

追加被ばく線量評価について（土地造成）

平成29年3月27日
環境省

1. 追加被ばく線量評価の概要

目的

- 再生資材化した除去土壌の利用においては、周辺住民、施設利用者、作業員における追加被ばく線量を制限するため、用途先の限定、再生資材の放射能濃度の制限、適切な覆土厚の確保等の措置を講じる。
- 本追加被ばく線量評価を通じて、
 - ・ 一般公衆及び作業員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。
- 評価結果を踏まえ、用途先としての土地造成(埋立材)の妥当性を確認するとともに、「再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方」を追補・改定することとしたい。

追加被ばく線量評価の流れ

① 用途先の設定

- ・ 管理主体や責任体制が明確
- ・ 人為的な形質変更が想定されない

② 被ばく経路の想定

- ・ 用途に応じた施工時、供用時の被ばく経路の想定
- ・ 作業工程及び施設利用の情報に基づき、現実的なシナリオ・パラメータの設定

③ 1mSv/y相当濃度の算出

- ・ 評価モデルにより、施工時、供用時の各被ばく経路で1mSv/yを超えない放射能濃度レベルを算出
- ・ 最も影響が大きい被ばく経路を確認

④ 追加被ばく線量の更なる低減

- ・ 供用時における一般公衆に対する被ばく線量が0.01mSv/yに低減する覆土等の厚さを評価

⑤ 災害・復旧時の評価

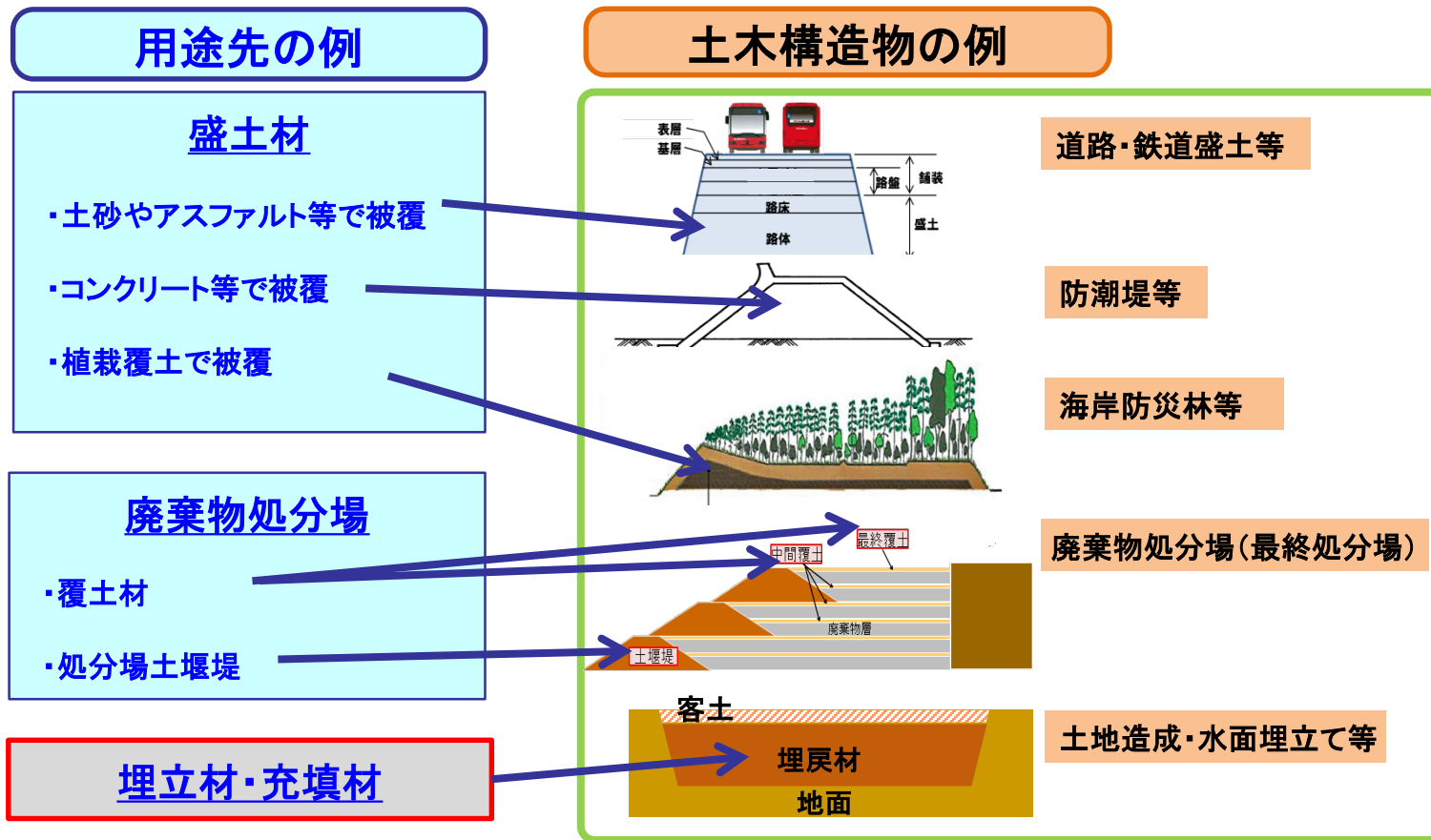
- ・ 用途に応じて想定される災害・被ばく経路を想定
- ・ 災害、復旧時における被ばく線量が1mSv/yを超えないことを確認

(参考) 再生利用の用途先の例

基本的な方針

- 利用先を管理主体や責任体制が明確となっている公共事業等における人為的な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た上で、追加被ばく線量を制限するための放射能濃度の設定、覆土等の遮へい、飛散・流出の防止、記録の作成・保管等の適切な管理の下で再生資材を限定的に利用する。

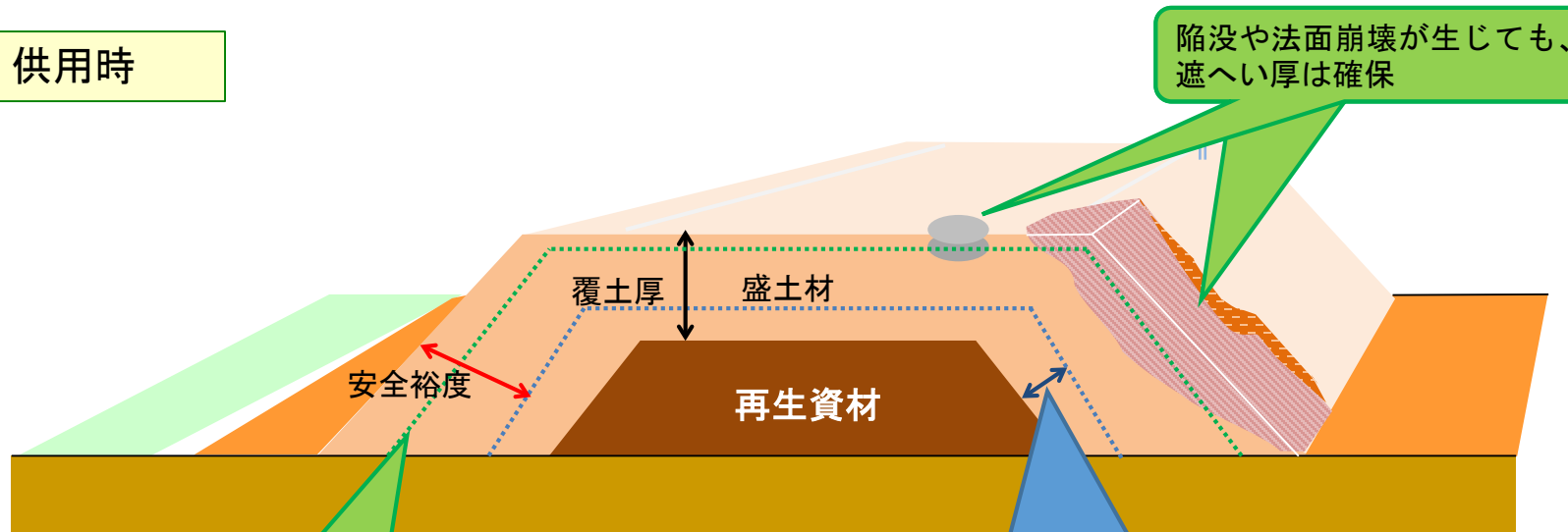
(再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方について(抜粋))



(参考) 放射線防護のための管理のイメージ

- 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没位置を設計する。
- ✓ 土木構造物を維持するために通常行われる点検管理を行うことにより、放射線防護も同時に満足される。

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。

2-1. 土地造成において想定する再生資材の利用形態

土地造成とは

土地利用目的に従って、土地の一部に土木工事を施し、新たに土地を作ること。

再生資材は埋立柱材として利用。
再生利用は、多量の再生資材を活用した「土取場等の埋戻し」での土地造成を想定。

造成地の利用形態

農地 住宅地 工業用地 空港用地 緑地 等

<前提>再生利用の基本的な方針

- 管理主体等が明確になっている公共事業等
- 人為的な形質変更が想定されない

土取場等：
土地利用に当たっては埋戻し等による
環境回復が必要な窪地状の土地
環境回復：
土地の復元又は整備（本件では埋戻し・
緑地化）

被ばく線量評価における『土地造成』

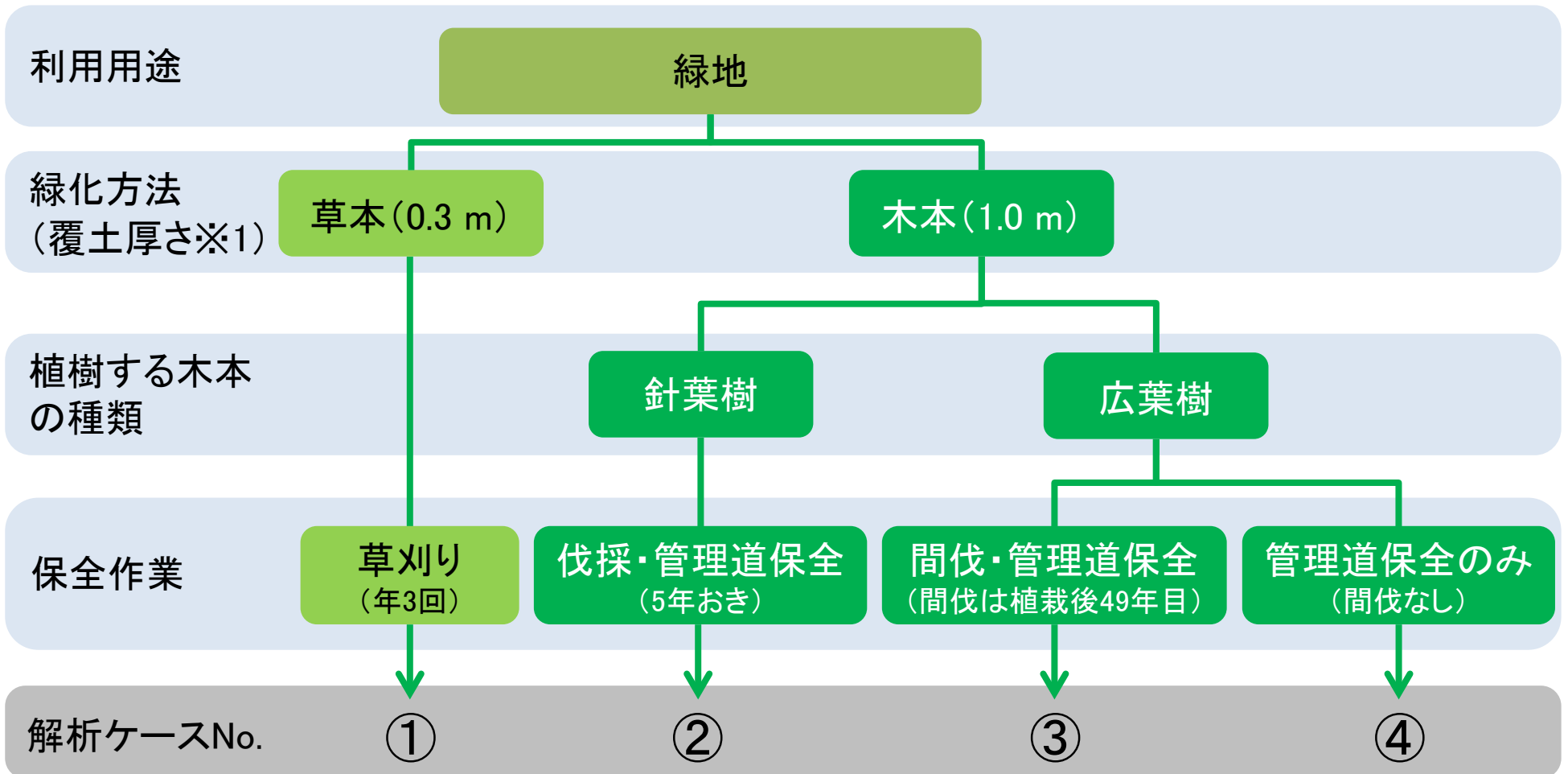
土取場・窪地等を埋戻し・緑地化した造成地を、
管理主体等が明確になっている公共事業等で、
人為的な形質変更が想定されない

・緑地

として利用することを想定した。

2-2. 造成地の利用用途による評価ケース

➤ 利用用途ごとに緑化方法、植樹の種類及び保全作業に応じて4ケースを設定。



※1 国土交通省都市局公園緑地・景観課「植栽基盤の整備手順(案)」等を参考にした

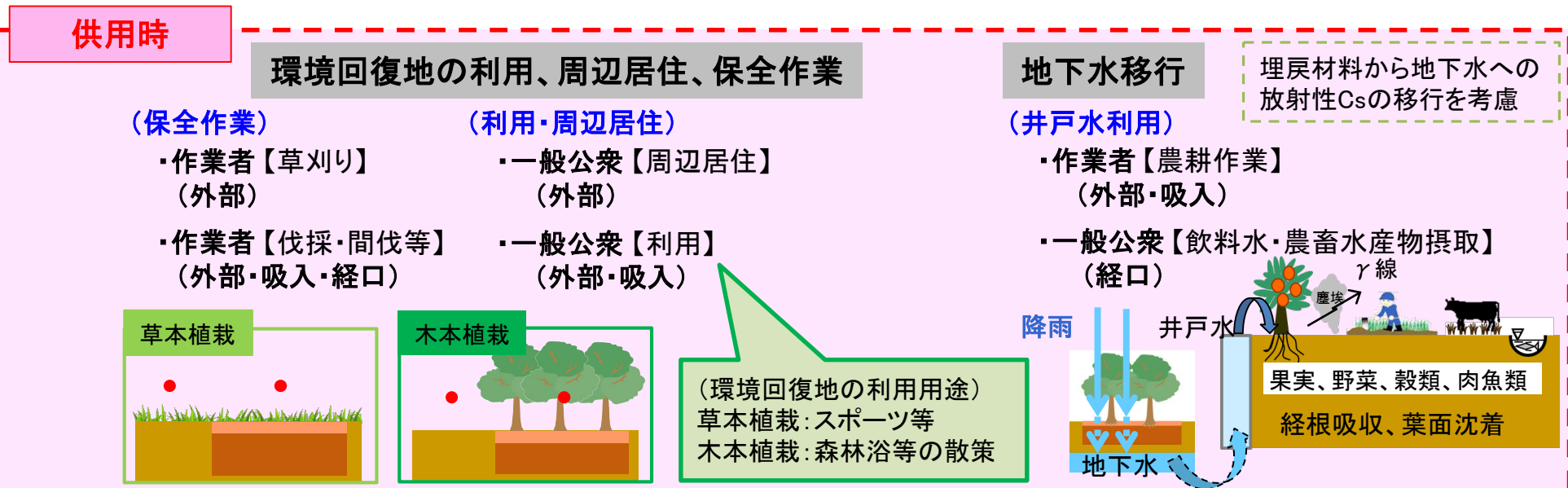
3. 土地造成における被ばく経路の想定

※被ばく経路、評価パラメータの詳細については、参考資料1を参照

➤ 再生資材を埋戻材として、土取場等の環境回復に利用し、植栽用の客土で被覆した場合を想定し、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、被ばく経路を想定。



- 評価対象核種:
Cs-134、Cs-137
(平成28年3月時点の存在比 0.209:1)
- 処理に伴う希釈は考慮しない。
- 災害時には別途評価を行う。

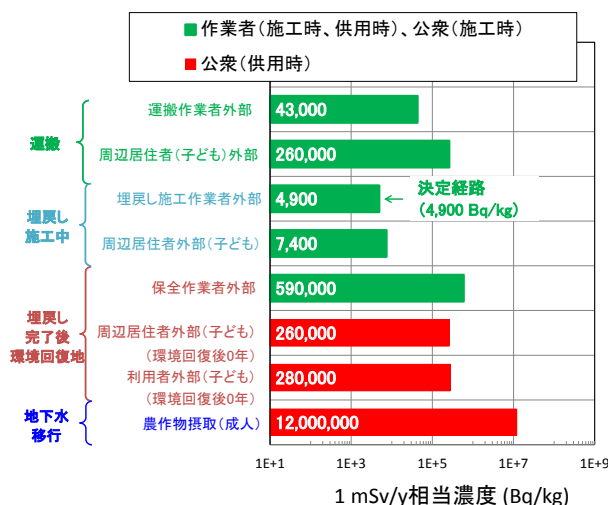


4. 植栽覆土で被覆された造成地における1 mSv/y相当濃度の評価

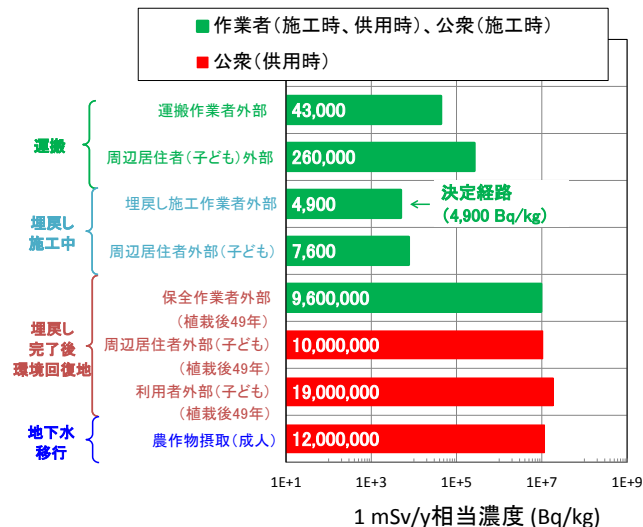
※被ばく評価モデルの詳細については、参考資料1を参照

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

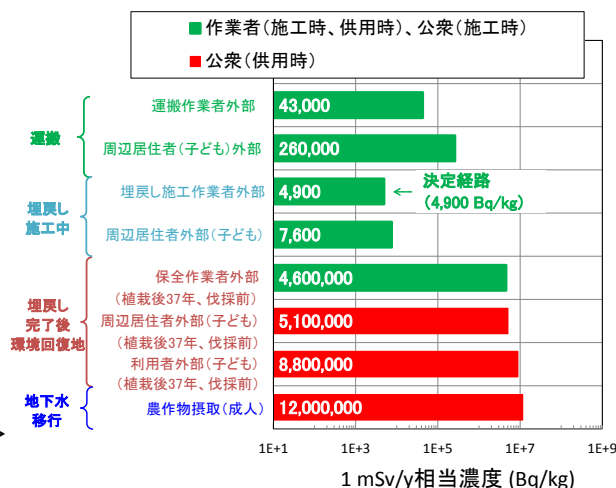
ケース① 草本植栽



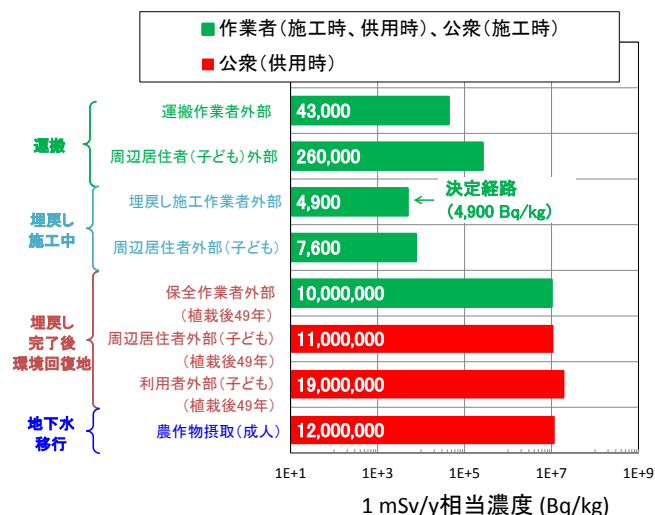
ケース③ 木本植栽 (広葉樹 間伐)



ケース② 木本植栽 (針葉樹)



ケース④ 木本植栽 (広葉樹 無間伐)



<使用した計算コード>

- ◆ MCNP5コード
- ◆ QAD-CGGP2Rコード
- ◆ クリアランスレベル評価コードPASCLR2

5. 算出される放射能濃度レベル 及び 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

➤ 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る。

用途先	緑化方法	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
埋立材	草本類	埋戻し施工中周辺居住者 子ども-外部被ばく	7,400	埋戻し施工作業者-外部被ばく	9,700	6,500	4,900
	木本類		7,600				

- 評価対象は、供用時における一般公衆の決定経路となる周辺居住の子どもとした。
- 1 mSv/y相当の放射能濃度レベル 4,000 Bq/kg 及び 7,000 Bq/kgとした結果を下表に示す。
- 供用時の一般公衆の被ばく線量低減のための覆土厚*を検討し、覆土厚を40 cm以上とすると、外部被ばく線量が0.01 mSv/yを下回ることが確認できた。

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]	30 cm	40 cm	100 cm
一般公衆の外部被ばく	埋立材	草本類	4,000	0.016	< 0.01	< 0.01
			7,000	0.027	< 0.01	< 0.01
		木本類	4,000	0.016	< 0.01	< 0.01
			7,000	0.027	< 0.01	< 0.01

*: 覆土厚は、国土交通省都市局公園緑地・景観課「植栽基盤の整備手順(案)」等を参考に設定した

6-1. 災害・復旧時における検討条件の概要

自然災害	検討結果
地震	<p>遮へい材としての機能する覆土(草本植栽:厚さ30 cm、木本植栽:厚さ1 m)について、液状化等により部分的な覆土厚さの減少等の形状変化が生じる可能性が考えられるが、そのケースの評価は、より保守的な評価となる下記の津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。</p>
津波	<p>東日本大震災の被災地の視察結果^{*1,2}によると水田において津波により影響を受けたのは表層2~3 cmであったことから、平場の土地造成地における津波による影響は小さいと考えられる。一方で、面積はわずかであるが20~30 cmほどの深さの陥没様箇所が確認されたことや、倒木が認められたこと、堤防裏法尻背後で洗堀があったこと^{*1-3}などから、部分的に覆土厚さが減少し、埋戻材が露出する可能性はある。そこで、被ばく線量が最大となる埋戻材がすべて露出する条件を用いて評価を行った。</p> <p><草本植栽> 覆土がすべて津波で流され、埋戻材が露出した条件で被ばく線量評価を行った。</p> <p><木本植栽> 埋戻材の規模がより大きい草本植栽のケースで代替した。</p>
火災	<p>植栽した樹木の火災により発生したプルーム由来の被ばくが考えられる。</p> <p><草本植栽> 草本への放射性セシウムの移行量は木本と比べ小さいため、より保守的な評価となる木本の火災に対する評価で代替する。</p> <p><木本植栽> 放射性セシウムが移行した木本の火災により、放射性セシウムが拡散することを想定した被ばくを評価する。</p>
暴風・竜巻	<p>暴風・竜巻による倒木で根返りが発生することが考えられるが、下記の理由から評価の対象から外した。</p> <p><草本植栽> 草本のみのため倒木は発生しない。</p> <p><木本植栽> 倒木による根返りの発生は考えられるが、覆土厚を1 mとしており露出の可能性は低いと想定される。倒れた樹木からの被ばくについては、伐採業者に対する評価に代替される。</p>
異常降雨 (豪雨)	<p>草地や林地での侵食土深は0.1~0.01 mm/yであり、豪雨により100倍となった場合でも1~10 mmほどである^{*4}。また、一降雨により年間の土砂流出量を上回った事例として10~30 m³/ha(1~3 mm相当)が報告されている^{*5}。これらから、豪雨による覆土厚さの減少は津波の場合より少ないと考えられるため、より保守的な評価となる津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。一方、異常降雨の発生に伴う年間の浸透水量の増加が考えられ、その地下水移行への影響を評価した。</p> <p><草本植栽> より保守的な評価となる津波による埋戻材の露出を想定したケースの評価で代替する。浸透水量の増加による地下水移行への影響を評価する。</p> <p><木本植栽> 埋戻材の量が草本植栽に比べて少ないことから、より保守的な評価となる草本植栽のケースで代替する。</p>

*1 南條正巳、農地土壌に対する東日本大震災の影響と対策 <http://www.agri.tohoku.ac.jp/agri-revival/ocu6bi00000002cz-att/a1322803240058.pdf>

*2 東北大学、東日本大震災: 仙台市南東部における津波被災農地の視察 <http://www.agri.tohoku.ac.jp/soil/jpn/2011/04/arahama.html>

*3 大久保陽介 他、津波越流時における海岸堤防の洗掘に関する数値解析モデルの構築、土木学会論文集(海岸工学)、70(2) pp.1,991-1,995 (2014)

*4 北原曜、植生の表面侵食防止機能、砂防学会誌 54(5) pp.92-101 (2002)

*5 早川博、圃場の耕起方法の違いによる地表面流発生メカニズムの解明 http://www.ric.or.jp/profile/works/kiyou/H25_3.pdf

6-2. 災害・復旧時における追加被ばく線量の検討

※被ばく評価モデル、被ばく経路、評価パラメータの詳細については、参考資料1を参照

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

土木構造物	評価対象として選定した災害の要因	7,000 Bq/kgの再生資材を用いた場合の追加被ばく線量検討結果(決定経路)	検討結果概要
植栽覆土で被覆された造成地(例:土地造成) <草本植栽で代表>	津波	作業員: 0.71 mSv/y (復旧作業員-外部) 一般公衆: 0.24 mSv/y (周辺居住者(子ども)-外部)	・被ばく線量が最大となる経路は、復旧作業時の外部被ばくであるが、1 mSv/yを下回った。
植栽覆土で被覆された造成地(例:土地造成) <木本植栽>	火災	作業員(消防士-プルーム・内部): 針葉樹(42年目) 0.00076 mSv/y 広葉樹・間伐(59年目) 0.00022 mSv/y 広葉樹・無間伐(59年目) 0.00023 mSv/y 一般公衆(周辺公衆-プルーム・内部): 針葉樹(42年目) 0.000030 mSv/y 広葉樹・間伐(59年目) 0.0000086 mSv/y 広葉樹・無間伐(59年目) 0.0000089 mSv/y	・いずれのケースでもプルームによる内部被ばく経路の線量が最大になったが、1 mSv/yを大幅に下回った。
植栽覆土で被覆された造成地(例:土地造成) <草本植栽で代表>	異常降雨(豪雨)	一般公衆(成人): 農作物摂取 0.0015 mSv/y	・被ばく線量が最大となる経路は、一般公衆(成人)の農作物摂取であるが、1 mSv/yを下回った。

7. 用途ごとの再生資材として利用可能な放射能濃度（案）

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

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

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

※3: 用途先の構造上、一定の植栽基盤の厚さや覆土の厚さが必要とされる場合、追加被ばく線量の更なる低減のために必要な覆土等の厚さは、当該構造上必要とされる覆土等の厚さも含めた必要な厚さである。なお、追加被ばく線量の更なる低減のために必要な覆土等の厚さとしては、盛土におけるコンクリートで被覆した場合は30 cm、植栽覆土で被覆した場合は50 cm(詳細については参考資料2を参照)、埋立材・充填材における植栽覆土で被覆した場合は40 cmである。

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