

第4章 保有水水質挙動解析

1. 調査目的

海面最終処分場における保有水の排水方法としては、大きく分けて以下の3つの方法が挙げられる。

- ・ 排水暗渠による排水
- ・ 揚水による排水
- ・ 内水 Pond を利用した排水

これらの排水方法の中で、排水暗渠による排水に関しては、平成18年度広域最終処分計画調査「海面最終処分場の閉鎖・廃止適用マニュアル策定に向けた調査」調査解析編において、廃棄物の透水係数と保有水濃度の残留状態の関係について感度解析が実施されている。

本検討では、「揚水による保有水の排水」、「内水 Pond を利用した保有水の排水」に着目し、H18年度に実施された解析と同じ手法（*詳細については巻末資料1を参照）を用いて、保有水水質挙動解析を実施した。ここで、「揚水による保有水の排水」については、川崎市が採用している揚水方法を参考に、廃棄物層の透水性や解析条件を感度解析に実施し、各ケースの傾向を整理した。「内水 Pond を利用した保有水の排水」については、尼崎沖処分場で採用されている方法をモデルに反映させ、排水暗渠の設置状況とともに浄化効果を検討した。

なお、保有水水質挙動解析(移流分散解析)に用いる物質濃度の特性は、非吸着性(廃棄物層への吸脱着を起こさない)、非分解性(微生物分解等を起こさない)、および非溶脱性(もとの固体から溶け出さない)を有する仮想的なものとした。

* 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、プリプロセッサ部; (株)地層科学研究所」

2. 保有水の揚水による浄化効果検討

本章では、川崎市の井戸方式および運用状況を参考に、廃棄物層の透水性、揚水ピッチ、揚水ポンプの設置深度、揚水能(孔内水位の制御)に関する感度解析を実施する。検討目的を以下に整理する。

- ・ 計画水位上昇高さを許容値として、適合する条件を整理する。
- ・ 適合する条件に対して移流分散解析を実施し、保有水水質挙動の傾向を整理する。

(1) 揚水モデル(川崎市の井戸方式を参考に構築)

構築する井戸揚水モデルの概要を図 4.2.1 に示す。同図のポンプ位置、揚水井の深度は川崎市の揚水井戸方式を参考にした。揚水ポンプは孔内水位を管理水面(K.P.+0m)に保持するように稼働する。実際の運用においては、管理水面 K.P.+0m から孔内水位最下面として設定している K.P.-5.0m の間に収まる範囲で揚水が行われている。

したがって、解析モデルの境界条件としては、揚水井壁面において、K.P.+0m~K.P.-5.0m の全水頭固定条件を設定することで対応可能となる。また、ストレーナー区間の設定深度は、処分場下方の保有水の排水効果に対して影響があると考えられる。

このような揚水条件をもとに、本検討では「廃棄物の透水係数」、「ストレーナー設置深度」、「揚水ピッチ」に関する感度解析を実施した。

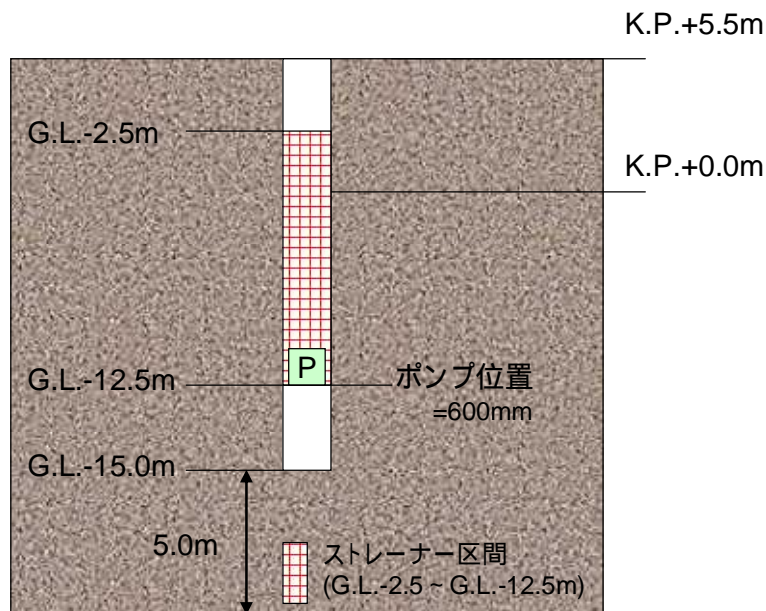


図 4.2.1 揚水モデル(川崎市の揚水井を参考に)概要図

(2) 解析モデルの構築と計画水位上昇高さの設定

図 4.2.2 に解析モデル全体図(有限要素メッシュ)を示す。鉛直方向距離については 20m(E.L.+5.5m ~ E.L.-14.5m) で距離を固定した。モデル水平方向距離は、揚水井戸間の対称性を考慮して、揚水井設置ピッチの半分の距離で設定した。本検討では、揚水井のピッチは 100m, 200m を用いた。

図 4.2.3 に揚水井部のモデル化条件を示す。ここでは、ストレーナーによる開放区間を調整することで、「浅井戸」・「深井戸」を表現した。「深井戸」と定義した設置条件は、ストレーナー底部 G.L.=-12.5m(川崎市と同位置)とし(ストレーナー区間)、浅井戸についてはストレーナー底部 G.L.=-7.5mとした(ストレーナー区間)。トレーナー区間に対応するモデル壁面には、全水頭=0.0m(管理水面)の水位固定境界を設定した。この時、「計画水位上昇高さ」を管理水位+1.0mとして、各解析ケースについて水平方向距離Lの位置における水位上昇高を確認し、この条件を満たさなかったケースに対しては、孔内水位 K.P.=-5.0m を最低水面とした解析条件の見直しを行った。なお、解析は軸対象問題として行った。

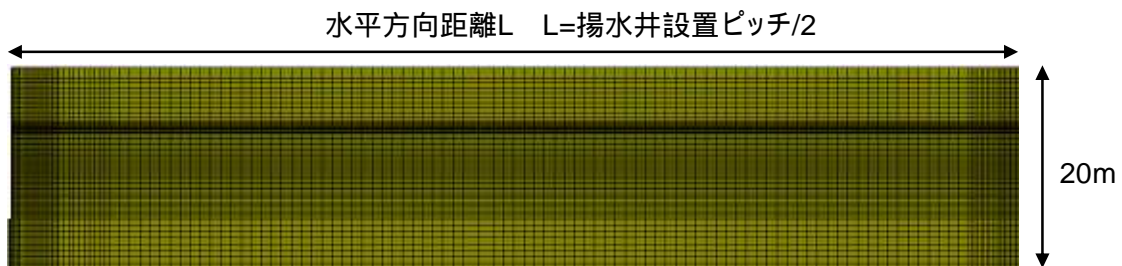


図 4.2.2 解析モデル全体図

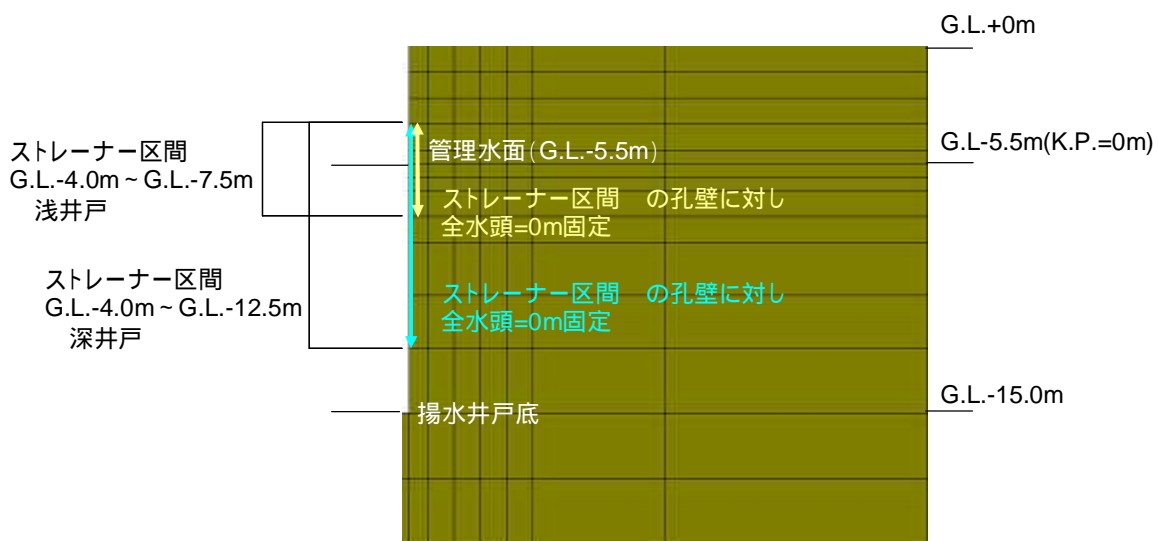


図 4.2.3 揚水井部のモデル化

図 4.2.4 に解析実施ケースの各条件の組み合わせを示す。廃棄物の透水係数、揚水井ピッチ、揚水井孔内水位、井戸モデルを網羅的に組み合わせる解析ケースを設定した。

揚水ピッチの最小距離を 40m としたのは、孔内水位を管理水面である K.P.0.0m としたケースにおいて、後に示す解析結果が、計画水位上昇高さを満たす条件であったためである。また、孔内水位条件の 0.0m と -5.0m に関しては、川崎市のポンプ稼働条件を参考に設定した。浅井戸モデルにおいては、ストレーナー開放区間が最深部で K.P. -2.0m に相当するため実施していない。図 4.2.4 に示す条件の組み合わせの合計は 27 ケースである。なお、降雨量は 1.0mm/day とした。

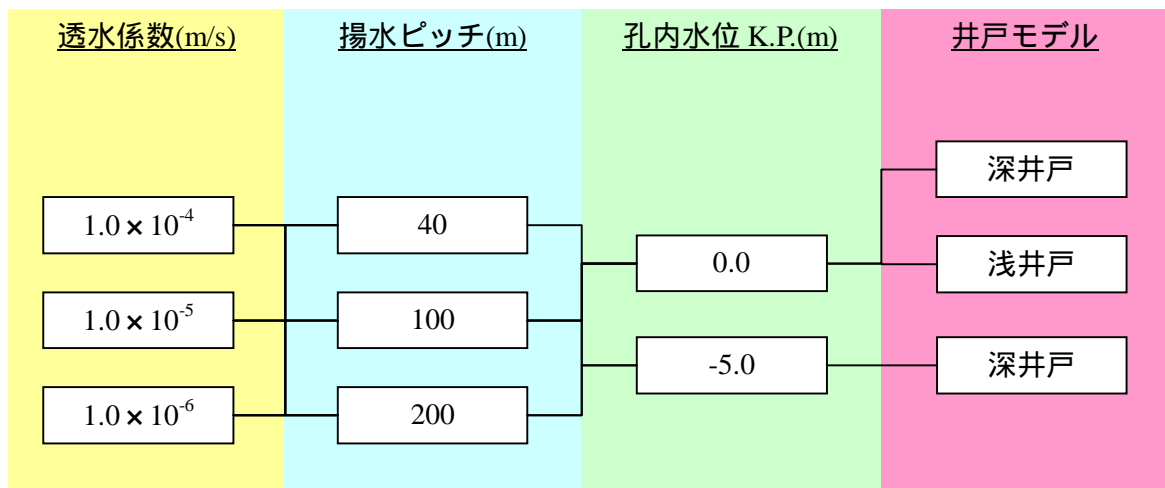


図 4.2.4 解析ケース組み合わせ (全 27 ケース)

解析結果_計画水位上昇高の照査

廃棄物層の透水係数の変化に伴う解析領域端部の水位高と揚水ピッチの関係を図 4.2.5～図 4.2.7 に示す。廃棄物層の透水係数に着目すると、以下のように傾向を整理できる。

廃棄物層の透水係数を $1.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ としたケースでは、井戸モデル、孔内水位条件に関わらず、計画水位上昇高 K.P.+1.0m 以下となった。

廃棄物層の透水係数を $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ としたケースでは、孔内水位を K.P.0.0m とした場合、揚水ピッチ 200m では両井戸モデルとも計画水位上昇高 K.P.+1.0m を上回る結果となった(図 4.2.5, 図 4.2.6 参照)。また、揚水ピッチ 100m についても浅井戸モデルにおいて、計画水位上昇高 K.P.+1.0m を上回る結果となった(図 4.2.7 参照)。

廃棄物層の透水係数を $1.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$ としたケースでは、揚水ピッチ 100m, 200m とともに計画水位上昇高を大きく上回る結果となった。孔内水位を K.P.0.0m とした場合、深井戸では揚水ピッチを 40m より短いピッチで配置する必要があり、浅井戸では、さらに短いピッチを考慮する必要がある。孔内水位を K.P.-5.0m とした場合、揚水ピッチはおよそ 80m 程度と推測される(図 4.2.7 参照)。

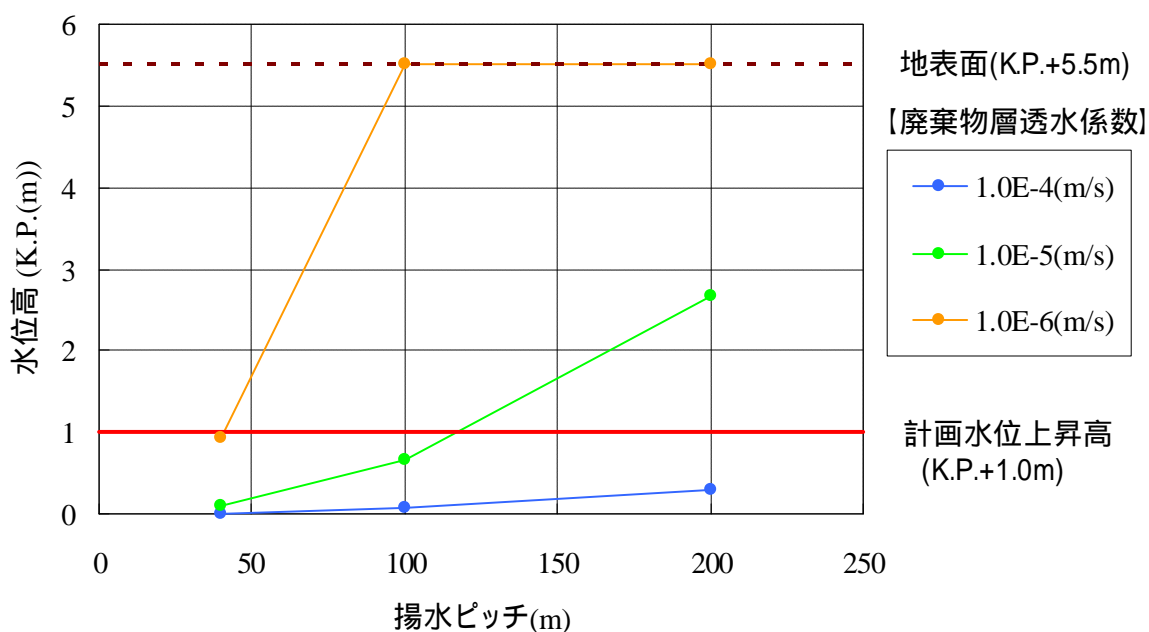


図 4.2.5 廃棄物層透水係数に伴う水位高と揚水ピッチの関係 (孔内水位=0.0m, 深井戸)

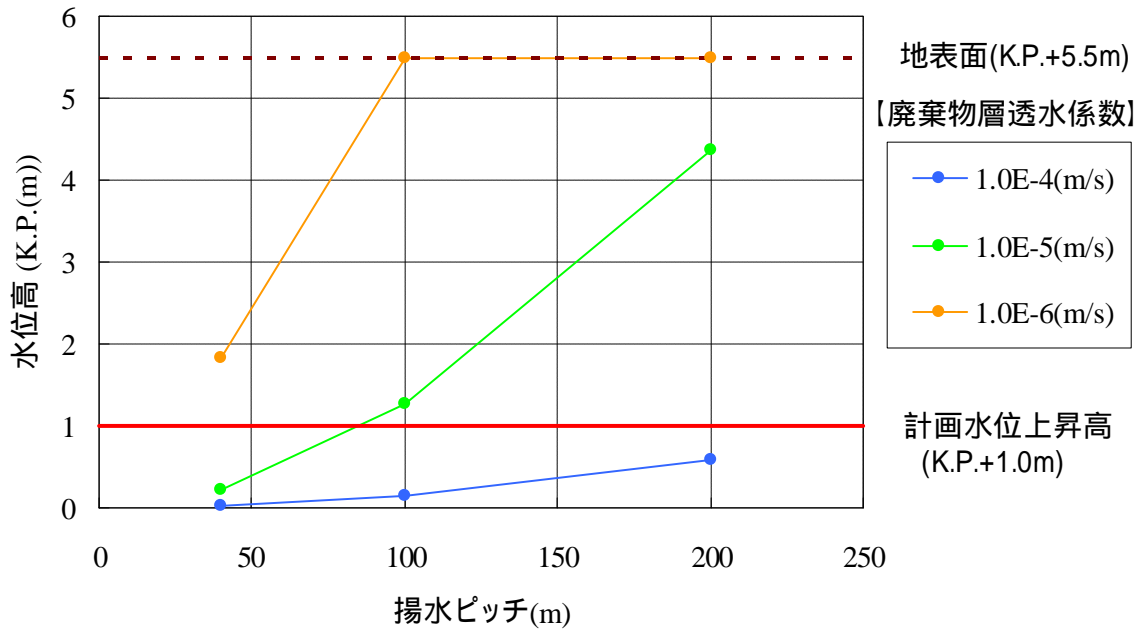


図 4.2.6 廃棄物層透水係数に伴う水位高と揚水ピッチの関係（孔内水位=0.0m，浅井戸）

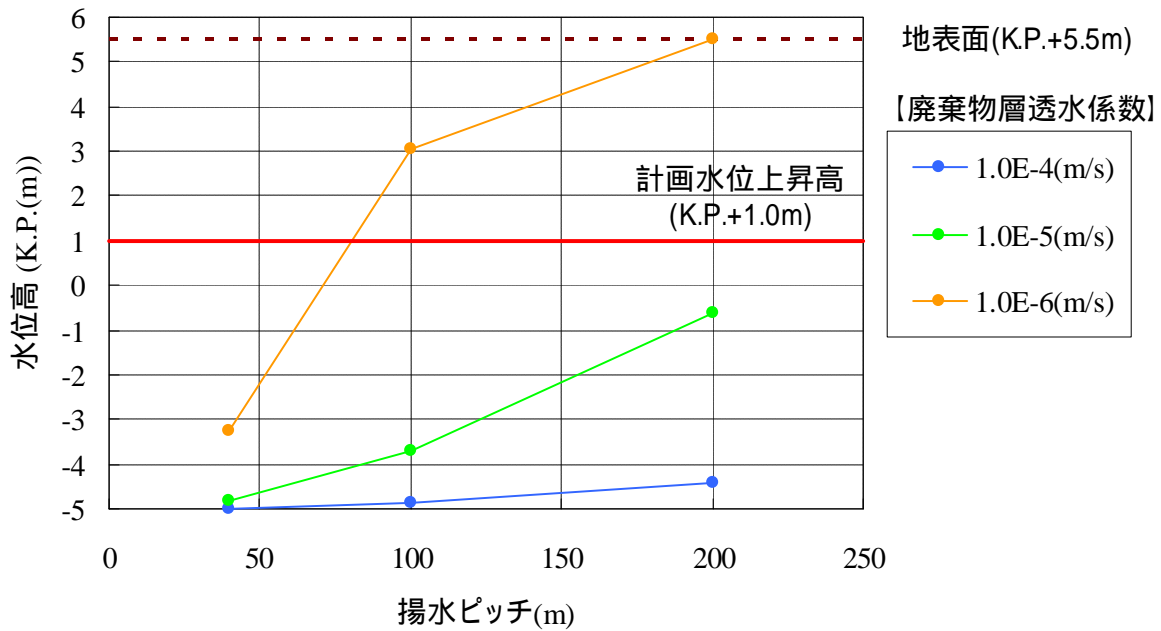


図 4.2.7 廃棄物層透水係数に伴う水位高と揚水ピッチの関係（孔内水位=-5.0m，深井戸）

解析結果_移流拡散解析

前節の浸透流解析の結果から、計画水位上昇高さ K.P.+1.0m を満たしたケースの中から、表 4.2.1 に示すケースについて移流拡散解析を実施し、領域内の物質移行挙動を整理した。

移流分散解析に用いるパラメータは、表 4.2.2 に示す通りとした。対象物質は非吸着(土壌への吸脱着を起こさない)・非分解(微生物分解等を起こさない)とした。移流分散解析における濃度条件は、図 4.2.8 に示すように、管理水面 K.P.0.0m 以深において初期濃度を比濃度 $C/C_0=1.0$ として設定した。なお、解析対象時間は 20 年間とした。

表 4.2.1 移流分散解析実施ケース

ケース	透水係数 (m/s)	揚水ピッチ (m)	孔内水位 (K.P. (m))	井戸モデル
1	1.0×10^{-4}	40	0.0	深井戸
2	1.0×10^{-5}			
3	1.0×10^{-6}			
4	1.0×10^{-4}	100		
5	1.0×10^{-4}	200		浅井戸
6	1.0×10^{-4}	100		
7	1.0×10^{-4}	200		

表 4.2.2 解析に用いる移流分散パラメータ

縦方向分散長 (m)	横方向分散長 (m)	屈曲率 (-)	分子拡散係数 (m^2/s)	遅延係数 (-)
1.0	0.1	1.0	1.0×10^{-9}	1.0

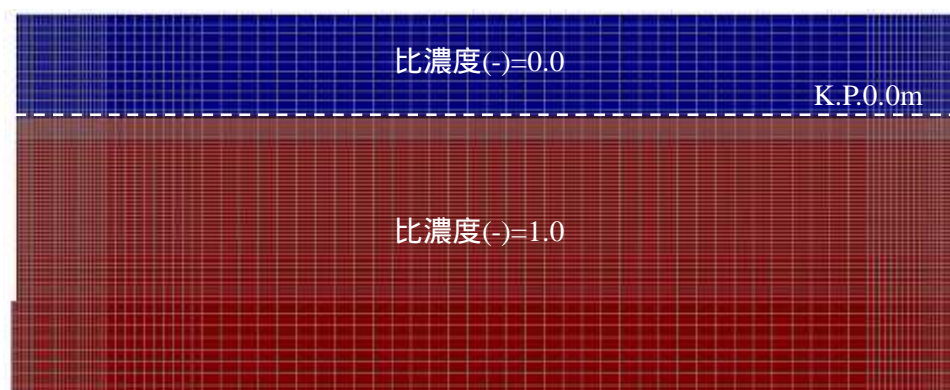


図 4.2.8 移流分散解析における初期濃度状態

図 4.2.9 に実施した 7 ケースの解析領域内物質残存量の経時変化を示す。同図は、各ケースの初期物質で正規化した値を示している。表 4.2.3 に各ケースの 20 年後における物質残存量比を示す。物質残存量は、0.17~0.28 の間でばらついた結果となった。以下に各ケースの傾向を整理した。

各ケースの傾向を整理するに際して、図 4.2.10 に示す注目点の濃度変化を取りまとめる。同図の注目位置は、揚水井戸上端位置、注目位置は揚水井戸下端（深井戸と浅井戸で箇所が異なる）であり、保有水の処分場外への流出時の濃度を確認する目的で設定した。注目位置は揚水井戸から水平方向 10m、深度方向 K.P. -12m 位置である。これは、領域下方における濃度の残存状況を確認する目的で設定した。

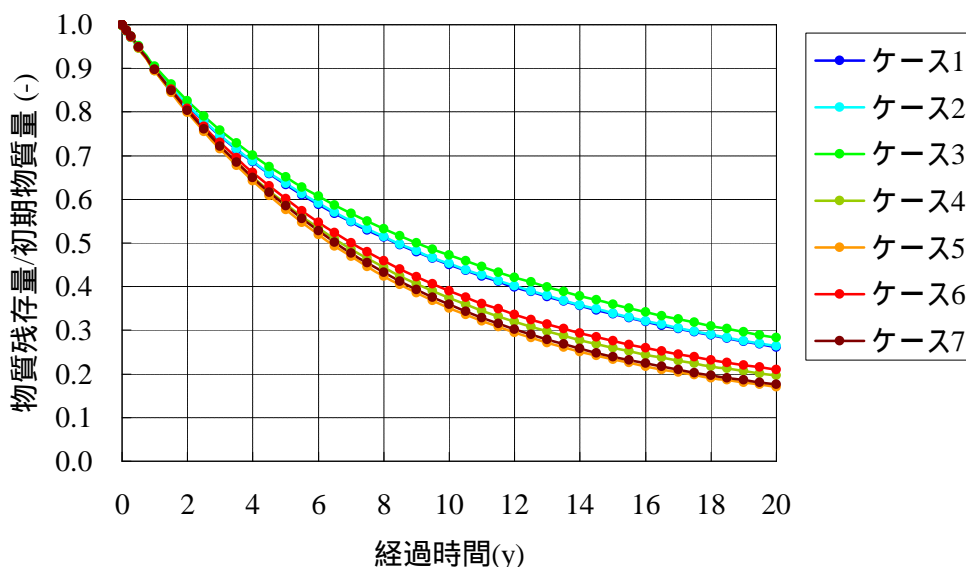


図 4.2.9 物質残存量比の経時変化（全ケース）

表 4.2.3 20 年後の物質残存量比

ケース	物質残存量比	初期物質量(m ³)	物質残存量(m ³)
1	0.26	3,671	954
2	0.26	3,671	954
3	0.28	3,671	1,028
4	0.20	22,940	4,588
5	0.17	91,770	15,601
6	0.20	22,940	4,588
7	0.18	91,770	16,519

*初期物質量：初期濃度状態(図 4.2.8 参照)における間隙水中の物質総量

*物質残存量=物質残存量比×初期物質量

【補足】：初期物質量および物質残存量の単位(m³)に関して

表 4.2.3 に示す初期物質量 M_0 は構築したモデルの各要素の比濃度、間隙率、体積を用いて、以下

に示す式より求まる。この時、初期物質質量 M_0 は比濃度 C/C_0 としていることから、 (m^3) の単位となる。特定物質の初期物質質量を得る場合は、初期物質質量に C_0 を乗じる必要がある。

$$M_0 = \sum_{i=1}^n C_i / C_{0i} \theta_i V_i$$

ここで、 M_0 : 初期物質質量 (m^3) , C_i : 要素 i における対象物質の濃度 (M/L^3) , C_0 : 要素 i における対象物質の初期濃度 (M/L^3) , θ_i : 要素 i における間隙率 (-) , V_i : 要素 i における体積 (m^3) である。濃度の単位表記 ; M : Mass(質量) , L : Length(長さ) である。

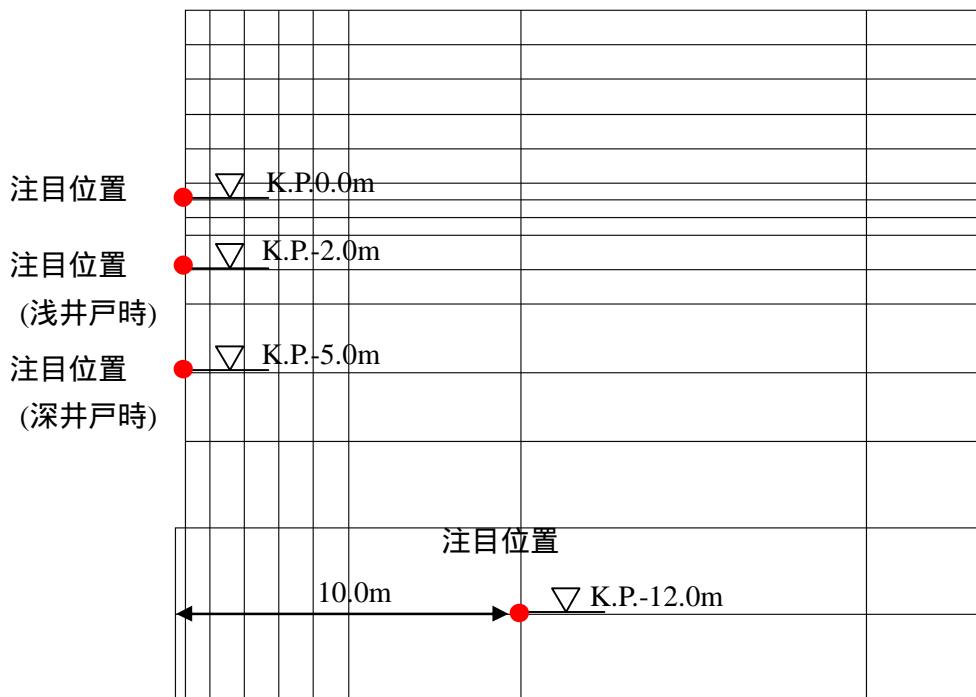


図 4.2.10 濃度変化注目位置

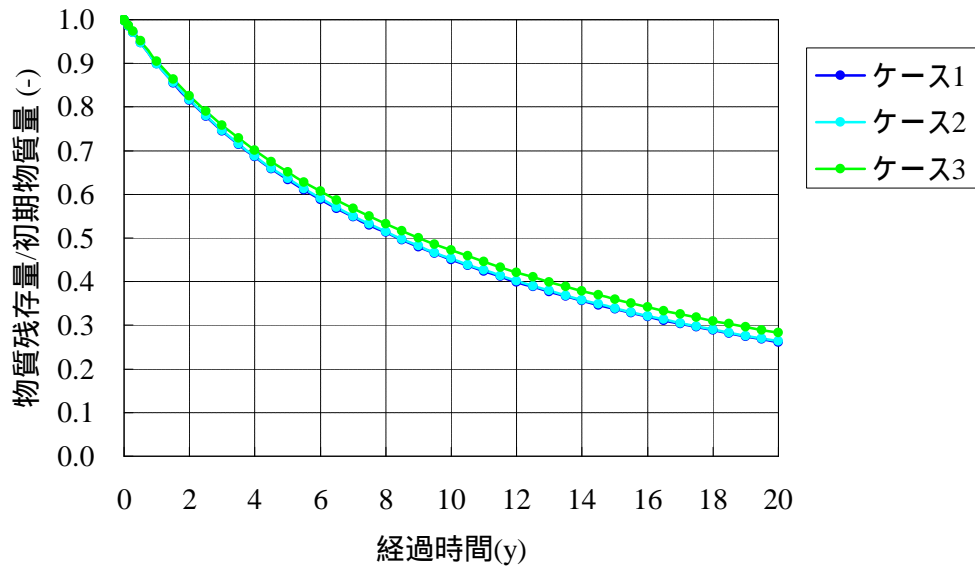
(a) 廃棄物層透水係数が異なる場合の比較

図 4.2.11 にケース 1,2,3 に着目した物質残存量比の経時変化を示す。これらは、透水係数が異なり、その他は同条件で実施されたケースの比較である。同図から、物質残存量比の経時変化は、廃棄物層の透水係数に大きく依存していないことが分かった。

図 4.2.12 に注目位置における比濃度変化を示す。また、表 4.2.4 に揚水井戸(ストレーナー区間)からの各ケースの流出流量を示す。比濃度変化および流出流量は、物質残存量比と同様に、ケース間の差は小さいことがわかった。

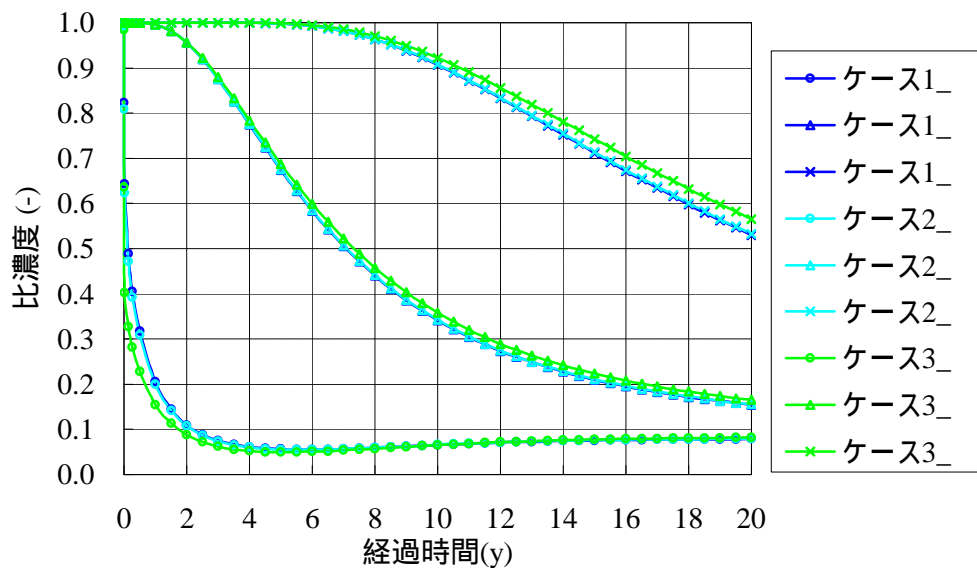
上記のように、物質収支および濃度変化が、解析領域内でほぼ同挙動となったのは、解析領域内の流速分布が等しくなっているためであると考えられる。図 4.2.13 にケース 1,2,3 の流速分布を示す。同図から、各ケースの流速分布がほぼ同じ大きさとなっていることがわかった。このような傾向を示した理由については次のようなことが考えられる。

透水係数が小さくなるにしたがい、計画水位上昇高が高く求められている(図 4.2.5 参照)。揚水井戸における水位はケースに関わらず K.P.0m としているため、廃棄物層内の動水勾配は、透水係数が小さいケースほど大きくなる。流速は透水係数と動水勾配の積で求められるため、ケース間の流速の差が現れず、流出挙動もケース間で同程度になったと考えられる。



廃棄物層透水係数；ケース1： $1.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ，ケース2： $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ，ケース3： $1.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$

図 4.2.11 物質残存量比の経時変化（ケース1,2,3）



【凡例補足説明】：「ケース1_」はケース1の濃度変化注目位置（図4.2.10参照）を表す。

図 4.2.12 比濃度の経時変化（ケース1,2,3）

表 4.2.4 各ケースの揚水井戸への流出流量

	ケース1	ケース2	ケース3
流出流量(L/min)	0.87	0.87	0.87

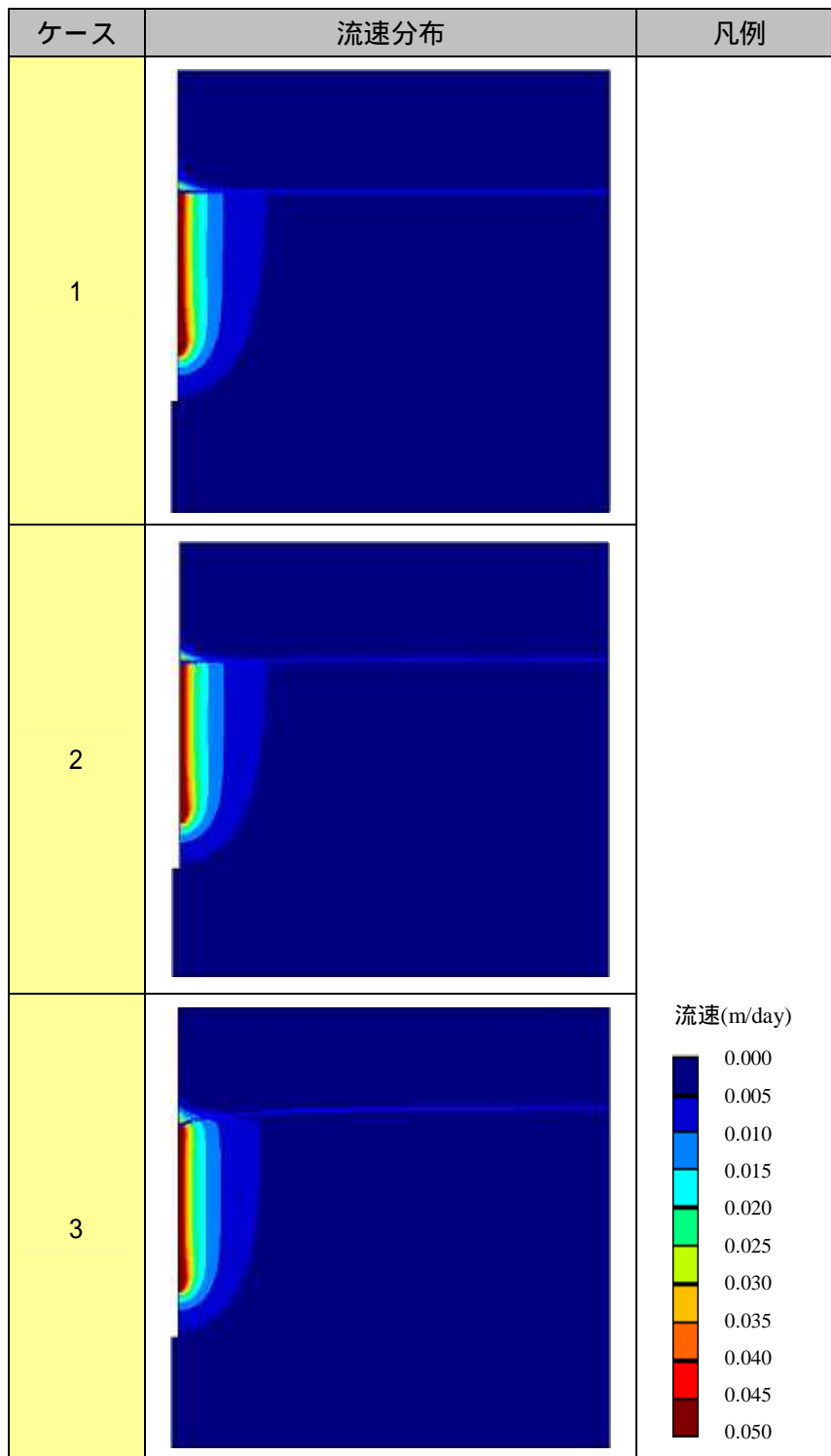


図 4.2.13 流速分布 (ケース 1,2,3)

(b) 揚水ピッチが異なる場合の比較

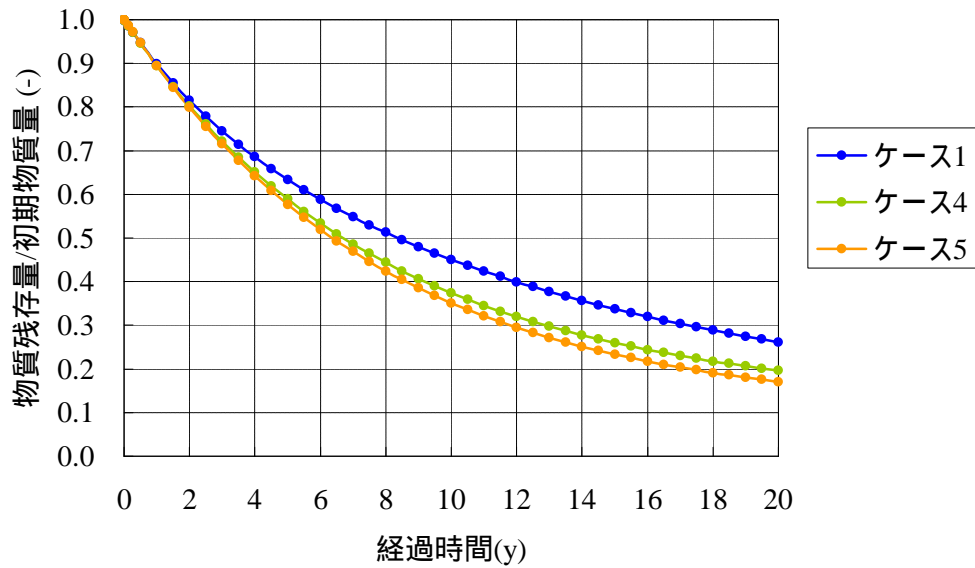
図4.2.14および図4.2.15にケース1,4,5に着目した物質残存量比の経時変化および比濃度変化をそれぞれ示す。これらは、揚水ピッチが異なり、その他は同条件の解析結果である。また、表4.2.5に各ケースの揚水井戸からの流出流量を示す。

物質残存量比（物質残存量/初期物質質量）は、揚水ピッチが粗いケース5が小さく、揚水ピッチが密になるにつれて多くなる結果となった。このような傾向を示した理由に関しては、次のようなことが考えられる。

解析領域が広い場合、地表面積が大きいため、降雨浸透量が多くなる。ケース1,4,5では、井戸条件を同じ（深井戸）としているため、保有水の流出面積は同じである。定常浸透流解析においては、浸透した降雨量と同量の排水が発生するため、解析領域が大きさ（降雨浸透量の大きさ）に比例して解析領域内の流速が大きくなる。このことは、降雨浸透による「解析領域内への流入量」と「流出面積」の比をとることで確認できる。ここで、図4.2.16にケース1,4,5の流速分布を示す。同図から、解析領域が拡大するにしたがって、高い流速値を示す範囲が広がる傾向を示していることがわかった。

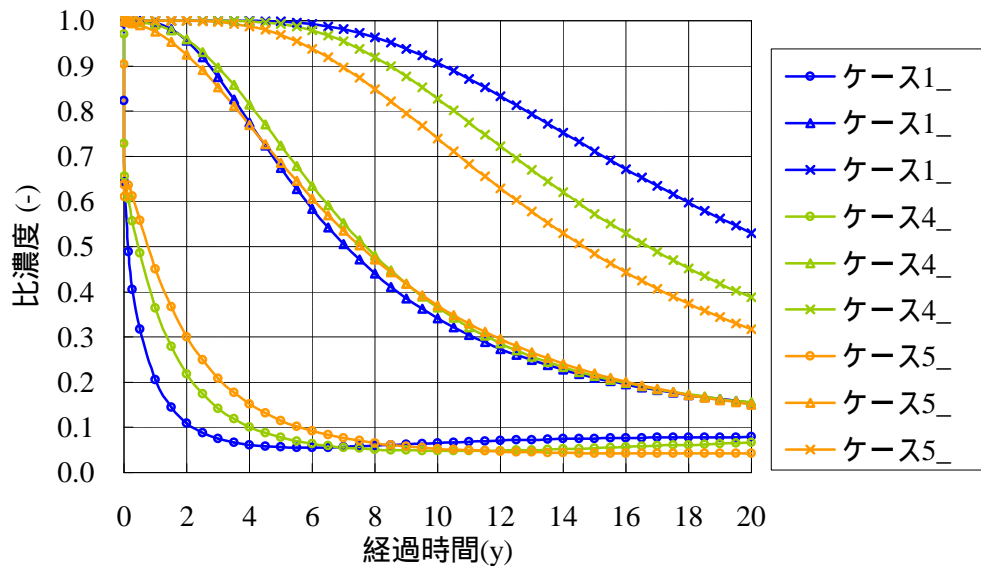
注目位置の濃度変化に着目すると（図4.2.15）注目位置の濃度変化がケース間において、最も顕著な違いを示していることがわかった。注目位置の濃度は、揚水ピッチが短いほど高い傾向を示している。この原因については、次のようなことが考えられる。

図4.2.17に管理水面K.P.0.0mを始点とする流線分布を示す。ケース1の流線は領域下方へ向かっており、その他のケースは、水平挙動となっている。このことから、ケース1の注目位置は、領域上層の濃度分布が領域下方へ移行して流出する傾向であることがわかった。この影響で高濃度になると考えられる。



揚水ピッチ；ケース1：40m，ケース4：100m，ケース5：200m

図 4.2.14 物質残存量比の経時変化（ケース1,4,5）



【凡例補足説明】：「ケース1_」はケース1の濃度変化注目位置（図4.2.10参照）を表す。

図 4.2.15 比濃度の経時変化（ケース1,4,5）

表 4.2.5 各ケースの揚水井戸への流出流量

	ケース1	ケース4	ケース5
流出流量(L/min)	0.87	5.45	21.79

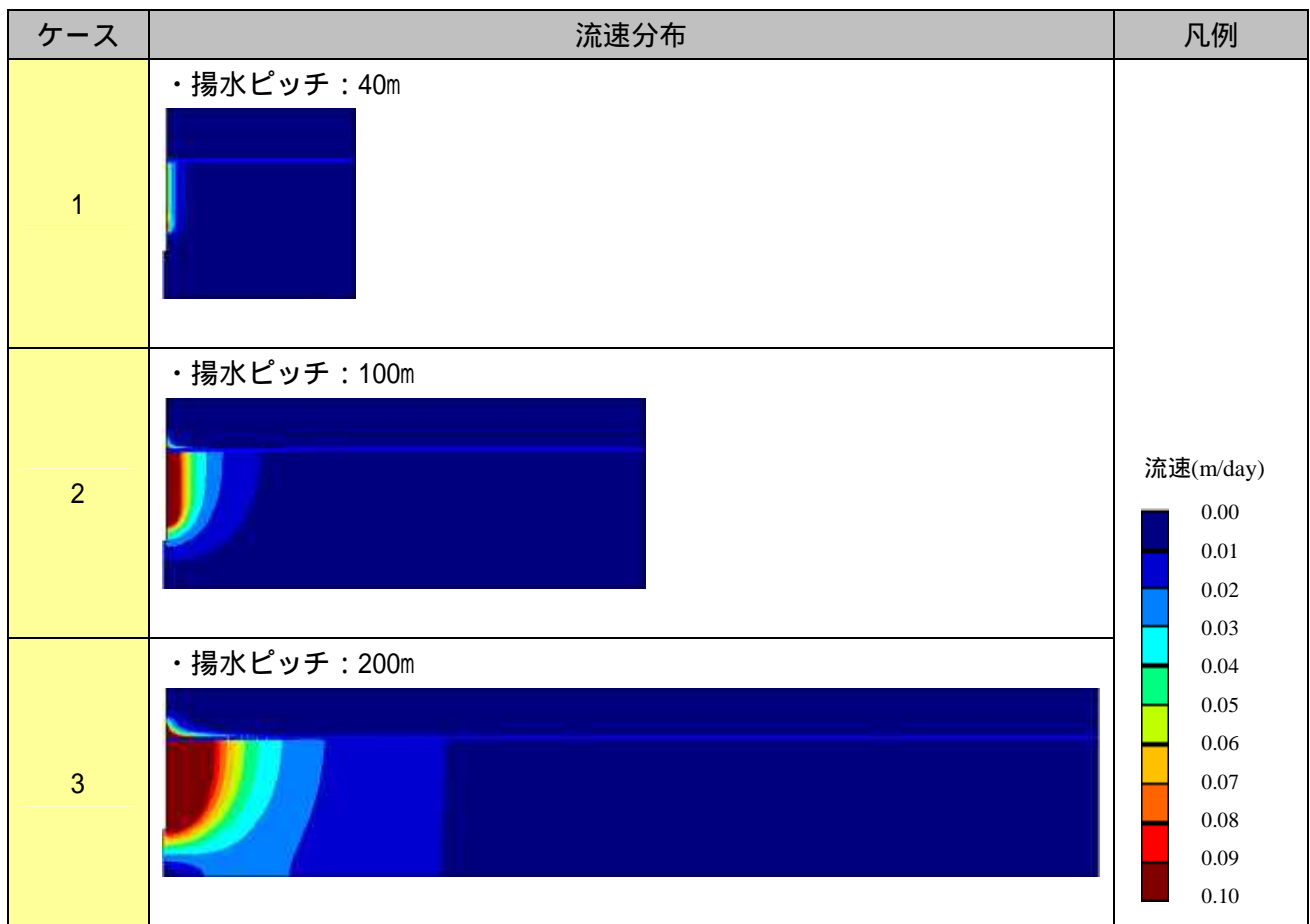


図 4.2.16 流速分布 (ケース 1,4,5)

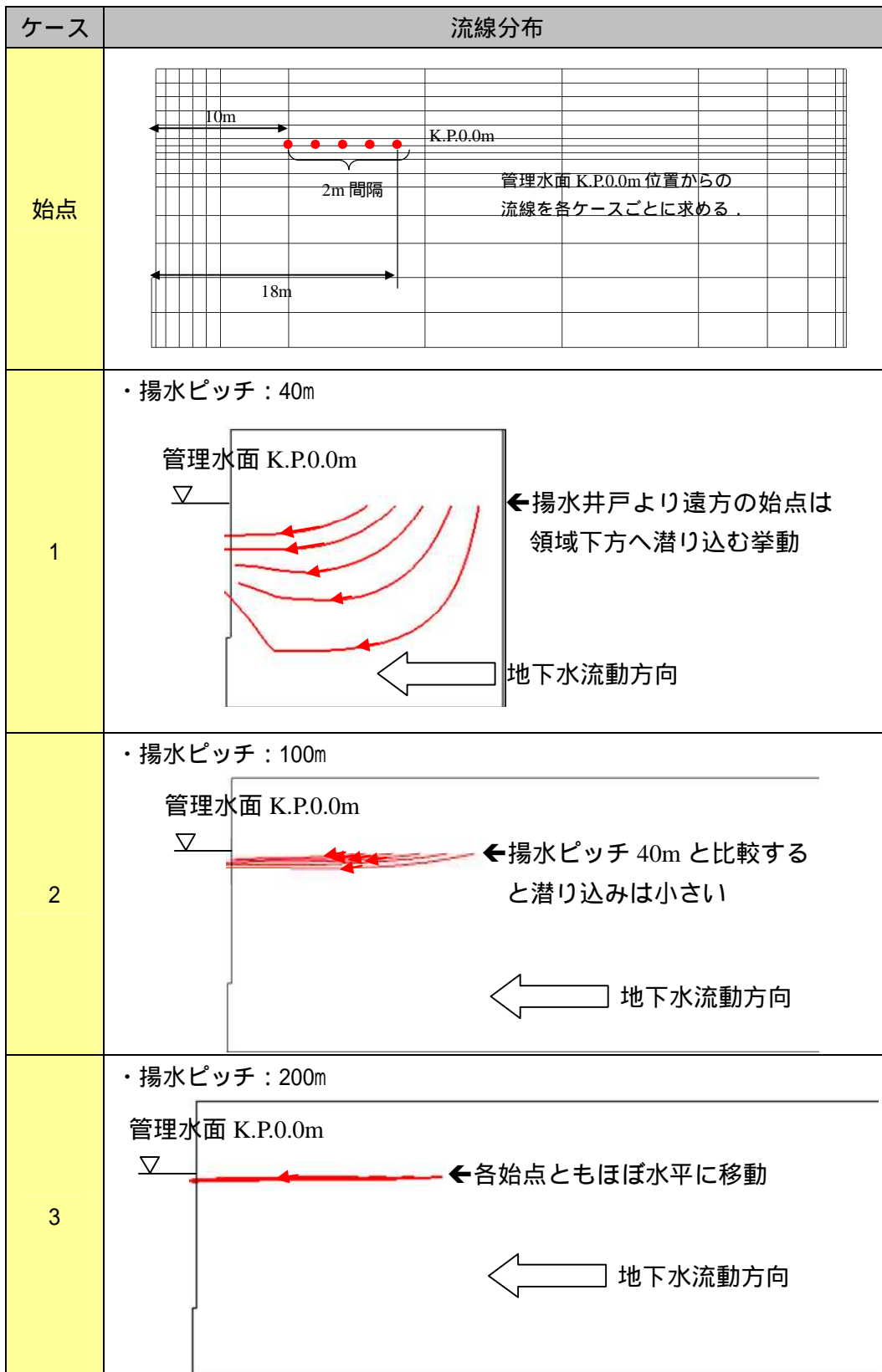


図 4.2.17 流線分布 (ケース 1,4,5)

(c) 井戸方式(深井戸/浅井戸)が異なる場合の比較

図4.2.18および図4.2.19にケース4とケース6に着目した物質残存量比の経時変化と濃度変化をそれぞれ示す。ケース4とケース6は、井戸条件(深井戸・浅井戸)が異なり、その他が同じ条件のケース間の比較である。なお、揚水ピッチは100mである。なお、表4.2.7に、ケース4,6それぞれのストレーナー区間からの流出流量を示した。

図4.2.18から、物質の減少挙動はケース間の差が小さい傾向であることがわかり、図4.2.19から、注目位置の濃度は、浅井戸であるケース6の方がケース4(深井戸)よりも高濃度であることがわかった。このような傾向に対しては、次のようなことが考えられる。

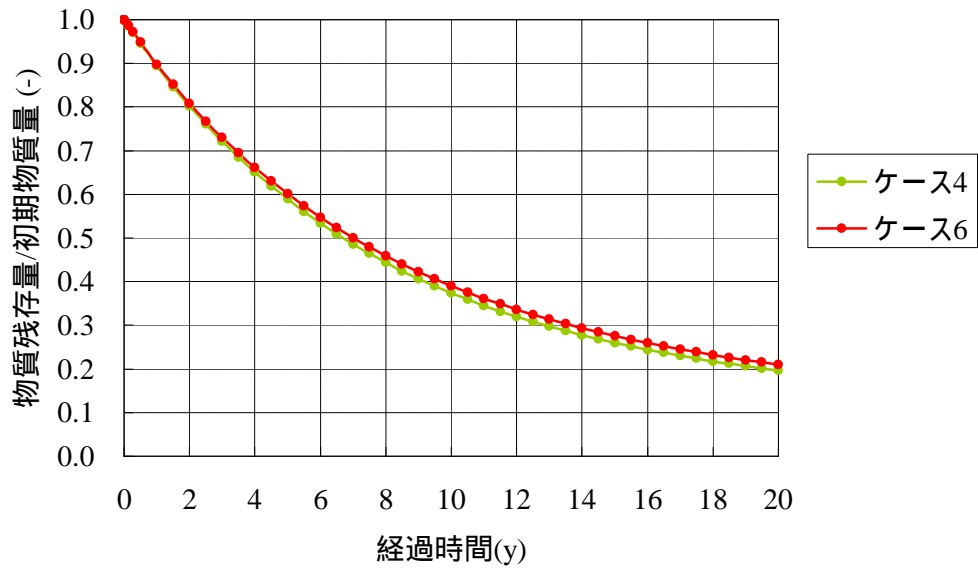
物質の減少挙動の差が小さいということは、揚水井の流出面からの物質放出量が同じであると言い換えることができる。物質放出量は、流出面を構成する節点の(流速×面積×濃度)の合計より求められる。ここで、ケース4およびケース6における(流速×面積×濃度)の各成分の大小関係は表4.2.6のようになっている。同表から、とくに揚水井の流出面を注目点とした部において、ケース6(浅井戸)がケース4(深井戸)と比較して高濃度となったのは、物質放出量が同程度となることを条件と考えた場合、流出面積が小さいことが原因であると考えられる。流出量はケース4とケース6で同量(5.45L/min)であることから、ケース6はケース4に比べて、小領域から速い流速で高濃度の物質が放出されることがわかった。

表4.2.6 物質放出量算定成分の大小関係

	ケース4	ケース6
物質放出量	同程度	
流速	遅い	速い
流出面積	大きい	小さい
濃度	低い	高い

図4.2.20および図4.2.21にケース5とケース7の物質残存量比の経時変化および濃度変化をそれぞれ示す。これらのケースは、井戸条件が異なり、その他の条件が同じケースの比較である。なお、揚水ピッチは200mである。また、表4.2.8にケース5,7それぞれのストレーナー区間からの流出流量を示した。

図4.2.20からケース間の物質減少挙動は同程度であることがわかり、図4.2.21から浅井戸であるケース7の濃度が高いことが分かった。この傾向は揚水ピッチ100mの時と同じである。したがって、揚水ピッチが変わった場合においても、流出面積の小さいケースで、速い流速場となり、かつ、高濃度が流出する傾向を示すことがわかった。なお、ストレーナー部からの流出量はケース5、ケース7ともに21.79L/minであることから、流出面積の小さいケース7の流速が速くなることがわかる。



井戸方式；ケース4：深井戸，ケース6：浅井戸

図 4.2.18 物質残存量比の経時変化 (ケース 4,6(揚水ピッチ=100m))

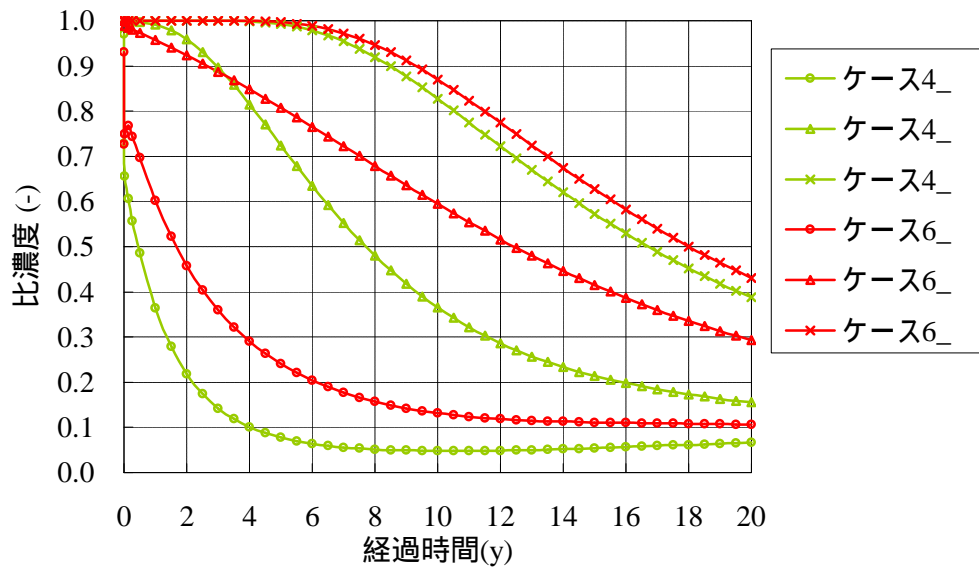
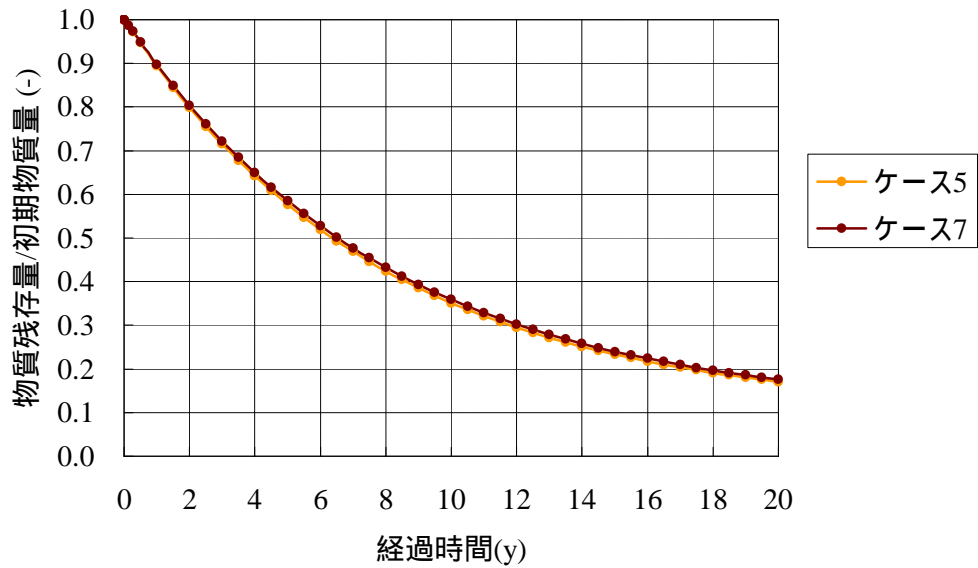


図 4.2.19 比濃度の経時変化 (ケース 4,6)

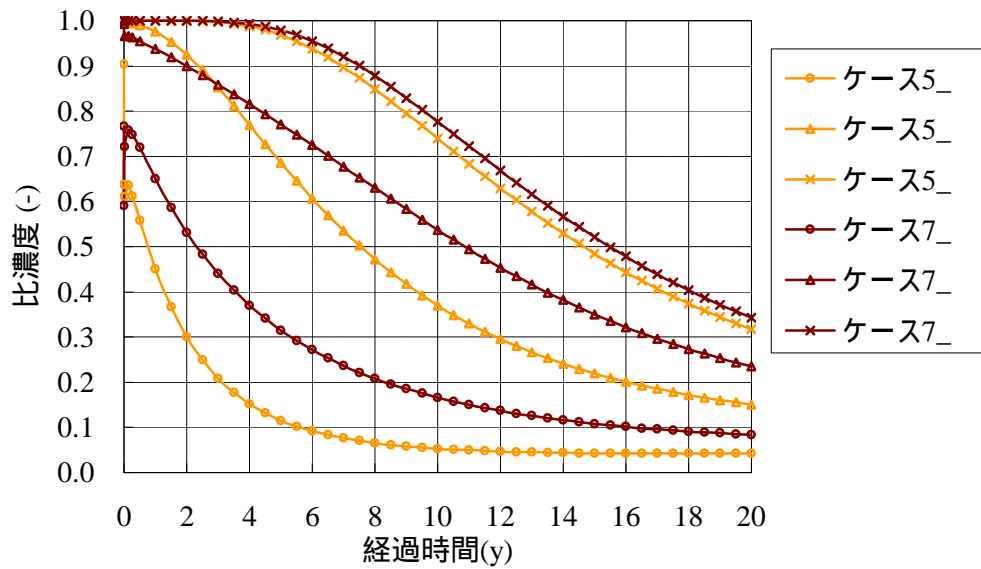
表 4.2.7 各ケースの揚水井戸への流出流量

	ケース 4	ケース 6
流出流量(L/min)	5.45	5.45



井戸方式；ケース5：深井戸，ケース7：浅井戸

図 4.2.20 物質残存量比の経時変化（ケース5、7(揚水ピッチ=200m)）



流出流量：ケース4：21.79L/min、ケース6：21.79L/min

図 4.2.21 比濃度の経時変化（ケース5,7）

表 4.2.8 各ケースの揚水井戸への流出流量

	ケース5	ケース7
流出流量(L/min)	21.79	21.79

揚水効果検討まとめ

本検討では、揚水方式の浄化効果検討のために、廃棄物層の透水係数、揚水ピッチ、揚水能（孔内水位）、井戸方式を変更要因とした感度解析を網羅的に実施し、解析領域端部における計画水位上昇高さを満たす条件を解析的に得ることを試みた。計画水位上昇高さを満たしたケースから、移流分散解析へ移行させるケースを選定し、比較検討を実施した。以下に実施ケースから得られた知見を整理する。

- ・ 孔内水位を K.P.0.0m とした場合、計画水位上昇高さを満たす条件は、廃棄物層の透水係数が高い場合は揚水ピッチに関わらず満足する結果となったが、 $1.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 程度となると、揚水ピッチを 40m 程度と高密度にしなければならないことがわかった。川崎市の揚水方式を参考に、孔内水位を最大低下量である K.P.-5.0m に保った場合、廃棄物層の透水係数が $1.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$ の場合でも、80m 程度の揚水ピッチを考慮することができる結果が得られた。
- ・ 保有水の水質挙動に対し、透水係数の感度を比較すると、濃度残存量比の時間変化は透水係数に関わらず、ほぼ同挙動であることが示された。廃棄物層の透水性が高い場合、領域端部の水位（計画水位上昇高）が低く分布し、反対に、廃棄物層の透水性が低い場合は、領域端部の水位（計画水位上昇高）が高位置となる。この結果、領域内部の流速がほぼ同じ分布となることから、濃度の流出挙動が同程度となったと考えられる。したがって、透水性が低い場合、揚水ピッチを密にしなければならない制約があるものの、計画水位上昇高さの条件が満たされた場合の流出挙動は、廃棄物層の透水性に大きく依存しない可能性が示された。
- ・ 保有水の水質挙動に対し、揚水ピッチの感度を比較した結果、揚水ピッチが密である場合、揚水ピッチを長く確保した場合と比較して、揚水井設置箇所から近傍における降雨浸透の影響が下方へ伝わることを示された。これは、廃棄物層深部の pH 環境を中性方向（降雨を中性と考えた場合）への改善させる可能性が示唆されるメリットがある反面、浄化速度は、相対的に遅くなる傾向を示す結果が得られたことから、原位置サイトにおける揚水ピッチの決定に対して、総合的な判断が必要であると考えられる。
- ・ 保有水の水質挙動に対し、井戸方式（深井戸・浅井戸）に関する感度を比較した結果、同じ揚水ピッチを採用した場合は、両者の物質残存量の経年変化は差がないことがわかった。ただし、浅井戸は流出面積が小さいことが原因で、高濃度の流出が懸念される結果が示されたことから、井戸方式の採用にあたっては、保有水の水質処理に係る負荷などを念頭においた設置を行うことが望ましいと考えられる。

3. 尼崎沖処分場を対象とした3次元保有水水質挙動解析

本章では、尼崎沖処分場の保有水排水システム（上部排水暗渠・内水ポンド）を3次元モデルによって再現し、保有水濃度の3次元空間分布の経年変化の傾向を整理する目的で、廃棄物層の透水係数分布をパラメータとした感度解析を実施する。また、排水暗渠が機能しない特殊なケースを実施し、同様に保有水濃度の3次元空間分布を整理する。

解析手順は、まず、各解析条件のもとで定常浸透流解析を実施して流速場を求めた後、廃棄物層の間隙水に対して初期濃度を設定し、保有水の流出挙動を解析する。

(1) 解析モデルの構築

図4.3.1に廃棄物層土層断面図を示す。同図から、尼崎沖処分場の廃棄物層は、上(Wa3)・中(Wa2)・下(Wa1)層に大別され、各層およそ5.0mの層厚に区分されると推定される。また、図4.3.2に排水暗渠配置平面図を示す。解析モデルにおいては、配置距離および管底深度D.L.=+0.1mを反映させた。内水ポンドは、管底深度よりもさらに低い位置に底面がある。モデル化に際しては、D.L.=±0.0mとしてモデル構築を行った。



図4.3.1 廃棄物層土質断面図

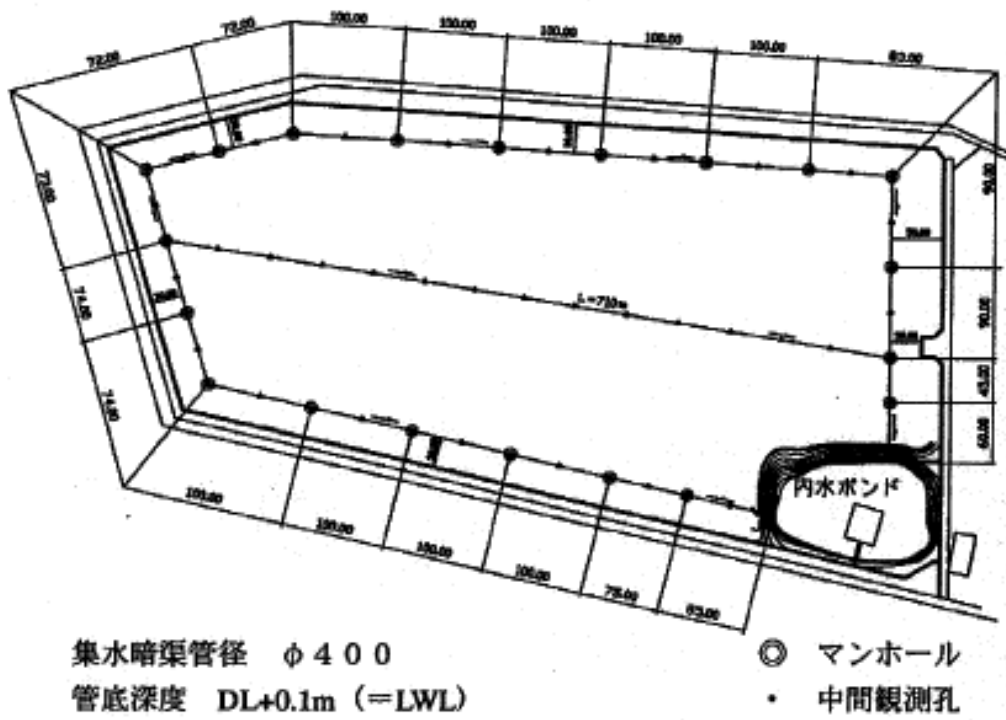


図 4.3.2 排水暗渠配置平面図

図 4.3.3 に排水暗渠および観測ボーリング配置図を示す。水位観測は、06B-1,06B-2,06B-3 で実施されており、水質観測は、06B-4,06B-5,06B-6,06B-7,06B-8 で深度方向別に実施されている。水質観測井は 06B-2 を中心として半径 2.0m 以内に密集していることから、解析結果の照査に際しては、06B-2 の鉛直方向にある節点における濃度を用いて評価を行うこととした。

また、排水暗渠部は、浸出面境界としてモデル化を行った。図 4.3.4 に排水暗渠のモデル化状況を示し、解析モデル全体図を図 4.3.5 に示す。総節点数：57,545，総要素数：52,098 に離散化した。保有水濃度の初期状態は、D.L.0m 以深の各節点に対して初期濃度=1.0 を与える。

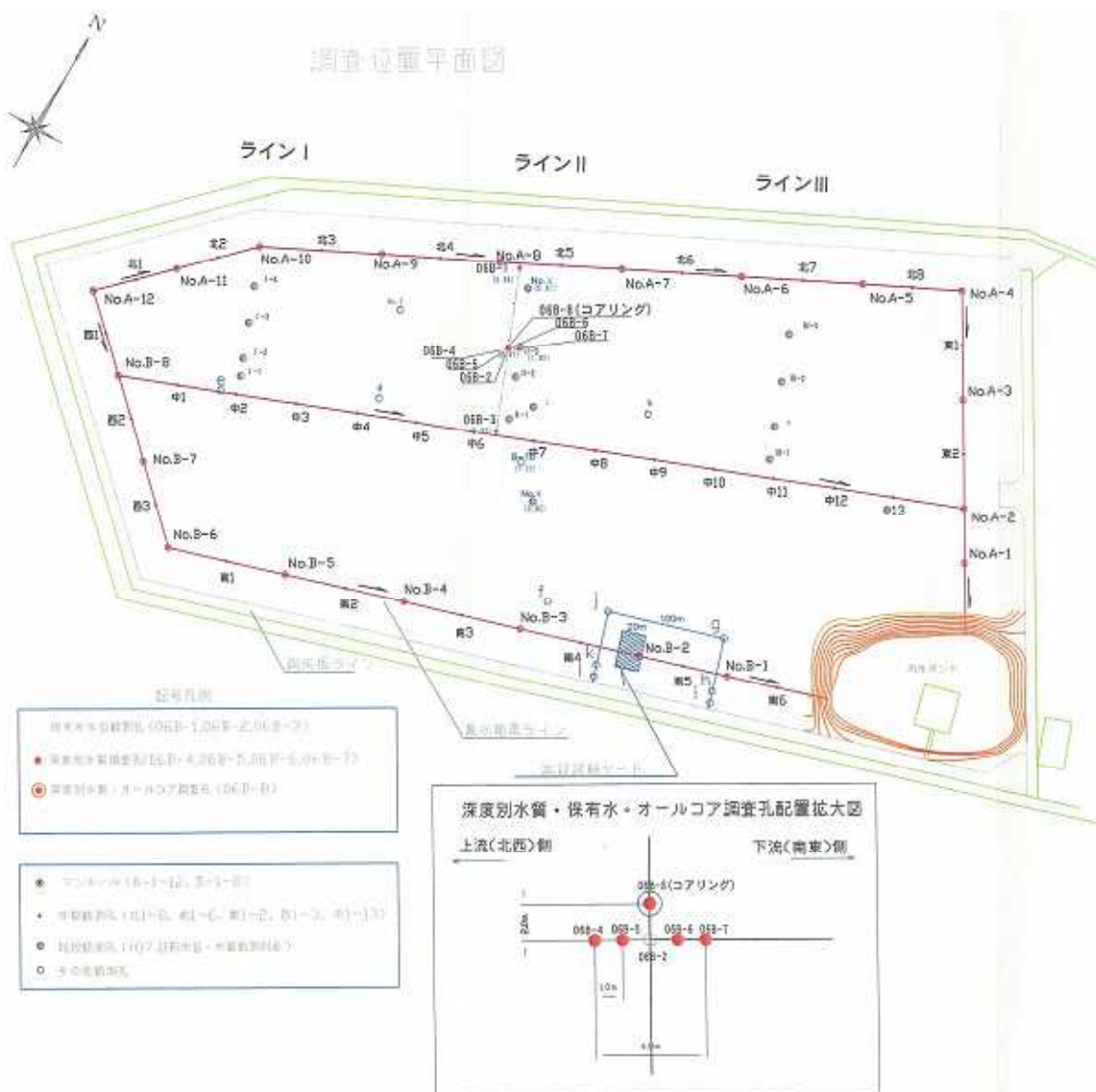


図 4.3.3 排水暗渠および観測ボーリング配置図

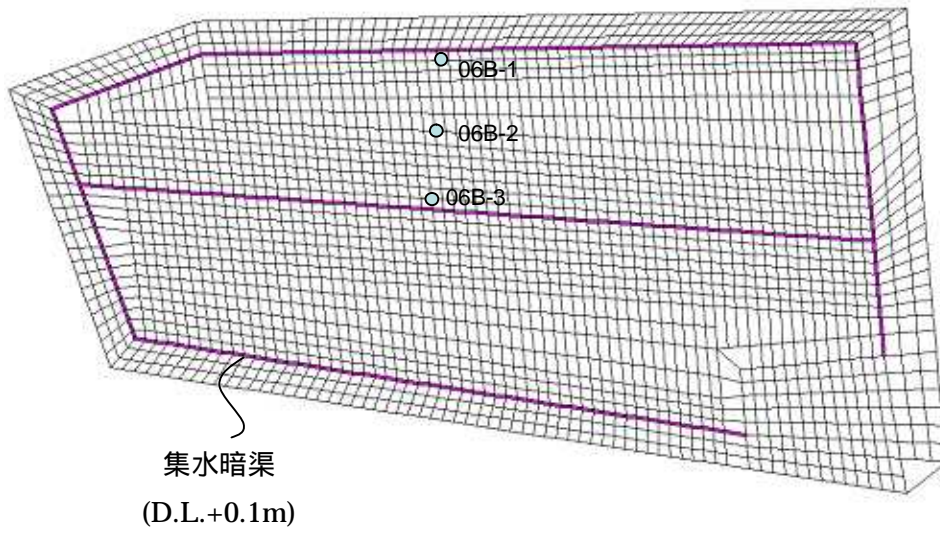
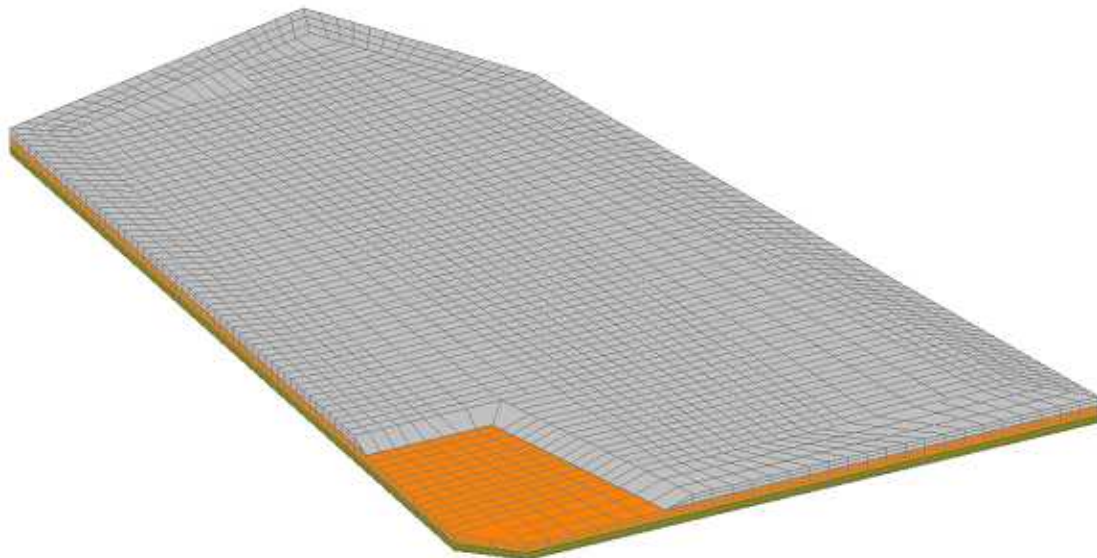


図 4.3.4 排水暗渠のモデル化状況



総節点数：57,545，総要素数：52,098

図 4.3.5 解析モデル全体図（鳥瞰図）

(2) 解析ケース

解析実施ケースは、次に示す内水ポンドの水位分布状況を2種類想定して設定した。ここで、図4.3.6に排水暗渠および内水ポンドの水位状況概念図を示す。内水ポンドの水位が排水暗渠よりも低い場合、排水暗渠内へ流入した保有水は、速やかに内水ポンドへ放流される(図4.3.6a))。従って、解析においては、排水暗渠部位を浸出境界として扱うこととした。これに対し、内水ポンドの水位が、排水暗渠の標高よりも高い位置にある場合、排水暗渠内は満水状態となり、暗渠内の水位が一定となるため、集水機能を失った状態となる。この場合、保有水は内水ポンドへ直接流出する挙動のみとなる(図4.3.6b))。ただし、尼崎沖処分場では、排水暗渠内の保有水を揚水し、強制排水することが可能であるため、同ケースは特殊なケースと考えられる。

表4.3.1に解析実施ケースを示す。排水暗渠が正常に機能する通常状態に対し、均質モデルおよび不均質モデルを考慮した。また、内水ポンドの水位が排水暗渠よりも上位に位置する特殊なケースに対して、均質モデルケースを想定した解析を実施することとした。

尼崎沖処分場モデルの解析に用いる移流分散パラメータは、表4.3.2に示す値を用いた。これは、揚水モデル検討時に用いた値と同じとした。なお、地表面部に対し、降雨量=1mm/dayを与える。

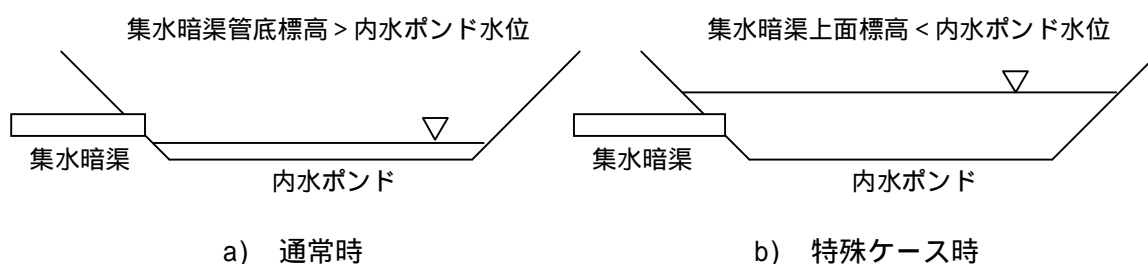


図4.3.6 排水暗渠および内水ポンドの水位状況概念図

表4.3.1 解析実施ケース

ケース	モデル	境界条件	Wa1	Wa2	Wa3
1	均質モデル	内水ポンド	1.0 × 10 ⁻⁴		
2	不均質モデル	水位=D.L.0.0m	1.0 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁵	1.0 × 10 ⁻⁴
3	均質モデル (排水暗渠なし)	内水ポンド 水位=D.L.+1.0m	1.0 × 10 ⁻⁴		

表4.3.2 解析に用いる移流分散パラメータ(尼崎沖処分場モデル)

縦方向分散長 (m)	横方向分散長 (m)	屈曲率 (-)	分子拡散係数 (m ² /s)	遅延係数 (-)
1.0	0.1	1.0	1.0 × 10 ⁻⁹	1.0

(3) 解析結果

解析結果は、以下に示す項目に対する出力を整理する。また、各注目部位の位置図を図 4.3.7 に示す。各注目位置は、D.L.0.0m 平面上の節点を用いることとする。06B-2 位置では、深度方向の物質濃度データを計測していることから、深度方向の濃度プロファイルを整

- 流速分布 (D.L. -10m, -5m, 0m 平面図)
- 濃度分布経時変化 (D.L. -10m, -5m, 0m 平面図), ライン 鉛直断面の流速分布, 濃度変化
- ライン および延線上の注目位置における濃度変化(06B-1, 06B-2, 06B-3, ライン -4, ライン -5)
- 水質観測井 06B-2 の深度方向濃度プロファイル
- 内水 Pond への流出濃度経時変化(Pond-1, Pond-2, Pond-3)
- 排水暗渠、内水 Pond への流出流量 (合計、平均流量)

表 4.3.3 に 06B-1 ~ 06B-3 の観測水位および各ケースの水位標高(定常浸透流解析結果)を示す。解析結果は、観測水位に対して低い位置に分布しているが、ケース 1 では観測井間の水位差がほぼ同程度となった。したがって、排水暗渠へ向かう動水勾配は観測(実現象)に対応したものであると考えられる。また、ケース 1、2 は計画水位上昇高さの観点からも、適合した解析結果となっている。一方、ケース 3 は、非常に高い水位上昇量となっているが、ここでは特殊ケースという位置づけとして、このまま評価を行うこととする。

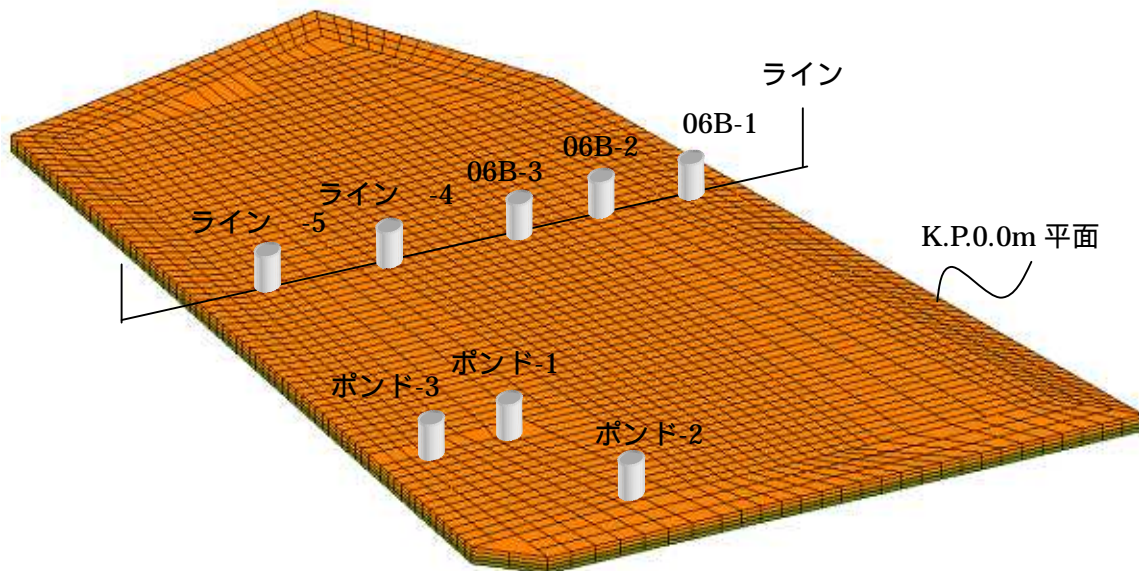


図 4.3.7 濃度変化注目位置

表 4.3.3 観測水位と解析結果（定常浸透流解析結果）の比較 単位：(m)

照査位置	観測水位 D.L.	ケース 1	ケース 2	ケース 3
06B-1	1.00	0.11	0.14	2.84
06B-2	1.01	0.13	0.24	2.83
06B-3	0.99	0.12	0.14	2.80

ケース 1：均質モデル(透水係数= 1.0×10^{-4} m/s)，内水ポンド水位=D.L.0.0m

1) 流速分布

深度方向の流速分布に大きな差は認められない。流速は、 1.0×10^{-2} m/day 以上の分布が大部分を占めている。分子拡散係数は、 1.0×10^{-9} m²/s(= 8.64×10^{-5} m²/day)としていることから、解析領域全体の物質移行挙動は移流支配となっていると考えられる。内水ポンド下部は低流速場となっている。これは、内水ポンド部(内水ポンド水底面)はフラットな面としてモデル化されており、上面に一定な水位固定境界を設定していることから、流速が発生しない環境となっているためである。

流速ベクトル分布図から、内水ポンドから比較的距離のある排水暗渠位置においては、排水暗渠に向かう流速ベクトルが確認できる。ライン 側線付近では、断面流速ベクトル図から、排水暗渠へ向かう傾向が示されている。内水ポンド周辺部においては、内水ポンドに直接流下する流速ベクトルが確認でき、排水暗渠および内水ポンドの両方が流出箇所として機能している。

2) 濃度分布

濃度分布は領域下方で滞留し、上部の浄化が進行する傾向である。排水暗渠は流出箇所となっていることから、高濃度状態となっている。この様子は、ライン 側線断面に着目した濃度分布から確認できる。20 年後の濃度分布においては、D.L.-5.0m 位置までの浄化が進行している。

内水ポンド直下の濃度は低流速場の影響で浄化がほとんど進行していない。この部位の浄化の促進に関しては、対策工などを検討する必要があると考えられる。

全体として保有水濃度の低下は、平面的に深度方向に進行する傾向である。これは排水暗渠による排出の影響が処分場内全体に行き届いているためであると考えられる。

3) 注目位置の濃度変化

ライン 側線上の注目位置の濃度変化(図 4.3.10 参照)は、排水暗渠間の中心位置に相当する 06B-2 および、ライン -4 において濃度減少が早く、排水暗渠に近い位置である 06B-1、06B-3、ライン -5 は、これらに比べて高濃度となっている。

内水ポンドの注目位置における濃度変化(図 4.3.11 参照)は、場所による差は小さいものの、

ライン 側線上の濃度と比較すると高濃度状態にある。

06B-2 鉛直方向の濃度プロファイル(図 4.3.12 参照)は、時間経過にしたがって下方の濃度も進行することが確認できる。

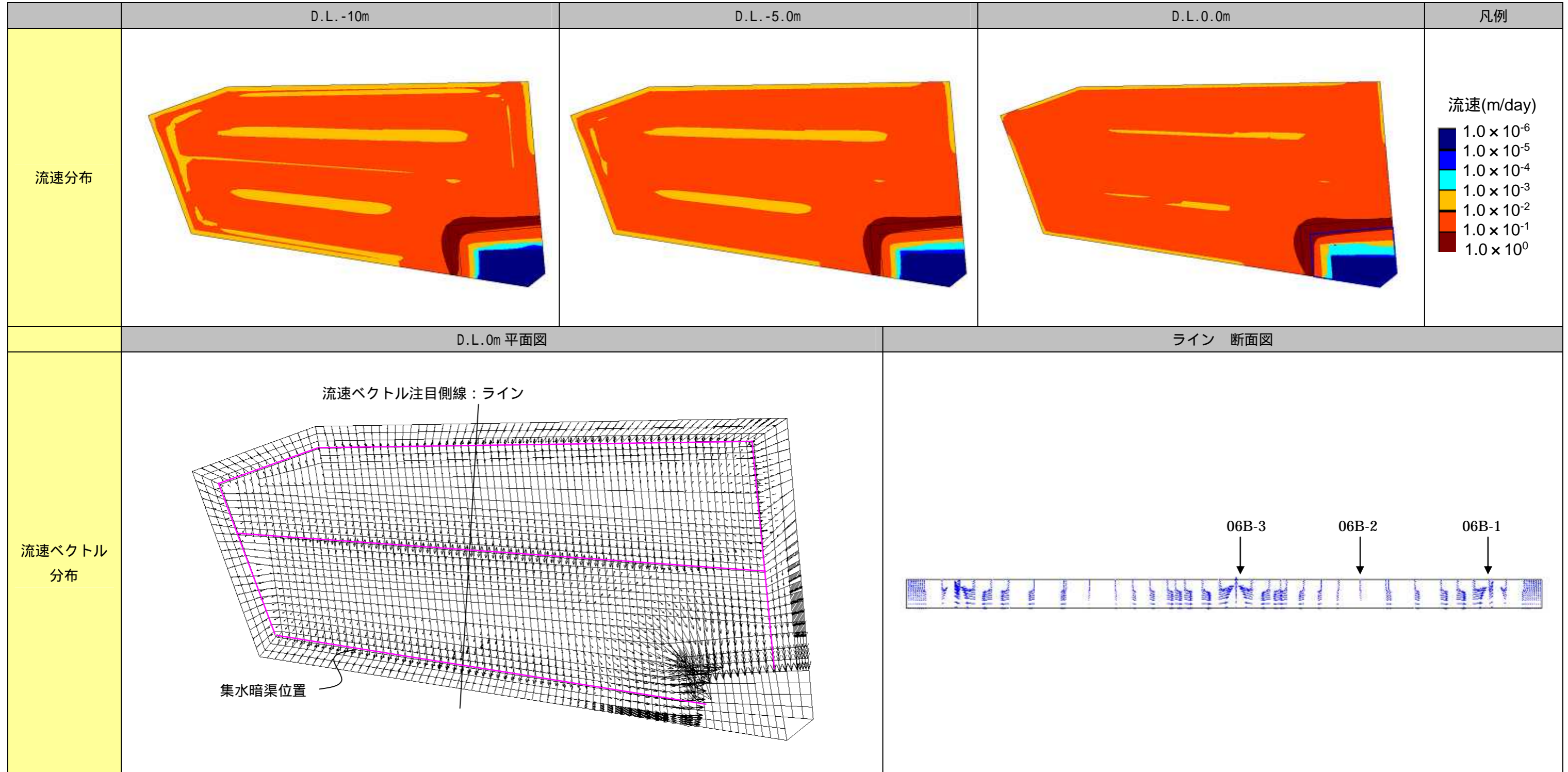


図 4.3.80 浸透流解析結果 (ケース 1 : 均質モデル(透水係数 $=1.0 \times 10^{-4}$ m/s) , 内水ポンド水位=D.L.0.0m)

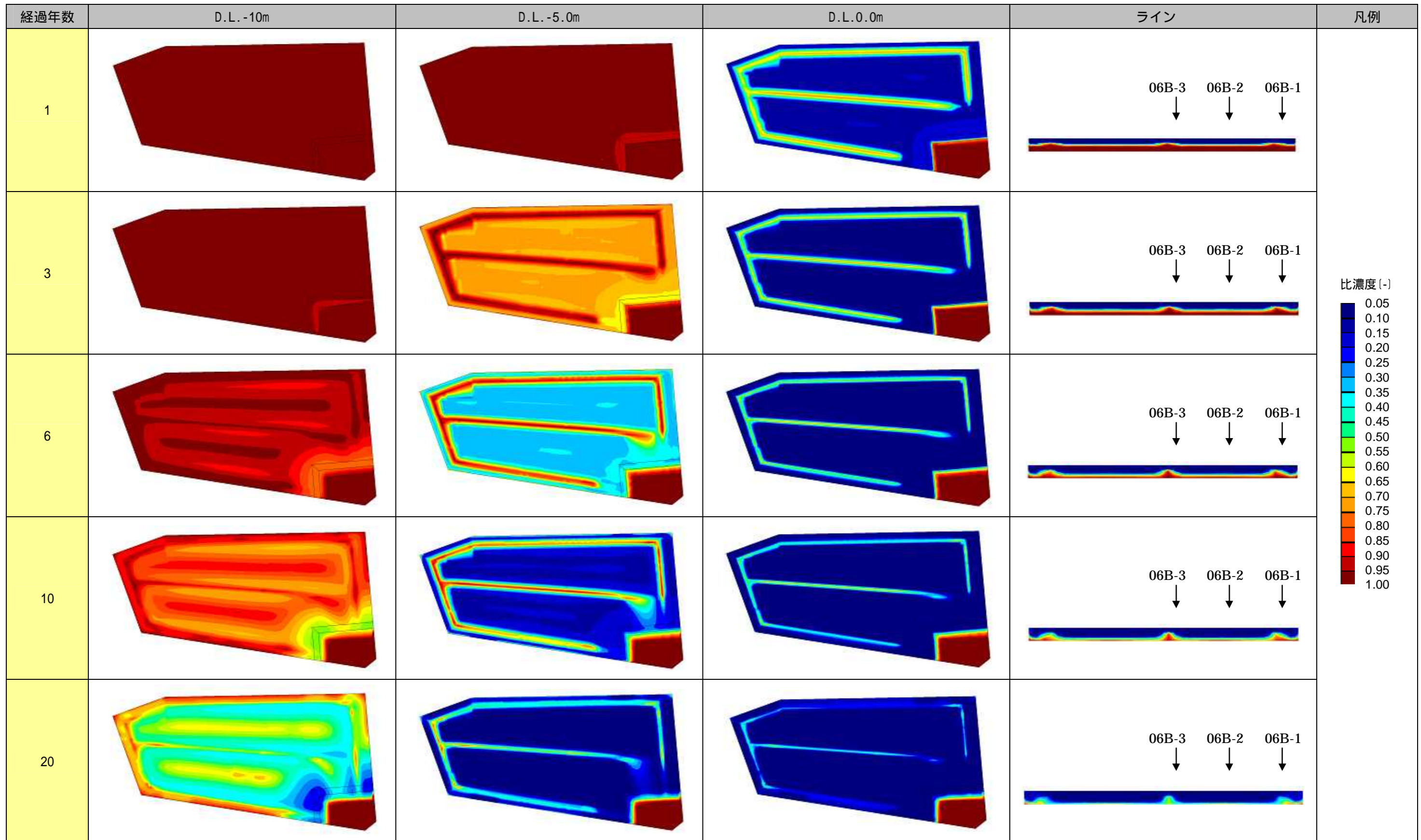


図 4.3.9 濃度分布(ケース 1: 均質モデル(透水係数=1.0 × 10⁻⁴m/s), 内水ポンド水位=D.L.0.0m)

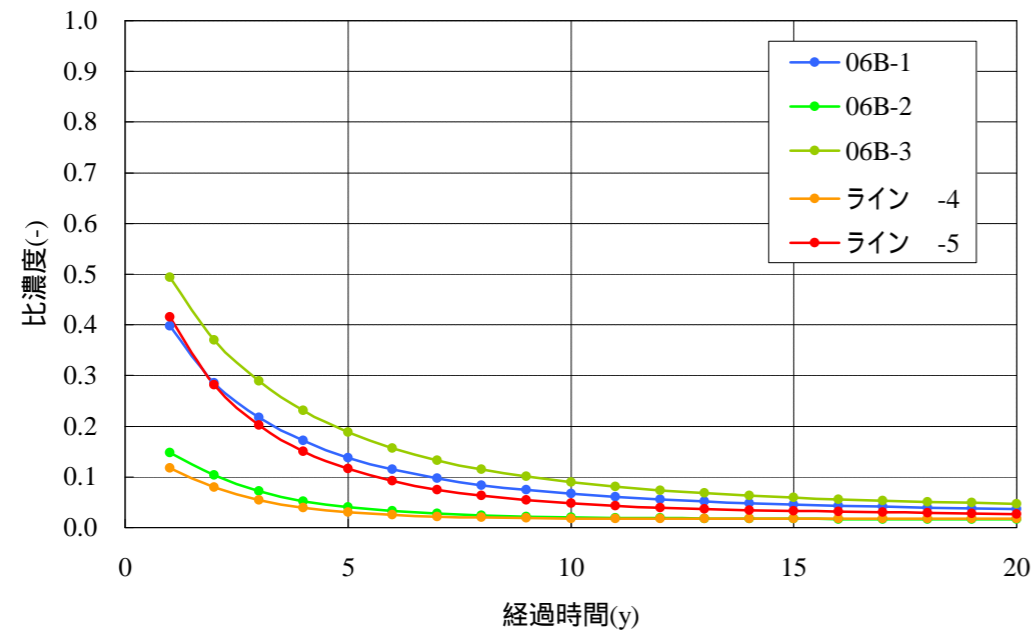


図 4.3.10 ライン 側線上の注目位置における濃度変化 (ケース 1)

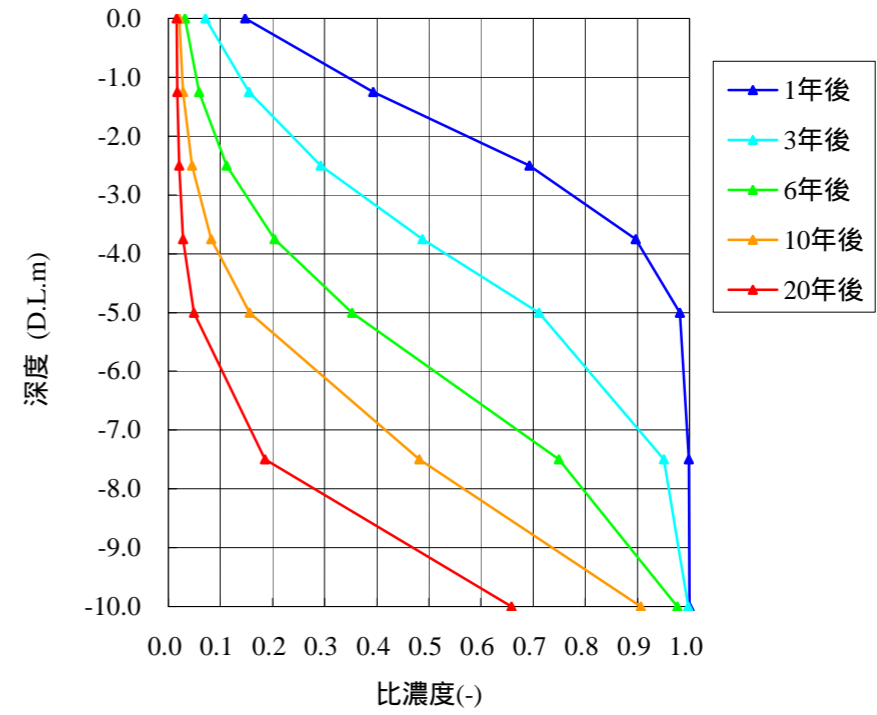


図 4.3.12 06B-2 深度方向の濃度プロファイル (ケース 1)

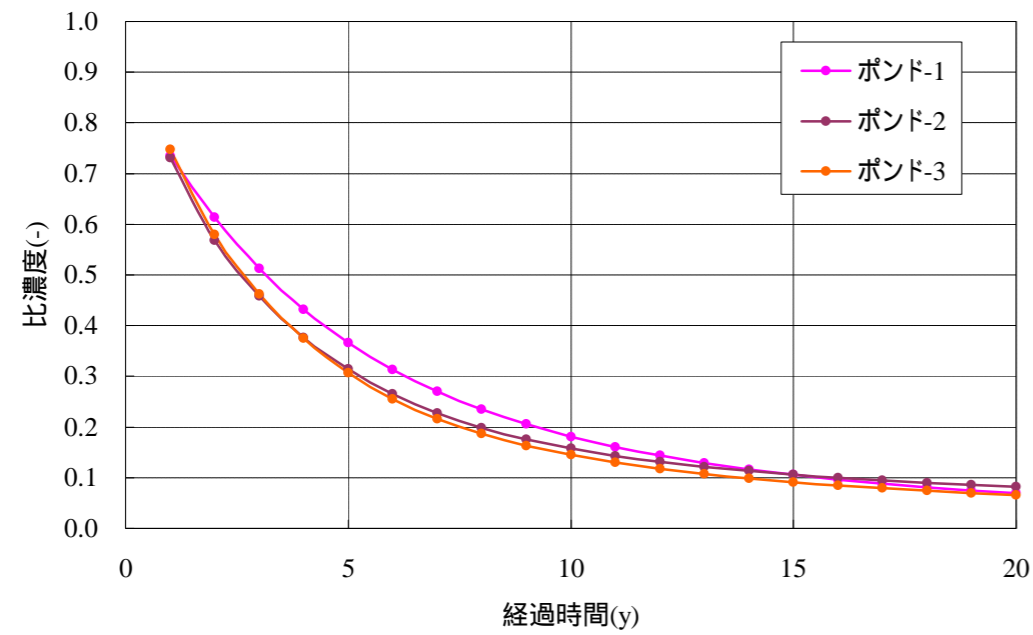


図 4.3.11 内水 Pond 注目位置における濃度変化 (ケース 1)

表 4.3.4 排水暗渠および内水 Pond への流出流量 (ケース 1)

	排水暗渠	内水 Pond
流出流量	158 L/min(全体)、0.6(平均)	24.5 L/min(全体)、0.7 L/min(平均)

* 平均流出量(排水暗渠)=全体流出量/排水暗渠を構成する節点総数(=257)

* 平均流出量(内水 Pond)=全体流出量/内水 Pondを構成する節点総数(=33)

ケース 2 : 不均質モデル , 内水ポンド水位=D.L.0.0m

1) 流速分布

解析領域内の流速分布は、下方の透水性が小さいことから、D.L.-10m において低流速場 ($1.0 \times 10^{-4} \text{m/day}$) となっており、上方の高透水層では高流速場 ($1.0 \times 10^{-2} \text{m/day}$ 以上) となっている。ライン 側線断面における流速分布を見ると、解析領域中位付近の流速ベクトルが卓越している様子がわかる。また、領域底部の低流速域においては、解析に用いた物質の分子拡散係数は、 $1.0 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s} (=8.64 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{day})$ と比較して大差がないことから、物質移行は、移流と拡散が同程度の割合で挙動していると考えられる。

解析領域内の流速ベクトルは、その流出挙動が、排水暗渠に寄与する部分、内水ポンドに寄与する部分ともに確認できる。この傾向は、ケース 1 (均質モデル) においても見られた挙動である。

内水ポンド直下においては非常に小さな流速分布となっているが、これは、ケース 1 と同様に、内水ポンド水底面が平坦にモデル化されており、水底面に対して水位固定境界を設定しているために流速が発生しづらい環境となっていることが原因である。

2) 濃度分布

解析領域内の濃度分布は、深部 (D.L.-10m) における濃度はほとんど浄化されていない結果であった。また、D.L.-5.0m 平面においても 20 年後の濃度分布は、比濃度 0.5 以上の分布が広く確認できる。しかし、D.L.0.0m 平面における濃度分布は比較的早期に浄化が進行している。

3) 注目位置の濃度変化

ライン 側線上の注目位置における濃度変化および内水ポンド流出位置の濃度変化 (図 4.3.15, 図 4.3.16) は、ケース 1 と比較して、解析開始から 5 年間の濃度低下は早く進行していることがわかる。

しかし、06B-2 鉛直方向濃度プロファイル (図 4.3.17) から領域下方の濃度は高濃度を維持した状態となっており、全量浄化までの長期化が予想される。

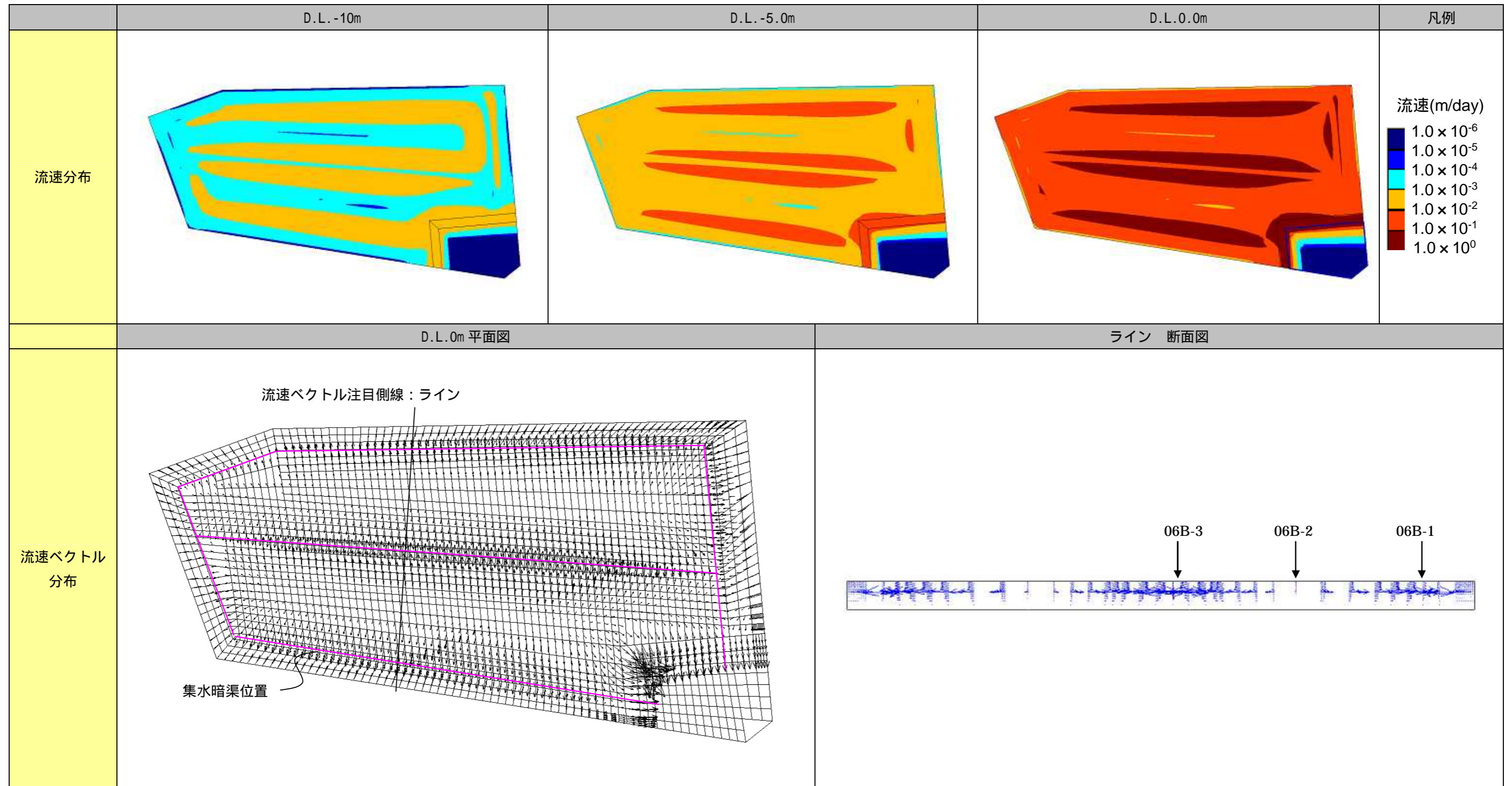


図 4.3.13 浸透流解析結果 (ケース 2: 不均質モデル, 内水ポンド水位=D.L. 0.0m)

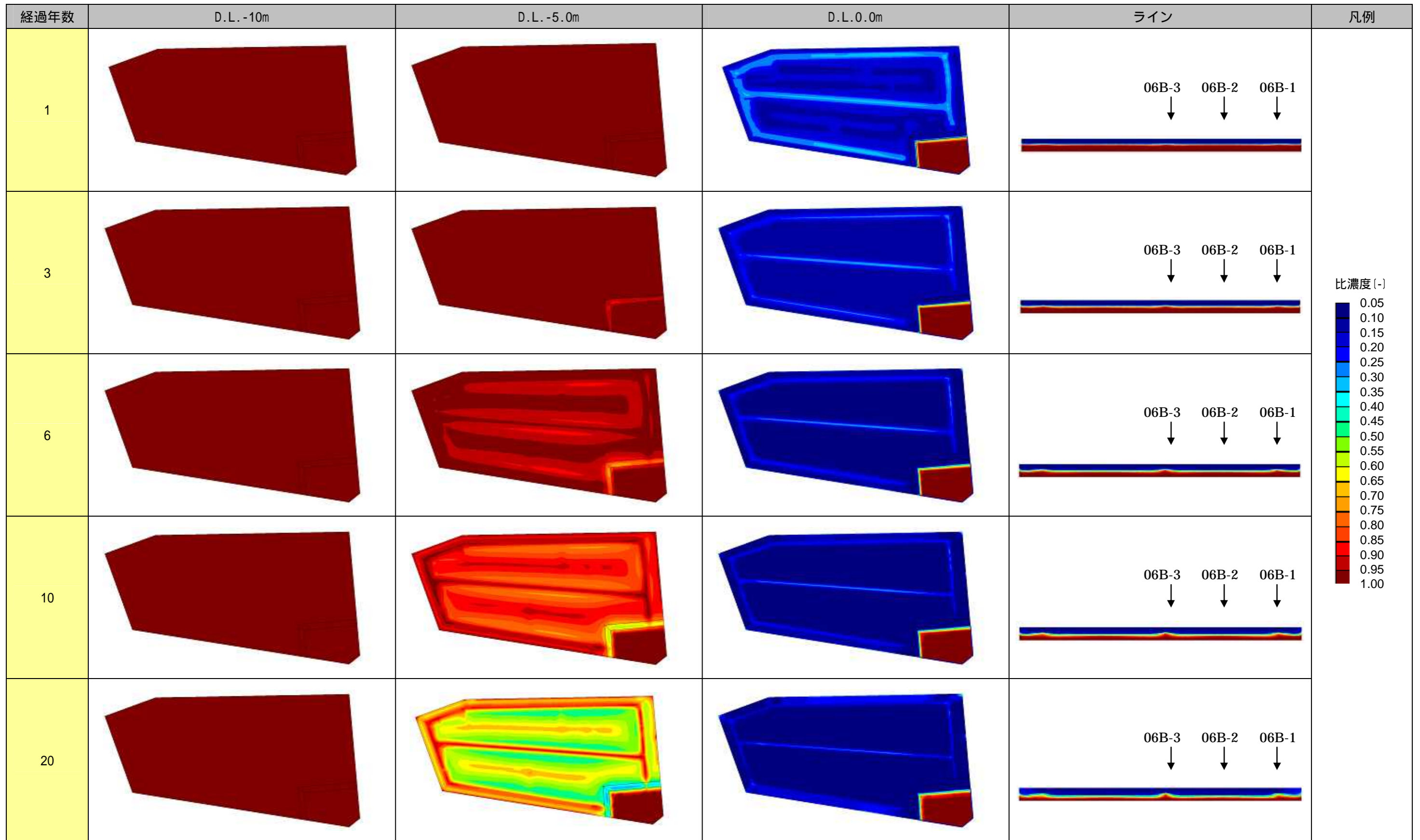


図 4.3.14 濃度分布(ケース 2: 不均質モデル, 内水ポンド水位=D.L.0.0m)

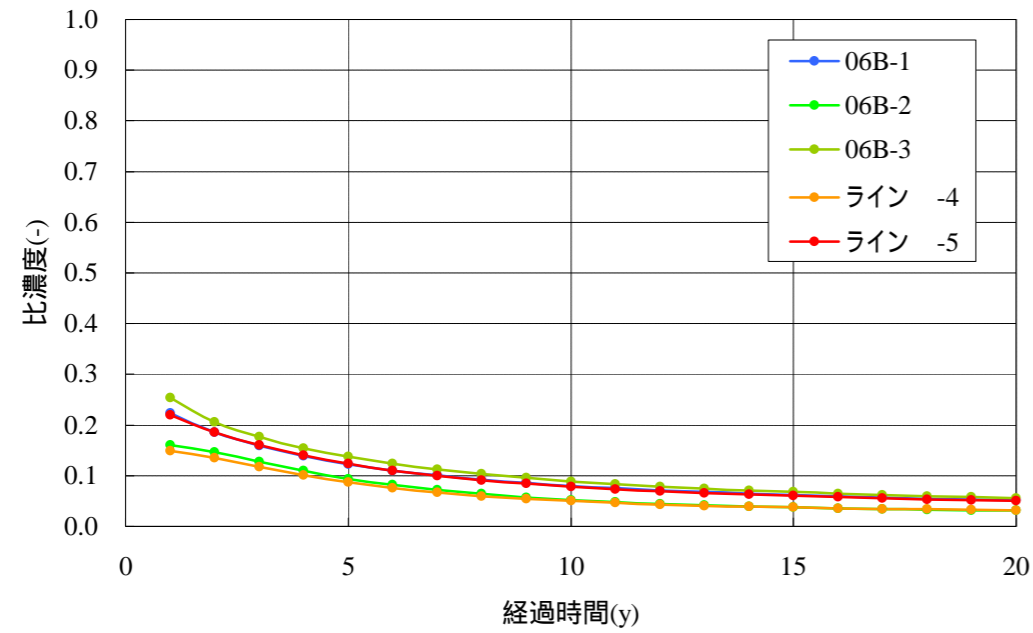


図 4.3.15 ライン 側線上の注目位置における濃度変化 (ケース 2)

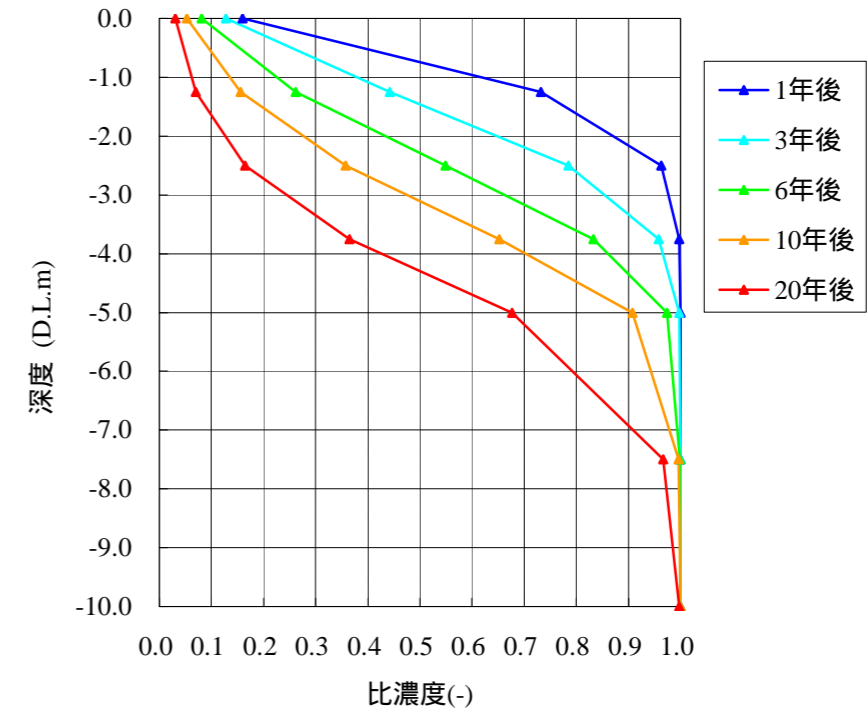


図 4.3.17 06B-2 深度方向の濃度プロファイル (ケース 2)

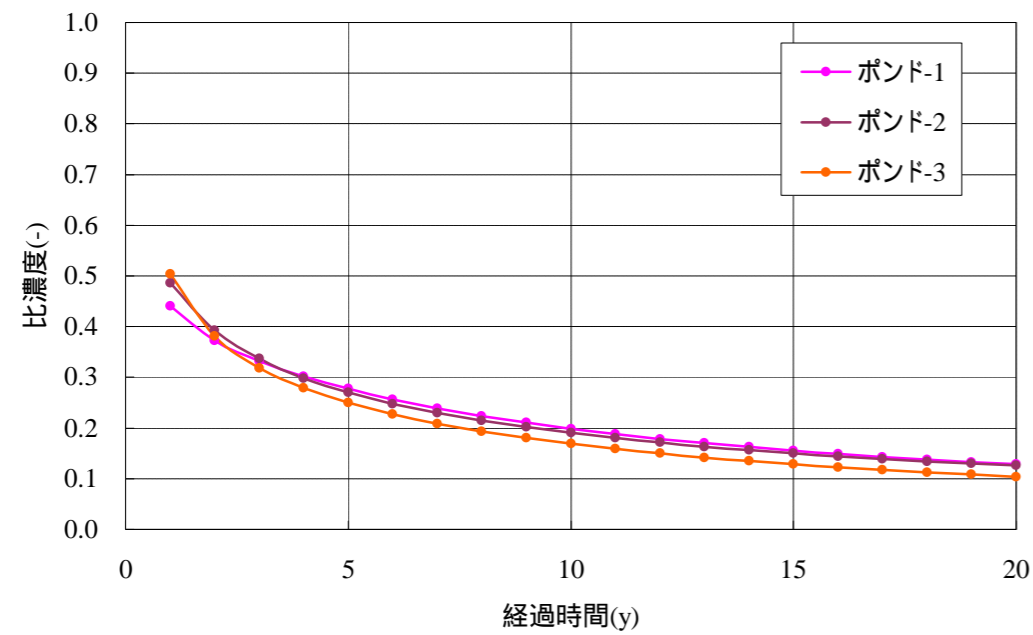


図 4.3.16 内水ポンド注目位置における濃度変化 (ケース 2)

表 4.3.5 排水暗渠および内水ポンドへの流出流量 (ケース 2)

	排水暗渠	内水ポンド
流出流量	174 L/min(全体)、0.7(平均)	12.4 L/min(全体)、0.4 L/min(平均)

* 平均流出量(排水暗渠)=全体流出量/排水暗渠を構成する節点総数(=257)

* 平均流出量(内水ポンド)=全体流出量/内水ポンドを構成する節点総数(=33)

ケース3：均質モデル(透水係数 $=1.0 \times 10^{-4}$ m/s)，内水ポンド水位=D.L.1.0m

1) 流速分布

流速分布は、深度に関わらず 1.0×10^{-2} m/day 以上の分布となっている。排水暗渠が機能していないため、流速ベクトルは、内水ポンド方向へ流下している。

内水ポンド直下では低流速場となっている。これは、ケース1と同様に、上面に一定な水位固定境界を設定していることから、流速が発生しない環境となっているためである。

2) 濃度分布

廃棄物層濃度全量が、内水ポンドへ流下するために、D.L.0.0mにおける濃度分布を見ると、内水ポンド周辺部の濃度が、ケース1、ケース2と比較して高い分布を示している様子が確認できる。

内水ポンド直下では濃度がほとんど浄化されずに滞留している。これは、内水ポンド直下において低流速場になっているためである。これは、ケース1で見られた傾向と同じである。内水ポンド直下の停留濃度の浄化促進に関しては、対策工などを検討する必要があると考えられる。

全体としては、ケース1で見られたような平面的に深度方向へ浄化が進行する挙動とは異なり、濃度が内水ポンド方向へ水平移動する挙動である。

3) 注目位置の濃度変化

ライン 側線上の濃度変化および内水ポンド(図4.3.20, 図4.3.21 参照)は場所による濃度差が小さいことがわかる。内水ポンド注目位置における濃度は、濃度分布で確認されたように、ケース1およびケース2と比較して高濃度となっている。内水ポンドへの流出量は排水暗渠設置ケースと比較して、非常に大きく(ケース1:24.5L/min、ケース3:1,920L/min)高濃度が流出することから、内水ポンドへの負荷が非常に大きくなる可能性がある。

06B-2鉛直方向の濃度プロファイル(図4.3.22 参照)から、下方の濃度が高く上位の濃度が低い傾向が示されているものの、時間の経過とともに、深度方向の濃度差がケース1、ケース2と比較すると小さくなっている。

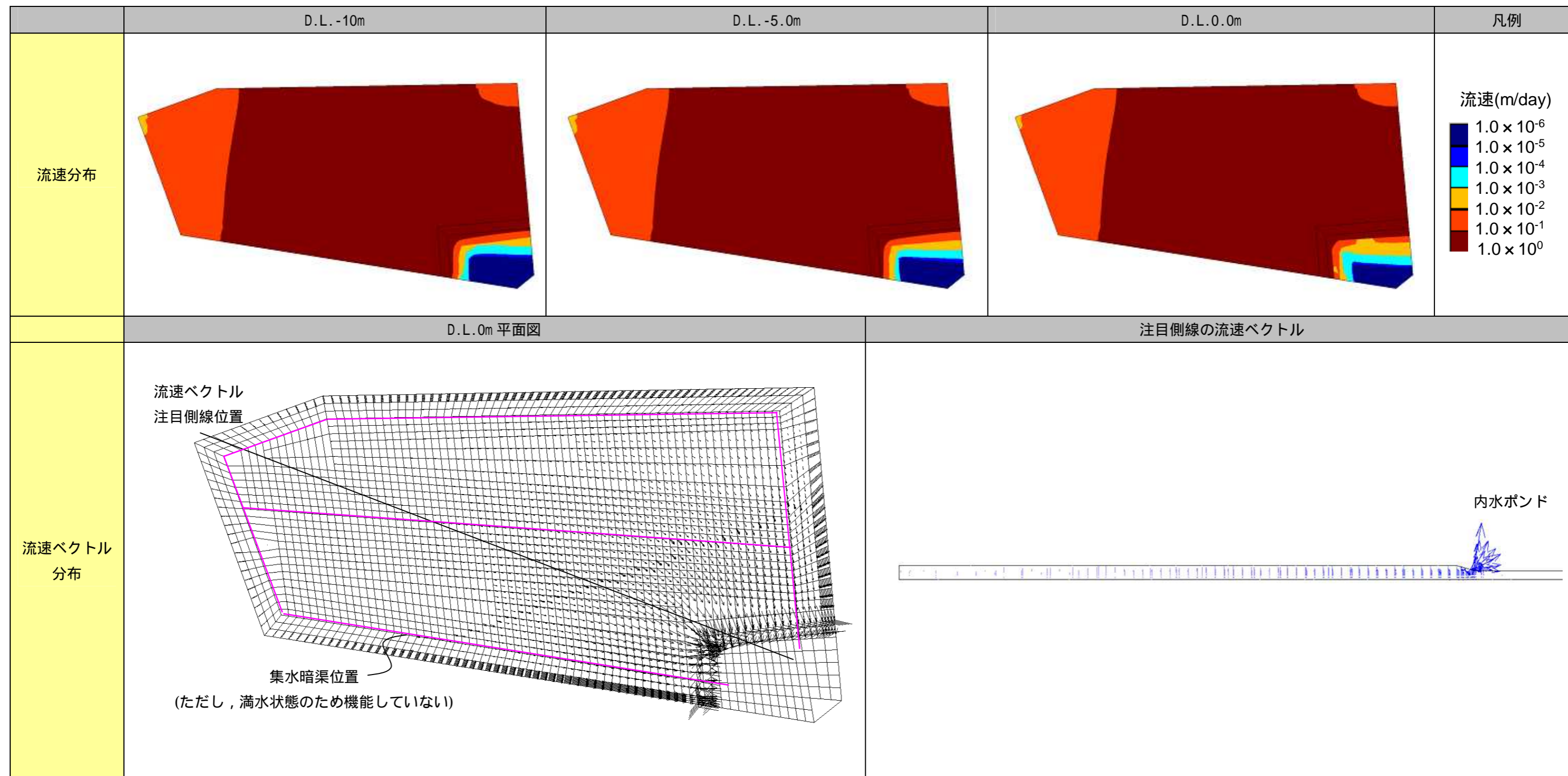


図 4.3.18 浸透流解析結果 (ケース 3 : 均質モデル(透水係数 $=1.0 \times 10^{-4}$ m/s) , 内水ポンド水位=D.L.1.0m)

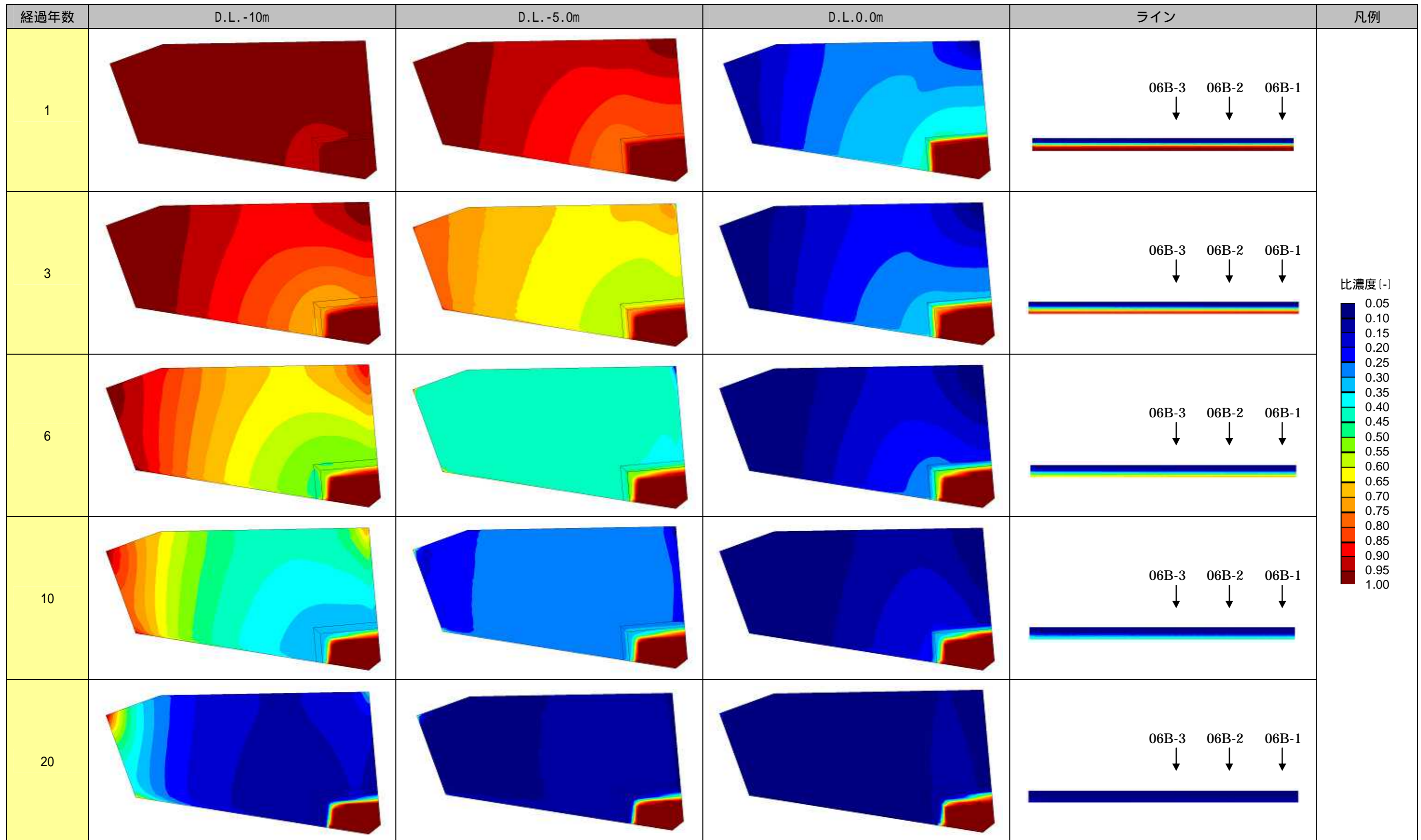


図 4.3.19 濃度分布(ケース 3 : 均質モデル(透水係数=1.0×10⁻⁴m/s), 内水ポンド水位=D.L.1.0m)

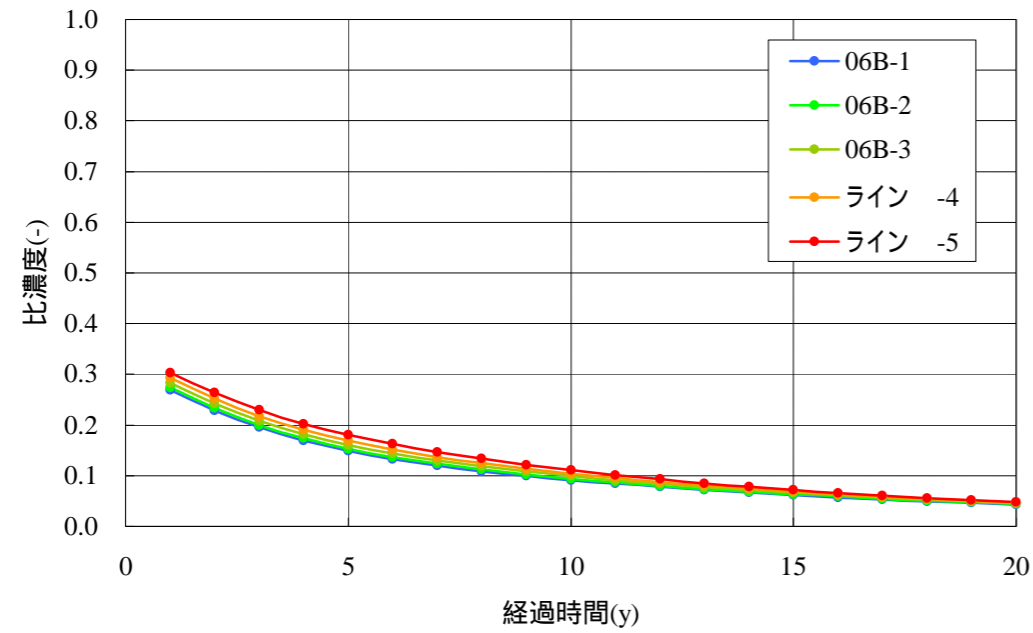


図 4.3.20 ライン 側線上の注目位置における濃度変化 (ケース 3)

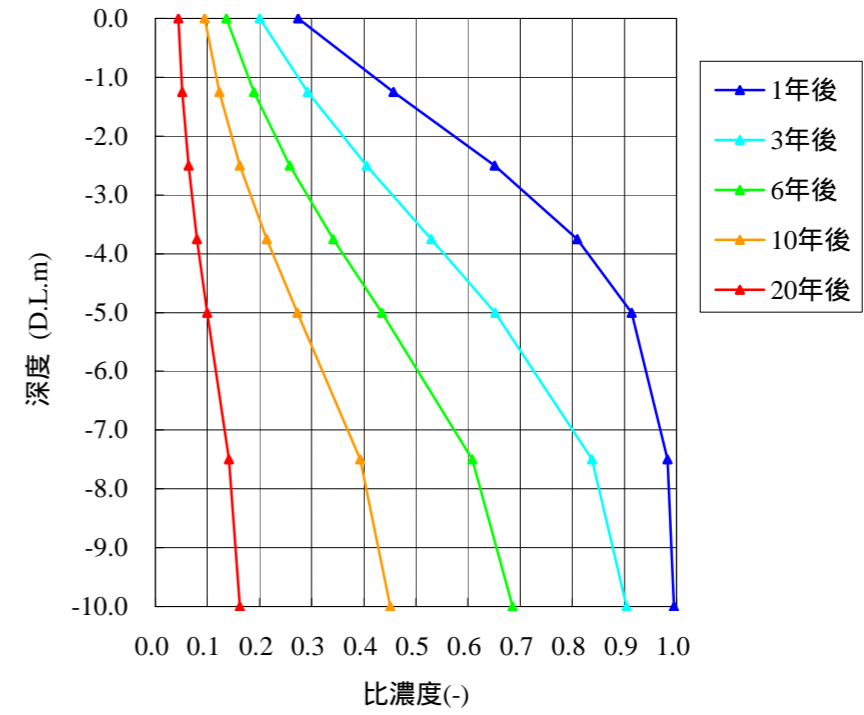


図 4.3.22 06B-2 深度方向の濃度プロファイル (ケース 3)

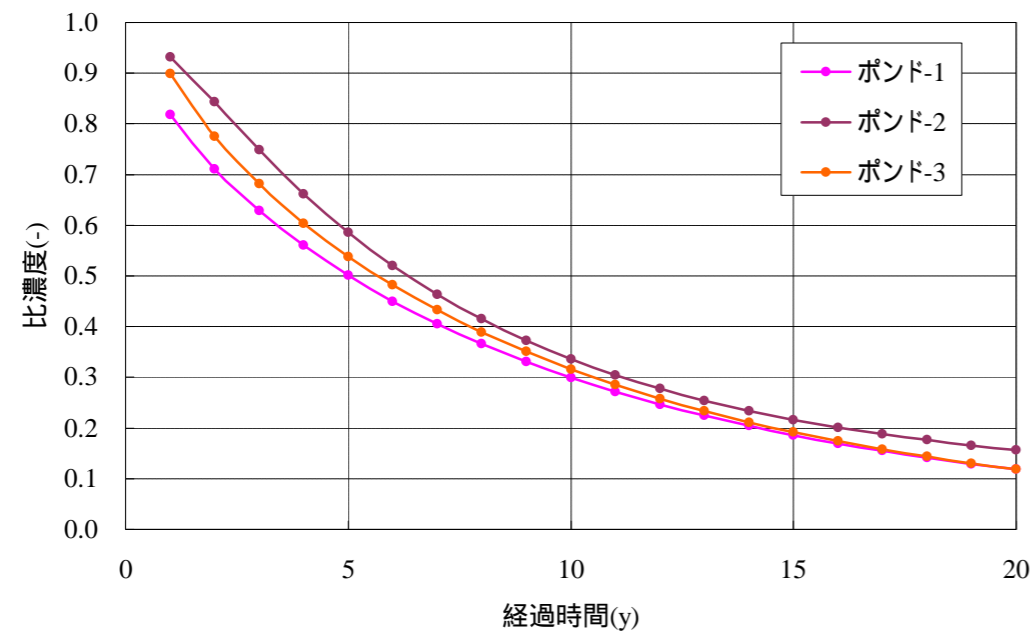


図 4.3.21 内水ポンド注目位置における濃度変化 (ケース 3)

表 4.3.4 内水ポンドへの流出流量 (ケース 3)

内水ポンド	
流出流量	1,920 L/min(全体)、58.3 L/min(平均)

* 平均流出量(内水ポンド)=全体流出量/内水ポンドを構成する節点総数(=33)

注目位置における比濃度の推移比較

これまでに示したケース1～3について、内水ポンド境界上の注目位置における比濃度の推移を比較した。

ケース1とケース3を比較すると、解析期間の20年間にわたってケース1の方が比濃度は低いレベルで推移している。ケース1の方が経過時間初期（経過時間0～10年）の比濃度の減少傾向が強く、比濃度が0.2となる時間を例に挙げると、注目位置1では、ケース3では16年を要するが、ケース1では約9年で0.2に達する。他の注目位置においても同様の結果となっている。この現象は、排水暗渠の機能の有無が集排水設備出口における保有水等の水質の比濃度に及ぼす効果を示しており、保有水等の水質を廃止基準と照合する場合、排水暗渠を機能させた方がより早く廃止基準に適合する可能性を示唆している。（最終的に排水暗渠からの排水濃度及び排水量を考慮した全体として判断する必要がある。）

ケース1と2を比較すると、経過時間初期（経過時間0～5年）の比濃度の減少傾向はケース2の方が強く現れている。埋立物の透水係数が異なる分布を示す場合、条件によっては、より早く排水基準に適合する可能性があることが示された。（ケース1と3の比較と同様、最終的に排水暗渠からの排水濃度及び排水量を考慮した全体として判断する必要がある。）

ここでは、集排水設備出口における比濃度のみに着目しており、処分場内部の汚濁成分残存率については考察していない点に留意する必要がある。

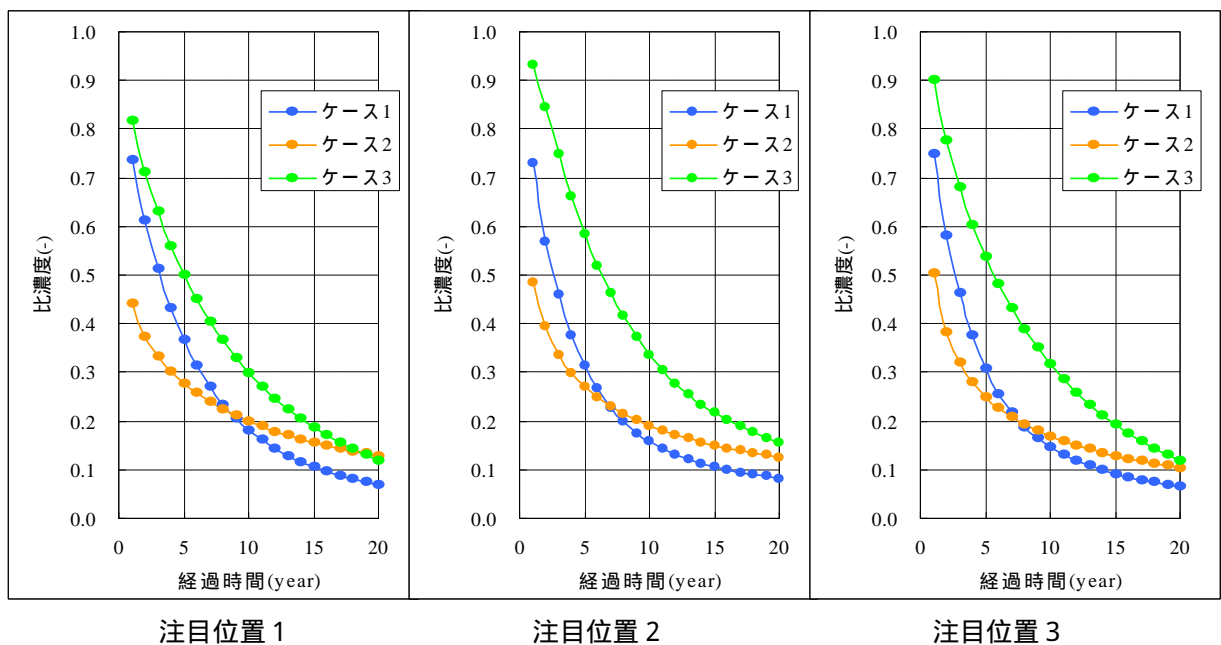


図 4.3.23 内水ポンド注目位置における比濃度比較

尼崎沖処分場を対象とした3次元保有水水質挙動解析のまとめ

本章では尼崎沖処分場を対象として、地質構造および排水暗渠、内水ポンドの配置を解析モデルに考慮した3次元保有水水質挙動解析を実施した。解析条件は、均質地盤ケース、不均質地盤ケース、内水ポンドのみが保有水の流出に寄与する特殊ケースとした。以下に、これらの解析結果から得られた傾向および知見を整理する。

- ・ 均質地盤ケースは、浄化が平面的に深度方向へ進行する様子を示した。これは、領域全体に排水暗渠が機能しているためである。また、流速分布は深度に一様に分布しているため、領域下方の浄化も時間の経過とともに進行している。廃棄物層の透水係数が本ケースの設定値よりも小さくなった場合でも、廃棄物層が均質地盤と見なされる場合、浄化速度に影響が出るものの、領域下方への降雨浸透が影響するため、保有水濃度の浄化は、進行する傾向を示すと考えられる。
- ・ 不均質地盤ケースは、均質地盤ケースと同様に、浄化が面的に深度方向に進行する傾向を示しているが、領域下方の難透水部の浄化がほとんど進行しない。これは、領域下方に降雨浸透の影響が及ばず、流速が小さくなっていることが原因と考えられる。しかし、排水暗渠および内水ポンドへの流出濃度は他の2ケースと比較して、最も低いことから、全量浄化に対して長期化が予想されるものの、水処理施設への負荷は最も小さい結果が示された。
- ・ 特殊ケースは、内水ポンドからの距離に比例し濃度分布が変化する傾向となっている。保有水の流出先が内水ポンドのみであるため、内水ポンドへの流出濃度が、排水暗渠設置ケースよりも高く、内水ポンドの水質が長期に渡って高濃度となり、水処理施設への負荷が大きくなることが懸念される。また、内水ポンドから遠方に位置する箇所の水位が高くなることが想定され、尼崎沖処分場のような広大な面積を持つ処分場においては、計画水位上昇高さを維持・管理するために必要な対策工（降雨浸透の抑制）の検討が別途発生する可能性があると考えられる。
- ・ 3ケースの比較により、排水暗渠の機能が集排水設備出口における保有水等の水質に影響を与えることが示され、埋立物の透水性や保有水の初期水質等の条件により、廃止基準への早期適合に排水暗渠が有効であることが示された。

< 参 考 > 保有水等水質測定結果との照査の試み

尼崎沖処分場は、1990年1月から埋立てを開始し、2002年3月に廃棄物の受入れを完了した。したがって、埋立て完了時から現在までの経過時間はおよそ6年である。

2008年1月および2月に実施した原位置の汚染物質濃度測定結果から、深度依存性を示している特徴的な測定結果を選定し、解析結果との比較を試みる。ここで、図4.3.24に深度依存性を示した全リン、フッ素、ホウ素の測定結果を示す。

ここで照査に取り上げたリンは、微生物の作用等によりその様態が変化しやすく、嫌気条件下で溶出が促進されるなど、その濃度分布が必ずしも希釈効果の寄与が大きいとはいえず、また、フッ素、ホウ素についても、その反応性が環境条件により異なるため、実際には、解析に用いた非吸着・非分解性とは異なる一面を有するものの、観測濃度との比較の試みとして、深度依存性が認められた実測値と解析結果を比較することとした。また、尼崎沖処分場の排水システムについても、廃棄物受け入れ完了から現在までの排水暗渠流末部における揚水状況など、稼働状況を忠実に解析モデルに反映させた上での比較ではないため、比較精度が必ずしも、予測モデルの善し悪しの評価に直結するものではない。

2008年2月の観測結果に対し、G.L.-10m位置における観測濃度を1.0として比濃度換算（正規化）し、実施した解析ケース1～ケース3の06B-2位置における深度方向の濃度分布との比較を行った。図4.3.25～図4.3.27に各ケースの観測結果と解析結果の比較を示す。

以下に各ケースの比較状況を整理する。

ケース1（均質地盤モデル）は、各観測結果が6年後の解析結果の濃度プロファイルと良好一致を示している。6年後は上記したように、廃棄物の受入れを完了してから、現在までの経過時間と対応しており、解析結果は観測の経年変化を捉えている。

ケース2（不均質地盤モデル）は、解析結果が観測結果に対して高濃度になっている。D.L.-4.0m以浅の濃度分布は解析結果の方が、観測結果に対して非常に高濃度となっていることから、現段階では予測モデルとして、解析モデルケース1の方が、精度が高いと考えられる。ただし、観測がD.L.-4.0m～D.L.-10m間で行われていないため、領域下方における評価は本検討結果のみで判断することは難しい。

ケース3（排水暗渠が機能しない均質地盤モデル）の解析結果は、経年変化において、深度依存性が小さく現れる結果となっている。図4.3.24に示した各物質の濃度プロファイルとの比較精度はケース1の方が良い結果であった。しかし、観測物質のなかでは、深度依存性を示していない物質もあることから、予測モデルとして、解析モデルケース3の評価の善し悪しを判断することは難しい。

予測モデルとしての精度を確認、向上させるためには、処分場の排水暗渠と内水ポンドの稼働状況を整理し、より正確に解析モデルの境界条件へ反映させること、処分場内の地下水化学的特性と汚染物質との吸着・分解特性を整理し、解析モデルへ反映させることが、今後、必要となってくると考えられる。

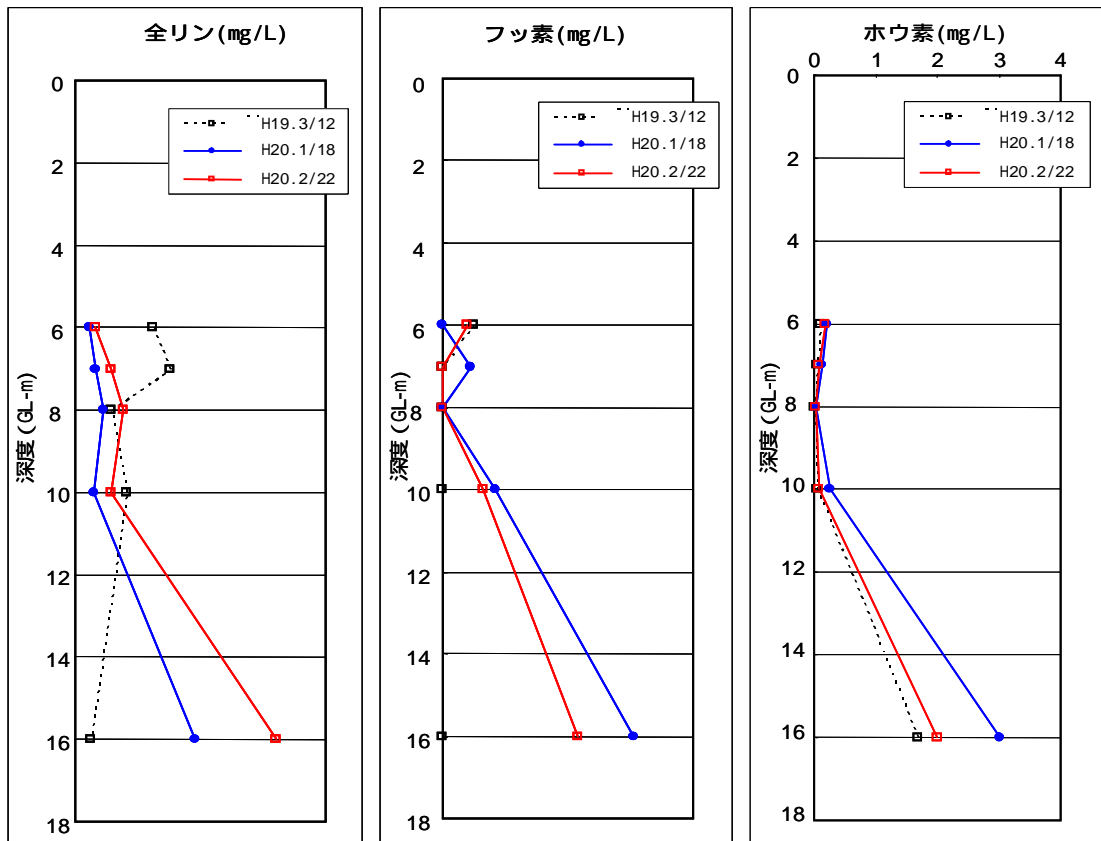


図 4.3.24 観測結果例 (2007 年, 2008 年実施)

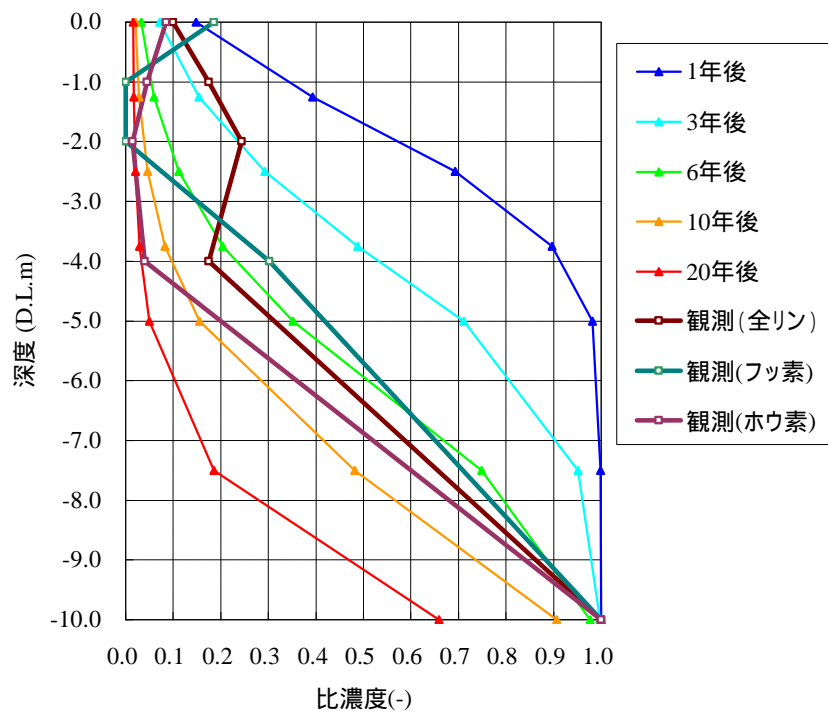


図 4.3.25 観測結果と解析結果 (ケース 1) の比較

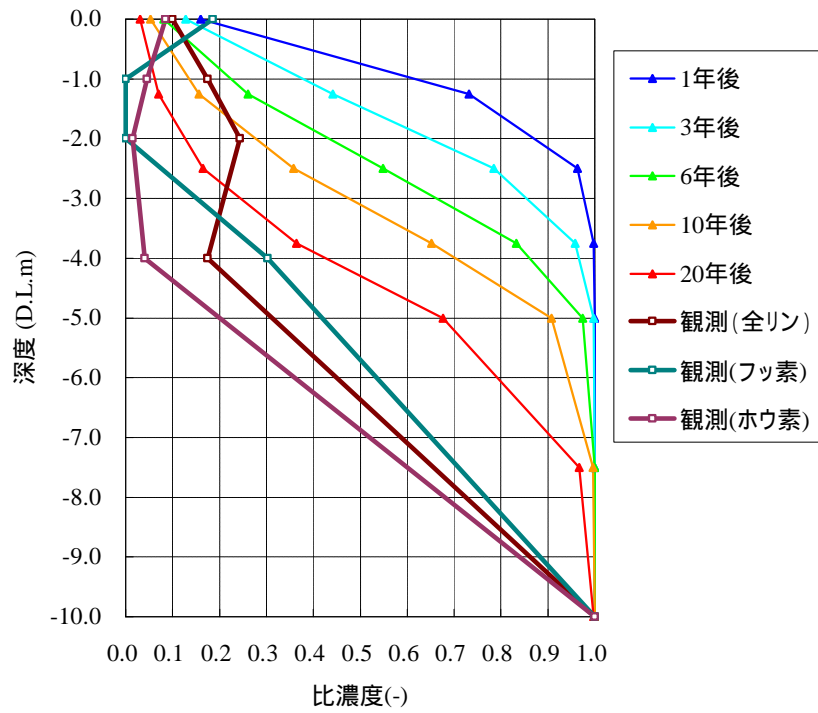


図 4.3.26 観測結果と解析結果 (ケース 2) の比較

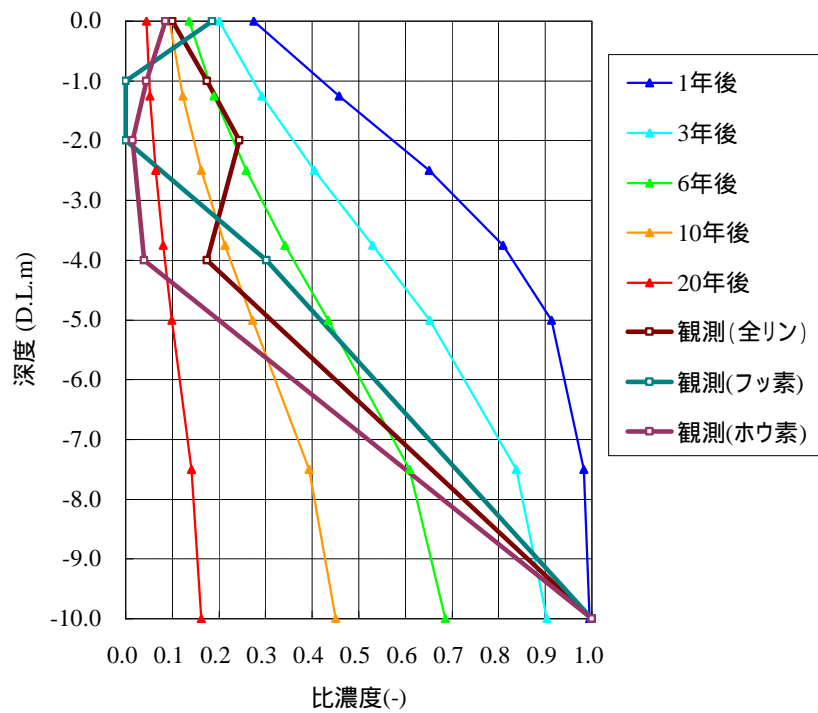


図 4.3.27 観測結果と解析結果 (ケース 3) の比較