



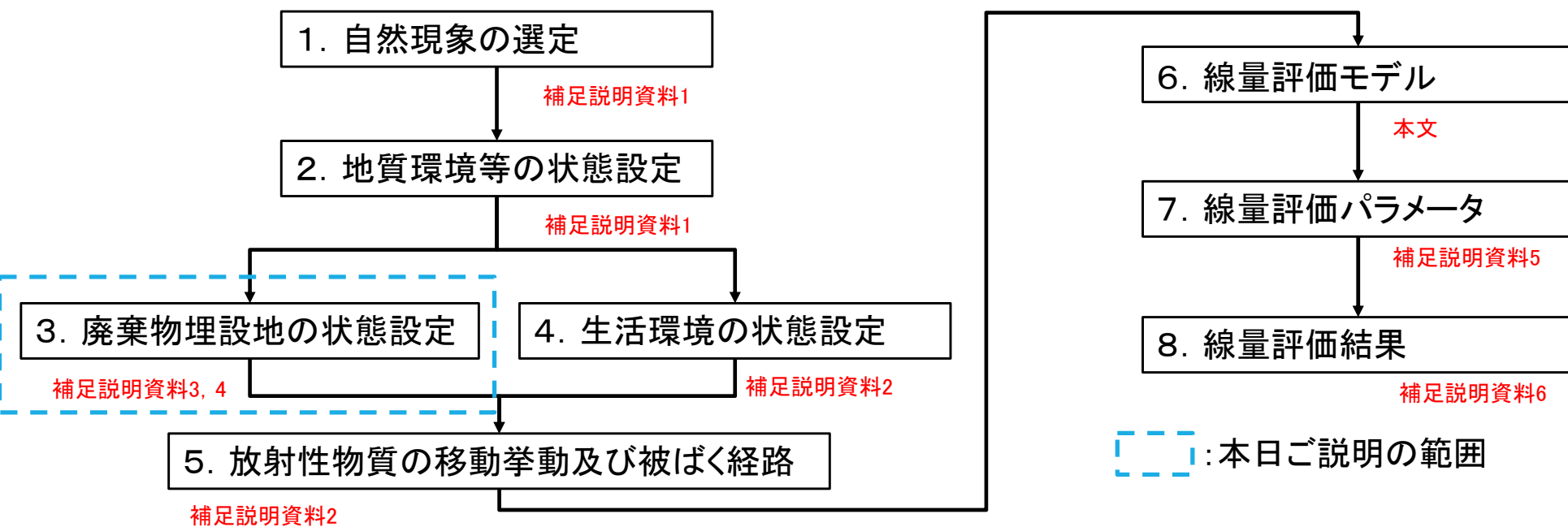
「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び  
設備の基準に関する規則第十三条  
(ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地)  
第1項第三号及び第四号への適合性について」  
廃棄物埋設地の状態設定

2023年 4月10日

日本原子力発電株式会社

# 廃止措置の開始後の評価フロー

- ✓ 廃止措置の開始後において、埋設する廃棄物に起因して発生すると想定される公衆の受ける線量の評価は、第二種埋設許可基準規則※<sup>1</sup>及び第二種埋設許可基準解釈※<sup>2</sup>に基づいて行う。
- ✓ 評価の検討フローを第3-1図に示す。



第3-1図 評価の検討フロー

※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

※2 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の解釈

#### (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)。

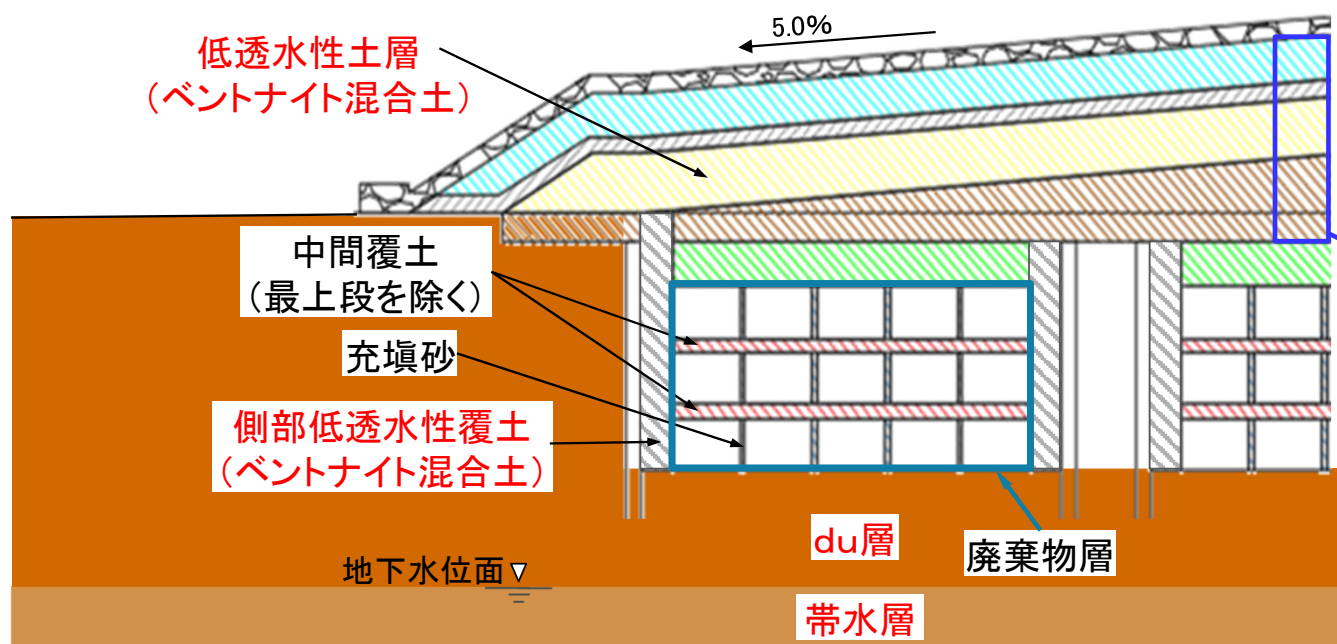
#### (4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

**バリア材料の物性に影響する可能性がある影響事象(12事象)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3-5表～第3-7表参照)。

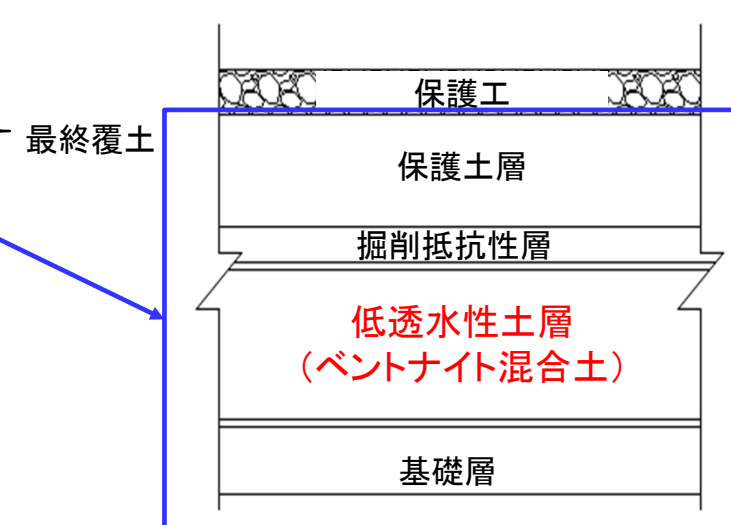
#### (1) 各バリアに期待する性能

第3-1表 バリア材料の物性

分類	バリア材料	物性	物性の内容
人工バリア	側部低透水性覆土及び低透水性土層	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。



第3-2図 廃棄物埋設地断面図



第3-3図 最終覆土詳細断面図

#### (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。

#### (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 人間の特徵・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(5/14)

#### (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	側部低透水性覆土及び低透水性土層	本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)	覆土等(保護工, 保護土層及び低透水性土層)
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), 熱的, 力学的, ガスによる水理影響(WH03)	水理特性(BH01), 飽和・不飽和(BH02), 地下水流動(BH04), パイピング・流体侵食(BH05)	水理特性(SH01), 飽和・不飽和(SH02), 地下水流動(SH04)	水理特性(PH01), 飽和・不飽和(PH02), 地下水流動(PH04), パイピング・流体侵食(PH05)
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) 影響事象分析

- ✓ 本施設のFEPリスト(第3-3表参照)のうち、**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(地質環境等の状態設定で選定した廃棄物埋設地に関連する自然現象を含む)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い(詳細は、資料2-1-2・P1~P13参照)、**廃棄物埋設地の状態設定においてバリア材料への影響の可能性を考慮すべき影響事象として、以下の12事象を抽出した。**なお、**熱(T)**については、考慮すべき影響事象はなかった。

第3-4表 廃棄物埋設地の状態設定において考慮すべき影響事象(12事象)

環境分類	影響先	分析結果	考慮すべき影響事象(12事象)
水理(H)	低透水性	✓ <b>ベントナイト混合土</b> の飽和・不飽和の繰り返しによる <b>乾湿の影響</b>	H1: ベントナイト混合土の乾湿
力学(M)	低透水性	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>金属腐食</b>に起因する<b>膨張変形</b>や<b>ガス発生</b>の影響</li> <li>✓ <b>ベントナイト混合土</b>に雨水等が浸透することによる<b>膨潤</b>の影響</li> <li>✓ <b>地震による振動及び応力</b>によって、<b>廃棄物</b>内に微小な空隙が生じ、形状が変化することで、<b>廃棄物層</b>が沈下を起し、<b>埋設トレんチ</b>が<b>陥没</b>することによる影響</li> <li>✓ <b>侵食</b>により<b>保護土層</b>の<b>土砂</b>が<b>流出</b>することによる影響</li> </ul>	M1: 廃棄物層(金属廃棄物及び鉄箱)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: 侵食
	低透水性	✓ <b>ベントナイト混合土</b> の <b>モンモリロナイト溶出</b> 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)
化学(C)	収着性	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 浸透水との反応による<b>コンクリート廃棄物の溶脱</b>や<b>廃棄物層の金属腐食</b>による影響、<b>コロイドの生成</b>、<b>有機物の影響</b>及び<b>微生物の影響</b></li> <li>✓ 一時的な<b>津波</b>による<b>本施設周辺の地盤</b>(<b>du層</b>及び<b>帯水層</b>)の<b>収着性</b>への<b>海水の浸透</b>による影響</li> </ul>	C1: コンクリート廃棄物の溶脱(廃棄物と浸透水の反応) C2: 廃棄物層の金属腐食(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 C7: 津波



#### (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(第3-4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3-5表～第3-7表参照)。**

第3-5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、 <b>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</b> ことから、影響事象として考慮しない(詳細は資料2-1-2・P14参照)。	無

#### (4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-6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
<p>M1: 廃棄物層(金属廃棄物及び鉄箱)の金属腐食による膨張変形及びガス発生</p>	<p>低透水性</p>	<p>■ 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0.7 mm、水平方向約4 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(詳細は資料2-1-2・P15参照)。</p> <p>■ 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ため、影響事象として考慮しない。</p>	<p>無</p>

#### (4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-6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	<p>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。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、<u>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(詳細は資料2-1-2・P16参照)。</p>	無										
M3: 地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)	低透水性	<p>地震による振動及び応力によって、廃棄物内に微小な空隙が生じ、形状が変化することで、廃棄物層が沈下を起し、埋設トレンチの陥没現象が生じることが想定される。個別要素法(DEM)を用いた解析の結果、<u>力学的変形による局所的な密度変化によって透水係数は増加するが、ベントナイト混合土の破断や厚さの大きな変化は生じず、低透水性に影響はない。</u>このため、<u>最も可能性が高い状態においては、影響を考慮しない。</u>一方で、<u>最も厳しい状態では、局所的な密度変化によって低透水性土層の透水係数が増加することを考慮し、透水係数を保守的に<math>5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}</math>とする(P17~P29参照)。</u></p> <table border="1" data-bbox="779 1082 1937 1329"> <thead> <tr> <th rowspan="2">バリア材料</th> <th colspan="2">透水係数</th> </tr> <tr> <th>最も可能性が高い状態</th> <th>最も厳しい状態</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>低透水性土層</td> <td rowspan="2"><math>1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}</math></td> <td><u><math>5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}</math></u></td> </tr> <tr> <td>側部低透水性覆土</td> <td><math>1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}</math></td> </tr> </tbody> </table>	バリア材料	透水係数		最も可能性が高い状態	最も厳しい状態	低透水性土層	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	<u><math>5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}</math></u>	側部低透水性覆土	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	有
バリア材料	透水係数												
	最も可能性が高い状態	最も厳しい状態											
低透水性土層	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	<u><math>5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}</math></u>											
側部低透水性覆土		$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$											

#### (4) 廃棄物埋設地の状態設定における影響評価

第3-6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: 侵食	低透水性	<p>風(台風)によって保護工(じゃかご等)の割栗石が動き出すことはない。また、割栗石の風化が想定されるものの、保護工全体への影響はない。廃棄物埋設地の保護土層において、<u>雨水流による表面侵食は発生しないと考えられるため、リル侵食(ガリ侵食を含む)は発生しない。RUSLEを用いた侵食量の評価では、1,000年間の侵食量は、保護土層の体積に対して0.2%以下であり、極めて少ない。</u>このため、低透水性土層及び側部低透水性覆土の低透水性に影響を及ぼすような保護土層の侵食は発生しないと考えられるため、影響事象として考慮しない(詳細は資料2-1-2・P17~P33参照)。</p>	無									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>評価結果(1,000年間)</th> <th>勾配5%面</th> <th>勾配56%面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>保護土層の侵食体積</td> <td>1.69 m<sup>3</sup></td> <td>0.59 m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>保護土層の侵食体積割合</td> <td>0.16%</td> <td>0.19%</td> </tr> </tbody> </table>		評価結果(1,000年間)	勾配5%面	勾配56%面	保護土層の侵食体積	1.69 m <sup>3</sup>	0.59 m <sup>3</sup>	保護土層の侵食体積割合	0.16%	0.19%
		評価結果(1,000年間)		勾配5%面	勾配56%面							
		保護土層の侵食体積		1.69 m <sup>3</sup>	0.59 m <sup>3</sup>							
保護土層の侵食体積割合	0.16%	0.19%										

#### (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(化学) (1/4)

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(廃棄物と浸透水の反応)	収着性	浸透水とコンクリート類の廃棄物との反応によるでカルシウム成分が溶脱によって、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、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※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(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ことから、還元雰囲気下における核種の分配係数に影響を与えるような金属腐食の収着影響はないと考えられるため、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」のなかで説明する。

#### (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(化学) (2/4)

抽出された影響事象	影響先	影響評価	影響								
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	<p>浸透水とコンクリート類の廃棄物との反応によるカルシウム成分の溶脱に伴う高アルカリ性の間隙水は、モンモロロナイトを溶解又は変質させ、側部低透水性覆土の低透水性を次第に低下することが懸念される。地化学解析の結果、ベントナイト材料中のモンモロロナイトの溶解又は変質が生じることによって、局所的なモンモロロナイト含有率の低下による透水係数の増加が生じたことを考慮し、側部低透水性覆土の透水係数を保守的に設定する。(P30～P36参照)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">バリア材料</th> <th colspan="2">透水係数</th> </tr> <tr> <th>最も可能性が高い状態</th> <th>最も厳しい状態</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>側部低透水性覆土</td> <td><math>5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}</math></td> <td><math>1.0 \times 10^{-9} \text{ m/s}</math></td> </tr> </tbody> </table>	バリア材料	透水係数		最も可能性が高い状態	最も厳しい状態	側部低透水性覆土	$5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	$1.0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	有
		バリア材料		透水係数							
最も可能性が高い状態	最も厳しい状態										
側部低透水性覆土	$5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	$1.0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$									

#### (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(化学) (3/4)

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	<p>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。また、地下水中にベントナイトコロイドが分散するには、<math>10^{-5} \text{ m/s} \sim 10^{-4} \text{ m/s}</math>の地下水流速が必要とされているが、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<math>1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}</math>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く、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。</p>	無
C5: バリア材料中の有機物(錯体形成含む)	収着性	<p>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、放射性物質の収着の低減により移動を促進することで、収着性に影響することが考えられる。有機物の影響が大きいものとして挙げられるのは、主に遷移元素及び<math>\alpha</math>核種であるが、これらの放射性物質は被ばく線量寄与が非常に小さいことから、影響事象として考慮しない。</p>	無

#### (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(化学) (4 / 4)

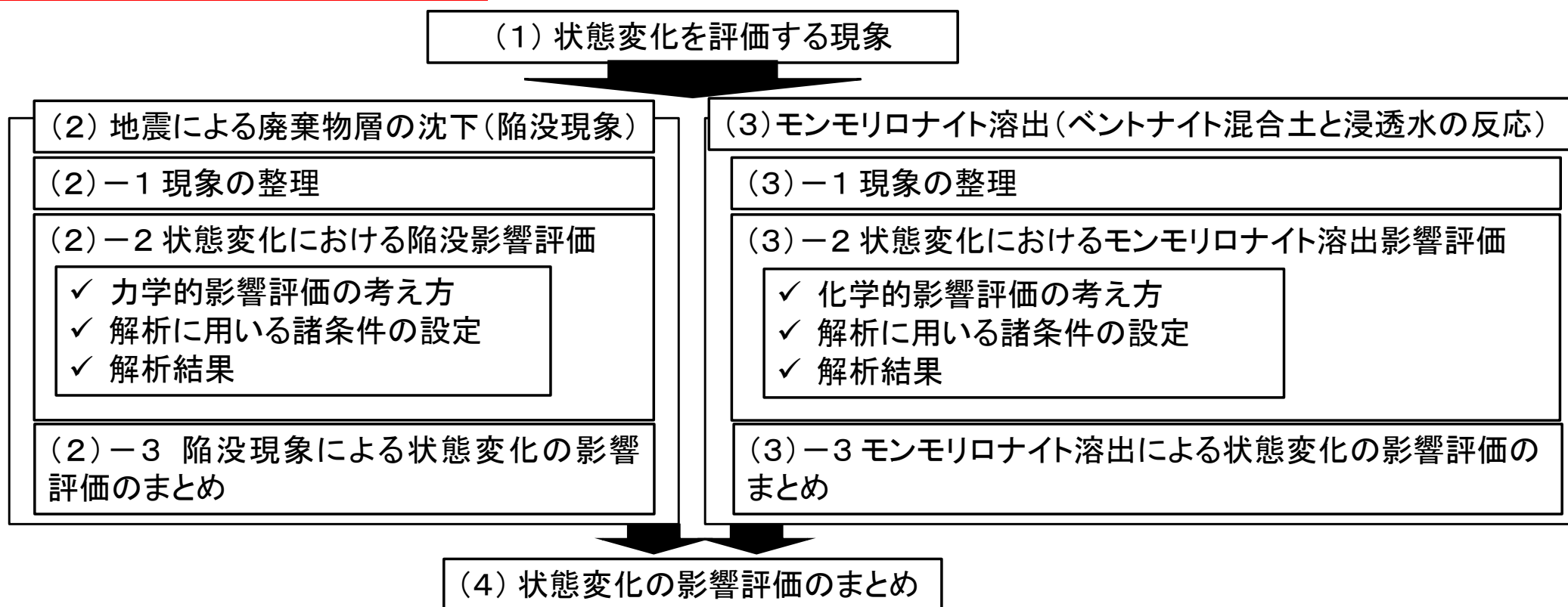
抽出された影響事象	影響先	影響評価	影響
C6: バリア材料中の微生物	収着性	廃棄物埋設地近傍に存在する微生物の活動によって、廃棄物埋設地内及び周辺地盤において、有機物が無機化し、収着性が低下することが考えられる。 <u>無機化によって影響を受けるC-14の収着性については、保守的に収着分配係数を0と設定しており、微生物の影響を考慮しても収着性は変わらないことから、影響事象として考慮しない。</u>	無
C7: 津波	収着性	津波によって、海水が廃棄物埋設地周辺に流入することで、 <u>一時的ではあるが、本施設周辺の地盤(du層及び帯水層)の水質の変化によって収着性に影響する可能性がある。</u> 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※</u> することによって、影響を考慮する。	有

※詳細は、『補足説明資料5 線量評価パラメータ』のなかで説明する。



#### (1) 状態変化を評価する現象

- ✓ 廃棄物埋設地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、側部低透水性覆土及び低透水性土層の低透水性(透水係数及び厚さ)への影響を評価する。
- ✓ 状態変化の評価に係る現象としては、第3-6表で示した地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)及び第3-7表で示した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)を対象にする。



第3-4図 状態変化の評価のフロー

## (2) 地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)

### (2)－1 現象の整理

#### 【地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)】

- ✓ 低透水性への影響は、側部低透水性覆土及び低透水性土層の変形やそれに伴う密度変化によって生じ、こ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、廃棄物の陥没現象として整理する。この現象は、地震による振動及び応力により、鉄箱内の充填砂のみかけ密度が上昇して、廃棄物内に微小な空隙が発生し、埋設した廃棄物の形状が変化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)(以下「DEM」という。)を用いたシミュレーションで、廃棄物層の沈下に伴う側部低透水性覆土及び低透水性土層の陥没の影響評価を行った。

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。

#### (2) - 2 状態変化における陥没影響評価

##### ✓ 解析に用いる諸条件の設定

DEM解析における検討断面は、廃棄物を埋設する区画(廃棄物層内の仕切板で区切られた範囲)が多く、陥没の生じる箇所が広くなり、挙動としては保守的な評価になると考え、東側埋設トレンチを対象とする。また、側部低透水性覆土及び低透水性土層の変形挙動を確認するため、東西断面及び南北断面で分けて評価を行った。

陥没現象を保守的に評価するために陥没対象となる廃棄物の数量が多くなるように、東側埋設トレンチに収納される廃棄物が、全て鉄箱である場合を想定した。なお、コンクリート類の廃棄物(コンクリートガラを除く)は、生体遮へい体の鉄筋コンクリートブロックであるため、鉄箱のような砂充填による空隙は生じないものであり、陥没現象に対して影響は与えない。

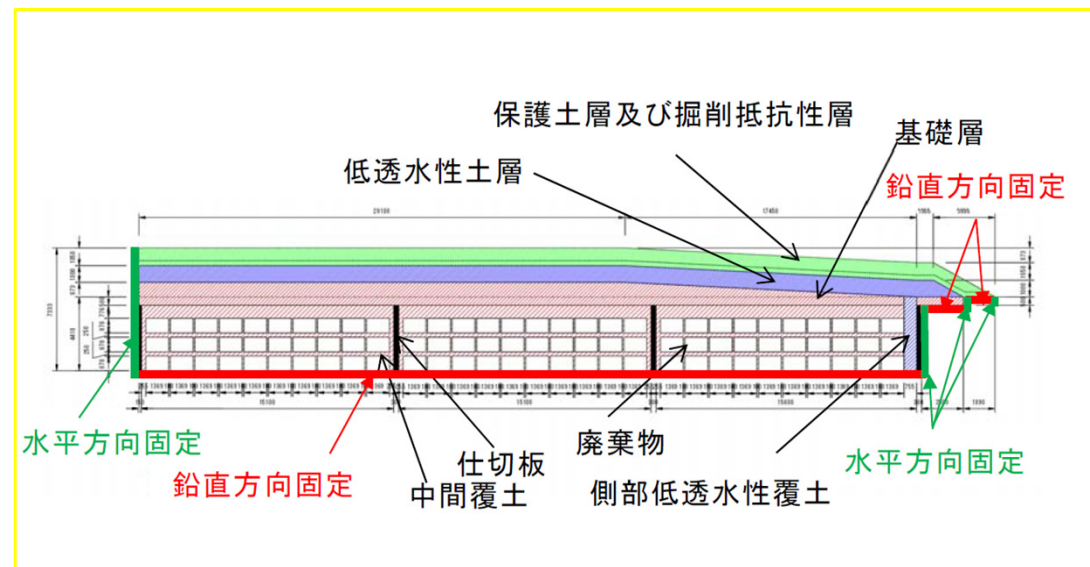
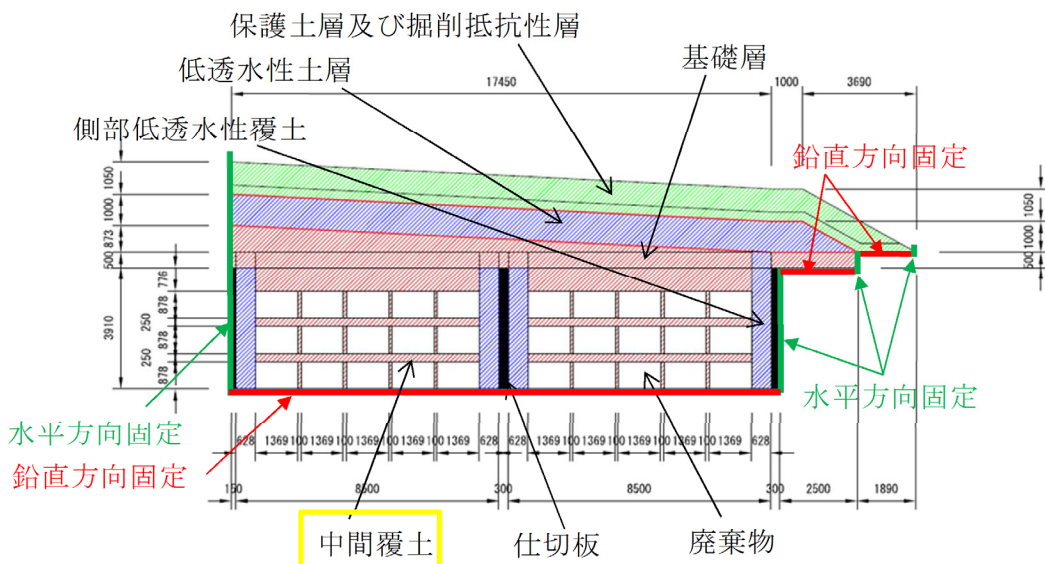
##### • 解析モデル

断面のセンターラインを中心として左右の変形挙動は対称と仮定し、断面の右側のみをモデル化した。解析における各材料のモデル化は、久慈川砂及びベントナイト混合土(ベントナイトと久慈川砂の混合土)の試験結果を用いて設定した。解析における各材料のモデル化を第3-8表に、解析モデルの詳細を第3-5図に示す。

#### (2) - 2 状態変化における陥没影響評価

第3-8表 解析における各材料のモデル化

材料	解析におけるモデル化	設定における考え方
保護土層及び掘削抵抗性層	久慈川砂(濡れた状態)	雨水の影響を受けやすい材料であると想定し、濡れた状態の久慈川砂で設定
低透水性土層及び側部低透水性覆土	ベントナイト混合土	ベントナイト(15%)と久慈川砂(85%)の混合土を雨水の影響を受けた状態(飽和に近い状態)で設定
基礎層及び中間覆土	久慈川砂(乾いた状態)	雨水の影響を受けにくい材料であると想定し、乾いた状態の久慈川砂で設定
廃棄物及び鉄箱	—	廃棄物の圧縮変形を、廃棄物の粒子を強制的な変位で表現
仕切板	—(剛体)	変形挙動を生じない材料として設定



第3-5図 解析モデルの詳細(左:東西断面, 右:南北断面)

#### (2)ー2 状態変化における陥没影響評価

- 解析用物性値の設定

DEM解析に用いる最終覆土や中間覆土などの土質材料のパラメータは、一軸圧縮試験及び形状確認試験を行い、試験結果を再現できるパラメータをフィッティング解析で求め、DEM解析における解析用物性値を設定した。

- a. ベントナイト混合土と砂

フィッティングによって設定したベントナイト混合土と砂(乾いた状態)及び砂(濡れた状態)の解析用物性値(入力パラメータ)を第3-9表に示す。粒子密度は、形状確認試験及び一軸圧縮試験の密度となるように設定し、それ以外の入力パラメータは、形状確認試験及び一軸圧縮試験を再現できるようにフィッティングさせて設定している。なお、砂の挙動に対して支配的なパラメータは粒子間摩擦角と転がり摩擦係数であることから、砂(乾いた状態)及び砂(濡れた状態)の粒子半径は、解析結果に影響がないため、ベントナイト混合土と同一の値を設定した。

第3-9表 解析用物性値の設定値

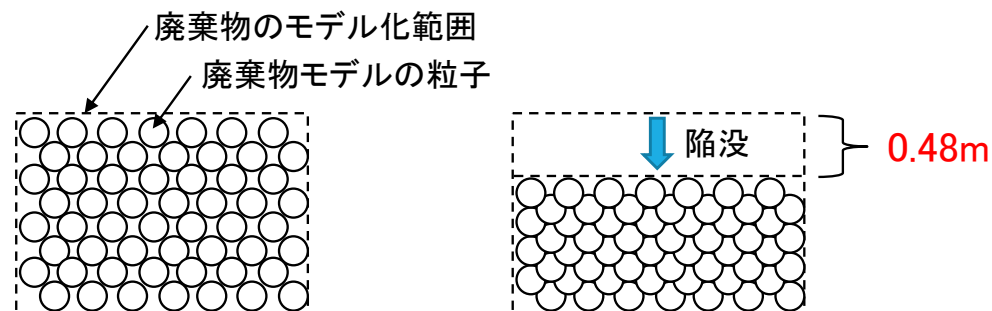
項目	ベントナイト混合土	砂(乾いた状態)	砂(濡れた状態)
バネ係数(N/m)	$3.3 \times 10^6$	$3.3 \times 10^6$	$3.3 \times 10^6$
減衰係数(N/m・s)	$3.25 \times 10^3$	$2.78 \times 10^3$	$2.88 \times 10^3$
粒子密度(kg/m <sup>3</sup> )	3,050	2,240	2,400
粒子の最大半径(m)	0.12	0.12※	0.12
粒子の最小半径(m)	0.084	0.084※	0.084
粒子間摩擦角(°)	30	30	30
転がり摩擦係数(-)	0.05	0.143	0.264
引張限界力(N)	7,700	0	0

※ 廃棄物容器間及び廃棄物容器の上部の砂(乾いた状態)は、陥没時の廃棄物容器間への砂の入り込みを再現するために、周囲の砂よりも粒子径を小さくした(最大半径0.049 m, 最小半径0.034 m)。

#### (2)-2 状態変化における陥没影響評価

##### b. 廃棄物及び鉄箱

鉄箱が変形することによって発生する陥没量は、鉄箱を考慮しない廃棄物をモデル化した粒子に強制的に変位量を与えることでモデル化した。廃棄物の陥没のモデル化のイメージを第3-6図に示す(陥没量の設定の詳細は資料2-1-2・P34, 35参照)。



第3-6図 廃棄物の陥没のモデル化のイメージ

##### c. 解析における上載荷重

第3-10表 解析における上載荷重一覧

上載荷重	設定値(kN/m <sup>2</sup> )	設定方法
保護工 (じゃかご等)	6.0	道路土工盛土工指針を参考に「盛土の砂及び砂礫」の単位体積重量の値20 kN/m <sup>3</sup> を用いて、施工厚さ0.3 mに対して設定した。
掘削抵抗性層	1.6	久慈川砂(濡れた状態)でモデル化しているが、単位体積重量は保護工(じゃかご等)と同様とし、施工厚さ0.3 mから、6.0 kN/m <sup>2</sup> を上載荷重とした上で、久慈川砂(濡れた状態)の密度から算定される荷重4.4 kN/m <sup>2</sup> (= 1,500 kg/m <sup>3</sup> × 9.8 m/s <sup>2</sup> × 0.3 m)を引いて設定した。
作業時荷重	10	作業時荷重を想定し設定した。
合計	<u>17.6</u>	6.0 kN/m <sup>2</sup> + 1.6 kN/m <sup>2</sup> + 10 kN/m <sup>2</sup>

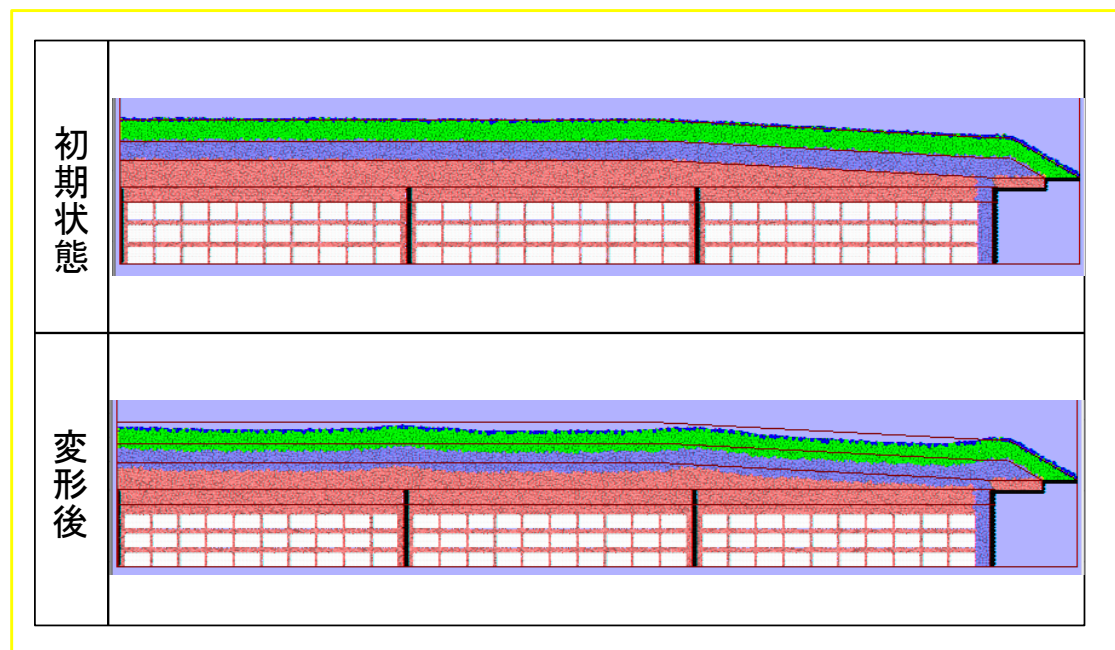
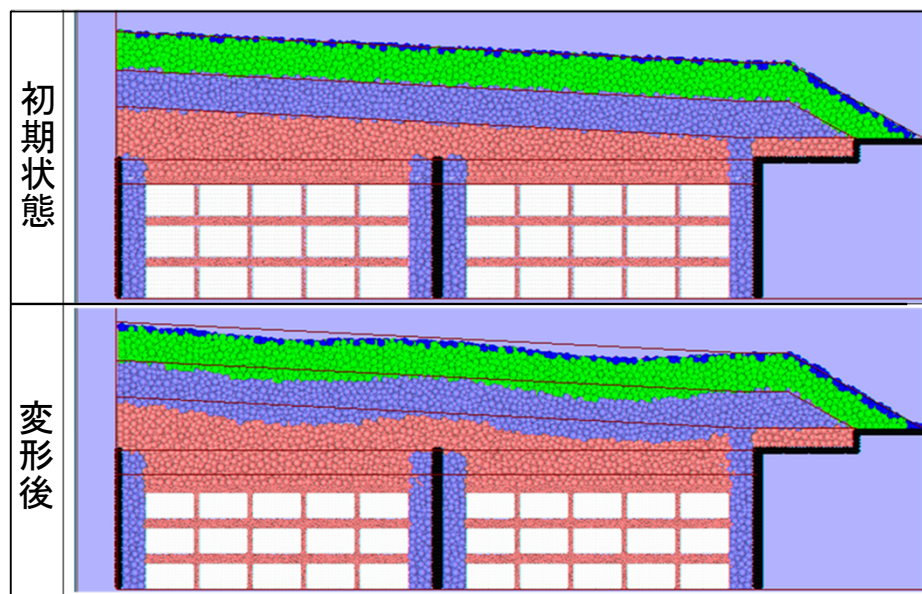
#### (2) - 2 状態変化における陥没影響評価

✓ 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3-7図に示す。廃棄物層の沈下に伴い、覆土が波打つように沈下する結果となっている。ベントナイト混合土の変形が、地盤と陥没(強制沈下)させた廃棄物層の境界で生じているためと考える。

法肩部付近は、地盤と陥没(強制沈下)が生じる廃棄物層との境界に位置し、相対的な沈下が顕著に現れている。変形形状によって、法肩部付近の覆土は、せん断変形が生じている。変形後のベントナイト混合土の層厚が、極端に小さくなる箇所や層が切断するような箇所は確認されなかった。



第3-7図 DEM解析による最終覆土の変形図(左:東西断面, 右:南北断面)

#### (2)ー2 状態変化における陥没影響評価

##### ✓ 解析結果

##### ②ー1 せん断ひずみ分布(東西断面)

変形後のせん断ひずみ分布を第3-8図に示す。廃棄物層上部の基礎層でせん断ひずみが大きくなっており、低透水性土層では顕著なせん断ひずみの増加はみられない。側部低透水性覆土では、廃棄物層と接する位置でせん断ひずみが局所的に大きくなるが、これは廃棄物層の強制沈下の影響を大きく受けたためであると考えられる。この位置では、せん断ひずみは局所的に大きくなるものの、部材を貫通するような分布にはなっていないため、側部低透水性覆土の低透水性が確保できなくなるような問題は生じないと考えられる。

##### ②ー2 せん断ひずみ分布(南北断面)

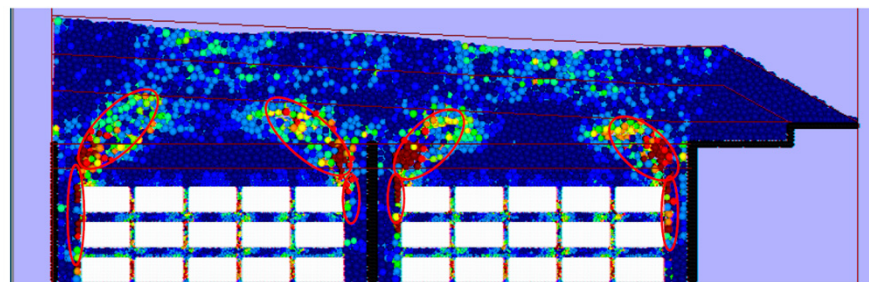
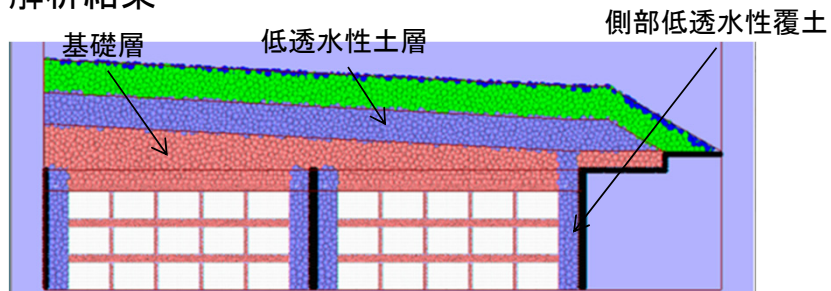
変形後のせん断ひずみ分布を第3-9図に示す。仕切板及び側部低透水性覆土の上部から地表に向かってせん断ひずみが大きくなっており、低透水性土層では法肩部付近でせん断ひずみが大きく、低透水性に影響を与える可能性がある。側部低透水性覆土では、廃棄物層と接する位置でせん断ひずみが局所的に大きくなるが、これは廃棄物層の強制沈下の影響を大きく受けたためであると考えられる。この位置では、せん断ひずみは局所的に大きくなるものの、部材を貫通するような分布にはなっていないため、側部低透水性覆土の低透水性が確保できなくなるような問題は生じないと考えられる。

なお、コンクリートブロックと鉄箱の区画を並べた場合の区画間で生じるせん断ひずみは、沈下の生じない地盤と強制沈下させた廃棄物層の境界付近で生じるせん断ひずみと同様の変形が想定される。このため、コンクリートブロックと鉄箱の区画を並べた場合の変形挙動は、本解析の地盤と強制沈下させた廃棄物層の境界付近の変形挙動で評価できると考えられる。



## (2)-2 状態変化における陥没影響評価

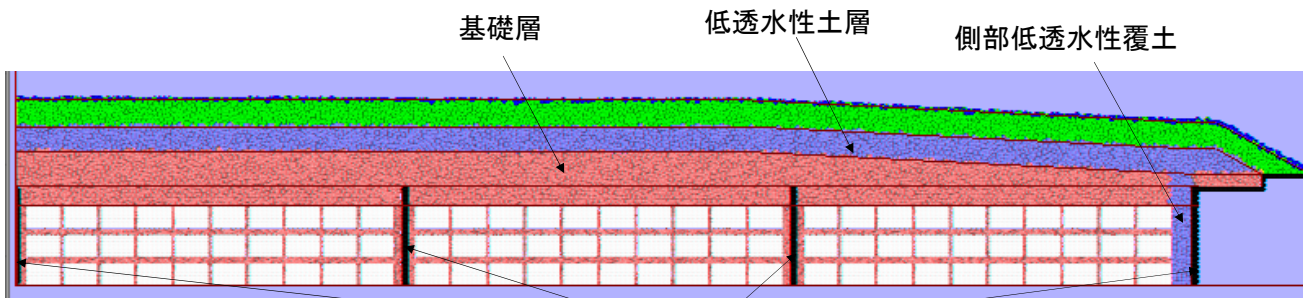
✓ 解析結果



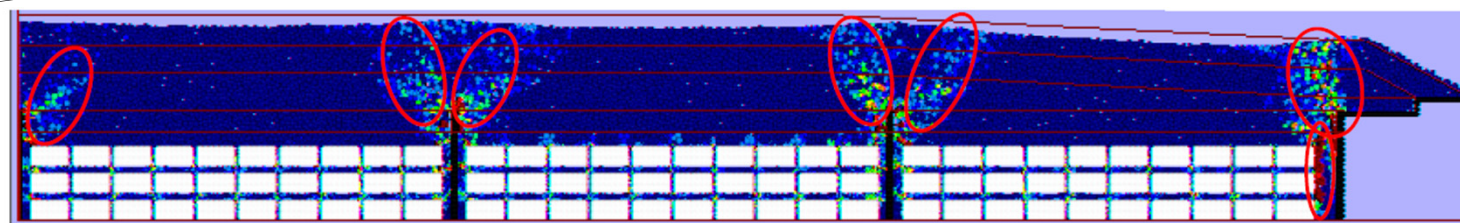
第3-8図 変形後のせん断ひずみ分布(東西断面)

凡例※	
●	25% ~
●	20% ~ 25%
●	16% ~ 20%
●	14% ~ 16%
●	12% ~ 14%
●	10% ~ 12%
●	8% ~ 10%
●	4% ~ 8%
●	2% ~ 4%
●	0% ~ 2%

※ 第3-8図と第3-9図で共通



仕切板



第3-9図 変形後のせん断ひずみ分布(南北断面)

### 3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(10/21)

#### (2) - 2 状態変化における陥没影響評価

✓ 解析結果

##### ③ - 1 密度分布(東西断面)

密度分布の評価は、低透水性土層及び側部低透水性覆土を対象とし、第3-7図(左)の変形図及び第3-8図のせん断ひずみ分布を参考にして代表的な評価点を選定した。評価点と密度計算に用いた粒子を濃紺で第3-10図に示す。各評価点の密度変化を第3-11表に示す。

密度変化率から、仕切板や底面による拘束を受けやすい評価点1~4の側部低透水性覆土では、密度が増加している。一方、法肩部付近のせん断変形が大きくなる評価点13のベントナイト混合土では、密度が3.5%低下している。他の評価点でも、密度の減少はあるものの、法肩部付近と比べると変化は小さい。

第3-11表 評価点の密度変化(東西断面)



第3-10図 密度分布の評価点(東西断面)

評価点	初期状態の密度 (kg/m <sup>3</sup> )	変形後の密度 (kg/m <sup>3</sup> )	密度変化率 (%)	部位
1	1,823	1,881	3.2	側部低透水性 覆土
2	1,828	1,875	2.6	
3	1,821	1,875	3.0	
4	1,825	1,877	2.8	
5	1,894	1,880	-0.7	低透水性土層
6	1,899	1,897	-0.1	
7	1,851	1,807	-2.4	
8	1,888	1,885	-0.2	
9	1,884	1,886	0.1	
10	1,926	1,908	-0.9	
11	1,884	1,861	-1.2	
12	1,976	1,948	-1.4	
13	2,007	1,936	-3.5	

#### (2) - 2 状態変化における陥没影響評価

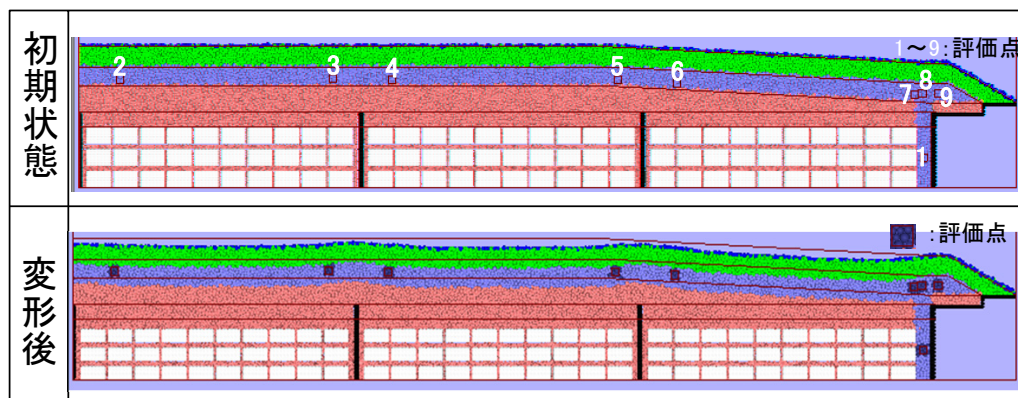
✓ 解析結果

#### ③ - 2 密度分布(南北断面)

密度分布の評価は、低透水性土層及び側部低透水性覆土を対象とし、第3-7図(右)の変形図及び第3-9図のせん断ひずみ分布を参考にして代表的な評価点を選定した。評価点と密度計算に用いた粒子を濃紺で第3-11図に示す。各評価点の密度変化を第3-12表に示す。

評価点1の側部低透水性覆土では、密度が増加している。一方、法肩部付近の評価点8のベントナイト混合土では、密度が8.4%低下している。評価点2~7, 9のベントナイト混合土でも、密度の減少はあるものの、法肩部付近と比べると変化は小さい。

第3-12表 評価点の密度変化(南北断面)



第3-11図 密度分布の評価点(南北断面)

評価点	初期状態の密度 (kg/m <sup>3</sup> )	変形後の密度 (kg/m <sup>3</sup> )	密度変化率 (%)	部位
1	1,858	1,891	1.8	側部低透水性覆土
2	1,992	1,907	-4.3	低透水性土層
3	1,953	1,857	-4.9	
4	2,049	1,987	-3.0	
5	1,939	1,913	-1.4	
6	1,964	1,917	-2.4	
7	2,015	1,956	-2.9	
8	1,930	1,768	<u>-8.4</u>	
9	1,957	1,956	-0.0	

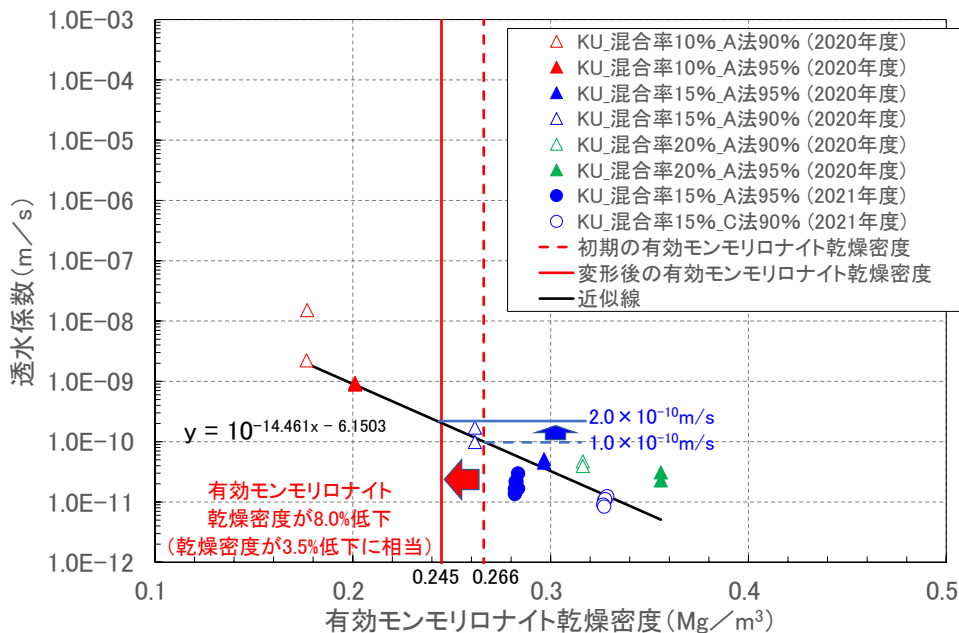
#### (2)-2 状態変化における陥没影響評価

##### ✓ 解析結果

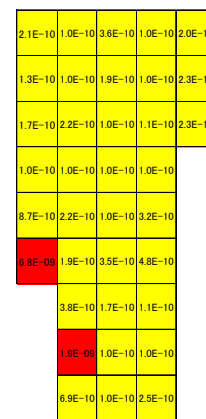
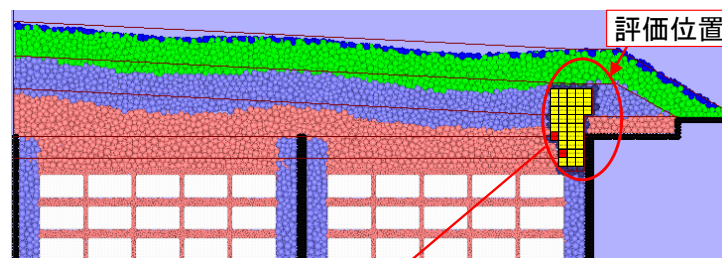
##### ④-1 東西断面の解析結果によるベントナイト混合土の透水係数

透水係数は、変形前を $1.0 \times 10^{-10}$  m/sとした場合には、変形後は $2.0 \times 10^{-10}$  m/sとなり、法肩部付近の密度が低下している範囲で、局所的には透水係数は2倍程度に増加すると推定される(第3-12図参照)。

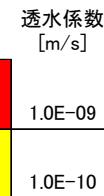
また、部材厚の中で透水係数が増加する箇所がどのように分布しているのかを分析するため、法肩部付近を評価範囲として細分化し、透水係数が増加する箇所が部材を貫通していないかを確認した。細分化した評価位置における変形後の透水係数の結果を第3-13図に示す。細分化した評価位置では、変形後の透水係数は概ね $10^{-10}$  m/sオーダーのままとなっており、 $10^{-9}$  m/sオーダーの部分が部材を貫通するような分布ではない。



第3-12図 変形後の透水係数の推定(東西断面)



拡大 【凡例】



※ 変形後に密度が増加した位置は、保守的に変形前の透水係数( $1.0 \times 10^{-10}$  m/s)としている。

第3-13図 細分化した評価位置における変形後の透水係数の推定(東西断面)

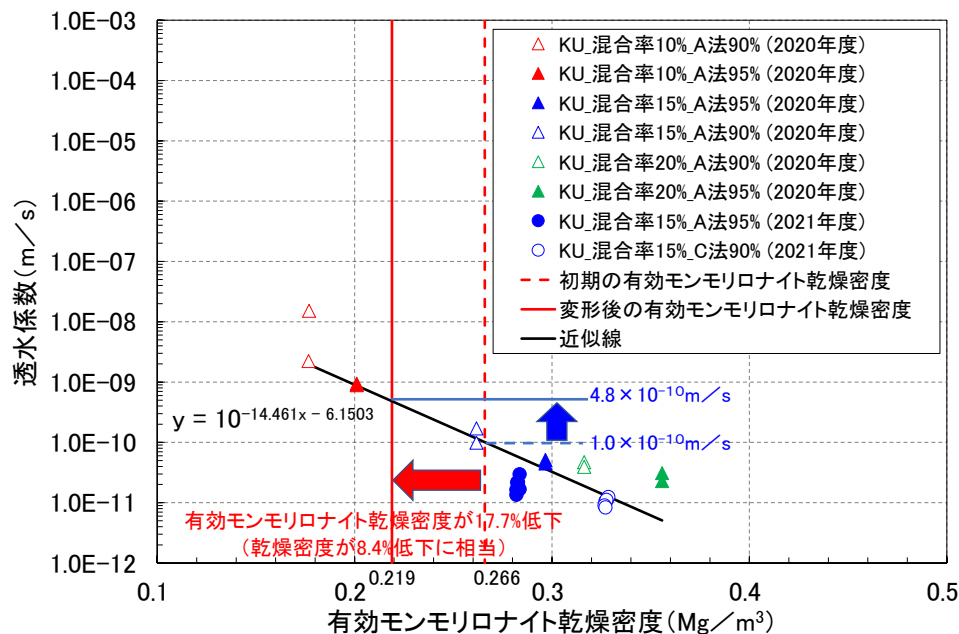
## (2) - 2 状態変化における陥没影響評価

### ✓ 解析結果

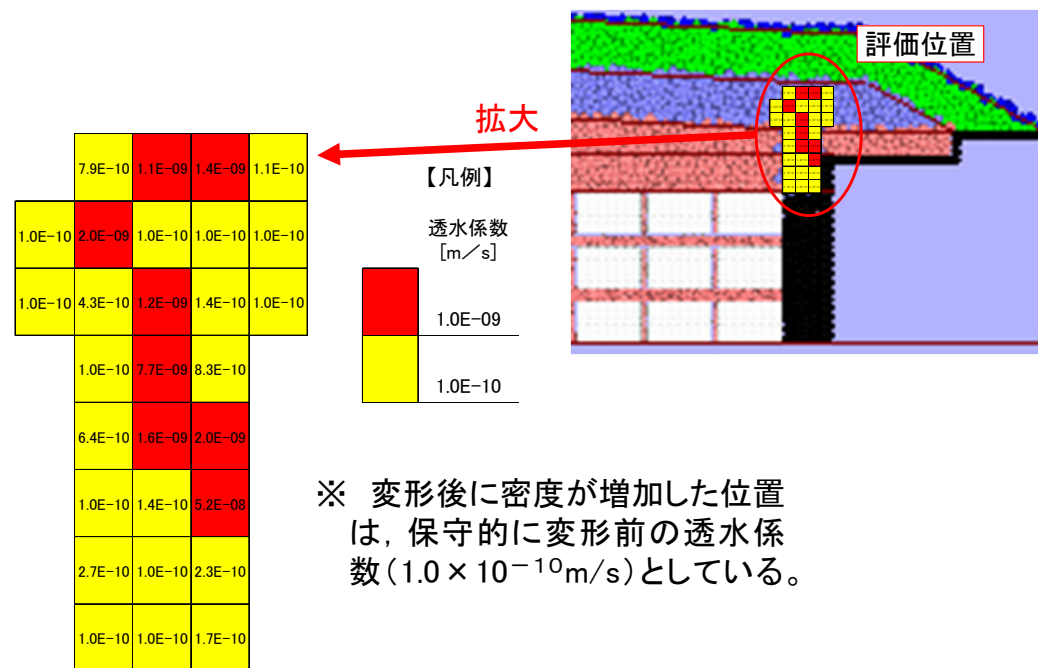
#### ④ - 2 南北断面の解析結果によるベントナイト混合土の透水係数

透水係数は、変形前を $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ とした場合には、変形後は $4.8 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ となり、法肩部付近の密度が低下している範囲で、局所的には透水係数は5倍程度に増加すると推定される(第3-14図参照)。

また、部材厚の中で透水係数が増加する箇所がどのように分布しているのかを分析するため、法肩部付近を評価範囲として細分化し、透水係数が増加する箇所が部材を貫通していないかを確認した。細分化した評価位置における変形後の透水係数の結果を第3-15図に示す。細分化した評価位置では、変形後の透水係数は概ね $10^{-10} \text{ m/s}$ オーダーのままとなっており、 $10^{-9} \text{ m/s}$ オーダーの部分が部材を貫通するような分布ではない。



第3-14図 変形後の透水係数の推定(南北断面)



第3-15図 細分化した評価位置における変形後の透水係数の推定(南北断面)

#### (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土層の低透水性(透水係数及び厚さ)への影響を評価した結果から、以下のように側部低透水性覆土及び低透水性土層の透水係数を設定する。

##### ✓ 低透水性土層

**最も可能性が高い状態**: 本解析では鉄箱内は廃棄物がない条件で、全て砂で充填されている状態を想定して保守的に鉄箱の陥没量を算定していること、また、低透水性土層でせん断ひずみ大きい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考え、 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ から増加しないものとして設定する。

**最も厳しい状態**: 密度低下が大きい法肩部においても透水係数の増加は東西断面の評価で2倍程度、南北断面の評価で5倍程度であるが、この局所的な係数の増加が部材を貫通するように生じるものと考え、保守的に $5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ と設定する。

##### ✓ 側部低透水性覆土

- 側部低透水性覆土は、廃棄物と隣接する部分において、ベントナイト混合土の密度低下は生じていないことから、 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ から増加しないものとして設定する。

陥没現象の影響における透水係数の設定を第3-13表に示す。

第3-13表 陥没現象の影響における透水係数の設定

対象	最も可能性が高い状態	最も厳しい状態
低透水性土層	$1.0 \times 10^{-10} (\text{m/s})$	$5.0 \times 10^{-10} (\text{m/s})$
側部低透水性覆土		$1.0 \times 10^{-10} (\text{m/s})$

#### (3) 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)

##### (3)－1 現象の整理

##### 【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)】

- ✓ 側部低透水性覆土及び低透水性土層の低透水性(透水係数及び厚さ)への化学的影響は、雨水等の浸透水が、コンクリート類の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ベントナイト材料中のモンモリロナイトを溶解又は変質することによって生じる。
- ✓ 廃棄物層への雨水等の浸透水は側部低透水性覆土及び低透水性土層の低透水性によって少なくなっており、浸透水の流れは側部低透水性覆土及び低透水性土層から廃棄物層内に向かった流れとなることから、移流効果による物質移行は考慮する必要がないと考えられるが、側部低透水性覆土とコンクリート類の廃棄物は近接して存在することから、側部低透水性覆土は、拡散効果による物質移行の影響が考えられる。
- ✓ 一方で、低透水性土層は、コンクリート類の廃棄物と隣接せず、その間には中間覆土及び基礎層が存在する。また、廃棄物層内は不飽和環境(浸透流解析の結果(飽和度コンター図)より、中間覆土の飽和度が0.25以下)であるため、多孔質媒体が示すマクロな拡散特性として、飽和度が0.4未満の場合に拡散係数がほぼ0になることが文献<sup>※</sup>で示されていることを踏まえると、廃棄物層内での拡散効果による物質移行は生じないと考えられる。したがって、低透水性土層は、拡散効果による物質移行の影響は考えられない。
- ✓ 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)は、側部低透水性覆土に隣接するコンクリート類の廃棄物からのカルシウム成分の溶脱によって、高アルカリ性となった間隙水が拡散移行することで側部低透水性覆土に生じる現象として整理する。

※ 木本和志(2019):不飽和多孔質体中の物質拡散に関する数値解析的研究 土木学会論文集A2(応用力学) Vol.75, No.2

#### (3)ー2 状態変化におけるモンモリロナイト溶出影響評価

##### ✓ 化学的影響評価の考え方

雨水等の浸透水が、コンクリート類の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ベントナイト材料中のモンモリロナイトを溶解又は変質することで、低透水性への影響を及ぼす可能性があるため、化学的影響評価によって確認する。

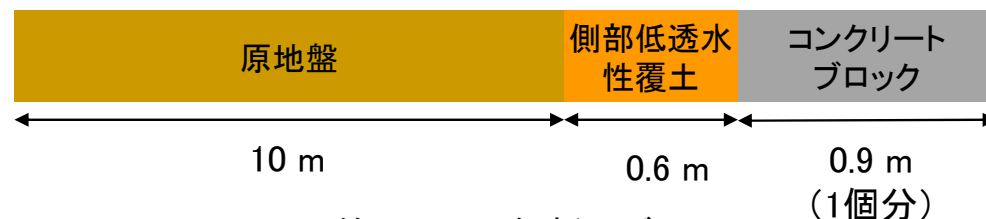
本評価においては、側部低透水性覆土とコンクリート類の廃棄物の間が飽和状態であると保守的に考え、拡散移行についても自由水中のトリチウム水の拡散移行と同等の条件を考慮することで、**コンクリート類の廃棄物の溶脱影響における地化学解析により側部低透水性覆土の低透水性への影響を評価**する。

##### ✓ 解析に用いる諸条件の設定

本評価で適用する計算プログラムは、地化学解析では、地化学解析コードMINARETを用いた。また、地下水成分調整解析に汎用地球化学コードPHREEQCを用いた。なお、MINARET解析における熱力学データベースはJNC-TDB(050700g0.tdb)をベースに、C—S—Hゲルの熱力学データとしてAtkinson et al<sup>※</sup>及びJAEAセメント公募報告書のデータを追加したデータベースを使用した。PHREEQC計算における熱力学データベースはJNC-TDB(050700c0.tdb)をベースに、C—S—Hゲルの熱力学データとしてAtkinson et al. のデータを追加したデータベースを用いた。

##### • 解析モデル

廃棄物埋設地に対応した1次元の解析体系とし、**地盤側から原地盤、側部低透水性覆土、コンクリートブロック(コンクリート類の廃棄物)の順に設定した(第3-16図)**。境界条件は、原地盤側端部の濃度を地下水組成で固定条件とし、コンクリートブロック側端部の濃度をゼロフラックスで固定条件とした。また、設定温度は、地質環境等の状態設定における検討結果より、1,000年後の気温が13~17℃であることから、保守的に20℃とした。



第3-16図 解析モデル

※ A. Atkinson et al. (1991): Aqueous chemistry and thermodynamic modelling of CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O gels at 80 °C, DoE, DoE-HMIP-RR-91-045



#### (3)－2 状態変化におけるモンモリロナイト溶出影響評価

✓ 解析に用いる諸条件の設定

• 解析用物性値(設定値)

##### a. 地下水

廃棄物埋設地周辺地下水の水質測定による地下水組成(最大と最小の平均値)から、汎用地球化学コード PHREEQCを用いた地下水成分調整解析によって設定した。なお、地下水成分調整解析では $\text{Na}^+$ を除く各イオン濃度及びpHを元素濃度として入力し、平衡計算を行い、地下水のチャージバランスがとれた状態となるように地下水組成の $\text{Na}^+$ 量を調整した。設定した地下水組成は資料2-1-2・P36に示す。

##### b. 原地盤

###### (a) 間隙率

廃棄物埋設地近傍で行ったボーリング調査の間隙比のデータから算出した間隙率の平均値0.4105を初期間隙率とした。

###### (b) 拡散係数

間隙水中の拡散係数は間隙率と比例関係にあると考えられるため、原地盤の実効拡散係数は、保守的に拡散係数が大きいトリチウム水の20℃における自由水中の拡散係数に間隙率を掛けた以下の式から設定した。

$$D_e = 2.05 \times 10^{-9} \times \varepsilon$$

$D_e$ : 実効拡散係数( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $\varepsilon$ : 間隙率(—)

###### (c) 溶解速度

原地盤領域では反応を考慮しないものとした。

#### (3)－2 状態変化におけるモンモリロナイト溶出影響評価

##### c. コンクリートブロック

中間覆土は不飽和であり、コンクリートブロック内に水分は十分には供給されない状態であると想定されるため、鉄筋コンクリートであるが、土中、かつ、水分が少なく、酸素がほとんど供給されない環境下で、セメント成分の溶脱影響は小さくpHが維持されることから、鉄筋の不動態被膜は保持され腐食によるひび割れ影響は小さいと考えられるが、本解析では、保守的に飽和状態を設定する。以上より、最も可能性が高い状態では、ひび割れによる影響は小さいとした設定を用い、最も厳しい状態では、鉄筋腐食によるひび割れが発生し、コンクリートブロックがある程度の塊状または保守的に細片化していることを想定した状態を設定する。この状態の設定は、コンクリートブロックの拡散係数及び溶解速度において考慮する。

なお、解析に用いるコンクリートブロックの条件の設定は資料2-1-2・P37～P42に示す。

##### d. 側部低透水性覆土

最も可能性が高い状態では、土中、かつ、水分が少なく、酸素がほとんど供給されない環境下で、セメント成分の溶脱影響は小さくpHが維持されることから、鉄筋の不動態被膜は保持され腐食によるコンクリートブロックのひび割れによる影響は小さいとした設定を用いる。

最も厳しい状態では、鉄筋腐食によるコンクリートブロックのひび割れが発生し、コンクリートブロックがある程度の塊状または保守的に細片化していること、また、ベントナイト混合土のばらつき影響や浸入水の偏りがあることを考慮して設定する。この状態の設定は、側部低透水性覆土の拡散係数において考慮する。

なお、解析に用いる側部低透水性覆土の条件の設定は資料2-1-2・P43～P49に示す。

##### e. 二次鉱物

JAEAセメント公募報告書を参考に側部低透水性覆土及びコンクリートブロックの二次鉱物を設定した(資料2-1-2・P50参照)。

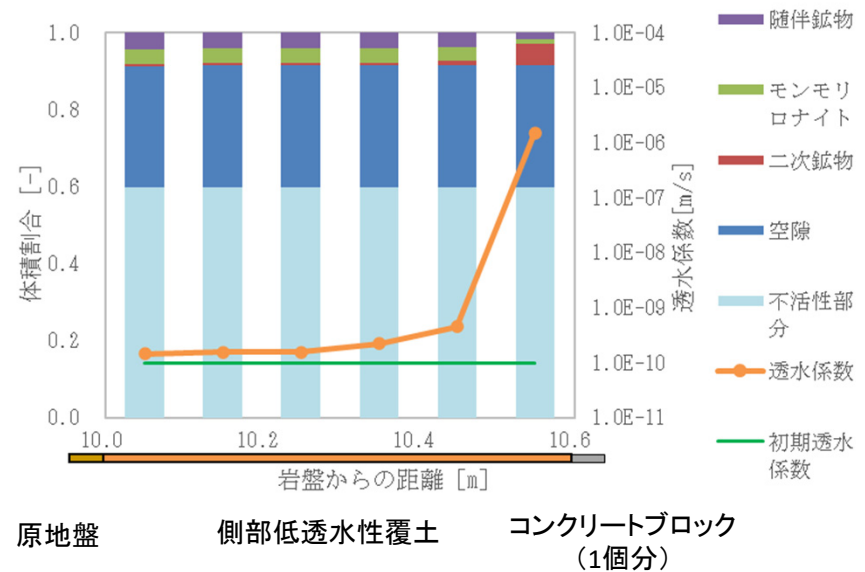
#### (3)ー2 状態変化におけるモンモリロナイト溶出影響評価

✓ 解析結果

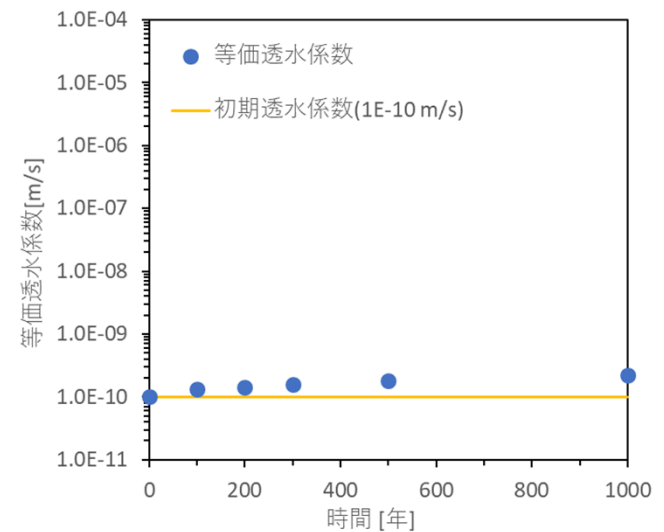
① 最も可能性が高い状態

最も可能性が高い状態の側部低透水性覆土領域における1,000年後の鉱物組成と透水係数の空間分布を第3-17図に示す。コンクリートブロック近傍では、初期透水係数 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ を上回っている。一方で、コンクリートブロック近傍以外は1,000年後においても透水係数の上昇は小さく、全体としては低透水性が保たれている。

また、最も可能性が高い状態における側部低透水性覆土の等価透水係数\*の時間変化を第3-18図に示す。1,000年後の等価透水係数は $2.25 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ となり、初期透水係数に対して2倍程度上昇すると推定される。



第3-17図 1,000年後の鉱物組成と透水係数の空間分布 (最も可能性が高い状態)



第3-18図 等価透水係数の時間変化 (最も可能性が高い状態)

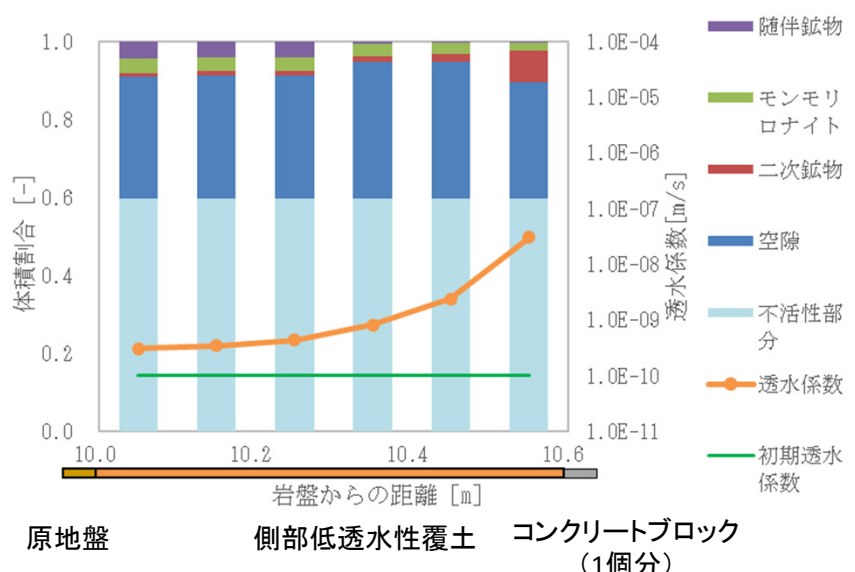
#### (3)ー2 状態変化におけるモンモリロナイト溶出影響評価

##### ✓ 解析結果

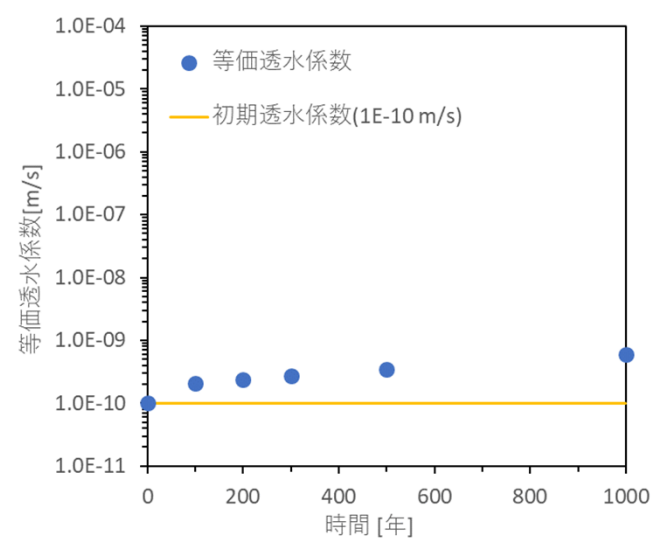
##### ② 最も厳しい状態

最も厳しい状態の側部低透水性覆土領域における1,000年後の鉱物組成と透水係数の空間分布を第3-19図に示す。最も可能性が高い状態(第3-17図参照)と比較し、コンクリートブロック近傍だけでなく全体的に透水係数が上昇しており、初期透水係数  $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$  を上回っている。また、コンクリートブロック近傍以外でも透水係数が上昇する結果となった。

また、最も厳しい状態における側部低透水性覆土の等価透水係数の時間変化を第3-20図に示す。1,000年後の等価透水係数は  $5.97 \times 10^{-10} \text{ m/s}$  となり、初期透水係数に対して6倍程度上昇すると推定される。



第3-19図 1,000年後の鉱物組成と透水係数の空間分布 (最も厳しい状態)



第3-20図 等価透水係数の時間変化 (最も厳しい状態)

#### (3)ー3 モンモリロナイト溶出による状態変化の影響評価のまとめ

解析結果より、最も可能性が高い状態及び最も厳しい状態で、等価透水係数は初期透水係数 $1.0 \times 10^{-10}$  m/sを上回ると推定されることから、1,000年後の等価透水係数よりも保守的に側部低透水性覆土の透水係数を設定する。モンモリロナイト溶出の影響における透水係数の設定を第3-14表に示す。

第3-14表 モンモリロナイト溶出の影響における透水係数の設定

対象	最も可能性が高い状態	最も厳しい状態
側部低透水性覆土	$5.0 \times 10^{-10}$ (m/s)	$1.0 \times 10^{-9}$ (m/s)

#### (4) 状態変化の影響評価のまとめ

「(2) 地震による廃棄物層の沈下(陥没現象)」及び「(3) 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)」の状態変化の影響評価より、側部低透水性覆土及び低透水性土層の透水係数の設定を第3-15表に示す。

第3-15表 状態変化の影響評価による透水係数の設定

対象	最も可能性が高い状態	最も厳しい状態
低透水性土層	$1.0 \times 10^{-10}$ (m/s)	$5.0 \times 10^{-10}$ (m/s)
側部低透水性覆土	$5.0 \times 10^{-10}$ (m/s)	$1.0 \times 10^{-9}$ (m/s)