

除去土壌等の再生利用に係る放射線影響 に関する安全性評価検討

－ 検討状況の取りまとめ案 －

平成28年 6月

**除去土壌等の再生利用に係る放射線影響に関する
安全性評価検討ワーキンググループ**

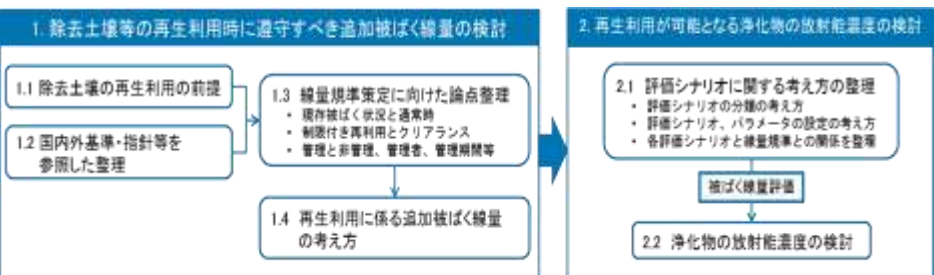
放射線影響安全性評価検討ワーキンググループの設置

1. 設置目的

- 減容処理後の浄化物の再生利用に向け、「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会」において再生利用の基本的考え方等に関する議論に資するため、同検討会の下に、放射線防護等の専門家で構成される「除去土壌等の再生利用に係る放射線影響に関する安全性評価検討ワーキンググループ」(放射線影響安全性評価検討WG)を設置
- 放射線防護に関する国際的な線量基準の考え方を基本に、国内の原子力施設由来の廃棄物及び災害廃棄物等の処理・処分等に係る国内の既往の法令や線量基準との関係性を踏まえつつ、除去土壌等の再生利用における追加被ばく線量の基準等について検討を行う

2. 検討項目

- 除去土壌等の再生利用時に遵守すべき追加被ばく線量
- 再生利用が可能となる浄化物の放射能濃度



検討フロー

3. WG委員

○: 委員長

氏 名	所 属 等
明石 真言	量子科学技術研究開発機構 執行役
飯本 武志	東京大学 環境安全本部 准教授
木村 英雄	日本原子力研究開発機構 安全研究センター 環境影響評価研究グループ
○ 佐藤 努	北海道大学大学院 工学研究院 環境循環システム部門 資源循環工学分野 教授
田上 恵子	量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 福島再生支援本部 上席研究員
新堀 雄一	東北大学大学院 工学研究科 量子エネルギー工学専攻 教授
久田 真	東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 教授
山本 英明	日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 福島環境安全センター 技術主席

4. 検討状況

開催日	議 題
第1回(1/12)	国内外基準・指針等を参照した本件の整理、論点の提示
第2回(1/27)	線量基準策定に向けた論点整理 再生利用時に遵守すべき追加被ばく線量の検討
第3回(2/16)	評価シナリオに関する考え方の整理
第4回(2/24)	評価シナリオを用途ごとに設定、被ばく経路を抽出 線量評価、浄化物の放射能濃度を検討
第5回(4/27)	再生利用の基本的考え方、浄化物の放射能濃度の検討
第6回(5/17)	

1.1 除去土壌の再生利用の目的及び位置付け

- 除去土壌等は、最大約2,200万m³と推計され、必要な規模の最終処分場の確保等の観点から、本来貴重な資源である土壌からなる除去土壌等を、部分的に何らかの形で利用し、最終処分量を低減することが考えられるが、放射性物質を含むことから、そのままでは利用が難しい。
- このため、減容・再生利用に関する技術開発を推進し、除去土壌等の減容化を最大限図るとともに、安全性の確保・地元の理解を得て、減容処理により得られた放射能濃度の低い浄化物を再生利用する仕組みを構築していくことが必要である。
- 再生利用先は現時点で未定であることから、その実現に向けて、情報の発信、コミュニケーション及び実証的・モデル的な再生利用の取組等を通じ、再生利用の安全・安心に対する全国民的な理解の醸成を図る。その上で、再生利用先の具体化に当たっては、地域住民、地元自治体等の理解・信頼の醸成を図り、本格実施につなげていくこととする。
- 減容処理後の浄化物の安全な再生利用を推進するため、追加被ばく線量評価、放射線防護のための管理の考え方等について基本的な考え方を示し、これを踏まえて、再生利用の手引きの作成、実証事業・モデル事業の実施等を進める。

放射性物質汚染対処特措法(特措法)における再生利用の位置付け

○特措法 基本方針(平成23年11月11日閣議決定)

除去土壌の収集、運搬、保管及び処分の実施に当たっては、飛散流出防止の措置、モニタリングの実施、除去土壌の量・運搬先等の記録等、周辺住民の健康の保護及び生活環境の保全への配慮に関し必要な措置をとるものとする。また、安全な運搬、保管等のため、「当面の考え方について」※において示された考え方を踏まえ、減容化、運搬、保管等に伴い周辺住民が追加的に受ける線量が年間1ミリシーベルトを超えないようにするものとする。(中略)

また、仮置場等の確保等の観点から、除去土壌について、技術の進展を踏まえつつ、保管又は処分の際に可能な限り減容化を図るとともに、減容化の結果分離されたもの等汚染の程度が低い除去土壌について、安全性を確保しつつ、再生利用等を検討する必要がある。

※「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)

1.2 線量基準等の整理

➤ 再生利用において参照すべき放射能濃度等の基準等とその算出で考慮された国際的な勧告値は以下のとおり

【国際的な勧告値】

■規制

50mSv/y
回復作業(ICRP Pub.96)を含む職業被ばく
(ICRP Pub.60,68,75)の個人線量限度(1年間)

20mSv/y
同上(職業被ばく)の個人線量限度(5年間の平均)

1mSv/y
公衆被ばく:公衆の個々の構成員に対する線量限度
(ICRP Pub.26,60)

■拘束値と参考レベルの枠(バンド)
(ICRP Pub.103)

1mSv/y~ 20mSv/y
現存被ばく状況における参考レベル

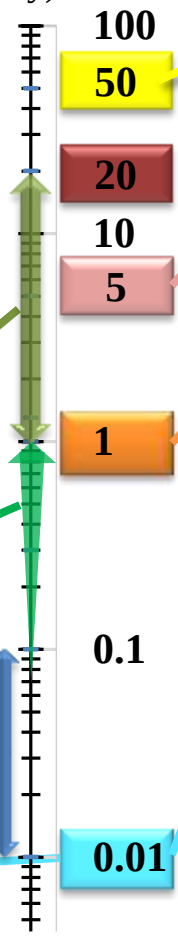
≤1mSv/y
計画被ばく状況における線量拘束値

■規制免除

0.01mSv/y~0.1mSv/yのオーダー
公衆被ばく:些細な被ばく線量(ICRP Pub.104)
(些細な被ばく線量として年間個人リスク 10^{-7} ~ 10^{-6} に相当する線量)

0.01mSv/y
公衆被ばく:現在又は将来において複数の規制免除された線源からの被ばく(ICRP Pub.46)
(現在又は将来において複数の規制免除された線源から被ばくする可能性を考慮したリスク 10^{-7} に相当する線量)
公衆被ばく:規制免除された行為又は線源による被ばく
(IAEA指針RS-G-1.7)

年間の被ばく線量
(mSv/y)



【参照すべき国内基準】

放射線作業に係る基準
再生利用に係る基準

処分に係る基準
[評価対象物]

100mSv/5yかつ50mSv/y
[線源] ○ 電離則及び ◎ 除染電離則

5mSv/y
[線源] ◎ 2.5 μSv/h 除染電離則(特定線量下業務)

1mSv/y
[線源] ○ 周辺監視区域外の水中の濃度限度
[線源] ◎ 廃棄物処理施設周辺の公共の水域の水中濃度限度
[線源] ◎ 廃棄物処理施設周辺の大気中の濃度限度
[構造物] ◎ 指定廃棄物の指定基準(通常の処理方法で処理する場合の作業員)
[構造物] ◎ 10万Bq/kg以下の廃棄物の処分(埋立て処分する場合の処分場周辺住民)

0.01mSv/y
[線源] ○ 原子炉等規制法に基づくクリアランス基準(100Bq/kg)
[線源] ◎ 脱水污泥等を利用した副次産物の利用(100Bq/kg)
[線源] ◎ 砕石及び砂利の出荷基準(100Bq/kg)
[構造物] ◎ 災害廃棄物(コンクリートくず等)の再生利用(道路端に1年間居住)
[構造物] ◎ 福島県内における公共事業における建設副産物の再利用等(例:下層路盤材)に関する当面の取扱いに関する基本的考え方
[構造物] ◎ 10万Bq/kg以下の廃棄物の処分(埋立て処分後の処分場跡地の周辺住民)

◎:事故後に策定されたもの ○:事故以前からの規制

※濃度基準についての対象核種:¹³⁴Cs、¹³⁷Cs

1.3 放射線防護における再生利用の正当化について

正当化の原則

「放射線被ばくの状態を変化させるいかなる決定も、害より便益を大きくすべきである。この原則は、新たな放射線源を導入することにより、現存被ばくを減じる、あるいは潜在被ばくのリスクを減じることによって、それがもたらす損害を相殺するのに十分な個人的あるいは社会的便益を達成すべきである、ということの意味している。」(ICRP Publ.103(203)項)

「正当化は、防護戦略を構成する個々の防護対策がもたらす累積的な便益と影響について考慮している。(中略)単一の防護対策それ自体は正当化されない可能性はあるものの、防護戦略の一部とされた場合には全体としての正味の便益をもたらす場合がある。」(ICRP Publ.111, (28)項)

再生利用の正当化の考え方

我が国では、東京電力福島第一原子力発電所事故により放射性物質による環境汚染が発生した。国・自治体等は、汚染した地域の除染を進め、被ばくのリスクを減じる必要がある。除染で発生した除去土壌等は中間貯蔵施設で保管され、貯蔵開始後30年後に福島県外で最終処分されることになっている。しかし、除染により発生する様々な濃度レベルの除去土壌等の量は膨大であり、そのままでは最終処分の妨げになる。そこで、除去土壌を減容処理して、その過程で発生した濃度レベルが低減された浄化物の再生利用を進めることにより最終処分の負担軽減が図られる。

これにより被ばくリスクの低減と本来貴重な資源である除去土壌等の有効活用が可能となり、我が国全体の社会的、経済的便益を達成することに繋がる。

1.4 放射線防護における再生利用の最適化について

最適化の原則

「経済的及び社会的要因を考慮して、被ばくの発生確率、被ばくする人の数、及び個人線量の大きさのいずれをも合理的に達成できる限り低く抑えるための線源関連のプロセス」と定義されている。

(ICRP Publ.103(212)項)

最適化の作業

- 1) 被ばく状況の評価、
 - 2) 拘束値又は参考レベルの適切な値の選定
 - 3) 考えられる防護選択肢の確認
 - 4) 一般的な事情における最善の選択肢の選定
 - 5) 選択された選択肢の履行
- のプロセスを通じて行われる。(ICRP Publ.103(214)項)

再生利用の最適化の考え方

上記の「最適化の作業」に従えば、個々の事業ごとに、

- 1) 放射線影響が及ぶ可能性のある人口や被ばく経路を調査しつつ、再生利用の用途を選定
- 2) 追加的な被ばく線量を制限するための適切な値(再生資材の濃度レベルを算出するための追加被ばく線量の目安値)を設定
- 3) 放射線遮へいや放射性物質の漏洩防止を考慮した施設構造、利用する再生資材の放射能濃度や量、施工・供用時の管理方法等を設計
- 4) 3)に基づく被ばく評価(追加的な被ばく線量を制限するための適切な値の達成状況等の評価等)を経て、最適な施設の設計と再生資材の選択
- 5) 施工、供用の間、必要な管理を実施

というプロセスを実施することが想定される。

○ 最適化において留意すべき点

再生利用は、全国規模で可能な限り幅広く行われることが求められるが、原発事故の影響が残っていない地域では「新たな放射線源を導入すること」に通じる。このため、経済的及び特に社会的要因を考慮して、合理的に達成可能な限り低くなるように追加被ばく線量の低減化に努力することとする。一般公衆については、個人の行動に何ら懸念を生じさせることのないように、また自然の放射線レベルに対して十分小さくなるように追加被ばく線量の低減化に併せて努力することは、合意形成の促進に資すると考えられる。

○ 具体的な方法

公共事業等の実施主体に対して、事業ごとに上記のプロセスの実施を求めることは過重な負担となる懸念がある。このため、国(環境省)が事例検討を行い、再生利用方法を手引きで示すとともに、再生利用の事例を積み重ねながら手引きを改善していくことで最適化を図る。なお、手引きによらず、個々の事業の実情に応じて、ステークホルダーの参加の下で上記1)～5)のプロセスを実施することにより最適化を図ることも可能である。

1.5 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*1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(¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)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	1mSv/yを超えないようにする(当面の考え方※1)	1mSv/y*1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100mSvかつ1年間につき50mSvとする。
	一般公衆	1mSv/yを超えないようにする(特措法※2基本方針)	1mSv/y*1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、特措法における規制体系との整合も考慮して、8,000Bq/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(1mSv/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(0.01mSv/y*2)になるように適切な遮へい等の措置を講じる。

*1: 全国が再生利用の対象となることから、現存被ばく状況における参考レベルのバンド(1~20mSv/y)の下方値であり、同時に計画被ばく状況における線量拘束値(最大1mSv/y)も満足する値。また、特措法基本方針における周辺住民が追加的に受ける線量を制限するための値。

*2: ICRP勧告において「年に0.01~0.1mSv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)。 0.01mSv/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。

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のモデルや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構造物の利用の情報に基づいた評価
(現実的なシナリオ・パラメータ設定、既往のクリアランスレベル評価の設定を基本とする)
 - (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 の存在比を考慮する(時間経過とともに、空間線量率への寄与が小さい ^{137}Cs が大部分を占めるようになるため、追加被ばく線量を一定とした場合、使用できる放射能濃度も変化する)。

施工時

施工時の条件設定

- ✓ 再生資材の運搬、各種構造物の施工時における作業員及びその周辺住民の被ばく

通常の作業工程を調査し、再生資材(線源)からの被ばくを受けやすい工程、作業条件を抽出し、具体的な被ばく経路を選定する

供用時

供用時の条件設定

- ✓ 供用時の構造物の利用者、周辺住民の被ばく
- ✓ 通常の点検・補修作業時、改修・追加工事における作業員の被ばく

各用途の点検・補修作業、改修・追加工事の情報に基づく供用時の作業員、並びに通常の供用時の一般公衆を対象に、具体的な被ばく経路を選定する

災害・復旧時の条件設定

- ✓ 地震、豪雨等の自然災害の発生に伴い土木構造物が破損した場合を想定
- ✓ 復旧時の際の作業員及び周辺住民の被ばく

自然災害による破損事例及び復旧方法を調査し、要因と破損形態を分析し、線量評価の観点から復旧時の具体的な被ばく経路を選定する

3. 想定する再生利用の用途先の例

- 追加被ばく線量評価の検討に当たり、以下の用途先の例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、用途先は以下に限定するものではなく、今後の検討で適宜追加される。

用途先の例

盛土材

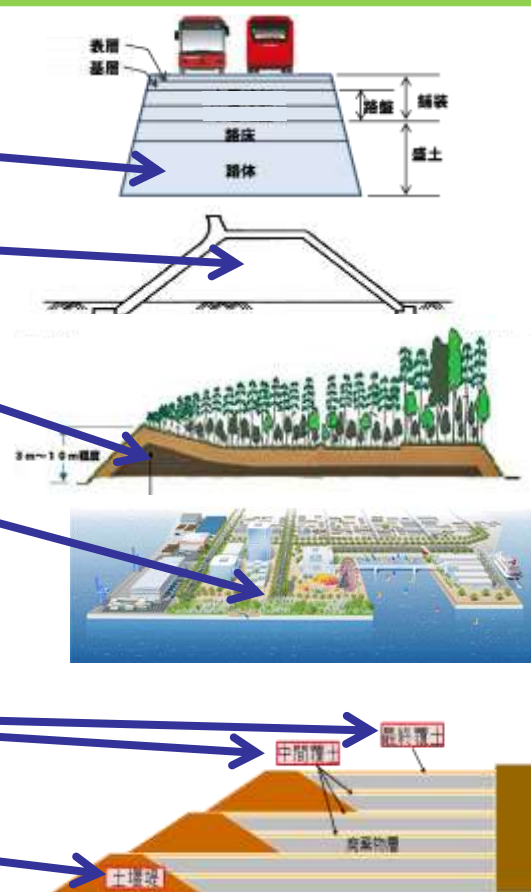
- ・土砂やアスファルト等で被覆
- ・コンクリート等で被覆
- ・植栽された土砂で被覆

埋立材・充填材

その他の個別用途

- ・覆土材
- ・処分場土堰堤

土木構造物の例



道路・鉄道盛土等

防潮堤等

海岸防災林等

土地造成・水面埋立て等

廃棄物処分場(最終処分場)

4.1 (1) 土砂やアスファルト等で被覆された盛土における被ばく経路の設定

- 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。

施工時

再生資材

運搬

- ・作業員(積み下ろし作業、運搬作業)
(外部・吸入・経口)
- ・一般公衆(運搬経路周辺居住)
(外部)

被ばく時間: 450 h/y

土木構造物の施工

- ・作業員(盛土施工、保護工施工、建設作業)
(外部・吸入・経口)
- ・一般公衆(建設現場周辺居住)
(外部)

被ばく時間:
3,600 h/y (道路)
2,000 h/y (鉄道)

盛土

地面

保護工

供用時

土木構造物の利用・修繕、周辺居住

- ・一般公衆(供用中の利用)
(外部)
被ばく時間: 400 h/y
- ・一般公衆(供用中の周辺居住)
(外部)
被ばく時間: 8,760 h/y
- ・作業員(土木構造物補修)

降雨

地下水移行

- ・一般公衆(井戸水利用)
(外部、吸入、経口)

井戸水

塵埃 γ線

果実、野菜、穀類、肉魚類

経根吸収
葉面沈着

●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現実的な値を設定(図に記載)

- 周辺居住については、盛土端から1 mとして安全側に設定

- 災害時の被ばくについては、追加で検討を実施(後述)

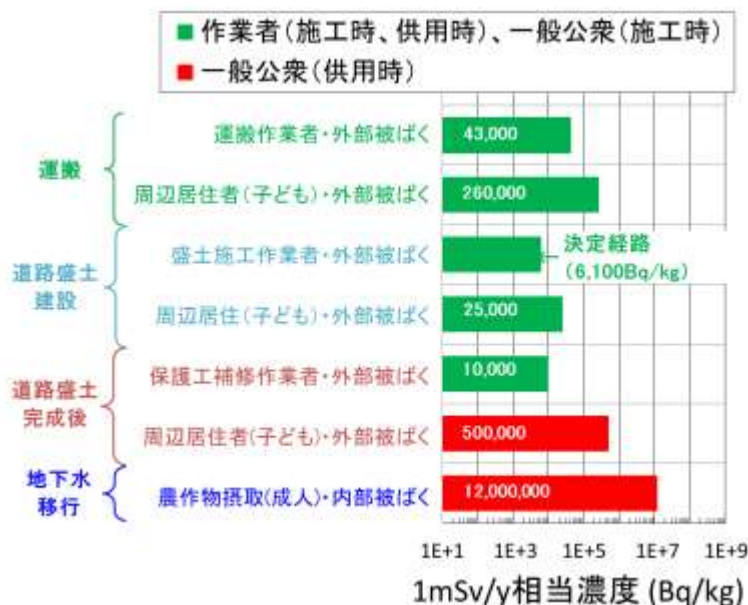
4.1 (2) 土砂やアスファルト等で被覆された盛土における被ばく評価結果（再生利用濃度レベル）

➤ 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。

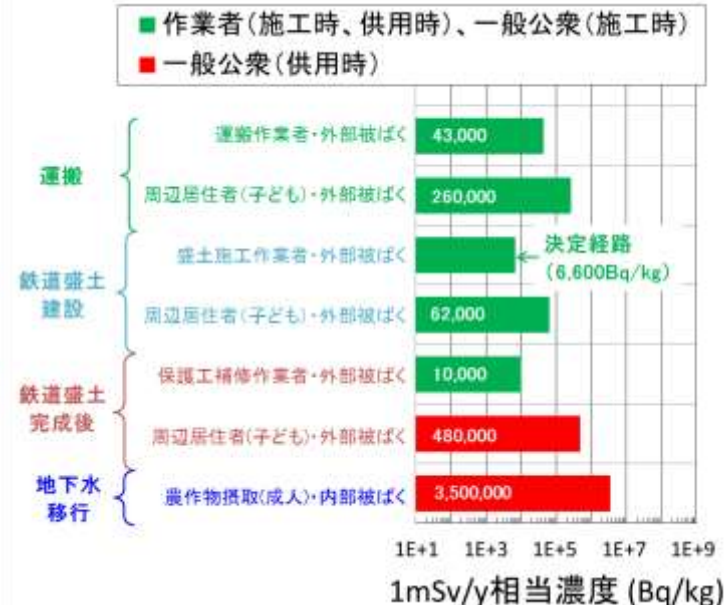
(1) 道路盛土(施工作業者の外部被ばく):6,100 Bq/kg

(2) 鉄道盛土(施工作業者の外部被ばく):6,600 Bq/kg

道路盛土 : 保護工厚さ 30 cm



鉄道盛土 : 保護工厚さ 30 cm



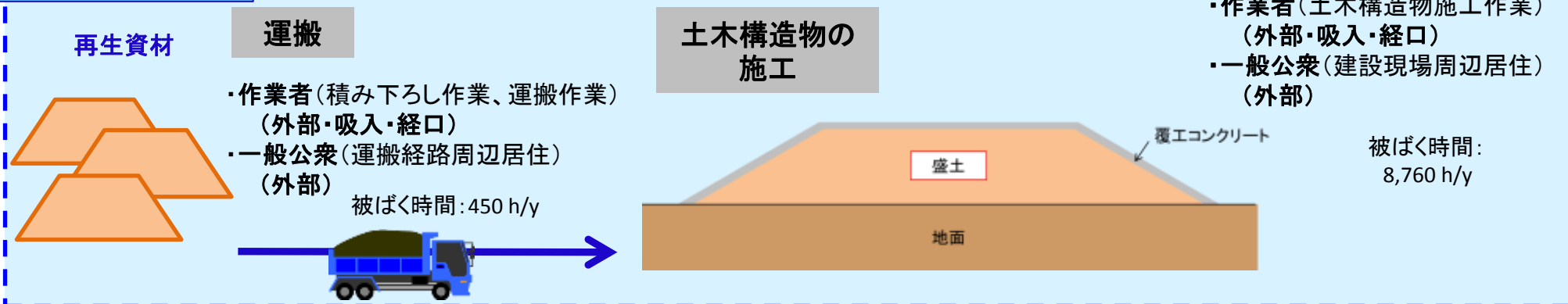
○保護工の厚さを変えて算出しても、最も影響が大きい被ばく経路は盛土施工作業者の外部被ばくであり、放射能濃度は同一の評価結果であった

※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

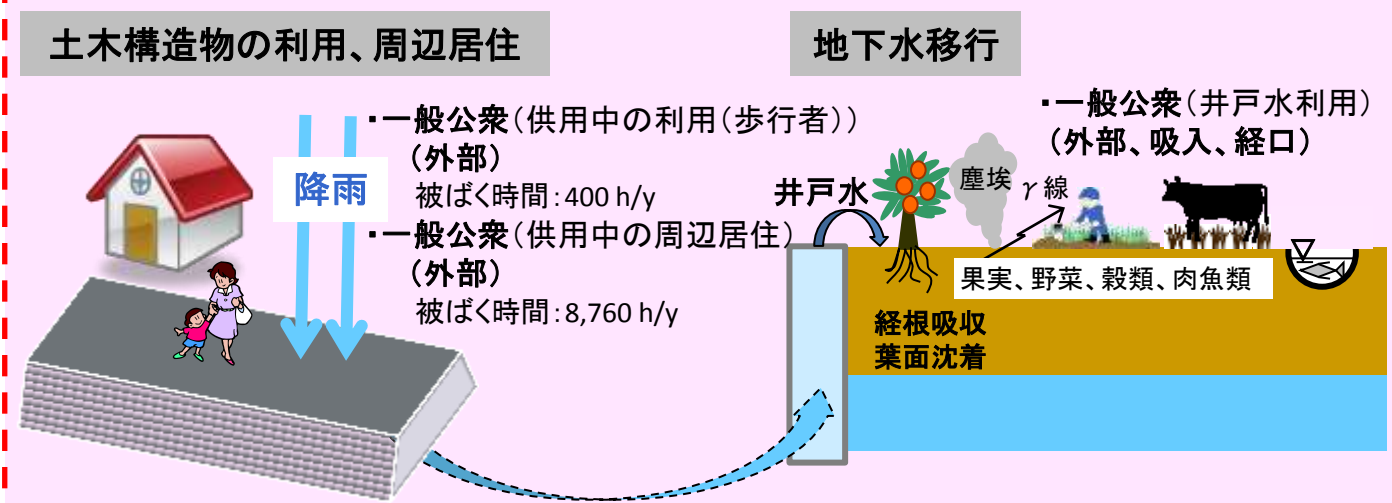
4.2(1) コンクリート等で被覆された盛土における被ばく経路の設定

- 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。

施工時



供用時



- 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1 m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、遮へいされた状態であることから、検討対象から除外

4.2 (2) コンクリート等で被覆された盛土における被ばく評価結果（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) (施工作業者の外部被ばく): 6,900 Bq/kg
 - ◆ 直立堤(高さ8m) (施工作業者の外部被ばく): 7,500 Bq/kg
- 傾斜堤(高さ15m) (施工作業者の外部被ばく): 6,800 Bq/kg
 - ◆ 直立堤(高さ15m) (施工作業者の外部被ばく): 7,500 Bq/kg

傾斜堤：盛土高さ 8 m



傾斜堤：盛土高さ 15 m



直立堤：盛土高さ 8 m



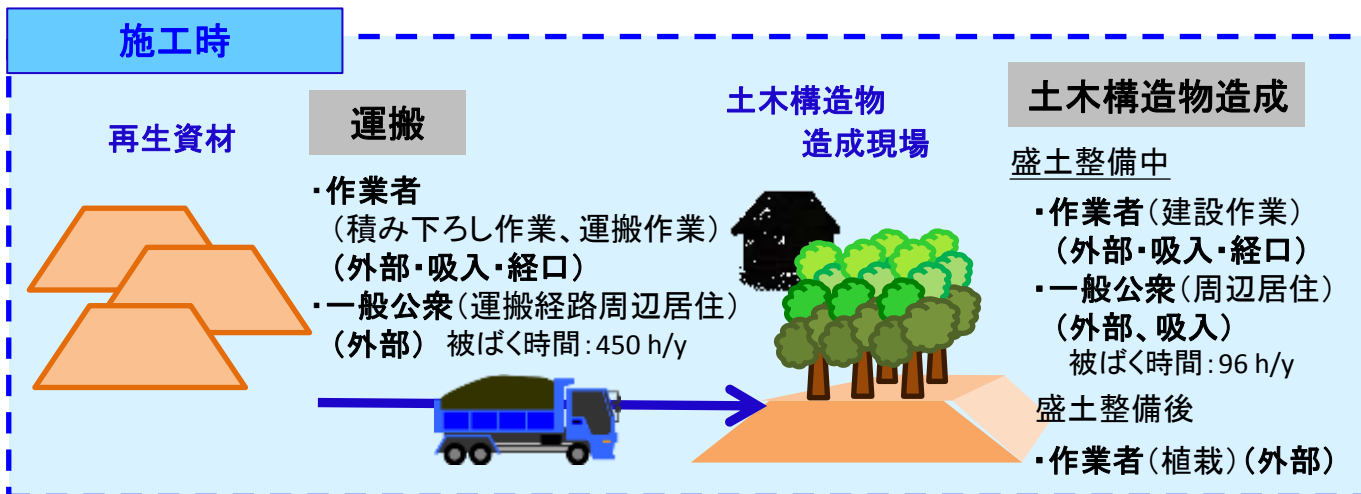
直立堤：盛土高さ 15 m



※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

4.3 (1) 植栽覆土で被覆された盛土における被ばく経路の設定

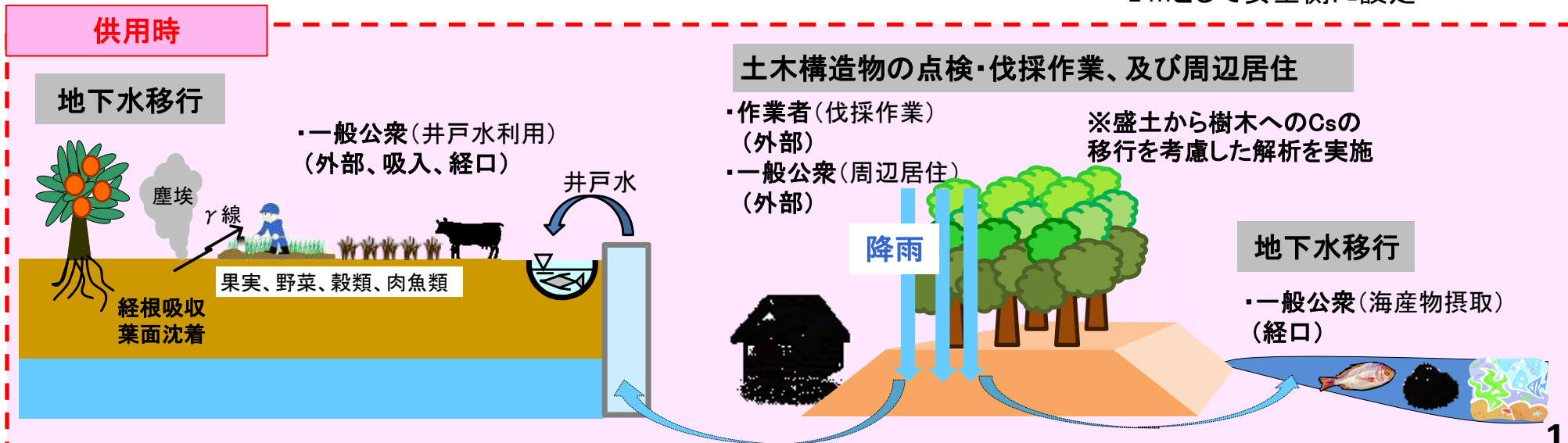
- 植栽覆土で被覆された盛土(例: 海岸防災林等)に再生資材を利用する場合を想定し、検討対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態(外部、吸入、経口)を整理し、被ばく経路を設定。



●対象核種:

^{134}Cs 、 ^{137}Cs (存在比 0.209:1)
(平成28年3月時点)

- 作業者の被ばく時間は1,000 h/y
- 施工時の一般公衆の被ばく時間は、96 h/y(盛土施工後はすぐに覆土の施工に取りかかることを想定し、盛土材が露出しているのは多くても年間4日間とした)
- 周辺居住については、盛土端から1 mとして安全側に設定



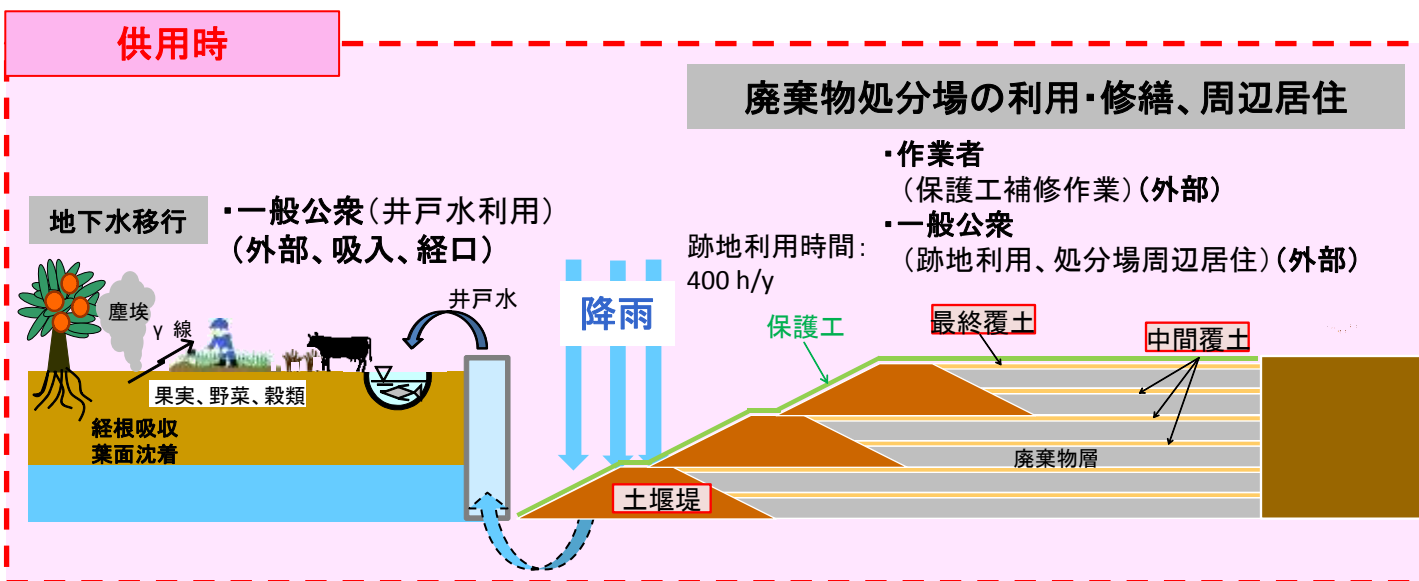
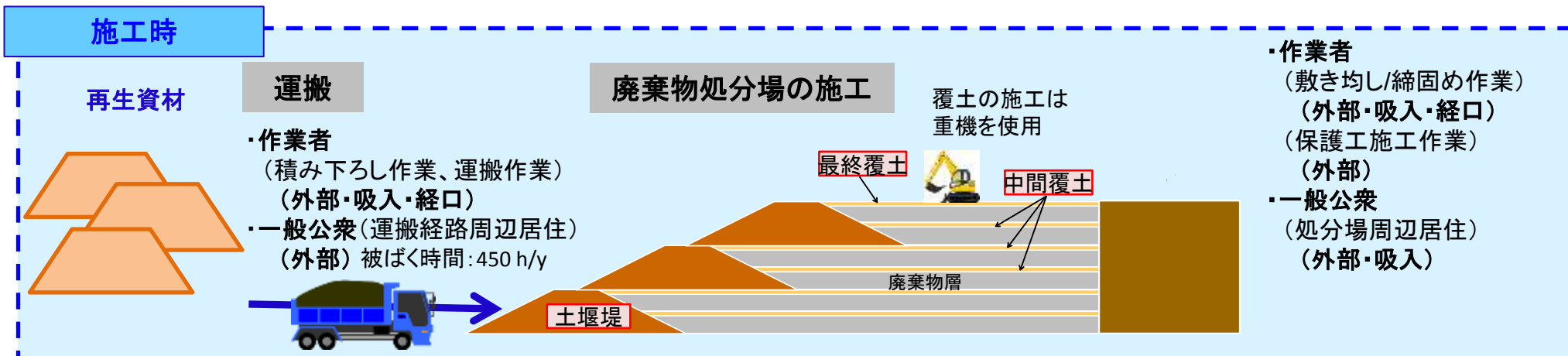
4.3 (2) 植栽覆土で被覆された盛土における被ばく評価結果（再生利用濃度レベル）

- 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、施工作業者における外部被ばくで5,400 Bq/kgとなった。



4.4 (1) 廃棄物処分場における被ばく経路の設定

- 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。



●対象核種:

^{134}Cs 、 ^{137}Cs (存在比 0.209:1)
(平成28年3月時点)

●作業者の被ばく時間は1,000 h/y

●施工時の周辺居住者の被ばく時間は、操業期間(埋立期間)が1年以上であると考えられることから、保守的に8,760 h/y(年間にわたって被ばくする)とした。

●災害時の検討については、正常に管理・運用されている場合は崩壊の発生可能性が十分に低いと考えられるため、実施しない。

4.4 (2) 廃棄物処分場における被ばく評価結果 (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・締固め作業者の外部被ばく): 13,000 Bq/kg
- (2) 最終覆土(保護工補修作業者の外部被ばく): 5,300 Bq/kg
- (3) 土堰堤(敷き均し・締固め作業者の外部被ばく): 8,100 Bq/kg

再生資材を中間覆土に使用



再生資材を最終覆土に使用



再生資材を土堰堤に使用



○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。

4.5 線量基準から算出される再生利用用途ごとの放射能濃度レベル

- ▶ 想定した土木構造物（各種盛土材、覆土材、土堰堤）に利用した場合、各被ばく経路において最も影響が大きい経路（決定経路）は、いずれも施工時の作業員に対する外部被ばくであることが確認できる。この被ばく経路から算出される1mSv/y相当の放射性セシウムの放射能濃度レベルは5,300 Bq/kg～13,000 Bq/kgとなった。
- ▶ 工事の規模や作業時間の管理等により、作業員の作業時間が限定されている場合は、これに応じて1mSv/y相当濃度に変化する。なお、再生資材の放射能濃度レベルにかかわらず、周辺環境が一定程度汚染されている場合は、電離則又は除染電離則に従って作業員の被ばく管理を行うこととし、この場合再生利用可能濃度は8,000Bq/kg以下とする。

用途先	遮へい条件	1 mSv/y相当の放射能濃度レベルと決定経路				
		一般公衆の決定経路と濃度	作業員の決定経路と濃度	1年間のうち再生資材を取り扱う期間		
				1年	9か月	6か月
盛土	法面保護工	15,000 Bq/kg (盛土完成後周辺居住者子ども-外部被ばく)	一般道路：(盛土施工作業者-外部被ばく)	6,600	8,800	13,200
			高速道路：(盛土施工作業者-外部被ばく)	6,100	8,100	12,200
			鉄道盛土：(盛土施工作業者-外部被ばく)	6,600	8,800	13,200
	覆工コンクリート	防潮堤(傾斜堤)：11,000 Bq/kg (建設現場周辺居住者子ども-外部被ばく)	防潮堤(傾斜堤)高さ8m：(盛土施工作業者-外部被ばく)	6,900	9,200	13,800
			防潮堤(傾斜堤)高さ15m：(盛土施工作業者-外部被ばく)	6,800	9,100	13,600
		防潮堤(直立堤)：12,000 Bq/kg (建設現場周辺居住者子ども-外部被ばく)	防潮堤(直立堤)高さ8m、15mともに：(盛土施工作業者-外部被ばく)	7,500	10,000	15,000
	植栽覆土 (厚さ1m)	260,000 Bq/kg (運搬経路周辺居住者子ども-外部被ばく)	(盛土施工作業者-外部被ばく)	5,400	7,200	10,800
中間 覆土材	法面保護工	130,000 Bq/kg (建設現場周辺居住者子ども-外部被ばく)	(敷き均し・締固め作業員-外部被ばく)	13,000	17,300	26,000
最終 覆土材		97,000 Bq/kg (跡地利用者子ども-外部被ばく)	(保護工補修作業員-外部被ばく)	5,300	7,100	10,600
処分場 土堰堤		170,000 Bq/kg (跡地利用者子ども-外部被ばく)	(敷き均し・締固め作業員-外部被ばく)	8,100	10,800	16,200

*1: 「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。

4.6 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、一般公衆に対する施設設計（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。
- 各用途の再生資材の放射能濃度レベルを上限の8,000Bq/kgとした場合、覆土等の厚さとして50cmを確保すれば、施設完成後の一般公衆（周辺居住者・利用者）の追加被ばく線量は、0.01mSv/yを超えることはない。なお、用途ごとの被ばく線量評価結果に基づく濃度レベル以下で再生資材を利用する場合、更に追加被ばく線量は低減されることを確認した。

0.01mSv/yを超える

0.01mSv/yを超えない

単位:[mSv/y]

用途先	遮へい 条件	例	再生資材の 放射能濃度 [Bq/kg]	覆土等の厚さ									
				2 c m		1 0 c m		3 0 c m		5 0 c m		1 0 0 c m	
				居住者	利用者	居住者	利用者	居住者	利用者	居住者	利用者	居住者	利用者
盛土	法面 保護工	一般道路	6,000	0.39	0.0027	0.13	0.0014	0.012	< 0.001	< 0.001	< 0.001	—	—
			8,000	0.52	0.0036	0.17	0.0018	0.016	< 0.001	0.0021	< 0.001	—	—
		高速道路	6,000	0.40	—	0.13	—	0.012	—	0.0018	—	—	—
			8,000	0.54	—	0.18	—	0.016	—	0.0023	—	—	—
	覆工 コンクリート	防潮堤	6,000	—*						< 0.001	—	—	—
			8,000	—*						< 0.001	—	—	—
	植栽覆土	海岸防災林	5,000	—**								< 0.001	—
			8,000	—**								< 0.001	—
中間覆土	法面 保護工	処分場	8,000	—	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	—	—	
最終覆土			5,000	—	0.0076	0.052	< 0.001	0.0026	< 0.001	< 0.001	—	—	
			8,000	—	0.012	0.083	< 0.001	0.0042	< 0.001	< 0.001	—	—	
土堰堤			8,000	—	—	0.047	—	0.0028	—	< 0.001	—	—	

居住者:施設周辺居住者(子ども)・外部 利用者:施設(跡地)利用者(子ども)・外部

*:地方自治体における設定値を参考に50cmに設定した
**:既往の類似評価を参考に100cmに設定した

5.1 用途先と想定する災害

- 公共事業等による土木構造物は、既往の災害時の教訓を生かして新設され、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。
- 除去土壌由来の再生資材利用の検討に当たり、再生資材に放射性物質を含むという性格を踏まえ、再生利用の安全性の観点から、本来構造物が有する安全性に加えて、万が一、大規模災害等により構造物が損壊した場合も想定し、放射性物質による影響を評価する。
- なお、災害時における影響評価に加えて、再生利用先について、地すべり危険区域や急傾斜崩壊区域などを原則除外するなど、災害リスクが相対的に低い安定した場所に使用することとする等についても検討が必要である。

想定される用途ごとに想定した災害と破損事象

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)	植栽された土砂で覆土された盛土 (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	すべり崩壊 法面崩壊 分断崩壊	決壊・流出 法面崩壊	決壊・流出 法面崩壊

5.2 各用途先における災害・復旧時の検討

- 道路・鉄道盛土の破損として、Ⅰ. すべり崩壊、Ⅱ. 法面崩壊、Ⅲ. 分断崩壊の三つを検討。
- 防潮堤の破損として、Ⅰ. 決壊・流出、Ⅱ. 法面崩壊の二つを検討。
- 海岸防災林の破損として、Ⅰ. 津波、Ⅱ. 火災の二つを検討。

土砂やアスファルト等で被覆された盛土の(道路・鉄道盛土を例とした)災害・復旧時の検討

Ⅰ. すべり崩壊

盛土内部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。

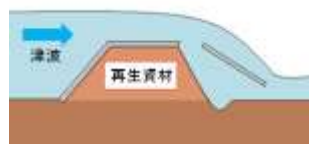
コンクリート等で被覆された盛土の(防潮堤を例とした)災害・復旧時の検討

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

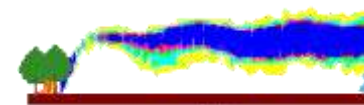
植栽された土砂で覆土された盛土の(海岸防災林を例とした)災害・復旧時の検討

Ⅰ. 津波



大規模な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



火災によりプルーム※が発生するケース

※微細な放射性物質が煙のように流れる現象

5.3 災害・復旧時における検討条件の概要

災害・復旧時における検討フロー

1. 自然災害の要因と考えられる事象として地震、津波、火災、暴風・竜巻、異常降雨(豪雨)を選定し、各土木構造物において変状・崩壊をもたらす可能性のある要因を予察的に検討する(下表参照)。
2. 1.の検討結果を踏まえ、土木構造物に対する自然災害の要因や変状・崩壊の現象の検討例、災害事例などの文献を調査し、線量検討の観点から各土木構造物において検討対象とする災害要因と変状・崩壊の関係を整理する。
3. 線量検討のために災害後の再生資材(線源)の状態の変化をイメージ化するとともに、復旧方法の情報を基に復旧時における再生資材の状態変化もイメージ化する。
4. 上記2.及び3.を踏まえ、作業員、周辺住民の被ばくに関する災害時被ばく経路を具体化する。1mSv/y相当濃度条件で仮に自然災害による構造物の破損が生じた場合の被ばく線量を検討し、1mSv/yを超えていないことの確認を行う。

変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害の要因の予察的検討

災害の要因	道路・鉄道盛土	防潮堤	海岸防災林
地震	地震動による盛土の変状・崩壊の可能性が考えられる	地震動による防潮堤の変状・崩壊の可能性が考えられる	地震動による海岸防災林の変状・崩壊の可能性が考えられる
津波	津波が到達しない内陸部にあるとして検討から除外	決壊などの堤防の崩壊の可能性が考えられる	津波による海岸防災林の流出の可能性が考えられる
火災	車両等の火災は考えられるが、変状・崩壊までは想定されないため対象外	車両等の火災は考えられるが、変状・崩壊までは想定されないため対象外	防災林樹木の火災の可能性が考えられる
暴風・竜巻	暴風等により破損する恐れは考えられないため対象外	暴風等により破損する恐れは考えられないため対象外	暴風等により防災林樹木の倒木の可能性が考えられる
異常降雨(豪雨)	豪雨により盛土内の含水状態が変化し、盛土の変状・崩壊の可能性が考えられる	全面に不透水被覆があるため豪雨より防潮堤が変状・崩壊する恐れは考えられないため対象外	豪雨により盛土内の含水状態が変化し、盛土の変状・崩壊の可能性が考えられる

(注)災害要因による道路路盤材の変状・崩壊の可能性は考えられないため、道路路盤材に対する災害時は検討の対象外

5.4 道路・鉄道盛土の災害・復旧時の被ばく線量の検討

- 道路・鉄道盛土の災害・復旧時の被ばく線量の検討経路は以下のとおり。
- 各経路の中で被ばく線量が最大となるのは、分断崩壊した場合の復旧作業者の外部被ばくである。（右グラフは再生資材濃度8,000 Bq/kgで試算した例）

①すべり崩壊での経路

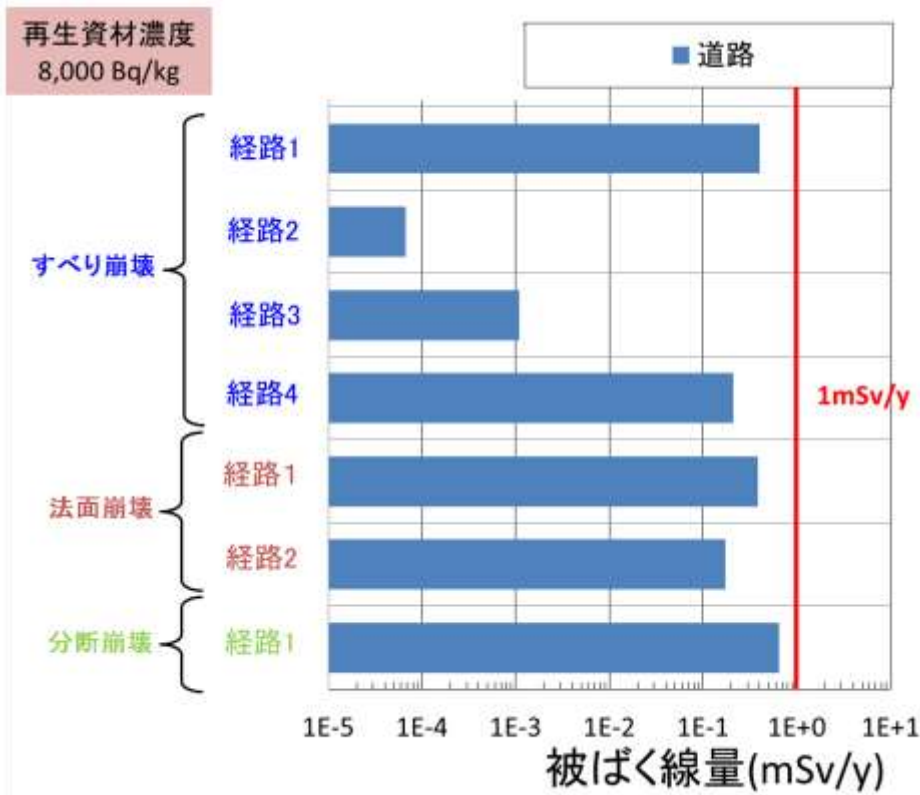
経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
1	復旧作業	すべり崩壊が生じた盛土、および回収された崩壊土	復旧作業者	外部
2				粉塵吸入
3				直接経口
4	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部

②法面崩壊での経路

経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
1	復旧作業	法面崩壊が生じた盛土	復旧作業者	外部
2	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部

③分断崩壊での経路

経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
1	復旧作業	分断崩壊が生じた盛土	復旧作業者	外部
2	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部
3	回収土周辺作業	回収土	回収作業者	外部
4	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部



※分断崩壊は4つの経路のうち、最も線量が多い経路1のみグラフ化

5.5 防潮堤の災害・復旧時の被ばく線量の検討

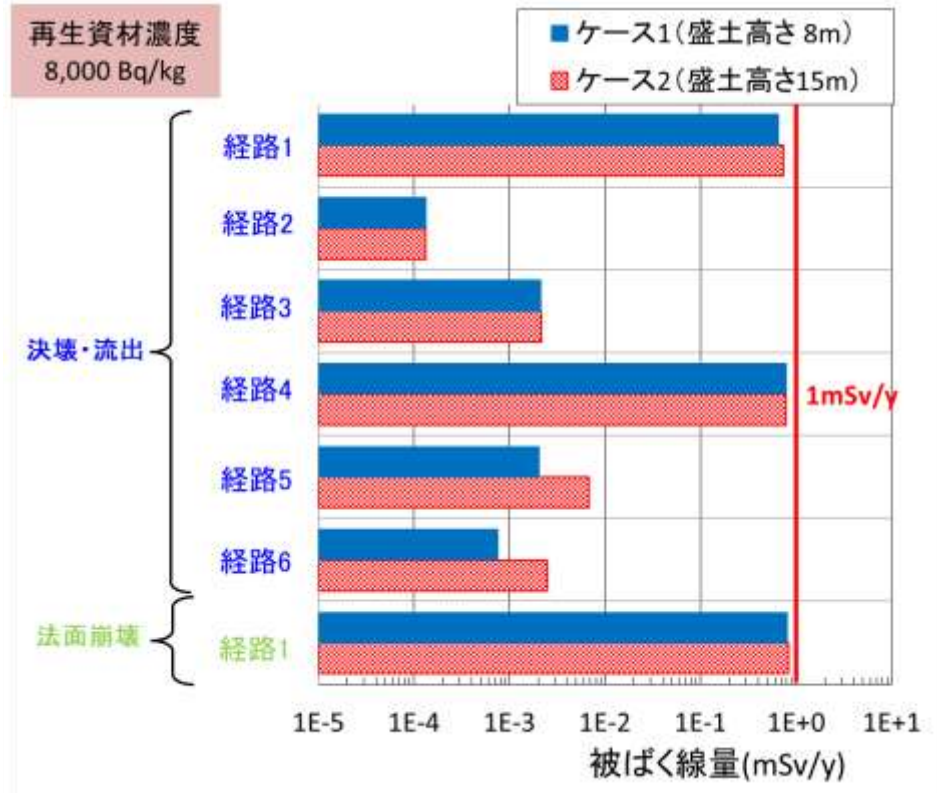
- 防潮堤の災害・復旧時の被ばく線量の検討経路は以下のとおり。
- 各経路の中で被ばく線量が最大となるのは、法面崩壊した場合の復旧作業者の外部被ばくである。（右グラフは再生資材濃度8,000 Bq/kgで試算した例）。

①決壊・流出での経路

経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
1	復旧作業	盛土が露呈した防潮堤	復旧作業者	外部
2				粉塵吸入
3				直接経口
4	海産物摂取	流出した盛土 (魚類・無脊椎動物・藻類)	一般公衆(成人) 一般公衆(子ども)	外部
5				経口
6				経口

②法面崩壊での経路

経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
1	復旧作業	盛土が露呈した防潮堤	復旧作業者	外部



5.6 海岸防災林の災害・復旧時の被ばく線量の検討

- 海岸防災林の災害・復旧時の被ばく線量の検討経路は以下のとおり。
- 各経路の中で被ばく線量が最大となるのは、津波の場合の復旧作業者の外部被ばくである。
(右グラフは再生資材濃度8,000 Bq/kgで試算した例)。

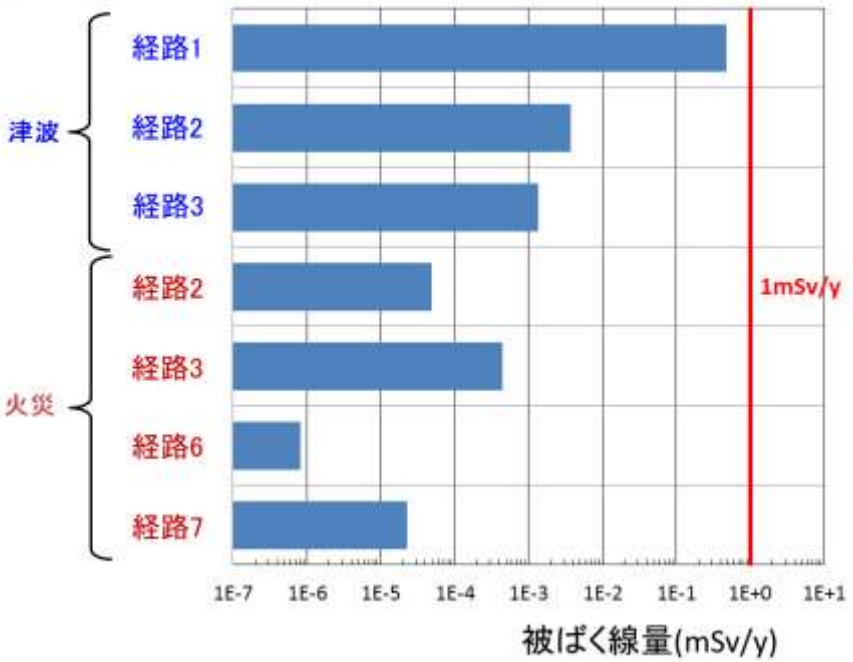
①津波での経路

経路	検討対象		線源	対象者	被ばく形態
1	復旧作業	堆積土撤去	津波堆積土	復旧作業者	外部
2	海産物摂取		海産物 (魚類、無脊椎動物、藻類)	一般公衆(成人)	経口
3				一般公衆(子ども)	経口

②火災での経路

経路	対象者	被ばく形態
1	消防士	プルームに含まれるCsによる外部被ばく
2		地表沈着したCsによる外部被ばく
3		プルームに含まれるCsの吸入による内部被ばく
4		地表沈着したCsの再浮遊によるCsの吸入による内部被ばく
5	周辺居住 (一般公衆)	プルームに含まれるCsによる外部被ばく
6		地表沈着したCsによる外部被ばく
7		プルームに含まれるCsの吸入による内部被ばく
8		地表沈着したCsの再浮遊によるCsの吸入による内部被ばく

再生資材濃度
8,000 Bq/kg



※火災は8つの経路のうち、線量の大きさ順に上位4つの経路のみグラフ化

5.7 災害・復旧時の線量検討結果のまとめ

➤ 各土木構造物に対し、再生資材の放射能濃度8,000 Bq/kgの場合の災害・復旧時の作業者及び一般公衆の被ばく線量を検討した。作業者及び一般公衆の被ばく線量はいずれも1mSv/yを超えない検討結果が得られた。

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に対する線量検討結果(決定経路)	留意点
道路盛土・ 鉄道盛土	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)	山間部の谷間などでの盛土では、豪雨による浸透水が集水することに起因しての、今回の検討条件よりも大規模な崩壊が生じる可能性があるため、豪雨により含水率が高くなるような場所での再生資材の盛土への利用を制限する必要がある。
防潮堤	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))	特になし
海岸防災林	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))	特になし

参考資料

参考資料①-1(1) 道路盛土を例とした検討経路

経路	検討対象		線源	対象者	被ばく形態
1	建設現場への運搬	積み下ろし作業	再生資材	作業者	外部
2					粉塵吸入
3					直接経口
4		運搬作業		作業者	外部
5		運搬経路周辺居住		一般公衆(子ども)	外部
6	盛土施工	敷き均し・ 締め固め	盛土	作業者	外部
7					粉塵吸入
8					直接経口
9	保護工	客土/植生基材吹付工		作業者	外部
10	建設現場 周辺居住	周辺居住		一般公衆(成人)	外部
11					粉塵吸入
12				一般公衆(子ども)	外部
13					粉塵吸入
14	道路施工	舗装・路盤材		作業者	外部
15	道路完成後	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部
16		道路利用		一般公衆(子ども)	外部
17		道路補修作業		作業者	外部
18		保護工補修作業		作業者	外部
19		完成道路への雨水浸透による放射能物質 の漏洩 (地下水移行)	飲料水摂取	井戸水	一般公衆(成人)
20	一般公衆(子ども)				経口
21	農耕作業		井戸水で灌漑した土壌	作業者	外部
22					粉塵吸入
23	農作物摂取		灌漑した土壌で生産された農作物	一般公衆(成人)	経口
24				一般公衆(子ども)	経口
25	畜産物摂取		灌漑した土壌で生産された畜産物	一般公衆(成人)	経口
26				一般公衆(子ども)	経口
27	畜産物摂取		井戸水で飼育された畜産物	一般公衆(成人)	経口
28				一般公衆(子ども)	経口
29	養殖淡水産物摂取		井戸水で養殖された淡水産物	一般公衆(成人)	経口
30				一般公衆(子ども)	経口

参考資料①-1(2) 鉄道盛土を例とした検討経路

経路	検討対象		線源	対象者	被ばく形態
1	建設現場への運搬	積み下ろし作業	再生資材	作業者	外部
2					粉塵吸入
3					直接経口
4		運搬作業		作業者	外部
5		運搬経路周辺居住		一般公衆(子ども)	外部
6	盛土施工	敷き均し・ 締め固め	盛土	作業者	外部
7					粉塵吸入
8					直接経口
9	保護工	客土/植生基材 吹付工		作業者	外部
10	建設現場 周辺居住	周辺居住		一般公衆(成人)	外部
11				一般公衆(子ども)	粉塵吸入
12					外部
13				粉塵吸入	
14	鉄道施工	バラスト敷設		作業者	外部
15	鉄道完成後	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部
16		保線作業者		作業者	外部
17		保護工補修作業者		作業者	外部
18		完成鉄道への雨水浸透 による放射能物質の漏洩 (地下水移行)	飲料水摂取	一般公衆(成人)	経口
19	一般公衆(子ども)			経口	
20	農耕作業		井戸水で灌漑した土壌	作業者	外部
21				粉塵吸入	
22	農作物摂取		灌漑した土壌で生産された 農作物	一般公衆(成人)	経口
23				一般公衆(子ども)	経口
24	畜産物摂取		灌漑した土壌で生産された 畜産物	一般公衆(成人)	経口
25				一般公衆(子ども)	経口
26	畜産物摂取		井戸水で飼育された畜産物	一般公衆(成人)	経口
27				一般公衆(子ども)	経口
28	養殖淡水産物摂取		井戸水で養殖された 淡水産物	一般公衆(成人)	経口
29				一般公衆(子ども)	経口

参考資料①-1(3) 道路・鉄道盛土を例にした検討条件の詳細

■ 道路盛土に対する評価体系

- 道路盛土の評価体系は、「道路土工 切土工・斜面安定工指針」(日本道路協会)に基づき、一般道路・高速道路に対して設定
(盛土高さ・法面勾配については基準がないため、感度解析を実施し、影響が収束する体系を決定)
- 保護工(植生工)の厚さは、上記マニュアルに基づき2cm(ケース1:草本類播種工)と10cm(ケース2:木本類播種工)の2種類を設定
- さらに覆土が施工されることを想定して、保護工の厚さが30cm(ケース3)と50cm(ケース4)の場合についても検討を実施

	一般道路	高速道路
施工時: 盛土建設	【かさ密度】 盛土:2.0 g/cm³ 保護工:1.7 g/cm³	
供用時: 道路利用 周辺居住		
供用時: 地下水移行	- 再生資材を使用する部材のみをソースタームに設定 - 道路盛土への浸透水量:0.4 m/y ((安全側に立った設定) (不透水性アスファルト:1×10⁻⁷cm/s、動水勾配:1 → 浸透水量:0.032m/y)	- 盛土の空隙率:0.25 - 盛土の収着分配係数:270 mL/g (IAEA TRS No.364, 土壌、砂) - 完成道路盛土端から井戸までの距離:0 m

■ 鉄道盛土に対する評価体系

鉄道盛土と道路盛土の施工基準が同等である(日本道路公団資料)ことから、一般道路と同様の評価体系を設定
(※鉄道盛土では、供用時の鉄道保線作業者の被ばくについても検討(評価点:道路利用者と同位置))

参考資料①-2(1) 防潮堤を例とした検討経路

経路	検討対象		線源	対象者	被ばく形態
1	建設現場への運搬	積み下ろし作業	再生資材	作業者	外部
2					粉塵吸入
3					直接経口
4		運搬作業		作業者	外部
5		運搬経路周辺居住		一般公衆(子ども)	外部
6	盛土施工	敷き均し・ 締め固め	盛土	作業者	外部
7					粉塵吸入
8					直接経口
9	護岸工	基礎砕石工		作業者	外部
10	建設現場 周辺居住	周辺居住		一般公衆(成人)	外部
11					粉塵吸入
12				一般公衆(子ども)	外部
13					粉塵吸入
14	防潮堤完成後	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部
15		防潮堤利用		一般公衆(子ども)	外部
16	完成防潮堤への雨水 浸透による放射能物質 の漏洩 (地下水移行)	飲料水摂取	井戸水	一般公衆(成人)	経口
17				一般公衆(子ども)	経口
18		農耕作業	井戸水で灌漑した土壌	作業者	外部
19					粉塵吸入
20		農作物摂取	灌漑した土壌で生産された 農作物	一般公衆(成人)	経口
21				一般公衆(子ども)	経口
22		畜産物摂取	灌漑した土壌で生産された 畜産物	一般公衆(成人)	経口
23				一般公衆(子ども)	経口
24		畜産物摂取	井戸水で飼育された畜産物	一般公衆(成人)	経口
25				一般公衆(子ども)	経口
26		養殖淡水産物摂取	井戸水で養殖された淡水産物	一般公衆(成人)	経口
27				一般公衆(子ども)	経口

参考資料①-2(2) 防潮堤を例にした検討条件の詳細

- 防潮堤は、「傾斜堤」と「直立堤」の2種類を想定し、公開情報に基づき天端幅、法面勾配、覆工コンクリート厚さ等を設定し検討した。
- 防潮堤の高さは、施工仕様の情報を参考に8m(ケース1)と15m(ケース2)の2種類を想定。

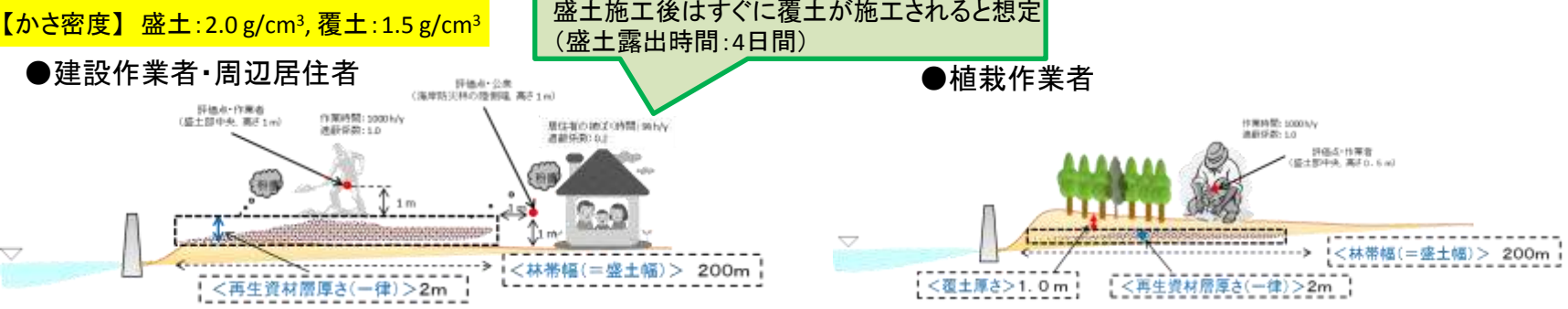
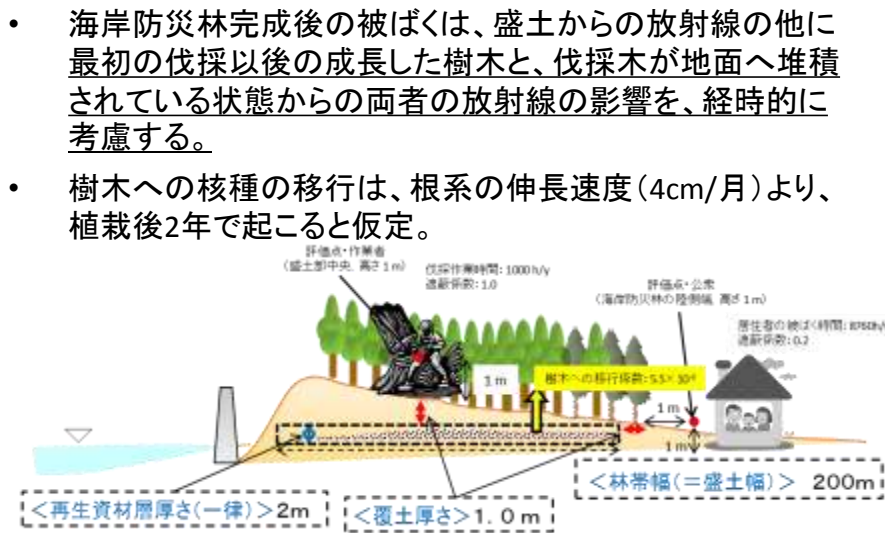
	傾斜堤	直立堤
施工時: 防潮堤建設	【かさ密度】 盛土: 2.0 g/cm³	
供用時: 防潮堤利用 周辺居住	1 h/dの散歩 を想定 1年間住み続ける ことを想定	
供用時: 地下水移行	- 再生資材を使用する部材のみをソースタームに設定 - 防潮堤への浸透水量: 0.4 m/y (安全側に立った設定) (不透水性アスファルト: 1×10^{-7} cm/s、動水勾配: 1 → 浸透水量: 0.032m/y)	- 盛土の空隙率: 0.25 - 盛土の収着分配係数: 270 mL/g (IAEA TRS No.364, 土壌、砂) - 完成道路盛土端から井戸までの距離: 0 m

参考資料①-3(1) 海岸防災林を例とした検討経路

経路	検討対象		線源	対象者	被ばく形態	備考
1	建設現場への運搬	積み下ろし作業	再生資材	作業者	外部	※経路No.14は、植栽後7年、17年、27年、37年、47年の伐採前・後を評価する。 ※経路No.15、16は、盛土造成直後(0年・植栽前)、植栽後2年、及び7年、17年、27年、37年、47年の伐採前・後を評価する。
2					粉塵吸入	
3		直接経口				
4		運搬作業		作業者	外部	
5		運搬経路 周辺居住		一般公衆(子ども)	外部	
6	海岸防災林造成	建設作業 (盛土整備中)	盛土	作業者	外部	
7					粉塵吸入	
8					直接経口	
9		周辺居住 (盛土整備中)		一般公衆(成人)	外部	
10				粉塵吸入		
11				一般公衆(子ども)	外部	
12				粉塵吸入		
13		植栽等作業 (盛土整備後)		作業者	外部	
14	海岸防災林完成後	伐採作業	盛土、樹木、伐採木 (伐採前・後)	作業者	外部	
15		周辺居住		一般公衆(成人)	外部	
16				一般公衆(子ども)	外部	
17	海岸防災林完成後の 地下水移行 (海側への流出)	海産物摂取	海産物 (魚類、無脊椎動物、藻類)	一般公衆(成人)	経口	
18				一般公衆(子ども)	経口	
19	海岸防災林完成後の 地下水移行 (井戸水利用)	飲料水摂取	井戸水	一般公衆(成人)	経口	
20				一般公衆(子ども)	経口	
21		農耕作業	井戸水で 灌漑した土壌	作業者	外部	
22					粉塵吸入	
23		農作物摂取	灌漑した土壌で生産された 農作物	一般公衆(成人)	経口	
24				一般公衆(子ども)	経口	
25		畜産物摂取	灌漑した土壌で生産された 畜産物	一般公衆(成人)	経口	
26				一般公衆(子ども)	経口	
27		畜産物摂取	井戸水で飼育された畜産物	一般公衆(成人)	経口	
28				一般公衆(子ども)	経口	
29		養殖淡水産物 摂取	井戸水で養殖された 淡水産物	一般公衆(成人)	経口	
30				一般公衆(子ども)	経口	

参考資料①-3(2) 海岸防災林を例にした検討条件の詳細

- 再生資材は厚さ2mの盛土に用いられ、盛土の上部に厚さ1mの覆土(植栽基盤として非汚染の腐植土を想定)が敷設された構造として検討した。
- 既往の海岸防災林の評価サイズから、最も大きな評価体系(林帯幅＝盛土幅:200m)を設定。

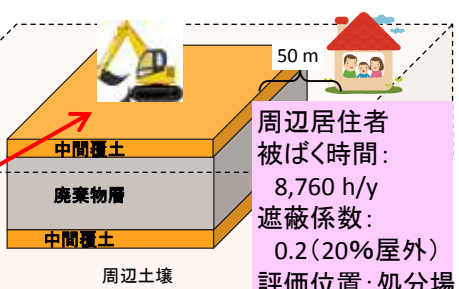
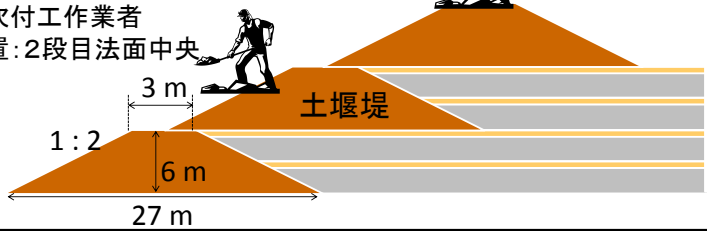
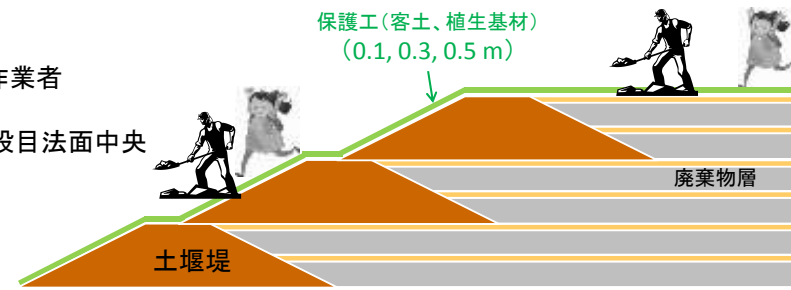
施工時 ・建設作業 ・植栽作業 ・周辺居住	【かさ密度】 盛土:2.0 g/cm³, 覆土:1.5 g/cm³ ●建設作業・周辺居住 ●植栽作業者 盛土施工後はすぐに覆土が施工されると想定 (盛土露出時間:4日間) 											
供用時 ・施設点検 ・伐採作業 ・周辺居住	・ 海岸防災林完成後の被ばくは、盛土からの放射線の他に最初の伐採以後の成長した樹木と、伐採木が地面へ堆積されている状態からの両者の放射線の影響を、経時的に考慮する。 ・ 樹木への核種の移行は、根系の伸長速度(4cm/月)より、植栽後2年で起こると仮定。  <table border="1" data-bbox="1181 771 1916 1192"><thead><tr><th>評価時期</th><th>線源</th></tr></thead><tbody><tr><td>0年・植栽前</td><td>盛土のみ</td></tr><tr><td>植栽後0年</td><td rowspan="3">盛土＋樹木</td></tr><tr><td>植栽後2年</td></tr><tr><td>植栽後7年・伐採前</td></tr><tr><td>植栽後7年・伐採後</td><td rowspan="2">盛土＋樹木＋伐採木</td></tr><tr><td>植栽後17, 27, 37, 47年 (伐採前・後)</td></tr></tbody></table>	評価時期	線源	0年・植栽前	盛土のみ	植栽後0年	盛土＋樹木	植栽後2年	植栽後7年・伐採前	植栽後7年・伐採後	盛土＋樹木＋伐採木	植栽後17, 27, 37, 47年 (伐採前・後)
評価時期	線源											
0年・植栽前	盛土のみ											
植栽後0年	盛土＋樹木											
植栽後2年												
植栽後7年・伐採前												
植栽後7年・伐採後	盛土＋樹木＋伐採木											
植栽後17, 27, 37, 47年 (伐採前・後)												
供用時 地下水移行	・再生資材を使用する部材のみをソースタームに設定 ・盛土への浸透水量:1.6 m/y (福島県浜通り沿岸の平年雨量の最大値) ・盛土の空隙率:0.3 ・盛土の収着分配係数:270 mL/g (IAEA TRS No.364, 土壌、砂) ・完成道路盛土端から海／井戸までの距離:0 m											

参考資料①-4(1) 最終処分場を例にした検討経路

経路	検討対象			線源	対象者	被ばく形態	備考
1	施工時	最終処分場への運搬	積み下ろし作業	再生資材	作業者	外部	
2						粉塵吸入	
3						直接経口	
4			運搬作業	再生資材	作業者	外部	
5			運搬経路 周辺居住	再生資材	一般公衆(子ども)	外部	
6		最終処分場施工	敷き均し・締固め	中間覆土/最終覆土/土堰堤※1	作業者	外部	※1 経路6-8, 10-16は使用される部材に応じたケース分けを行う。 ※2 経路9は土堰堤に使用したケースのみ実施。 ※3 保護工厚さを変動させた評価を実施。
7						粉塵吸入	
8						直接経口	
9			保護工(客土、植生基材)施工	土堰堤※2	作業者	外部	
10			周辺居住	中間覆土/最終覆土※1	一般公衆(成人)	外部	
11					一般公衆子ども)	粉塵吸入	
12						外部	
13						粉塵吸入	
14	供用時	最終処分場完成後	保護工補修	中間覆土/最終覆土/土堰堤※1	作業者	外部	※使用される部材に応じたケース分けを行う。
15			跡地の利用	中間覆土/最終覆土/土堰堤※1,3	一般公衆(子ども)	外部	
16			周辺居住	中間覆土/最終覆土※1,3	一般公衆(子ども)	外部	
17		地下水移行	飲料水摂取	井戸水	一般公衆(成人)	経口	
18					一般公衆(子ども)	経口	
19			農耕作業	井戸水で灌漑した土壌	作業者	外部	
20						粉塵吸入	
21			農作物摂取	灌漑した土壌で生産された農作物	一般公衆(成人)	経口	
22					一般公衆(子ども)	経口	
23			畜産物摂取	灌漑した土壌で生産された畜産物	一般公衆(成人)	経口	
24					一般公衆(子ども)	経口	
25			畜産物摂取	井戸水で飼育された畜産物	一般公衆(成人)	経口	
26					一般公衆(子ども)	経口	
27			養殖淡水産物摂取	井戸水で養殖された淡水産物	一般公衆(成人)	経口	
28					一般公衆(子ども)	経口	

参考資料①-4(2) 最終処分場を例にした検討条件の詳細

- 3段の土堰堤を有する最終処分場を想定。外部被ばくの評価体系は「全国都市清掃会議、廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領 2010改訂版」を参照。
- 埋設終了後は、土堰堤法面、埋立地上面に保護工(客土、植生基盤)が0.1~0.5m吹付けられ、10年後に公園等にご利用されるとした。
- 最終処分場から周辺居住者(住宅)までの距離は、宮城県、千葉県の基準を参考に50mとした(上流側のみ)。

線源	中間覆土または最終覆土	土堰堤
施工時: 最終処分場 建設	処分場面積: 200m × 200m 中間覆土(土壌): 厚さ0.5m、2.0 g/cm³ 最終覆土(土壌): 厚さ0.5m、1.5 g/cm³ 廃棄物(コンクリート): 厚さ3.0m、1.6 g/cm³ 周辺土壌(土壌): 1.5 g/cm³ 覆土の敷き均し、締固め作業者 被ばく時間: 1,000 h/y 遮蔽係数: 0.4(重機を使用) 評価位置: 処分場上面中央  周辺居住者 被ばく時間: 8,760 h/y 遮蔽係数: 0.2(20%屋外) 評価位置: 処分場 端から50m	土堰堤施工に係る作業者 被ばく時間: 1,000 h/y 遮蔽係数: 1.0(人力、遮蔽なし) 保護工吹付工作業者 評価位置: 2段目法面中央  敷き均し、締固め作業者 評価位置: 3段目上面中央
供用時: 保護工補修 跡地利用 周辺居住	保護工(土壌): 厚さ0.1~0.5m 1.7 g/cm³ 【土堰堤】 保護工補修作業者 跡地利用者 評価位置: 2段目法面中央  【中間覆土、最終覆土】 保護工補修作業者、跡地利用者 評価位置: 処分場上面中央 【中間覆土、最終覆土】 周辺居住者 評価位置: 処分場端から50m 保護工(客土、植生基材) (0.1, 0.3, 0.5 m) 最終覆土 中間覆土 廃棄物層 土堰堤 1 h/dの利用 を想定 1年間住み続ける ことを想定 保護工補修作業 被ばく時間: 1,000 h/y 遮蔽係数: 1.0(人力、遮蔽なし) ※保護工が剥がれた状態を想定 跡地利用者(埋設10年後に利用) 被ばく時間: 400 h/y 遮蔽係数: 1.0(遮蔽なし) ※保護工による遮蔽を考慮 周辺居住者 被ばく時間: 8,760 h/y 遮蔽係数: 0.2(20%屋外)	
供用時: 地下水移行	- 再生資材を使用する部材のみをソースタームに設定 - 最終処分場への浸透水量: 0.4 m/y	- 空隙率: 0.25(中間覆土、土堰堤)、0.43(最終覆土) - 土壌の収着分配係数: 270 mL/g (IAEA TRS No.364, 土壌、砂) - 最終処分場端から井戸までの距離: 0 m

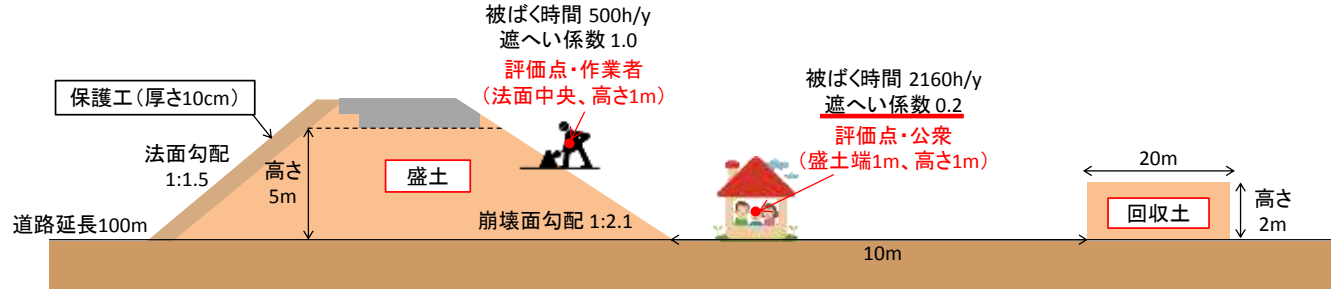
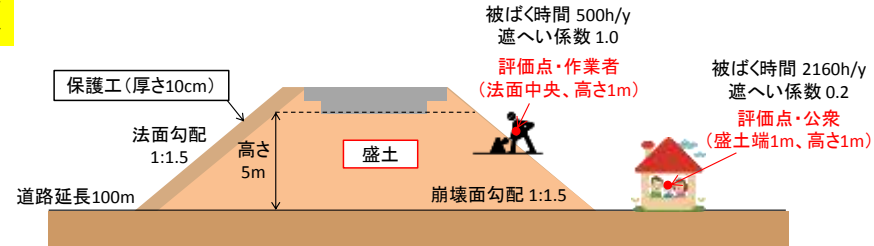
参考資料②-1(1) 道路・鉄道盛土の災害・復旧時被ばく経路

- 盛土の破損形態に対する調査結果に基づき、災害時の道路・鉄道盛土の破損形態として、
Ⅰ. すべり崩壊、Ⅱ. 法面崩壊、Ⅲ. 分断崩壊の3つを検討。

盛土の破損形態、イメージ	盛土の変状・崩壊現象	復旧方法	被ばく経路
Ⅰ すべり崩壊  - 盛土内部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。 - 再生土の露出面としては「Ⅱ 法面崩壊」と同様。Ⅱに比べてより規模が大きく再生土を含む崩壊土が近隣住居付近まで移動し、その線源からの線量寄与も考えられる。	A1: 軟弱層上での円弧すべり・沈下変形 A3: 地すべり地帯での大崩壊 B3: 表面水による洗掘・崩壊 B4: 地盤と盛土との境界面に沿った崩壊 B6: 土石流による法面崩壊 C1: 間隙水圧作用による崩壊 D1: 間隙水圧上昇による大規模な流動的崩壊 D2: 不安定な基礎地盤とともに崩壊	- 崩落土を撤去した後、崩落面の地質調査を行う。 - 地質自体に問題が無ければ、再度盛土を成型する。成形の際、土砂を詰めたフレコンバックを積み上げ、支持工を打ち込み固定させる手法が多く用いられる。	収集・保管した崩落土と残存盛土部を線源とし、復旧時の壊面整地作業、盛土敷設、支保工打ち込み等の作業（外部、粉塵吸入、直接経口摂取）及び周辺住民（外部）の被ばくを検討。
Ⅱ 法面崩壊  - 盛土法面の表層が流出、崩壊するケース。 - 法面覆工材部のみが崩落し、内部の再生土が露出する状態を想定。	B1: 雨水の表面侵食によるガリ（掘れ溝）の発生 B2: 雨水の浸透による表層すべり D4: 表層すべり・腹付盛土の変形	- 崩落土を撤去した後、崩落面の地質調査を行う。 - 地質自体に大きな問題が無ければ、崩落防止の為支持工を打ち込む盛土を固定し、再度、法面保護工を行う。	盛土法面の覆土のみが崩落し線源が露出した状態での支持工打ち込み作業及び法面保護作業における作業員及びその周辺住民の被ばくを検討。
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。 - 天端部は分断により部分的に遮蔽能力が失われているが、法面については崩壊に至らず変位に留まり、遮蔽能力は失われていないものと考えられる。	D3: 基礎地盤の液状化による崩壊	- 盛土上部の分断している箇所については天端構造物の撤去後、再度盛土の敷設となる。 - 法面についてはこれ以上の崩壊を防ぐため、支持工打ち込みや法面保護工を行う。	盛土上部の分断している箇所に対し盛土上部の撤去・整地が行われるため、盛土上部が撤去・整地され、再生土が上面でオープンになっている状態を想定する。この状態での盛土敷設、支保工打ち込み等の作業員及び周辺住民の被ばくを検討。

参考資料②-1(2) 道路・鉄道盛土の災害・復旧時検討条件の詳細

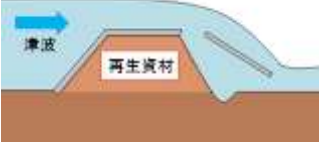
- 代表的に、道路盛土に対して検討を実施する(鉄道盛土:一般道路の体系と同様)。
- 被ばく期間は、事例調査による復旧期間の最大値3ヶ月に基づき、その間の労働時間60日間と仮定する。

I.すべり崩壊	検討対象:すべり崩壊により崩壊した盛土および回収土からの被ばく  被ばく時間 500h/y 遮へい係数 1.0 評価点・作業者 (法面中央、高さ1m) 被ばく時間 2160h/y 遮へい係数 0.2 評価点・公衆 (盛土端1m、高さ1m) 保護工(厚さ10cm) 法面勾配 1:1.5 高さ 5m 道路延長100m 崩壊面勾配 1:2.1 10m 20m 高さ 2m 回収土 ➤ 崩壊面の勾配 : 1:2.1 (事例調査¹⁾による崩壊後の傾斜角24~27° より設定) ➤ 回収土体系 : 20m四方×2m (フレコンバックを2段積み上げた場合を想定)
II.法面崩壊	検討対象:法面崩壊により露呈した盛土からの被ばく ➤ 崩壊面の勾配 1:1.5 (安全側に立って保護工のみが崩壊した場合を想定) ➤ 崩壊した保護工は線源を含まないことから、回収土による被ばくは検討対象としない。  被ばく時間 500h/y 遮へい係数 1.0 評価点・作業者 (法面中央、高さ1m) 被ばく時間 2160h/y 遮へい係数 0.2 評価点・公衆 (盛土端1m、高さ1m) 保護工(厚さ10cm) 法面勾配 1:1.5 高さ 5m 道路延長100m 崩壊面勾配 1:1.5
III.分断崩壊	検討対象:分断崩壊により露呈した盛土からの被ばく ➤ 崩壊後の盛土形態:道路部分を全て剥がした状態 (安全側に立って盛土上面が全て露呈している状態を想定) ➤ 崩壊した道路部分の多くは道路部材(非線源)であることから、回収土による被ばくは検討対象としない。  被ばく時間 500h/y 遮へい係数 1.0 評価点・作業者 (天端中央、高さ1m) 被ばく時間 2160h/y 遮へい係数 0.2 評価点・公衆 (盛土端1m、高さ1m) 保護工(厚さ10cm) 法面勾配 1:1.5 高さ 5m 道路延長100m

1) 土木学会、「2007年能登半島地震による能登有料道路の大規模盛土斜面崩壊原因の分析」

参考資料②-2(1) 防潮堤の災害・復旧時被ばく経路

- 地震動による防潮堤の亀裂の発生、基礎地盤の液状化による防潮堤の沈下は考えられるが、遮へい機能は維持されるため、地震による災害シナリオは検討対象から除外。
- 自然災害による防潮堤の破損に対する文献調査^{1～5)}を実施し、代表的な破損形態を整理。
- 防潮堤の破損として、Ⅰ. 決壊・流出、Ⅱ. 法面崩壊の2つを検討対象として選定。

防潮堤の破損形態、イメージ	災害事例(発生場所、破損規模)	復旧方法	被ばく経路
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。 - 堤防が切り取られた形状と成り、決壊面に再生資材が露出する状態を想定。	【津波】 東日本大震災(2011) 大船渡市(岩手) : 570m 山田町(岩手) : 412m 田老海岸(岩手) : 200m 野田海岸(岩手) : 120m 金浜地区(岩手) : 35m 御伊勢浜海岸(宮城) : 265m 松崎尾崎の海岸(宮城) : 350m	- 現地盤の調査・地盤改良(安定化等)を行う。 - 地質自体に大きな問題が無ければ、破損部分への再盛土により再構築を行う。	- 復旧作業(線源: 決壊により露呈した盛土、流出し広範囲に分布した盛土) - 決壊面付近での調査・現地盤改良作業、および、決壊によって流出し広範囲に分布した盛土の回収作業の被ばくを検討。 (※周辺居住者は、大規模な津波発生時には避難しているとし、検討対象から除外。) - 海へ流出した盛土により汚染された海産物を摂取する一般公衆(成人・子ども)
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。 - 法面覆工コンクリートのみが崩落し内部の再生資材が露出するモデルを想定。	【津波】 東日本大震災(2011) 市川海岸(青森) : 1km 横道海岸(青森) : 1km 百石海岸(青森) : 1km 三沢海岸(青森) : 180m 長浜海岸(宮城) : 50m 南浜町(宮城) : 20m	- 盛土破損面の調査および改良を行う。 - 大きな問題がなければ、法面覆工コンクリートの再設置を行う。	復旧作業(線源: 洗掘により露呈した盛土) 崩壊面付近での法面覆工コンクリートの施工作業に対する被ばく(外部)を検討。 (※内部被ばくについては、Ⅰ. 決壊・流出で検討するため、検討対象から除外。)
Ⅲ 倒壊(パラペット)  津波到達時の衝撃によって、堤防のパラペット部(堤防上部に設置される胸壁)が倒壊するケース。	【高波】 台風23号(2004) 菜生海岸(高知) : パラペット部(高さ1m)	倒壊したパラペット部を撤去し、新たなパラペットの設置・固定を行う。	破損部分はパラペットのみであり、線源である盛土の露呈・流出等は想定されないため、検討対象から除外する。
Ⅳ ひび割れ・沈下 地震動による亀裂の発生/地盤沈下により、堤防全体が沈下するケース	【地震】 新潟県中越沖地震(2007) 観音岬(新潟) : 30m	- ひび割れ箇所、のモルタル充填 - 基礎補強工事	堤防盛土の被覆そのものには重大な損傷が無く、遮へい能力は失われることは無いとして検討対象から除外

1) 地盤工学ジャーナル、「青森県・岩手県北部における地震と津波による複合地盤災害」(2012)
 2) 土木学会論文集、「2011年東北地方太平洋沖地震津波による岩手県宮古市の津波被害調査」(2012)
 3) 地盤工学会、「2011年東北地方太平洋沖地震調査 宮城県北部の地盤災害調査速報」(2011)

4) 岩手県農林水産部、「希望郷いわて農業・農村復興への歩み」(2014)
 5) 国土技術研究センター、「高知県菜生海岸における被災事例調査」(2005)

参考資料②-2(2) 防潮堤の災害・復旧時検討条件の詳細

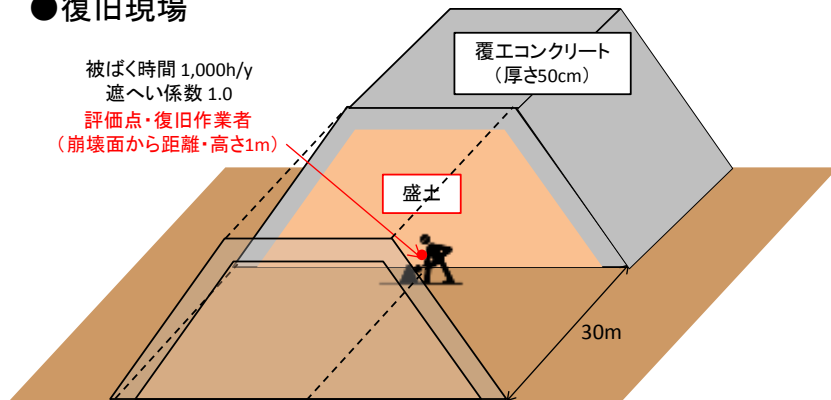
- 代表的に、傾斜堤に対して検討を実施する。
- 防潮堤の津波による災害の場合、復旧作業は長期に及ぶケースも考えられるため、作業者の被ばく期間は安全側に立って施工時と同じ1,000h/yと仮定する。

I. 決壊・流出

検討対象：決壊により露呈した盛土(2面)および流出により発生した津波堆積土からの被ばく

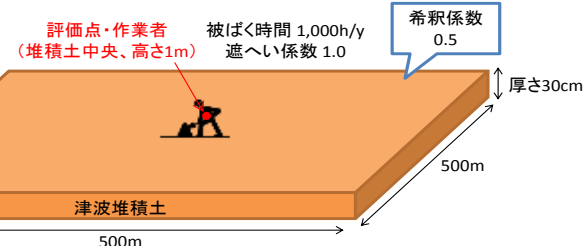
●復旧現場

被ばく時間 1,000h/y
遮へい係数 1.0
評価点・復旧作業者
(崩壊面から距離・高さ1m)



- 決壊延長距離: 30m
(事例調査結果における決壊延長距離の最小値)

●崩壊土回収現場



- 津波堆積土の分布範囲: 500m四方
(外部被ばく線量が収束する程度の範囲)
- 津波堆積土の厚さ: 30cm
(津波による堆積土に対する事例調査※における堆積土厚さの最大値)

検討対象：海への盛土の流出により汚染した海産物摂取による被ばく

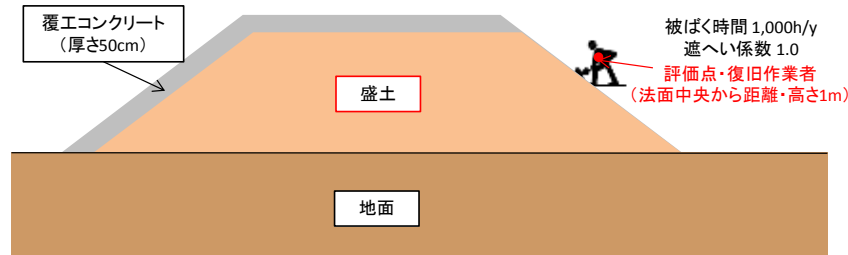
- 盛土の流出量: 延長500mの防潮堤にある盛土全量
(事例調査¹⁾の最大値570mより設定)

- 海水交換水量: $8.0E+09 \text{ m}^3/\text{y}$ (国内平均大潮期における潮流最小値0.255m/sと安全側に仮定した混合面積1,000m²より設定)

II. 法面崩壊

検討対象：法面崩壊により露呈した盛土からの被ばく

- 安全側に立って法面に施工された覆工コンクリートの全てが洗掘による法面崩壊で流出したと想定する。
- 決壊延長距離: 500m
(建設時と同じ距離(外部被ばく線量が収束する程度の距離)とした)



1) 常田 賢一、Rakhmadyah Bayu、谷本隆介、中山義久、「2011年東北地方太平洋沖地震の津波による堆積土の堆積特性に関する調査」

参考資料②-3(1) 海岸防災林の災害時被ばく経路

- 海岸防災林において想定される災害(津波、火災、暴風・竜巻、地震、豪雨)について、文献調査に基づき、各災害に対する検討条件を整理。
- 海岸防災林で検討対象とする災害として、津波と火災の2つを選定。

自然災害	災害事例(発生場所、規模)	想定される被ばく	被ばく経路
津波	東日本大震災(2011) ・宮城、岩手、福島他 ・幅50～800m、高さ1.0～5.5m	・大規模な津波による破壊で発生した津波堆積土からの被ばく ・海へ流出した盛土により汚染した海産物摂取による被ばく	・復旧作業者 (周辺居住者は大規模な津波発生時には避難しているとし、検討対象から除外) ・海産物を摂取する一般公衆(成人、子ども)
火災	秋田県能代市(1943):21ha消失 【参考】福島県における一般の森林火災 ・鹿嶋町(1977)、204.90ha ・川内村(1982)、63.00ha ・塙町、鮫川村(1987)、204.80ha ・船引町(1996)、78.99ha ・浪江町(1999)、24.80ha ・いわき市(2005)、36.40ha ・保原町(2005)、14.00ha	火災により発生したプルーム由来の被ばく	消防士、周辺居住者に対する ・外部被ばく(クラウド、地表沈着したCsからの被ばく) ・内部被ばく(クラウド、再浮遊したCsの吸入による被ばく)
暴風・竜巻	海岸防災林での事例はなし 【参考】過去20年間の主な風倒木被害 ・台風7号災(2000) 大阪・奈良・和歌山、計4,552ha ・台風18号災(2001) 熊本・大分・鹿児島、計3,858ha	倒木した樹木からの被ばく	伐採作業者において同様の被ばくを評価しているため、検討対象から除外
		倒木した樹木の根返りにより露呈した盛土からの被ばく	本評価の設定(覆土1m)では盛土が露呈する可能性は低いため、検討対象から除外
地震	海岸防災林での事例はなし	崩壊により露呈した盛土からの被ばく	再生資材を覆う覆土の厚さが1mである場合、盛土のすべり崩壊・法面崩壊・分断破壊のいずれにおいても再生土壌が露出する可能性が低いため、検討対象から除外
豪雨	海岸防災林での事例はなし		

参考資料②-2(2) 海岸防災林の災害時検討条件の詳細

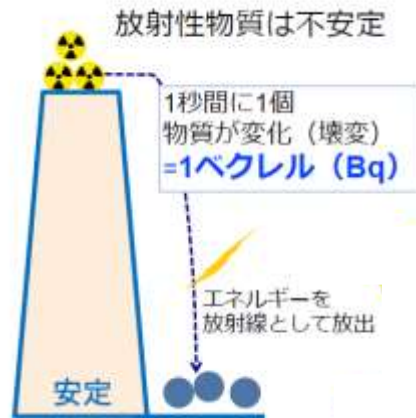
海岸防災林の盛土材として除去土壌を再利用した場合に、火災・津波により何らかの損壊が発生した場合の追加被ばく線量について検討を行う。検討は、各自然災害に特有な損壊により生じる公衆・作業者の被ばくに対して実施する。

自然災害	火災	津波
検討対象	火災により発生したプルームからの被ばく	・津波により広範囲に分布した津波堆積土からの被ばく ・海へ流出した盛土により汚染された海産物摂取による被ばく
検討経路	周辺居住者・消防士に対する ・外部被ばく(クラウド、地表沈着したCsからの被ばく) ・内部被ばく(クラウド、再浮遊したCsの吸入による被ばく)	・復旧作業員に対する外部被ばく ・海産物を摂取する一般公衆(成人・子ども)に対する内部被ばく
評価体系	➢ 想定する火災の規模: 延焼面積20ha、延焼期間1日 (既往の森林火災評価¹⁾での最大値) ➢ 検討時期:37年後 (海岸防災林樹木中のCs濃度が最も高くなる時期) ➢ 検討条件 既往の森林火災評価¹⁾を踏襲し様々な大気の状態に対して計算を行い、最も影響が大きくなる条件を導出。 ・大気安定度:A型(不安定)、D型(中立)、F型(安定) ・プルーム上昇高さ: 100,200,500m ・周辺居住者 ・消防士 最も濃度の高い地点で影響を評価 ¹⁾独立行政法人原子力安全基盤機構、「警戒区域及び計画的避難区域内での大規模火災の影響評価に関する調査報告書」、JNES-RE-2011-0004	・復旧作業員 ➢ 線源: 津波堆積土(盛土と覆土が均質に混合すると仮定) ・厚さ→ 津波堆積物に対する調査結果²⁾の最大値 ・半径→ 被ばく線量の値が収束する程度の値 ➢ 被ばく時間: 1,000 h/y 年間労働時間のうち半分の時間を、復旧作業に費やすと仮定 ・一般公衆(海産物摂取) ➢ 盛土の流出範囲: 海岸防災林(幅200m、延長500m)内にある盛土の全量が流出すると仮定 ➢ 海水交換水量: 8.0E+09 m³/y(国内の平均大潮期における潮流最小値0.255 m/sと安全側に仮定した混合面積1,000 m²より設定) ²⁾常田 賢一、Rakhmadyah Bayu、谷本隆介、中山義久、「2011年東北地方太平洋沖地震の津波による堆積土の堆積特性に関する調査」

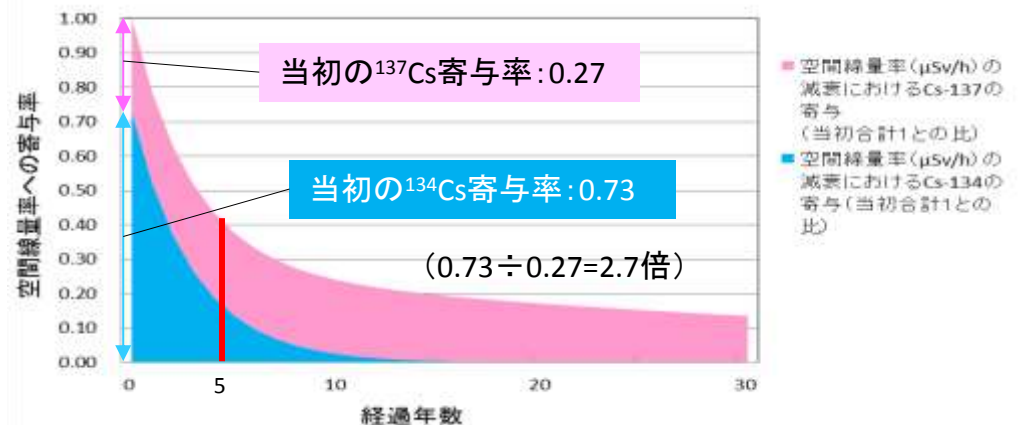
参考資料③-1 既往の評価と今回の評価例との比較

- ^{134}Cs と ^{137}Cs を比較すると ^{134}Cs の方が ^{137}Cs の約2.7倍程度空間線量率に寄与する放射線を放出する。一方、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の存在比は、事故当初にはおおむね1対1であったが、 ^{134}Cs (半減期約2年)は ^{137}Cs (半減期約30年)に比べ早く物理減衰し、H28年3月時点では $^{134}\text{Cs} : ^{137}\text{Cs} = 0.209 : 1$ (約1:5)である。
- そのため、空間線量率が一定になるようにして比較した場合、時間の経過に伴い除去土壌等の放射能濃度としては増加することとなる。

放射性物質の壊変と空間線量率への寄与度



^{134}Cs と ^{137}Cs では、同じ1ベクレルであっても空間線量率への寄与度は、 ^{134}Cs の方が ^{137}Cs に比べて約2.7倍大きい



放射性セシウムの物理減衰を踏まえた空間線量率への寄与率の推移

物理減衰を踏まえた既往の放射能濃度レベルの評価(例:道路下層路盤材(コンクリートがれき)) ※

年	濃度 (供用中0.01mSv/相当濃度)	濃度 (施工時1mSv/相当濃度)
H23	2,600 Bq/kg	4,100 Bq/kg
H28	3,700 Bq/kg	5,500 Bq/kg

時間の経過に伴い ^{134}Cs の物理減衰(半減期(2.1年))が進むことで、0.01mSv(又は1mSv)相当濃度は高くなる

今回の評価(例:道路盛土(一般道路))

年	濃度 (施工時1mSv/相当濃度)
H28	6,600 Bq/kg

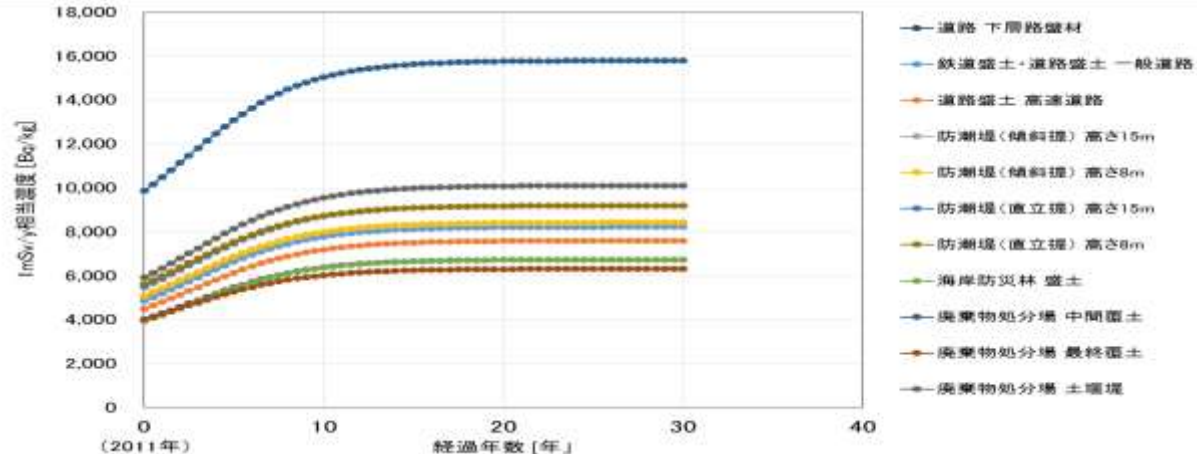
※ 「管理された状態での 災害廃棄物(コンクリートくず等)の再生利用について」(平成23年12月27日環境省)より H23年(事故当初) ^{134}Cs と ^{137}Cs の存在比1:1で再計算した値

供用中の追加被ばく線量を0.01mSv以下とするには覆土等の厚さを50cm確保すればよい。

参考資料③-2 年間1mSv相当濃度の経時変化

- 放射性セシウムは物理減衰するため、追加被ばく線量評価は再生利用時の¹³⁴Csと¹³⁷Csの存在比を考慮して実施する必要がある。
- 今回の被ばく線量評価を踏まえた年間1mSv相当濃度は平成28年3月現在の¹³⁴Csと¹³⁷Csの存在比を基に算出しているが時間経過に伴い濃度は高くなることから、より安全側に変化することとなる。

事故時からの 経過年数	1mSv/y相当濃度「Bq/kg」										
	道路 下層路盤材	鉄道盛土・ 道路盛土 (一般道路)	道路盛土 (高速道路)	防潮堤(傾斜堤)		防潮堤(直立堤)		海岸防災 林 盛土	廃棄物処分場		
				高さ15m	高さ8m	高さ15m	高さ8m		中間覆土	最終覆土	土堰堤
0(2011(H23)年)	4,000	4,900	4,500	5,000	5,100	5,500	5,600	4,000	9,900	4,000	5,900
5(2016(H28)年)	5,500	6,600	6,100	6,800	6,900	7,500	7,500	5,400	13,100	5,300	8,100
10(2021(H33)年)	6,400	7,800	7,200	8,000	8,000	8,700	8,700	6,400	15,000	6,000	9,500
15(2026(H38)年)	6,700	8,100	7,500	8,300	8,300	9,100	9,100	6,700	15,600	6,300	10,000
20(2031(H43)年)	6,700	8,200	7,600	8,400	8,400	9,200	9,200	6,700	15,800	6,300	10,100
25(2036(H48)年)	6,700	8,200	7,600	8,400	8,400	9,200	9,200	6,700	15,800	6,300	10,100
30(2041(H53)年)	6,700	8,200	7,600	8,400	8,400	9,200	9,200	6,700	15,800	6,300	10,100

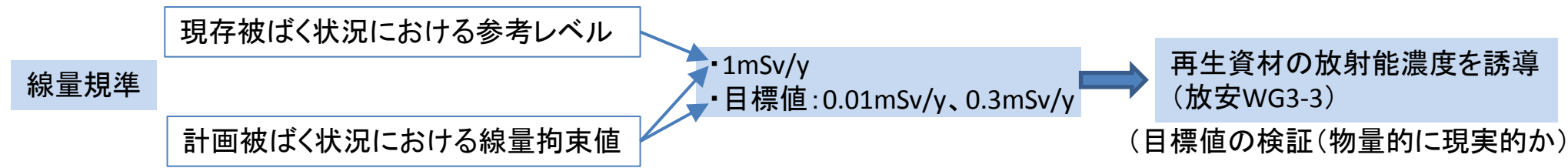


参考資料④-1 除去土壌等の再生利用とクリアランスの比較

	除去土壌の再生利用	クリアランス
関係法律	放射性物質汚染対処特措法	原子炉等規制法等
考え方	○事故により原子力施設外に広く飛散した放射性物質に汚染された土壌のうち、除染等の後、中間貯蔵施設に集約し減容処理したものを、特措法に基づく基準に従って被ばく線量を制限するための適切な措置を講じた上で、用途を限定し管理された状態で使用する。	○原子力施設等の解体等で発生するもののうち、放射性物質として取り扱う必要のないものについて、原子炉等規制法等の放射線防護に係る規制の枠組みから除外して制約なく利用する。
対象物	○除去土壌等	○金属くず、コンクリート破片、ガラスくず（ロックウール及びグラスウールに限る）
管理	○有り ・使用の限定（保管場所・使用場所・持ち出しの管理） ・追加被ばくの制限（放射能濃度の管理、遮へい及び飛散・流出の防止）	○無し
使用制限	○ 再利用先は、管理主体や責任体制が明確となっている一定の公共事業における盛り土材等に限定し、追加被ばく線量を制限するための再生資材の放射能濃度の設定及び覆土材等の遮へい措置を講じた上で、適切な管理の下で実施する。	○無し
参照する追加被ばく線量	○施工時、修復時等も含め1mSv/y以下。なお、一般公衆が長期にわたって利用する供用時は、0.01mSv/y以下	○0.01mSv/y以下

参考資料⑤-1 線量目標値と利用可能な再生資材の物量的相場観の検討

- 線量規準から再生資材の放射能濃度を誘導する。
- 再生資材の放射能濃度を100Bq/kg、1,000Bq/kg、3,000Bq/kg、8,000Bq/kgに設定した場合の最終処分量や再生処理コストがどうなるかを推定した。
- 経済的・社会的な要因を考慮すれば、合理的な再生資材の放射能濃度は、数千Bq/kgが妥当。



再生資材の放射能濃度(Bq/kg)	100	1,000	3,000	8,000
H27時点における上記濃度以下の物量の推定(万 ³ m)	0	170	491	973
最終処分量の推定(万 ³ m)	853	29	10	4
減容率(%)	61	98.7	99.5	99.8
再生処理コスト(億円)	29,127	33,176	21,185	13,450

既往評価(道路の下層路盤材や海岸防災林の盛土への再生資材利用)を参考に、作業者の追加被ばくの日安線量から放射能濃度を推定。0.01mSv/yは100Bq/kg-Cs137クリアランスレベルとした。

注): 再生処理コストは技術実証試験等の結果より推定。なお最終処分コストは別途要推定。

参考資料⑤-2 約100 Bq/kg相当(クリアランスレベル)まで減衰に要する期間

		減衰期間(年数)				
再生利用開始時の 放射性セシウム濃度 [Bq/kg]	再生利用開始時 [年]	500	1,000	3,000	5,000	10,000
	2016	62	92	140	163	183
	2019	67	97	145	167	198
	2022	69	99	147	169	200
	2025	70	100	148	170	200
	2028	70	101	148	171	201
	2031	70	101	148	171	201
	2034	71	101	149	171	201
	2037	71	101	149	171	201
	2040	71	101	149	171	201
	2043	71	101	149	171	201
	2046	71	101	149	171	201

希釈考慮なし Cs134:Cs137 = 0.209:1 (2016年3月時点)

参考資料⑥-1 安全な再生利用のための基本的な考え方

➤ 除去土壌の再生利用は、利用先を管理主体や責任体制が明確となっている一定の公共事業等における盛土材等の構造基盤の部材に限定し、追加被ばく線量を制限するための再生資材の放射能濃度の設定及び覆土等の遮へい措置を講じた上で、適切な管理の下で実施する。

- 再生資材の使用を限定するための措置
⇒管理主体や責任体制が明確となっている一定の公共事業等の盛土材等の構造基盤の部材に限定するとともに、紛失防止のための管理を行う。
- 被ばく線量を制限するための措置
⇒用途ごとの被ばく評価を基に再生資材の放射能濃度の設定及び覆土等により遮へい及び飛散・流出を防止する設計・施工・管理を行う。

管理目的	管理要件	出荷	施工	供用	災害(復旧)	備 考
使用の限定	(1) 保管場所・使用場所・持ち出し	①	②	③	④	再生資材の保管場所・使用場所・持ち出しを管理するとともに、記録を作成・保管する。
追加被ばくの制限	(2) 放射能濃度	⑤	×	×	×	線量評価に基づき設定した放射能濃度は出荷時に担保する。
	(3) 遮へい及び飛散・流出の防止	—	⑥	⑦	⑧	(施工時・災害時(復旧)) ・出来形検査により設定した遮へい厚以上になっていることを確認する。 ・粉じん発生防止等により再生資材の飛散・流出を防止する。 (供用時) 土木構造物の目視点検等により、遮へい厚が損なわれるような異常がないことを確認する。

施工： 再生資材が露出した状況での工事(供用中の再生資材が露出する補修工事および災害復旧工事を含む)
供用： 覆土等により遮へいがなされている状態での施設利用(再生資材が露出しない補修工事も含む)
災害： 再生資材が露出した状況

参考資料⑥-2 安全な再生利用のための基本的な考え方

放射線防護のための管理のイメージ(1/3)

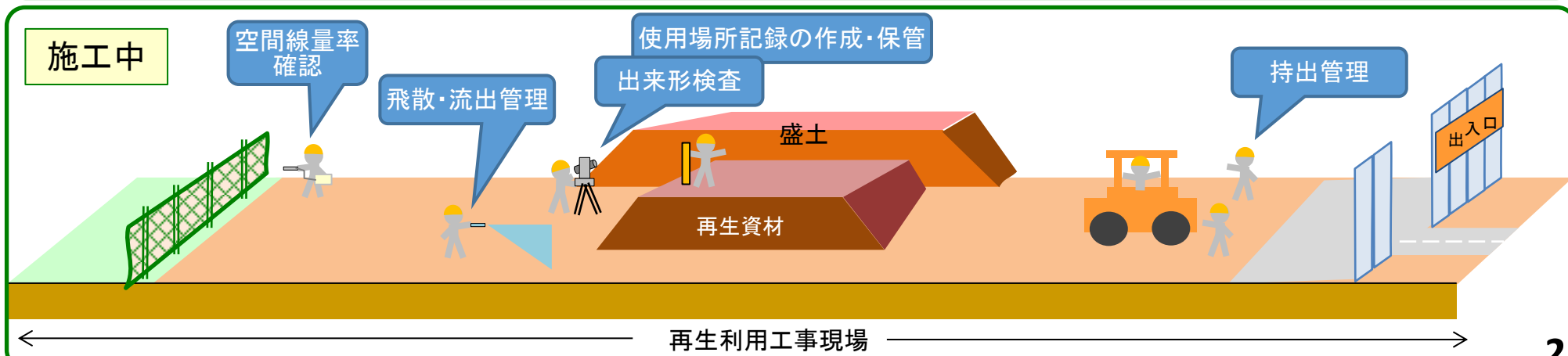
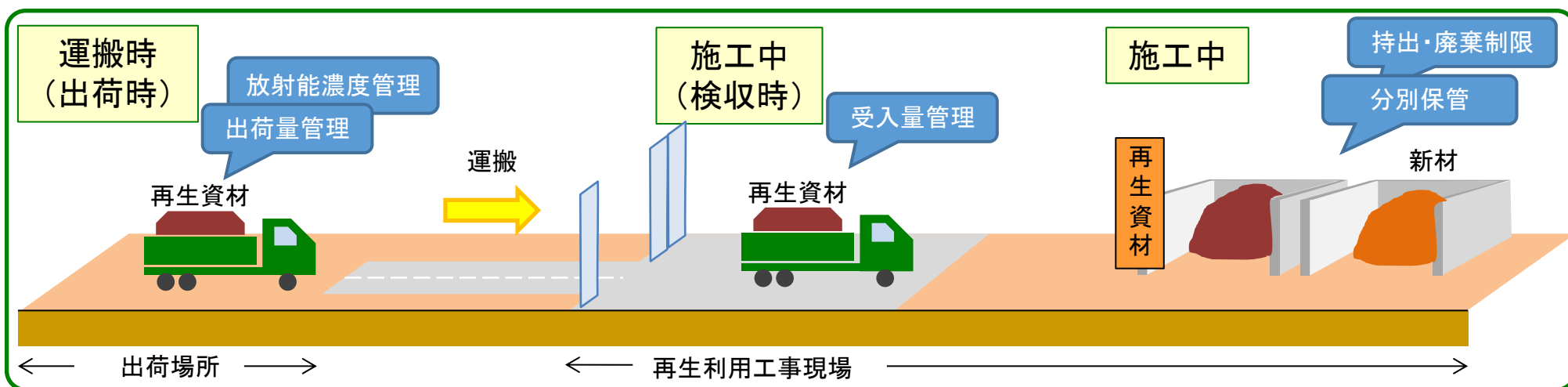
管理時期 (いつ)	管理内容 (何を)	対象者(誰が・何のために)			
		出荷者	施工者	供用 管理者	災害 (復旧) 対応者
出荷時	出荷時、再生資材の放射能濃度(Bq/kg)、払出量(m ³)を管理する	①⑤	—	—	—
施工中	検収時、再生資材の受け入れ量を管理する。	—	②	—	—
	再生資材の使用場所を区画設定する。	—	②	—	④
	工程ごとに、出来形検査を行い、使用場所記録を作成・保管する。	—	②	—	④
	再生資材の飛散・流出抑制を行う。	—	⑥	×	⑧
	空間線量率の確認を行う。	—	⑥	×	⑧
供用中	遮へい厚が確保されていることを目視点検する。	—	—	③⑦	—
災害時	可能な限り早期に原形復旧を行う。	—	—	—	④⑧

* 丸数字：前頁の管理要件の数字と対応。* 電離則又は除染電離則が適用される場合は、その規定に従った管理を行う。

参考資料⑥-3 安全な再生利用のための基本的な考え方

放射線防護のための管理のイメージ(2/3)

- 作業者が放射線防護のために追加的な措置を講じることなく施工できるように、再生資材の放射能濃度を設定するが、安全性に万全を期すため、今後、利用者側の実態等も踏まえた以下のような管理方策について検討を進める。
- ✓ 出荷時から施工時に至るまで、再生資材の紛失・目的外使用防止のために必要な措置を行う。
 - ✓ 出来形検査を行うとともに、再生資材の使用場所、使用量、放射能濃度に関する記録の作成・保管を行う。
 - ✓ 施工時において追加被ばくを制限するために必要な措置(空間線量率の測定、再生資材の飛散・流出防止等)を行う。

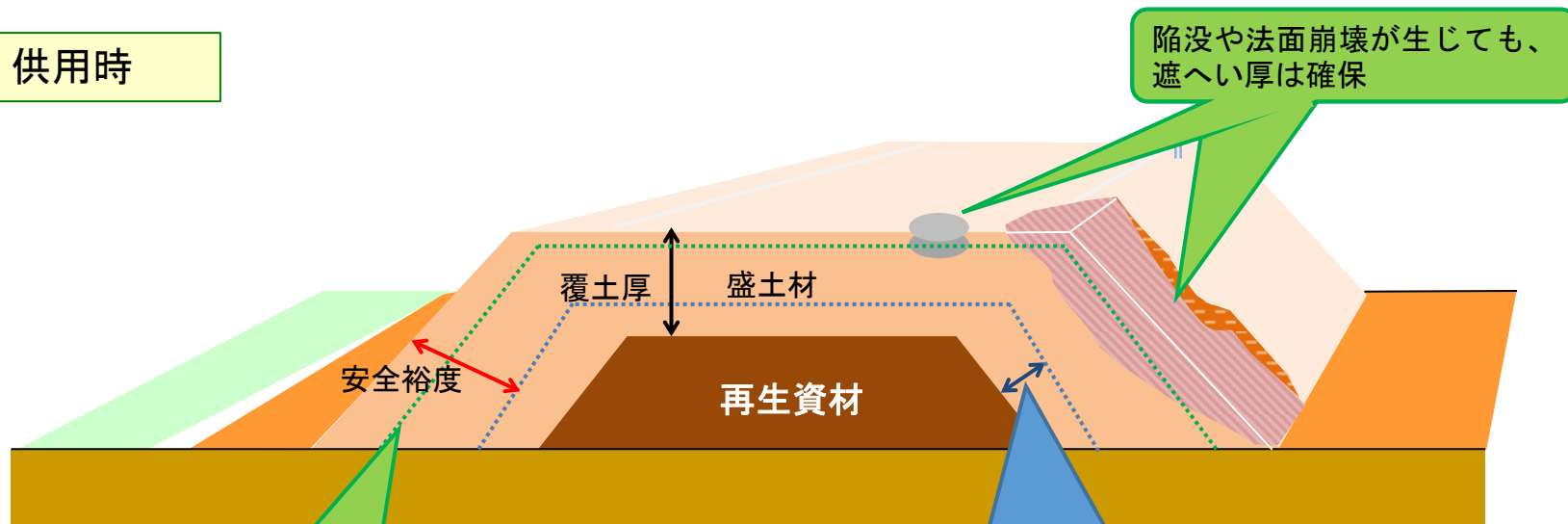


参考資料⑥-4 安全な再生利用のための基本的な考え方

放射線防護のための管理のイメージ(3/3)

- 一般公衆の追加被ばくを放射線防護を必要としないレベルにするため、今後、利用者側の実態等も踏まえた以下のような管理方策について検討を進める。
- ✓ 被ばく線量を制限するための遮へい厚が、土木構造物として通常の修復が行われる場合でも確保されるように再生資材の埋設位置を設計する。
- ✓ 土木構造物を維持するために通常行われる点検管理により、放射線防護も同時に満足されることを確認する。

供用時



土木構造物としての修復措置がなされる目安

被ばくを制限するための遮へい厚

覆土厚は、土木構造物としての通常の補修がなされても被ばくを制限するための遮へい厚が確保されるように設計する。