回数の増加にともない、締固め度が上昇する事を確認し、管理目標値を上回る締固めが可能であることを確認した。
- 購入資材 (新材) と同様、RI 試験器による締固め度の管理が可能である事を確認した。RI 計測器によって計測された放射線計数率と内部演算によって求められた湿潤密度の関係は、再生資材上でバックグラウンド値を計測した場合と再生資材部以外でバックグラウンド値を計測した場合で明確に異なる傾向を示し、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ことから、再生資材部以外でバックグラウンド値を計測した場合でも湿潤密度を算出する事が可能であった。本格施工では、再生資材上においてバックグラウンド値の測定を行う事が必要であるが、RI 計測器を用いた施工管理が可能であることを確認した。

(3) 施工

- 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、再生資材上でバックグラウンド値を計測した場合と再生資材部以外でバックグラウンド値を計測した場合で明確に異なる傾向を示す。
- 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。この関係式により、再生資材部以外でバックグラウンド値を計測した場合でも湿潤密度を算出する事が可能。
- 実際の施工では、再生資材上においてバックグラウンド値の測定を行う事が必要施工管理において RI 法を用いた締固め度測定においては、再生資材寄与の放射線に

よる影響を補正する必要がある。

【締固め度(RI)計測におけるB.G値の影響把握】



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

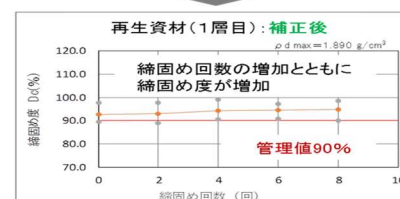


図 締固め度計測におけるバックグラウンド値の影響把握（実証事業の事例）