

廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第十条 廃棄物埋設地のうち第四号

(廃止措置の開始後の評価)

廃棄物埋設地の状態設定

－透水係数の設定－

2020年7月

日本原燃株式会社

目 次

1. はじめに.....	1
2. 状態変化の評価.....	2
(1) 力学的影響.....	2
(2) 化学的影響.....	4
(3) 状態変化の重畳.....	6
3. 廃棄物埋設地の状態設定.....	8
(1) 覆土の状態設定.....	9
(2) 難透水性覆土及び下部覆土の等価透水係数.....	12
(3) その他の廃棄物埋設地の状態設定.....	16

参考資料 1 低透水性を有する覆土に対して等価透水係数を設定することの妥当性

参考資料 2 特性の異なるベントナイト混合土を用いた場合の等価透水係数の確認

1. はじめに

本資料は「第十条廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価)」のうち廃棄物埋設地の状態設定(透水係数の設定)を補足説明するものである。

覆土の透水係数及び厚さに対する状態変化の評価に基づき、廃棄物埋設地の長期状態を設定する。「補足説明資料 4_力学的影響」及び「補足説明資料 5_化学的影響」の評価結果を基に、力学的影響及び化学的影響を考慮した廃棄物埋設地の状態を設定し、線量評価に用いる覆土の等価透水係数を算出する。

なお、水理的影響により大きな状態変化は発生しないことから、状態設定においては直接的な影響として考慮しないものとする。

状態設定においては、埋設設備内に含まれる廃棄体の種類によって評価が異なることから、1号、2号及び3号廃棄物埋設地で個別に設定を行う。

また、廃棄物埋設地における埋設設備及び地盤についても状態設定を行い、透水係数を設定する。

2. 状態変化の評価

(1) 力学的影響

金属及び埋設設備の膨張並びに埋設設備の陥没に起因する影響において、DEM 解析により覆土の低透水性（透水係数及び覆土厚さ）への影響評価をした結果から、透水係数に変化は生じないものの覆土厚さに力学的変形が生じると評価する。（詳細は「補足説明資料 4_力学的影響」を参照）

(i) 難透水性覆土の変形

a. 埋設設備の膨張による覆土の変形

難透水性覆土の状況を第 1 表に示す。確からしい設定においては開口が生じず、膨張量の大きい 2 号及び 3 号埋設設備の厳しい設定において 2m の開口が生じると評価する。

第 1 表 埋設設備膨張量及び覆土状況

		1,000 年後	
		確からしい設定	厳しい設定
3 号	埋設設備膨張量[m]	0.35	5.0
	難透水性覆土の状況	厚さが 1m 以上残る (開口無し)	隅角部が 2m 開口
1 号	埋設設備膨張量[m]	0.0332	1.26
	難透水性覆土の状況	厚さが 1m 以上残る (開口無し)	埋設設備隅角部に 厚さがほぼ残らない (開口無し)
2 号	埋設設備膨張量[m]	0.164	2.25
	難透水性覆土の状況	厚さが 1m 以上残る (開口無し)	隅角部が 2m 開口

b. 埋設設備の陥没による覆土の変形

難透水性覆土の状況を第2表に示す。確からしい設定及び厳しい設定において、ともに破断や厚さの変化が生じないと評価する。

第2表 埋設設備陥没量及び覆土状況

		1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
1号	埋設設備陥没量 [m]	1.0	1.0
	難透水性覆土 の状況	厚さの変化 無し	厚さの変化 無し

(ii) 下部覆土の変形

破断や厚さの変化が生じないと評価する。

(2) 化学的影響

地球化学解析を用いて等価透水係数の変遷を評価した結果から、透水係数に化学的変質が生じると評価する。(詳細は「補足説明資料 5_化学的影響」を参照)

(i) 難透水性覆土の変質

難透水性覆土の変質後における透水係数及び変質フロント(透水係数が初期値を下回る領域の到達点)に対する覆土の残り長さ(以下「健全部残長」という。)を第3表に示す。化学的影響は難透水性覆土内に留まると評価する。

第3表 変質後の難透水性覆土の透水係数及び健全部残長

		1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
3号	透水係数[m/s]	1.01×10^{-10}	1.02×10^{-10}
	健全部残長[m]	1.6	1.2
1号	透水係数[m/s]	1.42×10^{-10}	1.84×10^{-10}
	健全部残長[m]	0.8	0.2
2号*1	透水係数[m/s]	1.01×10^{-10}	1.02×10^{-10}
	健全部残長[m]	1.6	1.2

*1:3号の結果を流用

(ii) 下部覆土の変質

下部覆土の変質後における透水係数及び健全部残長を第4表に示す。下部覆土は化学的影響により変質を受けないと評価する。変質を受ける場合においても、直近の難透水性覆土の影響度合いが小さく、下部覆土に対する影響範囲は限定的であり、健全部残長は1.5m以上であると評価する。

なお、変質後の透水係数に関しても $1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 以下であると評価する。

第4表 変質後の下部覆土の透水係数

		1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
3号	透水係数[m/s]	—	—
	健全部残長[m]	2.0	2.0
1号	透水係数[m/s]	—	—
	健全部残長[m]	2.0	2.0
2号	透水係数[m/s]	—	—
	健全部残長[m]	2.0	2.0

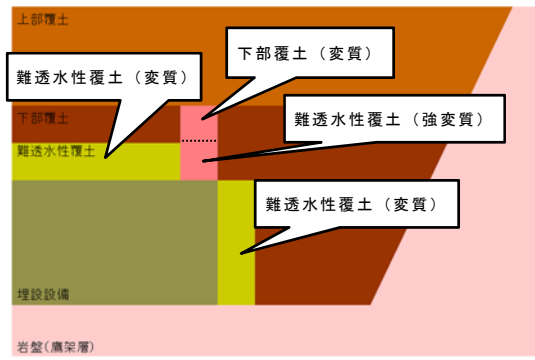
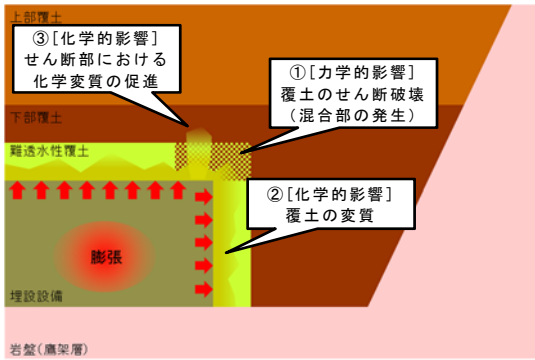
(3) 状態変化の重畳

力学的影響により覆土は変形するが、透水係数は変化しないと評価している。ここで、化学的影響による透水係数上昇の主要因であるモンモリロナイトの溶解については、微粒分の変質現象であり、変形特性に対する影響は軽微であると考えられる。

化学的影響により覆土の透水係数が増加すると評価している。ここで、力学的影響では透水係数が増加しないため、覆土の変質要因である化学物質の供給量に対する影響は軽微であると考えられる。

以上のことから、力学的影響及び化学的影響は相互干渉せずに、独立して覆土に影響を与えると判断するが、状態設定においては、透水係数の増加を局所的に見込むものとする。

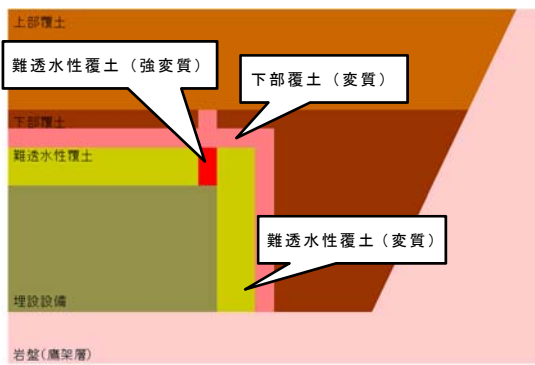
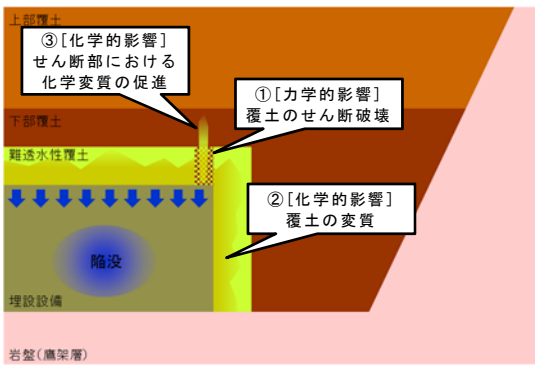
力学的影響及び化学的影響を重ね合わせた概念図について、力学的影響における変形形態の整理に倣い、埋設設備膨張時の状態変化及び状態設定の概念図を第1図に、埋設設備陥没時の状態変化及び状態設定の概念図を第2図に示す。



a. 状態設定で想定する状態変化の重畳

b. 覆土の状態設定

第 1 図 埋設設備膨張時の状態変化及び状態設定の概念図



a. 状態設定で想定する状態変化の重畳

b. 覆土の状態設定

第 2 図 埋設設備陥没時の状態変化及び状態設定の概念図

3. 廃棄物埋設地の状態設定

評価結果を基に、力学的影響及び化学的影響を考慮した廃棄物埋設地の状態を設定する。

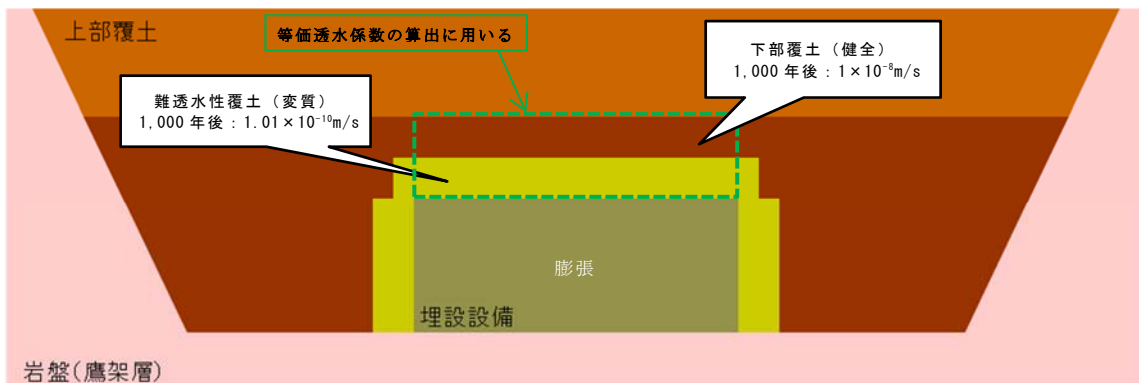
なお、側方の覆土状態に比べ、上方の覆土状態の変質度合いが大きいことから、埋設設備を取り囲む覆土の等価透水係数を算出する際には、上方の覆土状態を対象とした等価透水係数にて代表させる。

(1) 覆土の状態設定

(i) 3号廃棄物埋設地

a. 確からしい設定（開口が生じないケース）

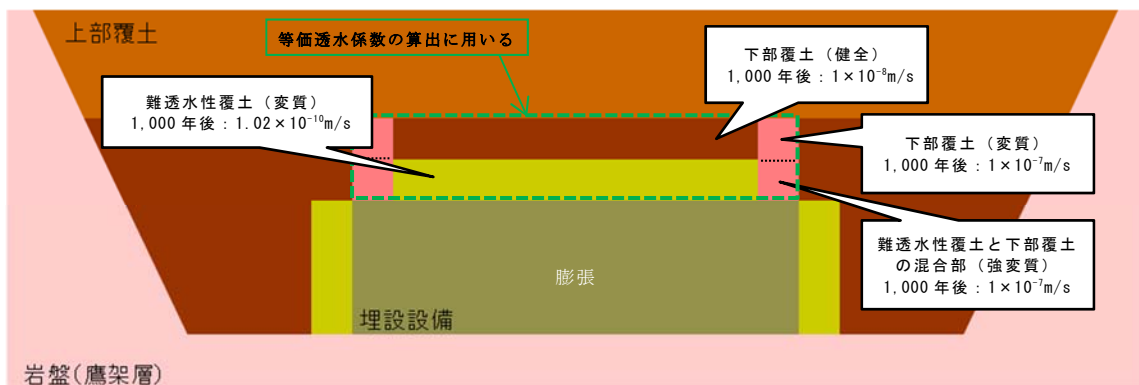
力学的影響により開口を生じないことから、化学的影響による変質のみによる状態を設定する。設定した状態を第3図に示す。



第3図 3号廃棄物埋設地の状態設定（確からしい設定）

b. 厳しい設定（2mの開口が生じるケース）

開口部付近の「難透水性覆土と下部覆土の混合部（強変質）」においては化学変質が促進されるものとして、透水係数を変質後から更に2オーダー以上引き上げた状態を設定する。それ以外の箇所においては、化学的影響による変質のみとする。設定した状態を第4図に示す。

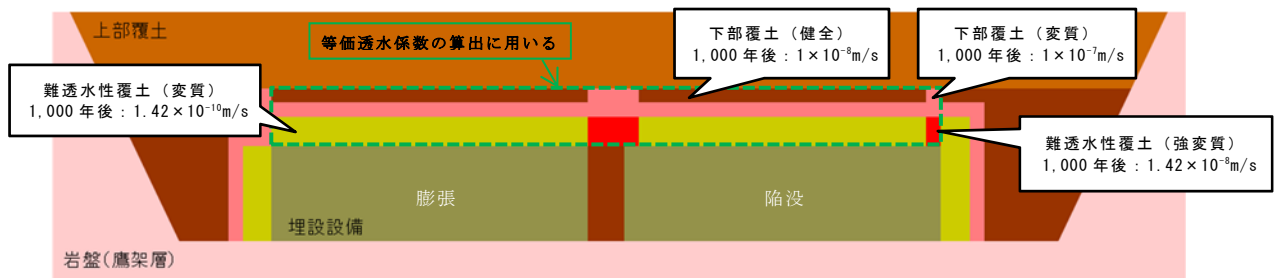


第4図 3号廃棄物埋設地の状態設定（厳しい設定）

(ii) 1号廃棄物埋設地

a. 確からしい設定（開口が生じないケース）

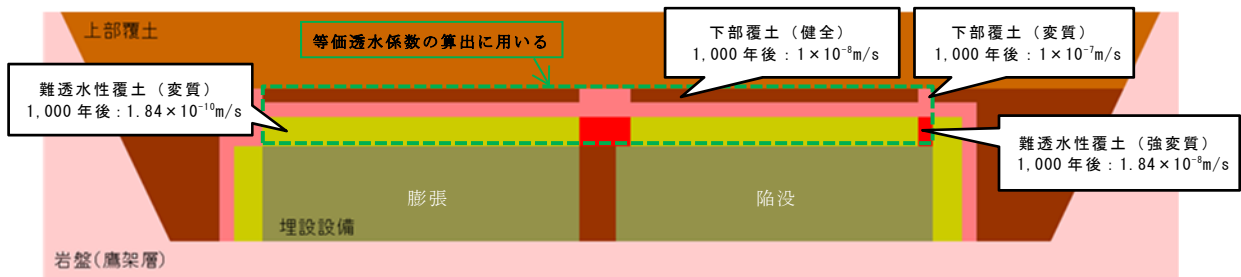
力学的影響により開口を生じないが、陥没によるせん断部付近の「難透水性覆土（強変質）」においては化学変質が促進されるものとして透水係数を変質後から更に2オーダー引き上げた状態を設定する。それ以外の箇所においては、化学的影響による変質のみとする。設定した状態を第5図に示す。



第5図 1号廃棄物埋設地の状態設定（確からしい設定）

b. 厳しい設定（開口が生じないケース）

力学的影響により開口を生じないが、陥没によるせん断部付近の「難透水性覆土（強変質）」においては化学変質が促進されるものとして透水係数を変質後から更に2オーダー引き上げた状態を設定する。それ以外の箇所においては、化学的影響による変質のみとする。設定した状態を第6図に示す。

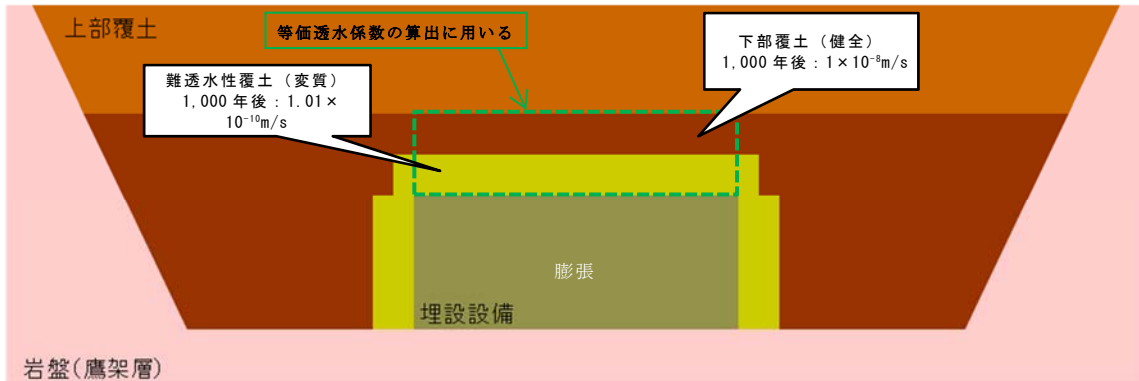


第6図 1号廃棄物埋設地の状態設定（厳しい設定）

(iii) 2号廃棄物埋設地

a. 確からしい設定（開口が生じないケース）

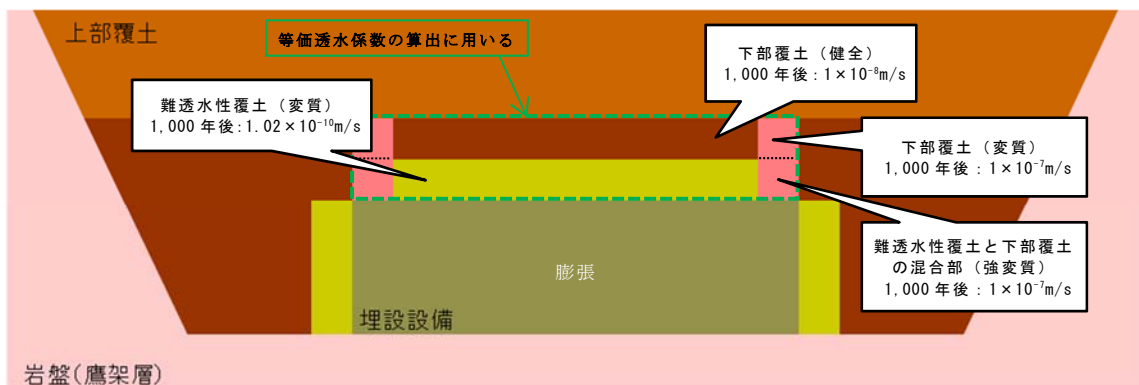
力学的影響により開口を生じないことから、化学的影響による変質のみによる状態を設定する。設定した状態を第7図に示す。



第7図 2号廃棄物埋設地の状態設定（確からしい設定）

b. 厳しい設定（2mの開口が生じるケース）

開口部付近の「難透水性覆土と下部覆土の混合部」においては化学変質が促進されるものとして、透水係数を変質後から更に2オーダー以上引き上げた状態を設定する。それ以外の箇所においては、化学的影響による変質のみとする。設定した状態を第8図に示す。



第8図 2号廃棄物埋設地の状態設定（厳しい設定）

(2) 難透水性覆土及び下部覆土の等価透水係数

覆土の状態設定を用いて、難透水性覆土及び下部覆土の等価透水係数を算出する。側方の覆土状態に比べ、上方の覆土状態の変質度合いが大きいため、埋設設備の上方の覆土を対象に等価透水係数を算出し、流出水量の計算において上方及び側方の透水係数として用いる。したがって、覆土内の地下水の流動方向によらず、埋設設備から外部への核種移行を検討する際に用いる最も保守的な等価透水係数となる。

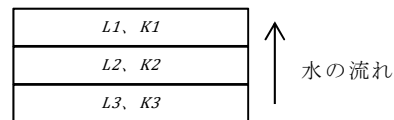
なお、透水係数の異なる複数の土質材料が存在していることから、以下に示す直列方向の合成と並列方向の合成を組み合わせることで、覆土の等価透水係数を算出する。

<鉛直直列方向の合成式>

$$K = \frac{\sum L_i}{\sum (L_i / K_i)}$$

L_i : i 番目の層の覆土厚さ [m]

K_i : i 番目の層の透水係数 [m/s]

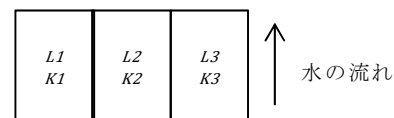


<鉛直並列方向の合成式>

$$K = \frac{\sum (K_i \times L_i)}{\sum L_i}$$

L_i : i 列目の覆土幅 [m]

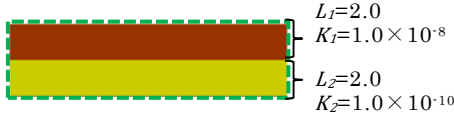
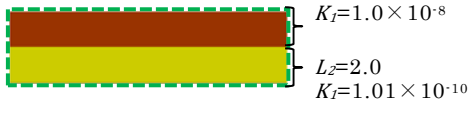
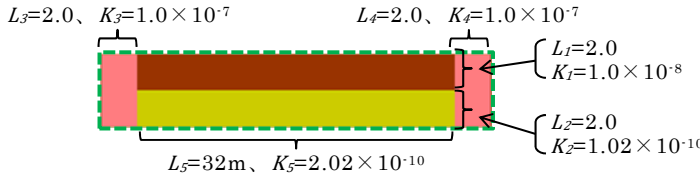
K_i : i 列目の透水係数 [m/s]



(i) 3号廃棄物埋設地における覆土の等価透水係数

覆土の透水係数設定及び等価透水係数を第5表及び第6表に示す。

第5表 覆土の透水係数設定 (3号廃棄物埋設地)

時期	—
0年 (初期)	
時期	確からしい設定
1,000年後	
時期	厳しい設定
1,000年後	

L : 長さ (m)、 K : 透水係数 (m/s)

第6表 覆土の等価透水係数 (3号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
計算値[m/s]	1.98×10^{-10}	2.00×10^{-10}	1.13×10^{-8}
設定値[m/s]	—	2.00×10^{-10}	1.50×10^{-8}

(ii) 1号廃棄物埋設地における覆土の等価透水係数

覆土の透水係数設定及び等価透水係数を第7表及び第8表に示す。

第7表 覆土の透水係数設定 (1号廃棄物埋設地)

時期	—	
0年 (初期)		
時期	確からしい設定	
1,000年後		
時期	厳しい設定	
1,000年後		

L : 長さ (m)、 K : 透水係数 (m/s)

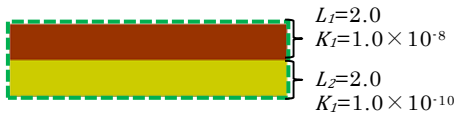
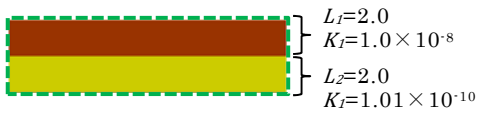
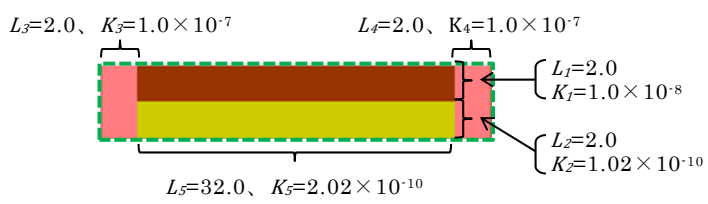
第8表 覆土の等価透水係数 (1号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
計算値[m/s]	1.98×10^{-10}	2.39×10^{-9}	3.00×10^{-9}
設定値[m/s]	—	2.50×10^{-9}	3.00×10^{-9}

(iii) 2号廃棄物埋設地における覆土の等価透水係数

覆土の透水係数設定及び等価透水係数を第9表及び第10表に示す。

第9表 覆土の透水係数設定 (2号廃棄物埋設地)

時期	—
0年 (初期)	
時期	確からしい設定
1,000年後	
時期	厳しい設定
1,000年後	

L : 長さ (m)、 K : 透水係数 (m/s)

第10表 覆土の等価透水係数 (2号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
計算値[m/s]	1.98×10^{-10}	2.00×10^{-10}	1.13×10^{-8}
設定値[m/s]	—	2.00×10^{-10}	1.50×10^{-8}

(3) その他の廃棄物埋設地の状態設定

廃棄物埋設地における埋設設備及び地盤について、以下のとおり状態設定を行い、1,000年後の透水係数を設定する。

(i) 埋設設備

コンクリート構造物である埋設設備は、エトリングガイトの生成による内部破壊やセメントの溶脱による固結性低下により、長期状態においてほぼ砂程度の状態となることが想定される。そのため、確からしい設定及び厳しい設定における透水係数を $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ と設定する。

(ii) 岩盤（「補足説明資料 1_地質環境に係る長期変動事象」を参照）

断層運動及び地震の影響により岩盤の透水性は大きく変化しないと想定される。そのため、長期状態における透水係数は初期値のまま継続すると設定する。地盤の透水係数を第 11 表に示す。

第 11 表 地盤の透水係数

ケース	材料区分	3号廃棄物埋設地 [m/s]	1号廃棄物埋設地 [m/s]	2号廃棄物埋設地 [m/s]
確からしい 設定	第四紀層	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}
	鷹架層	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}
厳しい 設定	第四紀層	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}
	鷹架層	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}

低透水性を有する覆土に対して
等価透水係数を設定することの妥当性

目 次

1. はじめに.....	1
2. 妥当性の確認方法.....	1
3. 確認結果.....	3

1. はじめに

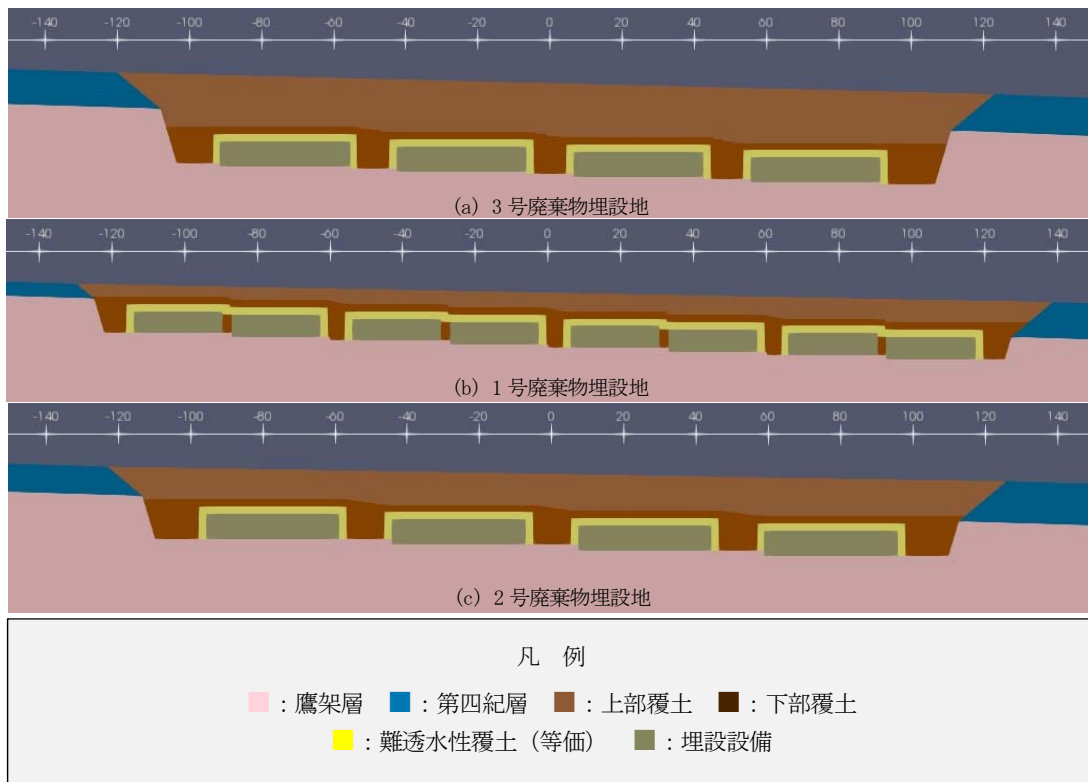
本資料は、2次元地下水浸透流解析で等価透水係数を設定することの妥当性を示すものである。

なお、2次元地下水浸透流解析は、線量評価パラメータである「埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量」を求めるために利用している。一方で、線量評価は1次元モデルにより解析を実施していることから、前段の2次元地下水浸透流解析においては、埋設設備から周辺への移行経路をモデリングしやすいように、低透水性を有する覆土の劣化後の透水係数を等価透水係数として設定している。

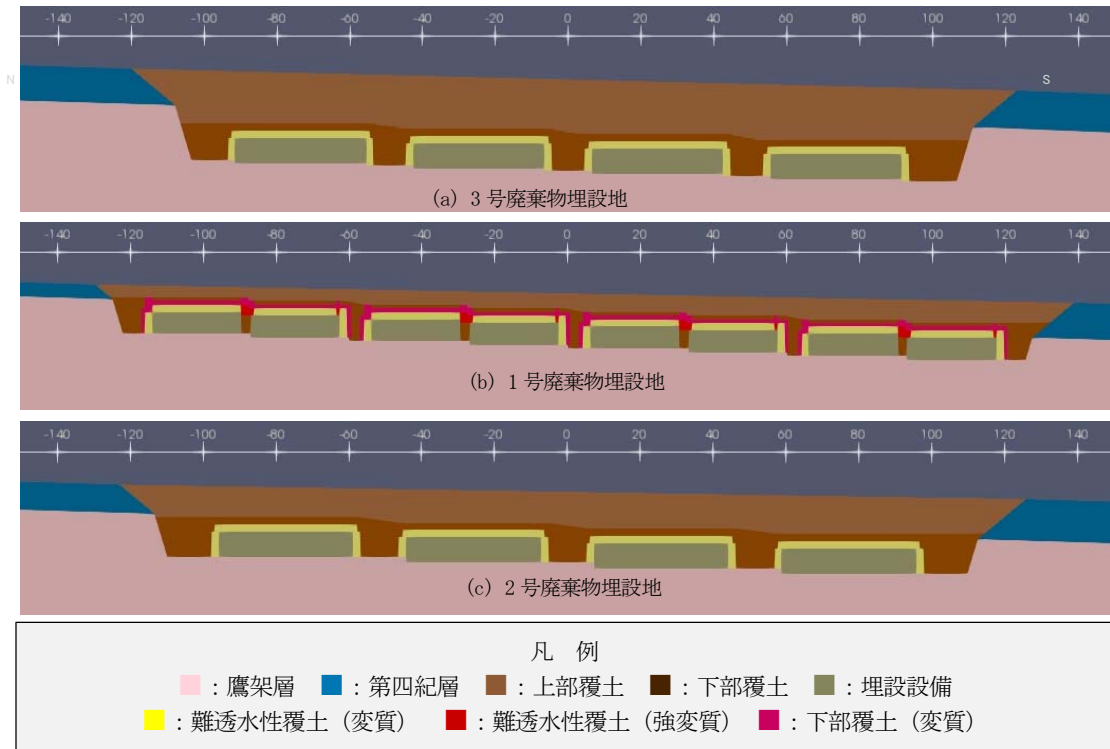
2. 妥当性の確認方法

力学的影響及び化学的影響を考慮した状態設定に従い、変質部の透水係数を部分的に配置したモデル（劣化箇所反映モデル）を第1図から第3図に示す。本モデルを用いて流出水量を算出後、等価透水係数を用いたモデル（等価透水係数モデル）による流出水量と比較し、必要に応じて線量評価により影響を確認する。

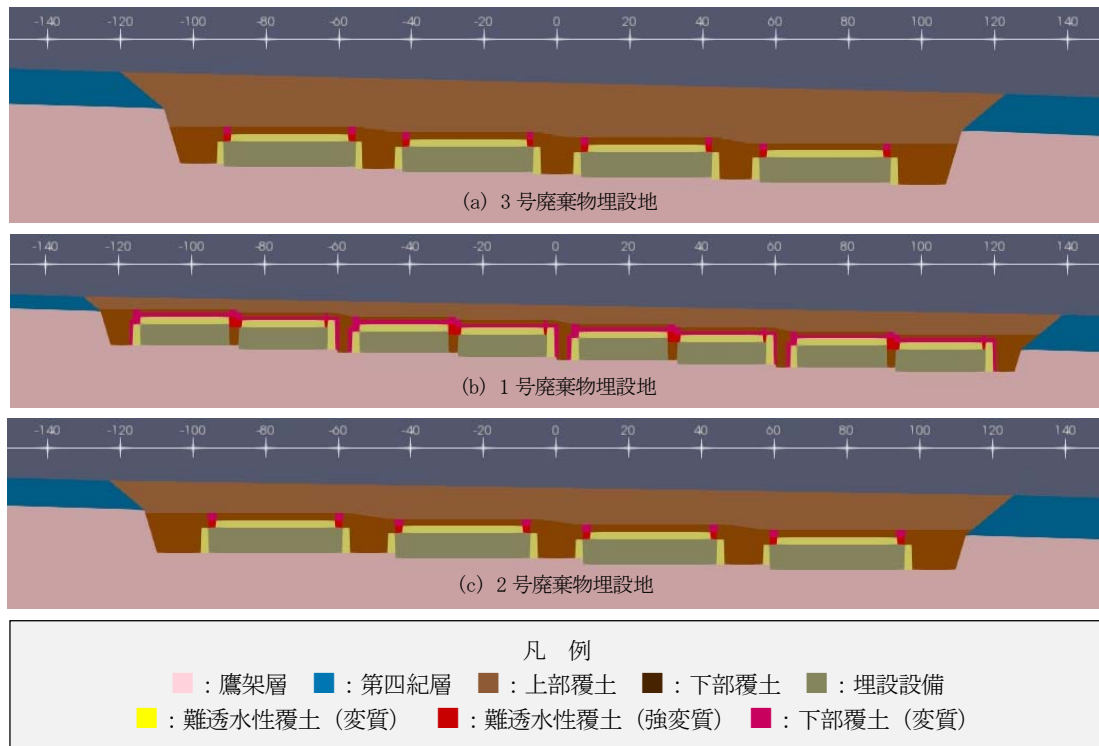
なお、モデル以外の解析条件は「補足説明資料7_埋設設備からの流出水量」のうち「4. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に必要な条件設定及び計算結果」と同様とする。



第1図 廃棄物埋設地付近の材料分布(等価透水係数モデル)



第2図 廃棄物埋設地付近の材料分布(劣化箇所反映モデル 確からしい設定)



第3図 廃棄物埋設地付近の材料分布(劣化箇所反映モデル 厳しい設定)

3. 確認結果

等価透水係数モデル及び劣化箇所反映モデルの埋設設備からの流出水量を第1表に示す。等価透水係数モデル及び劣化箇所反映モデルにおいて大きな差はなく、劣化箇所反映モデルの線量評価に影響を与えない見込みがあることを確認した。

第1表 等価透水係数モデル及び劣化箇所反映モデルの埋設設備からの流出水量

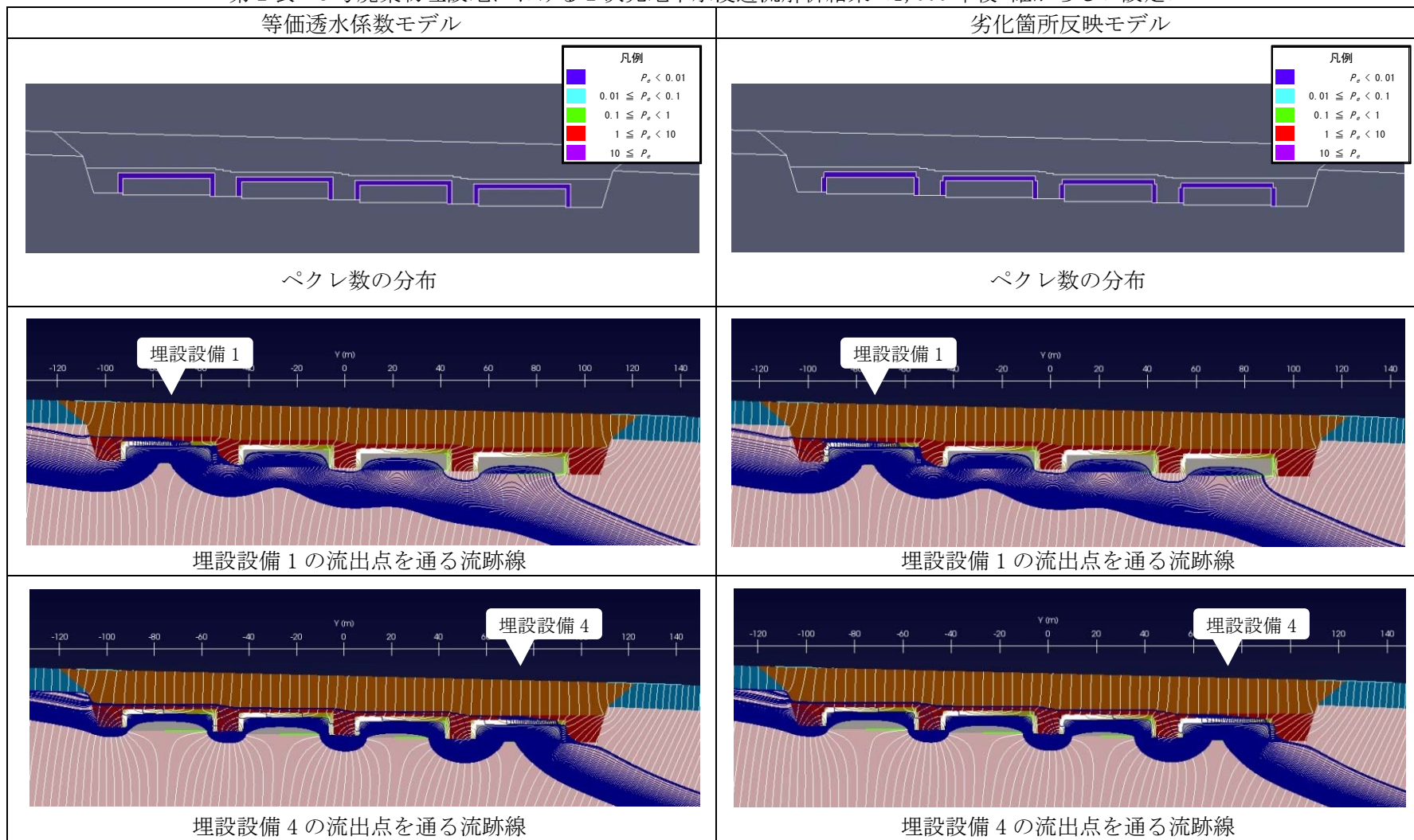
計算ケース	モデル	3号廃棄物埋設地		1号廃棄物埋設地		2号廃棄物埋設地		
		$Q_{co}(t)$ [m ³ /y]	$Q_{go}(t)$ [m ³ /y]	$Q_{co}(t)$ [m ³ /y]	$Q_{go}(t)$ [m ³ /y]	$Q_{co}(t)$ [m ³ /y]	$Q_{go}(t)$ [m ³ /y]	
確からしい設定	寒冷化ケース	①等価透水係数モデル	10	630	130	2,200	20	920
		②劣化箇所反映モデル	10	630	110	2,200	20	910
		差(②-①)	0	0	-20	0	0	-10
	温暖期継続ケース	①等価透水係数モデル	10	630	130	2,200	20	920
		②劣化箇所反映モデル	10	630	110	2,200	20	910
		差(②-①)	0	0	-20	0	0	-10
厳しい設定	寒冷化ケース	①等価透水係数モデル	510	1,500	150	2,200	350	1,300
		②劣化箇所反映モデル	460	1,500	130	2,200	280	1,300
		差(②-①)	-50	0	-20	0	-70	0
	温暖期継続ケース	①等価透水係数モデル	510	1,500	150	2,200	350	1,300
		②劣化箇所反映モデル	460	1,500	130	2,200	280	1,300
		差(②-①)	-50	0	-20	0	-70	0

*1: $Q_{co}(t)$: 埋設設備から覆土への流出水量[m³/y]
 $Q_{go}(t)$: 埋設設備から鷹架層への流出水量[m³/y]

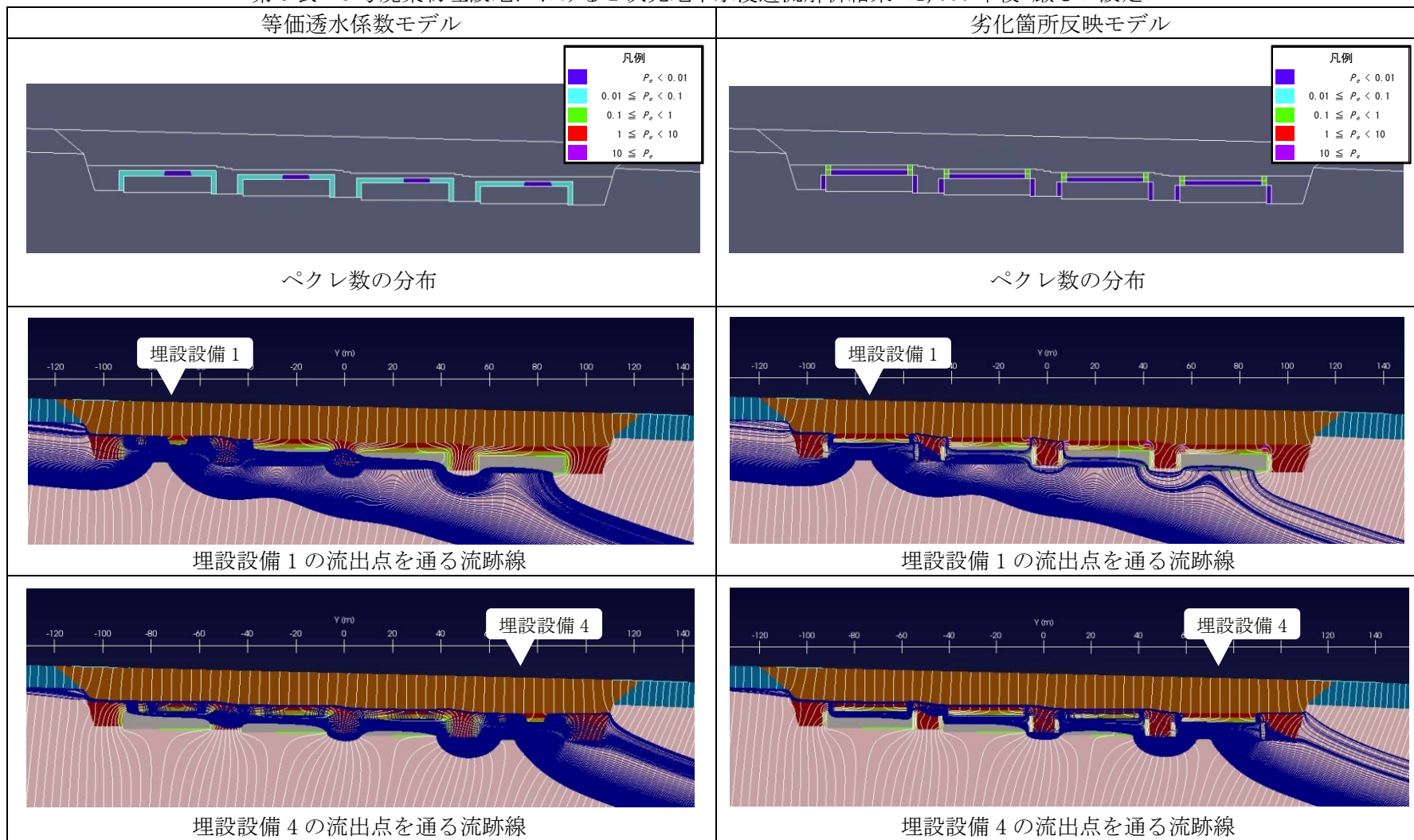
また、等価透水係数モデル及び劣化箇所反映モデルのペクレ数分布及び流跡線を第2表から第7表に示す。低透水性を期待する難透水性覆土及び下部覆土において、両モデルともにペクレ数が1未満であることから、拡散場となっていることを確認した。流跡線についても、両モデルで傾向に大きな差異はなく、同等であることを確認した。

以上のことから、2次元地下水浸透流解析を行う際に、覆土における変質部の透水係数を部分的に配置せず、等価透水係数を設定することは妥当であると判断する。

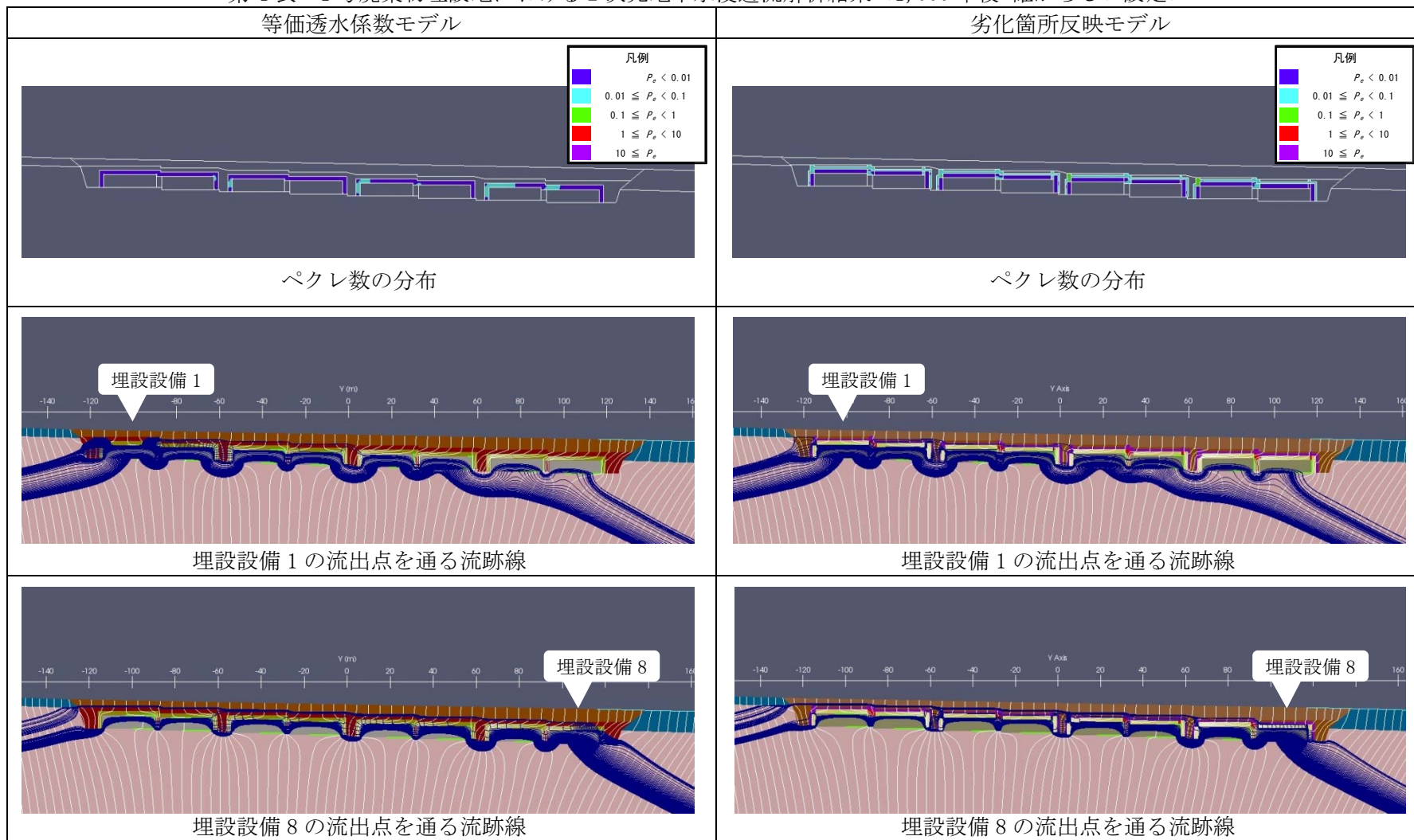
第2表 3号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 確からしい設定>



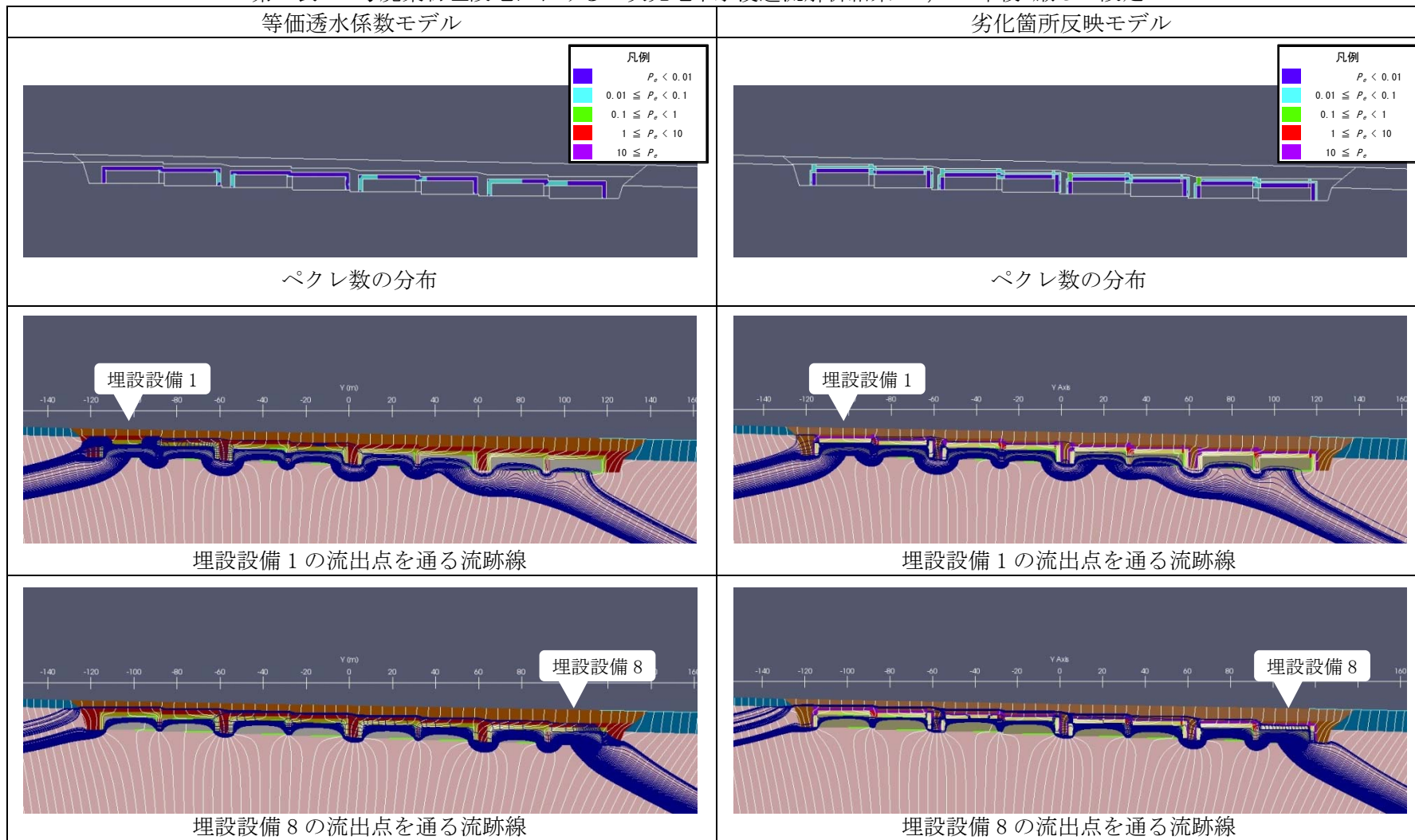
第3表 3号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 厳しい設定>



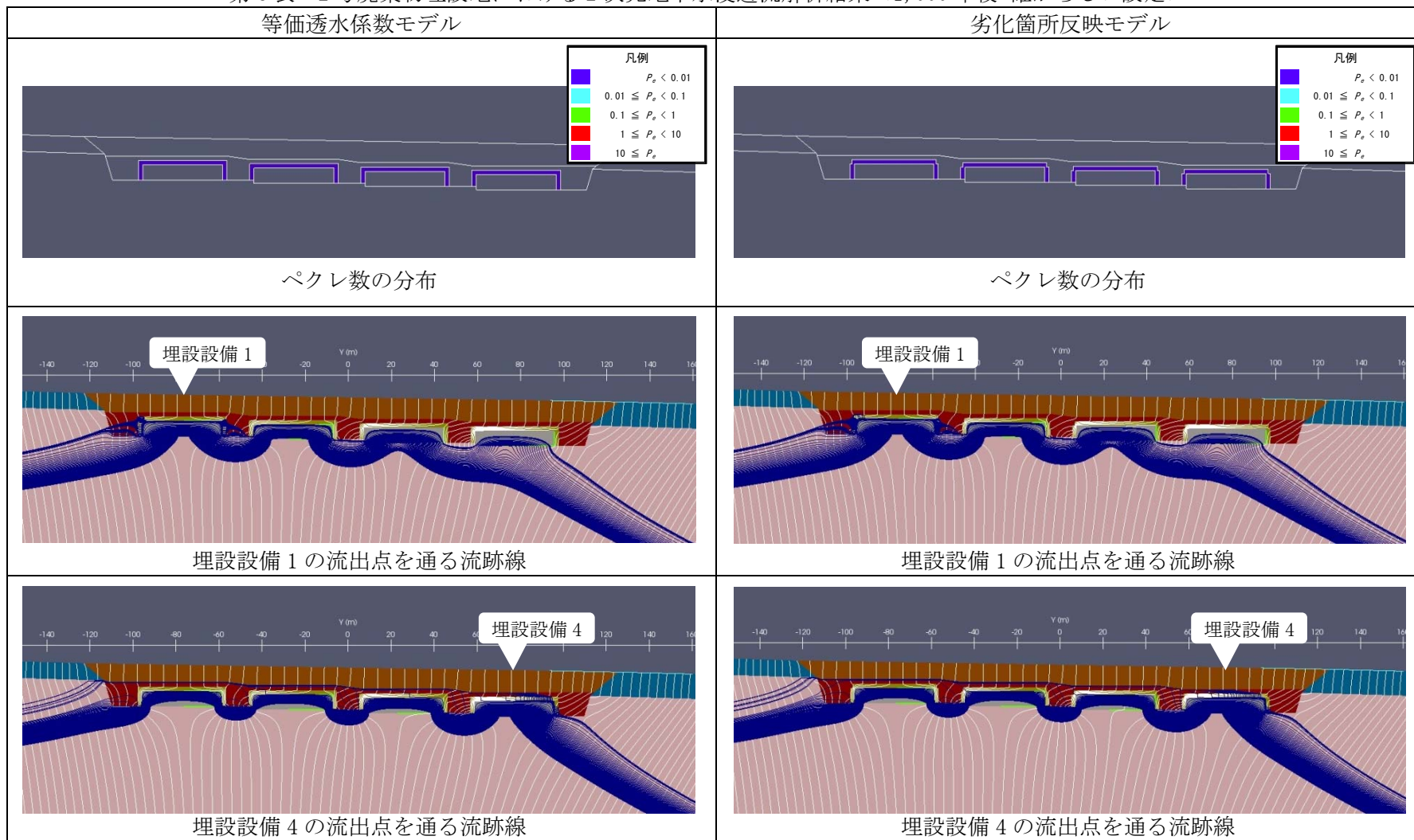
第4表 1号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 確からしい設定>



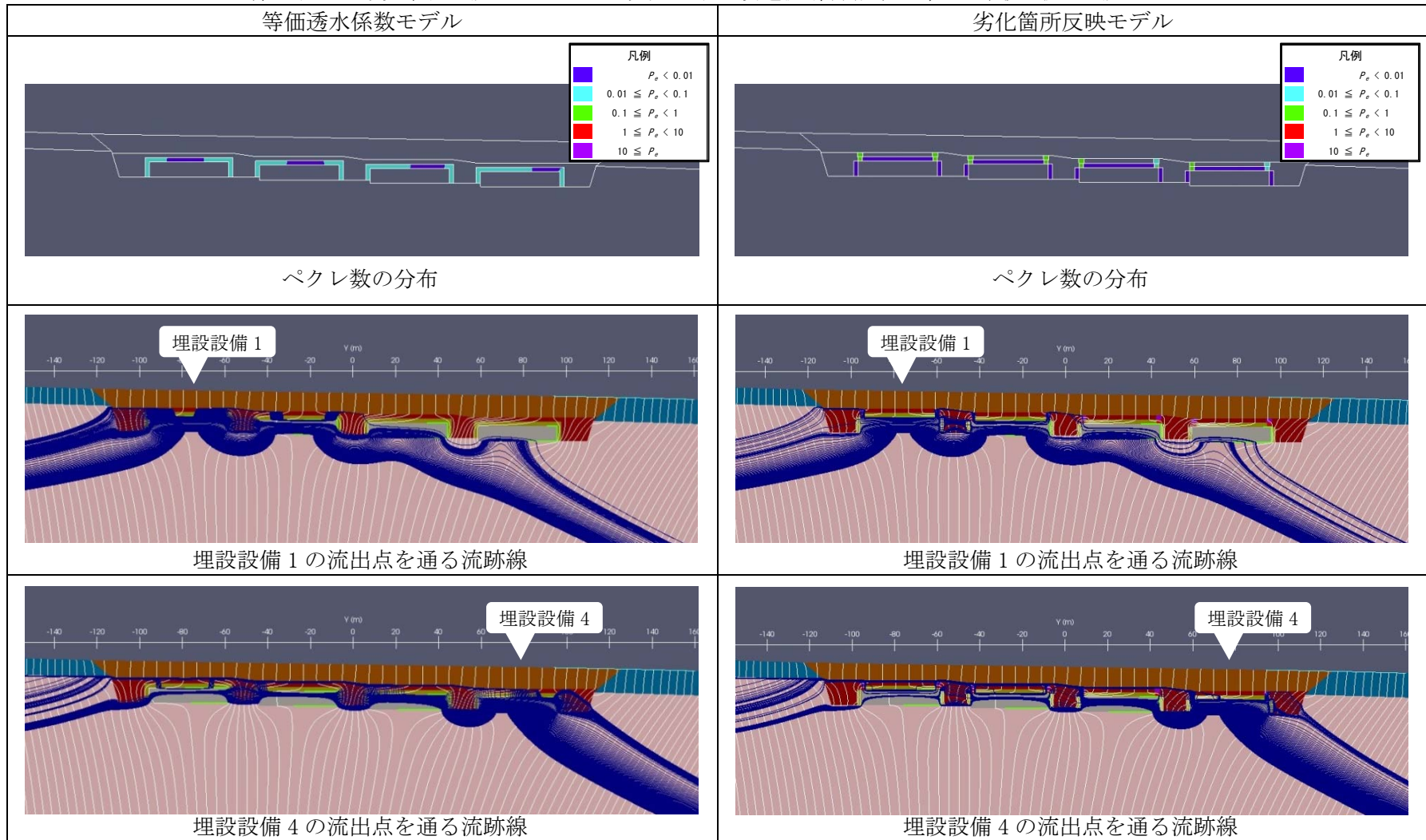
第5表 1号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 厳しい設定>



第6表 2号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 確からしい設定>



第7表 2号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 厳しい設定>



特性の異なるベントナイト混合土を用いた
場合の等価透水係数の確認

目 次

1. はじめに.....	1
2. 状態変化の評価.....	1
(1) 力学的影響.....	1
(2) 化学的影響.....	1
3. 廃棄物埋設地の状態設定.....	2
4. まとめ.....	2

1. はじめに

覆土材料は、材料調達状況を考慮した覆土施工時の施工試験結果により、材料及び施工のばらつきを考慮して最終決定する。そのため、難透水性覆土に特性の異なるベントナイト混合土（Na型ベントナイト 20wt%と砂 80wt%の混合土）を用いた場合を想定し、線量評価に用いる覆土の等価透水係数を確認する。

なお、以下に説明のない条件については、既往の検討と同様である。

2. 状態変化の評価

(1) 力学的影響

変形に寄与する力学的な特性（剛性）の異なる覆土材料を用いた場合においても同様に、力学的影響（膨張量）による線量評価への有意な影響は生じないと考えられる。（詳細は「補足説明資料4_力学的影響」のうち「参考資料4」を参照）

以上のことから、特性の異なるベントナイト混合土を用いた場合においても、力学的影響は既往の検討と同様であるとする。

(2) 化学的影響

地球化学解析を用いて等価透水係数の変遷を評価した結果から、透水係数に化学的変質が生じると評価する。（詳細は「補足説明資料5_化学的影響」のうち「参考資料2」を参照）

(i) 難透水性覆土の変質

難透水性覆土の変質後における透水係数を第1表に示す。特性の異なるベントナイト混合土において、変質後の難透水性覆土の透水係数が既往の検討よりも小さい。

第1表 変質後の難透水性覆土の透水係数

		1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
3号	透水係数[m/s]	1.07×10^{-11}	1.23×10^{-11}
1号	透水係数[m/s]	3.20×10^{-11}	5.73×10^{-11}
2号*1	透水係数[m/s]	1.07×10^{-11}	1.23×10^{-11}

*1:3号の結果を流用

(ii) 下部覆土の変質

特性の異なるベントナイト混合土において、変質後の難透水性覆土の透水係数が既往の検討よりも小さいため、下部覆土の変質は相対的に小さいと考えられるが、下部覆土の劣化は既往の検討と同様の評価とする。

3. 廃棄物埋設地の状態設定

特性の異なるベントナイト混合土に対する評価結果を基に、力学的影響及び化学的影響を考慮した廃棄物埋設地の状態を設定する。力学的影響は既往の検討と同様であることから覆土の形状は同様とし、化学的影響による変質後の透水係数を特性の異なるベントナイト混合土の値とする。

算出した等価透水係数を第2表から第4表に示す。

第2表 覆土の等価透水係数 (3号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
今回[m/s]	2.00×10^{-11}	2.14×10^{-11}	1.12×10^{-8}
既往検討[m/s]	1.98×10^{-10}	2.00×10^{-10}	1.13×10^{-8}

第3表 覆土の等価透水係数 (1号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
今回[m/s]	2.00×10^{-11}	5.91×10^{-10}	1.04×10^{-9}
既往検討[m/s]	1.98×10^{-10}	2.39×10^{-9}	3.00×10^{-9}

第4表 覆土の等価透水係数 (2号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		確からしい設定	厳しい設定
今回[m/s]	2.00×10^{-11}	2.14×10^{-11}	1.12×10^{-8}
既往検討[m/s]	1.98×10^{-10}	2.00×10^{-10}	1.13×10^{-8}

4. まとめ

難透水性覆土に特性の異なるベントナイト混合土 (Na型ベントナイト 20wt%と砂 80wt%の混合土) を用いた場合の等価透水係数は、既往のベントナイト混合土 (Ca型ベントナイト 30wt%と砂 70wt%の混合土) を用いた等価透水係数よりも小さく、十分な低透水性があることを確認した。