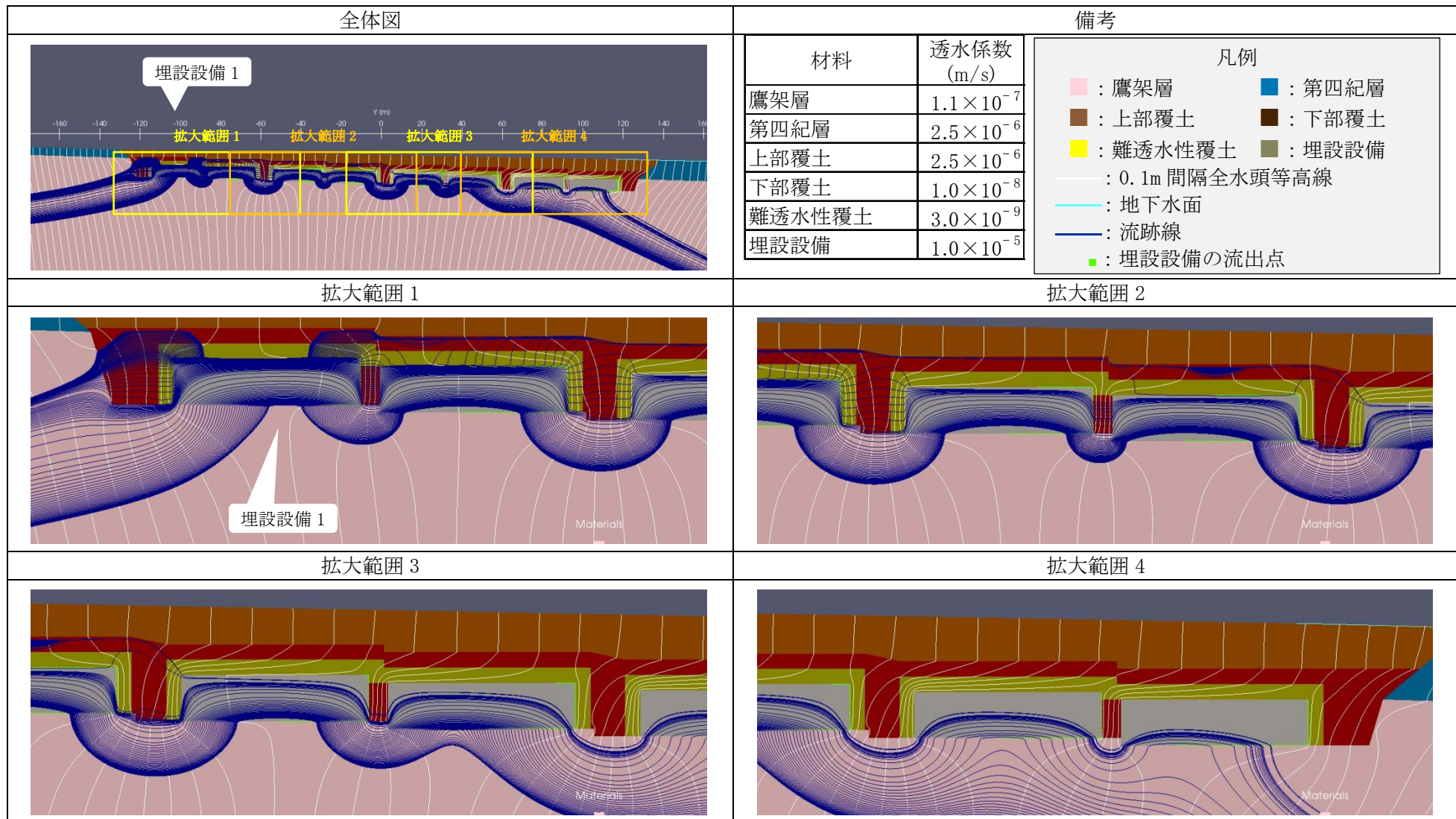
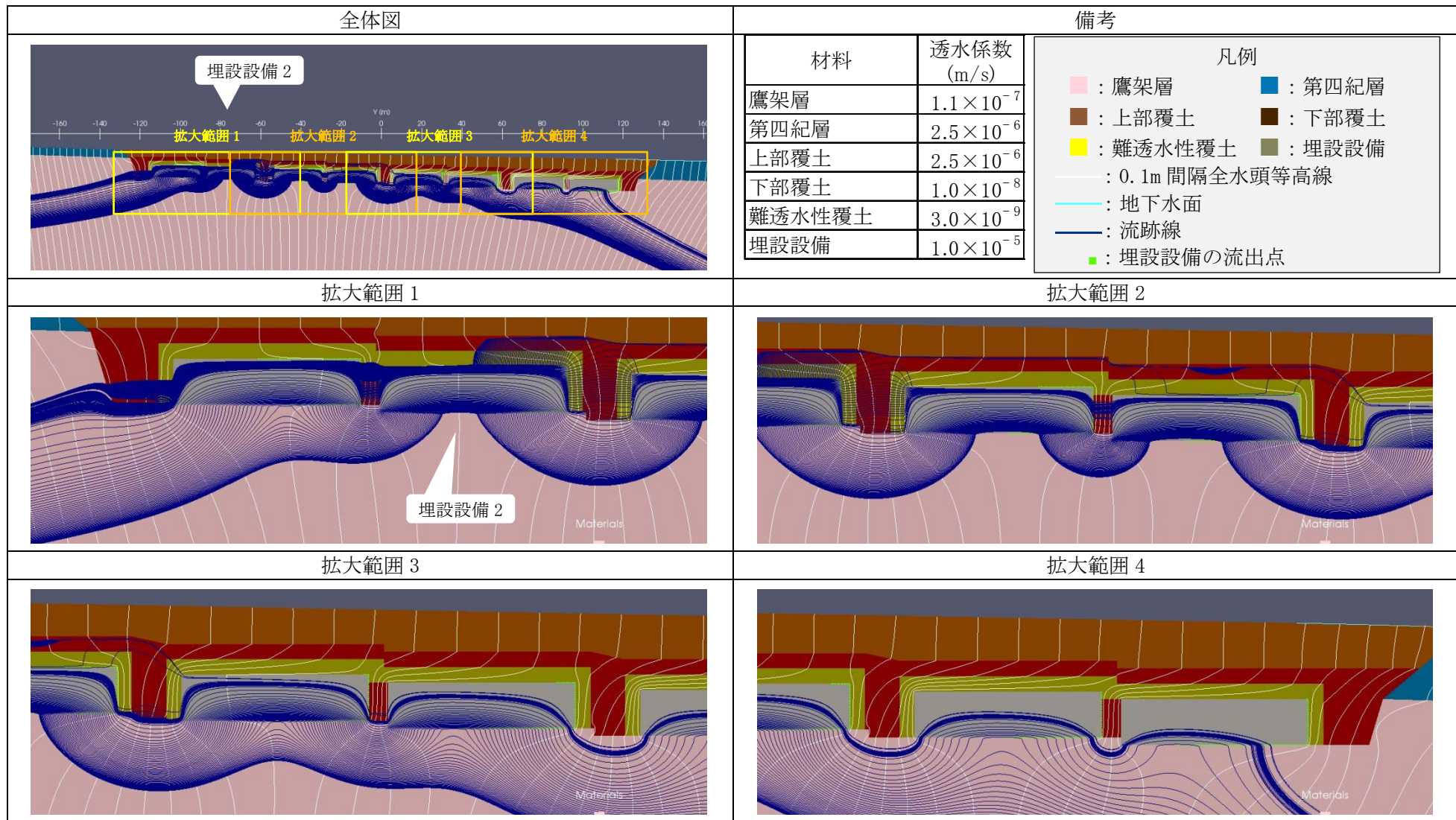


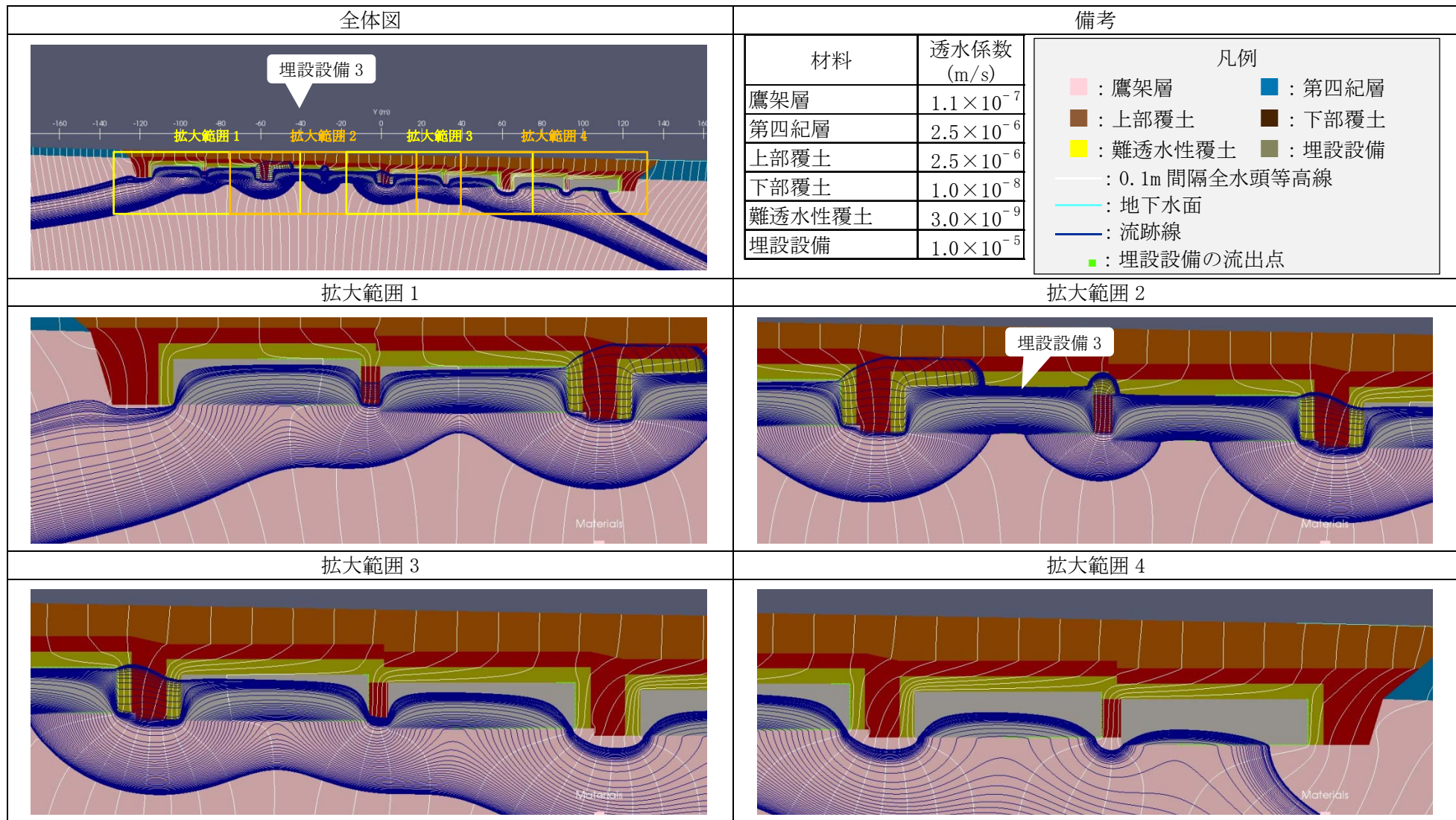
第 4 図 2 次元地下水浸透流解析結果【1 号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000 年後) (1/9) <0.1m 間隔全水頭等高線>



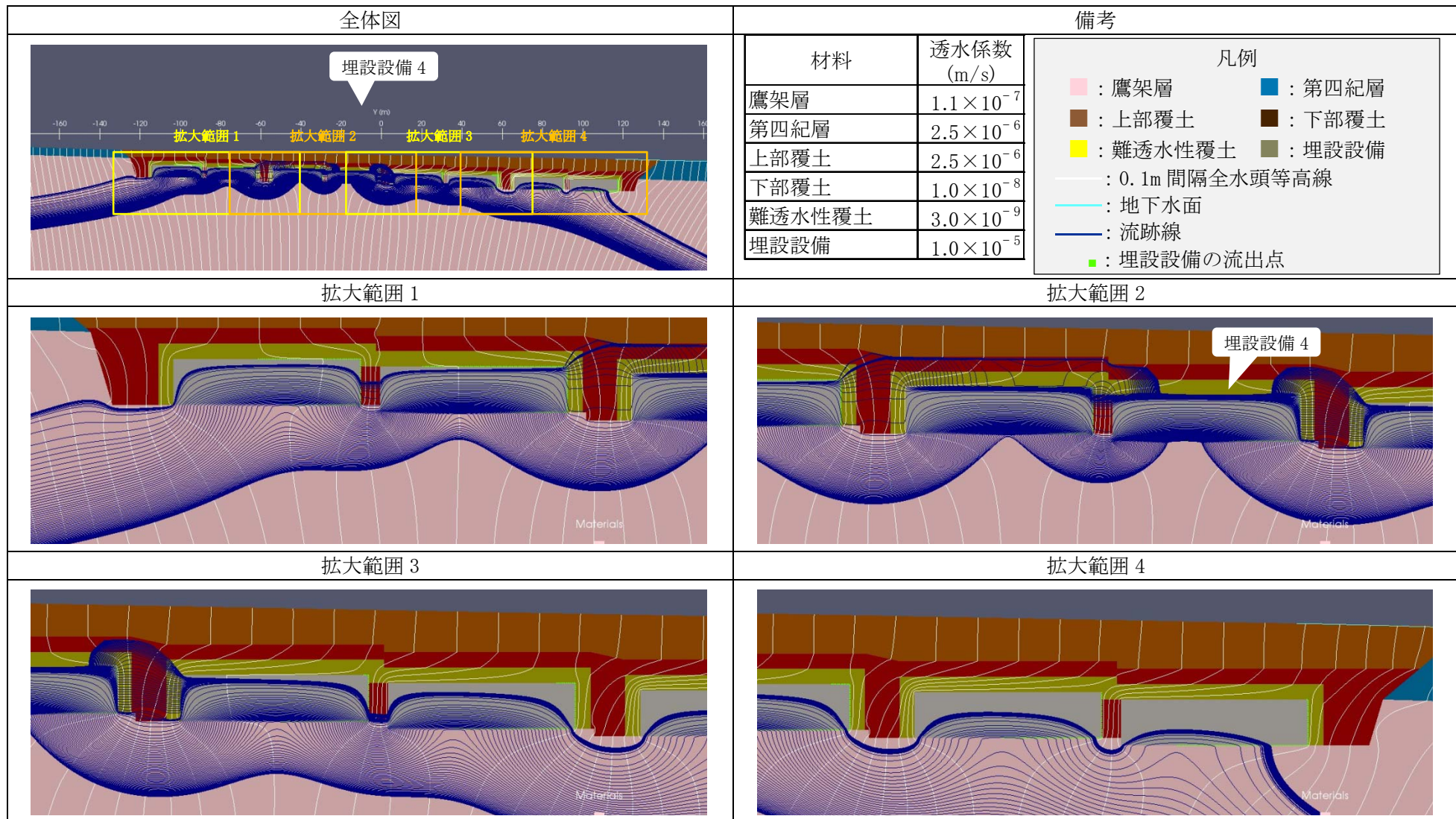
第4図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000年後) (2/9) <埋設設備1の流出点を通る流跡線>



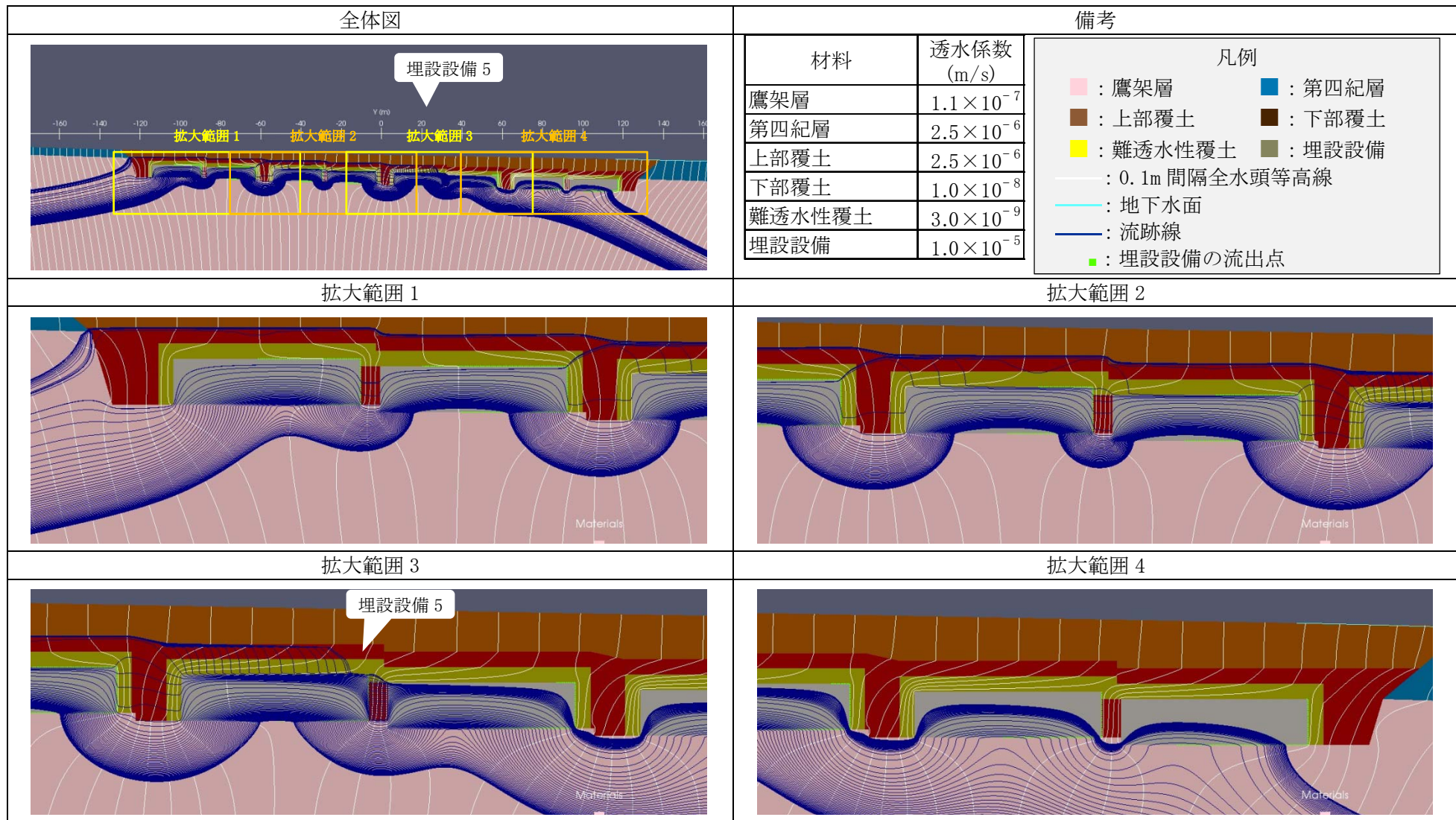
第 4 図 2 次元地下水浸透流解析結果【1 号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000 年後) (3/9) <埋設設備 2 の流出点を通る流跡線>



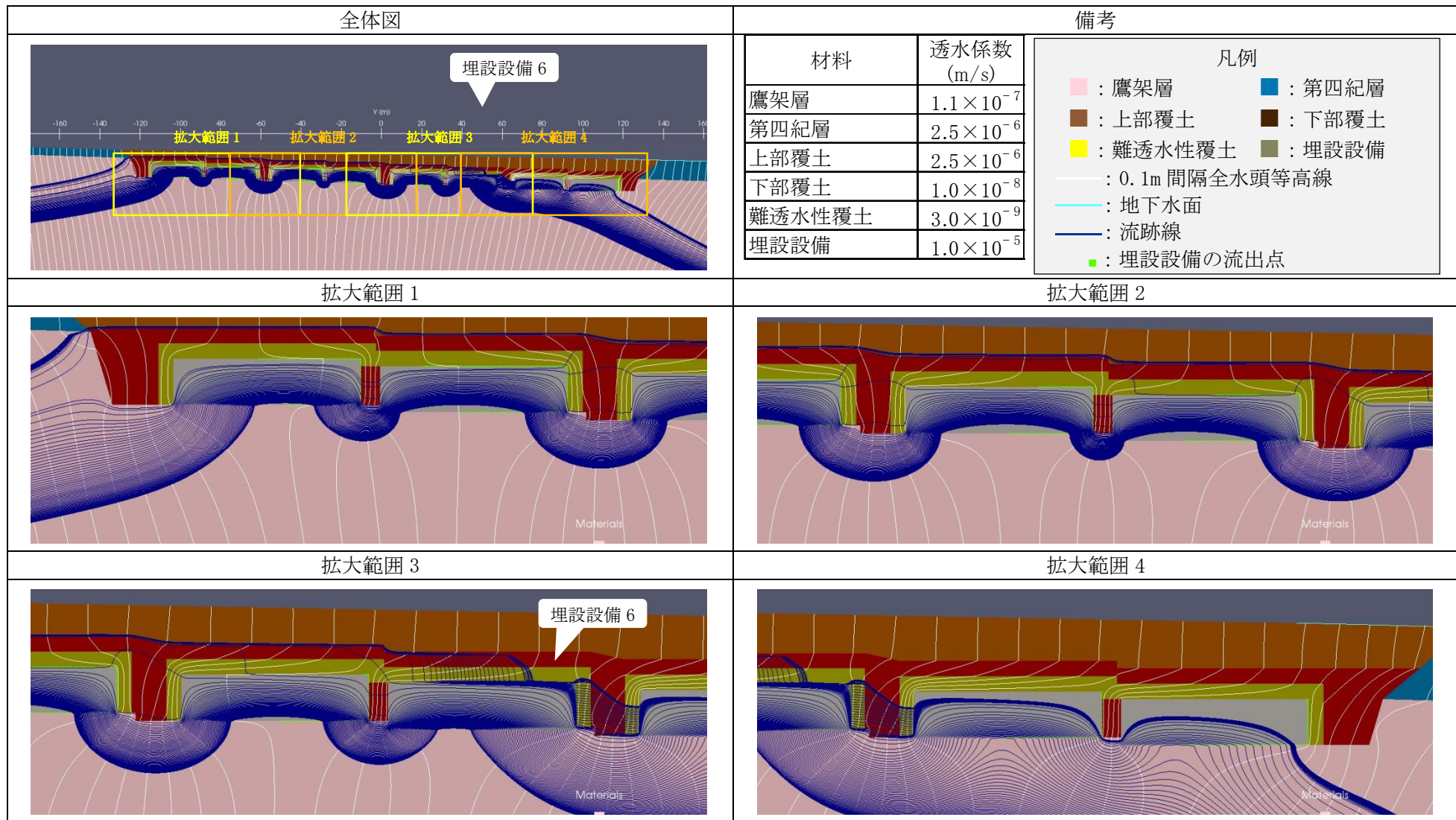
第4図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000年後) (4/9) <埋設設備3の流出点を通る流跡線>



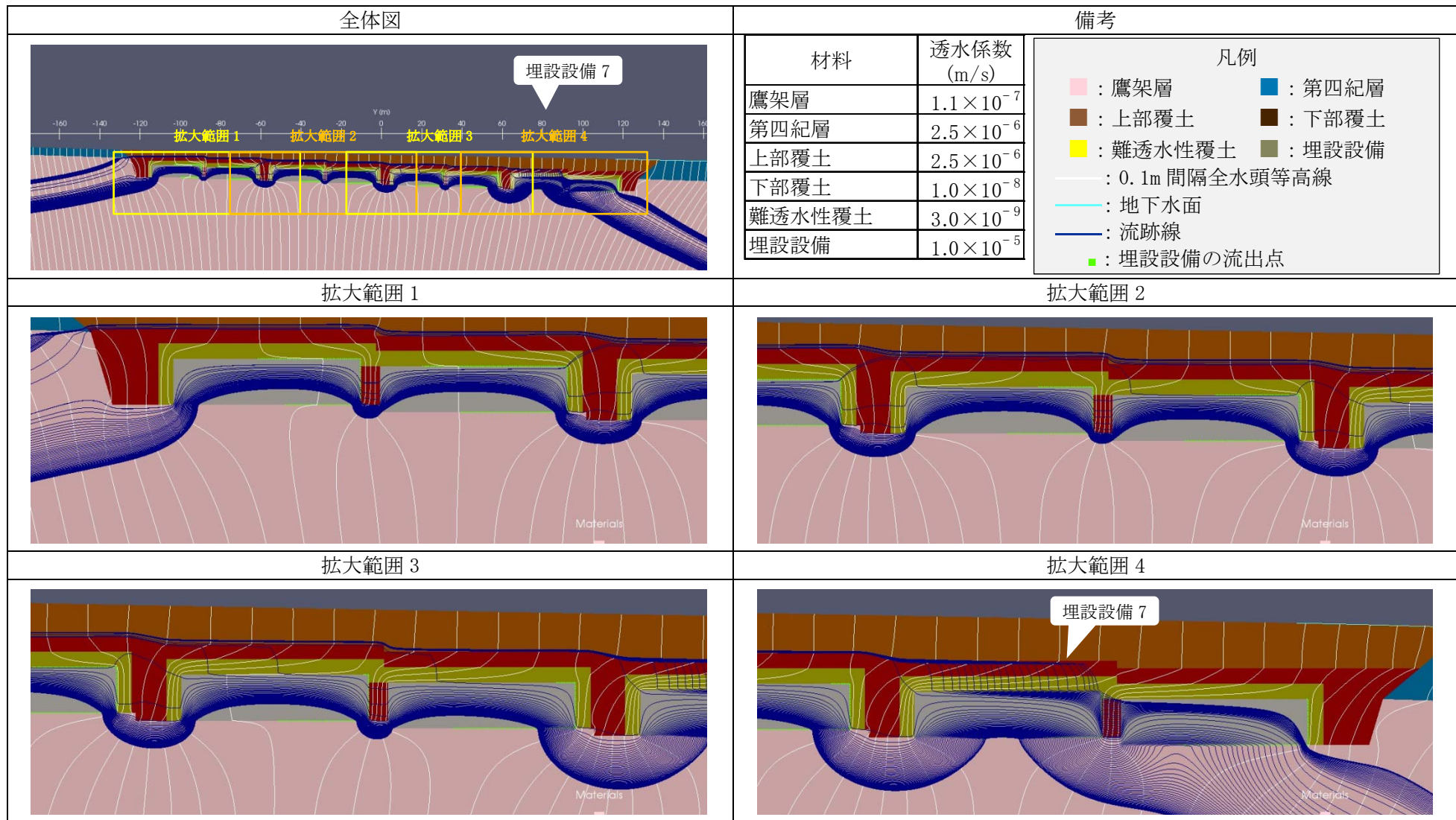
第4図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000年後) (5/9) <埋設設備4の流出点を通る流跡線>



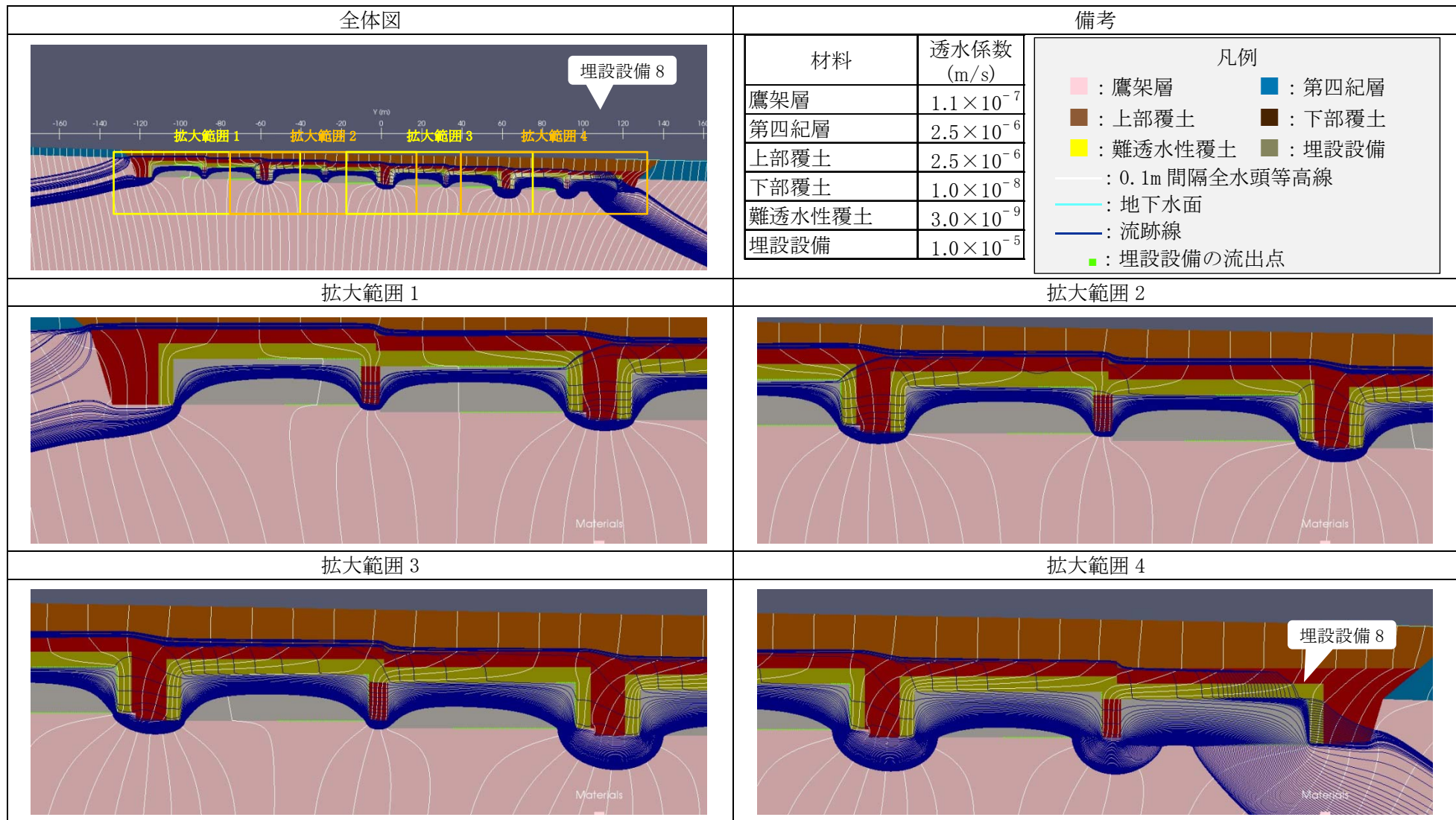
第4図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000年後) (6/9) <埋設設備5の流出点を通る流跡線>



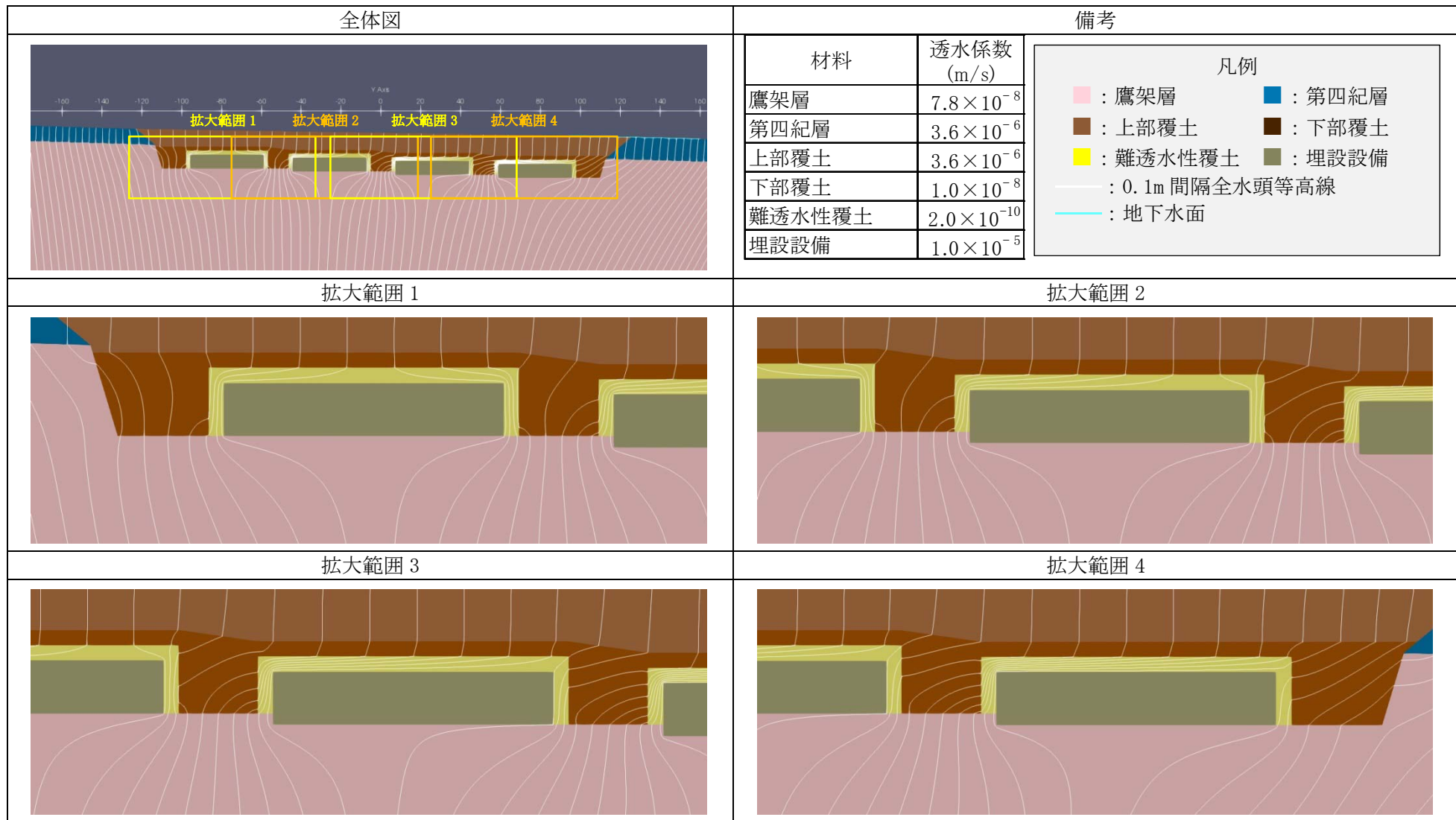
第 4 図 2 次元地下水浸透流解析結果【1 号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000 年後) (7/9) <埋設設備 6 の流出点を通る流跡線>



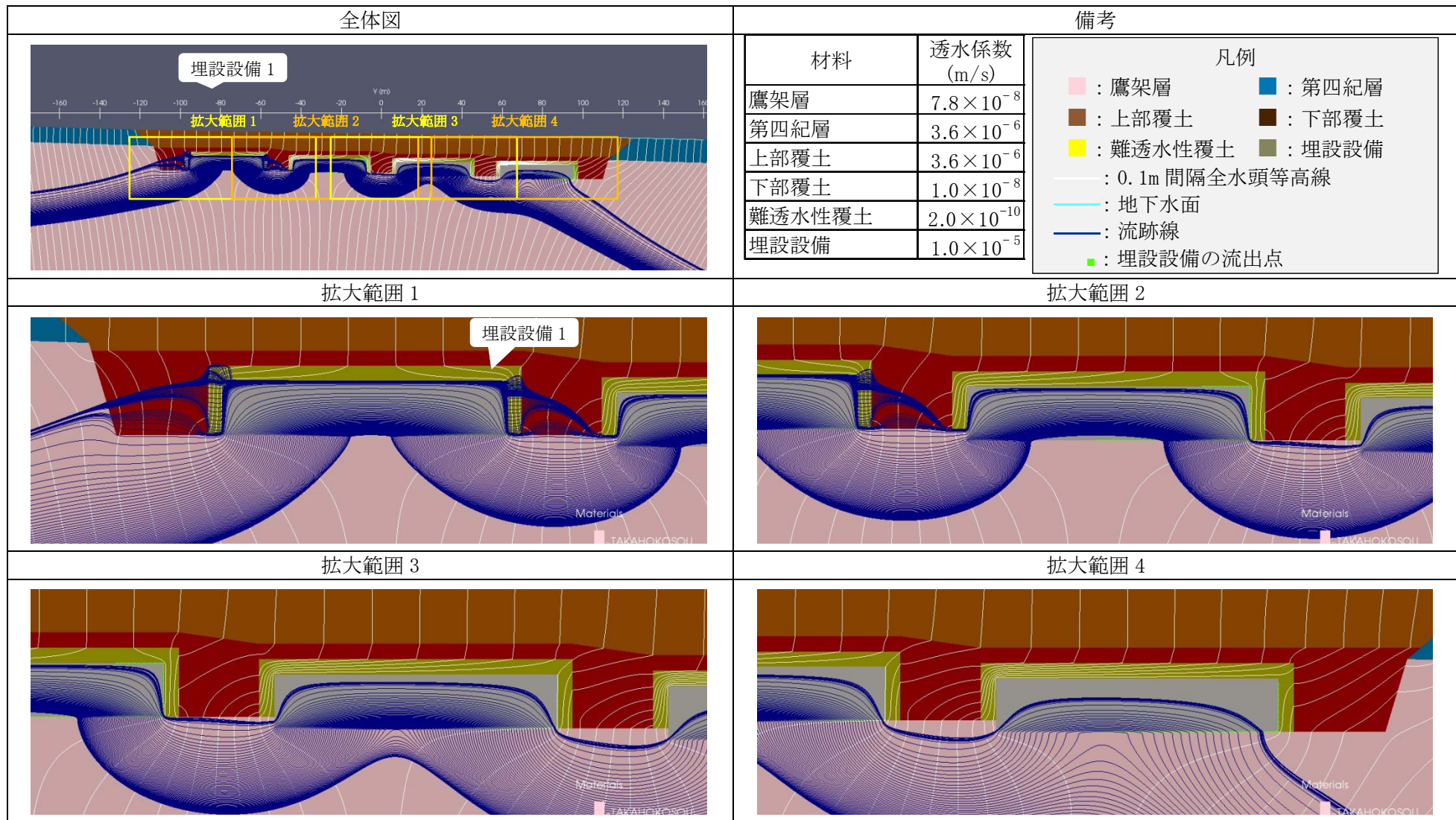
第4図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000年後) (8/9) <埋設設備7の流出点を通る流跡線>



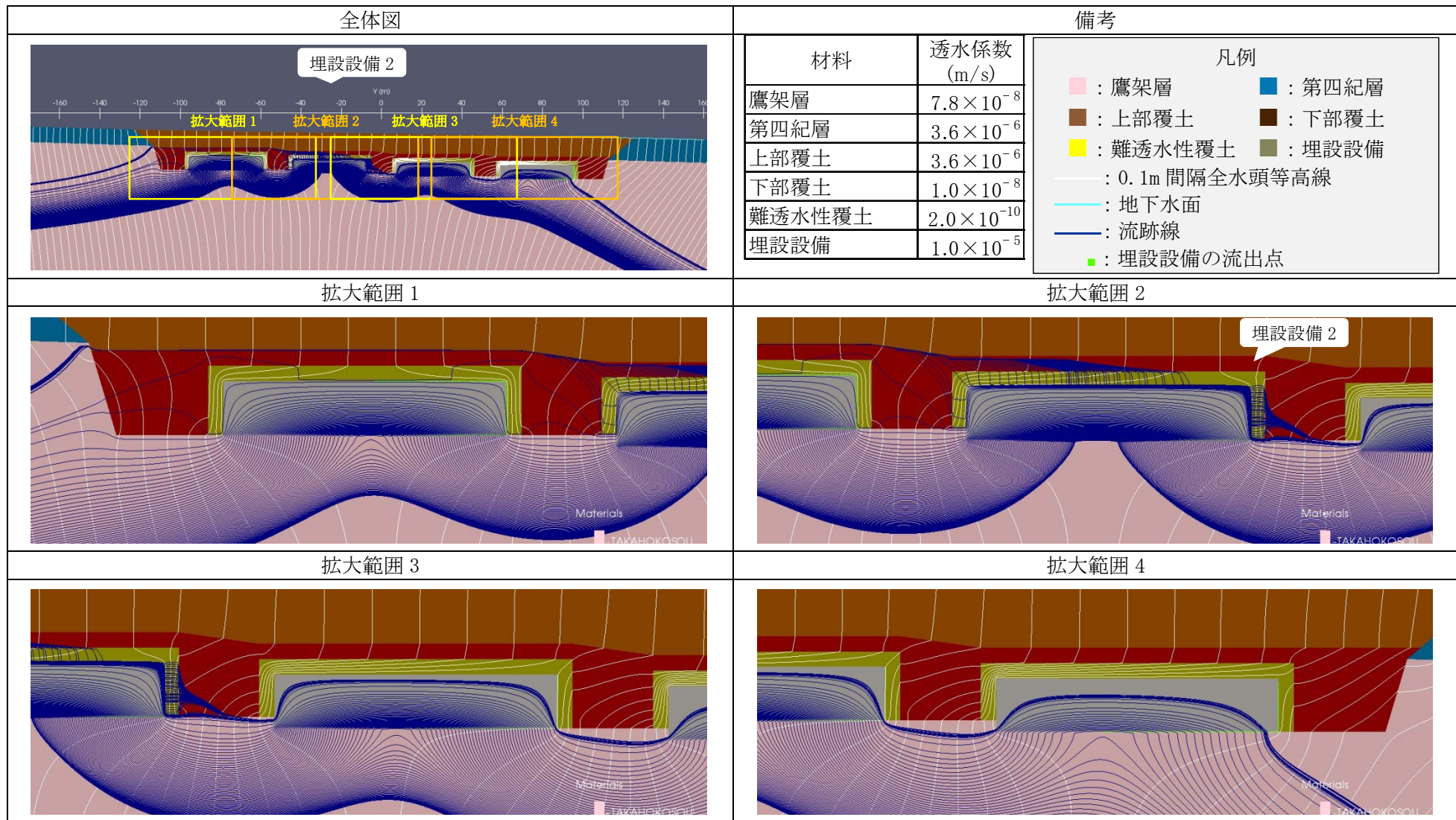
第4図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000年後) (9/9) <埋設設備8の流出点を通る流跡線>



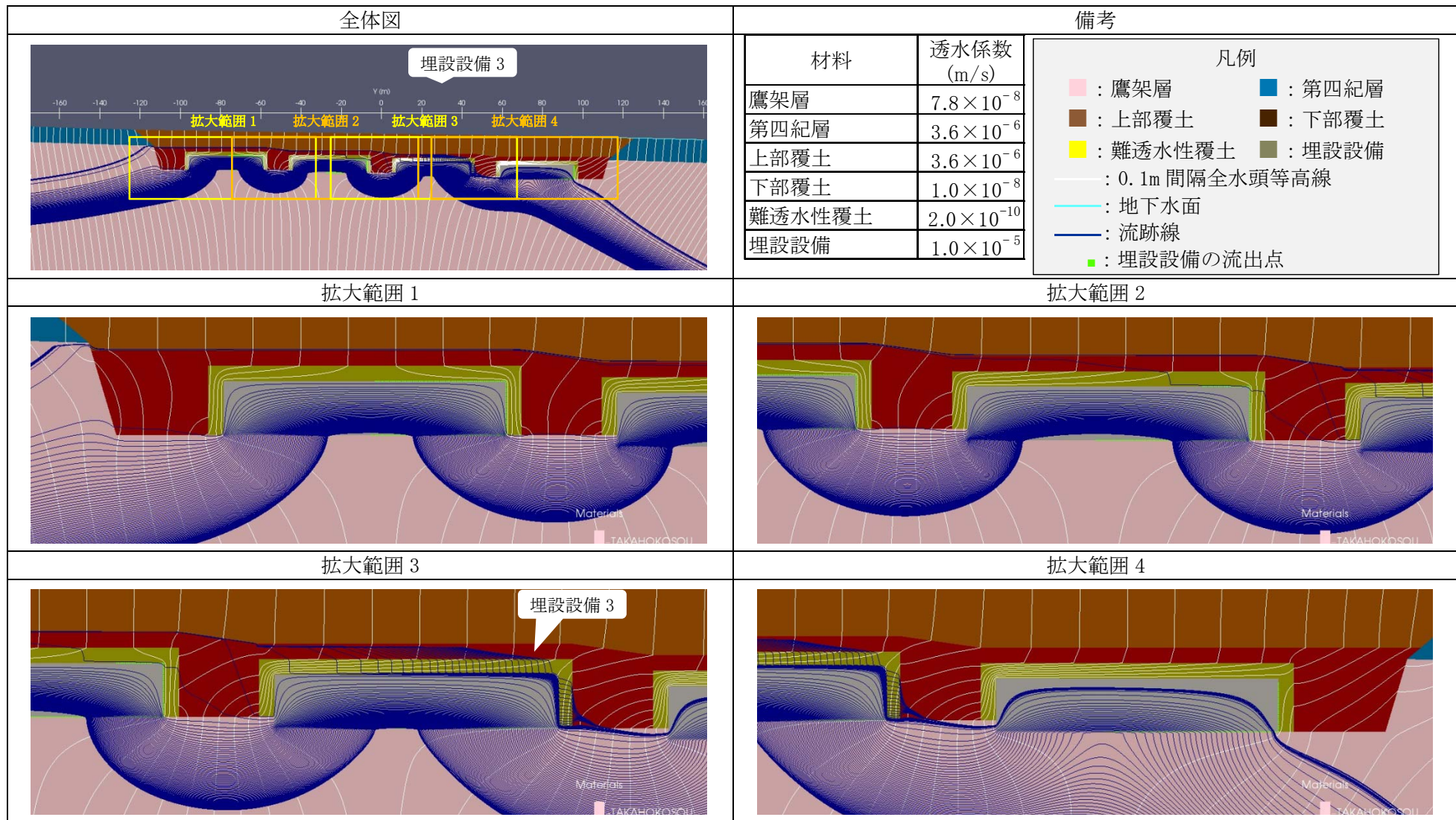
第5図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(確からしい設定 1,000年後) (1/5) <0.1m 間隔全水頭等高線>



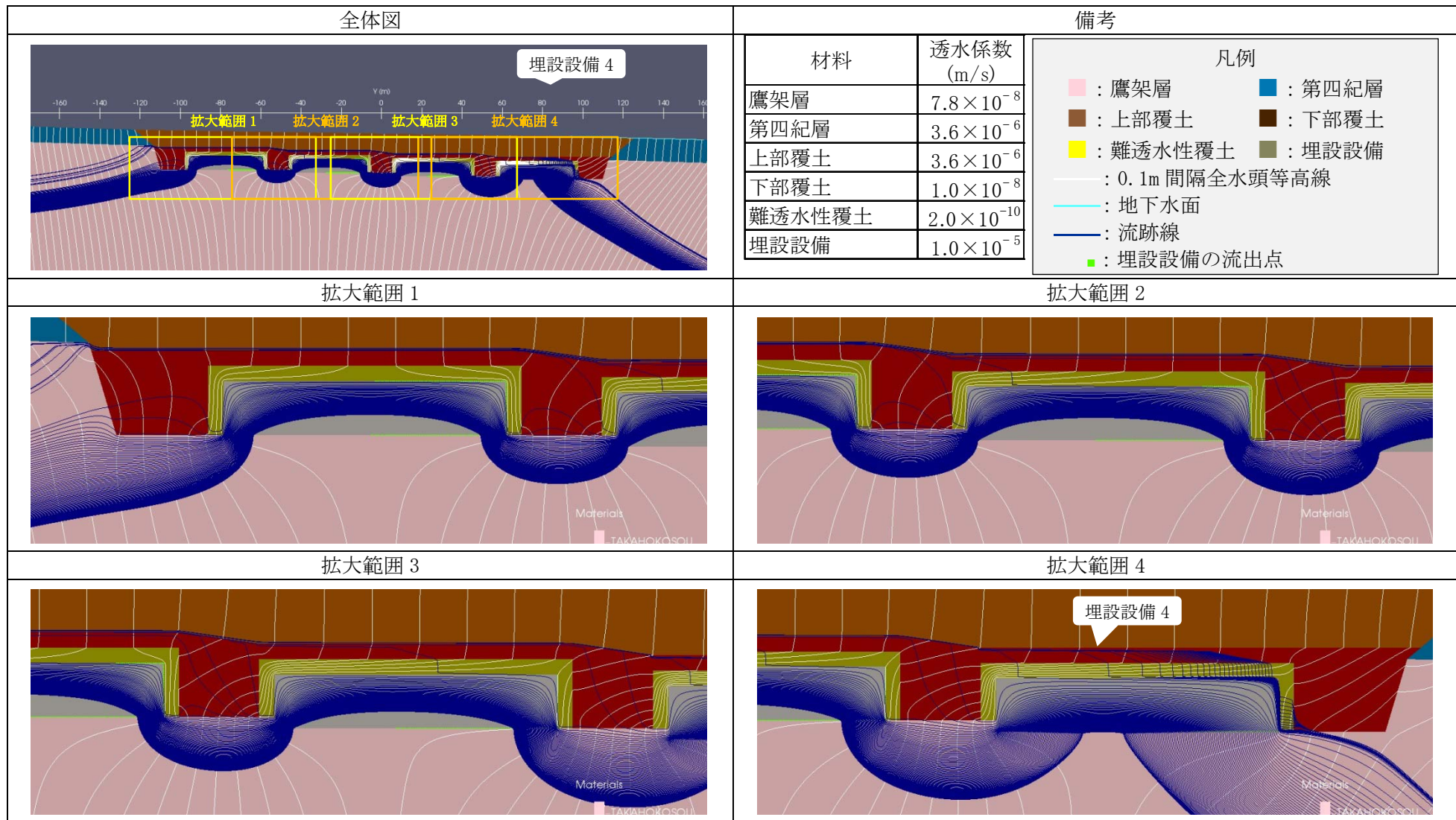
第5図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(確からしい設定 1,000年後) (2/5) <埋設設備1の流出点を通る流跡線>



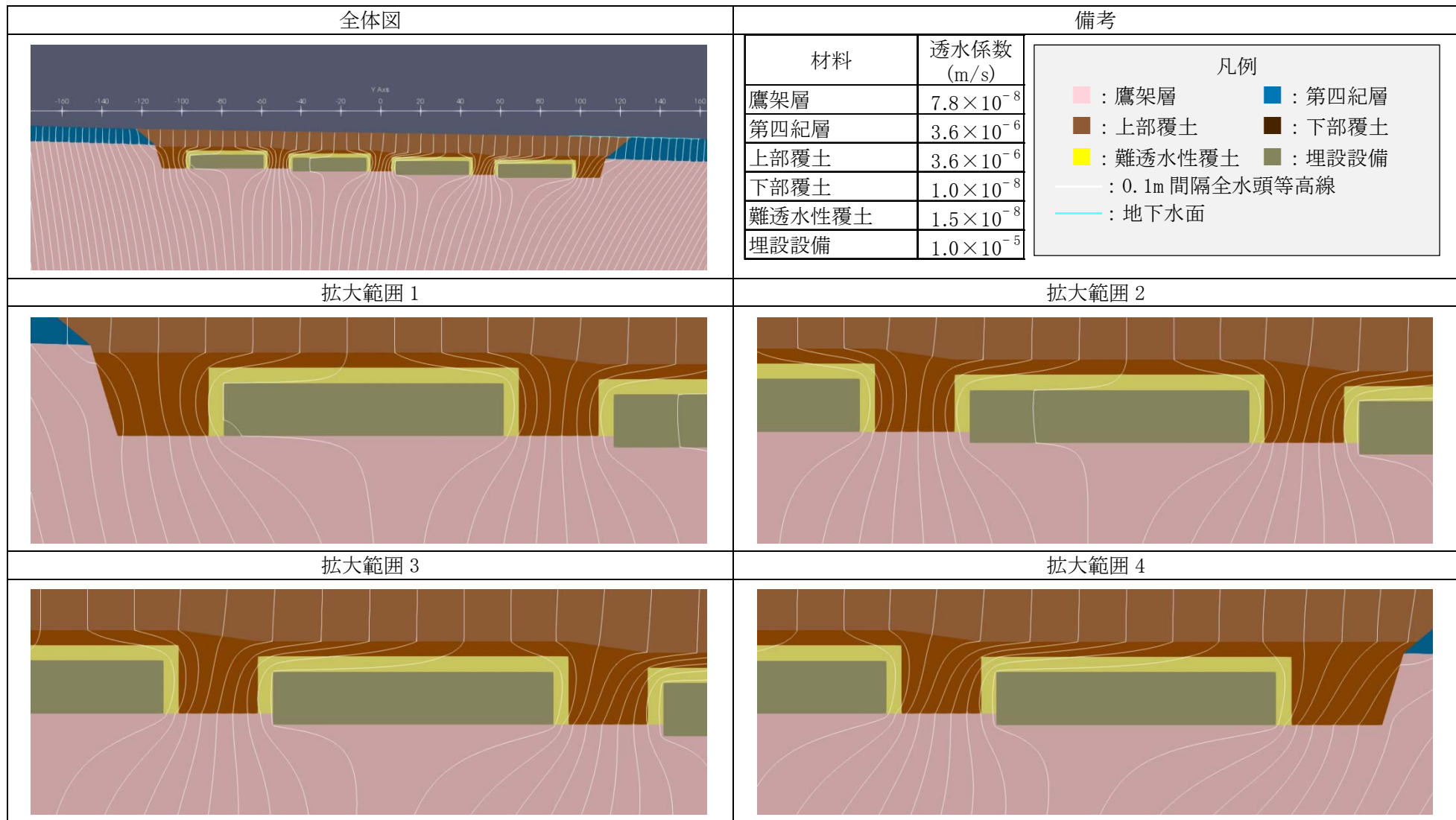
第5図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(確からしい設定 1,000年後) (3/5) <埋設設備2の流出点を通る流跡線>



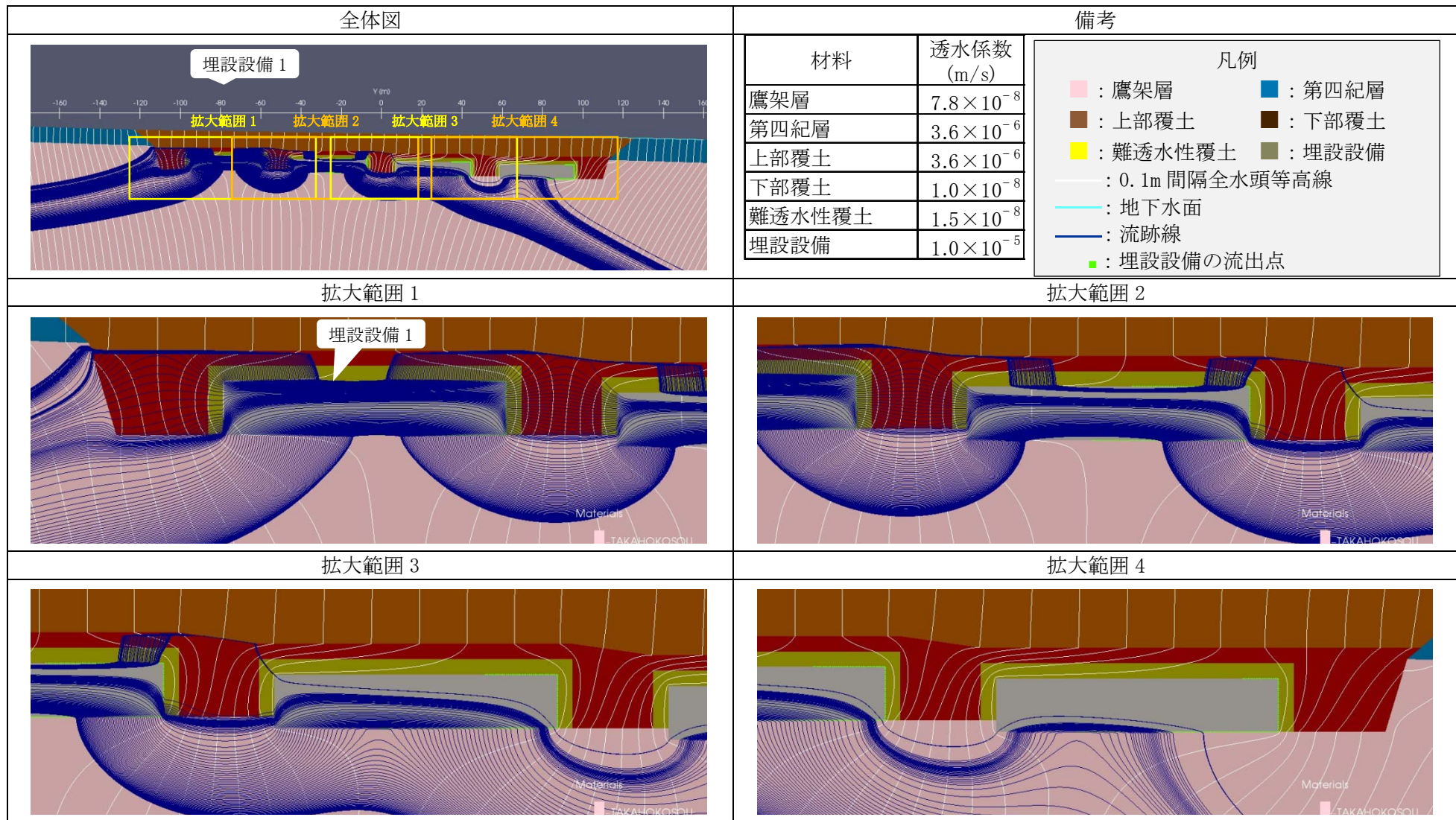
第5図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(確からしい設定 1,000年後) (4/5) <埋設設備3の流出点を通る流跡線>



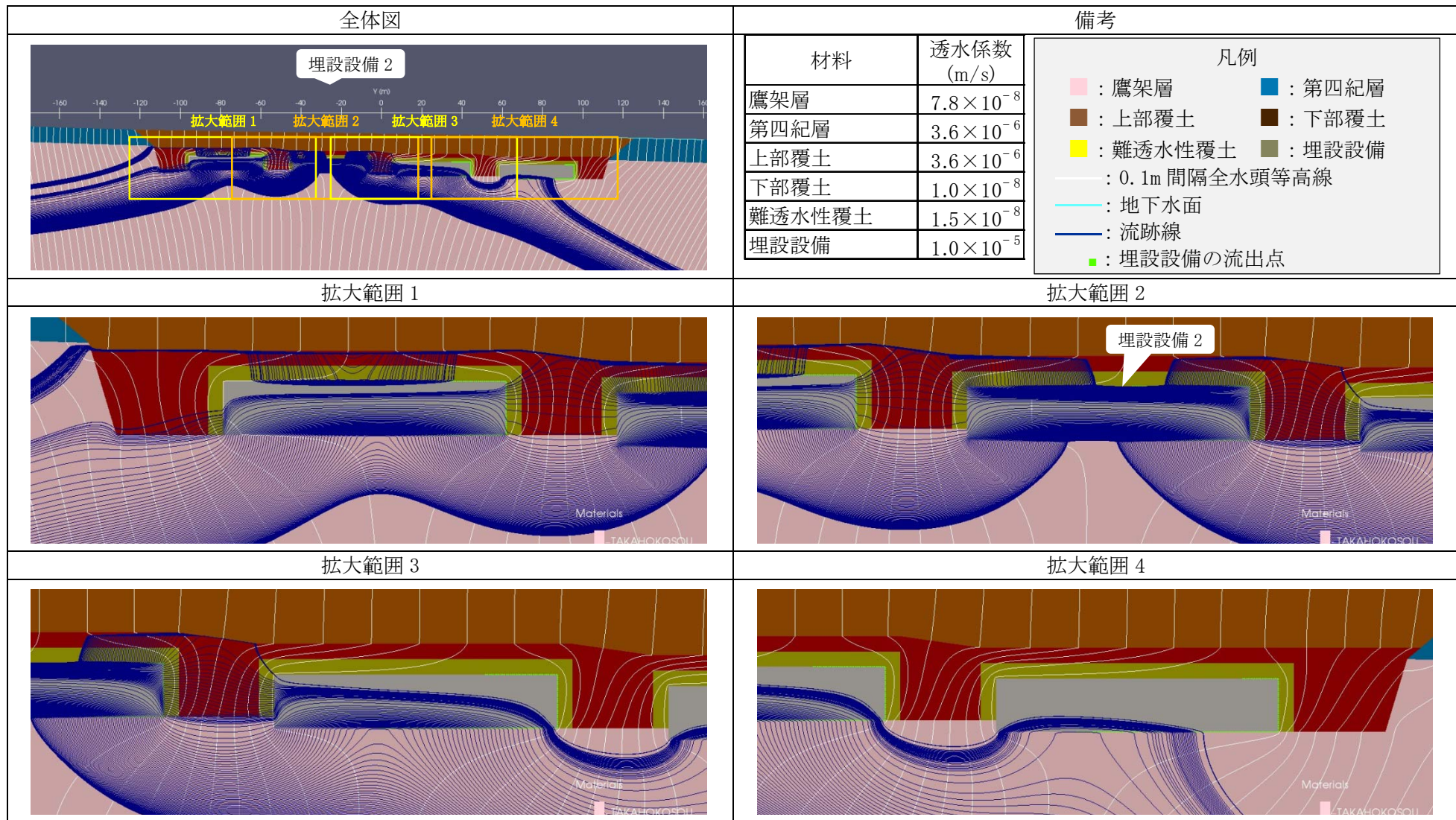
第5図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(確からしい設定 1,000年後) (5/5) <埋設設備4の流出点を通る流跡線>



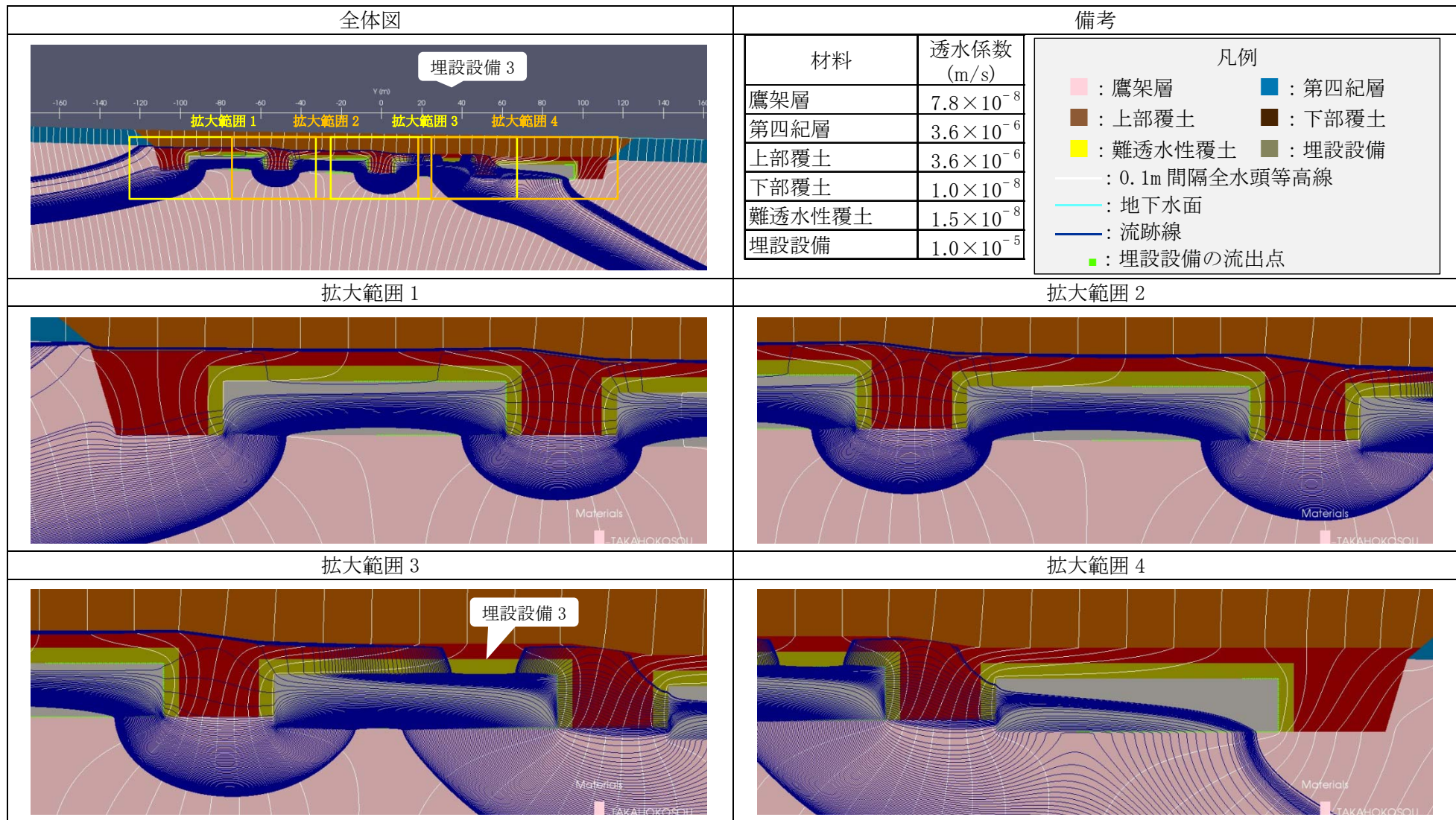
第 6 図 2 次元地下水浸透流解析結果【2 号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000 年後) (1/5) <0.1m 間隔全水頭等高線>



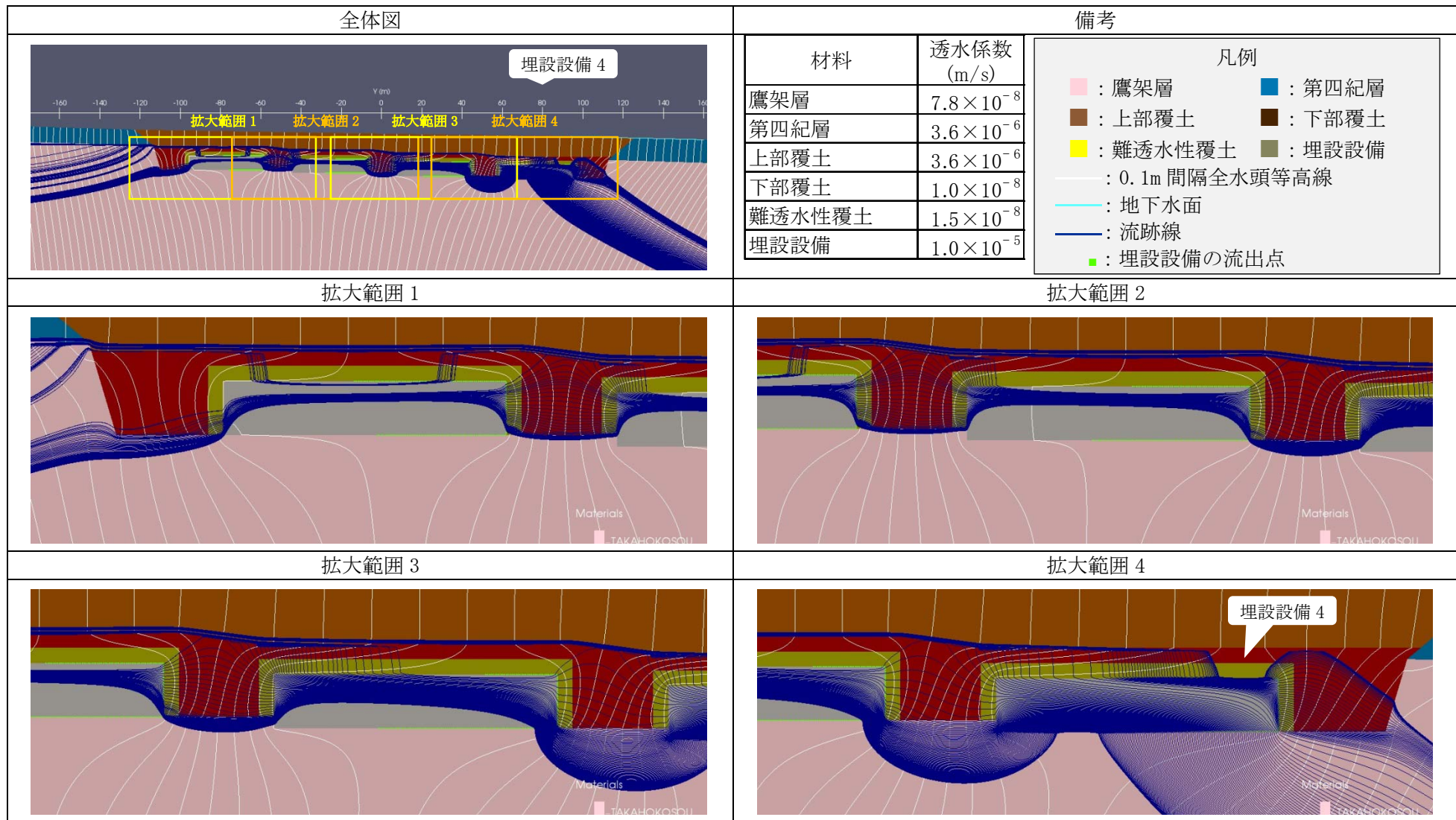
第 6 図 2 次元地下水浸透流解析結果【2 号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000 年後) (2/5) <埋設設備 1 の流出点を通る流跡線>



第 6 図 2 次元地下水浸透流解析結果【2 号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000 年後) (3/5) <埋設設備 2 の流出点を通る流跡線>



第 6 図 2 次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000 年後) (4/5) <埋設設備 3 の流出点を通る流跡線>



第 6 図 2 次元地下水浸透流解析結果【2 号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000 年後) (5/5) <埋設設備 4 の流出点を通る流跡線>

4.9. 水理特性を試験スケールから評価スケールに巨視化する方法

○佐々木泰（日本原燃）・細谷真一（ダイヤコンサルタント）

川原秀二（さいたま Package - D）・浜田憲彦（北陸電力）

1. はじめに

物質移行の予測を行なう際には、透水係数・有効間隙率・分散長などの水理特性が必要となり、これらの特性は各種の試験から設定することが多いが、一般に試験のスケールより評価のスケールの方が大きく、また、地盤には割目や構成する岩の分布に起因する不均質性もあり、これらを考慮した等価な巨視的水理特性を求めるには、原位置試験のスケールでも時間的空間的制約があつて容易に行なえないことが多い。そこで、本報告では割目の影響も考慮して水理特性を試験スケールから評価スケールにモデルを用いて巨視化する手法について検討し、それを、新第三紀中新世の堆積岩に対して適用し、さらに、その結果の一部を検証した例について報告する。

2. 水理特性巨視化手法

2.1 巨視的水理特性

物質移行の支配方程式は例えば1次元移流分散で表せば次式のようにになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \quad (0 \leq x < \infty)$$

ここに、 C は濃度 [mol/m³]、 D は分散係数 [m²/s] ($=\alpha_L v + D_0$)、 α_L は縦方向分散長[m]、 D_0 は自由水中の拡散係数[m²/s]、 v は地下水流速 [m/s]、 x は距離 [m]、 t は時間 [s] である。また、地下水流速 v は透水係数 [m/s] と間隙率 [-] および動水勾配 [-] から決まる。このように、地下水中の物質移行予測を計算により求める場合には、場の特性として、透水係数、有効間隙率、分散長に相当する水理特性が基本的に必要である。場は一般に不均質であり、極力同じ特性を持った領域、言い換えれば極力不確定性が小さくなるような領域に分割して、その領域に対する等価な巨視的特性を求める必要がある。透水係数のようにその値がオーダーで変わり、且、地下水の流れ方向によって値が変わるテンソル量について等価な巨視的特性を求める場合には、試験結果の単純な平均では適切に求められない場合がある。

地盤の透水係数は、試験方法によって測定できるスケールが異なる。ボーリングコアを用いた透水試験では、一般に10cmのスケールの透水係数が求まる。又、数mから10m程度の区間の単孔のボーリング孔を利用した原位置透水試験では、数mから10m程度のスケールの透水係数を求めていることになるが、原位置のスケールでも透水係数はかなりばらつくことが多い。透水係数がばらつく場合、そのばらつき (σ : 透水係数を対数平均した際の対数の状態での標準偏差) と巨視的な透水係数との関係については、既存の報告 (下茂、亀村: 1988) で次の様に整理されている。良く言われるように、図-2の左端に示すような成層地盤の層平行方向の巨視的透水係数は、透水試験結果を算術平均したものが、又、図-2の中央に示すような成層地盤の層に直角方向の巨視的透水係数は、透水試験結果を調和平均したものが適している。一方、透水係数が空間内に不規則に分布する場合の巨視的透水係数は、透水試験結果の算術平均と対数平均 (=幾何平均) との間にある。この場合、透水係数のばらつき(対数平均の標準偏差)が大きくなるほど巨視的な透水係数は大きくなること、理論的に検討されている。(図-1の Dagan 及びクリティカル^os)

また、図-2の右端に模式的に示したような $N \times N \times N$ 個の立方体を積み上げたような地盤に対して、それぞれの立方体の透水係数の値を透水係数のばらつきの分布に合うようにモンテカルロ的にランダムに与えた場合の巨視的な透水係数を求め、透水係数のばらつき(標準偏差)との関係を検討している。

その結果によると、透水係数のばらつき(標準偏差)が 0.2 以下の場合には巨視的透水係数は対数平均(幾何平均)にほぼ等しく、標準偏差が 1.0 前後の場合の巨視的透水係数は対数平均値の数倍、標準偏差が 1.8 以上では巨視的透水係数は対数平均値の 10 倍以上になることが示されていて、理論的検討と、モンテカルロシミュレーションの結果が一致するのは、限られたばらつきの範囲内だけであるとしている。

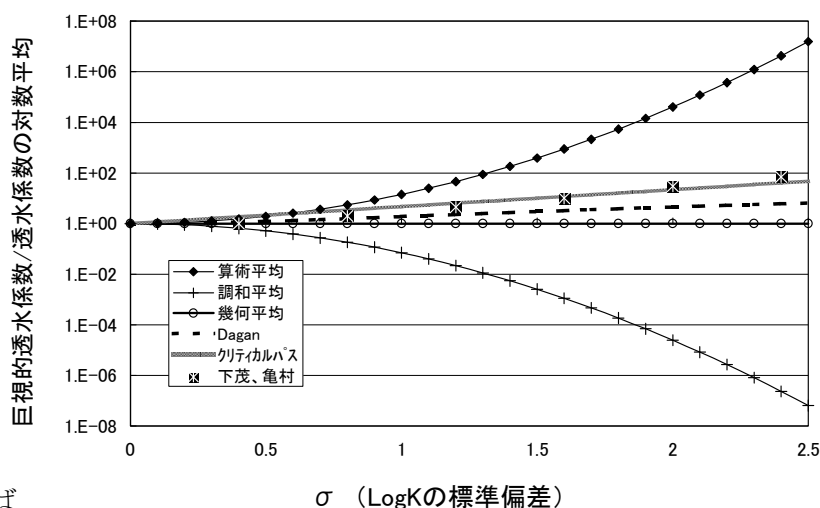


図-1 巨視的透水係数の特徴

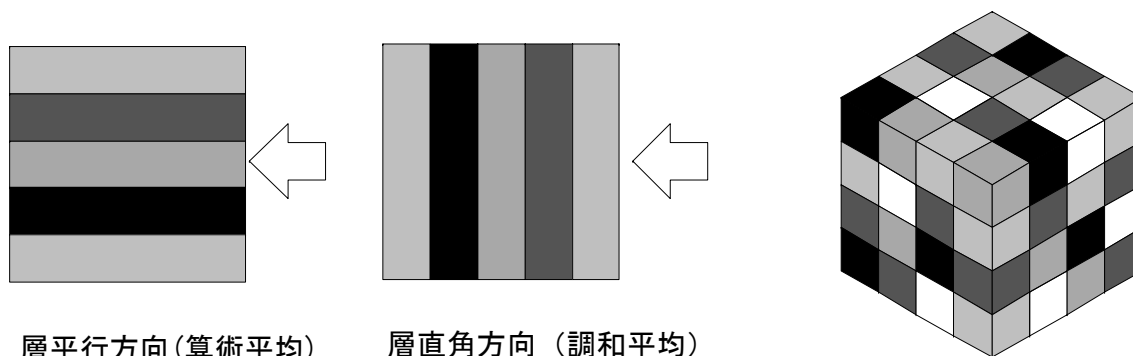


図-2 透水係数の分布モデル

図-2の右端のように、複数実施した原位置透水試験がいずれも等しい空間的スケールの地盤の透水係数を求めていることが確認出来ていれば、 $N \times N \times N$ 個の立方体を積み上げたような地盤の巨視的透水係数と標準偏差との関係は上記の考え方で求めることが出来る。しかし、実施した複数個の透水試験が仮に同一区間長で同じ有効圧力で測定されたものであっても、それらはそれぞれ異なる空間的スケールの地盤を対象とした透水係数を表していることになる。なぜなら、透水係数が大きい部分では試験の影響半径は大きくなるし、高透水な割目がある場合はさらに広い範囲の地盤の透水特性を求めたことになっている。このように、透水試験の対象となった空間的なスケールが一定でない場合には、個々の試験結果を単純に平均することは適切ではない場合もある。そこで、高透水部(割目)が分布するような地盤の、巨視的な透水係数を求める現実的な方法を検討した。

2.2 巨視的水理特性の算出方法

(1) 巨視的水理特性算出の手順

ここでは、岩盤基質部の水理特性は均質とし、水理特性のばらつきは、高透水部(割目)によっ

でのみ生じていると仮定して、これらの高透水部を含んだ巨視的な水理特性の算出を試みる。作業の手順は、まず、ボーリングや掘削面での高透水部（割目）に関する地質観察より、割目の走行・傾斜、長さ、密度分布などを調査し、これらの情報の平均や分散が等しくなるような割目をモンテカルロ的に三次元でモデル化する（図-3）。割目の位置はランダムとする。次に地下水流動の数値計算を行なうため、割目内を平面格子状の管路（チャンネル）でモデル化するとともに、岩盤基質部も立体格子の管路でモデル化し、割目と基質部の管路を接合させて、複合した管路モデルとする。そのモデルに地下水を流し、モデル全断面を通過する流量から等価な巨視的透水係数を求めたり（図-4）、モデルを破過する時間のばらつきから、巨視的分散長や巨視的有効間隙率を求めたり（図-5）した。計算は、3次元の管路網モデルによる地下水流動解析が比較的短時間でモデル化および計算が実施出来るコードとして整備されている「Don-Chan」（埼玉大学渡辺邦夫教授）（田中他 1994）を改良して行なった。

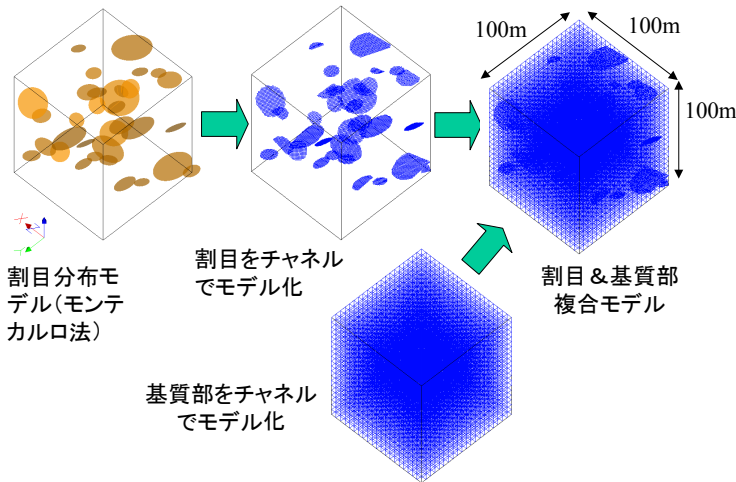


図-3 割目と基質部のモデル化

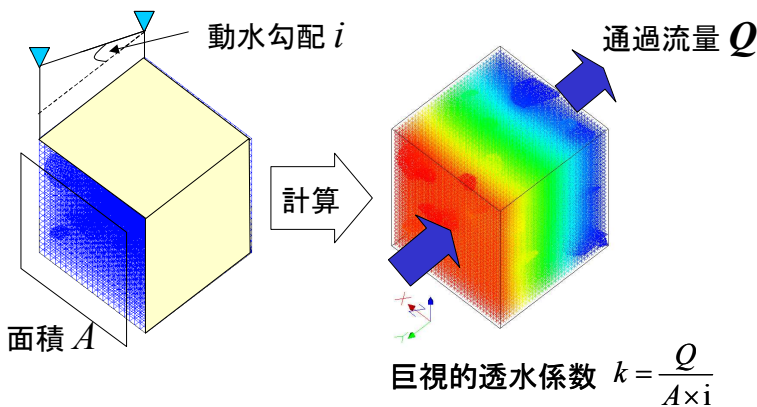


図-4 巨視的透水係数の算出

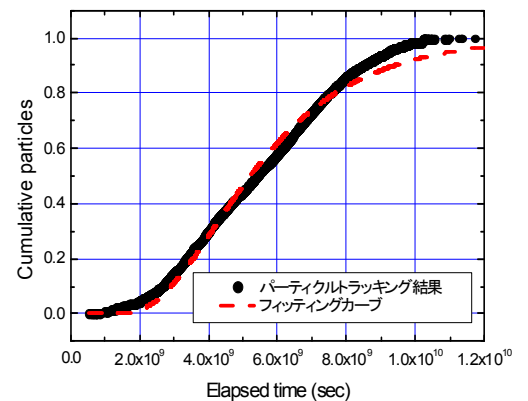


図-5 巨視的有効間隙率・分散長の算出

(2) 割目の方向分布の求め方

割目の方向分布（法線ベクトル分布）は、ボアホールテレビ観察によって測定された個々の割目の走向傾斜から求まる割目の方向分布を基にし、ボアホールテレビ観察の方向が鉛直方向であることから、高角度の割目に遭遇する割合が低くなっていることを補正した。

(3) 割目の半径分布の求め方

割目の半径分布とは、割目の形状を円形と仮定した場合、それぞれの大きさの割目が全体の割目中に占める数の割合を表すものである。本検討では、割目の半径分布がべき分布に従うと仮定する。

べき分布の確率密度関数は式(1)のように表される。

$$f(r) = \beta \cdot r^{-a} \quad (1) \quad \int_{r_{\min}}^{\infty} f(r) dr = 1 \quad (2)$$

ここに、 a はべき乗数、 β は式(2)を満たす定数、 r_{\min} は対象とする割目の最小半径である。べき乗数を求めるには、まず、べき乗数を仮設定してモンテカルロ的に三次元空間に割目を発生させ、割目データを取得した際の地質観察面と同等の観察面をモデル内部に仮想的に設けその仮想観察面に現れる割目のトレース長分布(割目の観察上の長さの累積頻度分布図; 図-6 参照)を作成した。これと実際の地質観察面で得られたトレース長分布とを比較した。同様の手順を複数のべき乗数に対して行い、観察結果と同じようなトレース長分布となるようなべき乗数を試行錯誤で求めた。

(4) 割目の密度の求め方

地質観察面での単位面積当たりの割れ目条数(条/m²)もしくは、ボーリング孔やスキャンラインでの単位長さ当たりの割れ目条数(条/m)と、3次元空間での割目の密度(条/m³)との関係を求める必要がある。この方法は、割れ目の半径分布を求めるときと同様に仮想空間に割れ目を発生させ、その仮想モデル上で、単位面積当たりの割れ目条数もしくは単位長さ当たりの割れ目条数と単位体積当たりの割れ目条数との関係を求めて、これを利用した。

3. 水理特性巨視化の例

3.1 対象地盤の特性

検討対象地盤は、青森県下北半島に分布する新第三紀中新世の鷹架(たかほこ)層であり、粗粒砂岩、軽石凝灰岩、軽石混じり砂岩、礫混り砂岩などからなる。地質観察によれば、これらの地層は割目の少ない岩盤である。割目は、低角度のものが多く、その大きさは1m~10m程度の広がりを持ったものが9割あるいはそれ以上あり(図-6 割目トレース長分布図)、大きい割目はほとんどない。割目の分布密度は、地層や深度により差があること、一部の地層境界付近にやや多い傾向があることなどが分かっている。ボーリング孔内の5~10mの区間で実施した低圧岩盤透水試験(地盤工学会基準 JGS1322-2003)の結果は対数正規分布を示し、その平均値は、1E-8m/sのオーダーであり、岩相や、深度などによって値が異なるので、それぞれ別の水理地質区分に分けることが出来る(石田 2005)。ボーリングコアを用いて実施したトレーサー試験によると、間隙率は30~60%程度である。

3.2 巨視的水理特性の算出

割目の半径分布のべき乗数を求めるため、ポアホールテレビ観察から求まる割目の方向分布を用い、べき乗数を2.7、3.0、4.0の場合の割目モデルをモンテカルロ的に発生させ、割目データを取得した地質観察面と同等の観察面をモデル内部に仮想的に設け、その仮想観察面に現れる割目のトレース長分布を作成した。これと実際の地質観察面で得られたトレース長分布を比較した一例を図-6に示す。この場合、モデルに最も適切なべき乗数は3.0である。また、ポ

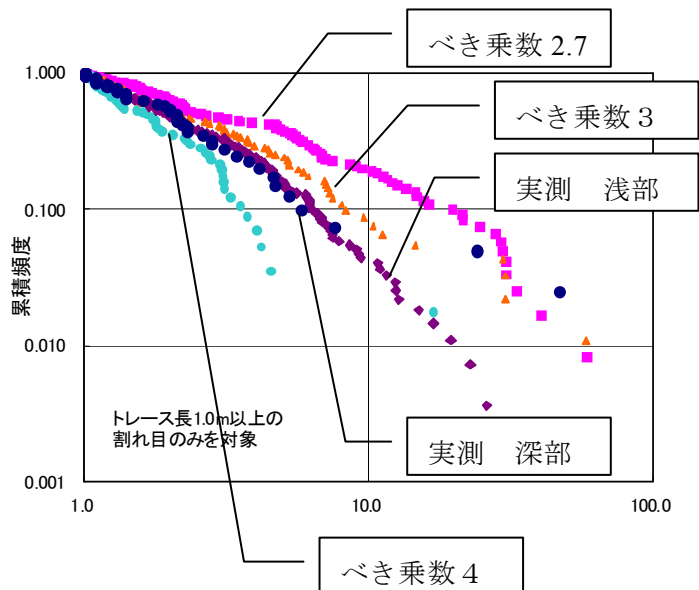


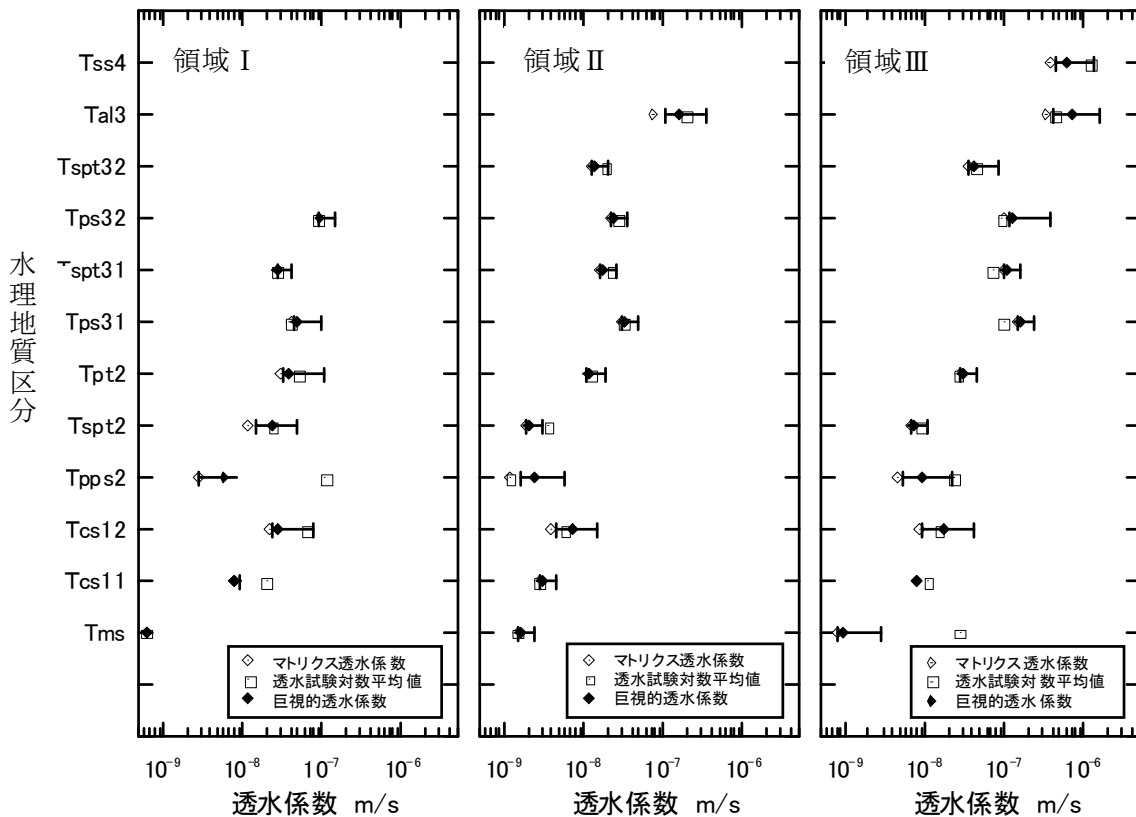
図-6 割目のトレース長分布図

ーリング孔での割目密度は 0.05~1.5 条/10m の場合が大半であったので、これに相当する単位体積当たりの割目密度を求め以下の計算で用いた。作成された割目モデルは割目の連続性が乏しく、岩盤基質中に不連続な割目が分布するモデルとなった。

巨視的水理特性の計算領域は 100m×100m×100m とし、岩盤基質部分については 3m 間隔の立体格子状の管路でモデル化し、その中に、円盤状の高透水性部をモンテカルロ的に発生させた。円盤内には、1m 間隔の平面格子状の管路を発生させ、基質部の管路と結合させた。原位置の透水試験によれば割目の透水量係数の最大値は概ね 5E-6 m²/s 程度であったので、高透水性部の透水係数は 1E-2m/s、開口幅は 0.5mm 相当とした。基質部の透水係数は、ボアホールテレビ観察によって割目が認められなかった試験区間で実施した透水試験結果の対数平均値を用いた。

出来あがったモデルの 1 面から反対側の面に向けて 7% の動水勾配で水を流した時の全流量から巨視的透水係数を求めた。巨視的有効間隙率と巨視的分散長は、巨視的透水係数を求めた後に、同じモデルを用いて求めた。まずモデルの上流側の境界面から大量の仮想粒子（パーティクル）を放出し、それぞれの粒子が下流側の境界面に到達するまでの移行時間分布を求め、ブレイクスルーカーブ（横軸に経過時間を取り、縦軸に累積頻度を表した図；図-5 参照）を作成する。得られたブレイクスルーカーブに移流分散方程式の解をフィッティングさせることによって、実流速と巨視的分散長を求めた。最後に、巨視的透水係数を求めた際のダルシー流束をこの実流速で除することによって巨視的有効間隙率を求めた。

以上の手順に従い、検討対象地盤の各水理地質区分毎の巨視的水理特性を求めた。具体的には、割目密度、割目半径分布、割目最小半径、基質部の透水係数などのパラメータを変化させて、さらにモンテカルロ的に複数個の割目モデルを作成し（リアライゼーション）、巨視的透水係数、巨視的有効間隙率と割目や基質部の特性との関係のデータベースを作成した。それを用いて、個々の水理地質区分の割目や基質部の特性に近い検討ケースを選び出し、巨視的透水係数、巨視的有効間隙率



図一七 巨視的透水係数設定例

を推定した。図-7に巨視的透水係数の算定結果の例を記載する。

発生させる高透水部の密度や大きさの分布によって変動するが、今回のように、連続性の小さい高透水部の影響による巨視的透水係数は、原位置透水試験の標準偏差が1程度のばらつきがあっても、対数平均値とほとんど変わらない場合もあるという結果が得られた(図-1参照)。また、割目の密度が小さい場合には、巨視的透水係数の方が原位置透水試験の対数平均値よりも小さい場合もあることが分かった。これは、一部の割目を含んだ領域で実施した透水試験の結果を、その試験結果を代表している領域のスケールを考慮せずに、他の結果と合わせて単純に平均化したために過大(透水係数がおおきくなるように)に評価されたためと考えられる。また、巨視的有効間隙率は、基質部の間隙率より数%~10%程度低下し、30~60%程度となる場合が多かった。

参照箇所

4. 巨視的水理特性の妥当性検証

検討対象地盤は、評価対象スケールの広さが数km四方、深さが300m程度であり、地下水流動をモデル化するにはその領域をさらに複数の水理地質区分に分割することが適切(石田2005)と考えられている。巨視的水理特性として評価するひとつの水理地質区分の大きさは広さが数百m四方、厚さが数十m程度である。このスケールの巨視的水理特性の妥当性を直接検証するのは容易ではないが、ここでは、巨視的透水係数を空洞への湧水量を利用して検証した例を紹介する。

地表から約100m下に幅2.5m、高さ2.5m、長さ147mの空洞を掘削した。対象地盤は軽石凝灰岩であり、その付近の軽石凝灰岩を対象に実施した原位置透水試験の平均値は $2.9E-8m/s$ 、巨視的透水係数は $3.1E-8m/s$ であった。空洞は鋼製の支保で支えており、吹き付けはなく岩が露出した状態である。空洞掘削後の湧水量は147m全体で38リットル/分で安定した。その際に、空洞真上の地下水面はほとんど低下しなかった。一方、軽石凝灰岩の透水係数を $3.0E-8m/s$ とした場合の3次元地下水流動解析による空洞への湧水量は147mあたり40~45リットル/分程度となり実測とほぼ一致した(守友2005)。

5. まとめと考察

水理特性を試験スケールから評価スケールに巨視化するためのひとつの手法として、割目が水理特性に与える影響を考慮できるモデルを用いて巨視的水理特性の予測を行なった。その結果を用いた解析による地下空洞への湧水量と、実測の湧水量とを比較することにより、巨視的透水係数の設定方法の妥当性を確認した。

参考文献

- 1) 下茂道人、亀村勝美: 測定値における分布を考慮した岩盤の平均透水係数の予測手法について、土木学会、第7回岩の力学国内シンポジウム, pp229-234,1988
- 2) 田中達也、渡辺邦夫、前川恵輔、中村直昭: 地質構造を基礎としたフラクチャーネットワークモデルの開発(その1)一解析の考え方一、応用地質 35巻3号、P.22-33、1994
- 3) 石田裕樹、鶴旨純、中島雅之、本多真(2005): 8.鷹架層の透水、間隙特性,2005年地下水学会秋季大会
- 4) 守友常雄、佐々木泰、白石知成、細谷真一(2005): 16.地下水解析のモデル化の方法,2005年地下水学会秋季大会

難透水性覆土内の地下水中の物質移行状況

1. はじめに

本資料は、難透水性覆土内の地下水中の物質移行状況について説明するものである。

埋設設備を通過する地下水は、概して水平面より斜め下方に向かって流れることが、既往の調査データや地下水浸透流解析の結果から判っている。

本資料では、難透水性覆土内の地下水中の物質移行状態を把握するため、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際に実施した鉛直断面 2 次元地下水浸透流解析結果を用いて、難透水性覆土内のペクレ数を求め、これを指標として、地下水中の物質移行状態を確認した。

なお、難透水性覆土は、ベントナイトと砂（三沢砂森産砂）を質量比 3 : 7 で配合した材料を用いることを前提として検討を行った。

以下、確認方法及び結果について説明する。

2. 確認方法

(1) ペクレ数の計算式と物質移行の状態の指標

ペクレ数は、以下の(式 1)で求められ、 P_e が 0.4 以下の場合には分子拡散が支配的であり、0.4 ~ 5 の場合は、分子拡散と機械的分散が同程度であり、5 より大きい場合は機械的分散が支配的であるといわれている（日本地下水学会(2009年6月)：地下水とレーザー試験, pp158)。

地下水中の物質移行状態の確認は、以上の知見を基に、保守的*1にペクレ数(P_e)が 0.1 より小さい場合を分子拡散が支配的な水理場、0.1 以上の場合を機械的分散の影響がある水理場と区分する。

$$P_e = \frac{Ud}{D_M} \text{----- (式 1)}$$

P_e : ペクレ数

U : 平均間隙流速 (m/s)

$$= \frac{V}{n_e}$$

V : ダルシー流速 (m/s)

n_e : 有効間隙率 (-)

d : 代表長さ (m)

= 一般的に多孔質媒体を構成する土粒子の平均粒径

D_M : 多孔質媒体中の分子拡散係数 (m²/s)

*1 移流場のペクレ数の範囲が広がる側。

(2) 入力パラメータ

(i) ダルシー流速(V)

ダルシー流速の入力値は、断面 2 次元地下水浸透流解析結果における難透水性覆土内の要素の要素内平均ダルシー流速の大きさとした。

第 1 表には、本検討で確認した断面 2 次元地下水浸透流解析のケースとそのパラメータの概要を示す。

第 1 表 2 次元地下水浸透流解析のケースとパラメータの概要

計算ケース		モデル化 時期	透水係数(m/s)					
			鷹架層	第四紀層	上部覆土	下部覆土	難透水性覆土 (等価透水係数)	埋設設備
3号廃棄物 埋設地	確からしい設定	1,000年後	5.0×10^{-8}	3.0×10^{-6}	3.0×10^{-6}	1.0×10^{-8}	2.0×10^{-10}	1.0×10^{-5}
	厳しい設定	1,000年後	5.0×10^{-8}	3.0×10^{-6}	3.0×10^{-6}	1.0×10^{-8}	1.5×10^{-8}	1.0×10^{-5}
1号廃棄物 埋設地	確からしい設定	1,000年後	1.1×10^{-7}	2.5×10^{-6}	2.5×10^{-6}	1.0×10^{-8}	2.5×10^{-9}	1.0×10^{-5}
	厳しい設定	1,000年後	1.1×10^{-7}	2.5×10^{-6}	2.5×10^{-6}	1.0×10^{-8}	3.0×10^{-9}	1.0×10^{-5}
2号廃棄物 埋設地	確からしい設定	1,000年後	7.8×10^{-8}	3.6×10^{-6}	3.6×10^{-6}	1.0×10^{-8}	2.0×10^{-10}	1.0×10^{-5}
	厳しい設定	1,000年後	7.8×10^{-8}	3.6×10^{-6}	3.6×10^{-6}	1.0×10^{-8}	1.5×10^{-8}	1.0×10^{-5}

(ii) 有効間隙率(n_e)

難透水性覆土の有効間隙率は、申請書添付書類六の添 6 ニ-第 9 表の難透水性覆土の間隙率とした($\epsilon_b=0.40$)。

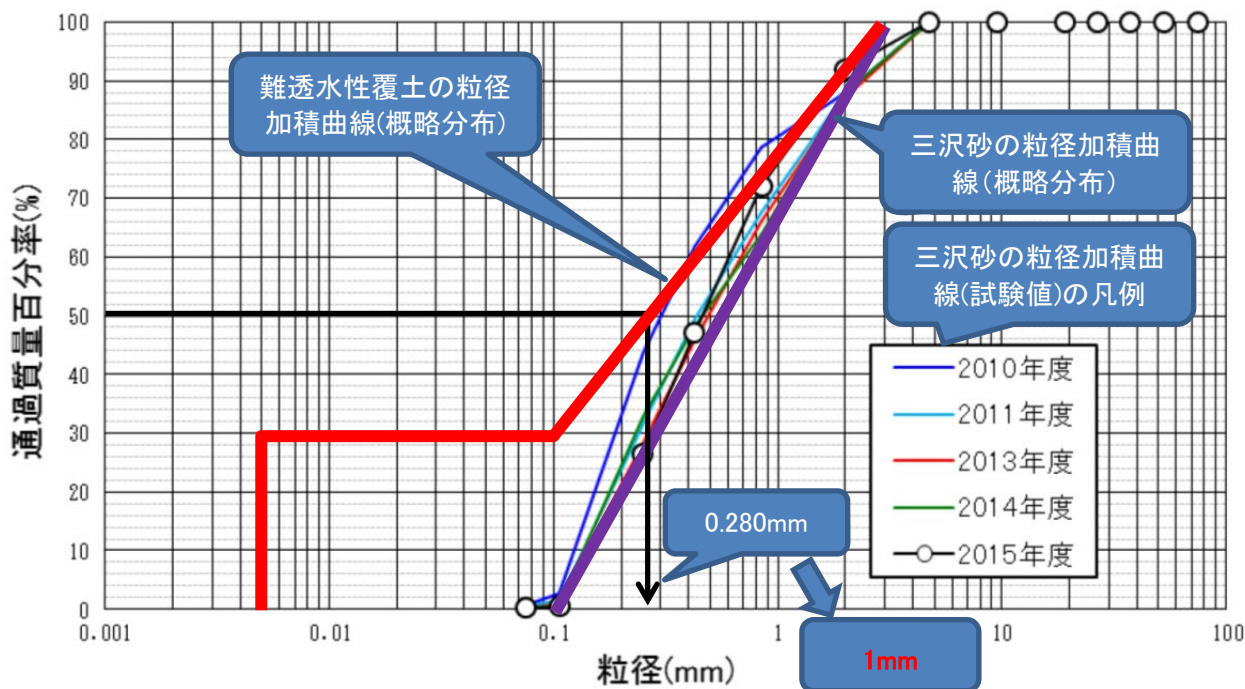
(iii) 代表長さ(d)

代表長さは、一般的に多孔質媒体を構成する土粒子の平均粒径(D_{50})が用いられている。

難透水性覆土の平均粒径は、三沢砂の粒径加積曲線の概略分布(第 1 図の紫太線)に粘土分 30%を重ね合わせた分布(第 1 図の赤太線)から求めた 0.280mm をオーダー単位で切上げた 1mm を入力値とした。

(iv) 多孔質媒体中の分子拡散係数(D_M)

多孔質媒体中の分子拡散係数は、申請書添付書類六の添 6-ニ第 9 表の難透水性覆土の実効拡散係数($De_b=1.0 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$)を入力値とした。



第1図 難透水性覆土の粒径加積曲線

3. 結果

難透水性覆土内の地下水中の物質移行状態を確認した結果を、別紙のペクレ数分布に示す。

難透水性覆土内の地下水中の物質移行状態は、別紙に示すように、確認した全ケースにおいてペクレ数が0.1よりも小さいことから、分子拡散が支配的な水理場であると考ええる。

なお、第2表には2次元地下水浸透流解析より求めた埋設設備から埋設設備に接する各材料への流出水量を参考に示す。難透水性覆土への流出水量は、おおむね確からしい設定よりも厳しい設定で大きい傾向がある。これは第1表に示した難透水性覆土の透水係数の大小関係にも整合する。また、別紙のペクレ数分布において、確からしい設定ではペクレ数0.01未満の範囲が大半を占めるが、厳しい設定では0.01以上0.1未満の範囲が確からしい設定よりも広がっている。

以上から、難透水性覆土内の地下水中の物質移行状態は、難透水性覆土の透水係数の大きさに影響され、今回検討した難透水性覆土においては、最大の透水係数 $2.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ のケースにおいてもペクレ数が0.1未満を示すことから、分子拡散が支配的な水理場であると考ええる。

第2表 埋設設備から埋設設備に接する各材料への流出水量

計算ケース	モデル化時期	設定動水勾配(%)	降雨浸透量(mm/y)	埋設設備から各材料への流出水量(m ³ /y)			埋設設備から各材料への流出水量の比率(%)					
				難透水性覆土	鷹架層	群間充填材	合計	難透水性覆土	鷹架層	群間充填材	合計	
3号廃棄物埋設地	確からしい設定	1,000年後	3.0	310	6	624		630	1%	99%		100%
	厳しい設定	1,000年後	3.0	310	371	653		1,024	36%	64%		100%
1号廃棄物埋設地	確からしい設定	1,000年後	3.0	310	129	1,751	231	2,112	6%	83%	11%	100%
	厳しい設定	1,000年後	3.0	310	147	1,753	232	2,132	7%	82%	11%	100%
2号廃棄物埋設地	確からしい設定	1,000年後	3.0	310	20	892		912	2%	98%		100%
	厳しい設定	1,000年後	3.0	310	341	890		1,231	28%	72%		100%

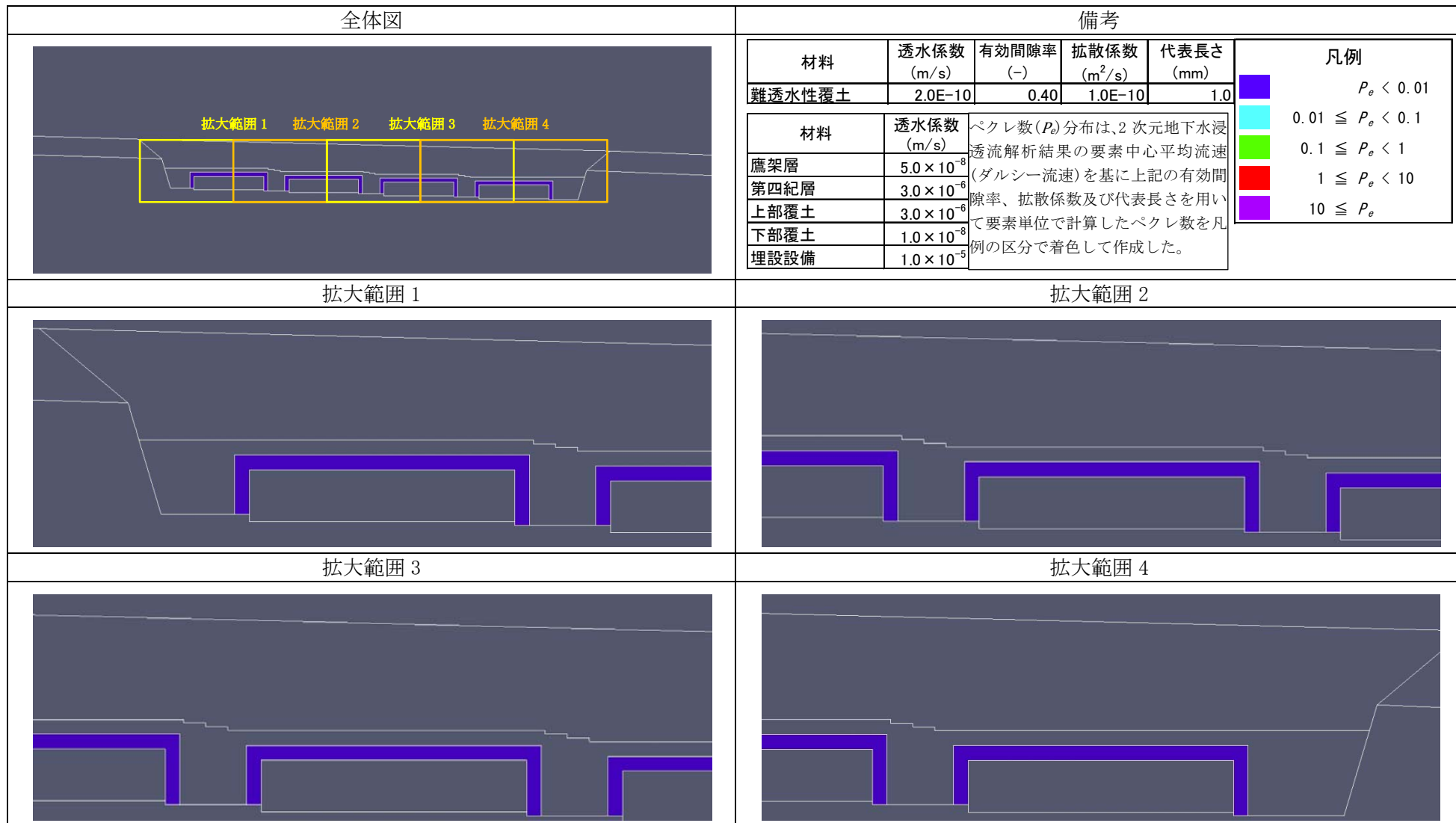


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(1/6)【3号廃棄物埋設地】(確からしい設定 1,000年後)

別紙

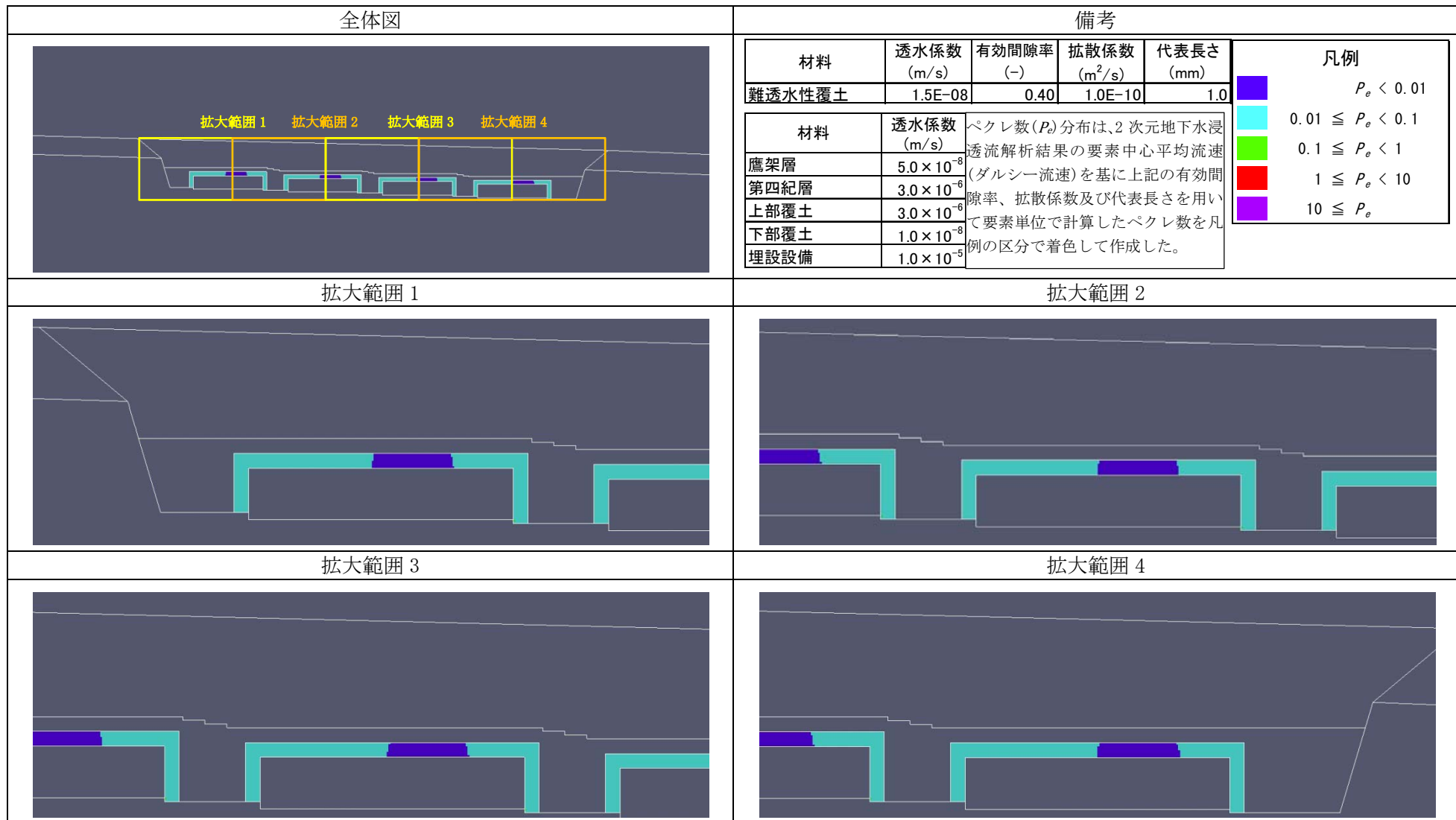


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布 (2/6) 【3号廃棄物埋設地】(厳しい設定 1,000年後)

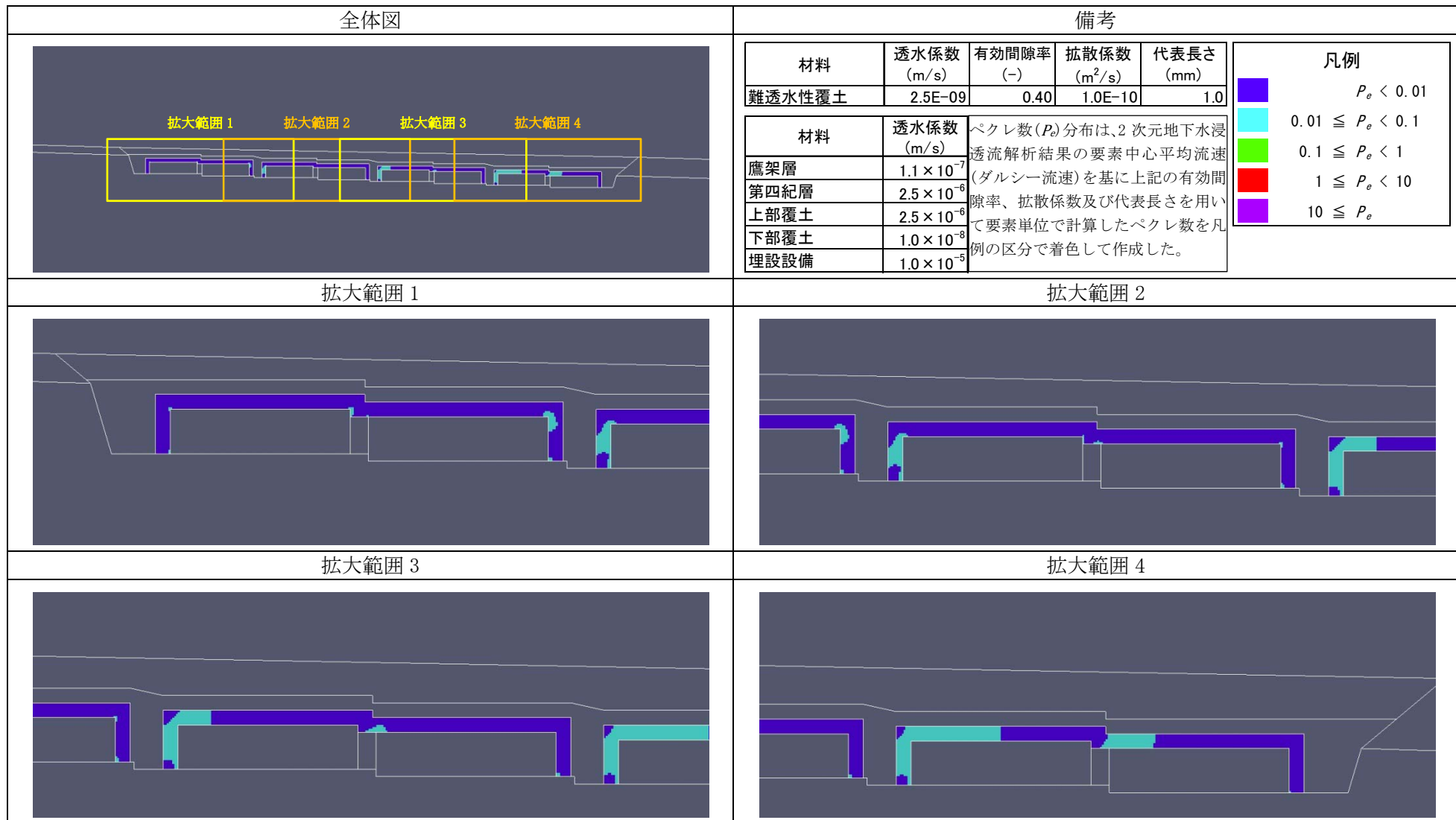


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(3/6) 【1号廃棄物埋設地】(確からしい設定 1,000年後)

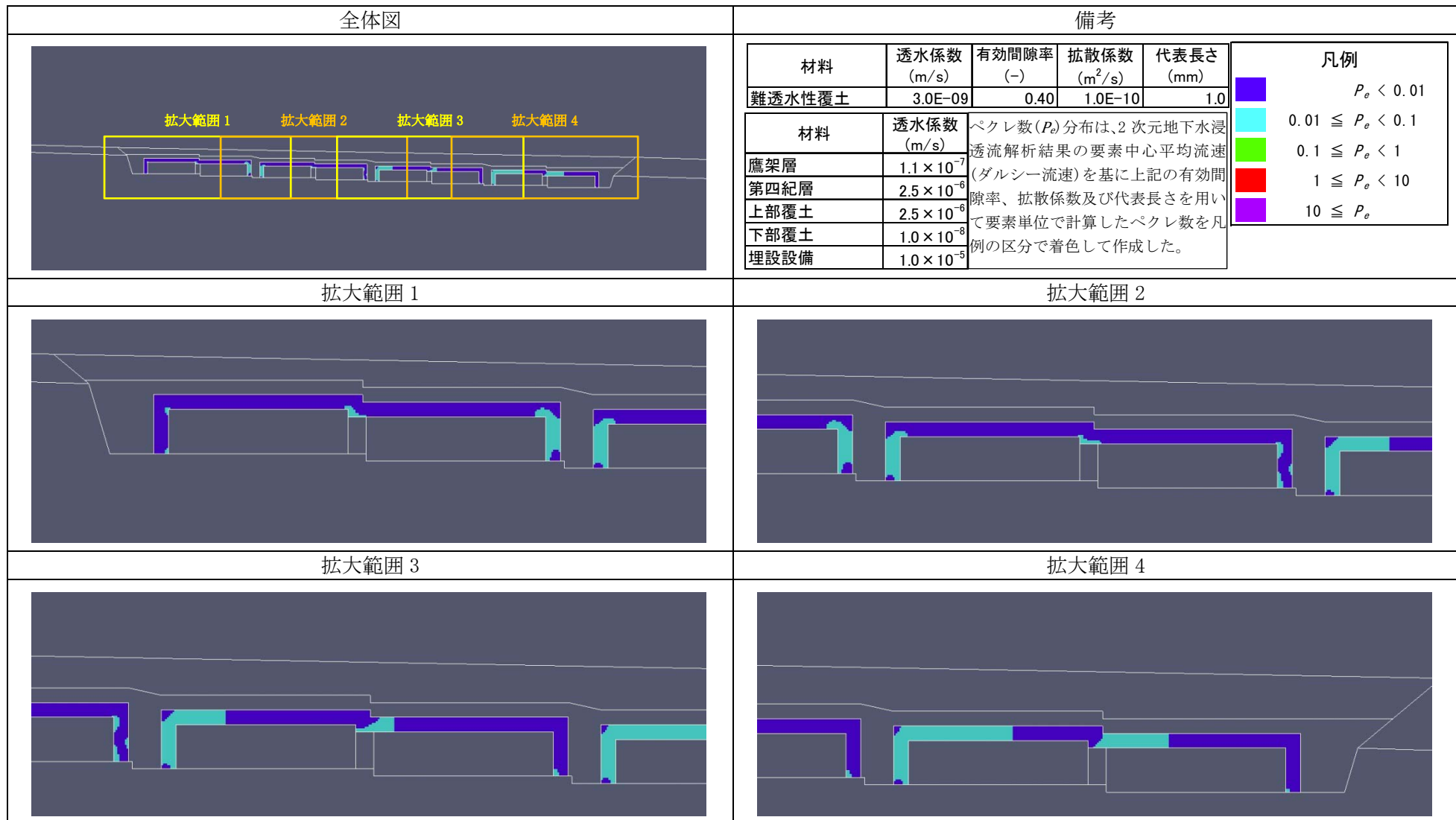


図 難透水性覆土内のペクレ数 (P_e) 分布 (4/6) 【1号廃棄物埋設地】 (厳しい設定 1,000年後)

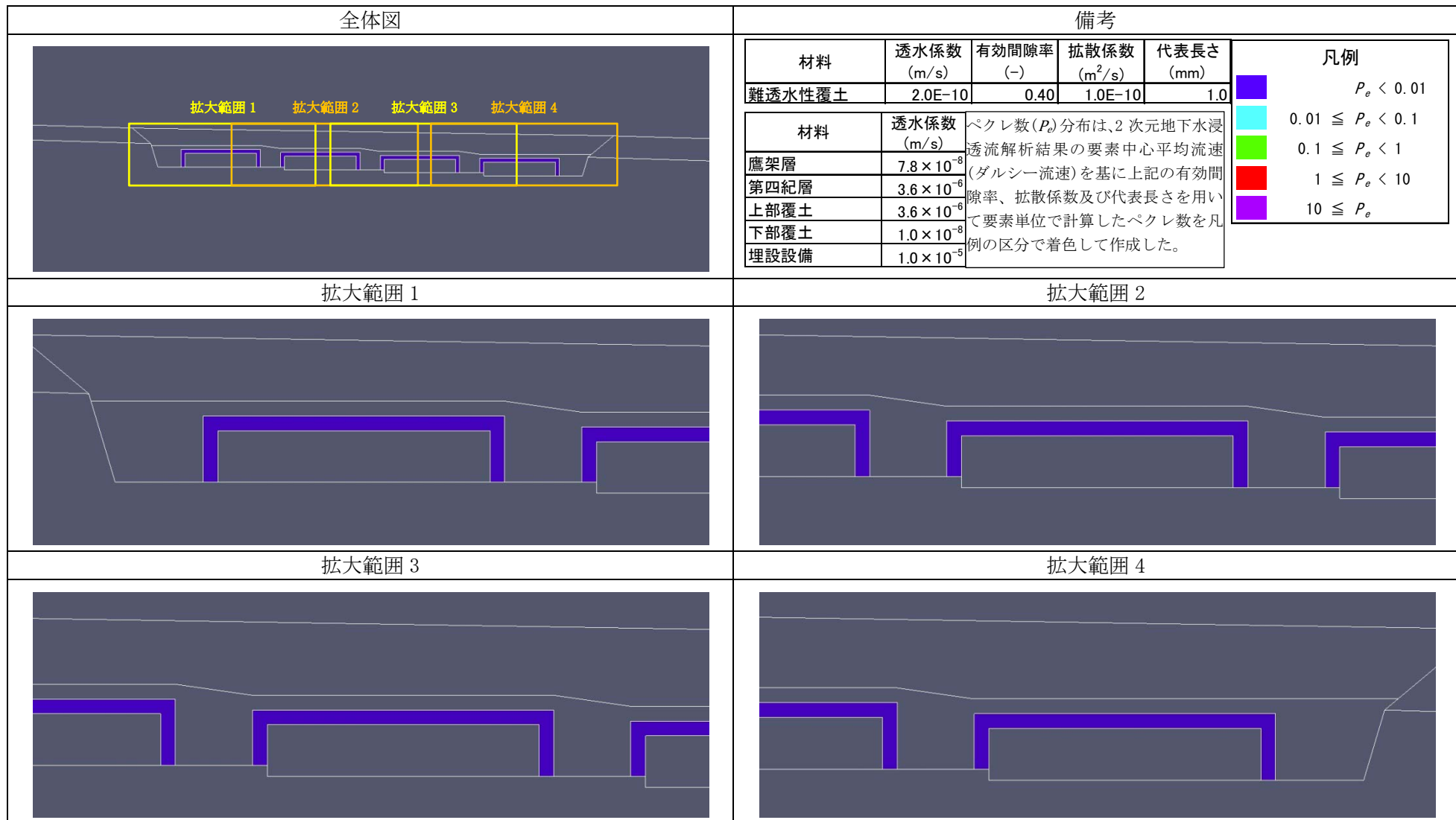


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(5/6)【2号廃棄物埋設地】(確からしい設定 1,000年後)

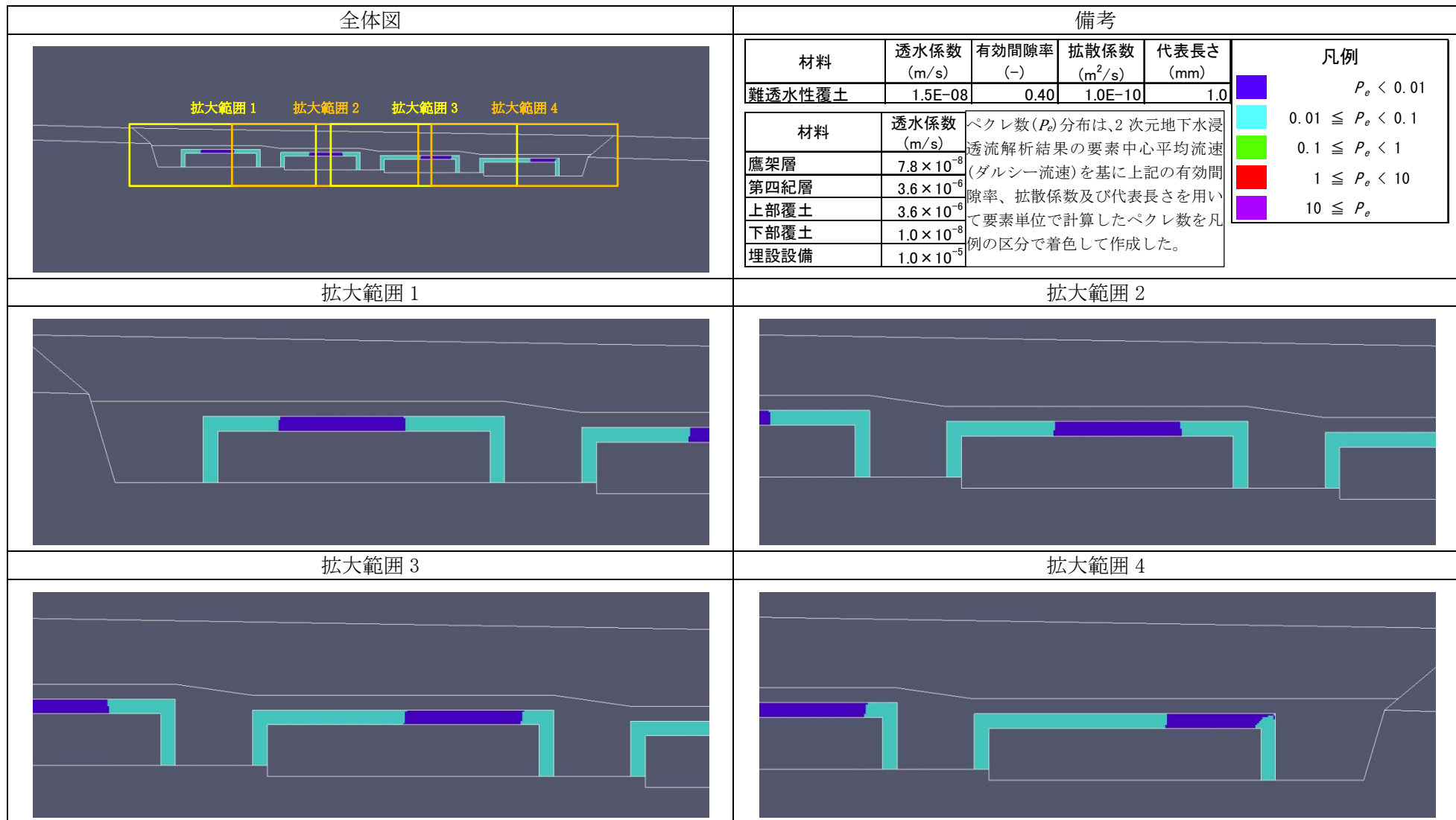


図 難透水性覆土内のペクレ数 (P_e) 分布 (6/6) 【2号廃棄物埋設地】 (厳しい設定 1,000年後)

既申請と 2 次元地下水浸透流解析による埋設設備からの流出水量について

埋設設備から覆土への流出水量 $Q_{co}(t)$ 及び鷹架層への流出水量 $Q_{go}(t)$ の計算モデルを既申請の計算モデルから変更した（1次元式から2次元地下水浸透流解析に変更した。）。それにあわせて計算に用いる透水係数も変更した。その結果、埋設設備からの鷹架層への流出水量を既申請よりも更に保守的^{*7}になるように大きい値に設定した（第1表参照）。本資料は、この経緯と既申請の鷹架層への流出水量が保守的^{*7}な値であることを説明するものである。以下にこれを説明する。

既申請における埋設設備からの流出水量の計算モデル(1次元式)は、第1図に示すように、埋設設備全体を1つの領域として考え、その領域から流出する地下水の流出水量を埋設設備からの流出水量としている。これは、埋設設備内に流入した地下水中に放射性物質が速やかに溶解・拡散し、分配平衡状態となる考えに基づいている。

本申請における埋設設備からの流出水量の計算モデル(2次元地下水浸透流解析)は、第2図(a)に示すように各埋設設備から流出する地下水の水量の合計であり、1次元式よりも地下水が通過する断面積が大きいことから、流出水量も大きくなっている。この場合、上流側の埋設設備から流出した放射性物質を含む地下水と下流側の埋設設備から流出した放射性物質を含む地下水の流出水量は、別々に集計されるモデルとなっている。

一方、本申請においても既申請と同様に埋設設備内に流入した地下水中に放射性物質が速やかに溶解・拡散し、分配平衡状態となる考えを踏襲している。

既申請のような分配平衡状態を想定する場合、埋設設備からの流出水量の集計方法は、第2図(b)に示すように上流側の埋設設備から流出した地下水が下流側の埋設設備に流入した場合に流出水量として集計しない方法が適切である。この集計方法で計算した埋設設備から鷹架層への流出水量は、第1表の再流入集計なしの値であり、既申請よりも小さい値となった。

以上から、埋設設備から鷹架層への流出水量について、本申請の値は既申請よりも保守的^{*7}に設定しているが、再流入集計なしよりも既申請の方が大きいことから、既申請の値は保守的^{*7}であると考ええる。

なお、本申請における埋設設備から覆土への流出水量は、第1表に示すように既申請よりも小さい値もあるが、2次元地下水浸透流解析の結果(添付資料3参照)の流跡線から、埋設設備から流出する地下水は、廃棄物埋設地から流出するまでには全て鷹架層へ移行することから0である。本申請では保守的^{*7}に埋設設備から覆土へ流出水量を0ではない値として埋設設備から難透水性覆土へ流出する地下水の水量とした。

第1表 2次元地下水浸透流解析による方法と既申請の埋設設備からの流出水量の比較^{*1}

計算モデル	流出水量集計方法	ケース	埋設設備からの流出水量(m ³ /y) ^{*6}					
			3号廃棄物埋設地		1号廃棄物埋設地		2号廃棄物埋設地	
			$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}	$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}	$Q_{co}(t)$ ^{*2}	$Q_{go}(t)$ ^{*3}
2次元地下水浸透流解析 ^{*4}	再流入集計あり	確からしい設定	10	630	130	2,200	20	920
		厳しい設定	510	1,500	150	2,200	350	1,300
	再流入集計なし	確からしい設定	10	240	20	440	10	320
		厳しい設定	120	580	20	450	60	530
1次元式 ^{*5}	-	既申請	-	-	80	600	60	600

*1 ■:本申請における線量評価パラメータ

*2 埋設設備から覆土への流出水量

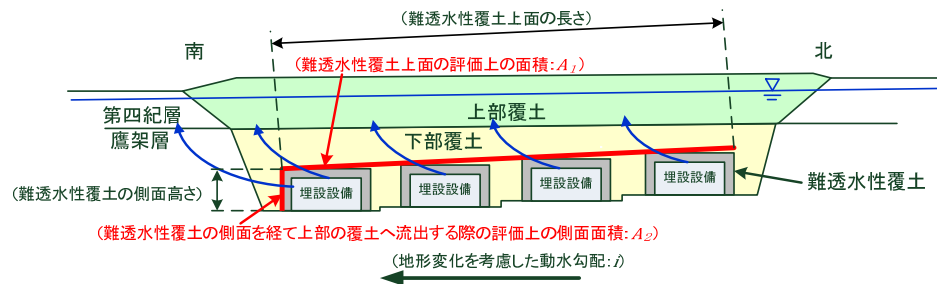
*3 埋設設備から鷹架層への流出水量

*4 有限要素法により計算

*5 水平流れを前提としたモデルにより計算

*6 埋設設備単位の埋設設備からの流出水量は別紙参照

*7 線量評価において線量が大きくなる側。



$$Q_{co}(t) = \text{難透水性覆土上面からの流出流量} + \text{難透水性覆土側面からの流出流量}$$

$$= V_{bc} \times A_1 + V_g \times A_2$$

$Q_{co}(t)$: 埋設設備から覆土への流出水量 (m^3/y)

V_{bc} : 難透水性覆土上面からの流出水の上向き流速 (m/y)

$$= V_b \times \sin \theta \cong V_b \times \tan \theta$$

V_b : 難透水性覆土上面からの流出水の水平方向流速 (m/y)

$$= k_b \times i \times 60 \times 60 \times 24 \times 365$$

k_b : 移行抑制機能を期待する難透水性覆土及び下部覆土の透水係数 (m/s)

V_g : 鷹架層中の地下水の流速 (m/y)

$$= k_g \times i \times 60 \times 60 \times 24 \times 365$$

k_g : 鷹架層の透水係数 (m/s)

i : 地形変化を考慮した動水勾配 (-)

θ : 難透水性覆土上面と水平面のなす鋭角 ($^\circ$)

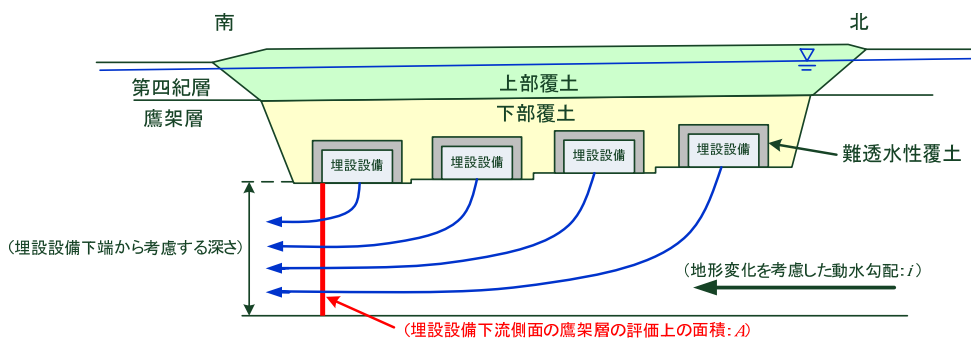
A_1 : 難透水性覆土上面の評価上の面積 (m^2)

$$= \text{難透水性覆土の幅 (m)} \times \text{難透水性覆土上面の長さ (m)}$$

A_2 : 難透水性覆土の側面を経て上部の覆土へ流出する際の評価上の側面面積 (m^2)

$$= \text{難透水性覆土の幅 (m)} \times \text{難透水性覆土の側面高さの } 1/2 \text{ (m)}$$

(a) 埋設設備から覆土への流出水量 $Q_{co}(t)$



$$Q_{go}(t) = V_g \times A$$

$Q_{go}(t)$: 埋設設備から鷹架層への流出水量 (m^3/y)

V_g : 鷹架層中の流速 (m/y)

$$= k_g \times i \times 60 \times 60 \times 24 \times 365$$

k_g : 鷹架層の透水係数 (m/s)

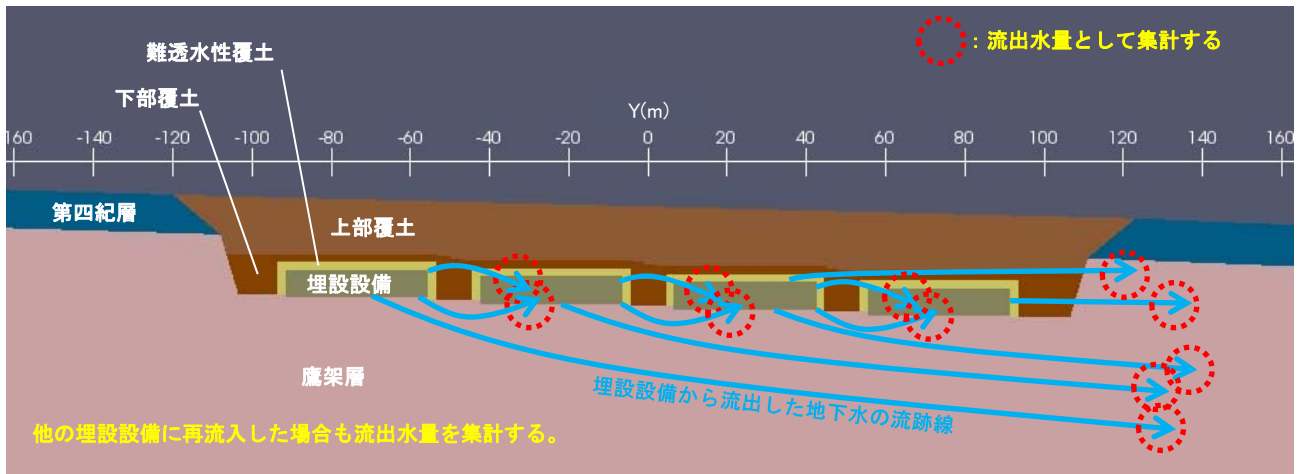
i : 地形変化を考慮した動水勾配 (-)

A : 埋設設備下流側面の鷹架層の評価上の面積 (m^2)

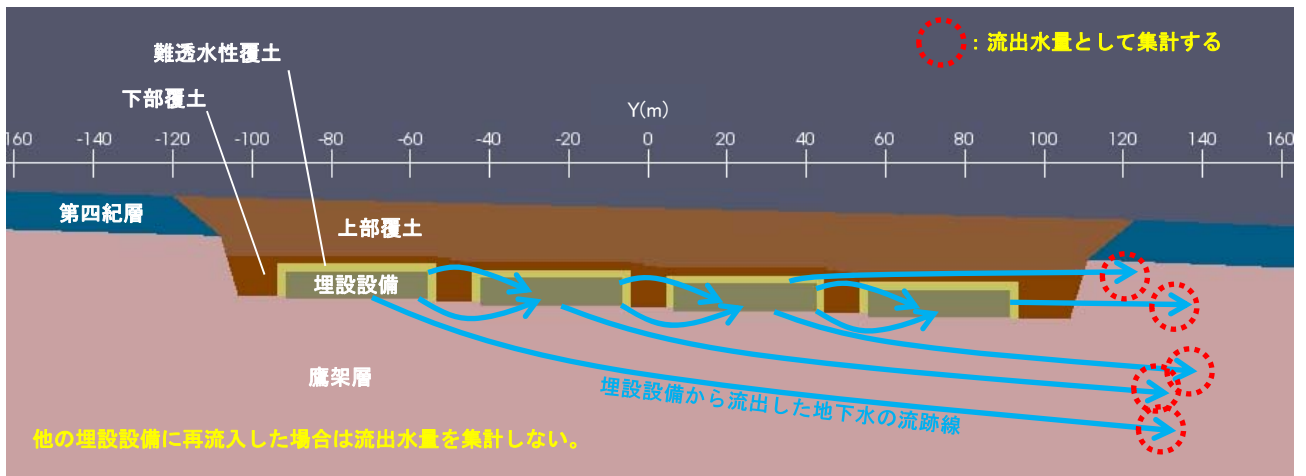
$$= \text{埋設設備群の幅 (m)} \times \text{埋設設備下端から考慮する深さ (m)}$$

(b) 埋設設備から鷹架層への流出水量 $Q_{go}(t)$

第1図 1次元式(既申請の計算モデル)において埋設設備からの流出水量を計算する方法のイメージ



(a) 再流入集計あり



(b) 再流入集計なし

第2図 2次元地下水浸透流解析において埋設設備からの流出水量を集計する方法のイメージ

埋設設備単位の埋設設備からの流出水量

既申請と2次元地下水浸透流解析による埋設設備からの流出水量における第1表に再流入集計ありの埋設設備単位の埋設設備からの流出水量を示す。また、第2表に再流入集計なしの埋設設備単位の埋設設備からの流出水量を示す。

再流入集計ありの埋設設備毎の埋設設備から各材料への流出水量の合計は、第1表に示す通り、各計算ケースにおいてその変動幅が概ね10%以下であり、差は小さい。

再流入集計なしの埋設設備毎の埋設設備から各材料への流出水量の合計は、第2表に示す通り、各計算ケースにおいて、最下流の埋設設備が最も大きく、最下流よりも上流側の埋設設備ではそれぞれ最下流の流出水量の合計の50%未満である。よって、再流入集計なしの埋設設備から各材料への流出水量の合計は、最下流の埋設設備の影響が最も大きい。

第1表 再流入集計あり埋設設備単位の埋設設備からの流出水量 (1/3) 3号廃棄物埋設地

計算ケース	埋設 ^{*1} 設備		埋設設備から各材料への流出水量(m ³ /y)			埋設設備から各材料への流出水量の比率(%)		
	解析上の呼称	実際の呼称	難透水性覆土	鷹架層	合計	難透水性覆土	鷹架層	合計
確からしい設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1基・2基	2	158	160	1%	99%	100%
	2	3基・4基	2	162	164	1%	99%	100%
	3	5基・6基	1	160	161	1%	99%	100%
	4	7基・8基	1	144	145	1%	99%	100%
	合計	-	6	624	630	1%	99%	100%
厳しい設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1基・2基	95	148	243	39%	61%	100%
	2	3基・4基	99	160	260	38%	62%	100%
	3	5基・6基	95	170	264	36%	64%	100%
	4	7基・8基	81	175	257	32%	68%	100%
	合計	-	371	653	1,024	36%	64%	100%

*1 埋設設備の数字は昇順で北側から南側へ向かう埋設設備位置の順番を表す。なお、本表の埋設設備の数字は、断面2次元地下水浸透流解析のために便宜上設定したものであり、実際の埋設設備の番号とは一致しない。

第1表 再流入集計あり埋設設備単位の埋設設備からの流出水量 (2/3) 1号廃棄物埋設地

計算ケース	埋設*1 設備		埋設設備から各材料への流出水量(m ³ /y)				埋設設備から各材料への流出水量の比率(%)			
	解析上 の呼称	実際の 呼称	難透水性 覆土	鷹架層	群間*2 充填材	合計	難透水性 覆土	鷹架層	群間*2 充填材	合計
確からしい 設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1群	13	169	56	238	5%	71%	24%	100%
	2	2群	41	222	0	264	16%	84%	0%	100%
	3	3群	6	199	60	266	2%	75%	23%	100%
	4	4群	29	246	0	275	10%	90%	0%	100%
	5	5群	3	211	60	273	1%	77%	22%	100%
	6	6群	21	258	0	279	7%	93%	0%	100%
	7	7群	2	209	55	265	1%	79%	21%	100%
	8	8群	16	236	0	252	6%	94%	0%	100%
	合計	-	129	1,751	231	2,112	6%	83%	11%	100%
厳しい設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1群	15	169	56	240	6%	70%	23%	100%
	2	2群	47	219	0	266	18%	82%	0%	100%
	3	3群	7	199	60	267	3%	75%	23%	100%
	4	4群	32	244	0	276	12%	88%	0%	100%
	5	5群	3	212	60	275	1%	77%	22%	100%
	6	6群	23	258	0	281	8%	92%	0%	100%
	7	7群	2	212	55	269	1%	79%	20%	100%
	8	8群	18	239	0	257	7%	93%	0%	100%
	合計	-	147	1,753	232	2,132	7%	82%	11%	100%

*1 埋設設備の数字は昇順で北側から南側へ向かう埋設設備位置の順番を表す。なお、本表の埋設設備の数字は、断面2次元地下水浸透流解析のために便宜上設定したものである。

*2 群間充填材は、埋設設備1・2、埋設設備3・4、埋設設備5・6、埋設設備7・8の間の充填材(下部覆土相当)である。

第1表 再流入集計あり埋設設備単位の埋設設備からの流出水量 (3/3) 2号廃棄物埋設地

計算ケース	埋設*1 設備		埋設設備から各材料への流出 水量(m ³ /y)			埋設設備から各材料への流出水 量の比率(%)		
	解析上 の呼称	実際の 呼称	難透水性 覆土	鷹架層	合計	難透水性 覆土	鷹架層	合計
確からしい 設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1群・2群	7	207	214	3%	97%	100%
	2	3群・4群	5	240	246	2%	98%	100%
	3	5群・6群	4	239	243	2%	98%	100%
	4	7群・8群	3	205	208	1%	99%	100%
	合計	-	20	892	912	2%	98%	100%
厳しい設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1群・2群	118	162	280	42%	58%	100%
	2	3群・4群	96	206	302	32%	68%	100%
	3	5群・6群	73	244	317	23%	77%	100%
	4	7群・8群	55	277	332	17%	83%	100%
	合計	-	341	890	1,231	28%	72%	100%

*1 埋設設備の数字は昇順で北側から南側へ向かう埋設設備位置の順番を表す。なお、本表の埋設設備の数字は、断面2次元地下水浸透流解析のために便宜上設定したものであり、実際の埋設設備の番号とは一致しない。

第2表 再流入集計なし埋設設備単位の埋設設備からの流出水量 (1/3) 3号廃棄物埋設地

計算ケース	埋設*1 設備		埋設設備から各材料への流出 水量(m ³ /y)			埋設設備から各材料への流出水 量の比率(%)		
	解析上 の呼称	実際の 呼称	難透水性 覆土	鷹架層	合計	難透水性 覆土	鷹架層	合計
確からしい 設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1基・2基	0	18	18	0%	100%	100%
	2	3基・4基	0	29	29	0%	100%	100%
	3	5基・6基	0	44	44	0%	100%	100%
	4	7基・8基	1	144	145	1%	99%	100%
	合計	-	1	235	236	0%	100%	100%
厳しい設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1基・2基	0	37	37	0%	100%	100%
	2	3基・4基	0	54	54	0%	100%	100%
	3	5基・6基	0	77	77	0%	100%	100%
	4	7基・8基	81	175	257	32%	68%	100%
	合計	-	81	344	425	19%	81%	100%

*1 埋設設備の数字は昇順で北側から南側へ向かう埋設設備位置の順番を表す。なお、本表の埋設設備の数字は、断面2次元地下浸透流解析のために便宜上設定したものであり、実際の埋設設備の番号とは一致しない。

第2表 再流入集計なし埋設設備単位の埋設設備からの流出水量 (2/3) 1号廃棄物埋設地

計算ケース	埋設*1 設備		埋設設備から各材料への流出水量(m ³ /y)				埋設設備から各材料への流出水量の比率(%)			
	解析上 の呼称	実際の 呼称	難透水性 覆土	鷹架層	群間*2 充填材	合計	難透水性 覆土	鷹架層	群間*2 充填材	合計
確からしい 設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1群	0	0	0	0	-	-	-	-
	2	2群	0	0	0	0	-	-	-	-
	3	3群	0	0	0	0	-	-	-	-
	4	4群	0	34	0	34	0%	100%	0%	100%
	5	5群	0	20	0	20	0%	100%	0%	100%
	6	6群	0	73	0	73	0%	100%	0%	100%
	7	7群	0	51	0	51	0%	100%	0%	100%
	8	8群	16	236	0	252	6%	94%	0%	100%
合計	-	16	415	0	430	4%	96%	0%	100%	
厳しい設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1群	0	0	0	0	-	-	-	-
	2	2群	0	0	0	0	-	-	-	-
	3	3群	0	0	0	0	-	-	-	-
	4	4群	0	33	0	33	0%	100%	0%	100%
	5	5群	0	23	0	23	0%	100%	0%	100%
	6	6群	0	77	0	77	0%	100%	0%	100%
	7	7群	0	57	0	57	0%	100%	0%	100%
	8	8群	18	239	0	257	7%	93%	0%	100%
合計	-	18	430	0	448	4%	96%	0%	100%	

*1 埋設設備の数字は昇順で北側から南側へ向かう埋設設備位置の順番を表す。なお、本表の埋設設備の数字は、断面2次元地下水浸透流解析のために便宜上設定したものである。

*2 群間充填材は、埋設設備1・2、埋設設備3・4、埋設設備5・6、埋設設備7・8の間の充填材(下部覆土相当)である。

第2表 再流入集計なし埋設設備単位の埋設設備からの流出水量 (3/3) 2号廃棄物埋設地

計算ケース	埋設 ^{*1} 設備		埋設設備から各材料への流出水量(m ³ /y)			埋設設備から各材料への流出水量の比率(%)		
	解析上の呼称	実際の呼称	難透水性覆土	鷹架層	合計	難透水性覆土	鷹架層	合計
確からしい設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1群・2群	0	0	0	-	-	-
	2	3群・4群	0	29	29	0%	100%	100%
	3	5群・6群	0	77	77	0%	100%	100%
	4	7群・8群	3	205	208	1%	99%	100%
	合計	-	3	311	314	1%	99%	100%
厳しい設定 動水勾配 3% 降雨浸透量 310mm/y	1	1群・2群	0	0	0	-	-	-
	2	3群・4群	0	58	58	0%	100%	100%
	3	5群・6群	0	137	137	0%	100%	100%
	4	7群・8群	55	277	332	17%	83%	100%
	合計	-	55	471	526	10%	90%	100%

*1 埋設設備の数字は昇順で北側から南側へ向かう埋設設備位置の順番を表す。なお、本表の埋設設備の数字は、断面2次元地下水浸透流解析のために便宜上設定したものであり、実際の埋設設備の番号とは一致しない。

2次元地下水浸透流解析による現況再現解析の老部川の境界条件について

1. はじめに

添付資料2「3号廃棄物埋設地の2次元地下水浸透流解析モデルの妥当性について」において、解析領域右端に位置する老部川の境界条件を水位固定境界に設定している。この場合、解析領域右端では地下水が出入している状態である。

一方、老部川は台地急崖付近に位置することから、台地深部から老部川に向かって湧き上がるような地下水の流れも想定できる。この場合の老部川の境界条件は最上部を水位固定境界、その他を不透水境界に設定することで老部川に向かって湧き上がる地下水の流れを表現できる。

実際の状態は、解析領域右側への地下水の流れ及び老部川に湧き上がる流れが複合的に影響した状態と考えられるが、その影響の度合いは不明である。

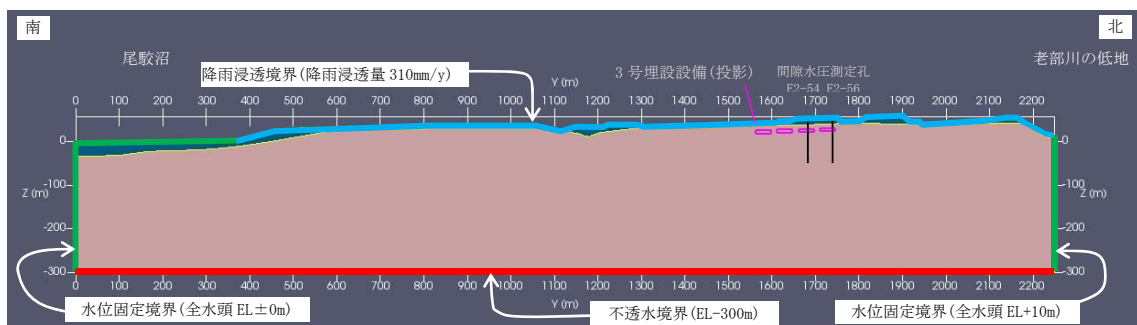
本資料では、以上を踏まえて、老部川の境界条件の違いによる3号廃棄物埋設地付近の地下水の流れへの影響について確認した結果を説明するものである。

2. 確認方法

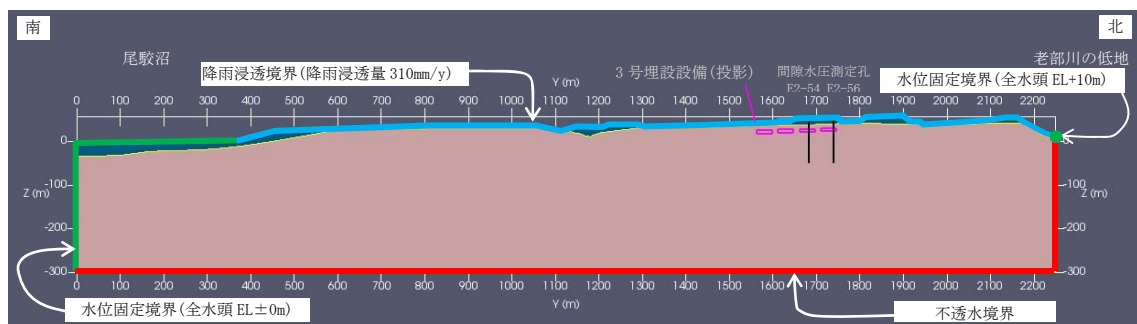
老部川の境界条件(解析領域右端)について、地下深部の地下水が老部川の低地に向かう流れを想定したケース(以下「水位固定境界ケース」という。)及び地下深部の地下水が老部川に湧き上がる流れを想定した境界条件を設定したケース(以下「不透水境界ケース」という。)とした場合の3号廃棄物埋設地付近の全水頭等高線(特に廃棄物埋設地北側の分水界の位置)及び埋設設備設置位置付近の動水勾配を確認する。

第1図に解析モデル及び境界条件を示す。

本資料の2次元地下水浸透流解析モデルは老部川の境界条件以外の入力条件は、全て添付資料2における仮置土なしのモデルと同じである。



(a) 水位固定境界ケース



(b) 不透水境界ケース

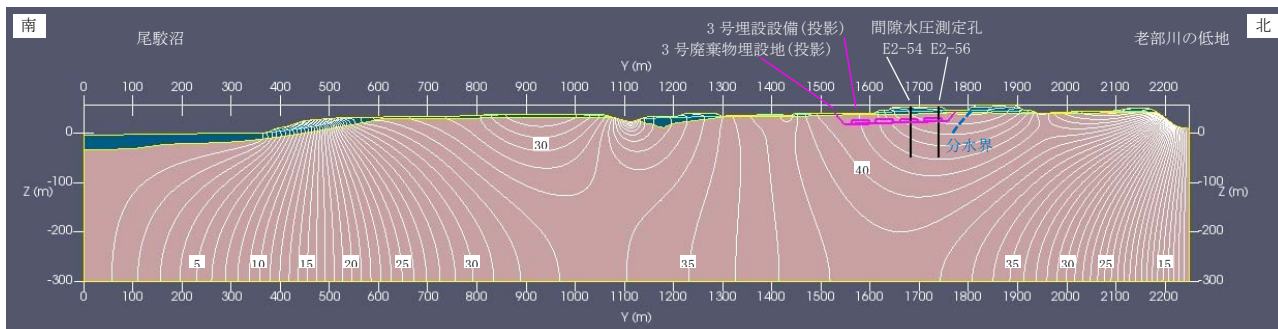
第1図 解析モデル及び境界条件

3. 確認結果

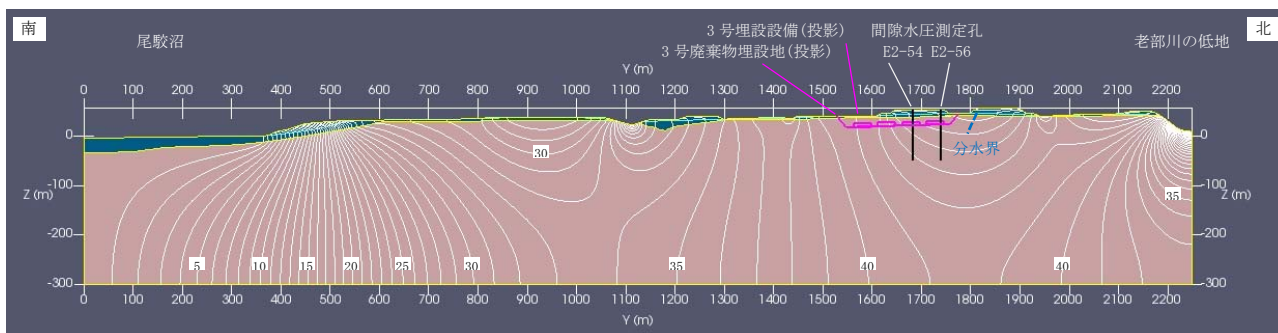
第2図に全水頭等高線、第3図に動水勾配分布を示す。

分水界の位置は、水位固定境界及び不透水境界ケースともに3号廃棄物埋設地の北側となった。

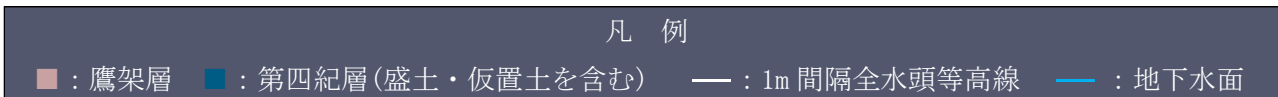
3号埋設設備付近の動水勾配は、動水勾配5%~6%の分布に着目*1して、水位固定境界ケースと不透水境界ケースを比較すると、水位固定境界ケースの方が不透水境界よりも動水勾配5%~6%の分布範囲が広い結果となった。



(a) 水位固定境界ケース

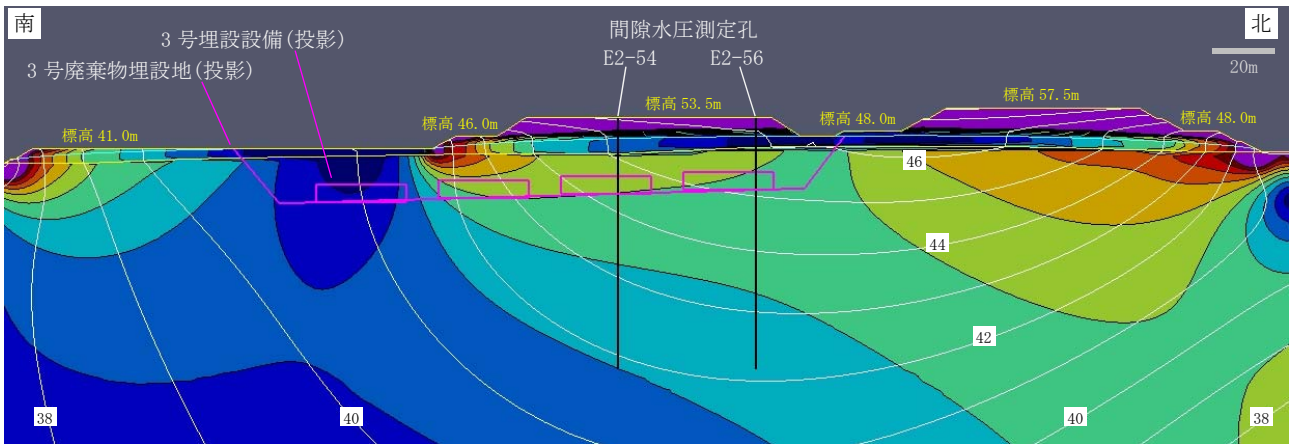


(b) 不透水境界ケース

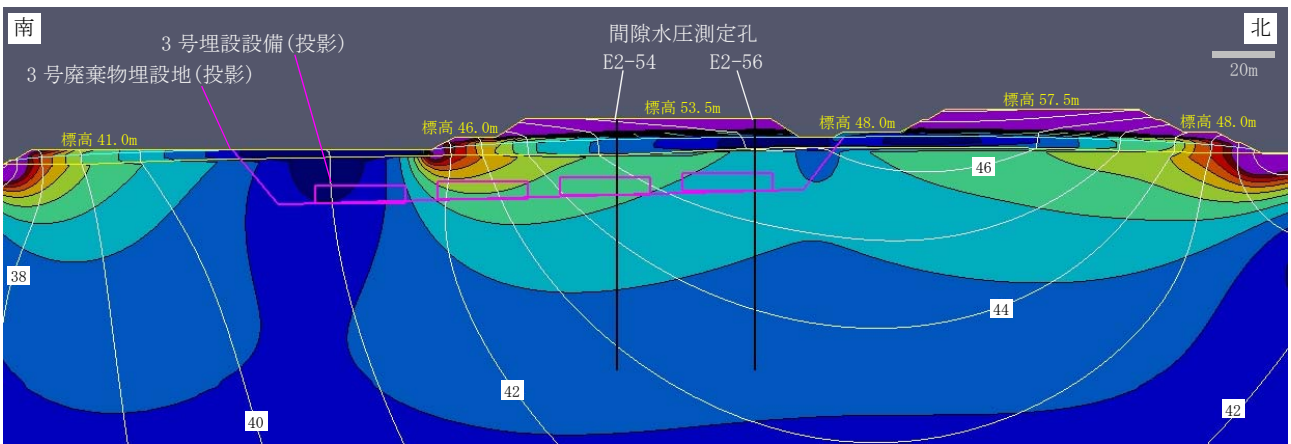


第2図 全水頭等高線(解析領域全体)

*1 第3図の動水勾配分布において、埋設設備設置位置付近で動水勾配が最も大きい分布範囲に着目した。



(a) 水位固定境界ケース



(b) 不透水境界ケース



第3図 動水勾配分布(3号廃棄物埋設地付近)

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

第十条第四号 廃棄物埋設地

(廃止措置の開始後の評価)

線量評価パラメータ

- 分配係数 -

2020年1月

日本原燃株式会社

目次

1. はじめに.....	1
2. 前提条件.....	2
(1) 廃棄体の仕様について.....	2
(2) 1号及び2号埋設設備のセメント系材料の仕様実績.....	4
(3) JIS規格について.....	5
(4) 分配係数設定において対象とするバリア材料のデータ.....	6
(5) 分配係数設定において対象とする影響事象.....	10
(6) 対象とした放射性物質及び化学的類似性による元素のグループ分け.....	12
(7) 分配係数試験条件及び試験方法.....	13
3. 分配係数設定の考え方.....	18
(1) 初期状態の分配係数.....	18
(2) 分配係数低下係数.....	18
(3) 分配係数設定値.....	18
4. 初期状態の分配係数.....	19
(1) セメント系材料の初期状態の分配係数.....	19
(2) 難透水性覆土初期状態の分配係数.....	27
(3) 岩盤(鷹架層)初期状態の分配係数.....	28
5. 影響事象による各バリア材料への放射性物質の収着影響.....	30
(1) 放射性物質の収着性に影響すると考えられる事象.....	30
(2) 考慮する影響事象.....	30
(3) 確からしい設定及び厳しい設定における収着影響の考え方.....	31
(4) 収着影響の重量.....	31
(5) 炭酸の影響について.....	32
(6) 地下水との反応(塩)による収着影響.....	32
(7) 有機物による収着影響.....	37
(8) 微生物による収着影響.....	52
6. 分配係数低下係数の算出.....	53
(1) セメント系材料の分配係数低下係数.....	53
(2) 難透水性覆土の分配係数低下係数.....	57
7. 分配係数設定値.....	59
(1) 各廃棄物埋設施設における分配係数設定値.....	59
(2) 分配係数設定値の妥当性について.....	61
8. 分配係数の管理の考え方について.....	63
(1) 埋設設備(外周仕切設備、内部仕切設備、覆い及び充填材).....	63
(2) 廃棄体の固型化材.....	64
(3) 覆土(難透水性覆土、上部覆土).....	64
(4) 分配係数のデータ取得・蓄積及び管理の流れについて.....	65

9. 参考文献..... 67

参考資料1 分配係数試験に用いたセメント系材料の配合表

1. はじめに

本資料は「第十条第四号 廃棄物埋設地(廃止措置の開始後の評価)」のうち線量評価パラメータ(分配係数)を補足説明するものである。

各シナリオで用いる線量評価パラメータのうち、移行抑制機能である収着性に関するパラメータの分配係数は、影響事象の状態変化の評価及び状態設定を踏まえ、想定される廃棄物埋設施設の環境条件で取得した試験データ又は文献値により設定する。

設定した分配係数は、許可基準規則第十条第四号に求められる線量基準の要求事項に適合していることを確認するために行う線量評価に用いる線量評価パラメータである。

2. 前提条件

(1) 廃棄体の仕様について

1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設に埋設する充填固化体は、固体状の放射性廃棄物をセメント系充填材で一体に固型化したものである。分配係数の設定において、放射性廃棄物に含まれる有機物については、適切に分別除去されるが、僅かに残留する可能性を考慮し、その影響を考慮する。

1号廃棄物埋施設に埋設する均質・均一固化体は、濃縮廃液、使用済樹脂、スラッジ、焼却灰又はこれらをペレット化したものを、セメント、アスファルト又はプラスチックを用いて固型化したものである。分配係数の設定において、濃縮廃液については、可溶性塩が含まれることから、その影響を考慮する。

廃棄体のセメント系材料を用いた固型化材料については、JIS R 5210(1992)又は JIS R 5211(1992)と同等以上の品質を有するセメントを使用しており、適切に品質管理がなされたものである。廃棄体の仕様を第1表に示す。

第 1 表 廃棄体の仕様

	3号廃棄物埋設施設	1号廃棄物埋設施設		2号廃棄物埋設施設
種類	充填固化体*1	均質・均一固化体	充填固化体*1	充填固化体*1
重量	1本当たり 1,000kg を超えないもの	1本当たり 500kg を超えないもの		1本当たり 1,000kg を超えないもの
内容物	金属類、プラスチック類、保温材・フィルタ類	廃液、使用済樹脂、スラッジ、焼却灰	金属類、プラスチック類、保温材・フィルタ類、均質・均一固化体として製作されたセメント固化体を破砕したもの	金属類、プラスチック類、保温材・フィルタ類
固型化材料	セメント*2	セメント*2、アスファルト*3、プラスチック*4	セメント*2	セメント*2
廃棄物発生元	BWR*5、PWR*6	BWR*5、PWR*6、GCR*7	BWR*5、PWR*6	BWR*5、PWR*6、GCR*7
廃棄物発生からの経過期間	発生後 6ヶ月以上経過したもの	固型化後 6ヶ月以上経過したもの	発生後 6ヶ月以上経過したもの	発生後 6ヶ月以上経過したもの

*1 充填固化体の標準的な製作方法⁽¹⁾により製作。

*2 JIS R 5210(1992)若しくは JIS R 5211(1992)に定めるセメント又はこれと同等以上の品質を有するセメント。

*3 JIS K 2207(1990)に定める石油アスファルトで針入度が 100 以下のもの又はこれと同等以上の品質を有するアスファルト。

*4 スチレンに溶解した不飽和ポリエステル。

*5 沸騰水型軽水炉

*6 加圧水型軽水炉

*7 黒鉛減速ガス冷却炉

(2) 1号及び2号埋設設備のセメント系材料の仕様実績

1号及び2号埋設設備に用いたセメント系材料の仕様を第2表及び第3表に示す。これまでにセメント系材料のうち混和材の仕様を変更した箇所は2号埋設設備のコンクリートのみであり、1号及び2号埋設設備の充填材のセメント種類は変更していない。

2号埋設設備のコンクリートは、5群以降(覆いは3群以降)、高炉スラグ(BF)混合の普通ポルトランドセメント(OPC)からフライアッシュ(FA)混合の中庸熱ポルトランドセメント(MPC)に変更した。

セメント(OPC、MPC)やポゾラン性混和材(BF、FA)の添加割合によって、水和生成物の割合は多少変化するものの、主要な水和生成物の種類やセメント間隙水が高アルカリ性を示すといった収着性に係るセメント系材料の化学環境特性には大きな変化は想定されない。そのため、このコンクリート材料の仕様変更による分配係数への影響は軽微なものと考えられる。

2号埋設設備のコンクリート仕様変更時には、仕様変更後のコンクリートを用いて、収着機構が異なると考えられる主要な放射性核種(Ni-63、Cs-137)の分配係数を取得し、事業変更許可申請書に記載されている分配係数に対して、仕様変更後のコンクリートでの試験結果を用いた場合でも線量へ与える影響はみられないことを確認している。

本変更申請における2号埋設設備のコンクリートの分配係数設定においても、このコンクリート材料の仕様変更を考慮した値を初期健全時のセメント系材料の分配係数値として設定している。

第2表 1号埋設設備のセメント系材料仕様

使用設備		セメント種類 (セメントと混和材の混合比)	化学混和剤(減水剤)
充填材	1群から6群	中庸熱ポルトランドセメント +高炉スラグ(1:9)	・リグニンスルホン酸系 ・メラミン系
コンクリート	側壁	1群から6群	・ヒドロキシ系 ・リグニンスルホン酸系
	底版	1群から6群	
	内部仕切	1群から6群	
	覆い	1群から6群	

第3表 2号埋設設備のセメント系材料仕様

使用設備		セメント種類 (セメントと混和材の混合比)	化学混和剤(減水剤)
充填材	1群から6群	中庸熟ポルトランドセメント +高炉スラグ(1:9)	・リグニンスルホン酸系 ・メラミン系
コンクリート	側壁	1群から4群	普通ポルトランドセメント +高炉スラグ(45:55)
		5群から8群	中庸熟ポルトランドセメント +FA(7:3)
	底版	1群から4群	普通ポルトランドセメント +高炉スラグ(45:55)
		5群から8群	中庸熟ポルトランドセメント +FA(7:3)
	内部仕切	1群から8群	普通ポルトランドセメント
	覆い	1,2群	普通ポルトランドセメント +高炉スラグ(45:55)
3群から8群		中庸熟ポルトランドセメント +FA(7:3)	

(3) JIS規格について

セメントのJIS規格であるJIS R 5210(1992)及びJIS R 5211(1992)には、セメントの品質として、比表面積、凝結(始発、終結時間)、安定性、圧縮強さ、水和熱及び化学組成(酸化マグネシウム、三酸化硫黄等)が規定されている。これまでに規格は数回改訂されているが、主な改訂の内容は第4表のとおりであり、セメント品質についての実質的な変更ではない。

化学組成の規格値の見直しについては、数%程度の少量混合成分の変更であり、分配係数への影響は軽微であると考えられ、他の影響事象(「2.(5)分配係数設定において対象とする影響事象」参照)の評価に十分包含される。また、JIS規格では分配係数に影響を及ぼすと考えられるセメント種類の追加も行われているが、これまで埋設設備には追加されたセメントを用いていない。

第4表 セメントの JIS 規格の主な改訂内容

	JIS R 5210	JIS R 5211
1986 年	・セメント中の全アルカリ 0.6%以下	—
1992 年	・全アルカリ含有率 0.75%以下 ・塩化物イオン含有率 0.02%以下	同左
1997 年	・圧縮強さの規格値の変更 ・低熱ポルトランドセメントの追加	同左
2003 年	・普通ポルトランドセメントの塩化物イオン許容値引き上げ	同左
2009 年	・低アルカリ型ポルトランドセメントの本体への規定 ・原材料の少量成分 4 種類規定 ・製造方法規定削除 ・三酸化硫黄の規格値見直し	・原材料の少量成分 3 種類規定 ・製造方法規定削除 ・高炉スラグの高炉水砕スラグへの改名

(4) 分配係数設定において対象とするバリア材料のデータ

廃棄物埋設地の状態設定の安全機能(移行抑制機能)の整理より、収着性を期待するバリア材料は、セメント系材料(廃棄体の固型化材、埋設設備)、難透水性覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)を対象とする。これらのバリア材料の収着性を期待することにより、廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出量を低減し、移行を遅延させる。廃棄物埋設地の状態設定の安全機能(移行抑制機能)の整理より、収着性を期待するバリア材料の仕様及び用いるデータは以下のとおりとする。

(i) 廃棄体

廃棄体の固型化材の仕様は、1号及び2号廃棄物埋設施設に定置されている廃棄体の使用材料とする。各廃棄物埋設施設の埋設対象廃棄体は以下のとおりである。

- ・3号廃棄物埋設施設：充填固化体
- ・1号廃棄物埋設施設(1群から6群)：均質・均一固化体
- ・1号廃棄物埋設施設(8群：1基)：均質・均一固化体
- ・1号廃棄物埋設施設(7,8群：9基)：充填固化体
- ・2号廃棄物埋設施設：充填固化体

1号廃棄物埋設施設(7,8群)及び3号廃棄物埋設施設の廃棄体(充填固化体)については、2号廃棄物埋設施設の廃棄体と同様のセメント系材料とする。

ただし、充填固化体を埋設する 1 号廃棄物埋設施設の埋設設備 9 基のうち、1 基には均質・均一固化体として製作されたセメント固化体を破碎し、セメント系充填材で一体に固型化した充填固化体(以下「セメント破碎物充填固化体」という。)を埋設する。

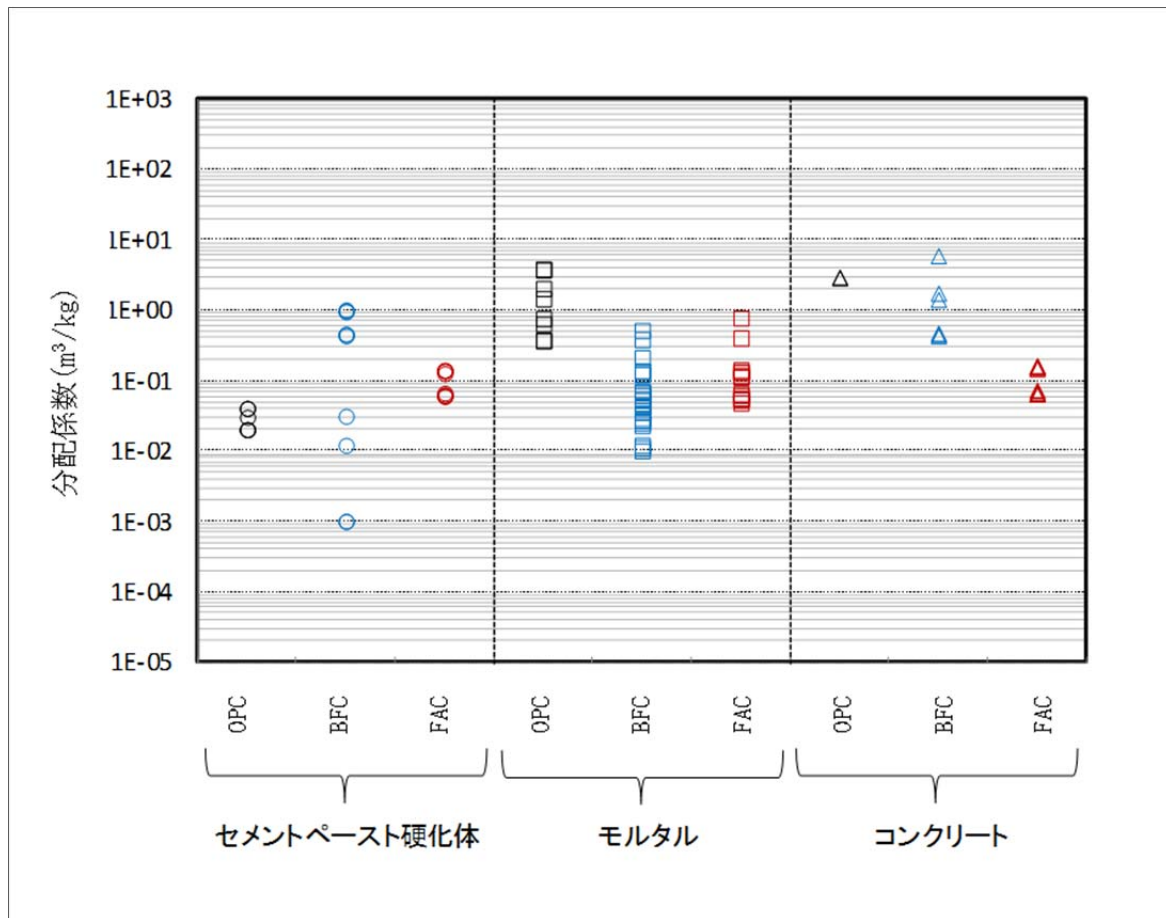
なお、線量評価においては、均質・均一固化体を埋設する埋設設備とセメント破碎物を埋設する埋設設備をあわせて評価する。セメント破碎物は破碎前の均質・均一固化体と同じ分配係数となるが、充填モルタル(固型化材)と同じ値を設定する。また、線量評価に用いる埋設設備内の各媒体の体積分率は、均質・均一固化体を埋設する埋設設備にはセメント固化体以外の廃棄体を制限なく埋設することを考慮し、廃棄物及びセメント系充填材(廃棄体):0.125、セメント系充填材(埋設設備):0.311、コンクリート:0.315 と設定する。

均質・均一固化体の固型化材は、セメント、アスファルト又はプラスチックである。固型化材がセメントのものには収着性を期待するが、アスファルト及びプラスチックのものには収着性を期待しないものとする。ただし、アスファルト固化体のように物理的な性能が期待できる場合⁽²⁾は、放射性物質の移行が適切に評価できるよう分配係数を設定して評価する。

充填固化体の固型化材は、OPC(普通ポルトランドセメント)又は高炉スラグを用いたモルタルである。廃棄体によって固型化材の種類が異なるため、JAEA-SDB⁽³⁾のセメントの分配係数データ(以下「JAEA-SDBの分配係数データ」という。)を用いてモルタルの収着性の傾向を比較した。分配係数にばらつきはあるが、分配係数の小さい高炉スラグを分配係数設定で用いる材料の種類とした。

一例として、セメント系材料の種類ごとの Ni の分配係数の比較を第 1 図に示す。

なお、第 1 図における数値中の E は、指数表記における基数の 10 を示す(例えば、1E+02 は 1×10^2 を示す。以下、同様。)



注 1 : OPC : 普通ポルトランドセメント、BFC : 高炉セメント、FAC : フライアッシュセメント

第 1 図 セメント系材料の種類ごとの Ni の分配係数の比較

(ii) 充填材

埋設設備の充填材の仕様は、1号及び2号廃棄物埋設施設で使用した材料とする。材料は高炉スラグを混合したモルタルであるため、高炉スラグのデータを用いる。

(iii) コンクリート

埋設設備のコンクリートの仕様は、1号及び2号廃棄物埋設施設で使用した材料とする。3号廃棄物埋設施設のコンクリートについては、2号廃棄物埋設施設のコンクリートと同様とする。

1号、2号及び3号廃棄物埋設施設(1号廃棄物埋設施設(1群から6群)を除く)のコンクリート仕様は、高炉スラグ又はフライアッシュ(FA)を混合したコンクリート

である。また、1号廃棄物埋施設(1群から6群)のコンクリート仕様は、高炉スラグを混合したコンクリートである。

高炉セメントやフライアッシュセメントにおいても、その水和生成物はこれまで主に研究が進められてきた OPC と同等の鉱物で構成されているが⁽⁴⁾、1号、2号及び3号廃棄物埋施設(1号廃棄物埋施設(1群から6群)を除く)と1号廃棄物埋施設(1群から6群)では材料仕様が異なる。そのため1号、2号及び3号廃棄物埋施設(1号廃棄物埋施設(1群から6群)を除く)では高炉スラグ及びFAコンクリート、1号廃棄物埋施設(1群から6群)では高炉スラグコンクリートのデータを用いる。

(iv) 難透水性覆土

難透水性覆土の仕様は、ベントナイトと細骨材を混合したものとし、Ca型30wt%配合、Na型30wt%配合、Na型20wt%配合及びNa型15wt%配合のデータを用いる。

(v) 上部覆土及び岩盤(鷹架層)

上部覆土及び岩盤(鷹架層)は、埋設設備から尾駁沼までの移行経路上の主な岩層とする。

上部覆土の収着性は、現地発生土を主体とするため、岩盤(鷹架層)の収着性と同じとし、岩盤(鷹架層)のデータを用いる。

分配係数設定のため抽出する代表的なバリア材料の種類を第5表に示す。

第5表 分配係数設定のため抽出する代表的なバリア材料の種類

廃棄物埋設施設			セメント系材料			難透水性覆土	岩盤(鷹架層)
			廃棄体	充填材	コンクリート		
3号廃棄物埋設施設			高炉スラグモルタル*1		高炉スラグコンクリート*3 FAコンクリート*4	Ca型30wt%配合 Na型30wt%配合 Na型20wt%配合 Na型15wt%配合	砂質軽石凝灰岩(Tspt2) 軽石質砂岩(Tpps2) 砂岩(Tcs12) 軽石凝灰岩(Tpt2)
1号廃棄物埋設施設	1群から6群	均質・均一固化体	高炉スラグセメント*2	高炉スラグモルタル	高炉スラグコンクリート		砂質軽石凝灰岩(Tspt2) 軽石質砂岩(Tpps2) 砂岩(Tcs12) 粗粒砂岩(Tcs11)
	7,8群				充填固化体		
2号廃棄物埋設施設			高炉スラグモルタル		高炉スラグコンクリート FAコンクリート		

- *1 高炉スラグを混合したモルタル
- *2 高炉スラグを混合したセメント
- *3 高炉スラグを混合したコンクリート
- *4 フライアッシュ(FA)を混合したコンクリート

(5) 分配係数設定において対象とする影響事象

影響事象分析(補足説明資料3「廃棄物埋設地の状態設定-影響事象分析-」参照)より、熱、水理、力学及び化学の観点から廃棄物埋設地に生ずる物理的・化学的現象の影響事象分析の結果を第6表に示す。分配係数設定は、影響事象分析で選定された収着性に関する影響事象(第6表の赤枠)を対象とする。

第6表 影響事象分析の結果

項	主要な影響事象	影響を与える移行抑制機能	影響 ^{*1}	影響評価結果
T (熱)	火砕物密度流の熱	収着性	—	ベントナイトを混合した覆土やセメント系材料が変質するためには、より高い温度が必要であることから、火砕物密度流の熱による影響は生じないものとする。
H (水理)	地下水流動	低透水性	○	廃棄物埋設地周辺の地下水流速が十分に小さいため、直接的な影響は生じないと判断される。 (ただし、「C(化学)地下水との反応」において考慮する)。
		収着性	○	廃棄物埋設地周辺の地下水流速が十分に小さいため、直接的な影響は生じないと判断される。 (ただし、「C(化学)地下水との反応」において考慮する)。
M (力学)	金属腐食による膨張 (塩の影響を含む)	低透水性	○	難透水性覆土には、厚さの減少及び変位に伴う透水性が変化した領域の発生が予想される。
	ガス発生	低透水性	—	透水・透気試験の結果、ガス破過前後の透水係数にほとんど変化が生じなかったことから、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響は生じないものとする。 ガスの発生と同時に間隙水の押し出しが発生することを考慮する。
	地震	低透水性	—	力学的な変形は金属腐食に伴う埋設設備の変形量と比較して非常に小さい。液状化(覆土)は容易に生じないよう配慮した設計としていることから、覆土の低透水性に有意な影響は生じないものとする。
C (化学)	地下水との反応 (塩の影響を含む)	低透水性 収着性	○	モンモリロナイト及びケイ酸カルシウム水和物の溶解及び二次鉱物の生成による化学変質が考えられ、低透水性及び収着性に影響すると考えられる。
	有機物	収着性	△	セルロースはアルカリ性の環境下において分解し、生成したイソサッカリン酸が放射性物質と錯体を形成することによって、収着性に影響することが考えられる。
	コロイドの形成	収着性	—	埋設設備の間隙水はセメント平衡水でありコロイドが安定に分散できる環境ではないと考えられることから、収着性に影響は生じないものとする。
	微生物	収着性	△	岩盤中では微生物活動によって有機物が無機化するため、収着性の設定に関して考慮する。
	降下火砕物・ 火砕物密度流	収着性	—	十分な厚さの上部覆土が設置され、変質の影響範囲は限定されることから、有意な影響は生じないものとする。

*1 ○ : 影響有り(状態評価を実施する)

△ : 影響有り(パラメータ設定に際して考慮したもの)

— : 有意な影響は生じない(状態評価不要と判断)

(6) 対象とした放射性物質及び化学的類似性による元素のグループ分け

分配係数設定において対象とした放射性物質は、埋設処分の観点で考慮すべき放射性物質(170種類(73元素))とする。

主要な放射性物質については、当社及び電気事業者が取得した分配係数(以下「当社分配係数」という。)の試験結果を基に設定し、主要な放射性物質以外で試験結果があるものについては、試験結果を基に分配係数を設定する。これら以外の放射性物質については、文献値^{(5)~(9)}又は主要な放射性物質の化学的類似性を基に分配係数を設定する。

元素の化学的類似性においては、収着機構(イオン交換、表面錯体)に着目して元素をグルーピングした。元素は一般的にイオンの電荷が等しく最外殻の電子の状態が似ていれば互いによく似た性質を示し、その上イオンの大きさが似ていれば更によく似た性質を示す⁽¹⁰⁾。各元素の化学形態及び周期表に基づく特徴を加味した化学的類似性を考慮した元素のグループ分けを第7表に示す。

第7表 化学的類似性を考慮した元素のグループ分け

グループ	特徴	元素*1	備考
A	水分子として存在	H	
B	イオン交換、アルカリ金属	Na, K, Rb, Cs	
C	イオン交換、アルカリ土類金属	Ca, Sr, Ba, Ra	
D-1	中性付近で炭酸錯体、高アルカリ性環境下で酸化物イオン	Y, La, Ce, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Pb	グループ D-2 と同じ
D-2	二価のイオン、ヒドロキシ錯体	Tl, Mn, Ni, Zn, Cd, Hg, Po	
D-3	二価のイオン、ヒドロキシ錯体、酸化物の陰イオン	Be, Fe, Co	
E	ヒドロキシ錯体	Sc, In, Bi, Zr, Nb, Hf, Sb, V	
F	白金族	Pd, Ru, Rh, Os, Ir, Pt	文献値
G-1	ヒドロキシ錯体、炭酸錯体	U	実験値
G-2	中性付近で炭酸錯体、高アルカリ性環境下でヒドロキシ錯体	Ac, Am, Cm, Bk, Cf, Es	
G-3	ヒドロキシ錯体あるいは炭酸錯体	Th, Pa, Pu	
G-4	酸化物イオン、炭酸錯体、ヒドロキシ錯体	Np	実験値
H	一価の陰イオン	Cl, I	
I	酸化物の陰イオン	Mo, W, Tc, Ta, Re	Mo は実験値
J	塩素と錯体生成	Ag	グループ B と同じ
K-1	高アルカリ性環境下で二価の陰イオン	Si, S, Se, Sn, Te	文献値
K-2	高アルカリ性環境下で二価の陰イオン	C	

*1 □で囲われている元素は主要な放射性物質を示す。

(7) 分配係数試験条件及び試験方法

(i) 分配係数試験条件

分配係数を設定するに当たって、当社分配係数データ及び JAEA-SDB の分配係数データを用いた。JAEA-SDB の分配係数データは、材料の多様性を考慮し、セメント系材料の分配係数の設定において参照した(当社分配係数データと JAEA-SDB の分配係数データの比較は「4. (1)セメント系材料の初期状態の分配係数」を参照)。

それぞれの分配係数データ抽出の考え方は以下のとおりである。

a. 当社分配係数データ抽出の考え方

当社分配係数データに関しては、日本原子力学会標準⁽¹¹⁾を参考に、第 8 表に示す標準的な試験条件かつ第 9 表に示す固相及び液相の種類で実施した試験のうち、埋設環境を模擬した適切な試験条件で取得されたデータを採用した。

また、一部のデータにおいて、固液比が 1/10 以外又は浸漬期間が 7 日以外の場合でも、個々のデータを精査し、データの充足を重視し採用した。

なお、明らかに試験操作に問題がある場合のデータを除外した。

第 8 表 標準的な試験条件

温度	40℃未満
固液分離	メンブランフィルタ (0.45 μm)
固液比	1/10 (g/mL)
浸漬期間	7 日

第 9 表 固相及び液相の種類

固相	セメント系材料、難透水性覆土、岩盤(鷹架層)
液相	セメント平衡水、模擬地下水、純水

b. JAEA-SDB の分配係数データ抽出の考え方

JAEA-SDB の分配係数データに関しては、詳細な試験条件が不明なものもあるが、セメント系材料における分配係数の傾向を把握することを重視し、第 10 表の条件以外のデータは基本的に採用した。

第 10 表 JAEA-SDB の分配係数データを抽出するに当たって除外した条件

固相	・ 一般的ではない材料 ・ セメント系材料以外
液相	・ セメント平衡水又は純水以外の溶液
分離	・ ろ過未実施
pH	・ pH13 以上

(ii) 分配係数試験方法

分配係数設定において、実際の施設を構成するバリア材料の種類及び廃棄物埋設施設周辺から採取された実際の岩盤材料種類を使用し、想定される環境条件(温度、pH、地下水組成)に近い試験系で実測された分配係数を適用することが現実的かつ合理的な方法であると考えます。

当社分配係数取得において、セメント系材料(均質・均一固化体を除く)、難透水性覆土及び岩盤(鷹架層)については、固相を液相に浸漬した後にトレーサを添加する試験方法とした(収着分配係数試験)。均質・均一固化体については、濃縮廃液をセメントと混練し製作される実際の廃棄体の性状・状態を考慮し、セメント系材料とトレーサを混練したセメント固相を粉砕し液相に浸漬する試験方法とした(脱着分配係数試験)。

(iii) 脱着分配係数試験の妥当性について

実際のセメント固化体の幾何学的状態が健全な状態であれば、セメント固相内を拡散移行し、セメント固化体外に核種が漏えいするには相応の時間が必要となる。一方で、脱着分配係数試験では、セメント系材料を砂程度に粉砕しているため、前述のようなセメント固化体中の拡散移行によるバリア効果はほぼ期待できない状態で試験を実施していると考えられる。したがって、実際の固化体の性状にあわせて浸漬試験を実施したとしても、脱着分配係数の方が収着分配係数に比較して著しく大きい値となることは考えられない。

Tits ら⁽¹²⁾のセメント系材料に対するユウロピウム(Eu)の収着・脱着試験による収着・脱着分配係数の比較を第2図に示す。Eu(III)のC-S-Hゲル(ケイ酸カルシウム水和物)(C/S=0.75, 1.25)に対する収着期間1日及び60日の試料を用いた脱離試験を実施した結果、両者の脱着分配係数は、収着期間に関わらず良く一致し、また、収着分配係数とも一致した。これより60日後でもC-S-Hゲルに対するEu(III)の収着は可逆的であると推察している。

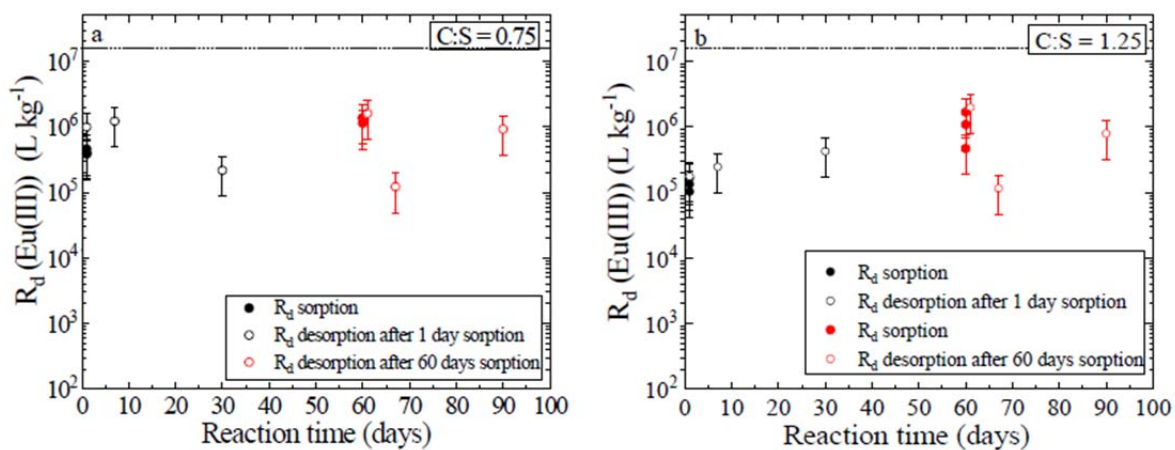


Fig. 10: Eu(III) desorption tests onto C-S-H phases in ACW at pH = 13.3 after one day and 60 days sorption. a) C:S = 0.75; b) C:S = 1.25. Experimental conditions: S:L = $2.5 \cdot 10^{-3}$ kg L⁻¹, [Eu]_{tot} = $3.0 \cdot 10^{-8}$ M. The dashed lines represent the $R_{d,max}$ value.

第2図 セメント系材料に対するユウロピウム(Eu)の収着・脱着試験による
収着・脱着分配係数の比較

また、主要核種について脱着分配係数試験を7日以降も継続した場合の脱着分配係数の推移を第11表に示す。7日以降試験を継続しても分配係数が大きく低下する事象は確認されなかった。そのため、吸脱着挙動は7日で平衡に到っていると考えられる。

文献⁽¹³⁾によると、収着試験において粒子内拡散や鉱物化を除けば収着反応の主要機構であるイオン交換反応は、通常瞬時に平衡に達するが、従来の実験では十分な収着平衡を得るために数十分から1週間程度の固液接触時間を設定しており、原子力学会標準⁽¹⁴⁾においても、多くの試料である程度収着平衡が確認されている合理的な時間として1週間を設定している。

以上のことより、一般的におおむね1週間以内に収着平衡に達するものと考えられ、第11表の脱着分配係数試験の7日のデータを用いることは妥当だと考える。

第11表 浸漬時間による脱着分配係数試験結果⁽¹⁵⁾

核種		分配係数 (m ³ /kg)			
		7日	18日	30日	48日
実 C-14①		0.31	—	0.43	—
実 C-14②		—	0.34	—	0.24
PWR 廃棄体	Pu	>53 >53	—	>53	—
	Am	>43 >52	—	>49	—
BWR 廃棄体	Pu	>53 >53	—	>56	—
	Am	>52 35	—	>52	—

(iv) 分配係数試験におけるセメント系材料の組成

分配係数設定で用いた当社分配係数データの分配係数試験におけるセメント系材料の組成を第12表に示す。また、分配係数試験に用いたセメント系材料の配合表を参考資料に示す。

第12表 分配係数試験におけるセメント系材料の組成

セメント系材料	組成		結合材比	データ数
廃棄体	PWR 濃縮廃液バーミキュライトセメント固化体		—	45
	BWR 濃縮廃液高炉Cセメント固化体		—	35
充填材	高炉スラグ	OPC+(BF+FA)+膨張材	3:7	38
		MPC+BF	1:9	42
			3:7	43
	フライアッシュ*1	MPC+FA	7:3	16
		LPC+FA+膨張材	7:3	41
		LPC+FA	7:3	24
コンクリート	高炉スラグ	OPC+BF	45:55	41
	フライアッシュ	MPC+FA	7:3	42

OPC：普通ポルトランドセメント、BF：高炉スラグ、FA：フライアッシュ、MPC：中庸熱ポルトランドセメント、LPC：低熱ポルトランドセメント

*1 コンクリートの分配係数設定において使用

(v) セメント系材料に含まれる化学混和剤について

セメント系材料に含まれる化学混和剤(減水剤)による分配係数への影響が考えられるが、化学混和剤を含んだ実セメント系材料を用いた分配係数データを用いることを基本方針としているため、化学混和剤による影響が仮に存在したとしても試験結果はその影響を包含したものである。また、添加量がセメント主成分に比較して微量であること、混和剤の主成分である高分子化合物の溶出は認められないとの報告⁽¹⁶⁾があることから、分配係数への影響は軽微なものと考えられる。

3. 分配係数設定の考え方

分配係数設定の考え方は第3図に示すとおり、初期状態の分配係数に分配係数低下係数を乗じた値を分配係数設定値とする。

$$\boxed{\text{(1) 初期状態の分配係数}} \times \boxed{\text{(2) 分配係数低下係数}} = \boxed{\text{(3) 分配係数設定値}}$$

第3図 分配係数設定の考え方

初期状態の分配係数、分配係数低下係数及び分配係数設定値の説明を以下に示す。

(1) 初期状態の分配係数

バリア材料ごとに抽出した分配係数データの平均値。

(2) 分配係数低下係数

各影響事象の収着影響度*1を掛け合わせ、初期状態の分配係数の低下割合を示した係数⁽¹⁷⁾。

*1 分配係数試験結果や文献から求めた影響事象ごとの収着影響の度合い。

(3) 分配係数設定値

初期状態の分配係数に分配係数低下係数を乗じ、分配係数が小さくなるよう切捨てした値。

なお、H-3に関しては、挙動が水と同じと考えられ収着性が期待できないことから、分配係数を0と設定する。

4. 初期状態の分配係数

初期状態の分配係数は、固相の仕様及び分配係数試験条件が把握できることから、当社分配係数の試験結果を用いる。セメント系材料においては、材料の多様性を考慮し当社分配係数データと JAEA-SDB の分配係数データを比較した(詳細は「4. (1) セメント系材料の初期状態の分配係数」参照)。

分配係数データは、「2. (7) (i) 分配係数試験条件」で示した試験条件で取得されたデータの平均値とする。

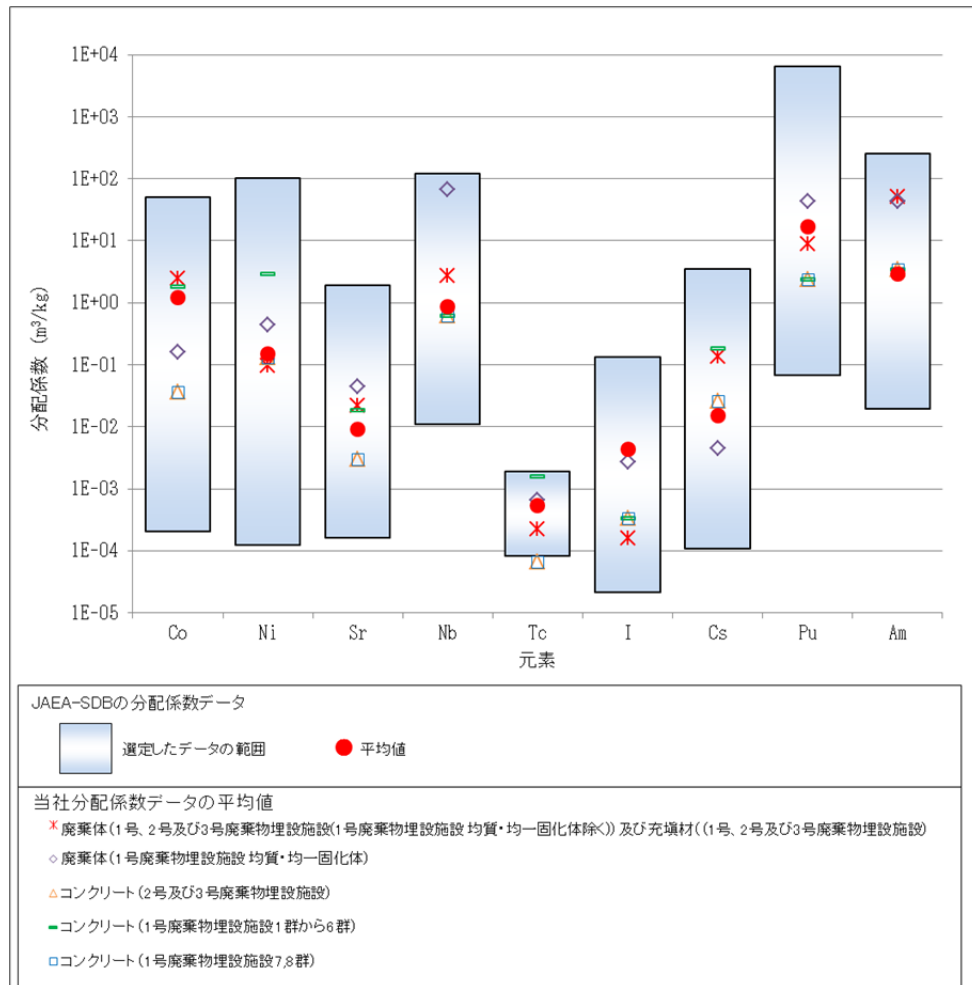
(1) セメント系材料の初期状態の分配係数

セメント系材料の分配係数は、セメント系材料が固液平衡になった状態を想定し設定するが、液相となるセメント平衡水の主な組成やセメント平衡水の化学平衡を支配する主要な水和生成物の鉱物種といった化学環境場は類似のため、健全なセメント系材料に対する分配係数のデータ群に大きな違いはないと考えられる⁽⁴⁾。線量評価パラメータとして分配係数を設定する際は、混和材の種類及びポゾラン反応の進展度の違い、測定試験のばらつきの不確実性を考慮して、セメントの混和材ごとにデータ群を整理し、平均値を比較した上で、平均値のうち最も小さい値を初期状態のセメント系材料の分配係数として設定した。

セメント系材料の分配係数の設定は、セメント系材料の仕様(混和材、化学混和剤、骨材)及び試験条件が把握できることから、基本的に当社分配係数データを用いた。

分配係数の設定に当たっては当社で用いるセメント種類に加え、国内外の多様なセメント系材料のデータが含まれる JAEA-SDB の分配係数データも参照した。

JAEA-SDB の分配係数データと当社分配係数データの平均値を比較したところ、当社分配係数データの平均値は JAEA-SDB の分配係数データの範囲内又は最大値を超えていないが、JAEA-SDB の分配係数データの平均値が当社分配係数データの平均値の 1/10 以下の場合には、JAEA-SDB の分配係数データを用いる。JAEA-SDB の分配係数データと当社分配係数データの比較を第 4 図に示す。



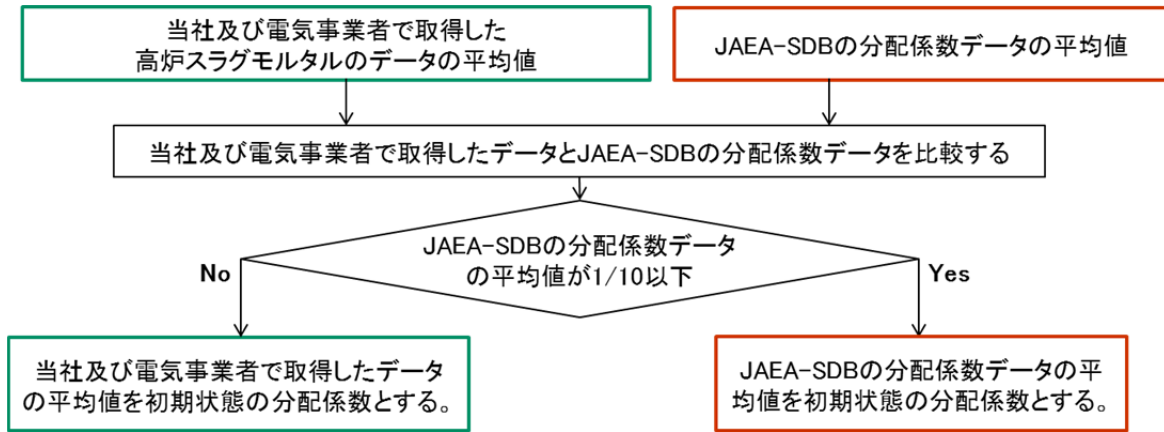
第4図 JAEA-SDBの分配係数データと当社分配係数データの比較

初期状態の分配係数を設定する際に考慮したセメント系材料の種類は第5表に示したとおりである。以下に各バリア材料における初期状態の分配係数の設定内容を示す。

(i) 廃棄体及び充填材(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)

当社分配係数データの高炉スラグモルタルのデータと JAEA-SDB の分配係数データについて、元素ごとに平均値を求めて比較する。JAEA-SDB の分配係数データの平均値が当社分配係数データの平均値の 1/10 以下の場合には、JAEA-SDB の分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とし、1/10 より大きい場合には、当社分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とする。廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄

物理施設)を第 5 図に、廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)を第 13 表に示す。



第 5 図 廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数の考え方

(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)

第 13 表 廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数

(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)

元素	当社分配係数データ		JAEA-SDB の分配係数データ		廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数 (m ³ /kg)
	高炉スラグモルタル		セメント		
	N*3	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C*1	37	0.088	—	—	0.05
C*2	15	0.0078	—	—	0.004
Co	3	2.5	46	1.214	2.5
Ni	20	0.098	302	0.15	0.098
Sr	3	0.022	90	0.0091	0.022
Nb	16	2.744	116	0.867	2.744
Tc	3	0.00022	13	0.00054	0.00022
I	3	0.00016	161	0.0044	0.00016
Cs	15	0.133	140	0.015	0.133
Pu	9	8.860	151	16.969	8.860
Am	2	52	85	2.877	2.877

*1 2号及び3号廃棄物埋設施設のCは、ばらつきを考慮し分配係数が小さくなるよう数値を丸め 0.05m³/kg とする。

*2 1号廃棄物埋設施設のCは、廃棄体を除いた値とする。また、ばらつきを考慮し分配係数が小さくなるよう数値を丸め 0.004m³/kg とする。

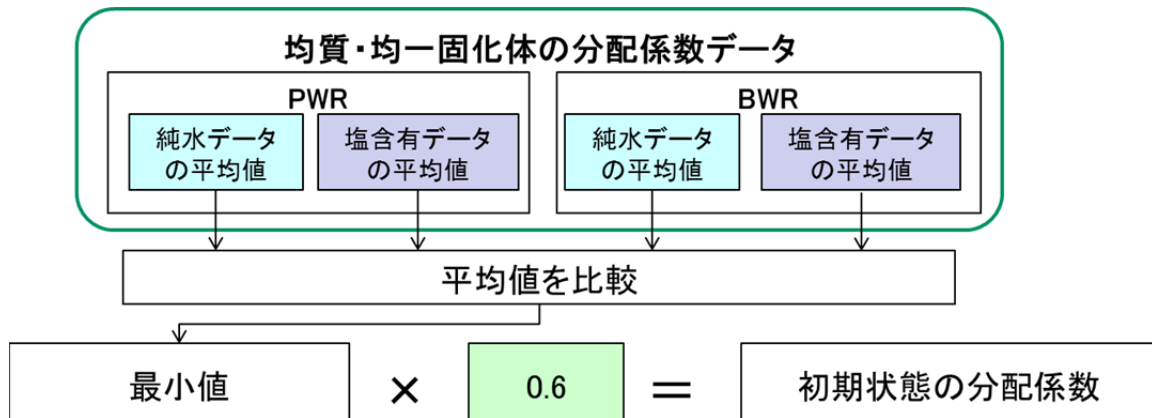
*3 データ数(以下同様)

(ii) 廃棄体(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体)

a. 1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体(1群から6群)の初期状態の分配係数の考え方

1群から6群については、セメント系材料で固型化した廃棄体の埋設割合を考慮する。均質・均一固化体の分配係数データについて、元素ごとに発電所(PWR、BWR)と液相(純水、塩含有)の4条件それぞれの平均値を求め比較し、最小値を選定する。選定した最小値に0.6^{*1}を乗じた値を初期状態の分配係数とする。廃棄体の初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体(1群から6群))を第6図に、廃棄体の初期状態の分配係数(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体)を第14表に示す。

*1 セメント以外で固型化した廃棄体が1群から5群は2割を超えないよう(セメント固化体は8割以上)、6群は4割を超えないよう(セメント固化体は6割以上)定置の管理を行う。ただし、Cについてはアスファルト固化体が放射性物質の漏出を防止する機能を有すること⁽²⁾及びBWRのプラスチック固化体に含まれるC-14は無機形態であることから、セメント固化体と同等の性能を有するものとし、1と設定する。



第6図 廃棄体の初期状態の分配係数の考え方

(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体(1群から6群))

第 14 表 廃棄体の初期状態の分配係数(1号廃棄物埋施設 均質・均一固化体)

元素	当社分配係数データ								最小値	均質・均一固化体	
	純水データ				塩含有データ					1群から6群	
	PWR		BWR		PWR		BWR			セメント 固化体 の割合	初期状態 の分配係 数(m ³ /kg)
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)			
C* ¹	12	0.557	3	7.767	1	0.35* ²	—	—	0.5	1	0.5
Co	2	14.555	2	0.251	2	5.825	2	0.159	0.159	0.6	0.096
Ni	2	91.035	2	0.446	2	22.092	2	0.436	0.436		0.262
Sr	2	0.045	2	1.886	2	0.099	2	0.854	0.045		0.027
Nb	2	100	2	67.528	2	100	2	79.632	67.528		40.517
Tc	2	0.00066	2	1.016	—	—	—	—	0.00066		0.00040
I	2	0.124	2	0.0027	—	—	—	—	0.0027		0.0016
Cs	2	0.083	2	0.005	2	0.036	2	0.0045	0.0045		0.0027
Pu	2	53	2	53	2	46.13	2	42.988	42.988		25.793
Am	2	47.286	2	42.661	2	44.452	2	49	42.661		25.597

*1 PWRは有機C、BWRは無機Cの値である。Cの値は、PWRの有機Cの平均値を使用する。また、ばらつきを考慮し分配係数が小さくなるよう数値を丸め0.5m³/kgとする。

*2 同一サンプルを用いた純水データの試験結果(0.23m³/kg)よりも、塩含有データの方が高い値が得られており、塩含有による分配係数低下の影響がないと判断した。

b. 1号廃棄物埋施設 均質・均一固化体(8群)の初期状態の分配係数の考え方

1号廃棄物埋施設のうち8群の均質・均一固化体については、セメント固化体以外が埋設されることを考慮し、分配係数を設定しない。

c. 1号廃棄物埋施設 セメント破砕物充填固化体(8群)の初期状態の分配係数の考え方

1号廃棄物埋施設のうち8群のセメント破砕物充填固化体については、「4.(1)(i) 廃棄体及び充填材(1号廃棄物埋施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋施設)」と同じ考え方で設定する。

(iii) コンクリート

仕様変更があった2号廃棄物埋施設のコンクリートについては、当社分配係数データのうち、高炉スラグコンクリートとFAコンクリートのデータの平均値を比較し、小さい方の値を設定した。1号廃棄物埋施設のうち7,8群及び3号廃棄物埋施設についても、2号廃棄物埋施設と同様の設定手法とした。また、1号廃棄物

埋施設のうち1群から6群については、高炉スラグコンクリートの分配係数データを用いた。

コンクリートの初期状態の分配係数設定に当たり、FAモルタルのデータがある元素については、主要な水和生成物であるC-S-Hゲルの単位体積当たりの物質量に応じて分配係数が変化するものとし、C-S-Hゲルの単位体積当たりの物質量を基にFAモルタルのデータをFAコンクリート相当に換算し分配係数を小さくした値を用いる。

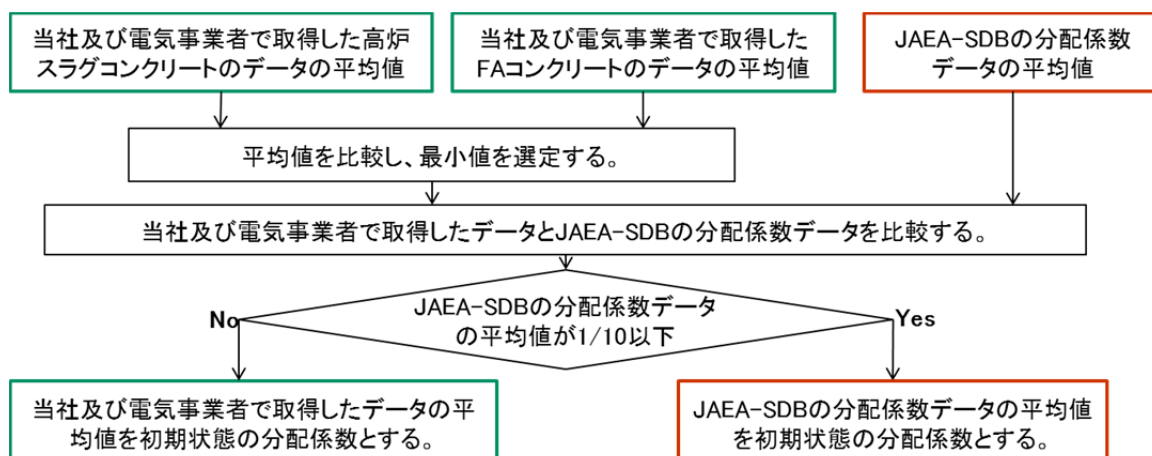
単位体積当たりの水和生成物(C-S-Hゲルで代表)生成量を求め、この比(FAコンクリートのC-S-Hゲル物質量/FAモルタルのC-S-Hゲル物質量)を換算係数とし、FAモルタルのデータに乗じた値をFAコンクリートの値として用いる。求めた換算係数を第15表に示す。

第15表 換算係数

材料種類	セメントペースト				C-S-Hゲル物質量		換算係数
	結合材 (kg/m ³)		水 (kg/m ³)	結合材 +水 (kg/m ³)	単位重量 当たり (mol/kg)	単位体積 当たり (mol/m ³)	
	セメント	FA					
FAコンクリート	233	100	155	488	0.91	444	0.44
FAモルタル	338	153	230	721	1.40	1,009	

a. コンクリート(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)

当社分配係数データのうち、高炉スラグコンクリート及びFAコンクリートのデータ(2種類)をそれぞれ元素ごとに平均値を求めて比較し最小値を選定する。その最小値とJAEA-SDBの分配係数データの平均値を比較し、JAEA-SDBの分配係数データの平均値が1/10以下の場合には、JAEA-SDBの分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とし、1/10より大きい場合には、当社分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とする。コンクリートの初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)を第7図に、コンクリートの初期状態の分配係数(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)を第16表に示す。



第7図 コンクリートの初期状態の分配係数の考え方

(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)

第16表 コンクリートの初期状態の分配係数

(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)

元素	当社分配係数データ								JAEA-SDBの分配係数データ		コンクリートの初期状態の分配係数 (m ³ /kg)
	高炉スラグ		FA		FA				セメント		
	コンクリート		コンクリート		モルタル						
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	換算係数	FAモルタル平均値 × 換算係数 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C* ¹	18	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05* ²
C* ³	3	0.0039	—	—	—	—	—	—	—	—	0.003
Co* ⁴	2	1.846	—	—	3	0.084	0.44	0.037	46	1.214	0.037
Ni	2	2.893	13	0.132	35	0.113		0.05	302	0.15	0.132
Sr* ⁴	2	0.019	—	—	3	0.0067		0.0029	90	0.0091	0.0029
Nb	2	0.62	3	2.22	—	—		—	116	0.867	0.62
Tc* ⁴	2	0.0016	—	—	8	0.00015		0.000066	13	0.00054	0.000066
I* ⁴	2	0.00033	—	—	8	0.0014		0.00062	161	0.0044	0.00033
Cs	5	0.184	13	0.026	18	0.0065		0.0028	140	0.015	0.026
Pu	—	—	3	2.358	1	3.7		1.628	151	16.969	2.358
Am* ⁴	—	—	—	—	1	7.727		3.4	85	2.877	3.4

*1 1号廃棄物埋施設(7,8群 充填固化体)、2号及び3号廃棄物埋施設

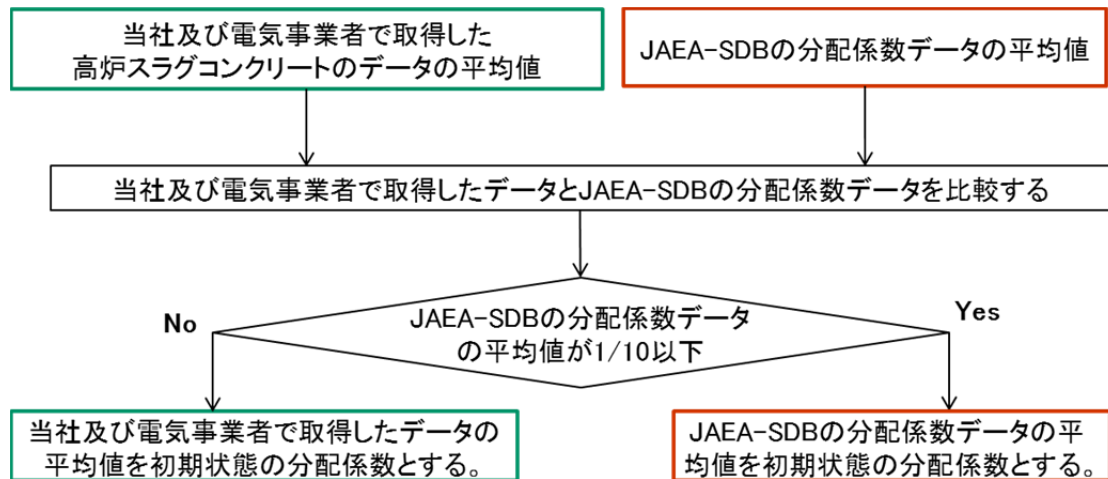
*2 Cはばらつきを考慮し分配係数が小さくなるよう数値を丸め0.05m³/kgとする。

*3 1号廃棄物埋施設(8群 均質・均一固化体及びセメント破砕物充填固化体)

*4 FAコンクリートの分配係数データがない元素についてはFAモルタルの分配係数データをFAコンクリート相当に換算した値を用いる。

b. コンクリート(1号廃棄物埋施設(1群から6群))

当社分配係数データのうち、高炉スラグコンクリートのデータ(1種類)及びJAEA-SDBの分配係数データについて、元素ごとに平均を求めて比較する。当社分配係数データの平均値と比較し、JAEA-SDBの分配係数データの平均値が1/10以下の場合には、JAEA-SDBの分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とし、1/10より大きい場合には、当社分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とする。コンクリートの初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋施設(1群から6群))を第8図に、コンクリートの初期状態の分配係数(1号廃棄物埋施設(1群から6群))を第17表に示す。



第8図 コンクリートの初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋施設(1群から6群))

第 17 表 コンクリートの初期状態の分配係数(1号廃棄物埋設施設(1群から6群))

元素	当社分配係数データ								JAEA-SDBの分配係数データ		コンクリートの初期状態の分配係数(m ³ /kg)
	高炉スラグ		FA		FA				高炉スラグ		
	コンクリート		コンクリート		モルタル						
	N	平均値(m ³ /kg)	N	平均値(m ³ /kg)	N	平均値(m ³ /kg)	換算係数	FAモルタル平均値×換算係数(m ³ /kg)	N	平均値(m ³ /kg)	
C* ¹	3	0.0039	—	—	—	—	—	—	—	—	0.003
Co	2	1.846	—	—	3	0.084	0.44	0.037	46	1.214	1.846
Ni	2	2.893	13	0.132	35	0.113		0.05	302	0.15	0.15
Sr	2	0.019	—	—	3	0.0067		0.0029	90	0.0091	0.019
Nb	2	0.62	3	2.22	—	—		—	116	0.867	0.62
Tc	2	0.0016	—	—	8	0.00015		0.000066	13	0.00054	0.0016
I	2	0.00033	—	—	8	0.0014		0.00062	161	0.0044	0.00033
Cs	5	0.184	13	0.026	18	0.0065		0.0028	140	0.015	0.015
Pu* ²	—	—	3	2.358	1	3.7		1.628	151	16.969	2.358
Am* ³	—	—	—	—	1	7.727		3.4	85	2.877	3.4

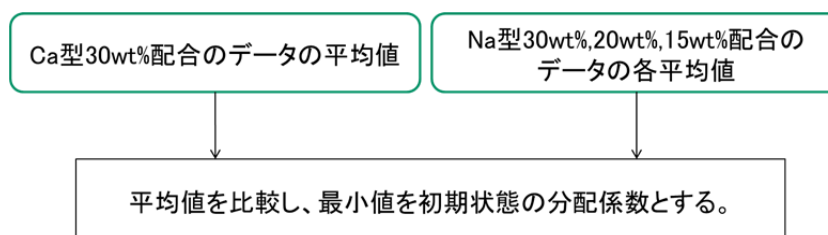
*1 ばらつきを考慮し分配係数が小さくなるよう数値を丸め 0.003m³/kg とする。

*2 Pu は高炉スラグコンクリートのデータがないため FA コンクリートのデータを用いる。

*3 Am は高炉スラグコンクリートのデータがないため FA モルタルのデータを FA コンクリート相当に換算した値を用いる。(高炉スラグモルタルより FA モルタルの分配係数の方が小さいため、FA モルタルのデータを用いる。)

(2) 難透水性覆土初期状態の分配係数

当社分配係数データのうち、候補材料である Ca 型 30wt%配合の平均値と Na 型 30wt%配合、20wt%配合、15wt%配合のデータの平均値を比較し、最小値を初期状態の分配係数とする。ただし Na 型のデータについては、難透水性覆土の配合仕様を考慮し、30wt%配合のデータを優先する。難透水性覆土の初期状態の分配係数の考え方を第 9 図に、難透水性覆土の初期状態の分配係数を第 18 表に示す。



第 9 図 難透水性覆土の初期状態の分配係数の考え方

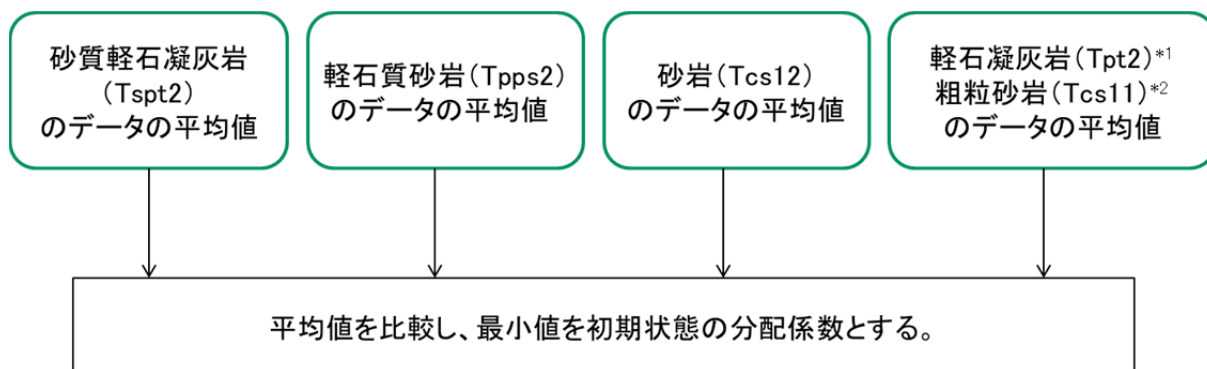
第 18 表 難透水性覆土の初期状態の分配係数

元素	Na 型						Ca 型		難透水性覆土 の初期状態の 分配係数 (m ³ /kg)
	15wt%配合		20wt%配合		30wt%配合		30wt%配合		
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C*1	3	0.0012	—	—	—	—	—	—	0
Co	2	0.051	2	0.04	—	—	5	2.543	0.04
Ni	2	0.056	2	0.04	3	0.799	5	1.802	0.799
Sr	2	0.251	2	0.192	—	—	5	0.389	0.192
Nb	—	—	—	—	3	0.547	5	0.542	0.542
Tc	2	0	2	0	—	—	5	0.00025	0
I	2	0	2	0	—	—	5	0.00049	0
Cs	5	0.482	2	0.147	3	1.343	5	1.721	1.343
Pu	2	1.149	—	—	—	—	8	0.03	0.03
Am	—	—	—	—	3	6.479	5	8.29	6.479

*1 C は難透水性覆土による収着を見込まない。

(3) 岩盤(鷹架層)初期状態の分配係数

当社分配係数データのうち、埋設設備から尾駸沼までの移行経路上の主な岩層のデータについて、それぞれ元素ごとに平均値を求めて比較し、最小値を初期状態の分配係数とする。岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数の考え方を第 10 図に、岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(3号廃棄物埋設施設)を第 19 表に、岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(1号及び2号廃棄物埋設施設)を第 20 表に示す。



*1 3号廃棄物埋設施設

*2 1号及び2号廃棄物埋設施設

第 10 図 岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数の考え方

第 19 表 岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(3号廃棄物埋設施設)

元素	凝灰岩				砂岩				岩盤(鷹架層) の初期状態の 分配係数 (m ³ /kg)
	砂質軽石凝灰岩 (Tspt2)		軽石凝灰岩 (Tpt2)		軽石質砂岩 (Tpps2)		砂岩 (Tcs12)		
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C*1	3	0.0016	—	—	—	—	—	—	0.0001
Co	—	—	67	0.332	15	0.206	3	0.19	0.19
Ni	46	0.276	119	0.239	19	0.184	29	0.726	0.184
Sr	83	0.328	67	0.165	29	0.924	53	0.347	0.165
Nb	3	0.024	10	5.5	10	0.022	3	2.115	0.022
Tc	14	0.00016	29	0.00013	19	0.0001	11	0.002	0.0001
I	8	0.00009	22	0.00014	9	0.00003	11	0.00037	0.00003
Cs	89	1.896	169	0.923	32	2.851	53	1.981	0.923
Pu	10	0.309	5	0.222	3	0.028	3	0.027	0.027
Am	—	—	10	0.151	3	1.453	3	1.6	0.151

*1 Cは微生物影響による無機化を考慮し0.0001m³/kgとする。

第 20 表 岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(1号及び2号廃棄物埋設施設)

元素	凝灰岩		砂岩						岩盤(鷹架層) の初期状態の 分配係数 (m ³ /kg)
	砂質軽石凝灰岩 (Tspt2)		軽石質砂岩 (Tpps2)		砂岩 (Tcs12)		粗粒砂岩 (Tcs11)		
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C*1	3	0.0016	—	—	—	—	3	0.0023	0.0001
Co	—	—	15	0.206	3	0.19	—	—	0.19
Ni	46	0.276	19	0.184	29	0.726	49	0.444	0.184
Sr	83	0.328	29	0.924	53	0.347	85	0.243	0.243
Nb	3	0.024	10	0.022	3	2.115	—	—	0.022
Tc	14	0.00016	19	0.0001	11	0.002	10	0.00026	0.0001
I	8	0.00009	9	0.00003	11	0.00037	7	0.00016	0.00003
Cs	89	1.896	32	2.851	53	1.981	88	1.35	1.35
Pu	10	0.309	3	0.028	3	0.027	2	4.543	0.027
Am	—	—	3	1.453	3	1.6	2	36.332	1.453

*1 Cは微生物影響による無機化を考慮し0.0001m³/kgとする。

5. 影響事象による各バリア材料への放射性物質の収着影響

(1) 放射性物質の収着性に影響すると考えられる事象

「2. (5) 分配係数設定において対象とする影響事象」の影響事象分析を基に抽出された影響事象を第 21 表に示す。これらの影響事象について、分配係数試験結果や文献から収着影響度*1 を求め、影響事象の比較及び重畳を考慮し、分配係数低下係数を求める。

なお、岩盤(鷹架層)については、地下水との反応(溶脱)、有機物及び地下水との反応(塩)の影響が埋設設備近傍の領域に限られるため収着影響はないものとする。

*1 収着影響が大きいほど収着影響度の数値は小さくなる。

第 21 表 影響事象分析で抽出された影響事象

影響事象		バリア材料	内容
地下水との反応	溶脱	セメント系材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主要鉱物が地下水との接触により溶脱し、収着性が低下し得る。 ・ 地下水浸入量が大いほど影響が大い。 ・ 溶脱に伴い C-S-H ゲルの電荷が正から負に変化することにより収着性が変化する。
	塩	セメント系材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 均質・均一固化体中の塩物質(硫酸塩、ほう酸塩)が、放射性物質の収着性に影響を及ぼす可能性がある。
難透水性覆土			
有機物	セメント系材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物埋設施設中(埋設設備、廃棄体)の有機物が、放射性物質と錯体を形成することにより収着性が低下する。 	
	難透水性覆土		
微生物	難透水性覆土	<ul style="list-style-type: none"> ・ 微生物の活動により、炭素が無機化することにより収着性が低下すると考えられる。 	
	岩盤(鷹架層)		

(2) 考慮する影響事象

影響事象については、地下水との反応(溶脱、塩)、有機物及び微生物の影響がある。地下水との反応(溶脱)は非調和的な溶解が緩慢に進展するもので長期的な変化であると想定されることから、評価期間 1,000 年ではセメント系材料の地下水との反応(溶脱)の収着影響については考慮しないものとする。

微生物については、炭素の初期状態の分配係数は微生物の影響を考慮しているため、収着影響としては考慮しないものとする。

影響事象ごとの各バリア材料への収着影響の考慮の有無を第 22 表に示す。

第 22 表 影響事象ごとの各バリア材料への収着影響の考慮の有無

影響事象		バリア材料	収着影響の考慮の有無	
			2号及び3号 廃棄物埋施設	1号廃棄物埋施設
地下水との反応	溶脱	セメント系材料	—	—
	塩*1	セメント系材料	—	○
		難透水性覆土	—	○
有機物		セメント系材料	○	○
		難透水性覆土	○	○
微生物		難透水性覆土	—	—
		岩盤(鷹架層)	—	—

○：収着影響を考慮する

—：収着影響を考慮しない

*1 1号廃棄物埋施設のみ

(3) 確からしい設定及び厳しい設定における収着影響の考え方

影響事象による収着影響として、確からしい設定及び厳しい設定で異なるものは、有機物では、セルロースの分解率とした。確からしい設定及び厳しい設定における収着影響の考え方を第 23 表に示す。

第 23 表 確からしい設定及び厳しい設定における収着影響の考え方

影響事象	確からしい設定	厳しい設定
地下水との反応(塩)	共通	
有機物	セルロースの 分解率 5%を想定 ⁽¹⁸⁾	セルロースの 分解率 30%を想定 ⁽¹⁸⁾

(4) 収着影響の重畳

1号廃棄物埋施設における収着影響は、地下水との反応(塩)による収着影響を考慮するため、有機物の収着影響との重畳を考慮する。具体的には、有機物による収着影響度と地下水との反応(塩)による収着影響度を掛け合わせる。

(5) 炭酸の影響について

炭酸の影響については、4 元素 (Co, Ni, Pu, Am) が炭酸錯体を生成する。Co 及び Ni は、中性～pH11 程度では炭酸錯体が生成するが、pH11 以上では水酸化物が支配的となる。また、Pu については、中性～pH11 ではヒドロキソ炭酸錯体 ($\text{Pu}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$) が支配化学種となるが、pH11 以上では水酸化物 ($\text{Pu}(\text{OH})_4$) が支配的となる。Am についても、中性～pH11 では炭酸錯体 (AmCO_3^+ 、 $\text{Am}(\text{CO}_3)_3^{3-}$)、pH11 以上では水酸化物 ($\text{Am}(\text{OH})_3$) が支配的となる。

以上のように、中性～弱アルカリ性では炭酸が化学形態に及ぼす影響があるが、廃棄物埋施設中(セメント系材料)の元素の支配的な化学形態は、いずれでも水酸化物であると想定されるため、影響はないこととする。

廃棄物埋施設で想定される元素の化学形態 (pH11 以上) を第 24 表に示す。

第 24 表 廃棄物埋施設で想定される元素の化学形態 (pH11 以上)

元素	化学形態
C	多様な化学形態
Co	$\text{Co}(\text{OH})_2(\text{aq})$
Ni	$\text{Ni}(\text{OH})_3^-$
Sr	Sr^{2+}
Nb	$\text{Nb}(\text{OH})_6^-$
Tc	TcO_4^-
I	I^-
Cs	Cs^+
Pu	$\text{Pu}(\text{OH})_4(\text{aq})$
Am	$\text{Am}(\text{OH})_3$

(6) 地下水との反応(塩)による収着影響

(i) 塩による収着影響について

塩による収着影響は、1 号廃棄物埋施設の均質・均一固化体に含まれる塩を対象とし、分配係数試験のデータを用いて評価する。均質・均一固化体に含まれる可溶性塩の量を第 25 表に示す。

第 25 表 均質・均一固化体に含まれる可溶性塩の量

	平均重量 (kg/本)*1	備考
硫酸塩	約 21	硫酸塩は、主に BWR 廃棄体に含まれている (BWR 廃棄体 1 本当たり、約 15kg～約 120kg 含まれている)。
ほう素 (ほう酸塩)	約 3.0	ほう素 (ほう酸塩) は、主に PWR 廃棄体に含まれている (PWR 廃棄体 1 本当たり、約 3.0kg～約 18kg 含まれている)。

*1 これまでの埋設実績から、炉型の区別をせずに廃棄体 1 本あたりに含まれる平均重量を算定。

均質・均一固化体に関しては、実廃棄体を用いた塩による収着影響の評価を含んだデータのため、収着影響度を考慮しない。塩による収着影響は、影響が 0 年から高濃度のまま長期間に生じることを考慮するため、確からしい設定と厳しい設定で共通とする。

埋設設備内の塩の濃度は、均質・均一固化体中の塩量を基に、廃棄体からの塩の溶出挙動及び地下水の流れを考慮し、「各種バリア材の分配係数について」⁽¹⁵⁾で設定された濃度 (硫酸塩 3%、ほう酸塩 0.1%) とする。

(ii) 塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度

a. セメント系材料 (廃棄体 (充填固化体) 及び充填材)

塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度 (廃棄体 (充填固化体) 及び充填材) を第 26 表に示す。

塩を添加した場合の分配係数を塩なしの場合の分配係数で除し、それぞれ元素ごとに収着影響度を求める (除した値が 1 以上の場合は収着影響度を 1 とする)。

Pu 及び Am 以外の元素については、最も収着影響が大きい (赤枠の中で収着影響度の数値が最も小さい) 値を丸めた値を収着影響度とする。

Pu 及び Am に関しては収着影響度が 1 未満となるものもあるが、分配係数の値が大きく、収着する割合は誤差レベルとなるため収着影響度は 1 とする。

データのない Tc 及び I に関しては、第 7 表のグループ分けからの類推は困難であるが、第 24 表で示すようにアルカリ環境では Ni 及び Nb と同じ陰イオン元素であるため、Ni 及び Nb と同じ収着影響度とした。また、Tc 及び I は、比較的分配係数が小さいため、仮に収着影響度の値が 0.1 より大幅に小さいとしても線量結果に大きく影響はないと考える。

第 26 表 塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度
(廃棄体(充填固化体)及び充填材)

元素	分配係数試験結果 (m ³ /kg)			各塩による収着影響度		塩による 収着影響度
	塩なし	3.0% 硫酸塩	0.1% ほう酸塩	3.0% 硫酸塩	0.1% ほう酸塩	
C	0.0078	0.01	—	1	—	1
Co	4.96	0.771	3.669	0.16	0.74	0.1
Ni	3.754	1.338	1.296	0.36	0.35	
	0.076	0.1	—	1	—	
Sr	0.027	0.039	0.02	1	0.74	
Nb	2.869	0.656	0.664	0.23	0.23	
Tc	0.00031	—	—	—	—	
I	0.00037	—	—	—	—	
Cs	0.115	0.036	0.06	0.31	0.52	
Pu	58	53	48	0.91	0.83	1
Am	52	61	56	1	1	

b. セメント系材料(コンクリート)

塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(コンクリート)を第 27 表に示す。

塩を添加した場合の分配係数を塩なしの場合の分配係数で除し、それぞれ元素ごとに収着影響度を求める(除した値が 1 以上の場合は収着影響度を 1 とする)。

Pu 及び Am 以外の元素については、最も収着影響が大きい(赤枠の中で収着影響度の数値が最も小さい)値を丸めた値を収着影響度とする。

Pu 及び Am に関しては収着影響度が 1 未満となっているが、分配係数の値が大きく、収着する割合は誤差レベルとなるため収着影響度は 1 とする。

第 27 表 塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(コンクリート)

元素	分配係数試験結果 (m ³ /kg)			各塩による収着影響度		塩による収着影響度
	塩なし	3.0%硫酸塩	0.1%ほう酸塩	3.0%硫酸塩	0.1%ほう酸塩	
C	0.0039	0.0082	—	1	—	1
Co	1.846	0.154	0.415	0.084	0.22	0.02
Ni	2.9	0.498	0.079	0.17	0.027	
Sr	0.019	0.037	0.0096	1	0.51	
Nb	0.62	0.09	0.234	0.15	0.38	
Tc	0.0015	—	—	—	—	
I	0.00033	—	—	—	—	
Cs	0.065	0.033	0.046	0.51	0.71	1
Pu	61	54	34.943	0.89	0.57	
Am	72	58	48	0.81	0.67	

c. 難透水性覆土

塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(難透水性覆土)を第 28 表に示す。

難透水性覆土への塩による収着影響については、塩を用いた分配係数試験結果から、塩を添加した場合の分配係数を健全試料の分配係数で除し、それぞれ塩による収着影響度を求め、最も影響が大きい値を丸め、塩による収着影響度とする。

Cについては難透水性覆土で収着性を期待しない。

第 28 表 塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(難透水性覆土)

元素	分配係数試験結果 (m ³ /kg)		硫酸塩による 収着影響度	塩による 収着影響度
	健全試料	0.5M(7%) Na ₂ SO ₄		
C	—	—	—	—
Co	—	—	—	0.07
Ni	1.803	0.133	0.074	
Sr	—	—	—	
Nb	0.539	0.046	0.085	
Tc	—	—	—	
I	—	—	—	
Cs	1.696	0.127	0.075	
Pu	—	—	—	
Am	8.289	1.766	0.21	

(iii) 塩による収着影響度まとめ

塩による収着影響度(確からしい設定・厳しい設定共通)を第 29 表に示す。

第 29 表 塩による収着影響度(確からしい設定・厳しい設定共通)

元素	塩による収着影響度				
	廃棄体		充填材	コンクリート	難透水性覆土
	均質・均一 固化体*1	充填固化体			
C	1	1	1	1	—
Co	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Ni	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Sr	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Nb	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Tc	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
I	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Cs	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Pu	1	1	1	1	7×10 ⁻²
Am	1	1	1	1	7×10 ⁻²

*1 均質・均一固化体に関しては、塩による収着影響の評価を含むデータのため、収着影響度を考慮しない。

*2 充填材の収着影響度を用いる。

(7) 有機物による収着影響

有機物は、放射性物質と錯体を形成することが想定され、錯体を形成する場合には収着性に影響すると考えられる。

有機物による収着影響については、有機物の分解生成物を用いた分配係数試験の結果を用いて評価する。

埋設設備に使用される有機物の種類及び量は、1号及び2号廃棄物埋設施設の使用実績を考慮する。

廃棄体に含まれる有機物の種類及び量は、「低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」⁽¹⁹⁾を考慮する。

(i) 有機物を用いた収着影響の評価

有機物の分解生成物のうち、イソサッカリン酸(ISA)は既往知見⁽⁴⁾⁽²⁰⁾より、金属元素と錯体を形成して金属元素のバリア材料への収着性を低下させ、ISAの濃度が高いほど収着影響が大きいことが知られている。

また、ISA以外の分解生成物についても収着性を低下させる可能性が考えられる。収着影響については、廃棄物埋設施設中の分解生成物濃度(計算値)を基に、分解生成物の飽和濃度及び分解生成物の収着性、液固比(廃棄物埋設施設)を考慮した濃度条件で試験を行い、セメント系材料及び難透水性覆土の有機物による収着影響を評価する。

Cについては既往知見⁽⁴⁾⁽²⁰⁾より有機物の分解生成物による収着影響がみられないと考えられるため、有機物による収着影響はないこととする。

(ii) 廃棄物埋設施設中の有機物及びその量について

廃棄物埋設施設中の有機物は、埋設設備に使用されるものと廃棄体に含まれるものがある。埋設設備に使用される主な有機物は、補修材のウレタン樹脂及びエポキシ樹脂、埋設設備構築のためのポリ塩化ビニル樹脂(シート)である。廃棄体に含まれる有機物は、ポリ塩化ビニル樹脂及びセルロースである。これら有機物はそのままの状態では収着性に影響しないが、これらの施設環境下での分解生成物が収着性に影響すると考えられる。

ウレタン樹脂はジアミノトルエン(DAT)が、エポキシ樹脂やポリ塩化ビニル樹脂中の可塑剤はフタル酸が、セルロースはISAが主な分解生成物であるため、これらの影響を評価する。

なお、埋設設備の充填材にはセルロース系の化学混和剤(増粘剤)が用いられているが、長期的なセルロースの分解によって生じる ISA が収着性に大きく影響を及ぼすと考えられる。ISA の影響は、廃棄体に含まれるセルロースの分解生成物の全量を ISA とする評価をしており、埋設設備の充填材におけるセルロース系の化学混和剤(増粘剤)の影響はこの評価に包含される。

a. 3号廃棄物埋設施設

埋設設備に使用される有機物は、1号及び2号廃棄物埋設施設の使用量(実績)を基に、廃棄体に含まれる有機物は、「低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」⁽¹⁹⁾を基に3号廃棄物埋設施設の埋設廃棄体211,200本分に換算した各施設での存在量を試算し、いずれかの施設で存在量の大きい値を3号廃棄物埋設施設の有機物存在量とした。3号廃棄物埋設施設に存在する有機物の存在量算出に用いたデータを第30表に示す。

DATについては、ウレタン樹脂の使用量を1号廃棄物埋設施設と2号廃棄物埋設施設で比較して、量の多い2号廃棄物埋設施設の量とする。

フタル酸については、エポキシ樹脂の施工量を1号廃棄物埋設施設と2号廃棄物埋設施設で比較して、量の多い1号廃棄物埋設施設の量とし、これに2号廃棄物埋設施設及び充填固化体のポリ塩化ビニル量を加えた合計量とする。

ISAについては、充填固化体にのみ存在するのでこの量を使用する。

第30表 3号廃棄物埋設施設に存在する有機物の存在量算出に用いたデータ

	廃棄物埋設施設	有機物	分子量(g/mol)	有機物量(g)	分解生成物
埋設設備	1号廃棄物埋設施設	ウレタン樹脂	122.1	3.0×10 ⁶	DAT
		エポキシ樹脂	148.1	1.3×10 ⁷	フタル酸
	2号廃棄物埋設施設	ポリ塩化ビニル樹脂	390.5	4.7×10 ⁴	フタル酸
		ウレタン樹脂	122.1	3.9×10 ⁶	DAT
		エポキシ樹脂	148.1	8.3×10 ⁶	フタル酸
廃棄体	2号廃棄物埋設施設	セルロース	180.15	3.1×10 ⁷	ISA
		ポリ塩化ビニル樹脂	390.5	1.2×10 ⁹	フタル酸

b. 1号廃棄物埋設施設

埋設設備に使用される有機物であるウレタン樹脂、エポキシ樹脂及びポリ塩化

ビニル樹脂について、1号廃棄物埋設施設及び2号廃棄物埋設施設の使用量(実績)をそれぞれ8群分に換算し、それぞれ量の多い廃棄物埋設施設の有機物量を用いる。

廃棄体に含まれる有機物は、「低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」⁽¹⁹⁾を基に、1号廃棄物埋設施設8基分の埋設廃棄体40,960本分に換算して、廃棄体に含まれる有機物存在量とした。1号廃棄物埋設施設に存在する有機物の存在量算出に用いたデータを第31表に示す。

DATについては、1号廃棄物埋設施設と2号廃棄物埋設施設のウレタン樹脂を比較して量の多い2号廃棄物埋設施設量とする。

フタル酸については、1号廃棄物埋設施設と2号廃棄物埋設施設のエポキシ樹脂を比較して量の多い1号廃棄物埋設施設の量に、2号廃棄物埋設施設及び充填固化体40,960本分のポリ塩化ビニルの合計量とする。

ISAについては充填固化体40,960本分の量を使用する。

第31表 1号廃棄物埋設施設に存在する有機物の存在量算出に用いたデータ

	廃棄物埋設施設	有機物	分子量 (g/mol)	有機物量 (g)	分解生成物
埋設設備	1号廃棄物埋設施設	ウレタン樹脂	122.1	3.0×10^6	DAT
		エポキシ樹脂	148.1	1.3×10^7	フタル酸
	2号廃棄物埋設施設	ウレタン樹脂	122.1	3.9×10^6	DAT
		エポキシ樹脂	148.1	8.3×10^6	フタル酸
		ポリ塩化ビニル樹脂	390.5	4.7×10^4	フタル酸
廃棄体	2号廃棄物埋設施設	セルロース	180.15	6.0×10^6	ISA
		ポリ塩化ビニル樹脂	390.5	2.3×10^8	フタル酸

c. 2号廃棄物埋設施設

埋設設備に使用される有機物は、2号廃棄物埋設施設の使用量(実績)を基に、廃棄体に含まれる有機物は、「低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」⁽¹⁹⁾を基に、207,360本分に換算して埋設設備に使用される有機物存在量とした。2号廃棄物埋設施設に存在する有機物の存在量算出に用いたデータを第32表に示す。

第 32 表 2 号廃棄物埋設施設に存在する有機物の存在量算出に用いたデータ

	有機物	分子量 (g/mol)	有機物量 (g)	分解生成物
埋設設備	ポリ塩化ビニル樹脂	390.5	4.7×10^4	フタル酸
	ウレタン樹脂	122.1	3.9×10^6	DAT
	エポキシ樹脂	148.1	8.3×10^6	フタル酸
廃棄体	セルロース	180.15	3.1×10^7	ISA
	ポリ塩化ビニル樹脂	390.5	1.2×10^9	フタル酸

(iii) 有機物の分解率

Glaus らの報告によるセルロースの分解割合⁽¹⁸⁾を第 11 図に示す。この図から紙におけるセルロースの分解率は 0.05 を超えないことから(図右下)、確からしい設定においては分解率を 0.05 と設定した(外挿した場合、0.05 を超える可能性はあるが、長期的には大きく超えることは考え難いため、確からしい設定における現実的な設定を考慮し 0.05 とする)。精製セルロースにおけるセルロースの分解率は 0.3 を超えないことから(図左上)、厳しい設定においては分解率を 0.3 と設定した。

ポリ塩化ビニル樹脂(可塑剤)、ウレタン樹脂及びエポキシ樹脂は、瞬時に全量分解するものとし、確からしい設定と厳しい設定ともに分解率を 1 とした。

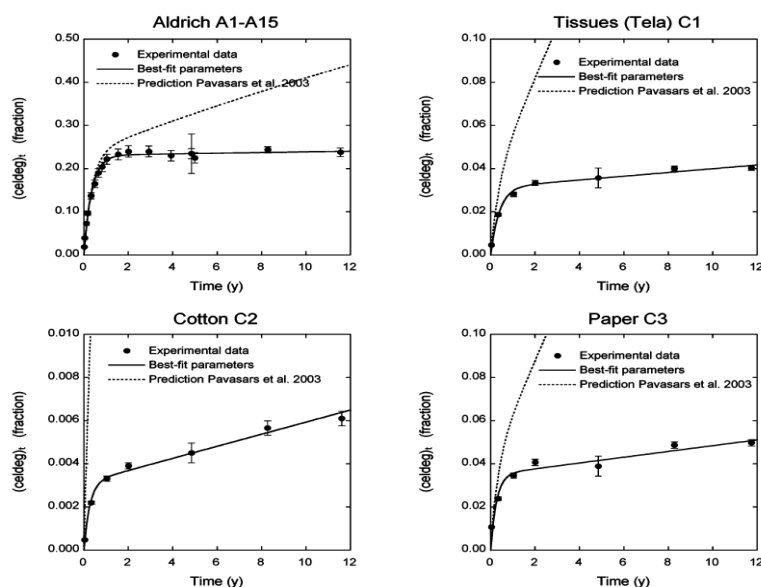


FIGURE 3. Extent of cellulose degradation based on ISA data as a function of time during degradation of various cellulose types in ACW-1. Comparison of the prediction of Pavasars et al. (16) with the best-fit parameters for eq 3 given in Table 2.

第 11 図 セルロースの分解割合

(iv) 分解生成物の物質量

a. 3号廃棄物埋施設

1号及び2号廃棄物埋施設に存在する有機物の存在量及び有機物の分解率から、3号廃棄物埋施設における分解生成物の物質量を求める。分解生成物の物質量(3号廃棄物埋施設)を第33表に示す。

第33表 分解生成物の物質量(3号廃棄物埋施設)

分解生成物	有機物	設定	有機物量 (g)	分解率	係数	分解生成物量 (g)	分子量 (g/mol)	物質量 (mol)
フタル酸	ポリ塩化ビニル樹脂	共通	1.2×10^9	1	0.4^{*1}	4.8×10^8	390.5	1.3×10^6
	エポキシ樹脂	共通	1.3×10^7	1	1	1.3×10^7	148.1	
DAT	ウレタン樹脂	共通	3.9×10^6	1	1	3.9×10^6	122.1	3.2×10^4
ISA	セルロース	確からしい設定	3.1×10^7	0.05	1.1^{*2}	1.7×10^6	180.15	9.5×10^3
		厳しい設定	3.1×10^7	0.3	1.1^{*2}	1.0×10^7	180.15	5.7×10^4

*1 ポリ塩化ビニル樹脂中にフタル酸系の可塑剤として40%添加されているものとした。

*2 セルロースからISAが生成する際の加水分解に伴う分解生成物量の増加を考慮し1.1とした。

b. 1号廃棄物埋施設

1号及び2号廃棄物埋施設に存在する有機物の存在量及び有機物の分解率から、1号廃棄物埋施設における分解生成物の物質量を求める。分解生成物の物質量(1号廃棄物埋施設)を第34表に示す。

第 34 表 分解生成物の物質量(1号廃棄物埋施設)

分解生成物	有機物	設定	有機物量 (g)	分解率	係数	分解生成物量 (g)	分子量 (g/mol)	物質量 (mol)
フタル酸	ポリ塩化ビニル樹脂	共通	2.3×10^8	1	0.4^{*1}	9.2×10^7	390.5	3.3×10^5
	エポキシ樹脂	共通	1.3×10^7	1	1	1.3×10^7	148.1	
DAT	ウレタン樹脂	共通	3.9×10^6	1	1	3.9×10^6	122.1	3.2×10^4
ISA	セルロース	確からしい設定	6.0×10^6	0.05	1.1^{*2}	3.3×10^5	180.15	1.8×10^3
		厳しい設定	6.0×10^6	0.3	1.1^{*2}	2.0×10^6	180.15	1.1×10^4

*1 ポリ塩化ビニル樹脂中にフタル酸系の可塑剤として40%添加されているものとした。

*2 セルロースからISAが生成する際の加水分解に伴う分解生成物量の増加を考慮し1.1とした。

c. 2号廃棄物埋施設

2号廃棄物埋施設に存在する有機物の存在量及び有機物の分解率から、2号廃棄物埋施設における分解生成物の物質量を求める。分解生成物の物質量(2号廃棄物埋施設)を第35表に示す。

第 35 表 分解生成物の物質量(2号廃棄物埋施設)

分解生成物	有機物	設定	有機物量 (g)	分解率	係数	分解生成物量 (g)	分子量 (g/mol)	物質量 (mol)
フタル酸	ポリ塩化ビニル樹脂	共通	1.2×10^9	1	0.4^{*1}	4.8×10^8	390.5	1.3×10^6
	エポキシ樹脂	共通	1.3×10^7	1	1	1.3×10^7	148.1	
DAT	ウレタン樹脂	共通	3.9×10^6	1	1	3.9×10^6	122.1	3.2×10^4
ISA	セルロース	確からしい設定	3.1×10^7	0.05	1.1^{*2}	1.7×10^6	180.15	9.5×10^3
		厳しい設定	3.1×10^7	0.3	1.1^{*2}	1.0×10^7	180.15	5.7×10^4

*1 ポリ塩化ビニル樹脂中にフタル酸系の可塑剤として40%添加されているものとした。

*2 セルロースからISAが生成する際の加水分解に伴う分解生成物量の増加を考慮し1.1とした。

(v) 各廃棄物埋設施設の間隙体積

廃棄体、充填材、コンクリートそれぞれの全体積に間隙率(0.2)を乗じ間隙体積を求める。

廃棄体の上部空隙は、廃棄体1本当たり、10L(200L×5%)とし、3号廃棄物埋設施設は211,200本、1号廃棄物埋設施設は204,800本、2号廃棄物埋設施設は207,360本を乗じて求めた。

充填材は、コンクリート2次製品とドラム缶の体積を、コンクリートの体積については、鉄筋の体積を除いた値を用いた。

各廃棄物埋設施設の間隙体積を第36表に示す。

第36表 各廃棄物埋設施設の間隙体積

	全体積 (m ³)				間隙率	間隙体積 (m ³)		
	3号廃棄物埋設施設	1号廃棄物埋設施設		2号廃棄物埋設施設		3号廃棄物埋設施設	1号廃棄物埋設施設	2号廃棄物埋設施設
		均質・均一 固化体	充填固化体					
廃棄体	21,120	23,284	4,096	20,736	0.2	4,224	5,562	4,147
廃棄体上部空隙	(2,112)*1	(1,587)*1	(410)*1	(2,074)*1	1.0	2,112	2,048	2,074
充填材(コンクリート2次製品体積、ドラム缶体積除く)	37,590	31,258	8,067	46,391	0.2	7,518	8,067	9,278
コンクリート(鉄筋体積除く)	33,307	33,931	8,756	46,233	0.2	6,661	8,756	9,247
合計	92,017	88,473	20,919	113,359	—	<u>20,515</u>	<u>24,433</u>	<u>24,745</u>

*1 空隙のため合計値には含まない。

(vi) 分解生成物濃度の設定

分解生成物の物質量を各廃棄物埋設施設の間隙体積で除し、各廃棄物埋設施設中の分解生成物濃度に、有機物の溶解度及びセメント系材料への収着性、液固比(試験条件、施設)を考慮して求めた廃棄物埋設施設中の分解生成物濃度を第37表に示す。

分解生成物濃度を求めるに当たり、最も濃度が高い3号廃棄物埋設施設の濃度を使用した。

第 37 表 廃棄物埋施設中の分解生成物濃度

分解生成物	設定	分解生成物の物質量を各廃棄物埋施設の間隙体積で除して求めた分解生成物濃度 (mol/L)				分解生成物濃度 (mol/L)
		3号廃棄物埋施設	1号廃棄物埋施設		2号廃棄物埋施設	
			1群から6群	7,8群		
フタル酸	共通	6.4×10^{-2}	1.3×10^{-2}	1.3×10^{-2}	5.2×10^{-2}	1×10^{-2}
DAT	共通	1.6×10^{-3}	1.3×10^{-3}	1.3×10^{-3}	1.3×10^{-3}	2×10^{-3}
ISA	確からしい設定	4.6×10^{-4}	-	7.5×10^{-5}	3.8×10^{-4}	1×10^{-5}
	厳しい設定	2.8×10^{-3}	-	4.5×10^{-4}	7.7×10^{-3}	2×10^{-3}

第 37 表で示した分解生成物濃度の設定の考え方は以下のとおり。

- ・ フタル酸の分解生成物濃度は、第 37 表の各廃棄物埋施設の分解生成物濃度及びフタル酸カルシウムの飽和溶解度 ($2 \times 10^{-2} \text{mol/L}$) を考慮し、 $1 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ とした。可塑剤が瞬時に分解しフタル酸が生成するものとし、確からしい設定と厳しい設定で分解生成物濃度を共通とした。
- ・ DAT の分解生成物濃度は、第 37 表の各廃棄物埋施設の分解生成物濃度から $2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ とした。ウレタン樹脂が瞬時に分解し DAT が生成するものとし、確からしい設定と厳しい設定で分解生成物濃度を共通とした。
- ・ フタル酸、DAT に関しては、廃棄物埋施設への収着は考慮しないが、ISA に関してはセメント系材料への収着に関する知見⁽⁴⁾があるため、これを基に廃棄物埋施設のセメント系材料への ISA の収着を考慮し、確からしい設定及び厳しい設定の分解生成物濃度を設定した。
- ・ ISA の確からしい設定の分解生成物濃度は、第 37 表の各廃棄物埋施設の分解生成物濃度から $2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ とした。厳しい設定の分解生成物濃度は、飽和溶解度 ($1.8 \times 10^{-2} \text{mol/L}$) を考慮し $2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ とした。

(vii) 有機物を用いた分配係数試験結果(セメント系材料)

有機物影響による分配係数試験の有機物濃度を「5. (7) (vi) 分解生成物濃度の設定」で求めた分解生成物濃度とするが、Cs、Ni 及び Nb における ISA の有機物濃度に関しては、より高い濃度を設定し、確からしい設定で $3 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ 、厳しい設定で $1 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ の試験結果を用いた。セメント系材料における有機物を用いた分配係数試験結果を第 38 表に示す。

第 38 表 有機物を用いた分配係数試験結果(セメント系材料)

元素	分配係数(m ³ /kg)						
	有機物なし	フタル酸 1×10 ⁻² mol/L	DAT 5×10 ⁻³ mol/L	ISA			
				確からしい設定		厳しい設定	
			3×10 ⁻⁴ mol/L	1×10 ⁻⁵ mol/L	1×10 ⁻² mol/L	2×10 ⁻³ mol/L	
Cs	0.1	0.113	0.111	0.13	—	0.125	—
Ni	0.144	0.113	0.017	0.1	—	0.079	—
Nb	>4.923	>0.06	>5.268	5.803	—	0.322	—
Pu	>9.857	>6.067	>15.193	—	—*1	—	0.0013

*1 Pu の 1×10⁻⁵mol/L は TRU2 次レポート⁽²⁰⁾ から収着影響度を設定する。

放射性物質は有機物と錯体を形成することにより、バリア材料への収着性が低下する。錯体の形成は 1 種類の有機物と形成するため、複数の有機物による収着影響は重畳しないものとし、有機物による収着影響は、最も大きい収着影響のある有機物で代表することにより他の有機物の影響を包含できると考える。

各有機物を添加した場合の分配係数を、有機物なしの場合の分配係数で除した値を丸め、放射性物質ごとにそれぞれの有機物について収着影響度を求め(除した値が 1 以上の場合は収着影響度を 1 とする)、その中でも影響が最も大きいものをそれぞれの放射性物質における有機物による収着影響度とする。

(viii) 有機物による収着影響度(セメント系材料)

第 38 表に示した有機物を用いた分配係数試験結果から、有機物を添加した場合の分配係数を有機物なしの場合の分配係数で除し、丸めた値を有機物による収着影響度とする。

a. 2 号及び 3 号廃棄物埋施設

セメント系材料における 2 号及び 3 号廃棄物埋施設の有機物による収着影響度を第 39 表に示す。

第 39 表 2 号及び 3 号廃棄物埋設施の有機物による収着影響度(セメント系材料)

元素	各有機物による収着影響度				有機物による収着影響度	
	フタル酸	DAT	ISA			
	共通	共通	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定
Cs	1	1	1	1	1	1
Ni	1	1×10^{-1}	5×10^{-1}	5×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1	1	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}
Pu	1	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-2}

第 39 表で示した有機物影響による収着影響度は以下の考え方で設定した。

- ・ フタル酸は計算上では収着影響度が 1 未満になる放射性物質もあるが、装置の検出限界の問題であり、収着性の観点ではフタル酸による収着影響はないものとし、全て 1 とした。
- ・ Ni の ISA による収着影響度は計算上では確からしい設定 0.69、厳しい設定 0.55 だが、確からしい設定と厳しい設定で ISA による収着影響に差異はないものとし確からしい設定、厳しい設定ともに 5×10^{-1} とした。
- ・ Nb の厳しい設定における ISA による収着影響度は計算上では 0.065 となり、これを丸め 5×10^{-2} とした。
- ・ Pu の確からしい設定における ISA による収着影響度は TRU2 次レポート⁽²⁰⁾から 5×10^{-2} とした。
- ・ Pu の厳しい設定における ISA による収着影響度は計算上 0.026 となり、これを丸め 1×10^{-2} とした。

b. 1 号廃棄物埋設施

有機物を用いた分配係数試験結果から求めたセメント系材料における 1 号廃棄物埋設施の有機物による収着影響度を第 40 表に示す。

第 40 表 1 号廃棄物埋設施設の有機物による収着影響度(セメント系材料)

元素	各有機物による収着影響度				有機物による収着影響度		
	施設(1群から8群)		廃棄体(1群から6群では考慮しない)		1群から6群	7,8群	
	フタル酸	DAT	ISA				
	共通	共通	確からしい設定	厳しい設定	共通	確からしい設定	厳しい設定
Cs	1	1	1	1	1	1	1
Ni	1	1×10^{-1}	5×10^{-1}	5×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1	1	5×10^{-2}	1	1	5×10^{-2}
Pu	1	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}

第 40 表で示した有機物影響による収着影響度は以下の考え方で設定した。

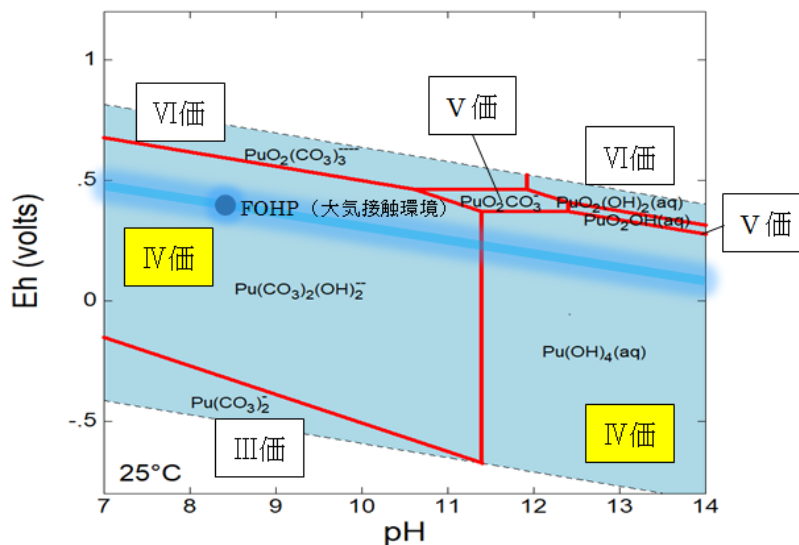
- ・ 有機物による収着影響は、1群から6群に関しては、埋設設備に使用される有機物のみ(フタル酸及び DAT)を考慮し、ISA の収着影響は考慮しない。一方で、7,8群に関しては、廃棄体に含まれる有機物もあるため、埋設設備に使用される有機物に加えて ISA の収着影響も考慮する。
 - ・ フタル酸は計算上では収着影響度が 1 未満になる放射性物質もあるが、装置の検出限界の問題であり、収着性の観点ではフタル酸による影響はないものとし、全て 1 とした。
 - ・ Ni の ISA による収着影響度は計算上では確からしい設定 0.69、厳しい設定 0.55 だが、確からしい設定と厳しい設定で ISA による収着影響に差異はないものとし確からしい設定、厳しい設定ともに 5×10^{-1} とした。
 - ・ Nb の厳しい設定における ISA による収着影響度は、計算上では 0.065 となり、これを丸め 5×10^{-2} とした。
 - ・ Pu の確からしい設定における ISA による収着影響度は、TRU2 次レポート⁽²⁰⁾から収着影響度を 5×10^{-2} とした。
 - ・ Pu の厳しい設定における ISA による収着影響度は、計算上 0.026 となり、これを丸め 1×10^{-2} とした。
- (ix) 有機物による収着影響度(セメント系材料)まとめ
- Co、Sr、Tc、I 及び Am に関しては、以下のとおり収着影響度を設定した。
- ・ Co は、同じ遷移金属である Ni、Nb の結果を比較し、収着影響が大きい方(収

着影響度の数値が小さい方)とした。

- ・ Sr は同じ陽イオンの Cs と同じとした。
- ・ 陰イオン(Tc、I)は、セメント系材料への収着性が小さいこと、また、フタル酸や ISA は液相中では解離して負に帯電しており、陰イオンとの錯体形成による収着影響は小さいと想定されることから有機物による収着影響はないものとした。
- ・ Am は、TRU2 次レポート⁽²⁰⁾に基づき Pu と収着影響度を同じとした。

TRU2 次レポート⁽²⁰⁾では、III 価及びIV 価のアクチノイドについては、溶解度上昇に及ぼす有機物(ISA)の影響が同程度であり、収着影響度は溶解度上昇の影響と等しいとの仮定のもと、Pu(IV)と Am(III)の収着分配係数の影響割合は同じ値が設定されている。計算から求めた Pu の pH-Eh 図を第 12 図に示す。Pu の酸化数は pH 及び酸化還元電位によって、III 価からVI 価の酸化数となる。地中の埋設設備の酸化還元環境は、酸化性地下水(FOHP)⁽²¹⁾と同等か、鉄の腐食反応により還元的であること、埋設設備はセメント環境中で pH12 程度であることから、Pu はIV 価(溶存化学種 $\text{Pu}(\text{OH})_4$)が支配的となると推定される。そのため、Am の有機物による収着影響度については、Pu(IV)と同じとした。

なお、図中に示した大気平衡の線は、大気接触環境における酸化性地下水(FOHP)⁽²¹⁾の電位を示している。



第 12 図 Pu の pH-Eh 図

以上のことから求めたセメント系材料における有機物による収着影響度を第 41 表に示す。

第 41 表 有機物による収着影響度(セメント系材料)

元素	有機物による収着影響度				
	2号及び3号 廃棄物埋施設		1号廃棄物埋施設		
	確からしい 設定	厳しい 設定	1群から6群	7,8群	
共通			確からしい 設定	厳しい 設定	
Co	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1	1
Nb	1	5×10^{-2}	1	1	5×10^{-2}
Tc	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1	1
Pu	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}

(x) ISA を用いた分配係数試験結果及び ISA による収着影響度(難透水性覆土)

ISA を添加した場合の分配係数を、有機物なしの場合の分配係数で除した値を分数に丸め、ISA による収着影響度とする(除した値が 1 以上の場合は 1 とする)。難透水性覆土における ISA を用いた分配係数試験結果及び ISA による収着影響度を第 42 表に示す。

第 42 表 ISA を用いた分配係数試験結果及び ISA による収着影響度(難透水性覆土)

元素	分配係数試験結果 (m ³ /kg)			ISA による収着影響度	
	有機物なし	ISA*1		確からしい 設定	厳しい 設定
		1.5×10 ⁻³ mol/L	1×10 ⁻² mol/L		
Ni	1.802	1.753	0.751	1*2	3.3×10 ⁻¹
Nb	0.542	0.570	0.128	1	2×10 ⁻¹
Pu	0.059	0.547	0.567	1	1
Am	8.290	8.538	3.239	1	3.3×10 ⁻¹

*1 確からしい設定に 1.5×10⁻³ mol/L のデータを、厳しい設定に 1×10⁻² mol/L のデータを使用する。

*2 Ni の ISA による確からしい設定の収着影響度は計算上では 0.97 となるが、測定誤差と考えられることから、収着影響度は 1(影響なし)とした。

(x i) 有機物による収着影響度(難透水性覆土)

a. 2号及び3号廃棄物埋設施設

難透水性覆土におけるフタル酸及び DAT による収着影響度については、セメント系材料における有機物による収着影響度を用いる。

各有機物による収着影響が最も大きいもの(収着影響度の数値が最も小さいもの)をそれぞれの元素における有機物による収着影響度とする。求めた 2号及び3号廃棄物埋設施設の難透水性覆土における有機物による収着影響度を第 43 表に示す。

第 43 表 2号及び3号廃棄物埋設施設の有機物による収着影響度(難透水性覆土)

元素	各有機物による収着影響度				有機物による収着影響度	
	フタル酸	DAT	ISA		確からしい 設定	厳しい 設定
	共通	共通	確からしい 設定	厳しい 設定		
Cs	1	1	—	—	1	1
Ni	1	1×10 ⁻¹	1	3.3×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹
Nb	1	1	1	2×10 ⁻¹	1	2×10 ⁻¹
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	—	—	1	3.3×10 ⁻¹	1	3.3×10 ⁻¹

b. 1号廃棄物埋施設

難透水性覆土におけるフタル酸及び DAT による収着影響度については、セメント系材料における有機物による収着影響度を用いる。

各有機物による収着影響が最も大きいもの(収着影響度の数値が最も小さいもの)をそれぞれの元素における有機物による収着影響度とする。求めた1号廃棄物埋施設の難透水性覆土における有機物による収着影響度を第44表に示す。

第44表 1号廃棄物埋施設の有機物による収着影響度(難透水性覆土)

元素	各有機物による収着影響度				有機物による収着影響度		
	7, 8 群				1 群から 6 群	7, 8 群	
	1 群から 6 群		ISA				
	フタル酸	DAT	ISA		共通	確からしい設定	厳しい設定
	共通	共通	確からしい設定	厳しい設定			
Cs	1	1	—	—	1	1	1
Ni	1	1×10^{-1}	1	3.3×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1	1	2×10^{-1}	1	1	2×10^{-1}
Pu	1	1	1	1	1	1	1
Am	—	—	1	3.3×10^{-1}	1	1	3.3×10^{-1}

(x ii) 有機物による収着影響度(難透水性覆土)まとめ

Co、Sr、Tc 及び I は、以下の考え方により有機物による収着影響度を設定した。

- ・ Co は、同じ遷移金属である Ni、Nb の結果を比較し、収着影響が大きい方(収着影響度の数値が小さい方)と同じとした。
- ・ Sr は同じ陽イオンの Cs と同じとした。
- ・ 陰イオン(Tc、I)は、セメント系材料への収着性が小さいこと、また、フタル酸や ISA は液相中では解離して負に帯電しており、陰イオンとの錯体形成による収着影響は小さいと想定されることから有機物による収着影響はないものとした。
- ・ 1群から6群の Am は、TRU2次レポート⁽²⁰⁾より Pu と収着影響度を同じとした。

以上のことから求めた難透水性覆土における有機物による収着影響度を第45表に示す。

第 45 表 有機物による収着影響度(難透水性覆土)

元素	有機物による収着影響度					
	2号及び3号 廃棄物埋設施設		1号廃棄物埋設施設			
			1群から6群		7,8群	
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1	1	1
Nb	1	2×10^{-1}	1	1	1	2×10^{-1}
Tc	1	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1	1	1
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	1	3.3×10^{-1}	1	1	1	3.3×10^{-1}

(8) 微生物による収着影響

微生物の活動により、固相、液相及び化学形態が変化するため収着性に影響すると考えられるが、セメント系材料は、高 pH 環境のため、微生物の活性は低く⁽⁴⁾収着性に影響しないものとする。

難透水性覆土及び岩盤(鷹架層)は、微生物の活動により、炭素が無機化⁽²²⁾するとするが、収着影響を包含した初期状態の分配係数を用いるため考慮しない。

6. 分配係数低下係数の算出

(1) セメント系材料の分配係数低下係数

(i) 2号及び3号廃棄物埋設施設

2号及び3号廃棄物埋設施設の難透水性覆土における収着影響は、有機物による影響のみを考慮するため、有機物による収着影響度が分配係数低下係数となる。セメント系材料の分配係数低下係数(2号及び3号廃棄物埋設施設)を第46表に示す。

第46表 セメント系材料の分配係数低下係数(2号及び3号廃棄物埋設施設)

元素	確からしい設定		厳しい設定	
	収着影響度	分配係数低下係数	収着影響度	分配係数低下係数
	①有機物	①	②有機物	②
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	5×10^{-2}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1
Nb	1	1	5×10^{-2}	5×10^{-2}
Tc	1	1	1	1
I	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1
Pu	5×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}

(ii) 1号廃棄物埋設施設

セメント系材料における収着影響については、有機物による収着影響度に塩による収着影響度を乗じたものが分配係数低下係数となる。

1号廃棄物埋設施設のセメント系材料における分配係数低下係数を第47表～第53表に示す。

セメント破砕物充填固化体については、充填材の初期状態の分配係数(第13表)に塩及び有機物の影響を考慮して分配係数を設定する必要があるため、セメント破砕物充填固化体の分配係数低下係数(第48表)については、充填材の分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 7,8群)(第51表)と同じ分配係数低下係数を用いる。

第 47 表 廃棄体(均質・均一固化体)の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 1群から6群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}
Ni	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1	1	1
Nb	1	1	1	1	1	1
Tc	1	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1	1	1
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	1	1	1	1	1	1

第 48 表 廃棄体(セメント破砕物充填固化体)の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Sr	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Tc	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
I	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Cs	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Pu	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}

第 49 表 廃棄体(充填固化体)の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 7,8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Sr	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Tc	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
I	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Cs	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Pu	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}

第 50 表 充填材の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 1群から6群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Sr	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Tc	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
I	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Cs	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	1	1	1	1	1	1

第 51 表 充填材の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 7,8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Sr	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Tc	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
I	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Cs	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Pu	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}

第 52 表 コンクリートの分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 1群から6群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}
Sr	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Nb	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Tc	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
I	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Cs	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	1	1	1	1	1	1

第 53 表 コンクリートの分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 7,8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	1×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}
Sr	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Nb	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	1×10^{-3}
Tc	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
I	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Cs	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Pu	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}

(2) 難透水性覆土の分配係数低下係数

(i) 2号及び3号廃棄物埋施設

2号及び3号廃棄物埋施設の難透水性覆土における収着影響は、有機物による影響のみを考慮するため、有機物による収着影響度が分配係数低下係数となる。

難透水性覆土の分配係数低下係数(2号及び3号廃棄物埋施設)を第54表に示す。

第 54 表 難透水性覆土の分配係数低下係数(2号及び3号廃棄物埋施設)

元素	確からしい設定		厳しい設定	
	収着影響度	分配係数低下係数	収着影響度	分配係数低下係数
	①有機物	①	②有機物	②
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1
Nb	1	1	2×10^{-1}	2×10^{-1}
Tc	1	1	1	1
I	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1
Pu	1	1	1	1
Am	1	1	3.3×10^{-1}	3.3×10^{-1}

(ii) 1号廃棄物埋設施設

1号廃棄物埋設施設の難透水性覆土における収着影響については、有機物による収着影響度に塩による収着影響度を乗じたものが分配係数低下係数となる。1号廃棄物埋設施設における難透水性覆土の分配係数低下係数を第55表及び第56表に示す。

第55表 難透水性覆土の分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 1群から6群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
Co	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}
Sr	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Nb	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Tc	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
I	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Cs	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Pu	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Am	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}

第56表 難透水性覆土の分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 7,8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
Co	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}
Sr	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Nb	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	2×10^{-1}	7×10^{-2}	1.4×10^{-2}
Tc	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
I	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Cs	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Pu	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Am	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	3.3×10^{-1}	7×10^{-2}	2.3×10^{-2}

7. 分配係数設定値

(1) 各廃棄物埋設施設における分配係数設定値

初期状態の分配係数に、分配係数低下係数を乗じ、有効数字 1 桁(端数切捨て)とした値を分配係数設定値(評価期間は 0 年及び 1,000 年後)とする。各廃棄物埋設施設の分配係数設定値を第 57 表～第 61 表に示す。

第 57 表 3 号廃棄物埋設施設の分配係数設定値(0 年、1,000 年後)

核種	分配係数設定値(m ³ /kg)						
	セメント系材料				難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体・充填材		コンクリート				
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	共通
H-3	0	0	0	0	0	0	0
C-14	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	0	0	1×10 ⁻⁴
Co-60	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻³	1×10 ⁻³	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-59	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	7×10 ⁻²	7×10 ⁻²	1×10 ⁻¹
Ni-63	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	7×10 ⁻²	7×10 ⁻²	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹
Nb-94	2×10 ⁰	1×10 ⁻¹	6×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	5×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²
Tc-99	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	0	0	0	0	0
I-129	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	0	0	0
Cs-137	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁰	1×10 ⁰	9×10 ⁻¹
Pu-239	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	6×10 ⁰	2×10 ⁰	1×10 ⁻¹

第 58 表 1 号廃棄物埋設施設(1 群から 6 群)の分配係数設定値(0 年、1,000 年後)

核種	分配係数設定値(m ³ /kg)								
	セメント系材料						難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体*1		充填材		コンクリート		確からしい 設定	厳しい 設定	共通
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定			
H-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-14	5×10 ⁻¹	5×10 ⁻¹	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	0	0	1×10 ⁻⁴
Co-60	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	1×10 ⁻¹
Ni-59	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-63	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹
Nb-94	1×10 ¹	1×10 ¹	2×10 ⁻¹	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	2×10 ⁻²
Tc-99	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	0	0	0	0	0	0	0
I-129	1×10 ⁻³	1×10 ⁻³	0	0	0	0	0	0	0
Cs-137	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	9×10 ⁻²	9×10 ⁻²	1×10 ⁰
Pu-239	1×10 ¹	1×10 ¹	8×10 ⁰	8×10 ⁰	2×10 ⁰	2×10 ⁰	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ¹	1×10 ¹	2×10 ⁰	2×10 ⁰	3×10 ⁰	3×10 ⁰	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	1×10 ⁰

*1 均質・均一固化体

第 59 表 1 号廃棄物埋設施設(8 群：2 基)の分配係数設定値(0 年、1,000 年後)

核種	分配係数設定値(m ³ /kg)								
	セメント系材料						難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体*1		充填材		コンクリート		確からしい 設定	厳しい 設定	共通
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定			
H-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-14	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	0	0	1×10 ⁻⁴
Co-60	2×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁻²	0	0	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	1×10 ⁻¹
Ni-59	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-63	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	0	0	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹
Nb-94	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	6×10 ⁻⁴	3×10 ⁻²	7×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Tc-99	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-129	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cs-137	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	9×10 ⁻²	9×10 ⁻²	1×10 ⁰
Pu-239	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁰

*1 充填固化体(セメント破砕物充填固化体)

第 60 表 1 号廃棄物埋設施設(7, 8 群 : 8 基)の分配係数設定値(0 年、1, 000 年後)

核種	分配係数設定値(m ³ /kg)								
	セメント系材料						難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体*1		充填材		コンクリート		確からしい 設定	厳しい 設定	共通
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定			
H-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-14	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	0	0	1×10 ⁻⁴
Co-60	2×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁻²	0	0	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	1×10 ⁻¹
Ni-59	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-63	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	0	0	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹
Nb-94	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	6×10 ⁻⁴	3×10 ⁻²	7×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Tc-99	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-129	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cs-137	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	9×10 ⁻²	9×10 ⁻²	1×10 ⁰
Pu-239	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁰

*1 充填固化体(セメント破砕物充填固化体を除く)

第 61 表 2 号廃棄物埋設施設の分配係数設定値(0 年、1, 000 年後)

核種	分配係数設定値(m ³ /kg)						
	セメント系材料				難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体・充填材		コンクリート		確からしい 設定	厳しい 設定	共通
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定			
H-3	0	0	0	0	0	0	0
C-14	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	0	0	1×10 ⁻⁴
Co-60	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻³	1×10 ⁻³	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-59	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	7×10 ⁻²	7×10 ⁻²	1×10 ⁻¹
Ni-63	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	7×10 ⁻²	7×10 ⁻²	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻¹
Nb-94	2×10 ⁰	1×10 ⁻¹	6×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	5×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²
Tc-99	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	0	0	0	0	0
I-129	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	0	0	0
Cs-137	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁰	1×10 ⁰	1×10 ⁰
Pu-239	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	6×10 ⁰	2×10 ⁰	1×10 ⁰

(2) 分配係数設定値の妥当性について

現状の分配係数設定値のうち、大きな相違があるものについて、その妥当性について以下に整理した。

Pu と Am については同じアクチノイド系であるが、難透水性覆土の分配係数設定値が大きく異なる(2 オーダー)。Pu や Am などの主要な放射性物質は試験値から得られた値を用いているが、難透水性覆土の初期状態の分配係数は、Pu は $0.03\text{m}^3/\text{kg}$ 、Am は $6.5\text{m}^3/\text{kg}$ と 200 倍以上の違いがある。Pu の試験結果が Am と比べ小さくなった理由は、ブランク試験(固相試料が入らない状態で、測定条件と同様に実施する試験)における濃度低下によって液相濃度が検出下限値未満となったためであり、実際の Pu の分配係数は $0.03\text{m}^3/\text{kg}$ より大きくなると考えられる。また、Nb の廃棄体(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体)の分配係数設定値は、他の放射性物質や Nb の廃棄体(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体)以外の分配係数設定値に比べて大きな値となっている。Nb の初期状態の分配係数において、第 4 図の JAEA-SDB 分配係数データと当社分配係数データの比較で示したように、Nb の廃棄体(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体)の当社分配係数データ($68\text{m}^3/\text{kg}$)は JAEA-SDB 分配係数データの最大値($120\text{m}^3/\text{kg}$)を超えていないため、ばらつきの範囲内として妥当であると考えられる。

8. 分配係数の管理の考え方について

現状の分配係数設定値は、前項までに示したように、混和材や化学混和剤を含む実セメント系材料及び候補となる覆土材料で取得した分配係数の試験結果に基づき材料種類ごとの平均値又は文献値の最小値を抽出し、廃棄体含有塩、有機物及びセメント溶脱の影響による長期状態変化を考慮して安全率(分配係数低下係数)を乗じた値を設定している。したがって、セメント系材料及び覆土材料の施工単位の品質変動が分配係数に与える影響は十分に包含していると考えられる。また、海外においても、事前に分配係数の確認を行ない、それを評価に用いており、埋設設備の施工や廃棄体の製作の観点から事前に確認する現在の考え方と同様と考えている。

しかしながら、従来の品質管理で十分かどうかの判断に足るデータが十分にあると言い切れないため、データの蓄積及び廃棄物埋設施設の更なる安全管理の充実のために、各材料の分配係数については、以下に示すように適切な条件及び頻度*1で分配係数データを取得することにより、廃棄物埋設施設の安全性を確保できる状態であることを確認することとし、最適な管理方法を検討する。

なお、前述のとおり分配係数は最小値を使用しており、実測データのばらつきの影響により、今回申請した値以下となることも想定されることから、それを考慮しても問題ないような最適な管理方法についても検討を行う。

*1 実廃棄物を用いた測定は、サンプル採取の可否及びサンプル採取時の作業者の被ばく低減の観点を考慮する。また、分配係数データの蓄積状況に応じて測定頻度を設定する。

(1) 埋設設備(外周仕切設備、内部仕切設備、覆い及び充填材)

屋外で施工する埋設設備については、周辺環境の影響及び打設ロット間の品質変動が分配係数に与える影響を考慮し、打設の際に試験体を採取し、分配係数を取得することによりデータの蓄積を図るとともに、安全性が確保できる状態であることを管理する。

分配係数の取得に際しては、種々の分配係数への影響因子を試験及び文献により事前に把握した上で、適切な条件(材料仕様、対象とする核種等)及び頻度(分配係数データの蓄積状況により設定)で分配係数データを取得し、分配係数データの取得が困難な場合は代替指標となるデータを取得する。また、廃棄物埋設施設の安全性は、廃棄体の固型化材を含めて廃棄物埋設地全体の収着性が確保できることを確認することによ

り管理する。

なお、セメントの配合変更などを行う場合は、その都度分配係数データを取得・管理する。

(2) 廃棄体の固型化材

充填固化体は、固体状の放射性廃棄物を収納した廃棄体容器にモルタルを注入し製作されるため、埋設設備を充填するモルタルと材料は基本的に同様である。均質・均一固化体は、濃縮廃液等の放射性廃棄物をセメントと混練し製作するため、セメント固化体の種類によって適切に区分し分配係数を管理する。

埋設する廃棄体は、埋設設備と異なり周辺環境の影響を受け難い屋内設備で製作されること及び固型化条件も設備の運転条件として一定に管理されており頻繁に変更になることはない。また、廃棄体の種類もこれまでに埋設した廃棄体と同様であることから、これまでに取得した分配係数データに加え、今後数年間に分配係数データを取得・蓄積し、埋設する廃棄体の分配係数の管理方法を検討していく。その管理方法に基づいて、埋設する廃棄体の固型化材の分配係数が種々の分配係数への影響因子を踏まえて適切に評価、設定されていることを廃棄体の受入れ前に確認する。

なお、廃棄体の分配係数データ取得は、埋設設備と異なり高線量となる実廃棄物(均質・均一固化体など)を取り扱うことで作業者の過度な被ばくが懸念されるため、並行して実施する埋設設備側の知見及び文献も取り入れながら代替となるデータ取得も視野に入れて検討する。

これにより、埋設設備を含めて廃棄物埋設地全体の収着性が確保できる状態であることを確認・管理する。また、これまでと同様に充填固化体に充填するモルタルの種類又は均質・均一固化体のうちセメント固化体の種類(廃棄物の種類、セメント系材料)が新しく追加される場合^{*1}には、その都度分配係数データを取得し、固型化方法の違いが分配係数に与える影響を確認する。

*1 分配係数に影響を及ぼすと考えられる廃棄物の種類の追加・変更(例：廃棄物の化学的性状の変更)及びセメント系材料仕様の追加・変更(例：セメント種類の変更)とする。なお、均質・均一固化体と化学的性状の異なるセメント破砕物充填固化体は含まない。

(3) 覆土(難透水性覆土、上部覆土)

埋設設備と同様に、施工時の品質変動などが分配係数に与える影響を考慮し、施工

の際に試験体を採取し採取した試験体を用いて分配係数を取得することにより分配係数データの蓄積を図るとともに、安全性が確保できる状態であることを管理する。

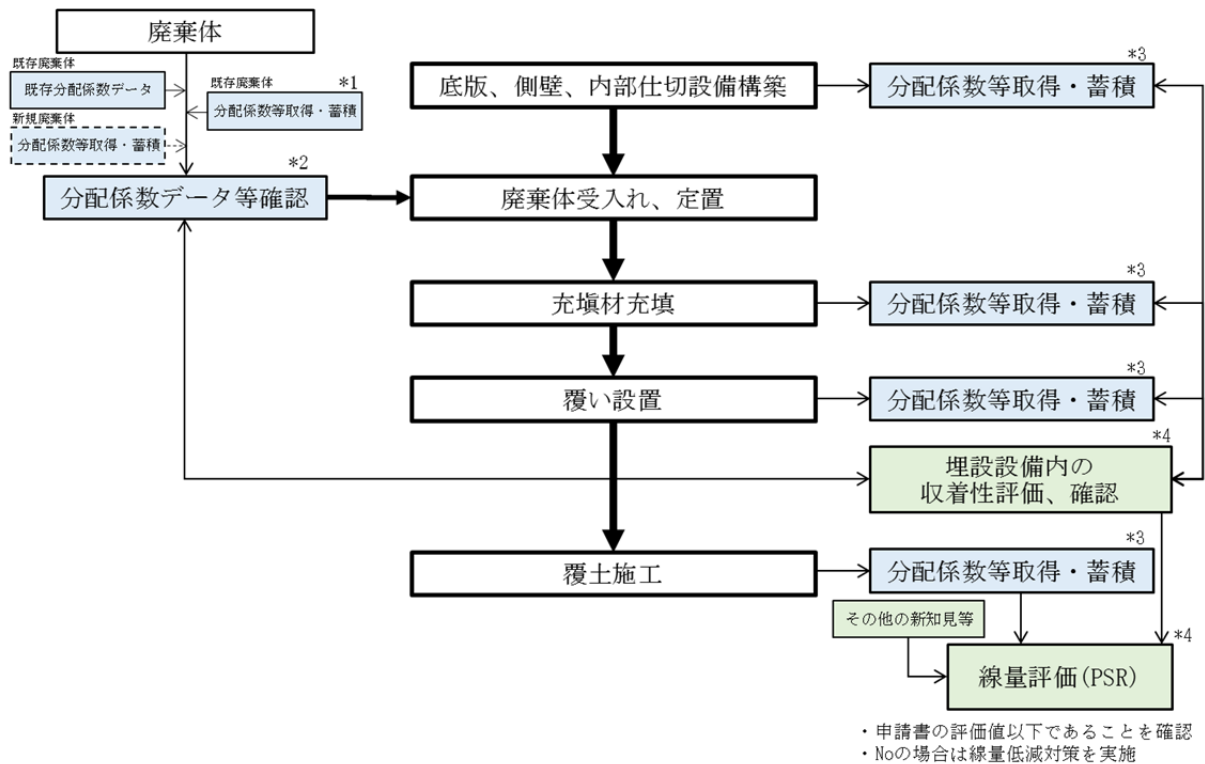
分配係数の取得に際しては、種々の分配係数への影響因子を試験及び文献により事前に把握した上で、適切な条件(材料仕様、対象とする核種等)及び頻度(データの蓄積状況により設定)で分配係数データを取得し、分配係数データの取得が困難な場合は代替指標となるデータを取得する。また、廃棄物埋設施設の安全性は、覆土全体の収着性が確保できることを確認することにより管理する。

(4) 分配係数のデータ取得・蓄積及び管理の流れについて

上述の分配係数の管理の考え方に基づいた、今後の分配係数のデータ取得・蓄積及び管理の流れ(案)を第 13 図に示す。廃棄物埋設施設の構築ごとに分配係数データを取得・蓄積し、覆い設置段階では埋設設備内全体の収着性(埋設設備内の間隙水中の放射性物質濃度)、覆土施工段階では廃棄物埋設地全体で収着性が確保されていることを確認する。

また、分配係数の管理に当たり、数年間で分配係数データの取得・蓄積を図り、具体的な管理基準、新規に設置する 3 号廃棄物埋設施設、埋設する廃棄体の変更を行う 1 号廃棄物埋設施設の 7, 8 群及びこれらに埋設する廃棄体を対象に管理を行う。

なお、分配係数データ取得・蓄積によって得られた知見をもとに新たに適用する管理方法については、今後当社手順を定めて正式に運用する。ただし、本管理方法を適用するまでに構築された埋設設備、製作した廃棄体については遡及しての適用は困難であることから、従来の固型化材料の管理項目又は既存データ(申請書に用いた値)を用いた管理を行う。また、分配係数データの取得・蓄積の結果から、分配係数取得に替わる代替指標の検討を実施し、分配係数の管理に適用する。



- *1 今後数年間で、既存廃棄体(均質・均一固化体及び充填固化体)の固型化材(セメント系材料)の分配係数及び代替指標となるデータを取得・蓄積する。
- *2 既存分配係数データ及び新たに取得・蓄積されたデータにより定めた管理方法に基づき、廃棄体性状に応じて適切に分類された廃棄体種類ごとに分配係数が適切に評価、設定されていることを廃棄体の受入れ前に確認する。
- *3 埋設設備及び覆土については、あらかじめ所定の分配係数が得られる材料仕様であることを確認した上で、施工の際に試験体を採取し、データの蓄積を図る。
- *4 得られたデータをもとに埋設設備内全体の収着性(間隙水中の放射性物質濃度)及び廃棄物埋設地全体の収着性(線量)を評価し、安全性が確保できることを定期的な評価(PSR)等において確認する。

第 13 図 分配係数のデータ取得・蓄積及び管理の流れ(案)

9. 参考文献

- (1) 北海道電力株式会社、東北電力株式会社、東京電力ホールディングス株式会社、中部電力株式会社、北陸電力株式会社、関西電力株式会社、中国電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社、日本原子力発電株式会社(2016)：充填固化体の標準的な製作方法
- (2) 宮脇健太郎、鈴木泰博、本山光志(2018)：アスファルト固化体からの環境影響物質の長期浸出挙動と浸出機構
- (3) 陶山忠宏、舘幸男(2012)：「収着データベース (JAEA-SDB) の開発：土壌系及びセメント系を含む収着データの拡充」、JAEA-Data/Code 2011-022
- (4) 電気事業連合会 核燃料サイクル開発機構(2005)：TRU 廃棄物処分技術検討書－第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－根拠資料集 分冊 3 FEP
- (5) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY(1994)：Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, TECHNICAL REPORTS SERIES No. 364
- (6) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY(1987)：EXEMPTION OF RADIATION SOURCES AND PRACTICES FROM REGULATORY CONTROL, IAEA-TECDOC-401
- (7) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY(1998)：Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research, IAEA-TECDOC-1000
- (8) C. F. Baes III, R. D. Sharp, A. L. Sjoeren and R. W. Shor(1984)：A Review and Analysis of Parameters for Assessing Transport of Environmentally Released Radionuclides through Agriculture, ORNL-5786
- (9) 日本エヌ・ユー・エス株式会社(2010)：塩素の土壌－農作物移行係数、社団法人 日本原子力学会「2010 年春の年会」
- (10) 朽山修 他(1998)：核種移行モデルにおける収着分配係数の概念とその適用性、原子力バックエンド研究 Vol.5 No.1
- (11) (社)日本原子力学会(2003)：収着分配係数の測定方法－浅地中処分のバリア材料を対象としたバッチ法の基本手順－2002 年 10 月
- (12) Jan Tits and Erich Wieland(2018)：Actinide Sorption by Cementitious
- (13) (財)原子力環境整備センター(1990)：土壌と土壌溶液間の放射性核種の分配係数

環境パラメータ・シリーズ2 RWMC-90-P-13

- (14) (社)日本原子力学会(2006):収着分配係数の測定方法 標準委員会技術レポート
AESJ-SC-TR001:2006
- (15) (財)原子力環境整備センター、(株)東芝、日揮(株)、三菱金属(株)、三菱重工業
(株)(平成元年):各種バリア材の分配係数について
- (16) JNC TJ8400 2001-034(2001年):セメントを起源とする処分環境の変遷に関する
研究
- (17) Yukio Tachi, Michael Ochs(2018): Sorption parameter setting approaches for
radioactive waste disposal considering perturbation effects: sorption
reduction factors for organics, Progress in Nuclear Science and Technology,
Volume 5, pp. 229-232
- (18) M. A. GLAUS et. al (2008): Degradation of Cellulose under Alkaline
Conditions: New Insights from a 12 years Degradation Study, Env. Sci. & Tech.,
Vol. 42, No. 8, p. 2906~2911
- (19) (財)原子力環境整備センター(平成10年):低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体
製作技術について(各種固体状廃棄物)
- (20) 電気事業連合会(2005):TRU 廃棄物処分技術検討書 ー第2次 TRU 廃棄物処分研
究開発取りまとめー
- (21) Tokai Works Japan Nuclear Cycle Development Institute(1999): Groundwater
Evolution Modeling for the Second Progress Performance Assessment (PA)
Report JNC TN8400 99-030
- (22) (財)電力中央研究所(平成22年):地下環境における有機態¹⁴Cの化学形態変化
挙動に及ぼす微生物影響ー¹³C標識酢酸イオンを用いた原位置トレーサー試験ー

分配係数試験に用いた
セメント系材料の配合表

分配係数試験に用いたセメント系材料(コンクリート及び充填モルタル)の配合表を第 1 表及び第 2 表に示す。

第 1 表 コンクリートの配合

3号廃棄物埋設施設					
水セメント比 (%)	単位量(kg/m ³)				
	水	結合材*1	混和材*2	細骨材*3	粗骨材
47	155	333	60	729	1,019
1号廃棄物埋設施設					
水セメント比 (%)	単位量(kg/m ³)				
	水	結合材*4	混和材*2	細骨材*3	粗骨材
55	159	290	85	852	973
2号廃棄物埋設施設					
水セメント比 (%)	単位量(kg/m ³)				
	水	結合材*1	混和材*2	細骨材*3	粗骨材
47	155	333	60	729	1,019

*1 中庸熟ポルトランドセメント 70%及びフライアッシュ 30%の混合セメントとし、必要に応じて膨張材を置換する。また、施工時には所定のフレッシュ性状確保のため結合材料に比例して混和剤を添加する。

*2 石灰石微粉末

*3 陸砂と砕砂の混合品

*4 普通ポルトランドセメント 45%及び高炉スラグ微粉末 55%の混合セメントとし、必要に応じて膨張材を置換する。また、施工時には所定のフレッシュ性状確保のため結合材料に比例して混和剤を添加する。

第2表 充填モルタルの配合

3号廃棄物埋設施設					
水セメント 比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材		細骨材	
		中庸熱ポルトランドセメント	高炉スラグ微粉末	砕砂	陸砂
55.0	252	131	307	872	582
1号廃棄物埋設施設					
水セメント 比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材		細骨材	
		中庸熱ポルトランドセメント	高炉スラグ微粉末	砕砂	陸砂
67.1	283	42	380	877	585
2号廃棄物埋設施設					
水セメント 比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材		細骨材	
		中庸熱ポルトランドセメント	高炉スラグ微粉末	砕砂	陸砂
67.1	283	42	380	877	585

以上