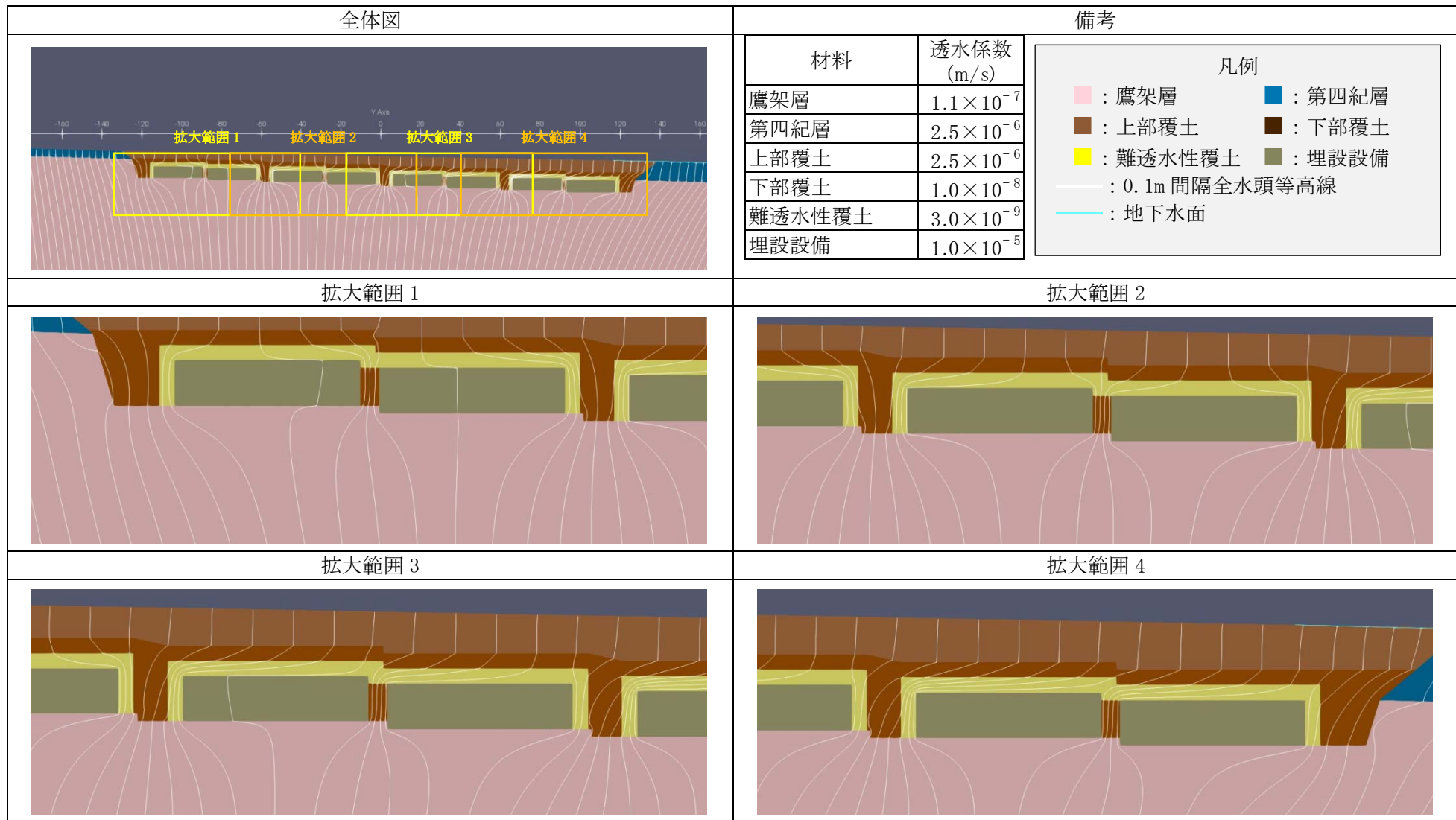
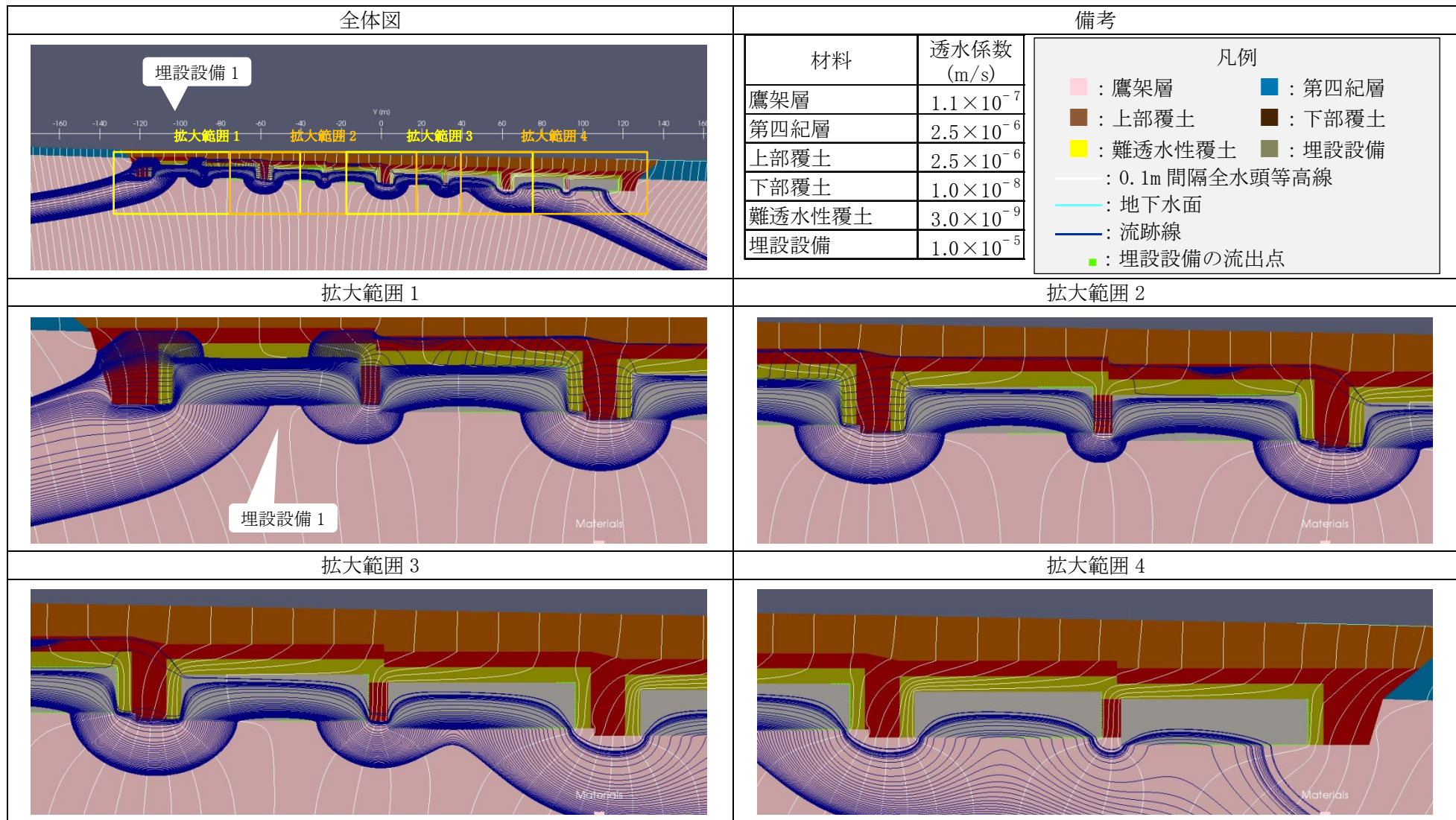


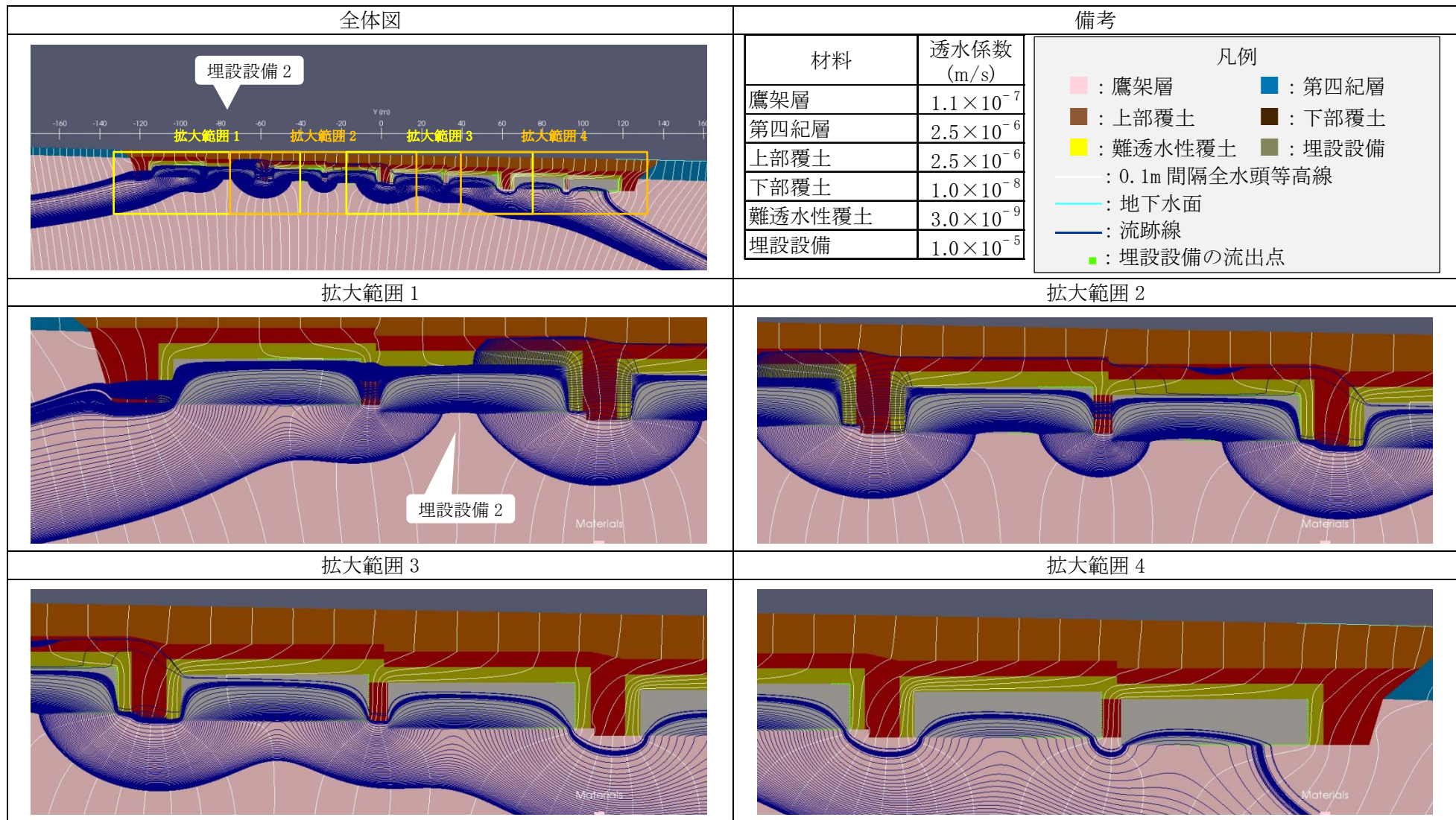
第3図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000年後) (9/9) <埋設設備8の流出点を通る流跡線>



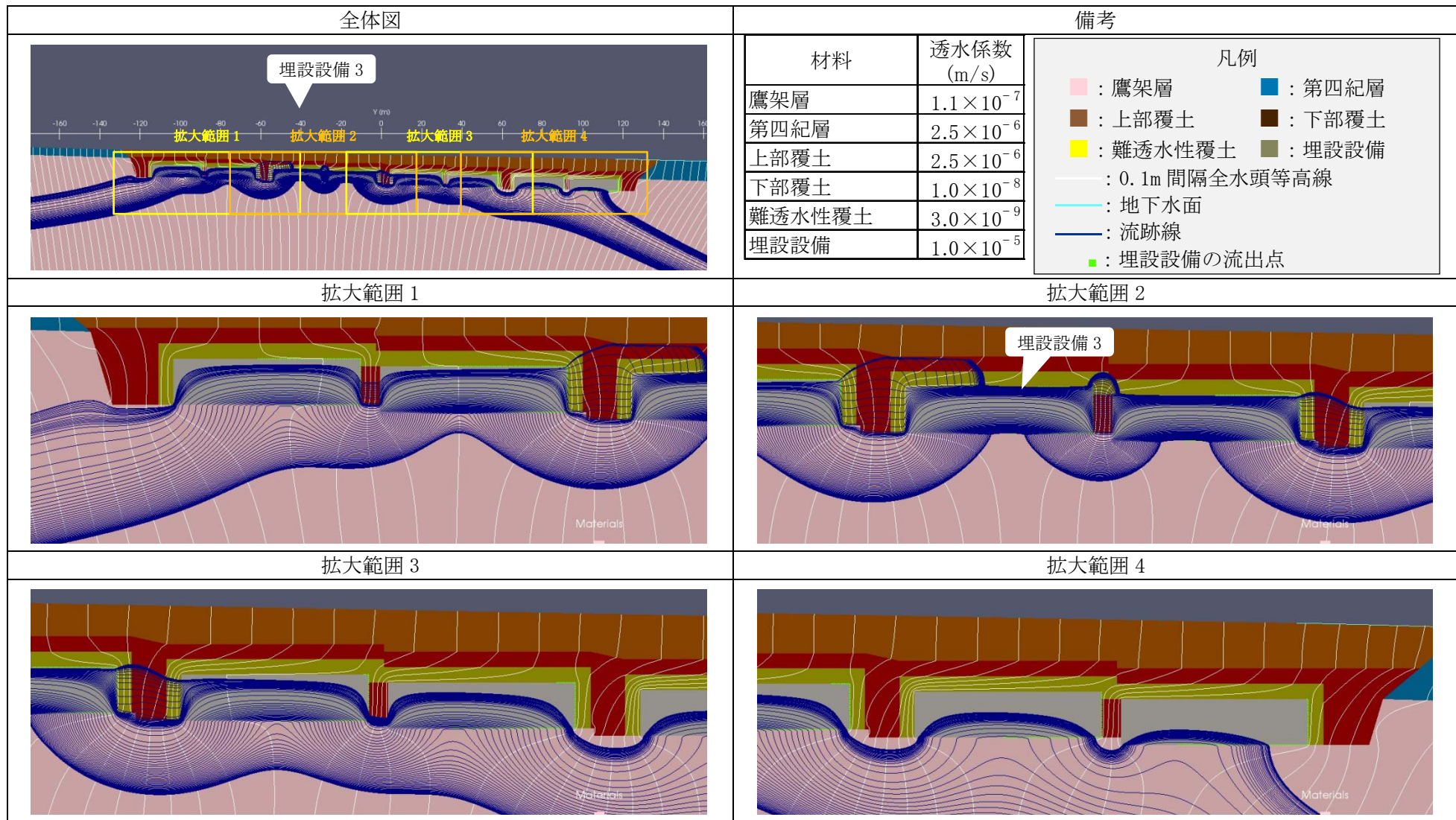
第4図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000年後) (1/9) <0.1m 間隔全水頭等高線>



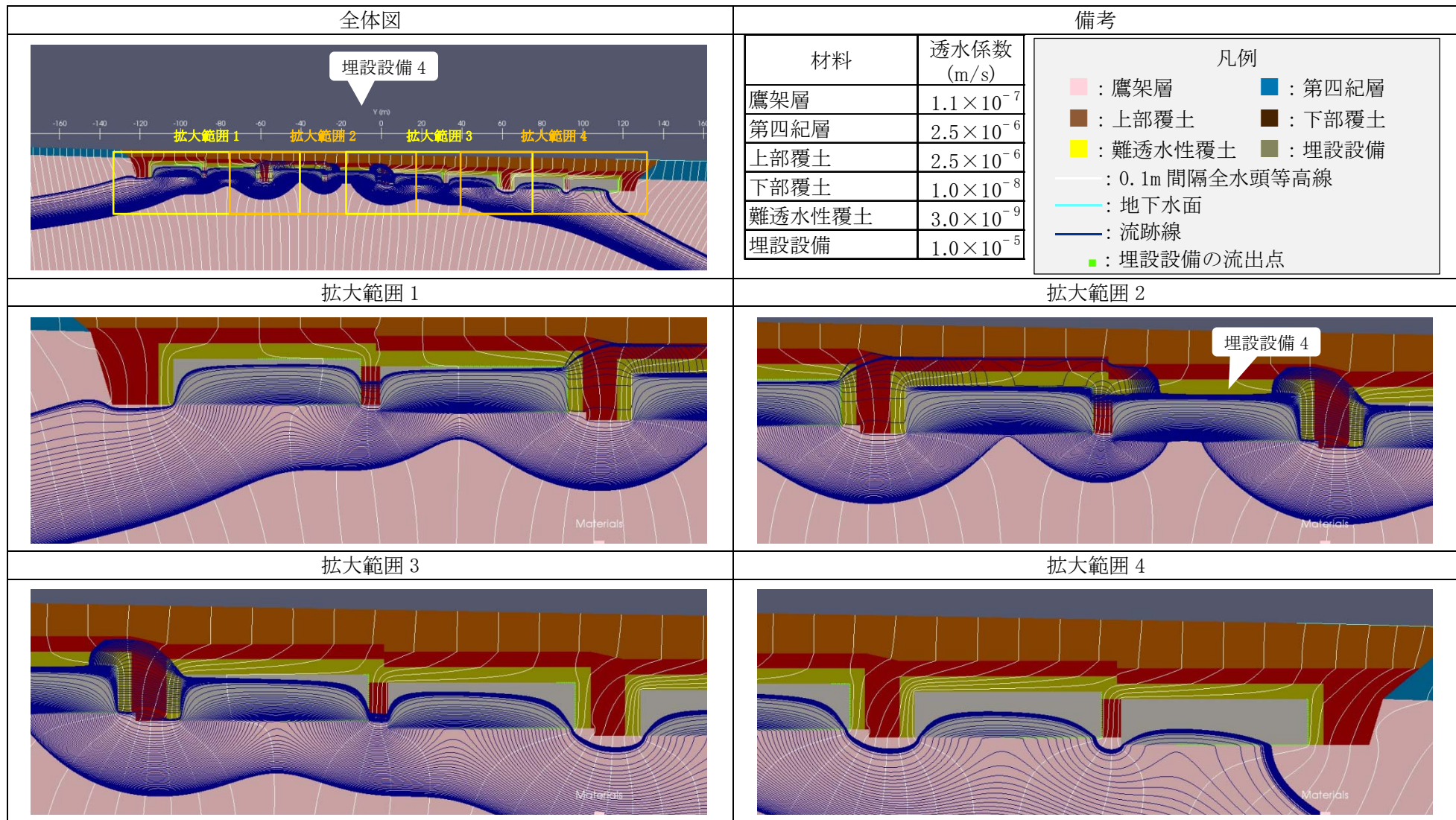
第 4 図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000 年後) (2/9) <埋設設備 1 の流出点を通る流跡線>



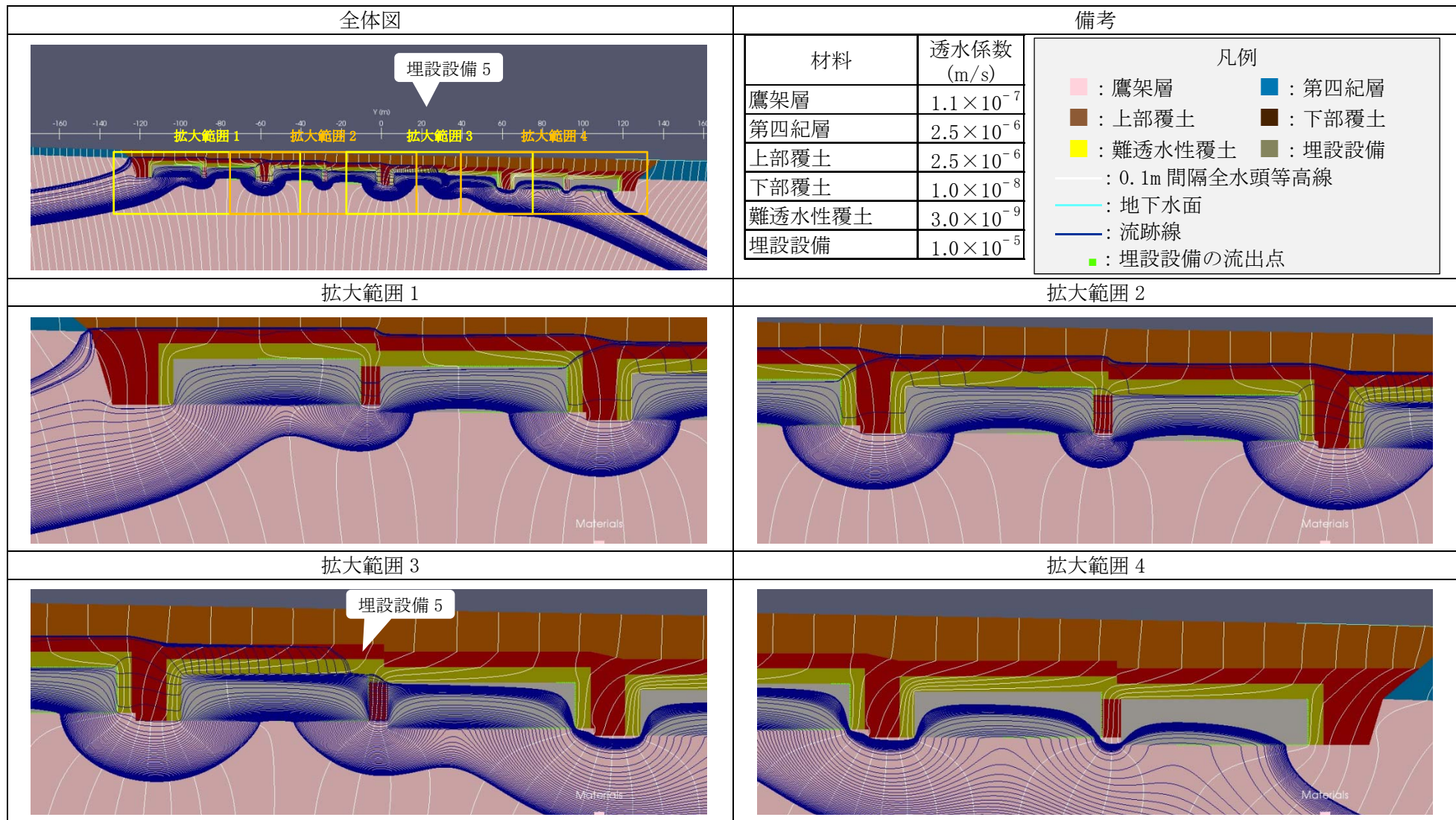
第 4 図 2 次元地下水浸透流解析結果【1 号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000 年後) (3/9) <埋設設備 2 の流出点を通る流跡線>



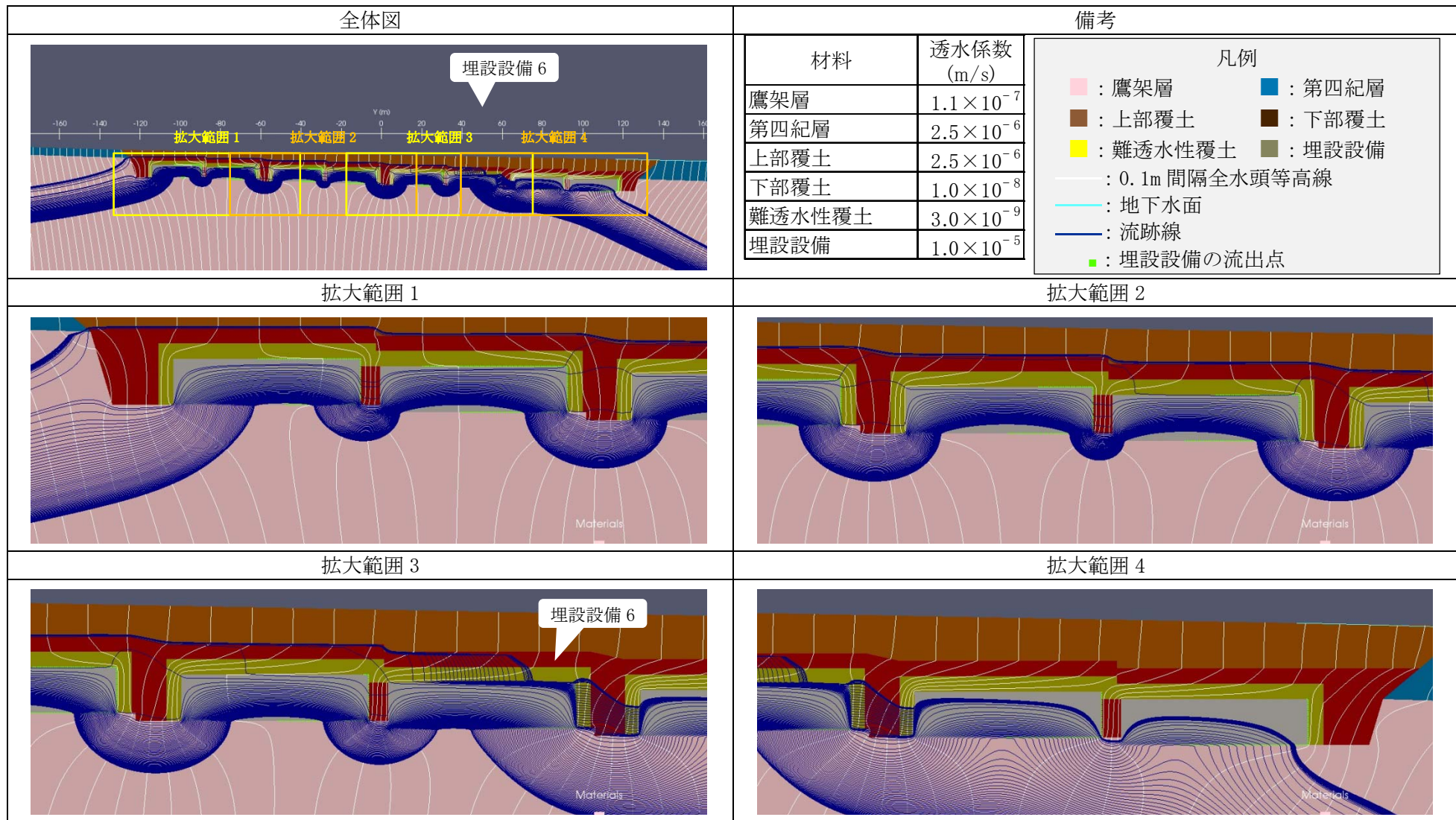
第 4 図 2 次元地下水浸透流解析結果【1 号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000 年後) (4/9) <埋設設備 3 の流出点を通る流跡線>



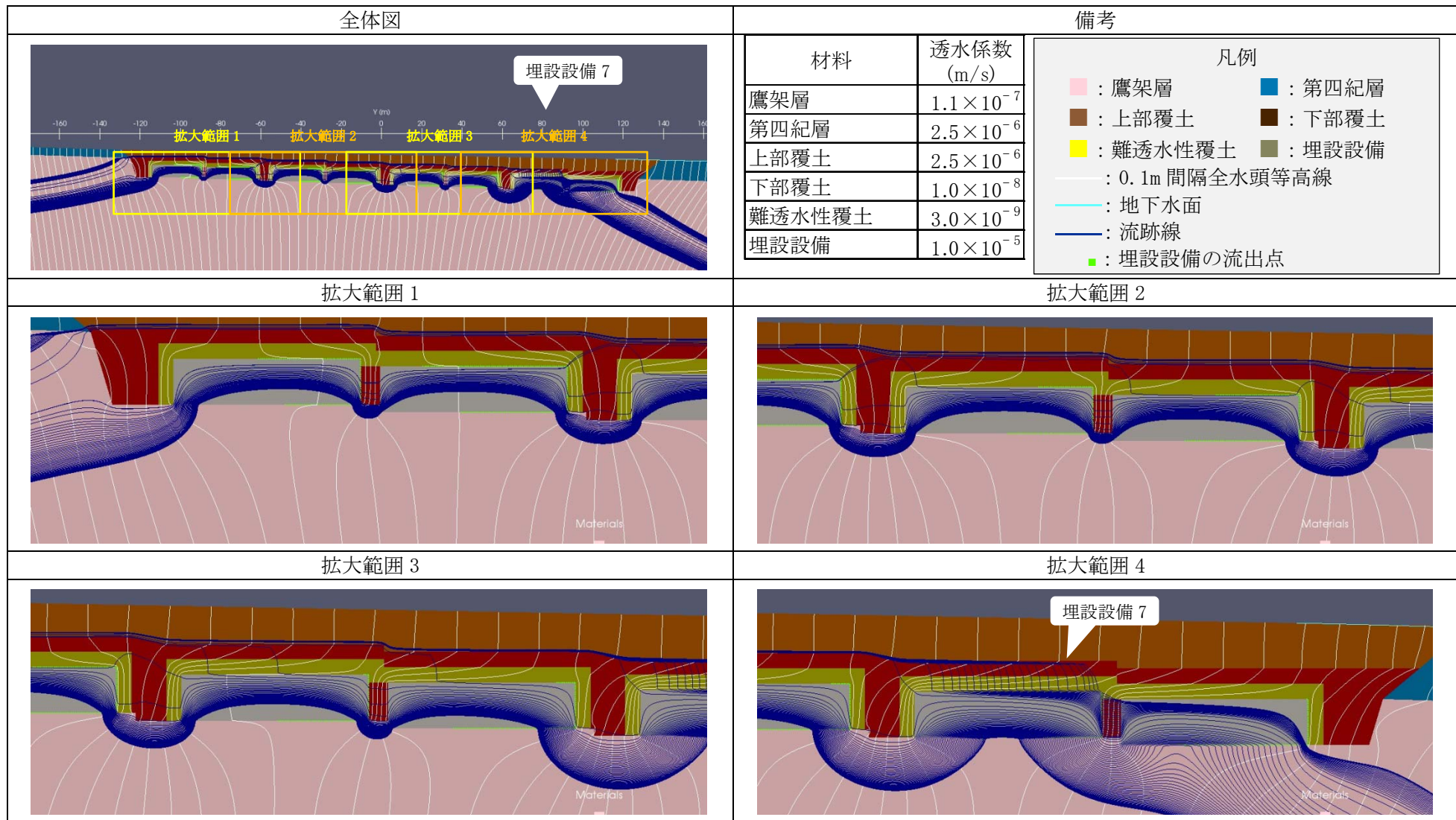
第 4 図 2 次元地下水浸透流解析結果【1 号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000 年後) (5/9) <埋設設備 4 の流出点を通る流跡線>



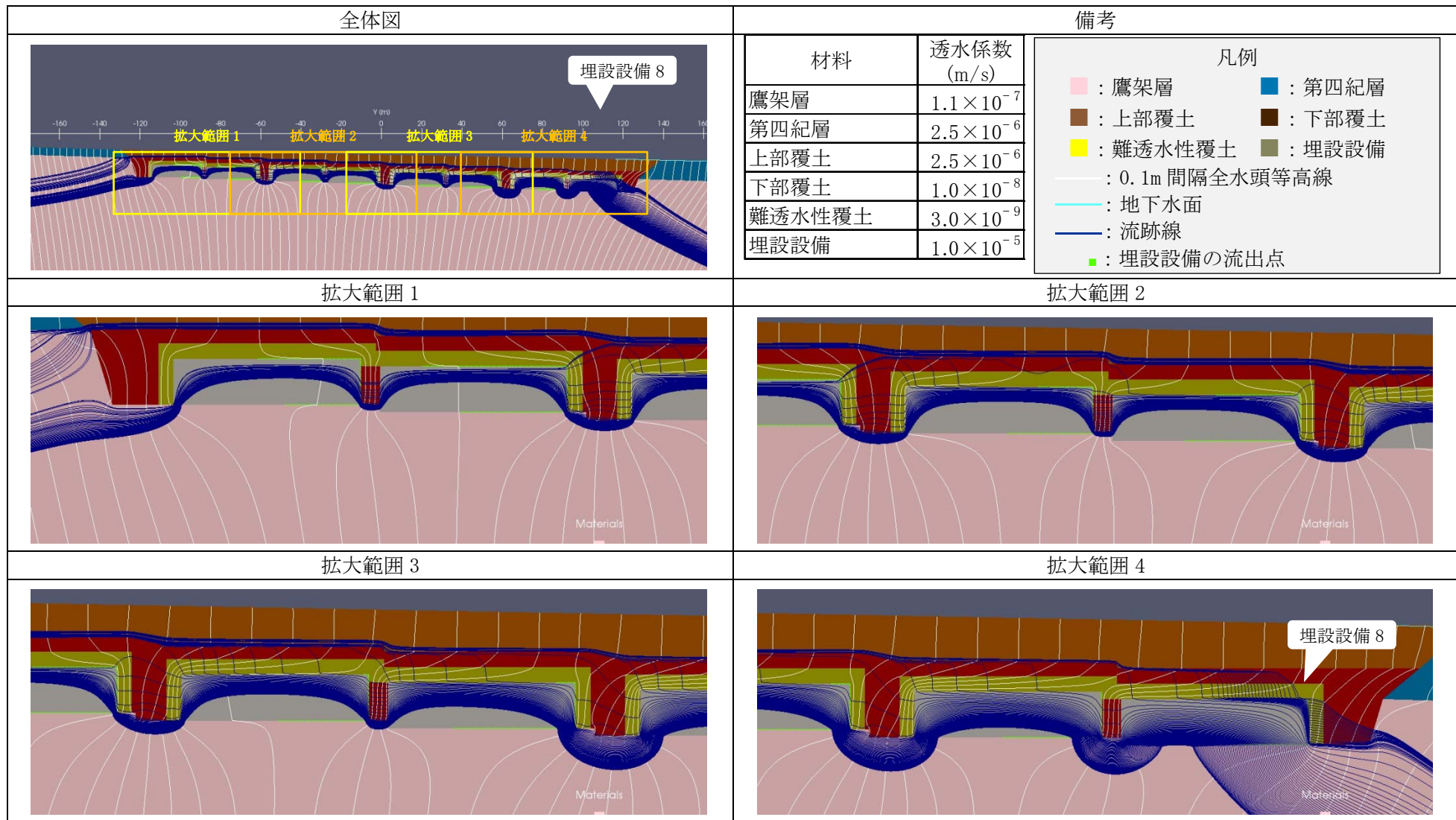
第 4 図 2 次元地下水浸透流解析結果【1 号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000 年後) (6/9) <埋設設備 5 の流出点を通る流跡線>



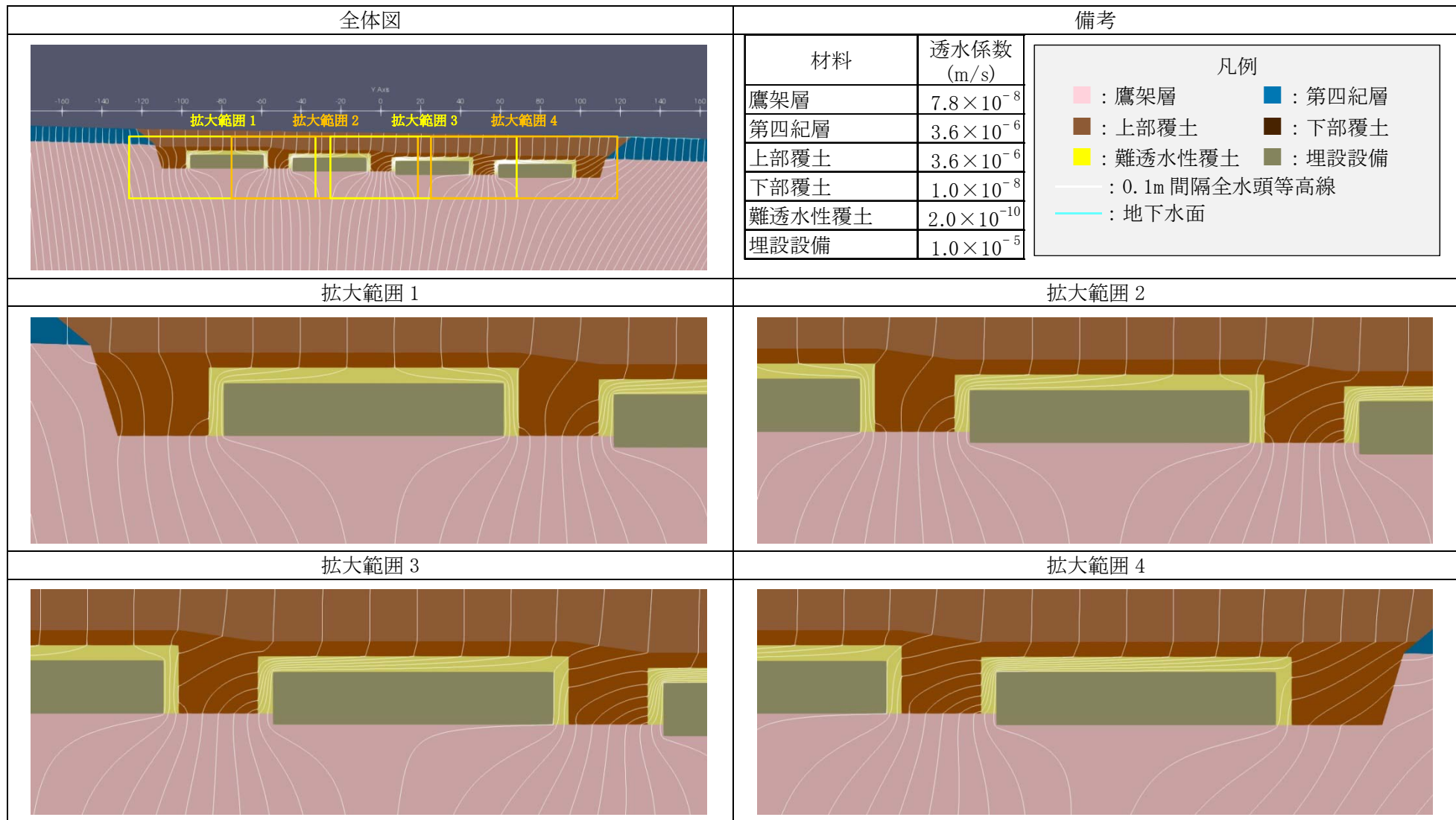
第4図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000年後) (7/9) <埋設設備6の流出点を通る流跡線>



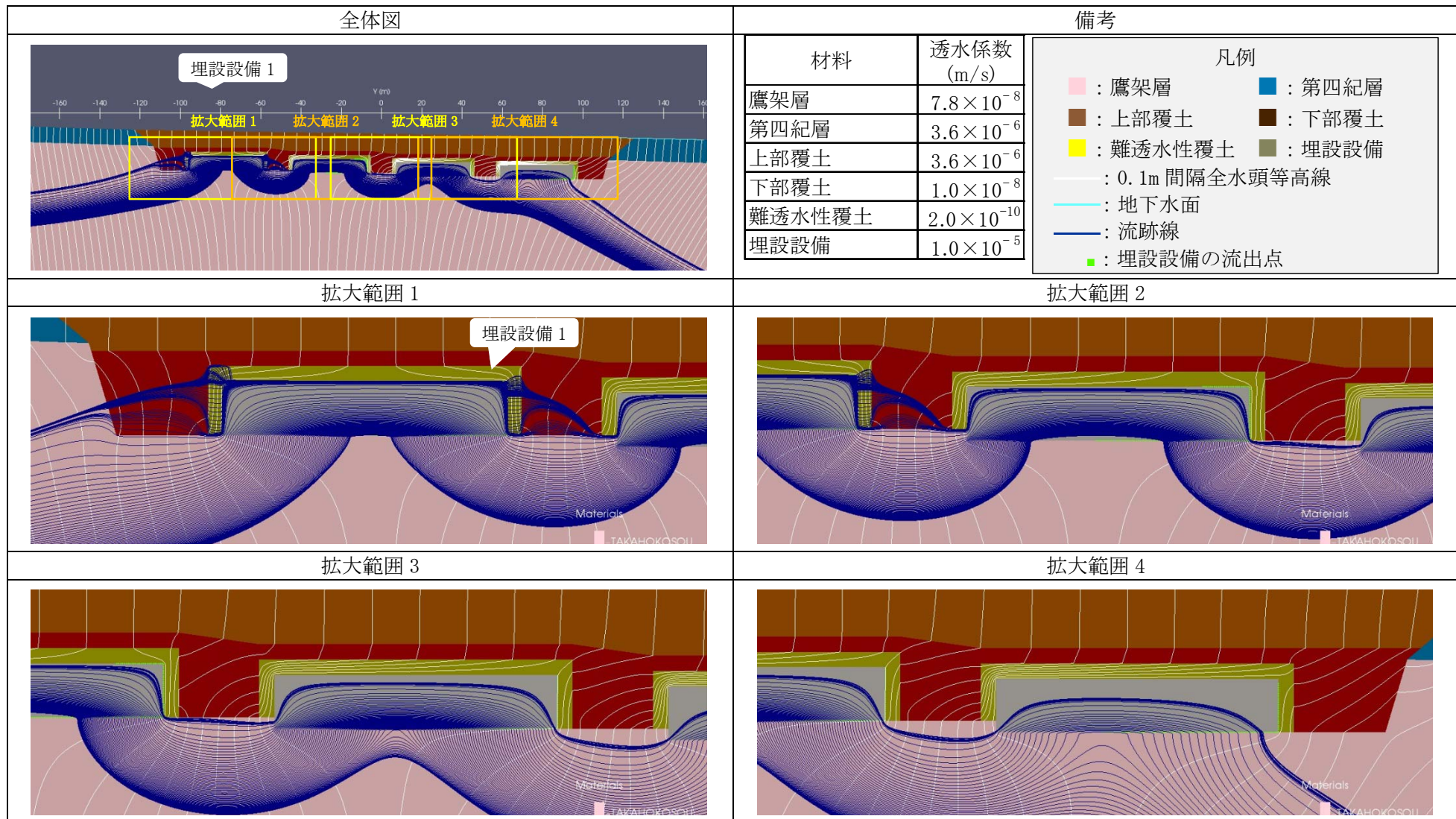
第 4 図 2次元地下水浸透流解析結果【1号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000 年後) (8/9) <埋設設備 7 の流出点を通る流跡線>



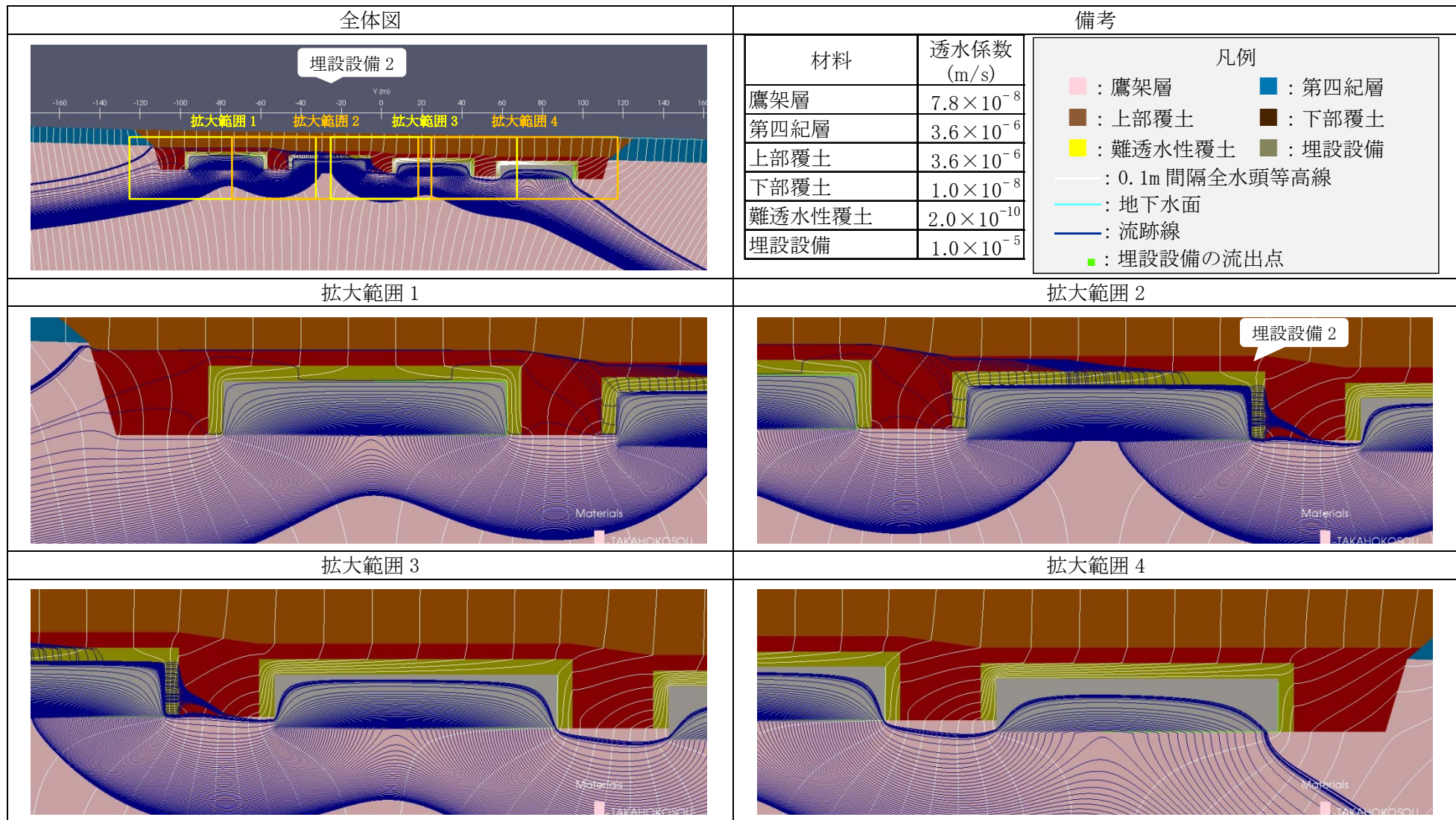
第 4 図 2 次元地下水浸透流解析結果【1 号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000 年後) (9/9) <埋設設備 8 の流出点を通る流跡線>



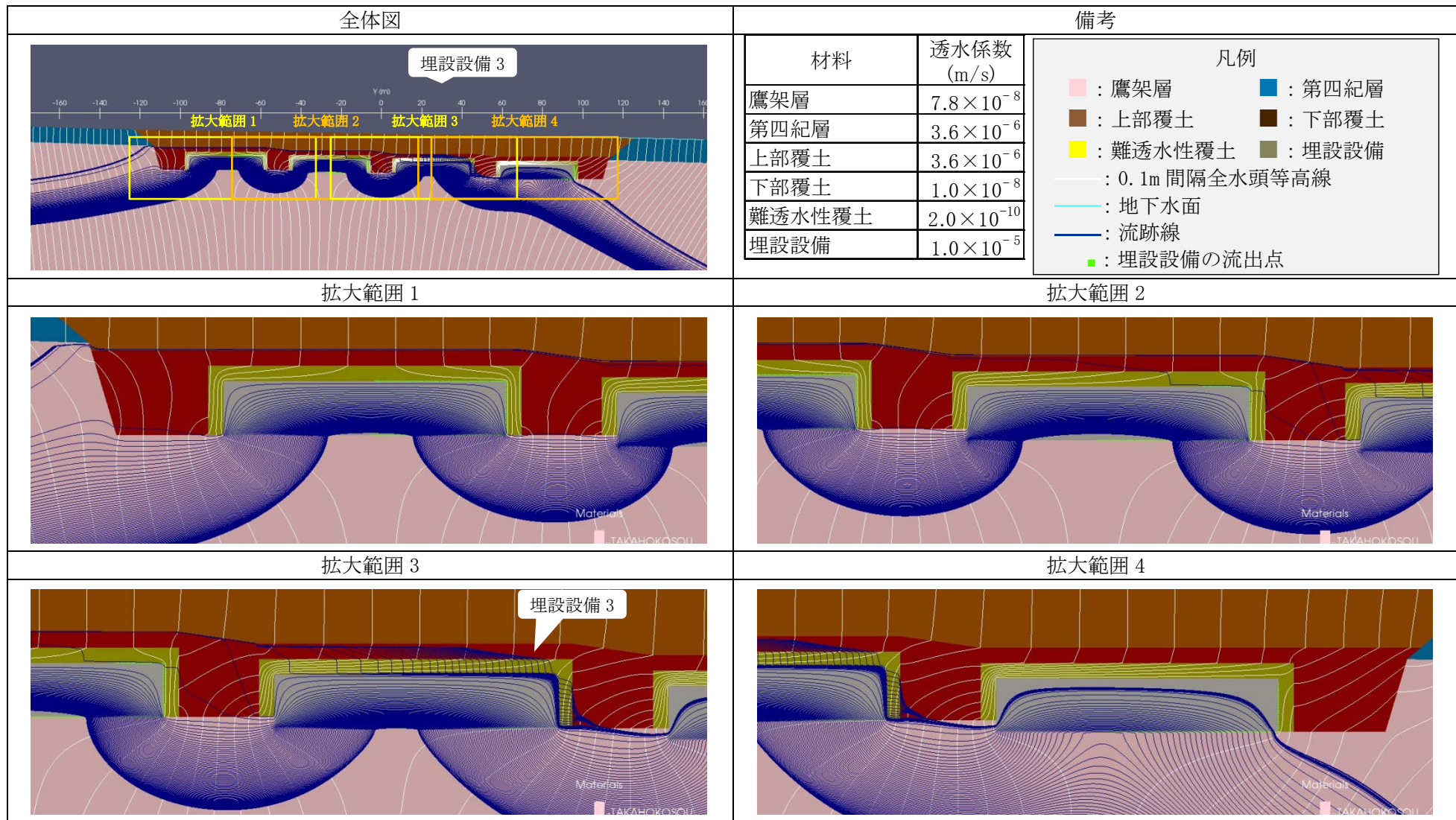
第 5 図 2 次元地下水浸透流解析結果【2 号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000 年後) (1/5) <0.1m 間隔全水頭等高線>



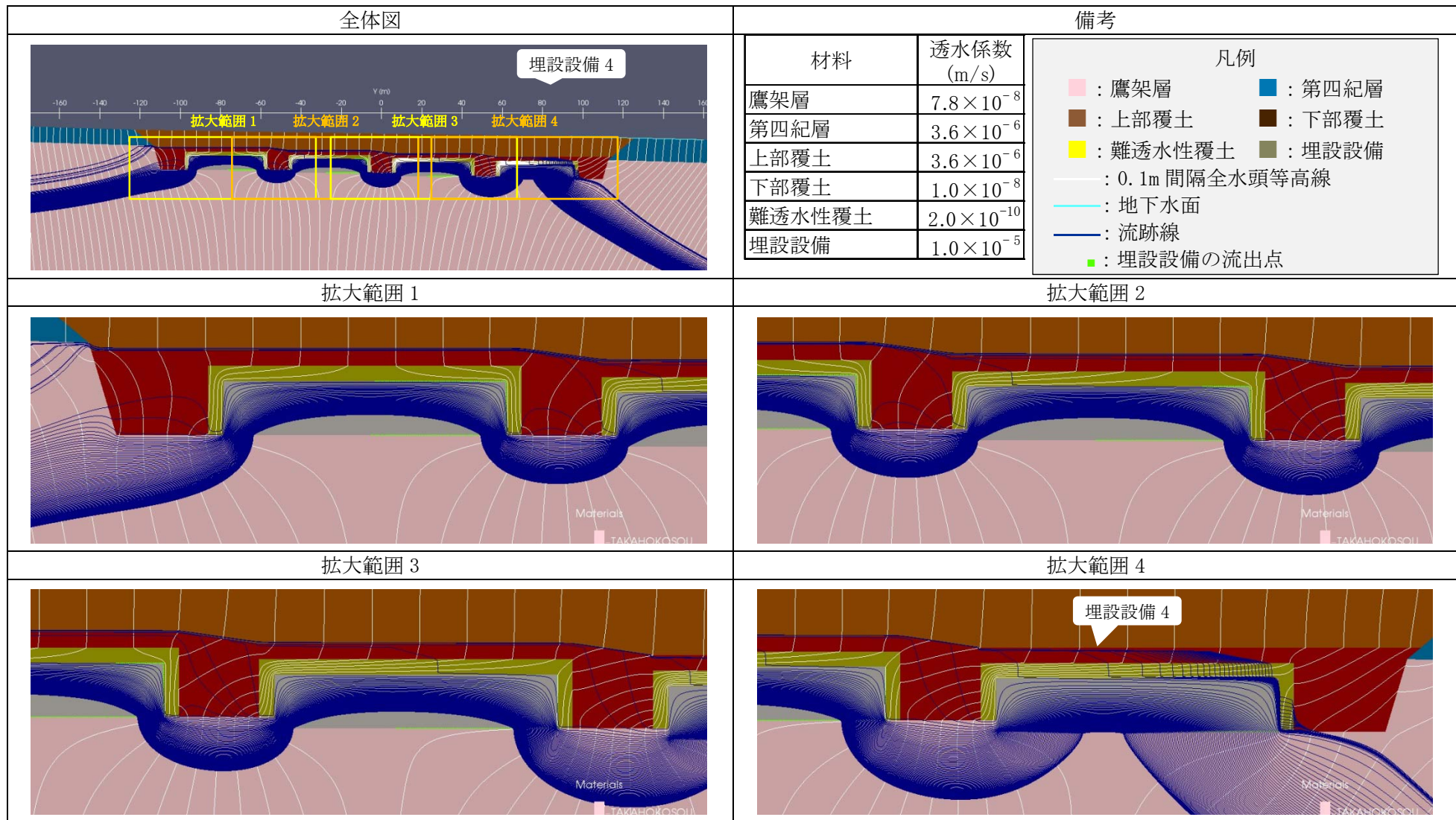
第5図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000年後) (2/5) <埋設設備1の流出点を通る流跡線>



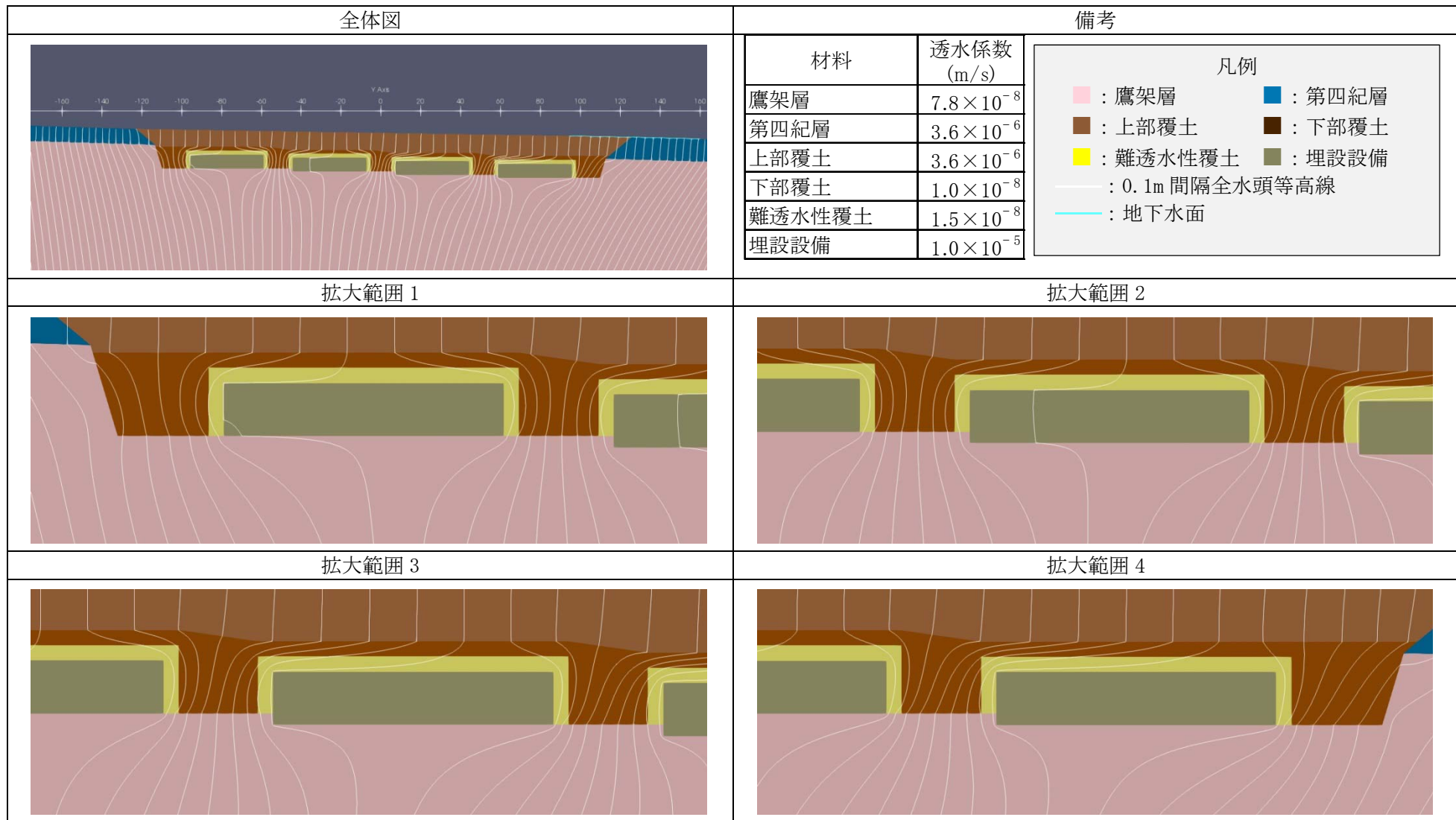
第 5 図 2 次元地下水浸透流解析結果【2 号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000 年後) (3/5) <埋設設備 2 の流出点を通る流跡線>



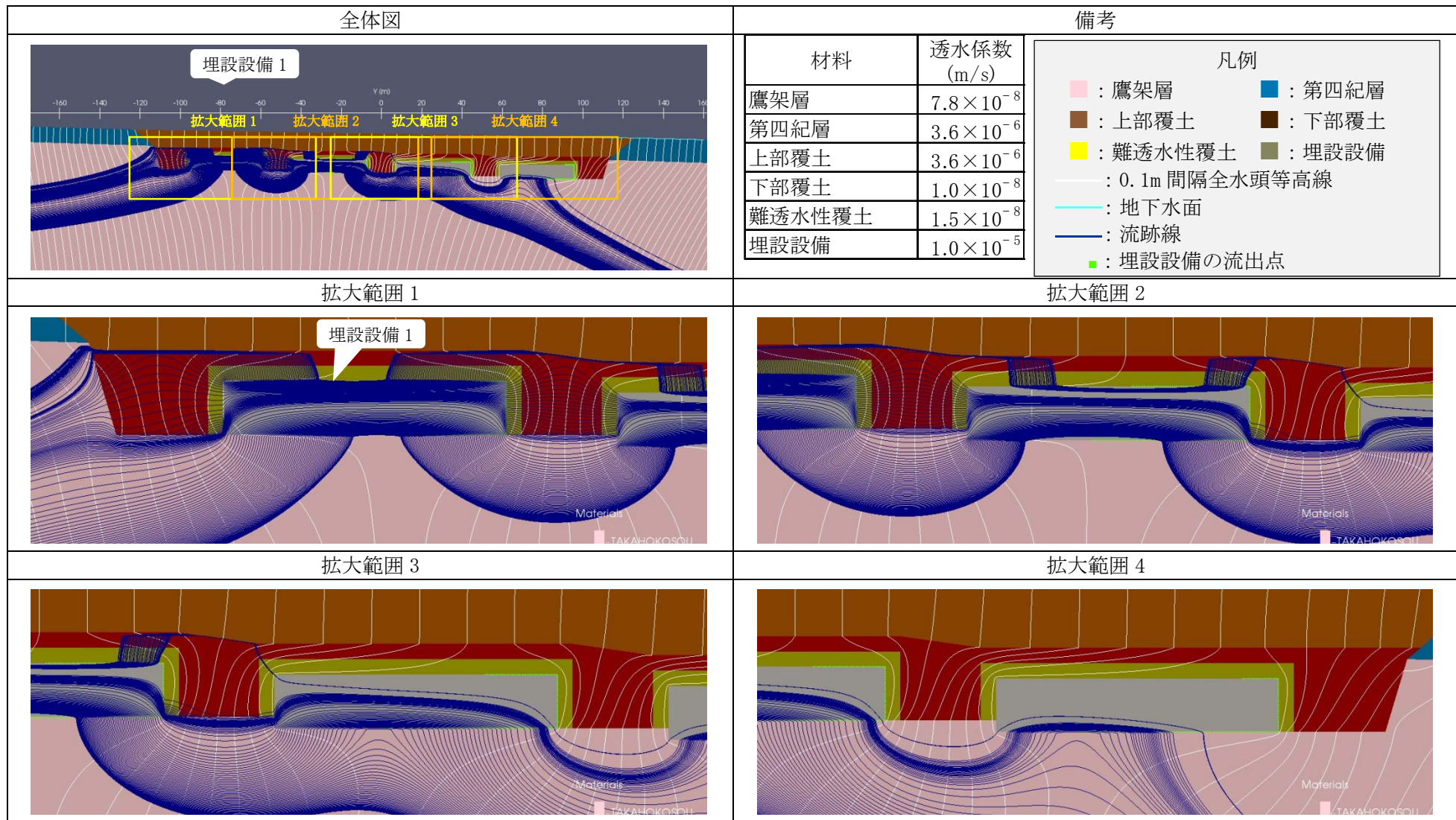
第 5 図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000 年後) (4/5) <埋設設備 3 の流出点を通る流跡線>



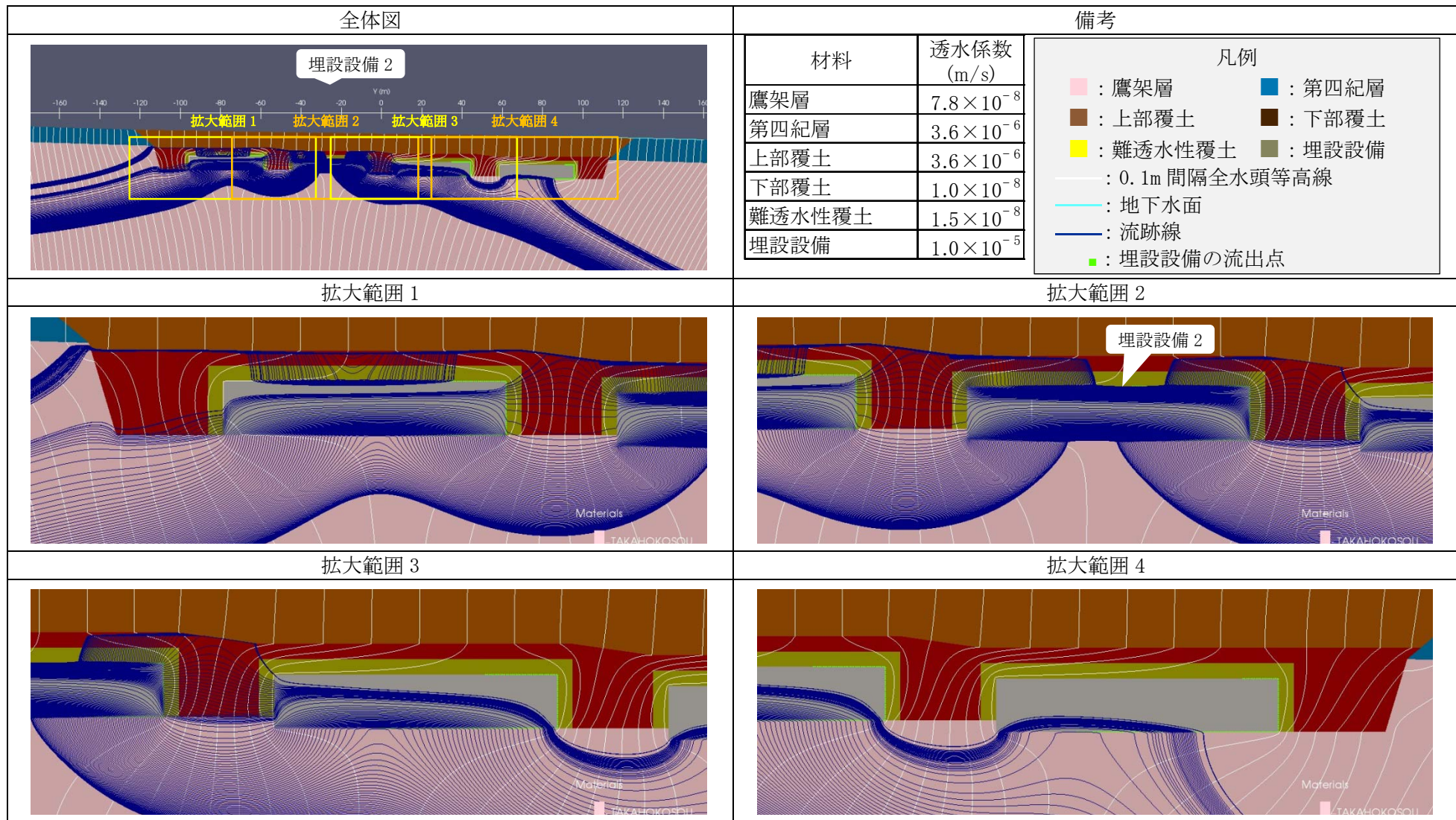
第5図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000年後) (5/5) <埋設設備4の流出点を通る流跡線>



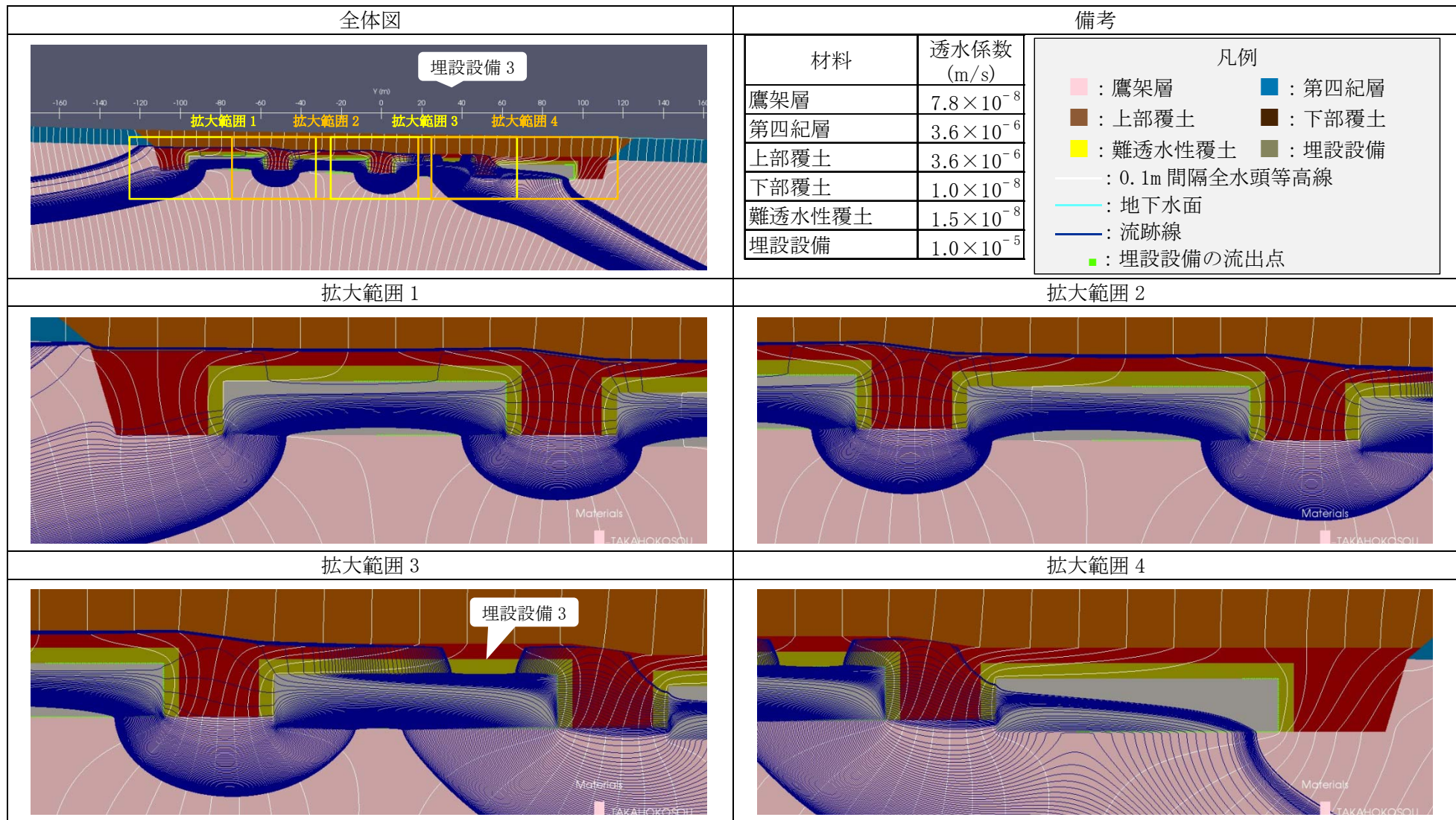
第6図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000年後) (1/5) <0.1m 間隔全水頭等高線>



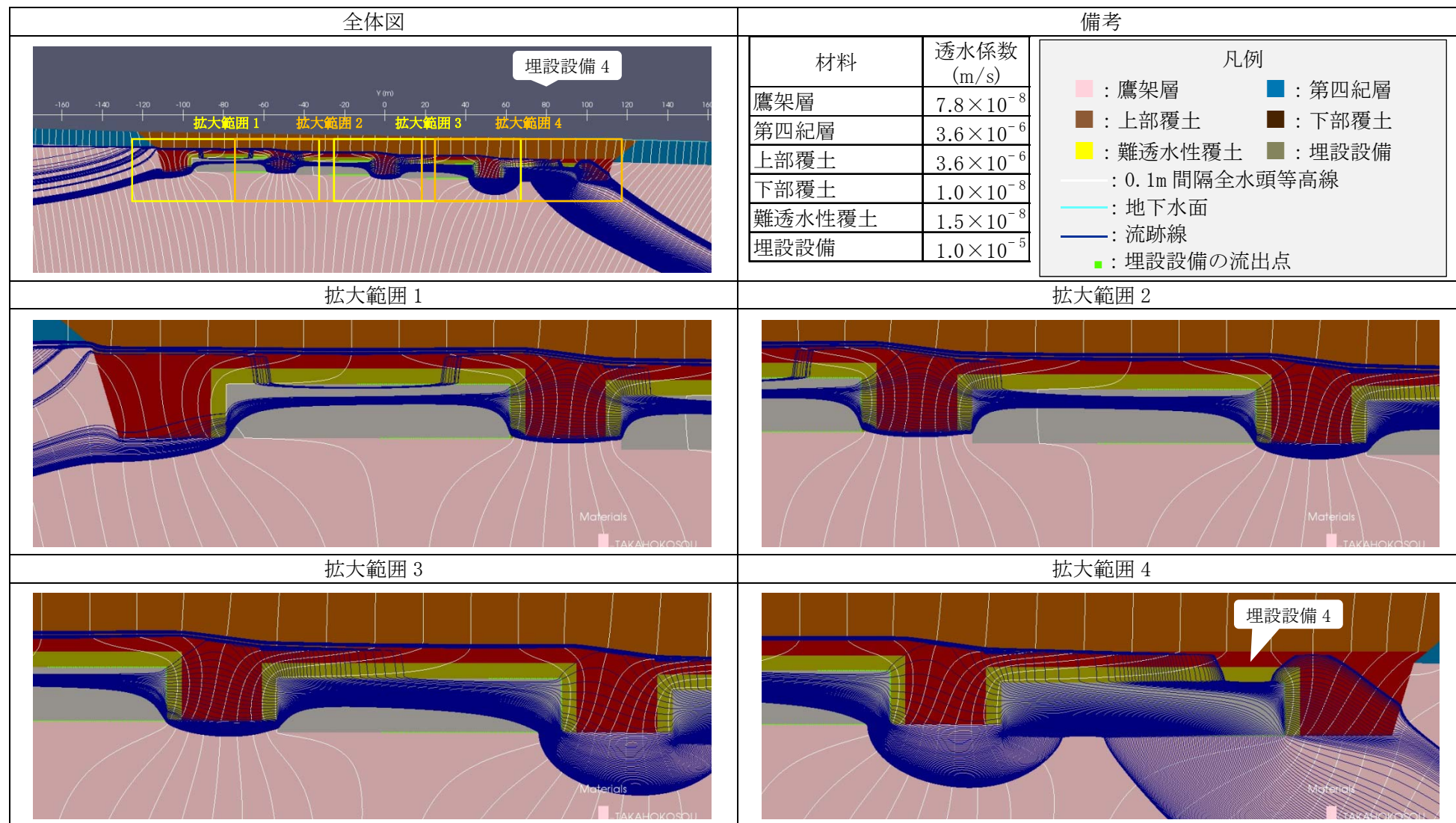
第 6 図 2次元地下水浸透流解析結果【2号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000 年後) (2/5) <埋設設備 1 の流出点を通る流跡線>



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

参 考 资 料

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)との関係を検査している。

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。

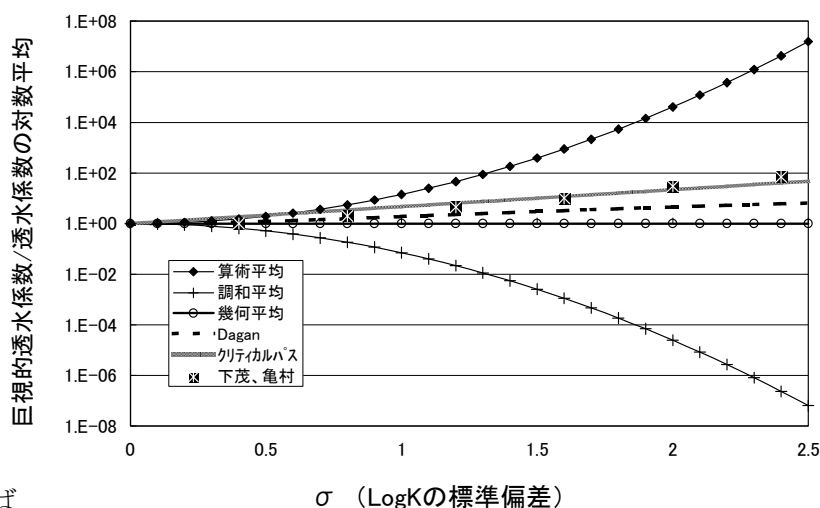


図-1 巨視的透水係数の特徴

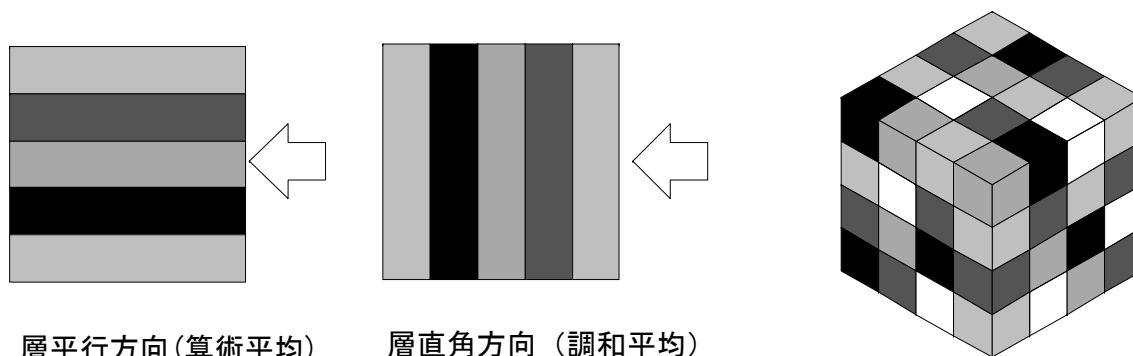


図-2 透水係数の分布モデル

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。

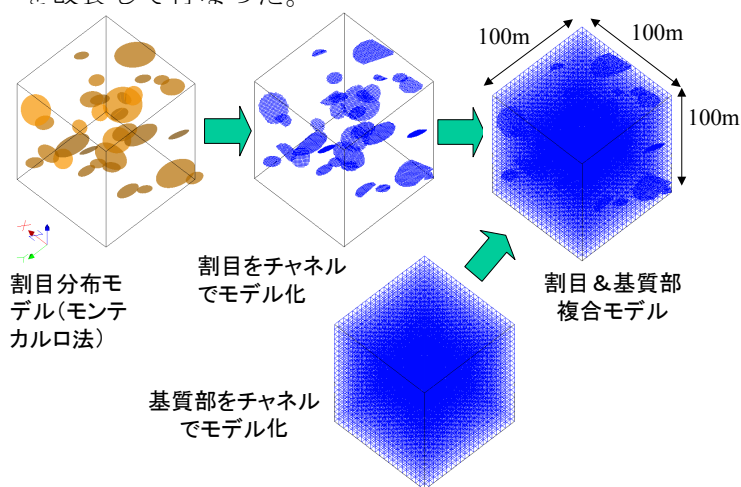


図-3 割目と基質部のモデル化

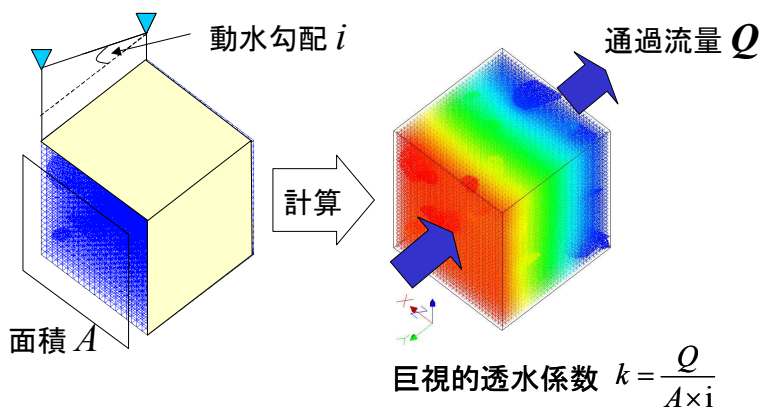


図-4 巨視的透水係数の算出

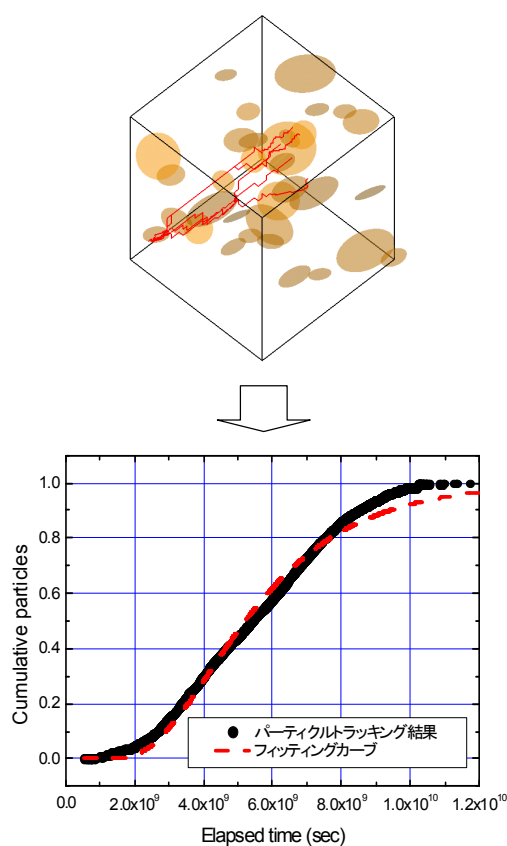


図-5 巨視的有効間隙率・分散長の算出

(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

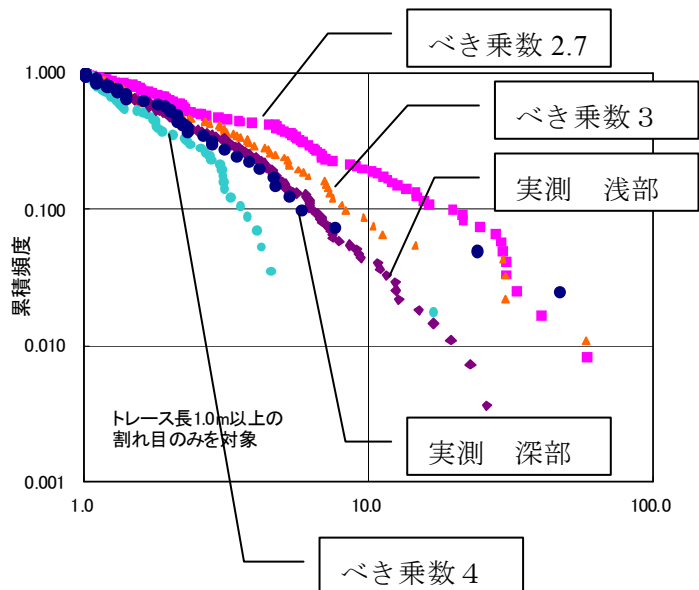


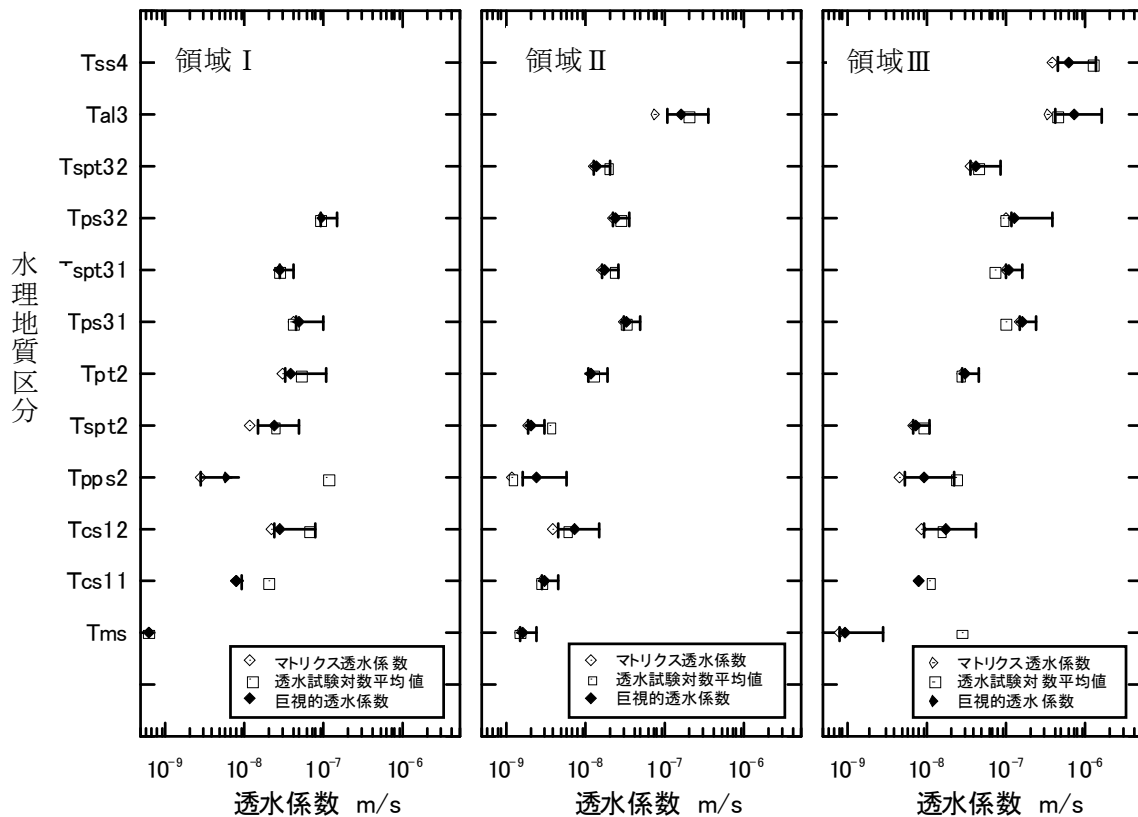
図-6 割目のトレース長分布図

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)

(2) 入力パラメータ

a. 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	基本設定	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}
	変動設定	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	基本設定	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}
	変動設定	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	基本設定	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}
	変動設定	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}

b. 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 ($\epsilon_b=0.40$)。

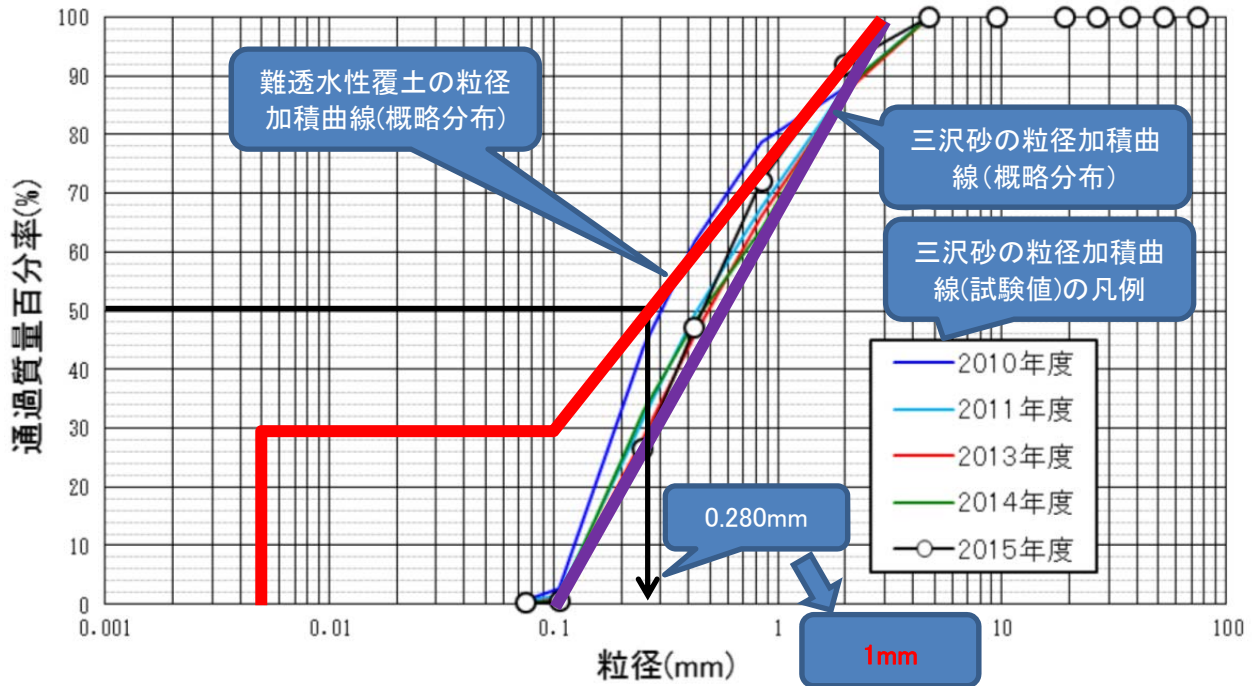
c. 代表長さ (d)

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 をオーダ単位で切上げた 1mm を入力値とした。

d. 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られる。

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、概ね基本設定よりも変動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、基本設定ではペクレ数0.01未満の範囲が大半を占めるが、変動設定では0.01以上0.1未満の範囲が基本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られる。

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	動水 勾配 (%)	降雨 浸透量 (mm/y)	埋設設備からの各材料へ				埋設設備からの各材料へ				
				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	基本設定	1,000年後	3	310	6	624		630	1%	99%	0%	100%
	変動設定	1,000年後	3	310	371	653		1,024	36%	64%	0%	100%
1号廃棄物 埋設地	基本設定	1,000年後	3	310	129	1,751	231	2,112	6%	83%	11%	100%
	変動設定	1,000年後	3	310	147	1,753	231	2,131	7%	82%	11%	100%
2号廃棄物 埋設地	基本設定	1,000年後	3	310	20	892		912	2%	98%	0%	100%
	変動設定	1,000年後	3	310	341	890		1,231	28%	72%	0%	100%

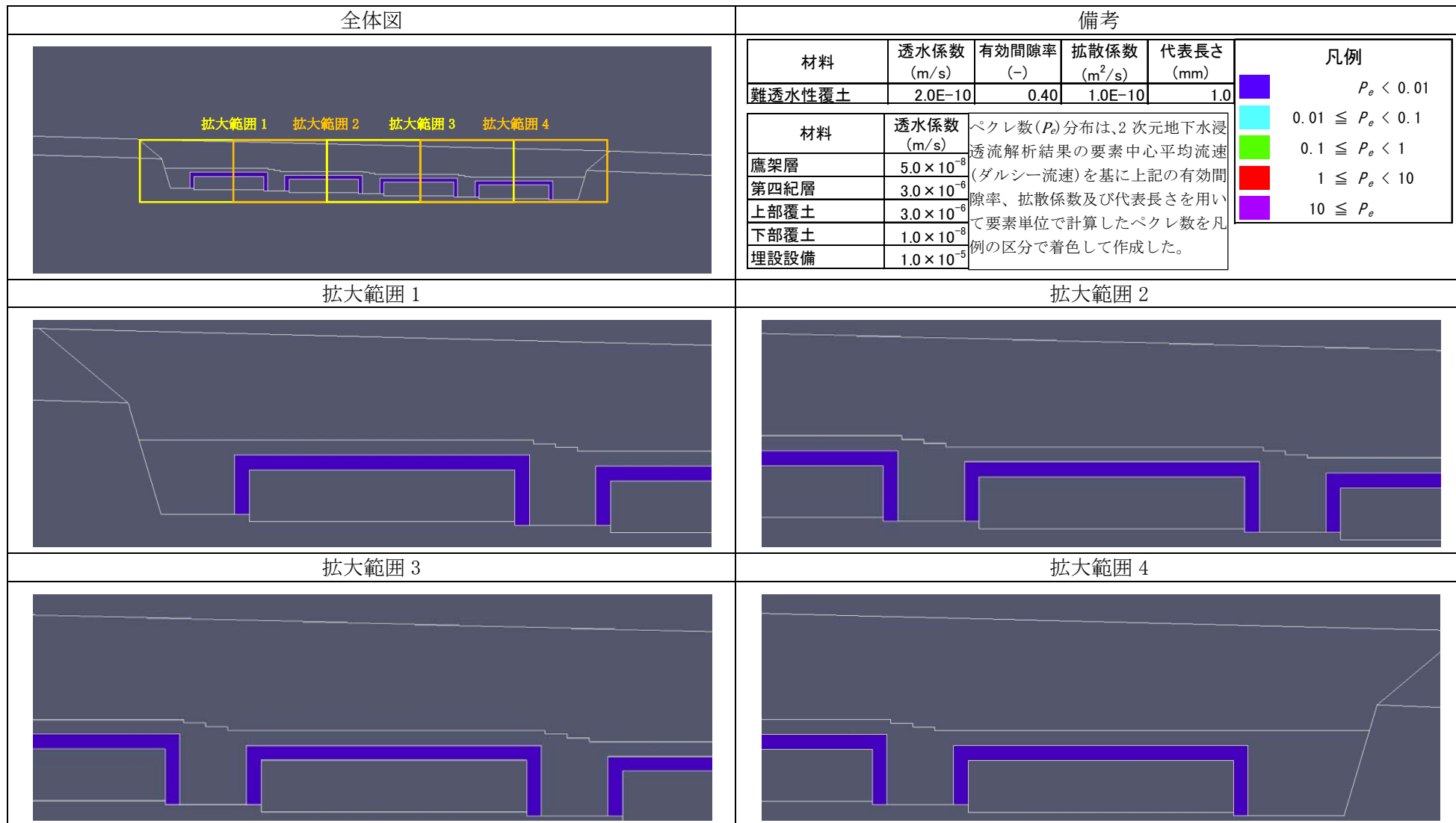


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(1/6) 【3号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000年後)

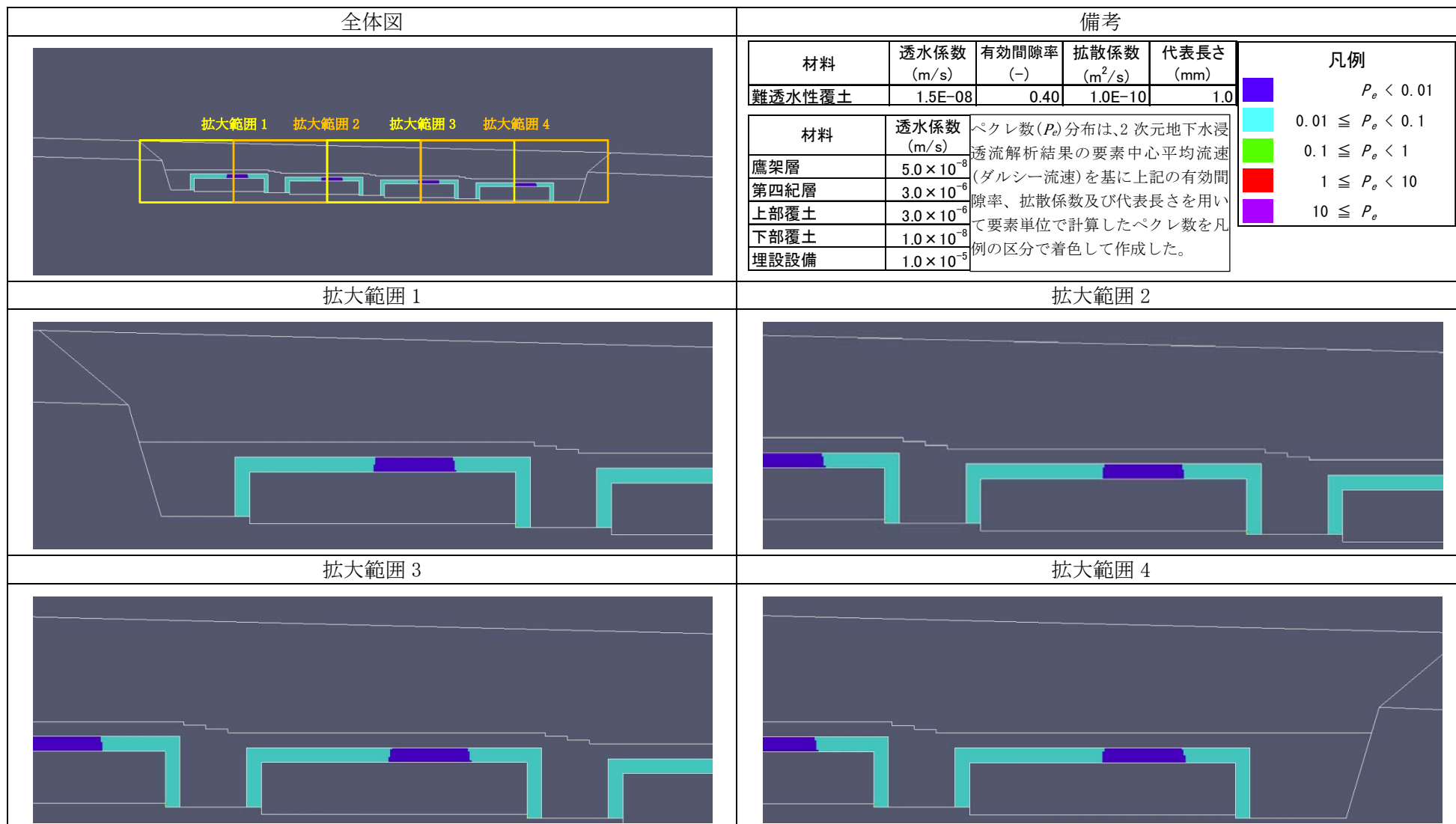


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(2/6) 【3号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000年後)

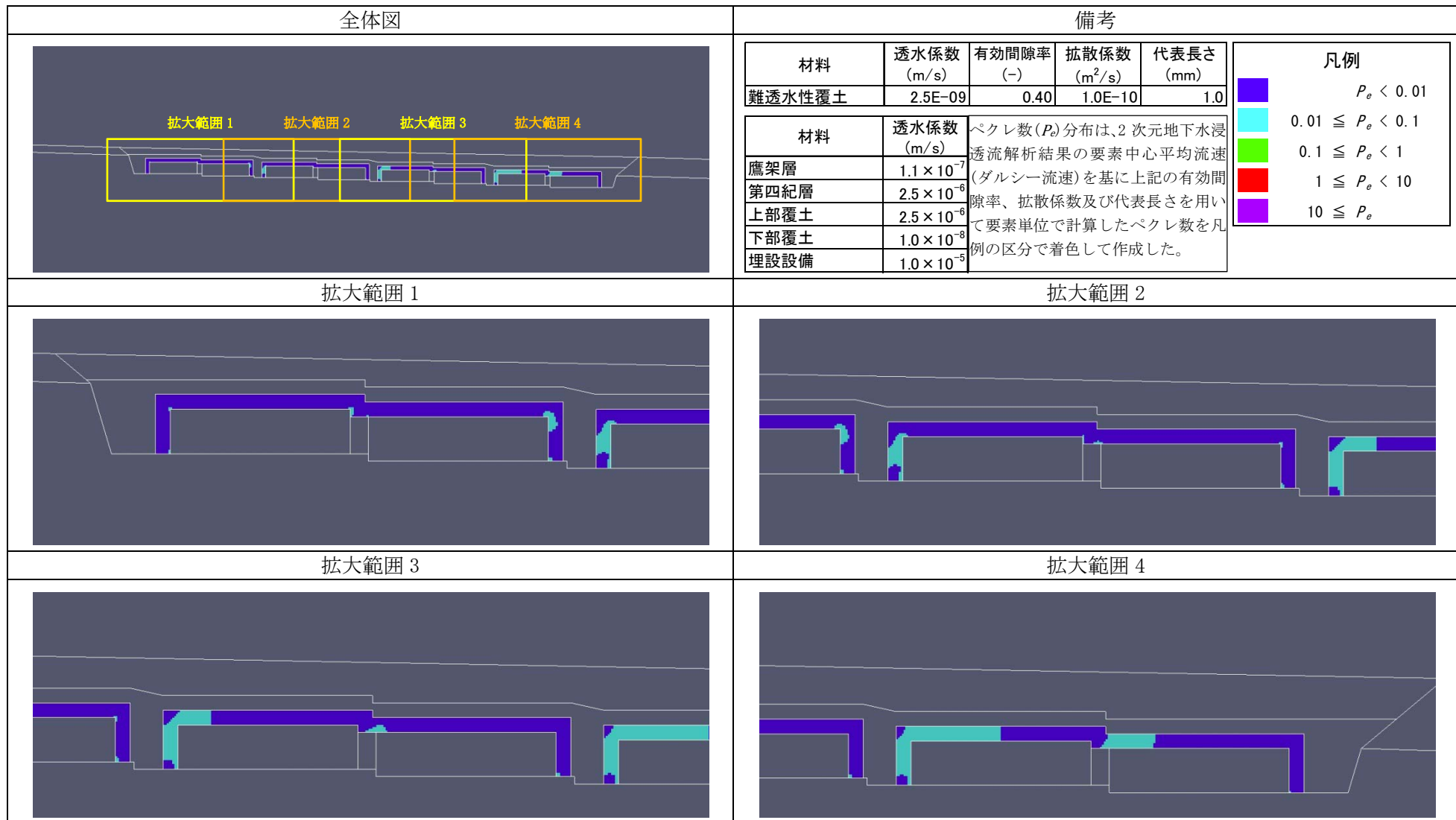


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(3/6) 【1号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000年後)

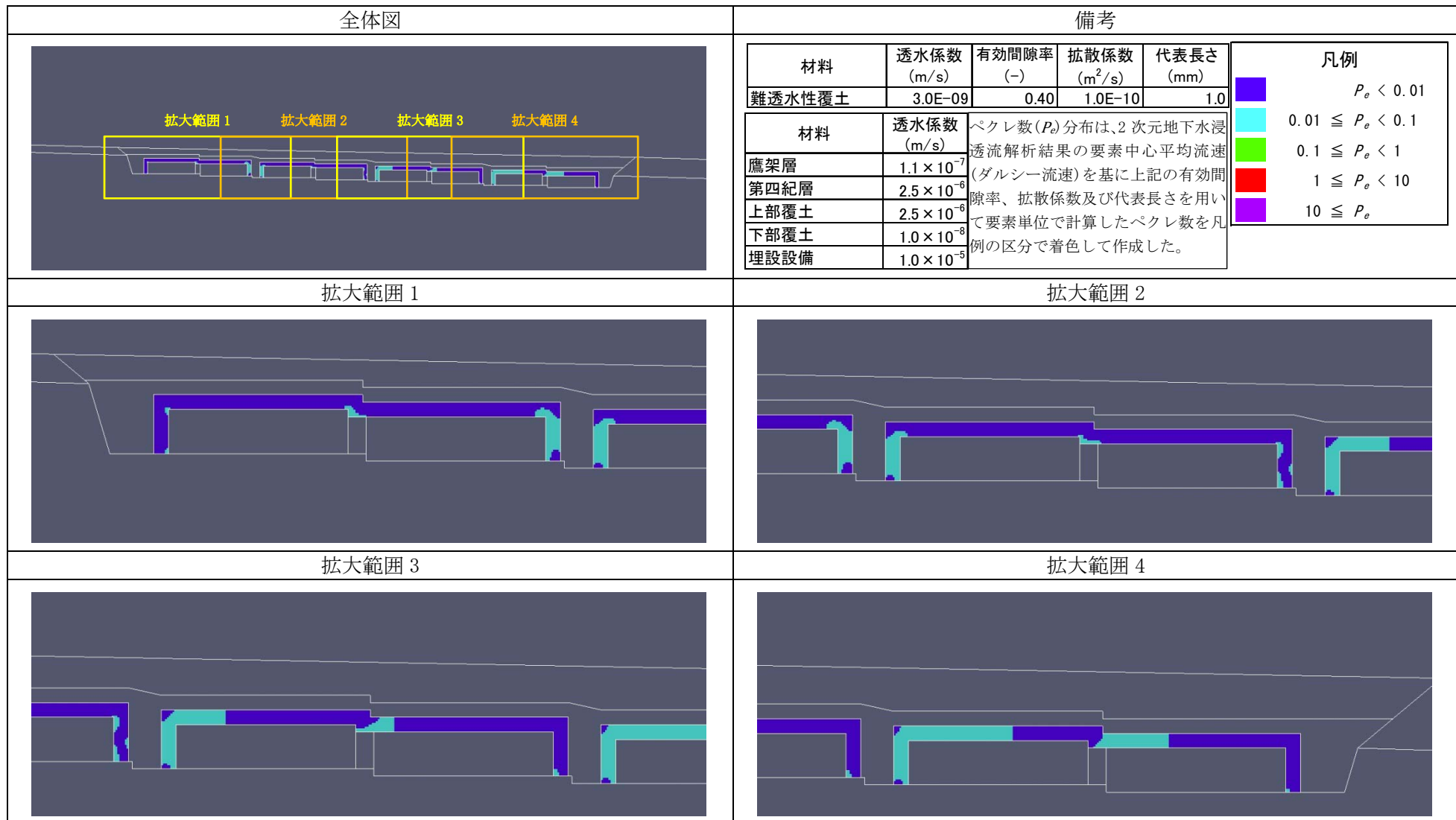


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(4/6)【1号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000年後)

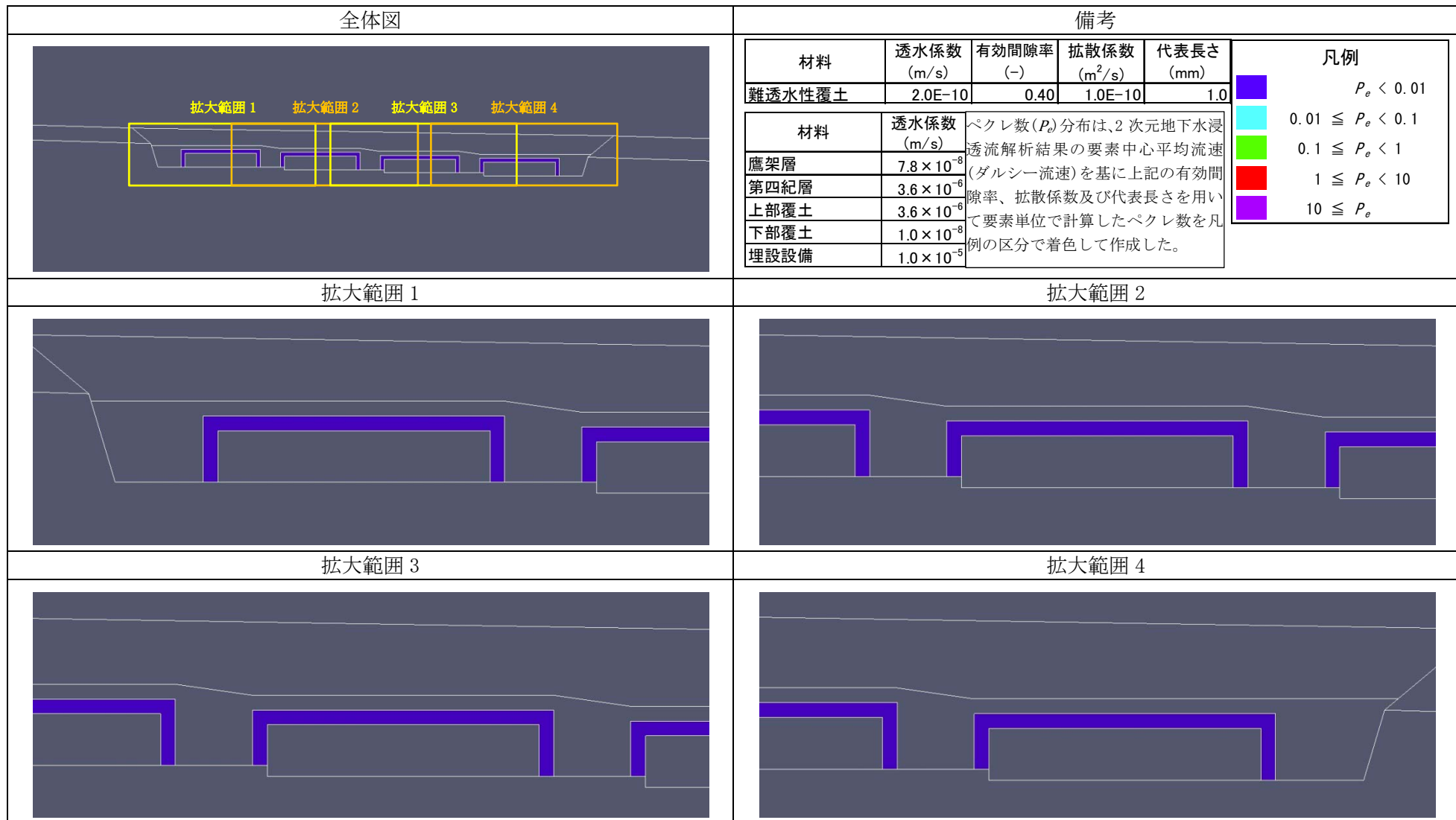


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(5/6) 【2号廃棄物埋設地】(基本設定 1,000年後)

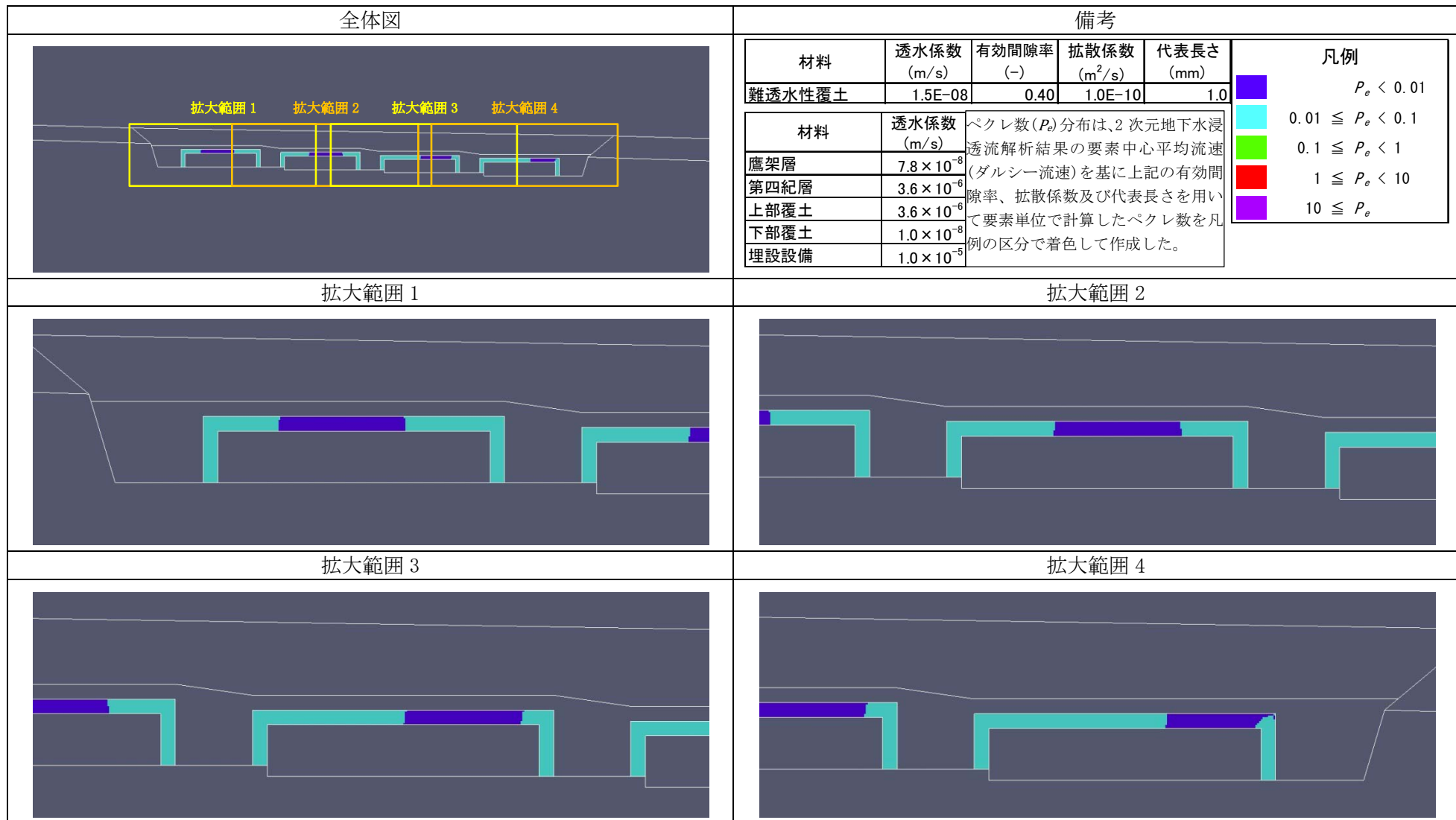


図 難透水性覆土内のペクレ数(P_e)分布(6/6)【2号廃棄物埋設地】(変動設定 1,000年後)

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の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、既申請よりも小さく、既申請よりも非保守的な値となった。

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、既申請の値が非保守的ということではないと考える。

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。本申請では保守的に 0 でない値(埋設設備から難透水性覆土へ流出する地下水の流量)を設定した。

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	モデル化時期	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	基本設定	1,000 年後	10	630	130	2,200	20	920
		変動設定		510	1,500	150	2,200	350	1,300
	再流入集計なし	基本設定		10	240	20	440	10	320
		変動設定		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

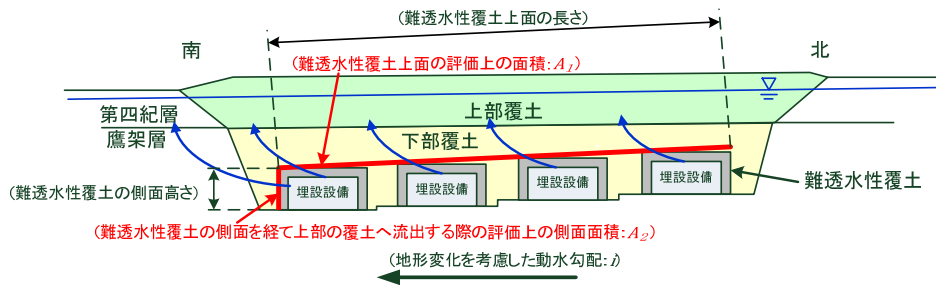
*2 埋設設備から覆土への流出水量

*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



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

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

$Q_{co}(t)$: 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 ($^\circ$)

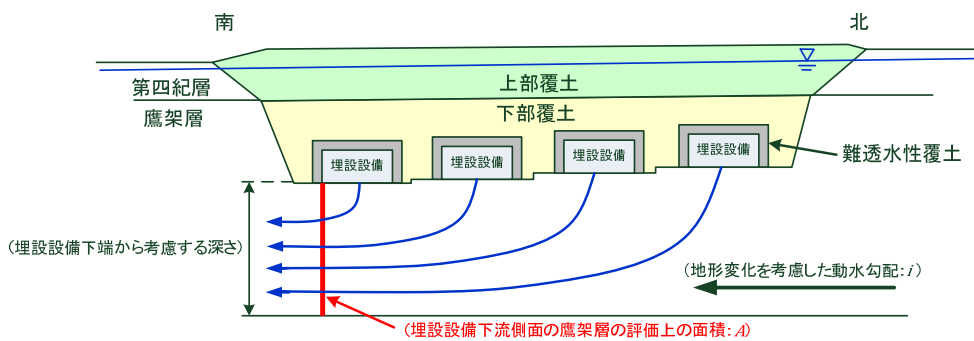
A_1 : 難透水性覆土上面の評価上の面積 (m^2)

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

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)

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

(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)

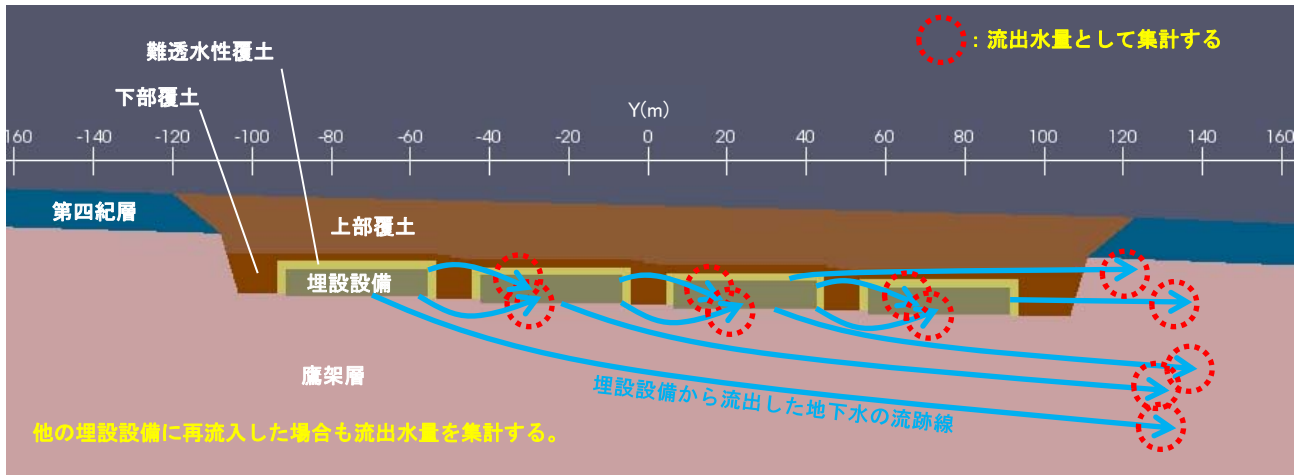
i : 地形変化を考慮した動水勾配 (-)

A : 埋設設備下流側面の鷹架層の評価上の面積 (m^2)

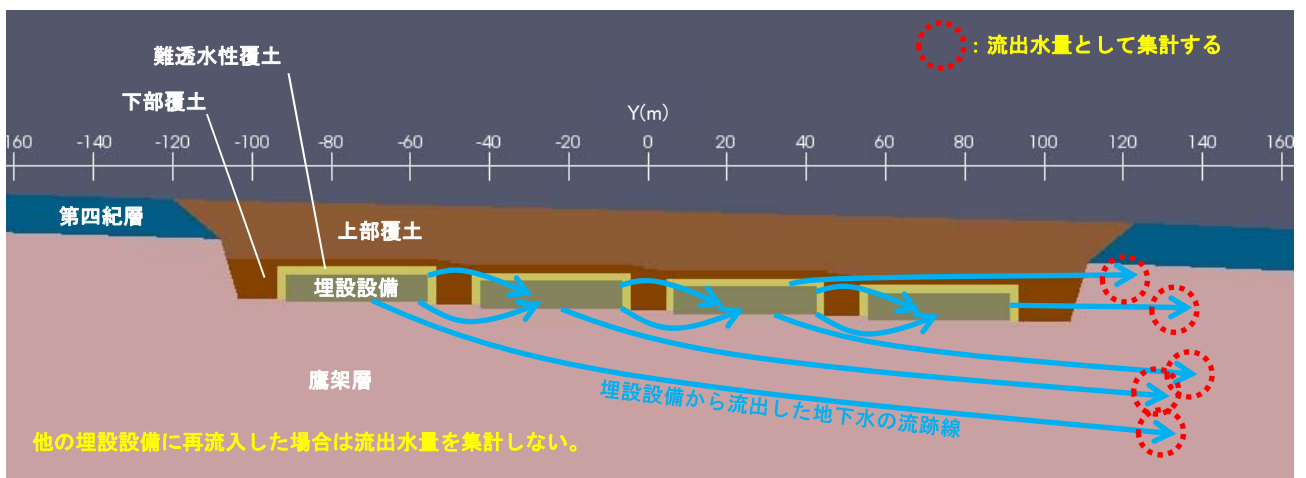
$$= \text{埋設設備群の幅}(\text{m}) \times \text{埋設設備下端から考慮する深さ}(\text{m})$$

(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
基本設定 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%
変動設定 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
基本設定 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%
変動設定 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
基本設定 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%
変動設定 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
基本設定	1	1基・2基	0	18	18	0%	100%	100%
	2	3基・4基	0	29	29	0%	100%	100%
動水勾配 3%	3	5基・6基	0	44	44	0%	100%	100%
	4	7基・8基	1	144	145	1%	99%	100%
降雨浸透量 310mm/y	合計	-	1	235	236	0%	100%	100%
変動設定	1	1基・2基	0	37	37	0%	100%	100%
	2	3基・4基	0	54	54	0%	100%	100%
動水勾配 3%	3	5基・6基	0	77	77	0%	100%	100%
	4	7基・8基	81	175	257	32%	68%	100%
降雨浸透量 310mm/y	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
基本設定	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%
降雨浸透量 310mm/y	合計	-	16	415	0	430	4%	96%	0%	100%
変動設定	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%
降雨浸透量 310mm/y	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
基本設定	1	1群・2群	0	0	0	-	-	-
	2	3群・4群	0	29	29	0%	100%	100%
動水勾配 3%	3	5群・6群	0	77	77	0%	100%	100%
	4	7群・8群	3	205	208	1%	99%	100%
降雨浸透量 310mm/y	合計	-	3	311	314	1%	99%	100%
変動設定	1	1群・2群	0	0	0	-	-	-
	2	3群・4群	0	58	58	0%	100%	100%
動水勾配 3%	3	5群・6群	0	137	137	0%	100%	100%
	4	7群・8群	55	277	332	17%	83%	100%
降雨浸透量 310mm/y	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。