

土砂やアスファルト等で被覆された盛土（例：道路・鉄道盛土等）への
再生資材の利用に係る線量評価について

平成 28 年 6 月 10 日
日本原子力研究開発機構

本資料は、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（第 4 回）（平成 28 年 6 月 7 日）資料 4「追加被ばく線量評価について」の算出評価資料である。なお、同資料 4 における「道路盛土」の線量評価は、本資料の道路盛土（高速道路）の評価に該当する。

1. 道路盛土

再生資材の道路への利用に対する被ばくは、道路および歩道（平地部）の舗装・路盤材へのコンクリートがれきの再利用が既に評価されている⁽¹⁾。本評価では既往の評価を参考として、道路盛土に再生資材を利用したときにおける作業員や周辺住民に与える線量を評価する。

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、既往の評価の際の設定を参照し、現実的なシナリオやパラメータを設定し、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する。

線量評価には、クリアランスレベル評価コード PASCLR2 コード⁽²⁾を用いる。当該コードは、原子炉施設やウラン取扱施設等を対象に、クリアランス後の産業廃棄物としての埋設処分と再生材としての利用のシナリオに関する作業員と公衆の被ばく経路を網羅した線量評価が可能なコードであり、炉規法等のクリアランスレベル、特措法における濃度規準等を評価した実績を有する。また、当該評価に用いる外部被ばく線量換算係数は、原子力施設等の遮へい計算で実績のある QAD-CGGP2R コード⁽³⁾または MCNP5 コード⁽⁴⁾を使用して算出する。

（1）評価経路

再生資材の道路盛土への利用に伴う被ばくは、施工時の被ばくと供用時の被ばくに分けて整理した。

●施工時の被ばく

道路盛土施工時における主な作業工程、および、国土交通省の標準歩掛り⁽⁵⁾に基づく各工程の主な作業形態を表 1 に示す。

表 1 道路盛土施工の主な作業工程

作業工程		作業形態
盛土施工	建設現場への盛土材の運搬	重機
	盛土材の積み下ろし	重機
	盛土材の敷均し・締固め	重機・人力
	法面の整形	重機・人力
	法面への保護工の施工	人力
道路施工	舗装・路盤材の施工	重機・人力
	道路縁石の設置	重機・人力
	路面白線引き	人力
共通	建設機械の洗浄	人力

本評価では、表 1 に示す作業工程を対象として評価を行う。各作業工程において、作業形態で重機と人力の両方が想定される場合は、保守的に人力による作業を想定することとする。

ただし、以下の作業工程については、評価対象から除外した。

- ・盛土施工：法面整形作業

法面整形作業および法面への保護工施工作業は共に法面上で行う作業であるが、法面保護工は全て主に人力で行われる作業であるのに対し、法面整形は主に重機で作業が行われる。

よって、本評価では代表的に保護工施工作業者を評価することとし、法面整形作業を評価対象から除外した。

- ・道路施工：道路縁石の設置・路面白線引き

道路縁石の設置作業および路面白線引き作業は舗装・路盤材の施工後に行われるため、これらの作業者の被ばくは舗装・路盤材施工作業より小さくなる。

よって、本評価では代表的に舗装・路盤材の施工作業者を評価することとし、道路縁石の設置・路面白線引き作業を評価対象から除外した。

- ・建設機械の洗浄

盛土・道路の施工に使用される機械は、現場外への土砂飛散防止のために、現場入口等で洗浄される可能性がある。洗浄により機械に付着した土砂が排水とともに地面へ浸透し、土砂に含まれる核種が帯水層まで到達した場合、汚染した地下水の利用による被ばくが考えられる。

しかし、地下水利用による被ばくについては後述する道路盛土への雨水浸透で考慮しており、大規模な線源（盛土）に対する年間を通した地下水への移行を想定しているため、建設機械の洗浄よりも地下水へ浸透する核種の量ははるかに大きいと考えられる。よって、地下水移行については道路盛土への雨水浸透を代表的に評価することとし、建設機械の洗浄を評価対象から除外した。

- 供用時の被ばく

道路盛土完成後の被ばくとして、周辺居住者、道路利用者および道路・保護工補修者の被ばくが想定される。

また道路盛土に対する雨水および地下水・湧水の影響については、設計上雨水は盛土表面の排水溝で、地下水・湧水は地下排水工（透水管等による暗渠排水）や水平排水層（砂や礫等）で排水することが基本となっているため、影響は小さいと考えられるが、本評価では保守的に道路盛土完成後の雨水浸透による地下水移行についても評価を行うこととした。

設定した評価経路を表 2 に示す。

表 2 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路

No	評価対象		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		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		公衆（成人）	外部
11					粉塵吸入
12				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		公衆（子ども）	外部
16		道路利用		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 る核種の漏洩 (地下水移行)	飲料水摂取	井戸水	公衆（成人）	経口
20				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	公衆（成人）	経口
24				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	公衆（成人）	経口
26				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	公衆（成人）	経口
28				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	公衆（成人）	経口
30				公衆（子ども）	経口

(2) 評価概要

道路盛土の評価体系は、一般道路および高速道路を対象に設定した。設定した評価体系を図 1 および図 2 に示す。

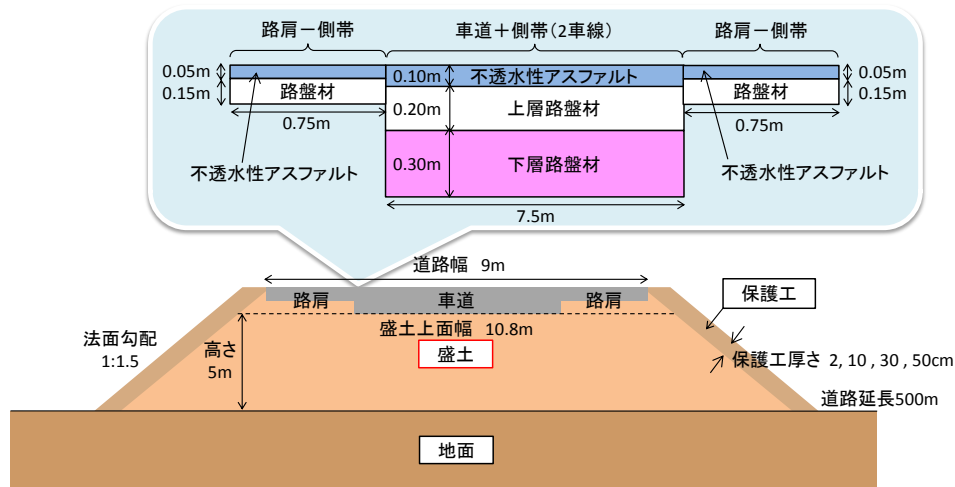


図 1 道路盛土の評価体系（一般道路）

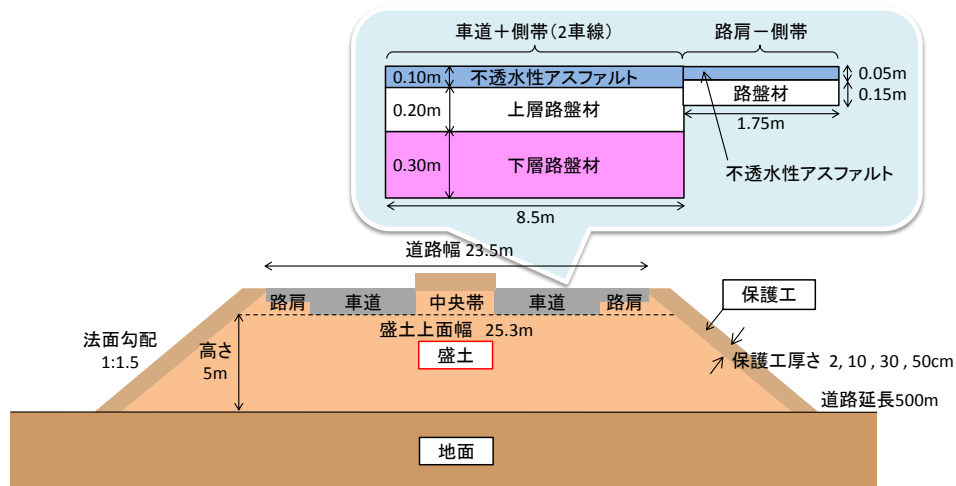


図 2 道路盛土の評価体系（高速道路）

・道路の幅：

「道路構造令の解説と運用」（日本道路協会）⁽⁶⁾より、一般道路は第 3 種第 1 級（一般国道、平地部、計画交通量 20,000 台/日以上）、高速道路は第 1 種第 1 級（高速自動車国道、平地部、計画交通量 30,000 台/日以上）の値を設定した。ただし路肩幅については記載値に幅があるため、一般道路に対してはおおよその平均値、高速道路に対しては最大値を設定した。

・法面勾配・高さ：

代表的に法面勾配 1:1.5、高さ 5m とした。

・保護工（覆土）：

「道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）」（日本道路協会）⁽⁷⁾より、安定勾配が確保されている場合の保護工である植生工に、草本類播種工：2cm（ケース 1）および木本類播種工：10cm（ケース 2）の 2 ケースを想定した。また、覆土が施工されることを想定し、保護工厚さが 30cm（ケース 3）、50cm（ケース 4）の場合についても評価を実施した。

・密度：

土壌の密度は、「道路橋示方書（I 共通編）・同解説」（日本道路協会）⁽⁸⁾に基づき設定した。盛土については礫および砂に対する値：2.0g/cm³、再生資材については自然地盤での密度のおおよその平均値：1.7g/cm³、遮へいとしての効果のある覆土については保守的に 1.5g/cm³ とした。

評価概要を以下に示す。

●共通

- ・ Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とする。
→再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・ 全ての経路について、評価開始時期は保守的に 0 年からとする。
- ・ 一般的な設定が困難な作業員（運搬・建設・補修に係る作業員）の被ばく時間は、1000 時間/年（1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間）とする。

●建設現場への運搬

- ・ 経路 No.1～4（建設現場への積み下ろし・運搬作業員）
積載量 10t の大型ダンプによる運搬を想定する。
- ・ 経路 No.5（運搬経路周辺居住者（子ども））
既往の評価と同様に、運搬トラックの走行台数のうち半分が赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくすると想定する。

●盛土・保護工の施工（図 3 参照）

- ・ 経路 No.6～8（盛土施工（敷き均し・締め固め）作業員）
保守的に盛土天端中央にいる作業員を想定する。
- ・ 経路 No.9（保護工（客土/植生基材吹付工）作業員）
保守的に法面中央にいる作業員を想定する。
- ・ 経路 No.10～13（建設現場周辺居住者）
保守的に建設現場近傍（盛土底面から 1m）に居住する公衆を想定する。

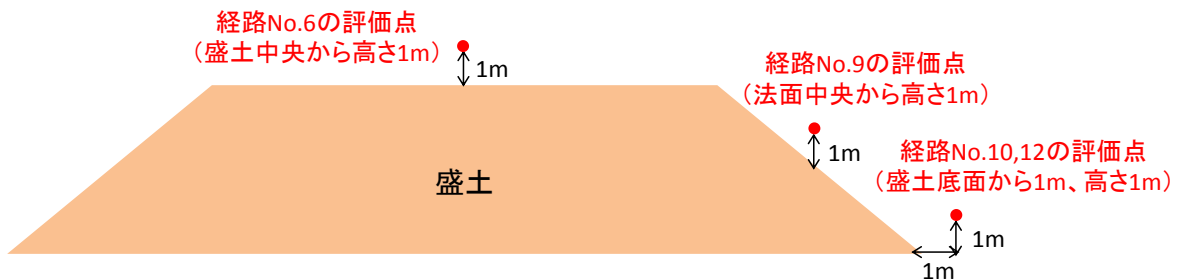


図 3 盛土・保護工の施工に係る作業員と公衆の評価体系

●道路の施工

- ・ 経路 No.14（舗装・路盤材施工作業員）
道路施工作業員は、経路 No.6 と同様の評価点に対し評価を行う。このとき、施工中の舗装・路盤材による遮へいは、保守的に考慮しないものとする。

●道路完成後

- ・ 経路 No.15（周辺居住者）
道路完成後の周辺居住者は、経路 No.10、12 と同様の評価点に対し評価を行う。ただし道路完成後は保護工および道路が施工されているため、これによる遮へいを考慮する。

・経路 No.16（道路利用者（子ども））

道路完成後の道路利用者は、経路 No.6 と同様の評価点に対し評価を行う。ただし道路完成後は保護工および道路が施工されているため、これによる遮へいを考慮する。

なお、道路利用者は高速道路のケースでは想定されないことから、評価対象から除外した。

・経路 No.17（道路補修作業者）

【評価の前提】

- ・アスファルト舗装や簡易舗装では供用後、路面性状が変化をすれば、やがては降雨などによって路盤、路床が破損し、走行性、安全性、快適性等がそこなわれるため、維持修繕を行なう必要がある⁽⁹⁾。
- ・当該舗装の主な修繕工法は、①打換え工法 ②表層・基層打換え工法（切削オーバーレイ工法を含む） ③オーバーレイ工法 ④路上再生路盤工法 等がある。これら工法の概要および対策のおよぶ範囲を以下に示す。

工法	概要
打換え工法（再構築含む）	・既設舗装の路盤もしくは路盤の一部までを打ち換える工法。 ・状況により路床の入れ換え、路床または路盤の安定処理を行うこともある。
表層・基層打換え工法（切削オーバーレイ工法を含む）	・線状に発生したひび割れに沿って、既設舗装を表層または基層まで打ち換える工法。 ・切削により既設アスファルト混合物層を搬去する工法を、特に切削オーバーレイ工法と呼ぶ。 ・切削後の基盤面にクラック等が多く見られた場合については、クラック防止材を設置する等の対応が必要となる。
オーバーレイ工法	・既設舗装の上に、厚さ 3cm 以上の加熱アスファルト混合物層を舗設する工法。 ・局部的な不良箇所が含まれる場合、事前に局部打換え等を行う。 ・オーバーレイ工法を採用する場合、施工後の建築限界や路上施設、沿道高低差に配慮する。
路上再生路盤工法	既設アスファルト混合物層を、現位置で路上破碎混合機等によって破碎すると同時に、セメントやアスファルト乳剤などの添加材料を加え、破碎した既設路盤材とともに混合し、締め固めて安定処理した路盤を構築する工法。



- ・上記の通り、道路の損傷の程度によって修繕の工法は異なる。表層・基層打換え工法（切削オーバーレイ工法を含む）、オーバーレイ工法では基層までの修繕であるため、下層路盤材に再生資材を用いた場合では、上層路盤材の遮へい効果を考慮して評価する必要がある。一方、打換え工法、路上再生路盤工法では、路盤材以下（路床も含む）までの修繕であるため、基本的には建設作業時と同じ体系（遮へい材無し）で評価する必要がある。

- ・しかしながら、道路の損傷の程度は予測できないため、本評価では路盤以下まで修繕する打換え工法、路上再生路盤工法を想定することとした。
- ・アスファルトの耐用年数は10年（減価償却資産の耐用年数等に関する省令）であるため、道路完成10年後に修繕が行われることを想定し、当該作業者の被ばくを評価する。
- ・本作業に伴う周辺居住者の線量評価については、経路 No.10～13 に包括されるため、ここでは評価しない。

【評価条件】

- ・再生資材は盛土に使用される。
- ・盛土からの核種の流出は考慮しない。
- ・10年の減衰効果を考慮する。
- ・当該作業に係る作業者の評価体系は、建設時の作業者（経路 No.6）と同じとする。

- ・経路 No.18（保護工補修作業者）

【評価の前提】

- ・保護工（植生工）で変状が発生した場合、以下のような対策工が施される⁽¹⁰⁾。

変状発生形態	主な変状の原因	対策工
法面の崩壊・小崩壊・はらみ・亀裂	地山の劣化・緩み	植生工
洗掘・ガリー浸食	湧水、表面水	植生工
		ネット張工
剥落による裸地化、植生の枯死	表層すべりの兆候、発生	柵工
		植生工
	凍上・凍結	ネット張工
		植生工
		再施工
	病虫害の発生	薬剤散布
		追播
		再施工
	土壌不良・植生の不生育	追播
		再施工
	乾燥	散水
		追播
		再施工
	動物による食害	ネット張工
パイピング・湧水	排水不良	排水処理工

【評価条件】

- ・保護工の補修時には盛土が露呈している可能性がある。当該補修作業では保護工を部分的に剥がし補修作業等を行うことが想定されるが、その範囲は状況によって異なるので一般的な範囲を決めることはできない。そのため、保護工が全て剥がれた状態での被ばくを仮定し、その評価体系、および外部被ばく線量換算係数等は保護工施工者（経路 No.9）と同じとする。

●道路完成後の地下水移行（図 4、5 参照）

- ・経路 No.19～30（完成道路の周辺居住者）

PASCLR2^②では、放光体状の線源をソースタームとした地下水移行評価はできない。そのため本評価のソースタームは、降雨浸透により核種が漏えいすると仮定する盛土底面の面積、線源体積を変えずに盛土高さ（厚さ）を変えた直方体で近似した。

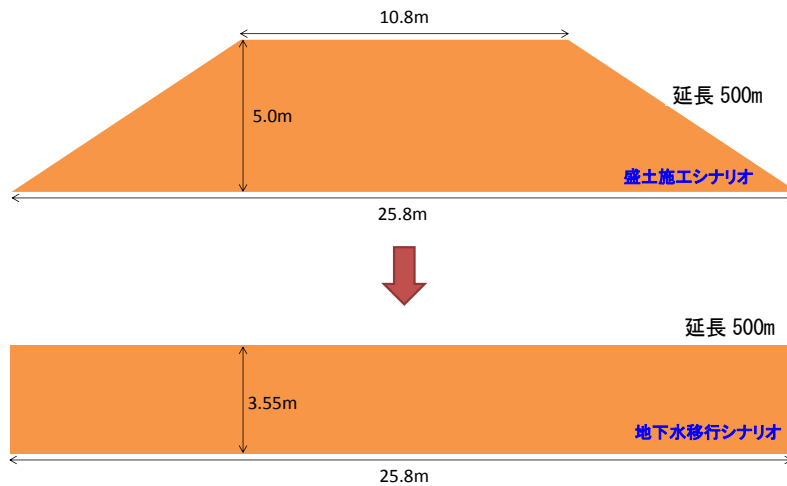


図 4 道路盛土（一般道路）の評価体系

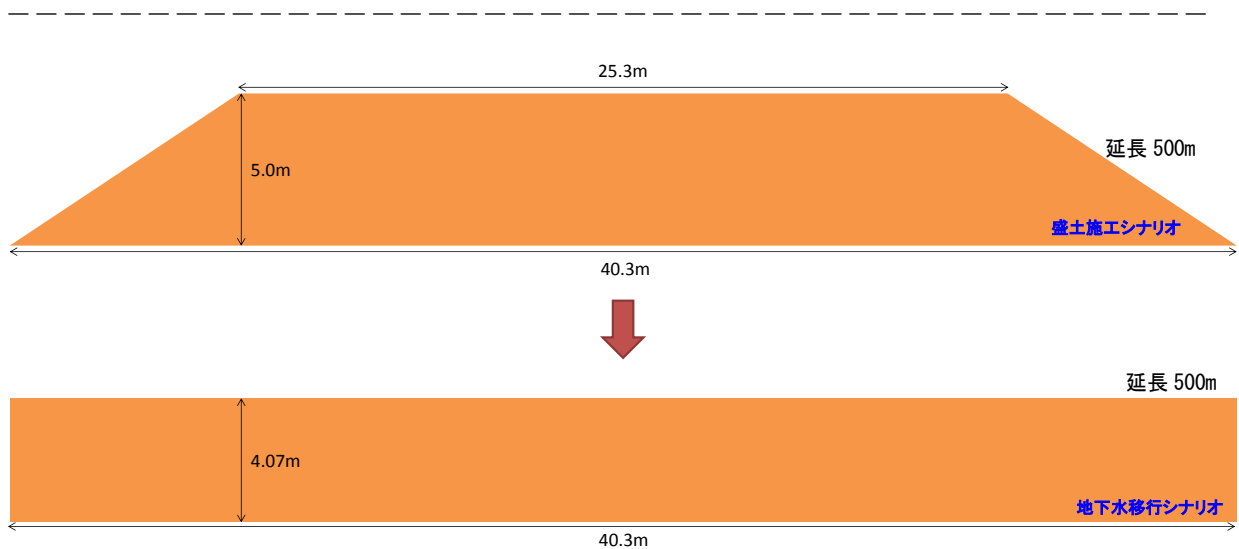


図 5 道路盛土（高速道路）の評価体系

- ・盛土と帯水層の間には「地表土」や「不透水層」があるが、本評価ではこれらの影響は無視し、盛土の真下に帯水層があるとする。
- ・本評価では、盛土に使用される再生資材への Cs の収着を考慮した分配係数モデルを用い、地下水移行に係る全経路を評価する。
- ・分配係数モデルでは、再生資材からの Cs の溶出は分配平衡に基づいて起こると仮定し、盛土からの漏えい率 η は、以下の式で表される。

$$\eta = \frac{P}{H_w \cdot (\varepsilon_w + \rho_w \cdot Kd_w)}$$

ここで、

η : 盛土からの漏えい率 (1/y)

P : 盛土への降雨浸透水量 (m/y)

H_w : 盛土の厚さ (m)

ε_w : 盛土の空隙率 (-)

ρ_w : 盛土のかさ密度 (g/cm³)

Kd_w : 再生資材の分配係数 (mL/g)

である。

- 盛土の空隙率は、再生資材の真密度 (2.6～2.7g/cm³) と当該盛土のかさ密度 (2.0 g/cm³) から導出し、0.25 とした。また、再生資材の分配係数は 270mL/g (IAEA TRS No.364、有機土壌・砂) とした。

※上記パラメータから導出される放出係数 (= 1 / ($\varepsilon_w + \rho_w Kd_w$)) は 0.001851 となり、既往のクリアランスレベル評価^{(11),(12)}で設定された値 (0.01) より一桁小さくなる。

- 浸透水量は、全ケースとも 0.4m/y とした。

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 3 および別表 1 に示す。

表 3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧 (1/9)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-30	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間 (1 年) の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間 (1 年) 中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-30	線源に対する希釈係数		—	1	再生資材のみを道路盛土に使用するとし、線源に対する希釈は保守的に 1 とした。
1-4	年間作業時間 (積み下ろし、運搬)		h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間で、再生資材の運搬作業を行うものとした。
1,4	外部被ばくに対する線量換算係数 (積み下ろし、運搬作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	5.9E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：0.6m×5.0m の中心から 1.0m
		Cs-137		2.1E-02	
1	積み下ろし作業時の遮へい係数		—	0.4	重機を使用した際の遮へい (鉄板 2cm 相当) を考慮する。災害廃棄物評価 ^{※1} で埋設作業時の重機を使用した Cs-134 及び Cs-137 に対する遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.4 と計算され、積み下ろし作業時の遮へい係数も同様に設定した。
2,7	作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働 (軽作業) 時の呼吸量の数値 20L/min を基に算定した。
2,7, 11,13	作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
2,7, 11,13	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (吸入摂取)		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
3,8	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (経口摂取)		—	2	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。
3,8	ダストの経口摂取率		g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1 に示された値を用いた。
4	運搬作業時の遮へい係数		—	0.9	車両による遮へい (鉄板 3mm 相当) を考慮する。災害廃棄物評価 ^{※1} で埋設作業時の Cs-134 及び Cs-137 に対する車両による遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.9 と計算され、運搬作業時の遮へい係数も同様に設定した。
5	運搬経路沿いの居住者の被ばく時間		h/y	450	災害廃棄物安全評価検討会 (第 9 回) 資料 11-2「災害廃棄物等の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理」に示された値を踏襲した。当該資料では、運搬トラックが月に 4,500 台走行し、そのうちの半分のトラックが赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくとすると仮定し、450h/y としている。
5	運搬経路周辺居住時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。

※1 災害廃棄物安全評価検討会 (第 9 回) 資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメーター一覧 (2/9)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
5	外部被ばくに対する線量換算係数（運搬経路周辺居住、子ども）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.0E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：0.6m×5.0m の底辺中央から 3.0m
		Cs-137		6.8E-03	
6-9,14	年間作業時間		h/y	1,000	保守的に 1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間を、当該作業に従事するとした。
6,9	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 に設定した。
6,14,17 一般道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（盛土施工作业）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	3.4E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 10.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137		1.2E-01	
6,14,17 高速道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（盛土施工作业）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	3.7E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 40.3m×500m、上面 25.3m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137		1.3E-01	
9,18 一般道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（保護作業）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.2E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 10.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：法面中央から高さ 1m
		Cs-137		7.8E-02	
9,18 高速道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（保護作業）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.2E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 40.3m×500m、上面 25.3m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：法面中央から高さ 1m
		Cs-137		7.9E-02	
10-13 一般道路 で使用	居住者の被ばく時間		h/y	2,000	道路盛土（一般道路、延長 500m）の建設～上層・下層路盤材の施工期間（主要工種工程表より導出（参考資料 1））において被ばくと想定した。
10-13 高速道路 で使用	居住者の被ばく時間		h/y	3,600	道路盛土（高速道路、延長 500m）の建設～上層・下層路盤材の施工期間（主要工種工程表より導出（参考資料 1））において被ばくと想定した。
10,12,15	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の 20%を戸外で過ごすとして仮定した。
10,12 一般道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（建設現場周辺居住）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	9.7E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 10.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		3.4E-02	

表 3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（3／9）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
10,12 高速道路 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（建設現場周 辺居住）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	9.9E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 40.3m×500m、上面 25.3m× 500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は計算値 を 1.3 倍した。
		Cs-137		3.5E-02	
11	居住者の呼吸量（成人）		m ³ /h	0.96	ICRP Publ.23 で示されている標準人の 1 日の呼吸量 の数値 2.3×10 ⁴ (L/d)を基に算定した。
13	居住者の呼吸量（子ど も）		m ³ /h	0.22	IAEA Safety Reports Series No.44 に示されていた 1～ 2 歳の居住者の呼吸率として示されている値を採用 した。
14	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 に設定した。
15	年間居住時間		h/y	8,760	保守的に、1 年間絶えず道路盛土周辺に居住してい るとした。
15 一般道路 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（道路周辺居 住、子ども） 【ケース 1： 保護工厚さ 2cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	8.6E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 2cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m
		Cs-137		3.0E-02	
15 一般道路 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（道路周辺居 住、子ども） 【ケース 2：保 護工厚さ 10cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.9E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m
		Cs-137		1.0E-02	
15 一般道路 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（道路周辺居 住、子ども） 【ケース 3： 保護工厚さ 30cm のケー ス】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.7E-03	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 30cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m
		Cs-137		8.7E-04	
15 一般道路 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（道路周辺居 住、子ども） 【ケース 4：保 護工厚さ 50cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	3.6E-04	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 50cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m
		Cs-137		1.2E-04	

表3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメーター一覧（4／9）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
15 高速道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（道路周辺居住、子ども） 【ケース1：保護工厚さ2cmのケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	8.7E-02	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ5m、底面40.3m×500m、上面23.5m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ2cmの客土（密度1.5g/cm ³ ） 評価点：底面500mの辺の中点から1m、高さ1m
		Cs-137		3.1E-02	
15 高速道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（道路周辺居住、子ども） 【ケース2：保護工厚さ10cmのケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.9E-02	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ5m、底面40.3m×500m、上面23.5m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ10cmの客土（密度1.5g/cm ³ ） 評価点：底面500mの辺の中点から1m、高さ1m
		Cs-137		1.0E-02	
15 高速道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（道路周辺居住、子ども） 【ケース3：保護工厚さ30cmのケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.7E-03	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ5m、底面40.3m×500m、上面23.5m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ30cmの客土（密度1.5g/cm ³ ） 評価点：底面500mの辺の中点から1m、高さ1m
		Cs-137		9.1E-04	
15 高速道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（道路周辺居住、子ども） 【ケース4：保護工厚さ50cmのケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	4.2E-04	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ5m、底面40.3m×500m、上面23.5m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ50cmの客土（密度1.5g/cm ³ ） 評価点：底面500mの辺の中点から1m、高さ1m
		Cs-137		1.3E-04	
16	年間利用時間		h/y	400	1日1時間、毎日対象道路を利用すると、約365時間／年の利用時間となる。この結果から、年間の対象道路利用時間を400時間に設定した。
16	利用時の遮へい係数		—	1.0	保守的に遮へい係数を1.0に設定した。

表 3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメーター一覧（5／9）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
16 一般道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（道路利用、子ども） 【ケース 1：保護工厚さ 2cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	1.2E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 2cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ） 評価点：上面中央から高さ 1m
		Cs-137		4.7E-03	
16 一般道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（道路利用、子ども） 【ケース 2：保護工厚さ 10cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	6.4E-03	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ） 評価点：上面中央から高さ 1m
		Cs-137		2.3E-03	
16 一般道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（道路利用、子ども） 【ケース 3：保護工厚さ 30cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.0E-03	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 30cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ） 評価点：上面中央から高さ 1m
		Cs-137		6.9E-04	
16 一般道路 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（道路利用、子ども） 【ケース 4：保護工厚さ 50cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	1.4E-03	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（道路盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 50cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ） 評価点：上面中央から高さ 1m
		Cs-137		4.9E-04	
17,18	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 に設定した。
17,18	年間作業時間		h/y	1,000	保守的に 1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間を、当該作業に従事とした。

表 3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（6／9）

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
19-30	盛土の空隙率	—	0.25	再生資材の真密度（2.6～2.7g/cm ³ ）と当該盛土のかさ密度（2.0 g/cm ³ ）から導出し、0.25とした。
19-30	盛土のかさ密度	g/cm ³	2.0	日本道路公団監修 設計要領（第一集 土工・舗装・排水・造園，1983）より、締め固めた盛土に対する密度の最大値を採用した。
19-30	Cs の盛土の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌、砂）
19-30	Cs の帯水層土壌の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（砂）
19-30	浸透水量（道路）	m/y	0.4	道路に使用される不透水性アスファルトでは、雨水のほとんどが表面から側部の排水溝へ排水されることから、浸透水量はほとんどないものと考えられるが、保守的に、災害廃棄物評価※1で使用した値を採用した。
19-30	浸透水量（耕作地土壌）	m/y	0.4	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
19-30	帯水層厚さ	m	3	IAEA-TECDOC-401 に示された値を用いた。
19-30	地下水流速（ダルシー流速）	m/d	1	「新版地下水調査法」（山本 莊毅、(株)古院書院、1983 年）
19-30	帯水層空隙率	—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年）
19-30	帯水層土壌密度	g/cm ³	2.6	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982 年）
19-30	地下水流方向の分散長	m	0	保守的に選定した。
19-30	地下水流方向の分散係数	m ² /y	0	保守的に選定した。
19-30	道路盛土下流端から井戸までの距離	m	0	保守的に選定した。
19-30	井戸水の混合割合	—	0.33	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
19	人の年間飲料水摂取量（成人）	m ³ /y	0.61	ICRP Publ.23 の標準人の値を参考に、1 日の摂取量を 1.65L として算定した。
20	人の年間飲料水摂取量（子ども）	m ³ /y	0.1	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された値を用いた。
21-26	Cs の農耕土壌の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌）
21-26	灌漑水量（畑、牧草地）	m ³ /m ² /y	1.2	「日本の農業用水」（農業水利研究会編、(株)地球社、1980 年）に示された畑地に対する平均単位用水量 4mm/d と年間灌漑日数 300 日程度に基づいて選定した。
21-26	土壌水分飽和度（畑、牧草地）	—	0.2	JAEA 原科研敷地内（砂層）における測定結果より選定した。
21-26	土壌実効表面密度	kg/m ²	240	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109 に示された値を用いた。
21-26	灌漑土壌真密度	g/cm ³	2.60	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982 年）に示された砂の粒子密度を基に選定した。
21-26	実効土壌深さ	cm	15	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109 に示された値を用いた。
21-26	放射性核種の土壌残留係数	—	1	保守的に、全ての灌漑水中の放射性核種が土壌に残留するものとした。
21-26	灌漑土壌空隙率	—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年）

※1 災害廃棄物安全評価検討会（第 9 回）資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（7／9）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
21,22	農耕作業による年間作業時間		h/y	500	「日本の統計 2009 年版」（総務庁統計局編、2009 年）に記載されている平成 18 年度の 1 戸当たりの平均経営耕地面積 248a（水田率 54.4%）、水稲 10a 当たりの労働時間 29.2 時間、小麦 10a 当たりの労働時間 5.6 時間を基に算出し、値に裕度を持って選定した。 $248 \times 0.544 \times 2.92 + 248 \times (1 - 0.544) \times 0.56 = 457 \text{ (h/y)}$
21	外部被ばくに対する線量換算係数（農耕作業：灌漑土壌からの外部被ばく）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	4.7E-01	従来のクリアランスレベル評価 ^{(11),(12)} で設定されている換算係数を設定した。条件は以下の通りである。 線源の形状：高さ 10m、半径 500m の円柱 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 以上の条件で QAD-CGGP2R コードにより算出されている。
		Cs-137		1.7E-01	
21	農耕作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に遮へいを考慮しない。
22	農耕作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
22	農耕作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値 20L/min を算定した。
22	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
23-26	灌漑水年間生育期間		d	60	「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」に示された葉菜に関する栽培期間の値(60d/y)を使用した。
23-26	農作物（葉菜、牧草）の栽培密度		kg/m ²	2.3	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」（原子力安全委員会、平成元年 3 月 27 日）
23-26	放射性核種の農作物（葉菜、牧草）表面への沈着割合		—	1	保守的に全ての放射性核種が、農作物表面へ沈着するとした。
23-26	weathering 効果による植物表面沈着放射性核種の除去係数		1/y	18.08	「発電用軽水型原子炉施設の安全評価における一般公衆の線量評価について」に基づき、weathering half-life を 14 日として計算した。
23,24	農作物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
23,24	農作物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された農作物を直ちに消費する人を評価対象とした。
23,24	灌漑水量（田）		m ³ /m ² /y	2.4	「日本の農業用水」（農業水利研究会、(株)地球社、1980 年）に示された水田に対する平均単位用水量 24mm/d と水田の年間湛水期間 100 日程度に基づいて選定した。
23,24	土壌水分飽和度（田）		—	1	田の土壌水分飽和度は、水田を想定しており、1 と選定した。
23,24	Cs の米への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	7.1E-02	IAEA TRS No.364（シリアル）
23,24	Cs の葉菜、非葉菜、果実への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	5.7E-02	IAEA TRS No.364（ジャガイモ）
23	農作物の年間摂取量（成人）	米	kg/y	71	「平成 8 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年）
		葉菜		12	
		非葉菜		45	
		果実		22	

表 3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメーター一覧（8／9）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
24	農作物の年間摂取量（子ども）	米	kg/y	25	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		葉菜		5	
		非葉菜		23	
		果実		22	
25-28	Cs の畜産物への移行係数	牛肉	d/kg	5.0E-02	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
		豚肉		2.4E-01	
		鶏肉		1.0E+01	
		鶏卵		4.0E-01	
		牛乳	d/L	7.9E-03	
25-28	畜産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
25-28	畜産物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された畜産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
25,26	放射性核種を含む飼料の混合割合		—	1	保守的に、放射性核種を含む飼料のみで家畜を飼育するとした。
25,26	Cs の飼料への移行係数		Bq/g-dry per Bq/g	5.3E-01	IAEA TRS No.364（牧草）
25,26	家畜の飼料摂取量	肉牛	kg-dry/d	7.2	IAEA TRS No.364 において示された値を使用した。
		乳牛		16.1	
		豚		2.4	
		鶏		0.07	
25,27	畜産物の年間摂取量（成人）	牛肉	kg/y	8	「平成 8 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年）
		豚肉		9	
		鶏肉		7	
		鶏卵		16	
		牛乳	L/y	44	
26,28	畜産物の年間摂取量（子ども）	牛肉	kg/y	3	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		豚肉		4	
		鶏肉		5	
		鶏卵		10	
		牛乳	L/y	29	

表 3 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメーター一覧（9／9）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
27,28	家畜の飼育水摂取量	肉牛	L/d	50	PNL-3209 に示された値を用いた。
		乳牛		60	
		豚		10	
		鶏		0.3	
29,30	養殖淡水産物の地下水利用率		—	0.25	「日本の水資源（平成 19 年版）」（国土庁長官官房水資源部編、大蔵省印刷局、2008 年）より選定した。
29,30	Cs の魚類への濃縮係数		L/kg	2.0E+03	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
29,30	養殖淡水産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
29,30	養殖淡水産物の輸送時間		d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
29	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（成人）		kg/y	0.7	「日本の統計 1997 年版」に記載されている平成 6 年の内水面養殖業の生産量の内、魚類の生産量の合計値 76,579 トンを人口 1 億 2 千万人で除して算出した。
30	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（子ども）		kg/y	0.33	全年齢の魚介類合計摂取量の平均値(96.9g/日)と 1-6 歳の平均値(45.7g/日)の比 (0.47)を成人の年間摂取量0.7kg/年に乗じた 0.33kg/年を算出した。

別表 1 再生資材の道路盛土への利用に係る評価経路パラメーター一覧（内部被ばく線量係数）

内部被ばく線量係数(Sv/Bq)						
	作業者(ICRP Publ.68)		公衆(ICRP Publ.72)			
	吸入	経口	吸入		経口	
			成人	子ども	成人	子ども
Cs-134	9.6E-09	1.9E-08	6.6E-09	7.3E-09	1.9E-08	1.6E-08
Cs-137	6.7E-09	1.3E-08	4.6E-09	5.4E-09	1.3E-08	1.2E-08

（４）放射性物質による影響の評価結果

表 4～7 に、各評価経路の Cs-134 および Cs-137 の単位濃度（1 Bq/g）あたりの影響を評価した結果を示す。また、Cs-134 と Cs-137 の比は $Cs-134/Cs-137=0.209$ と仮定※し、Cs-134 と Cs-137 の和（全 Cs）による単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量に換算した値も併せて示す。

また、濃度レベル算出のための線量のめやす値 1mSv/y を超えないことを条件として被ばく評価計算から誘導された濃度（1mSv/y 相当濃度）、および 5,000Bq/kg、8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

※再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定する。

表 4 評価結果（再生資材の建設現場への運搬）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
1	積み下ろし作業者外部	2.0E-02	8.3E-03	1.0E-02	9.7E+04	5.2E-02	8.3E-02
2	積み下ろし作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
3	積み下ろし作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
4	運搬作業者外部	4.5E-02	1.9E-02	2.3E-02	4.3E+04	1.2E-01	1.9E-01
5	運搬経路周辺居住者(子ども)外部	7.5E-03	3.0E-03	3.8E-03	2.6E+05	1.9E-02	3.0E-02

表 5 評価結果（道路盛土施工）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
一般道路	6	盛土施工作業者外部	2.9E-01	1.2E-01	1.5E-01	6.6E+03	7.5E-01	1.2E+00
	7	盛土施工作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
	8	盛土施工作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
	9	保護作業者外部	1.9E-01	7.7E-02	9.6E-02	1.0E+04	4.8E-01	7.7E-01
	10	建設現場周辺居住者(成人)外部	3.3E-02	1.3E-02	1.7E-02	5.9E+04	8.4E-02	1.3E-01
	11	建設現場周辺居住者(成人)粉塵吸入	2.2E-05	1.7E-05	1.8E-05	5.5E+07	9.1E-05	1.5E-04
	12	建設現場周辺居住者(子ども)外部	4.3E-02	1.7E-02	2.2E-02	4.6E+04	1.1E-01	1.7E-01
	13	建設現場周辺居住者(子ども)粉塵吸入	5.5E-06	4.7E-06	4.8E-06	2.1E+08	2.4E-05	3.9E-05
	14	道路建設作業者外部	2.9E-01	1.2E-01	1.5E-01	6.6E+03	7.5E-01	1.2E+00
	6	盛土施工作業者外部	3.1E-01	1.3E-01	1.6E-01	6.1E+03	8.1E-01	1.3E+00
	7	盛土施工作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
	8	盛土施工作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
	9	保護作業者外部	1.9E-01	7.8E-02	9.7E-02	1.0E+04	4.8E-01	7.8E-01
	10	建設現場周辺居住者(成人)外部	6.1E-02	2.5E-02	3.1E-02	3.2E+04	1.6E-01	2.5E-01
高速道路	11	建設現場周辺居住者(成人)粉塵吸入	3.9E-05	3.1E-05	3.3E-05	3.1E+07	1.6E-04	2.6E-04
	12	建設現場周辺居住者(子ども)外部	7.9E-02	3.2E-02	4.0E-02	2.5E+04	2.0E-01	3.2E-01
	13	建設現場周辺居住者(子ども)粉塵吸入	9.8E-06	8.5E-06	8.7E-06	1.2E+08	4.3E-05	7.0E-05
	14	道路建設作業者外部	3.1E-01	1.3E-01	1.6E-01	6.1E+03	8.1E-01	1.3E+00

表 6 評価結果（道路盛土完成後）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
一般道路	ケース1	15 道路周辺居住者(子ども)外部	1.3E-01	5.2E-02	6.5E-02	1.5E+04	3.2E-01	5.2E-01
	ケース2		4.3E-02	1.7E-02	2.2E-02	4.6E+04	1.1E-01	1.7E-01
	ケース3		4.1E-03	1.5E-03	1.9E-03	5.1E+05	9.7E-03	1.6E-02
	ケース4		5.4E-04	2.0E-04	2.6E-04	3.8E+06	1.3E-03	2.1E-03
高速道路	ケース1		1.3E-01	5.4E-02	6.7E-02	1.5E+04	3.4E-01	5.4E-01
	ケース2		4.3E-02	1.8E-02	2.2E-02	4.6E+04	1.1E-01	1.8E-01
	ケース3		4.1E-03	1.6E-03	2.0E-03	5.0E+05	1.0E-02	1.6E-02
	ケース4		6.2E-04	2.3E-04	2.9E-04	3.4E+06	1.5E-03	2.3E-03
一般道路	ケース1	16 道路利用者(子ども)外部	8.4E-04	3.7E-04	4.5E-04	2.2E+06	2.3E-03	3.6E-03
	ケース2		4.3E-04	1.9E-04	2.3E-04	4.4E+06	1.1E-03	1.8E-03
	ケース3		1.3E-04	5.4E-05	6.8E-05	1.5E+07	3.4E-04	5.4E-04
	ケース4		9.7E-05	3.9E-05	4.9E-05	2.0E+07	2.5E-04	3.9E-04
一般道路	17	道路補修作業(外部)	1.0E-02	9.7E-02	8.2E-02	1.2E+04	4.1E-01	6.5E-01
高速道路			1.1E-02	1.0E-01	8.8E-02	1.1E+04	4.4E-01	7.1E-01
一般道路	18	保護工補修作業(外部)	1.9E-01	7.7E-02	9.6E-02	1.0E+04	4.8E-01	7.7E-01
高速道路			1.9E-01	7.8E-02	9.7E-02	1.0E+04	4.8E-01	7.8E-01

ケース1:保護工厚さ2cm、ケース2:保護工厚さ10cm、ケース3:保護工厚さ30cm、ケース4:保護工厚さ50cm

表 7 評価結果（地下水移行）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
一般道路	19	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.1E-05	3.5E-05	2.9E+07	1.7E-04	2.8E-04
	20	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.2E-06	5.2E-06	1.9E+08	2.6E-05	4.2E-05
	21	地下水利用農耕作業者外部	9.2E-07	3.6E-05	3.0E-05	3.4E+07	1.5E-04	2.4E-04
	22	地下水利用農耕作業者吸入	4.5E-11	3.4E-09	2.8E-09	3.6E+11	1.4E-08	2.2E-08
	23	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	8.6E-05	7.2E-05	1.4E+07	3.6E-04	5.8E-04
	24	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	3.5E-05	2.9E-05	3.4E+07	1.5E-04	2.4E-04
	25	飼料經由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	8.3E-05	6.9E-05	1.4E+07	3.5E-04	5.5E-04
	26	飼料經由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	4.4E-05	3.6E-05	2.7E+07	1.8E-04	2.9E-04
	27	飼育水經由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.7E-06	4.9E-06	2.1E+08	2.4E-05	3.9E-05
	28	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	2.9E-06	2.5E-06	4.1E+08	1.2E-05	2.0E-05
	29	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.0E-05	5.0E+07	9.9E-05	1.6E-04
	30	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.0E-05	8.6E-06	1.2E+08	4.3E-05	6.9E-05
高速道路	19	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.9E-04
	20	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.4E-06	5.4E-06	1.9E+08	2.7E-05	4.3E-05
	21	地下水利用農耕作業者外部	9.2E-07	4.3E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.9E-04
	22	地下水利用農耕作業者吸入	4.5E-11	4.1E-09	3.4E-09	3.0E+11	1.7E-08	2.7E-08
	23	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	1.0E-04	8.5E-05	1.2E+07	4.3E-04	6.8E-04
	24	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	4.2E-05	3.5E-05	2.9E+07	1.7E-04	2.8E-04
	25	飼料經由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	9.9E-05	8.3E-05	1.2E+07	4.1E-04	6.6E-04
	26	飼料經由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.2E-05	4.3E-05	2.3E+07	2.2E-04	3.5E-04
	27	飼育水經由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.9E-06	5.0E-06	2.0E+08	2.5E-05	4.0E-05
	28	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	3.9E+08	1.3E-05	2.0E-05
	29	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.1E-05	4.9E+07	1.0E-04	1.6E-04
	30	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.1E-05	8.9E-06	1.1E+08	4.5E-05	7.1E-05

各ケースに対する決定経路および 1mSv/y 相当濃度は、表 8 の通りである。

表 8 決定経路および 1mSv/y 相当濃度 (Bq/kg)

ケース		決定経路		1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)
一般道路	ケース1	6	盛土施工作業者外部	6,600
	ケース2			
	ケース3			
	ケース4			
高速道路	ケース1	6	盛土施工作業者外部	6,100
	ケース2			
	ケース3			
	ケース4			

ケース1:保護工厚さ 2cm、ケース2:保護工厚さ 10cm、ケース3:保護工厚さ30cm、ケース4:保護工厚さ50cm

2. 鉄道盛土

本評価では、鉄道盛土に再生資材を利用したときにおける作業者や周辺住民に与える線量を評価する。鉄道には、以下の2つのタイプがある。

- ・バラスト軌道

(地盤上に砕石(バラスト)による道床を設け、枕木・レールを敷設する)

- ・スラブ軌道

(コンクリート路盤上に軌道スラブ(コンクリート製の板)を設け、その上にレールを敷く)

スラブ軌道は道路の構造と類似していることから、本評価ではバラスト軌道を評価対象とする。

被ばく経路に係るシナリオやパラメータの設定の考え方、および線量評価に用いるコードは「1.道路盛土」と同様である。

(1) 評価経路

再生資材の鉄道盛土への利用に伴う被ばくは、施工時の被ばくと供用時の被ばくに分けて整理した。

●施工時の被ばく

鉄道盛土と道路盛土は施工基準が同等であることが、日本道路公団によって示されている⁽¹³⁾。よって、鉄道盛土については道路盛土の評価を参考に作業工程を整理した。

鉄道盛土施工時における主な作業工程および各工程の主な作業形態を表9に示す。

表9 鉄道盛土施工の主な作業工程

作業工程		作業形態
盛土施工	建設現場への盛土材の運搬	重機
	盛土材の積み下ろし	重機
	盛土材の敷均し・締固め	重機・人力
	法面の整形	重機・人力
	法面への保護工の施工	人力
鉄道施工	バラストの敷設	重機・人力
	線路の設置	重機・人力
共通	建設機械の洗浄	重機・人力

本評価では、表9に示す作業工程を対象として評価を行う。各作業工程において、作業形態で重機と人力の両方が想定される場合は、保守的に人力による作業を想定することとする。

ただし、以下の作業工程については、評価対象から除外した。

- ・盛土施工：法面整形作業

法面整形作業および法面への保護工施工作業は共に法面上で行う作業であるが、法面保護工は全て主に人力で行われる作業であるのに対し、法面整形は主に重機で作業が行われる。

よって、本評価では代表的に保護工施工作業者を評価することとし、法面整形作業を評価対象から除外した。

- ・鉄道施工：線路の設置

線路の設置作業はバラスト敷設後に行われるため、線路設置作業者の被ばくはバラスト敷設作業より小さくなる。

よって、本評価では代表的にバラスト敷設作業者を評価することとし、線路の設置作業者を評価対象から除外した。

・建設機械の洗浄

盛土・鉄道の施工に使用される機械は、現場外への土砂飛散防止のために、現場入口等で洗浄される可能性がある。洗浄により機械に付着した土砂が排水とともに地面へ浸透し、土砂に含まれる核種が帯水層まで到達した場合、汚染した地下水の利用による被ばくが考えられる。

しかし、地下水利用による被ばくについては後述する鉄道盛土への雨水浸透で考慮しており、大規模な線源（盛土）に対する年間を通した地下水への移行を想定しているため、建設機械の洗浄よりも地下水へ浸透する核種の量ははるかに大きいと考えられる。よって、地下水移行については鉄道盛土への雨水浸透を代表的に評価することとし、建設機械の洗浄を評価対象から除外した。

●供用時の被ばく

鉄道盛土完成後の被ばくとして、周辺居住者、および保線作業者・保護工補修者の被ばくが想定される。

また鉄道盛土に対する雨水および地下水・湧水の影響については、設計上雨水は盛土表面の排水溝で、地下水・湧水は地下排水工（透水管等により暗渠排水）や水平排水層（砂や礫等）で排水することが基本となっているため、影響は小さいと考えられるが、本評価では保守的に鉄道盛土完成後の雨水浸透による地下水移行についても評価を行うこととした。

設定した評価経路を表 10 に示す。

表 10 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路（1／2）

No	評価対象		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		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		公衆（成人）	外部
11					粉塵吸入
12				公衆（子ども）	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		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

表 10 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路（２／２）

No	評価対象	線源	対象者	被ばく形態
18	完成鉄道への雨水浸透による核種の漏洩（地下水移行）	井戸水	公衆（成人）	経口
19			公衆（子ども）	経口
20		井戸水で灌漑した土壌	作業者	外部
21				粉塵吸入
22		灌漑した土壌で生産された農作物	公衆（成人）	経口
23			公衆（子ども）	経口
24		灌漑した土壌で生産された畜産物	公衆（成人）	経口
25			公衆（子ども）	経口
26		井戸水で飼育された畜産物	公衆（成人）	経口
27			公衆（子ども）	経口
28		井戸水で養殖された淡水産物	公衆（成人）	経口
29			公衆（子ども）	経口

（２）評価概要

鉄道盛土の評価体系は、道路盛土と鉄道盛土の施工基準が同等であることから、道路盛土の評価体系を参考にして設定した。

設定した評価体系を図 6 に示す。

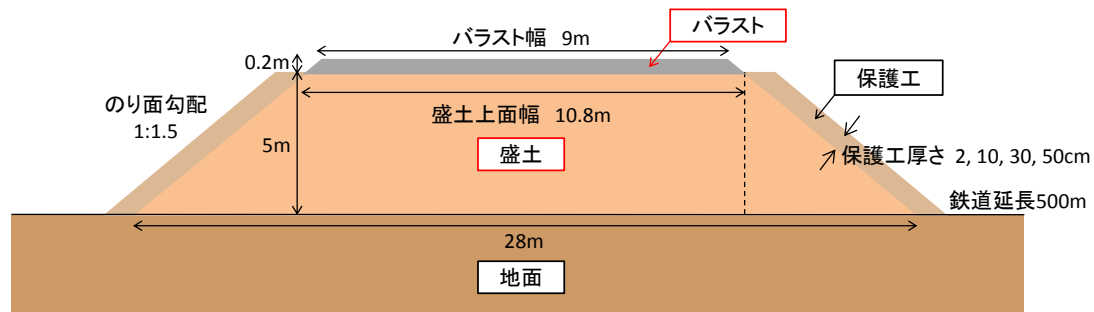


図 6 鉄道盛土の評価体系

- ・のり面勾配・保護工・盛土高さ：
道路盛土と同じとした。

- ・バラスト幅・盛土上面幅：

JR 在来線の車両限界幅は 3,000mm である。ここではその約 3 倍の値とし、バラスト幅を 9m とした。また、1 に示した盛土上部幅は道路盛土（一般道路）の評価体系と同じ値（10.8m）とした。

- ・密度・組成：

バラストの密度は既往の実験結果⁽¹⁴⁾の平均値 1.6g/cm^3 とした。組成は花崗岩を仮定し、産総研データベースより引用した。

再生資材および保護工の密度は道路と同様に設定した。

評価概要を以下に示す。

●盛土・鉄道の施工

- ・経路 No.1～14

道路盛土と同じ評価点を想定する。

●鉄道完成後（図 7 参照）

- ・経路 No.15（周辺居住者）

道路盛土と同じ評価点を想定する。

- ・経路 No.16（保線作業者）

鉄道盛土（バラスト敷設後）中央から高さ 1m にいる作業者を想定する。

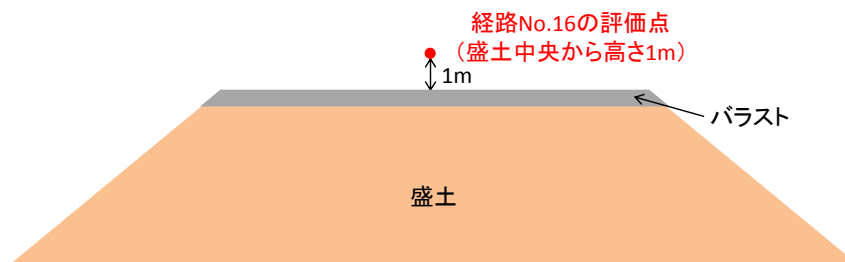


図 7 鉄道盛土に係る作業者と公衆の評価体系

- ・経路 No.17（保護工補修作業者）

道路盛土と同じ評価点を想定する。

●鉄道完成後の地下水移行（図 8 参照）

- ・経路 No.17～29（完成鉄道の周辺居住者）

PASCLR2^㉔では、放光体状の線源をソースタームとした地下水移行評価はできない。そのため、本評価のソースタームは、降雨浸透により核種が漏えいすると仮定する盛土底面の面積、線源体積を変えずに盛土高さ（厚さ）を変えた直方体で近似した。

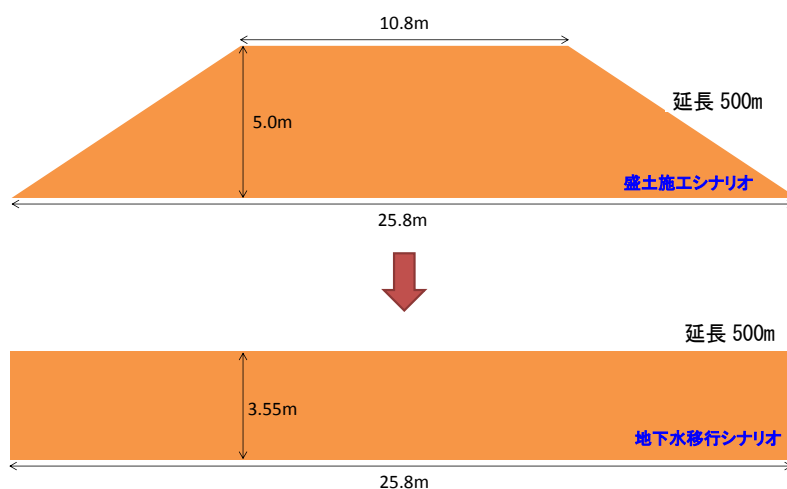


図 8 鉄道盛土の評価体系

- ・盛土と帯水層の間には「地表土」や「不透水層」があるが、本評価ではこれらの影響は無視し、盛土の真下に帯水層があるとする。
- ・本評価では、盛土に使用される再生資材への Cs の収着を考慮した分配係数モデルを用

- い、地下水移行に係る全経路を評価する。
- 分配係数モデルでは、再生資材層からの核種の溶出は分配平衡に基づいて起こると仮定し、盛土からの漏えい率 η は、以下の式で表される。

$$\eta = \frac{P}{H_w \cdot (\varepsilon_w + \rho_w \cdot Kd_w)}$$

ここで、

- η : 盛土からの漏えい率 (1/y)
- P : 盛土への降雨浸透水量 (m/y)
- H_w : 盛土の厚さ (m)
- ε_w : 盛土の空隙率 (-)
- ρ_w : 盛土のかさ密度 (g/cm³)
- Kd_w : 再生資材の分配係数 (mL/g)

である。

- 盛土の空隙率は、再生資材の真密度 (2.6~2.7g/cm³) と当該盛土のかさ密度 (2.0 g/cm³) から導出し、0.25 とした。また、再生資材の分配係数は 270mL/g (IAEA TRS No.364、有機土壌・砂) とした。
※上記パラメータから導出される放出係数 ($=1/(\varepsilon_w + \rho_w Kd_w)$) は 0.001851 となり、既往のクリアランスレベル評価^{(11),(12)}で設定された値 (0.01) より一桁小さくなる。
- 浸透水量は、既往の道路への再利用評価⁽¹⁾における「(表面に透水性アスファルトが施された) 歩道・下層路盤材のみ」への再利用ケースの設定に倣い、全ケースとも 1.6m/y とした。当該評価では、保守的に降雨全量が浸透するものとし、降雨量は気象庁 HP より浜通り沿岸の平年雨量(1981~2010 年)の最大値 1.6 m/y⁽¹⁵⁾を使用した。

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 11 および別表 2 に示す。

表 11 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧 (1/8)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-29	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間 (1 年) の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間 (1 年) 中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-29	線源に対する希釈係数		—	1	再生資材のみを鉄道盛土に使用するとし、線源に対する希釈は保守的に 1 とした。
1-4	年間作業時間 (積み下ろし、運搬)		h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間で、再生資材の運搬作業を行うものとした。
1,4	外部被ばくに対する線量換算係数 (積み下ろし、運搬作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	5.9E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：0.6m×5.0m の中心から 1.0m
		Cs-137		2.1E-02	
1	積み下ろし作業時の遮へい係数		—	0.4	重機を使用した際の遮へい (鉄板 2cm 相当) を考慮する。災害廃棄物評価 ^{※1} で埋設作業時の重機を使用した Cs-134 及び Cs-137 に対する遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.4 と計算され、積み下ろし作業時の遮へい係数も同様に設定した。
2,7	作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働 (軽作業) 時の呼吸量の数値 20L/min を基に算定した。
2,7, 11,13	作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
2,7, 11,13	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (吸入摂取)		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
3,8	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (経口摂取)		—	2	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。
3,8	ダストの経口摂取率		g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1 に示された値を用いた。
4	運搬作業時の遮へい係数		—	0.9	車両による遮へい (鉄板 3mm 相当) を考慮する。災害廃棄物評価 ^{※1} で埋設作業時の Cs-134 及び Cs-137 に対する車両による遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.9 と計算され、運搬作業時の遮へい係数も同様に設定した。
5	運搬経路沿いの居住者の被ばく時間		h/y	450	災害廃棄物安全評価検討会 (第 9 回) 資料 11-2「災害廃棄物等の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理」に示された値を踏襲した。当該資料では、運搬トラックが月に 4,500 台走行し、そのうちの半分のトラックが赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくすると仮定し、450h/y としている。
5	運搬経路周辺居住時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。

※1 災害廃棄物安全評価検討会 (第 9 回) 資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表 11 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（2／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
5	外部被ばくに対する線量換算係数（運搬経路周辺居住、子ども）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.0E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：2.0m×5.0m の底辺中央から 3.0m
		Cs-137		6.8E-03	
6-9,14	年間作業時間		h/y	1,000	保守的に 1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間を、当該作業に従事するとした。
6,9	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。
6,14	外部被ばくに対する線量換算係数（盛土施工作业）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	3.4E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 10.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137		1.2E-01	
9,17	外部被ばくに対する線量換算係数（保護作業）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.2E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 10.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：法面中央から高さ 1m
		Cs-137		7.8E-02	
10-13	居住者の被ばく時間		h/y	2,000	鉄道盛土と同じ体系である、道路盛土（一般道路、延長 500m）の建設～上層・下層路盤材の施工期間を参考に、被ばく時間を設定した。
10,12	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の 20%を戸外で経過すると仮定した。
10,12	外部被ばくに対する線量換算係数（建設現場周辺居住）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	7.1E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 10.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		2.5E-02	
11	居住者の呼吸量（成人）		m ³ /h	0.96	ICRP Publ.23 で示されている標準人の 1 日の呼吸量の数値 2.3×10 ⁴ (L/d)を基に算定した。
13	居住者の呼吸量（子ども）		m ³ /h	0.22	IAEA Safety Reports Series No.44 に示されていた 1～2 歳の居住者の呼吸率として示されている値を採用した。
14	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。
15	年間居住時間		h/y	8,760	保守的に、1 年間絶えず鉄道盛土周辺に居住しているとした。
15	外部被ばくに対する線量換算係数（鉄道周辺居住、子ども） 【ケース 1：保護工厚さ 2cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	8.7E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 2cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ）、盛土上面に厚さ 25cm のバラスト（密度 1.6g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m
		Cs-137		3.0E-02	

表 11 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（3／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
15	外部被ばくに対する線量換算係数 （鉄道周辺居住、子ども） 【ケース 2：保護工厚さ 10cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.9E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ）、盛土上面に厚さ 25cm のバラスト（密度 1.6g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m
		Cs-137		1.0E-02	
15	外部被ばくに対する線量換算係数 （鉄道周辺居住、子ども） 【ケース 3：保護工厚さ 30cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.9E-03	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 30cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ）、盛土上面に厚さ 25cm のバラスト（密度 1.6g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m
		Cs-137		9.4E-04	
15	外部被ばくに対する線量換算係数 （鉄道周辺居住、子ども） 【ケース 4：保護工厚さ 50cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	6.1E-04	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 50cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ）、盛土上面に厚さ 25cm のバラスト（密度 1.6g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m
		Cs-137		2.1E-04	
16	年間作業時間（鉄道保線）		h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間を、保線作業に従事するものとした。
16	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的な設定とした。

表 11 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（４／８）

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
16	外部被ばくに対する線量換算係数 (鉄道保線作業) 【ケース 1: 保護工厚さ 2cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g 2.5E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 2cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ）、盛土上面に厚さ 25cm のバラスト（密度 1.6g/cm ³ ） 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137	8.6E-03	
16	外部被ばくに対する線量換算係数 (鉄道保線作業) 【ケース 2: 保護工厚さ 10cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g 2.1E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ）、盛土上面に厚さ 25cm のバラスト（密度 1.6g/cm ³ ） 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137	6.9E-03	
16	外部被ばくに対する線量換算係数 (鉄道保線作業) 【ケース 3: 保護工厚さ 30cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g 1.7E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 30cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ）、盛土上面に厚さ 25cm のバラスト（密度 1.6g/cm ³ ） 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137	5.7E-03	
16	外部被ばくに対する線量換算係数 (鉄道保線作業) 【ケース 4: 保護工厚さ 50cm のケース】	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g 1.7E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源（鉄道盛土）の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆土：のり面上面に厚さ 50cm の客土（密度 1.5g/cm ³ ）、盛土上面に厚さ 25cm のバラスト（密度 1.6g/cm ³ ） 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137	5.6E-03	
17	年間作業時間	h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間を、保線作業に従事するものとした。
17	作業時の遮へい係数	—	1.0	保守的な設定とした。

表 11 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（5／8）

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
18-29	盛土の空隙率	—	0.25	再生資材の真密度 (2.6～2.7g/cm ³) と当該盛土のかさ密度 (2.0 g/cm ³) から導出し、0.25 とした。
18-29	盛土のかさ密度	g/cm ³	2.0	日本道路公団監修 設計要領（第一集 土工・舗装・排水・造園，1983）より、締め固めた盛土に対する密度の最大値を採用した。
18-29	Cs の盛土の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌、砂）
18-29	Cs の帯水層土壌の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（砂）
18-29	浸透水量（鉄道）	m/y	1.6	鉄道については、既往の評価 ⁽¹⁾ と同じく、保守的に降雨全量が浸透するものとし、浜通り沿岸の平年雨量の最大値である値を使用することとした。
18-29	浸透水量（耕作地土壌）	m/y	0.4	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
18-29	帯水層厚さ	m	3	IAEA-TECDOC-401 に示された値を用いた。
18-29	地下水流速（ダルシー流速）	m/d	1	「新版地下水調査法」（山本 莊毅、(株)古院書院、1983 年）
18-29	帯水層空隙率	—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年）
18-29	帯水層土壌密度	g/cm ³	2.6	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982 年）
18-29	地下水流方向の分散長	m	0	保守的に選定した。
18-29	地下水流方向の分散係数	m ² /y	0	保守的に選定した。
18-29	鉄道盛土下端から井戸までの距離	m	0	保守的に選定した。
18-29	井戸水の混合割合	—	0.33	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
18	人の年間飲料水摂取量（成人）	m ³ /y	0.61	ICRP Publ.23 の標準人の値を参考に、1 日の摂取量を 1.65L として算定した。
19	人の年間飲料水摂取量（子ども）	m ³ /y	0.1	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された値を用いた。
20-25	Cs の農耕土壌の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌）
20-25	灌漑水量（畑、牧草地）	m ³ /m ² /y	1.2	「日本の農業用水」（農業水利研究会編、(株)地球社、1980 年）に示された畑地に対する平均単位用水量 4mm/d と年間灌漑日数 300 日程度に基づいて選定した。
20-25	土壌水分飽和度（畑、牧草地）	—	0.2	JAEA 原科研敷地内（砂層）における測定結果より選定した。
20-25	土壌実効表面密度	kg/m ²	240	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109 に示された値を用いた。
20-25	灌漑土壌真密度	g/cm ³	2.60	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982 年）に示された砂の粒子密度を基に選定した。
20-25	実効土壌深さ	cm	15	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109 に示された値を用いた。
20-25	放射性核種の土壌残留係数	—	1	保守的に、全ての灌漑水中の放射性核種が土壌に残留するものとした。
20-25	灌漑土壌空隙率	—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年）
20,21	農耕作業による年間作業時間	h/y	500	「日本の統計 2009 年版」（総務庁統計局編、2009 年）に記載されている平成 18 年度の 1 戸当たりの平均経営耕地面積 248a（水田率 54.4%）、水稻 10a 当たりの労働時間 29.2 時間、小麦 10a 当たりの労働時間 5.6 時間を基に算出し、値に裕度を持って選定した。 248×0.544×2.92+248×(1-0.544)×0.56=457 (h/y)

表 11 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（6／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
20	外部被ばく に対する線 量換算係数 （農耕作業 者：灌漑土壌 からの外部 被ばく）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	4.7E-01	従来のクリアランスレベル評価 ^{(11),(12)} で設定されている換算係数を設定した。条件は以下の通りである。 線源の形状：高さ 10m、半径 500m の円柱 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 以上の条件で QAD-CGGP2R コードにより算出されている。
		Cs-137		1.7E-01	
20	農耕作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に遮へいを考慮しない。
21	農耕作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
21	農耕作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値 20L/min を算定した。
21	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
22-25	灌漑水年間生育期間		d	60	「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」に示された葉菜に関する栽培期間の値(60d/y)を使用した。
22-25	農作物（葉菜、牧草）の栽培密度		kg/m ²	2.3	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」（原子力安全委員会、平成元年 3 月 27 日）
22-25	放射性核種の農作物（葉菜、牧草）表面への沈着割合		—	1	保守的に全ての放射性核種が、農作物表面へ沈着するとした。
22-25	weathering 効果による植物表面沈着放射性核種の除去係数		1/y	18.08	「発電用軽水型原子炉施設の安全評価における一般公衆の線量評価について」に基づき、weathering half-life を 14 日として計算した。
22,23	農作物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
22,23	農作物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された農作物を直ちに消費する人を評価対象とした。
22,23	灌漑水量（田）		m ³ /m ² /y	2.4	「日本の農業用水」（農業水利研究会、(株)地球社、1980 年）に示された水田に対する平均単位用水量 24mm/d と水田の年間湛水期間 100 日程度に基づいて選定した。
22,23	土壌水分飽和度（田）		—	1	田の土壌水分飽和度は、水田を想定しており、1 と選定した。
22,23	Cs の米への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	7.1E-02	IAEA TRS No.364（シリアル）
22,23	Cs の葉菜、非葉菜、果実への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	5.7E-02	IAEA TRS No.364（ジャガイモ）
22	農作物の年間摂取量（成人）	米	kg/y	71	「平成 8 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年）
		葉菜		12	
		非葉菜		45	
		果実		22	

表 11 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（7／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
23	農作物の年間摂取量（子ども）	米	kg/y	25	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		葉菜		5	
		非葉菜		23	
		果実		22	
24-27	Cs の畜産物への移行係数	牛肉	d/kg	5.0E-02	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
		豚肉		2.4E-01	
		鶏肉		1.0E+01	
		鶏卵		4.0E-01	
		牛乳	d/L	7.9E-03	
24-27	畜産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
24-27	畜産物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された畜産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
24,25	放射性核種を含む飼料の混合割合		—	1	保守的に、放射性核種を含む飼料のみで家畜を飼育するとした。
24,25	Cs の飼料への移行係数		Bq/g-dry per Bq/g	5.3E-01	IAEA TRS No.364（牧草）
24,25	家畜の飼料摂取量	肉牛	kg-dry/d	7.2	IAEA TRS No.364 において示された値を使用した。
		乳牛		16.1	
		豚		2.4	
		鶏		0.07	
24,26	畜産物の年間摂取量（成人）	牛肉	kg/y	8	「平成 8 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年）
		豚肉		9	
		鶏肉		7	
		鶏卵		16	
		牛乳	L/y	44	
25,27	畜産物の年間摂取量（子ども）	牛肉	kg/y	3	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		豚肉		4	
		鶏肉		5	
		鶏卵		10	
		牛乳	L/y	29	

表 11 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（8／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
26,27	家畜の飼育水摂取量	肉牛	L/d	50	PNL-3209 に示された値を用いた。
		乳牛		60	
		豚		10	
		鶏		0.3	
28,29	養殖淡水産物の地下水利用率		—	0.25	「日本の水資源（平成 19 年版）」（国土庁長官官房水資源部編、大蔵省印刷局、2008 年）より選定した。
28,29	Cs の魚類への濃縮係数		L/kg	2.0E+03	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
28,29	養殖淡水産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
28,29	養殖淡水産物の輸送時間		d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
28	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（成人）		kg/y	0.7	「日本の統計 1997 年版」に記載されている平成 6 年の内水面養殖業の生産量の内、魚類の生産量の合計値 76,579 トンを人口 1 億 2 千万人で除して算出した。
29	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（子ども）		kg/y	0.33	全年齢の魚介類合計摂取量の平均値(96.9g/日)と 1-6 歳の平均値(45.7g/日)の比 (0.47)を成人の年間摂取量0.7kg/年に乗じた 0.33kg/年を算出した。

別表 2 再生資材の鉄道盛土への利用に係る評価経路パラメータ一覧（内部被ばく線量係数）

内部被ばく線量係数(Sv/Bq)						
	作業者(ICRP Publ.68)		公衆(ICRP Publ.72)			
	吸入	経口	吸入		経口	
			成人	子ども	成人	子ども
Cs-134	9.6E-09	1.9E-08	6.6E-09	7.3E-09	1.9E-08	1.6E-08
Cs-137	6.7E-09	1.3E-08	4.6E-09	5.4E-09	1.3E-08	1.2E-08

(4) 放射性物質による影響の評価結果

表 12～15 に、各評価経路の Cs-134 および Cs-137 の単位濃度（1 Bq/g）あたりの影響を評価した結果を示す。また、Cs-134 と Cs-137 の比は $Cs-134/Cs-137=0.209$ と仮定※し、Cs-134 と Cs-137 の和（全 Cs）による単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量に換算した値も併せて示す。

また、1mSv/y 相当濃度、および 5,000Bq/kg、8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

※再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定する。

表 12 評価結果（再生資材の建設現場への運搬）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
1	積み下ろし作業員外部	2.0E-02	8.3E-03	1.0E-02	9.7E+04	5.2E-02	8.3E-02
2	積み下ろし作業員粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
3	積み下ろし作業員直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
4	運搬作業員外部	4.5E-02	1.9E-02	2.3E-02	4.3E+04	1.2E-01	1.9E-01
5	運搬経路周辺居住者(子ども)外部	7.5E-03	3.0E-03	3.8E-03	2.6E+05	1.9E-02	3.0E-02

表 13 評価結果（鉄道盛土施工）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
6	盛土施工作業員外部	2.9E-01	1.2E-01	1.5E-01	6.6E+03	7.5E-01	1.2E+00
7	盛土施工作業員粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
8	盛土施工作業員直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
9	保護作業員外部	1.9E-01	7.7E-02	9.6E-02	1.0E+04	4.8E-01	7.7E-01
10	建設現場周辺居住者(成人)外部	2.4E-02	1.0E-02	1.2E-02	8.1E+04	6.2E-02	9.9E-02
11	建設現場周辺居住者(成人)粉塵吸入	2.2E-05	1.7E-05	1.8E-05	5.5E+07	9.1E-05	1.5E-04
12	建設現場周辺居住者(子ども)外部	3.1E-02	1.3E-02	1.6E-02	6.2E+04	8.0E-02	1.3E-01
13	建設現場周辺居住者(子ども)粉塵吸入	5.5E-06	4.7E-06	4.8E-06	2.1E+08	2.4E-05	3.9E-05
14	鉄道施工作業員外部	2.9E-01	1.2E-01	1.5E-01	6.6E+03	7.5E-01	1.2E+00

表 14 評価結果（鉄道盛土完成後）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
ケース1	15	鉄道周辺居住者(子ども)外部	1.3E-01	5.2E-02	6.5E-02	1.5E+04	3.3E-01	5.2E-01
ケース2			4.3E-02	1.7E-02	2.2E-02	4.6E+04	1.1E-01	1.7E-01
ケース3			4.3E-03	1.6E-03	2.1E-03	4.8E+05	1.0E-02	1.7E-02
ケース4			9.1E-04	3.6E-04	4.6E-04	2.2E+06	2.3E-03	3.6E-03
ケース1	16	鉄道保線作業員外部	3.7E-02	1.5E-02	1.9E-02	5.3E+04	9.4E-02	1.5E-01
ケース2			3.1E-02	1.2E-02	1.5E-02	6.5E+04	7.6E-02	1.2E-01
ケース3			2.5E-02	9.9E-03	1.3E-02	8.0E+04	6.3E-02	1.0E-01
ケース4			2.5E-02	9.7E-03	1.2E-02	8.1E+04	6.2E-02	9.9E-02
全ケース	17	保護工補修作業員外部	1.9E-01	7.7E-02	9.6E-02	1.0E+04	4.8E-01	7.7E-01

ケース1:保護工厚さ 2cm、ケース2:保護工厚さ 10cm、ケース3:保護工厚さ30cm、ケース4:保護工厚さ50cm

表 15 評価結果（地下水移行）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
鉄道	18	飲料水摂取(成人)	1.7E-05	1.6E-04	1.4E-04	7.3E+06	6.9E-04	1.1E-03
	19	飲料水摂取(子ども)	2.4E-06	2.5E-05	2.1E-05	4.8E+07	1.0E-04	1.7E-04
	20	地下水利用農耕作業外部	3.7E-06	1.4E-04	1.2E-04	8.5E+06	5.9E-04	9.4E-04
	21	地下水利用農耕作業吸入	1.8E-10	1.3E-08	1.1E-08	9.0E+10	5.6E-08	8.9E-08
	22	地下水利用農作物摂取(成人)	1.2E-05	3.4E-04	2.8E-04	3.5E+06	1.4E-03	2.3E-03
	23	地下水利用農作物摂取(子ども)	4.4E-06	1.4E-04	1.2E-04	8.6E+06	5.8E-04	9.3E-04
	24	飼料経由畜産物摂取(成人)	1.7E-05	3.3E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.4E-03	2.2E-03
	25	飼料経由畜産物摂取(子ども)	7.9E-06	1.7E-04	1.4E-04	6.9E+06	7.2E-04	1.2E-03
	26	飼育水経由畜産物摂取(成人)	2.4E-06	2.3E-05	1.9E-05	5.2E+07	9.6E-05	1.5E-04
	27	飼育水経由畜産物摂取(子ども)	1.1E-06	1.2E-05	9.7E-06	1.0E+08	4.9E-05	7.8E-05
	28	養殖淡水産物摂取(成人)	9.8E-06	9.3E-05	7.9E-05	1.3E+07	3.9E-04	6.3E-04
	29	養殖淡水産物摂取(子ども)	3.9E-06	4.1E-05	3.4E-05	2.9E+07	1.7E-04	2.7E-04

各ケースに対する決定経路および 1mSv/y 相当濃度は、表 16 の通りである。

表 16 決定経路および 1mSv/y 相当濃度 (Bq/kg)

ケース	決定経路		1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)
ケース1	6	盛土施工作業者外部	6,600
ケース2			
ケース3			
ケース4			

ケース1:保護工厚さ 2cm、ケース2:保護工厚さ 10cm、ケース3:保護工厚さ30cm、ケース4:保護工厚さ50cm

参考文献

- (1) 澤口拓磨、武田聖司、木村英雄、田中忠夫、「放射性物質により汚染された災害廃棄物の道路への再利用に伴う被ばく線量評価」、Jpn. J. Health Phys., **50**(1), 36~49 (2015)
- (2) 武田聖司、菅野光大、佐々木利久、水無瀬直史、木村英雄、「ウラン及び TRU 核種を含む放射性廃棄物に対するクリアランスレベル評価コードシステム PASCLR 第 2 版の開発」、JAEA-Data/Code 2006-003、平成 18 年 2 月
- (3) Yukio SAKAMOTO and Shun-ichi TANAKA. “QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised Versions of QAD-CGGP AND G33-GP”. JAERI-M90-110(1990)
- (4) X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987
- (5) 公共建築工事積算研究会、「公共建築工事積算研究会参考歩掛り（平成 27 年度版）」、平成 27 年
- (6) 日本道路協会、「道路構造令の解説と運用」、平成 27 年 6 月
- (7) 日本道路協会、「道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）」、平成 21 年 6 月
- (8) 日本道路協会、「道路橋示方書（Ⅰ 共通編）・同解説」、平成 2 年
- (9) 愛知県建設部道路建設課、「道路構造の手引き、第 11 編維持修繕」、
<http://www.pref.aichi.jp/dourokensetsu/dourokouzounotebiki/dourotebiki11-140401.pdf>
（平成 28 年 5 月 31 日閲覧）
- (10) (一社) 建設コンサルタンツ協会 近畿支部 公共土木施設の維持管理に関する研究委員会 道路分科会 のり面 WG、「3. 斜面・のり面の適切な点検方法の手引きと補修・補強工法選定資料」、<https://www.kk.jcca.or.jp/upload/oteire/02/file03.pdf>（平成 28 年 5 月 31 日閲覧）
- (11) 原子力安全委員会、「原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性廃棄物として取り扱う必要のないものの放射能濃度について」、平成 16 年 12 月 16 日、平成 17 年 3 月 17 日一部訂正及び修正
- (12) 文部科学省科学技術・学術政策局放射線安全規制検討会、「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルについて」、平成 22 年 11 月 1 日、平成 24 年 3 月 27 日一部訂正
- (13) 日本道路公団、「土工の耐用年数について」、平成 16 年 8 月 31 日
- (14) 須長誠、「世界初を狙う 一道床バラスト密度の測定」、鉄道総合技術研究所 RRR、平成 23 年 6 月
- (15) 気象庁 HP、「<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>」

(参考資料 1) 主要工種工程表に基づく周辺居住者の被ばく時間の算出

平成 22 年度版国土交通省土木工事積算基準に基づき、道路盛土に対する主要工種工程表を作成した結果を、以下に示す。

○想定する建設体系

・道路盛土

高さ 5m、天端 14m、延長 1km、法面勾配 1:2.0

・舗装 (アスファルト)

表層 0.5cm、基層 0.5cm、上層路盤 15cm、下層路盤 25cm

○主要工種工程表 (盛土の保護工は敷き均し・締め固めと平行して施工されるものとする)

部位		工種	数量	単位	所要日数/パーティ数	日数(休日抜き)																
						0	60	100	150	200	300											
路体・路床	路体	敷き均し	97,500	m ²	96.4/1P 32.1/3P	START	96.4															
		締め固め	97,500	m ²	71.1/1P 35.5/2P		71.1															
	路床	敷き均し	18,000	m ²	23.4/1P		23.4															
		締め固め	18,000	m ²	31/1P		31.0															
車道	下層路盤	不陸整正	7,000	m ²	4.4/1P																	
		敷き均し・締め固め	7,000	m ²	6.3/1P																	
	上層路盤	不陸整正	7,000	m ²	4.4/1P																	
		敷き均し・締め固め	7,000	m ²	6.3/1P																	
	路側工	境界ブロック	2,000	m	33.3/1P		33.3															
	舗装工	基層	7,000	m ²	3.0/1P																	
表層		7,000	m ²	3.0/1P																		
歩道	路盤	敷き均し・締め固め	4,000	m ²	14.9/1P																	
	舗装工	基・表層	4,000	m ²	4.3/1P																	

主要工種工程表より、盛土の建設～路盤材の施工に要する期間は約 150 日 (休日抜き)、休日を含めた施工期間は年間 219 日となる (一年あたりの労働日数: 250 日、休日: 115 日とした)。これをもとに、周辺居住者の被ばく時間を以下のように想定した。

○前提条件

- ・周辺居住者は、盛土が建設されてから遮へいが施されるまで (路盤材が施工されるまで) の期間に被ばくすると想定する。その際、外部被ばくに影響を与える道路盛土の範囲を延長 500m とする。
- ・居住者は施工期間のうち、屋外にいる時間に被ばくするとし、遮へい係数 0.2 (IAEA-TECDOC-401) を考慮する。

●道路施工に伴う周辺居住者の被ばく時間

- ・一般道路: $219 \text{ (d)} \times 24 \text{ (h/d)} \times (\text{一般道路体積}) \div (\text{上記道路体積}) \div 2,000 \text{ (h/y)}$
- ・高速道路: $219 \text{ (d)} \times 24 \text{ (h/d)} \times (\text{高速道路体積}) \div (\text{上記道路体積}) \div 3,600 \text{ (h/y)}$

平成 28 年 6 月 10 日
日本原子力研究開発機構

本資料は、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（第 4 回）（平成 28 年 6 月 7 日）資料 4「追加被ばく線量評価について」の算出評価資料である。

再生資材を防潮堤の盛土材に利用したときにおける作業員や周辺住民に与える線量を評価するため、評価経路、パラメータを設定し、再生資材に含まれる Cs-134、Cs-137、全 Cs（=Cs-134 + Cs-137）について、単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量を計算する。

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、既往の評価の際の設定を参照し、現実的なシナリオやパラメータを設定し、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する。

線量評価には、クリアランスレベル評価コード PASCLR2 コード⁽¹⁾を用いる。当該コードは、原子炉施設やウラン取扱施設等を対象に、クリアランス後の産業廃棄物としての埋設処分と再生材としての利用のシナリオに関する作業員と公衆の被ばく経路を網羅した線量評価が可能なコードであり、炉規法等のクリアランスレベル、特措法における濃度規準等を評価した実績を有する。また、当該評価に用いる外部被ばく線量換算係数は、原子力施設等の遮へい計算で実績のある QAD-CGGP2R コード⁽²⁾または MCNP5 コード⁽³⁾を使用して算出する。

（１）評価経路

再生資材の防潮堤への利用に伴う被ばくは、施工時の被ばくと供用時の被ばくに分けて整理した。

●施工時の被ばく

防潮堤施工時における主な作業工程、および、国土交通省の標準歩掛り⁽⁴⁾に基づく各工程の主な作業形態を、表 1 に示す。

表 1 防潮堤施工の主な作業工程

作業工程			作業形態
盛土施工	建設現場への盛土材の運搬		重機
	盛土材の積み下ろし		重機
	盛土材の敷均し・締固め		重機・人力
	法面の整形		重機・人力
法尻補強施工	法尻保護工		重機・人力
護岸工	ブロック張	基礎碎石	重機・人力
		割栗石	重機・人力
		コンクリート張	重機・人力
	補強コンクリート	法尻	重機・人力
		天端	重機・人力
共通	建設機械の洗浄		人力

本評価では、表 1 に示す作業工程を対象として評価を行う。各作業工程において、作業形態で重機と人力の両方が想定される場合は、保守的に人力による作業を想定することとする。

ただし、以下の作業工程については、評価対象から除外した。

- ・盛土施工：法面整形作業、法尻補強施工：法尻保護工

法面整形作業、法尻保護工および護岸工（ブロック張：基礎砕石）は、全て法面上部で行われる作業である。国土交通省の土木工事積算基準⁵⁾から算出した防潮堤の主要工種工程表より、護岸工（ブロック張：基礎砕石）の施工日数に比べ、法面整形作業および法尻保護工の施工日数は短いと想定される（参考資料1）。

よって、本評価では代表的に護岸工作業者（ブロック張：基礎砕石）を評価することとし、法面整形作業、法尻保護工作業を評価対象から除外した。

- ・護岸工：ブロック張（割栗石、コンクリート張）、補強コンクリート

ブロック張（割栗石、コンクリート張）および補強コンクリートは、基礎砕石が施工された後に施工されるため、施工された基礎砕石による遮へいが想定される。

よって、本評価では代表的に護岸工作業者（ブロック張：基礎砕石）を評価することとし、ブロック張（割栗石、コンクリート張）、補強コンクリート作業を評価対象から除外した。

- ・建設機械の洗浄

防潮堤の施工に使用される機械は、現場外への土砂飛散防止のために、現場入口等で洗浄される可能性がある。洗浄により機械に付着した土砂が排水とともに地面へ浸透し、土砂に含まれる核種が帯水層まで到達した場合、汚染した地下水の利用による被ばくが考えられる。

しかし、地下水利用による被ばくについては後述する防潮堤への雨水浸透で考慮しており、大規模な線源（盛土）に対する年間を通した地下水への移行を想定しているため、建設機械の洗浄よりも地下水へ浸透する核種の量ははるかに大きいと考えられる。よって、地下水移行については防潮堤への雨水浸透を代表的に評価することとし、建設機械の洗浄を評価対象から除外した。

●供用時の被ばく

防潮堤完成後の被ばくとして、周辺居住者および防潮堤利用者の被ばくが想定される。

施工後の補修作業者については、通常の防潮堤補修では施工されたコンクリートブロック・基礎砕石・割栗石等を撤去して盛土（線源）が剥き出しになる可能性は低いと想定されるため、評価対象から除外した。

また防潮堤に対する雨水および地下水・湧水の影響については、設計上雨水は盛土表面の排水溝で、地下水・湧水は地下排水工（透水管等により暗渠排水）や水平排水層（砂や礫等）で排水することが基本となっているため、影響は小さいと考えられるが、本評価では保守的に防潮堤完成後の雨水浸透による地下水移行についても評価を行うこととした。

設定した評価経路を表 2 に示す。

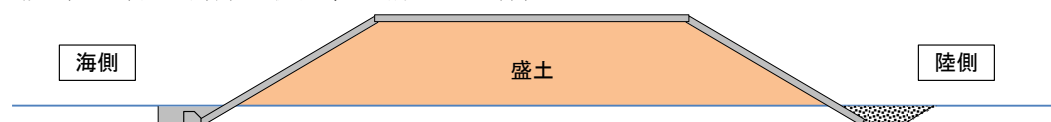
表 2 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路

No	評価対象		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		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		公衆（成人）	外部
11					粉塵吸入
12				公衆（子ども）	外部
13					粉塵吸入
14	防潮堤完成後	周辺居住		公衆（子ども）	外部
15		防潮堤利用		公衆（子ども）	外部
16	完成防潮堤へ の雨水浸透に よる核種の漏 洩（地下水移 行）	飲料水摂取	井戸水	公衆（成人）	経口
17				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	公衆（成人）	経口
21				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	公衆（成人）	経口
23				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	公衆（成人）	経口
25				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	公衆（成人）	経口
27				公衆（子ども）	経口

（２）評価概要

防潮堤の形式は大きく 2 つに分類される（図 1）。

- ・傾斜堤（砂浜海岸で使用、土構造が主体）



- ・直立堤（岩礁海岸で使用、コンクリート構造が主体）

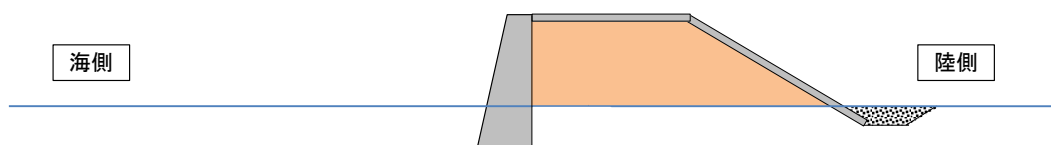


図 1 代表的な堤防形式

本評価では傾斜堤と直立堤の２つのケースについて評価を行うこととした。評価体系は、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」（海岸保全施設技術研究会）⁽⁶⁾、および、地方自治体が公表している設計基準^{(7),(8),(9),(10),(11),(12)}に基づいて想定した。想定した体系を、図２および図３に示す。

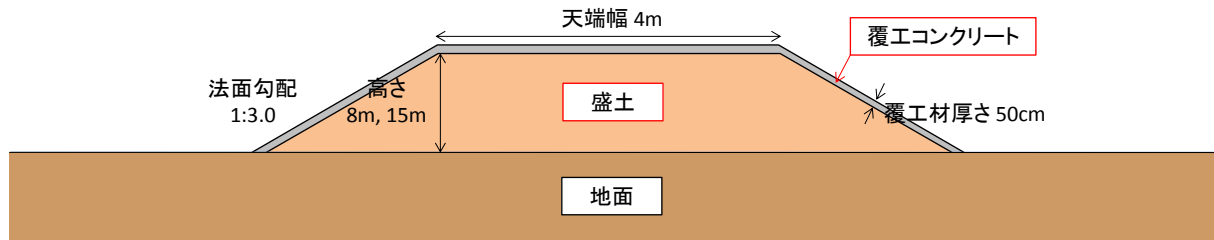


図２ 防潮堤の評価体系（傾斜堤）

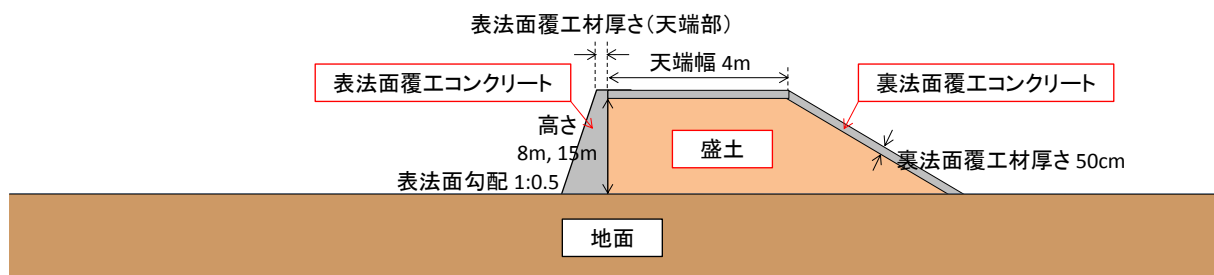


図３ 防潮堤の評価体系（直立堤）

- ・盛土高さ：各地方自治体での計画堤防高さの平均および最大値より 8m（ケース 1）および 15m（ケース 2）とする（表 3 参照）。
- ・法面勾配
 - 傾斜堤：上記資料⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾の設定値（裏法面：1:1.0～1:3.0、表法面：1:1.0～1:3.0）より、最も安定な構造である 1:3.0 とする。
 - 直立堤：上記資料⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾の設定値（裏法面：1:1.0～1:3.0、表法面：垂直～1:1.0（安定計算で算出））より、裏法面は傾斜堤と同じ 1:3.0、表法面は 1:0.5 と仮定する。
- ・天端幅：上記資料⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾の設定値（3～4m）より、保守的に最大値 4m とする。
- ・法面被覆工：コンクリートによる被覆（厚さ 50cm：地方自治体での設定値）とする。
- ・密度：土壌の密度は、「道路橋示方書（Ⅰ 共通編）・同解説」（日本道路協会）⁽¹³⁾に基づき設定した。盛土については礫および砂に対する値：2.0g/cm³、再生資材については自然地盤での密度のおおよその平均値：1.7g/cm³とした。

表 3 防潮堤に対する評価ケース

ケース	天端幅(m)	堤防高さ(m)
1	4	8
2		15

評価概要を以下に示す。

●共通

- ・Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とする。
 - 再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定。

- ・全ての経路について、評価開始時期は保守的に0年からとする。
- ・一般的な設定が困難な作業員（運搬・盛土施工・護岸工に係る作業員）の被ばく時間は、1000時間/年（1日8時間、年間250日の労働時間の半分の時間）とする。

●盛土現場への運搬

- ・経路 No.1～4（建設現場への積み下ろし・運搬作業員）
積載量 10t の大型ダンプによる運搬を想定する。
- ・経路 No.5（運搬経路周辺居住者（子ども））
既往の評価と同様に、運搬トラックの走行台数のうち半分が赤信号により停車している時間1分の間に被ばくすると想定する。

●盛土の施工（図4参照）

- ・経路 No.6～8（盛土施工（敷き均し・締め固め）作業員）
保守的に盛土天端中央にいる作業員を想定する。
- ・経路 No.9（護岸工作業員）
保守的に法面中央にいる作業員を想定する。
- ・経路 No.10～13（建設現場周辺居住者）
海岸保全区域は一般に満潮時の水際線（地図上の海岸線）から50mの範囲までとされているが、保守的に建設現場近傍（盛土底面から1m）に居住する公衆を想定する。

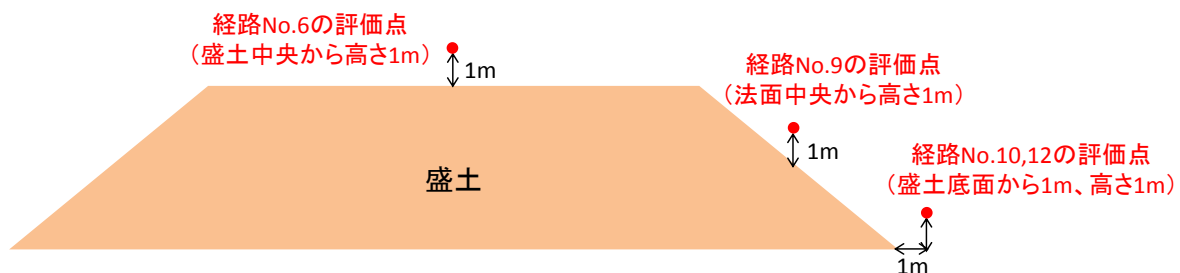


図4 盛土・護岸工の施工に係る作業員と公衆の評価体系

●防潮堤完成後

- ・経路 No.14（周辺居住者、子ども）
防潮堤完成後の周辺居住者は、経路 No.10、12 と同様の評価点に対し評価を行う。ただし、コンクリート被覆による遮へいを考慮する。
- ・経路 No.15（防潮堤利用者）
防潮堤完成後の利用者は、防潮堤を散歩等のために利用する公衆を想定し、経路 No.6 と同様の評価点に対し評価を行う。ただし、コンクリート被覆による遮へいを考慮する。

●防潮堤完成後の地下水移行（図 5～8 参照）

・経路 No.16～27（防潮堤の周辺居住者）

PASCLR2⁽¹⁾では、放光体状の線源をソースタームとした地下水移行評価はできない。そのため、本評価のソースタームは、降雨浸透により核種が漏えいすると仮定する盛土底面の面積、線源体積を変えずに盛土高さ（厚さ）を変えた直方体で近似した。

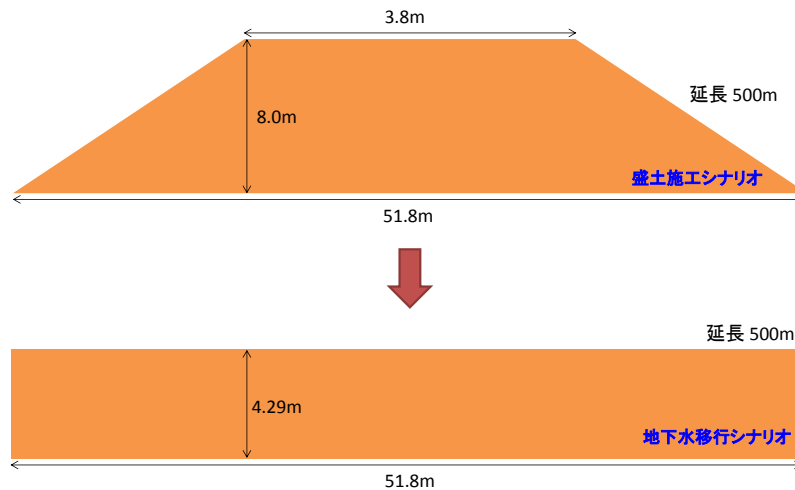


図 5 傾斜堤（ケース 1）の評価体系

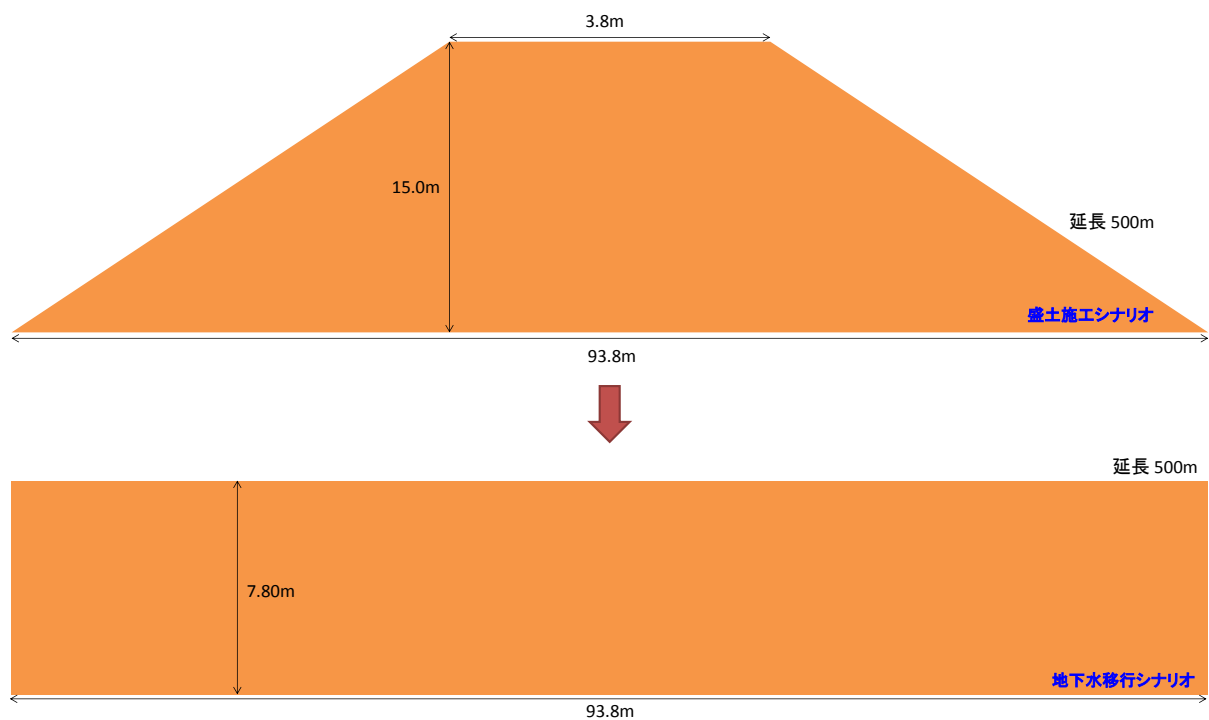


図 6 傾斜堤（ケース 2）の評価体系

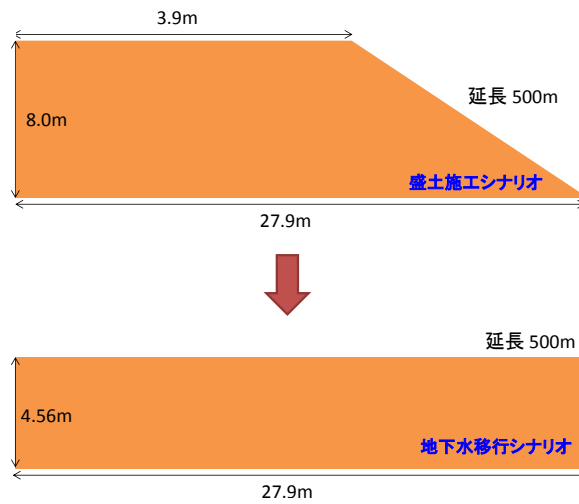


図 7 直立堤（ケース 1）の評価体系

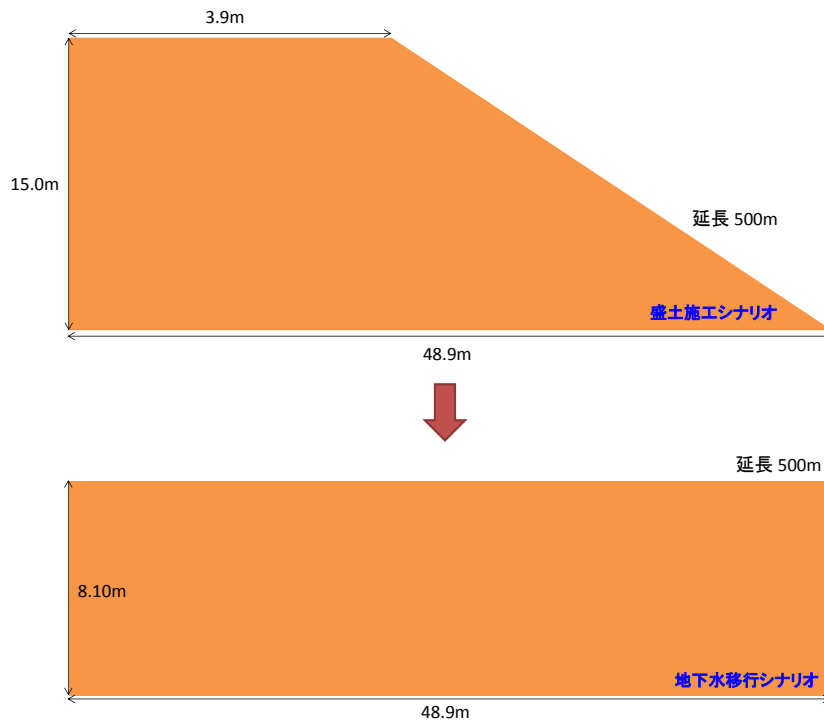


図 8 直立堤（ケース 2）の評価体系

- ・ 盛土と帯水層の間には「地表土」や「不透水層」があるが、本評価ではこれらの影響は無視し、盛土の真下に帯水層があるとする。
- ・ 本評価では、盛土に使用される再生資材への C_s の収着を考慮した分配係数モデルを用い、地下水移行に係る全経路を評価する。
- ・ 分配係数モデルでは、再生資材からの C_s の溶出は分配平衡に基づいて起こると仮定し、盛土からの漏えい率 η は、以下の式で表される。

$$\eta = \frac{P}{H_w \cdot (\varepsilon_w + \rho_w \cdot Kd_w)}$$

ここで、

η : 盛土からの漏えい率 (1/y)

P : 盛土への降雨浸透水量 (m/y)

H_w : 盛土の厚さ (m)

ε_w : 盛土の空隙率 (-)

ρ_w : 盛土のかさ密度 (g/cm³)

Kd_w : 再生資材の分配係数 (mL/g)

である。

- 盛土の空隙率は、再生資材の真密度 (2.6～2.7g/cm³) と当該盛土のかさ密度 (2.0 g/cm³) から導出し、0.25 とした。また、再生資材の分配係数は 270mL/g (IAEA TRS No.364、有機土壌・砂) とした。

※上記パラメータから導出される放出係数 (= 1/ ($\varepsilon_w + \rho_w Kd_w$)) は 0.001851 となり、既往のクリアランスレベル評価⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾で設定された値 (0.01) より一桁小さくなる。

- 浸透水量は、全ケースとも 0.4m/y とした。

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 4 および別表 1 に示す。

表 4 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメータ一覧 (1/8)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-27	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間 (1 年) の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間 (1 年) 中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-27	線源に対する希釈係数		—	1	再生資材のみを防潮堤 (盛土) に使用するとし、線源に対する希釈は保守的に 1 とした。
1-4	年間作業時間 (積み下ろし、運搬)		h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間で、再生資材の運搬作業を行うものとした。
1,4	外部被ばくに対する線量換算係数 (積み下ろし、運搬作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	5.9E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：0.6m×5.0m の中心から 1.0m
		Cs-137		2.1E-02	
1	積み下ろし作業時の遮へい係数		—	0.4	重機を使用した際の遮へい (鉄板 2cm 相当) を考慮する。災害廃棄物評価 ^{※1} で埋設作業時の重機を使用した Cs-134 及び Cs-137 に対する遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.4 と計算され、積み下ろし作業時の遮へい係数も同様に設定した。
2,7	作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働 (軽作業) 時の呼吸量の数値 20L/min を基に算定した。
2,7, 11,13	作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
2,7, 11,13	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (吸入摂取)		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
3,8	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (経口摂取)		—	2	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。
3,8	ダストの経口摂取率		g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1 に示された値を用いた。
4	運搬作業時の遮へい係数		—	0.9	車両による遮へい (鉄板 3mm 相当) を考慮する。災害廃棄物評価 ^{※1} で埋設作業時の Cs-134 及び Cs-137 に対する車両による遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.9 と計算され、運搬作業時の遮へい係数も同様に設定した。
5	運搬経路沿いの居住者の被ばく時間		h/y	450	災害廃棄物安全評価検討会 (第 9 回) 資料 11-2 「災害廃棄物等の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理」に示された値を踏襲した。当該資料では、運搬トラックが月に 4,500 台走行し、そのうちの半分のトラックが赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくとすると仮定し、450h/y としている。
5	運搬経路周辺居住時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。

※1 災害廃棄物安全評価検討会 (第 9 回) 資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表4 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメーター一覧（2／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
5	外部被ばくに対する線量換算係数（運搬経路周辺居住、子ども）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.0E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：0.6m×5.0m の底辺中央から 3.0m
		Cs-137		6.8E-03	
6-9	年間作業時間		h/y	1,000	保守的に 1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の間、当該作業に従事するとした。
6,9	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 に設定した。
6 傾斜堤 ケース 1 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（盛土施工作業）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.2E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 51.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137		1.2E-01	
6 傾斜堤 ケース 2 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（盛土施工作業）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.3E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 93.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137		1.2E-01	
6 直立堤 ケース 1 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（盛土施工作業）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.9E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 27.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137		1.1E-01	
6 直立堤 ケース 2 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（盛土施工作業）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.0E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 48.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：上面中点から高さ 1m
		Cs-137		1.1E-01	
9 傾斜堤 ケース 1 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（護岸作業）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.4E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 51.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：法面中央から高さ 1m
		Cs-137		8.4E-02	
9 傾斜堤 ケース 2 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（護岸作業）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.5E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 93.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：法面中央から高さ 1m
		Cs-137		8.8E-02	
9 直立堤 ケース 1 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（護岸作業）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.4E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 27.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：法面中央から高さ 1m
		Cs-137		8.3E-02	

表4 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメーター一覧 (3/8)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
9 直立堤 ケース2 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数(護岸作業)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	2.5E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 48.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：法面中央から高さ 1m
		Cs-137		8.7E-02	
10-13	居住者の被ばく時間		h/y	8,760	防潮堤(傾斜堤、延長 500m)の建設～護岸工の施 工期間(主要工種工程表(参考資料1))より、建 設期間は1年以上の長期にわたる可能性がある。よ って、保守的に年間にわたって被ばくするとした。
10,12,14	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の20%を戸外で 過ごすとして仮定した。
10,12 傾斜堤 ケース1 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数(建設現場周 辺居住)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	8.2E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 51.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		2.9E-02	
10,12 傾斜堤 ケース2 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数(建設現場周 辺居住)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	8.8E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 93.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		3.2E-02	
10,12 直立堤 ケース1 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数(建設現場周 辺居住)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	7.9E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 27.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		2.8E-02	
10,12 直立堤 ケース2 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数(建設現場周 辺居住)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	8.5E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 48.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 評価点：底面 500m の辺の中点から 1m、高さ 1m なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		3.1E-02	
11	居住者の呼吸量(成人)		m ³ /h	0.96	ICRP Publ.23 で示されている標準人の1日の呼吸量 の数値 2.3×10 ⁴ (L/d)を基に算定した。
13	居住者の呼吸量(子ども)		m ³ /h	0.22	IAEA Safety Reports Series No.44 に示されていた1～ 2歳の居住者の呼吸率として示されている値を採用 した。
14	年間被ばく時間		h/y	8,760	保守的に1年間絶えず防潮堤周辺に居住していると した。

表 4 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメーター一覧（４／８）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
14 傾斜堤 ケース 1 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（防潮堤周辺 居住、子ども）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.1E-05	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 51.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆工：上面に厚さ 50cm の覆工コンクリート（密度 2.0g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の midpoint から 1m、高さ 1m
		Cs-137		9.0E-06	
14 傾斜堤 ケース 2 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（防潮堤周辺 居住、子ども）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.9E-05	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 93.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆工：上面に厚さ 50cm の覆工コンクリート（密度 2.0g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の midpoint から 1m、高さ 1m
		Cs-137		1.2E-05	
14 直立堤 ケース 1 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（防潮堤周辺 居住、子ども）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.6E-05	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 27.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆工：上面に厚さ 50cm の覆工コンクリート（密度 2.0g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の midpoint から 1m、高さ 1m
		Cs-137		7.5E-06	
14 直立堤 ケース 2 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（防潮堤周辺 居住、子ども）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.4E-05	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 48.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆工：上面に厚さ 50cm の覆工コンクリート（密度 2.0g/cm ³ ） 評価点：底面 500m の辺の midpoint から 1m、高さ 1m
		Cs-137		1.0E-05	
15	年間利用時間		h/y	400	1 日 1 時間、毎日対象防潮堤を利用すると、約 365 時間／年の利用時間となる。この結果から、年間の対象防潮堤利用時間を 400 時間に設定した。
15	利用時の遮へい係数		—	1.0	保守的に遮へい係数を 1.0 に設定した。
15 傾斜堤 ケース 1 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数（防潮堤利用、 子ども）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.8E-04	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 51.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆工：上面に厚さ 50cm の覆工コンクリート（密度 2.0g/cm ³ ） 評価点：防潮堤上面中央から高さ 1m
		Cs-137		9.9E-05	

表4 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメーター一覧（5／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
15 傾斜堤 ケース2 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数(防潮堤利用、 子ども)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.9E-04	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 93.8m×500m、上面 3.8m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆工：上面に厚さ 50cm の覆工コンクリート（密度 2.0g/cm ³ ） 評価点：防潮堤上面中央から高さ 1m
		Cs-137		1.0E-04	
15 直立堤 ケース1 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数(防潮堤利用、 子ども)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.4E-04	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 27.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆工：上面に厚さ 50cm の覆工コンクリート（密度 2.0g/cm ³ ） 評価点：防潮堤上面中央から高さ 1m
		Cs-137		8.8E-05	
15 直立堤 ケース2 で使用	外部被ばくに対 する線量換算係 数(防潮堤利用、 子ども)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.8E-04	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 48.9m×500m、上面 3.9m×500m 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 覆工：上面に厚さ 50cm の覆工コンクリート（密度 2.0g/cm ³ ） 評価点：防潮堤上面中央から高さ 1m
		Cs-137		9.5E-05	
16-27	盛土の空隙率		—	0.25	再生資材の真密度（2.6～2.7g/cm ³ ）と当該盛土のかさ密度（2.0 g/cm ³ ）から導出し、0.25 とした。
16-27	盛土のかさ密度		g/cm ³	2.0	日本道路公団監修 設計要領（第一集 土工・舗装・排水・造園，1983）より、締め固めた盛土に対する密度の最大値を採用した。
16-27	Cs の盛土の分配係数		mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌、砂）
16-27	Cs の帯水層土壌の分配係数		mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（砂）
16-27	浸透水量（防潮堤）		m/y	0.4	防潮堤では、雨水のほとんどが表面から側面へ流れることから、浸透水量はほとんどないものと考えられるが、保守的に、災害廃棄物評価※1 で使用した値を採用した。
16-27	浸透水量（耕作地土壌）		m/y	0.4	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
16-27	帯水層厚さ		m	3	IAEA-TECDOC-401 に示された値を用いた。
16-27	地下水流速（ダルシー流速）		m/d	1	「新版地下水調査法」（山本荘毅、(株)古院書院、1983 年）
16-27	帯水層空隙率		—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年）
16-27	帯水層土壌密度		g/cm ³	2.6	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982 年）
16-27	地下水流方向の分散長		m	0	保守的に選定した。
16-27	地下水流方向の分散係数		m ² /y	0	保守的に選定した。
16-27	防潮堤下流端から井戸までの距離		m	0	保守的に選定した。
16-27	井戸水の混合割合		—	0.33	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
16	人の年間飲料水摂取量（成人）		m ³ /y	0.61	ICRP Publ.23 の標準人の値を参考に、1 日の摂取量を 1.65L として算定した。
17	人の年間飲料水摂取量（子ども）		m ³ /y	0.1	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された値を用いた。

※1 災害廃棄物安全評価検討会（第9回）資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表 4 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメーター一覧（6／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
18-23	Cs の農耕土壌の分配係数		mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌）
18-23	灌漑水量（畑、牧草地）		m ³ /m ² /y	1.2	「日本の農業用水」（農業水利研究会編、(株)地球社、1980 年）に示された畑地に対する平均単位用水量 4mm/d と年間灌漑日数 300 日程度に基づいて選定した。
18-23	土壌水分飽和度（畑、牧草地）		—	0.2	JAEA 原科研敷地内（砂層）における測定結果より選定した。
18-23	土壌実効表面密度		kg/m ²	240	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109 に示された値を用いた。
18-23	灌漑土壌真密度		g/cm ³	2.60	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982 年）に示された砂の粒子密度を基に選定した。
18-23	実効土壌深さ		cm	15	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109 に示された値を用いた。
18-23	放射性核種の土壌残留係数		—	1	保守的に、全ての灌漑水中の放射性核種が土壌に残留するものとした。
18-23	灌漑土壌空隙率		—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年）
18,19	農耕作業による年間作業時間		h/y	500	「日本の統計 2009 年版」（総務庁統計局編、2009 年）に記載されている平成 18 年度の 1 戸当たりの平均経営耕地面積 248a（水田率 54.4%）、水稻 10a 当たりの労働時間 29.2 時間、小麦 10a 当たりの労働時間 5.6 時間を基に算出し、値に裕度を持って選定した。 $248 \times 0.544 \times 2.92 + 248 \times (1 - 0.544) \times 0.56 = 457$ (h/y)
18	外部被ばくに対する線量換算係数（農耕作業：灌漑土壌からの外部被ばく）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	4.7E-01	従来のクリアランスレベル評価で設定されている換算係数を設定した。条件は以下の通りである。 線源の形状：高さ 10m、半径 500m の円柱 線源のかさ密度：2.0g/cm ³ 以上の条件で QAD-CGGP2R コードにより算出されている。
		Cs-137		1.7E-01	
18	農耕作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に遮へいを考慮しない。
19	農耕作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
19	農耕作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値 20L/min を算定した。
19	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
20-23	灌漑水年間生育期間		d	60	「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」に示された葉菜に関する栽培期間の値(60d/y)を使用した。
20-23	農作物（葉菜、牧草）の栽培密度		kg/m ²	2.3	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」（原子力安全委員会、平成元年 3 月 27 日）
20-23	放射性核種の農作物（葉菜、牧草）表面への沈着割合		—	1	保守的に全ての放射性核種が、農作物表面へ沈着するものとした。
20-23	weathering 効果による植物表面沈着放射性核種の除去係数		1/y	18.08	「発電用軽水型原子炉施設の安全評価における一般公衆の線量評価について」に基づき、weathering half-life を 14 日として計算した。

表 4 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメーター一覧（7／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
20,21	農作物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
20,21	農作物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された農作物を直ちに消費する人を評価対象とした。
20,21	灌漑水量（田）		m ³ /m ² /y	2.4	「日本の農業用水」（農業水利研究会、(株)地球社、1980 年）に示された水田に対する平均単位用水量 24mm/d と水田の年間湛水期間 100 日程度に基づいて選定した。
20,21	土壌水分飽和度（田）		—	1	田の土壌水分飽和度は、水田を想定しており、1 と選定した。
20,21	Cs の米への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	7.1E-02	IAEA TRS No.364（シリアル）
20,21	Cs の葉菜、非葉菜、果実への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	5.7E-02	IAEA TRS No.364（ジャガイモ）
20	農作物の年間摂取量（成人）	米	kg/y	71	「平成 8 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年）
		葉菜		12	
		非葉菜		45	
		果実		22	
21	農作物の年間摂取量（子ども）	米	kg/y	25	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		葉菜		5	
		非葉菜		23	
		果実		22	
22-25	Cs の畜産物への移行係数	牛肉	d/kg	5.0E-02	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
		豚肉		2.4E-01	
		鶏肉		1.0E+01	
		鶏卵		4.0E-01	
		牛乳	d/L	7.9E-03	
22-25	畜産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
22-25	畜産物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された畜産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
22,23	放射性核種を含む飼料の混合割合		—	1	保守的に、放射性核種を含む飼料のみで家畜を飼育するとした。
22,23	Cs の飼料への移行係数		Bq/g-dry per Bq/g	5.3E-01	IAEA TRS No.364（牧草）
22,23	家畜の飼料摂取量	肉牛	kg-dry/d	7.2	IAEA TRS No.364 において示された値を使用した。
		乳牛		16.1	
		豚		2.4	
		鶏		0.07	

表 4 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメーター一覧（８／８）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
22,24	畜産物の年間摂取量（成人）	牛肉	kg/y	8	「平成 8 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年）
		豚肉		9	
		鶏肉		7	
		鶏卵		16	
		牛乳	L/y	44	
23,25	畜産物の年間摂取量（子ども）	牛肉	kg/y	3	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		豚肉		4	
		鶏肉		5	
		鶏卵		10	
		牛乳	L/y	29	
24,25	家畜の飼育水摂取量	肉牛	L/d	50	PNL-3209 に示された値を用いた。
		乳牛		60	
		豚		10	
		鶏		0.3	
26,27	養殖淡水産物の地下水利用率		—	0.25	「日本の水資源（平成 19 年版）」（国土庁長官官房水資源部編、大蔵省印刷局、2008 年）より選定した。
26,27	Cs の魚類への濃縮係数		L/kg	2.0E+03	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
26,27	養殖淡水産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
26,27	養殖淡水産物の輸送時間		d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
26	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（成人）		kg/y	0.7	「日本の統計 1997 年版」に記載されている平成 6 年の内水面養殖業の生産量の内、魚類の生産量の合計値 76,579 トンを人口 1 億 2 千万人で除して算出した。
27	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（子ども）		kg/y	0.33	全年齢の魚介類合計摂取量の平均値(96.9g/日)と 1-6 歳の平均値(45.7g/日)の比 (0.47)を成人の年間摂取量 0.7kg/年に乗じた 0.33kg/年を算出した。

別表 1 再生資材の防潮堤への利用に係る評価経路パラメーター一覧（内部被ばく線量係数）

内部被ばく線量係数(Sv/Bq)						
	作業者(ICRP Publ.68)		公衆(ICRP Publ.72)			
	吸入	経口	吸入		経口	
			成人	子ども	成人	子ども
Cs-134	9.6E-09	1.9E-08	6.6E-09	7.3E-09	1.9E-08	1.6E-08
Cs-137	6.7E-09	1.3E-08	4.6E-09	5.4E-09	1.3E-08	1.2E-08

4. 放射性物質による影響の評価結果

表5～8に、各評価経路のCs-134およびCs-137の単位濃度（1 Bq/g）あたりの影響を評価した結果を示す。また、Cs-134とCs-137の比はCs-134/Cs-137=0.209と仮定※し、Cs-134とCs-137の和（全Cs）による単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量に換算した値も併せて示す。ここで、周辺居住者については線源からの距離が1mの場合のみを示した。

また、濃度レベル算出のための線量のめやす値1mSv/yを超えないことを条件として被ばく評価計算から誘導された濃度（1mSv/y相当濃度）、および5,000Bq/kg、8,000Bq/kgの再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

※再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から5年後、事故直後のCs-134（半減期2.06年）とCs-137（半減期30.0年）の存在割合を1:1と仮定する。

表5 評価結果（再生資材の建設現場への運搬）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
1	積み下ろし作業者外部	2.0E-02	8.3E-03	1.0E-02	9.7E+04	5.2E-02	8.3E-02
2	積み下ろし作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
3	積み下ろし作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
4	運搬作業者外部	4.5E-02	1.9E-02	2.3E-02	4.3E+04	1.2E-01	1.9E-01
5	運搬経路周辺居住者(子ども)外部	7.5E-03	3.0E-03	3.8E-03	2.6E+05	1.9E-02	3.0E-02

表6 評価結果（防潮堤施工）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
傾斜堤	ケース1	6 盛土施工作業者外部	2.7E-01	1.2E-01	1.5E-01	6.9E+03	7.3E-01	1.2E+00
		7 盛土施工作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
		8 盛土施工作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
		9 護岸作業者外部	2.0E-01	8.3E-02	1.0E-01	9.6E+03	5.2E-01	8.3E-01
		10 建設現場周辺居住者(成人)外部	1.2E-01	5.0E-02	6.3E-02	1.6E+04	3.1E-01	5.0E-01
		11 建設現場周辺居住者(成人)粉塵吸入	9.4E-05	7.6E-05	8.0E-05	1.3E+07	4.0E-04	6.4E-04
		12 建設現場周辺居住者(子ども)外部	1.6E-01	6.5E-02	8.1E-02	1.2E+04	4.1E-01	6.5E-01
		13 建設現場周辺居住者(子ども)粉塵吸入	2.4E-05	2.1E-05	2.1E-05	4.7E+07	1.1E-04	1.7E-04
	ケース2	6 盛土施工作業者外部	2.8E-01	1.2E-01	1.5E-01	6.8E+03	7.3E-01	1.2E+00
		7 盛土施工作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
		8 盛土施工作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
		9 護岸作業者外部	2.1E-01	8.7E-02	1.1E-01	9.2E+03	5.4E-01	8.7E-01
		10 建設現場周辺居住者(成人)外部	1.3E-01	5.5E-02	6.8E-02	1.5E+04	3.4E-01	5.5E-01
		11 建設現場周辺居住者(成人)粉塵吸入	9.4E-05	7.6E-05	8.0E-05	1.3E+07	4.0E-04	6.4E-04
直立堤	ケース1	6 盛土施工作業者外部	2.5E-01	1.1E-01	1.3E-01	7.5E+03	6.6E-01	1.1E+00
		7 盛土施工作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
		8 盛土施工作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
		9 護岸作業者外部	2.0E-01	8.2E-02	1.0E-01	9.7E+03	5.2E-01	8.2E-01
		10 建設現場周辺居住者(成人)外部	1.2E-01	4.8E-02	6.0E-02	1.7E+04	3.0E-01	4.8E-01
		11 建設現場周辺居住者(成人)粉塵吸入	9.4E-05	7.6E-05	8.0E-05	1.3E+07	4.0E-04	6.4E-04
		12 建設現場周辺居住者(子ども)外部	1.5E-01	6.3E-02	7.9E-02	1.3E+04	3.9E-01	6.3E-01
		13 建設現場周辺居住者(子ども)粉塵吸入	2.4E-05	2.1E-05	2.1E-05	4.7E+07	1.1E-04	1.7E-04
	ケース2	6 盛土施工作業者外部	2.5E-01	1.1E-01	1.3E-01	7.5E+03	6.7E-01	1.1E+00
		7 盛土施工作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
		8 盛土施工作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
		9 護岸作業者外部	2.1E-01	8.6E-02	1.1E-01	9.3E+03	5.4E-01	8.6E-01
		10 建設現場周辺居住者(成人)外部	1.3E-01	5.4E-02	6.6E-02	1.5E+04	3.3E-01	5.3E-01
		11 建設現場周辺居住者(成人)粉塵吸入	9.4E-05	7.6E-05	8.0E-05	1.3E+07	4.0E-04	6.4E-04
		12 建設現場周辺居住者(子ども)外部	1.6E-01	7.0E-02	8.6E-02	1.2E+04	4.3E-01	6.9E-01
		13 建設現場周辺居住者(子ども)粉塵吸入	2.4E-05	2.1E-05	2.1E-05	4.7E+07	1.1E-04	1.7E-04

ケース1:盛土高さ8m、ケース2:盛土高さ15m

表 7 評価結果 (防潮堤完成後)

解析ケース		No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
				Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
傾斜堤	ケース1	14	防潮堤周辺居住者(子ども)外部	4.6E-05	1.6E-05	2.1E-05	4.8E+07	1.0E-04	1.7E-04
		15	防潮堤利用者(子ども)外部	1.3E-04	3.9E-05	5.4E-05	1.8E+07	2.7E-04	4.4E-04
	ケース2	14	防潮堤周辺居住者(子ども)外部	5.8E-05	2.1E-05	2.7E-05	3.7E+07	1.4E-04	2.2E-04
		15	防潮堤利用者(子ども)外部	1.3E-04	4.1E-05	5.7E-05	1.8E+07	2.8E-04	4.6E-04
直立堤	ケース1	14	防潮堤周辺居住者(子ども)外部	3.9E-05	1.3E-05	1.7E-05	5.7E+07	8.7E-05	1.4E-04
		15	防潮堤利用者(子ども)外部	1.1E-04	3.5E-05	4.9E-05	2.1E+07	2.4E-04	3.9E-04
	ケース2	14	防潮堤周辺居住者(子ども)外部	5.0E-05	1.7E-05	2.3E-05	4.3E+07	1.2E-04	1.8E-04
		15	防潮堤利用者(子ども)外部	1.3E-04	3.8E-05	5.3E-05	1.9E+07	2.7E-04	4.3E-04

ケース1:盛土高さ 8m、ケース2:盛土高さ 15m

表 8 評価結果 (地下水移行)

解析ケース		No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
				Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
傾斜堤 (ケース1)		16	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.5E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.8E-04
		17	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.4E-06	5.4E-06	1.9E+08	2.7E-05	4.3E-05
		18	地下水利用農耕作業者外部	9.2E-07	4.4E-05	3.7E-05	2.7E+07	1.8E-04	2.9E-04
		19	地下水利用農耕作業者吸入	4.5E-11	4.2E-09	3.5E-09	2.9E+11	1.7E-08	2.8E-08
		20	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	1.0E-04	8.3E-05	1.2E+07	4.2E-04	6.7E-04
		21	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	4.3E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.9E-04
		22	飼料經由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	1.0E-04	8.3E-05	1.2E+07	4.2E-04	6.7E-04
		23	飼料經由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.3E-05	4.4E-05	2.3E+07	2.2E-04	3.5E-04
		24	飼育水經由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.9E-06	5.0E-06	2.0E+08	2.5E-05	4.0E-05
		25	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	4.0E+08	1.3E-05	2.0E-05
		26	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.0E-05	4.9E+07	1.0E-04	1.6E-04
		27	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.1E-05	9.3E-06	1.1E+08	4.6E-05	7.4E-05
傾斜堤 (ケース2)		16	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.5E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.8E-04
		17	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.4E-06	5.4E-06	1.9E+08	2.7E-05	4.3E-05
		18	地下水利用農耕作業者外部	9.2E-07	4.4E-05	3.7E-05	2.7E+07	1.8E-04	2.9E-04
		19	地下水利用農耕作業者吸入	4.5E-11	4.2E-09	3.5E-09	2.9E+11	1.7E-08	2.8E-08
		20	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	1.0E-04	8.3E-05	1.2E+07	4.2E-04	6.7E-04
		21	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	4.3E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.9E-04
		22	飼料經由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	1.0E-04	8.3E-05	1.2E+07	4.2E-04	6.7E-04
		23	飼料經由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.3E-05	4.4E-05	2.3E+07	2.2E-04	3.5E-04
		24	飼育水經由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.9E-06	5.0E-06	2.0E+08	2.5E-05	4.0E-05
		25	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	4.0E+08	1.3E-05	2.0E-05
		26	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.0E-05	4.9E+07	1.0E-04	1.6E-04
		27	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.1E-05	9.3E-06	1.1E+08	4.6E-05	7.4E-05
直立堤 (ケース1)		16	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.5E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.8E-04
		17	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.3E-06	5.3E-06	1.9E+08	2.7E-05	4.3E-05
		18	地下水利用農耕作業者外部	9.2E-07	3.7E-05	3.1E-05	3.3E+07	1.5E-04	2.5E-04
		19	地下水利用農耕作業者吸入	4.5E-11	3.5E-09	2.9E-09	3.4E+11	1.5E-08	2.3E-08
		20	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	9.0E-05	7.5E-05	1.3E+07	3.7E-04	6.0E-04
		21	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	3.7E-05	3.1E-05	3.2E+07	1.5E-04	2.5E-04
		22	飼料經由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	8.6E-05	7.2E-05	1.4E+07	3.6E-04	5.7E-04
		23	飼料經由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	4.5E-05	3.8E-05	2.7E+07	1.9E-04	3.0E-04
		24	飼育水經由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.8E-06	4.9E-06	2.0E+08	2.5E-05	3.9E-05
		25	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	4.0E+08	1.3E-05	2.0E-05
		26	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.0E-05	4.9E+07	1.0E-04	1.6E-04
		27	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.0E-05	8.4E-06	1.2E+08	4.2E-05	6.8E-05
直立堤 (ケース2)		16	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.5E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.8E-04
		17	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.4E-06	5.4E-06	1.9E+08	2.7E-05	4.3E-05
		18	地下水利用農耕作業者外部	9.2E-07	4.4E-05	3.7E-05	2.7E+07	1.8E-04	2.9E-04
		19	地下水利用農耕作業者吸入	4.5E-11	4.2E-09	3.5E-09	2.9E+11	1.7E-08	2.8E-08
		20	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	1.0E-04	8.3E-05	1.2E+07	4.2E-04	6.7E-04
		21	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	4.3E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.9E-04
		22	飼料經由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	1.0E-04	8.3E-05	1.2E+07	4.2E-04	6.7E-04
		23	飼料經由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.3E-05	4.4E-05	2.3E+07	2.2E-04	3.5E-04
		24	飼育水經由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.9E-06	5.0E-06	2.0E+08	2.5E-05	4.0E-05
		25	飼育水經由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	4.0E+08	1.3E-05	2.0E-05
		26	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.0E-05	4.9E+07	1.0E-04	1.6E-04
		27	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.1E-05	9.3E-06	1.1E+08	4.6E-05	7.4E-05

ケース1:盛土高さ 8m、ケース2:盛土高さ 15m

各ケースに対する決定経路および 1mSv/y 相当濃度は、表 9 の通りである。

表 9 決定経路および 1mSv/y 相当濃度 (Bq/kg)

ケース	決定経路		1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)
傾斜堤(ケース1)	6	盛土施工作業者	6,900
傾斜堤(ケース2)			6,800
直立堤(ケース1)			7,500
直立堤(ケース2)			7,500

ケース1:盛土高さ 8m、ケース2:盛土高さ 15m

参考文献

- (1) 武田聖司、菅野光大、佐々木利久、水無瀬直史、木村英雄. “ウラン及び TRU 核種を含む放射性廃棄物に対するクリアランスレベル評価コードシステム PASCLR 第 2 版の開発”. JAEA-Data/Code2006-003(2006)
- (2) Yukio SAKAMOTO and Shun-ichi TANAKA. “QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised Versions of QAD-CGGP AND G33-GP”. JAERI-M90-110(1990)
- (3) X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987
- (4) 公共建築工事積算研究会、「公共建築工事積算研究会参考歩掛り（平成 27 年度版）」、平成 27 年
- (5) 一般財団法人建設物価調査会、「国土交通省土木工事積算基準（平成 22 年度版）」
- (6) 海岸保全施設技術研究会、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」、平成 16 年 6 月
- (7) 宮城県、「河川・海岸施設等設計マニュアル」、平成 26 年 11 月
- (8) 福島県、「粘り強い海岸保全施設の構造について(堤防・護岸)(改訂版)」、平成 24 年 5 月
- (9) 岩手県、「海岸堤防等の粘り強い構造について」、第 9 回岩手県津波防災技術専門委員会資料 7、平成 24 年 10 月 26 日、
http://www.pref.iwate.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/006/571/shiryou7.pdf
(平成 28 年 5 月 31 日閲覧)
- (10) 宮城県沿岸域現地連絡調整会議、「宮城県沿岸における海岸堤防高さの設定について(案)」、平成 23 年 9 月
- (11) 福島県、「福島県沿岸における海岸堤防高さの設定について」、平成 23 年 10 月
- (12) 岩手県、「岩手県沿岸における海岸堤防高さの設定について」、平成 23 年 10 月
- (13) 日本道路協会、「道路橋示方書（I 共通編）・同解説」、平成 2 年
- (14) 原子力安全委員会、「原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するものうち放射性廃棄物として取り扱う必要のないものの放射能濃度について」、平成 16 年 12 月 16 日、平成 17 年 3 月 17 日一部訂正及び修正
- (15) 文部科学省科学技術・学術政策局放射線安全規制検討会、「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルについて」、平成 22 年 11 月 1 日、平成 24 年 3 月 27 日一部訂正

(参考資料 1) 主要工種工程表に基づく周辺居住者の被ばく時間の算出

平成 22 年度版国土交通省土木工事積算基準に基づき、防潮堤に対する主要工種工程表を作成した結果を、以下に示す。

○想定する建設体系

・防潮堤（傾斜堤）

高さ 6m、天端 4m、延長 1km、法面勾配 1:2.0

・護岸工

補強コンクリート（厚さ 50cm）、護岸ブロック（770kg タイプ）

○主要工種工程表

部位		工種	数量	単位	所要日数/パーティ数	日数(休日抜き)												
						0	500	1000										
盛土	築堤	敷き均し	70,000	m ²	71.4/1P													
		締め固め	70,000	m ²	52.6/1P													
補強	裏法尻補強	基礎処理 (安定処理工)	8,000	m ²	11.6/1P													
コンクリート ブロック張工	ブロック張	基礎碎石	30,833	m ³	198.9/1P 99.5/2P													
		割栗石	30,833	m ³	284.2/1P 94.7/3P													
		ブロック張	30,833	m ³	616.7/1P 123.3/5P													
	補強コンクリート	法尻	4,000	m ²	49.4/1P													
		天端	2,000	m ²	24.7/1P													

主要工種工程表より、盛土の建設～コンクリートブロック張工の施工に要する期間は約 900 日である。本評価で想定した評価体系は、上で想定した建設体系より規模が大きいことから、延長 500m の防潮堤建設には 1 年以上かかると想定される。

よって、建設現場周辺居住者の被ばく時間を 1 年と想定した。

植栽覆土で被覆された盛土（例：海岸防災林等）への再生資材の 利用に係る線量評価について

平成 28 年 6 月 10 日
日本原子力研究開発機構

本資料は、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（第 4 回）（平成 28 年 6 月 7 日）資料 4「追加被ばく線量評価について」の算出評価資料である。

再生資材を海岸防災林（以下、防災緑地を含む）の盛土材に利用したときにおける作業員や周辺住民に与える線量を評価するため、既往の「コンクリートがれき等の海岸防災林・盛土材への再利用に係る線量評価」⁽¹⁾を踏襲し、再生資材に含まれる Cs-134、Cs-137、全 Cs（＝Cs-134＋Cs-137）について、単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量を計算した。

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、既往の評価の際の設定を参照し、現実的なシナリオやパラメータを設定し、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する。

線量評価には、クリアランスレベル評価コード PASCLR2 コード⁽²⁾を用いた。当該コードは、原子炉施設やウラン取扱施設等を対象に、クリアランス後の産業廃棄物としての埋設処分と再生材としての利用のシナリオに関する作業員と公衆の被ばく経路を網羅した線量評価が可能なコードであり、炉規法等のクリアランスレベル、特措法における濃度規準等を評価した実績を有する。また、当該評価に用いる外部被ばく線量換算係数は、原子力施設等の遮へい計算で実績のある QAD-CGGP2R コード⁽³⁾または MCNP5 コード⁽⁴⁾を使用して算出した。

（１）評価経路

再生資材の海岸防災林への利用に伴う被ばくは、施工時の被ばくと供用時の被ばくに分けて整理した。

●施工時の被ばく

海岸防災林施工時における主な作業工程、および、国土交通省の標準歩掛り⁽⁵⁾に基づく各工程の主な作業形態を、表 1 に示す。

表 1 海岸防災林施工の主な作業工程

作業工程		作業形態
盛土施工	建設現場への盛土材の運搬	重機
	盛土材の積み下ろし	重機
	盛土材の敷均し・締固め	重機・人力
	法面の整形	重機・人力
	覆土の施工	重機・人力
	建設機械の洗浄	人力
植栽	樹木の植付	人力

本評価では、表 1 に示す作業工程を対象として評価を行う。各作業工程において、作業形態で重機と人力の両方が想定される場合は、保守的に人力による作業を想定することとする。

ただし、以下の作業工程については、評価対象から除外した。

・盛土施工：法面整形作業・覆土の施工

法面整形作業は法面上で行う作業であるが、盛土材の敷均し・締固めは盛土表面で行う作

業である。海岸防災林の面積は法面部分に比べ非常に大きく、盛土材の敷均し・締固め作業の方がより外部被ばくの影響が大きいと想定される。

また、覆土の施工作业は盛土材の敷均し・締固めと同じく盛土表面で行う作業であるが、覆土施工時には施工された覆土による遮へいが想定される。

よって、本評価では代表的に盛土材の敷均し・締固め作業者を評価することとし、法面整形作業・覆土の施工を評価対象から除外した。

・建設機械の洗浄

盛土の施工に使用される機械は、現場外への土砂飛散防止のために、現場入口等で洗浄される可能性がある。洗浄により機械に付着した土砂が排水とともに地面へ浸透し、土砂に含まれる核種が帯水層まで到達した場合、汚染した地下水の利用による被ばくが考えられる。

しかし、地下水利用による被ばくについては後述する海岸防災林への雨水浸透で考慮しており、大規模な線源（盛土）に対する年間を通した地下水への移行を想定しているため、建設機械の洗浄よりも地下水へ浸透する核種の量ははるかに大きいと考えられる。よって、地下水移行については海岸防災林への雨水浸透を代表的に評価することとし、建設機械の洗浄を評価対象から除外した。

●供用時の被ばく

海岸防災林完成後の被ばくとして、周辺居住者、海岸防災林利用者および伐採作業者の被ばくが想定される。

また海岸防災林は、海岸近傍の平地部に施工されること、盛土崩壊に対し安全な設計が施されること、沈下変形を許容する構造物であること、樹木の植栽基盤に覆われること等から、排水工が設置されない。よって、海岸防災林完成後の雨水浸透による地下水移行についても評価を行う。

設定した評価経路を表 2 に示す。

表 2 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路（1／2）

No	評価対象		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	
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		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）		公衆（成人）	外部	
10					粉塵吸入	
11				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

表 2 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路（2／2）

No	評価対象		線源	対象者	被ばく形態	備考	
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	※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。	
15		周辺居住		公衆（成人）	外部		
16				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)	公衆（成人）	経口		※経路 No. 15、16 は、盛土造成直後 (0 年・植栽前)、 植栽後 2 年、およ び 7 年、17 年、27 年、37 年、47 年 の伐採前・後を評 価する。
18				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	公衆（成人）	経口		
20				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	公衆（成人）	経口		
24				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	公衆（成人）	経口		
26				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	公衆（成人）	経口		
28				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	公衆（成人）	経口		
30				公衆（子ども）	経口		

（2）評価概要

既往の海岸防災林の評価⁽¹⁾では、海岸防災林の幅・高さおよび覆土厚さによって、評価体系をケース A1～B4 に分けて評価している。今回の評価では、その中で最も大きな評価体系である、ケース A4（盛土幅 200m、盛土高さ 2m、覆土 1m）に対し、評価を行う。覆土 1m の設定は、「植栽基盤整備技術マニュアル（案）」⁽⁶⁾から、樹高 7～12m の樹木に望ましい植栽基盤が 80～100cm であることより設定した。評価概要を以下に示す。

●共通

- ・Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とする。
→再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・全ての経路について、評価開始時期は保守的に 0 年からとする。
- ・一般的な設定が困難な作業（運搬・建設・植栽等・伐採に係る作業）の被ばく時間は、1000 時間/年（1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間）とする。
- ・土壌の密度は、「道路橋示方書（Ⅰ 共通編）・同解説」（日本道路協会）⁽⁷⁾に基づき設定した。盛土については礫および砂に対する値：2.0g/cm³、再生資材については自然地盤での密度のおおよその平均値：1.7g/cm³、覆土については保守的に 1.5g/cm³とした。

●建設現場への運搬

- ・経路 No.1～4（建設現場への積み下ろし・運搬作業）
積載量 10t の大型ダンプによる運搬を想定する。

・経路 No.5（運搬経路周辺居住者（子ども））

既往の評価と同様に、運搬トラックの走行台数のうち半分が赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくすると想定する。

●海岸防災林造成（盛土整備中）（図 1 参照）

・経路 No.6～12（海岸防災林造成に係る作業員および周辺居住者）

- ・盛土からの核種の流出は考慮しない。
- ・評価点は、作業員は「盛土部中央」、居住者は「海岸防災林の陸側端から 1 m」とする。
- ・再生資材層が露呈しているときの作業員および居住者の被ばくを評価。また、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、再生資材層が露出しているのは多くても 4 日間と仮定し、居住者に対する被ばく時間は 96 h/y とする⁽¹⁾。

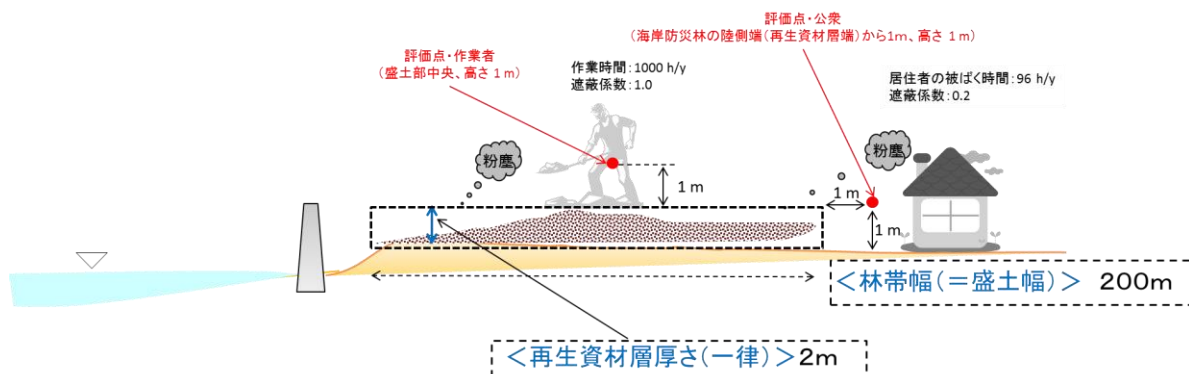


図 1 海岸防災林造成（盛土整備中）時の作業員および周辺居住者の評価体系

●海岸防災林造成（盛土整備後）（図 2 参照）

・経路 No.13（海岸防災林造成に係る植栽等作業員）

- ・盛土からの核種の流出は考慮しない。
- ・評価点は「盛土部中央」とする。
- ・再生資材層の上に覆土がある状態での作業員の被ばくを評価。

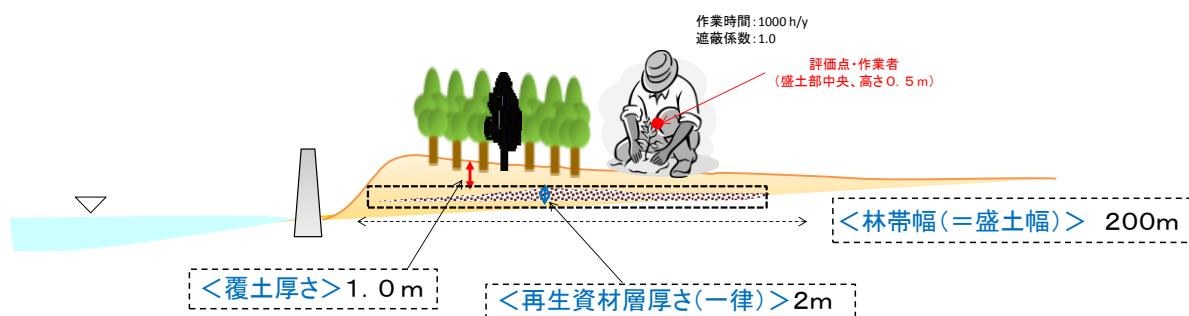


図 2 海岸防災林造成（盛土整備後）時の作業員の評価体系

●海岸防災林完成後（図 3 参照）

・経路 No.14～16（完成海岸防災林での伐採作業員、周辺居住）

- ・盛土からの核種の流出は考慮しない。
- ・評価点は、作業員は「盛土部中央」、居住者は「海岸防災林の陸側端から 1 m」とする。
- ・再生資材層の上に覆土がある状態での伐採作業員および居住者の被ばくを評価。居住者に対する被ばく時間は、保守的に 8,760 h/y とする。
- ・伐採作業員の最初の評価時期は、植栽後 7 年（林齢 8 年）とする。また、伐採作業員は、

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した外部被ばく線量を積算するため、さらに10年後の植栽後17年（林齢18年）、27年（林齢28年）、37年（林齢38年）、47年（林齢48年）の伐採作業に伴う外部被ばく線量の評価を行う。各評価時期においては、伐採前および伐採後の外部被ばく線量を計算する。なお、当該経路における被ばく線量は伐採時期で変化するため、その最大値を得るまで評価する必要がある。本評価では、Cs-137の半減期（30.0年）を考慮し、評価期間を植栽後47年までとした（後述の結果の通り、当該経路の被ばく線量が最大となったのは植栽後37年であった）。

- ・ 周辺居住者に対しても、伐採作業者と同様に、同じ評価時期において、盛土、成長した樹木、および伐採木の堆積物の3つの線源からの放射線による外部被ばくを重畳して評価するとともに、盛土造成直後（0年・植栽前）、および根が再生資材に到達し、放射性セシウムが樹木に移行する時点（植栽後2年）の外部被ばくも評価する。

- ・ 各評価時期で考慮する線源は以下の通りとする。

- 0年・植栽前 : 盛土中の再生資材層のみ
- 植栽後2年 : 再生資材層＋樹木
- 植栽後7年・伐採前 : 再生資材層＋樹木
- 植栽後7年・伐採後 : 再生資材層＋樹木＋伐採木
- 植栽後17年（伐採前・後） : 再生資材層＋樹木＋伐採木
- 植栽後27年（伐採前・後） : 再生資材層＋樹木＋伐採木
- 植栽後37年（伐採前・後） : 再生資材層＋樹木＋伐採木
- 植栽後47年（伐採前・後） : 再生資材層＋樹木＋伐採木

- ・ 以下の式を用いて、単位濃度（1 Bq/g）の再生資材を盛土へ利用した場合における、当該経路の被ばく対象者の年間外部被ばく線量を算出した。

$$D_{ext,i} = C_i \cdot 10^{-3} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot t_{fell}) \cdot t \cdot S \cdot \left[DF_{ext,reused,i} + T_{k,i} \cdot (DF_{ext,tree,i} + DF_{ext,felled,i}) \right] \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_a)}{\lambda_i \cdot t_a}$$

$D_{ext,i}$	: 年間外部被ばく線量 (mSv/y)
C_i	: 再生資材中の核種 i 濃度 (Bq/g) (=1)
λ_i	: 核種 i の崩壊定数 (1/y)
t_{fell}	: 植栽後経過年数 (y)
t	: 被ばく時間（年間作業時間、居住時間）(h/y)
S	: 遮へい係数 (-)
$DF_{ext,reused,i}$	: 核種 i を含む再生資材からの外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
$T_{k,i}$	: 土壌から樹木への移行係数 (-)
$DF_{ext,tree,i}$	: 核種 i を含む樹木からの外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
$DF_{ext,felled,i}$	: 核種 i を含む伐採木からの外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g)
t_a	: 被ばく中の減衰期間 (y) (=1)

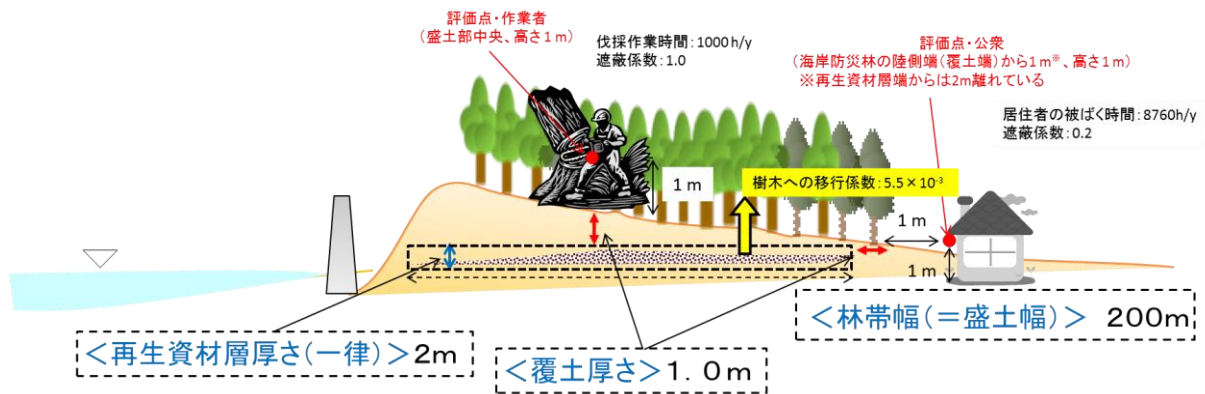


図3 海岸防災林完成後の作業者および居住者の評価体系

●海岸防災林完成後の地下水移行(図4、5参照)

- ・盛土と帯水層の間には「地表土」や「不透水層」があるが、本評価ではこれらの影響は無視し、盛土の真下に帯水層があるとする。
- ・本評価では、盛土に使用される再生資材へのCsの収着を考慮した分配係数モデルを用い、地下水移行に係る全経路を評価する。
- ・分配係数モデルでは、再生資材層からの核種の溶出は分配平衡に基づいて起こると仮定し、盛土からの漏えい率 η は、以下の式で表される。

$$\eta = \frac{P}{H_w \cdot (\varepsilon_w + \rho_w \cdot Kd_w)}$$

ここで、

- η : 盛土からの漏えい率 (1/y)
- P : 盛土への降雨浸透水量 (m/y)
- H_w : 盛土の厚さ (m)
- ε_w : 盛土の空隙率 (-)
- ρ_w : 盛土のかさ密度 (g/cm³)
- Kd_w : 再生資材の分配係数 (mL/g)

である。

- ・盛土の空隙率は、再生資材の真密度 (2.6~2.7g/cm³) と当該盛土のかさ密度 (2.0 g/cm³) から導出し、0.25 とした。また、再生資材の分配係数は 270mL/g (IAEA TRS No.364、有機土壌・砂) とした。

※上記パラメータから導出される放出係数 ($= 1 / (\varepsilon_w + \rho_w Kd_w)$) は 0.001851 となり、既往のクリアランスレベル評価で設定された値 (0.01) より一桁小さくなる。

・経路 No.17,18 (完成海岸防災林から海への核種流出)

- ・盛土中の再生資材層から核種が流出し、海産物へ移行。さらに汚染された海産物を公衆が摂取することを想定。
- ・海岸防災林の盛土の海側端から海岸までの距離を 0 m、すなわち盛土の海側端から海水に至る放射性セシウムの移行距離を保守的に 0m とする。
- ・浸透水量は、既往の海岸防災林評価⁽¹⁾に倣い、1.6 m/y とする。当該評価では、保守的に降雨全量が浸透するものとし、降雨量は気象庁 HP より浜通り沿岸の平年雨量(1981~2010 年)の最大値 1.6 m/y⁽⁸⁾を使用した。

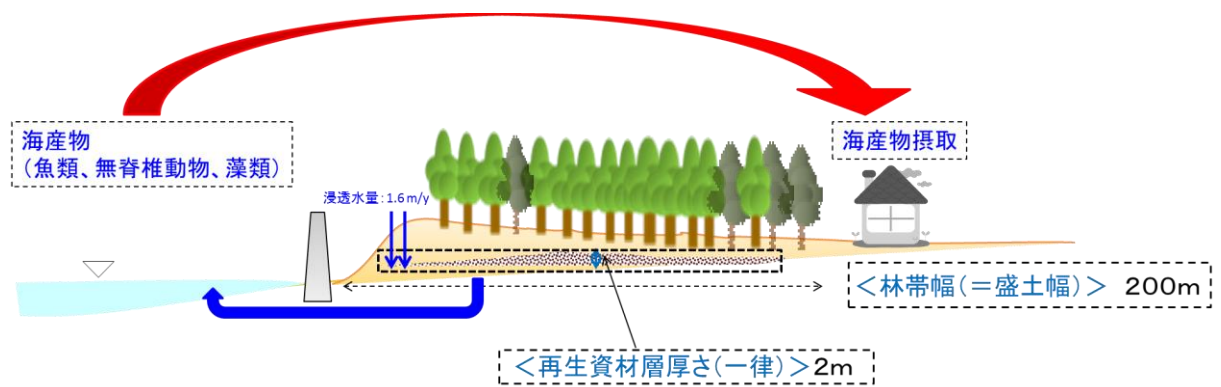


図4 海岸防災林完成後の地下水移行に係る評価体系（海への核種流出）

・経路 No.19-30（井戸水利用）

- ・盛土中の再生資材層から核種が流出し、井戸水へ移行することを想定。
- ・海岸防災林の盛土の陸側端から井戸までの距離は保守的に 0 m とする。
- ・浸透水量は、経路 No.17、18 と同じく、1.6 m/y とする。

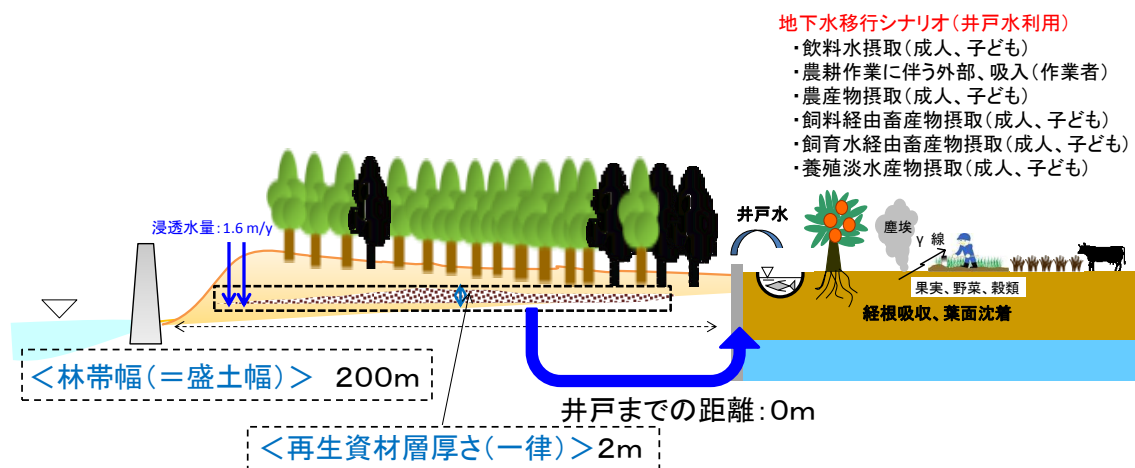


図5 海岸防災林完成後の地下水移行に係る評価体系（井戸水利用）

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 3 および別表 1～3 に示す。

表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメータ一覧 (1/8)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-30	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間 (1 年) の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間 (1 年) 中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-13	海岸防災林造成作業が開始されるまでの期間		y	0	保守的に、事故 5 年後すぐに再生資源化され、海岸防災林造成に使用されるものとした。
1-30	線源に対する希釈係数		—	1	海岸防災林の盛土として利用されるものは、すべて再生資材であるとした。
1-30	盛土の幅		m	200	海岸防災林の林帯部分 200m に対し、一様に再生資材を盛土材として利用した場合を想定した。
1-30	盛土の長さ		m	500	MCNP5 コードの計算より、線源との評価距離が 1m と近い場合、盛土の長さ 500m 以上の条件では外部被ばく換算係数の値に有意な差異が確認されなかったため、保守的に 500m と設定した。
1-30	盛土のかさ密度		g/cm ³	2.0	土壌を締め固めた場合の密度の最大値 2.0 g/cm ³ とした。
1-30	盛土材の厚さ		m	2.0	海岸防災林の盛土材として再生資材を利用する際の厚さを 2m と仮定した。
1-4	再生資材の積み下ろし、運搬の年間作業時間		h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間のうち半分の時間を再生資材のそばで作業するとした。ここでは、再生資材を海岸防災林造成現場へ運搬するための積み下ろし、運搬の作業が対象である。
1-4	運搬作業時における線源に対する希釈係数		—	1	作業者は、再生資材のみを取り扱うものとし、線源に対する希釈は保守的に 1 とした。
1,4	外部被ばくに対する線量換算係数 (積み下ろし作業、運搬作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	5.9E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：0.6m×5.0m の中心から 1.0m
		Cs-137		2.1E-02	
1	積み下ろし作業時の遮へい係数		—	0.4	重機を使用した際の遮へい (鉄板 2cm 相当) を考慮する。災害廃棄物評価 ^{※1} で埋設作業時の重機を使用した Cs-134 および Cs-137 に対する遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.4 と計算され、積み下ろし作業時の遮へい係数も同様に設定した。
2,7	作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働 (軽作業) 時の呼吸量の数値 20L/min を基に算定した。
2,7, 10,12	作業時の空気中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空気中ダスト濃度を採用した。
2,7, 10,12	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (吸入摂取)		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
3,8	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (経口摂取)		—	2	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。

※1 災害廃棄物安全評価検討会 (第 9 回) 資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメータ一覧 (2/8)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
3,8	ダストの経口摂取率		g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1 に示された値を用いた。
4	運搬作業時の遮へい係数		—	0.9	車両による遮へい（鉄板 3mm 相当）を考慮する。災害廃棄物評価 ^{※1} で埋設作業時の Cs-134 及び Cs-137 に対する車両による遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.9 と計算され、運搬作業時の遮へい係数も同様に設定した。
5	外部被ばくに対する線量換算係数 （運搬経路周辺居住、子ども）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.0E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：0.6m×5.0m の底辺中央から 3.0m
		Cs-137		6.8E-03	
5	運搬経路沿いの居住における線源に対する希釈係数		—	1	運搬トラックには、再生資材のみが積まれているものとし、線源に対する希釈は保守的に 1 とした。
5	運搬経路沿いの居住者の被ばく時間		h/y	450	災害廃棄物安全評価検討会（第 9 回）資料 11-2 「災害廃棄物等の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理」に示された値を踏襲した。当該資料では、運搬トラックが月に 4,500 台走行し、そのうちの半分のトラックが赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくすると仮定し、450h/y としている。
5	運搬経路周辺居住時の遮へい係数		—	1.0	保守的な設定とした。
6-8, 13	海岸防災林造成作業（建設作業、植栽等作業）に従事する年間作業時間		h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間のうち半分の時間を海岸防災林造成作業するものとした。
6	外部被ばくに対する線量換算係数 （海岸防災林造成・建設業者）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	4.2E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 2 m、幅 200 m、長さ 500 m の直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：なし 評価点：図 1 の評価点・作業者
		Cs-137		1.5E-01	
6,13	海岸防災林造成・建設作業、植栽等作業時における遮へい係数		—	1.0	重機を使用した作業を想定せず、保守的な設定とした。
9-12	居住者の被ばく時間		h/y	96	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。盛土材が露出しているのは多くても 4 日間とした。
9,11	外部被ばくに対する線量換算係数 （海岸防災林造成・建設中現場周辺居住者）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.1E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 2m、幅 200 m、長さ 500 m の直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：なし 評価点：図 1 の評価点・居住者 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		7.5E-02	
9,11	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の 20%を戸外で過ごすとして仮定した。
10	居住者の呼吸量（成人）		m ³ /h	0.96	ICRP Publ.23 で示されている標準人の 1 日の呼吸量の数値 2.3×10 ⁴ (L/d)を基に算定した。
12	居住者の呼吸量（子ども）		m ³ /h	0.22	IAEA Safety Reports Series No.44 に示されていた 1～2 歳の居住者の呼吸率として示されている値を採用した。
13	覆土のかさ密度		g/cm ³	1.5	日本道路公団 設計要領 第一集(1983)に示されている道路の盛土材の単位体積重量を参考に、保守的な値 1.5g/cm ³ を設定した。

※1 災害廃棄物安全評価検討会（第 9 回）資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメータ一覧 (3 / 8)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
13	覆土の厚さ		m	1.0	海岸防災林の盛土材の上に敷設される覆土の厚さを 1m と仮定した。
13	外部被ばくに対する線量換算係数 (海岸防災林造成・植栽等作業者)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	1.3E-05	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 2m、幅 200 m、長さ 500 m の直方体 (土壌) 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ 1.0m、かさ密度 1.5g/cm ³ (土壌) 評価点：図 2 の評価点
		Cs-137		2.7E-06	
14-30	海岸防災林が完成するまでの期間		y	0	保守的な設定とした。
14-16	土壌から樹木への移行係数		—	5.5E-03	Tagami & Uchida(2010) ^{※2} は、葉菜類中と樹葉 (アカマツ、スギ、ヒノキ等) 中の元素濃度の相関係数は高いこと ($R>0.90$, $p<0.001$)、また、樹葉中の元素濃度の幾何平均値のほとんどは葉菜類中のデータ範囲内にあることから、葉菜類中の濃度データに由来する移行係数は、樹葉中の移行係数にも適用できる可能性を示している。さらに葉菜類に対するセシウムの移行係数 ($3.3E-4 \sim 7.7E-2$, 18 データ) を整理し、幾何平均値 $5.5E-3$ を導出している。本評価では、この値は防災林 (マツ等) の移行係数にも適用可能であると判断し、採用した。
14	外部被ばくに対する線量換算係数 (伐採作業者)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	1.3E-05	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 2m、幅 200 m、長さ 500 m の直方体 (土壌) 線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ 遮蔽体：厚さ 1.0m、かさ密度 1.5g/cm ³ (土壌) 評価点：図 3 の評価点・作業者
		Cs-137		2.6E-06	
14	海岸防災林造成後の伐採作業に従事する年間作業時間		h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間のうち半分の時間を伐採作業するものとした。
14	伐採作業時における遮へい係数		—	1.0	保守的な設定とした。

※2 K. Tagami and S. Uchida, Radiation and Environmental Biophysics, 49, 583-590 (2010).

表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメータ一覧（4／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
14-16	樹木、伐採木からの外部被ばくに対する線量換算係数		$\mu\text{ Sv/h per Bq/g}$	別表 2 参照	幅 200m×長さ 500m の再生資材、覆土の上に樹木が植生しているものとして、以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状： (樹木) 樹木の高さからなる直方体の線源とし、別表 1 に示した各評価時期における樹木の重量、高さ、単位面積あたりの樹木の本数（伐採による経時変化）、および樹木の密度 (0.98g/cm^3) から、樹木中の単位濃度 1Bq/g に相当する直方体線源の総 Bq 数を設定した。直方体線源の材質は、保守的に遮へい効果が小さくなる空気とした。但し、伐採作業員に対しては、伐採作業員を中心とした $20\text{m} \times 20\text{m}$ の範囲に対しては、樹木を線源として別途模擬し、この範囲に植生する樹木の本数及び高さは、各評価年に対する ha 当たりの植生本数、高さから設定した。 (伐採木) 林帯に密度 0.98g/cm^3 の伐採木が一様に分布するものとした。伐採木の厚さは、別表 1 に示した各評価年に対する ha 当たりの伐採木の重量から算出した。 評価点： (伐採作業員) $200\text{m} \times 500\text{m}$ の中央、覆土表面からの高さ 1m を評価点とした。 (周辺居住者) 盛土の上端から 1m、地表面からの高さ 1m (図 3) を評価点とした。 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を 1.3 倍した。
15,16	年間居住時間		h/y	8,760	保守的に、1 年間絶えず海岸防災林周辺に居住しているとした。
15,16	再生資材からの外部被ばくに対する線量換算係数（海岸防災林周辺居住者）	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h per Bq/g}$	7.1E-06	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 線源の形状：厚さ 2m、幅 200 m、長さ 500 m の直方体（土壌） 線源のかさ密度：2.0 g/cm^3 遮蔽体：厚さ 1.0m、かさ密度 1.5g/cm^3（土壌） 評価点：図 3 の評価点・居住者 なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を 1.3 倍した。
		Cs-137		1.5E-06	
15,16	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の 20% を戸外で過ごすとして仮定した。
17-30	盛土の空隙率		—	0.25	再生資材の真密度 ($2.6 \sim 2.7\text{g/cm}^3$) と当該盛土のかさ密度 (2.0 g/cm^3) から導出し、0.25 とした。
17-30	Cs の盛土の分配係数		mL/g	$2.7\text{E}+02$	IAEA TRS No.364（有機土壌、砂）
17-30	浸透水量		m/y	1.6	既往の評価 ⁽¹⁾ と同じく、保守的に降雨全量が浸透するものとし、浜通り沿岸の平年雨量の最大値を使用した。
17-30	Cs の帯水層土壌の分配係数		mL/g	$2.7\text{E}+02$	IAEA TRS No.364（砂）
17-30	帯水層厚さ		m	3	IAEA-TECDOC-401 に示された値を用いた。
17-30	地下水流速（ダルシー流速）		m/d	1	「新版地下水調査法」（山本莊毅、(株)古院書院、1983 年）
17-30	帯水層空隙率		—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年）
17-30	帯水層土壌密度		g/cm^3	2.6	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982 年）

表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメータ一覧（5／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
17-30	地下水流方向の分散長		m	0	保守的に選定した。
17-30	地下水流方向の分散係数		m ² /y	0	保守的に選定した。
17,18	盛土海側端から 海岸までの距離		m	0	保守的に選定した。
17,18	海の交換水量		m ³ /y	8.0E+09	「理科年表 平成 9 年」（国立天文台編）に記載された国内の平均大潮期における潮流の最小値 0.5 ノット（0.255m/s）と、安全側に仮定した混合面積 1,000m ² から年間交換水量 8E+9m ³ /y を設定した。
17,18	Cs の海産物への濃縮係数	魚類	L/kg	30	IAEA TRS No.364 において示された値を使用した。
		無脊椎動物		20	
		藻類		20	
17,18	海産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
17,18	海産物の輸送時間		d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
17	海産物の年間摂取量（成人）	魚類	kg/y	15.8	「平成 8 年版国民栄養の現状」（第一出版(株)、1996）に示された魚、無脊椎動物、海藻類の全国平均の 1 人 1 日あたりの摂取量のデータから設定した。
		無脊椎動物		8.1	
		藻類		2.2	
18	海産物の年間摂取量（子ども）	魚類	kg/y	6.3	「平成 21 年国民健康・栄養調査報告書」の「第 5 表の 1 食品群別摂取量（総数、年齢階級別）」によると、魚介類の 1 人 1 日あたりの摂取量の平均値は、子ども（1～6 歳）で 32.1 g、成人（20 歳以上）で 79.8 g であり、成人に対する子どもの摂取量の比は約 0.40 となる。また、藻類の 1 人 1 日あたりの摂取量の平均値は、子ども（1～6 歳）で 5.8 g、成人（20 歳以上）で 10.9 g であり、成人に対する子どもの摂取量の比は約 0.53 となる。これより、子どもの海産物（魚類、無脊椎動物、藻類）の摂取量は、クリアランスレベル評価で設定された成人の摂取量にそれぞれ 0.40、0.40、0.53 を乗じた値を設定する。
		無脊椎動物		3.2	
		藻類		1.2	
19-30	海岸防災林（盛土）の陸側端から井戸までの距離		m	0	保守的に選定した。
19-30	井戸水の混合割合		—	0.33	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
19	人の年間飲料水摂取量（成人）		m ³ /y	0.61	ICRP Publ.23 の標準人の値を参考に、1 日の摂取量を 1.65L として算定した。
20	人の年間飲料水摂取量（子ども）		m ³ /y	0.1	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された値を用いた。
21-26	Cs の農耕土壌の分配係数		mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌）
21-26	灌漑水量（畑、牧草地）		m ³ /m ² /y	1.2	「日本の農業用水」（農業水利研究会編、(株)地球社、1980 年）に示された畑地に対する平均単位用水量 4mm/d と年間灌漑日数 300 日程度に基づいて選定した。
21-26	土壌水分飽和度（畑、牧草地）		—	0.2	JAEA 原科研敷地内（砂層）における測定結果より選定した。
21-26	土壌実効表面密度		kg/m ²	240	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109 に示された値を用いた。

表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメータ一覧 (6 / 8)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
21-26	灌漑土壌真密度		g/cm ³	2.60	「土質工学ハンドブック」(土質工学会編、1982 年) に示された砂の粒子密度を基に選定した。
21-26	実効土壌深さ		cm	15	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109 に示された値を用いた。
21-26	放射性核種の土壌残留係数		—	1	保守的に、全ての灌漑水中の放射性核種が土壌に残留するものとした。
21-26	灌漑土壌空隙率		—	0.3	「水理公式集」(土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年)
21,22	農耕作業による年間作業時間		h/y	500	「日本の統計 2009 年版」(総務庁統計局編、2009 年) に記載されている平成 18 年度の 1 戸当たりの平均経営耕地面積 248a (水田率 54.4%)、水稻 10a 当たりの労働時間 29.2 時間、小麦 10a 当たりの労働時間 5.6 時間を基に算出し、値に裕度を持って選定した。 $248 \times 0.544 \times 2.92 + 248 \times (1 - 0.544) \times 0.56 = 457 \text{ (h/y)}$
21	外部被ばくに対する線量換算係数 (農耕作業: 灌漑土壌からの外部被ばく)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	4.7E-01	従来のクリアランスレベル評価で設定されている換算係数を設定した。条件は以下の通りである。 線源の形状: 高さ 10m、半径 500m の円柱 線源のかさ密度: 2.0g/cm ³ 以上の条件で QAD-CGGP2R コードにより算出されている。
		Cs-137		1.7E-01	
21	農耕作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に遮へいを考慮しない。
22	農耕作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5.0E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
22	農耕作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働 (軽作業) 時の呼吸量の数値 20L/min を算定した。
22	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (吸入摂取)		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
23-26	灌漑水年間生育期間		d	60	「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」に示された葉菜に関する栽培期間の値(60d/y)を使用した。
23-26	農作物 (葉菜、牧草) の栽培密度		kg/m ²	2.3	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」(原子力安全委員会、平成元年 3 月 27 日)
23-26	放射性核種の農作物 (葉菜、牧草) 表面への沈着割合		—	1	保守的に全ての放射性核種が、農作物表面へ沈着するものとした。
23-26	weathering 効果による植物表面沈着放射性核種の除去係数		1/y	18.08	「発電用軽水型原子炉施設の安全評価における一般公衆の線量評価について」に基づき、weathering half-life を 14 日として計算した。
23,24	農作物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
23,24	農作物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された農作物を直ちに消費する人を評価対象とした。
23,24	灌漑水量 (田)		m ³ /m ² /y	2.4	「日本の農業用水」(農業水利研究会、(株)地球社、1980 年) に示された水田に対する平均単位用水量 24mm/d と水田の年間湛水期間 100 日程度に基づいて選定した。
23,24	土壌水分飽和度 (田)		—	1	田の土壌水分飽和度は、水田を想定しており、1 と選定した。
23,24	Cs の米への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	7.1E-02	IAEA TRS No.364 (シリアル)

表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメーター一覧（7／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
23,24	Cs の葉菜、非葉菜、果実への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	5.7E-02	IAEA TRS No.364（ジャガイモ）
23	農作物の年間摂取量（成人）	米	kg/y	71	「平成 8 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年）
		葉菜		12	
		非葉菜		45	
		果実		22	
24	農作物の年間摂取量（子ども）	米	kg/y	25	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		葉菜		5	
		非葉菜		23	
		果実		22	
25-28	Cs の畜産物への移行係数	牛肉	d/kg	5.0E-02	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
		豚肉		2.4E-01	
		鶏肉		1.0E+01	
		鶏卵		4.0E-01	
		牛乳	d/L	7.9E-03	
25-28	畜産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
25-28	畜産物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された畜産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
25,26	放射性核種を含む飼料の混合割合		—	1	保守的に、放射性核種を含む飼料のみで家畜を飼育するとした。
25,26	Cs の飼料への移行係数		Bq/g-dry per Bq/g	5.3E-01	IAEA TRS No.364（牧草）
25,26	家畜の飼料摂取量	肉牛	kg-dry/d	7.2	IAEA TRS No.364 において示された値を使用した。
		乳牛		16.1	
		豚		2.4	
		鶏		0.07	
25,27	畜産物の年間摂取量（成人）	牛肉	kg/y	8	「平成 8 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年）
		豚肉		9	
		鶏肉		7	
		鶏卵		16	
		牛乳	L/y	44	

表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメーター一覧（8／8）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
26,28	畜産物の年間摂取量（子ども）	牛肉	kg/y	3	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		豚肉		4	
		鶏肉		5	
		鶏卵		10	
		牛乳	L/y	29	
27,28	家畜の飼育水摂取量	肉牛	L/d	50	PNL-3209 に示された値を用いた。
		乳牛		60	
		豚		10	
		鶏		0.3	
29,30	養殖淡水産物の地下水利用率		—	0.25	「日本の水資源（平成 19 年版）」（国土庁長官官房水資源部編、大蔵省印刷局、2008 年）より選定した。
29,30	Cs の魚類への濃縮係数		L/kg	2.0E+03	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
29,30	養殖淡水産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
29,30	養殖淡水産物の輸送時間		d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
29	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（成人）		kg/y	0.7	「日本の統計 1997 年版」に記載されている平成 6 年の内水面養殖業の生産量の内、魚類の生産量の合計値 76,579 トンを人口 1 億 2 千万人で除して算出した。
30	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（子ども）		kg/y	0.33	全年齢の魚介類合計摂取量の平均値(96.9g/日)と 1-6 歳の平均値(45.7g/日)の比 (0.47)を成人の年間摂取量 0.7kg/年に乗じた 0.33kg/年を算出した。

別表 1 各評価年に対する単位面積当たりの樹木の本数、高さおよび伐採木の重量※

	評価年	0	2	7		17		27		37		47	
	林齢(年)	1	3	8		18		28		38		48	
				伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後
樹木	1ha当たりの樹木の本数(本/ha)	10,000	10,000	10,000	4,000	3,300	2,200	1,512	1,110	890	744	643	557
	樹木1本当たりの重量(kg/本)	0.1	1.5	5.1		36.1		134		290		486	
	樹木の高さ(m)	0.5	1.2	3.1		7.1		10.6		13.4		15.6	
伐採木	1ha当たりの伐採木の重量(kg/ha)	—※1	—※1	—※1	3.1E+4	4.1E+4	8.1E+4	1.3E+5	1.9E+5	2.3E+5	2.7E+5	3.1E+5	3.5E+5

※1 伐採作業開始前

※林野庁 東北森林管理局「第四次国有林野施業実施計画書（宮城南部森林計画区）（計画期間：平成 23 年 4 月 1 日-平成 28 年 3 月 31 日）のアカマツに対する収穫予想表より設定。

別表 2 経路 No.14～16 で使用した樹木、伐採木からの外部被ばくに対する外部被ばく換算係数

外部被ばく線量換算係数: μ Sv/h per Bq/g													
		評価年	2	7		17		27		37		47	
		林齢(年)	3	8		18		28		38		48	
				伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後
作業 者 (伐採)	Cs-134	樹木		2.4E-02	9.3E-03	4.7E-02	3.1E-02	6.9E-02	5.1E-02	7.9E-02	6.8E-02	9.6E-02	8.0E-02
		伐採木			1.8E-02	2.5E-02	4.2E-02	6.2E-02	8.1E-02	9.4E-02	1.1E-01	1.2E-01	1.3E-01
	Cs-137	樹木		8.6E-03	3.3E-03	1.7E-02	1.1E-02	2.5E-02	1.8E-02	2.9E-02	2.5E-02	3.5E-02	2.9E-02
		伐採木			6.6E-03	9.0E-03	1.5E-02	2.3E-02	3.0E-02	3.5E-02	3.9E-02	4.3E-02	4.7E-02
周辺居住者、 成人	Cs-134	樹木	4.9E-05	3.4E-03	1.4E-03	9.2E-03	6.1E-03	1.6E-02	1.2E-02	2.0E-02	1.7E-02	2.4E-02	2.1E-02
		伐採木			4.8E-04	6.2E-04	1.2E-03	1.8E-03	2.4E-03	2.9E-03	3.3E-03	3.7E-03	4.2E-03
	Cs-137	樹木	1.8E-05	1.2E-03	5.0E-04	3.3E-03	2.2E-03	5.8E-03	4.2E-03	7.4E-03	6.2E-03	8.8E-03	7.6E-03
		伐採木			1.8E-04	2.4E-04	4.4E-04	6.8E-04	9.1E-04	1.1E-03	1.3E-03	1.4E-03	1.6E-03

別表 3 再生資材の海岸防災林盛土材への利用に係る評価経路パラメーター一覧
(内部被ばく線量係数)

内部被ばく線量係数(Sv/Bq)						
	作業者(ICRP Publ.68)		公衆(ICRP Publ.72)			
	吸入	経口	吸入		経口	
			成人	子ども	成人	子ども
Cs-134	9.6E-09	1.9E-08	6.6E-09	7.3E-09	1.9E-08	1.6E-08
Cs-137	6.7E-09	1.3E-08	4.6E-09	5.4E-09	1.3E-08	1.2E-08

(4) 放射性物質による影響の評価結果

表4～7に、各評価経路のCs-134およびCs-137の単位濃度（1 Bq/g）あたりの影響を評価した結果を示す。また、Cs-134とCs-137の比はCs-134/Cs-137=0.209と仮定※し、Cs-134とCs-137の和（全Cs）による単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量に換算した値も併せて示す。

また、濃度レベル算出のための線量のめやす値 1mSv/y を超えないことを条件として被ばく評価計算から誘導された濃度（1mSv/y 相当濃度）、および 5,000Bq/kg、8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

※再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定する。

表 4 評価結果（運搬）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
1	積み下ろし作業員外部	2.0E-02	8.3E-03	1.0E-02	9.7E+04	5.2E-02	8.3E-02
2	積み下ろし作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
3	積み下ろし作業員直接経口摂取	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
4	運搬作業員外部	4.5E-02	1.9E-02	2.3E-02	4.3E+04	1.2E-01	1.9E-01
5	運搬経路周辺居住者(子ども)外部	7.5E-03	3.0E-03	3.8E-03	2.6E+05	1.9E-02	3.1E-02

表 5 評価結果（海岸防災林造成中）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
6	建設作業員外部	3.6E-01	1.5E-01	1.8E-01	5.4E+03	9.2E-01	1.5E+00
7	建設作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
8	建設作業員直接経口摂取	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
9	周辺居住者外部(成人)	3.4E-03	1.4E-03	1.8E-03	5.6E+05	8.9E-03	1.4E-02
10	周辺居住者吸入(成人)	1.8E-04	1.5E-04	1.5E-04	6.5E+06	7.6E-04	1.2E-03
11	周辺居住者外部(子ども)	4.5E-03	1.9E-03	2.3E-03	4.3E+05	1.2E-02	1.8E-02
12	周辺居住者吸入(子ども)	4.6E-05	3.9E-05	4.1E-05	2.5E+07	2.0E-04	3.2E-04
13	植栽等作業員外部	1.1E-05	2.7E-06	4.1E-06	2.4E+08	2.1E-05	3.3E-05

表 6 評価結果（海岸防災林造成後）※

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
14	伐採作業員外部(植栽後37年、伐採後)	3.3E-09	1.5E-04	1.2E-04	8.1E+06	6.2E-04	9.9E-04
15	居住者・成人外部(植栽後37年、伐採前)	7.9E-10	3.6E-05	2.9E-05	3.4E+07	1.5E-04	2.4E-04
16	居住者・子ども外部(植栽後37年、伐採前)	1.0E-09	4.6E-05	3.8E-05	2.6E+07	1.9E-04	3.1E-04

※経路 No.14～16 では、最も被ばく線量が高くなった経路（樹齢年数）のみを表に記載した。被ばく線量の経時変化については図 6～8 にまとめる。

表 7 評価結果（地下水移行）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
17	海産物摂取(成人)	7.8E-10	7.3E-09	6.2E-09	1.6E+11	3.1E-08	5.0E-08
18	海産物摂取(子ども)	2.7E-10	2.8E-09	2.4E-09	4.2E+11	1.2E-08	1.9E-08
19	飲料水摂取(成人)	1.7E-05	1.6E-04	9.6E-05	1.0E+07	4.8E-04	7.7E-04
20	飲料水摂取(子ども)	2.4E-06	2.5E-05	1.5E-05	6.7E+07	7.5E-05	1.2E-04
21	地下水利用農耕作業外部	3.7E-06	1.7E-04	9.6E-05	1.0E+07	4.8E-04	7.7E-04
22	地下水利用農耕作業吸入	1.8E-10	1.6E-08	8.9E-09	1.1E+11	4.5E-08	7.2E-08
23	地下水利用農作物摂取(成人)	1.2E-05	4.0E-04	2.3E-04	4.4E+06	1.1E-03	1.8E-03
24	地下水利用農作物摂取(子ども)	4.4E-06	1.7E-04	9.6E-05	1.0E+07	4.8E-04	7.7E-04
25	飼料経由畜産物摂取(成人)	1.6E-05	3.9E-04	2.2E-04	4.5E+06	1.1E-03	1.8E-03
26	飼料経由畜産物摂取(子ども)	7.9E-06	2.1E-04	1.2E-04	8.3E+06	6.0E-04	9.6E-04
27	飼育水経由畜産物摂取(成人)	2.4E-06	2.3E-05	1.4E-05	7.2E+07	6.9E-05	1.1E-04
28	飼育水経由畜産物摂取(子ども)	1.1E-06	1.2E-05	7.1E-06	1.4E+08	3.6E-05	5.7E-05
29	養殖淡水産物摂取(成人)	9.8E-06	9.5E-05	5.7E-05	1.8E+07	2.8E-04	4.6E-04
30	養殖淡水産物摂取(子ども)	3.9E-06	4.1E-05	2.4E-05	4.1E+07	1.2E-04	2.0E-04

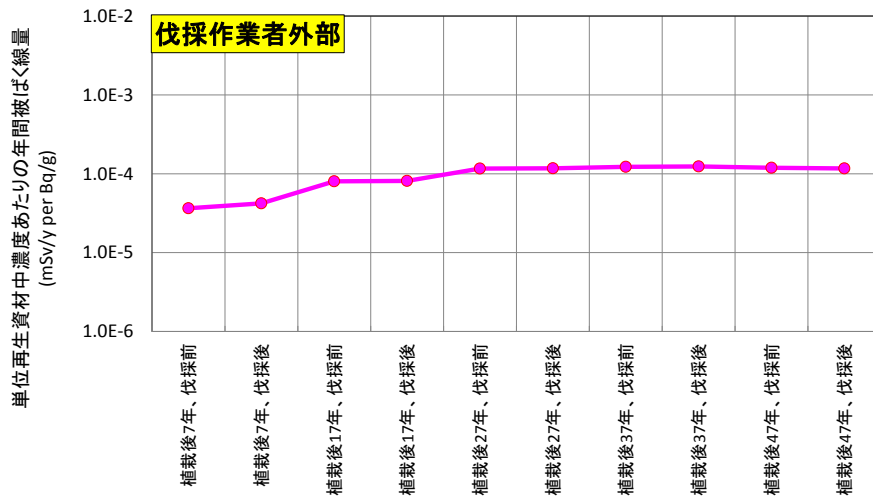


図 6 評価結果（海岸防災林完成後の伐採作業）

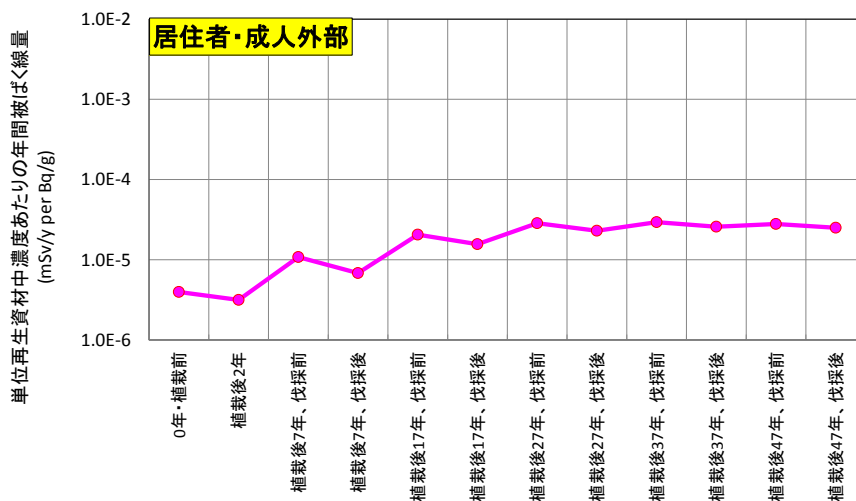


図 7 評価結果（海岸防災林完成後の周辺居住・成人）

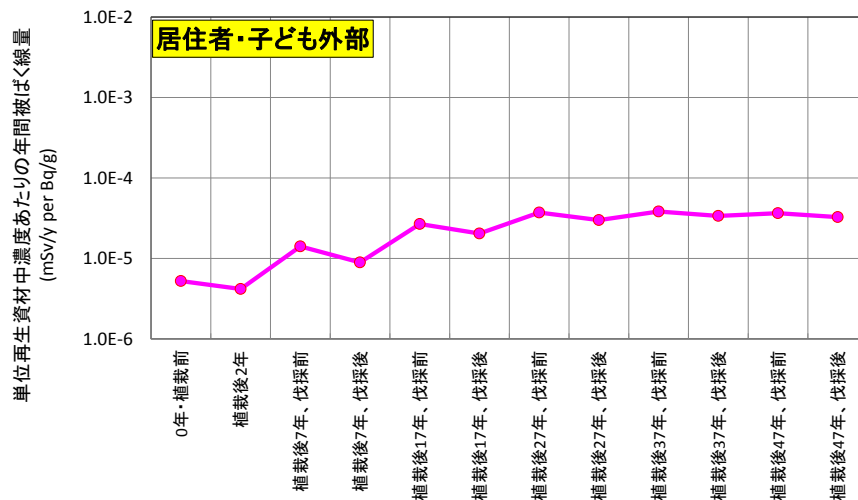


図 8 評価結果（海岸防災林完成後の周辺居住・子ども）

各ケースに対する決定経路および 1mSv/y 相当濃度は、表 8 の通りである。

表 8 決定経路および 1mSv/y 相当濃度 (Bq/kg)

決定経路	1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)
6 建設作業員外部	5,400

参考文献

- (1) 澤口拓磨、武田聖司、木村英雄、田中 忠夫、「汚染された災害廃棄物等の再利用に向けた取り組み,1; 海岸防災林の盛土材への再利用にかかわる線量評価」、日本原子力学会バックエンド部会第 29 回バックエンド夏期セミナー資料集、H25 年 8 月 7-8 日
- (2) 武田聖司、菅野光大、佐々木利久、水無瀬直史、木村英雄、「ウラン及び TRU 核種を含む放射性廃棄物に対するクリアランスレベル評価コードシステム PASCLR 第 2 版の開発」、JAEA-Data/Code 2006-003、平成 18 年 2 月
- (3) Yukio SAKAMOTO and Shun-ichi TANAKA. “QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised Versions of QAD-CGGP AND G33-GP”. JAERI-M90-110(1990)
- (4) X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987
- (5) 公共建築工事積算研究会、「公共建築工事積算研究会参考歩掛り（平成 27 年度版）」、平成 27 年
- (6) 日本緑化センター、「植栽基盤整備技術マニュアル（案）」、平成 21 年
- (7) 日本道路協会、「道路橋示方書（I 共通編）・同解説」、平成 2 年
- (8) 気象庁 HP、「<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>」

廃棄物処分場への再生資材の利用に係る線量評価について

平成 28 年 6 月 10 日
日本原子力研究開発機構

本資料は、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（第 4 回）（平成 28 年 6 月 7 日）資料 4「追加被ばく線量評価について」の算出評価資料である。

再生資材を一般廃棄物の廃棄物処分場（最終処分場）において中間覆土、最終覆土、土堰堤に利用したときにおける作業員や周辺住民に与える線量を評価した。

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、既往の評価の際の設定を参照し、現実的なシナリオやパラメータを設定し、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。

線量評価には、クリアランスレベル評価コード PASCLR2 コード⁽¹⁾を用いた。当該コードは、原子炉施設やウラン取扱施設等を対象に、クリアランス後の産業廃棄物としての埋設処分と再生材としての利用のシナリオに関する作業員と公衆の被ばく経路を網羅した線量評価が可能なコードであり、炉規法等のクリアランスレベル、特措法における濃度規準等を評価した実績を有する。また、当該評価に用いる外部被ばく線量換算係数は、原子力施設等の遮へい計算で実績のある QAD-CGGP2R コード⁽²⁾または MCNP5 コード⁽³⁾を使用して算出した。

1. 評価経路

最終処分場では、廃棄物を埋設後、覆土することが「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）」で定められている。一般に覆土は以下の 3 種に分類される⁽⁴⁾。

即日覆土：1 日の埋設作業終了後、廃棄物の飛散防止、臭気の発散防止、ハエ等の発生防止のため 0.15～0.5m 程度を行う。

中間覆土：廃棄物運搬車両の道路地盤確保や、比較的長期間放置される埋設部分の雨水排除を目的に廃棄物を 2～3m 積み上げるごとに 0.5m 程度行う。

最終覆土：廃棄物の埋設が終わった時点で、その最上層に行う覆土で、景観の向上、跡地利用、浸出水量の削減等を目的に 0.5m 以上を行う。

本評価では、土堰堤を有する最終処分場において、再生資材が中間覆土、最終覆土、土堰堤にそれぞれ利用された場合における作業員および公衆の被ばく線量を導出することとした。また、埋設終了後には、処分場の法面、および上層部に保護工（客土、植生基盤*）が施工され、公園等に利用されることを想定した。

以上を踏まえ、再生資材の最終処分場への利用に伴う被ばくを、施工時の被ばくと供用時の被ばくに分けて整理した。

●施工時の被ばく

最終処分場の土堰堤および中間・最終覆土に再生資材を用いて建設を行う際、大まかな工程段階として準備、土堰堤（押さえ盛土）の施工、処分場操業の 3 つに分けられる。以下に工程段階と具体的な作業内容、作業における作業形態を表 1 に示す。なお、即日覆土は中間覆土 0.5m の一部と見なし、本評価ではその作業工程（敷き均し・締固め）は無視した。

* 保護工については、従前はモルタル吹付が用いられていたが、近年ではモルタル吹付はあまり用いられておらず、その代わりに種子吹付（土壌付き）が用いられている。

表 1 最終処分場施工の主な作業工程

工程段階	作業内容	評価時 作業形態
準備	測量	人力
	整地	人力
土堰堤施工	盛土材搬入	重機
	敷き均し・締固め	人力
	法面整形	人力・重機
	法面保護工（客土、植生基材）施工	人力
処分場操業	中間・最終覆土敷き均し・締固め	人力・重機
	上面保護工（客土、植生基材）施工	人力・重機
共通	建設機械の洗浄	人力

本評価では、表 1 に示す作業内容を対象として評価を行う。ただし、以下の作業工程については、評価対象から除外した。

・準備段階における測量、整地作業

本シナリオでは盛土材、覆土材を線源とする為、それらを用いる前の作業段階については被ばくが起こりえないものとする。

・土堰堤施工段階における法面整形作業

法面整形作業および法面保護工施工作業は共に土堰堤の法面上にて行う作業であるが、法面保護工施工は全て人力での作業に対して法面整形では重機を併用して作業するため、法面保護工施工の方が遮へい効果が小さく、作業日数が長い。そのため、法面上で行う作業の評価は法面保護工施工作業を代表とする。

・処分場操業段階における中間・最終覆土敷き均し・締固め作業（人力）

最終処分場の覆土敷き均し・締固め作業は、通常の盛土と異なり、締固め強度等の管理・出来形の管理・仕上がりなどに高い精度が必要なく、重機を運転して分かる程度の施工精度で実施される。そのため、重機作業が主となり人力による補助作業は少ない。従って、中間覆土および最終覆土の敷き均し・締固め作業は重機による作業を代表とする。

・処分場操業段階における上面保護工施工作業

上面保護工（客土、植生基盤）施工作業は最終覆土上にて行う作業であるが、線源が露呈している中間・最終覆土敷き均し・締固め作業に比べて、保護工等による遮へい効果が大きい。そのため、処分場操業段階で行う作業の評価は敷き均し・締固め作業を代表とする。

・建設機械の洗浄

処分場の施工に使用される機械（建設機械）は、現場外への土砂飛散防止のために、現場入口等で洗浄される可能性がある。洗浄により機械に付着した土砂が排水とともに地面へ浸透し、土砂に含まれる核種が帯水層まで到達した場合、汚染した地下水の利用による被ばくが考えられる。

しかし、地下水利用による被ばくについては後述する処分場への雨水浸透で考慮しており、大規模な線源（中間覆土、最終覆土、土堰堤）に対する年間を通した地下水への移行を想定しているため、建設機械の洗浄よりも地下水へ浸透する核種の量ははるかに大きいと考えられる。よって、地下水移行については処分場への雨水浸透を代表的に評価することとし、建設機械の洗浄を評価対象から除外した。

●供用時の被ばく

最終処分場完成後の被ばくとして、保護工補修作業、跡地利用者および周辺居住者の被ばくが想定される。

また、浸出水による公共水域や地下水の汚染、ならびにこれらに起因する周辺環境への悪影響を防止するため、最終処分場には遮水工の設置が求められている。そのため、最終処分場から核種を含む雨水が漏れいする可能性は小さいが、本評価では保守的に遮水工が破損した場合を仮定し、最終処分場完成後の雨水浸透による地下水移行についても評価を行うこととした。

以上を踏まえ、再生資材を一般廃棄物最終処分場の中間覆土、最終覆土、土堰堤に利用する際に考慮すべき過程、および評価の対象となる具体的な行為（評価対象）、放射性物質に汚染された物（線源）、放射性物質により被ばくする具体的な対象者（対象者）、被ばく形態（外部、粉塵吸入、直接経口）を整理し、評価経路として表 2 にまとめた。

表 2 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路（1 / 2）

No	評価対象			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	作業員	外部	
2						粉塵吸入	
3						直接経口	
4			運搬作業	再生資材	作業員	外部	
5			運搬経路周辺居住	再生資材	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	作業員	外部	※1 経路 No. 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 No. 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	作業員	外部	
10			周辺居住	中間覆土/最終覆土※1	公衆（成人）	外部	
11						粉塵吸入	
12					公衆（子ども）	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	作業員	外部	
15			跡地の利用	中間覆土/最終覆土/土堰堤※1,3	公衆（子ども）	外部	
16			周辺居住	中間覆土/最終覆土※1,3	公衆（子ども）	外部	

表 2 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路（2／2）

No	評価対象			線源	対象者	被ばく形態	備考
17	供用時	地下水移行	飲料水摂取	井戸水	公衆 (成人)	経口	※使用される部材ごとに地下水移行による各被ばく経路の評価を行う。
18					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	公衆 (成人)	経口	
22					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	公衆 (成人)	経口	
24					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	公衆 (成人)	経口	
26					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	公衆 (成人)	経口	
28					公衆 (子ども)	経口	

2. 評価概要

【評価体系】

「1. 評価経路」を踏まえ、最終処分場の評価体系は、図 1 のように設定した（「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領 2010 改訂版」⁽⁴⁾を参照）。

また、最終処分場から周辺居住者（住宅）までの距離については、上記要領に具体的な数値の記載がなかったため、地方自治体の「最終処分場の立地等に関する基準」を参考とし、最も短かった宮城県⁽⁵⁾、および千葉県⁽⁶⁾の基準値である「おおむね 50m 以上であること」を参考に 50m に設定した。なお、下流側（図 1 左側）には通常住宅はないと考えられるため、上流側（図 1 右側）のみに住宅があるとした。

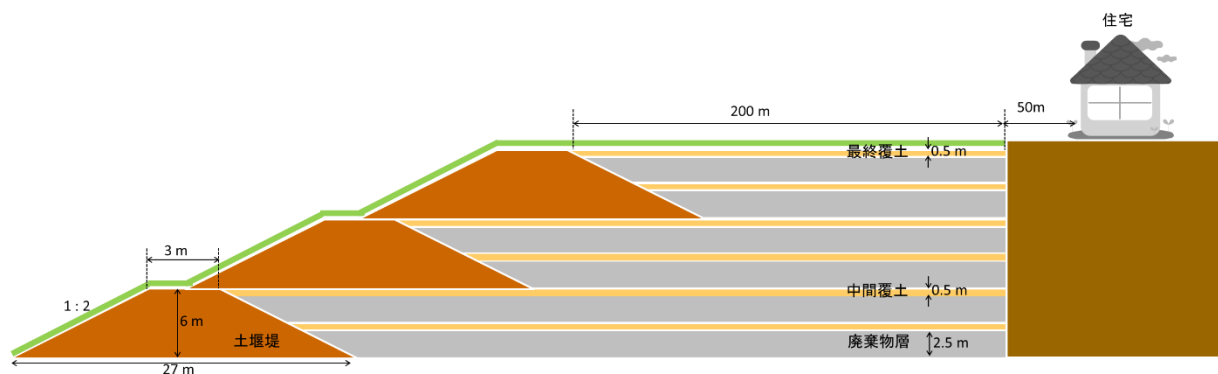


図 1 評価体系（全体、最終処分場完成後）

【評価条件】

●共通

- ・Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とする。
→再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・評価開始時期は保守的に 0 年からとする。ただし、公園としての跡地利用を想定した経路 No.14 の評価開始時期は 10 年後とする。
- ・一般的な設定が困難な作業（運搬・最終処分場施工・保護工補修に係る作業）の被ばく時間は、1000 時間/年（1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間）とする。

【評価ケース】

ケース 1：中間覆土のみに再生資材を用いた場合

ケース 2：最終覆土のみに再生資材を用いた場合

ケース 3：土堰堤のみに再生資材を用いた場合

●最終処分場への運搬

○経路 No.1～4（運搬に係る作業）

外部被ばく線量換算係数を計算する際の線源かさ密度は 1.7 g/cm^3 とする。

積載量 10t の大型ダンプによる運搬を想定する。また、上記密度、および積載面積（ $2\text{m} \times 5\text{m}$ ）を考慮し、運搬時の再生資材高さは $0.6\text{m} (= 10,000 \text{ kg} \div 2\text{m} \div 5\text{m} \div 1,700\text{kg/m}^3)$ とする。

○経路 No.5（運搬経路周辺居住）

再生資材の運搬作業に関して、運搬経路沿いの居住者（子ども）に対する外部被ばく評価を行う。線源の形状は経路 No.1～4 と同じ（高さ 0.6 m、幅 2 m、長さ 5 m の直方体、かさ密度： 1.7 g/cm^3 ）とする。

運搬経路沿いの居住者（子ども）は地上 1m の位置において、荷台高さ 1 m のトラック側方から 3 m の距離で被ばくすること、つまり $0.6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ の面の底辺中央から 3 m の距離で被ばくすることを想定する。また、保守的に遮へいは考慮しない。

運搬経路沿いの居住者の被ばく時間は、最終処分場の規模、および使用する再生資材の量に依存するため、一般的な値を決めることができない。そこで既往の放射性 Cs を含む土壌等の運搬に係る評価⁷⁾で使用された値（ 450h/y ）を踏襲することにした。当該評価では、保管場に集積された汚染された土壌等を含む耐候性大型土のう袋（1 辺 1m の立方体） $45,000 \text{ m}^3$ （ $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ の保管場に耐候性大型土のう袋 900 個の集積体（ $15 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ）を 50 個設置）が 1 ヶ月で全て入れ替わる場合を想定し、トラックで 1 回 10 個の耐候性大型土のう袋を運搬、月に 4,500 台が走行し、そのうちの半分のトラックが赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくしているとしている。

●最終処分場施工

〔ケース 1、2〕

○経路 No.6～8、10～13（最終処分場施工に係る作業および周辺居住者）

- ・最終処分場の評価体系は、長さ 200m×幅 200m×高さ 18m 程度の直方体を想定する。
また、廃棄物層（2.5m）と覆土層（0.5m）を交互に積み重ねて埋設することとする。
- ・廃棄物埋設後は直ちに覆土で覆われ、その状態における被ばく線量を評価する。

- ・図2に操業中における作業員および周辺居住者の評価体系を示す。周辺居住者の評価位置では、線源側面からの照射の影響を強く受けることが考えられることから、周囲に遮へい材として周辺土壌を設定する。
- ・線源となる層からの評価対象者への外部被ばくの影響については、上部の層ほど大きく、下層になるに従い小さくなる。そのため、ケース1では、図2に示した通り、廃棄物層を挟んで一つ下の中間覆土層までを線源とし、それ以下の中間覆土の影響を無視する。
- ・作業員の評価位置は処分場中央とした。また、遮へい係数は重機による作業を想定し、0.4とする。
- ・最終処分場から周辺居住者（住宅）までの距離は、上述した通り50mとする。
- ・中間覆土敷き均し・締固め後は新たな廃棄物の埋設が行われるが、新たに埋設された廃棄物の上にも順次中間覆土が施工され、中間覆土の表面積は操業中においてはほぼ一定に保たれると想定される。そのため、ケース1では、最終処分場施工中に周辺居住者が中間覆土から受ける被ばく時間を8,760 h/y（1年間中）とする。また、最終覆土施工後は保護工の施工が行われるが、この工程は最終覆土施工後にまとめて行われると仮定し、ケース2でも周辺居住者が最終覆土から受ける被ばく時間を8,760 h/yとする。遮へい係数は既往のクリアランスレベル評価⁽⁸⁾⁽⁹⁾と同様に0.2とする。

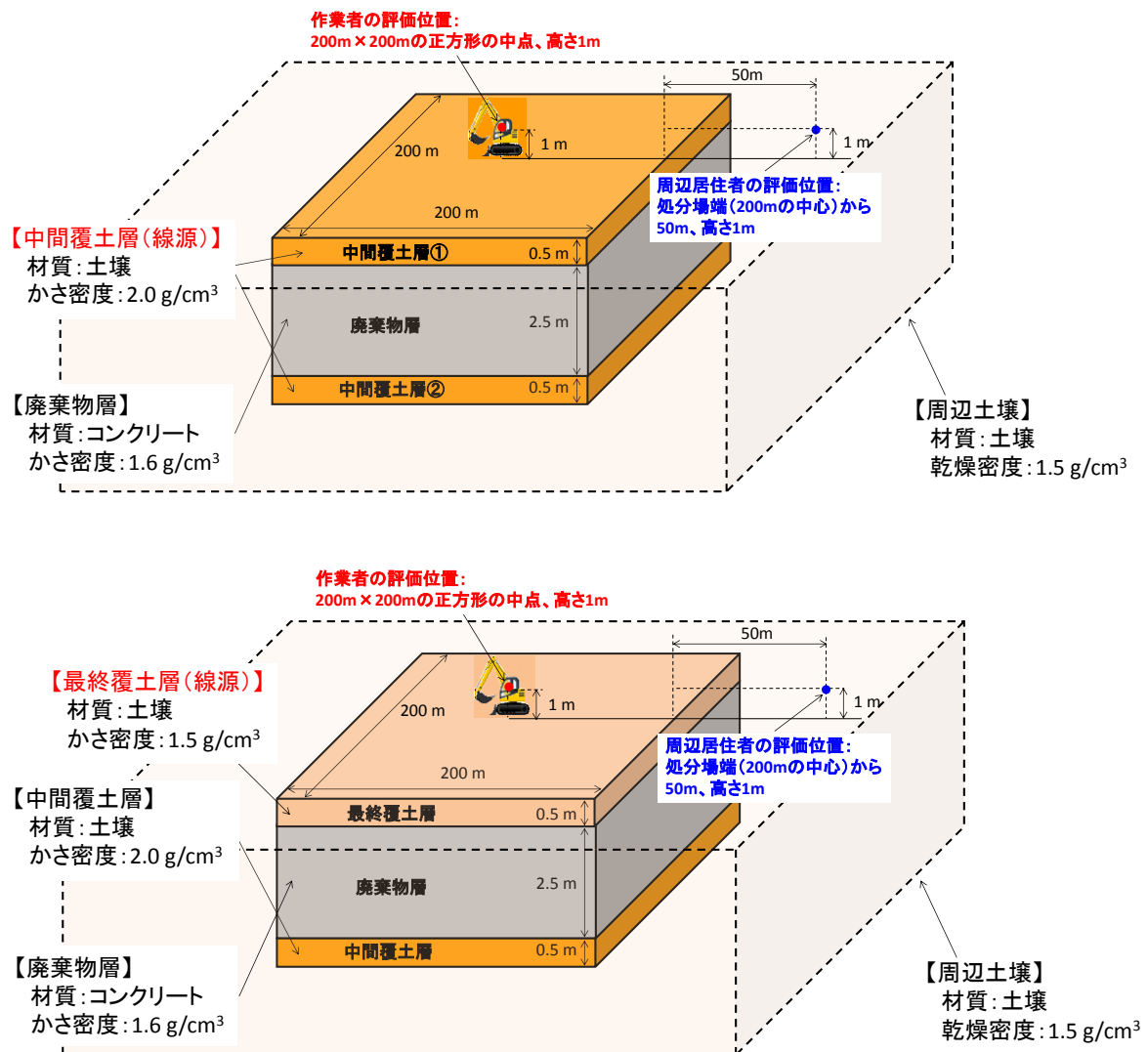


図2 最終処分場施工時の作業員および周辺居住者の評価体系（上：ケース1、下：ケース2）

[ケース 3]

○経路 No.6～9（最終処分場施工に係る作業員）

- ・外部被ばく評価の線源となる土堰堤の形状は、高さ 6 m、底面 5,400 m² の長方形（27m × 200m）、上面 600 m² の長方形（3m × 200m）の放光体とし、図 3 に示す通り 3 段に重なっている状態を想定する⁽⁴⁾。また、その密度は 2.0 g/cm³ とする。
- ・作業員（敷き均し・締固め）の評価位置は 3 段目の土堰堤の上部中央とし、その埋設地側（図 3 右側）には廃棄物層、中間覆土がない状態とした。
- ・作業員（保護工施工）の評価位置は 2 段目の土堰堤法面中央とする。
- ・これら作業員の遮へい係数は人力による作業を想定し、1.0 とする。
- ・上述したように下流側には住宅はないと考えられるため、本ケースでは周辺居住者の評価は実施しないことにする。

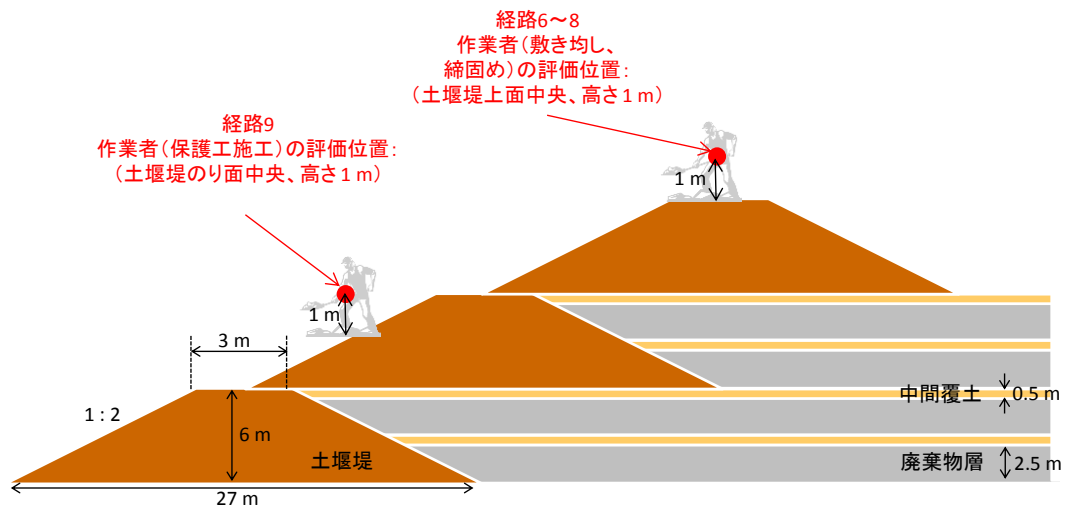


図 3 最終処分場施工時の作業員の評価体系（ケース 3）

●最終処分場完成後

○経路 No.14（保護工補修作業員）

- ・保護工が変状した場合に補修（再施工）する作業員の被ばくを想定した。
- ・保護工の補修時には線源（最終覆土、土堰堤）が露呈する可能性があるため、最終覆土の敷き均し・締固め作業員（ケース 2、経路 No.6）、または土堰堤の保護工施工作業員（ケース 3、経路 No.9）と同様の評価体系を想定する。また、中間覆土が線源のケース 1 の場合は、上記最終覆土に係る作業員（ケース 2、経路 No.6）と同様の評価位置とし、廃棄物層と最終覆土による遮へい効果を考慮した評価を行った。
- ・当該補修作業では保護工を部分的に剥がし補修作業等を行うことが想定されるが、その範囲は状況によって異なるので一般的な範囲を決めることはできない。そのため、保護工が全て剥がれた状態での被ばくを仮定し、その外部被ばく線量換算係数は経路 No.6 で設定した値と同じとする。また、遮へい係数は人力による作業を想定し、1.0 とする。
- ・評価時期は保守的に最終処分場完成直後（0 年）とする。

○経路 No.15、16（最終処分場完成後の跡地利用者および周辺居住者）

- ・最終処分場完成後の公衆に対する外部被ばく評価体系を図 4 に示す。完成後は最終覆土、および土堰堤表面に 10cm 程度の保護工（客土、植生基材）が施される。本評価では保護工の遮へいによる影響を把握するため、その厚さを 30、50 cm にした場合の線量も評価することとする。また、その密度は 1.7 g/cm³ とする。

- ・最終処分場完成 10 年後に公園として跡地利用されるとした。
 - ・跡地利用者の評価位置は、処分場中央（ケース 1、2）または土堰堤法面中央（ケース 3）とする。また、被ばく時間は 400h/y、遮へい係数は保守的に 1.0 とする。
 - ・周辺居住者の評価位置は、施工中の評価と同様に、処分場端からの距離を 50m とする。また、被ばく時間は 8,760 h/y、遮へい係数は 0.2 とする。
- ※ケース 1、2 の住宅位置の高さは保護工上部の高さに合わせる。

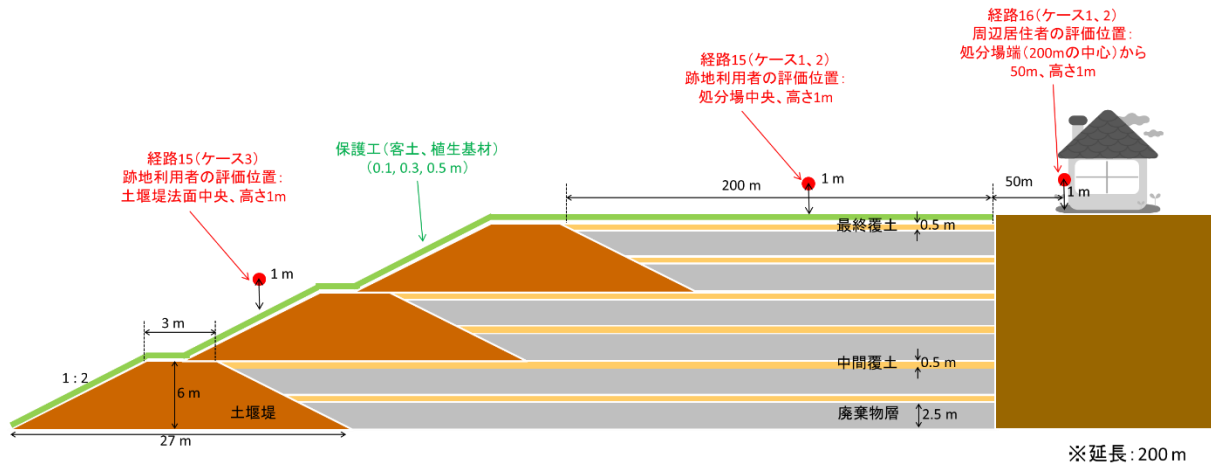


図 4 最終処分場完成後の跡地利用者および周辺居住者の評価体系

○経路 No.17～28（最終処分場完成後の地下水移行）

- ・保守的に再生資材が使用されていない部材の影響は無視する。また、PASCLR2⁽¹⁾では、放光体状の線源をソースタームとした地下水移行評価はできない。そのため、ケース 3 におけるソースタームは、降雨浸透により核種が漏えいすると仮定する土堰堤底面の面積（1 つ分）、3 つの土堰堤体積を変えずにその高さ（厚さ）を変えた直方体で近似した。各ケースの評価体系を図 5 に示す。

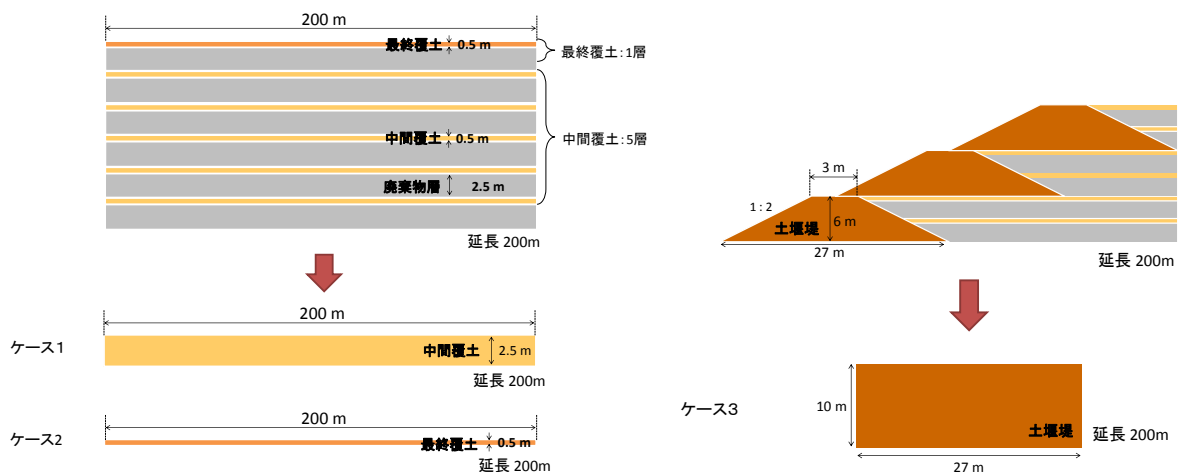


図 5 最終処分場完成後の地下水移行の評価体系

- ・本評価では、中間覆土/最終覆土/土堰堤に使用される再生資材への Cs の収着を考慮した分配係数モデルを用い、地下水移行に係る全経路を評価する。
- ・分配係数モデルでは、中間覆土/最終覆土/土堰堤からの Cs の溶出は分配平衡に基づいて起こると仮定し、その漏えい率 η は、以下の式で表される。

$$\eta = \frac{P}{H_w \cdot (\varepsilon_w + \rho_w \cdot Kd_w)}$$

ここで、

η : 中間覆土/最終覆土/土堰堤からの漏えい率 (1/y)

P : 中間覆土/最終覆土/土堰堤への降雨浸透水量 (m/y)

H_w : 中間覆土/最終覆土/土堰堤の厚さ (m)

ε_w : 中間覆土/最終覆土/土堰堤の空隙率 (-)

ρ_w : 中間覆土/最終覆土/土堰堤のかさ密度 (g/cm³)

Kd_w : 再生資材の分配係数 (mL/g)

である。

- ・ 中間覆土/土堰堤の空隙率は 0.25、最終覆土の空隙率は 0.43 とした。また、再生資材の分配係数は 270mL/g (IAEA TRS No.364、有機土壌・砂) とした。

※上記パラメータから導出される放出係数 ($=1/(\varepsilon_w + \rho_w Kd_w)$) は 0.001851 (中間覆土/土堰堤)、0.002467 (最終覆土) となり、既往のクリアランスレベル評価⁽⁸⁾ ⁽⁹⁾で設定された値 (0.01) より一桁小さくなる。

- ・ 浸透水量は全ケースとも 0.4 m/y とする。

●災害時の評価について

自然災害により最終処分場が破損するシナリオとしては、埋立廃棄物や浸出水が埋立地外に流出しないようにするための構造物である「土堰堤」が変状・崩壊する事象が想定される。そこで地震、津波、火災、暴風・竜巻、異常降雨によって土堰堤が破損する可能性を検討し、その結果、表 3 に示すように地震・異常降雨により土堰堤が変状・崩壊する可能性が考えられた。さらに、地震と異常降雨により最終処分場が被害を受けた事例を調査し、表 4 に示す文献が挙げられた。文献調査の結果、土堰堤が変状・崩壊するケースは、無許可の容量変更（違法増設）や不適切な工法による施工などの人災によるものであり、適切な管理が行われている最終処分場においては、土堰堤の自然災害による破損事例は確認されなかった。以上のことから、最終処分場において災害事象の発生の可能性が十分に低いと考えられ、災害時シナリオの評価は対象外とした。

表 3 最終処分場（土堰堤）が破損する可能性のある自然災害の検討

地震	地震動による変状・崩壊の可能性が考えられる。
津波	最終処分場は海岸から離れた内陸部にあるものとし、津波が到達しないと考えられる。
火災	付近を走行中の車両等からの火災が考えられるが、土堰堤の変状や崩壊にまでは至ることは無いと考えられる。
暴風・竜巻	変状・崩壊にまでは至らないと考えられる。
異常降雨（豪雨）	処分場内の地下水量が増加し土堰堤の変状・崩壊を引き起こす可能性が考えられる。

表 4 最終処分場における災害事例文献リスト

No.	資料名	資料発行年月日	資料元
1	2009年に東広島市志和町内地区で発生した土砂災害の調査について	2011年5月30日	地盤工学ジャーナル
2	「平成16年7月新潟・福島豪雨」7・13水害の概要	2005年2月15日	新潟県長岡市
3	旭川市の廃棄物処分場の歴史	2012年11月20日	北海道旭川市環境部廃棄物処理課
4	阪神・淡路大震災における廃棄物処理施設の被害状況と対応策	1995年	土木学会、環境工学研究フォーラム講演集(第32回)
5	松山市菅沢町最終処分場不適正処理事案に係る特定支障除去等事業実施計画	2013年3月	愛媛県松山市
6	生活環境保全上の支障の整理〔第8回対策委員会〕	2007年11月	滋賀県琵琶湖環境部最終処分場特別対策室
7	大分県大分市の舟平産業廃棄物処分場に関する質問主意書	2005年9月21日	赤嶺政賢(日本共産党所属、衆議院議員)
8	東日本大震災に関する一般廃棄物最終処分場被害概況報告	2011年7月11日	(株)日本環境工学設計事務所
9	敦賀市民間最終処分場に係る特定支障除去等事業実施計画	2013年3月	福井県(敦賀市)
10	地方都市等における地震防災のあり方に関する専門調査会(第3回)(内閣府)の資料5-3「震災廃棄物対策」	2010年8月27日	内閣府
11	平成27年9月関東・東北豪雨による被害状況等(第12報)	2015年12月3日	宮城県
12	7.12竹田市豪雨災害検証会議(平成24年7月九州北部豪雨災害)		竹田市(大分県)

3. 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 5～8 に示す。

表 5 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメータ一覧
(再生資材の最終処分場への運搬 1 / 2)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-5	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1 年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1 年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-4	再生資材の積み下ろし、運搬の年間作業時間		h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間のうち半分の時間を再生資材のそばで作業するものとした。 ここでは、再生資材を最終処分場建設現場へ運搬するための積み下ろし、運搬の作業が対象である。
1-4	運搬作業時における線源に対する希釈係数		—	1	作業者は、表面に核種が付着した状態の再生資材のみを取り扱うものとし、線源に対する希釈は保守的に 1 とした。
1,4	外部被ばくに対する線量換算係数（積み下ろし作業、運搬作業）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	5.9E-2	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7 g/cm ³ 評価点：0.6m×5m の中心から 1.0m
		Cs-137		2.1E-2	
1	積み下ろし作業時の遮へい係数		—	0.4	重機を使用した際の遮へい（鉄板 2cm 相当）を考慮する。災害廃棄物評価※1 で埋設作業時の重機を使用した Cs-134 及び Cs-137 に対する遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.4 と計算され、積み下ろし作業時の遮へい係数も同様に設定した。
2	作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値 20L/min を基に算定した。
2	積み下ろし作業時の空気中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空気中ダスト濃度を採用した。
2	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
3	微粒子への放射性物質の濃縮係数（経口摂取）		—	2	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。
3	ダストの経口摂取率		g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1 に示された値を用いた。
4	運搬作業時の遮へい係数		—	0.9	車両による遮へい（鉄板 3mm 相当）を考慮する。災害廃棄物評価※1 で埋設作業時の Cs-134 及び Cs-137 に対する車両による遮へい係数は QAD-CGGP2R より 0.9 と計算され、運搬作業時の遮へい係数も同様に設定した。
5	外部被ばくに対する線量換算係数（運搬経路周辺居住、子ども）	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	2.0E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：高さ 0.6m、幅 2m、長さ 5m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：0.6m×5.0m の底辺中央から 3.0m
		Cs-137		6.8E-03	

※1 災害廃棄物安全評価検討会（第 9 回）資料 11-1、平成 23 年 11 月 15 日

表 5 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメーター一覧
(再生資材の最終処分場への運搬 2 / 2)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
5	運搬経路沿いの居住における線源に対する希釈係数	—	1	運搬トラックには、表面に核種が付着した状態の再生資材のみが積まれているものとし、線源に対する希釈は保守的に 1 とした。
5	運搬経路沿いの居住者の被ばく時間	h/y	450	災害廃棄物安全評価検討会（第 9 回）資料 11-2 の評価と同様に、運搬トラックが月に 4,500 台走行し、そのうちの半分のトラックが赤信号により停車している時間 1 分の間に被ばくすると仮定し、450h/y とした。
5	運搬経路沿いの居住者の遮へい係数	—	1.0	保守的な設定とした。

表 6 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメーター一覧
(最終処分場施工、最終処分場完成後 1 / 4)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
6-16	被ばく中の減衰期間	y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1 年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1 年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
6-13	最終処分場施工作業が開始されるまでの期間	y	0	保守的に、最終処分場への運搬後すぐに中間覆土、最終覆土、土堰堤に利用されるものとした。
6-16	再生資材の線源に対する希釈係数	—	1	中間覆土、最終覆土、土堰堤として利用されるものは、すべて再生資材であるとした。
6-16	処分場の長さ	m	200	最終処分場の評価体系は、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」を参考に図 1 のように設定した。 ※最終処分場の埋立基準では、廃棄物の一層の厚さを概ね 3m 以下とし、一層ごとに厚さが概ね 50cm の土壌で覆うこととしている。
	処分場の幅	m	200	
	処分場の深さ	m	18	
	廃棄物層の厚さ	m	2.5	
	中間覆土/最終覆土の厚さ	m	0.5	
	土堰堤の底面	m	27	
	土堰堤の上面	m	3	
	土堰堤の高さ	m	6	
	土堰堤の法面勾配	—	1:2	
6-16	中間覆土のかさ密度	g/cm ³	2.0	除染・廃棄物技術協議会「除染に伴う除去土壌の再生利用に関する提案書」、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」を参考に中間覆土の粒径分布に関する仕様を以下のように整理した。 ・ 0.075mm 以下の土壌が 15%、混入する石の大きさ 20cm 以下かつ 20%以下 ・ 0.074mm 以下の土壌を 50%以上 さらに、石田哲郎 編著「地盤材料の試験・調査入門」の第 5 章「突固めによる土の締固め試験」において 5 パターンに分類されている土壌の粒径の分布、および各パターンの乾燥密度を参考にし、上記中間覆土の仕様の乾燥密度の範囲を以下のように整理し、その最大乾燥密度を設定値とした。 ・ 1.80～1.95 g/cm³ ・ 1.30～1.45 g/cm³

表 6 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメーター一覧
(最終処分場施工、最終処分場完成後 2 / 4)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
6-16	最終覆土のかさ密度	g/cm ³	1.5	上述の中間覆土の密度と同様の考えで設定した。最終覆土の粒径分布に関する仕様と乾燥密度の範囲は以下の通りである。 ・0.074mm 以下の土壌を 50%以上 (1.30～1.45 g/cm ³)
6-16	土堰堤のかさ密度	g/cm ³	2.0	上述の中間覆土の密度と同様の考えで設定した。土堰堤の粒径分布に関する仕様と乾燥密度の範囲は以下の通りである。 ・50%が 5mm 以下かつ、0.075mm が 10%程度 (1.80～1.95 g/cm ³)
6-9,14	最終処分場施工&保護工補修作業（中間覆土、最終覆土、土堰堤の敷き均し・締固め、および保護工施工・補修）に従事する年間作業時間	h/y	1,000	1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間のうち半分の時間を最終処分場施工作業するものとした。
6,10,12 ケース 1 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（中間覆土の敷き均し・締固め作業、周辺居住者）	Cs-134 Cs-137 μ Sv/h per Bq/g	別表 1 参照	図 2（上）に示す各中間覆土層（①、②）を線源とした場合における各評価位置での外部被ばく線量換算係数をそれぞれ、MCNP5 コードを用いて導出した。なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を 1.3 倍にした。
6,10,12 ケース 2 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（最終覆土の敷き均し・締固め作業、周辺居住者）	Cs-134 Cs-137 μ Sv/h per Bq/g	別表 1 参照	図 2（下）に示す最終覆土層を線源とした場合における各評価位置での外部被ばく線量換算係数をそれぞれ、MCNP5 コードを用いて導出した。なお、子どもの外部被ばく線量換算係数は成人の計算値を 1.3 倍にした。
6,9 ケース 3 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数（土堰堤の敷き均し・締固め、保護工施工作業者）	Cs-134 Cs-137 μ Sv/h per Bq/g	別表 1 参照	図 3 に示す土堰堤を線源とした場合における各評価位置での外部被ばく線量換算係数をそれぞれ、MCNP5 コードを用いて導出した。
6 ケース 1, 2 で使用	最終処分場施工作業時における遮へい係数	—	0.4	中間覆土および最終覆土の施工では、重機を使用した作業を想定した。
6 ケース 3 で使用	最終処分場施工&保護工補修作業時における遮へい係数	—	1.0	土堰堤の施工では重機を使用した作業を想定せず、保守的な設定とした。
7,11,13	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）	—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
7	建設作業時の空気中ダスト濃度	g/m ³	5E-04	IAEA-TECDOC-401 において提案されている $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-3}$ の中央値を使用した。
7	最終処分場施工作業者の呼吸量	m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値 20L/min を基に算定した。
8	微粒子への放射性物質の濃縮係数（経口摂取）	—	2	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。
8	ダストの経口摂取率	g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1 において、身体に付着したダストの経口摂取率についての検討が行われ、成人の作業者に対し妥当とされた 0.01 を採用した。

別表 1 最終処分場施工に係る経路の外部被ばく線量換算係数

ケース (線源)	外部被ばくに対する線量換算係数 ($\mu\text{ Sv/h per Bq/g}$) 上 : Cs-134、下 Cs-137		
	作業者		周辺居住者 (成人)
	敷き均し・締固め	保護工施工	最終処分場からの距離 50m
1 中間覆土	4.1E-1 1.6E-1		7.6E-3 2.7E-3
2 最終覆土	4.0E-1 1.6E-1		7.6E-3 2.7E-3
3 土堰堤	2.8E-1 1.0E-1	2.4E-1 9.0E-2	

表 6 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメータ一覧
(最終処分場施工、最終処分場完成後 3 / 4)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
9,14	保護工施工&保護工補修作業 時における遮へい係数		—	1.0	重機を使用した作業を想定せず、保守的な設定とした。
10-13	居住者の被ばく時間		h/y	8,760	最終処分場の操業期間 (埋立期間) は 1 年以上であると考えられる。よって、保守的に年間にわたって被ばくするとした。
10,12	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の 20% を戸外で過ごすとして仮定した。
11,13	最終処分場周辺空气中居住 ダスト濃度		g/m^3	2.4E-05	戸外及び戸内におけるダスト濃度 (戸外 : $1\text{E}\cdot 4$ (g/m^3) 及び戸内 : $5\text{E}\cdot 06$ (g/m^3)) より、居住者が居住時間の 20% を戸外で過ごすとして仮定し、重みを付けて平均した。
11	居住者の呼吸量 (成人)		m^3/h	0.96	ICRP Publ.23 で示されている標準人の 1 日の呼吸量の数値 $2.3 \times 10^4 (\text{L/d})$ を基に算定した。
13	居住者の呼吸量 (子ども)		m^3/h	0.22	IAEA Safety Reports Series No.44 に示されていた 1~2 歳の居住者の呼吸率として示されている値を採用した。
14-16	最終処分場が完成するまでの期間		y	0	保守的に、最終処分場への運搬後すぐに中間覆土、最終覆土、土堰堤に利用され、最終処分場が完成するものとした。
14-16 ケース 1 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数 (保護工補修作業、最終処分場跡地利用者、周辺居住者)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h per Bq/g}$	別表 2 参照	図 4 に示す中間覆土層を線源とした場合における各評価位置での外部被ばく線量換算係数をそれぞれ、MCNP5 コードを用いて導出した。
		Cs-137			
14-16 ケース 2 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数 (保護工補修作業、最終処分場跡地利用者、周辺居住者)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h per Bq/g}$	別表 2 参照	図 4 に示す最終覆土層を線源とした場合における各評価位置での外部被ばく線量換算係数をそれぞれ、MCNP5 コードを用いて導出した。
		Cs-137			
14-16 ケース 3 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数 (保護工補修作業、最終処分場跡地利用者)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h per Bq/g}$	別表 2 参照	図 4 に示す土堰堤を線源とした場合における各評価位置での外部被ばく線量換算係数をそれぞれ、MCNP5 コードを用いて導出した。
		Cs-137			

表 6 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメーター一覧
(最終処分場施工、最終処分場完成後 4 / 4)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
15	跡地利用されるまでの期間	y	10	最終処分場完成 10 年後に公園として跡地利用されるとした。
15,16	保護工の密度	g/cm ³	1.7	濃度上限値評価等、既往評価における土壌密度の値を設定した。(JAERI-M 84-038、JAEA-Data-Code-2008-003)
15	跡地利用者の年間利用時間	h/y	400	1 日 1 時間、毎日対象公園を利用すると、約 365 時間／年の利用時間となる。この結果から、年間の対象公園利用時間を 400 時間に設定した。
15	最終処分場跡地利用時における遮へい係数	—	1.0	保守的な設定とした。
16	年間居住時間	h/y	8,760	保守的に、1 年間絶えず最終処分場周辺に居住しているとした。
16	居住時の遮へい係数	—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の 20%を戸外で過ごすとして仮定した。

別表 2 最終処分完成後供用時に係る経路の外部被ばく線量換算係数

ケース (線源)		外部被ばくに対する線量換算係数 (μ Sv/h per Bq/g) ※ 上 : Cs-134、下 Cs-137		
	保護工 厚さ (cm)	保護工補修 作業者	跡地利用者 (子ども)	周辺居住者 (子ども) 最終処分場からの距離 50m
1 中間覆土	10	0.0E+0 0.0E+0	0.0E+0	0.0E+0
			0.0E+0	0.0E+0
	30		0.0E+0	0.0E+0
			0.0E+0	0.0E+0
	50		0.0E+0	0.0E+0
			0.0E+0	0.0E+0
2 最終覆土	10	4.0E-1 1.6E-1	1.0E-1	2.0E-3
			3.9E-2	7.2E-4
	30		6.8E-3	1.1E-4
			2.0E-3	3.9E-5
	50		4.7E-4	7.0E-6
			1.2E-4	2.0E-6
3 土堰堤	10	2.4E-1 9.0E-2	6.5E-2	
			2.2E-2	
	30		3.8E-3	
			1.3E-3	
	50		2.3E-4	
			6.8E-5	

※1.0E-15 μ Sv/h per Bq/g 以下は 0.0E+0 とした。

表 7 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメータ一覧
(完成最終処分場地下水移行 1 / 4)

経路 No.	名称	単位	選定値	選定根拠
17-28	被ばく中の減衰期間	y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1 年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1 年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
17-28	中間覆土/最終覆土の幅	m	200	図 5 参照
17-28	中間覆土の厚さ	m	2.5	
17-28	最終覆土の厚さ	m	0.5	
17-28	土堰堤の幅	m	27	
17-28	土堰堤の厚さ	m	10	
17-28	中間覆土/土堰堤のかさ密度	g/cm ³	2.0	経路 No.6～13 の設定と同じとした。
17-28	最終覆土の厚さ	g/cm ³	1.5	
17-28	中間覆土/土堰堤の空隙率	—	0.25	真密度 2.6～2.7 g/cm ³ と上記かさ密度から導出した。
17-28	最終覆土の空隙率	—	0.43	
17-28	Cs の中間覆土、最終覆土、土堰堤、帯水層土壌の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌、砂）
17-28	Cs の帯水層土壌の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（砂）
17-28	浸透水量（最終処分場）	m/y	0.4	最終処分場には遮水工（ベントナイト層等の不透水層）の設置が求められているため、浸透水量はかなり小さいと考えられるが、保守的に、既往のクリアランスレベル評価等で使用した値を採用した。
17-28	浸透水量（耕作地土壌）	m/y	0.4	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
17-28	帯水層厚さ	m	3	IAEA-TECDOC-401 に示された値を用いた。
17-28	地下水流速（ダルシー流速）	m/d	1	「新版地下水調査法」（山本 莊毅、(株)古院書院、1983 年）
17-28	帯水層空隙率	—	0.3	「水理公式集」（土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971 年）
17-28	帯水層土壌密度	g/cm ³	2.6	「土質工学ハンドブック」（土質工学会編、1982 年）
17-28	地下水流方向の分散長	m	0	保守的に選定した。
17-28	地下水流方向の分散係数	m ² /y	0	保守的に選定した。
17-28	処分場下流端から井戸までの距離	m	0	保守的に選定した。
17-28	井戸水の混合割合	—	0.33	「地下水ハンドブック」（地下水ハンドブック編集委員会編、(株)建設産業調査会、1979 年）
17	人の年間飲料水摂取量（成人）	m ³ /y	0.61	ICRP Publ.23 の標準人の値を参考に、1 日の摂取量を 1.65L として算定した。
18	人の年間飲料水摂取量（子ども）	m ³ /y	0.1	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された値を用いた。
19-24	Cs の農耕土壌の分配係数	mL/g	2.7E+02	IAEA TRS No.364（有機土壌）
19-24	灌漑水量（畑、牧草地）	m ³ /m ² /y	1.2	「日本の農業用水」（農業水利研究会編、(株)地球社、1980 年）に示された畑地に対する平均単位用水量 4mm/d と年間灌漑日数 300 日程度に基づいて選定した。
19-24	土壌水分飽和度（畑、牧草地）	—	0.2	JAEA 原科研敷地内（砂層）における測定結果より選定した。

表 7 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメータ一覧
(完成最終処分場地下水移行 2 / 4)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
19-24	土壌実効表面密度		kg/m ²	240	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109に示された値を用いた。
19-24	灌漑土壌真密度		g/cm ³	2.60	「土質工学ハンドブック」(土質工学会編、1982年)に示された砂の粒子密度を基に選定した。
19-24	実効土壌深さ		cm	15	U.S.NRC Regulatory Guide 1.109に示された値を用いた。
19-24	放射性核種の土壌残留係数		—	1	保守的に、全ての灌漑水中の放射性核種が土壌に残留するものとした。
19-24	灌漑土壌空隙率		—	0.3	「水理公式集」(土木学会水理公式集改訂委員会、土木学会、1971年)
19,20	農耕作業による年間作業時間		h/y	500	「日本の統計 2009 年版」(総務庁統計局編、2009 年)に記載されている平成 18 年度の 1 戸当たりの平均経営耕地面積 248a (水田率 54.4%)、水稲 10a 当たりの労働時間 29.2 時間、小麦 10a 当たりの労働時間 5.6 時間を基に算出し、値に裕度を持って選定した。 $248 \times 0.544 \times 2.92 + 248 \times (1 - 0.544) \times 0.56 = 457$ (h/y)
19	外部被ばくに対する線量換算係数 (農耕作業: 灌漑土壌からの外部被ばく)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	4.7E-01	従来のクリアランスレベル評価で設定されている換算係数を設定した。条件は以下の通りである。 線源の形状: 高さ 10m、半径 500m の円柱 線源のかさ密度: 2.0g/cm ³ 以上の条件で QAD-CGGP2R コードにより算出されている。
		Cs-137		1.7E-01	
19	農耕作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に遮へいを考慮しない。
20	農耕作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
20	農耕作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働 (軽作業) 時の呼吸量の数値 20L/min を算定した。
20	微粒子への放射性物質の濃縮係数 (吸入摂取)		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
21-24	灌漑水年間生育期間		d	60	「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」に示された葉菜に関する栽培期間の値(60d/y)を使用した。
21-24	農作物 (葉菜、牧草) の栽培密度		kg/m ²	2.3	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」(原子力安全委員会、平成元年 3 月 27 日)
21-24	放射性核種の農作物 (葉菜、牧草) 表面への沈着割合		—	1	保守的に全ての放射性核種が、農作物表面へ沈着するものとした。
21-24	weathering 効果による植物表面沈着放射性核種の除去係数		1/y	18.08	「発電用軽水型原子炉施設の安全評価における一般公衆の線量評価について」に基づき、weathering half-life を 14 日として計算した。
21,22	農作物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
21,22	農作物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された農作物を直ちに消費する人を評価対象とした。
21,22	灌漑水量 (田)		m ³ /m ² /y	2.4	「日本の農業用水」(農業水利研究会、(株)地球社、1980 年)に示された水田に対する平均単位用水量 24mm/d と水田の年間湛水期間 100 日程度に基づいて選定した。

表 7 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメーター一覧
(完成最終処分場地下水移行 3 / 4)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
21,22	土壌水分飽和度 (田)		—	1	田の土壌水分飽和度は、水田を想定しており、1と選定した。
21,22	Cs の米への移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	7.1E-02	IAEA TRS No.364 (シリアル)
21,22	Cs の葉菜、非葉菜、果実への 移行係数		Bq/g-wet per Bq/g	5.7E-02	IAEA TRS No.364 (ジャガイモ)
21	農作物の年間摂取量 (成人)	米	kg/y	71	「平成 8 年版国民栄養の現状」(厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年)
		葉菜		12	
		非葉菜		45	
		果実		22	
22	農作物の年間摂取量 (子ども)	米	kg/y	25	「平成 9 年版国民栄養の現状」(厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年)
		葉菜		5	
		非葉菜		23	
		果実		22	
23-26	Cs の畜産物への 移行係数	牛肉	d/kg	5.0E-02	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
		豚肉		2.4E-01	
		鶏肉		1.0E+01	
		鶏卵		4.0E-01	
		牛乳	d/L	7.9E-03	
23-26	畜産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
23-26	畜産物の輸送時間		d	0	保守的に、生産された畜産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
23,24	放射性核種を含む 飼料の混合割合		—	1	保守的に、放射性核種を含む飼料のみで家畜を飼育するとした。
23,24	Cs の飼料への移行係数		Bq/g-dry per Bq/g	5.3E-01	IAEA TRS No.364 (牧草)
23,24	家畜の飼料摂取量	肉牛	kg-dry/d	7.2	IAEA TRS No.364 において示された値を使用した。
		乳牛		16.1	
		豚		2.4	
		鶏		0.07	
23,25	畜産物の年間摂取量 (成人)	牛肉	kg/y	8	「平成 8 年版国民栄養の現状」(厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1996 年)
		豚肉		9	
		鶏肉		7	
		鶏卵		16	
		牛乳	L/y	44	

表 7 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメータ一覧
(完成最終処分場地下水移行 4 / 4)

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
24,26	畜産物の年間摂取量（子ども）	牛肉	kg/y	3	「平成 9 年版国民栄養の現状」（厚生省保健医療局健康増進栄養課監修、第一出版(株)、1997 年）
		豚肉		4	
		鶏肉		5	
		鶏卵		10	
		牛乳	L/y	29	
24,26	家畜の飼育水摂取量	肉牛	L/d	50	PNL-3209 に示された値を用いた。
		乳牛		60	
		豚		10	
		鶏		0.3	
27,28	養殖淡水産物の地下水利用率		—	0.25	「日本の水資源（平成 19 年版）」（国土庁長官官房水資源部編、大蔵省印刷局、2008 年）より選定した。
27,28	Cs の魚類への濃縮係数		L/kg	2.0E+03	IAEA TRS No.364 に示された値を用いた。
27,28	養殖淡水産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
27,28	養殖淡水産物の輸送時間		d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
27	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（成人）		kg/y	0.7	「日本の統計 1997 年版」に記載されている平成 6 年の内水面養殖業の生産量の内、魚類の生産量の合計値 76,579 トンを人口 1 億 2 千万人で除して算出した。
28	養殖淡水産物（魚類）の年間摂取量（子ども）		kg/y	0.33	全年齢の魚介類合計摂取量の平均値(96.9g/日)と 1-6 歳の平均値(45.7g/日)の比 (0.47)を成人の年間摂取量 0.7kg/年に乗じた 0.33kg/年を算出した。

表 8 再生資材の最終処分場への利用に係る評価経路パラメータ一覧
(内部被ばく線量係数)

内部被ばく線量係数(Sv/Bq)						
	作業者(ICRP Publ.68)		公衆(ICRP Publ.72)			
	吸入	経口	吸入		経口	
			成人	子ども	成人	子ども
Cs-134	9.6E-09	1.9E-08	6.6E-09	7.3E-09	1.9E-08	1.6E-08
Cs-137	6.7E-09	1.3E-08	4.6E-09	5.4E-09	1.3E-08	1.2E-08

4. 放射性物質による影響の評価結果

表9～12に、各評価経路のCs-134およびCs-137の単位濃度（1 Bq/g）あたりの影響を評価した結果を示す。また、Cs-134とCs-137の比はCs-134/Cs-137=0.209と仮定※し、Cs-134とCs-137の和（全Cs）による単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量に換算した値も併せて示す。

また、濃度レベル算出のための線量のめやす値 1mSv/y を超えないことを条件として被ばく評価計算から誘導された濃度（1mSv/y 相当濃度）、および 5,000Bq/kg、8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

※再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定する。

表 9 評価結果（最終処分場への運搬）

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
1	積み下ろし作業員外部	2.0E-02	8.3E-03	1.0E-02	9.7E+04	5.2E-02	8.3E-02
2	積み下ろし作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
3	積み下ろし作業員直接経口摂取	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
4	運搬作業員外部	4.5E-02	1.9E-02	2.3E-02	4.3E+04	1.2E-01	1.9E-01
5	運搬経路周辺居住者(子ども)外部	7.5E-03	3.0E-03	3.8E-03	2.6E+05	1.9E-02	3.0E-02

表 10 評価結果（最終処分場施工）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
ケース1	6	敷き均し・締固め作業員外部	1.4E-01	6.3E-02	7.6E-02	1.3E+04	3.8E-01	6.1E-01
	7	敷き均し・締固め作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
	8	敷き均し・締固め作業員直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
	9	—	—	—	—	—	—	—
	10	周辺居住者外部(成人)50m	1.1E-02	4.7E-03	5.8E-03	1.7E+05	2.9E-02	4.7E-02
	11	周辺居住者吸入(成人)	4.5E-06	3.7E-06	3.8E-06	2.6E+08	1.9E-05	3.1E-05
	12	周辺居住者外部(子ども)50m	1.5E-02	6.1E-03	7.6E-03	1.3E+05	3.8E-02	6.1E-02
ケース2	13	周辺居住者吸入(子ども)	1.1E-06	9.9E-07	1.0E-06	9.9E+08	5.1E-06	8.1E-06
	6	敷き均し・締固め作業員外部	1.4E-01	6.3E-02	7.6E-02	1.3E+04	3.8E-01	6.1E-01
	7	敷き均し・締固め作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
	8	敷き均し・締固め作業員直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
	9	—	—	—	—	—	—	—
	10	周辺居住者外部(成人)50m	1.1E-02	4.7E-03	5.8E-03	1.7E+05	2.9E-02	4.7E-02
	11	周辺居住者吸入(成人)	4.5E-06	3.7E-06	3.8E-06	2.6E+08	1.9E-05	3.1E-05
ケース3	12	周辺居住者外部(子ども)50m	1.5E-02	6.1E-03	7.6E-03	1.3E+05	3.8E-02	6.1E-02
	13	周辺居住者吸入(子ども)	1.1E-06	9.9E-07	1.0E-06	9.9E+08	5.1E-06	8.1E-06
	6	敷き均し・締固め作業員外部	2.4E-01	9.9E-02	1.2E-01	8.1E+03	6.1E-01	9.8E-01
	7	敷き均し・締固め作業員吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	6.0E+07	8.3E-05	1.3E-04
	8	敷き均し・締固め作業員直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	3.7E+06	1.3E-03	2.1E-03
	9	保護工施工作業員外部	2.0E-01	8.9E-02	1.1E-01	9.2E+03	5.4E-01	8.7E-01
	10	—	—	—	—	—	—	—
ケース3	11	—	—	—	—	—	—	—
	12	—	—	—	—	—	—	—
	13	—	—	—	—	—	—	—

ケース1: 中間覆土に再生資材を用いたケース

ケース2: 最終覆土に再生資材を用いたケース

ケース3: 土堰堤に再生資材を用いたケース

表 11 評価結果（完成最終処分場 保護工補修、跡地利用、周辺居住）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
ケース1	10 cm	14 保護工補修作業	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
		15 跡地利用者外部(子ども)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
		16 周辺居住者外部(子ども)50m	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
	30 cm	14 保護工補修作業	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
		15 跡地利用者外部(子ども)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
		16 周辺居住者外部(子ども)50m	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
	50 cm	14 保護工補修作業	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
		15 跡地利用者外部(子ども)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
		16 周辺居住者外部(子ども)50m	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	—	0.0E+00	0.0E+00
ケース2	10 cm	14 保護工補修作業	3.4E-01	1.6E-01	1.9E-01	5.3E+03	9.5E-01	1.5E+00
		15 跡地利用者外部(子ども)	1.2E-03	1.2E-02	1.0E-02	9.7E+04	5.2E-02	8.3E-02
		16 周辺居住者外部(子ども)50m	2.9E-03	1.2E-03	1.5E-03	6.5E+05	7.6E-03	1.2E-02
	30 cm	14 保護工補修作業	3.4E-01	1.6E-01	1.9E-01	5.3E+03	9.5E-01	1.5E+00
		15 跡地利用者外部(子ども)	8.0E-05	6.1E-04	5.2E-04	1.9E+06	2.6E-03	4.2E-03
		16 周辺居住者外部(子ども)50m	1.6E-04	6.8E-05	8.4E-05	1.2E+07	4.2E-04	6.7E-04
	50 cm	14 保護工補修作業	3.4E-01	1.6E-01	1.9E-01	5.3E+03	9.5E-01	1.5E+00
		15 跡地利用者外部(子ども)	5.5E-06	3.8E-05	3.2E-05	3.1E+07	1.6E-04	2.6E-04
		16 周辺居住者外部(子ども)50m	1.0E-05	3.4E-06	4.6E-06	2.2E+08	2.3E-05	3.7E-05
ケース3	10 cm	14 保護工補修作業	2.0E-01	8.9E-02	1.1E-01	9.2E+03	5.4E-01	8.7E-01
		15 跡地利用者外部(子ども)	7.7E-04	6.9E-03	5.9E-03	1.7E+05	2.9E-02	4.7E-02
		16 —	—	—	—	—	—	—
	30 cm	14 保護工補修作業	2.0E-01	8.9E-02	1.1E-01	9.2E+03	5.4E-01	8.7E-01
		15 跡地利用者外部(子ども)	4.4E-05	4.1E-04	3.5E-04	2.9E+06	1.7E-03	2.8E-03
		16 —	—	—	—	—	—	—
	50 cm	14 保護工補修作業	2.0E-01	8.9E-02	1.1E-01	9.2E+03	5.4E-01	8.7E-01
		15 跡地利用者外部(子ども)	2.8E-06	2.1E-05	1.8E-05	5.5E+07	9.0E-05	1.4E-04
		16 —	—	—	—	—	—	—

ケース1：中間覆土に再生資材を用いたケース

ケース2：最終覆土に再生資材を用いたケース

ケース3：土堰堤に再生資材を用いたケース

表 12 評価結果（地下水移行）

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)	5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)			
ケース1	17	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.9E-04
	18	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.4E-06	5.4E-06	1.9E+08	2.7E-05	4.3E-05
	19	地下水利用農耕作業外部	9.2E-07	4.4E-05	3.7E-05	2.7E+07	1.8E-04	2.9E-04
	20	地下水利用農耕作業吸入	4.5E-11	4.2E-09	3.5E-09	2.9E+11	1.7E-08	2.8E-08
	21	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	1.0E-04	8.7E-05	1.2E+07	4.3E-04	6.9E-04
	22	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	4.3E-05	3.6E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.8E-04
	23	飼料経由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	1.0E-04	8.3E-05	1.2E+07	4.2E-04	6.7E-04
	24	飼料経由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.3E-05	4.4E-05	2.3E+07	2.2E-04	3.5E-04
	25	飼育水経由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.9E-06	5.0E-06	2.0E+08	2.5E-05	4.0E-05
	26	飼育水経由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	4.0E+08	1.3E-05	2.0E-05
	27	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.0E-05	4.9E+07	1.0E-04	1.6E-04
	28	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.1E-05	8.9E-06	1.1E+08	4.4E-05	7.1E-05
ケース2	17	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.1E-05	3.4E-05	2.9E+07	1.7E-04	2.8E-04
	18	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.2E-06	5.2E-06	1.9E+08	2.6E-05	4.2E-05
	19	地下水利用農耕作業外部	9.1E-07	4.3E-05	3.5E-05	2.8E+07	1.8E-04	2.8E-04
	20	地下水利用農耕作業吸入	4.5E-11	4.0E-09	3.3E-09	3.0E+11	1.7E-08	2.7E-08
	21	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	1.0E-04	8.3E-05	1.2E+07	4.1E-04	6.6E-04
	22	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	4.1E-05	3.4E-05	2.9E+07	1.7E-04	2.7E-04
	23	飼料経由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	9.7E-05	8.1E-05	1.2E+07	4.0E-04	6.4E-04
	24	飼料経由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	5.1E-05	4.2E-05	2.4E+07	2.1E-04	3.4E-04
	25	飼育水経由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.7E-06	4.8E-06	2.1E+08	2.4E-05	3.9E-05
	26	飼育水経由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	2.9E-06	2.5E-06	4.1E+08	1.2E-05	2.0E-05
	27	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.3E-05	2.0E-05	5.1E+07	9.9E-05	1.6E-04
	28	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.0E-05	8.6E-06	1.2E+08	4.3E-05	6.9E-05
ケース3	17	飲料水摂取(成人)	4.3E-06	4.2E-05	3.5E-05	2.9E+07	1.8E-04	2.8E-04
	18	飲料水摂取(子ども)	5.9E-07	6.3E-06	5.3E-06	1.9E+08	2.6E-05	4.2E-05
	19	地下水利用農耕作業外部	9.2E-07	3.7E-05	3.1E-05	3.3E+07	1.5E-04	2.4E-04
	20	地下水利用農耕作業吸入	4.5E-11	3.5E-09	2.9E-09	3.5E+11	1.4E-08	2.3E-08
	21	地下水利用農作物摂取(成人)	3.1E-06	8.9E-05	7.4E-05	1.4E+07	3.7E-04	5.9E-04
	22	地下水利用農作物摂取(子ども)	1.1E-06	3.6E-05	3.0E-05	3.3E+07	1.5E-04	2.4E-04
	23	飼料経由畜産物摂取(成人)	4.1E-06	8.5E-05	7.1E-05	1.4E+07	3.5E-04	5.7E-04
	24	飼料経由畜産物摂取(子ども)	2.0E-06	4.5E-05	3.7E-05	2.7E+07	1.9E-04	3.0E-04
	25	飼育水経由畜産物摂取(成人)	6.0E-07	5.8E-06	4.9E-06	2.0E+08	2.5E-05	3.9E-05
	26	飼育水経由畜産物摂取(子ども)	2.8E-07	3.0E-06	2.5E-06	4.0E+08	1.2E-05	2.0E-05
	27	養殖淡水産物摂取(成人)	2.5E-06	2.4E-05	2.0E-05	5.0E+07	1.0E-04	1.6E-04
	28	養殖淡水産物摂取(子ども)	9.7E-07	1.0E-05	8.7E-06	1.1E+08	4.4E-05	7.0E-05

ケース1：中間覆土に再生資材を用いたケース

ケース2：最終覆土に再生資材を用いたケース

ケース3：土堰堤に再生資材を用いたケース

各ケースの決定経路および 1mSv/y 相当濃度を表 13 に示す。

表 13 決定経路および 1mSv/y 相当濃度

ケース	保護工厚さ	決定経路		1mSv/y相当濃度 (Bq/kg)
1	10cm	6	敷き均し・締固め作業、外部	13,000
	30cm	6	敷き均し・締固め作業、外部	13,000
	50cm	6	敷き均し・締固め作業、外部	13,000
2	10cm	14	保護工補修作業、外部	5,300
	30cm	14	保護工補修作業、外部	5,300
	50cm	14	保護工補修作業、外部	5,300
3	10cm	6	敷き均し・締固め作業、外部	8,100
	30cm	6	敷き均し・締固め作業、外部	8,100
	50cm	6	敷き均し・締固め作業、外部	8,100

ケース1: 中間覆土に再生資材を用いたケース

ケース2: 最終覆土に再生資材を用いたケース

ケース3: 土堰堤に再生資材を用いたケース

参考文献

- (1) 武田聖司、菅野光大、佐々木利久、水無瀬直史、木村英雄、「ウラン及び TRU 核種を含む放射性廃棄物に対するクリアランスレベル評価コードシステム PASCLR 第 2 版の開発」、JAEA-Data/Code 2006-003、平成 18 年 2 月
- (2) Yukio SAKAMOTO and Shun-ichi TANAKA. “QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised Versions of QAD-CGGP AND G33-GP”. JAERI-M90-110(1990)
- (3) X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987
- (4) 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」、平成 22 年 5 月
- (5) 宮城県、産業廃棄物処理施設等の立地等に関する基準、制定 平成 2 年 4 月 1 日、改正 平成 27 年 2 月 9 日
- (6) 千葉県環境生活部廃棄物指導課、廃棄物処理施設の設置及び維持管理に関する指導要綱集、平成 28 年 3 月 15 日
- (7) 日本原子力研究開発機構安全研究センター、災害廃棄物等の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理、災害廃棄物安全評価検討会（第 9 回）資料 11-2、平成 23 年 11 月 15 日
- (8) 原子力安全委員会、「原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性廃棄物として取り扱う必要のないものの放射能濃度について」、平成 16 年 12 月 16 日、平成 17 年 3 月 17 日一部訂正及び修正
- (9) 文部科学省科学技術・学術政策局放射線安全規制検討会、「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルについて」、平成 22 年 11 月 1 日、平成 24 年 3 月 27 日一部訂正

土砂やアスファルト等で被覆された盛土（例：道路・鉄道盛土等）への
再生資材の利用に係る線量評価について（災害時）

平成 28 年 6 月 10 日
日本原子力研究開発機構

本資料は、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（第 4 回）（平成 28 年 6 月 7 日）資料 4「追加被ばく線量評価について」の算出評価資料である。

再生資材を道路・鉄道の盛土材に利用したときの災害時における作業員や周辺住民に与える線量を評価するため、再生資材に含まれる Cs-134、Cs-137、全 Cs（＝Cs-134＋Cs-137）について、単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量を計算した。

自然災害（地震、津波、火災、暴風・竜巻、異常降雨（豪雨））のうち、道路・鉄道の盛土に変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害として、地震および異常降雨（豪雨）を選定した（表 1）。

表 1 道路・鉄道の盛土に対し変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害の検討

自然災害	検討結果	評価の必要性
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	○
津波	津波が到達しない内陸部に建設されるとし、評価対象から除外	×
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、評価対象から除外	×
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、評価対象から除外	×
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	○

地震および異常降雨（豪雨）に対する検討結果を、以下に示す。

（１）評価経路

評価経路の選定にあたって、まず既往の文献⁽¹⁾に基づき、盛土の変状・崩壊の原因とその具体的な現象について整理した。次に、整理した現象をいくつかの破損形態に分類し、各破損形態に対して線量評価の観点から評価すべき被ばく経路を選定した。なお災害事例に対する調査の結果、地震および異常降雨（豪雨）による盛土の大規模な破損は通常起こる可能性が低いと想定された（参考資料 1）。本評価では、大規模な災害によって仮に盛土破損が生じたと仮定して、その場合の被ばく線量を評価し、災害時における安全性について検討することとした。

盛土の変状・崩壊の原因と現象を整理した結果を、表 2 に示す。

表 2 盛土の変状・崩壊の原因と現象の整理

盛土の変状・崩壊の原因	盛土の変状・崩壊現象
A 盛土の自重による変状・崩壊	A1: 軟弱層上での円弧すべり・沈下変形 A2: 施工中間隙水圧の上昇による法面のはらみ出し・崩壊 A3: 地すべり地帯での大崩壊 A4: 供用後の時間経過に伴う沈下・変形
B 異常降雨等による変状・崩壊	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 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 B5: 押さえ擁壁変状に伴う沈下・流出 B6: 土石流による法面崩壊
C 地山からの地下水浸透による変状・崩壊	C1: 間隙水圧作用による崩壊
D 地震による変状・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 D3: 基礎地盤の液状化による崩壊 D4: 表層すべり・腹付盛土の変形 D5: 盛土・基礎地盤のゆすり込み沈下

表 2 に示した盛土の変状・崩壊現象を、以下に示す 4 つの破損形態（Ⅰ．すべり崩壊、Ⅱ．法面崩壊、Ⅲ．分断崩壊、Ⅳ．沈下）に大別した。各破損形態に対して評価経路を整理した結果を、以下に示す。

Ⅰ．すべり崩壊【盛土の変状・崩壊現象：A1, A3, B3, B4, B6, C1, D1, D2】（図 1 参照）



図 1 盛土すべり崩壊の概念図

円弧すべりによって盛土が大規模に崩落する。すべり崩壊が起こった場合、露呈した盛土および崩壊した盛土からの被ばくが想定される。被ばくシナリオとしては、復旧作業（盛土施工作業、崩壊土回収作業）の被ばく（外部・内部（粉塵吸入および直接経口）、および、周辺居住者の被ばく（外部）を想定する。

表 3 評価経路（盛土すべり崩壊）

No	評価対象	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	作業員	外部
2				粉塵吸入
3				直接経口
4	周辺居住		公衆（子ども）	外部

II. 法面崩壊【盛土の変状・崩壊現象：B1, B2, D4】（図 2 参照）

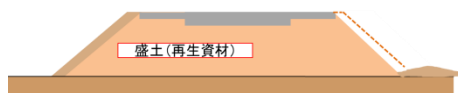


図 2 法面崩壊の概念図

盛土法面の表層が流出し、崩落が起こる。表層にある保護工のみが崩壊した場合、露呈した盛土からの被ばくが想定される。被ばくシナリオとしては、復旧作業（保護工施工作業）の被ばく（外部）、および、周辺居住者の被ばく（外部）を想定する。ここで、作業員については内部被ばくも想定されるが、これについてはⅠ．盛土すべり崩壊で評価するため、評価対象から除外する（以下同様）。

表 4 評価経路（法面崩壊）

No	評価対象	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	作業員	外部
2	周辺居住		公衆（子ども）	外部

III. 分断崩壊【盛土の変状・崩壊現象：D3】（図 3 参照）

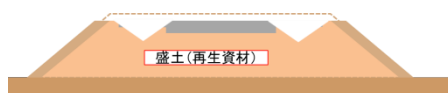


図 3 盛土分断崩壊の概念図

基礎地盤の液状化等によって盛土が沈下した場合、沈下量が大きいと盛土の形状が保てずに全体的に分断しながら崩壊が起こる。破損が大きい盛土天端部に対しては、道路・鉄道の路面を撤去・整地した上で、路面の再施工が行われる可能性がある。この場合、露呈した盛土（天端部）からの被ばくが想定される。被ばくシナリオとしては、復旧作業（保護工施工作業）の被ばく（外部）、および、周辺居住者の被ばく（外部）を想定する。

また、分断崩壊によって盛土土壌の品質が盛土全体にわたって損なわれた場合、分断崩壊が起こった位置にある盛土を全て撤去し、大量の回収土を仮置場等に一時保管する可能性がある。被ばくシナリオとしては、仮置きされている回収土を取り扱う作業員の被ばく（外部）、および、周辺居住者の被ばく（外部）を想定する。

表 5 評価経路（盛土分断崩壊）

No	評価対象	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	作業員	外部
2	周辺居住		公衆（子ども）	外部
3	回収土周辺作業	回収土	作業員	外部
4	周辺居住		公衆（子ども）	外部

IV. 沈下【盛土の変状・崩壊現象：A2, A4, B5, D5】（図 4 参照）

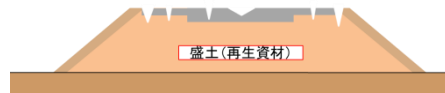


図 4 盛土沈下の概念図

基礎地盤の液状化等によって、Ⅲ. 盛土分断崩壊には至らないものの、路面のひび割れ等が発生する可能性がある。この場合、内部にある盛土が露出する可能性は低い。また、路面の損傷箇所のみが再施工されると想定されることから、遮へい機能は維持されると考えられる。

よって、IV. 盛土沈下は評価対象から除外した。

（２）評価概要

●共通

- ・ Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とする。
→再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・ 全ての経路について、評価（事象発生）時期は保守的に 0 年からとする。
- ・ 評価は、代表的に道路盛土（保護工厚さ：10cm（ケース 2））に対して実施する。
- ・ 文献調査の結果、仮復旧・応急復旧に要する期間は約 2 日^②～3 ヶ月^③であった。その内の最大期間として、本評価では復旧期間を 3 ヶ月とした。

●Ⅰ. すべり崩壊（経路 No.1（復旧作業者）、No.4（周辺居住者））（図 5 参照）

- ・ 道路盛土の崩壊事例に関する既往研究^④より、すべり崩壊後の崩壊面勾配は 1:2.1 と設定した。崩壊は、盛土底面端から天端にかけて起きると想定した。
- ・ 崩壊した土砂は回収され、耐候性大型土のう袋に収納後仮置きされると想定した。回収土と周辺居住者との距離には規定がないことから、本評価では盛土から 10m 離れた位置に回収土が保管されると仮定した。

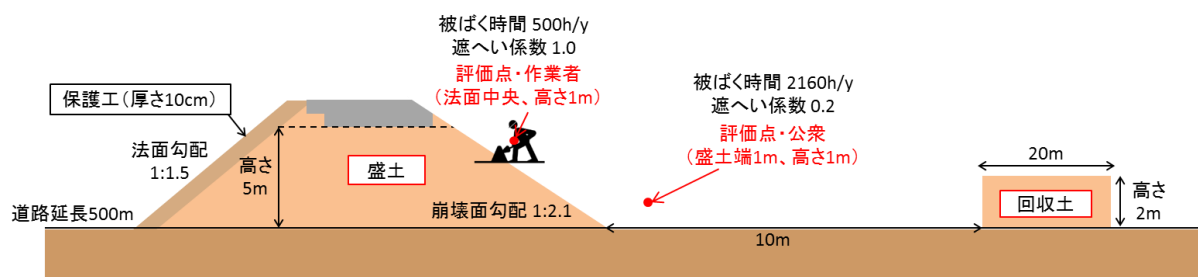


図 5 評価体系（Ⅰ. すべり崩壊）

●Ⅱ．法面崩壊（経路 No.1（復旧作業者）、No.2（周辺居住者））（図 6 参照）

- ・保守的に保護工のみが崩壊したと想定し、崩壊面の勾配を 1:1.5 とした。
- ・崩壊した土砂（保護工）は線源ではないため、回収土からの被ばくは評価しない。

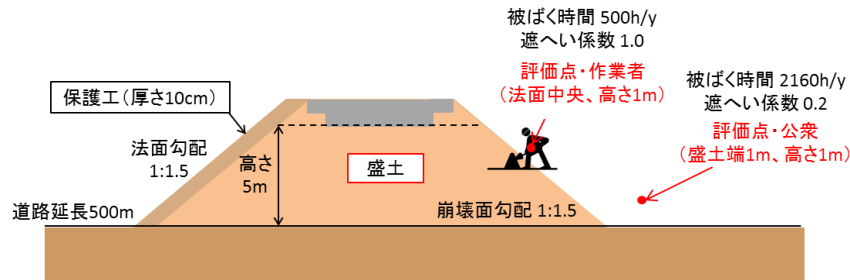


図 6 評価体系（Ⅱ．法面崩壊）

●Ⅲ．分断崩壊（図 7、8 参照）

- ・経路 No.1（復旧作業者）、No.2（周辺居住者）

保守的に分断崩壊によって損傷した道路が全面剥される場合を想定し、盛土上面が全て露呈していると仮定する。このとき、崩壊した道路部分の多くは線源ではないため、回収土からの被ばくは評価しない。

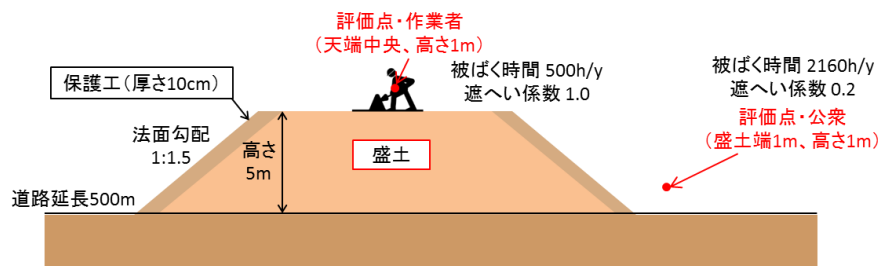


図 7 評価体系（Ⅲ．分断崩壊（分断崩壊した盛土からの被ばく））

- ・経路 No.3（回収土周辺作業者）、No.4（周辺居住者）

事例調査の結果⁵⁾による分断崩壊の最大延長は約 400m であった。そこで、保守的に建設時と同じ延長 500m の盛土が分断崩壊による影響で全て撤去され、耐候性大型土のう袋に収納後仮置き場に保管されると想定した。回収土と周辺居住者との距離には規定がないことから、本評価では居住者から 10m 離れた位置に回収土が保管されると仮定した。



図 8 評価体系（Ⅲ．分断崩壊（回収土からの被ばく））

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 6～8 および別表 1 に示す。

表 6 再生資材の道路・鉄道盛土への利用（災害時：I. すべり崩壊）
に係る評価経路パラメータ（1 / 2）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-4	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1 年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1 年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-4	線源に対する希釈係数		—	1	保守的に 1 と設定する。
1-4	崩壊土かさ密度		g/cm ³	1.7	締め固められていない状態（運搬時）と同じとした。
1	年間作業時間		h/y	500	復旧期間 3 ヶ月のうち、1 日 8 時間・60 日の労働時間を、当該作業に従事すると 480h/y となる。この結果から 500h/y と設定した。
1 一般道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (復旧作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.3E-01	以下の条件で、崩壊した盛土からの被ばくおよび回収土からの被ばくを算出し、それらを足し合わせた。 ●崩壊した盛土からの被ばく ・線源の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 7.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 法面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.7g/cm ³ ） ・評価点：法面中央から高さ 1m ・評価コード：MCNP5 ●回収土からの被ばく ・線源の形状：直方体 高さ 2m、幅 20m、長さ 20m （耐候性大型土のう袋（ ϕ 1m×H1m）2 段積みで保管されると想定） ・線源のかさ密度：1.7 g/cm ³ ・評価点：図 5 に示す位置（作業者） ・評価コード：QAD-CGGP2R
		Cs-137		8.1E-02	
1 高速道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (復旧作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.3E-01	以下の条件で、崩壊した盛土からの被ばくおよび回収土からの被ばくを算出し、それらを足し合わせた。 ●崩壊した盛土からの被ばく ・線源の形状：放光体 高さ 5m、底面 40.3m×500m、上面 22.3m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 法面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.7g/cm ³ ） ・評価点：法面中央から高さ 1m ・評価コード：MCNP5 ●回収土からの被ばく ・線源の形状：直方体 高さ 2m、幅 20m、長さ 20m （耐候性大型土のう袋（ ϕ 1m×H1m）2 段積みで保管されると想定） ・線源のかさ密度：1.7 g/cm ³ ・評価点：図 5 に示す位置（作業者） ・評価コード：QAD-CGGP2R
		Cs-137		8.1E-02	
1	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。
2	作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値 20L/min を基に算定した。
2	作業時の空气中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空气中ダスト濃度を採用した。
2	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。

表 6 再生資材の道路・鉄道盛土への利用（災害時：I. すべり崩壊）
に係る評価経路パラメータ（2/2）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
3	微粒子への放射性物質の濃縮係数（経口摂取）		—	2	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。
3	ダストの経口摂取率		g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1 に示された値を用いた。
4	年間居住時間		h/y	2,160	復旧期間 3 ヶ月の間に被ばくが生じるとした。
4 一般道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (周辺居住、 子ども)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	1.4E-01	以下の条件で、崩壊した盛土からの被ばくおよび回収土からの被ばくを算出し、それらを足し合わせた。 ●崩壊した盛土からの被ばく ・線源の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 7.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 法面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.7g/cm ³ ） ・評価点：盛土下端から 1m、高さ 1m ・評価コード：MCNP5 ●回収土からの被ばく ・線源の形状：直方体 高さ 2m、幅 20m、長さ 20m （耐候性大型土のう袋（φ1m×H1m）2 段積みで保管されると想定） ・線源のかさ密度：1.7 g/cm ³ ・評価点：図 5 に示す位置（周辺居住者） ・評価コード：QAD-CGGP2R
		Cs-137		4.9E-02	
4 高速道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (周辺居住、 子ども)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	1.4E-01	以下の条件で、崩壊した盛土からの被ばくおよび回収土からの被ばくを算出し、それらを足し合わせた。 ●崩壊した盛土からの被ばく ・線源の形状：放光体 高さ 5m、底面 40.3m×500m、上面 22.3m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 法面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.7g/cm ³ ） ・評価点：盛土下端から 1m、高さ 1m ・評価コード：MCNP5 ●回収土からの被ばく ・線源の形状：直方体 高さ 2m、幅 20m、長さ 20m （耐候性大型土のう袋（φ1m×H1m）2 段積みで保管されると想定） ・線源のかさ密度：1.7 g/cm ³ ・評価点：図 5 に示す位置（周辺居住者） ・評価コード：QAD-CGGP2R
		Cs-137		4.9E-02	
4	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の 20%を戸外で過ごすとは定した。

表7 再生資材の道路・鉄道盛土への利用（災害時：Ⅱ．法面崩壊）に係る評価経路パラメータ

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-2	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-2	線源に対する希釈係数		—	1	保守的に1と設定する。
1	年間作業時間		h/y	500	復旧期間3ヶ月のうち、1日8時間・60日の労働時間を、当該作業に従事すると480h/yとなる。この結果から500h/yと設定した。
1 一般道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (復旧作業)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.1E-01	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ5m、底面25.8m×500m、上面10.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 崩壊していない法面上面に厚さ10cmの客土(密度1.7g/cm ³)（※崩壊している法面は覆土なし） ・評価点：法面中央から高さ1m
		Cs-137		7.6E-02	
1 高速道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (復旧作業)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.2E-01	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ5m、底面40.3m×500m、上面25.3m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 崩壊していない法面上面に厚さ10cmの客土(密度1.7g/cm ³)（※崩壊している法面は覆土なし） ・評価点：法面中央から高さ1m
		Cs-137		7.7E-02	
1	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に1.0と設定した。
2	年間居住時間		h/y	2,160	復旧期間3ヶ月の間に被ばくが生じるとした。
2 一般道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (周辺居住、 子ども)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	1.1E-01	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ5m、底面25.8m×500m、上面10.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 崩壊していない法面上面に厚さ10cmの客土(密度1.7g/cm ³)（※崩壊している法面は覆土なし） ・評価点：盛土下端から1m、高さ1m
		Cs-137		4.0E-02	
2 高速道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (周辺居住、 子ども)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	1.1E-01	以下の条件で、MCNP5コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ5m、底面40.3m×500m、上面25.3m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 崩壊していない法面上面に厚さ10cmの客土(密度1.7g/cm ³)（※崩壊している法面は覆土なし） ・評価点：盛土下端から1m、高さ1m
		Cs-137		4.0E-02	
2	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の20%を戸外で過ごすとして仮定した。

表 8 再生資材の道路・鉄道盛土への利用（災害時：Ⅲ．分断崩壊）に係る
評価経路パラメータ（1／2）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-4	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-4	線源に対する希釈係数		—	1	保守的に 1 と設定する。
1-4	崩壊土かさ密度		g/cm ³	1.7	締め固められていない状態（運搬時）と同じとした。
1,3	年間作業時間		h/y	500	復旧期間 3 ヶ月のうち、1 日 8 時間・60 日の労働時間を、当該作業に従事すると 480h/y となる。この結果から 500h/y と設定した。
1 一般道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (復旧作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.3E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 10.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 法面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.7g/cm ³ ） ・評価点：盛土上面中央から高さ 1m
		Cs-137		1.2E-01	
1 高速道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (復旧作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.6E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ 5m、底面 40.3m×500m、上面 25.3m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 法面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.7g/cm ³ ） ・評価点：盛土上面中央から高さ 1m
		Cs-137		1.3E-01	
1,3	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。
2,4	年間居住時間		h/y	2,160	復旧期間 3 ヶ月の間に被ばくが生じるとした。
2 一般道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (周辺居住、 子ども)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.1E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ 5m、底面 25.8m×500m、上面 10.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 法面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.7g/cm ³ ） ・評価点：盛土下端から 1m、高さ 1m
		Cs-137		1.1E-02	
2 高速道路 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (周辺居住、 子ども)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	3.1E-02	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ 5m、底面 40.3m×500m、上面 25.3m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆土： 法面上面に厚さ 10cm の客土（密度 1.7g/cm ³ ） ・評価点：盛土下端から 1m、高さ 1m
		Cs-137		1.1E-02	
2,4	居住時の遮へい係数		—	0.2	IAEA-TECDOC-401 から、居住時間の 20%を戸外で過ごすとして仮定した。

表 8 再生資材の道路・鉄道盛土への利用（災害時：Ⅲ．分断崩壊）に係る
評価経路パラメータ（2／2）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
3	外部被ばく に対する線 量換算係数 (復旧作業)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	2.2E-01	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 ・線源の形状：直方体 高さ 2m、幅 100m、長さ 100m （一般道路及び高速道路（延長 500m）の盛土全量を耐侯性大型土のう袋（ $\phi 1\text{m} \times \text{H}1\text{m}$ ）2 段積みで保管したときの寸法は上記体積より大きい、ここでは QAD-CGGP2R コードで十分線量が収束する大きさとした） ・線源のかさ密度： 1.7 g/cm^3 ・評価点：回収土から 1m、高さ 1m
		Cs-137		8.2E-02	
4	外部被ばく に対する線 量換算係数 (周辺居住、子ども)	Cs-134	$\mu\text{ Sv/h}$ per Bq/g	3.6E-02	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 ・線源の形状：直方体 高さ 2m、幅 100m、長さ 100m （一般道路及び高速道路（延長 500m）の盛土全量を耐侯性大型土のう袋（ $\phi 1\text{m} \times \text{H}1\text{m}$ ）2 段積みで保管したときの寸法は上記体積より大きい、ここでは QAD-CGGP2R コードで十分線量が収束する大きさとした） ・線源のかさ密度： 1.7 g/cm^3 ・評価点：回収土から 10m、高さ 1m
		Cs-137		1.3E-02	

別表 1 再生資材の道路・鉄道盛土への利用（災害時：Ⅰ．すべり崩壊）
に係る評価経路パラメータ（内部被ばく線量係数）

核種	内部被ばく線量係数(Sv/Bq)	
	作業者(ICRP Publ.68)	
	吸入	経口
Cs-134	9.6E-09	1.9E-08
Cs-137	6.7E-09	1.3E-08

(4) 放射性物質による影響の評価結果

表9～11に、各評価経路のCs-134、Cs-137および全Cs(=Cs-134+Cs-137)の単位濃度(1 Bq/g)あたりの影響を評価した結果を示す。また、5,000Bq/kgと8,000Bq/kgの再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

評価の結果、8,000Bq/kgの再生資材を使用した場合の年間被ばく線量でも最大で0.64mSv/yであり、濃度レベル算出のための線量のめやす値1mSv/yを下回った。

表9 評価結果(道路・鉄道盛土(災害時：Ⅰ. すべり崩壊))

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)		
一般道路	1	すべり崩壊復旧作業員外部	9.8E-02	4.0E-02	5.0E-02	2.5E-01	4.0E-01
	2	すべり崩壊復旧作業員粉塵吸引	9.8E-06	7.9E-06	8.3E-06	4.1E-05	6.6E-05
	3	すべり崩壊復旧作業員経口摂取	1.6E-04	1.3E-04	1.3E-04	6.7E-04	1.1E-03
	4	すべり崩壊現場周辺居住者(子ども)外部	5.0E-02	2.1E-02	2.6E-02	1.3E-01	2.1E-01
高速道路	1	すべり崩壊復旧作業員外部	9.8E-02	4.0E-02	5.0E-02	2.5E-01	4.0E-01
	2	すべり崩壊復旧作業員粉塵吸引	9.8E-06	7.9E-06	8.3E-06	4.1E-05	6.6E-05
	3	すべり崩壊復旧作業員経口摂取	1.6E-04	1.3E-04	1.3E-04	6.7E-04	1.1E-03
	4	すべり崩壊現場周辺居住者(子ども)外部	5.1E-02	2.1E-02	2.6E-02	1.3E-01	2.1E-01

表10 評価結果(道路・鉄道盛土(災害時：Ⅱ. 法面崩壊))

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)		
一般道路	1	法面崩壊復旧作業員外部	8.9E-02	3.8E-02	4.6E-02	2.3E-01	3.7E-01
	2	法面崩壊現場周辺居住者(子ども)外部	4.1E-02	1.7E-02	2.1E-02	1.1E-01	1.7E-01
高速道路	1	法面崩壊復旧作業員外部	9.3E-02	3.8E-02	4.8E-02	2.4E-01	3.8E-01
	2	法面崩壊現場周辺居住者(子ども)外部	4.1E-02	1.7E-02	2.1E-02	1.1E-01	1.7E-01

表11 評価結果(道路・鉄道盛土(災害時：Ⅲ. 分断崩壊))

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)		
一般道路	1	分断崩壊復旧作業員外部	1.4E-01	5.9E-02	7.3E-02	3.7E-01	5.9E-01
	2	分断崩壊現場周辺居住者(子ども)外部	1.1E-02	4.6E-03	5.8E-03	2.9E-02	4.6E-02
	3	回収土周辺作業員外部	9.3E-02	4.1E-02	5.0E-02	2.5E-01	4.0E-01
	4	回収土周辺居住者(子ども)外部	1.3E-02	5.6E-03	6.9E-03	3.5E-02	5.5E-02
高速道路	1	分断崩壊復旧作業員外部	1.5E-01	6.4E-02	8.0E-02	4.0E-01	6.4E-01
	2	分断崩壊現場周辺居住者(子ども)外部	1.1E-02	4.8E-03	6.0E-03	3.0E-02	4.8E-02
	3	回収土周辺作業員外部	9.3E-02	4.1E-02	5.0E-02	2.5E-01	4.0E-01
	4	回収土周辺居住者(子ども)外部	1.3E-02	5.6E-03	6.9E-03	3.5E-02	5.5E-02

参考文献

- (1) 国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所、「道路法面維持管理のためのハンドブックー長期性能劣化を考慮した法面管理ー」、平成 21 年 10 月
- (2) 久保哲也、横田善弘、辻慎一郎、「能登半島地震による道路盛土の被災状況調査と復旧」、ジオシンセティックス論文集 Vol. 22(2007) P199-206
- (3) 中日本高速道路株式会社東京支社、「東名高速道路牧之原地区地震災害の対応について」、道路行政セミナー 2009. 11
- (4) 橋本隆雄、「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」、土木学会論文集 A1, Vol.65, No.1, 2009
- (5) 西川純一、高橋光昭、山下彰司、「1993 年北海道南西沖地震における道路・鉄道・河川堤防の被害」、土木研究所 報文-2283, 1993

(参考資料1) 道路・鉄道盛土の災害事例に対する文献調査

道路・鉄道盛土に破損をもたらす可能性のある自然事象として、地震、異常降雨（豪雨）の2つを対象に、災害事例に対する文献調査を実施した。調査は、土木学会、地盤工学会、応用地質学会、土木研究所等の土質構造物などを専門とする学会、および、日本道路公団、土木建築会社等の刊行物に対して行った。

表12に調査した文献一覧を示す。

表12 道路・鉄道盛土の災害事例に対する調査文献一覧（1／3）

No.	資料名	資料発行年月日	資料元
1	東北地方太平洋沖地震における高速道路の被害および復旧状況について	2012年3月16日	地盤工学ジャーナル
2	東北地方太平洋沖地震による被害調査報告：地域別編 宮城県内陸 一仙台市内の造成宅地を中心に一	2012年3月12日	地盤工学ジャーナル
3	東北地方太平洋沖地震被害調査報告一宮城県北部一	2012年2月27日	地盤工学ジャーナル
4	被災調査支援システムの開発と利用	2009年4月23日	地盤工学ジャーナル
5	東北地方太平洋沖地震における鉄道の被災状況およびその復旧について	2012年2月13日	地盤工学ジャーナル
6	能登半島地震による能登有料道路の被災と復旧一盛土の被害と対策工事について一	2009年10月1日	地盤工学ジャーナル
7	東日本大震災における在来線盛土崩壊の復旧工事	平成23年度 平成24年3月3日	土木学会、支部論文集
8	道路盛土の崩壊と復旧対策の1例	1975年	土木学会、支部論文集
9	ジオテキスタイル補強土擁壁によるJR上越線の新潟中越地震復旧	平成17年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
10	高山本線土石流災害の復旧工事概要と発生要因分析	平成12年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
11	三陸はるか沖地震による鉄道盛土被害と復旧対策	平成7年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
12	新潟・福島豪雨に伴う鉄道構造物の被害と復旧	平成17年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
13	新潟県中越地震に伴う在来線構造物間の被害と復旧	平成18年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
14	新潟県中越地震に伴う上越線の盛土の被災とRRR工法による復旧	平成18年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
15	盛土崩壊箇所復旧に伴う軌道工事の施工について	平成24年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
16	盛土崩壊発生メカニズムと復旧計画について	平成24年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
17	台風15号による盛土崩壊箇所の復旧工事について	平成24年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
18	台風15号に伴う身延線芝川・稲子間19k付近斜面崩壊箇所の復旧について	平成24年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
19	飯山線足滝・越後田中間盛土崩壊による災害応急復旧	平成19年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
20	補強盛土と人工芝を組み合わせた震災のり面復旧	平成8年9月	土木学会、土木学会委員会論文集
21	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	2009年6月28日	土木学会、土木学会論文集
22	2011年東北地方太平洋沖地震による館ニュータウン大規模盛土滑動崩落被害の原因分析	2013年2月23日	土木学会、土木学会論文集
23	道路土工における災害復旧の今後の課題	2011年9月9日	土木研究所、つくば中央土木研究所
24	1993.1.15釧路沖地震における道路被害について一一般国道38号白糠町馬主来地区盛土崩壊の復旧対策工一	平成5年度 1994年2月1日	土木研究所、寒地土木研究所
25	H18.10月の低気圧災害における防災体制と応急対策について一一般国道333号北見市北陽の被災状況と復旧について一	平成18年度 2007年2月21日	土木研究所、寒地土木研究所
26	一般国道230号 中山峠災害の最速復旧法一早期開通への険しい道のり一	平成24年度 2013年2月21日	土木研究所、寒地土木研究所
27	一般国道276号 道路盛土崩壊の災害復旧対応について一一日も早い復旧を目指して一	平成23年度 2012年2月23日	土木研究所、寒地土木研究所
28	道路の盛土法面崩壊に対する検討について	昭和60年度 1986年8月1日	土木研究所、寒地土木研究所
29	【緊急報告】東名復旧までの115時間一NEXCO中日本	2009年8月	NEXCO
30	東名高速道路牧之原地区地震災害の対応について	2009年11月	NEXCO

表 12 道路・鉄道盛土の災害事例に対する調査文献一覧（2／3）

No.	資料名	資料発行年月日	資料元
31	一般国道 17 号川口町天納(道路崩壊)	平成17年5月	国土技術政策総合研究所
32	土構造物の被害-長岡技術科学大学	平成18年4月	長岡技術科学大学
33	土木構造物の被害	2005年8月	新潟大学
34	平成 25 年 8 月秋田・岩手豪雨・土砂災害緊急調査報告(速報)	2013年9月6日	東北大学災害科学国際研究所
35	2006年7月山陰道豪雨災害(調査・仮復旧)	平成23年9月3日	藤井基礎設計事務所
36	JR 九州豊肥線盛土構造の災害復旧工事の施工管理	2014年度	西松建設技報
37	一般県道飯岡九十九里自転車道線災害復旧工事	平成25年3月11日	千葉県海匠土木事務所
38	災害復旧事例集	2011年	(株)ジオシステム
39	山陽自動車道岩国地区災害復旧工事における取り組み	2008年1月	株式会社大林組広島支店岩国土木工事事務所
40	主要地方道における路面決壊の災害復旧と段階施工	平成26年度 平成26年9月18日	(一社)建設コンサルタンツ協会
41	台風26号に伴う松戸市松戸法崩れについて	平成26年7月	関東地方整備局 千葉国道事務所 柏維持修繕出張所
42	第5章第4節(県管理道路等の復旧)	2007年3月1日	新潟県
43	東日本大震災で被災した常磐線水戸・勝田間盛土のり面災害応急工事	2013年	(一社)日本建設業連合会
44	東日本大震災による地上設備の被害と復旧状況について	2011年4月5日	東日本旅客鉄道㈱
45	能登半島地震による道路盛土の被災状況調査と復旧	2008年11月5日	ジオシンセティックス論文集
46	能登半島地震による能登有料道路の被害と復旧	平成22年5月14日	国土交通省、北陸地方整備局
47	梅雨前線豪雨による国道8号小矢部市安楽寺地先での法面崩壊について	2014年7月31日	富山河川国道事務所
48	平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨に伴う JR 飯山線災害応急工事報告	平成23年11月22日	東日本旅客鉄道㈱
49	平成 26 年の台風 11 号による芦有ドライブウェイの災害通行止めの解除について	平成27年7月3日	芦有ドライブウェイ株式会社
50	法面災害復旧の施工事例	2013年10月30日	三井住建道路株式会社
51	関越自動車道、国道および地方道の被害について紹介	平成16年12月	基礎地盤コンサルタンツ(株)
52	上越線 220k900m 付近および 220km500m 付近(天王トンネル北側)	2004年12月24日	土木学会
53	新潟県中越地震による鉄道盛土の被害とその復旧について	2005年3月	ジオシンセティックス技術情報
54	補強盛土(RRR 工法)によるJR 山口線鉄道盛土の災害復旧工事	2015年度	西松建設技報
55	第8編 道路施設 - 平成16年(2004年)新潟県中越地震土木施設災害調査報告	平成18年1月	国土技術政策総合研究所
56	7.1 道路の被害(1993年北海道南西沖地震震害調査報告)	1997年2月	土木学会
57	地震時の交通機能確保に配慮した道路構造物の技術基準	平成24年3月	国土技術政策総合研究所
58	地震時の道路盛土の被害予測技術	平成18年10月24日	独立行政法人土木研究所耐震研究グループ
59	1993年北海道南西沖地震における道路・鉄道・河川堤防の被害	1993年11月	土木研究所
60	1997年山口県北部地震(M6.1)の震源断層と家屋被害	1999年5月27日	日本応用地質学会

表 12 道路・鉄道盛土の災害事例に対する調査文献一覧（3／3）

No.	資料名	資料発行年月日	資料元
61	伊豆半島沖地震における土木関係被害状況の速報	昭和49年6月24日	日本応用地質学会
62	各種構造物の地震被害と砂質土地盤の構造の関係に関する研究	1993年3月23日	日本応用地質学会
63	事例分析により明らかになった最近の国道斜面災害の特徴と道路斜面管理における留意点	2013年12月5日	日本応用地質学会
64	昭和46年7月18日の集中豪雨による兵庫県西南部の災害について	昭和46年12月	日本応用地質学会
65	兵庫県南部地震による六甲山地東南縁部における地震被害と地形・地盤条件	1995年2月24日	日本応用地質学会
66	北海道支部の活動と今後の展望	平成10年4月	日本応用地質学会

○地震（図 9 参照）

地震による盛土の破損事例は総数 135 件であった。文献発行期間は平成 5 年～25 年の 21 年間である。崩壊パターン別で整理すると、すべり崩壊：72 件、法面崩壊：19 件、分断崩壊、11 件、沈下 33 件であり、事例の約半数がすべり崩壊であった。

今回調査した文献資料内においては崩壊が生じる地震の震度は 5 もしくは 5 強以上、マグニチュードでは約 M6.5 以上の地震で発生し、それより低い震度・マグニチュードでの崩壊事象は確認されなかった。M6.5 という数値は「土木構造物の耐震基準等に関する提言（第三次）」にて、設計において現在から将来にわたり当該区域における最大級の地震動強度（レベル 2 地震動）の設定下限値に該当する。

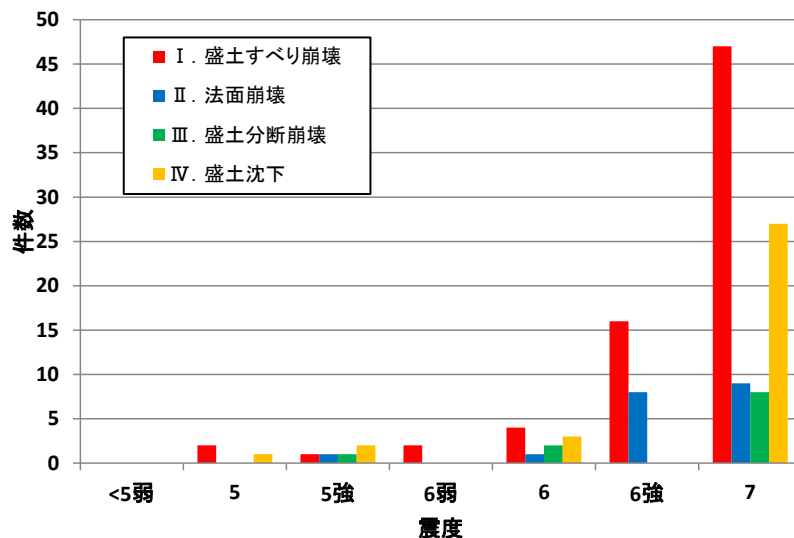


図 9 地震の規模（震度）に対する盛土の破損事例件数

○異常降雨（豪雨）（図 10 参照）

異常降雨（豪雨）による盛土の破損事例は総数 22 件と限定的であった。文献発行期間は昭和 46 年～平成 26 年の 43 年間である（ただし昭和 46 年は 1 件のみであり、それを除けば平成 11 年からの 16 年間である。）。崩壊パターン別で整理すると、すべり崩壊：17 件、法面崩壊：4 件、分断崩壊、0 件、沈下 1 件であり、事例の大多数がすべり崩壊であった。

今回調査した文献資料内においては崩壊が生じる異常降雨の規模としては時間降雨量として 40mm/hr 以上、累積総雨量として 200mm 以上の降雨で発生し、それより低い規模での崩壊事象は確認されなかった。また気象庁が公開する「災害をもたらした気象事例」⁽¹⁾にて平成

元年～27 年の 27 年間についても同様の調査を行った結果、災害をもたらした雨量は時間降雨量として 40mm/hr 以上、累積総雨量として 100mm 以上であった。

ただし、既往の文献⁽²⁾によれば直轄国道における平成 20～23 年度に起きた 115 件の斜面災害（盛土、切土、自然斜面を含む）の内、時間降雨量 20mm/hr、累積 100mm 以下の少雨でも崩壊が発生している事が示されており、一概に災害事象が発生しうる降雨量の条件は設定できないと考えられる。

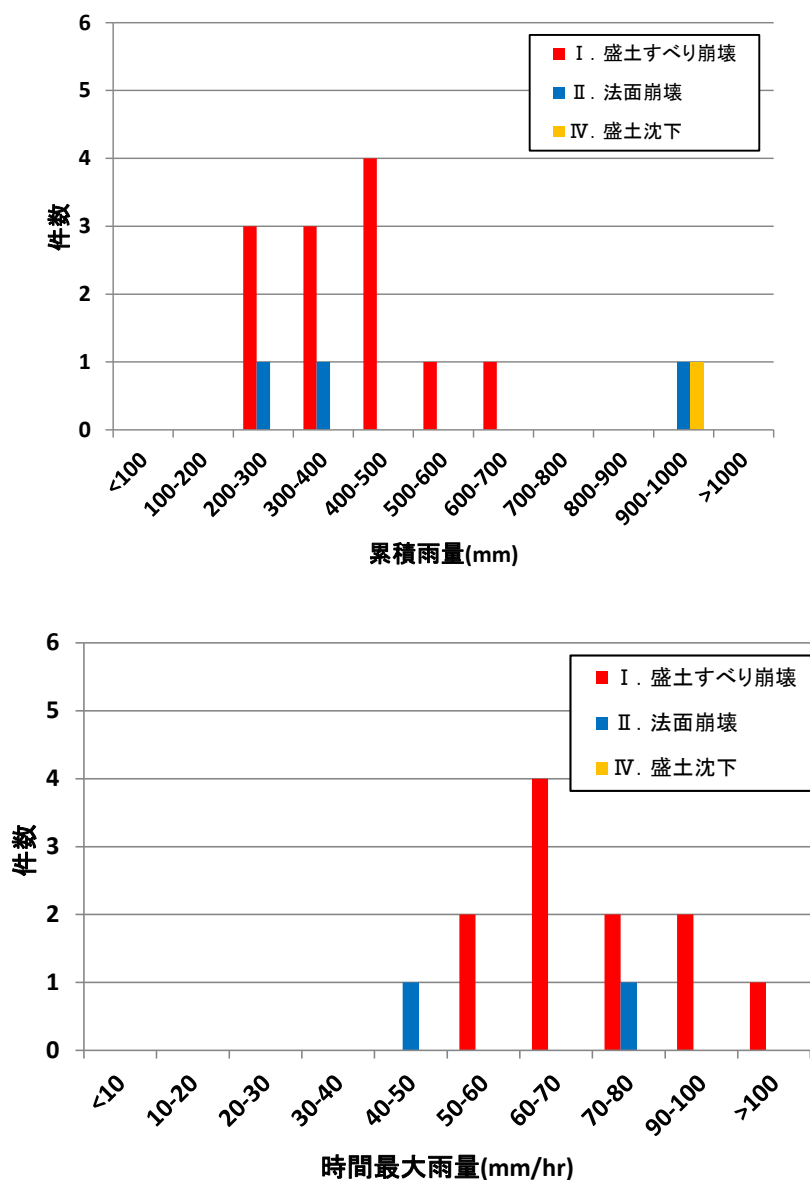


図 10 異常降雨（豪雨）の規模（上：累積雨量、下：時間最大雨量）に対する盛土の破損事例件数

参考文献

- (1) 気象庁ホームページ、「災害をもたらした気象事例」
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>)
- (2) 浅井健一、「道路分野の土砂災害」、地質と調査 2015 年第 3 号（通巻 144 号） P32-35

コンクリート等で被覆された盛土（例：防潮堤等）への再生資材の利用に係る
線量評価について（災害時）

平成 28 年 6 月 10 日
日本原子力研究開発機構

本資料は、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（第 4 回）（平成 28 年 6 月 7 日）資料 4「追加被ばく線量評価について」の算出評価資料である。

再生資材を防潮堤の盛土材に利用したときの災害時における作業員や周辺住民に与える線量を評価するため、再生資材に含まれる Cs-134、Cs-137、全 Cs（＝Cs-134＋Cs-137）について、単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量を計算した。

自然災害（地震、津波、火災、暴風・竜巻、異常降雨（豪雨））のうち、防潮堤の盛土に変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害として、地震および津波を選定した（表 1）。

表 1 防潮堤の盛土に対し変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害の検討

自然災害	検討結果	評価の必要性
地震	地震動による防潮堤の変状・崩壊の可能性が考えられる	○
津波	津波による防潮堤の変状・崩壊	○
火災	車両等の火災が考えられるが、変状・崩壊までは想定されないため、評価対象から除外	×
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、評価対象から除外	×
異常降雨 （豪雨）	本評価では、防潮堤全面に厚さ 50cm のコンクリート被覆が施されると想定しており、豪雨によって防潮堤が変状・崩壊する恐れは考えられないため、評価対象から除外	×

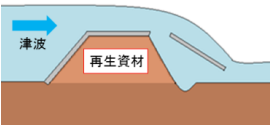
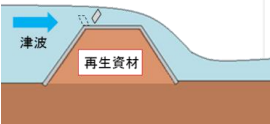
地震および津波に対する検討結果を、以下に示す。

（１）評価経路

評価経路の選定にあたっては、まず災害事例に対する文献調査を行い（参考資料 1）、その結果に基づき地震および津波による防潮堤の破損形態を分類し、災害発生時の復旧方法とともに整理した。次に、整理した各破損形態に対し、線量評価の観点から評価すべき被ばく経路を選定した。

既往の災害事例に基づき防潮堤の破損形態を整理した結果を、表 2 に示す。

表 2 防潮堤の破損形態

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
I 決壊・流出  津波により堤防の一区間が決壊・流出する。	【津波】 東日本大震災(2011) 大船渡市(岩手) : 570m ⁽⁴⁾ 山田町(岩手) : 412m ⁽⁴⁾ 田老海岸(岩手) : 200m ⁽¹⁾ 野田海岸(岩手) : 120m ⁽¹⁾ 金浜地区(岩手) : 35m ⁽²⁾ 御伊勢浜海岸(宮城) : 265m ⁽³⁾ 松崎尾崎の海岸(宮城) : 350m ⁽³⁾	- 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。
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。	【津波】 東日本大震災(2011) 市川海岸(青森) : 1km ⁽¹⁾ 横道海岸(青森) : 1km ⁽¹⁾ 百石海岸(青森) : 1km ⁽¹⁾ 三沢海岸(青森) : 180m ⁽¹⁾ 長浜海岸(宮城) : 50m ⁽³⁾ 南浜町(宮城) : 20m ⁽³⁾	- 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。
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) 葉生海岸(高知) : パラペット部(高さ1m) ⁽⁵⁾	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。
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 ⁽⁶⁾	- ひび割れ箇所のモルタル充填 - 基礎補強工事

各破損形態に対し、作業員および公衆に対する評価経路を整理した結果を以下に示す。

I. 決壊・流出

津波により、防潮堤の一区間が決壊し、流出する。決壊・流出が起こった場合、決壊により露呈した盛土、および、流出し広範囲に分布した盛土からの被ばくが想定される。被ばくシナリオとしては、復旧作業員(盛土施工作業、崩壊土回収作業)の被ばく(外部・内部(粉塵吸入および直接経口))および公衆の被ばく(海へ流出した盛土により汚染された海産物の摂取)を想定する。なお、防潮堤周辺居住者については、大規模な津波発生時には十分離れた位置に避難しているものとして、評価対象から除外する(以下同様)。

表 3 評価経路(決壊・流出)

No	評価対象	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	作業員	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)	公衆(成人)	経口
6			公衆(子ども)	経口

II. 法面崩壊

津波による越水で法面基部が洗掘によって破壊され、法面覆工が破損する。法面表層にある覆工コンクリートのみが崩落した場合、露呈した盛土からの被ばくが想定される。被ばくシナリオとしては、復旧作業（覆工コンクリート施工作业）の被ばく（外部）を想定する。ここで、作業者については内部被ばくも想定されるが、これについては I. 決壊・流出で評価するため、評価対象から除外する（以下同様）。

表 4 評価経路（法面崩壊）

No	評価対象	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	作業者	外部

III. 倒壊（パラペット）

津波の衝撃によって、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。この場合、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。

よって、III. 倒壊（パラペット）は評価対象から除外した。

IV. ひび割れ・沈下

地震による震動により、防潮堤表面への亀裂の発生、および、地盤沈下による堤防全体の沈下が起こる。この場合、堤防盛土の被覆そのものには重大な損傷は無く、線源である盛土の露呈・流出等は想定されない。

よって、IV. ひび割れ・沈下は評価対象から除外した。

（2）評価概要

●共通

- ・Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とする。
→再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・全ての経路について、評価（事象発生）時期は保守的に 0 年からとする。
- ・評価は、代表的に傾斜堤（ケース 1：盛土高さ 8m、ケース 2：盛土高さ 15m）に対して実施する。
- ・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、年間を通して復旧作業が行われると想定する。

I. 決壊・流出

●経路 No.1（盛土施工作業者）（図 1 参照）

- ・防潮堤の決壊部で作業をする盛土施工作業者への評価を行う際、線源となる決壊面 2 面からの距離が近いほど線源からの影響は大きく評価は保守的といえる。事例調査^{(1)~(4)}の結果、堤防の決壊延長距離の最小値は 35m であった。そこで、保守的に 30m の区間のみが全て決壊により流出した防潮堤を想定する。

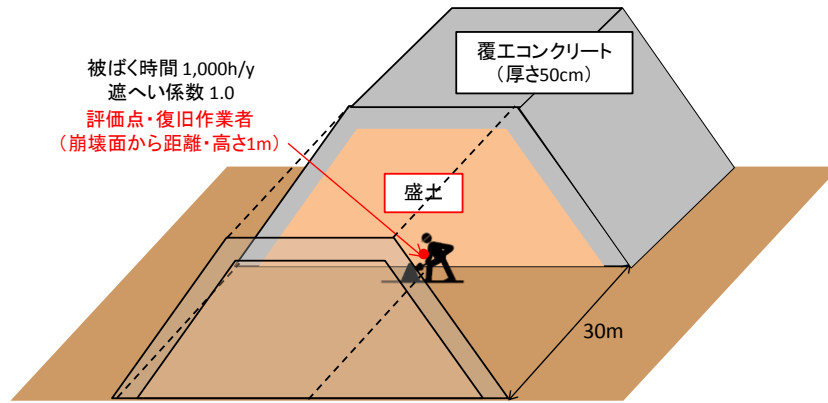


図1 評価体系（Ⅰ．決壊・流出（盛土施工作業者））

●経路 No.4（崩壊土回収作業）（図2 参照）

防潮堤が津波により破壊され、再生資材が津波堆積土として分布している上で復旧作業を行う作業員について、以下の条件で評価する。

- ・希釈係数の導出における津波堆積土の厚さは、東日本大震災での堆積土厚さ調査結果⁽⁷⁾の平均値 5.1cm とする。
- ・津波による決壊幅は、津波による防潮堤の破損延長の事例⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 35～570m から保守的に 500m とする。
- ・東日本大震災における津波浸水範囲の面積の既往調査⁽⁸⁾より、浸水被害が大きかった 3 県（岩手県、宮城県、福島県）において浸水面積が小さい 1km² 以下を除いた 33 市町村（津波の浸水面積の合計値 490km²）の平均値である 14.8km² を津波堆積土の面積とする。津波によって 500m 幅の防潮堤を構成する再生資材全てが破壊され、海へ流出すること無くその全てが津波堆積土中に混合したと仮定すると、津波堆積土中に再生資材が含まれる体積割合は約 48%（傾斜堤：ケース 2 の場合）となる。

（津波堆積土中に再生資材が含まれる割合）

$$= \frac{\text{再生資材の体積}}{\text{津波堆積土の体積}} \times 100$$

$$= \frac{[(\text{防潮堤盛土の天端幅 } 3.8\text{m} + \text{防潮堤盛土の底面幅 } 93.8\text{m}) \times (\text{防潮堤盛土の高さ } 15\text{m}) \div 2] \times (\text{決壊幅 } 500\text{m})}{(\text{津波堆積土の面積 } 14,800,000\text{m}^2) \times (\text{津波堆積土の厚さ } 0.051\text{m})} \times 100$$

～48%

よって、津波堆積土に対する線源の希釈係数を 0.5 と想定する。

- ・外部被ばく評価において、津波堆積土の厚さは、東日本大震災における堆積土厚さの調査結果⁽⁷⁾の最大値 28cm から保守的に 30cm とする。さらに、外部被ばく線量換算係数の値が十分飽和する範囲（500m×500m）を想定する。

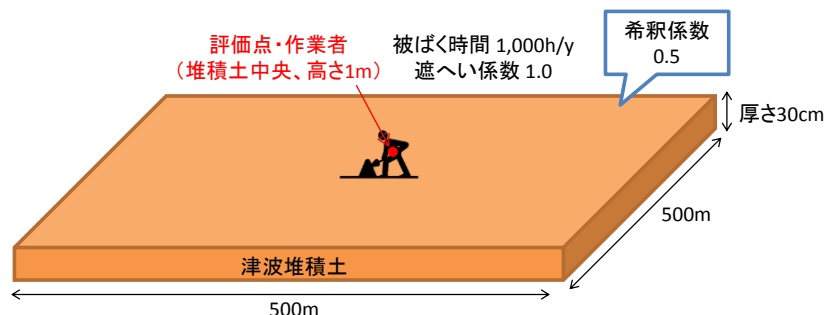


図2 評価体系（Ⅰ．決壊・流出（崩壊土回収作業員））

●経路 No.5, 6（海産物摂取）

- ・事例調査^{(1)~(4)}の結果、津波による防潮堤の破損延長は 35～570m であった。そこで、保守的に延長 500m の防潮堤内部に使用される盛土全量が、海へ流出すると想定する。
- ・評価には以下の式を使用する。

$$A(i) = C_{w0}(i) \cdot V$$

$$D_{ing}(i) = \frac{A(i)}{Q_s} \cdot DF_{ing}(i) \cdot G_n \cdot \exp\left(\frac{-\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \sum_j M_f(j) T_{Sm}(i, j)$$

$A(i)$	:	総インベントリ (Bq)
$C_{w0}(i)$	:	線源中の核種 <i>i</i> の濃度 (Bq/g)
V	:	流出した線源の総重量 (g)
$D_{ing}(i)$	:	核種 <i>i</i> による内部被ばく線量 (mSv/y)
$DF_{ing}(i)$	:	核種 <i>i</i> に対する内部被ばく線量換算係数（経口）(Sv/Bq)
λ_i	:	核種 <i>i</i> の崩壊定数 (1/y)
t_i	:	評価期間 (=1y)
Q_s	:	海の交換水量 (m ³ /y)
$M_f(j)$	:	海産物 <i>j</i> の年間摂取量 (kg/y)
$T_{Sm}(i, j)$	:	核種 <i>i</i> の海産物 <i>j</i> への濃縮係数 (L/kg)
G_n	:	市場係数 (－)
t_{Fn}	:	輸送時間 (d)

Ⅱ．法面崩壊

●経路 No.1（復旧作業）（図 3 参照）

- ・保守的に覆工コンクリートのみが崩壊したと想定する。

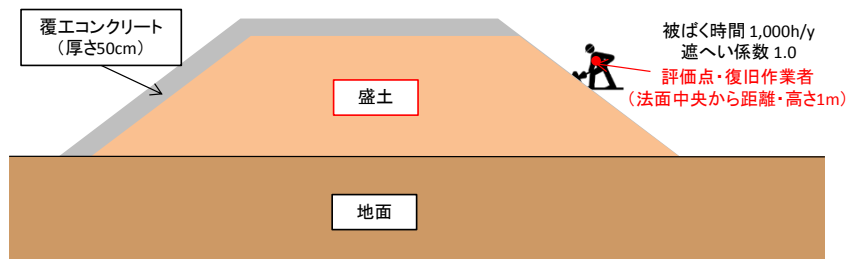


図 3 評価体系（Ⅱ．法面崩壊）

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 5～6 および別表 1 に示す。

表 5 再生資材の防潮堤への利用（災害時：I．決壊・流出）に係る
評価経路パラメータ（1／2）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-6	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1 年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1 年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
1-3,5-6	線源に対する希釈係数		—	1	保守的に 1 と設定する。
1,4	年間作業時間		h/y	1,000	保守的に 1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間を、当該作業に従事するとした。
1 ケース 1 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (盛土施工 作業)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	1.9E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 ・線源の形状：2 つの放光体（距離 30m） 高さ 8m、底面 51.8m×500m、上面 3.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆工： 法面・上面に厚さ 50cm のコンクリート（密度 2.0g/cm ³ ）（※崩壊面には覆工は無いものとする） ・評価点：崩壊面中央から 1m、高さ 1m
		Cs-137		6.6E-02	
1 ケース 2 で使用	外部被ばく に対する線 量換算係数 (盛土施工 作業)	Cs-134	$\mu\text{Sv/h}$ per Bq/g	2.1E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 ・線源の形状：2 つの放光体（距離 30m） 高さ 15m、底面 93.8m×500m、上面 3.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆工： 法面・上面に厚さ 50cm のコンクリート（密度 2.0g/cm ³ ）（※崩壊面には覆工は無いものとする） ・評価点：崩壊面中央から 1m、高さ 1m
		Cs-137		7.4E-02	
1,4	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。
2	作業者の呼吸量		m ³ /h	1.2	ICRP Publ.23 で示されている標準人の労働（軽作業）時の呼吸量の数値 20L/min を基に算定した。
2	作業時の空気中ダスト濃度		g/m ³	5E-04	NUREG/CR-3585 に示された OPEN DUMP 時及び IAEA-TECDOC-401 に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空気中ダスト濃度を採用した。
2	微粒子への放射性物質の濃縮係数（吸入摂取）		—	4	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を使用した。
3	微粒子への放射性物質の濃縮係数（経口摂取）		—	2	IAEA Safety Reports Series No.44 に示された経口摂取被ばくに関する粒子の濃縮係数を使用した。
3	ダストの経口摂取率		g/h	0.01	IAEA S.S. No.111-P-1.1 に示された値を用いた。
4	津波堆積土厚さ		cm	30	東北地方太平洋地震での仙台市周辺での堆積土厚さ調査結果 ⁽⁷⁾ の最大値 28 cm より、丸めて 30 cm とした。
4	線源に対する希釈係数		—	0.5	津波浸水範囲に対する既往の調査 ⁽⁸⁾ より、東日本大震災時の津波浸水範囲内における津波堆積土平均面積は 14.8km ² であった。津波によって 500m 幅の防潮堤を構成する再生資材全てが破壊され、海へ流出すること無くその全てが津波堆積土中に混合したと仮定すると、津波堆積土中に再生資材が含まれる体積割合は約 48% となる。これより、希釈係数を 0.5 とした。

表 5 再生資材の防潮堤への利用（災害時：Ⅰ．決壊・流出）に係る
評価経路パラメータ（2／2）

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
4	外部被ばく に対する線 量換算係数 (崩壊土回 収作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	4.5E-01	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：500m 四方、高さ 0.3m の直方体 線源のかさ密度：1.7g/cm ³ 評価点：上面中心から高さ 1m
		Cs-137		1.6E-01	
5,6 ケース 1 で使用	流出した線源の総重 量		g	2.2E+11	保守的に、防潮堤（盛土高さ 8m、被災延長 500m） に使用された盛土全量が流出すると想定した。
5,6 ケース 2 で使用	流出した線源の総重 量		g	7.4E+11	保守的に、防潮堤（盛土高さ 15m、被災延長 500m） に使用された盛土全量が流出すると想定した。
5,6	Cs の海 産物へ の濃縮 係数	魚類	L/kg	30	IAEA TRS No.364 において示された値を使用した。
		無脊椎動物		20	
		藻類		20	
5	海産物 の年間 摂取量 (成 人)	魚類	kg/y	15.8	「平成 8 年版国民栄養の現状」（第一出版(株)、1996） に示された魚、無脊椎動物、海藻類の全国平均の 1 人 1 日あたりの摂取量のデータから設定した。
		無脊椎動物		8.1	
		藻類		2.2	
6	海産物 の年間 摂取量 (子ど も)	魚類	kg/y	6.3	「平成 21 年国民健康・栄養調査報告書」の「第 5 表 の 1 食品群別摂取量（総数、年齢階級別）」によ ると、魚介類の 1 人 1 日あたりの摂取量の平均値は、子 ども（1～6 歳）で 32.1 g、成人（20 歳以上）で 79.8 g であり、成人に対する子どもの摂取量の比は約 0.40 となる。また、藻類の一人一日あたりの摂取量の平均 値は、子ども（1～6 歳）で 5.8 g、成人（20 歳以上） で 10.9 g であり、成人に対する子どもの摂取量の比は 約 0.53 となる。これより、子どもの海産物（魚類、 無脊椎動物、藻類）の摂取量は、既往のクリアランス レベル評価で設定された成人の摂取量にそれぞれ 0.40、0.40、0.53 を乗じた値を設定する。
		無脊椎動物		3.2	
		藻類		1.2	
5,6	海産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
5,6	海産物の輸送時間		d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を 評価対象とした。
5,6	海の交換水量		m ³ /y	8.0E+09	「理科年表 平成 9 年」（国立天文台編）に記載され た国内の平均大潮期における潮流の最小値 0.5 ノ ット(0.255m/s)と、安全側に仮定した混合面積 1,000m ² から年間交換水量 8E+9m ³ /y を設定した。

表 6 再生資材の防潮堤への利用（災害時：Ⅱ．法面崩壊）に係る評価経路パラメータ

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1 年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1 年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
1	線源に対する希釈係数		—	1	保守的に 1 と設定する。
1	年間作業時間		h/y	1,000	保守的に 1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間を、当該作業に従事することとした。
1 ケース 1 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数 (盛土施工作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.3E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ 8m、底面 51.8m×500m、上面 3.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆工： 法面・上面に厚さ 50cm のコンクリート（密度 2.0g/cm ³ ）（※崩壊面には覆工は無いものとする） ・評価点：崩壊が生じた法面中央から高さ 1m
		Cs-137		8.3E-02	
1 ケース 2 で使用	外部被ばくに対する線量換算係数 (盛土施工作業)	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	2.4E-01	以下の条件で、MCNP5 コードにより算出した。 ・線源の形状：放光体 高さ 15m、底面 93.8m×500m、上面 3.8m×500m ・線源のかさ密度：2.0 g/cm ³ ・覆工： 法面・上面に厚さ 50cm のコンクリート（密度 2.0g/cm ³ ）（※崩壊面には覆工は無いものとする） ・評価点：崩壊が生じた法面中央から高さ 1m
		Cs-137		8.5E-02	
1	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。

別表 1 再生資材の防潮堤への利用（災害時：Ⅰ．決壊・流出）に係る評価経路パラメータ（内部被ばく線量係数）

内部被ばく線量係数(Sv/Bq)				
	作業者(ICRP Publ.68)		公衆(ICRP Publ.72)	
	吸入	経口	経口	
			成人	子ども
Cs-134	9.6E-09	1.9E-08	1.9E-08	1.6E-08
Cs-137	6.7E-09	1.3E-08	1.3E-08	1.2E-08

(4) 放射性物質による影響の評価結果

表 7～8 に、各評価経路の Cs-134、Cs-137 および全 Cs(=Cs-134+Cs-137) の単位濃度(1 Bq/g)あたりの影響を評価した結果を示す。また、5,000Bq/kg と 8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

評価の結果、8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の年間被ばく線量でも最大で 0.84mSv/y であり、濃度レベル算出のための線量のめやす値 1mSv/y を下回った。

表 7 評価結果 (防潮堤 (災害時：Ⅰ. 決壊・流出))

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)		
ケース1	1	復旧作業者外部	1.6E-01	6.6E-02	8.2E-02	4.1E-01	6.5E-01
	2	復旧作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	8.3E-05	1.3E-04
	3	復旧作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	1.3E-03	2.1E-03
	4	崩壊土回収作業者外部	1.9E-01	7.9E-02	9.8E-02	4.9E-01	7.9E-01
	5	海産物摂取(公衆(成人))	3.1E-04	2.4E-04	2.6E-04	1.3E-03	2.0E-03
	6	海産物摂取(公衆(子ども))	1.1E-04	9.2E-05	9.4E-05	4.7E-04	7.5E-04
ケース2	1	復旧作業者外部	1.8E-01	7.4E-02	9.2E-02	4.6E-01	7.3E-01
	2	復旧作業者粉塵吸入	2.0E-05	1.6E-05	1.7E-05	8.3E-05	1.3E-04
	3	復旧作業者直接経口	3.2E-04	2.6E-04	2.7E-04	1.3E-03	2.1E-03
	4	崩壊土回収作業者外部	1.9E-01	7.9E-02	9.8E-02	4.9E-01	7.9E-01
	5	海産物摂取(公衆(成人))	1.0E-03	8.0E-04	8.4E-04	4.2E-03	6.7E-03
	6	海産物摂取(公衆(子ども))	3.5E-04	3.0E-04	3.1E-04	1.5E-03	2.5E-03

表 8 評価結果 (防潮堤 (災害時：Ⅱ. 法面崩壊))

解析ケース	No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
			Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)		
ケース1	1	復旧作業者外部	2.0E-01	8.2E-02	1.0E-01	5.1E-01	8.1E-01
ケース2			2.0E-01	8.4E-02	1.0E-01	5.2E-01	8.4E-01

参考文献

- (1) ハザリカ・ヘマンタ、片岡俊一、笠間清伸、金子賢治、末次大輔、「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」、地盤工学ジャーナル Vol.7, No.1, 13-23、2012 年 3 月 5 日
- (2) 鴨原良典、有田守、長谷部雅信、大久保陽介、「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」地震工学論文集第 31-b 巻, 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 年 4 月 13 日
- (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～3.11 東日本大震災津波から 3 年～」、平成 26 年 3 月
- (5) 岡安徹也、「高知県菜生海岸における被災事例調査」、国土技術研究センター、JICE REPORT vol.8、2005 年 11 月
- (6) 日本応用地質学会新潟県中越沖地震現地調査団、「2007 年 7 月新潟県中越沖地震の災害緊急調査報告」、応用地質第 48 巻, 第 4 号, 192-202 頁, 2007
- (7) 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」地震工学論文集第 32 巻, 2013
- (8) 国土地理院、「津波による浸水範囲の面積(概略値)について(第 5 報)」、平成 23 年 4 月 18 日

(参考資料1) 防潮堤の災害事例に対する文献調査

防潮堤に破損をもたらす自然事象として、地震、津波の2つを対象に、災害事例に対する文献調査を実施した。調査は主に、土木学会、地盤工学会、応用地質学会、土木研究所等の土質構造物などを専門とする学会、および、国立技術センター等の刊行物に対して行った。

調査の結果、防潮堤の災害事例に関する文献は、地震によるものが1件(表9、No.6)、津波(台風による高波も含む)によるものが5件(表9、No.1~5)確認できた。また津波に関して、経路No.4(崩壊土回収作業)の評価条件設定の参考にした津波堆積物に関する文献が4件確認できた(表9、No.7~10)。

表9 防潮堤の災害事例に対する調査文献一覧

No.	資料名	資料発行年月日	資料元
1	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	平成24年3月5日	地盤工学ジャーナル
2	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	平成24年3月6日	土木学会、土木学会論文集
3	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	平成23年4月13日	地盤工学会
4	希望郷いわて農業・農村復興への歩み	平成26年3月	岩手県農林水産部
5	高知県菜生海岸における被災事例調査	平成17年11月	国土技術研究センター (JICE REPORT 2005/第8号)
6	2007年7月新潟県中越沖地震の災害緊急調査報告	平成19年9月3日	日本応用地質学会
7	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	平成25年	土木学会
8	「能代の街を飛砂から守る海岸防災林造成事業(風の松原)」	平成27年8月	林野庁、東北森林広報誌Vol137別紙
9	2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界	平成24年	活断層・地震研究センター
10	仙台平野を中心とする津波被害実態と堆積物調査報告	平成23年7月16日	東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ

調査の結果、盛土崩壊事例は、津波を起因とする「決壊・流出」、「法面崩壊」、高波を起因とする「倒壊(パラペット)」、地震を起因とする「ひび割れ・沈下」の4パターンに大別された。各崩壊事例の発生件数は、決壊・流出:7件、法面崩壊:6件、倒壊(パラペット):1件、ひび割れ・沈下:1件であった。

植栽された土砂で被覆された盛土（例：海岸防災林等）への再生資材の
利用に係る線量評価について（災害時）

平成 28 年 6 月 10 日
日本原子力研究開発機構

本資料は、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（第 4 回）（平成 28 年 6 月 7 日）資料 4「追加被ばく線量評価について」の算出評価資料である。

再生資材を海岸防災林（以下、防災緑地を含む）の盛土材に利用したときの、災害時における作業員や周辺住民に与える線量を評価するため、既往の海岸防災林の評価を踏襲し、再生資材に含まれる Cs-134、Cs-137、全 Cs（＝Cs-134＋Cs-137）について、単位濃度（1 Bq/g）あたりの線量を計算した。

自然災害（地震、津波、火災、暴風・竜巻、異常降雨（豪雨））に対し、災害事例に対する事例調査を行い（参考資料 1）、海岸防災林の盛土に変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害として津波および火災を選定した（表 1）。

表 1 海岸防災林の盛土に対し変状・崩壊をもたらす可能性のある自然災害の検討

自然災害	検討結果	評価の必要性
地震	地震動による海岸防災林の変状・崩壊は考えられるが、本評価では再生資材を覆う覆土厚さが 1m ある場合を考えており、考えられる崩壊（すべり崩壊、法面崩壊、分断崩壊）のいずれにおいても再生資材が露出する可能性は低いと想定される。 また、地震による海岸防災林への災害事例は確認できなかったため、評価対象から除外した。	×
津波	津波による海岸防災林盛土の流出の可能性が考えられる。 津波による海岸防災林の災害事例として、以下が挙げられる。 東日本大震災（2011） ・宮城 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 、岩手 ⁽⁷⁾⁽³⁾⁽⁵⁾ 、福島 ⁽⁸⁾⁽³⁾⁽⁵⁾ 他	○
火災	海岸防災林に植栽されている樹木の火災の可能性が考えられる。 火災による海岸防災林の災害事例として、以下が挙げられる。 秋田県能代市（1943）：21ha 消失 ⁽⁹⁾ 【参考】福島県内の一般の森林火災例 ⁽¹⁰⁾ ・鹿島町（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	○
暴風・竜巻	暴風による倒木による根返りが考えられるが、本評価では再生資材を覆う覆土厚さが 1m ある場合を考えており、再生資材が露出する可能性は低いと想定される。また、暴風により倒木した樹木からの被ばくについては、伐採作業員において同様の評価をしているため検討対象から除外した。 【参考】過去 10 年間の主な風倒木被害例 ⁽¹¹⁾	×

	・台風 7 号災（1998） 大阪・奈良・和歌山、計 4,552ha ・台風 18 号災（1999） 熊本・大分・鹿児島、計 3,858ha	
異常降雨（豪雨）	豪雨での盛土の含水状態の変化による変状・崩壊は考えられるが、本評価では再生資材を覆う覆土厚さが 1m ある場合を考えており、考えられる崩壊（すべり崩壊、法面崩壊、分断崩壊）のいずれにおいても再生資材が露出する可能性は低いと想定されるため検討対象から除外した。	×

津波および火災に対する検討結果を、以下に示す。

1. 津波

（1）評価経路

津波が発生した場合に想定される被ばくとして、

- 津波による海岸防災林の破壊で発生した津波堆積土による被ばく
- 津波による再生資材の海への流出により汚染された海産物の摂取による被ばく

が挙げられる。今回の評価では覆土厚さ 1m を想定しているため、通常の津波では上述した被ばくが起こる可能性は小さいが、ここでは保守的に大規模な津波によって盛土（再生資材）および覆土が均一に混合した土砂が堆積・流出する場合を想定する。

大規模な津波発生時には周辺居住者は津波到達範囲外へ避難するものとし、評価対象としては復旧作業（堆積土撤去作業）および海産物を摂取する公衆を想定する。

評価経路を表 2 に示す。

表 2 再生資材の海岸防災林への利用に係る評価経路

No	評価対象		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	作業員	外部
2	海産物摂取		海産物 (魚類、無脊椎動物、藻類)	公衆（成人）	経口
3				公衆（子ども）	経口

（2）評価概要

●共通

- ・Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とする。
→再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定。
- ・全ての経路について、評価時期（＝災害発生時期）は保守的に 0 年からとする。

●経路 No.1（復旧作業員（津波））（図 1 参照）

海岸防災林が津波により破壊され、再生資材が津波堆積土として分布している上で復旧作業を行う作業員について、以下の条件で評価する。

- ・希釈係数の導出における津波堆積土の厚さは、東日本大震災での堆積土厚さ調査結果⁽¹²⁾の平均値 5.1cm とする。
- ・津波により破壊された海岸防災林が流出した幅（以下「流出幅」という。）は、事例による情

報がないため、防潮堤に対して設定した決壊幅 500m と同一と仮定する。

- ・東日本大震災における津波浸水範囲の面積の既往調査⁽¹³⁾より、浸水被害が大きかった 3 県（岩手県、宮城県、福島県）において、浸水面積が小さい 1km² 以下を除いた 33 市町村（津波の浸水面積の合計値 490km²）の平均値である 14.8km² を津波堆積土の面積とする。津波によって 500m 幅の海岸防災林を構成する再生資材全てが破壊され、海へ流出すること無くその全てが津波堆積土中に混合したと仮定すると、津波堆積土中に再生資材が含まれる体積割合は約 26% となる。

（津波堆積土中に再生資材が含まれる割合）

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{再生資材の体積}}{\text{津波堆積土の体積}} \times 100 \\ &= \frac{(\text{林帯幅 } 200\text{m}) \times (\text{再生資材の厚さ } 2\text{m}) \times (\text{流出幅 } 500\text{m})}{(\text{津波堆積土の面積 } 14,800,000\text{m}^2) \times (\text{津波堆積土の厚さ } 0.051\text{m})} \times 100 \\ &\sim 26\% \end{aligned}$$

よって、津波堆積土に対する線源の希釈係数を 0.3 と想定する。

- ・外部被ばく評価において、津波堆積土の厚さは、東日本大震災における堆積土厚さの調査結果⁽¹²⁾の最大値 28cm から保守的に 30cm とする。さらに、外部被ばく線量換算係数の値が十分飽和する範囲（500m×500m）を想定する。

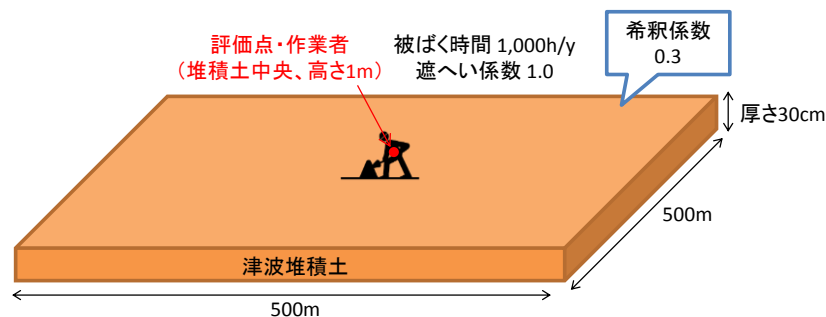


図 1：海岸防災林（災害時：津波）の評価体系

●経路 No.2,3（海産物摂取）

- ・津波により破壊された海岸防災林が流出した幅（流出幅）は、防潮堤に対して設定した決壊幅 500m と同一と仮定した。そこで、保守的に流出幅 500m の海岸防災林（幅 200m）に使用される盛土全量が、海へ流出すると想定する。
- ・評価には以下の式を使用する。

$$A(i) = C_{w0}(i) \cdot V$$

$$D_{ing}(i) = \frac{A(i)}{Q_S} \cdot DF_{ing}(i) \cdot G_n \cdot \exp\left(\frac{-\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i \cdot t_i)}{\lambda_i \cdot t_i} \sum_j M_f(j) T_{Sm}(i, j)$$

$A(i)$	:	総インベントリ (Bq)
$C_{w0}(i)$	:	線源中の核種 <i>i</i> の濃度 (Bq/g)
V	:	流出した線源の総重量 (g)
$D_{ing}(i)$	:	核種 <i>i</i> による内部被ばく線量 (mSv/y)
$DF_{ing}(i)$	:	核種 <i>i</i> に対する内部被ばく線量換算係数 (経口) (Sv/Bq)
λ_i	:	核種 <i>i</i> の崩壊定数 (1/y)
t_i	:	評価期間 (=1y)
Q_S	:	海の交換水量 (m ³ /y)
$M_f(j)$	:	海産物 <i>j</i> の年間摂取量 (kg/y)
$T_{Sm}(i, j)$	:	核種 <i>i</i> の海産物 <i>j</i> への濃縮係数 (L/kg)
G_n	:	市場係数 (－)
t_{Fn}	:	輸送時間 (d)

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 3 および別表 1 に示す。

表 3 再生資材の海岸防災林への利用（災害時：津波）に係る評価経路パラメータ

経路 No.	名称		単位	選定値	選定根拠
1-3	被ばく中の減衰期間		y	1	IAEA RS-G-1.7 では、各評価経路について被ばく期間（1 年）の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間（1 年）中の放射能の減衰を考慮することとした。
1	津波堆積土厚さ		cm	30	東北地方太平洋地震での仙台市周辺での堆積土厚さ調査結果 ⁽¹²⁾ の最大値 28 cm より、30 cm とした。
1	線源に対する希釈係数		—	0.3	津波浸水範囲に対する既往の調査 ⁽¹³⁾ より、東日本大震災時の津波浸水範囲内における津波堆積土平均面積は 14.8km ² であった。津波によって 500m 幅の海岸防災林を構成する再生資材全てが破壊され、海へ流出すること無くその全てが津波堆積土中に混合したと仮定すると、津波堆積土に対する再生資材の割合は約 26% となった。これより、希釈係数を 0.3 とした。
1	年間作業時間		h/y	1,000	保守的に 1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間の半分の時間を、当該作業に従事するとした。
1	外部被ばくに対する線量換算係数（復旧作業）	Cs-134	μ Sv/h per Bq/g	4.5E-01	以下の条件で、QAD-CGGP2R コードにより算出した。 線源の形状：500m 四方、高さ 0.3m の直方体 線源のかさ密度：1.7 g/cm ³ 評価点：上面中心から高さ 1m
		Cs-137		1.6E-01	
1	作業時の遮へい係数		—	1.0	保守的に 1.0 と設定した。
2,3	流出した線源の総重量		g	4.0E+11	保守的に、海岸防災林（幅 200m、津波により破壊された海岸防災林が流出した幅 500m）に使用された盛土全量が流出すると想定した。
2,3	Cs の海産物への濃縮係数	魚類	L/kg	30	IAEA TRS No.364 において示された値を使用した。
		無脊椎動物		20	
		藻類		20	
2,3	海産物の年間摂取量（成人）	魚類	kg/y	15.8	「平成 8 年版国民栄養の現状」（第一出版(株)、1996）に示された魚、無脊椎動物、海藻類の全国平均の 1 人 1 日あたりの摂取量のデータから設定した。
		無脊椎動物		8.1	
		藻類		2.2	
2,3	海産物の年間摂取量（子ども）	魚類	kg/y	6.3	「平成 21 年国民健康・栄養調査報告書」の「第 5 表の 1 食品群別摂取量（総数、年齢階級別）」によると、魚介類の 1 人 1 日あたりの摂取量の平均値は、子ども（1～6 歳）で 32.1 g、成人（20 歳以上）で 79.8 g であり、成人に対する子どもの摂取量の比は約 0.40 となる。また、藻類の一人一日あたりの摂取量の平均値は、子ども（1～6 歳）で 5.8 g、成人（20 歳以上）で 10.9 g であり、成人に対する子どもの摂取量の比は約 0.53 となる。これより、子どもの海産物（魚類、無脊椎動物、藻類）の摂取量は、CL 評価で設定された成人の摂取量にそれぞれ 0.40、0.40、0.53 を乗じた値を設定する。
		無脊椎動物		3.2	
		藻類		1.2	
2,3	海産物の市場係数		—	1	自給自足を考慮して、最も保守的に選定した。
2,3	海産物の輸送時間		d	0	保守的に、養殖された淡水産物を直ちに消費する人を評価対象とした。
2,3	海の交換水量		m ³ /y	8.0E+09	「理科年表 平成 9 年」（国立天文台編）に記載された国内の平均大潮期における潮流の最小値 0.5 ノット（0.255m/s）と、安全側に仮定した混合面積 1,000m ² から年間交換水量 8E+9m ³ /y を設定した。

別表 1 再生資材の海岸防災林への利用（災害時：津波）に係る評価経路パラメータ
（内部被ばく線量係数）

核種	内部被ばく線量係数(Sv/Bq)	
	公衆(ICRP Publ.72)	
	経口	
	成人	子ども
Cs-134	1.9E-08	1.6E-08
Cs-137	1.3E-08	1.2E-08

（４）放射性物質による影響の評価結果

表 4 に、各評価経路の Cs-134、Cs-137 および全 Cs (=Cs-134+Cs-137) の単位濃度（1 Bq/g）あたりの影響を評価した結果を示す。また、5,000Bq/kg と 8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

評価の結果、8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の年間被ばく線量でも最大で 0.47mSv/y であり、濃度レベル算出のための線量のめやす値 1mSv/y を下回った。

表 4 評価結果（海岸防災林（災害時：津波））

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)		
1	復旧作業(津波)外部	1.1E-01	4.7E-02	5.9E-02	3.0E-01	4.7E-01
2	海産物摂取(成人)	5.5E-04	4.4E-04	4.6E-04	2.3E-03	3.6E-03
3	海産物摂取(子ども)	1.9E-04	1.6E-04	1.7E-04	8.4E-04	1.3E-03

2. 火災

JNES では、森林火災における消火に従事する消防士及び周辺公衆の被ばく線量を、原子力施設の影響評価に使用されている安全評価指針・気象指針等に基づき評価している（以下、「既往の評価」）⁽¹⁰⁾。本評価では上記評価を参考に、再生資材を海岸防災林の盛土として使用した場合における、火災による作業者及び公衆への影響評価を実施した。

（１）評価経路

海岸防災林で火災が起こった場合、線源である盛土から Cs が移行した樹木が延焼することで、Cs を含んだプルームが発生し、作業者及び公衆が被ばくすると想定される。既往の評価では、火災に伴い想定される被ばくの形態として、以下の 4 つを想定している。

- プルームに含まれる Cs による外部被ばく
- 地表沈着した Cs による外部被ばく
- プルームに含まれる Cs の吸入による内部被ばく
- 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

本評価では既往の評価と同様に、消火に従事する消防士及び公衆に対して、上記の 4 つの被ばくを評価する（表 5）。

表 5 再生資材の海岸防災林への利用に係る評価経路（災害時（火災））

No	評価対象	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	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

(2) 評価概要

既往の評価では、消防士に対してはサブマージョンモデル、公衆に対してはガウスプルームモデルを用いて、大気の状態に対する感度解析（大気安定度・火災プルーム上昇高さ）を行った上で、最も被ばく線量が高くなる条件を求めている。本評価でも同様の方法で被ばく線量进行评估した。

● 共通

- ・ Cs-134 と Cs-137 の存在割合は 0.209 : 1 とする。

→再生資材の利用開始時期は福島第一原子力発電所事故から 5 年後、事故直後の Cs-134（半減期 2.06 年）と Cs-137（半減期 30.0 年）の存在割合を 1:1 と仮定。

- ・ 全ての経路について、評価開始時期（＝災害発生時期）は保守的に 0 年からとする。
- ・ 火災による延焼面積は 20ha とする（既往の評価での最大値）。また延焼期間は、既往の評価において火災の事例調査から求められている延焼面積 20ha に対応する値：1 日（24 時間）とする。
- ・ 風速は 1m/s と仮定する。
- ・ 既往の評価では伐採作業等に対して、評価時期を振った評価（植栽後 0,7,17,27,37,47 年）を行っている。本評価で想定する火災の発生時期は、その中で海岸防災林に植栽された樹木中の放射性セシウム濃度が最も高くなる、37 年後とする（表 6）。

（37 年後の海岸防災林に植栽された樹木（20ha）中に含まれる総 Bq 数：

Cs-134 : 1.1E+02Bq、Cs-137 : 1.2E+07Bq

※土壌から樹木への Cs の移行係数を 5.5×10^{-3} として算出)

表 6 海岸防災林の盛土および樹木（20ha）に含まれる放射性セシウム濃度

評価年	盛土濃度(Bq/g)		樹木(20ha)中に含まれる総Bq数			地表面濃度(Bq/m2)	
	Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137	全Cs	Cs-134	Cs-137
0	1.0E+00	1.0E+00	1.1E+05	1.1E+05	2.2E+05	5.5E-01	5.5E-01
1	7.1E-01	9.8E-01	1.2E+06	1.6E+06	2.8E+06	5.9E+00	8.1E+00
7	9.5E-02	8.5E-01	5.3E+05	4.8E+06	5.3E+06	2.7E+00	2.4E+01
17	3.3E-03	6.8E-01	4.3E+04	8.8E+06	8.9E+06	2.1E-01	4.4E+01
27	1.1E-04	5.4E-01	2.5E+03	1.2E+07	1.2E+07	1.3E-02	6.0E+01
37	3.9E-06	4.3E-01	1.1E+02	1.2E+07	1.2E+07	5.6E-04	6.0E+01
47	1.4E-07	3.4E-01	4.7E+00	1.2E+07	1.2E+07	2.3E-05	5.8E+01

●評価モデル（消防士）

消防士に対しては、火災（線源）の近傍で被ばくと想定される。よって、プルームからの被ばくは半無限線源（サブマージョンモデル）、地表からの被ばくは無限平板線源からの被ばくと想定し、被ばく線量を評価した。評価に用いた式を以下に示す。

$$D_1 = \frac{C_{surf} \cdot r}{H} \cdot DF_1 \cdot T \cdot 1000$$

- D_1 : プルーム中の Cs からの γ 線による外部被ばく (mSv)
 C_{surf} : 地表面の Cs 濃度 (Bq/m²)
 r : 延焼速度と風速の比 (—)
 H : 線源の高さ方向の拡がり (m)
 DF_1 : 半無限体積の線源に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m³)
 T : 被ばく時間 (s)

$$D_2 = C_{surf} \cdot DF_2 \cdot T \cdot 1000$$

- D_2 : 地表沈着した Cs からの γ 線による外部被ばく (mSv)
 DF_2 : 無限平板の線源に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m²)

$$D_3 = \frac{C_{surf} \cdot r}{H} \cdot K_{in} \cdot M \cdot T$$

- D_3 : クラウド中の Cs の吸入摂取による内部被ばく (mSv)
 K_{in} : 内部被ばく実効線量係数 (成人) (mSv/Bq)
 M : 呼吸率 (成人) (m³/s)

$$D_4 = C_{surf} \cdot K_{in} \cdot F \cdot M \cdot T$$

- D_4 : 地表沈着した Cs の再浮遊による Cs の吸入摂取による内部被ばく (mSv)
 F : 再浮遊率 (m⁻¹)

●評価モデル（公衆）

公衆に対しては、火災によるプルームが大気条件に従ってガウスプルームモデルで拡散し、地表に至った濃度を用いて被ばく線量を評価した。ガウスプルームモデルでは大気の状態によって濃度分布が変化するため、以下のパラメータについては既往の評価と同様に感度解析を行い、最も被ばく線量が高くなる条件を求めた。

- ・大気安定度 : A 型（不安定）, D 型（中立）, F 型（安定）
- ・火災プルーム上昇高さ : 100, 200, 500m
- ・ガウスプルームモデル

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

- $\chi(x, y, z)$: 点(x, y, z)における放射性物質の濃度 (Bq/m³)
- Q : 放出率 (Bq/s) (=汚染濃度×汚染飛散率×積算延焼面積÷延焼時間)
- U : 放出源高さを代表する風速 (m/s)
- λ : 放射性物質の物理的崩壊定数 (1/s)
- H : 放出源の高さ (m)
- σ_y : 濃度分布の y 方向の広がりのパラメータ (m)
- σ_z : 濃度分布の z 方向の広がりのパラメータ (m)

評価に用いた式を以下に示す。

$$D_1 = K \cdot \frac{E_\gamma}{0.5} \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{D}{Q} \cdot 1000$$

- D_1 : プルーム中の Cs からの γ 線による外部被ばく (mSv)
- K : 空気カーマから実効線量への換算係数 (Sv/Gy)
- E_γ : γ 線実効エネルギー (MeV)
- Q_{Cs} : 火災による Cs の大気放出量 (Bq)
- D/Q : 相対線量 (Gy/Bq)

$$D_2 = K_{ex} \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{\chi}{Q} \cdot V \cdot f \cdot T \cdot 1000$$

- D_2 : 地表沈着した Cs からの γ 線による外部被ばく (mSv)
- K_{ex} : 地表沈着による実効線量係数 (成人) (Sv/s per Bq/m³)
- χ/Q : 相対濃度 (s/m³)
- V : 沈着速度 (m/s)
- f : 残存割合 (—)

$$D_3 = M \cdot K_{in} \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{\chi}{Q}$$

- D_3 : プルーム中の Cs の吸入摂取による内部被ばく (mSv)

$$D_4 = M \cdot K_{in} \cdot F \cdot Q_{Cs} \cdot \frac{\chi}{Q} \cdot V \cdot f \cdot T$$

- D_4 : 地表沈着した Cs の再浮遊による Cs の吸入摂取による内部被ばく (mSv)

(3) 評価パラメータ

評価に用いるパラメータを表 7 に示す。

表 7 再生資材の海岸防災林への利用（災害時：火災）に係る評価経路パラメータ

パラメータ	数値	出典
半無限体積に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m ³)	Cs-134 : 6.8E-14	FGR-12 (EPA-402-R-93-081) ⁽¹⁴⁾
	Cs-137 : 2.4E-14	
無限平板に対する線量係数 (Sv/s per Bq/m ²)	Cs-134 : 1.4E-15	
	Cs-137 : 5.3E-16	
内部被ばく線量換算係数 (成人) (mSv/Bq)	Cs-134 : 2.0E-5	環境放射線モニタリング指針 ⁽¹⁵⁾
	Cs-137 : 3.9E-5	
延焼速度と風速の比 (－)	0.1	
線源の広がり	半径 252m、 高さ 100m, 200m, 500m	20ha 相当の円の半径
空気カーマから実効線量への換算係数 (Sv/Gy)	1	
γ 線実効エネルギー (MeV)	Cs-134 : 1.56	一般公衆線量評価 ⁽¹⁶⁾
	Cs-137 : 0.60	
地表沈着による実効線量係数 (成人) (Sv/s per Bq/m ³)	Cs-134 : 1.4E-15	FGR-12(EPA-402-R-93-081)
	Cs-137 : 5.3E-16	
相対濃度 (s/m ³)	評価位置に応じて設定	JAERI-M-90-206 ⁽¹⁷⁾
沈着速度 (m/s)	0.01	一般公衆線量評価
残存割合 (－)	1.0	保守的に設定
呼吸率 (成人) (m ³ /d)	22.2	安全評価指針 ⁽¹⁸⁾
再浮遊率 (m ⁻¹)	1E-6	一般公衆線量評価

(4) 評価結果

表 8～9 に、Cs-134 と Cs-137 の和 (全 Cs) による単位濃度 (1 Bq/g) あたりの被ばく線量を示す。最も被ばく線量が高くなるのは、消防士：線源の高さ方向の広がり 100m、公衆：大気安定度 A、放出高さ 100m の場合であった。

表 10 に、各評価経路の Cs-134、Cs-137 および全 Cs (=Cs-134+Cs-137) の単位濃度 (1 Bq/g) あたりの影響を評価した結果を示す。また、5,000Bq/kg と 8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の被ばく線量も併せて示す。

評価の結果、8,000Bq/kg の再生資材を使用した場合の年間被ばく線量でも最大で 4.4×10^{-4} mSv/y であり、濃度レベル算出のための線量のめやす値 1mSv/y を大きく下回った。

表 8 全 Cs に対する単位濃度あたりの被ばく線量 (消防士)

被ばく時間	No.	線源の高さ方向の広がり(m)			
		100	200	500	1000
1日 (24時間)	1	1.0E-07	5.1E-08	2.1E-08	1.0E-08
	2	6.0E-06	6.0E-06	6.0E-06	6.0E-06
	3	5.6E-05	2.8E-05	1.1E-05	5.6E-06
	4	5.6E-08	5.6E-08	5.6E-08	5.6E-08

表9 全Csに対する単位濃度あたりの被ばく線量（公衆）

大気安定度A 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100 (@400m) H=200 (@700m) H=500 (@1km)	被ばく時間	No.	放出高さ H(m)		
			100	200	500
大気安定度D 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100 (@3km) H=200 (@7km) H=500 (@30km)	1日 (24時間)	5	7.4E-09	7.4E-09	1.8E-09
		6	1.0E-07	3.5E-08	9.0E-09
		7	2.8E-06	1.0E-06	2.6E-07
		8	2.5E-09	8.6E-10	2.2E-10
		No.	放出高さ H(m)		
		100	200	500	
		5	6.4E-09	6.4E-09	4.6E-10
		6	4.0E-08	7.6E-09	6.3E-10
7		1.1E-06	2.2E-07	1.8E-08	
8		9.9E-10	1.9E-10	1.6E-11	
大気安定度F 最大濃度地点 (D2,D3,D4) H=100 (@20km) H=200 (@100km) H=500 (@300km)		No.	放出高さ H(m)		
		100	200	500	
	5	1.8E-09	9.2E-10	9.2E-10	
	6	1.3E-08	7.4E-10	2.7E-14	
	7	3.6E-07	2.1E-08	7.5E-13	
	8	3.1E-10	1.8E-11	6.5E-16	

表10 評価結果（海岸防災林（災害時：火災））

No.	経路略称	単位再生資材中濃度 あたりの年間被ばく線量 (mSv/y per Bq/g)			5,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)	8,000Bq/kgの再生 資材を使用した 場合の被ばく線量 (mSv/y)
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)		
1	消防士(プルーム)外部	3.3E-12	1.2E-07	9.9E-08	5.0E-07	7.9E-07
2	消防士(地表沈着)外部	6.8E-11	7.3E-06	6.0E-06	3.0E-05	4.8E-05
3	消防士(プルーム)内部	3.2E-10	6.7E-05	5.5E-05	2.8E-04	4.4E-04
4	消防士(地表沈着再浮遊)内部	3.2E-13	6.7E-08	5.5E-08	2.8E-07	4.4E-07
5	公衆(プルーム)外部	2.1E-13	8.9E-09	7.4E-09	3.7E-08	5.9E-08
6	公衆(地表沈着)外部	2.9E-12	1.2E-07	1.0E-07	5.0E-07	8.0E-07
7	公衆(プルーム)内部	1.6E-11	3.4E-06	2.8E-06	1.4E-05	2.3E-05
8	公衆(地表沈着再浮遊)内部	1.4E-14	3.0E-09	2.5E-09	1.2E-08	2.0E-08

参考文献

- (1) 仙台市、「海岸公園復興基本計画」、平成 25 年 11 月
- (2) 林野庁東北森林管理局、「海岸防災林の再生」、平成 26 年 3 月
- (3) 林野庁、東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会、「今後における海岸防災林の再生について」、平成 24 年 2 月
- (4) 林野庁東北森林管理局ホームページ、「海岸防災林、防潮堤等施設の復旧 海岸防災林等の復旧の考え方（仙台湾沿岸地区、東松島市矢本海岸地区、気仙沼地区）」
(http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/koho/saigaijoho/h23_higasinihon_daisinsai.html)
- (5) 日本学術会議、東日本大震災復興支援委員会、「いのちを育む安全な沿岸域の形成に向けた海岸林の再生に関する提言」、平成 26 年 4 月 23 日
- (6) 仙台市、「海岸防災林の再生」、平成 23 年 8 月
- (7) 岩手県、「高田地区海岸災害復旧事業 事業概要」、平成 26 年 6 月 17 日
- (8) 福島県森林保全課、「海辺の里山（海岸防災林）復旧方針について」、平成 25 年 2 月 8 日
- (9) 林野庁東北森林管理局、「別紙 能代の街を飛砂から守る海岸防災林造成事業(風の松原)」
- (10) 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、平成 24 年 2 月
- (11) 消防防災博物館ホームページ、「2 風水害の種別別の基礎知識 風倒木被害」
(http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=B102&ac2=&ac3=4938&Page=hpd2_view)
- (12) 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」、地震工学論文集第 32 巻, 2013
- (13) 国土地理院、「津波による浸水範囲の面積（概略値）について（第 5 報）」、平成 23 年 4 月 18 日
- (14) Environmental Protection Agency, “External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil”, Federal Guidance Report No.12, EPA 402-R-93-001, 1993
- (15) 原子力安全委員会、「環境放射線モニタリング指針」、平成 20 年 3 月、平成 22 年 4 月一部改訂
- (16) 原子力安全委員会、一般公衆線量評価「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」、平成元年 3 月 27 日了承、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂
- (17) 滝光成、小林英雄、鈴木隆、清水勇、「排気筒から放出される放射性雲の等濃度分布図および放射性雲からの等 γ 線量率分布図（Ⅱ）」、JAERI-M-90-206、平成 2 年 11 月
- (18) 原子力安全委員会、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」、昭和 56 年 7 月 20 日決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂

（参考資料１）海岸防災林の災害事例に対する文献調査

海岸防災林に破損をもたらす自然事象として、地震、津波、火災、暴風・竜巻、異常降雨（豪雨）の５つを対象に、災害事例に対する文献調査を実施した。調査は主に、土木学会、地盤工学会、応用地質学会、土木研究所等の土質構造物などを専門とする学会、および、林野庁、国土交通省地方整備局、各県庁等の刊行物に対して行った。

調査の結果、津波と火災による災害事例に関する文献は全部で 20 件確認できた。また津波に関して、経路 No.1（復旧作業者（津波））の評価条件設定の参考にした津波堆積物に関する文献は 4 件確認できた。文献発行期間は平成 23 年～平成 27 年の 5 年間である。表 11 に調査した文献一覧を示す。

表 11 海岸防災林の災害事例に対する調査文献一覧

No.	資料名	資料発行年月日	資料元
1	宮城県沿岸域現地連絡調整会議	平成24年11月7日	国土交通省東北地方整備局
2	高田地区海岸災害復旧事業 事業概要	平成26年6月17日	岩手県
3	山武市小松地区海岸林再生プロジェクト 最終レポート	平成25年	千葉県山武市役所「千葉大学大学院園芸学 研究科緑地科学プロジェクト演習2013」
4	治山施設災害復旧事業(海岸防潮堤・防災林)に関する意見交換会の概要について	平成25年11月30日～平成27年2月28日	宮城県
5	千葉県海岸県有保安林整備指針(九十九里地区)	平成24年5月15日	農林水産部森林課
6	陸前高田地区 海岸復旧工事	平成26年	鹿島建設HP
7	海岸公園復興基本計画	平成25年11月	仙台市
8	中島海岸及び津谷川・外尾川災害復旧事業に係わる取り組み状況	平成26年8月11日	宮城県
9	津波被災地復旧・復興事業説明会を開催しました	平成26年3月24日	樽葉町
10	海岸防災林の再生	平成23年8月	林野庁
11	今後における海岸防災林の再生について	平成24年2月	林野庁 東日本大震災に係る 海岸防災林の再生に関する検討会
12	仙台湾沿岸地区	-	林野庁 東北森林管理局
13	海岸防災林、防潮堤等施設の復旧	-	林野庁 東北森林管理局
14	Ⅱ 日本の松原再生運動	平成24年6月27日	財団法人 日本緑化センター
15	いのちを育む安全な沿岸域の形成に向けた海岸林の再生に関する提言	平成26年4月23日	日本学術会議 東日本大震災復興支援委員会
16	海岸防災林の再生 - 仙台市	平成23年8月	仙台市
17	海辺の里山(海岸防災林)	平成25年2月8日	福島県森林保全課
18	これまでに実施した災害復旧事業等説明会について(気仙沼土木事務所)	平成26年7月24日	宮城県
19	治山事業における海岸保安林整備技術指針	平成26年4月	新潟県
20	静岡県海岸防災林における森林整備方針	平成25年6月	交通基盤部森林局森林保全課
21	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	平成25年	土木学会
22	「能代の街を飛砂から守る海岸防災林造成事業(風の松原)」	平成27年8月	林野庁、東北森林広報誌Vol137別紙
23	2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界	平成24年	活断層・地震研究センター
24	仙台平野を中心とする津波被害実態と堆積物調査報告	平成23年7月16日	東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ

調査の結果、破損事例の件数は津波による流出が 20 件、火災が 1 件であった。地震や暴風・竜巻、異常降雨（豪雨）による破損事例は確認できなかった。