

平成 28 年度除去土壤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(第 2 回)

平成 28 年 5 月 17 日 (火)
13:00 ~ 15:00
於: JAEA 東京事務所(富国生命ビル)

議事次第

1. 開会

2. 議題

- (1) 減容処理後の浄化物の安全な再生利用に係る基本的考え方について
- (2) 追加被ばく線量評価について
- (3) その他

3. 閉会

配布資料一覧

- WG 2 - 1 平成 28 年度除去土壤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(第1回)議事メモ
- WG 2 - 2 減容処理後の浄化物の安全な再生利用に係る基本的考え方について
(案)(word 版)
- WG 2 - 3 追加被ばく線量評価について

平成 28 年度除去土壤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(第1回)議事メモ

【取扱注意】

1. 日 時: 平成 28 年 4 月 27 日(水) 15:00 ~ 17:10

2. 場 所: JAEA 東京事務所(富国生命ビル)20 階第 1 会議室

3. 出席者(敬称略):

委員: 佐藤委員長、明石委員、飯本委員、木村委員、田上委員、山本委員

環境省: 中間貯蔵チーム 小野、山田、合田、金子、永野、除染チーム: 富田、河原、野本

事務局(JAEA): 油井、宮原、浅妻、武田、岡田、加藤、梅澤、中澤、倉知

オブザーバ: JAEA 吉川、高橋

4. 議事概要:

< 放射線影響安全評価検討 WG の設置について(案) >

・平成 28 年度の検討内容について確認した。

< 放射性物質汚染対処特措法に基づく環境回復措置の概要(案) >

・2011 年 4 月の航空機モニタリング結果を使っているが、最新の結果を使った方が再生利用には良いのではないかと指摘があった。
 ・資料の構成内容について指摘があった。

< 減容処理後の浄化物の安全な再生利用に係る基本的考え方骨子(案) >

・なぜ再生利用が必要なのかを説明する資料が必要であり、ICRP の正当化、最適化の考え方を出して国際的な考え方を取り入れていることを強調してはどうか指摘があった。
 ・再生利用に線量基準で留めないで濃度レベルをなぜ出すのか、利用者の使いやすさから濃度レベルを出しているという説明を入れた方が良いと指摘があった。
 ・注釈の * 2 で一部作文している箇所があるので原文を引用する方が良いと指摘があった。
 ・除去土壤の再生利用とクリアランスの相違でクリアランスの使用制限は原子炉等規制法では金属・コンクリート等使用できるものは決まっているのでそれら資材の特性として用途がある程度制限されるのではないかと指摘があった。またクリアランスは計画被ばくの中で管理された物を管理から外すのと除去土壤は現存被ばく状態を低減する過程で出てきたものを管理して再生利用するということであり、考え方のベースラインが異なることが伝わるようにした方が良いとの指摘があった。

< 減容処理後の浄化物の安全な再生利用に係る放射能濃度の考え方(ドラフト) >

・各用途で子どもの被ばくについて重複することも考えて、一般の方の子供に対する懸念事項を考慮して評価した方が良いと指摘があった。
 ・1 mSv/y はモデルを決めて評価したものである。使用様式(用途、方法)が変われば評価線量である濃度が変わることを確認した。

減容処理後の浄化物の安全な再生利用に係る基本的考え方について(案)

平成 28 年〇月〇日

環境省

1. はじめに

福島県内における除染等の措置に伴い生じた土壤及び廃棄物（以下、「除去土壤等」という。）について、「中間貯蔵開始後 30 年以内に福島県外で最終処分を完了するための必要な措置を講じる」ことが国の責務である。この県外最終処分の実現に向けた数多くの課題のうち、主に減容・再生利用の技術の開発、再生利用の推進、最終処分の方向性の検討、全国民的な理解の醸成等について、今後の中長期的な方針を提示するため、環境省は、平成 28 年 4 月に「中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略」（以下、「技術開発戦略」という。）を策定した。

技術開発戦略において、周辺住民や作業者に対する放射線影響に関する安全性を確保することを大前提として、除去土壤の減容処理等を行った上で土壤資源として再生資材化し、適切な管理の下での使用を実現するため、追加被ばく線量評価、放射線防護のための管理の考え方など、減容処理後の浄化物の安全な再生利用に係る基本的考え方（以下「基本的考え方」という。）を示すこととされている。

本基本的考え方は、関連する国際放射線防護委員会（ICRP）勧告及びそれを受け設けられた国内の基準、指針等の考え方を踏まえ、除去土壤を対象として、放射線影響に関する安全性の確保を大前提とし、地元の理解と協力を得て、減容処理後の浄化物等の再生利用を段階的に進めるまでの基本的な考え方を示すものである。

2. 関連する ICRP 勧告及び国内の基準、指針等

国際放射線防護委員会（ICRP）では、人の放射線防護の体系について、放射線による被ばくを管理し、制御することにより、確定的影響を防止し、確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させることを目的とし、被ばく状況を計画被ばく、緊急時被ばく、現存被ばくの 3 つに分類して、防護の基準を定めている。このうち、平常時（計画被ばく状況）では、公衆の線量限度は年間 1 mSv を勧告（Pub. 60）しており、現存被ばく状況においては、年間 1~20mSv の範囲の下方値から適切な参考レベルを選択することとし、長期目標としては参考レベルを年間 1mSv とすることを勧告している（Pub. 103）。また、ICRP 勧告（Pub. 104）においては、放射線防護に係る規制から除外する際の考え方として、「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おり、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であるとしている。

平成 23 年 3 月 11 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（平成 23 年法律第 110 号、以下「特措法」という。）においては、長期的な目標として追加被ばく線量が 1mSv/年以下となることを目指すこととしており、除染実施計画を定める区域については、追加被ばく線量が 1mSv/年以上となる区域について指定することとしている。また、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 1mSv/年を超えないようにすることとしている。

事故由来の放射性物質の影響を受けた廃棄物の再利用については、平成 23 年 6 月 3 日付け原子力安全委員会「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」（以下、「安全確保の当面の考え方」という。）において、クリアランスレベルを準用した再利用の考え方は、一般環境そのものに事故の影響が認められるという今回の特殊性を踏まえ、リサイクル施設等で再利用に供されるものの放射性物質の濃度等が適切に管理され、かつ、クリアランスレベルの設定に用いた基準（ $10 \mu \text{Sv}/\text{年}$ ）以下となることが確認される場合に限り、その適用を認めるとされている。この安全確保の当面の考え方を踏まえ、環境省は、平成 23 年 6 月 23 日付け「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」において、被ばく線量を $10 \mu \text{Sv}/\text{年}$ 以下に低くするための対策を講じつつ、管理された状態で利用することは可能とし、具体的には公共用地において路盤材など土木資材として活用する方法が考えられると整理している。さらに、内閣府等の 6 府省庁は、平成 25 年 10 月 18 日付けで「福島県内における公共工事における建設副産物の再利用等に関する当面の取扱いに関する基本的考え方」において、福島県内で発生した建設発生土等の建設副産物の再利用等は、放射線量が同等又はより高い区域において行うことを基本としつつ、利用者・周辺居住者の追加被ばく線量が $10 \mu \text{Sv}/\text{年}$ 以下になるように管理された状態で屋外において遮へい効果を有する資材等を用いて利用する場合などについては、発生した区域より放射線量が低い区域において再利用等を行うことができるとしている。

3. 基本的な方針

福島県内で発生する除去土壤等については、中間貯蔵開始後 30 年以内に福島県外で最終処分することとなっている。しかしながら、最大約 2,200 万 m^3 と推計される膨大な量の除去土壤等をそのまま県外最終処分することは、物理的に極めて困難と言わざるを得ない。土壤は本来貴重な資源であるが、放射性物質を含む除去土壤はそのままでは利用が難しいことから、減容処理等により得られた放射能濃度の低い浄化物を、安全性を確保しつつ地元の理解を得て再生利用することを目指す。これにより、土壤資源の有効利用による土砂の新規採取量の抑制を図るとともに、最終処分必要量を減少させ、最終処分場の施設規模を縮小することにより最終処分場の確保をより容易にし、県外最終処分の実現を図るものとする。

大量に発生することが想定される再生資材については、いわゆるクリアランスレベル*を適用して広く無制限に流通させることができ現実的とは考えにくい。このため、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、追加被ばく線量評価に基づき、追加被ばく線量を制限するための放射能濃度の設定や覆土等の遮へい措置を講じた上で、特措法に基づく基準に従って適切な管理の下で限定期に使用することを目指す。

現時点での具体的な再生利用先は定まっていないことから、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。

4. 再生資材に要求される放射能以外の品質

減容化等により汚染の程度を低減し得られた浄化物は、再生利用の用途先で用いられる部材に適合するよう品質調整や二次製品化等の工程を経て利用可能な再生資材となる。再生資材に要求される放射能以外の品質については、構造上及び耐力上の安全性等、用途に応じて、従来どおりの土木構造物に求められる要求品質を満足するものとする。例えば、「建設発生土利用技術マニュアル（土木研究所編著）」や「災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン（地盤工学会）」等に、土質区分別の適用用途標準、粒度、強度、含水比等の要求品質がまとめられており、これらの基準や考え方を準用できる。また、放射性物質以外の有害物質についても、土壤汚染に係る指定基準（土壤溶出量基準（環告18号）、土壤含有量基準（環告19号）、ダイオキシン類に係る基準などを既存の基準を準用する。なお、その際には、資材を選別するための測定・分別（土質試験）の手法はJIS規格等に定められており、従来どおりの各種規格に従う必要がある。

5. 追加被ばく線量を制限するための考え方

再生利用に係る周辺住民・施設利用者及び作業者における追加被ばく線量については、特措法基本方針において減容化、運搬、保管等に伴い周辺住民が追加的に受ける線量が1mSv/年を超えないようにすることとしていることを踏まえ、現存被ばく状況における参考レベルのバンド（1～20 mSv/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1 mSv/年）を満足する値である1 mSv/年を超えないようにする。

周辺住民・施設利用者及び作業者における追加被ばく線量が1 mSv/年を超えないようにするための措置としては、被ばく線量を個々に計測して管理することは現実的でないこと、

*原子力施設等の解体等で発生する金属くず、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）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、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。

再生資材の出荷元が限定されていること、公共事業等においては施工・維持管理の体制が整備されていること等から、①計画・設計時における使用する場所、事業種、部位の限定、②計画・設計に応じた減容処理・出荷時における再生資材の放射能濃度の制限、③施設の施工・供用時における使用・保管場所及び持ち出しの管理、遮へい及び飛散・流出の防止措置を講じることにより、追加被ばく線量を制限する。

計画・設計時の条件については6.で、再生資材の放射能濃度の制限については7.で、施工・供用時における管理方法については8.で詳述する。

6. 計画・設計時の条件

施設の計画・設計時においては、まず、再生資材は、基本的に平坦な土地であって土木構造物の支持層として適切・良好な地盤において使用することとし、斜面上、山間部の沢の入口、液状化のおそれがある軟弱地盤等の場所に設けられる施設においては、再生資材を利用しないことを原則とする。

その上で、再生資材は、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等において、長期間にわたって形質変更が想定されない盛土材等の構造基盤の部材に限定して使用する。例えば、道路、鉄道、廃棄物処分場の土堰堤等の土砂やアスファルトで被覆された盛土、防潮堤等のコンクリート等で被覆された盛土、海岸防災林等の植栽された土砂で被覆された盛土、廃棄物処分場等の覆土・充填材等のうち、上記の条件が整っているものが対象として考えられる。

破損時等を除く供用時における周辺住民・施設利用者における追加的な被ばく線量を更に低減し、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 (0.01mSv/年)[†] になるよう適切な遮へい厚等の措置を講じる（具体的な遮へい厚については、8. 参照）。なお、この遮へい厚に加えて、土木構造物として小規模な陥没や法面崩れが起きた場合に修復措置がなされる目安を踏まえたかぶり厚が確保されるように余裕を持って設計する。

7. 再生資材の放射能濃度の制限

(1) 基本的な考え方

再生資材を利用する施設を施工する際には作業者が放射線防護のための特別な措置を講じることなく施工でき、供用中には施設利用者が特別な制限なく施設を利用し、また、周辺居住も問題なくできるよう、周辺住民・施設利用者及び作業者に対する追加被ばく線量が1mSv/年を超えないことを条件として、用途ごとの追加被ばく評価計算から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（以下、「1mSv/年相当濃度」という。）を算出し、再生資材の放射能濃度をこの濃度以下に制限する。ただし、再生資材の放射能

[†] 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おり、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である。

濃度は、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、8,000Bq/kg を上限とする。

用途ごとの追加被ばく評価計算は、実施される事業ごとに被ばく経路や条件等を設定してなされることが理想的であるが、安全性を確保しつつ、円滑な再生資材の活用が可能となるよう、想定される代表的な用途を想定し、当該用途ごとのモデルや被ばく経路設定に基づく追加被ばく評価計算を行い、その結果を代表事例として示すこととする。

なお、追加被ばく評価計算では、再生資材の放射能濃度は均一と仮定していることから、算出された1mSv/年相当濃度については、ある施設に使用する再生資材の平均的な濃度レベルとして取り扱うものとする。

（2）被ばく経路設定の考え方

被ばく経路に係るシナリオやパラメータの設定に当たっては、用途ごとの作業工程や施設利用の情報に基づき、既往のクリアランスレベル評価の際の設定に準拠し、現実的なシナリオやパラメータを設定した。シナリオ及びパラメータ設定に当たっては、設置場所の地形など幅広いシナリオが考えられる場合は、設置場所を限定することとする等により、シナリオの絞り込みを行い、不確実性の大きいパラメータは安全側に立った値を設定した。なお、時間経過とともに空間線量率への寄与が小さい¹³⁷Cs が大部分を占めるようになり、発災直後（平成23年3月）と現在では1mSv/年相当濃度が異なることから、利用開始時（平成28年3月）の¹³⁴Cs と¹³⁷Cs の放射能濃度比を考慮した。

施工時においては、通常の作業工程のうち再生資材からの被ばくを受けやすい工程や作業条件を抽出し、被ばく経路を選定した。また、供用時においては、通常の利用状況、点検・補修作業等の情報に基づき、被ばく経路を選定した。さらに、災害・復旧時においては、自然災害による施設の破損事例、復旧方法、破損要因と形態を分析し、復旧時の被ばく経路を選定した。

（3）再生資材として利用可能な放射能濃度レベル

追加被ばく評価計算から算出される1mSv/年相当濃度等を別紙1に示す。これに基づき、用途ごとに再生資材として利用可能な放射能濃度（以下、「再生利用可能濃度」という。）をまとめると下表のとおりとなる。

[†] 電離放射線障害防止規則（電離則）及び東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則（除染電離則）においては、10,000 Bq/kg を超える土壌を取り扱う場合は、濃度測定、線量管理等が必要であることなど、労働者の放射線障害の防止措置について規定されており、労働者の被ばく線量限度は、5年間で100mSvかつ1年間で50mSvを超えないように管理する必要がある。

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	
		作業者の決定経路	濃度(Bq/kg)
盛土	法面保護工 (厚さ2~50cm)	一般道路:(盛土施工業者-外部被ばく)	6,600
		高速道路:(盛土施工業者-外部被ばく)	6,100
		鉄道盛土:(盛土施工業者-外部被ばく)	6,600
	覆工コンクリート	防潮堤(傾斜堤)高さ8m:(盛土施工業者-外部被ばく)	6,900
		防潮堤(傾斜堤)高さ15m:(盛土施工業者-外部被ばく)	6,800
		防潮堤(直立堤)高さ8m、15mともに:(盛土施工業者-外部被ばく)	7,500
	植栽覆土 (厚さ1m)	(盛土施工業者-外部被ばく)	5,400
	中間 覆土材	(敷き均し・締固め作業者-外部被ばく)	13,000
		(保護工補修作業者-外部被ばく)	5,300
		(敷き均し・締固め作業者-外部被ばく)	8,100
最終 覆土材	法面保護工 (厚さ10~50cm)		
処分場 土堰堤			

注1:1mSv/年相当濃度が8,000Bq/kgを超える場合は、再生利用可能濃度は8,000Bq/kg以下となる。

注2:工事の規模、作業時間の管理等により、作業者の作業期間が限定される場合、これに応じて再生利用可能濃度が変化することに留意が必要である。

注3: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者の被ばく線量管理を行うことが必要であり、この場合、再生利用可能濃度は8,000Bq/kg以下となる。

(4) 出荷時における放射能濃度の確認

施工現場ごとに再生資材の放射能濃度を確認する必要が生じないよう、減容処理施設からの出荷時に、再生資材の平均濃度が(3)の放射能濃度以下となっていることを確認し、出荷伝票に出荷量及び放射能濃度を記載する。再生資材の運搬時においては、特措法に基づく運搬基準を遵守する。

8. 施工・供用時における管理方法

作業者が放射線防護のための特別な措置を講じることなく施工できるように、7.で示したとおり、減容処理施設からの出荷時に再生資材の放射能濃度の確認を行うこととするが、再生資材の紛失や目的外使用を防止するために、再生資材の検収時、保管時において、受入量の管理、分別保管、持ち出しの管理等を行う。

施工時においては、施設が設計どおりに施工されていることを出来形検査等で確認し、再生資材の使用場所、使用量、放射能濃度等に関する記録を作成し、保管する。また、通常の施工現場で実施されている粉じん発生防止、濁水管理措置等により再生資材の飛散・

流出を防止する。供用時においては、施設を維持するために通常行われる保守点検により、陥没、法面崩壊等ができるだけ早期に発見し、補修を行うことにより設計時の遮へい厚の維持を図る。用途ごとの遮へい厚についての検討結果を別紙2に示す。今回検討した用途については、用途に応じて10cmから50cm以上の遮へい厚を確保することにより、破損時等を除く通常の供用時における周辺住民・施設利用者への追加被ばく線量が0.01mSv/年を超えないようになることが可能と考えられる。

追加被ばく線量評価の結果によると、1mSv/年相当濃度の決定経路は、施工時の作業者の外部被ばくであり、この濃度以下の再生資材の飛散・流出による内部被ばくや、施工時の敷地外での外部被ばくの影響は十分に小さいことが示されている。しかしながら、安全性に万全を期す観点から、実証試験等において、敷地境界における空間線量率や、表流水や地下水の放射能濃度の測定の必要性を検証することとする。

9. 再生利用の段階的な進め方

再生資材の再利用を円滑に進めるためには、放射線影響に関する安全性を実証しつつ、関係者の理解・信頼を得て社会的受容性を醸成する取組を一步一步段階的に進めることが重要である。このため、本基本的考え方を踏まえ、平成30年度以降の再生利用の本格化を目指して以下の取組を進め、それぞれの取組で得られた知見を他の関連する取組にフィードバックしながら、段階的に放射線防護の最適化を図るとともに、社会的受容性の向上を図る。また、それぞれの段階において、技術開発戦略で示した全国民的な理解の醸成等のための取組を行う。

（1）再生利用の手引きの作成

既存の公共事業等に係る環境関連法令等も含め、再生資材を用いた工事の計画・設計、施工、供用の一連のプロセスにおける留意点を整理した「再生利用の手引き（仮称）」を各用途に応じて作成する。手引きの作成に当たっては、このプロセスが長期間にわたり、かつ、多様な主体が関与することから、「いつ、どこで、誰が」が明確になるよう留意する。

（2）実証事業・モデル事業の実施

本基本的考え方で示した追加被ばく線量を制限するための取組を検証すること等を目的として実証事業を実施する。また、事業実施者や地域住民等関係者の理解醸成や社会的受容性を向上させること等を目的としてモデル事業を実施する。これらの実証事業やモデル事業で蓄積した知見やノウハウを再生利用の手引き等に反映させる。

（3）再生利用先の具体化

再生利用の必要性や放射線影響に係る安全性に関する知見を幅広い国民と共有し、さらには実証事業やモデル事業の結果を地域住民・関係者と共有するための啓発、対話、体験のための取組を進める。また、社会的・経済的・制度的側面から再生資材の利用促進方策

やその実施方針等の検討を行う。これらの取組を通じて、再生利用の本格化に向けた環境整備を進めていく。

10. おわりに

本基本的考え方は、技術開発戦略及び工程表に基づき、最新の科学的知見を踏まえて、「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」における検討結果を踏まえて取りまとめたものである。なお、本基本的考え方は除去土壌を対象としており、中間貯蔵される除染廃棄物については、現在のところ減容処理前後の性状や再生資材としての品質・用途が必ずしも明らかになっていないことから、本基本的考え方では対象としていない。今後、実証事業、モデル事業等により蓄積された知見を踏まえて、除染廃棄物に関する基本的な考え方の提示も含めて、必要に応じ本基本的考え方を改訂することとする。

また、本基本的考え方で示した再生利用の対象となる放射能濃度レベルは、平成28年度末現在の¹³⁴Csと¹³⁷Csの放射能濃度比を基に算出している。今後、時間経過とともに空間線量率への寄与が小さい¹³⁷Csが大部分を占めるようになり、1mSv/年相当濃度が変化することや、再生資材中の放射性セシウムが物理減衰することを考慮すると、再生利用に伴う追加被ばくは、将来にわたってより低減する方向で推移することに留意が必要である。

追加被ばく線量評価について

平成28年5月17日

JAEA

目 次

- 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
- 2 放射能濃度を設定するための被ばく経路の設定の考え方
- 3 想定する再生利用の用途先の例
- 4 用途先ごとの被ばく経路及び線量基準から算出される放射能濃度レベル
- 5 用途先ごとの災害・復旧時の検討

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^{*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、供用時的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 ） 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。

※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者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)現実的・代表的な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・代表的なパラメータ設定、既往のクリアランスレベル評価の設定を基本とする)
 - (2)いくつものバリエーションや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¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs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¹³⁷Cs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者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者の被ばく

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者、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

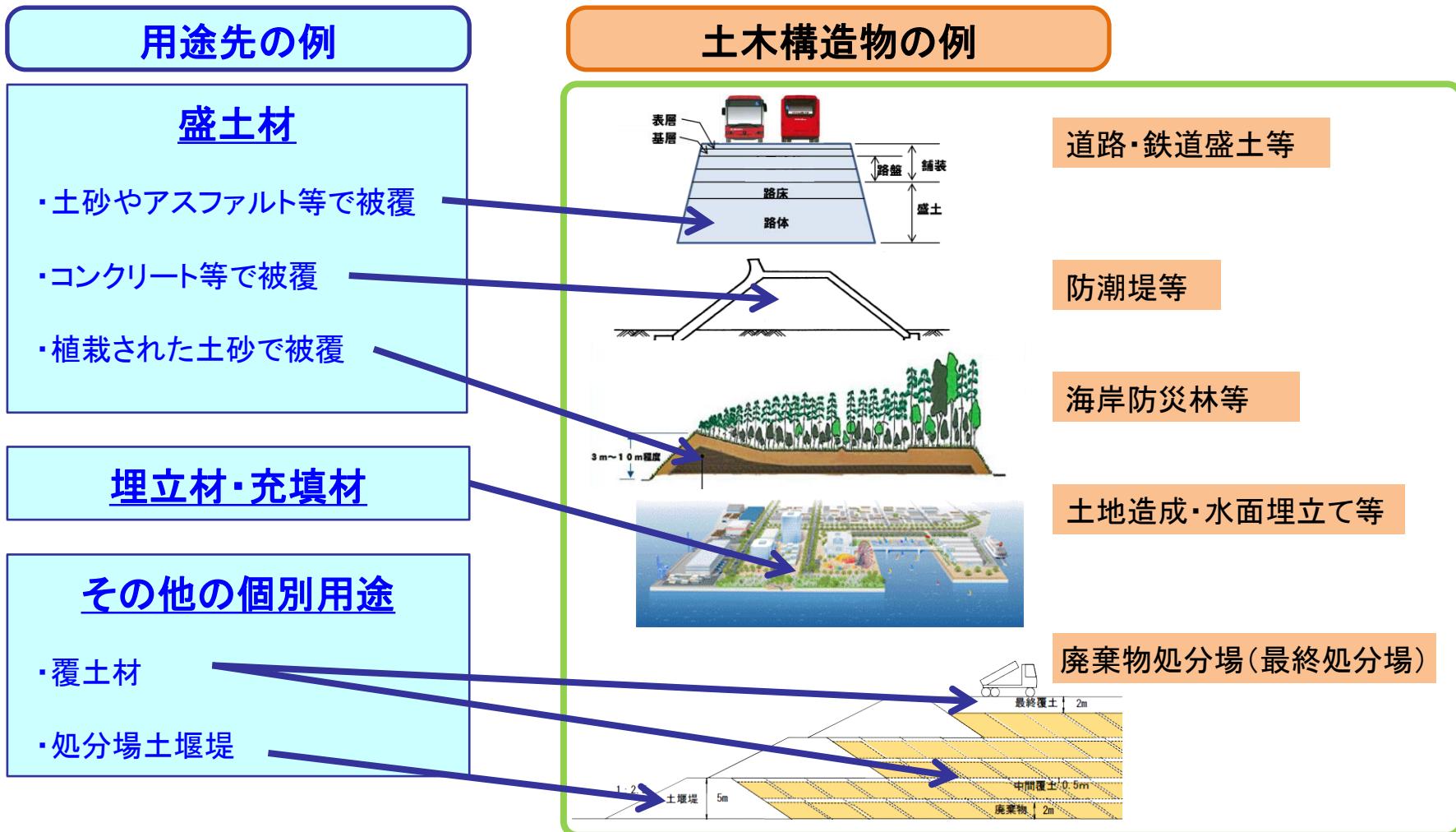
災害・復旧時の条件設定

- 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
- 復旧時の際の作業者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

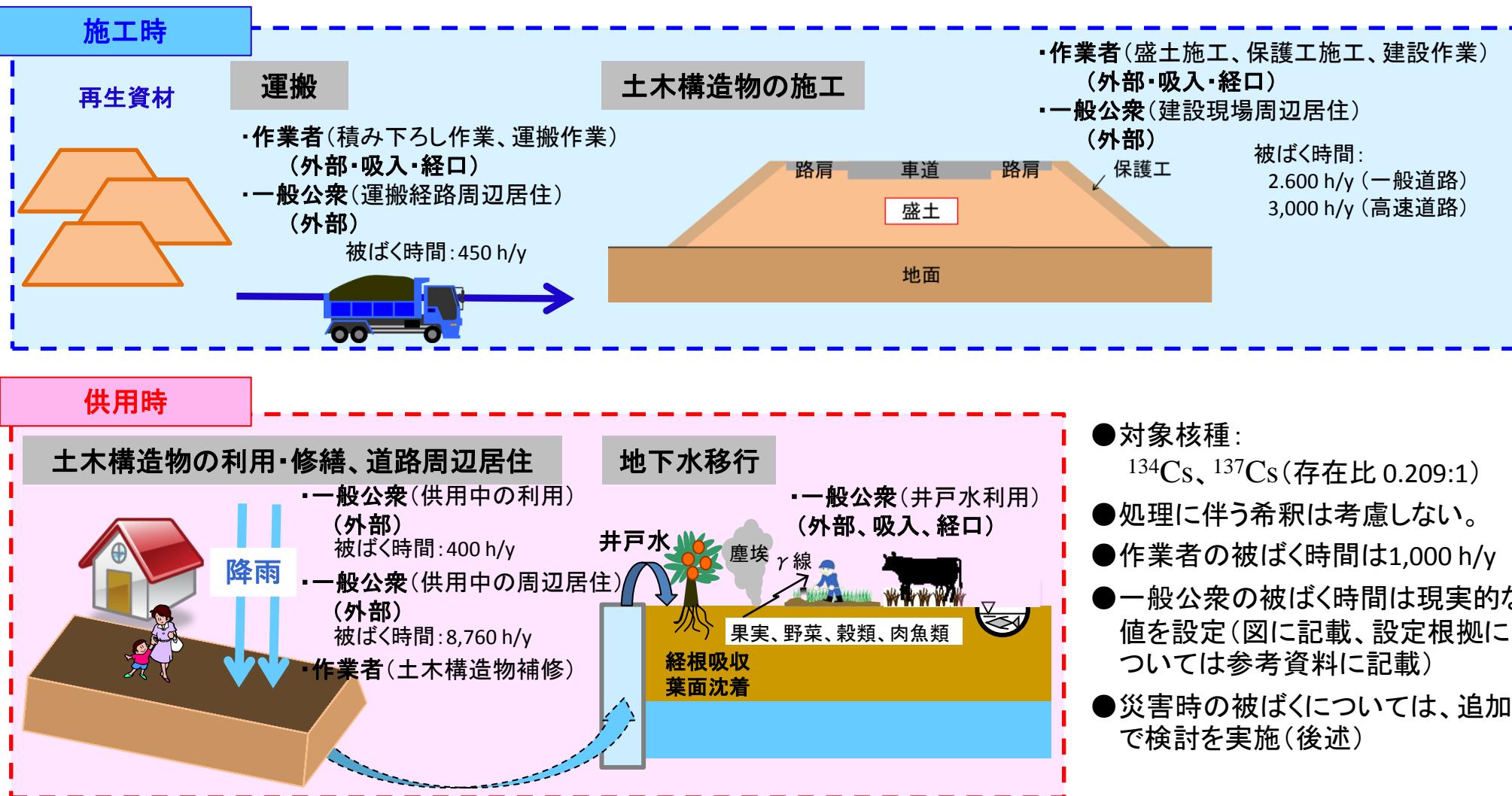
3. 想定する再生利用の用途先の例

➤ 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。



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



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）

▶ 線量基準1mSv/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(一般道路、高速道路)盛土及び鉄道盛土における1mSv/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

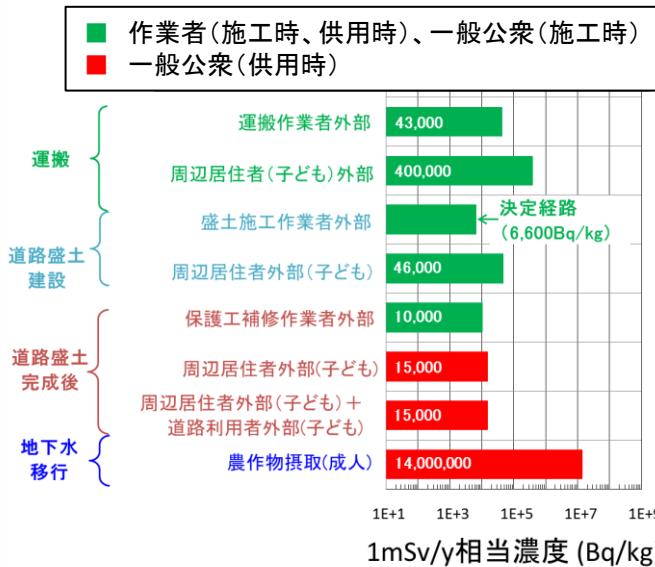
(1) 一般道路(施工業者の外部被ばく): 6,600 Bq/kg

(2) 高速道路(施工業者の外部被ばく): 6,100 Bq/kg

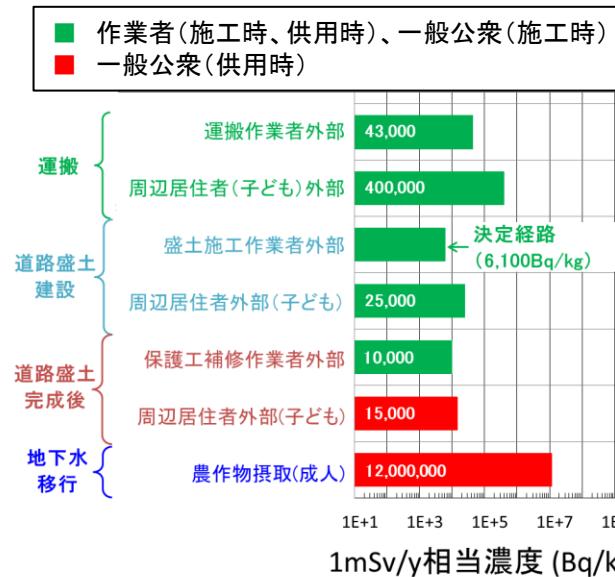
(3) 鉄道盛土(施工業者の外部被ばく): 6,600 Bq/kg

※詳細については、参考資料P1～P5を参照

一般道路：保護工厚さ 2 cm



高速道路：保護工厚さ 2 cm



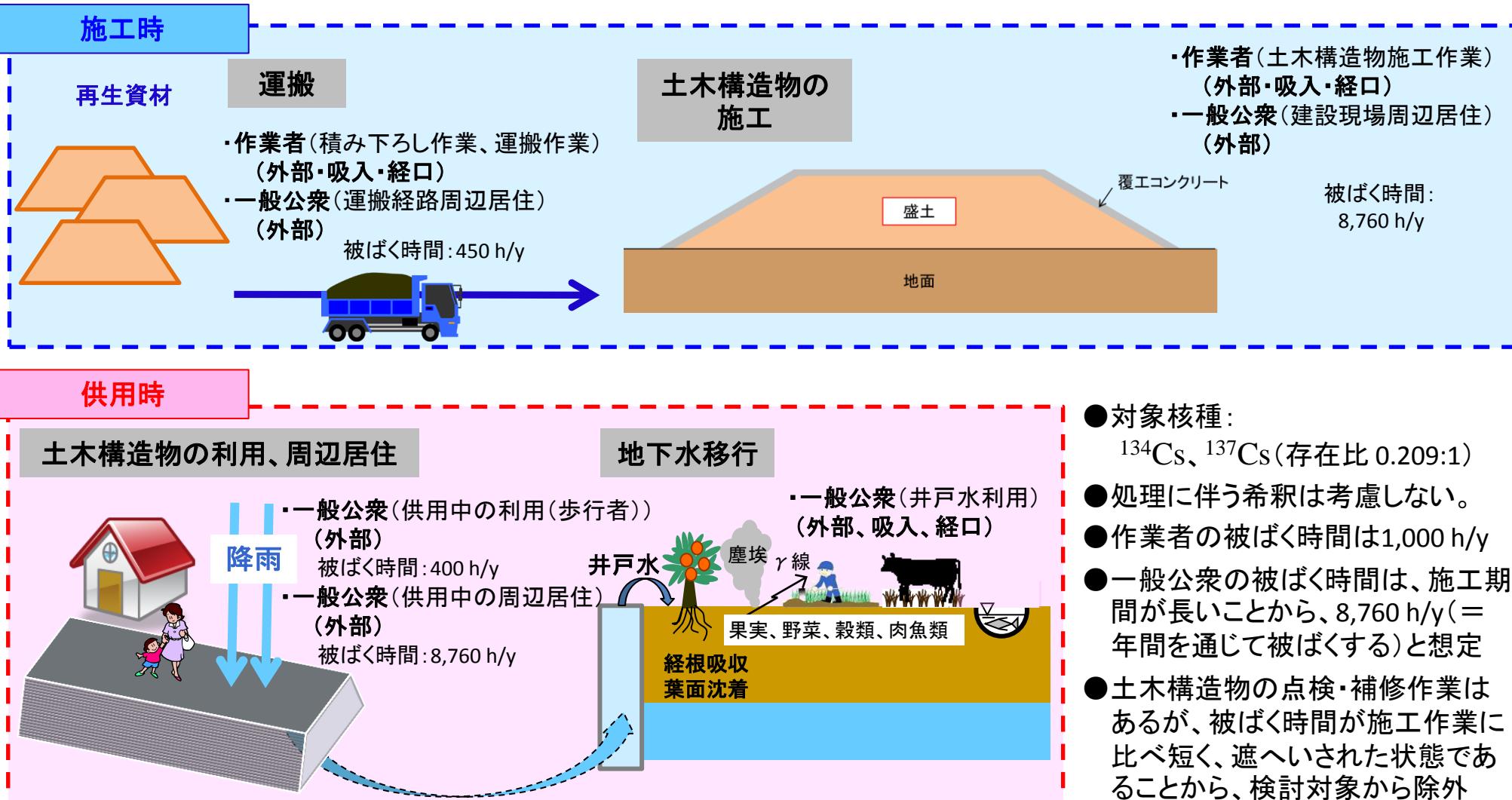
鉄道盛土：保護工厚さ 2 cm



○最も影響が大きい被ばく経路は、盛土施工業者の外部被ばくという評価であり、放射能濃度は保護工厚さを変えて算出・評価しても同一の値となる

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

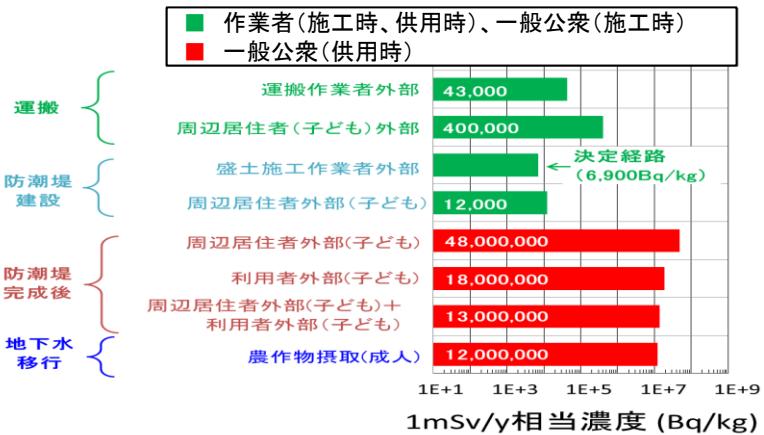


4.2 (2) コンクリート等で被覆された盛土における 被ばく評価結果（再生利用濃度レベル）

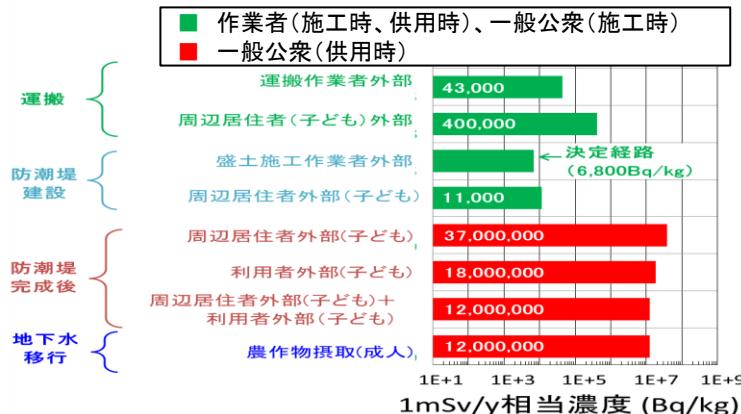
- 線量基準1mSv/y(施工時、供用時)を超えない放射性セシウムの放射能濃度レベルを算出。直立堤/傾斜堤(高さ8 m・15 m)における1mSv/y相当濃度(決定経路:最も影響が大きい被ばく経路)は以下のとおり
- 傾斜堤(高さ8m) (施工作業者の外部被ばく): **6,900 Bq/kg**
- ◆ 直立堤(高さ8m) (施工作業者の外部被ばく): **7,500 Bq/kg**
- 傾斜堤(高さ15m) (施工作業者の外部被ばく): **6,800 Bq/kg**
- ◆ 直立堤(高さ15m) (施工作業者の外部被ばく): **7,500 Bq/kg**

※詳細については、参考資料P6～P8を参照

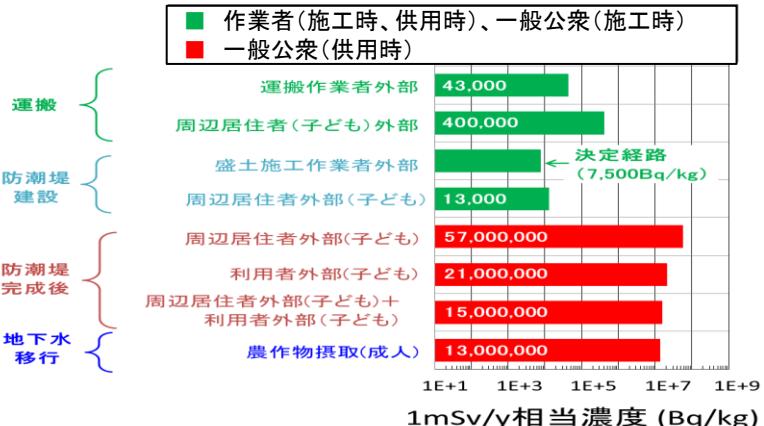
傾斜堤 : 盛土高さ 8 m



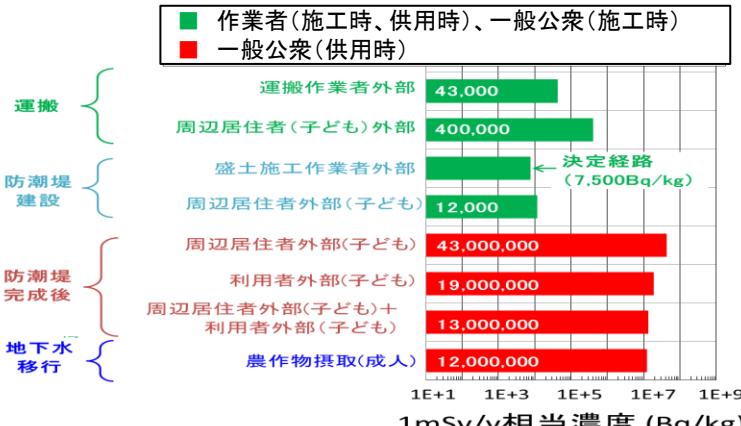
傾斜堤 : 盛土高さ 15 m



直立堤 : 盛土高さ 8 m

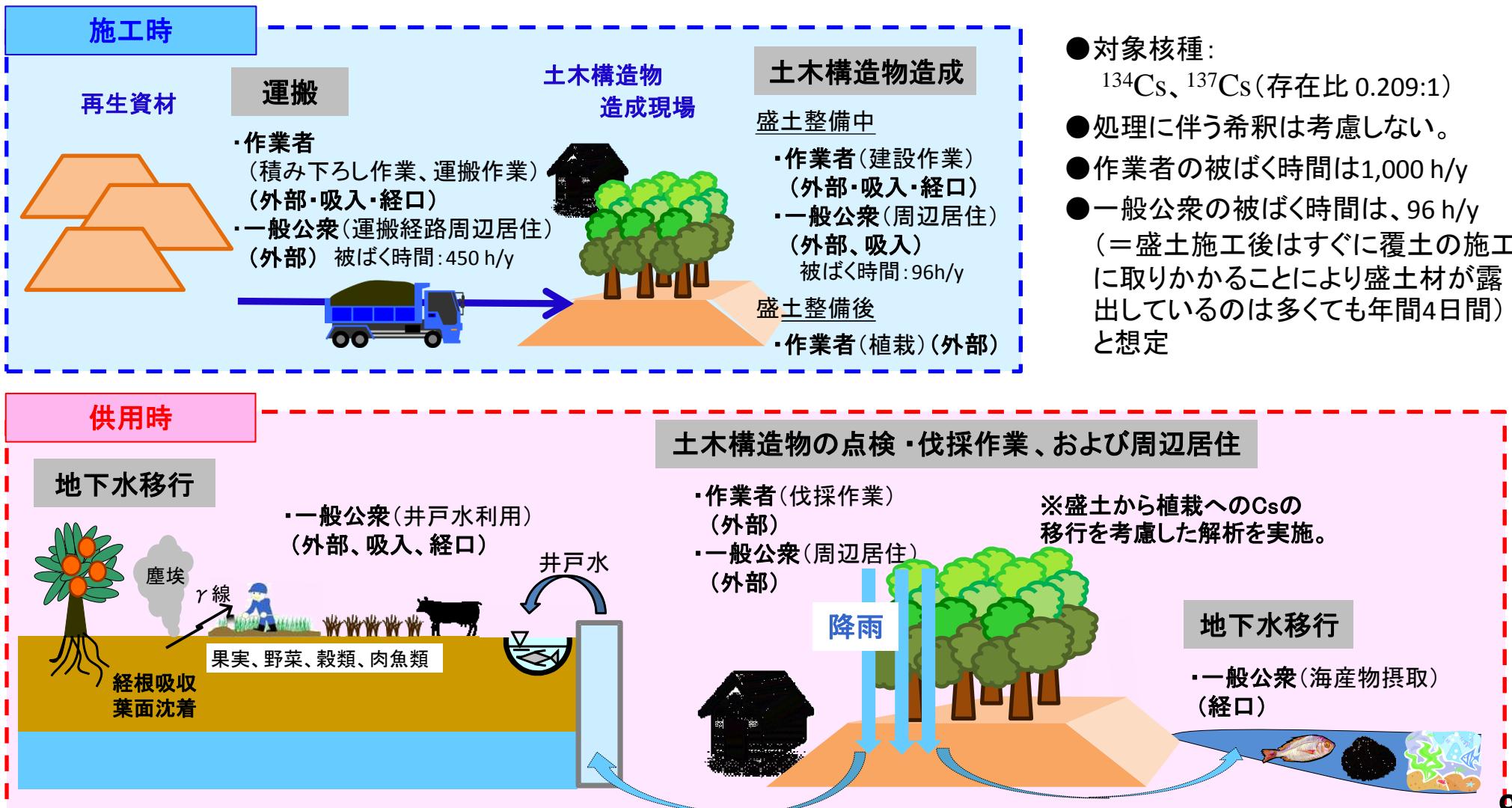


直立堤 : 盛土高さ 15 m



4.3 (1) 植栽された土砂で被覆された盛土における被ばく経路の設定

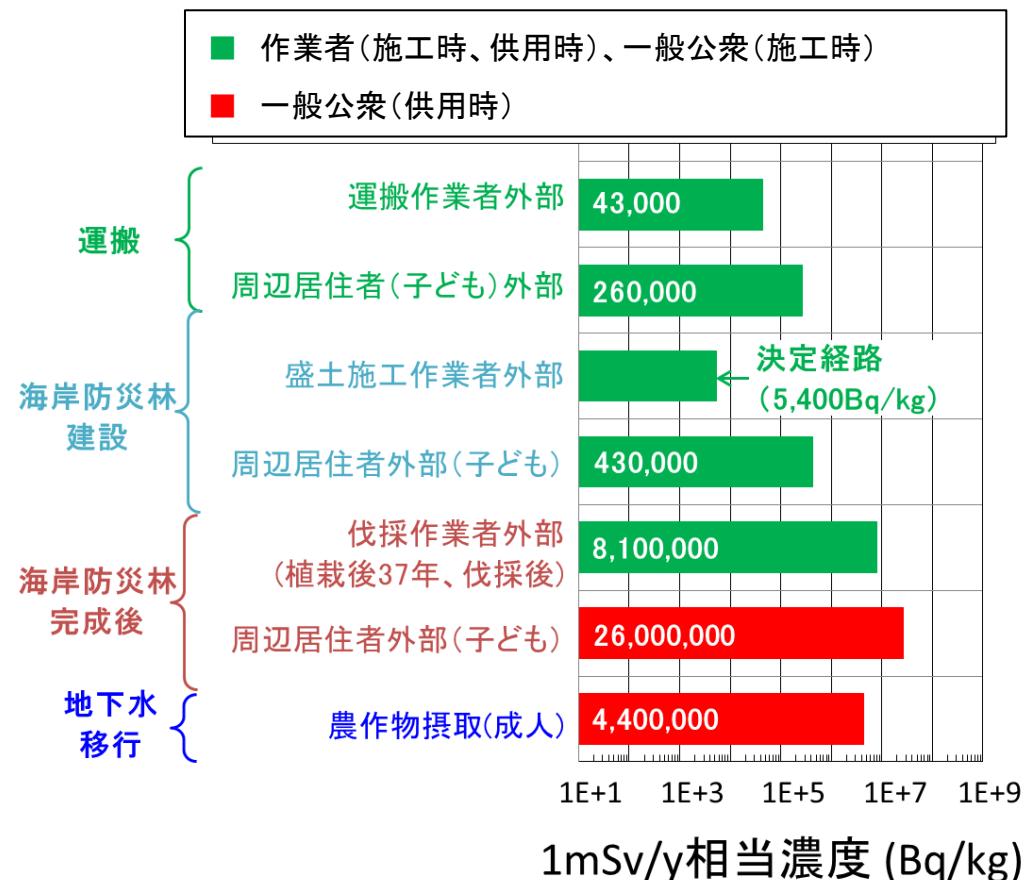
- 植栽された土砂で被覆された盛土(例:海岸防災林等)に再生資材を利用する場合を想定し、検討対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態(外部、吸入、経口)を整理し、被ばく経路を設定



4.3 (2) 植栽された土砂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）

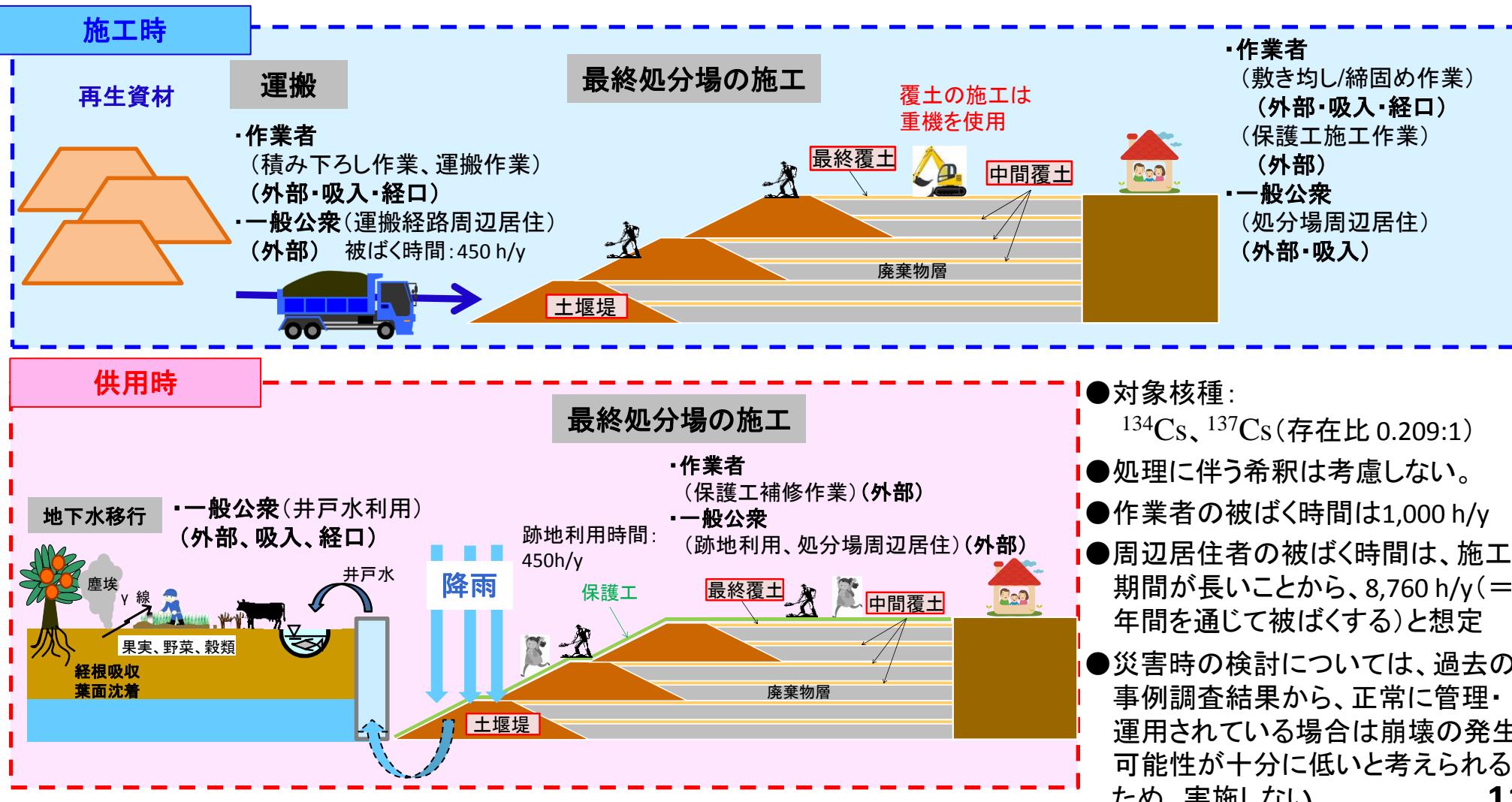
➤ 線量基準1mSv/y(施工時、供用時)を超えない放射性セシウムの放射能濃度レベルを算出。海岸防災林における1mSv/y相当濃度及び決定経路(最も影響が大きい被ばく経路)は、施工作業者における外部被ばくで5,400 Bq/kg

※詳細については参考資料P9～P11参照



4.4 (1) 廃棄物処分場における被ばく経路の設定

➤ 最終処分場の中間覆土、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



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)

- 線量基準1mSv/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。1mSv/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・締固め作業者の外部被ばく): 13,000 Bq/kg
 - 最終覆土(保護工補修作業者の外部被ばく): 5,300 Bq/kg
 - 土堰堤(敷き均し・締固め作業者の外部被ばく): 8,100 Bq/kg

※詳細については参考資料P12～P13参照



○保護工厚さを10cm～50cmに設定して算出しても、もっと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者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、作業者の作業時間が限定されている場合は、これに応じて1mSv/y相当濃度が変化する。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者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	作業者の決定経路と濃度	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 (厚さ2～50cm)	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:(盛土施工業者-外部被ばく)	6,600	8,800	13,200
			高速道路:(盛土施工業者-外部被ばく)	6,100	8,100	12,200
			鉄道盛土:(盛土施工業者-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:(盛土施工業者-外部被ばく)	6,800	9,000	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)	(盛土施工業者-外部被ばく)	5,400	7,200	10,800
中間 覆土材	法面保護工 (厚さ10～50cm)	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・締固め作業者-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)	(保護工補修作業者-外部被ばく)	5,300	7,000	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・締固め作業者-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、施設完成後的一般公衆（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 cm		10 cm		30 cm		50 cm		100 cm	
				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	6,000	—**								< 0.001	—
			8,000	—**								< 0.001	—
中間覆土	法面 保護工	処分場	6,000	—	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	—	—	
			8,000	—	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	—	—	
最終覆土			6,000	—	0.0092	0.062	< 0.001	0.0031	< 0.001	< 0.001	—	—	
			8,000	—	0.012	0.083	< 0.001	0.0042	< 0.001	< 0.001	—	—	
土堰堤			6,000	—	—	0.035	—	0.0021	—	< 0.001	—	—	
			8,000	—	—	0.047	—	0.0028	—	< 0.001	—	—	

*:地方自治体の設定値に基づき50cmに設定、

**:既往の類似評価において最も大きな評価体系に基づき100cmに設定

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、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、稀頻度な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



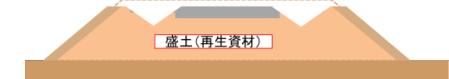
盛土内部より断面が円弧を描く円弧すべりにより大規模に崩落するケース

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。

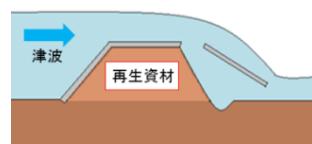
コンクリート等で被覆された盛土の(防潮堤を例とした)災害・復旧時の検討

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

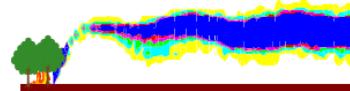
植栽された土砂で覆土された盛土の(海岸防災林を例とした)災害・復旧時の検討

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、作業者、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により防潮堤が変状・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

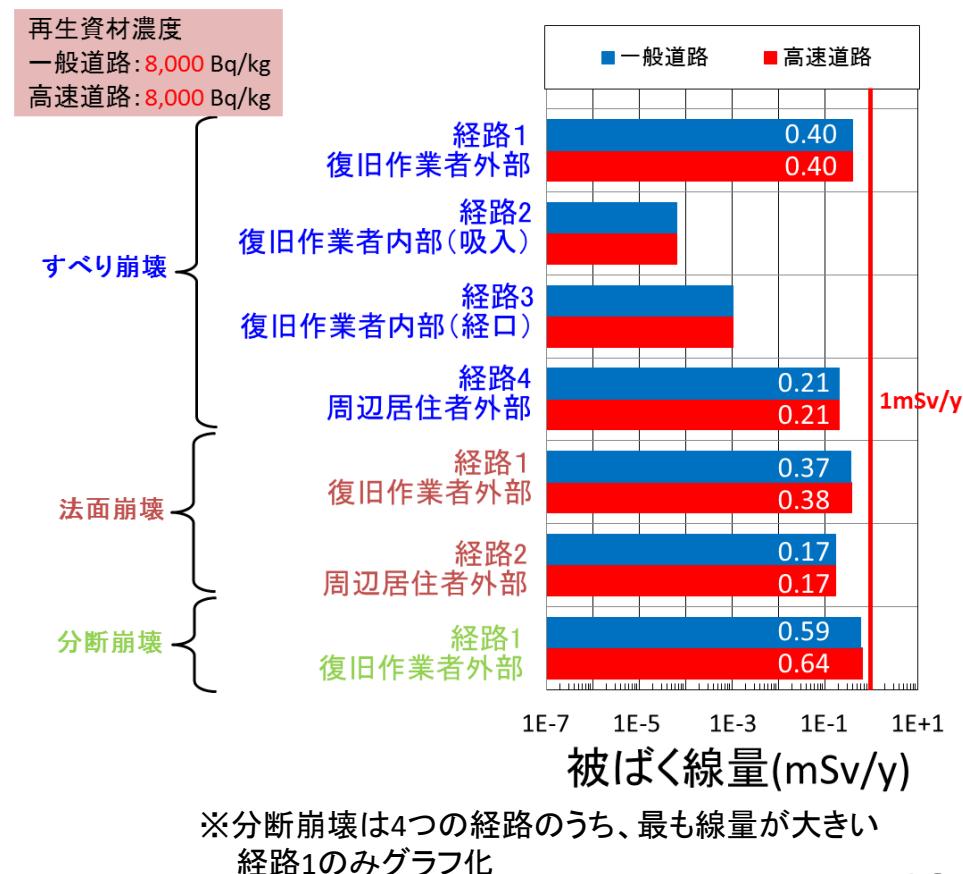
経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
1	復旧作業	すべり崩壊が生じた盛土、および回収された崩壊土	復旧作業者	外部
2				粉塵吸入
3				直接経口
4	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部

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



5.5 防潮堤の災害・復旧時の被ばく線量の検討

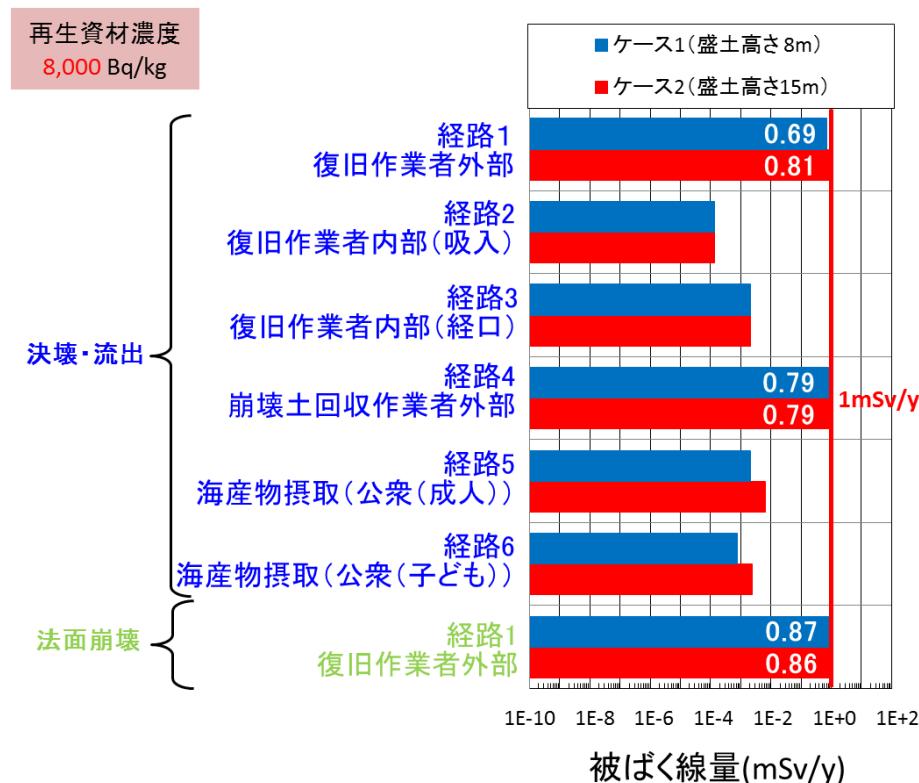
- 防潮堤の災害・復旧時の被ばく線量の検討経路は以下のとおり。
- 各経路の中で被ばく線量が最大となるのは、法面崩壊した場合の復旧作業者の外部被ばくである。(右グラフは再生資材濃度8,000 Bq/kgで試算した例)。

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		流出した盛土		外部
5	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
6			一般公衆(子ども)	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

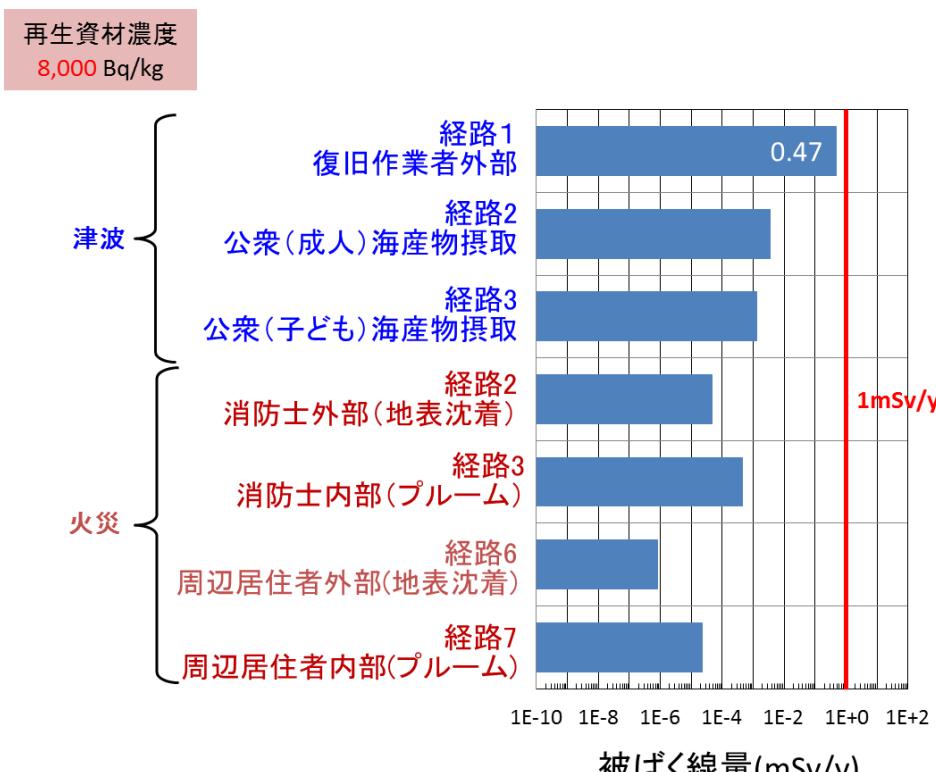
- 海岸防災林の災害・復旧時の被ばく線量の検討経路は以下のとおり。
- 各経路の中で被ばく線量が最大となるのは、津波の場合の復旧作業者の外部被ばくである。
(右グラフは再生資材濃度8,000 Bq/kgで試算した例)。

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
2		海産物	一般公衆(成人)	経口
3	海産物摂取	(魚類、無脊椎動物、藻類)	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



※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

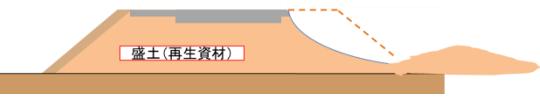
5.7 災害・復旧時の線量検討結果のまとめ

➤ 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:0.87 mSv/y (法面崩壊、復旧作業者-外部) 一般公衆: 2.0 μ Sv/y(盛土高さ 8m) 6.7 μ Sv/y(盛土高さ15m) (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:3.6 μ Sv/y (津波、海産物摂取(成人))	特になし

5.8 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。

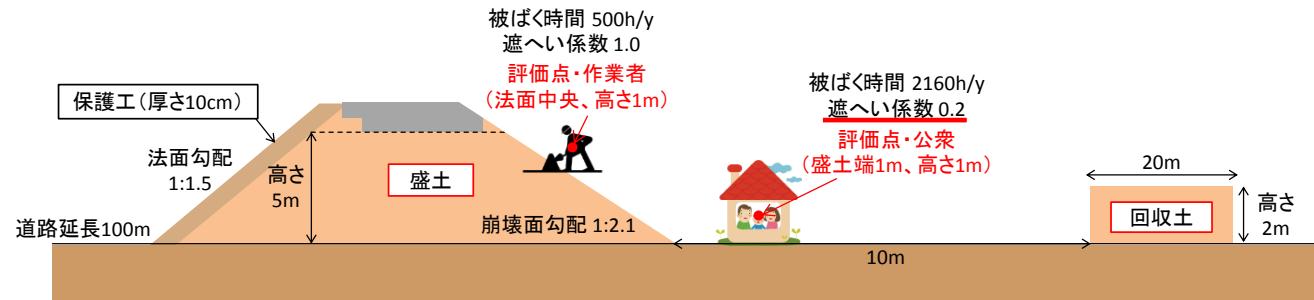
盛土の破損形態、イメージ	盛土の変状・崩壊現象	復旧方法	被ばく経路
<p>I すべり崩壊</p>  <ul style="list-style-type: none"> 盛土内部より断面が円弧を描く円弧すべりにより大規模に崩落するケース。 再生土の露出面としては「II 法面崩壊」と同様。IIに比べてより規模が大きく再生土を含む崩壊土が近隣住居付近まで移動し、その線源からの線量寄与も考えられる。 	<p>A1: 軟弱層上での円弧すべり・沈下変形 A3: 地すべり地帯での大崩壊 B3: 表面水による洗掘・崩壊 B4: 地盤と盛土との境界面に沿った崩壊 B6: 土石流による法面崩壊 C1: 間隙水圧作用による崩壊 D1: 間隙水圧上昇による大規模な流动的崩壊 D2: 不安定な基礎地盤とともに崩壊</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>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者(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。</p>
<p>II 法面崩壊</p>  <ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>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</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>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工作業における作業者及びその周辺住民の被ばくを検討。</p>
<p>III 分断崩壊</p>  <ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	<p>D3: 基礎地盤の液状化による崩壊</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>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ブ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者及び周辺住民の被ばくを検討。</p>

5.9 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。

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

I.すべり崩壊



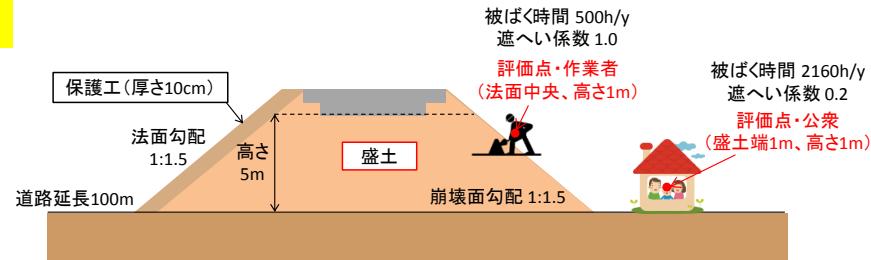
- 崩壊面の勾配 : 1:2.1
(事例調査¹⁾による崩壊後の傾斜角24~26° より設定)

- 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

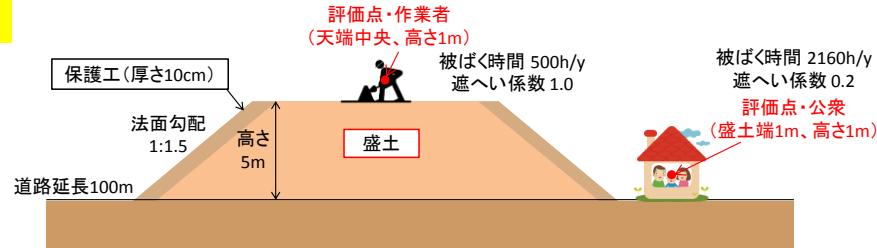
- 崩壊面の勾配 1:1.5
(安全側に立って保護工のみが崩壊した場合を想定)
- 崩壊した保護工は線源を含まないことから、回収土による被ばくは検討対象としない。



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。



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」

5.10 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【津波】 東日本大震災(2011)</p> <table> <tbody> <tr><td>大船渡市(岩手)</td><td>: 570m</td></tr> <tr><td>山田町(岩手)</td><td>: 412m</td></tr> <tr><td>田老海岸(岩手)</td><td>: 200m</td></tr> <tr><td>野田海岸(岩手)</td><td>: 120m</td></tr> <tr><td>金浜地区(岩手)</td><td>: 35m</td></tr> <tr><td>御伊勢浜海岸(宮城)</td><td>: 265m</td></tr> <tr><td>松崎尾崎の海岸(宮城)</td><td>: 350m</td></tr> </tbody> </table>	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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 <ul style="list-style-type: none"> 復旧作業者(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・現地盤改良工作業者、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者の被ばくを検討。 (※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)
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																
II 法面崩壊 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【津波】 東日本大震災(2011)</p> <table> <tbody> <tr><td>市川海岸(青森)</td><td>: 1km</td></tr> <tr><td>横道海岸(青森)</td><td>: 1km</td></tr> <tr><td>百石海岸(青森)</td><td>: 1km</td></tr> <tr><td>三沢海岸(青森)</td><td>: 180m</td></tr> <tr><td>長浜海岸(宮城)</td><td>: 50m</td></tr> <tr><td>南浜町(宮城)</td><td>: 20m</td></tr> </tbody> </table>	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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 <ul style="list-style-type: none"> 復旧作業者(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業者に対する被ばく(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。) 		
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																
III 倒壊(パラペット) 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【高波】 台風23号(2004)</p> <table> <tbody> <tr><td>菜生海岸(高知)</td><td>: パラペット部 (高さ1m)</td></tr> </tbody> </table>	菜生海岸(高知)	: パラペット部 (高さ1m)	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>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。</p>											
菜生海岸(高知)	: パラペット部 (高さ1m)																
IV ひび割れ・沈下	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>【地震】 新潟県中越沖地震(2007)</p> <table> <tbody> <tr><td>観音岬(新潟)</td><td>: 30m</td></tr> </tbody> </table>	観音岬(新潟)	: 30m	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ箇所のモルタル充填 基礎補強工事 	<p>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</p>											
観音岬(新潟)	: 30m																

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)

5.11 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	<p>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</p> <p>●復旧現場</p> <p>➤ 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)</p>
	<p>●崩壊土回収現場</p> <p>➤ 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)</p> <p>➤ 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)</p>
II. 法面崩壊	<p>検討対象: 法面崩壊により露呈した盛土からの被ばく</p> <p>➤ 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)</p> <p>➤ 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)</p>

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」

5.12 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ブルーム由來の被ばく	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		

5.13 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壤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ブ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)	・復旧作業者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	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 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) ・ブルーム上昇高さ: 100,200,500m 	<p>・周辺居住者</p> <p>・消防士</p> <p>・最も濃度の高い地点で影響を評価</p> <p>評価点・作業者 (堆積土中央、高さ1m) 被ばく時間 1,000h/y 遮へい係数 1.0 希釈係数 0.3 厚さ30cm 500m 500m</p> <p>津波堆積土</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 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)

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

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」

參考資料

道路盛土を例にした検討経路（1/2）

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	盛土	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	

道路盛土を例にした検討経路（2/2）

経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
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)
21		農耕作業	井戸水で灌漑した土壤	作業者
22				外部 粉塵吸入
23		農作物摂取	灌漑した土壤で生産された農作物	一般公衆(成人)
24				一般公衆(子ども)
25		畜産物摂取	灌漑した土壤で生産された畜産物	一般公衆(成人)
26				一般公衆(子ども)
27		畜産物摂取	井戸水で飼育された畜産物	一般公衆(成人)
28				一般公衆(子ども)
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)
30				一般公衆(子ども)

鉄道盛土を例にした検討経路（1/2）

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	盛土	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				一般公衆(子ども)	外部	
13	鉄道施工	バラスト敷設		作業者	粉塵吸入	
14				作業者	外部	
15		周辺居住	盛土	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	

鉄道盛土を例にした検討経路（2/2）

経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
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	井戸水	一般公衆(成人)
19				一般公衆(子ども)
20		農耕作業	井戸水で灌漑した土壤	作業者
21				外部 粉塵吸入
22		農作物摂取	灌漑した土壤で生産された農作物	一般公衆(成人)
23				一般公衆(子ども)
24		畜産物摂取	灌漑した土壤で生産された畜産物	一般公衆(成人)
25				一般公衆(子ども)
26		畜産物摂取	井戸水で飼育された畜産物	一般公衆(成人)
27				一般公衆(子ども)
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)
29				一般公衆(子ども)

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	<p>【かさ密度】 盛土: 2.0 g/cm³ 保護工: 1.7 g/cm³</p> <p>評価点・作業者 (盛土中央、高さ1m) 被ばく時間 1,000h/y 遮へい係数 1.0</p> <p>評価点・作業者 (法面中央、高さ1m) 被ばく時間 2,600h/y 遮へい係数 0.2</p> <p>評価点・公衆 (盛土端1m、高さ1m)</p>	<p>評価点・作業者 (盛土中央、高さ1m) 被ばく時間 1,000h/y 遮へい係数 1.0</p> <p>評価点・作業者 (法面中央、高さ1m) 被ばく時間 3,000h/y 遮へい係数 0.2</p> <p>評価点・公衆 (盛土端1m、高さ1m)</p>
供用時: 道路利用 周辺居住	<p>路肩一側帯 0.05m 車道+側帯(2車線) 0.10m 路肩一側帯 0.05m</p> <p>路盤材 0.15m 不透水性アスファルト 0.20m 上層路盤材 0.30m 下層路盤材 0.30m 不透水性アスファルト 0.15m</p> <p>0.75m 0.30m 7.5m</p> <p>評価点・利用者 (盛土中央、高さ1m) 被ばく時間 400h/y 遮へい係数 1.0</p> <p>保護工 保護工厚さ 2, 10cm 評価点・公衆 (盛土端1m、高さ1m)</p> <p>法面勾配 1:1.5 高さ 5m 道路延長100m 地盤</p>	<p>車道+側帯(2車線) 0.10m 路肩一側帯 0.05m</p> <p>路盤材 0.20m 不透水性アスファルト 0.30m 上層路盤材 0.30m 下層路盤材 0.15m 不透水性アスファルト 0.15m</p> <p>1.75m 8.5m</p> <p>評価点・利用者 (盛土中央、高さ1m) 被ばく時間 8,760h/y 遮へい係数 0.2</p> <p>保護工 保護工厚さ 2, 10cm 評価点・公衆 (盛土端1m、高さ1m)</p> <p>法面勾配 1:1.5 高さ 5m 道路延長100m 地盤</p>
供用時: 地下水移行	<ul style="list-style-type: none"> ・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^{-7} cm/s、動水勾配: 1 → 浸透水量: 0.032m/y) 	<ul style="list-style-type: none"> ・盛土の空隙率: 0.25 ・盛土の収着分配係数: 270 mL/g (IAEA TRS No.364, 土壤、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))

防潮堤を例にした検討経路（1/2）

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	基礎碎石工		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	

防潮堤を例にした検討経路（2/2）

経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態
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壤	作業者 外部
19				粉塵吸入
20		農作物摂取	灌漑した土壤で生産された 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	灌漑した土壤で生産された 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

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	<p>【かさ密度】 盛土: 2.0 g/cm³</p>	
供用時: 防潮堤利用 周辺居住	<p>1 h/dの散歩 を想定</p> <p>1年間住み続ける ことを想定</p>	
供用時: 地下水移行	<ul style="list-style-type: none"> 再生資材を使用する部材のみをソースター姆に設定 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) 	<ul style="list-style-type: none"> 盛土の空隙率: 0.25 盛土の収着分配係数: 270 mL/g (IAEA TRS No.364, 土壤、砂) 完成道路盛土端から井戸までの距離: 0 m

海岸防災林を例にした検討経路 (1/2)

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、盛土造成直後(0年・植栽前)、および防災林の根が再生資材に到達する時点(植栽後0年or植栽後2年)を評価する。	
2					粉塵吸入		
3		運搬作業			直接経口		
4		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	※経路No.15は、植栽後7年、17年、27年、37年の伐採前・後を評価する。 ※経路No.16、17は、上述の0年・植栽前、植栽後0年or植栽後2年、7年、17年、27年、37年の伐採前・後を評価する。	
7					粉塵吸入		
8					直接経口		
9					外部		
10		周辺居住 (盛土整備中)		一般公衆(成人)	粉塵吸入		
11					外部		
12					粉塵吸入		
13		植栽等作業 (盛土整備後)		作業者	外部		
14				作業者	外部		
15	海岸防災林完成後	伐採作業	盛土、樹木、伐採木 (伐採前・後)	一般公衆(成人)	外部	※経路No.16、17は、上述の0年・植栽前、植栽後0年or植栽後2年、7年、17年、27年、37年の伐採前・後を評価する。	
16					外部		
17	海岸防災林完成後 の地下水移行 (海側への流出)	周辺居住		一般公衆(子ども)	外部		
18	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	※林帯幅、再生資材層厚さに応じたケース分けを行う。		
				一般公衆(子ども)		経口	

海岸防災林を例にした検討経路（2/2）

経路	検討対象	線源	対象者	被ばく形態	備考
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壤	作業者	外部
22					粉塵吸入
23		農作物摂取	灌漑した土壤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	灌漑した土壤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

※井戸までの距離、再生資材層厚さに応じたケース分けを行う。

海岸防災林を例にした条件設定の詳細

- 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	<p>【かさ密度】 盛土:2.0 g/cm³, 覆土:1.5 g/cm³</p> <p>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)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>●建設作業者・周辺居住者</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>●植栽作業者</p> </div> </div>									
供用時 ・施設点検 ・伐採作業 ・周辺居住	<ul style="list-style-type: none"> 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。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>評価時期</p> <table border="1"> <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="3">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> </table> </div> </div>	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)
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		<ul style="list-style-type: none"> 再生資材を使用する部材のみをソーススタークムに設定 盛土への浸透水量: 1.6 m/y (福島県浜通り沿岸の年平雨量の最大値) <ul style="list-style-type: none"> 盛土の空隙率: 0.3 盛土の収着分配係数: 270 mL/g (IAEA TRS No.364, 土壤、砂) 完成道路盛土端から海／井戸までの距離: 0m 								

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			運搬作業	再生資材	作業者	粉塵吸入
3			運搬経路周辺居住	再生資材	一般公衆(子ども)	直接経口
4						外部
5						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
7			保護工(客土、植生基材)施工	土堰堤 ^{※2}	作業者	粉塵吸入
8						直接経口
9			周辺居住	中間覆土/最終覆土 ^{※1}	一般公衆(成人)	外部
10					一般公衆(子ども)	外部
11						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
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壤	作業者	外部
20						粉塵吸入
21			農作物摂取	灌漑した土壤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	灌漑した土壤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

※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。

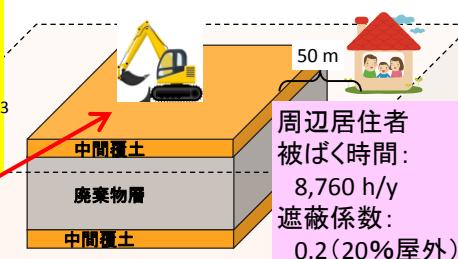
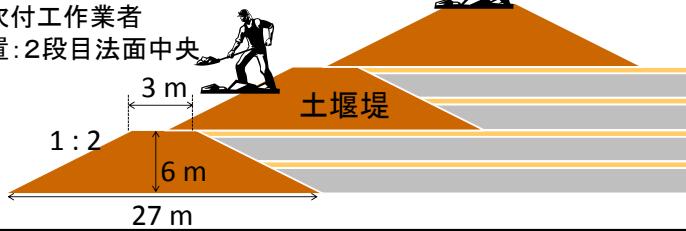
※2 経路9は土堰堤に使用したケースのみ実施。

※3 保護工厚さを変動させた評価を実施。

※使用される部材に応じたケース分けを行う。

最終処分場を例にした検討条件の詳細

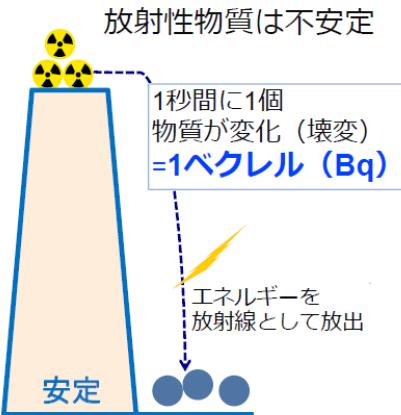
- 3段の土堰堤を有する最終処分場を想定。外部被ばくの評価体系は「全国都市清掃会議、廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領 2010改訂版」を参照。
- 埋設終了後は、土堰堤法面、埋立地上面に保護工(客土、植生基盤)が0.1~0.5m吹付けられ、10年後に公園等に利用されたとした。
- 最終処分場から周辺居住者(住宅)までの距離は、宮城県、千葉県の基準を参考に50mとした(上流側のみ)。

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	<p>処分場面積: 200m × 200m 中間覆土(土壤): 厚さ0.5m, 2.0 g/cm³ 最終覆土(土壤): 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 周辺土壤(土壤): 1.5 g/cm³</p> <p>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</p>  <p>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</p>	<p>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)</p> <p>保護工吹付工作業者 評価位置: 2段目法面中央</p> 
供用時: 保護工補修 跡地利用 周辺居住	<p>保護工(土壤): 厚さ0.1~0.5m 1.7 g/cm³</p> <p>【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</p> 	<p>【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</p> <p>【中間覆土、最終覆土】 周辺居住者 評価位置: 処分場端から50m</p>  <p>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</p> <p>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</p> <p>周辺居住者 被ばく時間: 8,760 h/y 遮蔽係数: 0.2(20%屋外)</p>
供用時: 地下水移行	<ul style="list-style-type: none"> 再生資材を使用する部材のみをソーススタークに設定 最終処分場への浸透水量: 0.4 m/y 	<ul style="list-style-type: none"> 空隙率: 0.25(中間覆土、土堰堤)、0.43(最終覆土) 土壤の収着分配係数: 270 mL/g (IAEA TRS No.364, 土壤、砂) 最終処分場端から井戸までの距離: 0 m

既往の評価と今回の評価例との比較

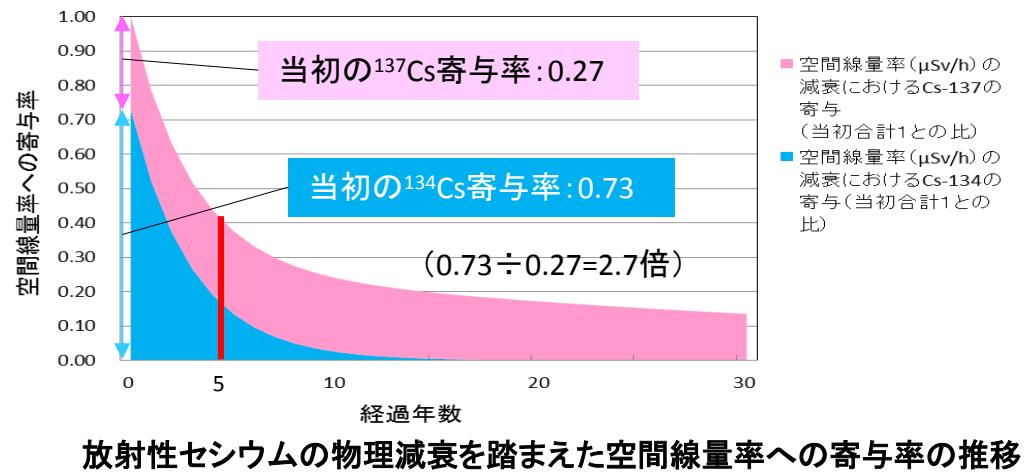
- 134Csと137Csを比較すると134Csの方が137Csの約2.7倍程度空間線量率に寄与する放射線を放出する。一方、134Cs及び137Csの存在比は、事故当初にはおおむね1対1であったが、134Cs(半減期約2年)は137Cs(半減期約30年)に比べ早く物理減衰し、H28年3月時点では134Cs:137Cs=0.209:1(約1:5)である。
- そのため、空間線量率が一定になるようにして比較した場合、時間の経過に伴い除去土壌等の放射能濃度としては増加することとなる。

放射性物質の壊変と空間線量率への寄与度



134CSが安定化する際に放射線として放出するエネルギーは、137CSが安定化する際に放射線として放出するエネルギーの約2.7倍大きい

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



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134CS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(道路下層路盤材(土壌))

年	濃度 (施工時1mSv/相当濃度)
H28	5,500 Bq/kg

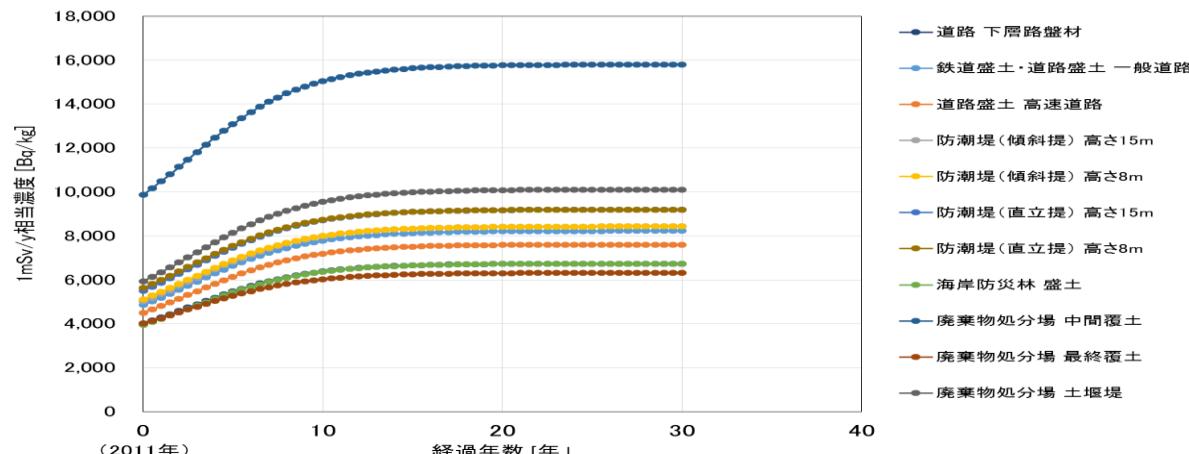
供用中の追加被ばく線量を0.01mSv以下とするには覆土等の厚さを50cm確保すればよい。

* 「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)134Csと137Csの存在比1:1で再計算した値

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 ^{134}Cs と ^{137}Cs 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 ^{134}Cs と ^{137}Cs 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(傾斜提)		防潮堤(直立提)		海岸防災 林	廃棄物処分場		
				高さ15m	高さ8m	高さ15m	高さ8m		盛土	中間覆土	最終覆土
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



除去土壤等の再生利用とクリアランスの比較

	除去土壤の再生利用	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	<ul style="list-style-type: none"> ○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壤のうち、特措法に基づく基準に従って除染等の後、中間貯蔵施設に集約し減容処理したものを、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。 	<ul style="list-style-type: none"> ○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	<ul style="list-style-type: none"> ○除去土壤等 	<ul style="list-style-type: none"> ○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	<ul style="list-style-type: none"> ○有り <ul style="list-style-type: none"> ・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） 	<ul style="list-style-type: none"> ○無し
使用制限	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ○無し
参照する追加被ばく線量	<ul style="list-style-type: none"> ○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 	<ul style="list-style-type: none"> ○0.01mSv/y以下

①「安全確保の当面の考え方」を踏まえた ②「福島県内における公共工事における建設副産物の再利用等に関する基本的考え方」

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

再利用:クリアランスの考え方を準用

- 再利用して生産された製品は、市場に流通する前にクリアランスレベルの設定に用いた基準($10\mu\text{Sv}/\text{年}$)以下になるように、放射性物質の濃度が適切に管理されていることを確認する。

②「福島県内における公共工事における建設副産物の再利用等に関する当面の取扱いに関する基本的考え方」【概要】

平成25年10月25日 内閣府原子力災害対策本部 他

背景

- 警戒区域及び避難指示区域の見直しの進捗
- 廃棄物の発生量を抑制 => 廃棄物の再資源化
- 避難指示区域等におけるインフラ復旧のための工事の本格化
- 放射性物質の影響を受けた建設副産物の再利用に対する懸念

建設副産物(建設発生土、アスファルト、コンクリート)の再利用等に関する「基本的考え方」を整理

基本的考え方

帰還困難区域、居住制限地域から発生した建設副産物の再利用等は、放射線量が発生した区域と同等又はより高い区域において行うことを基本とする。

帰還困難区域から
発生した建設副産物



帰還困難区域で再利用(※)

居住制限区域から
発生した建設副産物



帰還困難区域／居住制限区域
で再利用(※)

避難指示解除準備区域
から発生した建設副産物



再利用を行う区域の
制限を設けず

発生した区域より放射線量が低い区域で再利用等を行う場合

以下のいずれかを満たす場合、再利用等が可能。

- 再資源化資材等の放射能濃度が $100\text{Bq}/\text{kg}$ 以下であること。ただし、浜通り及び中通りにおける道路、河川等の屋外の公共工事で使用する再資源化資材については、 $0.23\mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下であることを確認すれば使用可能。
- 利用者・周辺居住者の被ばく線量が $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ となるよう管理された状態で屋外において遮蔽効果を有する資材等を用いて利用(例えば、 $3,000\text{Bq}/\text{kg}$ 以下の資材等を30cm以上の覆土等を用いる場合)

※ 再利用等にあたっては、汚染される表面が除去等されることにより放射線量の低減が期待。

※ 公共工事においては、表面除去等を実施、再利用等は屋外の公共工事に限定。

※ 公共工事前後の空間線量率・表面線量率等を測定し有意な上昇がないことを確認。