



東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び 設備の基準に関する規則への適合性 について(第十三条 安全評価)

2024年10月28日

日本原子力発電株式会社



第十三条第1項第三号への適合性

要求事項	適合性
三 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質(ウラン二三四、ウラン二三五及びウラン二三八に限る。)について、その総放射エネルギーをメガベクレル単位で表した数値を当該放射性廃棄物、人工バリア、土砂その他の廃棄物埋設地に埋設し、又は設置する物の重量をトン単位で表した数値で除して得た値がーを超えず、かつ、当該廃棄物埋設地内における当該放射性物質の分布がおおむね均一であること。	■ 埋設する放射性廃棄物に含まれるU-234、U-235及びU-238の総放射エネルギーは、金属類が 8.7×10^{-1} MBq、コンクリート類が 1.8×10^0 MBqであり、当該放射性廃棄物の重量は、金属類が6,100トン、コンクリート類が9,800トンである。当該放射性廃棄物の重量のみでそれぞれを除した数値は、金属類が 1.5×10^{-4} 、コンクリート類が 1.8×10^{-4} となり、人工バリア、土砂、その他の廃棄物埋設地に埋設し、又は設置する物の重量を含めなくとも、いずれも1を超えない(第1表参照)。
＜第二種埋設許可基準解釈 第13条＞ 7 第1項第三号の「廃棄物埋設地内における当該放射性物質の分布がおおむね均一」とは、廃棄物埋設地内を体積が同程度である複数の区域に区分した場合にそのいずれにおいても、ウラン(ウラン二三四、ウラン二三五及びウラン二三八に限る。)の放射能濃度が10メガベクレル毎トンを超えないことをいう。	■ 埋設する放射性廃棄物に含まれるウラン(U-234、U-235及びU-238)の放射能濃度は、10 MBq/t を超えない(第1表参照)。また、U-234、U-235及びU-238を含む全 α (主要な放射性物質はAm-241等)の最大放射能濃度は4 MBq/t (機器ごとの最大の放射能濃度を10 倍にして設定)であることから、10 MBq/t を十分に下回るものである。

第1表 放射性物質の放射エネルギー及び平均放射能濃度

放射性物質の種類	金属類(MBq)	コンクリート類(MBq)	金属類(MBq/t)	コンクリート類(MBq/t)
U-234	6.0×10^{-1}	8.6×10^{-1}	9.8×10^{-5}	8.8×10^{-5}
U-235	1.1×10^{-2}	3.8×10^{-2}	1.8×10^{-6}	3.8×10^{-6}
U-238	2.5×10^{-1}	8.2×10^{-1}	4.2×10^{-5}	8.4×10^{-5}
合計	8.7×10^{-1}	1.8×10^0	1.5×10^{-4}	1.8×10^{-4}



第十三条第1項第四号への適合性

要求事項	適合性
四 前条第一項第五号及び第六号に定めるものであること。	① 可燃性の化学物質及び可燃性ガスを発生する化学物質として、「消防法」及び「危険物の規則に関する政令」に定められるものを想定する。埋設する放射性廃棄物は、金属類及びコンクリート類であり、容器等に収納又はこん包する。また、覆土は土質系材料を用いることから、これらの化学物質は埋設トレンチ内に含まれない。
前条(第十二条)第1項	② その他の化学物質として、雨水等の浸透水とコンクリート類の放射性廃棄物との接触によって溶脱するカルシウム成分の影響を考慮する必要がある。雨水等の浸透水がコンクリート類の放射性廃棄物と接触することによって、カルシウム成分が溶脱し、浸透水のpHが変化することで、 高アルカリ性の間隙水が発生する可能性 がある。
五 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、埋設した放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により廃棄物埋設地の安全機能が損なわれないものであること。	i. 安全機能のうち漏出低減機能については、側部低透水性覆土、低透水性覆土、遮水シート及び表面遮水にて漏出低減機能を期待している。 ・ 側部低透水性覆土 : 浸透水は側部低透水性覆土の側面から浸入し、側部低透水性覆土と放射性廃棄物との間にある充填砂部を下方方向に流れる。このため、放射性廃棄物から間隙水が発生しても、 間隙水は浸透水の流れに従って下方方向に流れ、側部低透水性覆土に接触することはない 。なお、間隙水については、充填砂は間隙が大きい砂質土であり拡散しにくく、また、浸透水は下方方向への流れが支配的であることから、間隙水が側部低透水性覆土に接触することは考えられない。以上より、高アルカリ性の間隙水による側部低透水性覆土の低透水性への影響はない。 ・ 低透水性覆土、遮水シート、表面遮水 : 側部低透水性覆土と同様に、 間隙水は浸透水の流れに従って下方方向に流れ、低透水性覆土、遮水シート、表面遮水に接触することはない 。以上より、高アルカリ性の間隙水による低透水性覆土、遮水シート、表面遮水の低透水性への影響はない。
＜第二種埋設許可基準解釈 第12条＞	ii. 安全機能のうち遮蔽機能については、中間覆土にて遮蔽機能を期待しているが、中間覆土はカルシウム成分による影響はない。
6 第1項第5号に規定する「安全機能が損なわれないものであること」とは、放射性廃棄物、人工バリア、土砂その他の廃棄物埋設地に埋設され、又は設置された物が含有する 可燃性の化学物質、可燃性ガスを発生する化学物質その他の化学物質 の性質及び量に応じて、廃棄物埋設地の安全機能に有意な影響を及ぼさないよう対策を講じたものであることをいう。	



第十三条第1項第四号への適合性

要求事項	適合性
四 前条第一項第五号及び第六号に定めるものであること。	■ 廃止措置の開始までに廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがある設計とする。
前条(第十二条)第1項 六 廃止措置の開始までに廃棄物埋設地の <u>保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがあるものであること。</u>	■ 廃棄物埋設地への雨水等及び地下水の浸入を十分に抑制し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始まで(埋設の終了後50年程度)の間において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有し、 <u>埋設した放射性廃棄物が廃止措置の開始後に公衆に及ぼす影響を評価した結果、それぞれの基準を満たす設計とする</u> (第2表参照)。なお、詳細は次頁以降に示す。

第2表 廃止措置の開始後における被ばく線量結果

線量評価シナリオ	評価対象個人	線量評価結果※1	基準
最も可能性が高い自然事象シナリオ	居住者	約 $5.7 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{y}$	10 $\mu\text{Sv}/\text{y}$
最も厳しい自然事象シナリオ	漁業従事者	約 $1.6 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{y}$	300 $\mu\text{Sv}/\text{y}$
	農業従事者	約 $5.3 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{y}$	
	建設業従事者	約 $4.8 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{y}$	
	居住者	約 $4.8 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}/\text{y}$	
人為事象シナリオ	建設業従事者	約 $3.7 \times 10^0 \mu\text{Sv}/\text{y}$ (金属偏在※2) 約 $2.8 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$ (コンクリート偏在※2)	300 $\mu\text{Sv}/\text{y}$
	居住者	約 $1.7 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$ (金属偏在※2) 約 $2.0 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$ (コンクリート偏在※2)	

※1:評価対象個人の最大線量

※2:金属類及びコンクリート類は、それぞれ埋設トレンチの1区画ごとで分けて埋設する計画であり、廃棄物埋設地のうち、掘削される場所により、埋設した放射性廃棄物(金属類又はコンクリート類)が混合された土壌の濃度が変わる。そのため、保守的な条件となるように金属類のみ又はコンクリート類のみを掘削した場合の評価条件とする。



審査ガイドへの適合性(1／2)

自然事象シナリオにおける審査ガイドへの適合性を下表に示す。

審査ガイド記載事項	適合性
(1) 状態の設定 線量評価のうち自然事象シナリオにおいては、人工バリア及び天然バリアを構成する材料（以下「バリア材料」という。例えば、難透水性覆土に使用するベントナイト）の物理的・化学的性質（以下「物性」という。例えば、ベントナイトの収着性）の自然現象による変化を考慮してバリア機能の状態が設定されていることを確認する。また、廃棄物埋設地及びその周辺で生活する公衆の生活環境の状態が設定されていることを確認する。	<バリア機能の状態の設定> 放射性廃棄物、廃棄物埋設地及び本施設周辺の地盤などの地質環境条件について国内及び海外でこれまで検討整理されたFEPリストからスクリーニングを行い、考慮すべき影響事象を抽出し、本施設のFEPリストとして整理を実施。 熱、水理、力学及び化学の観点からマトリクス形式の影響事象分析を行い、対象とするバリア材料の物性に影響を与える可能性について分析し、影響がある事象について、線量評価パラメータを設定することで、その影響を考慮。 状態の設定を行う将来の期間は、廃止措置の開始後1,000年が経過するまでの期間とし、覆土完了時点に1,000年後の状態になるものと設定（一部は経過年数に応じて設定）。 <生活環境の状態の設定> 現在の廃棄物埋設地周辺の社会環境に基づき、被ばくの可能性のある水利用及び土地利用に係る人間活動を設定。 人間活動及び廃棄物埋設地周辺の産業活動に基づき、評価対象個人及び被ばくの形態を設定。
(2) 被ばくに至る経路の設定 被ばくに至る経路は、解釈第13条8 一に基づき設定されていることを確認する。	<最も可能性が高い設定> 放射性廃棄物に含まれる主要な放射性物質が廃棄物埋設地の外へ移動し、更に天然バリア中を移動して生活環境に至るまでの経路及び生活環境において公衆が被ばくするまでの主要な放射性物質の経路について、最も可能性が高いものを選定。 <最も厳しい設定> 放射性廃棄物に含まれる主要な放射性物質が廃棄物埋設地の外へ移動し、更に天然バリア中を移動して生活環境に至るまでの経路及び生活環境において公衆が被ばくするまでの主要な放射性物質の経路について、科学的に合理的な範囲において最も厳しいものを選定。
(3) パラメータの設定 パラメータは、解釈第13条8 一に基づき設定されていることを確認する。	<最も可能性が高い設定> 最も可能性が高い設定とし、一部は保守的に設定。 <最も厳しい設定> 最も厳しい設定とした。
(4) 線量評価結果 「評価の対象とする期間は廃止措置の開始後1000年が経過するまでの期間とすること。なお、当該期間以降において公衆の受ける線量が著しく高くないことを確認すること。」（解釈第13条8 一）については、最も厳しいシナリオ及び最も可能性が高いシナリオのそれぞれについて、次に掲げる①から④の手順で評価されていることを確認する。	評価の対象とする期間は、線量ピーク値の出現が廃止措置の開始後1,000年を超えないことから、10,000年として設定。線量基準を満足していることを確認（第2表参照）。



審査ガイドへの適合性(2／2)

人為事象シナリオにおける審査ガイドへの適合性を下表に示す。

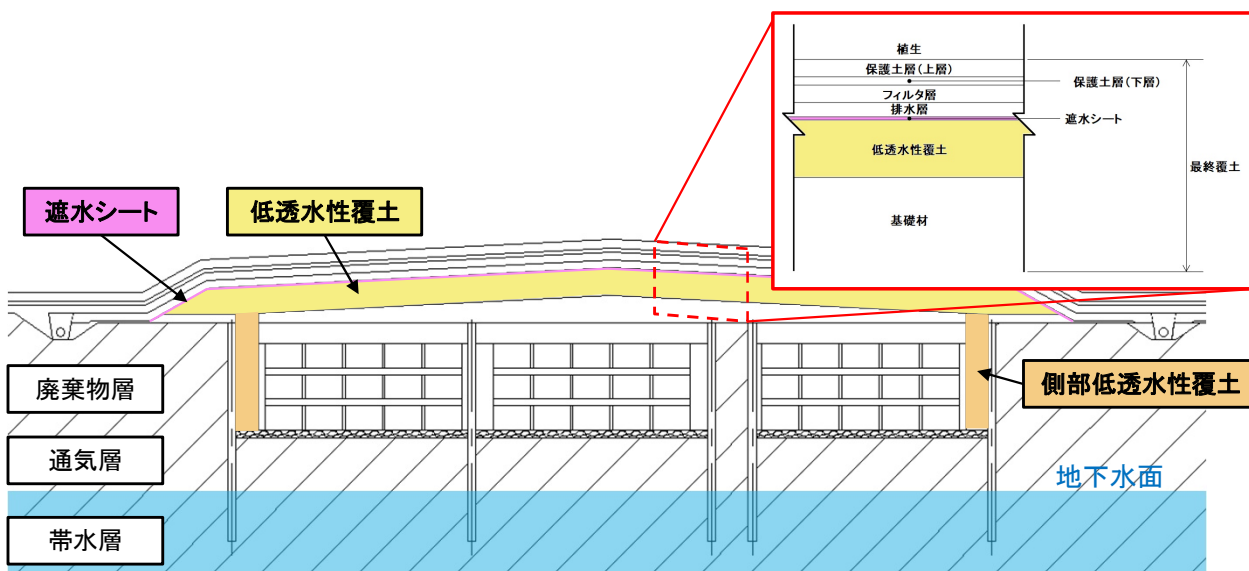
審査ガイド記載事項	適合性
(1) 状態の設定 線量評価のうち人為事象シナリオにおいては、廃止措置の終了直後における廃棄物埋設地の掘削を伴う土地利用を考慮してバリア機能の状態が設定されていることを確認する。また、公衆として廃棄物埋設地の掘削を行う者及び掘削された廃棄物埋設地の土地利用を行う者の生活環境の状態が設定されていることを確認する。	<バリア機能の状態の設定> 廃止措置の終了直後における廃棄物埋設地の掘削を伴う土地利用を考慮して設定。 <生活環境の状態の設定> 廃棄物埋設地の掘削を行う者及び掘削された廃棄物埋設地の土地利用を行う者の状態を設定。
(2) 被ばくに至る経路の設定 被ばくに至る経路は、解釈第13 条8 二に基づき設定されていることを確認する。	敷地周辺における一般的な土地利用では生じるとは考えられないバリア機能の損傷をもたらす人間活動を対象として選定。
(3) パラメータの設定 パラメータは、解釈第13 条8 二に基づき設定されていることを確認する。	廃止措置の終了後における天然バリアの状態及び人工バリアのうち掘削されていない部分の状態に係るパラメータは最も可能性が高い設定を用いて設定。
(4) 線量評価結果 線量評価結果は、解釈第13 条8 二に示す線量基準を満足していることを確認する。 その際、解釈第13 条8 二において「外周仕切設備等と同等の掘削抵抗性を有する設備」の設置を考慮して評価する場合には、掘削した際に人工構造物が埋設されていることが認識でき、かつ、一般的な工作物では相当程度掘削が困難である設備が設置されていることを確認する。このような設備としては、日本原燃株式会社廃棄物埋設事業（平成2 年11 月15 日付け許可並びに平成10 年10 月8 日及び令和3年7 月21 日付け変更許可）のピット処分での外周仕切設備の厚さやピットの設置深さ等が参考となる。	線量基準を満足していることを確認（第2表参照）。

第十三条第1項第四号への適合性

- 廃棄物埋設地は、T.P.約+4 mが底面となるように設置し、地下水より上に放射性廃棄物を埋設する。
- そのため、放射性廃棄物に含まれる放射性物質は、最終覆土上面から浸透した雨水等により地下水に移動し、その後、地下水によって生活環境に移動する。
- 廃棄物埋設地周辺には地下水が湧き出る場所はなく、地下水は海に向かって流れているため、放射性物質が移動する生活環境は、廃棄物埋設地から海までの地下水と接する土壌の利用及び海での活動が主な対象となる。
- 放射性物質の生活環境への移動をバリア材料(バリア材料の物性は下表のとおり)により抑制する。

バリア材料		物性	物性の内容
人工バリア	側部低透水性覆土、低透水性覆土、遮水シート	低透水性	埋設トレンチ内への雨水等の浸入を抑制することによって、廃棄物埋設地からの放射性物質の移動を抑制させる。
天然バリア	本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)	収着性	放射性物質の収着によって、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の移動を抑制させる。

- 廃止措置の開始後の評価では、バリア機能の状態について、FEPリストより影響因子を選定し、バリア材料の物性の変化として最も可能性が高い設定と最も厳しい設定を行う。
- その上で、基本となる廃棄物埋設地の初期状態としては以下の状態を想定する。



西側埋設トレンチの断面図

<低透水性>

- ✓ 低透水性を有する低透水性覆土及び遮水シートは、その上部に排水層、フィルタ層、保護土層及び植生によって外部影響から保護される。側部低透水性覆土は地中に施工された状態であるため、外部影響はない。
 - ✓ 廃棄物埋設地には、有害な空隙が存在しないように砂を充填することから、陥没は発生せず、低透水性覆土及び遮水シートは状態が維持される。
- 影響を及ぼす事象があるかの確認を行い、可能性に応じて設定値を変更する。

<収着性>

- ✓ 廃棄物埋設地内の充填砂(廃棄物層内の土砂)、通気層の土砂及び帯水層の土砂の収着性により、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の生活環境への移動を抑制する。
- 各層に応じた収着性を設定し、その収着性に影響を及ぼす可能性に応じて設定値を変更する。



第十三条第1項第四号への適合性

自然事象シナリオ: 自然現象による廃棄物埋設地からの放射性物質の移動に伴う公衆の受ける線量を評価する。

最も可能性が高い自然事象シナリオ

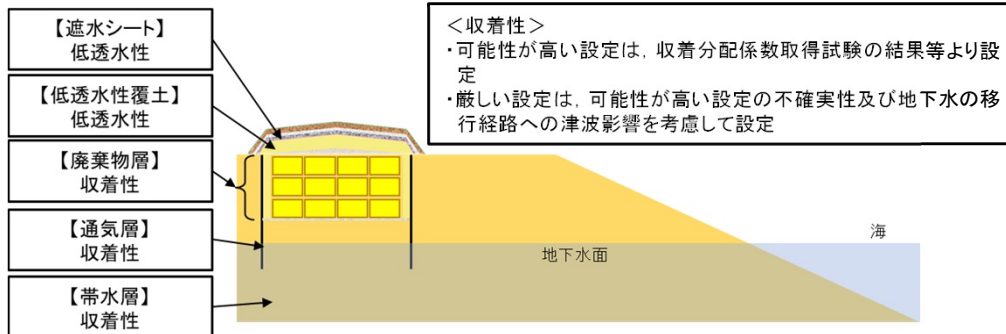
平均的な被ばくを受けると想定される評価対象個人の線量が、低く抑えられていることを確認するために、最も可能性が高い状態に基づく評価を行う。

最も厳しい自然事象シナリオ

最大の被ばくを受けると想定される評価対象個人の線量であっても、著しい被ばくを受けないことを確認するために、科学的に合理的な範囲で線量が保守的となる最も厳しい状態設定に基づく評価を行う。

<低透水性>

- ・影響事象分析により、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートへの外的な要因による損傷は考慮不要
- ・人工物である遮水シートのバリア機能が維持される期間を、ポリマーの酸化劣化を考慮して保守的に設定
- ・低透水性覆土は、埋設した廃棄物の充填砂が地震により微小な空隙が発生し陥没することで、変形及び密度低下により低透水性が低下する可能性を検討し、変形及び密度低下は部分的であるため可能性が高い設定は初期の透水係数と同等と設定し、厳しい設定として、部分的な密度低下による低透水性の低下を設定

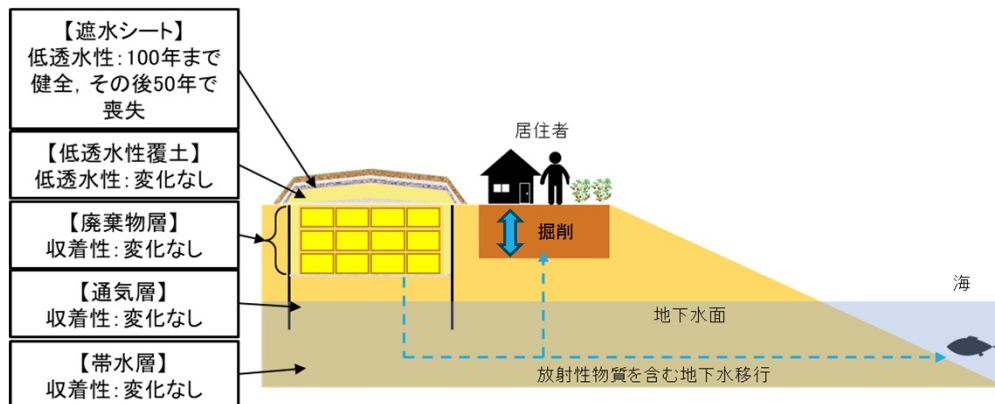


<収着性>

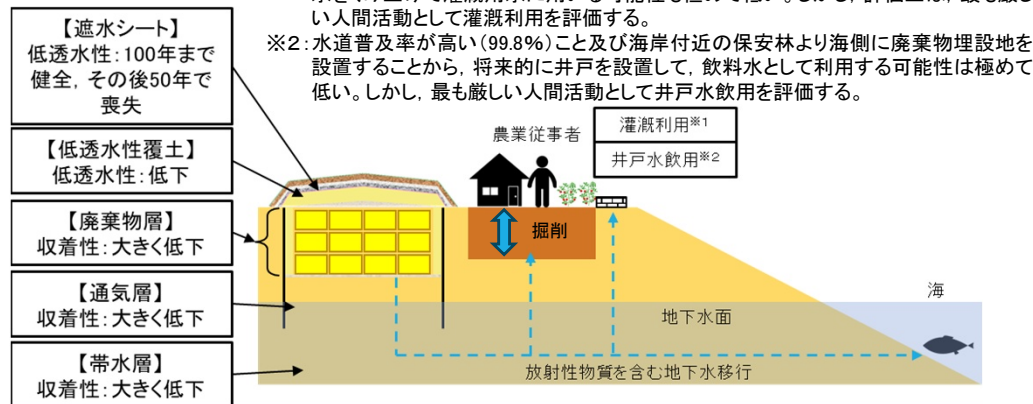
- ・可能性が高い設定は、収着分配係数取得試験の結果等より設定
- ・厳しい設定は、可能性が高い設定の不確実性及び地下水の移行経路への津波影響を考慮して設定

シナリオ	評価対象個人	線量評価結果 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	基準 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)
最も可能性が高い 自然事象シナリオ	居住者	約 5.7×10^{-2}	10
最も厳しい 自然事象シナリオ	農業従事者	約 5.3×10^1	300

最も可能性が高い自然事象シナリオ



最も厳しい自然事象シナリオ



※1: 水理(地下水の流れ)の調査結果上、地下水の主な流れとは別方向に流れる可能性は極めて低い。また、廃棄物埋設地より陸側では灌漑用水が整備されており、地下水をくみ上げて灌漑用水に用いる可能性も極めて低い。しかし、評価上は、最も厳しい人間活動として灌漑利用を評価する。

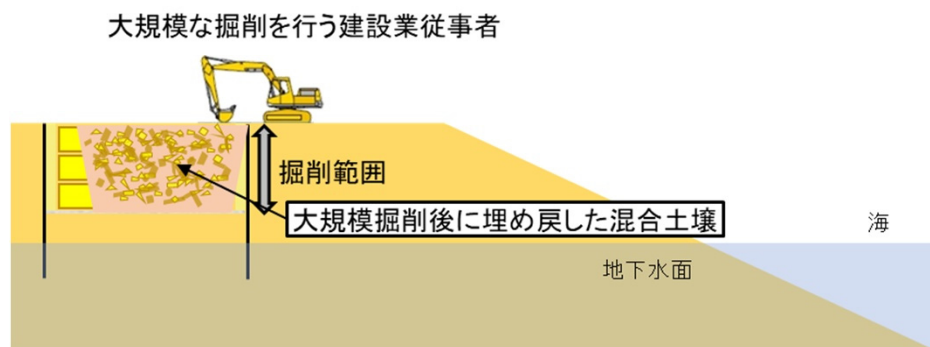
※2: 水道普及率が高い(99.8%)こと及び海岸付近の保安林より海側に廃棄物埋設地を設置することから、将来的に井戸を設置して、飲料水として利用する可能性は極めて低い。しかし、最も厳しい人間活動として井戸水飲用を評価する。

第十三条第1項第四号への適合性

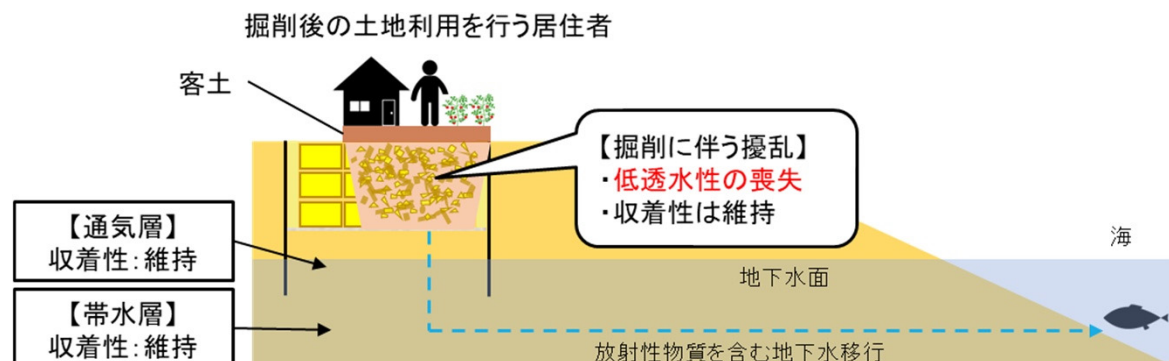
人為事象シナリオ: 敷地周辺の一般的な土地利用では生じるとは考えられないバリア機能の損傷をもたらす人間活動を対象とし、廃棄物埋設地の大規模な掘削を行う建設業従事者及び掘削後の土地利用を行う居住者が受ける線量を評価する。人為事象シナリオが発生の可能性の小さい仮想的なシナリオであることから、過度な保守性を避けるため、最も可能性が高い自然事象シナリオと同様の線量評価パラメータを用いて評価を行う。

- **大規模な掘削を行う建設業従事者**
廃棄物埋設地底部まで掘削される建設作業による被ばくを評価する。
- **掘削後の土地利用を行う居住者**
廃棄物埋設地底部までの掘削後の混合土壌の上での居住による被ばくを評価する。

大規模な掘削を行う建設業従事者



掘削後の土地利用を行う居住者



シナリオ	評価対象個人	線量評価結果 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	基準 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)
人為事象シナリオ	建設業従事者	約 2.8×10^1 (コンクリート偏在)	300
	居住者	約 2.0×10^1 (コンクリート偏在)	

第十三条 廃棄物埋設地 第1項第四号(廃止措置の開始後の評価シナリオ)

廃止措置の開始後の評価においては、ICRP Publication.81に基づいて、自然過程を考慮する自然事象シナリオ及び人間侵入を考慮する人為事象シナリオについて、公衆の受ける線量を評価する。廃止措置の開始後における評価シナリオを第3表に示す。

第3表 廃止措置の開始後における評価シナリオ

評価シナリオ (線量基準)		評価内容
自然事象シナリオ		■ 廃棄物埋設地に埋設処分する放射性廃棄物に含まれる放射性物質は、廃棄物埋設地に浸透する雨水等を介して、地下水に移動し、人の活動する領域に到達する。 ■ 人の活動する領域での人間活動により、公衆が被ばくすることが想定される。 ■ このような<u>自然事象による廃棄物埋設地からの放射性物質の移動及び公衆の受ける線量を評価する。</u>
	最も厳しい自然事象シナリオ ($300 \mu\text{Sv/y}$ 以下)	■ <u>最大の被ばくを受けると想定される評価対象個人の線量であっても、著しい被ばくを受けないことを確認するため</u>、科学的に合理的と考えられる範囲の廃棄物埋設地の人工バリアや天然バリアの状態及び生活環境における被ばくに至る経路の組合せのうち、<u>最も厳しい線量評価パラメータを用いて評価する。</u>
	最も可能性が高い自然事象シナリオ ($10 \mu\text{Sv/y}$ 以下)	■ <u>平均的な被ばくを受けると想定される評価対象個人の線量が、低く抑えられていることを確認するため</u>、科学的に合理的と考えられる範囲の廃棄物埋設地の人工バリアや天然バリアの状態及び生活環境における被ばくに至る経路の組合せのうち、<u>最も可能性が高いと考えられる線量評価パラメータを用いて評価する。</u>
人為事象シナリオ ($300 \mu\text{Sv/y}$ 以下)		■ 廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏出、天然バリア中の移動及び当該掘削後の土地利用を考慮して、<u>典型的なもっともらしい様式化された人間侵入を考慮し、侵入者の受ける線量及びその他の公衆の受ける線量を評価する。</u> ■ 本シナリオでは、敷地周辺の一般的な土地利用では生じるとは考えられない廃棄物埋設地のバリア機能の損傷をもたらす人間活動を対象とする。

第十三条 廃棄物埋設地 第1項第四号(廃止措置の開始後の評価フロー)

1. 自然現象の選定

自然現象を国内外の基準及び文献から網羅的に抽出し、立地特性、地質調査結果、廃棄物埋設地の状態及び自然現象の特徴等を考慮して、安全機能を有する施設に大きな影響を及ぼさない事象は除外し、詳細評価をすべき自然現象を選定する。

2. 地質環境等の状態設定

プレート運動、気候変動が過去から現在までの変動傾向とその要因が今後も継続するとみなし、それらを外挿し現在及び1,000年後の状態設定を行う。

3. 廃棄物埋設地の状態設定

長期状態において、漏出低減機能に影響する可能性のある事象を抽出し、それら影響事象を考慮して状態設定する。なお、中間覆土の長期的な遮蔽機能の状態は変わらないものとする。

4. 生活環境の状態設定

敷地及びその周辺の将来の地質環境等の状態並びに現在の社会環境から被ばくが生じると考えられる人間活動を設定する。さらに、東海村の就労形態を考慮して評価対象個人を設定する。

5. 放射性物質の移動挙動及び被ばく経路

6. 線量評価モデル

7. 線量評価パラメータ

8. 線量評価結果

1. 自然現象の設定

1. 自然現象の設定

廃止措置の開始後の期間に対して、人工バリア及び天然バリアが有する放射性物質の移動抑制機能（以下「バリア機能」という。）に大きな影響を及ぼすおそれがある自然現象を選定する。

自然災害，産業事故，原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある外部ハザード，放射性廃棄物処分施設の地質環境及び安全評価に係る情報が網羅的に示される国内外の基準及び文献（14文献）により，自然現象を網羅的に抽出（105事象）



抽出した自然現象の中で，立地特性，地質調査結果，廃棄物埋設地の状態及び自然現象の特徴を考慮し，ASME／ANS RA-Sa-2009での評価手法を参考とした除外基準（第1-1表参照）に該当するものを除外し，自然現象を選定（19事象）



第1-1表 自然現象の除外基準

基準	除外理由
基準A	廃棄物埋設地に影響を与えるほど近接した場所に発生しない。
基準B	ハザードの進展・襲来が遅く，事前にそのリスクを予知・検知し，ハザードを排除できる。
基準C	バリア機能が外力により損壊する可能性がない。
基準D	影響が他の事象に包含される。
基準E	発生頻度が他の事象と比較して非常に低い。

第1-2表 地質環境等の状態設定において考慮すべき自然現象

起回事象	自然現象
プレート運動に起因する事象	①地震，②津波，③降下火砕物，④隆起・沈降
気候変動に起因する事象	⑤気温，⑥降水量，⑦地下水流動，⑧蒸発散量，⑨かん養量，⑩海水準変動
プレート運動と気候変動の両者に起因する事象	⑪侵食
その他の事象	⑫風，⑬降雹，⑭積雪，⑮生物学的事象，⑯風化，⑰地すべり，⑱コロイド，⑲有機物

2. 地質環境等の状態設定(1/13)

2. 地質環境等の状態設定

(1) プレート運動に起因する事象

日本周辺には、大陸プレートであるユーラシアプレート及び北米プレート並びに海洋プレートであるフィリピン海プレート及び太平洋プレートがあり、大陸プレートの下に海洋プレートが沈み込んでいる。廃棄物埋設地は北米プレートに位置し、東側から太平洋プレートが沈み込むことで、おおむね東西方向の圧縮の力が生じている。文献によると将来の日本列島周辺のプレート運動については、今後数十万年から数百万年程度継続すると考えられる。したがって、状態設定においては、現在のプレート運動が継続するものとして設定する。

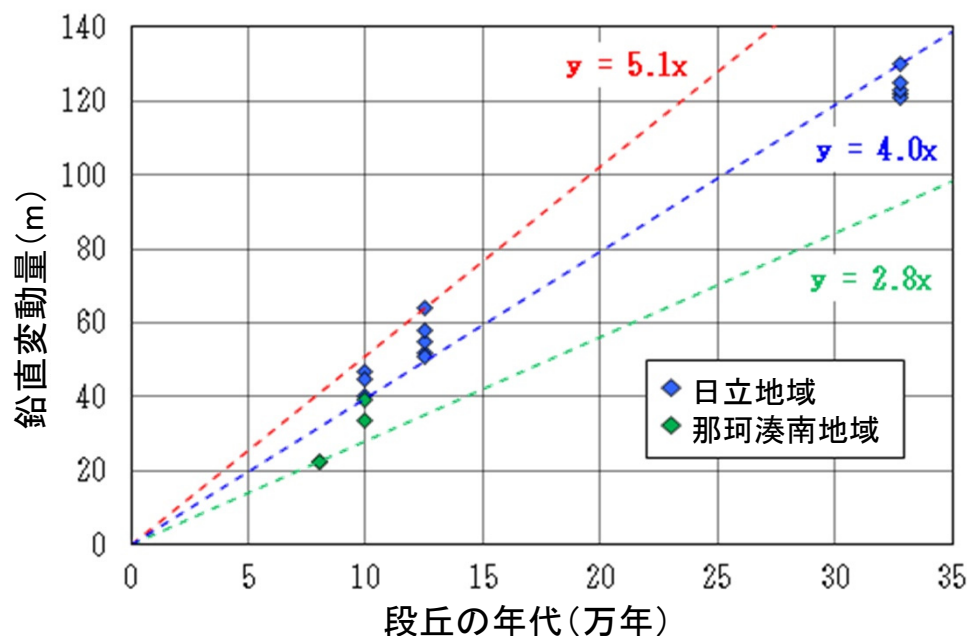
第2-1表 長期変動事象の状態設定結果(プレート運動に起因する事象)

事象	状態設定結果			
①地震	放射性廃棄物内に微小な空隙が残存する場合には、地震によって生じる応力及び振動により廃棄物層が沈下することで廃棄物埋設地に <u>陥没が生じる可能性</u> があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>地震の力学的影響を考慮する</u> 。			
②津波	海水が廃棄物埋設地周辺に流入することで、 <u>地下水の化学特性に一時的に影響する可能性</u> があるため、廃棄物埋設地の状態設定において、 <u>津波の化学的影響を考慮する</u> 。			
③降下火砕物	降下火砕物に含まれる成分によって <u>地下水の水質変化</u> が生じる可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>降下火砕物の化学的影響を考慮する</u> 。			
④隆起・沈降	廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、侵食基準面が変化することにより、河食に影響する可能性があることから、将来の隆起・沈降量を設定する。			
	最も可能性が高い設定	隆起量:0.40(m/1,000年後)	最も厳しい設定	隆起量:0.55(m/1,000年後)

2. 地質環境等の状態設定(2/13)

隆起・沈降の設定について

- 文献※から、廃棄物埋設地周辺(日立地域～那珂湊南地域)の海成段丘面の形成年代と旧汀線高度及び相対海水準を考慮した隆起量について整理したものを第2-1図に示す。
- 廃棄物埋設地周辺の隆起速度は、2.8 m/万年～5.1 m/万年の範囲となる。
- 最も可能性が高い設定：段丘面の標高と年代から推定される隆起速度の平均値から計算した0.40 (m/1,000年後)とする。
- 最も厳しい設定：隆起速度のばらつきを考慮し、隆起速度が最も大きい5.1 m/万年を用いて保守的に0.55 (m/1,000年後)とする。



第2-1図 日本の海成段丘アトラスから算出した隆起速度

※:小池一之, 町田洋編(2001):日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会

2. 地質環境等の状態設定(3／13)

(2) 気候変動に起因する事象

気候変動は、数十万年前から現在まで約8万年周期から約12万年周期で氷期と間氷期を繰り返していることから、大局的には将来もこの周期の気候変動を繰り返すと考えられる。過去の気候変動の傾向から、今後氷期へ向かうと考えられることから、将来は寒冷化すると予測される。一方で、人間活動に伴う温室効果ガス排出により、温暖化が進行する可能性があるとする報告や、現在の温室効果ガス濃度を基準として、炭素循環のメカニズムを仮定した気候シミュレーションにより、将来5万年程度は温暖期が継続する可能性があるとする報告もある。

以上より気候変動に起因する事象に係る長期変動事象の状態設定については、過去の気候変動と同様に現在から寒冷化に向かう場合と温暖期が数万年程度継続する場合の2ケースに大別し、これらの2ケースについて、それぞれ「気温」、「降水量」、「地下水流動」、「蒸発散量」、「かん養量」及び「海水準変動」を考慮する。

⑤ 気温

気温は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、気温の変化に伴い降水量、地下水流動及び蒸発散量に影響する可能性があることから、将来の気温を設定する。設定した気温の値を第2-2表に示す。

⑥ 降水量

降水量の変化は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、降水量の変化により、地下水流動及びかん養量に影響する可能性があることから、将来の降水量を設定する。なお、最も厳しい設定の寒冷化ケースでは希釈水量が少なくなるように、地下水流動における地下水流速が遅くなる設定とする。また、最も厳しい設定の温暖期継続ケースでは年間浸透水量が増加するように、かん養量が多くなる設定する。設定した降水量の値を第2-2表に示す。

第2-2表 1,000年後の気温及び降水量

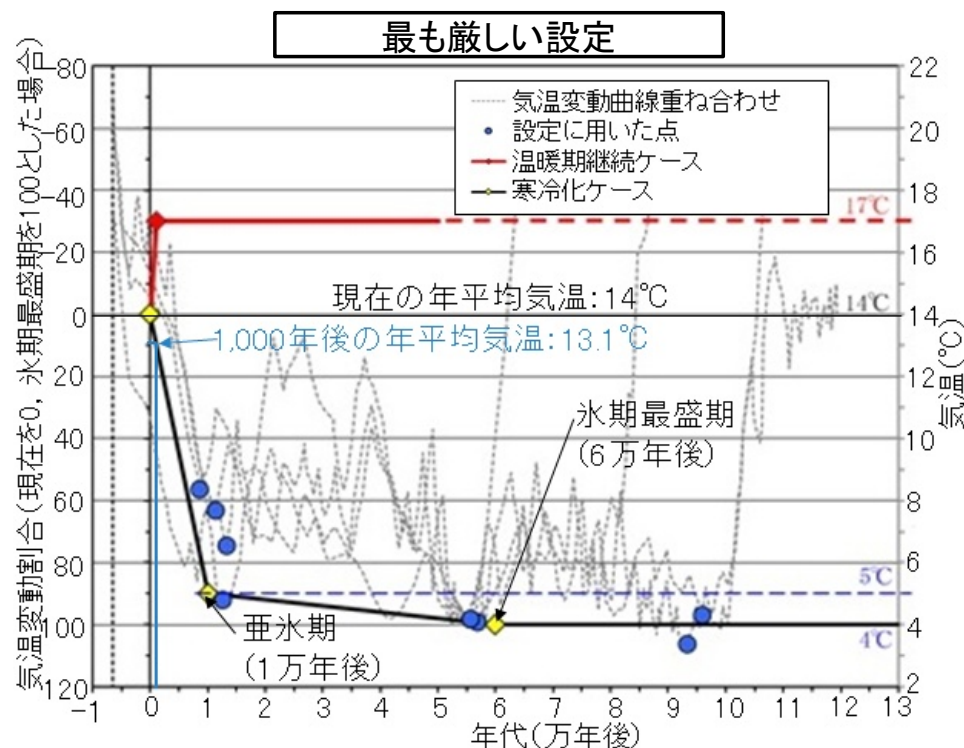
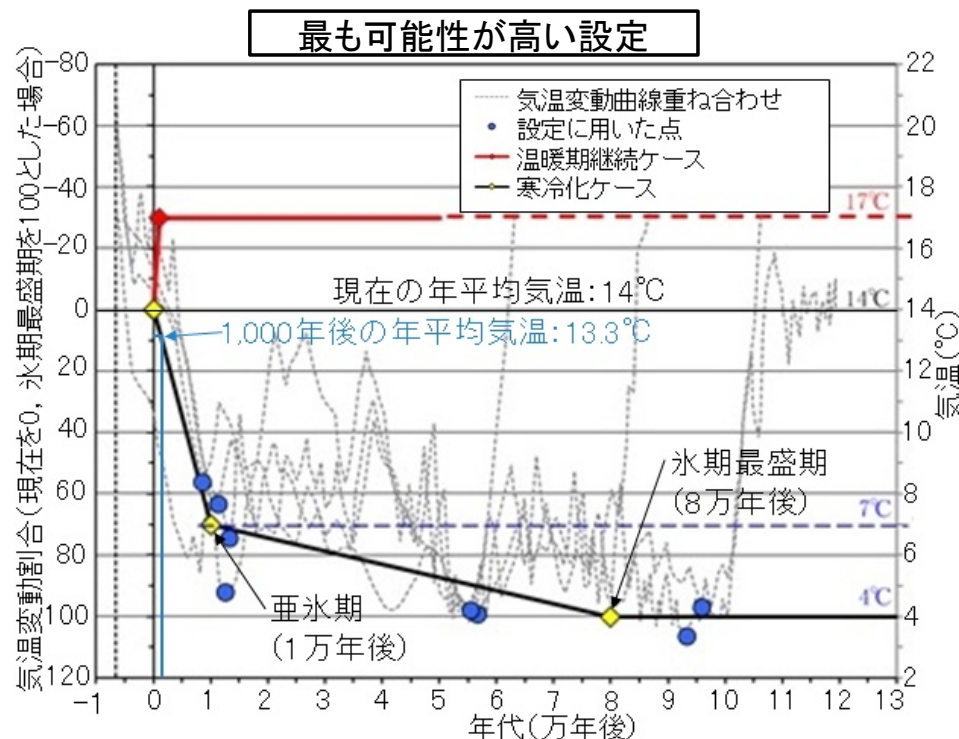
事象	寒冷化ケース		温暖期継続ケース	
	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
⑤気温	13.3(°C)	13.1(°C)	17.0(°C)	17.0(°C)
⑥降水量	1,410(mm/y)	1,110(mm/y)	1,660(mm/y)	2,080(mm/y)

2. 地質環境等の状態設定(4/13)

気温の設定について

現在の気温(14℃)、過去4回の間氷期最盛期から亜氷期までの時間と気温の変化率、及び氷期最盛期における年平均気温の推定値(4℃)から、10,000年後の亜氷期における気温を求め、現在から10,000年後の亜氷期までの気温変動割合を結んだ直線を用いて1,000年後の気温を設定する。

- 最も可能性が高い設定: 過去4回の間氷期最盛期から亜氷期までの時間と気温の変化率については平均値を用いて、10,000年後の亜氷期における気温を氷期最盛期への変化率の約70%＝7℃と想定すると、1,000年後の気温は13.3℃と設定する。
- 最も厳しい設定: 保守的に、過去4回の間氷期最盛期から亜氷期までの、時間については最短値を、気温の変化率については最大値を用いて、10,000年後の亜氷期における気温を氷期最盛期への変化率の約90%＝5℃と想定すると、1,000年後の気温は13.1℃と設定する。



第2-2図 将来の気温の変動曲線

2. 地質環境等の状態設定(5/13)

降水量の設定について

- 降水量は、気温との間に正の相関があり、気候因子とも相関がある。
- そのため、気候因子の影響を除けば、気温と降水量との相関関係を求めることができると考えられる。
- 気候因子が敷地周辺と類似した地点を下記のとおり抽出する(右フロー①, ②参照)。
 - 気象庁のホームページから過去30年間(1991年～2020年)における**63地点**(北海道:27地点, 青森県:6地点, 岩手県:8地点, 宮城県:7地点, 福島県:4地点, 茨城県:5地点, 千葉県:6地点)の**データを収集し、水戸地方気象台の観測地点と地形的に大きく異なる地点を排除し、41地点を選定**した。
 - 気候因子が類似する地点の判断に使用した項目は以下のとおり
 - ・ 東日本の太平洋側からオホーツク海側に位置する
 - ・ アリソフの気候区分が寒帯～温帯である
 - ・ 陸度(半径50 km円内の陸域の占める割合)が1/10～9/10である
 - ・ 開放度(半径15 km円内で対象地点より標高が200 m以上高い範囲を除く角度)が240°～360°である
- 選定した41地点の年平均気温と年降水量を整理し(第2-3表参照), **年平均気温と年降水量の関係(第2-3図参照)を指数回帰式で表し(右フロー③参照), 1,000年後の気温における降水量を算出**した(右フロー④参照)。

① 気候因子が類似する地点の選定

② 41地点を選定

③ 気温と降水量の関係(41地点の年平均気温と降水量の関係から回帰式を作成, 第2-3図参照)

1,000年後の
気温で設定

④ 1,000年後の降水量の設定

1,000年後の降水量設定の流れ

第2-3表 廃棄物埋設地周辺と類似する気候因子を持つ地点の気温と降水量

	地点	年平均気温(°C)	年降水量(mm/y)
1	北海道 宗谷岬	6.4	827.8
2	北海道 稚内	7.0	1109.2
3	北海道 網走	6.9	844.2
4	北海道 標津	5.6	1148.0
5	北海道 別海	6.0	1148.4
6	北海道 根室	6.6	1040.4
7	北海道 厚床	5.7	1158.8
8	北海道 榑町	5.8	1035.2
9	北海道 太田	5.9	1195.2
10	北海道 白糖	5.8	1124.8
11	北海道 釧路	6.6	1080.1
12	北海道 池田	6.1	890.9
13	北海道 浦幌	6.5	1005.9
14	北海道 糠内	5.4	1022.9
15	北海道 大津	5.7	1066.2
16	北海道 大樹	5.6	1146.0
17	北海道 苫小牧	7.9	1239.2
18	北海道 鹉川	7.1	1010.6
19	北海道 室蘭	8.9	1188.9
20	北海道 日高門別	7.6	983.7
21	北海道 静内	8.3	1043.3
22	北海道 浦河	8.2	1118.3
23	青森県 六ヶ所	9.4	1383.3
24	青森県 三沢	10.2	1110.2
25	青森県 十和田	9.8	1038.0
26	青森県 八戸	10.5	1045.1
27	宮城県 鹿島台	11.4	1134.5
28	宮城県 石巻	11.9	1091.3
29	宮城県 塩釜	11.8	1175.0
30	宮城県 仙台	12.8	1276.7
31	宮城県 亶理	12.4	1272.2
32	福島県 小名浜	13.8	1461.2
33	茨城県 北茨城	13.2	1444.3
34	茨城県 水戸	14.1	1367.7
35	茨城県 鉾田	13.8	1468.5
36	茨城県 鹿嶋	14.9	1576.6
37	千葉県 銚子	15.8	1712.4
38	千葉県 横芝光	15.2	1509.4
39	千葉県 茂原	15.7	1682.4
40	千葉県 勝浦	16.0	1999.2
41	千葉県 館山	16.2	1845.9

2. 地質環境等の状態設定(6/13)

降水量の設定について

■ 寒冷化ケース:

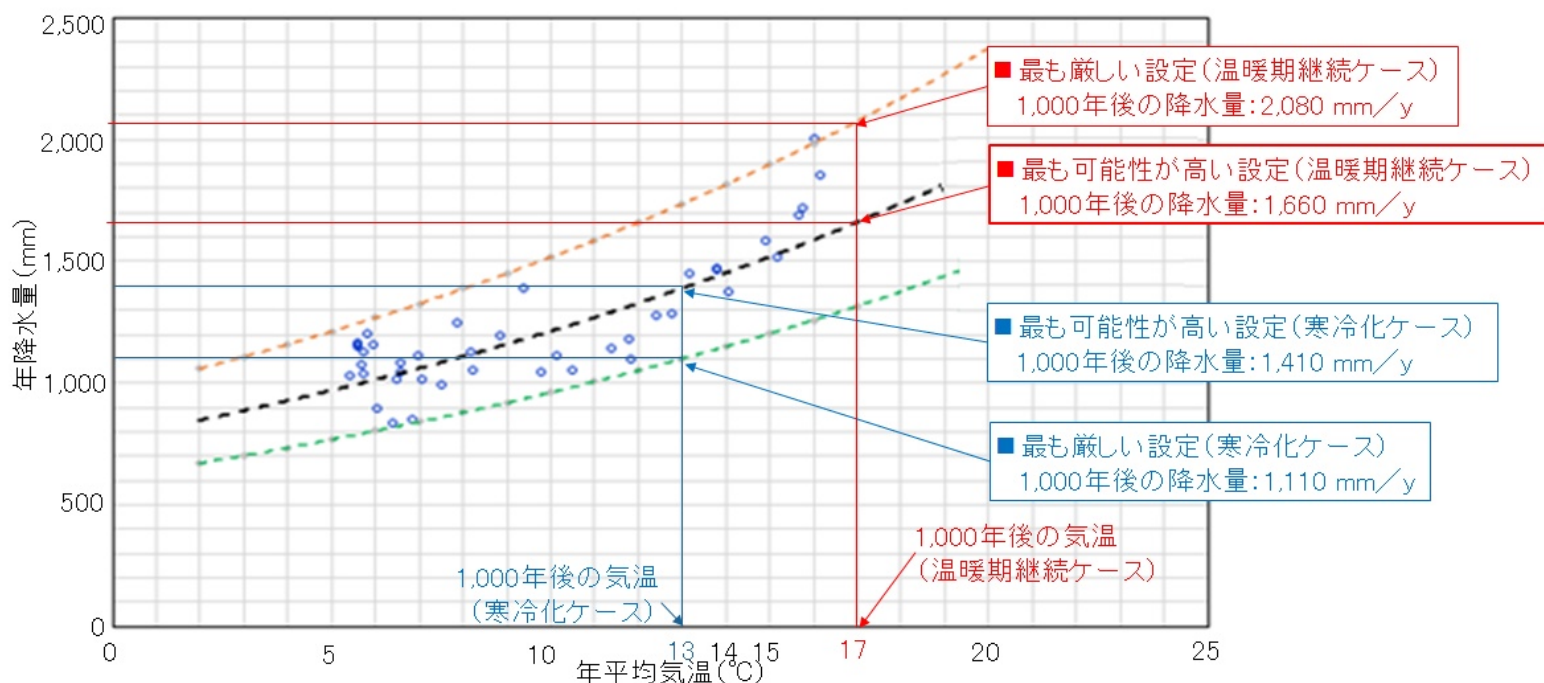
最も可能性が高い設定は、指数回帰式(中央)及び気温の状態設定値(13.3℃)から、1,000年後の降水量を1,410 mm/yと設定。

最も厳しい設定は、指数回帰式(下側)を用い、気温の状態設定値(13.1℃)から、1,000年後の降水量を1,110 mm/yと設定。降水量を少なく設定することで、地下水流動における地下水流速が遅くなり、希釈水量が少なくなるため、線量評価結果が厳しくなる。

■ 温暖期継続ケース:

最も可能性が高い設定は、指数回帰式(中央)及び気温の状態設定値(17.0℃)から、1,000年後の降水量を1,660 mm/yと設定。

最も厳しい設定は、指数回帰式(上側)を用い、気温の状態設定値(17.0℃)から、1,000年後の降水量を2,080 mm/yと設定。降水量を多く設定することで、かん養量が多くなり、年間浸透水量が増加するため、線量評価結果が厳しくなる。



第2-3図 廃棄物埋設地周辺と類似する気候因子を持つ地点の気温と降水量の関係

2. 地質環境等の状態設定(7/13)

⑦ 地下水流動

地下水流動は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、地下水流動の変化に伴い地下水流速に影響する可能性がある。地下水流速は、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の地下水での希釈水量に関係し、希釈水量は被ばく線量評価に影響する。このため、将来の地下水位、動水勾配及び地下水流速を設定する。地下水位が動水勾配の設定に用いられ、動水勾配から地下水流速を設定する。

■ 将来の地下水位、動水勾配及び地下水流速は以下の方法により設定する。

① 過去の記録に基づき12ヶ月間の降水量と廃棄物埋設地直下の平均地下水位の相関式を設定
(第2-4図参照)



② 廃棄物埋設地直下の平均地下水位と、廃棄物埋設地の上流と下流の地下水位から算出した年平均動水勾配の相関式を設定
(第2-5図参照)

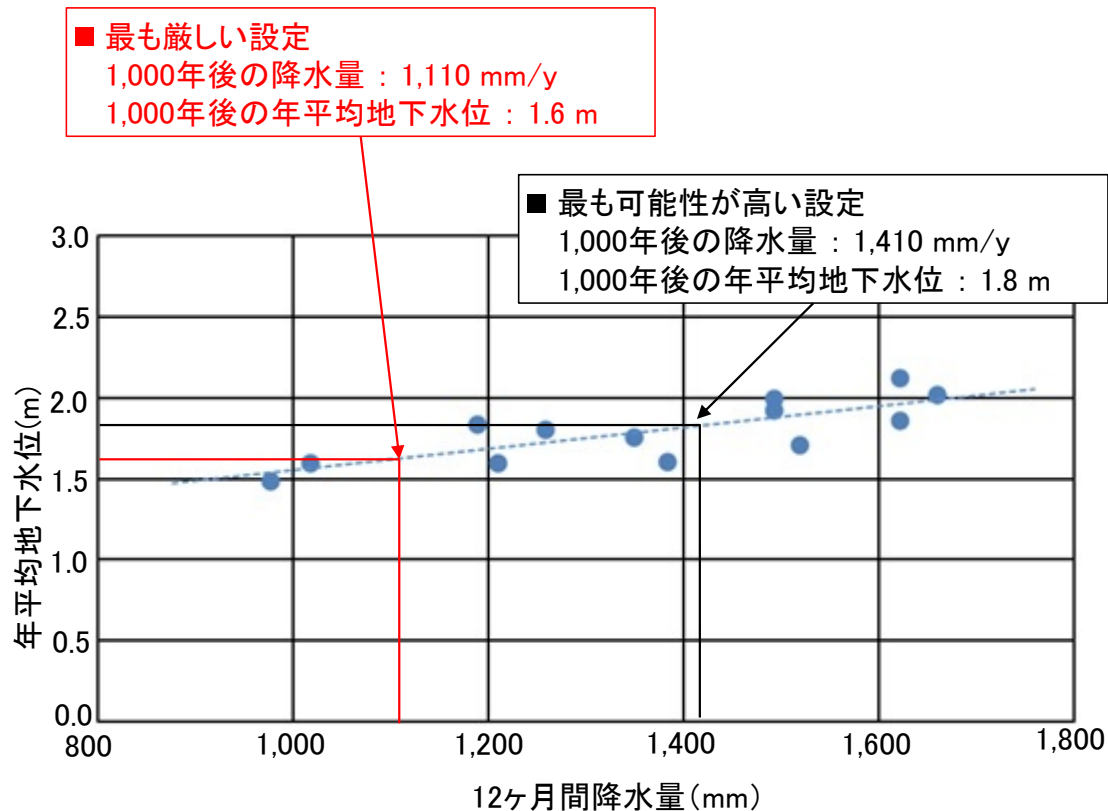


③ 将来の降水量の設定に基づき、①及び②で設定した相関式を用いて、地下水位、動水勾配及び地下水流速を設定
地下水流速は、②で算出した動水勾配に、廃棄物埋設地近傍で行った揚水試験で得られた透水係数(3.23×10^{-2} cm/s)を用いて、ダルシー流速を算出することで設定する。1,000年後の各設定値は第2-4表のとおり。

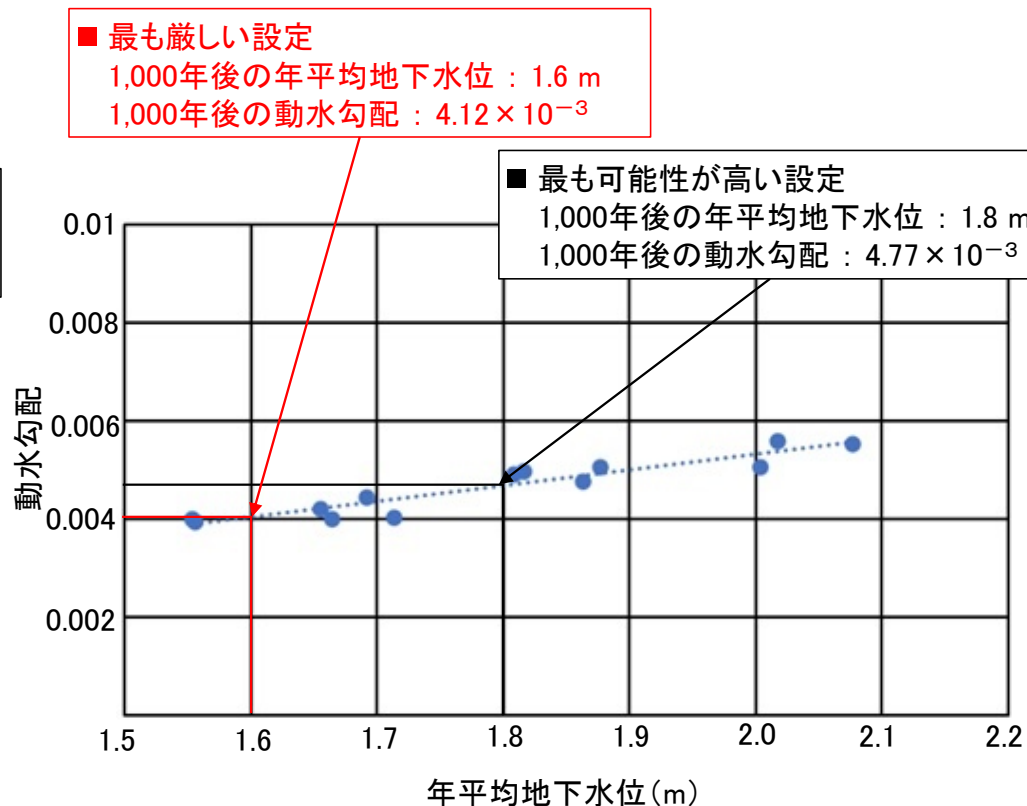
第2-4表 1,000年後の地下水位(地下水流動)

事象	ケース	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
⑦地下水流動	寒冷化	地下水位 : +1.8(T.P. m) 動水勾配 : 4.77×10^{-3} 地下水流速: 49(m/y)	地下水位 : +1.6(T.P. m) 動水勾配 : 4.12×10^{-3} 地下水流速: 42(m/y)

2. 地質環境等の状態設定(8/13)



第2-4図 12ヶ月間降水量と平均地下水位との関係



第2-5図 年平均地下水位と年間の動水勾配の関係

2. 地質環境等の状態設定(9/13)

⑧ 蒸発散量

蒸発散量は、かん養量の設定に必要となるため設定する。

- 蒸発散量は、ソーンスウェイト法で算出される可能蒸発散量を補正して設定する。
- 可能蒸発散量は植物で完全に覆われた地表面に十分に水分を供給した時の蒸発散量であり、実際の蒸発散量は地表面(土地利用や植生分布等)における経験的係数を可能蒸発散量に乗じて算出される。敷地周辺の蒸発散量は補正係数0.6 ※を用いる。
- ⑥降水量に示す敷地周辺と気候因子が類似した41地点の年平均気温から可能蒸発散量を計算し、実蒸発散量と可能蒸発散量の比0.6 を用いて、41地点の年平均気温と蒸発散量の関係を得た(第2-6図)。
- 蒸発散量は、この関係式から、最も可能性が高い設定又は最も厳しい設定の気温を用いて設定。

※ 地域分析のための熱・水収支水文学, 新井正, 古今書店

<最も可能性が高い設定>

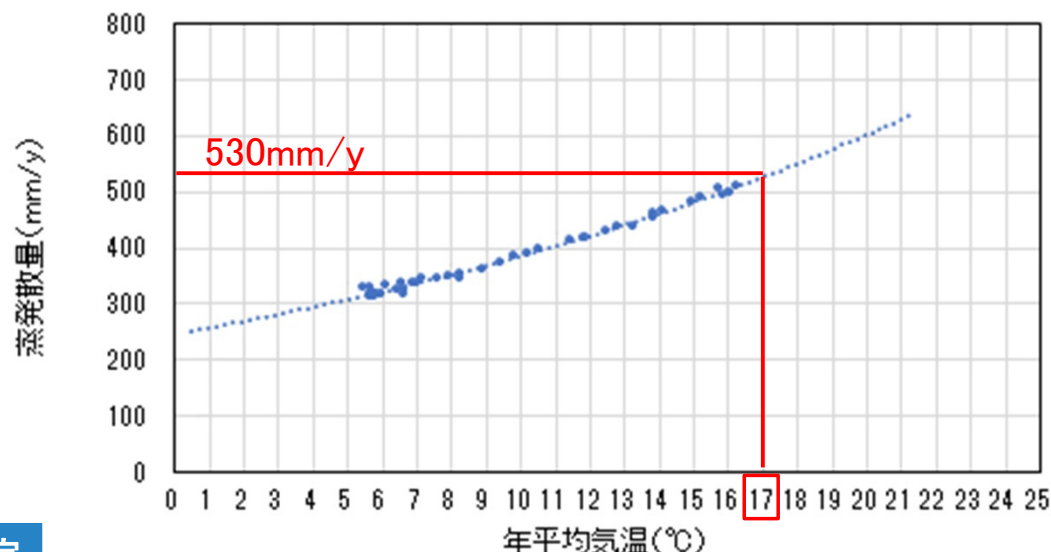
- 温暖期継続ケースの将来の蒸発散量は、最も可能性が高い設定における温暖期継続ケースの気温の状態設定値(17.0℃)から設定。

<最も厳しい設定>

- 保守的にかん養量が多くなるように、気温と降水量の相関関係から不確かさを考慮して、1,000年後の降水量を2,080 mm/y とし、降水量が多くなるよう設定。このため、気温の設定には不確かさを見込まず、最も可能性が高い設定における温暖期継続ケースの気温の状態設定値(17.0℃)を用いる。

第2-5表 1,000年後の蒸発散量

事象	ケース	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
⑧蒸発散量	温暖期継続	530(mm/y)	530(mm/y)



第2-6図 敷地周辺と類似する気候因子を持つ地点の気温と蒸発散量の関係

2. 地質環境等の状態設定(10/13)

⑨かん養量

かん養量の変化は廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、かん養量が変化すると廃棄物埋設地への浸透水量の変化に伴い廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出量に影響する可能性があることから、かん養量を設定する。

- かん養量は、降水量、蒸発散量及び表面流出量が把握できれば一般的な水収支式より算出することができる。敷地周辺においてはおおむね水収支式が成立していると想定される。
- 水収支式における降水量は⑥降水量の設定値を用いる。また、蒸発散量は⑧蒸発散量の設定値を用いる。
- 表面流出量は、降水量に流出係数を乗じて算出する。敷地周辺の流出係数は、物部(1933)^{※1}における平らな耕地の流出係数0.45～0.60 及び日本下水道協会(2009)^{※2}における住宅公団団地等の中層住宅団地及び一戸建て住宅の多い地域の流出係数0.50 より、0.50 と設定する。

※1 物部(1933):物部による日本河川の流出係数

※2 日本下水道協会(2009):下水道施設計画・設計指針と解説, 日本下水道協会

$$(\text{水収支式}) \quad \text{かん養量}(\text{mm}) = \text{降水量}(\text{mm}) - \text{蒸発散量}(\text{mm}) - \text{表面流出量}(\text{mm})$$

降水量と蒸発散量はどちらも温暖期継続ケースで増加し、寒冷化ケースで減少する。気温の変化量に対する降水量の変化量の方が、蒸発散量の変化量よりも大きいため、かん養量の設定においては降水量が支配的となる。降水量が増加する温暖期継続ケースの方がかん養量は多くなるため、温暖期継続ケースを状態設定の対象とする。

＜最も可能性が高い設定＞

- 最も可能性が高い降水量の設定(1,660mm)、蒸発散量(530mm)から、水収支式を用いて算出。

＜最も厳しい設定＞

- 最も厳しい降水量の設定(2,080mm)、蒸発散量(530mm)から、水収支式を用いて算出。

第2-6表 1,000年後のかん養量

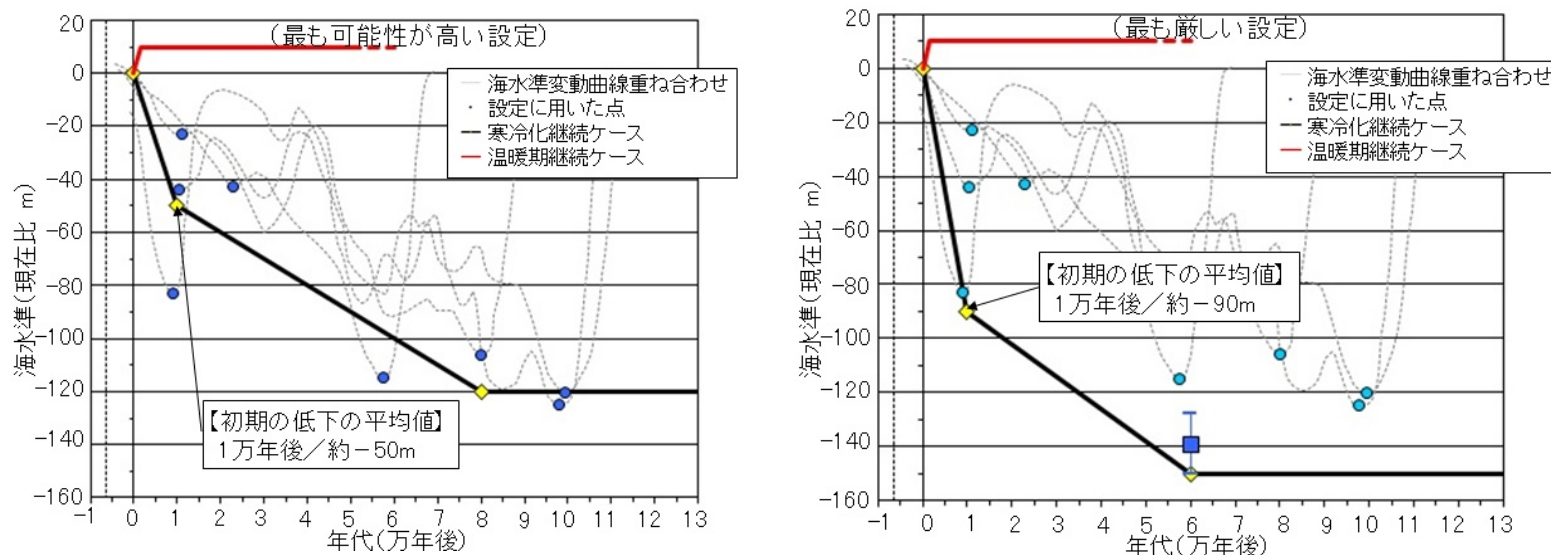
事象	ケース	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
⑨かん養量	温暖期継続	300(mm/y)	510(mm/y)

2. 地質環境等の状態設定(11/13)

⑩ 海水準変動

海水準変動は、廃棄物埋設地を直接損傷させることはないが、海水準変動により侵食基準面が変化することで、河食に影響する可能性があることから、海水準の変動量を設定する。海水準は低下量が大きく、低下時期が早いほど、侵食基準面が変化することによる河食への影響の観点から保守的な設定となるため、海水準が低下する寒冷化ケースを状態設定の対象とする。

- **最も可能性が高い設定**：1,000年後の海水準の変動幅は、1万年後の海水準低下の平均値の約-50mから、**-5.0m(現在比)**と設定した。
- **最も厳しい設定**：1,000年後の海水準の変動幅は、1万年後の海水準低下の平均値の約-90mから、**-9.0m(現在比)**と設定した。



第2-7図 将来の海水準変動曲線

第2-7表 1,000年後の海水準

事象	ケース	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
⑩海水準変動	寒冷化	-5.0 m(現在比)	-9.0 m(現在比)

2. 地質環境等の状態設定(12/13)

(3) プレート運動と気候変動の両者に起因する事象

プレート運動と気候変動の両者に起因する事象は「侵食」がある。

第2-8表 長期変動事象の状態設定結果(プレート運動と気候変動の両者に起因する事象)

事象	状態設定結果
⑪侵食	廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性のある侵食は、敷地周辺の面的侵食、河川における表流水による侵食(以下「河食」という。)、沿岸部における沿岸流と波浪等による侵食(以下「海食」という。)及び<u>廃棄物埋設地の侵食</u>が想定される。 a. 敷地周辺の面的侵食 敷地周辺の面的侵食による侵食速度は0.1 mm/年以下とされており、1,000年後の状態設定において放射性廃棄物の地表接近への影響は小さく、<u>廃棄物埋設地に大きな影響を及ぼさない</u>と想定される。 b. 河食 将来、寒冷化により海水準が低下した場合、現在の久慈川の位置(廃棄物埋設地の北側約1.2 km)において、河川の下方侵食(下刻)及び側方侵食が想定される。下方侵食は、1,000年後の状態設定において、海水準低下量の最も厳しい設定は-9.0 mであり、また、隆起・沈降を考慮した侵食基準面の低下は0.55 m程度であるため、久慈川の下方侵食量は9.55 mとなる。側方侵食の範囲は、下方侵食9.55 mにおけるのり面勾配1 : 1.2の斜面が地形面と交差する地点までであり、側方侵食量は20 m程度となる。<u>久慈川から廃棄物埋設地までは約1,200mあるため、河食は到達せず、埋設した放射性廃棄物への河川水の影響はない。</u> c. 海食 廃棄物埋設地の東側約0.4 kmに海岸があるが、<u>過去(60年～70年前)から現在において廃棄物埋設地東方の海岸線は海食による影響がなく、将来の埋設した放射性廃棄物への将来の海水の影響は想定されない。</u> d. 廃棄物埋設地の侵食 侵食は主に面状侵食、リル侵食、ガリ侵食に分類される。面状侵食は、雨滴が地表面に直接落下する際に地表の土粒子が剥離し、地表層を薄く一様に流れる表面流水により、地表面全体が均一に侵食されるものである。リル侵食は、降水量が地表面の浸透能力を上回った場合に流水が発生し、水が流れる部分が集中して斜面を洗掘するものである。ガリ侵食は、リル侵食によって形成された洗掘部分の流量が増え、複数のリルが集約されて大きなガリに発展するものである。面状侵食、リル侵食及びガリ侵食により低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響する可能性があるため、<u>廃棄物埋設地の状態設定において侵食の力学的影響を考慮する。</u>

2. 地質環境等の状態設定(13／13)

(4) その他の事象

第2-9表 長期変動事象の状態設定結果(その他の事象)

事象	状態設定結果
⑫風	風により遮水シート及び低透水性覆土の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>風の力学的影響を考慮する。</u>
⑬降雹	降雹により遮水シート及び低透水性覆土の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>降雹の力学的影響を考慮する。</u>
⑭積雪	積雪により遮水シート及び低透水性覆土の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>積雪の力学的影響を考慮する。</u>
⑮生物学的事象	樹木の植生及びモグラ類により遮水シート及び低透水性覆土の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>生物学事象の力学的影響を考慮する。</u>
⑯風化	風化により遮水シート及び低透水性覆土の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>風化の力学的影響及び化学的影響を考慮する。</u>
⑰地すべり	地すべりにより遮水シート及び低透水性覆土の低透水性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>地すべりの力学的影響を考慮する。</u>
⑱コロイド	コロイドの生成により、廃棄物埋設地の周辺の地盤(du層)の収着性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>コロイドの化学的影響を考慮する。</u>
⑲有機物	有機物により、廃棄物埋設地の周辺の地盤(du層)の収着性に影響する可能性があるため、廃棄物埋設地の状態設定において <u>有機物の化学的影響を考慮する。</u>

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(1/20)

3. 廃棄物埋設地の状態設定

(1) 各バリアに期待する性能

廃棄物埋設地におけるバリア材料の物性(第3-1表参照)への自然現象による変化を考慮したバリア機能に着目する。なお、バリア材料は廃止措置開始後に想定される廃棄物埋設施設(以下「本施設」という。)の環境状態を踏まえ、線量評価においてバリア機能として考慮するものを対象とする。



(2) 影響事象の抽出

廃棄物、廃棄物埋設地及び本施設周辺の地盤などの地質環境条件について国内及び海外でこれまで検討整理されたOECD/NEAの国際FEPリスト等からスクリーニングを行い、考慮すべき影響事象を抽出(第3-2表参照)し、本施設のFEPリスト(第3-3表参照)として整理する。



(3) 影響事象分析

熱(T)、水理(H)、力学(M)及び化学(C)の観点からマトリクス形式の表を整理し、影響元(自然現象を含む。)の特性、そこで生じる事象やプロセスによって、対象とするバリア材料の物性に影響を与える可能性について分析を行う(第3-4表参照)。



(4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

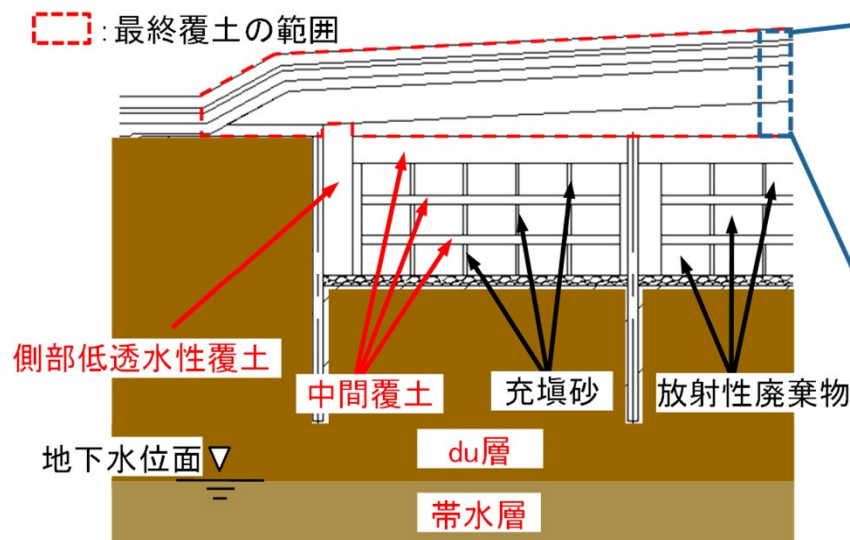
バリア材料の物性に影響する可能性がある影響事象(14事象)(第3-5表参照)について影響評価を行い、影響がある事象については、線量評価パラメータを設定することによって、その影響を考慮する(第3-6表～第3-8表参照)。

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(2/20)

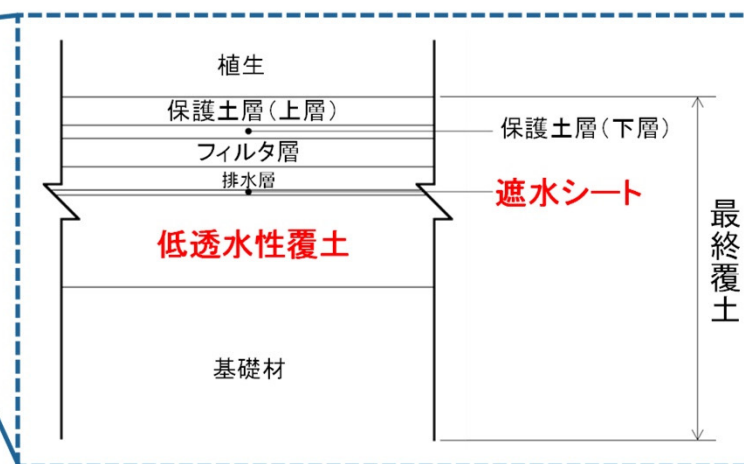
(1)各バリアに期待する性能

第3-1表 着目するバリア材料の物性

影響先			
分類	バリア材料	物性	物性の内容
人工バリア	側部低透水性覆土, 低透水性覆土 及び遮水シート	低透水性	埋設トレンチ内への <u>雨水等の浸入を抑制</u> することによって, 廃棄物埋設地からの放射性物質の移動を抑制させる。
天然バリア	本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)	収着性	<u>放射性物質の収着</u> によって, 廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の移動を抑制させる。



第3-1図 廃棄物埋設地断面図



第3-2図 最終覆土の断面図

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(3/20)

(2) 影響事象の抽出

- ✓ 本施設に関連するFEPとして、廃棄物安全小委員会報告書のFEPリストから、地下環境に係るFEPリストのうち、「緩衝材／埋め戻し材」及び「母岩(掘削影響領域, 断層帯含む)」を選定し、OECD／NEAの国際FEPリストから、「廃棄物因子」, 「埋設施設因子」及び「地圏因子」を選定した(第3-2表参照)。
- ✓ 選定した各FEPリストを整理し、本施設のFEPリスト(第3-3表参照)を作成した。また、IAEA-ISAMのFEPリストとの網羅性も確認している。
- ✓ なお、本施設特有のものとして、地表近くの擾乱の影響を想定しなければならない事象については、地質環境等の状態設定のなかで自然現象として抽出する。

第3-2表 選定したFEPリストの項目(1/2)

対象文献	FEPリスト		結果	除外理由
廃棄物安全小委員会報告書のFEPリスト	その1 地下環境	ガラス固化体	—	本施設に存在しない。
		オーバーパック	—	本施設に存在しない。
		緩衝材／埋め戻し材	○	—
		プラグ・グラウト・支保工等	—	本施設に存在しない。
		母岩(掘削影響領域, 断層帯含む)	○	—
	その2 地表環境	帯水層	—	母岩(掘削影響領域, 断層帯含む)のFEPリストにおいて、周辺地盤(du層及び帯水層)に関連するFEP選定を行っている。また、自然現象による影響については、地質環境等の状態設定において抽出している。
		地表水(河川・湖)	—	バリア材料の物性への影響がない。
		土壌・堆積土壌	—	母岩(掘削影響領域, 断層帯含む)のFEPリストにおいて、周辺地盤(du層及び帯水層)に関連するFEP選定を行っている。また、自然現象による影響については、地質環境等の状態設定において抽出している。
		海洋	—	バリア材料の物性への影響に関係しない。
		海岸	—	バリア材料の物性への影響に関係しない。
		大気	—	バリア材料の物性への影響に関係しない。

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(4/20)

(2) 影響事象の抽出

第3-2表 選定したFEPリストの項目(2/2)

対象文献	FEPリスト	結果	除外理由
OECD/NEA の国際FEPリ スト	1 外的因子	1.1 埋設施設の問題(閉鎖前)	—※ バリア材料の物性への影響に関係しない。
		1.2 地質学的因子	— 地質環境等の状態設定で抽出している。
		1.3 気候因子	— 地質環境等の状態設定で抽出している。
		1.4 将来の人間活動	— 地質環境等及び生活環境の状態設定で抽出している。
		1.5 その他外的因子	— 発生確率が極めて小さい。
	2 廃棄物因子	2.1 廃棄物形態	○ —
		2.2 廃棄物の特徴・特性	○ —
		2.3 廃棄物プロセス	○ —
		2.4 汚染物質の放出(廃棄物形態)	○ —
		2.5 汚染物質の移行(廃棄物)	○ —
	3 埋設施設因子	3.1 埋設施設の特徴・特性	○ —
		3.2 埋設施設プロセス	○ —
		3.3 汚染物質の移行(埋設施設)	○ —
	4 地圏因子	4.1 地圏の特徴・特性	○ —
		4.2 地圏プロセス	○ —
		4.3 汚染物質の移行(地圏)	○ —
	5 生物圏因子	5.1 地表環境	— バリア材料の物性への影響に関係しない。
		5.2 人間の特徴・行動	— バリア材料の物性への影響に関係しない。
		5.3 汚染物質の移行(生物圏)	— バリア材料の物性への影響に関係しない。
		5.4 被ばく因子	— バリア材料の物性への影響に関係しない。

※品質管理に係る事項(施工不良)のみ抽出する。

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(5/20)

(2) 影響事象の抽出

第3-3表 本施設のFEPリスト

環境分類	廃棄物層	側部低透水性覆土、 低透水性覆土及び遮水シート	本施設周辺の地盤 (du層及び帯水層)及び 地下水(浸透水を含む)	最終覆土(低透水性覆土及び 遮水シートを除く)及び植生
熱	熱特性(WT01), 温度(WT02), 熱生成及び熱移動(WT03)	熱特性(BT01), 温度(BT02)	熱特性(ST01), 温度(ST02)	熱特性(PT01), 温度(PT02)
水理	水理特性(WH01), 飽和・不飽和(WH02), 地下水流動(WH03)	水理特性(BH01), 飽和・不飽和(BH02), 地下水流動(BH03), パイピング・流体侵食(BH04)	水理特性(SH01), 飽和・不飽和(SH02), 地下水流動(SH03)	水理特性(PH01), 飽和・不飽和(PH02), 地下水流動(PH03), パイピング・流体侵食(PH04)
力学	力学特性(WM01), 体積変化(WM02), 応力(WM03), 変形, 移動・流出(WM04), ガスによる膨張・爆発(WM05), 応力腐食割れ(WM06)	力学特性(BM01), 体積変化(BM02), 応力(BM03), 変形(クリープ), 移動・流出(BM04), ベントナイト膨潤(BM05)	力学特性(SM01), 体積変化(SM02), 応力(SM03), 変形(クリープ), 移動・流出(SM04)	力学特性(PM01), 体積変化(PM02), 応力(PM03), 変形(クリープ), 移動・流出(PM04)
化学	化学特性(WC01), 地下水化学・地下水(浸透水)との反応(WC02), 化学的変質・移動(WC03), pHの変化(WC04), 酸化還元環境の変化(WC05), 腐食(WC06), 錯体形成(WC07), コロイド生成(WC08), 有機物の影響(WC09), 微生物の影響(WC10), 塩の蓄積(WC11)	化学特性(BC01), 地下水化学・地下水(浸透水)との反応(BC02), 化学的変質・移動(BC03), pHの変化(BC04), 酸化還元環境の変化(BC05), 錯体形成(BC07), コロイド生成(BC08), 有機物の影響(BC09), 微生物の影響(BC10)	化学特性(SC01), 地下水化学・地下水(浸透水)との反応(SC02), 化学的変質・移動(SC03), pHの変化(SC04), 酸化還元環境の変化(SC05), 錯体形成(SC07), コロイド生成(SC08), 有機物の影響(SC09), 微生物の影響(SC10)	化学特性(PC01), 地下水化学・地下水(浸透水)との反応(PC02), 化学的変質・移動(PC03), pHの変化(PC04), 酸化還元環境の変化(PC05), 錯体形成(PC07), コロイド生成(PC08), 有機物の影響(PC09), 微生物の影響(PC10)
放射線学	放射性崩壊及び生成(WR01), 放射線分解(WR02)	放射性崩壊及び生成(BR01), 放射線分解(BR02)	放射性崩壊及び生成(SR01), 放射線分解(SR02)	放射性崩壊及び生成(PR01), 放射線分解(PR02)
核種移行	物質移動特性(WN01), 幾何形状・間隙構造(WN02), 核種移行(WN03), 移流／分散(WN04), 拡散(WN05), 収着(WN06), 沈殿溶解(WN07), コロイド移行(WN08), ガスによる移行(WN09)	物質移動特性(BN01), 幾何形状・間隙構造(BN02), 核種移行(BN03), 移流／分散(BN04), 拡散(BN05), 収着(BN06), 沈殿溶解(BN07), コロイド移行(BN08), ガスによる移行(BN09)	物質移動特性(SN01), 幾何形状・間隙構造(SN02), 核種移行(SN03), 移流／分散(SN04), 拡散(SN05), 収着(SN06), 沈殿溶解(SN07), コロイド移行(SN08), ガスによる移行(SN09), 希釈(SN10)	物質移動特性(PN01), 幾何形状・間隙構造(PN02), 核種移行(PN03), 移流／分散(PN04), 拡散(PN05), 収着(PN06), 沈殿溶解(PN07), コロイド移行(PN08), ガスによる移行(PN09)
施工	施工不良(WQ01)	施工不良(BQ01)	—	施工不良(PQ01)



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(6/20)

(3) 影響事象分析

第3-4表 影響事象分析(1/7)

	影響元	影響先※	影響評価	
熱 (T)	廃棄物層	低透水性	廃棄物層の放射性廃棄物に含まれる放射性物質の量は少ないため、放射性廃棄物の温度、熱生成及び熱移動は極めて小さい。また、放射性廃棄物の周囲に存在する充填砂や中間覆土のその他構成物も発熱することはないため、影響しない。	—
		収着性		
	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シート	低透水性	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートは発熱しないため、影響しない。	—
		収着性		
	本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)及び地下水(浸透水を含む)	低透水性	本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)は発熱しないため、地盤温度はほとんど変化しないことから、影響しない。また、地下水(浸透水を含む)の温度の変動範囲はバリア材料の物性に影響を与えるものではない。	—
		収着性		
	最終覆土(低透水性覆土及び遮水シートを除く)及び植生	低透水性	最終覆土(低透水性覆土及び遮水シートを除く)及び植生は発熱しないため、影響しない。	—
		収着性		
水理 (H)	廃棄物層	低透水性	・埋設トレンチを通過する浸透水は、遮水シート及び低透水性覆土又は側部低透水性覆土から廃棄物層へ浸透する水理特性となるため、上流側に位置する側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響しない。 ・ベントナイト混合土と浸透水の反応による間接的な化学的影響は化学(C)において影響を評価する(C3)。	(C3)
		収着性	・廃棄物層は、本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性に直接的には影響しない。 ・放射性廃棄物と浸透水の反応による間接的な化学的影響は化学(C)において影響を評価する(C1)。	(C1)
	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シート	低透水性	・側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートのうちベントナイト混合土は、自身の水理特性に関係し、飽和・不飽和の繰り返しによる乾湿の影響によって低透水性に影響を与える可能性があることから影響を評価する(H1)。 ・ベントナイト混合土と浸透水との反応による間接的な化学的影響は化学(C)において影響を評価する(C3)。	H1 (C3)
		収着性	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートは、本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性に影響しない。	—

※「低透水性」は側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性を示す。「収着性」は本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性を示す。



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(7/20)

(3) 影響事象分析

第3-4表 影響事象分析(2/7)

	影響元	影響先※	影響評価	
水理 (H)	本施設周辺の地盤 (du層及び帯水層)及び地下水(浸透水を含む)	低透水性	雨水等の浸透水は、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートから廃棄物層を経て本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)に流れ込むことに加え、浸透水量は帯水層を流れる地下水と比較して非常に小さいため、本施設周辺の地盤は、本施設周辺の地盤より上流に位置する側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響しない。	—
		収着性	本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)は、自身の収着性に影響しない。	—
	最終覆土(低透水性覆土及び遮水シートを除く)及び植生	低透水性	・最終覆土(低透水性覆土及び遮水シートを除く)及び植生による排水が低透水性覆土及び遮水シートを侵食から保護しており、間接的に寄与している。侵食については、力学(M)の自然現象として影響を評価する(M5)。 ・間接的に寄与する飽和・不飽和の繰り返しについては、水理(H)の「側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シート」において影響を評価する(H1)。	(M5) (H1)
		収着性	最終覆土(低透水性覆土及び遮水シートを除く)及び植生は、本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性に影響しない。	—
力学 (M)	廃棄物層	低透水性	・廃棄物層は、金属類の腐食に伴う応力による体積変化や応力腐食割れによって、廃棄物層が変形や移動・流出し、微小な空隙による廃棄物層の沈下が生じる可能性がある。廃棄物層の沈下については、力学(M)の自然現象の地震において影響を評価する(M3)。 ・金属類の腐食に伴い発生するガスによる膨張・爆発が生じることによって、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響を与える可能性があることから影響を評価する(M1)。 ・廃棄物層の変形等によって浸透水の接触面積が増大する間接的な影響は化学(C)において影響を評価する(C3)。	(M3) M1 (C3)
		収着性	廃棄物層の力学特性による周辺地盤の収着性への影響はない。	—
	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シート	低透水性	・側部低透水性覆土及び低透水性覆土は、雨水等の浸透によるベントナイト混合土の膨潤等による体積変化や変形(クリープ)が自身の低透水性に影響を与える可能性があることから影響を評価する(M2)。 ・移動・流出による側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性への影響は、浸透水の流れは遅いことから小さく無視できる。	M2
		収着性	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの力学特性による周辺地盤の収着性への影響はない。	—

※「低透水性」は側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性を示す。「収着性」は本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性を示す。



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(8/20)

(3) 影響事象分析

第3-4表 影響事象分析(3/7)

影響元		影響先※	影響評価		
力学（M）	本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）及び地下水（浸透水を含む）	低透水性	本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）は、体積変化や応力による変形（クリープ）、移動・流出に起因した地盤沈下等の発生によって、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの形状等に影響する可能性があるが、安定した地盤であることが評価されており、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性への影響はない。	—	
		収着性	本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の力学特性は、自身の収着性に影響しない。	—	
	最終覆土（低透水性覆土及び遮水シートを除く）及び植生	低透水性	・最終覆土（低透水性覆土及び遮水シートを除く）及び植生は、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に対して、以下の特性を有している。 低透水性覆土及び遮水シートに対して、上部に位置する最終覆土（低透水性覆土及び遮水シートを除く）及び植生が侵食による流出を防止する。一方で、側部低透水性覆土に対して、侵食防止の特性を直接的に担うのは、その上部に位置する低透水性覆土及び遮水シートであるが、最終覆土（低透水性覆土及び遮水シートを除く）及び植生が侵食から保護しており、これも間接的に寄与している。また、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートに対して、上部に位置する最終覆土（低透水性覆土及び遮水シートを除く）が吸水膨潤による体積変化を拘束圧によって抑制し、最終覆土（低透水性覆土及び遮水シートを除く）が樹木の根による損傷を防止することから、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に間接的に寄与している。 ・ベントナイト混合土の膨潤については、力学（M）の「側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シート」において影響を評価する（M2）。また、侵食については、力学（M）の自然現象の侵食において影響を評価する（M5）。	（M2） （M5）	
		収着性	最終覆土（低透水性覆土及び遮水シートを除く）及び植生の力学特性は、本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—	
	自然現象	地震	低透水性	廃棄物内に微小な空隙が残存する場合には、地震によって生じる応力及び振動で廃棄物層が沈下により陥没が生じ、バリア機能である側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響する可能性があることから影響を評価する（M3）。	M3
			収着性	地震によって生じる応力及び振動は、本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—
		地すべり	低透水性	廃棄物埋設地では、豪雨時の降雨は排水層により排水されることから、廃棄物埋設地が飽和状態となることはない。しかし、仮に飽和状態を想定した場合、廃棄物埋設地及び周辺盛土の安定性が低下することで地すべりが発生し、バリア機能である側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（M4）。	M4
			収着性	地すべりは、本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—

※「低透水性」は側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性を示す。「収着性」は本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性を示す。



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(9/20)

(3) 影響事象分析

第3-4表 影響事象分析(4/7)

		影響元	影響先※	影響評価	
力学（M）	自然現象	風	低透水性	側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シートの上部には保護土層（上層），保護土層（下層），フィルタ層及び排水層を設ける。バリア機能は，これら上部の部位によって保護されるため，風によるバリア機能への影響はない。	—
			収着性	風は，本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—
		降雹	低透水性	側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シートの上部には保護土層（上層），保護土層（下層），フィルタ層及び排水層を設ける。バリア機能は，これら上部の部位によって保護されるため，降雹によるバリア機能への影響はない。	—
			収着性	降雹は，本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—
		積雪	低透水性	積雪荷重により廃棄物埋設地が損壊する可能性があるが，積雪荷重を考慮した地震力でも廃棄物埋設地は耐えられることから，本事象によるバリア機能への影響はない。	—
			収着性	積雪は，本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—
		生物学事象	低透水性	生物学事象として樹木の植生及びモグラ類による覆土の擾乱の可能性があるが，側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シートの上部の厚さは約1 mであり，また，砕石を用いた厚さ約0.3 mのフィルタ層及び排水層を設ける。このため，樹木の植生及びモグラ類によるバリア機能への影響はない。	—
			収着性	生物学事象は，本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—
		侵食	低透水性	最終覆土の表面は植生により保護され侵食は抑制されるが，長期的に降雨による侵食が発生し，側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（M5）。	M5
			収着性	侵食は，本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—
		風化	低透水性	側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シートの上部には保護土層（上層），保護土層（下層），フィルタ層及び排水層を設ける。バリア機能は，これら上部の部位によって保護されるため，風化によるバリア機能への影響はない。	—
			収着性	風化は，本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—

※「低透水性」は側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性を示す。「収着性」は本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性を示す。



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(10/20)

(3) 影響事象分析

第3-4表 影響事象分析(5/7)

	影響元	影響先※	影響評価	
化学（C）	廃棄物層	低透水性	・廃棄物層は、地下水との反応によるコンクリート類の廃棄物の化学的変質・移動によって生じる溶脱水や間隙水中のpH変化により、隣接する側部低透水性覆土及び低透水性覆土の低透水性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（C3）。 ・廃棄物層における金属腐食や酸化還元環境の変化は、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に直接的には影響しないが、金属腐食は間接的な力学的影響を与える可能性がある。金属腐食による間接的な力学影響は力学（M）において影響を評価する（M1）。 ・なお、遮水シートは廃棄物層と隣接しないことから影響しない。	C3 （M1）
		収着性	・廃棄物層は、地下水との反応によるコンクリート類の放射性廃棄物の化学的変質・移動によって生じる溶脱水が、間隙水中のpHや酸化還元環境の変化を与えることで、本施設周辺の地盤（du層）の収着性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（C1）。 ・廃棄物層における金属腐食による酸化還元環境の変化によって、本施設周辺の地盤（du層）の収着性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（C2）。 ・なお、本施設周辺の地盤（帯水層）では、地下水の希釈によってその影響は小さく考慮しない。	C1 C2
	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シート	低透水性	・側部低透水性覆土及び低透水性覆土は、ベントナイト混合土がコンクリート類の放射性廃棄物からの溶脱水等を含む浸透水との反応によって、化学的変質やpHの変化が生じることで、ベントナイト混合土中のモンモリロナイトが溶出し、側部低透水性覆土及び低透水性覆土の低透水性に影響を与える可能性がある。モンモリロナイト溶出については化学（C）の「廃棄物層」において影響を評価する（C3）。 ・遮水シートは、最終覆土に含まれる酸素や浸透水に含まれる酸素との反応によって、遮水シートの材質が化学的変質（酸化劣化）することで、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（C7）。	（C3） C7

※「低透水性」は側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性を示す。「収着性」は本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性を示す。



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(11/20)

(3) 影響事象分析

第3-4表 影響事象分析(6/7)

	影響元	影響先※	影響評価	
化学(C)	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シート	収着性	・側部低透水性覆土及び低透水性覆土は、ベントナイト混合土がコンクリート類の放射性廃棄物からの溶脱水等を含む浸透水との反応によって、pHの変化や酸化還元環境の変化を与えることで、本施設周辺の地盤(du層)の収着性に影響を与える可能性がある。コンクリート廃棄物の溶脱については化学(C)の「廃棄物層」において影響を評価する(C1)。 ・なお、本施設周辺の地盤(帯水層)では、地下水の希釈によってその影響は小さく考慮しない。	(C1)
	本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)及び地下水(浸透水を含む)	低透水性	・本施設周辺の地盤(du層)は、地下水組成が化学的変質やpHの変化を生じ、移流や拡散現象によって移動することで、ベントナイト混合土中のモンモリロナイトが溶出し、側部低透水性覆土及び低透水性覆土の低透水性に影響する可能性がある。モンモリロナイト溶出については化学(C)の「廃棄物層」において影響を評価する(C3)。 ・なお、本施設周辺の地盤(帯水層)は、側部低透水性覆土及び低透水性覆土の低透水性に影響しない。	(C3)
		収着性	・本施設周辺の地盤(du層)は、放射性廃棄物やベントナイト混合土との反応等によって、浸透水のpHの変化や酸化還元環境の変化が生じることで、自身の収着性に影響を与える可能性がある。コンクリート廃棄物の溶脱については化学(C)の「廃棄物層」において影響を評価する(C1)。 ・なお、本施設周辺の地盤(du層)は、地下水の希釈によってその影響は小さく考慮しない。	(C1)
	最終覆土(低透水性覆土及び遮水シートを除く)及び植生	低透水性	最終覆土(低透水性覆土及び遮水シートを除く)及び植生の化学特性によるバリア機能への影響はない。	—
		収着性		
	各 部 材 共 通	低透水性	間隙水中のコロイド生成は、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響しない。	—
		収着性	・間隙水中のコロイド生成は、本施設周辺の地盤(du層)の収着性に影響を与える可能性があることから影響を評価する(C4)。 ・なお、本施設周辺の地盤(帯水層)では、地下水の希釈によってその影響は小さく考慮しない。	C4

※「低透水性」は側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性を示す。「収着性」は本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性を示す。



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(12/20)

(3) 影響事象分析

第3-4表 影響事象分析(7/7)

	影響元		影響先※	影響評価	
化学（C）	各 部 材 共 通	有 機 物	低透水性	主に廃棄物層に含まれる有機物及びその分解生成物が錯体を形成する可能性があるが、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響しない。	—
			収着性	・主に廃棄物層に含まれる有機物及びその分解生成物が錯体を形成し、本施設周辺の地盤（du層）の収着性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（C5）。 ・なお、本施設周辺の地盤（帯水層）では、地下水の希釈によってその影響は小さく考慮しない。	C5
		微 生 物	低透水性	微生物の活動によって有機物の分解が生じる可能性があるが、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響しない。	—
			収着性	・微生物の活動によって有機物の分解が生じ、生成する物質によって本施設周辺の地盤（du層）の収着性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（C6）。 ・なお、本施設周辺の地盤（帯水層）では、地下水の希釈によってその影響は小さく考慮しない。	C6
	自 然 現 象	津 波	低透水性	津波による側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性への影響はない。	—
			収着性	津波によって、海水が廃棄物埋設地周辺に流入することで、地下水に一時的な化学的影響が生じ、本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響を与える可能性があることから影響を評価する（C8）。	C8
		火 降 砕 物	低透水性	降下火砕物による地下水の水質の変化が考えられるが、影響期間は短期であり、範囲が限定されるため、影響は無視できる。	—
			収着性		
		風 化	低透水性	側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの上部には保護土層（上層）、保護土層（下層）、フィルタ層及び排水層を設ける。バリア機能は、これら上部の部位によって保護されるため、風化によるバリア機能への影響は考えられない。なお、一時的に廃棄物埋設地の表面に敷設される植生が影響を受ける可能性があるが、植生は自生するため状態は維持され则认为される。このため、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性には影響しない。	—
			収着性	風化は、本施設周辺の地盤（du層及び帯水層）の収着性に影響しない。	—

※「低透水性」は側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性を示す。「収着性」は本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性を示す。

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(13/20)

(3) 影響事象分析

- ✓ 影響事象分析の結果、対象とするバリア材料の物性に影響を与える可能性のある事象として抽出した影響事象を取りまとめた結果を第3-5表に示す。

第3-5表 影響事象分析から抽出した影響事象(14事象)

環境分類	影響先	影響評価結果(まとめ)	抽出した影響事象(14事象)
熱(T)	—	—	なし
水理(H)	低透水性	■ <u>ベントナイト混合土</u> の飽和・不飽和の繰り返しによる <u>乾湿の影響</u>	H1: ベントナイト混合土の乾湿
力学(M)	低透水性	■ <u>金属腐食に起因する膨張変形及びガス発生</u> の影響 ■ <u>ベントナイト混合土</u> に雨水等が浸透することによる <u>膨潤</u> の影響 ■ <u>地震による</u> 振動及び応力によって、放射性廃棄物内に生じた微小な空隙から、形状が変化することで、 <u>廃棄物層の沈下</u> による <u>陥没</u> の影響 ■ <u>地すべり</u> 及び <u>侵食</u> が発生することで、廃棄物埋設地の損傷による影響	M1: 廃棄物層(金属類及び鉄箱)の金属腐食による膨張変形及びガス発生
			M2: ベントナイト混合土の膨潤
			M3: 地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)
			M4: 地すべり
			M5: 侵食
化学(C)	低透水性	■ 浸透水との反応による <u>モンモリロナイト溶出</u> の影響 ■ 最終覆土及び浸透水に含まれる酸素との反応による <u>遮水シートの劣化</u> の影響	C3: モンモリロナイト溶出(ベントナイト混合土と浸透水の反応)
	低透水性		C7: 遮水シートの劣化
	収着性	■ 浸透水との反応による <u>コンクリート類の溶脱</u> 、 <u>廃棄物層の金属腐食による影響</u> 、バリア材料に共通で、 <u>コロイド生成</u> 、 <u>有機物(錯体形成含む)</u> 及び <u>微生物の影響</u> ■ 一時的な、 <u>津波による本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の収着性への海水の浸透</u> による影響	C1: コンクリート類の溶脱(放射性廃棄物と浸透水の反応)
			C2: 廃棄物層の金属腐食(放射性廃棄物と浸透水の反応)
			C4: バリア材料中でのコロイド生成
			C5: バリア材料中の有機物(錯体形成含む)
			C6: バリア材料中の微生物
			C8: 津波

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(14/20)

(4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

- ✓ 影響事象分析から抽出された考慮すべき影響事象(14事象。第3-5表参照)について、影響評価を行い、影響がある事象については、線量評価パラメータを設定することによって、影響を考慮する(第3-6表～第3-8表参照)。

第3-6表 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価(水理)

考慮すべき影響事象	影響先	影響評価	影響
H1: ベントナイト混合土の乾湿	低透水性	ベントナイト混合土と覆土の2層を筒状に作製し、その上部に覆土表面を一定温度に保つ温風通気機構を設置した試験装置を利用して、温度を一定に保ったまま、一定期間放置し、ベントナイト混合土の乾湿影響確認試験を実施した結果、 <u>ベントナイト混合土の体積含水率の変化はほぼ見られなかった</u> ことから、影響事象として考慮しない。	無

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(15/20)

(4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-7表 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価(力学) (1/3)

抽出された影響事象	影響先	影響評価	影響
M1: 廃棄物層(金属類及び鉄箱)の金属腐食による膨張変形及びガス発生	低透水性	■ 金属腐食による膨張変形 埋設トレンチは、上部及び側部をベントナイト混合土で覆われた構造としており、ほぼ飽和状態であるベントナイト混合土を大気中の酸素が透気することはない。また、大気と原地盤では圧力勾配がほとんどないため、移流移動による影響は小さい。加えて、原地盤中の間隙は小さく、雨水等の浸透によって原地盤中には間隙水が存在し、間隙中の気相部と大気が遮断された環境となっており、一般に深さが増すにつれて気相率は減少し、ガス拡散は遅いことから、拡散移動の影響も小さく、大気中の酸素が供給され続けるような環境状態にはならないと考える。したがって、埋設完了後の初期においては埋設トレンチ内に存在する酸素と反応するものとし、埋設トレンチ内の酸素が消費された後は、雨水等の浸透水中に溶存する酸素と反応するものと考え、埋設トレンチ1区画の腐食膨張量を算定した結果、鉛直方向約 0.98 mm、水平方向約5.2 mmとなり変形量は軽微であることから、影響事象として考慮しない。 ■ 金属腐食によるガス発生 埋設トレンチ内は、酸素消費型の好気性条件の腐食環境と考えられ、炭素鋼の腐食に伴う水素ガスの発生は考えられない。また、アルミニウムは埋設量が少ないだけでなく、アルカリ環境下に曝露されるリスクを低減するため、コンクリート類の廃棄物と一緒に埋設しないよう埋設管理を行うことから、アルミニウムの腐食に伴う水素ガスの発生も考えられない。埋設トレンチ内は不飽和状態が維持されるため、発生したガスは圧力上昇することによって、ベントナイト混合土に比べて透気性の高い下部の通気層にガスが移流し、下方から透気していくと考えられるため、ガス圧が上昇を続ける可能性は低いことから、影響事象として考慮しない。	無

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(16/20)

(4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-7表 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価(力学) (2/3)

抽出された影響事象	影響先	影響評価	影響
M2: ベントナイト混合土の膨潤	低透水性	力学的には最終覆土による上載荷重がベントナイト混合土の膨潤圧を上回る場合、ベントナイト混合土の吸水膨潤による影響は生じないが、ベントナイトの配合等の条件によっては膨潤圧が上載荷重を上回る可能性がある。このため、 <u>三軸圧縮試験装置を利用して、側圧を維持したまま、軸圧を低くし変形挙動の確認及び変形後の透水試験を実施した結果、最終覆土の施工計画における土被り圧に相当する拘束圧20 kPaの条件において、初期の透水係数から大きく影響するものではない</u> ことから、影響事象として考慮しない。	無
M3: 地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)	低透水性	放射性廃棄物内に微小な空隙が残存する場合には、地震によって生じる応力及び振動で廃棄物層が沈下により陥没が生じ、バリア機能である側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響する可能性がある。 陥没に起因する影響について評価を行った結果、低透水性覆土でせん断ひずみが発生する箇所は局所的であることから、ベントナイト混合土の破断や厚さの大きな変化は発生せず、低透水性に影響はないと考えられる。よって、 <u>低透水性覆土の透水係数は、最も可能性が高い状態においては、1.0×10^{-10} m/sから増加しないものとして設定とする。最も厳しい状態においては、限定的な範囲であるものの、せん断ひずみが発生している箇所があることから、その範囲における透水係数の増加が1.0×10^{-10} m/sから1.2×10^{-10} m/sであることを踏まえ、保守的に2.0×10^{-10} m/sと設定する。</u> また、側部低透水性覆土は、低透水性覆土と側部低透水性覆土の隅角部及び側部低透水性覆土の密度低下はほとんど生じていないことから、透水性への影響は生じないと考えられる。 遮水シートの低透水性への影響については、沈下時の遮水シートの引張ひずみより、遮水シートに作用する引張応力を評価し、引張応力の許容値以下であることを確認したことから、遮水シートの低透水性に影響はないと考えられる。	有

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(17／20)

(4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-7表 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価(力学) (3／3)

抽出された影響事象	影響先	影響評価	影響
M4: 地すべり	低透水性	廃棄物埋設地では、豪雨時の降雨は排水層により排水されることから、廃棄物埋設地が飽和状態となることはないが、仮に飽和状態を想定し、地表面まで地下水位が上昇した条件での地すべり安全性評価を「COSTANA斜面安定計算システム(Ver.20.1D)」により行った結果、全てのすべり面で、最小安全率が計画安全率以上となっていることから廃棄物埋設地の地表面まで水位が上昇した場合でも安定であることを確認した。このため、豪雨時に地すべりが発生することはない、人工バリアの低透水性が損なわれることは考えられないことから、影響事象として考慮しない。	無
M5: 侵食	低透水性	最終覆土の表面は植生により保護され侵食は抑制されることから、人工バリアの低透水性に影響を与えるほどの侵食の発生は考えられないものの植生を敷設した保護土層の侵食量について、IAEAの文献に基づき評価した結果、保護土層(上層)に占める年間侵食体積は0.008%で、長期的な侵食を想定しても、保護土層が喪失することは考えられない。 また、侵食面の年間侵食量は0.28 t/ha/yであり、廃棄物処分場の最終カバーにおける土壌侵食の速さの許容水準である4.5 t/ha/yよりも十分に低いことを確認したことから、影響事象として考慮しない。	無



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(18／20)

(4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-8表 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価(化学)(1／3)

抽出された影響事象	影響先	影響評価	影響
C1: コンクリート廃棄物の溶脱(放射性廃棄物と浸透水の反応)	収着性	<u>浸透水がコンクリート類の放射性廃棄物との接触によって</u> , カルシウム成分が溶脱し, 浸透水のpHや酸化還元環境が変化することで, 収着性に影響を与える可能性がある。本施設周辺の地盤(du層)については, <u>浸透水との反応による影響を想定した水酸化カルシウム水溶液を用いた分配係数の取得試験を行い, 試験結果に基づく線量評価パラメータを設定※</u> することによって, 影響を考慮する。	有
C2: 廃棄物層の金属腐食(放射性廃棄物と浸透水の反応)	収着性	埋設トレンチ内の酸化還元環境は, 金属腐食によって還元的となることが想定されるが, 還元雰囲気下の分配係数は, 酸化雰囲気下と比較して大きな値となる傾向がある。被ばく線量の評価においては, 収着分配係数は小さい値に設定したほうが保守的な設定となり, 本影響は非保守的な設定への影響であることから, 影響事象として考慮しない。	無
C3: モンモロロナイト溶出(ベントナイト混合土と浸透水の反応)	低透水性	雨水等の浸透水とコンクリート類の放射性廃棄物と接触し, カルシウム成分の溶脱することで, 浸透水のpHが変化し, 高アルカリ性の間隙水が発生する。これにより, ベントナイト混合土中のモンモロロナイトが溶出し, 側部低透水性覆土及び低透水性覆土の低透水性に影響を与える可能性がある。 低透水性覆土は, 埋設した放射性廃棄物より上部に位置するためコンクリート類の放射性廃棄物から溶脱した成分を含む浸透水の影響を受けない。また, 側部低透水性覆土は, 充填砂により埋設した放射性廃棄物と離隔が取られるため, コンクリート類の放射性廃棄物から溶脱した成分を含む浸透水の影響を受けない。以上のことから影響事象として考慮しない。	無

※詳細は,「補足説明資料5 線量評価パラメータ」(補5-90, 補5 別4-1～29)参照。

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(19/20)

(4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-8表 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価(化学)(2/3)

抽出された影響事象	影響先	影響評価	影響
C4: バリア材料中でのコロイド生成	収着性	金属腐食に伴う鉄酸化物及び鉄水酸化コロイドの生成による放射性物質の移動挙動の変化やベントナイト混合土のモンモリロナイト成分等を起源とした浸透水との反応によるコロイド生成が収着性に影響を与える可能性がある。 地下水移行において被ばく線量寄与の大きい放射性物質のうち、H-3、Cl-36については収着性を期待せず、C-14についても保守的に収着性を期待していないことから、影響事象として考慮しない。 また、地下水中にベントナイトコロイドが分散するには、10^{-5} m/s$\sim$$10^{-4}$ m/sの地下水流速が必要とされているが、10^{-5} m/sより低流速条件下においてもベントナイトコロイドの生成が確認されており、流速の低下にともなって、生成されるコロイド量も減少する傾向であるとされている。本施設では低透水性土層及び側部低透水性覆土の透水係数を1.0×10^{-10} m/sと設定しており、埋設トレンチ内を流下する浸透水の流れは極めて遅いことに加え、本施設のベントナイト混合土の内側は不飽和であり、ベントナイトコロイドは地下水中に分散し難いことから、影響事象として考慮しない。	無
C5: バリア材料中の有機物(錯体形成含む)	収着性	埋設トレンチ内に含まれる有機物は、主にプラスチックシートに用いるポリエチレン等であり、固相として存在する有機物が放射性物質を収着する媒体として核種移行を遅延する可能性がある。 一方で、有機物及びその分解生成物が浸透水中に存在する場合には、放射性物質と錯体を形成し、収着性に影響する可能性がある。有機物の影響が大きいものとして挙げられるものは、主に遷移元素及びα核種であるが、これらの放射性物質は被ばく線量寄与が小さいことから、影響事象として考慮しない。	無



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(20/20)

(4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-8表 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価(化学)(3/3)

抽出された影響事象	影響先	影響評価	影響
C6: バリア材料中の微生物	収着性	廃棄物埋設地近傍に存在する微生物の活動によって、有機物が無機化し、収着性が低下することが考えられる。 <u>無機化によって影響を受けるC-14の収着性については、保守的に収着分配係数を0と設定しており、微生物の影響を考慮しても収着性は変わらないことから、影響事象として考慮しない。</u>	無
C7: 遮水シートの劣化	低透水性	遮水シートは、最終覆土に含まれる酸素や浸透水に含まれる酸素との反応によって、遮水シートの材質が化学的変質(酸化劣化)することで、低透水性に影響を与える可能性がある。このため、 <u>遮水シート(高分子材料)の劣化メカニズムに基づき線量評価パラメータを設定※1</u> することによって、影響を考慮する。	有
C8: 津波	収着性	津波によって、海水が廃棄物埋設地周辺に流入することで、 <u>一時的ではあるが、本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の水質が変化し、収着性に影響する可能性</u> がある。本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)については、 <u>海水による影響を想定して人工海水を用いた分配係数の取得試験を行い、試験結果に基づく線量評価パラメータを設定※2</u> することによって、影響を考慮する。	有

※1詳細は、「補足説明資料5 線量評価パラメータ」(補5-81, 補5 別1-88~93)のなかで説明する。

※2詳細は、「補足説明資料5 線量評価パラメータ」(補5-90, 補5 別4-1~29)のなかで説明する。

3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(1/7)

1 状態変化を評価する現象

- ✓ 廃棄物埋設地ごとの状態変化の評価として、生じる現象を予測し情報を整理した上で、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性への影響の評価を実施する。
- ✓ 状態変化を評価する現象としては、地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)を対象にする。

2 地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)

2-1 現象の整理

- ✓ 低透水性への影響は、力学的影響として側部低透水性覆土及び低透水性覆土の変形、それに伴う密度変化、遮水シートの引張りずみによって生じる。側部低透水性覆土及び低透水性覆土の変形は隣接する廃棄物層の変形に支配されることから、廃棄物層に生じる現象を対象とする。廃棄物層に生じる現象は、地震による廃棄物層の沈下を想定し、放射性廃棄物の陥没現象として整理する。
- ✓ 放射性廃棄物の陥没現象は、地震による振動及び応力により、鉄箱内の充填砂の見かけ密度が上昇し、鉄箱内に微小な空隙が発生し、鉄箱が変形することで生じることが想定される。

2-2 状態変化における陥没影響評価

- ✓ 力学的影響評価の考え方

大変形を扱うことができる解析手法の一つである個別要素法 (Distinct Element Method) を用いたシミュレーション (以下「DEM解析」という。) で、廃棄物層の沈下に伴う側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートへの影響評価を実施した。

DEM解析は、対象物を粒子の集合体(剛体)とし、粒子に運動方程式を適用することで、不連続体の挙動を再現する解析手法である。大変形の領域においては、分離、すべり、剥離のような不連続体としての挙動が顕著になることから、不連続体を対象とした解析手法であるDEM解析を用いた。

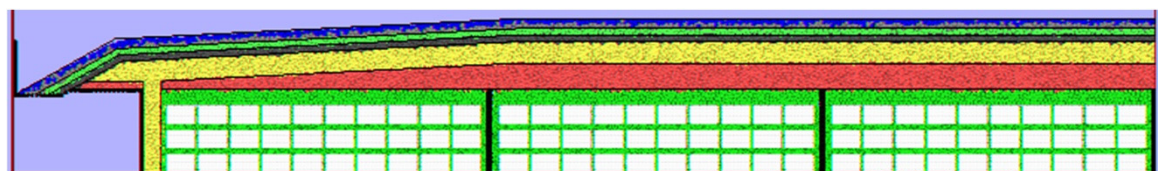
3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(2/7)

✓ 解析結果

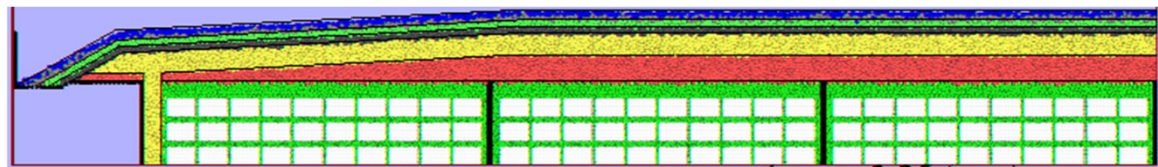
(1) 最終覆土の変形

DEM解析における最終覆土の変形図を第3-3図に示す。廃棄物層の沈下に伴う覆土の変形はほぼ生じない結果となった。また、廃棄物層の沈下により、低透水性覆土及び側部低透水性覆土が不連続になるような挙動はみられなかった。

次に、より詳細な変形挙動を評価するために、変形前後の地表面の粒子座標に着目し、廃棄物層の沈下による地表面形状への影響を確認したところ(第3-4図参照)、側部低透水性覆土及び親杭周辺で5 cm以下の不等沈下が確認された。また、側部低透水性覆土及び親杭上部以外での沈下量は、約6 cmであり、廃棄物層の沈下量6 cmとおおむね同等であり、地表面は廃棄物層の沈下に追従して沈下していると考えられる。

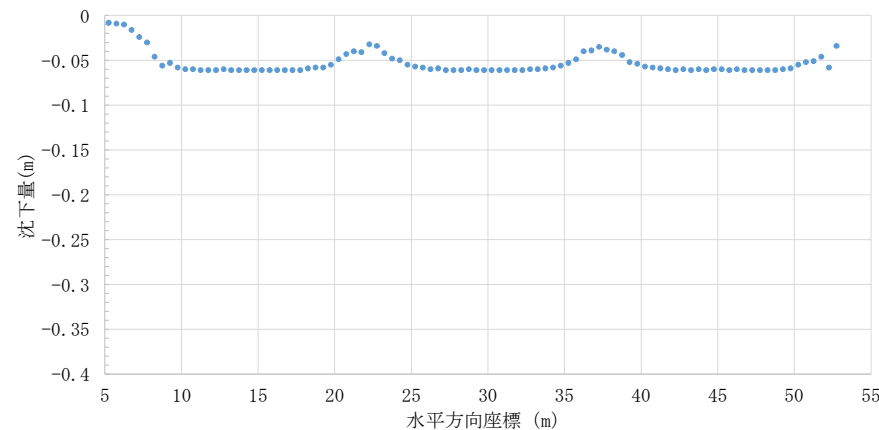


初期状態



変形後

第3-3図 DEM解析における最終覆土の変形図



第3-4図 水平方向座標の代表値ごとの沈下量図

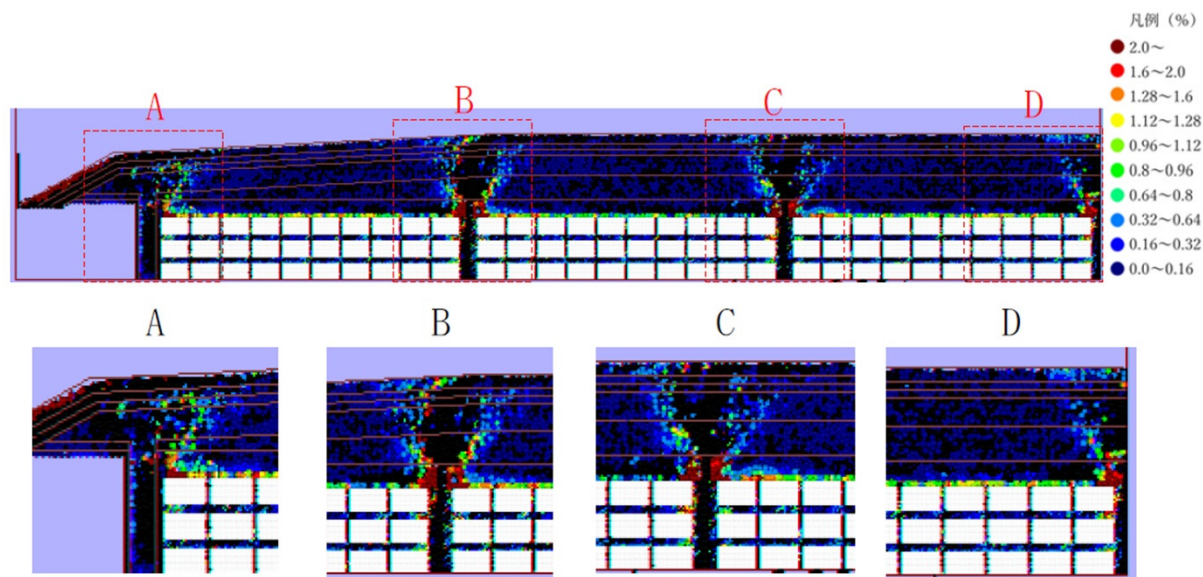
3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(3/7)

(2) せん断ひずみ分布

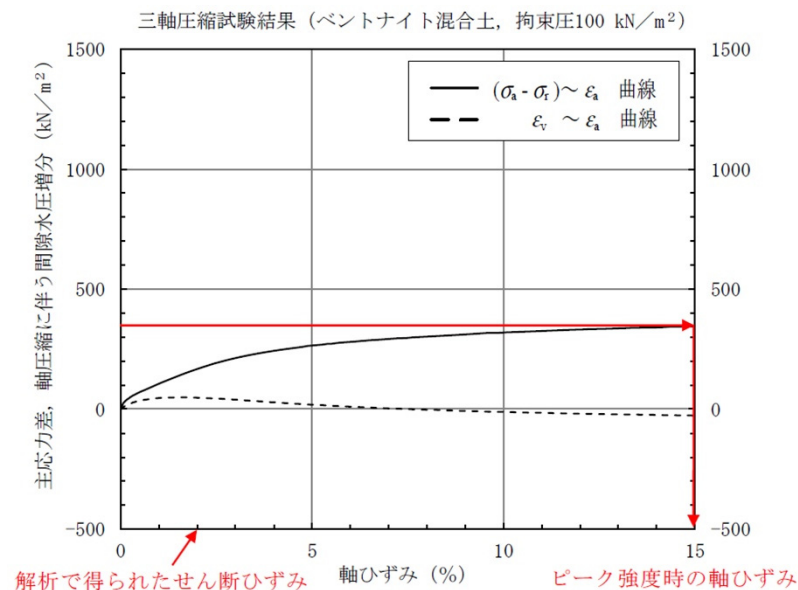
変形後のせん断ひずみ分布を第3-5図に示す。親杭付近及び側部低透水性覆土上部から斜め上方向に地表面までせん断ひずみが大きくなるせん断帯が確認できる。これは、廃棄物層の沈下に伴う不等沈下によるものであるためと考えられる。また、低透水性覆土及び側部低透水性覆土においてもせん断ひずみが発生する箇所は局所的であり、その値はおおむね2%以下であることがわかる。

ここで、第3-6図に示すベントナイト混合土の三軸圧縮試験結果と比較すると、せん断ひずみと軸ひずみが同等であると仮定した場合、三軸圧縮試験におけるピーク強度時のひずみ15%に対して、発生しているひずみは2%であり、せん断破壊による大きな密度低下は生じないと考えられる。

したがって、親杭付近及び側部低透水性覆土上部から斜め上方向にせん断ひずみ帯は発生するものの、せん断破壊による大きな密度低下は生じないと考えられる。



第3-5図 変形後のせん断ひずみ分布(下は拡大図)



第3-6図 三軸圧縮試験結果との比較

3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(4/7)

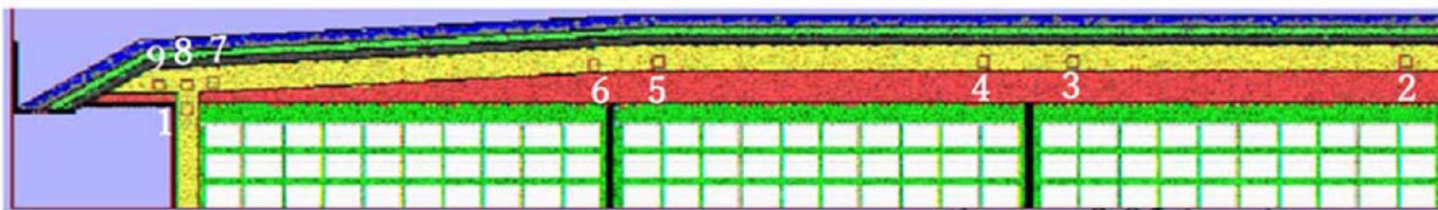
(3) 密度分布

「(2)せん断ひずみ分布」より、せん断破壊による低透水性覆土及び側部低透水性覆土の密度低下は生じないと考えられるが、より局所的な評価をするために、密度低下率について評価を実施した。

密度の評価は、低透水性覆土及び側部低透水性覆土を対象とし、代表的な評価点を選定して評価した。代表的な評価点は、第3-5図の変形後のせん断ひずみ分布を参考にし、低透水性覆土にせん断帯が発生している親杭上部及び側部低透水性覆土の両脇を対象とし、評価点は第3-7図に示す9点を選定した(評価対象範囲を赤枠で示す。)

各評価点の初期状態と変形後の密度の変化を第3-9表に示す。初期状態と変形後の密度の変化率に着目すると、親杭による拘束及び廃棄物層の沈下を受けて、せん断に近い変形が生じている評価点2, 4~7, 9の低透水性覆土において密度が低下している。その中でも親杭付近の評価点4では、密度が2.1%低下している。

なお、低透水性覆土と側部低透水性覆土の隅角部に位置する評価点8、側部低透水性覆土に位置する評価点1については、密度は増加しており、それぞれ、0.3%、0.6%であり、圧縮している結果にはなっているが、ほとんど密度変化は生じていないと判断できる。



第3-7図 密度分布の評価点

第3-9表 評価点の密度変化

評価点	初期状態の密度 (kg/m ³)	変形後の密度 (kg/m ³)	変化率 (%)
1	1,924	1,936	0.6
2	2,027	2,016	-0.5
3	2,041	2,041	0.0
4	2,040	1,997	-2.1
5	2,011	1,988	-1.1
6	2,007	1,974	-1.6
7	2,022	2,010	-0.6
8	2,021	2,027	0.3
9	1,962	1,960	-0.1

3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(5/7)

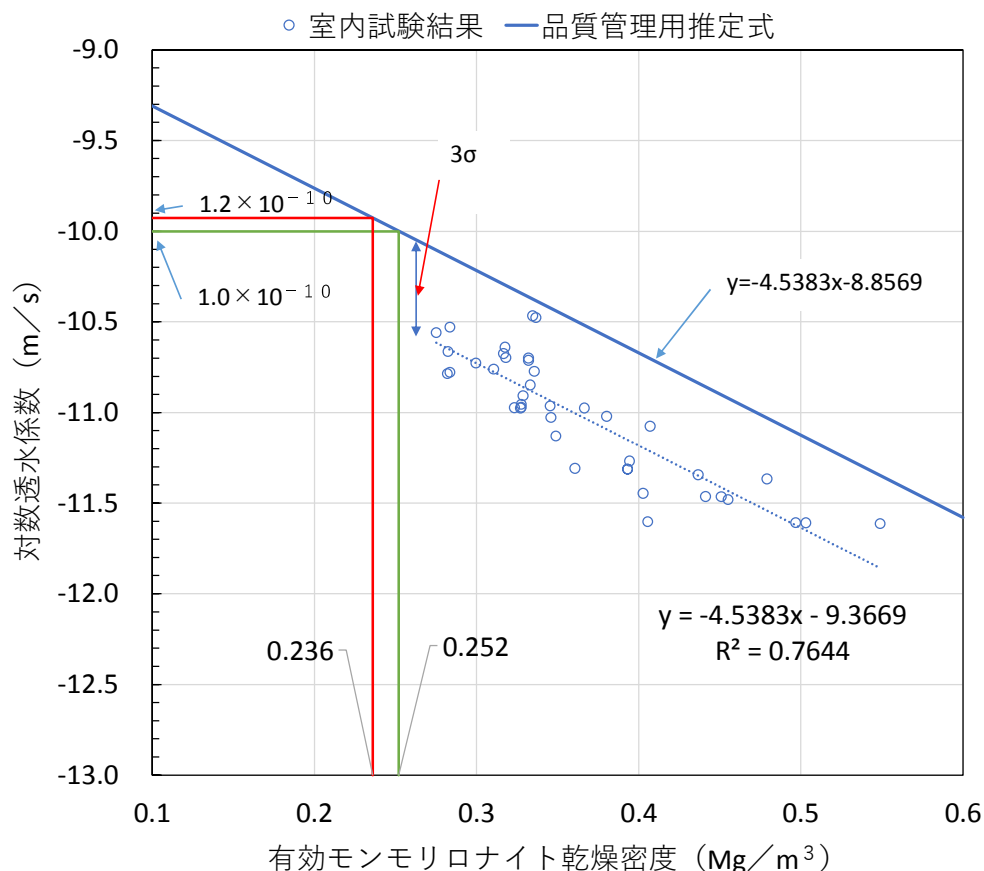
(4) 密度低下によるベントナイト混合土の低透水性への影響

せん断の影響を大きく受けている箇所では、せん断変形に伴う膨張(正のダイレイタンス)により、密度低下が発生する可能性があることから、ベントナイト混合土の透水試験結果を参考にして、密度低下がベントナイト混合土の透水係数に与える影響について評価した。

廃棄物層の沈下前後の密度の低下率が大きくなった評価点4(低透水性覆土)に着目すると、密度低下率は2.1%となった。当該地点の変形モードは、単純せん断の変形モードとなっておりと推測できるため、当該評価点は正のダイレイタンスが発生したために密度低下が生じたと考えられる。

室内試験で取得したベントナイト混合土の透水係数と有効モンモリロナイト乾燥密度の関係より、2.1%に対してバラツキを考慮して小数点第一位を切り上げた3.0%の密度低下が生じた場合の透水係数に与える影響を評価する。なお、ベントナイト混合土の固相(ベントナイト、砂)のせん断時のダイレイタンスによる変形は均一で生じると仮定し、湿潤密度の変化率と乾燥密度の変化率は同等とした。

乾燥密度が3.0%低下した場合は、有効モンモリロナイト乾燥密度は6.1%低下し、透水係数は、 $1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ に増加する(第3-8図参照)。



第3-8図 密度低下によるベントナイト混合土の透水係数の変化

3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(6/7)

(5) 遮水シートの引張ひずみ

廃棄物層の沈下による遮水シートの低透水性への影響については、遮水シートの厚みが1.5 mm程度と薄く、上下の材料の沈下挙動に追従して沈下すると考えられることから、排水層の全粒子の挙動と遮水シートの挙動がおおむね一致すると仮定して、排水層粒子の挙動を評価した。

変形後の遮水シートの引張ひずみは、側部低透水性覆土付近及び親杭付近で大きくなっている。これは、側部低透水性覆土や親杭上部は沈下がほとんど生じないのに対して、廃棄物層が沈下することで、その上部付近で不等沈下が生じ、せん断変形が発生したためであると考えられる。

変形後における引張ひずみが0.5%以上のゾーンの引張ひずみを評価し、引張ひずみの最大値を確認したところ、引張ひずみの最大値は1.65%であった。

遮水シートの低透水性への影響は、遮水シートに作用する引張応力と引張応力許容値を比較して評価した。引張応力許容値は、遮水シート(自主)規格解説⁽¹⁾に示されている高弾性タイプの素材強度(厚さ換算)の23.33 MPaを用いた。遮水シートに作用する引張応力は、引張ひずみの最大値1.65%を用いて、「 $\text{引張応力 } \sigma (\text{MPa}) = \text{引張ひずみ } \varepsilon (-) \times \text{ヤング率 } E (\text{MPa})$ 」より算出した。なお、ヤング率は、坪井他(1998)⁽²⁾に示される高密度ポリエチレン(HDPE)の温度依存性のヤング率算定式より算出した564 MPaを用いた。よって、本施設の遮水シートに作用する引張応力 σ (MPa)は、約9.31 MPaとなる。

本施設で遮水シートに作用する引張応力(9.31 MPa)は、引張応力許容値(23.33 MPa)よりも小さいことから、廃棄物層の沈下により、遮水シートが破断することはないと考えられ、遮水シートの低透水性への影響はない。

(1) 日本遮水工協会: 遮水シート(自主)規格解説

(2) 坪井正行, 宮地秀樹, 野本哲也, 今泉繁良(1998): 廃棄物処分場遮水シートに発生する熱応力の評価, 土木学会論文集 No.603/Ⅲ-44, p.p.147-155

3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(7/7)

2-3 陥没現象による状態変化の影響評価のまとめ

陥没に起因する影響において、DEM解析によって側部低透水性覆土及び低透水性覆土の低透水性への影響を評価した結果から、側部低透水性覆土及び低透水性覆土の透水係数を設定する。

低透水性覆土のせん断変形による透水係数への影響は、せん断ひずみが発生している箇所で生じると考えられるが、低透水性覆土でせん断ひずみが発生する箇所は局所的であることから、ベントナイト混合土の破断や厚さの大きな変化は発生せず、低透水性に影響は生じないとする。このため、低透水性覆土の透水係数は、最も可能性が高い状態においては、 1.0×10^{-10} m/sから増加しないものとして設定する。ただし、最も厳しい状態においては、限定的な範囲であるものの、せん断ひずみが発生している箇所があることから、その範囲における透水係数の増加が 1.0×10^{-10} m/sから 1.2×10^{-10} m/sであることを踏まえ、保守的に 2.0×10^{-10} m/sと設定する。

側部低透水性覆土の透水係数については、低透水性覆土と側部低透水性覆土の隅角部及び側部低透水性覆土の密度低下はほとんど生じていないことから、透水性への影響は生じないと考え、 1.0×10^{-10} m/sと設定する。

陥没現象の影響における側部低透水性覆土及び低透水性覆土の透水係数の設定値を第3-10表に示す。

なお、陥没現象による遮水シートの低透水性への影響については、沈下時の遮水シートの引張ひずみより、遮水シートに作用する引張応力を評価し、引張応力の許容値以下であることを確認した。

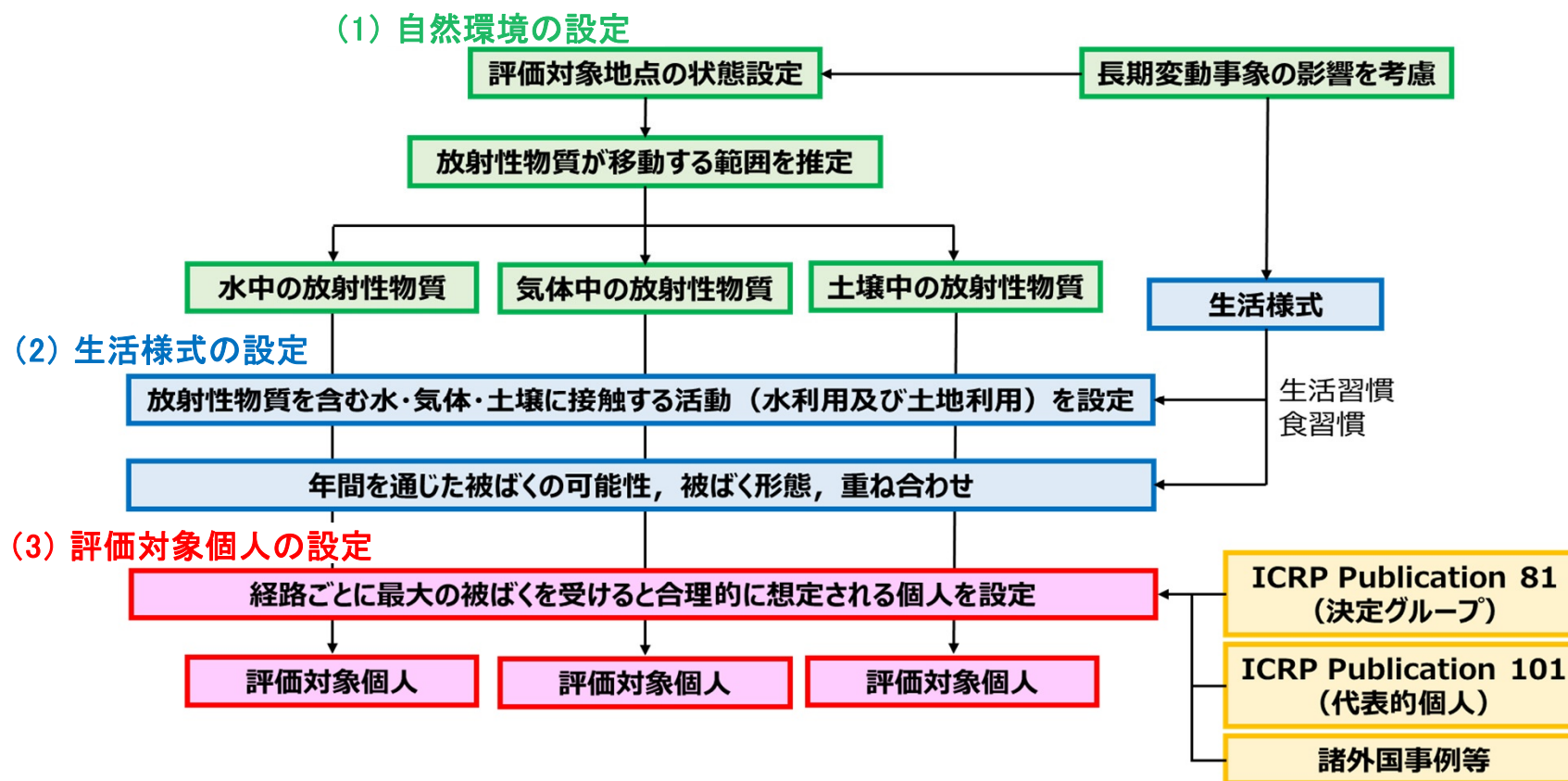
第3-10表 陥没現象の影響における側部低透水性覆土及び低透水性覆土の透水係数の設定値

対象	透水係数(m/s)	
	最も可能性が高い状態	最も厳しい状態
低透水性覆土	1.0×10^{-10}	2.0×10^{-10}
側部低透水性覆土	1.0×10^{-10}	1.0×10^{-10}

4. 生活環境の状態設定(1／4)

4. 生活環境の状態設定

廃止措置の開始後の将来の敷地及びその周辺の地質環境等の状態並びに現在の敷地及びその周辺の社会環境から被ばくが生じると考えられる人間活動(水利用及び土地利用)を設定する。さらに、東海村の就労形態を考慮して評価対象個人を設定する。以下に検討フローを示す。



4. 生活環境の状態設定(2／4)

(1) 自然環境の設定

「2. 地質環境等の状態設定」に基づき、生活環境に影響を及ぼすと考えられる敷地及びその周辺における地質環境等の変化を以下に整理する。

- 現在から廃止措置の開始直後までの敷地及びその周辺の地形は、約50年という期間の短さから、現状とほぼ同様であると考えられる。よって、廃棄物埋設地に起因した放射性物質を含む地下水は海に流入する。
- 気候変動によって、平均気温が変化することに伴い、敷地及びその周辺で生産される農産物の種類が変化することが考えられるが、1,000年後の将来の気温の変化は大きくないことから、生産される農産物の種類は現在の敷地周辺で収穫される農産物を想定する。
- 隆起運動及び海水準変動により、侵食基準面が変化し河食に影響するが、隆起量及び海水準低下量は小さいため、影響を無視できる。また、海水準変動による河川及び海の分布域への影響が考えられるが、海水準変動量は小さいため、影響を無視できる。
- 降水量、地下水流動、蒸発散量及びかん養量の変化は、廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出に影響するが、生活様式への影響はない。
- 敷地周辺の面的侵食、海食、河食及び廃棄物埋設地の侵食が考えられ、侵食による廃棄物埋設地への影響のおそれがあるが、生活様式への影響はない。

4. 生活環境の状態設定(3／4)

(2) 生活様式の設定

(a) 水利用

本施設周辺には河川等の地表水はなく、雨水等は土壤に浸透し地下水となる。地下水は、本施設西側から海に向かって一様に流れることから、本施設東側以外に流れる可能性は極めて小さい。また、地下水が流出するのは海であり、海水を生活用水等に利用することは考えられない。水利用に関しては、現状の水理及び生活環境を考慮し、東海村沿岸の海産物の摂取、漁業に伴う海面活動及び漁網整備を想定し、最も厳しい人間活動として地下水を利用した灌漑農作業及び灌漑農産物の摂取を想定する。

なお、「令和4年度茨城県の水道」によると、東海村の水道普及率はほぼ100%であり、専らこれを生活用水に利用している。水道以外を生活用水に利用している世帯もあるが、その割合は0.2%となっている。また、廃棄物埋設地は海岸からの飛砂を防ぐために設けられた保安林よりも海側に設置を予定しており、将来においてその土地に井戸を設置して利用する可能性は極めて低い。ただし、水道以外を生活用水に利用する世帯が現在も一定数認められることから、将来も井戸を設置して飲用水として利用することを想定し、評価では、最も厳しい人間活動として、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質を含む地下水を飲用水として利用する場合を考慮する。

(b) 土地利用

廃棄物埋設地に埋設した放射性廃棄物から漏出する放射性物質が地下水を介して移動した先で、汚染した土壤が掘削され、生活環境に放射性物質が移動することにより被ばくを受ける可能性があるため、放射性物質が地下水を介して移動した先での土地利用に伴う人間活動を考慮する。現状の東海村では、地下数階を有するような大規模な構造物はほとんど見られず、面積利用率では、3 m以深の掘削を行う頻度は1%未満である。また、当社施設を除外し、東海村における住宅及び工場等の一般的な施設に着目した場合には、7 m以深の掘削を行う施設は存在しない。以上のことから、敷地及び周辺の社会環境を考慮しても、大規模な構造物の建設は土地利用の代表的な事例ではない。そのため、代表的な事例として一般的な住宅の建設及びそれに伴って発生する掘削土壤上での居住を想定する。

以上より、土地利用に関しては、汚染した土壤を掘削して利用する人間活動として、住宅の建設作業、掘削土壤上での居住、掘削土壤上での居住に伴う家庭菜園で生産される農産物の摂取を考慮する。

(c) 水利用及び土地利用によって得られる各種生産物

- ・ 海産物については、東海村沿岸に生息する代表的な海産物とする。
- ・ 農産物については、地下水の灌漑利用により生産される米及び汚染した土壤の掘削混合土壤での居住に伴う家庭菜園で生産される野菜とする。

4. 生活環境の状態設定(4／4)

(3) 評価対象個人の設定

- 生活様式の特徴を表した個人で、年間を通して被ばくする可能性がある個人を代表として設定する。なお、敷地及びその周辺又は我が国で現在認められる一般的な生活様式をもつ個人とし、比較的高い被ばくを受ける集団を代表する成人とする。ただし、生産物の摂取においては、市場の流通の状況を適切に考慮する。
- 生活様式は、現在認められる就労形態ごとに異なると考えられる。就労形態によって、様々な生産活動が行われる可能性があるが、評価の観点からは放射性物質が移動する水又は土壤に接触する生産活動に従事する就労者を対象とすることが合理的である。また、放射性物質は、その移動特性及び放射線影響が種類ごとに異なることから、評価対象個人を複数の集団から設定する。評価対象個人の設定を第4-1表に示す。
- 最新の統計に基づく、東海村の産業別就業者数の約7割を第三次産業が占めている。**第三次産業については居住する人を想定することで代表できると考えられることから、**最も可能性が高い自然事象シナリオにおいては、評価対象個人を居住者とする。**居住者は掘削土壤上に居住する人を対象とし、家庭菜園により生産される農産物及び市場に流通した食品を摂取すると想定する。
- 最も厳しい自然事象シナリオにおいては、評価対象個人を漁業従事者、農業従事者、建設業従事者及び居住者とする。**

第4-1表 評価対象個人の設定

対象者	生活様式
漁業従事者	東海村において、漁港及び漁業経営体がないため、漁業従事者は、東海村周辺地域に居住し、東海村沿岸で漁業に従事する人を対象として、放射性物質を含む海産物を自家消費することを想定する。その他は、一般的な市場に流通した食品を摂取すると想定する。
農業従事者	農業従事者は、掘削土壤上に居住する人を対象として、放射性物質を含む灌漑農産物については自家消費すると想定し、その他は一般的な市場に流通した食品を摂取すると想定する。また、放射性物質を含む地下水を灌漑に利用する灌漑作業を想定する。加えて、井戸を設置し、放射性物質を含む地下水を飲用水として利用することを想定する。
建設業従事者	建設業従事者は、掘削土壤上に居住する人を対象として、一般的な市場に流通した食品を摂取すると想定する。また、放射性物質が地下水で移動した先での一般的な住宅の建設作業を行うことを想定する。加えて、井戸を設置し、放射性物質を含む地下水を飲用水として利用することを想定する。
居住者	居住者は、掘削土壤上に居住する人を対象として、家庭菜園により生産される農産物及び市場に流通した食品を摂取すると想定する。加えて、井戸を設置し、放射性物質を含む地下水を飲用水として利用することを想定する。

5. 放射性物質の移動挙動及び被ばく経路(1／3)

5. 放射性物質の移動挙動及び被ばく経路

(1) 自然事象シナリオ

廃棄物埋設地の底面は、地下水に接することがない高さとすることから、埋設した放射性廃棄物は地下水と常時接することはない。
そのため、埋設した放射性廃棄物に含まれる放射性物質は、地表から浸透した降雨等の浸透水を介して地下水に移動する。

- 廃棄物埋設地内の土砂の間隙中に漏出した放射性物質は、廃棄物埋設地内の土砂の収着性に応じて間隙水中に溶出するものとする。
- 廃棄物埋設地内の間隙水に溶出した放射性物質は、地下水に漏出し、地下水と接した土砂の間隙水中を移動し、海に流入する。
- 地下水の流入した海域で得られる海産物及び地下水を利用して生産された農産物には、それぞれ海産物への濃縮係数及び農産物への移行係数に応じて放射性物質が移動する。よって、それらの海産物及び農産物の摂取を含む水の利用によって公衆の被ばくが生じるものとする。
- 廃棄物埋設地に埋設した放射性廃棄物から漏出する放射性物質の移動は、基本的に地下水を介して生じる。漏出した放射性物質は地下水の中の土壌の間隙水中を移動するため、放射性物質が収着し、土壌中に放射性物質が残存するものとして、廃棄物埋設地から移動した先の土地の利用によって公衆の被ばくが生じるものとする。

以上の放射性物質の移動挙動を踏まえ、「2. 地質環境等の状態設定」、「3. 廃棄物埋設地の状態設定」及び「4. 生活環境の状態設定」で設定した状態設定のもとで、海の利用、地下水の利用及び土地の利用を対象として、明らかに線量が小さいもの及び他の被ばく経路で代表されるものを除外した第5-1表に示す被ばく経路を設定し、評価対象個人の線量を評価する。

5. 放射性物質の移動挙動及び被ばく経路(2／3)

第5-1表 自然事象シナリオにおける被ばく経路

評価対象個人 被ばく経路		被ばく経路の補足説明	最も可能性 が高い	最も厳しい				
			居住者	漁業従事者	農業従事者	建設業従事者	居住者	
水 利 用	海産物摂取[内]	東海村沿岸海域で水揚げされた <u>海産物の摂取</u> による内部被ばく	○	○	○	○	○	
	海面活動[外]	東海村沿岸海域での <u>漁業における海面からの外部被ばく</u>	－	○	－	－	－	
	漁網整備[外]	東海村沿岸海域での漁業に用いた <u>漁網からの外部被ばく</u>	－	○	－	－	－	
	灌漑農産物摂取[内]	水理(地下水の流れ)上あり得ないが、仮の想定として、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質を含む地下水を灌漑用水として利用された場合の <u>農産物の摂取による内部被ばく及び農作業による内部被ばく並びに外部被ばく</u>	対象外	－	○	○	○	
	灌漑農作業[外,内]			－	○	－	－	
	井戸水飲用[内]			－	○	○	○	
土 地 利 用	建設作業[外,内]	放射性物質を含む地下水に接した土壌(以下「汚染土壌」という。)を掘削して利用する人間活動で、 <u>住宅の建設作業での内部被ばく及び外部被ばく</u>	－	－	－	○	－	
	居住[外,内]	汚染土壌の掘削後の土壌を利用する人間活動で、掘削土壌上での <u>居住による内部被ばく及び外部被ばく</u>	○	－	○	○	○	
	農産物摂取(家庭菜園)[内]	汚染土壌を掘削して利用する人間活動で、掘削土壌上での居住に伴う <u>家庭菜園で生産される農産物の摂取による内部被ばく</u>	○	－	○	○	○	

5. 放射性物質の移動挙動及び被ばく経路(3／3)

(2) 人為事象シナリオ

廃棄物埋設地の大規模な掘削に伴い、放射性物質は、廃棄物埋設地内の土砂、覆土及び周辺土壌と混合した土壌に移動する。また、大規模な掘削による擾乱を受けた後の地下水による海への放射性物質の移動は、最も可能性が高い自然事象シナリオと同様とする。

これらの放射性物質の移動挙動を踏まえ、人為事象シナリオの線量の評価対象とする被ばく経路を第5-2表のとおり設定する。

第5-2表 人為事象シナリオにおける被ばく経路

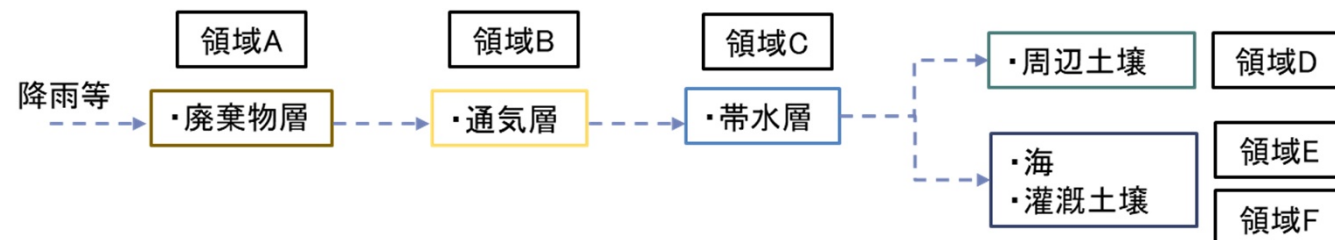
被ばく経路		評価対象個人	被ばく経路の補足説明	建設業従事者	居住者
水利用	海産物摂取(低透水性の喪失後)[内]		廃棄物埋設地底面までの掘削作業による覆土の低透水性の喪失後の廃棄物埋設地から漏出する放射性物質が移行する海で水揚げされる海産物の摂取に伴う内部被ばく	—	○
土地利用	建設作業[外,内]		廃棄物埋設地跡地を直接利用する人間活動で、廃棄物埋設地底面までを掘削する建設作業に伴う内部被ばく及び外部被ばく	○	—
	居住[外]		廃棄物埋設地跡地を直接利用する人間活動で、廃棄物埋設地底面までを掘削した混合土壌上での居住に伴う外部被ばく	—	○
	農産物摂取(家庭菜園)[内]		廃棄物埋設地跡地を直接利用する人間活動で、廃棄物埋設地底面までを掘削した混合土壌上での家庭菜園により生産される農産物の摂取に伴う内部被ばく	—	○

6. 線量評価モデル(1/2)

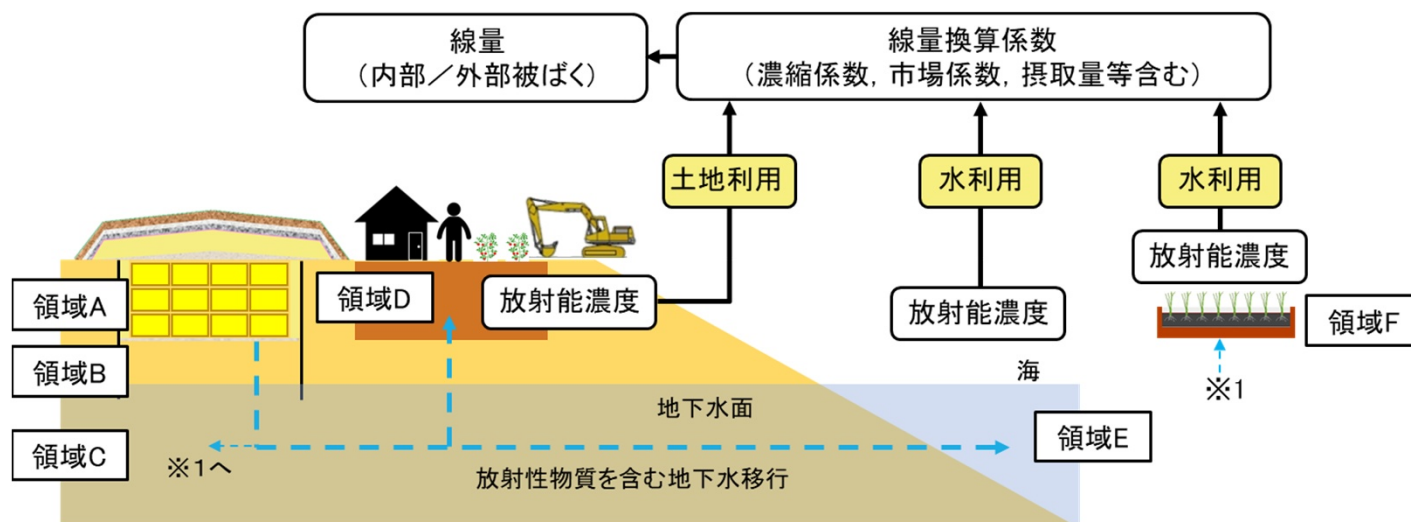
6. 線量評価モデル

(1) 地下水による移動

- 放射性物質の移動経路を複数の領域に分割し、領域ごとに一般的な移流拡散方程式をモデル化
- 評価モデルの不確かさは、モデルを簡略化し、線量評価パラメータを保守的に設定することで考慮



第6-1図 地下水による放射性物質の移動の評価モデル概念図



第6-2図 地下水による放射性物質の移動のイメージ図

(設定例)【領域A】
廃棄物埋設地内間隙水中濃度 $C_D(z, t, i)$

$$R_D(i) * \frac{\partial C_D(z, t, i)}{\partial t} =$$

$$P_D * \varepsilon_D * \theta_D * D_Z * \frac{\partial^2 C_D(z, t, i)}{\partial z^2}$$

拡散項

$$-V_D * \frac{\partial C_D(z, t, i)}{\partial z}$$

移流項

$$-R_D(i) * \lambda(i) * C_D(z, t, i)$$

崩壊項

$$C_D(z, 0, i) = \frac{A_W(i)}{S_D * H_D * R_D(i)}$$

初期条件

$C_D(z, t, i)$: 時間 t における廃棄物埋設地内の位置 z での放射性核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m³)

S_D : 廃棄物埋設地平面積 (m²)

V_D : 年間浸透水量 (m³/(m²・y))

H_D : 廃棄物層深さ (m)

ε_D : 廃棄物埋設地内の充填砂/中間覆土の間隙率 (-)

θ_D : 廃棄物埋設地内の飽和度 (%)

D_Z : z 方向の分散係数 (m²/y)

$R_D(i)$: 廃棄物埋設地内の放射性核種 i の平均収着係数 (-)

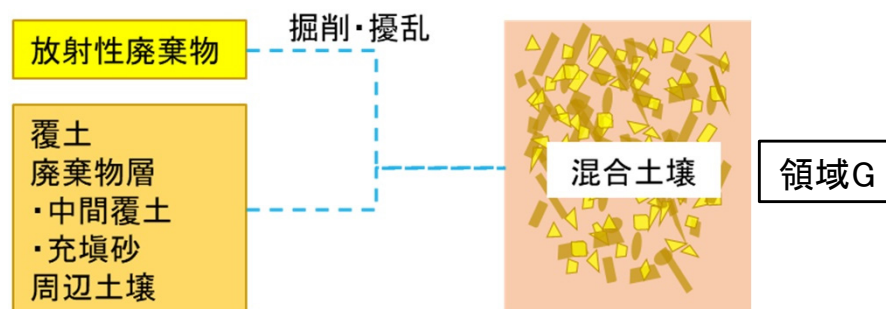
$\lambda(i)$: 放射性核種 i の崩壊定数 (1/y); $=\ln 2 / T_{1/2}(i)$

$A_W(i)$: 放射性廃棄物受入れ時の放射性核種 i の放射エネルギー (Bq)

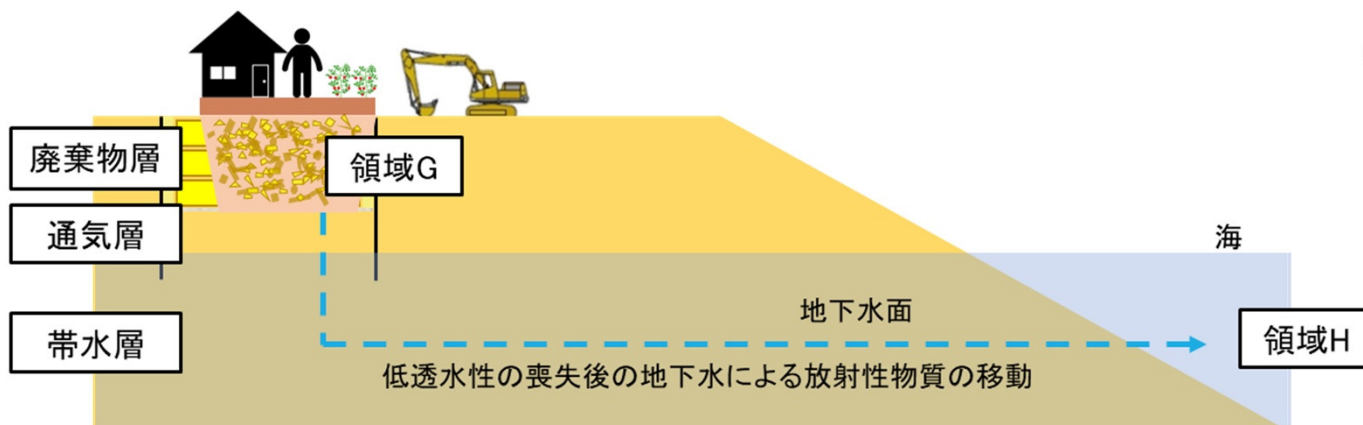
6. 線量評価モデル(2/2)

(2) 大規模掘削による土壌への移動

- 廃棄物埋設地底面までを掘削する建設作業による、放射性物質の土壌への移動は、放射性廃棄物、中間覆土、充填砂及び覆土と混合するものとしてモデル化
- 擾乱を受けた後の、地下水による放射性物質の移動は、自然事象シナリオと同じ



第6-3図 大規模掘削による土壌の擾乱の評価モデル概念図



第6-4図 土地利用の評価モデルの概念図

掘削土壌中の放射性核種の濃度 $C_{SH}(t, i)$

$$C_{SH}(t, i) = P_{CH} * \frac{A_{WH}(i) * \exp(-\lambda(i) * t)}{S_{DH} * H_D * \rho_{DH}}$$

$C_{SH}(t, i)$: 時間 t における対象領域の掘削土壌中の放射性核種 i の濃度 (Bq/kg)

P_{CH} : 廃棄物埋設地底面までを掘削する場合の対象領域の掘削土壌の希釈係数(一)

$A_{WH}(i)$: 対象領域の放射性廃棄物受入れ時の放射性核種 i の放射能量 (Bq)

S_{DH} : 対象領域の平面積 (m²)

ρ_{DH} : 対象領域の廃棄物層の見かけ密度 (kg/m³)

H_D : 廃棄物層深さ (m)

$\lambda(i)$: 放射性核種 i の崩壊定数 (1/y) ; $=\ln 2 / T_{1/2}(i)$



7. 線量評価パラメータ(1／10)

7. 線量評価パラメータ

処分システムに基づき設定する線量評価パラメータと生活環境に基づき設定する線量評価パラメータに大別できる。

前者は、廃棄物埋設地及び地質環境等の状態を踏まえて設定するもので、設定において、実測値等に基づいて科学的に合理的な範囲を定め、たうで設定するもの(分類番号①)、科学的に合理的な範囲が設定が行えないことから想定しうる最大の範囲を考慮しても最も保守的となる値に設定するもの(分類番号②)、施設設計等の内容及び根拠となる文献等に基づき値を設定するもの(分類番号③)に分類できる。

後者は、廃棄物埋設地周辺の生活環境に基づき値を設定するものである(本質的に科学的に合理的な範囲が定められないものを除く)(分類番号④)。

科学的に合理的な範囲で設定するパラメータのうち、被ばく線量への線量感度が大きいパラメータ又は設定値の不確かさが大きいパラメータについては、適切な保守性を考慮し、最も可能性が高い自然事象シナリオと最も厳しい自然事象シナリオとで異なる設定とする。それ以外のパラメータについては最も可能性が高い自然事象シナリオと最も厳しい自然事象シナリオで共通の値とする。

第7-1表 各分類の線量評価パラメータの例

分類番号	パラメータ例
①	廃棄物埋設地内の充填砂／中間覆土の間隙率※ ¹ 、廃棄物埋設地内の飽和度、廃棄物埋設地内の充填砂／中間覆土の粒子密度、廃棄物埋設地内の充填砂／中間覆土の放射性核種 i の収着分配係数※ ² 、分子拡散係数、通気層高さ
②	廃棄物埋設地内の充填砂／中間覆土の放射性核種 i の収着分配係数※ ² 、廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出開始時期、灌漑作業時における放射性核種の遮蔽係数※ ³ 、廃棄物埋設地下流端から建設作業場所までの距離※ ⁴
③	廃棄物埋設地平面積、年間浸透水量、廃棄物層深さ、放射性核種 i の半減期、放射性廃棄物受入れ時の放射性核種 i の放射エネルギー、廃棄物埋設地内の充填砂／中間覆土の体積割合、廃棄物埋設地の長さ、廃棄物埋設地の幅
④	評価海域の海水交換水量、放射性核種 i の海産物 m への濃縮係数、海産物 m の年間摂取量、評価海域における海産物 m の市場係数、放射性核種 i の経口摂取内部被ばく線量換算係数、放射性核種 i の吸入内部被ばく線量換算係数

※¹: 平均値で設定せず保守的に設定したもの

※²: 核種ごとに分類が異なる

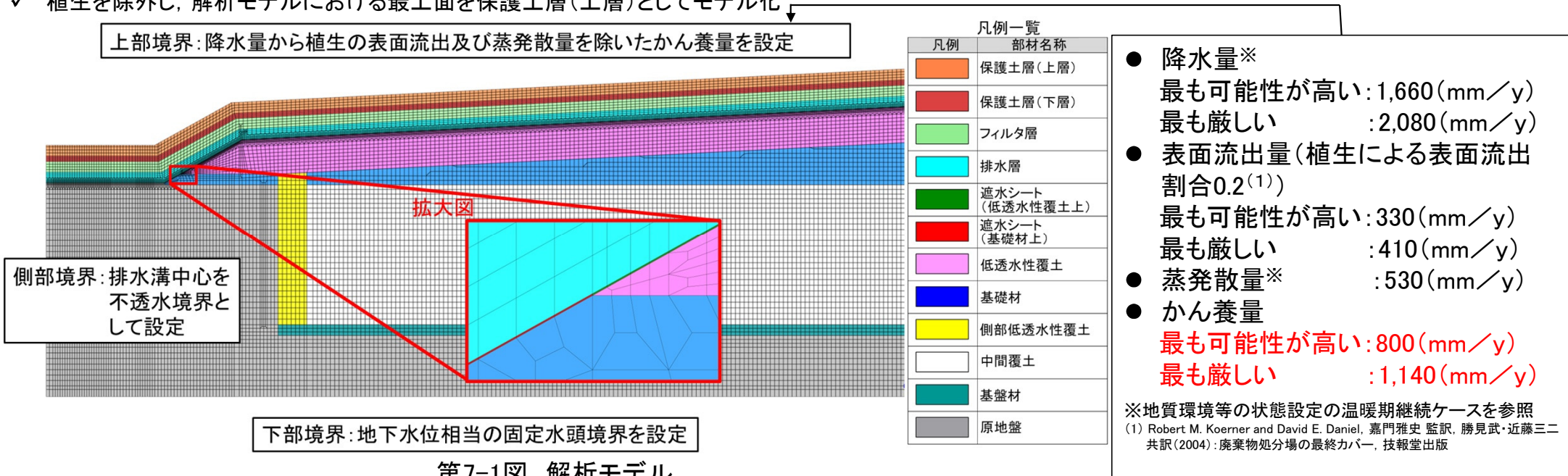
※³: 生活環境に基づき設定するパラメータであるが、本質的に科学的に合理的な範囲が定められないもの

※⁴: 廃棄物埋設地からの距離によって決まる線量評価パラメータであるが、距離の設定ができないことから保守的に0として設定したもの

なお、年間浸透水量及び収着分配係数の設定については次頁以降に詳細を示す。

7. 線量評価パラメータ(2/10)

- 年間浸透水量の設定(モデル・解析パラメータ)
- ✓ 解析コードは、「オイリアン・ラグランジアン法による飽和・不飽和浸透流—移流・分散解析プログラムDtransu2D-EL Ver.2.43b」を使用
- ✓ 埋設トレンチの長さが長い方が、解析においては埋設トレンチ内への浸透水量は多くなるため、東西方向が長くなる東側埋設トレンチを対象にモデル化
- ✓ 最終覆土は南北方向に長い形状となっており、雨水等を東西方向に排水できるように勾配を設けているため、雨水等の流出方向は東西方向が支配的となることから、二次元で東西方向の廃棄物埋設地断面をモデル化
- ✓ 最終覆土頂部を軸に線対称な挙動を示すと考えられるため、廃棄物埋設地の半分及び地盤をモデル化
- ✓ 廃棄物埋設地は、地下水面より上に埋設トレンチを設置することにより埋設が完了したトレンチ内への地下水の浸入を抑制する設計であることから、埋設トレンチ内への水の浸透は雨水等による浸透水が支配的
- ✓ 埋設トレンチ内への雨水等による浸透水の施設通過流量を確認するためのものであることから、最終覆土及び側部低透水性覆土を示す層をモデル化し、埋設トレンチ内は、埋設した放射性廃棄物をモデル化せずに、中間覆土として用いる土砂としてモデル化
- ✓ 植生を除外し、解析モデルにおける最上面を保護土層(上層)としてモデル化



第7-1図 解析モデル

7. 線量評価パラメータ(3/10)

- 年間浸透水量の設定(モデル・解析パラメータ)
- ✓ 廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するため、最終覆土の設置完了後は、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートにより、埋設トレンチ内への雨水等の浸入を抑制する設計としている。
- ✓ 遮水シートの飽和透水係数は、米国のRisk Reduction Engineering Laboratory で開発された計算コード The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance model(以下「HELP」という。)及びJAEA(2014)⁽¹⁾の考え方をを用いて設定した。HELPでは、遮水シートからの漏えい量の評価において遮水シートの上下層の透水性、遮水シートと下層との接触状態及び遮水シートの損傷状態を考慮している。ここでは、HELPで用いられている算定式により算定した遮水シートからの漏えい量を透水係数に換算した換算透水係数を、遮水シートの飽和透水係数として設定する(「補足説明資料5 線量評価パラメータ」(補5別1-29～補5別1-43)参照)。
- ✓ なお、遮水シートの浸透水低減を考慮しない場合は、透水係数は排水層相当($5.0 \times 10^{-2} \text{ m/s}$)とする。

第7-2表 主な部材の透水係数の設定値

主な部材の透水係数		側部低透水性覆土※1, ※2	低透水性覆土※1, ※2	遮水シート	
				低透水性覆土上	基礎材上
透水係数 (m/s)	最も可能性が高い	1.0×10^{-10}	1.0×10^{-10}	7.82×10^{-15}	1.02×10^{-9}
	最も厳しい		2.0×10^{-10}	1.54×10^{-14}	1.41×10^{-9}

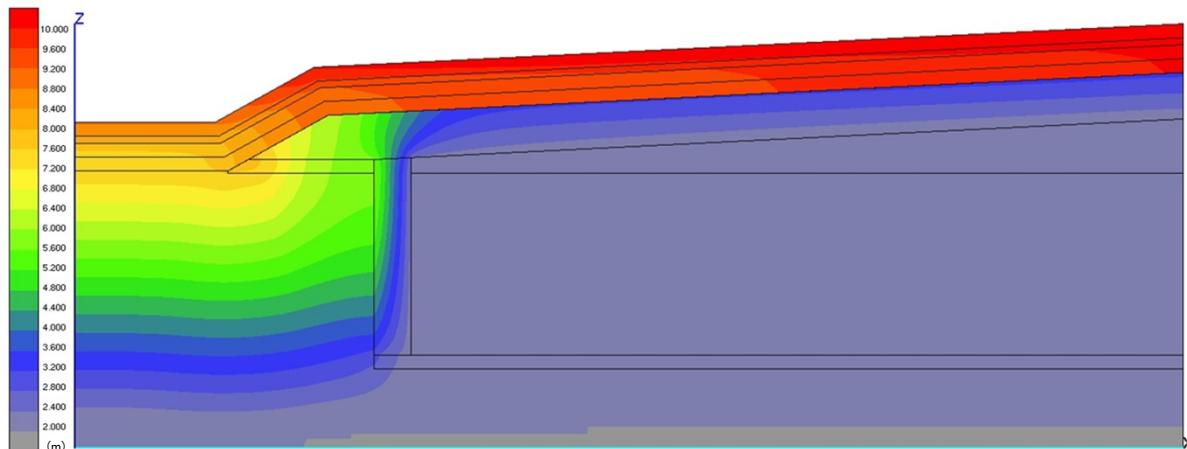
※1:「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十三条(ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地)第1項第二号及び第四号への適合性について」の設計値を用いて設定した。

※2:「3. 廃棄物埋設地の状態設定」を踏まえて設定した。

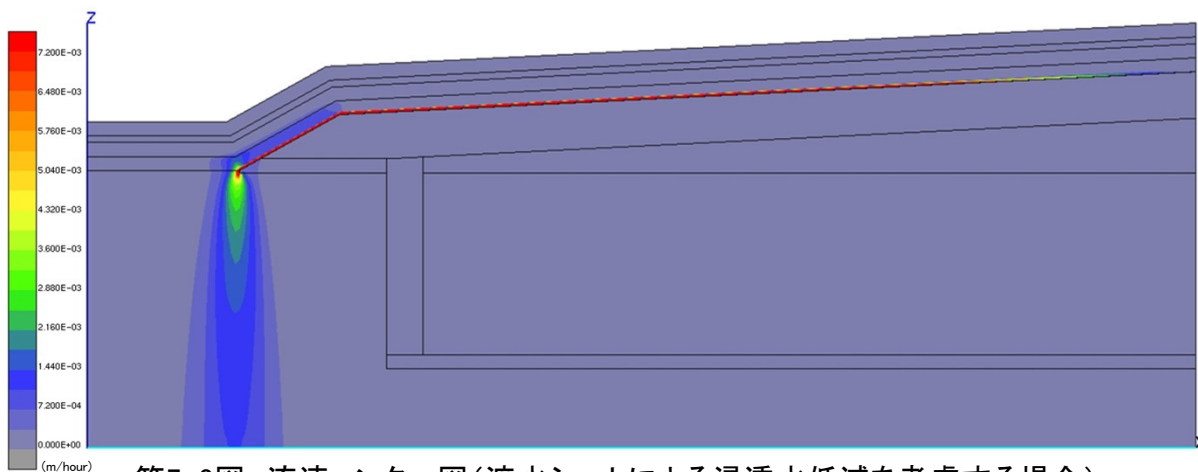
(1)黒澤亮平, 坂井章浩, 仲田久和, 天澤弘也, 坂本義昭(2014):研究施設等廃棄物のトレンチ処分施設の上部覆土内への浸透水量の評価, JAEA-Technology 2014-013

7. 線量評価パラメータ(4/10)

➤ 年間浸透水量の設定(解析結果)



第7-2図 全水頭コンター図(遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合)



第7-3図 流速コンター図(遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合)

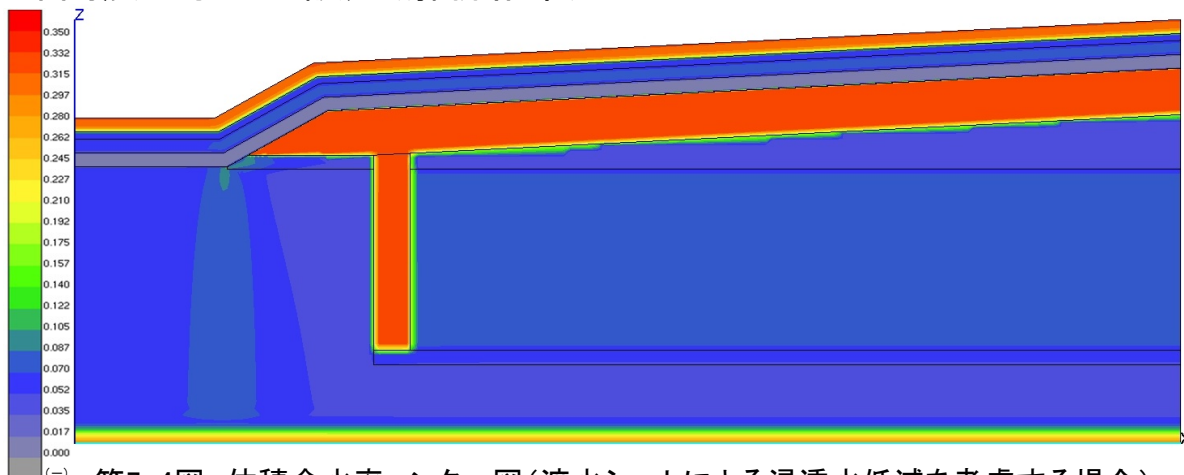
第7-2図～第7-5図に最も可能性が高い自然事象シナリオにおいて、遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合の解析結果を示す。

第7-2図より、水平移行部の排水層付近の地盤から波紋状にコンターラインが形成されており、地下に向かって垂直に浸透する流れと低透水性覆土の端部から回り込むように浸透する流れであることを示している。

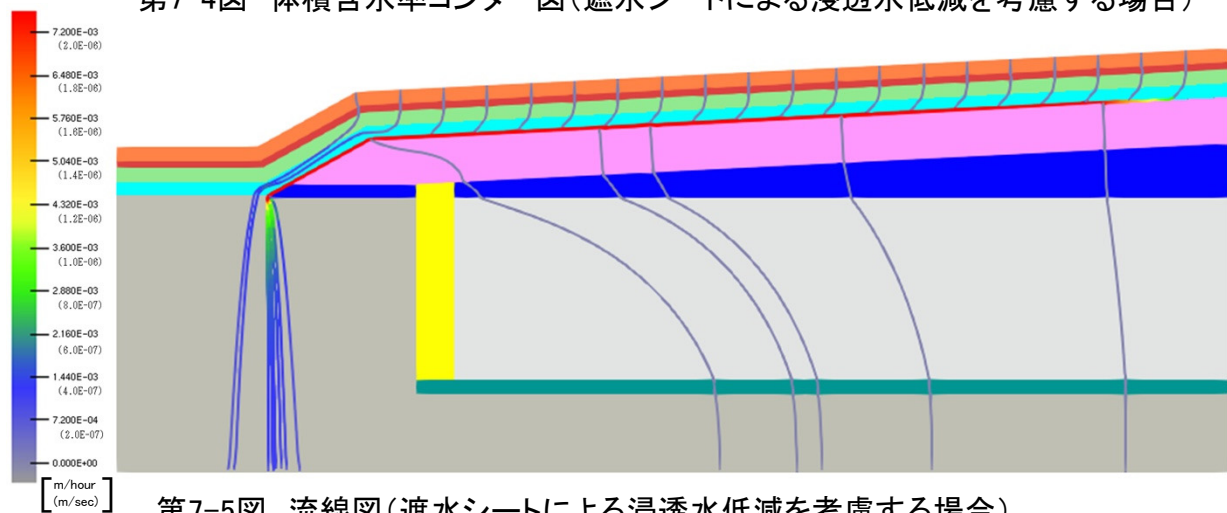
第7-3図より、遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合では、排水層底面付近の要素の流速が大きくなっており、浸透した降雨が排水層を選択的に流れた後、水平移行部から地盤に浸透していくことを示している。

7. 線量評価パラメータ(5/10)

➤ 年間浸透水量の設定(解析結果)



第7-4図 体積含水率コンター図(遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合)



第7-5図 流線図(遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合)

第7-4図より、遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合では、水平移行部の排水層付近の地盤の体積含水率が地下に向かうように高くなっており、水平移行部の排水層から地盤へ浸透していくことを示している。

第7-5図から、以下のことが考察される。

- ① 降雨が排水層までおおむね鉛直に浸透した後、排水層底部を流れ、排水層の水平移行部から地盤へ浸透していることから、排水層に水が集まって、遮水シート上部を水が流れていることを示している。
- ② 排水層底部の流速が大きく、地盤へ浸透していくにつれて流速が低下していることから、排水層から相対的に低透水性の地盤へ浸透することで流速が低下する様子を示している。
- ③ 低透水性覆土を通過して廃棄物層内部へ浸透する流れの流速が、排水層から地盤へ浸透する流れの流速と比べて小さいことから、廃棄物層への流入量が排水層から地盤への排水量と比較して少ないことを示しており、遮水シート及び低透水性覆土による浸透水低減を示している。

(注)ここで示す流線図は施設通過流量と対応関係にあるものではなく、モデル全体のおおまかな水の挙動を示すための図として示している。

7. 線量評価パラメータ(6／10)

➤ 年間浸透水量の設定(解析結果)

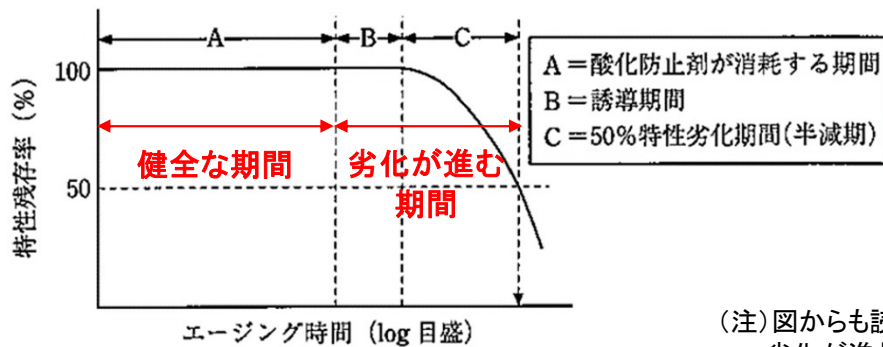
- ✓ 浸透流解析結果より、設定した年間浸透水量を第7-3表に示す。
- ✓ 前頁までに示した解析結果は、最も可能性が高い状態における遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合であるが、同様の解析により、遮水シートによる浸透水低減を考慮しない場合の年間浸透水量を算出している。
- ✓ 最も厳しい状態については、第7-1表及び第7-2表で示した透水係数及びかん養量の違いはあるものの、同様の解析により年間浸透水量を算出している。
- ✓ 遮水シートによる浸透水低減を考慮する期間については、次頁以降で説明する。

第7-3表 年間浸透水量の設定値

シナリオ		遮水シートによる浸透水 低減を考慮する場合	遮水シートによる浸透水 低減を考慮しない場合
		$\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})$	
設定値 (計算結果)	最も可能性が高い	3.0×10^{-3} (0.002773)	1.3×10^{-2} (0.012390)
	最も厳しい	4.0×10^{-3} (0.003862)	2.3×10^{-2} (0.022031)

7. 線量評価パラメータ(7/10)

- 年間浸透水量の設定(遮水シートの耐用年数について)
- ✓ 安全評価では、遮水シートによる浸透水低減を考慮する期間と考慮しない期間の年間浸透水量を設定する。
- ✓ 遮水シートの耐用年数は、安全評価上、遮水シートによる浸透水低減を考慮する期間とする。
- ✓ 遮水シートの耐用年数の検討については、複数の文献^{(1)~(5)}から耐久性評価に関する情報を整理した上で、設定する。
- ✓ 遮水シートの経年劣化は延性材料からぜい性材料へと段階的に移行する。その際、ぜい化が発生しても、遮水シート自体はなくなる。カバーシステムにおいて、遮水シートのぜい化につながる劣化メカニズムは数多くあるが、本施設では、最も深刻な紫外線・高温によるポリマーの劣化の可能性は、遮水シートの上部に約1 mの覆土があることで排除され、放射性廃棄物の上に設置され、かつ、高濃度の揮発性化学物質を遮水シートにもたらすようなガス又は蒸気を発生する放射性廃棄物は存在しないため、埋設した放射性廃棄物に起因する化学的劣化が問題となる可能性は低い。また、放射線の影響は、埋設する放射性廃棄物が放射能レベルの極めて低い廃棄物であること、かつ、中間覆土により遮蔽されることから、影響はないと考えられる。よって、カバーシステムにおける遮水シートの劣化の主なメカニズムは、ポリマーの酸化劣化となり、劣化は3段階に分けられる(第7-6図参照)。



第7-6図 化学劣化における段階⁽¹⁾に加筆

安全評価上、遮水シートが健全な期間は、劣化段階のうち段階A(酸化防止剤の消耗期間)に相当すると考える。遮水シートの劣化が進む期間は、遮水シートの劣化段階のうち段階B及び段階Cに相当すると考える(段階Cに相当する期間の終了時点で、ベントナイト混合土のみによる浸透水低減を考慮した年間浸透水量になる。)

(注) 図からも読み取れるように誘導期間(段階B)では、特性は健全な期間とほぼ変わらないが、安全評価では、便宜上、劣化が進む期間に相当するとした。

- (1) Robert M. Koerner and David E. Daniel, 嘉門雅史 監訳, 勝見武・近藤三二 共訳(2004): 廃棄物処分場の最終カバー, 技報堂出版
- (2) Robert M. Koerner, Y. Grace Hsuan and George R. Koerner(2011): Geomembrane Lifetime Prediction: Unexposed and Exposed Conditions, GRI White Paper #6
- (3) Santosh Rimal(2009): Ageing of HDPE Geomembranes Used to Contain Landfill Leachate or Hydrocarbon Spills
- (4) 日本遮水工協会: 遮水シートの耐久性について, 2013.4(2024.4.18 ダウンロード)
- (5) Fernando Luiz Lavoie, Marcelo Kobelnik, Clever Aparecido Valentin and Jefferson Lins da Silva (2020): Durability of HDPE geomembranes: An overview, Química Nova, Vol.43, No.5, pp.656-667.

7. 線量評価パラメータ(8/10)

- 年間浸透水量の設定(遮水シートの耐用年数について)
- ✓ 段階Aについては, Koerner et al.(2011)⁽²⁾によると, 環境条件が「上面水／下面空気」の結果であるが, 本施設は, 遮水シートの両面が不飽和土壌であるため, 環境条件としては「両面空気(不飽和土壌)」がもっともらしいと考える。しかしながら, 遮水シートの接面環境である不飽和土壌は, 土壌の種類及び含水率に影響されるため, 酸素の存在割合を定義することは非常に困難である。酸化防止剤の消耗メカニズムのうち, 物理的損失においては, 抽出性が寿命評価に中心的な影響を与える。Smith et al.(1992)⁽⁴⁾によれば, 酸化防止剤の消耗は空気中よりも水中の方が3倍速いことが示されており, 「上面水／下面空気」という条件は, 本施設に対して, 保守的な設定であると判断できる。
- ✓ 段階Bについては, Koerner et al.(2011)⁽²⁾によると, 酸化防止剤を含まないHDPE製の劣化容器と未劣化容器の比較結果から設定する。
- ✓ 段階Cについては, 2つの文献から200年程度は見込めると考えられるが, Koerner et al.(2011)⁽²⁾の環境条件「上面水／下面空気」は酸素の拡散速度が水面に比べ, 空気面の方が早くなると考えられることから, 期間を10分の1にして設定する。

第7-4表 安全評価における遮水シートの耐用年数とその期間の年間浸透水量

文献			段階A	段階B	段階C
嘉門(監訳)(2004) ⁽¹⁾			126年～128年※1	10年～30年	200年～300年
Koerner et al.(2011) ⁽²⁾			208年※2	30年	208年
Rimal(2009) ⁽³⁾			125年～140年※3		
			165年～190年※4		
設定値	耐用年数		100年	30年	20年
	年間浸透水量	可能性が高い	$0.003 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{y}$	$0.003 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{y} \rightarrow 0.013 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{y}$	
		厳しい	$0.004 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{y}$	$0.004 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{y} \rightarrow 0.023 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{y}$	

※1: 遮水シートの上面を水, 下面を乾燥砂, 温度は25℃

※2: 遮水シートの上面を水, 下面を空気, 温度は20℃

※3: 遮水シートの両面を不飽和土壌, 温度は20℃

※4: 遮水シートの両面を空気, 温度は20℃

(1) Robert M. Koerner and David E. Daniel, 嘉門雅史 監訳, 勝見武・近藤三二 共訳(2004): 廃棄物処分場の最終カバー, 技報堂出版

(2) Robert M. Koerner, Y. Grace Hsuan and George R. Koerner(2011): Geomembrane Lifetime Prediction: Unexposed and Exposed Conditions, GRI White Paper #6

(3) Santosh Rimal(2009): Ageing of HDPE Geomembranes Used to Contain Landfill Leachate or Hydrocarbon Spills

(4) Smith, G.D., Karloson, K. and Gedde, U.W.(1992): Modeling of Antioxidant Loss From Polyolefins in Hot-Water Applications. I: Model and Application to Medium Density Polyethylene Pipes”, Polymer Engineering and Science, Vol. 32, No.10, pp. 658-667.

7. 線量評価パラメータ(9/10)

➤ 分配係数の設定

- ✓ 第3-8表で抽出した、熱、水理、力学及び化学の観点によって廃棄物埋設地に生ずる物理的・化学的現象のうち収着性に関する影響事象分析の結果から、収着分配係数の設定においては、**コンクリート類の溶脱(放射性廃棄物と浸透水の反応)**と**津波**による影響を考慮した分配係数取得試験の条件を設定し、その試験結果より各層における分配係数を設定した(第7-6表参照)。
- ✓ 試験方法の基本的な考え方は、日本原子力学会(2002)⁽¹⁾に規定された測定方法に準じた。
- ✓ 試験対象の核種は、廃止措置の開始後の評価の対象核種に選定されている10核種で、設定方法は第7-5表のように整理した。

第7-5表 試験対象核種及び設定方法

試験対象核種	設定方法
Co-60, Sr-85※ ¹ , Cs-137, Eu-152※ ² , Am-241※ ³	分配係数取得試験の結果から設定※ ⁴
H-3	文献値から設定 ^{(2), (3)} (水を構成する主要元素で、一般的には吸着を期待できないため、0と設定)
C-14	化学形態によって媒体への吸着が大きく変化することから、不確実な要素があるため、保守的に0と設定
Cl-36	文献値から設定 ⁽⁴⁾ (固相が砂の条件では分配係数が0と記載されているため、0と設定)
Ca-41	化学的に類似(アルカリ土類金属)のSr-85と同じ

※1: Sr-90の直接測定が困難なため、Sr-85を測定している。

※2: Eu-154はEu-152の結果を用いて設定した。

※3: 全αについて、核種選定において相対重要度が1%を超える核種はないため、最も相対重要度が大きいAm-241の試験結果を用いて設定した。

※4: 試験結果を液相ごとに算術平均又は幾何平均し、これらの値を保守的に有効数字2桁で切り下げた値を設定した。

(1) 一般社団法人 日本原子力学会(2002): 日本原子力学会標準 収着分配係数の測定方法—浅地中処分バリア材を対象としたバッチ法の基本手順: 2002

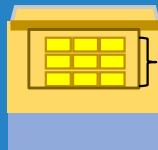
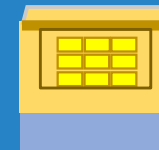
(2) International Atomic Energy Agency (1987): Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control—INTERIM REPORT, IAEA—TECDOC—401

(3) International Atomic Energy Agency(2009): Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, IAEA—TECDOC—1616

(4) 加藤正平, 梁瀬芳晃(1993): 海岸土壌及びコンクリート粉に対するコンクリート廃棄物中放射性核種の分配係数, JAERI—M 93—113

7. 線量評価パラメータ(10/10)

第7-6表 各層における収着分配係数

		収着分配係数					
		廃棄物埋設地内土砂  充填砂／中間覆土		通気層土壌  通気層		帯水層土壌  帯水層	
分配係数取得試験条件	固相	du層（埋設地周辺土壌）		du層（埋設地周辺土壌）		du層（埋設地周辺土壌）	
	液相	現地地下水及び水酸化Ca水溶液 (第3-8表・化学影響)		・最も可能性が高い: 現地地下水及び水酸化Ca水溶液 (第3-8表・化学影響) ・最も厳しい: 人工海水 (第3-8表・津波影響)		・最も可能性が高い: 現地地下水 ・最も厳しい: 人工海水 (第3-8表・津波影響)	
核種		最も可能性が高い 自然事象／人為事象	最も厳しい 自然事象	最も可能性が高い 自然事象／人為事象	最も厳しい 自然事象	最も可能性が高い 自然事象／人為事象	最も厳しい 自然事象
H－3		0	0	0	0	0	0
C－14		0	0	0	0	0	0
Cl－36		0	0	0	0	0	0
Ca－41		0.003	0.0003	0.003	0.00003	0.003	0.00003
Co－60		0.03	0.003	0.03	0.001	0.3	0.001
Sr－90		0.003	0.0003	0.003	0.00003	0.003	0.00003
Cs－137		0.3	0.03	0.3	0.001	0.3	0.001
Eu－152		0.3	0.03	0.3	0.03	0.3	0.03
Eu－154		0.3	0.03	0.3	0.03	0.3	0.03
全 α		0.1	0.01	0.1	0.01	0.1	0.01

8. 線量評価結果(1/4)

線量評価の結果を第8-1表に示す。

第8-1表 廃止措置の開始後における被ばく線量結果

線量評価シナリオ	評価対象個人	線量評価結果※1	基準
最も可能性が高い自然事象シナリオ	居住者	<u>約 $5.7 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/y}$</u>	10 $\mu\text{Sv/y}$
最も厳しい自然事象シナリオ	漁業従事者	約 $1.6 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/y}$	300 $\mu\text{Sv/y}$
	農業従事者	<u>約 $5.3 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$</u>	
	建設業従事者	約 $4.8 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$	
	居住者	約 $4.8 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$	
人為事象シナリオ	建設業従事者	約 $3.7 \times 10^0 \mu\text{Sv/y}$ (金属偏在※2) <u>約 $2.8 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$(コンクリート偏在※2)</u>	300 $\mu\text{Sv/y}$
	居住者	約 $1.7 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ (金属偏在※2) 約 $2.0 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ (コンクリート偏在※2)	

※1: 評価対象個人の最大線量。下線はシナリオにおける最大線量を示す。

※2: 金属類及びコンクリート類は、埋設トレンチの1区画ごとで分けて埋設する計画であり、廃棄物埋設地のうち、掘削される場所により、掘削後に埋め戻した混合土壌の濃度が変わる。そのため、保守的な条件となるように金属類のみ又はコンクリート類のみを掘削した場合の評価条件とする。

8. 線量評価結果(2/4)

各シナリオにおける最大線量となる評価対象個人の線量評価結果の経年変化グラフを第8-2表～第8-4表に示す。

第8-2表 線量評価結果(1/3)

線量評価シナリオ	評価対象個人	線量評価結果
最も可能性が高い 自然事象シナリオ	居住者	・評価対象個人の最大線量：約 $5.7 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}/\text{y}$ ・線量が最大となる時期：覆土の完了後約50年 対象被ばく経路 - 海産物の摂取に伴う内部被ばく - 掘削土壌上での居住に伴う外部被ばく及び内部被ばく - 居住者の家庭菜園により生産する農産物の摂取に伴う内部被ばく [凡例] ①: 覆土の完了後から廃止措置の開始前まで ②: 廃止措置の開始後から

8. 線量評価結果(3/4)

第8-3表 線量評価結果(2/3)

線量評価シナリオ	評価対象個人	線量評価結果
最も厳しい 自然事象シナリオ	農業従事者	・評価対象個人の最大線量：約 $5.3 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ ・線量が最大となる時期：覆土の完了後約74年 線量($\mu\text{Sv/y}$) 覆土の完了後の経過時間(y) ① ② 基準線量: $300 \mu\text{Sv/y}$ H-3 C-14 Cl-36 Ca-41 Co-60 Sr-90 Cs-137 Eu-152 Eu-154 全 α 合計 対象被ばく経路 - 海産物の摂取に伴う内部被ばく - 掘削土壌上での居住に伴う外部被ばく及び内部被ばく - 居住者の家庭菜園により生産する農産物の摂取に伴う内部被ばく - 井戸水の飲用に伴う内部被ばく - 地下水を利用して生産される灌漑農産物の摂取に伴う内部被ばく - 地下水を利用した灌漑農作業に伴う外部被ばく及び内部被ばく [凡例] ①: 覆土の完了後から廃止措置の開始前まで ②: 廃止措置の開始後から

8. 線量評価結果(4/4)

第8-4表 線量評価結果(3/3)

線量評価シナリオ	評価対象個人	線量評価結果
人為事象シナリオ	建設業従事者	・評価対象個人の最大線量：約 $2.8 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ (コンクリート偏在) ・線量が最大となる時期：覆土の完了後約50年 線量($\mu\text{Sv/y}$) 基準線量: $300 \mu\text{Sv/y}$ ① ② 覆土の完了後の経過時間(y) H-3 C-14 Cl-36 Ca-41 Co-60 Sr-90 Cs-137 Eu-152 Eu-154 全α 合計 対象被ばく経路 廃棄物埋設地底面までを掘削する建設作業に伴う外部被ばく及び内部被ばく(コンクリート偏在) [凡例] ①: 覆土の完了後から廃止措置の開始前まで ②: 廃止措置の開始後から