

除去土壌の再生利用の手引き

参考資料（イメージ）

平成30年10月12日

目次

参考資料 1 再生資材の品質検査項目及び検査方法

参考資料 2 要求品質に適合させるための主な改良手法

参考資料 3 除去土壌等の再生利用に係る安全評価

参考資料 4 実証事業の事例

参考資料 4 - 1 南相馬市実証事業概要

参考資料 1 再生資材の品質検査項目及び検査方法

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。
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。

試験項目	規格等	試験・測定手法
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（用途ごと）

試験項目	規格	試験・測定手法	対象用途
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。	即日覆土、中間覆土、排水層土、最終覆土（遮水層土）、土堰堤（治水用途）
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 10-5m/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。	即日覆土（臭気の発散防止）、中間覆土（遮水層土）、最終覆土（遮水層土）、土堰堤（治水用途）
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。	道路盛土路床
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。	道路の上層路盤、道路の下層路盤
骨材のふるい分け	JIS A 1102	105～110 $^{\circ}$ C 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。	道路の上層路盤、道路の下層路盤
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 wL(%) 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 wP(%) を求める。塑性指数は、wL -wP より算出する。	道路の上層路盤、道路の下層路盤

試験項目	規格	試験・測定手法	対象用途
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。	道路の上層路盤
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°C/hr の割合で昇温して 105±5°C 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。	道路の上層路盤
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。圧縮力が最大となってから、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。	河川堤防、道路盛土路床、道路盛土路体、防潮堤
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。	道路盛土路床、道路盛土路体
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。	道路盛土路床、道路盛土路体
土の圧密非排水 (\overline{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。	道路盛土路床、道路盛土路体
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。	道路盛土路床、道路盛土路体

試験項目	規格	試験・測定手法	対象用途
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（特に砂質土では液状化強度特性）を求めることを目的とする。	道路盛土路床、道路盛土路体
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。	道路盛土路床、道路盛土路体
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。	鉄道盛土

2. 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	<p>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。</p> <p>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0.45μm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。</p> <p>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0.45μm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。</p> <p>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。</p>
土壌含有量	環境省告示第19号	<p>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。</p> <p>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0.45μm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。</p> <p>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としたものとして、上記同様の操作を行い、検液を作成する。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>
ダイオキシン類の測定	「ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル」（環境省、平成21年3月）	<p>分析試料をはかり取り、内標準物質を添加した後、有機溶媒により抽出を行い、必要に応じて分取しクリーンアップ（硫黄分、有機物の除去）を行う。クリーンアップされた試料を高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計（GC/HRMS）によって測定する。</p>

試験項目	規格	試験・測定手法
	「土壌のダイオキシン類簡易測定法マニュアル」(環境省、平成 21 年 3 月)	試料からの抽出及びクリーンアップ(硫黄分、有機物の除去)は「ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル」に準じて行う。抽出は「ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル」で定めている方法に加え、高圧流体抽出を用いることができる。簡易測定法として、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/HRMS)、ガスクロマトグラフ四重極形質量分析計(GC/QMS)及びガスクロマトグラフ三次元四重極形質量分析計(GC/ITMS/MS)を用いることができる。
油汚染	「油汚染対策ガイドライン」(中央環境審議会、土壌農薬部会、土壌汚染技術基準等専門委員会、平成 18 年 3 月)	人の感覚である嗅覚と視覚で油臭や油膜を把握する。油臭や油膜が確認された場合は、鉱油類か否かの判定を行うために TPH 試験を行う(TPH; 全石油系炭化水素(Total Petroleum Hydrocarbon)の略)。TPH 試験法には、使用する分析機器等により、水素炎イオン化検出器付きガスクロマトグラフ(GC-FID法)、赤外分光分析法(IR法)、重量法(ノルマルヘキサン抽出法)がある。

参考資料 2 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	焼成処理：汚泥を利用目的に応じて成形したものを、1,000°C程度の温度で焼成固結する。	汚泥を礫・砂状に改良できる。
	熔融処理：焼成処理よりも高温で固形分を熔融状態にした後、冷却しスラグ（固形物）にする。スラグは冷却方法により、水砕（急冷）スラグ、空冷（徐冷）スラグに分類される。	汚泥を礫・砂状に改良できる。
	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。	他の粒度調整法に比較して、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。

表 環境的特性の改良方法

分類	概要・工法名	特徴
揮発性有機化合物の除去	熱処理：土壌を加熱することにより特定有害物質を抽出又は分解する処理方法である。特定有害物質を分解処理する熱分解と比較的沸点が低い物質を土壌から抽出する熱脱着・揮発に分類される。特定有害物質の種類によっては触媒や酸化剤、還元剤を併用する方式も提案されている。	複数の特定有害物質に係わる汚染に対してよく使用される。 シアン化合物、水銀による汚染土壌にも対応できる。 油含有土壌の場合、排ガス処理の負担が増えるが適用できる。
	化学処理：土壌に薬剤を添加し、化学的に特定有害物質を分解する。処理方法は、酸化分解、還元分解、アルカリ触媒分解に大別される。酸化分解ではオゾン、過酸化水素、過マンガン酸塩等の酸化剤を使用し、還元分解では鉄粉を使用する。	適切な処理条件では比較的短時間での分解が可能である。 適用可能な特定有害物質の濃度や土質の範囲が広い。
	生物処理：土壌に酸素（通常は空気）や栄養物質等を加えて土壌中に棲息する微生物を活性化して特定有害物質の分解浄化作用を促進する「バイオステイミュレーション」と、特定有害物質の分解に効果を発揮する微生物を外部で培養し、土壌中に注入するとともに、酸素や栄養物質等を与えて微生物を活性化し浄化作用を促進する「バイオオーグメンテーション」がある。	温度の影響を受けやすい。 分解に時間がかかる。
重金属の除去	抽出処理：土壌を小山状に積んでブローア等で減圧吸引するか（真空抽出方式）、テント内で土壌に生石灰等の添加材等を混ぜることで発生する水和熱により土壌温度を上昇させ（生石灰添加式）、特定有害物質を抽出する。	特定有害物質を分解するのではなく、積極的に揮発させて土壌から抽出する。
	洗浄処理：土壌を機械的に洗浄して特定有害物質を除去する方法で、土壌を粒度により分級して、特定有害物質が吸着・濃縮している部分の土壌を抽出（分離）することと、特定有害物質を洗浄液中に溶出させることにより浄化する。	油類が共存した場合でも適用できる。
ダイオキシン類の除去	洗浄処理：土壌を機械を用いて洗浄するなどしてダイオキシン類を除去する方法で、土壌を粒径により分級して、ダイオキシン類が吸着・濃縮している粒径区分を抽出（分離）することが基本となる。薬剤を用いて抽出する場合もある。	一般にダイオキシン類の濃度は粗粒分で低く細粒分で高いため、洗浄の効率は土粒子の粒径に関係する。
	熱処理：ダイオキシン類は分解するが土壌は溶融しない温度で土壌を加熱し、ダイオキシン類を分解する方法である。加熱温度は、ダイオキシン類の種類により異なり、触媒や酸化剤、還元剤を用い、より効率的に処理することもある。	運転条件次第で想定しない特定有害物質の生成が起こる場合があるので、信頼される設備での処理が望まれる。
	溶融処理：土壌が溶融する温度まで土壌を加熱し、ダイオキシン類を除去する。	一般にダイオキシン類、揮発性有機化合物はほとんど分解あるいは揮発し、重金属類の多くが土壌とともに溶融してスラグ化される。

分類	概要・工法名	特徴
油汚染の除去	熱処理：800～1000℃以上に加熱して油分を分解する熱分解と、400～600℃程度で加熱して油分を脱着する熱脱着及び比較的沸点の低い油分を含む土壌を200～300℃程度で加熱して油分を揮発分離する加熱乾燥処理などがある。	<p>确实性の高い処理が可能である。</p> <p>コストが比較的高いため低濃度土壌では経済性に劣る。</p>
	洗浄処理：油分を分級等により土壌から分離する。溶剤を用いて洗浄する方法、界面活性剤により洗浄する方法、微細気泡によって分離する方法なども開発されている。	油分を分離した土壌は、他の技術で処理したものに比較して再利用性が良い。
	生物処理：微生物の持つ鉱油類分解能力を利用して油含有土壌を浄化・安定化させる。油含有土壌に元来棲息する微生物に栄養塩などを投与して油分の分解促進を図る「バイオスティミュレーション」と、分解能力の優れた微生物を探索し、それを微生物製剤として油含有土壌に投与して浄化促進を図る「バイオオーグメンテーション」がある。	<p>浄化に要する費用が他の物理化学的手法等比較して一般に安価である。</p> <p>油分を水や二酸化炭素などの無害な物質に分解するため、後処理の必要がなく、二次公害の心配もない。</p>
	化学的酸化分解：過酸化水素などの酸化剤を用いて油分を分解させる。	有機化合物を無害な水や二酸化炭素などに分解できる。

参考資料 3 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の設計に関する条件の検討を行う。

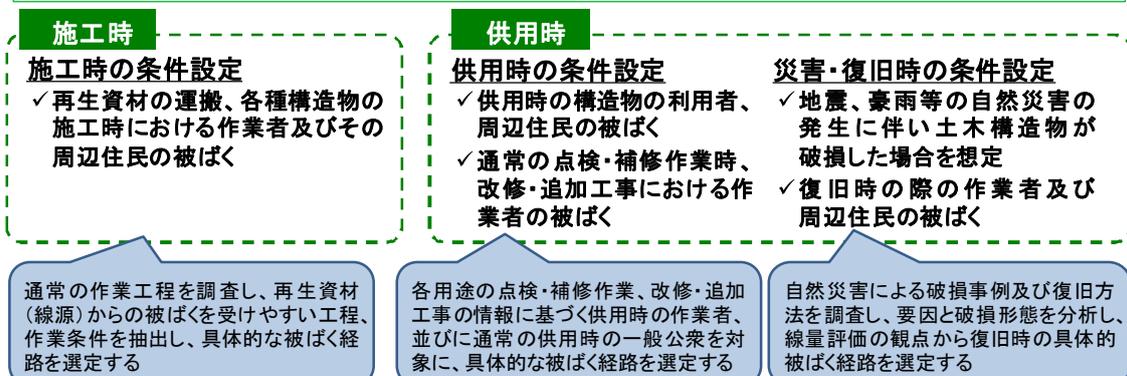
対象プロセス		減容化・運搬・保管等	施工・供用（補修・改修工事の対応、二次的な土地利用等を含む）
濃度レベルを算出するための目安値	作業者	1 mSv/yを超えないようにする（当面の考え方 ^{*1} ）	1 mSv/yを超えないようにする（作業者も一般公衆と同じ【公衆被ばく】扱い） ただし、電離則又は除染電離則の対象となる場合は、当該規則を適用し、5年で100 mSvかつ1年間につき50 mSvとする。
	一般公衆	1 mSv/yを超えないようにする（特措法 ^{**} 基本方針）	1 mSv/yを超えないようにする。
再生資材の濃度レベル		—	万一の場合も速やかに補修等の作業を実施できるよう、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」

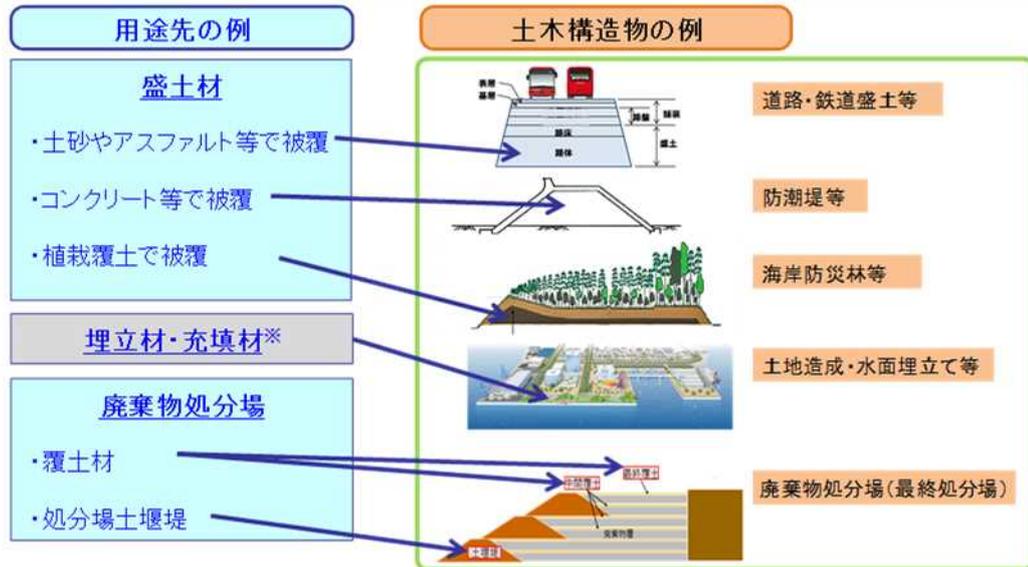
2. 放射能濃度を設定するための被ばく経路設定の考え方

- ▶ 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員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。

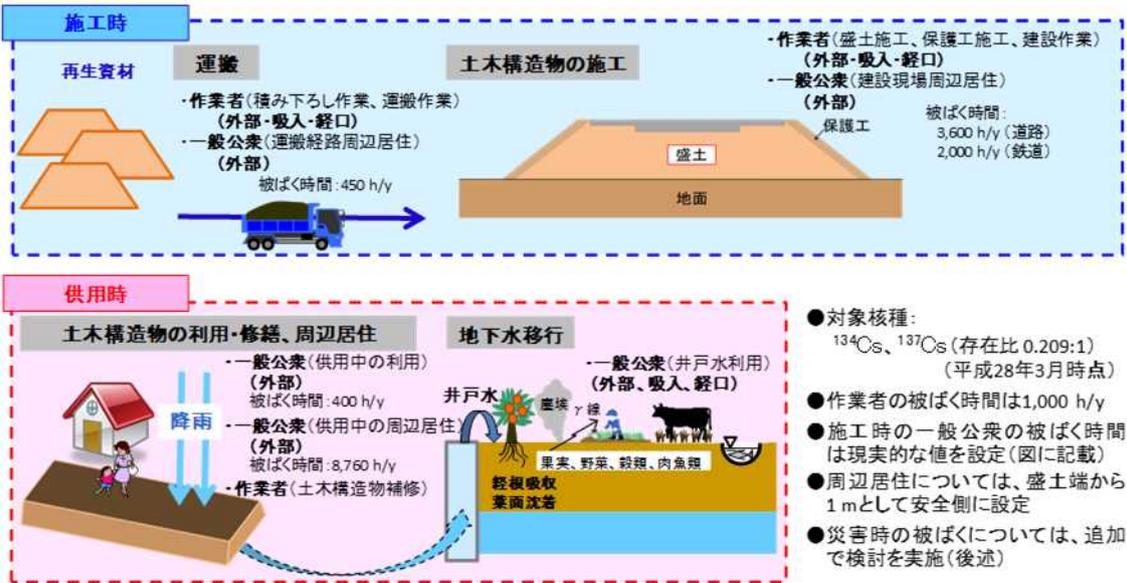


※被ばく線量評価結果については今後追加予定

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

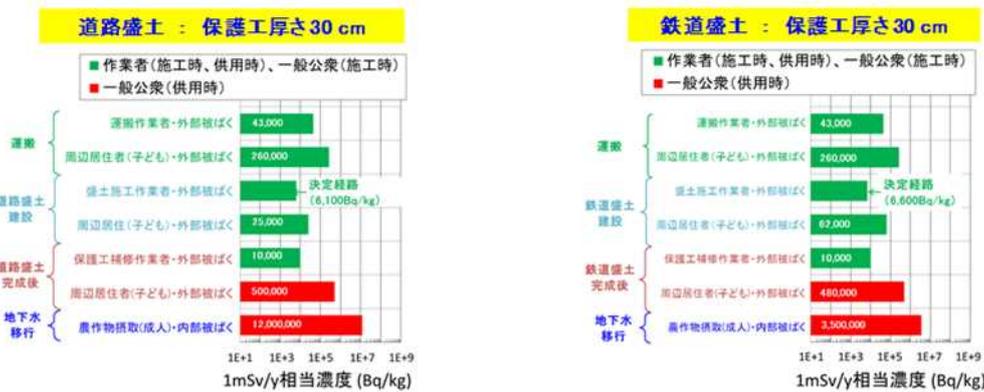
▶ 土砂やアスファルト等で被覆された盛土(例:道路、鉄道等)に再生資材を利用する場合を想定し、検討対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態(外部、吸入、経口)を整理し、被ばく経路を設定。



(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



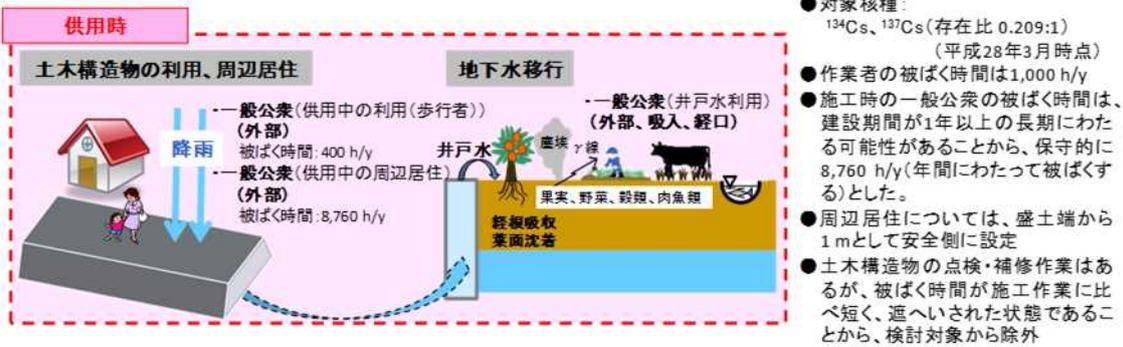
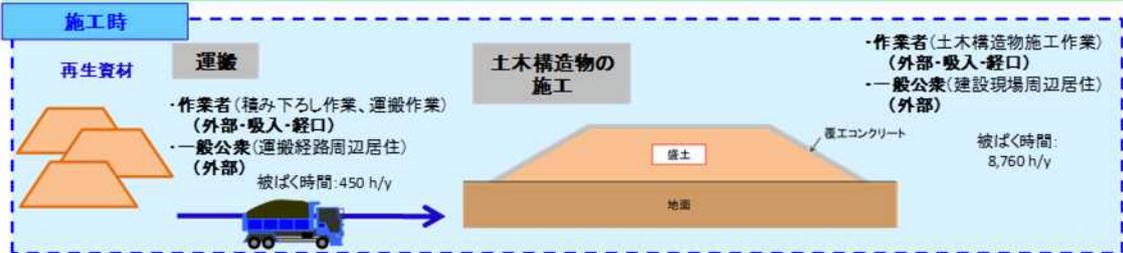
○保護工の厚さを変えて算出しても、最も影響が大きい被ばく経路は盛土施工作業員の外部被ばくであり、放射能濃度は同一の評価結果であった

※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

▶ コンクリート等で被覆された盛土(例:防潮堤等)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。



- 対象核種：
 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs (存在比 0.209:1)
(平成28年3月時点)
- 作業員の被ばく時間は1,000 h/y
- 施工時の一般公衆の被ばく時間は、建設期間が1年以上の長期にわたる可能性があることから、保守的に8,760 h/y(年間にわたって被ばくする)とした。
- 周辺居住については、盛土端から1mとして安全側に設定
- 土木構造物の点検・補修作業はあるが、被ばく時間が施工作業に比べ短く、運へいされた状態であることから、検討対象から除外

(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

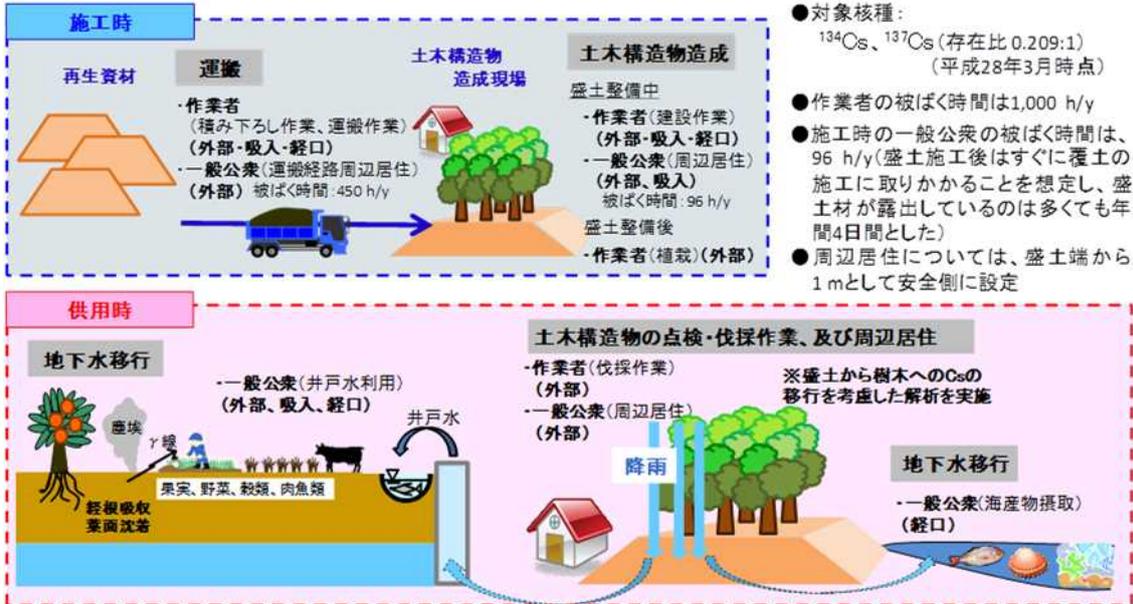


※被ばく評価に用いた計算コード: クリアランスレベル評価コードPASCLR2、QAD-CGGP2Rコード、MCNP5コード

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。

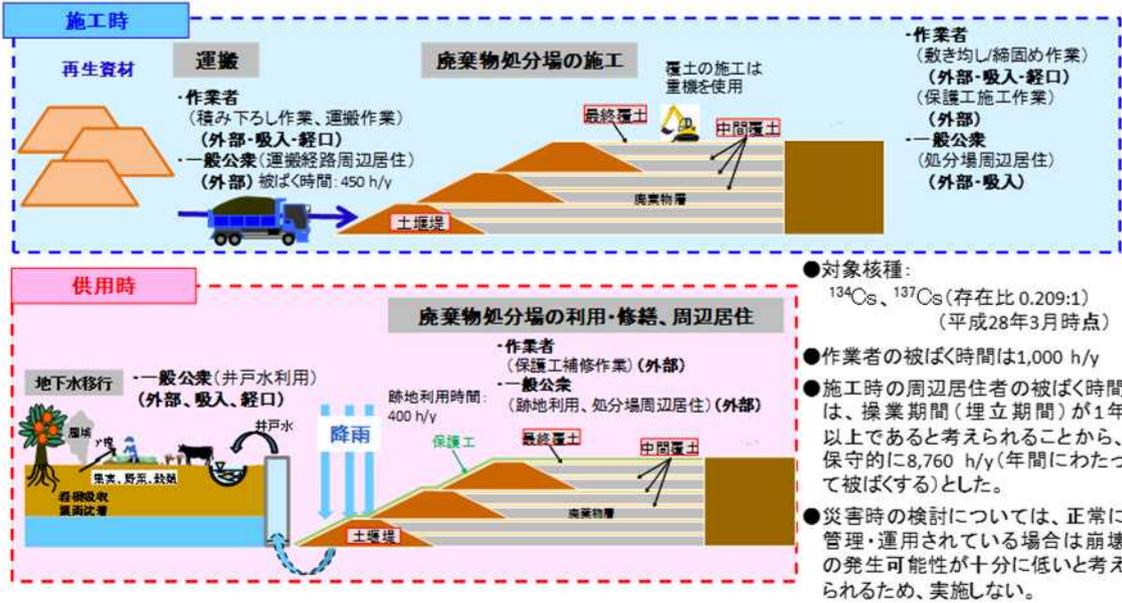


※被ばく評価に用いた計算コード: クリアランスレベル評価コードPASCLR2、QAD-CGGP2Rコード、MCNP5コード

3. 4 廃棄物処分場

(1) 被ばく経路の設定

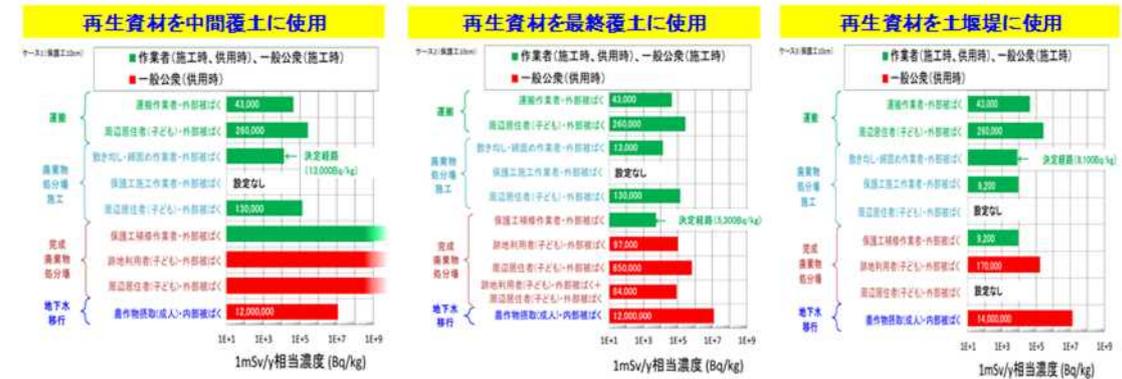
➤ 廃棄物処分場の中間覆土、最終覆土、土堰堤に再生資材を利用する場合を想定し、検討対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態(外部、吸入、経口)を整理し、被ばく経路を設定。



(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。

- 中間覆土(敷き均し・締固め作業員の外部被ばく): 13,000 Bq/kg
- 最終覆土(保護工補修作業員の外部被ばく): 5,300 Bq/kg
- 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 再生利用の用途先ごとに算出される放射能濃度レベル

▶ 追加被ばく評価計算から算出される1 mSv/y相当濃度は下表のとおりであり、これが8,000 Bq/kgを超える場合は、再生利用可能濃度は8,000 Bq/kg以下とする。なお、周辺環境が一定程度汚染されており、電離則又は除染電離則に従って作業を行う場合は、電離則又は除染電離則の適用対象外となる濃度(上限10,000 Bq/kg)を超えて取り扱うことが可能であるが、再生利用可能濃度は原則に従い8,000 Bq/kg以下とする。

用途先	遮へい条件	決定経路と1 mSv/y相当の放射能濃度レベル						
		一般公衆	1年間の放射能濃度レベル (Bq/kg)	作業者	作業期間限定に応じた放射能濃度レベル (Bq/kg)			
						6か月	9か月	1年
盛土	法面保護工	建設現場周辺居住者子ども-外部被ばく	25,000	盛土施工業者-外部被ばく(道路盛土)	12,000	8,100	6,100	
				盛土施工業者-外部被ばく(鉄道盛土)	13,000	8,800	6,800	
	覆工コンクリート	建設現場周辺居住者子ども-外部被ばく(防潮堤(傾斜堤))	11,000	盛土施工業者-外部被ばく(防潮堤(傾斜堤)高さ8 m)	14,000	9,200	6,900	
				盛土施工業者-外部被ばく(防潮堤(傾斜堤)高さ15 m)	14,000	9,100	6,800	
	建設現場周辺居住者子ども-外部被ばく(防潮堤(直立堤))	12,000	盛土施工業者-外部被ばく(防潮堤(直立堤)高さ8 m、15 m)	15,000	10,000	7,500		
	植栽覆土	運搬経路周辺居住者子ども-外部被ばく	260,000	盛土施工業者-外部被ばく	11,000	7,200	5,400	
中間覆土材	法面保護工	建設現場周辺居住者子ども-外部被ばく	130,000	敷き均し・締固め作業-外部被ばく	26,000	17,000	13,000	
最終覆土材		跡地利用者子ども-外部被ばく	97,000	保護工補修作業-外部被ばく	11,000	7,100	5,300	
処分場土堰堤		跡地利用者子ども-外部被ばく	170,000	敷き均し・締固め作業-外部被ばく	16,000	11,000	8,100	

「用途先」は、再生資材(線源)を再利用する構造部材を示している。

4. 施設設計(覆土等の厚さ)による追加被ばく線量の更なる低減

▶ 破損時等を除く供用時において、施設設計(適切な遮へい等の措置)による追加被ばく線量の更なる低減について検討したところ、盛土では、覆土等の厚さを50 cm以上確保すれば、追加被ばく線量は0.01 mSv/yを超えない結果となった。また、廃棄物処分場では、30 cm以上の保護工の厚さを確保すれば、追加被ばく線量は0.01 mSv/yを超えない結果となった。

経路	用途先	覆土等	再生資材の放射能濃度	覆土等の厚さに応じた一般公衆の追加被ばく線量(外部被ばく) [mSv/y]			
			[Bq/kg]	10 cm	30 cm	50 cm	100 cm
一般公衆の外部被ばく	盛土	土砂・アスファルト	6,000*1	0.13	0.012	< 0.01	< 0.01
			8,000	0.18	0.016	< 0.01	< 0.01
		コンクリート	6,000*1	—*2	—*2	< 0.01	< 0.01
			8,000	—*2	—*2	< 0.01	< 0.01
		植栽土砂	5,000*1	—*2	—*2	—*2	< 0.01
			8,000	—*2	—*2	—*2	< 0.01
	廃棄物処分場	中間覆土*3	8,000	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
		最終覆土(客土等)	5,000*1	0.052	< 0.01	< 0.01	< 0.01
			8,000	0.083	< 0.01	< 0.01	< 0.01
			土堰堤	8,000	0.047	< 0.01	< 0.01

*1: 3.5に記載の1 mSv/y相当の放射能濃度レベル(1年間の放射能濃度レベル)のうち、一般公衆と作業者の全体で決定経路となる値の100Bq/kg以下の位を切り捨てて表記。

*2: 用途先の構造上必要な覆土等の設定値(海岸防災林は1mの植栽覆土、防潮堤は50 cmの覆工コンクリート)に基づき評価。

*3: 中間覆土は土堰堤、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保護工は不要。

5. 災害・復旧時における追加被ばく線量の検討

(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 基礎地盤の液状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」	作業員: 0.64 mSv/y (分断崩壊、復旧作業員-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」	作業員: 0.81 mSv/y (盛土高さ8 m) 0.84 mSv/y (盛土高さ15 m) (法面崩壊、復旧作業員-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	作業員: 0.47 mSv/y (津波、復旧作業員-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。

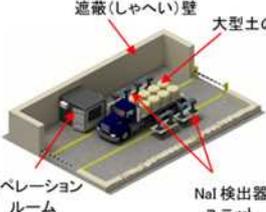
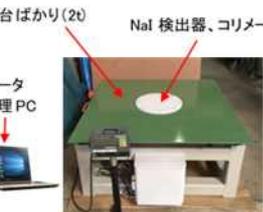
参考資料 4 実証事業の事例

参考資料 4 - 1 南相馬市実証事業概要

1. スクリーニング方法（受入時）

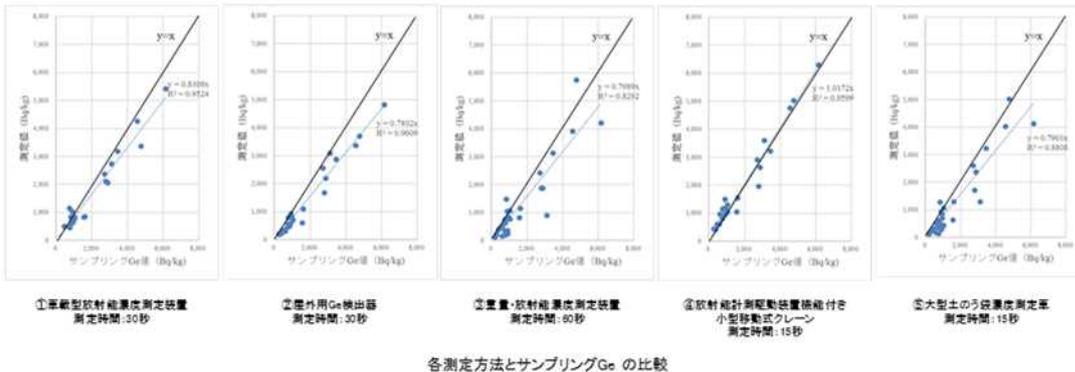
複数のスクリーニング方法を比較検証し、一定の精度で測定可能なことを確認した。また、岩石、コンクリート塊等表面汚染物が混入した除去土壌の放射能濃度を表面線量率から推定する場合は、その混入割合が誤差の要因となることを確認した。

【放射能自動測定器の概要】

<p>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土のう袋毎の放射能濃度を測定</p> 	<p>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</p> 	<p>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</p> 
<p>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</p> 	<p>⑤ 大型土のう袋濃度測定車 4tトラック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</p> 	<p>(参考) サンプル Ge サンプリング試料を U8 容器(φ 50mm × 68mm)に結めて、Ge 半導体検出器により放射能濃度を測定</p> 

【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



2. 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。

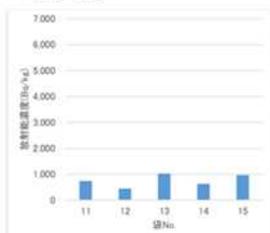
【詳細調査 サンプルGe値】

- 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。

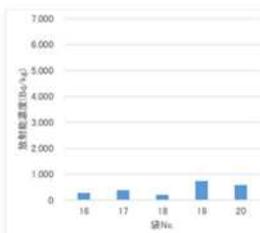
詳細調査の対象とした大型土のう袋の概要

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 (クワ検出器測定値平均値を以て算出)	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善処理実施
4	5	大型施設	低	粘性土対応として改善処理実施
5	4	道路	低～高	
6	6	住宅地	低～高	

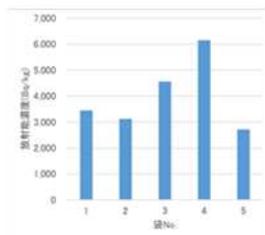
(合計 30袋)



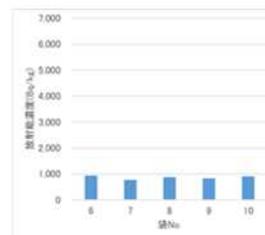
ケース3(大型施設、比較的高レベル)



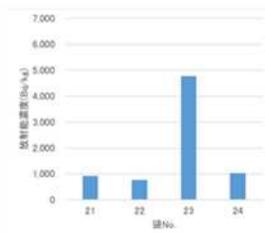
ケース4(大型施設、低レベル)



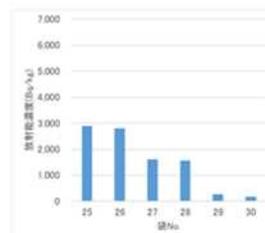
ケース1(住宅地、高レベル)



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

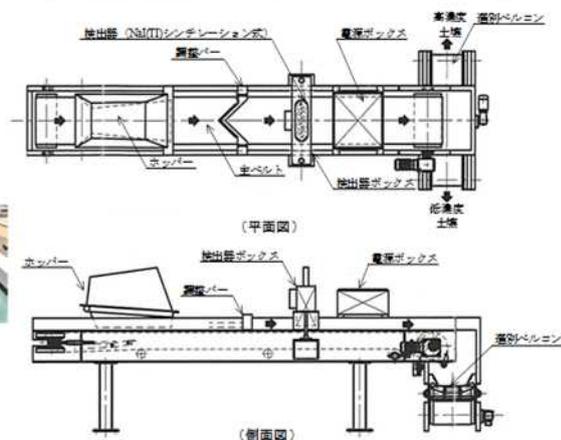
項目	仕様	備考
検出装置	NaI検出器4台	
時間当たり測定土量	13.9m ³ /h	主ベルト搬送時の土壌高さ:12cm 主ベルト搬送速度:7.5cm/s
測定限界値	500Bq/kg	



(ホッパーへの土壌投入状況)

(主ベルト上 土壌搬送状況)

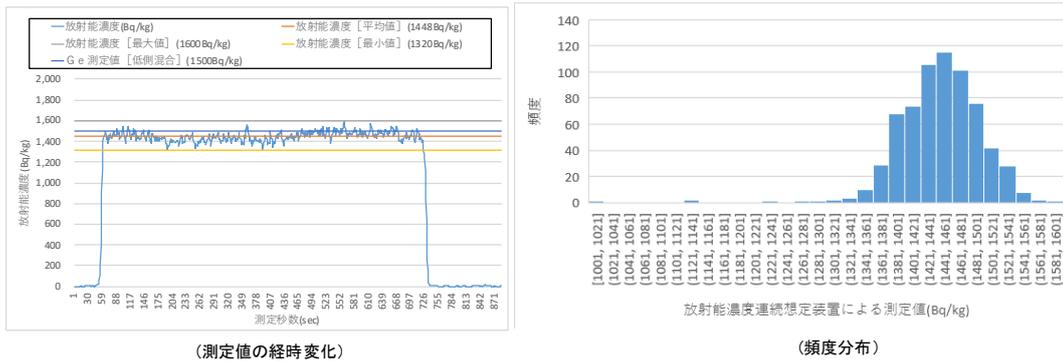
放射能濃度分別機による測定状況



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。



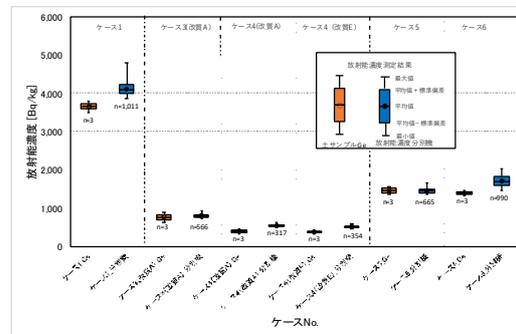
(測定値の経時変化)

(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)】

- サンプルした土壌の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。



ケース毎の放射能濃度測定結果

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)

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

3. 土木資材としての品質・適用性

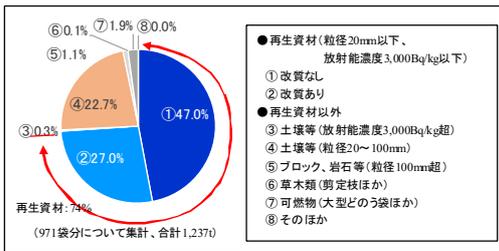
再生資材について、粒度分布がよく、十分に締め固めが可能であることを確認した。

一方、除去土壤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は要検討の課題であった。

【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一覧表					再生資材等製造量一覧表				
土壌の土地発生分類	事前準備	詳細調査	通常処理	合計	分類		重量(t)	割合	
1_住宅地等	8	16	802	826	再生資材	改質なし	581.4	47.0%	
3_道路等	0	4	3	7		改質土	改質土(改質材A)	189.9	15.4%
4_大型施設	0	10	157	167			改質土(改質材E)	143.1	11.6%
11_仮置場	0	0	1	1		小計	332.9		
合計	8	30	963	1,001		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 放射能濃度分別機にて高濃度に判定された0~20mm	281.1	22.7%
						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
						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%	

- 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



- 含水が多く細粒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

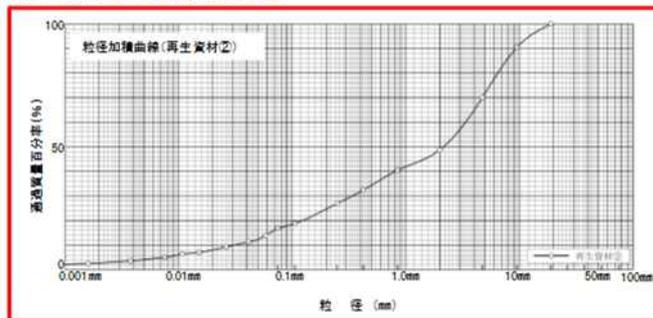
【試験結果(抜粋)】

- 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_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	
	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	
その他	強熱減量	L_t	(%)	6.1	7.0	5.4	7.2	5.1	4.6
	PH試験	PH	—	—	—	8.91	—	—	—

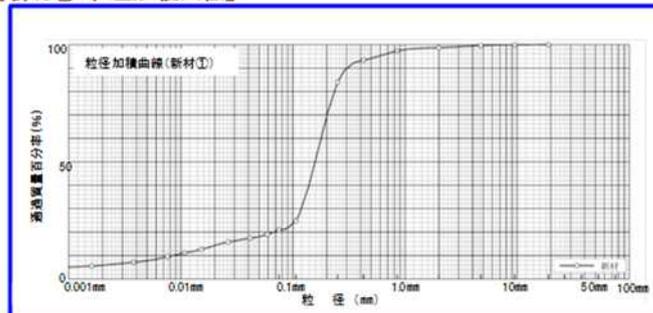
【再生資材②: 粒径加積曲線】



【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 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、鉄イオンが酸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】 ・40kN/m2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/m3 元土含水率 : 43% 元土コーン指数 : 222kN/m2 1時間後の改質後コーン指数 : 845kN/m2 7日後の改質後コーン指数 : 773kN/m2	添加量 : 20~40kg/m3 元土含水率 : 30~40% 元土コーン指数 : 30~70kN/m2 1時間後の改質後コーン指数 : 500~1000kN/m2 24時間後の改質後コーン指数 : 500~1000kN/m2 ※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/m3 元土含水率 : 41.7% 元土細粒分含有率 : 4.6% 元土コーン指数 : 179kN/m2 2時間後の改質後コーン指数 : 572kN/m2	添加量 : 20~30kg/m3 元土含水率 : 約30% 元土コーン指数 : 約70kN/m2 改質後のコーン指数 : 600~650kN/m2	添加量 : 20~40kg/m3 元土含水率 : 25~40%程度 元土コーン指数 : 10~100kN/m2 1時間後の改質後のコーン指数 : 500kN/m2以上 24時間後の改質後コーン指数 : 500kN/m2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 (kg/t)	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)		
					当日	コーン指数 (kN/m)	含水比(%)	乾燥密度 ρ _t (g/cm)	コーン指数 (kN/m)	含水比(%)	乾燥密度 ρ _t (g/cm)	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%

※(追)の記載は、追加試験を実施した際の添加量
※ 赤字は、改質材の選定根拠となった計測値

改質材・改良材添加土の施工性確認試験

【試験の目的】

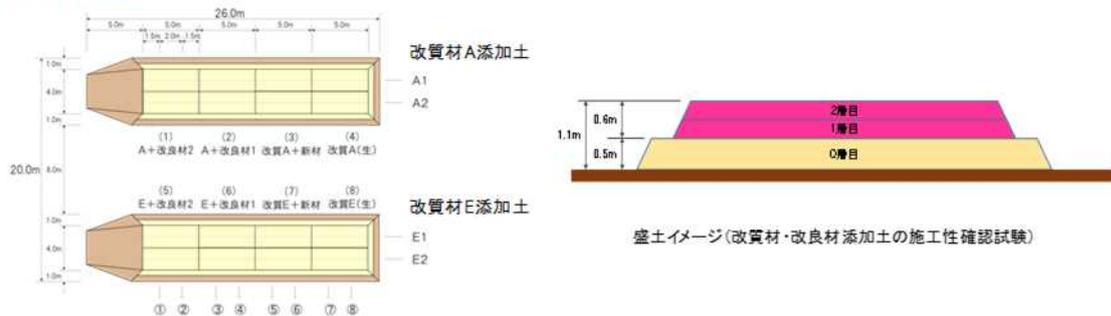
再生資材化処理では、二次分別工程にてトロンメルの20mmの網で異物をふるい除去するために、比較的粘性の高い土壌に対しては改質材を添加しサラサラな状態に改質した。しかしながら、改質材は高分子成分を含んでいることから、実際の土壌中には水分を吸収したポリマーが含まれている。本試験は、ポリマーを含む改質土が、盛土資材として転圧性、トラフィカビリティーの面で、一般土（新材）と同等の取り扱いが可能なのかを確認することを目的とする。試験は、再生資材化処理設備解体後のテント内で行った。

【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】



【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		<ul style="list-style-type: none"> ●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		<ul style="list-style-type: none"> ●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%

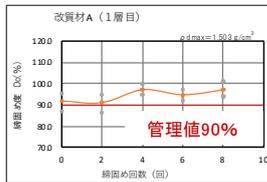
【改質材・改良材添加土の施工性確認試験について】

～ 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～

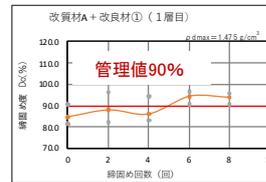
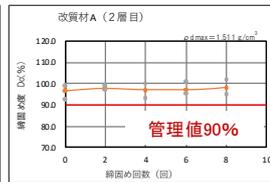
材料名	性状	特徴	主成分	備考
改良材①		<ul style="list-style-type: none"> ●セメントを含まない独自の生石灰系固化材 ●高含水比のヘドロから各種土質の軟弱地盤の固化に効果を発揮する ●幅広い土質に改良効果を発揮する 	主要原料：生石灰、石膏 CaO 75.0～80.0	高含水比の土へ対応可能
改良材② (中性固化材)		<ul style="list-style-type: none"> ●中性域での土質固化に優れた固化材 ●石膏系の中性固化材に比べ強度発現に優れており、低添加量での改良が可能 	主要原料：酸化マグネシウム 副原料：金属硫酸塩 (pH調整剤)	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。

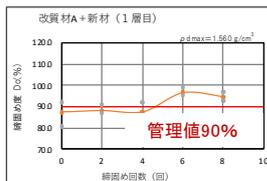
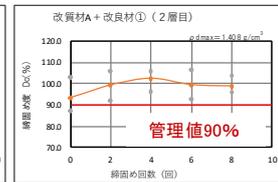
【改質材A添加土の試験結果(締固め度)】



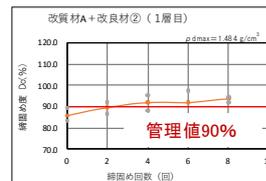
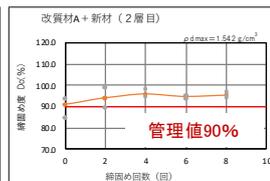
締固め度計測結果(RI): 改質材A添加土



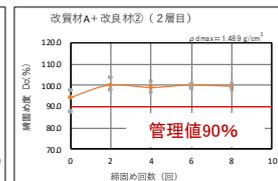
締固め度計測結果(RI): 改質材A添加土 + 改良材①



締固め度計測結果(RI): 改質材A添加土 + 新材

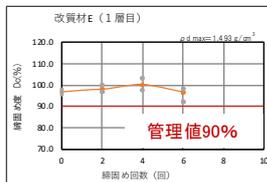


締固め度計測結果(RI): 改質材A添加土 + 改良材②

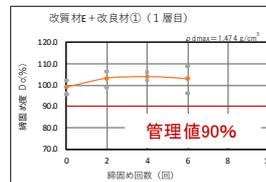
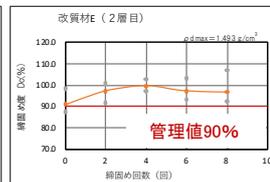


- モデル実証試験と同様、RI試験器による締固め度の管理が可能であることを確認
- 締固め回数の増加にともない、締固め度が上昇することを確認

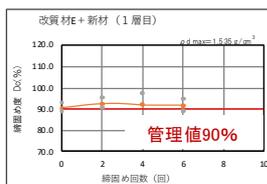
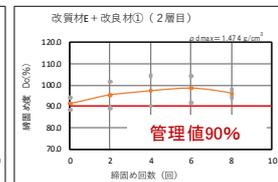
【改質材E添加土の試験結果(締固め度)】



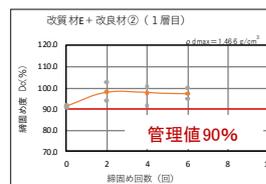
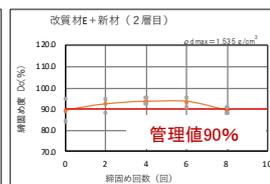
締固め度計測結果(RI): 改質材E添加土



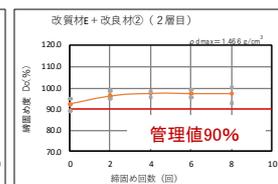
締固め度計測結果(RI): 改質材E添加土 + 改良材①



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ことを確認

【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/A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/A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工に効果を発揮する ●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工に優れた固化工材 ●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)	試験工事での使用実績あり

4. 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増加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濃度に変化がないことを確認した。



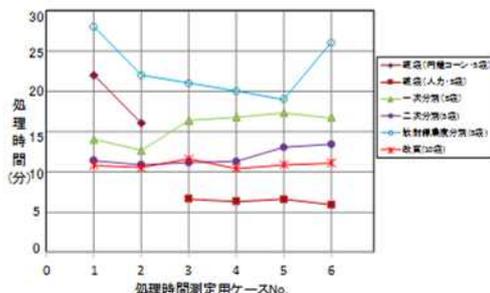
再生資材化処理 処理状況写真

【処理速度】

- 各設備の要求性能として処理速度10m³/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
破砕	円錐コーン式破砕機	いずれの方法も重機による機重作業を併用
	人力による破切断	
一次分別	スケルトンバケット型選別機	100mmメッシュ
改質	可搬式土質改良機	SR200G 処理能力20~135m ³ /h
	(二輪バドルミキサー)	
濃度分別	連続式濃度分別機	主ベルト速度:7.5m/s 処理能力:13.9m ³ /h(処理範囲 9.5~47.5m ³ /h)
二次分別	可搬式トンネル	20mmメッシュ



(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。

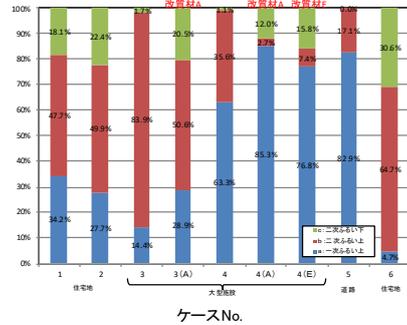


ホッパー内土壌滞留状況

【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。



(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 ÷ (a + b + c)
 ・二次分別除去率 = b ÷ (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

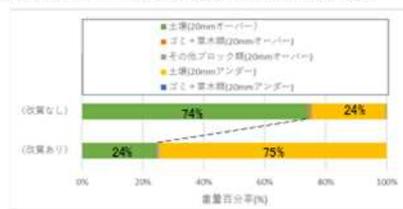
- ・ 対象土: そのままの状態では二次分別が困難と判断した細粒が多い砂質土(ケース3,4)
- ・ 改質材添加量: 30kg/t
- ・ 調査項目: 土壌の状況(目視観察)、土壌等の重量
 ~各ケースの土壌を分割し、改質せずに二次分別するものと改質して二次分別するものを比較

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

5. 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。一方、地目と土質の関係についてデータの蓄積が必要であった。

【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

粘土と砂の割合の感じ	砂と粘土の割合の感じ	砂と粘土の割合の感じ	砂と粘土の割合の感じ	砂と粘土の割合の感じ	砂と粘土の割合の感じ
砂が多く、粘土が少なくて砂だけを感じる	大粒分(70～80%)が砂の感じ、わずかに粘土を感じる	砂と粘土が半々の感じ	大粒分は粘土で、一部(20～30%)砂を感じる	大粒分は粘土で、ほとんど砂を感じないが、多少粘土の感じが強い	ほとんど砂を感じるが、多少粘土の感じが強い
割合による区分	12.5%以下	12.5～25.0%	25.0～37.5%	37.5～50.0%	50%以上
区分	区分1	区分2	区分3	区分4	区分5
特徴	砂にも粘土にも含まれない	砂にはできない	砂と粘土の割合が半々	砂が粘土よりも多い	粘土が砂よりも多い
簡易判定法					

土質の簡易判定法

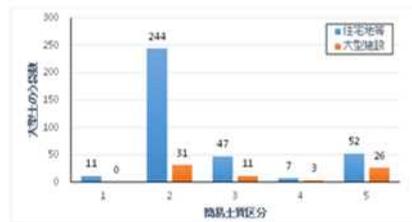
(*) 全国農業協同組合連合会ホームページ：土壌診断の見方より抜粋し一部改変



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

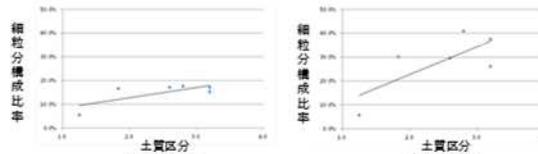
① 調査内容

- 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）

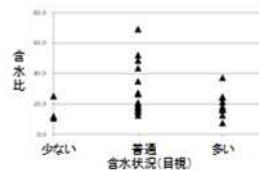
- 対象土壌から礫分を除外した場合、目視結果から細粒分比率（土質試験結果）をある程度推測可能



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】

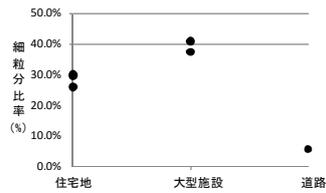
①調査内容

- 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

7. 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。
 一方、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については要検討の課題であった。

【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=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
<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 締固めた土のコン指数試験 土の強熱減量試験 PH試験 	<ul style="list-style-type: none"> 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

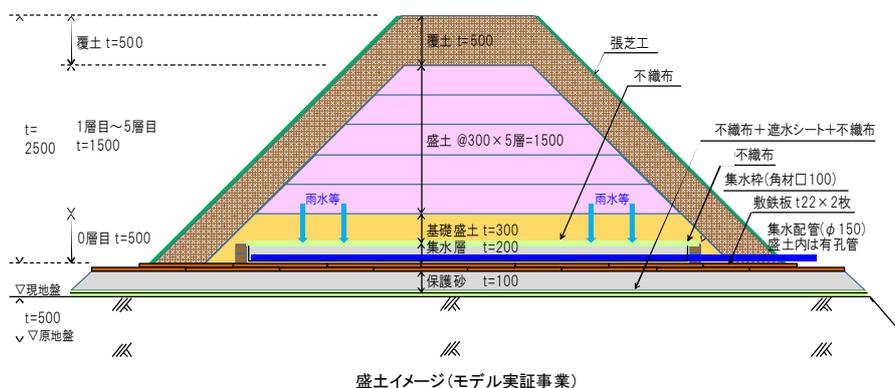
【品質管理項目と規定値】

- 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	

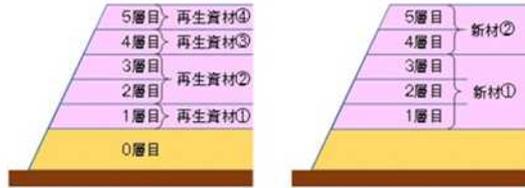
【その他の試験】

- 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)



【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

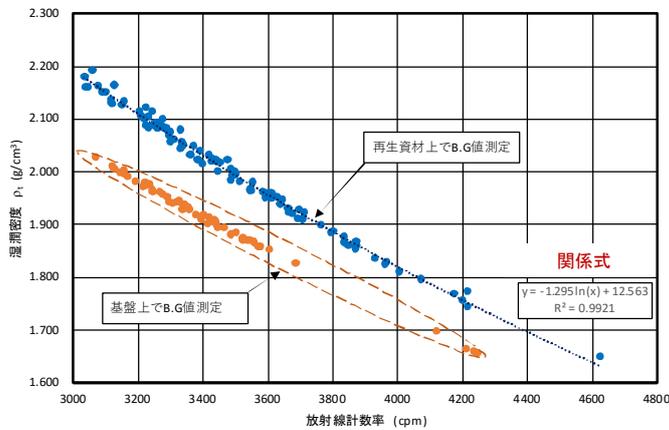


モデル実証事業材料区分
(再生資材①～④、新材①～②はP18参照)

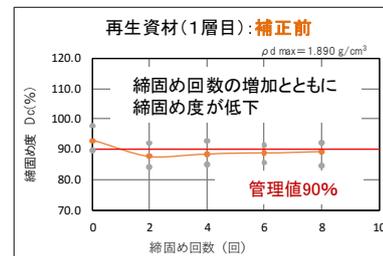
使用改良材

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

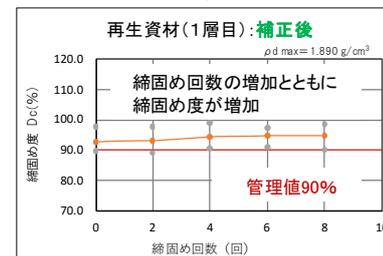
【締固め度(RI)計測におけるB.G値の影響把握】



- 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

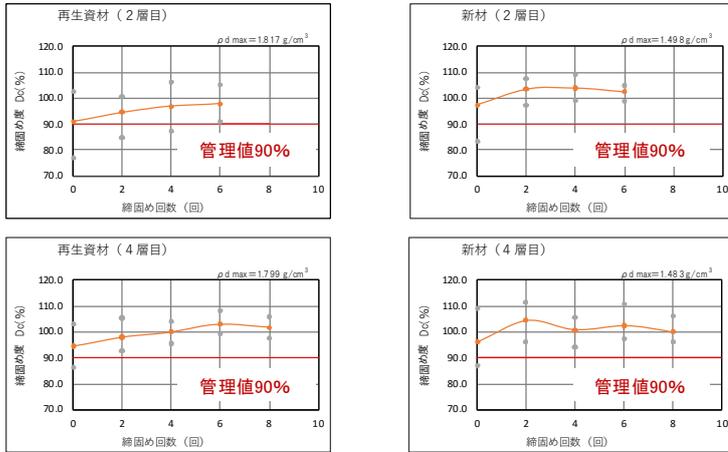


再生資材部以外でB.G値を計測した場合の締固め度の値



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

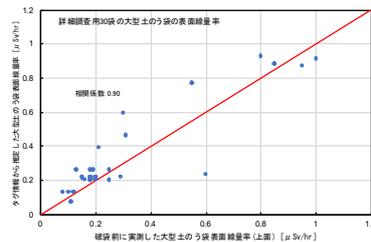
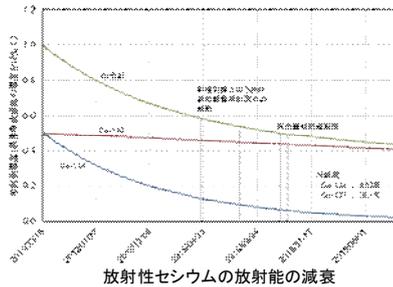
8. 放射能収支

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。



大型土のう袋の表面線量率の推定と実測結果の比較

【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

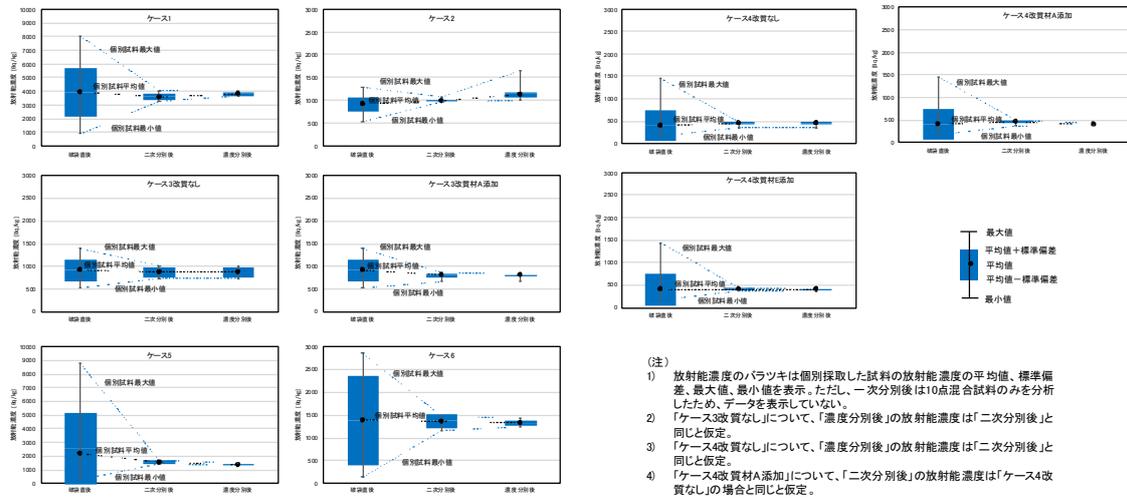
詳細調査の各段階における土壌の放射能濃度(サンプリングによるGe半導体検出器による測定結果)

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	88.9	7.444	3.723	
		3 f0601011912	4.664	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	3.634	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	1,078	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	774	1,403	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)	938	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%	

※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。

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	281	234	
		20 f0601002984	588	268	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	406	0.3%	
(5)	破袋直後	21 f0601002907	922	285	2,464	1,025	
		22 f0601002908	765	618	1,004	743	
		23 f0601002910	4,770	5,700	8,786	6,816	
		24 f0601002909	1,067	808	1,242	1,068	
		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	1,718	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	1,328	-	-	-	9.2%	
	二次分別後	1,348	1,161	1,478	1,368	-2.6%	
	濃度分別後	1,498	1,250	1,431	1,328	-4.7%	

【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)のボックスの推移

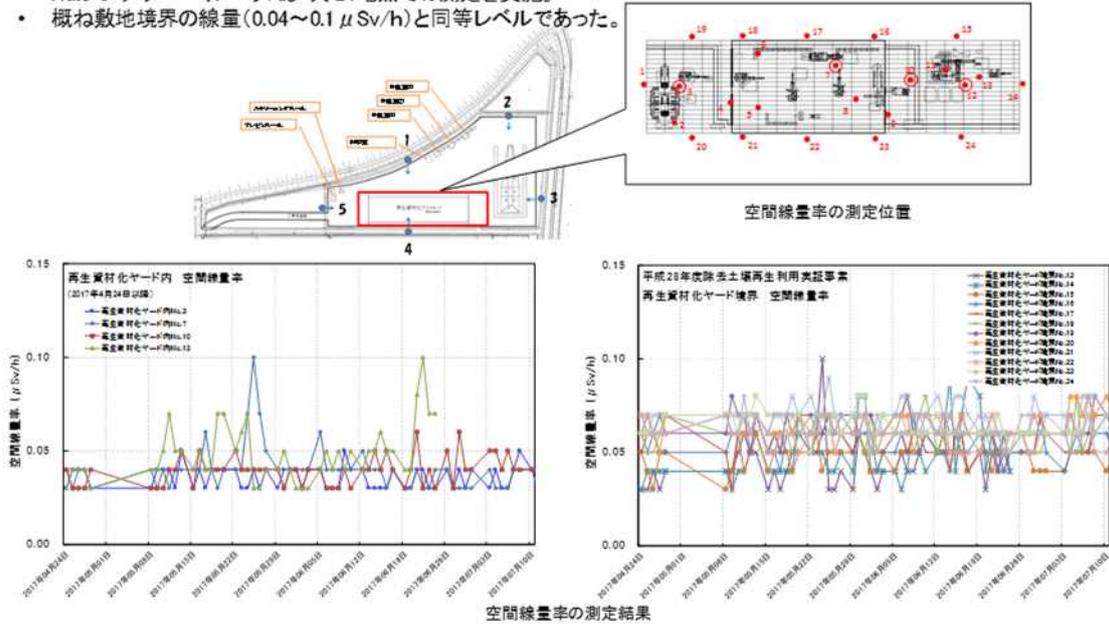
再生資材の製造過程において、破袋直後、二次分別後、濃度分別後の濃度平均値がほぼ一定であることを確認

9. 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
 一方、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は、要検討の課題であった。

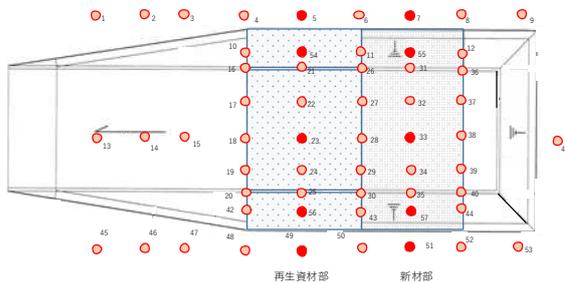
【再生資材化ヤード】

- 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、411~1,000Bq/kg(平均771Bq/kg)であった。



空間線量率の測定結果

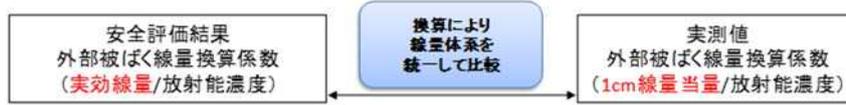
空間線量率の測定位置の●点のモニタリング結果を記載

単位: $\mu\text{Sv/h}$

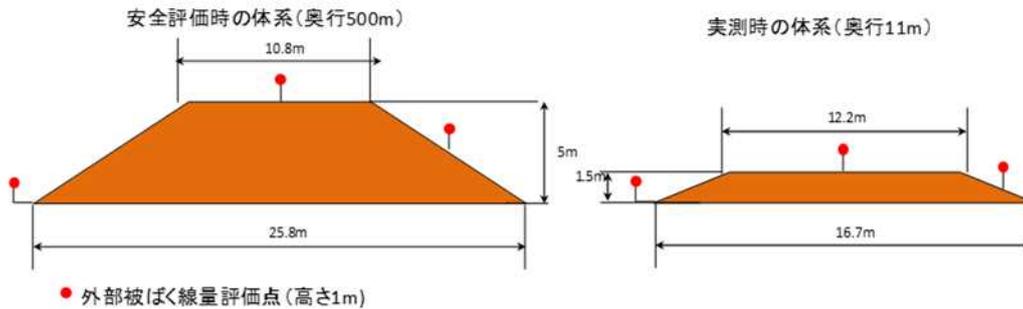
層数等	再生資材部			新材部		
	天端中央(No23)	法面中央(No54,56)	法尻から1m(No5,49)	天端中央(No33)	法面中央(No55,57)	法尻から1m(No7,51)
1層目転圧後	0.19	0.13~0.14	0.06	0.07	0.05	0.05
2層目転圧後	0.19	0.13~0.14	0.06~0.07	0.06	0.05	0.04~0.05
3層目転圧後	0.19	0.13	0.05~0.07	0.06	0.05	0.05
4層目転圧後	0.19	0.15~0.16	0.05~0.07	0.05	0.05	0.05~0.06
5層目転圧後	0.21	0.17~0.18	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施工において盛土施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、上記の比較と併せて実測時の盛土の大きさと同一の条件でMCNPS(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、計算の確からしきを確認した。



【盛土施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	
盛土施工作業に係る外部被ばく線量換算係数	Cs-134 µSv/h per Ba/g	3.41E-01※1	安全評価体系 線源形状:高さ9m、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	
	Cs-137 µSv/h per Ba/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	
保護作業に係る外部被ばく線量換算係数	Cs-134 µSv/h per Ba/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:上面中央から高さ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:上面中央から高さ1m	2.86E-01※3	
	Cs-137 µSv/h per Ba/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:上面中央から高さ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:上面中央から高さ1m	1.03E-01※3	
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 Ba/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	
	Cs-137 µSv/h per Ba/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	

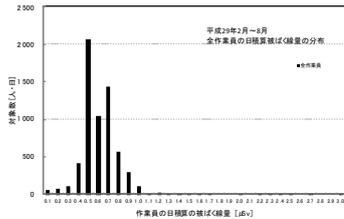
【参考】
光子フルエンスから実効線量及び1cm線量当量への換算係数
光子エネルギー(MeV) E/D (µSv·cm2) H*(10)/D(µSv·cm2) 換算係数の比 適用
【実効線量(AP照射条件)⇒1cm線量当量換算】
0.600 2.908 3.44 1.18(=3.44/2.908) 盛土施工
0.800 3.727 4.38 1.18(=4.38/3.727) 盛土施工
【実効線量(ISO照射条件)⇒1cm線量当量換算】
0.600 1.942 3.44 1.77(=3.44/1.942) 盛土保護工、周辺居住
0.800 2.594 4.38 1.69(=4.38/2.594) 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))

【測定方法】

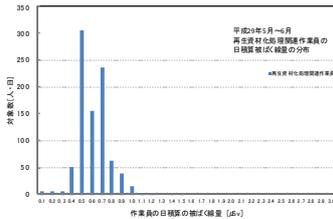
- 1時間ごとの個人線量当量が記録される個人線量計を作業員が装着し、日々の被ばく線量を測定。
- 作業員の胸部に装着し、作業員の作業開始時刻と終了時刻も併せて記録。

【測定結果】

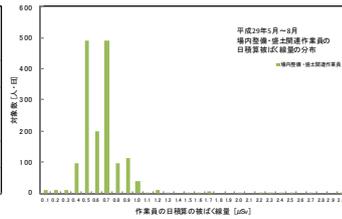
- 全作業員の日積算の被ばく線量(平成29年2月～8月分)は、平均0.61 μ Sv、最大3.0 μ Sv。
- 再生資材化処理の通常処理を実施した作業員の日積算の被ばく線量(5～6月分)は、平均0.61 μ Sv、最大1.5 μ Sv。
- 盛土施工の準備及び施工を実施した作業員の日積算の被ばく線量(5～8月分)は、平均0.65 μ Sv、最大3.0 μ Sv。被ばく線量が高い作業員は、RI試験等に従事した者であり、再生資材からよりもRI線源からの寄与が大きかったものと推測。
- なお、上記の日積算の被ばく線量には、除去土壌等や再生資材から受ける被ばく線量のみならず、バックグラウンドから受け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



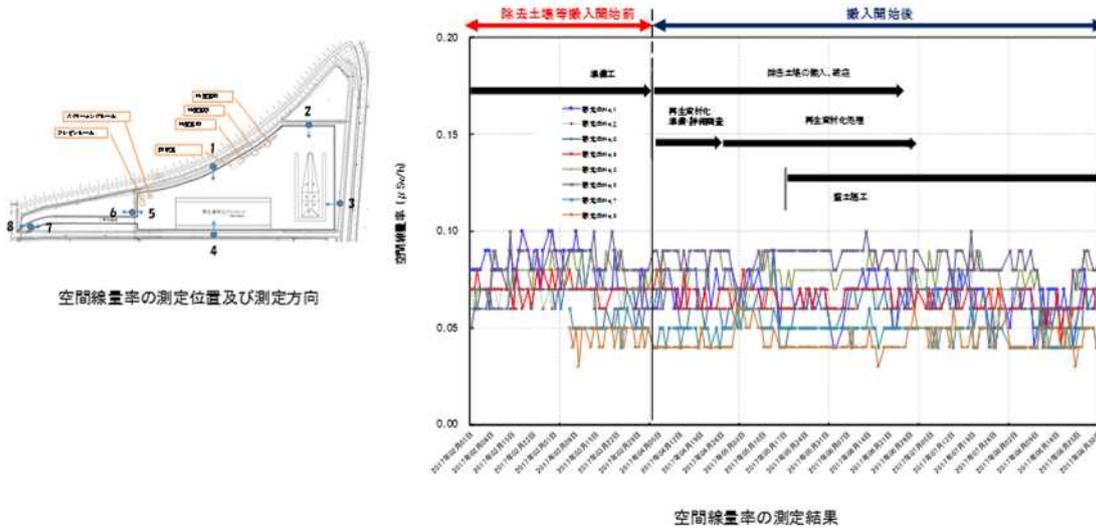
作業員の日被ばく線量の分布
(盛土等5～8月分)

10. 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。

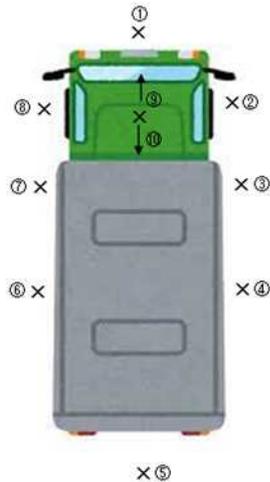
【空間線量率】

- 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

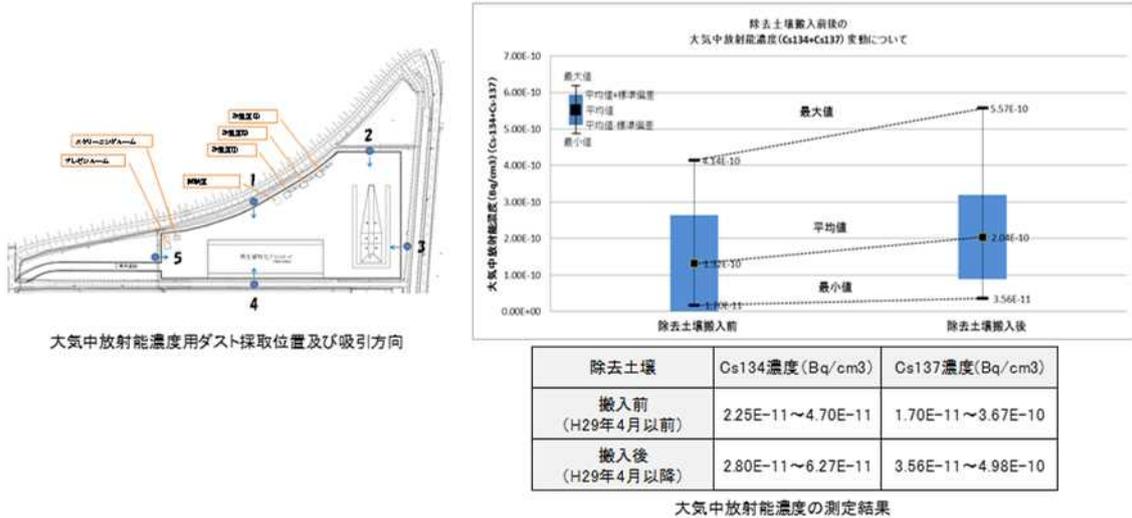
表 輸送車両の周辺1mにおける空間線量率(例)

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。



【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

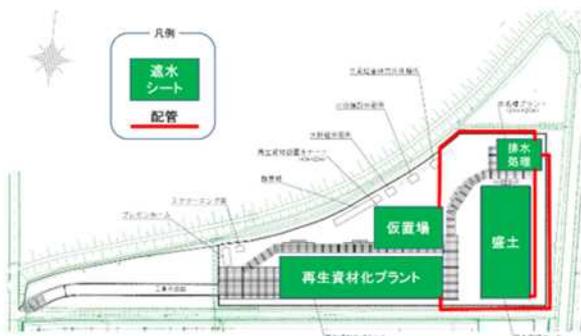
【結論】

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、 $10^{-3} \sim 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{年}$ 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。

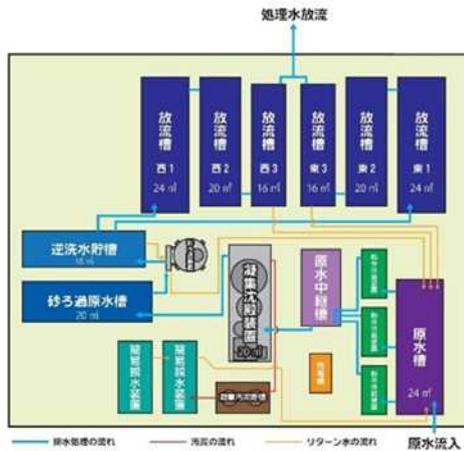
※現時点の濃度比を137Cs:134Cs=1:0.15(事故後6年)と仮定した場合、Cs-137濃度より算出

【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

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									
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	3.5	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														
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
浮遊物重量(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

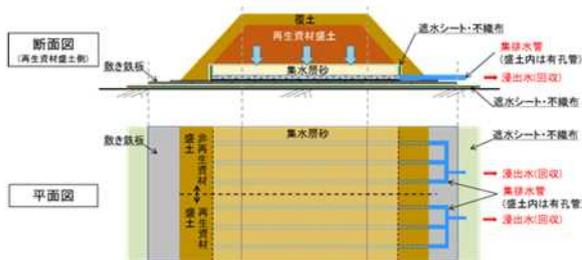
【浸透水の放射能濃度(概要)】

- 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。