

## 第 5 章 保有水等水質挙動解析

## 第5章 保有水等水質挙動解析

### 5.1 検討概要

海面最終処分場の閉鎖・廃止適用マニュアル策定に対し、シミュレーション技術が基準作成の際に担う役割として以下のような項目が考えられる。

- ・ 物質移行特性の把握
- ・ 浄化期間の予測
- ・ 浄化対策，閉鎖後の維持・管理手法に関する技術支援

物質移行特性の把握は，観測井におけるモニタリング情報と解析結果との照査から得ることができ，環境基準に対する現在位置を知る意味で重要である．物質移行特性の把握は過去～現在の情報をもとに得られるが，その後，現在～将来を予測検討へ発展できることがシミュレーション技術を用いる大きな利点と言える．また，解析結果から得られる処分場内の物質濃度分布から，揚水井の配置・揚水能の設定を行うことや，閉鎖後の浸出水処理施設への負荷などを定量的に把握できる点で，浄化対策や維持・管理手法に対する効率向上のための一資料となることも期待される．

本検討では上記した効果を確認する目的の第一ステップとして，地盤の透水性の感度解析を実施し，様々な地下水流動場における物質移行特性の傾向を整理する．解析結果から課題を抽出し，今後の調査および解析に反映させる資料作成を行う．

解析に使用するプログラム等の詳細は，別途資料として提出する．

## 5.2 水質挙動解析

水質挙動解析は、3次元移流拡散解析ソフトウェア「G-TRAN/3D for D-Transu：ソルバー部；岡山大学西垣教授，プリ-ポストプロセッサ部；（株）地層科学研究所」を用いて行う．移流拡散問題の基礎理論に関しては「独立行政法人 国立環境研究所，中央開発株式会社：海面最終処分場調査解析業務報告書，平成18年1月，以下，H17年度報告資料」で報告されているものと同じである．

物質移行解析の流れは図5.2.1に示すように，地下水流動を解析するモードと物質移行挙動を解析する移流拡散モードに分けられ，地下水流動モードでは定常もしくは非定常浸透流解析によって地下水流動場を求める．本検討では一定降雨量による水位変動を非定常浸透流解析で把握し，移流拡散解析を実施する．

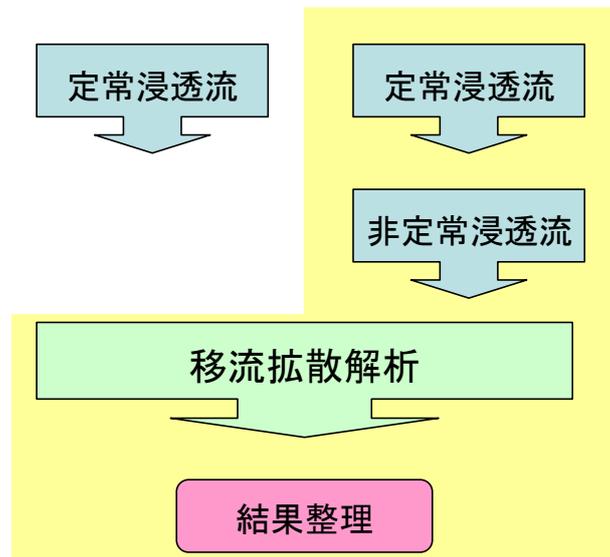


図 5.2.1 物質移行解析の流れ

### 5.2.1 解析準備

実施されたボーリング調査結果より、解析モデル構築のための情報を整理する。

#### (1) 地質情報

図 5.2.2 に H19 年 3 月 6 日～3 月 10 日の 4 日間に実施された No. 06B-1～No. 06B-8 のボーリング調査位置の平面図を示す。また、各ボーリング調査結果における地質の深度情報を図 5.2.3 に、調査日に観測された各孔の水位標高を図 5.2.4 にそれぞれ示す。地質分布は砂礫もしくは礫が混じった土質材料が主体であり、場所によって低透水性と考えられる粘土層が介在している構造である。調査位置の水位標高は概ね E. L. +1.0m 程度で水平分布している。

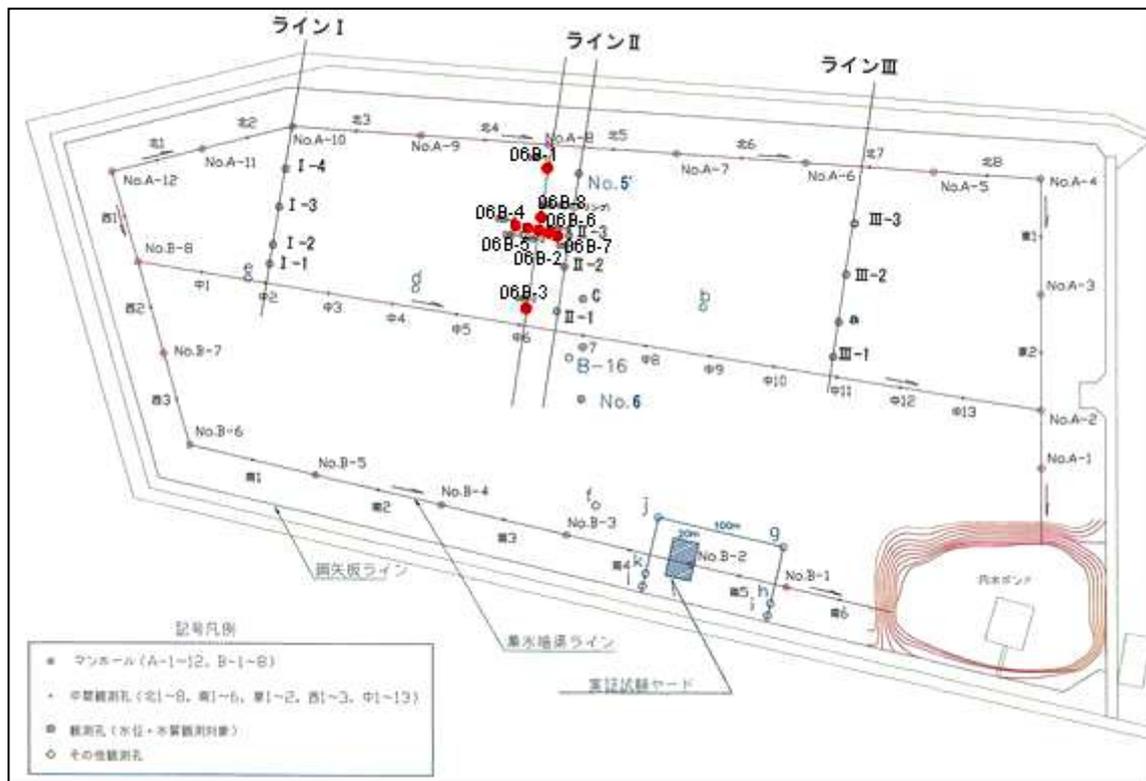


図 5.2.2 ボーリング調査位置

<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>No.06B-1</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>孔口標高</td><td>4.96</td></tr> <tr><td>粘土質砂礫</td><td>3.96</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>1.96</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂</td><td>0.96</td></tr> <tr><td>粘土質砂礫</td><td>-0.14</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土混じり砂</td><td>-2.04</td></tr> </tbody> </table>		No.06B-1	孔口標高	4.96	粘土質砂礫	3.96	粘土混じり砂礫	1.96	粘土混じり砂	0.96	粘土質砂礫	-0.14	礫混じり粘土混じり砂	-2.04	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>No.06B-2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>孔口標高</td><td>6.06</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>5.56</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土混じり砂</td><td>1.76</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土質砂</td><td>0.96</td></tr> <tr><td>礫混じりシルト質砂</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>シルト混じり砂礫</td><td>-0.94</td></tr> </tbody> </table>		No.06B-2	孔口標高	6.06	粘土混じり砂礫	5.56	礫混じり粘土混じり砂	1.76	礫混じり粘土質砂	0.96	礫混じりシルト質砂	0.06	シルト混じり砂礫	-0.94	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>No.06B-3</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>孔口標高</td><td>5.91</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>5.41</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂</td><td>2.41</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土質砂</td><td>-1.09</td></tr> </tbody> </table>		No.06B-3	孔口標高	5.91	粘土混じり砂礫	5.41	粘土混じり砂	2.41	礫混じり粘土質砂	-1.09								
	No.06B-1																																															
孔口標高	4.96																																															
粘土質砂礫	3.96																																															
粘土混じり砂礫	1.96																																															
粘土混じり砂	0.96																																															
粘土質砂礫	-0.14																																															
礫混じり粘土混じり砂	-2.04																																															
	No.06B-2																																															
孔口標高	6.06																																															
粘土混じり砂礫	5.56																																															
礫混じり粘土混じり砂	1.76																																															
礫混じり粘土質砂	0.96																																															
礫混じりシルト質砂	0.06																																															
シルト混じり砂礫	-0.94																																															
	No.06B-3																																															
孔口標高	5.91																																															
粘土混じり砂礫	5.41																																															
粘土混じり砂	2.41																																															
礫混じり粘土質砂	-1.09																																															
<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>No.06B-4</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>孔口標高</td><td>6.08</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>5.68</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土混じり砂</td><td>4.28</td></tr> <tr><td>砂礫</td><td>3.88</td></tr> <tr><td>礫混じり砂質粘土</td><td>2.08</td></tr> <tr><td>礫混じり砂質シルト</td><td>-0.17</td></tr> </tbody> </table>		No.06B-4	孔口標高	6.08	粘土混じり砂礫	5.68	礫混じり粘土混じり砂	4.28	砂礫	3.88	礫混じり砂質粘土	2.08	礫混じり砂質シルト	-0.17	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>No.06B-5</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>孔口標高</td><td>6.07</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土質砂</td><td>1.57</td></tr> <tr><td>砂質粘土</td><td>1.07</td></tr> <tr><td>礫混じり砂質シルト</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>礫混じりシルト混じり砂</td><td>-1.18</td></tr> </tbody> </table>		No.06B-5	孔口標高	6.07	粘土混じり砂礫	5.47	礫混じり粘土質砂	1.57	砂質粘土	1.07	礫混じり砂質シルト	0.7	礫混じりシルト混じり砂	-1.18	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>No.06B-6</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>孔口標高</td><td>6.07</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>5.57</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土混じり砂</td><td>5.07</td></tr> <tr><td>砂礫</td><td>4.37</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土質砂</td><td>2.27</td></tr> <tr><td>礫混じり砂質粘土</td><td>1.27</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土質砂</td><td>-0.73</td></tr> <tr><td>礫混じりシルト混じり砂</td><td>-2.18</td></tr> </tbody> </table>		No.06B-6	孔口標高	6.07	粘土混じり砂礫	5.57	礫混じり粘土混じり砂	5.07	砂礫	4.37	礫混じり粘土質砂	2.27	礫混じり砂質粘土	1.27	礫混じり粘土質砂	-0.73	礫混じりシルト混じり砂	-2.18
	No.06B-4																																															
孔口標高	6.08																																															
粘土混じり砂礫	5.68																																															
礫混じり粘土混じり砂	4.28																																															
砂礫	3.88																																															
礫混じり砂質粘土	2.08																																															
礫混じり砂質シルト	-0.17																																															
	No.06B-5																																															
孔口標高	6.07																																															
粘土混じり砂礫	5.47																																															
礫混じり粘土質砂	1.57																																															
砂質粘土	1.07																																															
礫混じり砂質シルト	0.7																																															
礫混じりシルト混じり砂	-1.18																																															
	No.06B-6																																															
孔口標高	6.07																																															
粘土混じり砂礫	5.57																																															
礫混じり粘土混じり砂	5.07																																															
砂礫	4.37																																															
礫混じり粘土質砂	2.27																																															
礫混じり砂質粘土	1.27																																															
礫混じり粘土質砂	-0.73																																															
礫混じりシルト混じり砂	-2.18																																															
<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>No.06B-7</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>孔口標高</td><td>6.06</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>5.46</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土質砂</td><td>4.06</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土混じり砂</td><td>2.26</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>-2.84</td></tr> <tr><td>砂質粘土</td><td>-4.19</td></tr> </tbody> </table>		No.06B-7	孔口標高	6.06	粘土混じり砂礫	5.46	礫混じり粘土質砂	4.06	礫混じり粘土混じり砂	2.26	粘土混じり砂礫	-2.84	砂質粘土	-4.19	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>No.06B-8</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>孔口標高</td><td>6.05</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>5.55</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂礫</td><td>1.75</td></tr> <tr><td>粘土混じり砂</td><td>-0.75</td></tr> <tr><td>礫混じり粘土質砂</td><td>-3.95</td></tr> <tr><td>砂質シルト</td><td>-8.25</td></tr> <tr><td>砂</td><td>-9.55</td></tr> <tr><td>シルト質砂</td><td>-10.2</td></tr> </tbody> </table>		No.06B-8	孔口標高	6.05	粘土混じり砂礫	5.55	粘土混じり砂礫	1.75	粘土混じり砂	-0.75	礫混じり粘土質砂	-3.95	砂質シルト	-8.25	砂	-9.55	シルト質砂	-10.2															
	No.06B-7																																															
孔口標高	6.06																																															
粘土混じり砂礫	5.46																																															
礫混じり粘土質砂	4.06																																															
礫混じり粘土混じり砂	2.26																																															
粘土混じり砂礫	-2.84																																															
砂質粘土	-4.19																																															
	No.06B-8																																															
孔口標高	6.05																																															
粘土混じり砂礫	5.55																																															
粘土混じり砂礫	1.75																																															
粘土混じり砂	-0.75																																															
礫混じり粘土質砂	-3.95																																															
砂質シルト	-8.25																																															
砂	-9.55																																															
シルト質砂	-10.2																																															

図 5.2.3 ボーリング調査における地質深度情報まとめ

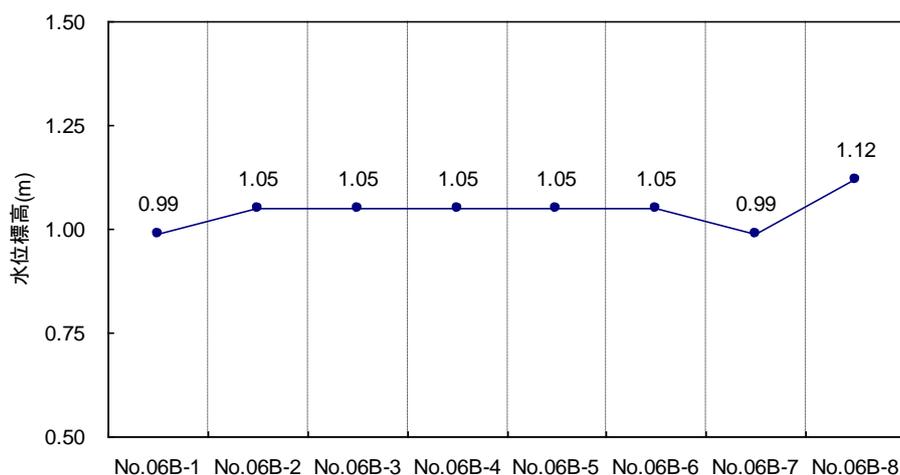


図 5.2.4 ボーリング調査における水位標高まとめ

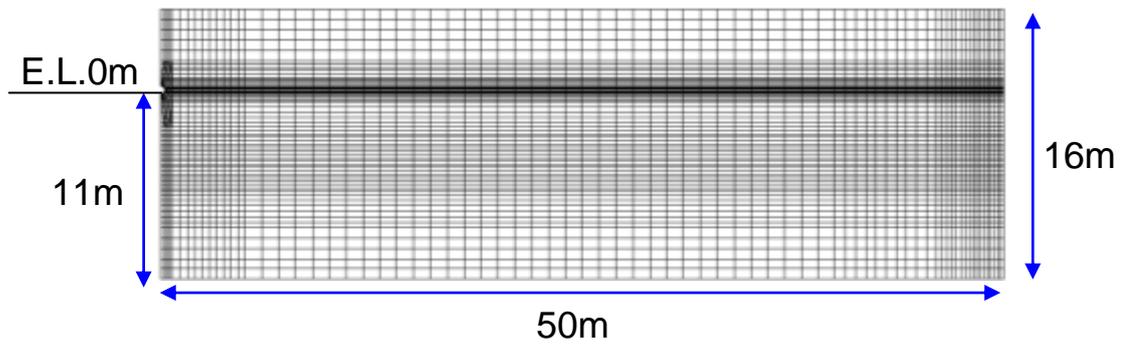
## (2) 解析断面と解析モデル

図 5.2.5 に地質断面情報を示す。同断面は図 5.2.2 に示した平面図における No. 06B-1, B-2, B-3 を通る断面である。地質分布は標高-10m 付近で廃棄物層と基盤層が区分されている。基盤層は粘土層であることから、上位の廃棄物層と比較して透水性が非常に小さいことが想定される。上層-下層間での透水性の差が大きい場合、地下水流動の影響は下層へ伝達しない。従って、解析モデルの下限は基盤層上面(E. L. -10m)までとした。また、図 5.2.5 に示されている排水有孔管の位置関係は、No. 06B-2 ボーリング付近を中心に左右対称となっていることから、解析モデルは図 5.2.5 の赤枠で示した全体断面に対する半断面(モデル全長=50m, 集水暗渠間隔=100m)で行うこととした。

作成した有限要素メッシュを図 5.2.6 に示す。解析モデル範囲を総節点数 10,388, 総要素数 5,054 に離散化した。排水管位置は中心でモデル底面から 11m 位置の円形構造とし、「H17 年度報告資料」でモデル化されている 0.4m×0.4m の矩形面積と同面積となるような径を設定した。

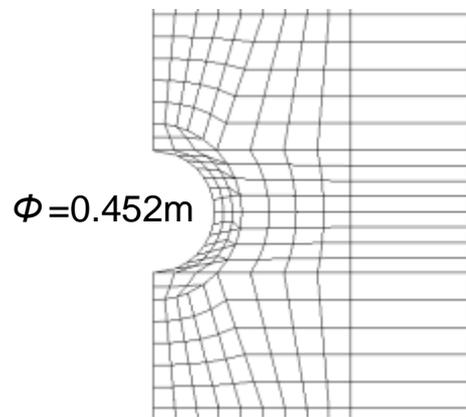


図 5.2.5 地質断面情報



総節点数：5,194, 総要素数：5,054

a) 全体図



b) 排水管周辺拡大図

図 5.2.6 作成した有限要素メッシュ

### 5.2.2 地盤物性の収集及び解析ケースの設定

一般的な地盤の透水係数を表 5.2.1 に示す。ボーリング調査結果から、原位置サイトの透水係数は、砂礫もしくは砂礫混じりシルト、粘土が主体であることから、表中の赤枠示した  $1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$  ( $1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ )  $\sim$   $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$  ( $1.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ ) の範囲と見積もれる。また、解析に用いる物質移行パラメータを表 5.2.2 に示す。これらは「H17 年度報告資料」を基に設定した。

表 5.2.1 地盤材料の透水係数

$-\log_{10} K(\text{cm/s})$	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
透水性	透水性			半透水性					不透水性						
帯水層	良				悪					非					
土質	礫		砂, 砂礫			細砂, シルト, ローム等									
岩盤						ビート		堆積粘土		未風化粘土					
						油田		砂岩		石灰岩, 粘板岩		花崗岩, 角礫岩			
$-\log_{10} K(\text{cm}^2)$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
$-\log_{10} K(\text{md})$	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	

出典：(社)地盤工学会, 地盤工学ハンドブック, 1999. 3. 20, p. 17

表 5.2.2 解析に用いる物質移行パラメータ

パラメータ	適用値	備考
縦方向分散長(m)	0.1	H17 年度報告資料
横方向分散長(m)	0.1	
有効間隙率(-)	0.41	
有効分子拡散係数( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$1.0 \times 10^{-9}$	分子拡散係数= $1.0 \times 10^{-9}$ 屈曲率=1.0
遅延係数(-)	1.0	物質土壌への収着は考慮しない
崩壊定数(1/s)	0.0	崩壊考慮なし

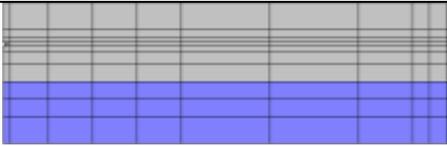
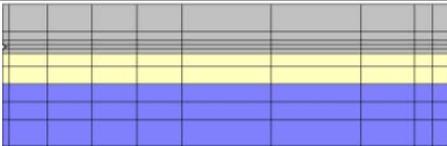
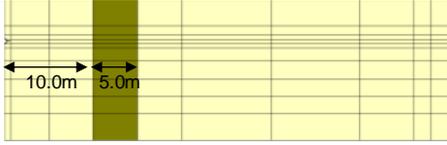
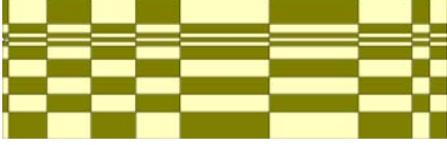
実施する感度解析ケースを表 5.2.3～表 5.2.4 に示す。地盤を一様な材料とし、透水係数のみを変更したケースを 3 ケース、不均質性を有したケースを 5 ケース、外力(降雨量)を変更したケースを 1 ケース、境界条件(浸出境界)を変更したケースを 1 ケース設定した。Case10 は排水管がほぼ満水で上部からの浸透のみが起きるケースを想定している。

表 5.2.3 解析実施ケース (一様地盤ケース)

ケース	透水係数 (m/s)	条件	モデル図
Case01	$1.0 \times 10^{-5}$	降雨量 =1.0mm/day	
Case02	$1.0 \times 10^{-4}$	降雨量 =1.0mm/day	
Case03	$1.0 \times 10^{-6}$	降雨量 =1.0mm/day	
Case04	$1.0 \times 10^{-5}$	降雨量 =5.0mm/day	
Case5	$1.0 \times 10^{-5}$	浸出境界位置変更	

透水係数(m/s):   $10^{-5}$    $10^{-4}$    $10^{-6}$    $10^{-7}$

表 5.2.4 解析実施ケース (不均質地盤ケース)

ケース	透水係数 (m/s)	条件	モデル図
Case06	上層 : $1.0 \times 10^{-4}$ 下層 : $1.0 \times 10^{-6}$	降雨量 =1.0mm/day	 E.L.-4.0m
Case07	上層 : $1.0 \times 10^{-4}$ 中間層 : $1.0 \times 10^{-5}$ 下層 : $1.0 \times 10^{-6}$	降雨量 =1.0mm/day	 E.L.-0.5m E.L.-4.0m
Case08	上層 : $1.0 \times 10^{-4}$ 中間層 : $1.0 \times 10^{-6}$ 下層 : $1.0 \times 10^{-4}$	降雨量 =1.0mm/day	 E.L.-2.0m E.L.-4.0m
Case09	遮蔽層 : $1.0 \times 10^{-7}$ その他 : $1.0 \times 10^{-5}$	降雨量 =1.0mm/day	 10.0m 5.0m
Case10	遮蔽層 : $1.0 \times 10^{-7}$ その他 : $1.0 \times 10^{-5}$	降雨量 =1.0mm/day	

透水係数(m/s):   $10^{-5}$    $10^{-4}$    $10^{-6}$    $10^{-7}$

### 5.2.3 境界条件

浸透流モード, 物質移行モードそれぞれの解析時に用いる境界条件を図5.2.7及び図5.2.8に示す. 「17年度報告資料」と同様に, 外力として降雨量 1.0mm/day を地表面に作用させ, 集水暗渠全周に浸出境界を設定する. また, 初期水位を E.L. -11.0m に分布させ, 降雨量及び浸出境界の影響に伴う地下水流動場を解析する. 集水暗渠位置以外の側方境界及び底面は不透水境界とした.

濃度境界は初期水位以深に初期濃度として, 比濃度 1.0 を与え, 降雨は処分場内の汚染物質に触れていないため, 比濃度=0.0 として地表面に設定を行う. なお, 解析は 20 年間を対象に実施する.

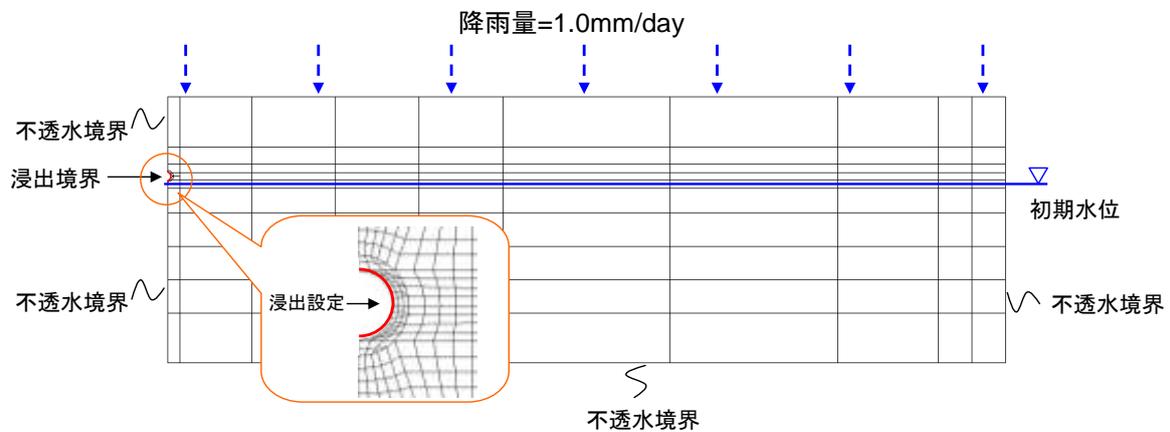


図 5.2.7 浸透境界条件 (定常浸透流解析時)



図 5.2.8 濃度境界条件 (移流拡散解析時)

## 5.2.4 解析結果

### (1) 浸透流解析

集水暗渠への流出挙動及び領域全体の水平方向流速分布を図 5.2.9～図 18 に示す。集水暗渠周辺の透水係数が高い場合 (Case2, Case6～Case8), 水面位置は初期水位位置 (E. L. 0m) に近く, 集水暗渠底部から排水されている。地盤の透水性が小さいほど, 排水に寄与する面積が増加する傾向であった。なお, 降雨浸透による水位変動は透水係数が低いケースでも約 1 年で定常状態に達していることを確認している。

水平方向の流速分布は地盤の透水性を一様に分布させた Case01～Case05 と Case09 は廃棄物層底部においても流速が発生しているが, 地盤の透水性が不均質である Case06～Case08, Case10 は廃棄物層底部の流速が 0.0 に近い値となっている。底部の低流速域における物質移行挙動については移流拡散解析の濃度変化と合わせて考察を行う。

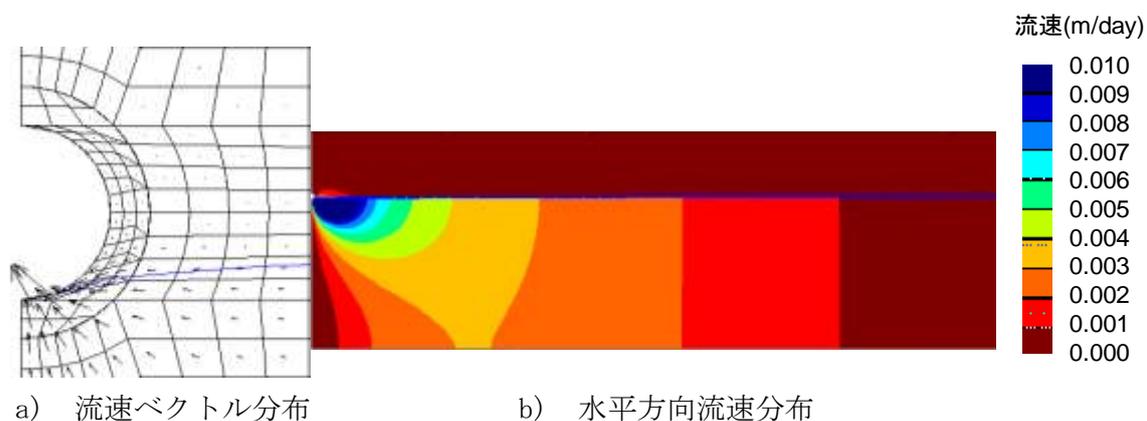


図 5.2.9 浸透流解析結果 (Case01\_20 年後)

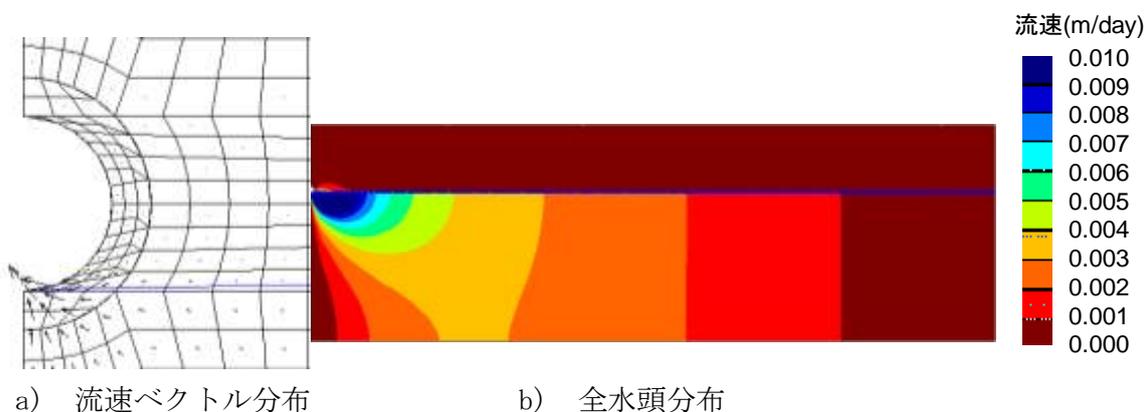


図 5.2.10 浸透流解析結果 (Case02\_20 年後)

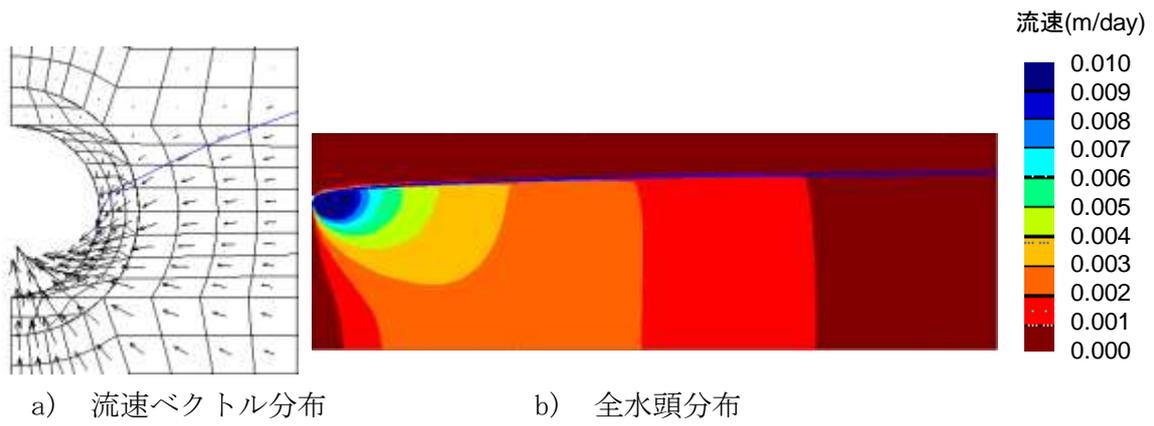


図 5.2.11 浸透流解析結果(Case03\_20 年後)

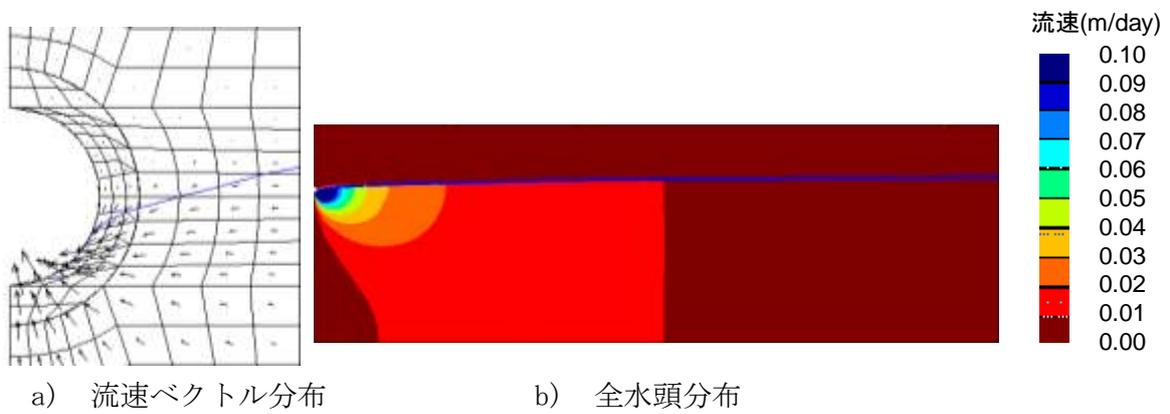


図 5.2.12 浸透流解析結果(Case04\_20 年後)

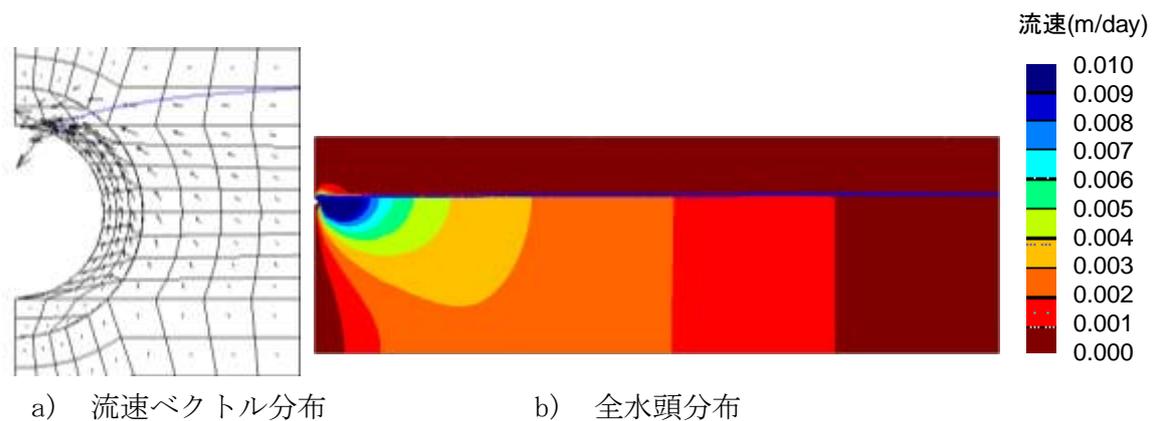


図 5.2.13 浸透流解析結果(Case05\_20 年後)

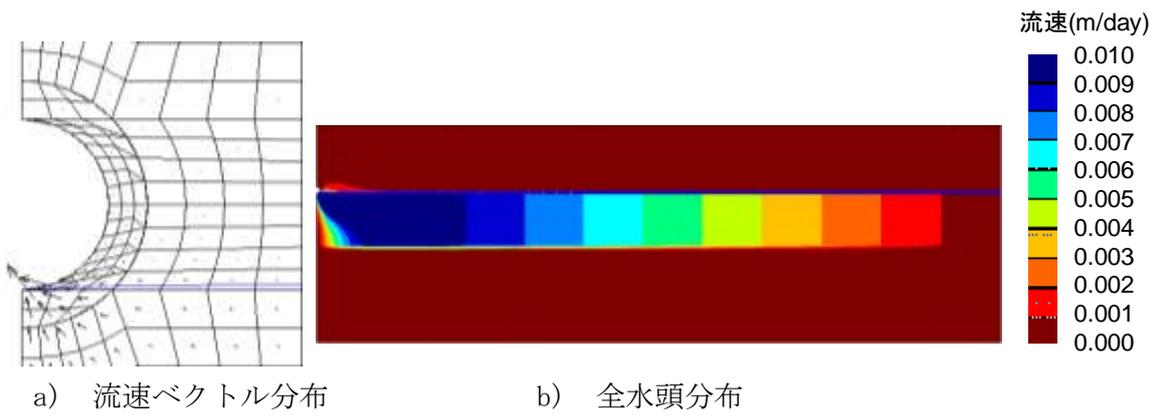


図 5. 2. 14 浸透流解析結果(Case06\_20 年後)

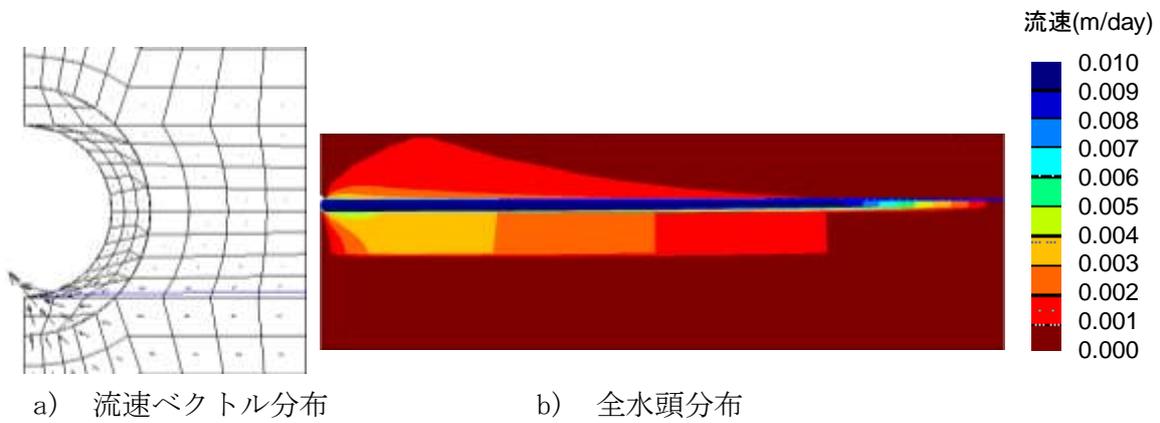


図 5. 2. 15 浸透流解析結果(Case07\_20 年後)

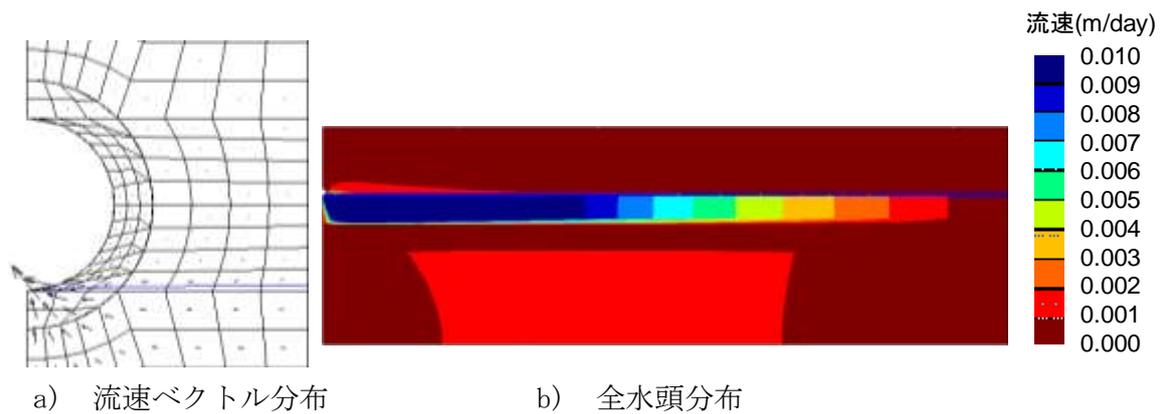


図 5. 2. 16 浸透流解析結果(Case08\_20 年後)

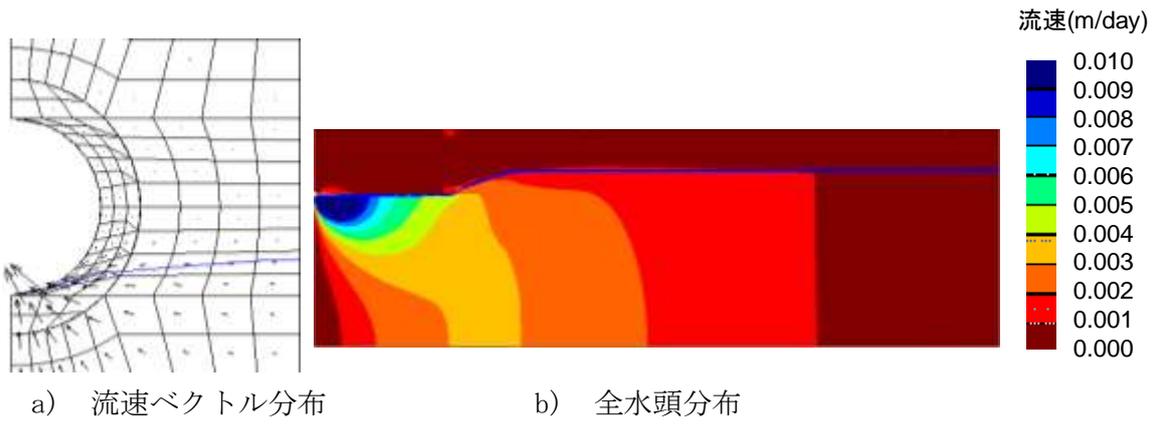


図 5. 2. 17 浸透流解析結果(Case09\_20 年後)

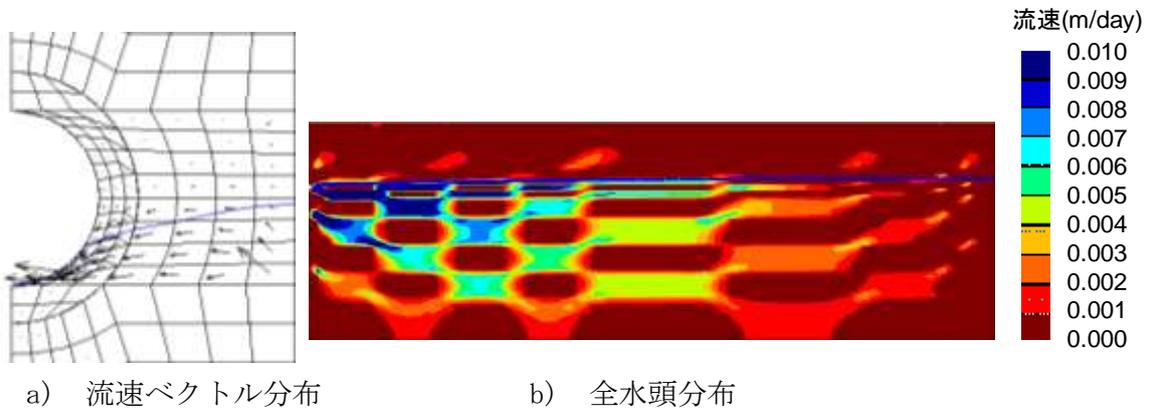


図 5. 2. 18 浸透流解析結果(Case10\_20 年後)

## (2) 移流拡散解析

以下より、移流拡散解析の結果を示す。まず、濃度変化の出力を整理し、各ケースの考察を行う。また、解析最終時間である 20 年後の濃度分布から解析領域内の濃度残存量を算定し、全ケースの濃度減少傾向を一元的に比較する。本節の最後で地盤の透水係数と濃度減少率の関係から簡易予測モデルを導くことを試みた。

### 1) 濃度分布

Case01～Case10 の濃度変化を図 5.2.19～図 5.2.28 示す。出力時間は初期状態と 5 年刻みで最終時間の 20 年までを整理した。

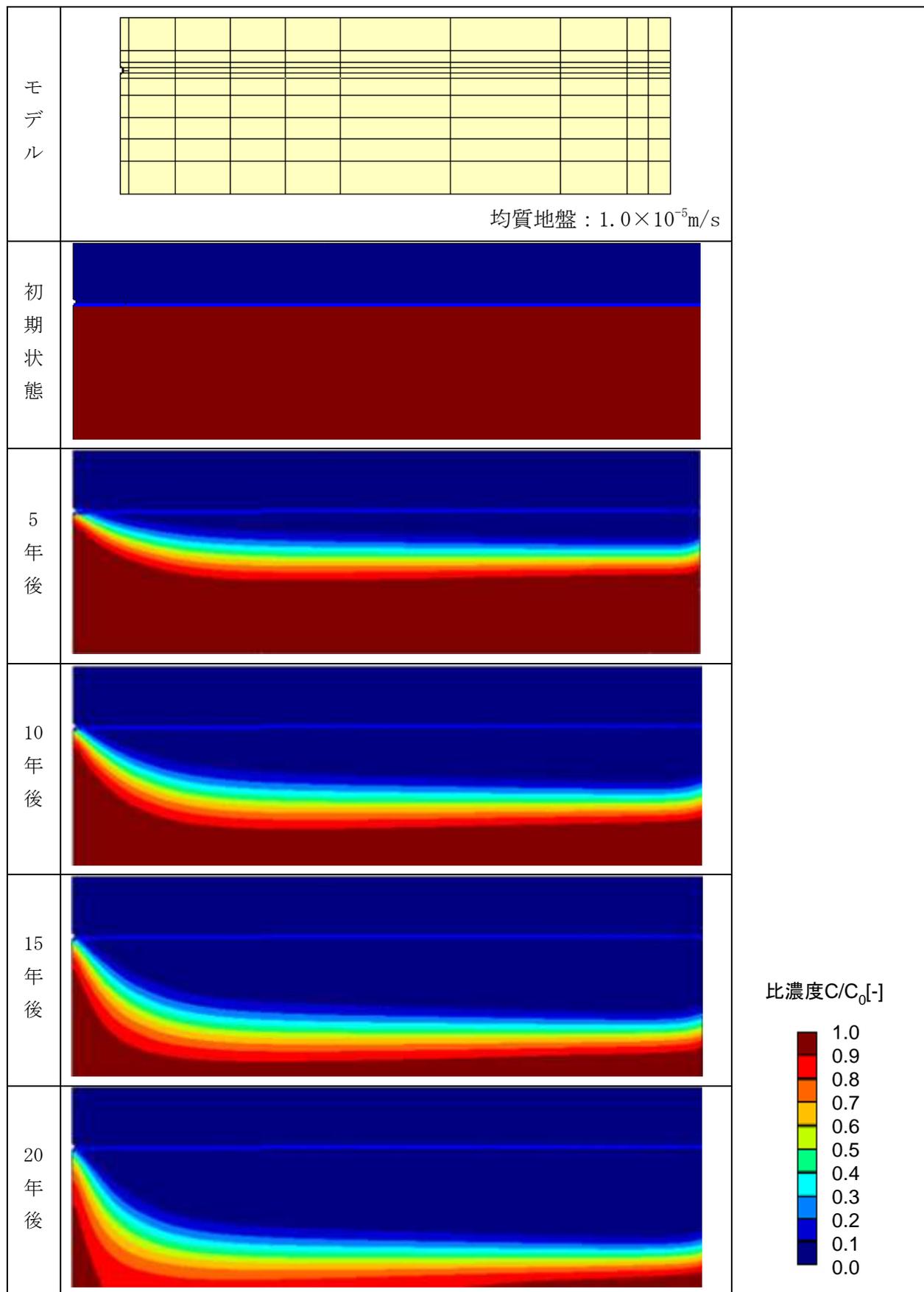


図 5.2.19 濃度変化 (Case01)

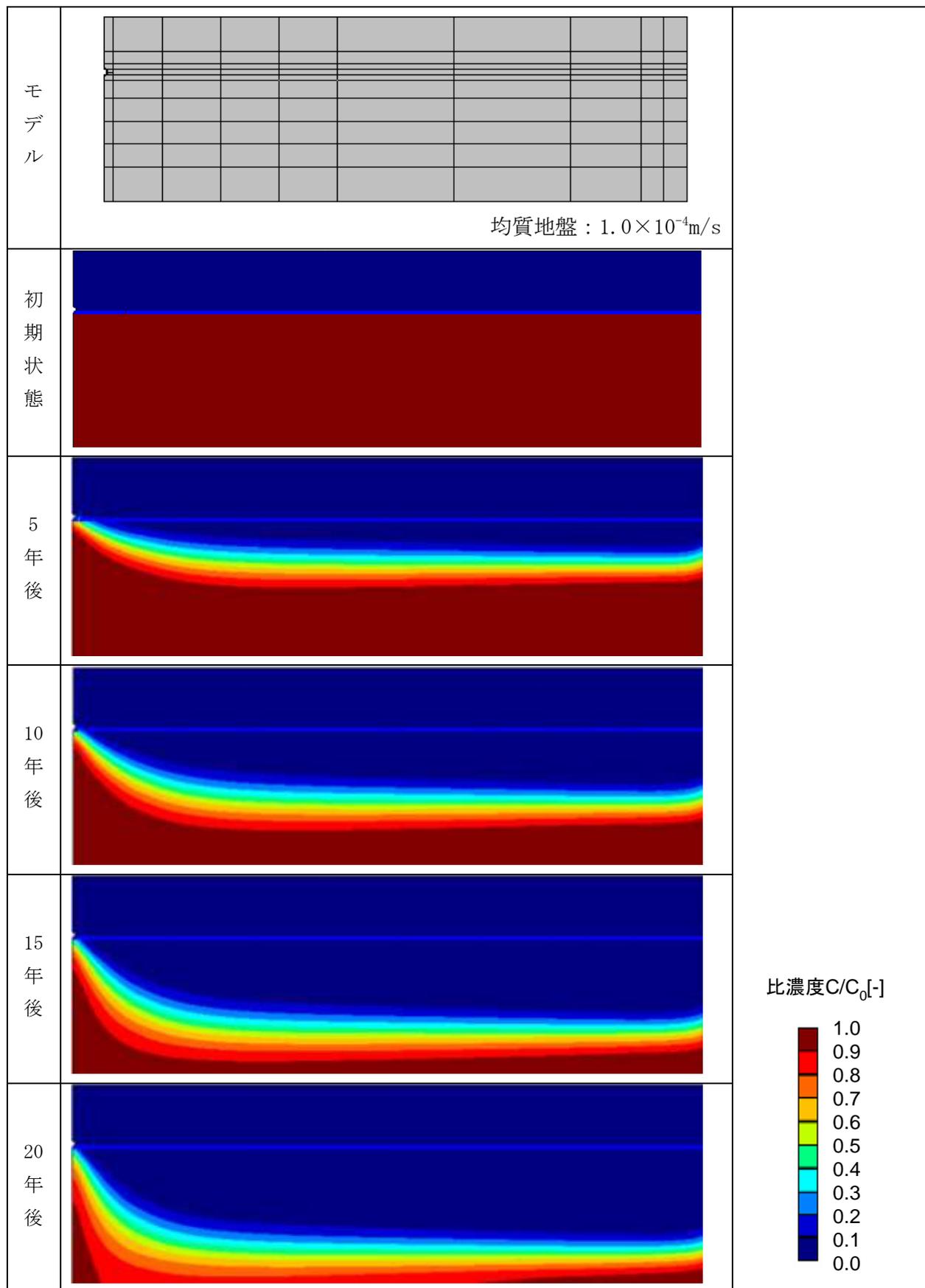


図 5. 2. 20 濃度変化 (Case02)

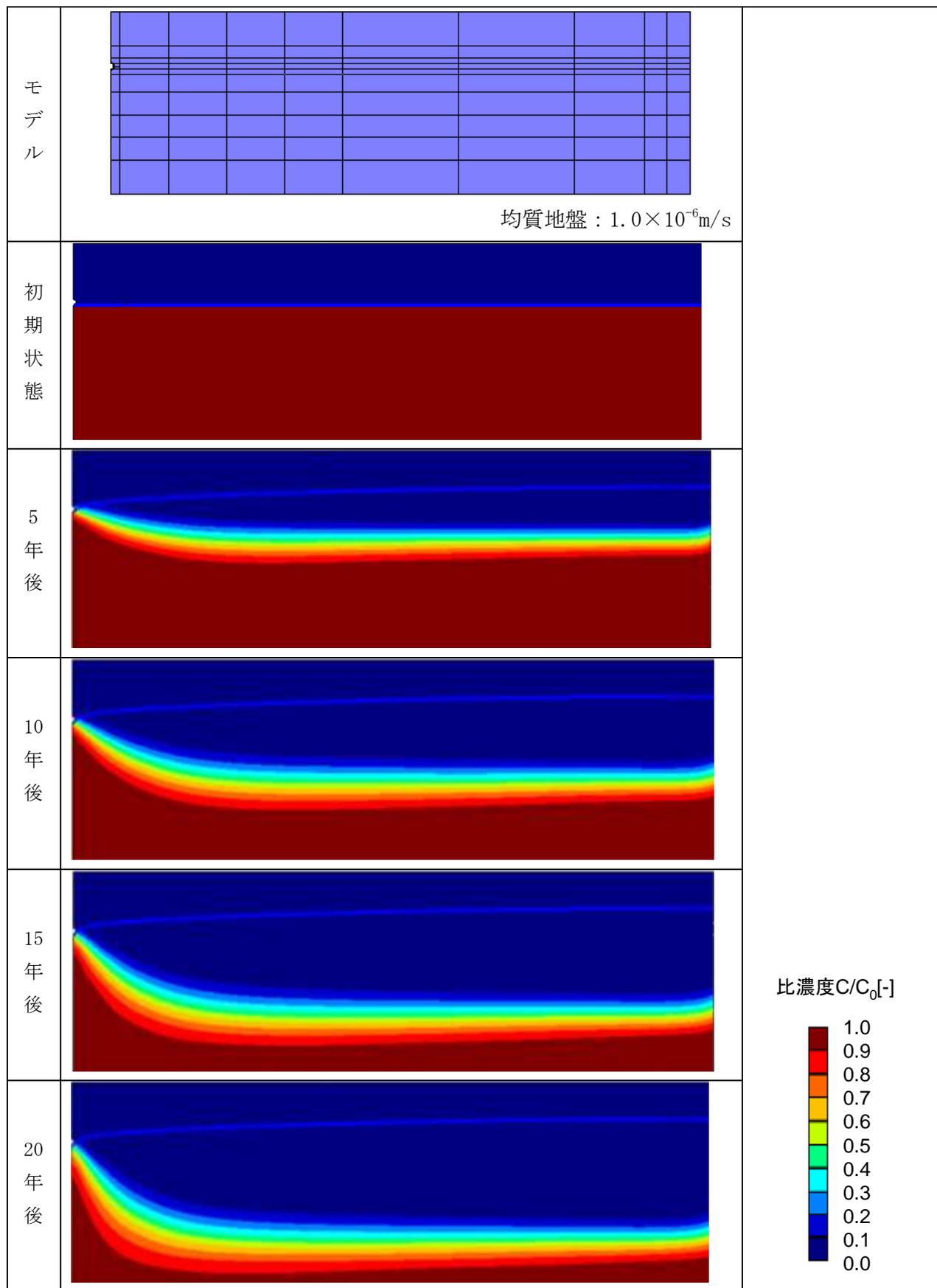


図 5. 2. 21 濃度変化 (Case03)

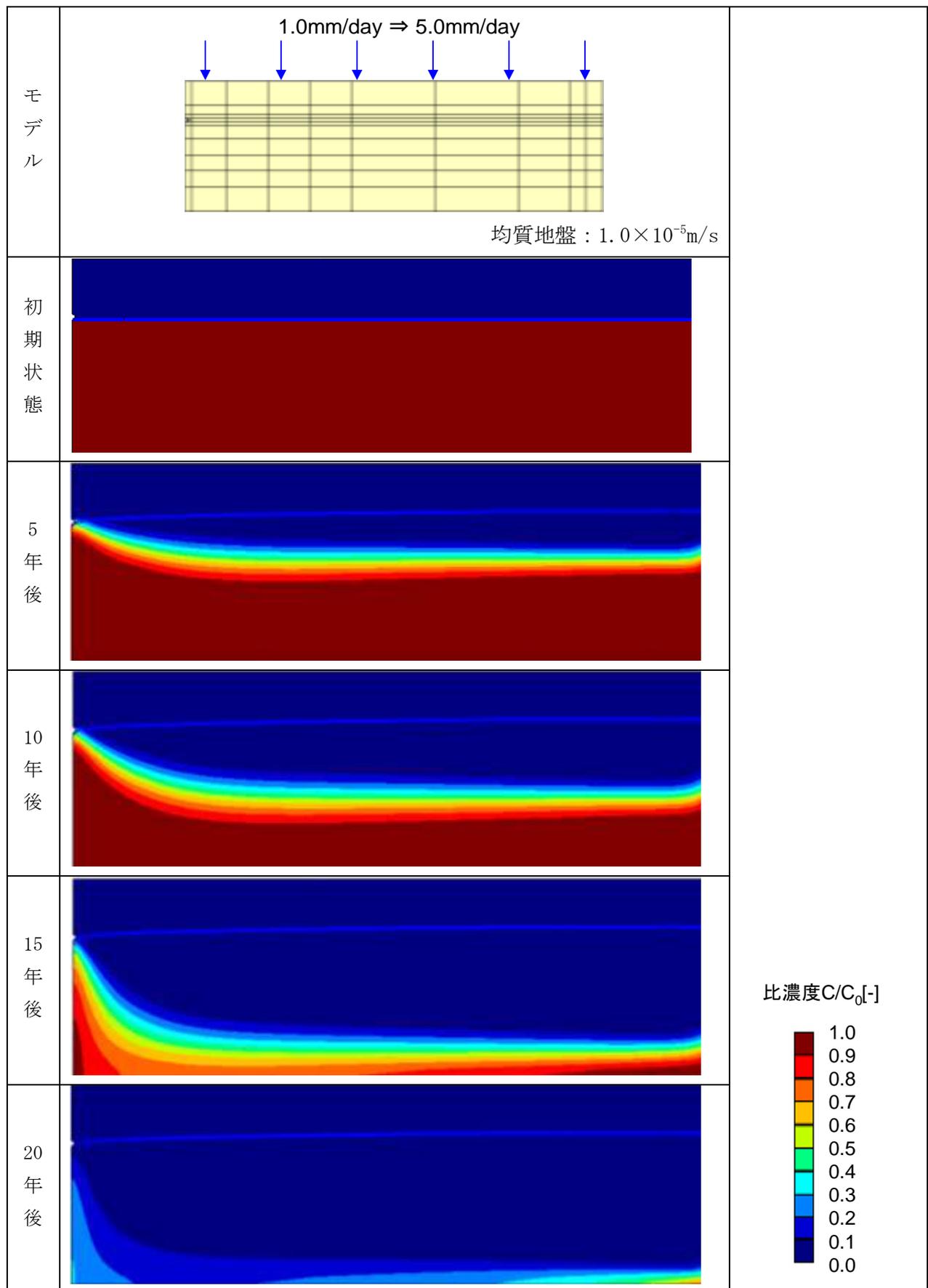


図 5. 2. 22 濃度変化 (Case04)

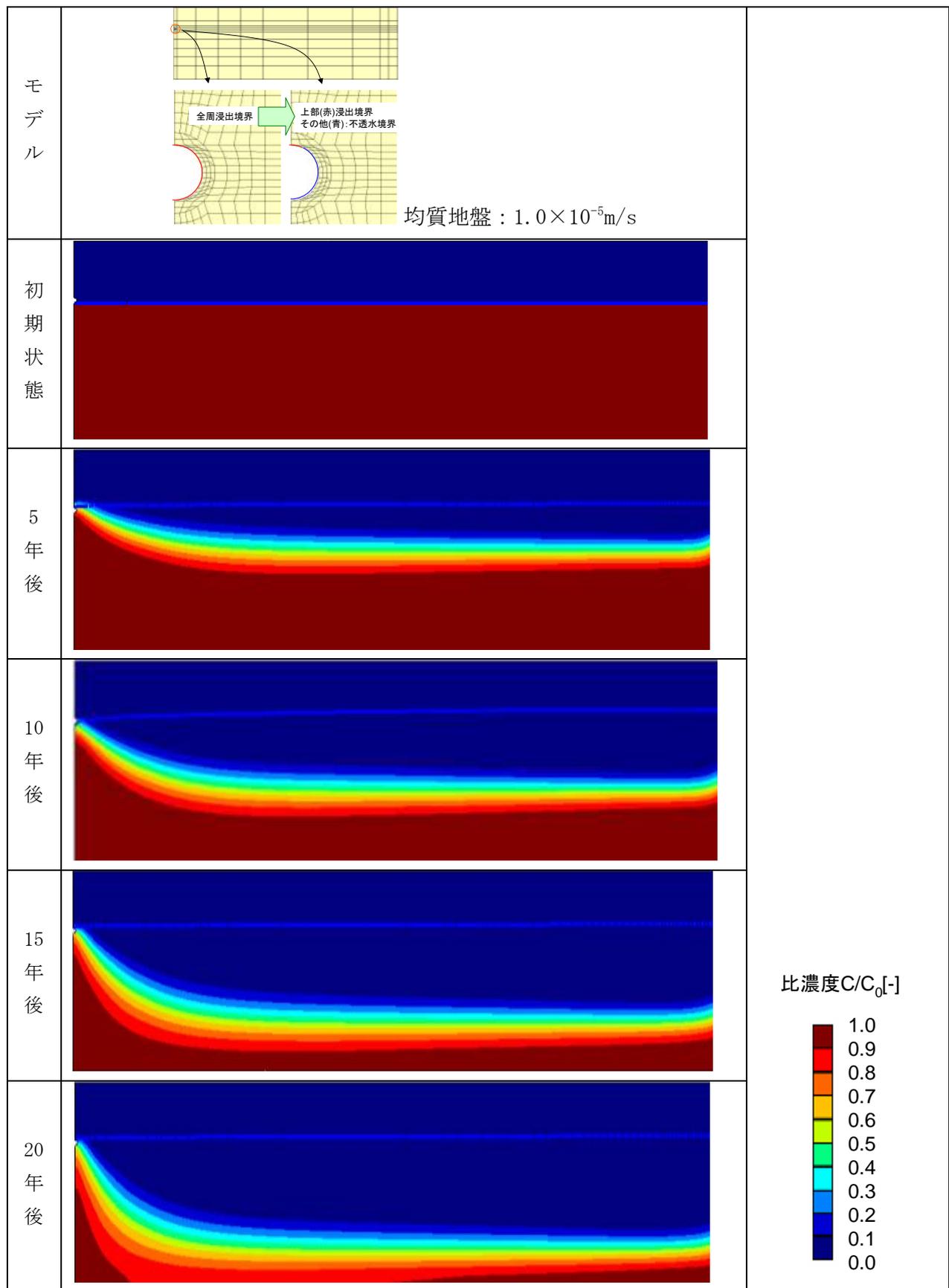


図 5. 2. 23 濃度変化 (Case05)

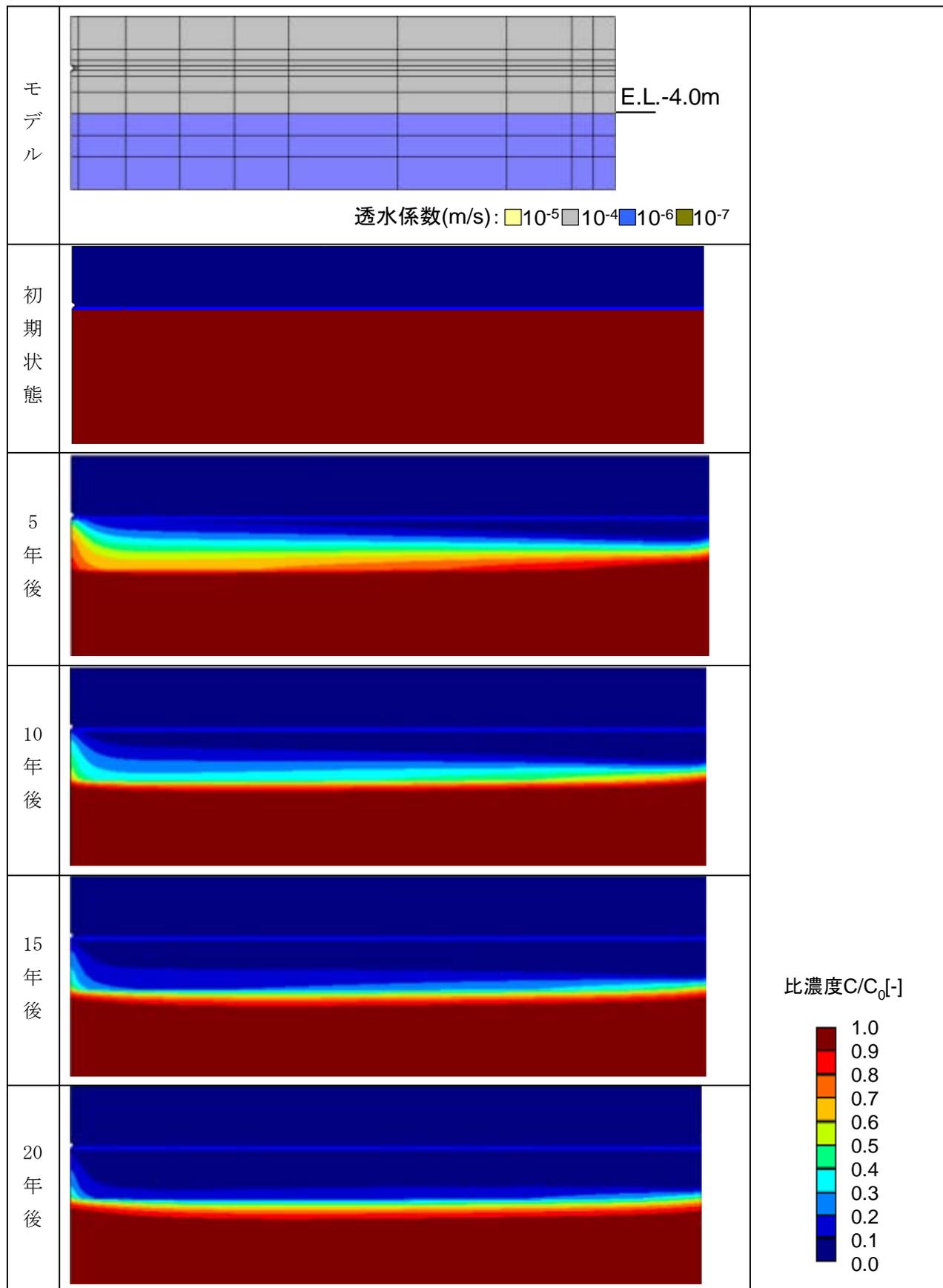


図 5. 2. 24 濃度変化 (Case06)

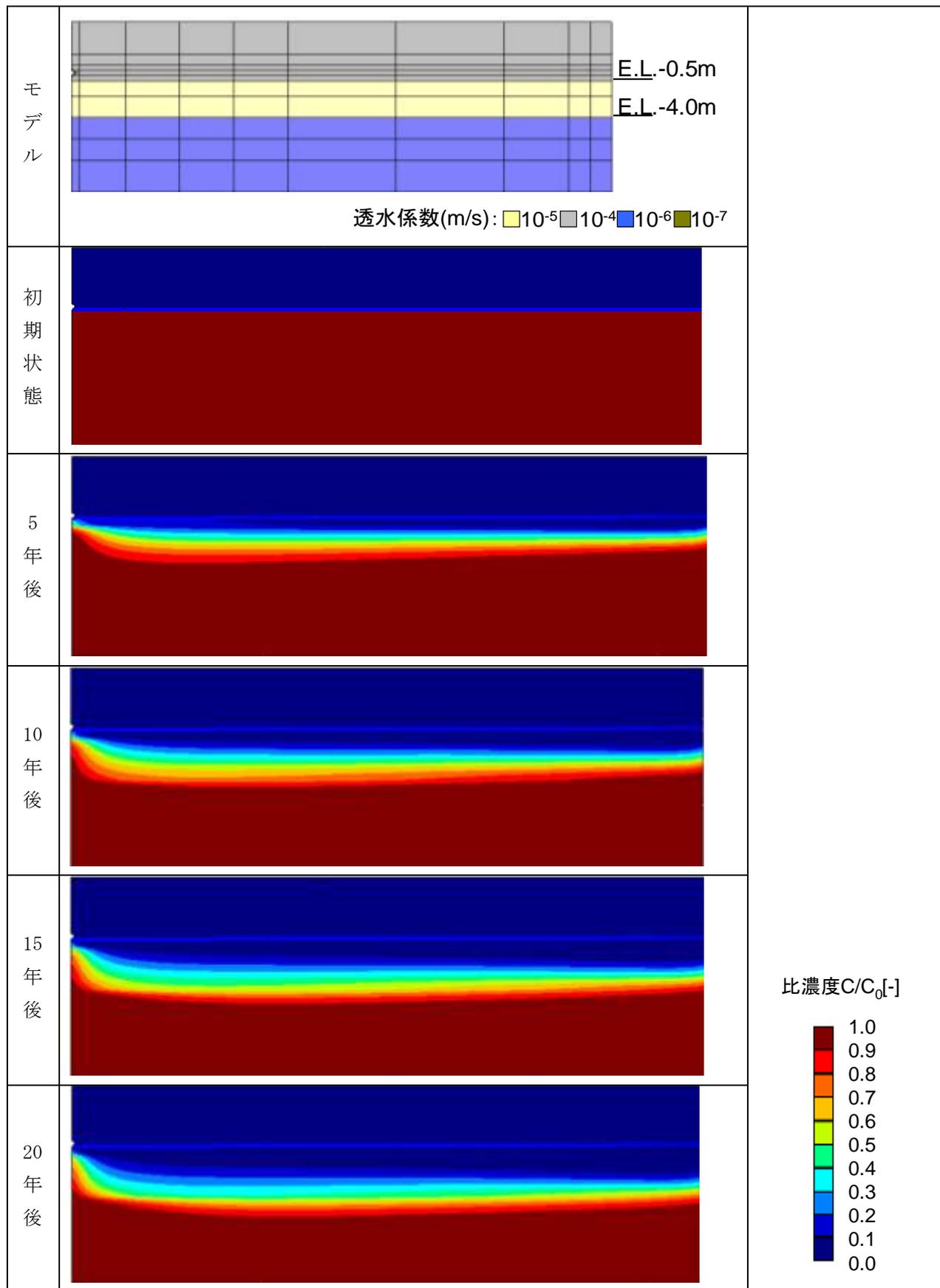


図 5. 2. 25 濃度変化 (Case07)

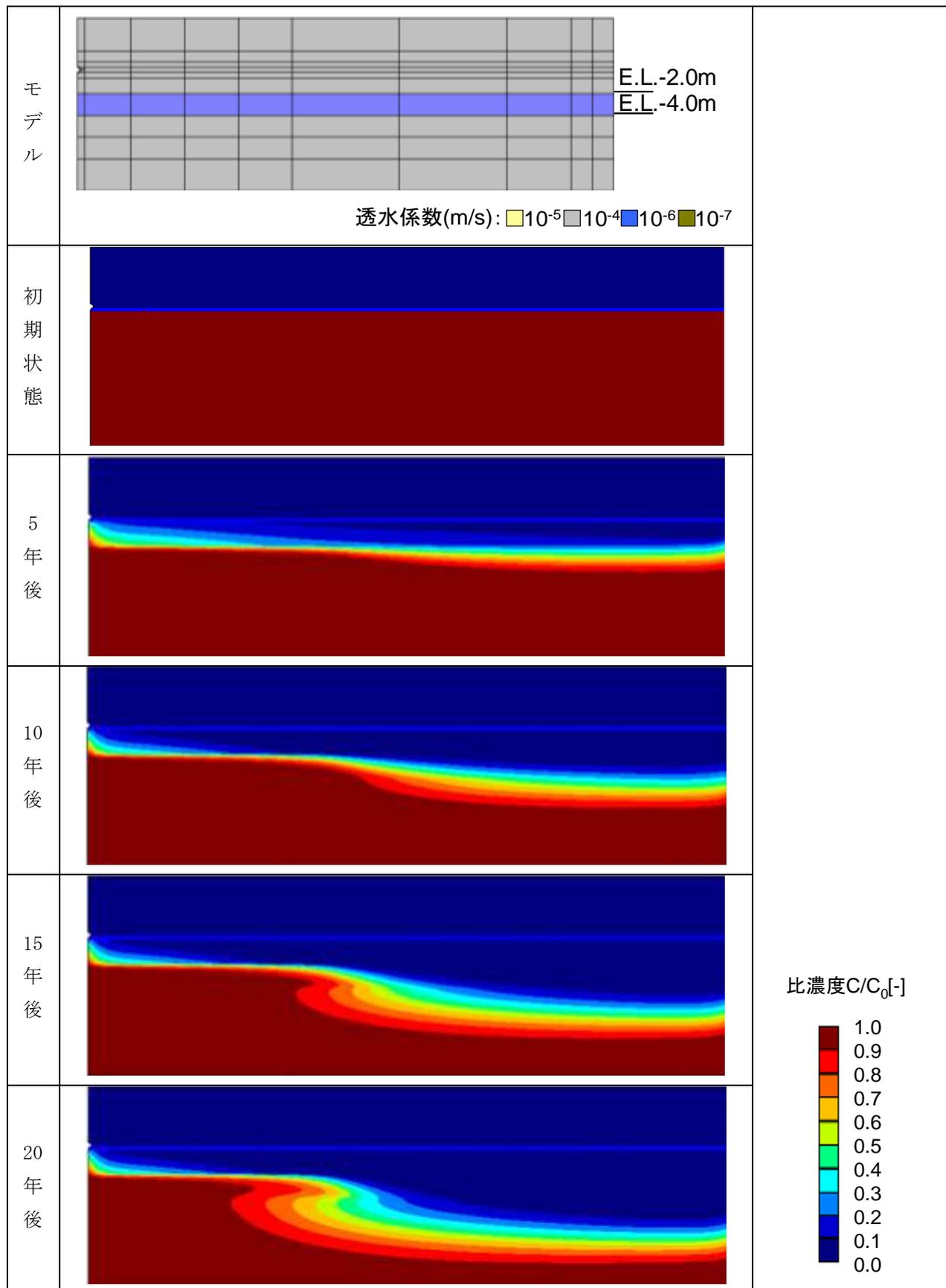


図 5. 2. 26 濃度変化 (Case08)

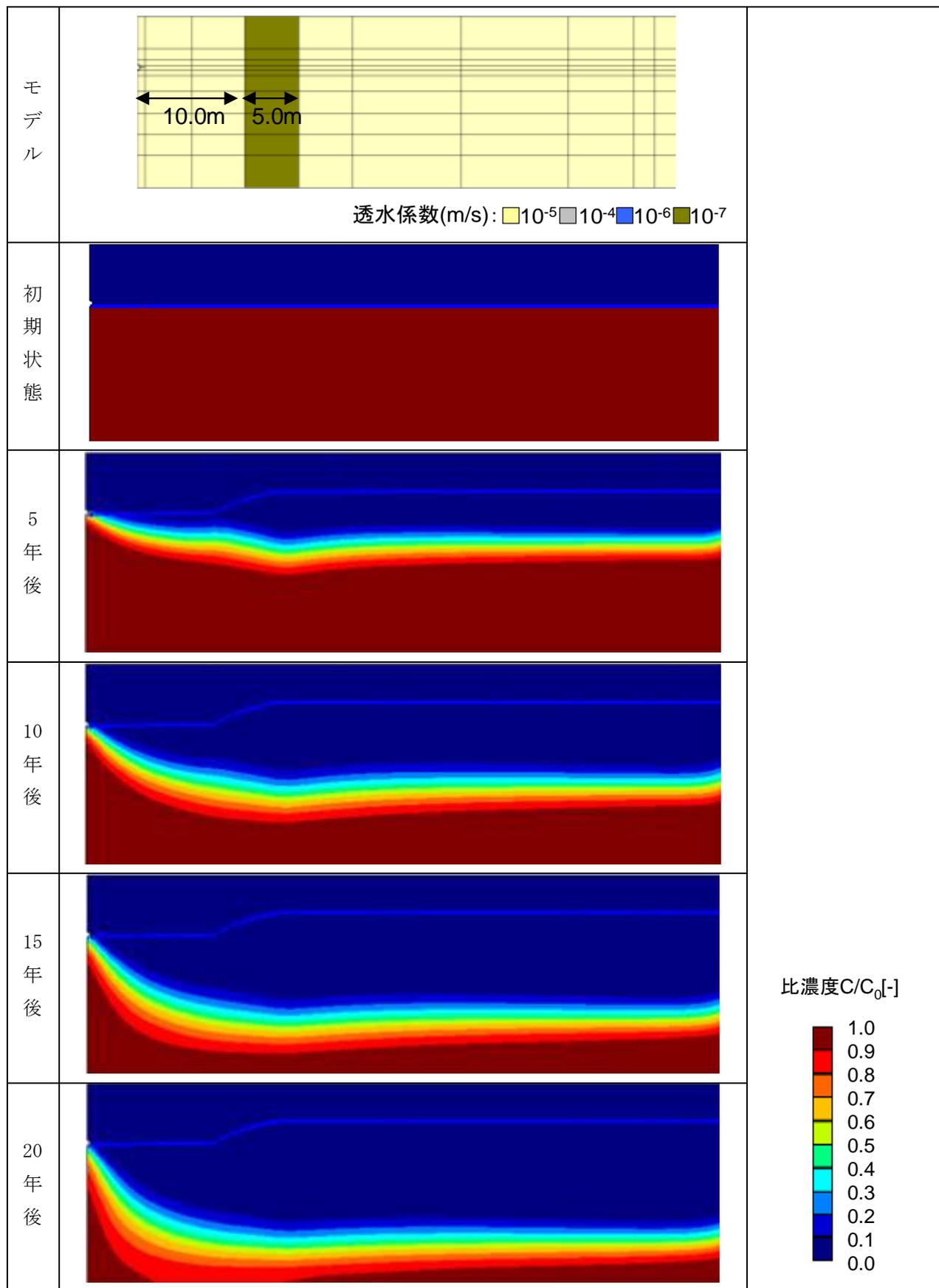


図 5. 2. 27 濃度変化 (Case09)

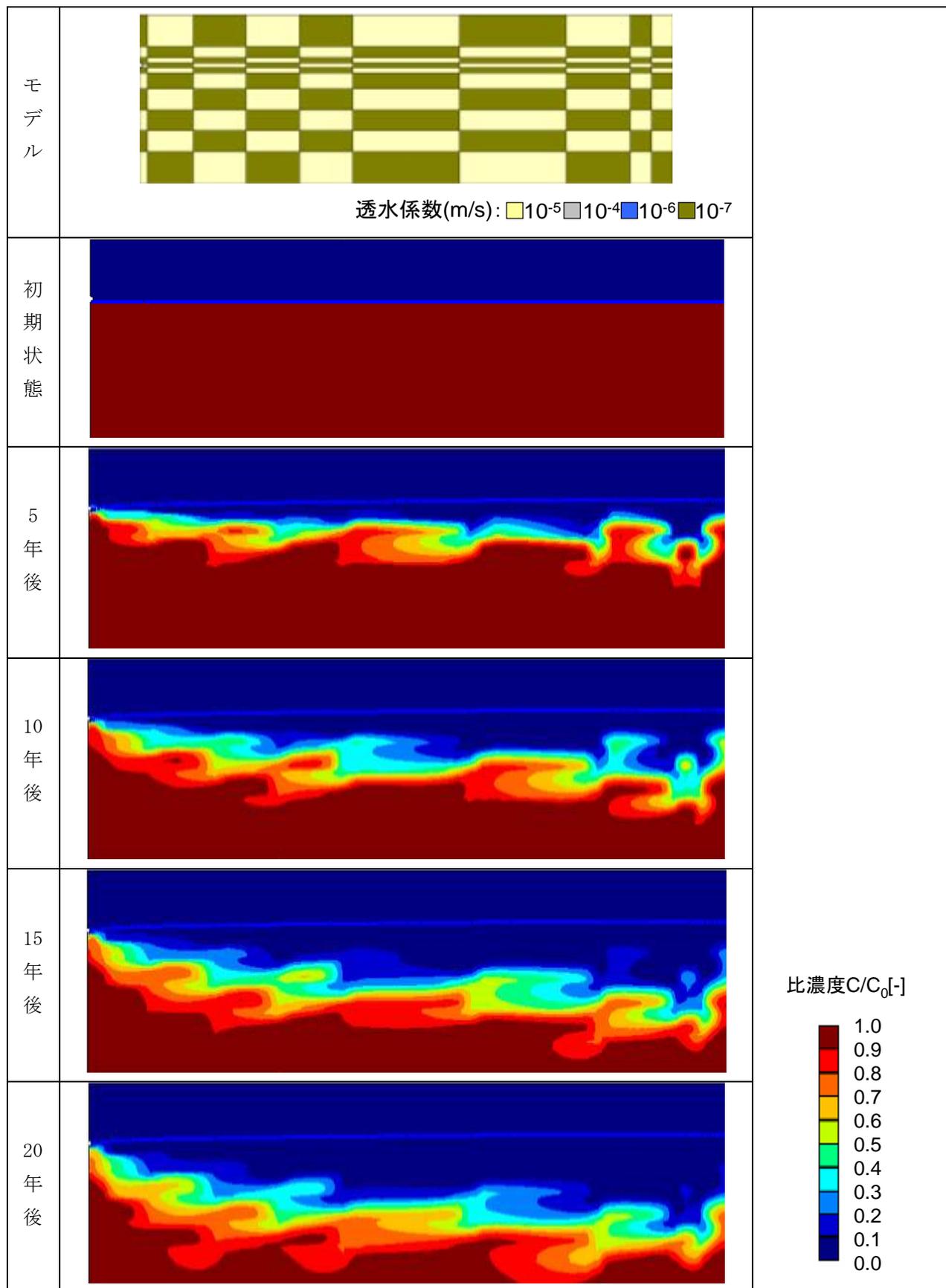


図 5. 2. 28 濃度変化 (Case10)

## 2) Case01～Case05 に関する考察

Case01～Case05 は地盤を一様としたモデルであり、透水係数、降雨強度、境界条件に関して感度解析を実施したケースである。これらの傾向に関して以下のような考察を行った。

- ・ 地盤の透水性が均質である場合、透水係数の大小に係わらず、降雨浸透の影響は領域下方まで及んでいる。従って、将来的に全量浄化が期待される。
- ・ Case02 は透水係数が Case01×10 倍であるが、濃度変化は Case01 とほぼ同挙動であった。また、Case03 の透水係数は Case01×0.1 倍としているが、20 年後の濃度分布は、Case01 と比較して大きな差ではなかった。この傾向に関して、図 5.2.29 に示す Case01～Case03 の水平方向の流速分布を確認すると、同位置(赤線)における流速は Case01 と Case02 では同等、Case03 は若干小さい流速となっており、各ケースの透水係数の差ほど流速には差がないことが分かる。高透水性の地盤は排水能力が高いため、降雨浸透の影響による集水暗渠遠方の水位上昇は低透水性地盤よりも小さくなる。従って、領域内の平均的な動水勾配も小さくなることから、図 5.2.29 に示すように流速の差は透水係数ほど現れなかったと考えられる。

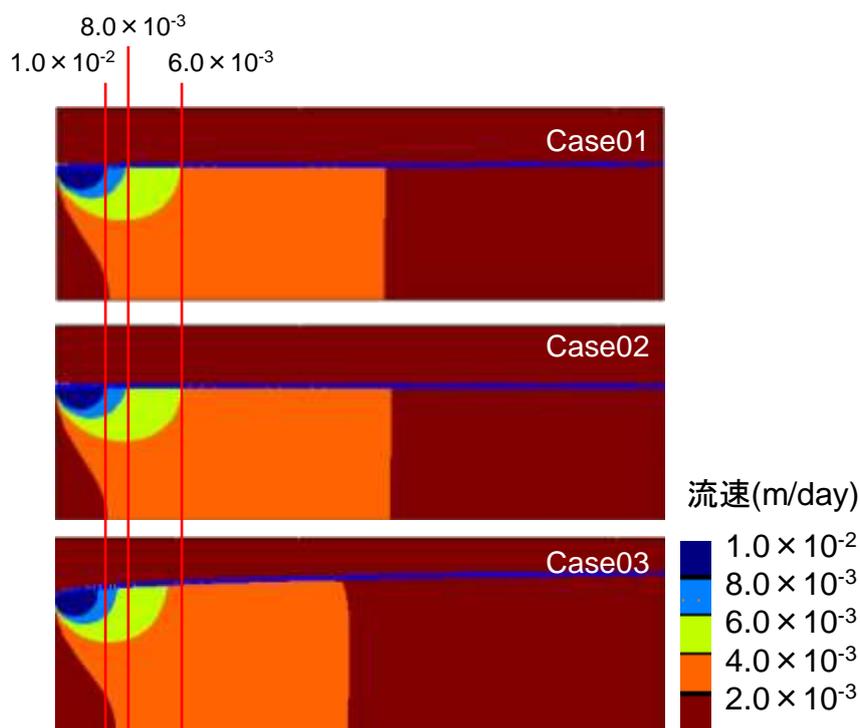


図 5.2.29 Case01～Case03 の水平方向流速分布 (20 年後)

- ・ 透水係数の感度と比較して、降雨強度の大きさは濃度低下速度に与える影響が大きい。同じ透水係数である Case01 と Case04 の水平方向の流速分布は図 5.2.30 に示すように、Case04 の方が大きくなっており、降雨強度の影響が大きいことが確認できる。

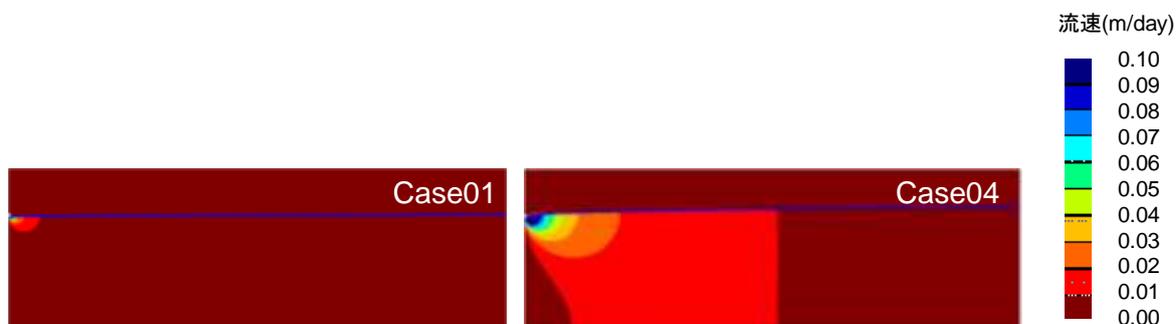


図 5.2.30 Case01 と Case4 の水平方向流速分布の比較(20 年後)

- ・ Case10 は Case01 に対して、浸出面積を集水暗渠上部のみに限定したケースである。濃度低下は図 5.2.31 に示すように、Case01 と比較して遅くなっている。これは初期水位状態から、排水箇所までの水位上昇までに要する時間の差が影響していると考えられる。

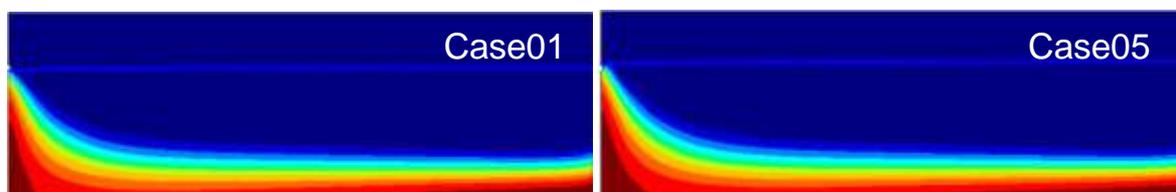


図 5.2.31 Case01 と Case05 の 20 年後における濃度分布の比較

### 3) Case06~Case10 に関する考察

Case06~Case10 は水理地質構造が不均質なモデルである。それぞれの水理地質構造の特徴に対する濃度変化の結果から傾向を整理する。

- Case06, Case07 のような領域下部に低透水層が分布する場合，流速分布は図 5. 2. 32 に示すように，領域下部で非常に小さい値となっている。図中青線で示した水面付近では Case05 の水平流速分布で顕著に現れているように，卓越する流速場が形成されており図 5. 2. 33 に示す Case05 と Case06 の 20 年後における濃度分布のように  $1.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$  の層境上位での濃度は小さくなっている。このように，領域下部に低透水層が分布する場合は降雨浸透の影響が下方に伝わらず，濃度が滞留することが特徴的である。

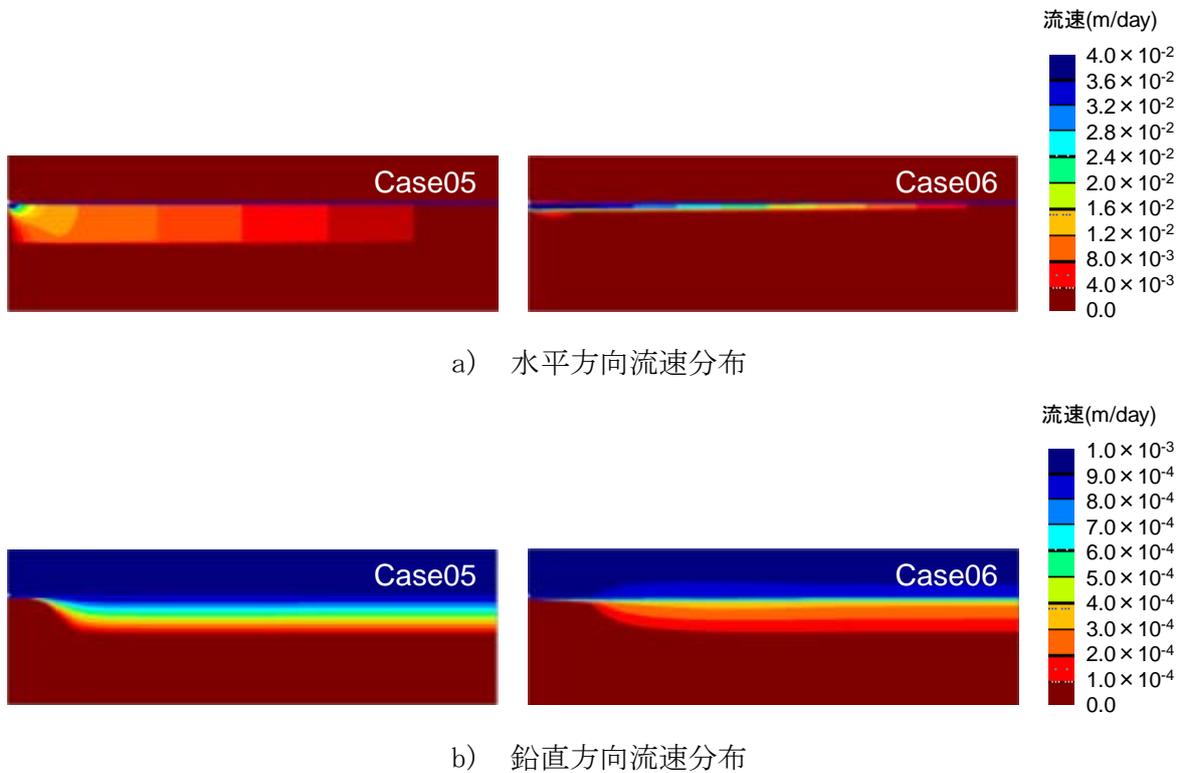


図 5. 2. 32 Case05 と Case06 の流速分布比較 (20 年後)

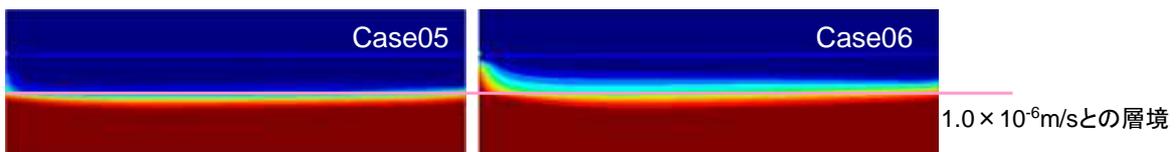


図 5. 2. 33 Case05 と Case06 の濃度分布比較 (20 年後)

- Case07 は低透水層が中間層として高透水層中に介在するモデルである。上層の高透水部の濃度が早期に排出され、次に解析領域右端からの濃度減少が起きている。上層の高透水層が早期に排出されるのは、Case05 や Case06 と同様に、降雨浸透の影響が上層部で積極的に排水されたためと考えられる。一方、領域右端からの濃度減少が起きているのは図 5. 2. 34 に示す低透水層部の流向が影響している。低透水層の流速は、集水暗渠のある断面左方向への流速よりも、鉛直下方に卓越しており、特に右端付近では下方へ向かう流れが支配的となっている。従って、濃度の移行経路は図 5. 2. 34b) に示したような低透水層中を下方へ流動し、集水暗渠へ向けて上昇する経路となる。その結果、右端部下方への濃度減少が進行する。今後は、低透水層の層厚が異なる場合において上記の傾向が示されるかどうか確認することも必要である。

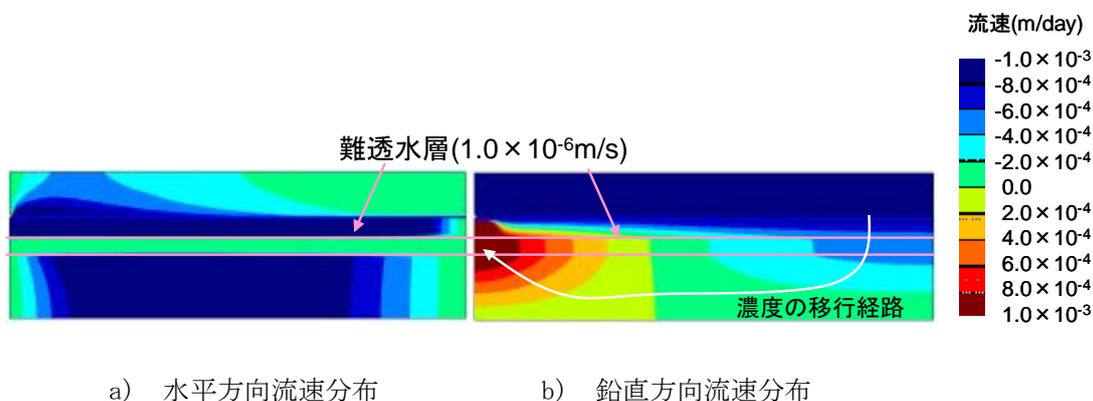


図 5. 2. 34 Case06 の 20 年後における流速分布

【凡例の正負の流向】

水平方向流速：←負 正→

鉛直方向流速：↓負 正↑

- Case08 は低透水層による遮水効果がある場合の検討結果である。20 年後の濃度分布は、図 5. 2. 35 に示すように Case03 ( $1.0 \times 10^{-6}$ m/s : 均質地盤) と同程度であった。このことから、遮水的に低透水層 ( $1.0 \times 10^{-6}$ m/s) が介在している場合、濃度変化の推移は介在層の透水係数に依存する可能性があることが示された。また、水理地質構造が不均質であっても同ケースのような分布形状の場合、降雨浸透の影響は均質地盤と同様に下方に及んでいることから、層厚を変化させた場合でも同様の傾向が確認できるかどうか、今後検討する必要があると考えられる。

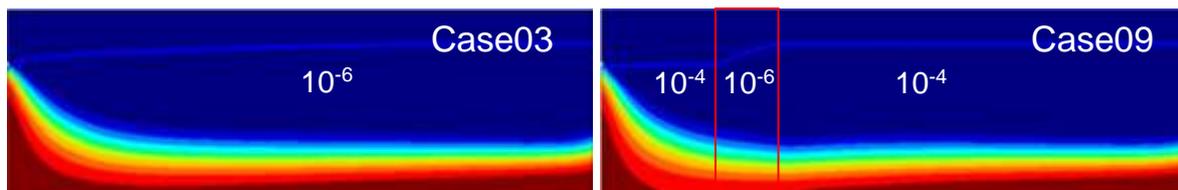


図 5. 2. 35 Case03 と Case09 の 20 年後における濃度分布の比較  
 (\*図中の数値は設定した透水係数)

- Case10 は低透水部と高透水部がハッチ状に分布する水理地質構造である。流速ベクトルが複雑に分布するために、濃度分布も複雑である。ただし、大局的な傾向は均質地盤と同様に、集水暗渠遠方の濃度が時間とともに低下する挙動である。図 5. 2. 36 に示す流速ベクトル分布からは図中赤線で示したような流線を抽出することができることから、水理地質構造は複雑であるが、Case05 や Case06 のような下方で濃度が滞留する傾向とは異なることが示された。実サイトは水理地質構造が Case10 で設定した地質構造よりもさらに複雑に分布することが予想されるが、処分場廃止に対して必ずしも不利な条件ではないことが示唆された。

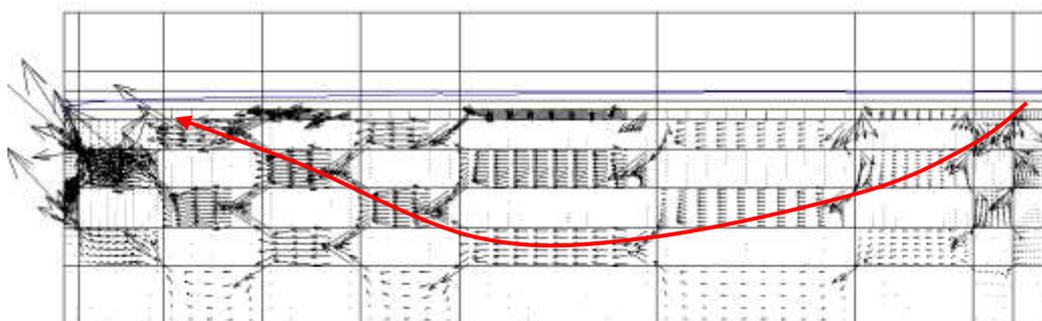


図 5. 2. 36 Case10 の流速ベクトル分布 (20 年後)

#### 4) 領域内濃度残存量

各ケースの濃度減少程度を一元的に比較するために、領域内の濃度残量を算定した。濃度残存量は、各節点で算定された濃度から以下の式を用いて行う。

$$S = \sum_{i=1}^N V_i C_i \theta_i$$

ここに、 $V_i$ :各節点の体積( $m^3$ )、 $C_i$ :節点  $i$  の濃度( $g/m^3$ )、 $\theta_i$ :節点  $i$  地盤の有効間隙率(-)である。

各節点の体積  $V_i$ については、解析対象領域の総体積を総節点数  $N$ で除した平均体積として取り扱うこととした。算定結果を図 5.2.37 に示す。この時、物質残存量は、初期領域内含有量( $11m \times 50m \times 1.0m \times 0.41 \times 1g/m^3 = 225.5g$ )を用いて正規化している。

図 5.2.37 の濃度残存量は大きく分けて 2つの傾向が考えられる。1つは Case01, Case02, Case03, Case04, Case05, Case09 のグループ、もう一方は Case06, Case07, Case08, Case09 のグループである。前者のグループは降雨浸透の影響が下方まで伝わるケースであり、後者は地層構造として深度方向に低透水部が介在し、降雨浸透の影響が下方へ影響しない(しづらい)ケースである。

後者のグループに属する場合、物質残存量比の減少勾配は時間の経過とともに非常に小さくなっているため、他の対策を適用しなければ、領域内の濃度減少が長期化することが懸念される。

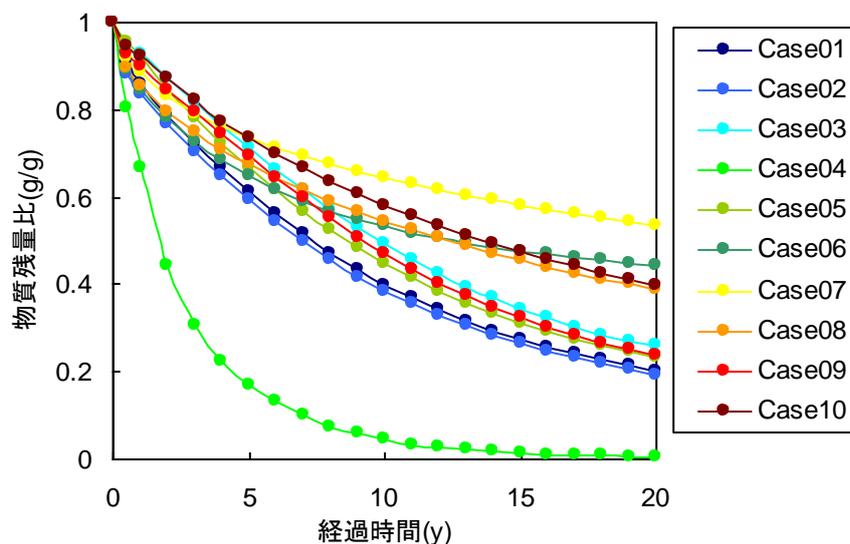


図 5.2.37 実施ケースの濃度残存量と時間の関係

#### 4) 簡易予測モデルの構築—試算段階

領域内の濃度減少と廃棄物層の透水係数との相関の有無を確認する目的で、図 5. 2. 37 に示した 20 年後の物質残存量から物質濃度減少率を算定し、透水係数の関係をプロットした。図 5. 2. 38 に物質濃度減少率と等価透水係数の関係を示す。物質減少率  $S$  は以下のように求めた。

$$S = \frac{(\text{初期物質含有量} - \text{20年後における物質残存量})}{\text{初期物質含有量}}$$

等価透水係数は対象断面の地盤を一つの代表的な透水係数で整理する目的で用いており、以下の式より求めている。Case09 のように、低透水層が遮水的に分布する時は鉛直構造の場合の式を適用し、その他のケースのように水平に分布する時は水平構造の式を適用している。なお、Case10 はどちらの構造とも判断できないため、高透水部と低透水部の面積が 1:1 であることを考慮して、対数平均値を等価透水係数とした。

$$\text{地質が水平構造の場合, } k = \frac{\sum_{i=1}^n k_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{地質が鉛直構造の場合 } k = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{W_i}{k_i} \right)}$$

ここに、 $k$  は等価透水係数、 $k_i$  は各地盤の透水係数 (m/s)、 $w_i$  は各地盤の厚み (m) である。

整理の結果、Case01、Case02、Case03、Case05、Case09 の 5 点における物質減少率は透水係数との相関が確認できる。これらは降雨浸透が領域下方にも影響するケースであった。この 5 点の関係をを用いて近似式を構築し、図 5. 2. 38 に記載した。

本検討に用いた解析条件や処分場規模との類似性を確認する必要があるが、調査で得られた透水係数を近似式に代入することで、20 年後の物質減少率が容易に推定できる意味で有効であると考えられるので、短期的な推定も可能なように検討を進めたい。

本検討では 2 次元の代表断面における検討のみを実施した段階であることを考慮し、今後、現実に忠実な 3 次元解析から得られる知見を取りまとめて修正していく必要がある。

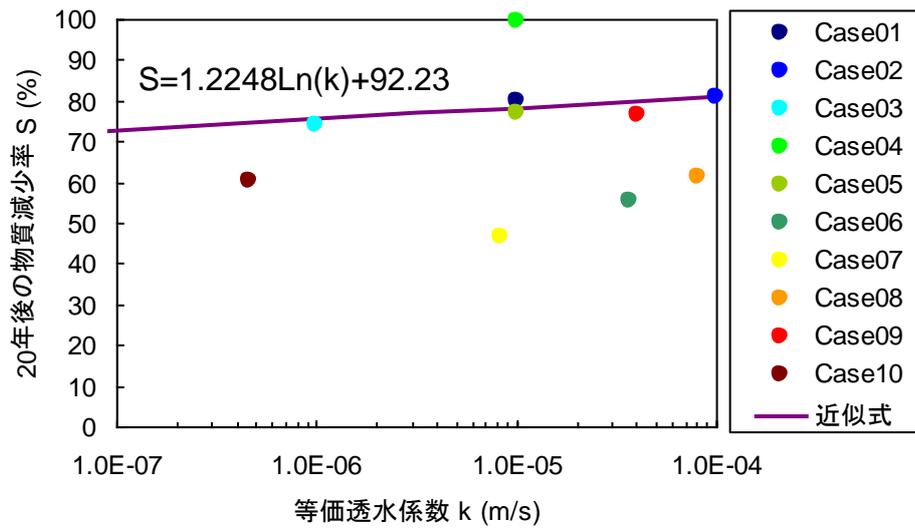


図 5.2.38 濃度減少率と等価透水係数の関係

### 5.3 今後の課題の抽出

海面最終処分場においては、周囲が護岸で遮蔽されているために、処分場内の地下水流動は基本的には降雨浸透のみに左右される。本検討で実施した感度解析では、降雨浸透と水理地質構造が処分場内の浸出水挙動に与える影響について整理した。この結果、降雨浸透が廃棄物層下方へ影響しない場合、底面付近の濃度が滞留し続けるため、海面最終処分場の廃止に係わる判断に対して影響することが確認された。

ここでは、本報告で実施した検討結果をもとに、解析精度を向上させるための今後の課題を整理する。表 5.3.1 に今後の課題の抽出及び、課題に対する対応策を示す。また、シミュレーション技術が、処分場の維持・管理及び廃止に係わる基準作成の際に期待される技術支援について表 5.3.2 にまとめる。

表 5.3.1 今後の課題抽出及び対応策

現状	課題	対応策
地盤の不均質性を仮想的に設定	傾向的に物質移行現象を把握することはできるが、実現象に対する再現性の精度が確認できない。	ボーリング調査結果の整理及び解析モデルへの反映を検討する。 可能であれば、地温データなどから水みちなどの情報を整理する。
解析を 2 次元代表断面で実施	内水ポンドや集水暗渠の影響は 3 次元的な地下流動場を形成している可能性がある。	3 次元モデルの構築を行い、現実に忠実な解析を実施する。
移流拡散解析に用いる物質を特定していない	廃棄物層への物質の吸着の影響を考慮していないため、浄化期間の予測に対する不確実性が残されている。	物質の特定を行い、廃棄物層への吸着特性に関する情報を整理し、解析に反映させる。 ボーリング調査結果との整合を確認し、解析精度の向上を図る。
一般的と思われる材料定数、降雨量を用いて解析を実施	非日常的な現象に対する考察が整理されていない。	限界状態(降雨量もしくは降雨浸透率)を想定した解析を感度解析的に実施する。(幹事会議題)
試算的に一次式による処分場内物質減少率式を考案	汎用性に乏しい	効果的な解析ケースを設定し、管理手法の検討に対する基礎資料を作成する。また、簡易な予測モデルの構築を検討する。

表 5.3.2 シミュレーションが期待される海面処分場の維持・管理及び廃止に係わる技術支援

項目	内容
維持・管理	<p>■物質移行特性の把握から保有水の管理への応用  汚染濃度の移行挙動を明らかにし、処分場の閉鎖から廃止過程での保有水処理施設への負荷を定量的に求める。</p>
	<p>■汚染物質滞留箇所の把握から効果的な管理手法を構築  移流拡散解析から、観測井の効果的な配置を求め、処分場閉鎖後の管理手法に対する提案を行う。</p>
	<p>■対策工の設置  閉鎖から廃止までの期間の長期化が予想される場合の対応策として、効果的な揚水井の設置箇所および揚水能を事前検討する。</p>
廃止	<p>■廃止時期の予測  調査ボーリングの情報を解析モデルに的確に反映させ、廃止時期を予測する。追加ボーリング調査などが発生した場合、予測精度向上の観点から設置位置に対する提案を行う。</p>