

遮水壁の効果について

平成14年度、不法投棄地からの有害物質の汚染拡散防止対策工として遮水壁を不法投棄地全周に設置した。遮水壁は、幅広薄鋼板併用のソイルセメント地中連続壁で、総延長316m、深度17～25.5m、囲い込み面積3,813m²である。

ここでは、不法投棄地とその周辺の地盤モデルを作成し、その地盤モデルに遮水壁を組み込んで汚染拡散シミュレーションを行い、遮水壁の汚染拡散防止効果について評価する。

1. 汚染拡散シミュレーション

汚染拡散シミュレーションは、飽和・不飽和浸透流及び移流・拡散問題を対象とした解析コード Dtransu3D-EL を用いた。

(1) 解析モデル

当該地における地質構造は、地質調査の結果、盛土層 (B)、礫質土層 (tDg、Dg)、砂質土層 (Ds)、粘性土層 (tDc、Dc)、底面遮水層 (Tc) に分類され、解析モデルは推定地質モデルをもとに、不法投棄地とその周辺地盤をモデル化した3次元地盤モデルを作成した。

解析領域は不法投棄地と北東部の河川 (嘉例川)、南部の道路を含んだ領域とし、近傍の農業集落排水施設の地下構造物 (GL 約-6.5m) もモデルに組み込んだ。節点総数は96,048、要素総数は95,235である (図2.1)。

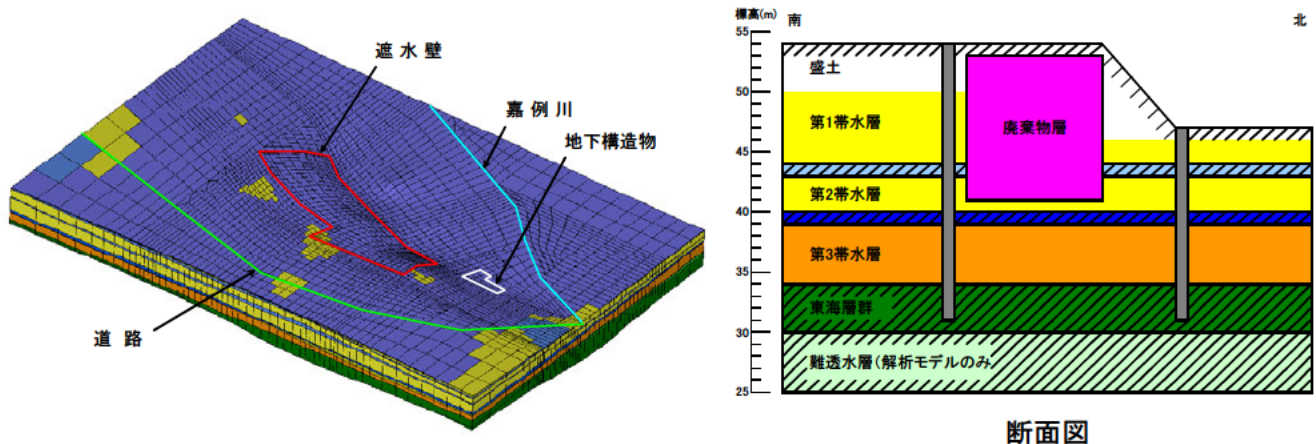


図 2.1 解析地盤モデル

(2) 解析パラメータと水理境界条件

透水係数は、礫質土層 (tDg、Dg)、粘性土層 (tDc、Dc)、底面遮水層 (Tc)、廃棄物層 (W) については実測値の平均値、盛土、砂質土層は一般的な値、遮水壁は設計値 (1×10^{-7} cm/s) とし、有効間隙率と比貯留係数については一般的な値とした (表 2.1)。

また、汚染拡散シミュレーションに用いる対象物質は VOC (ジクロロメタン) と 1,4-ジオキサンとした。ジクロロメタンは、不法投棄発覚時に最高濃度と環境基準との比が最も高かった VOC である。拡散パラメータは、縦分散長 10m、横分散長 1m とし¹⁾、遅延係数と減衰定数は、VOC が 1.142 と 6.8×10^{-3} 1/日²⁾、1,4-ジオキサンが 1.0 と 0 とした (表 2.2)。

表 2.1 透水係数等

地層名	層相	記号	透水係数 Ks(cm/sec)	有効間隙率 η (-)	比貯留係数 Ss(1/m)	備考
	盛土	B	1.0E-03	0.20	1.0E-05	盛土
段丘堆積層	礫質土層	tDg1	4.7E-03	0.20	1.0E-06	第1帯水層
	粘性土層	tDc1	2.7E-07	0.10	1.0E-04	
	礫質土層	tDg2	4.7E-03	0.20	1.0E-06	第2帯水層
	粘性土層	tDc2	2.7E-07	0.10	1.0E-04	
	礫質土層	tDg3	1.1E-02	0.20	1.0E-06	
洪積層 力尾累層	粘性土層	Dc	7.2E-08	0.10	1.0E-04	難透水層
	砂質土層	Ds	1.0E-03	0.20	1.0E-05	第3帯水層
	礫質土層	Dg	6.3E-03	0.20	1.0E-06	
東海層群 大泉壘層	粘性土層	Tc1	3.4E-07	0.10	1.0E-04	Tc層
	砂質土層	Ts	3.1E-02	0.20	1.0E-05	Ts層
	粘性土層	Tc2	3.4E-07	0.10	1.0E-04	Tc層
遮水壁	遮水壁	Wall	1.0E-07	0.10	1.0E-07	遮水壁
廃棄物層	廃棄物層	Waste	1.0E-05	0.20	1.0E-04	廃棄物層

表 2.2 拡散パラメータ

地層名	層相	記号	縦分散長 αL (m)	横分散長 αT (m)	分子拡散係数 αm (m ² /sec)	屈曲率 τ (-)
	盛土	B	10.0	1.0	0.0	1.0
段丘堆積層	礫質土層	tDg1	10.0	1.0	0.0	1.0
	粘性土層	tDc1	10.0	1.0	0.0	1.0
	礫質土層	tDg2	10.0	1.0	0.0	1.0
	粘性土層	tDc2	10.0	1.0	0.0	1.0
	礫質土層	tDg3	10.0	1.0	0.0	1.0
洪積層 力尾累層	粘性土層	Dc	10.0	1.0	0.0	1.0
	砂質土層	Ds	10.0	1.0	0.0	1.0
	礫質土層	Dg	10.0	1.0	0.0	1.0
東海層群 大泉壘層	粘性土層	Tc1	10.0	1.0	0.0	1.0
	砂質土層	Ts	10.0	1.0	0.0	1.0
	粘性土層	Tc2	10.0	1.0	0.0	1.0
遮水壁	遮水壁	Wall	0.1	0.1	0.0	1.0
廃棄物層	廃棄物層	Waste	10.0	1.0	0.0	1.0

物質	遅延係数 Rd	減衰定数 λ (1/日)
VOC (ジクロロメタン)	1.142 ※	6.8×10^{-3} ※
1,4-ジオキサン	1.0	0.0

※：設定根拠は参考資料-3を参照

1)廃棄物研究財団：廃棄物の適正処理及びリサイクルに関する研究総合報告書、2000

2)KANSO：土壌・地下水汚染リスク評価のための情報統合化に関する検討委託(第3次)報告書、2006 参考資料-3

また、境界条件については、流入境界、流出境界及び河川部分は地下水位一定条件とし、その他については、水の流出入がない不透水境界とした。水位条件は第 1 帯水層の地下水位コンターを参考に南西部の水位を一定とし、その後の水位差を均等に与えることにより観測水位と整合をとるように設定した (図 2.2)。

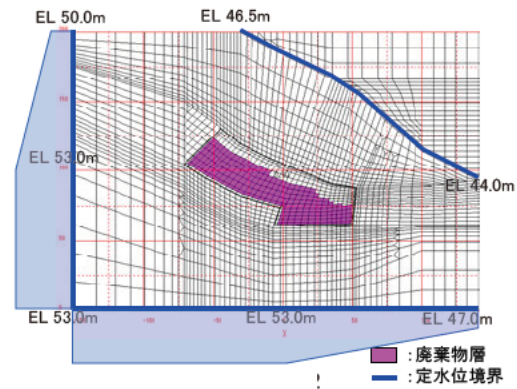


図 2.2 水理境界条件

(3) 解析モデルの検証

地下水流解析は定常解析とする。構築した地層モデルを用いて解析した地下水位は、観測井戸の水位とほとんど変わらず、また、解析による第 2 帯水層と第 3 帯水層における 1,4-ジオキサン濃度分布の範囲は、実測濃度分布の範囲と概ね一致する結果となっていた。従って、解析モデルの妥当性が評価される。

2. VOC における遮水壁の効果

遮水壁外において環境基準を超過したジクロロメタンとベンゼンについて、遮水壁外全観測井戸における年平均濃度の経年変化を図 2.3 に示す。遮水壁設置後（平成 15 年以降）のジクロロメタンとベンゼンの年平均濃度は、遮水壁設置前（平成 14 年）と比べて低下しており、ジクロロメタンは環境基準以下となっている。ベンゼン濃度はその後徐々に低下し、揚水浄化が開始された平成 18 年以降環境基準以下となっている。

また、不法投棄発覚時、VOC として最高濃度で環境基準との比が最も高かったジクロロメタンにおける汚染拡散シミュレーションの解析結果では、ジクロロメタン濃度分布は、遮水壁設置前において第 1 と第 2 帯水層とも地下水流によって不法投棄地から北側（嘉例川方向）に向かって大きく拡散している。しかし、遮水壁設置後では遮水壁の透水係数が $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ と外部に多少流れ出す条件が与えられているにも関わらず、拡散した汚染範囲は縮小し、ほぼ遮水壁内に留まった結果となっている（第 3 帯水層へは拡散していない）（図 2.4）。このように VOC が遮水壁内に留まった結果となっている要因としては、遮水壁による汚染拡散防止効果に加えて、VOC が地盤中の間隙を移動する際に土壤に吸着して地下水の移動速度に比較して遅れる性質（ジクロロメタンの遅延係数 R_d は 1.142）や地盤中の土着菌等により自然分解や化学的分解により濃度が減少する性質を有しているからである（減衰定数は $6.8 \times 10^{-3} / \text{日}$ ）。

以上の結果より、遮水壁の設置によって不法投棄地内のジクロロメタンは遮水壁内に留まり、遮水壁設置前に不法投棄地から漏出したジクロロメタンは濃度が低下することが実測データと解析結果からも明らかとなり、遮水壁は VOC の汚染拡散防止工として一定の効果があることが確認された。

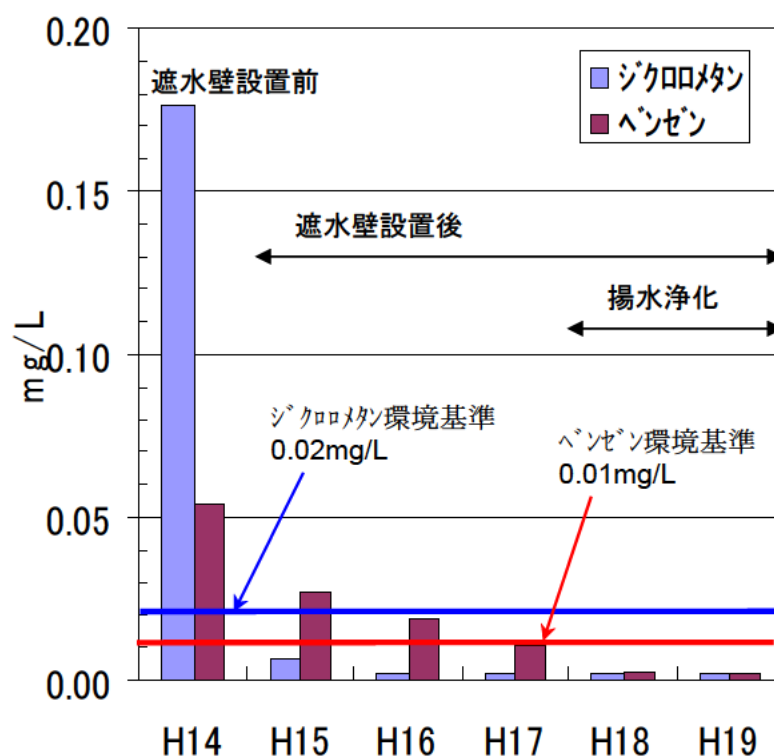
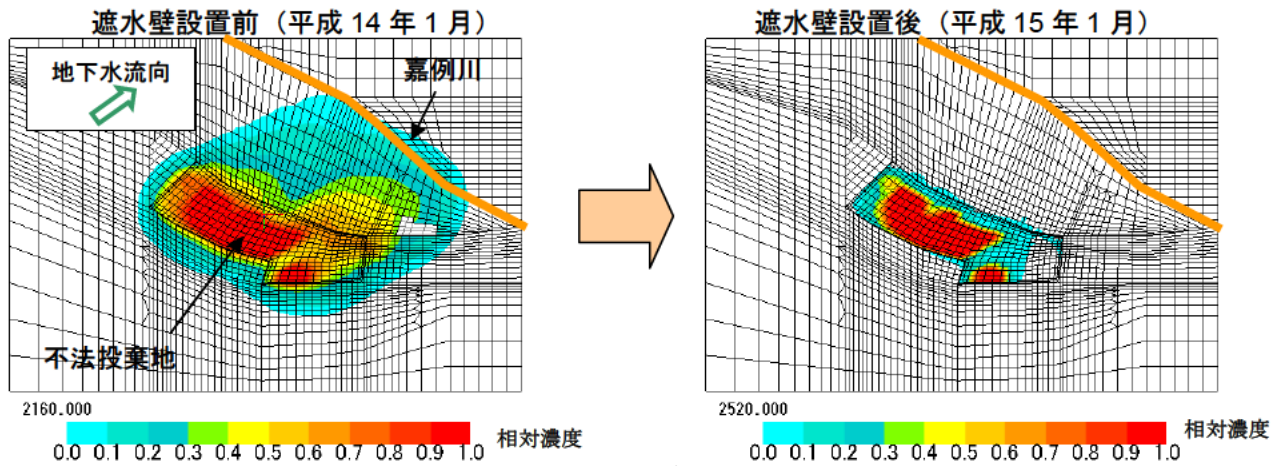
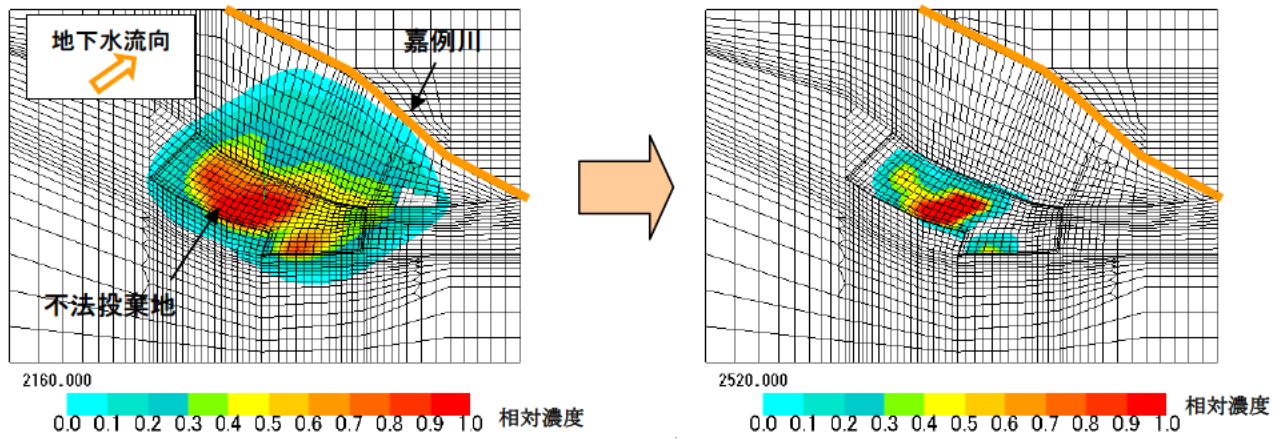


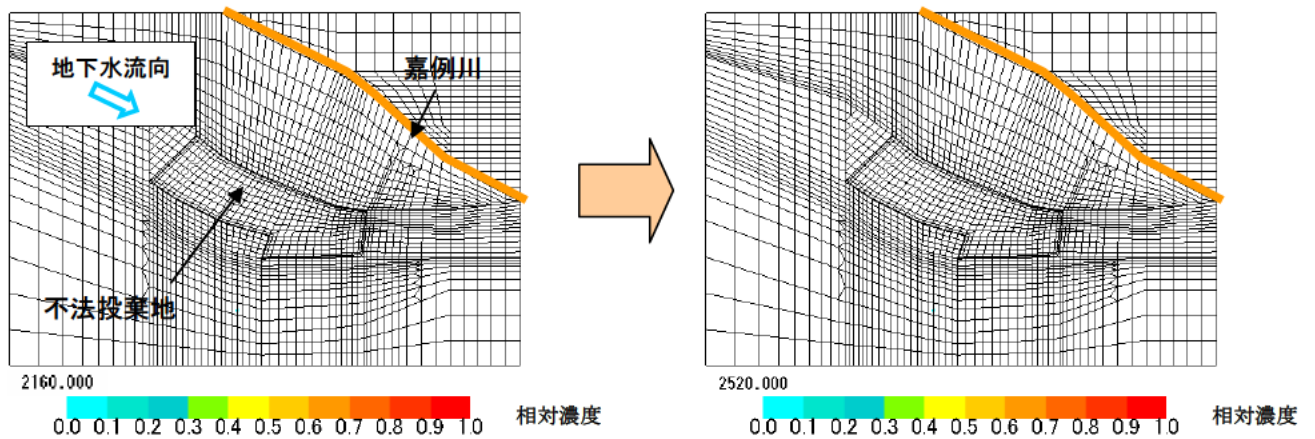
図 2.3 遮水壁外における全井戸のジクロロメタンとベンゼンの年平均濃度



(a) 第 1 帯水層 (EL45m)



(b) 第 2 帯水層 (EL42m)



(c) 第 3 帯水層 (EL36m)

解析条件：分散長 $A_l=10\text{m}$, $A_t=1.0\text{m}$, 遅延係数 $R_d=1.142$ 、減衰定数 $6.8 \times 10^{-3} \text{ 1/日}$

図 2.4 遮水壁設置前と設置後の VOC(ジクロロメタン)濃度分布 (比濃度)

3. 1,4-ジオキサンにおける遮水壁の効果

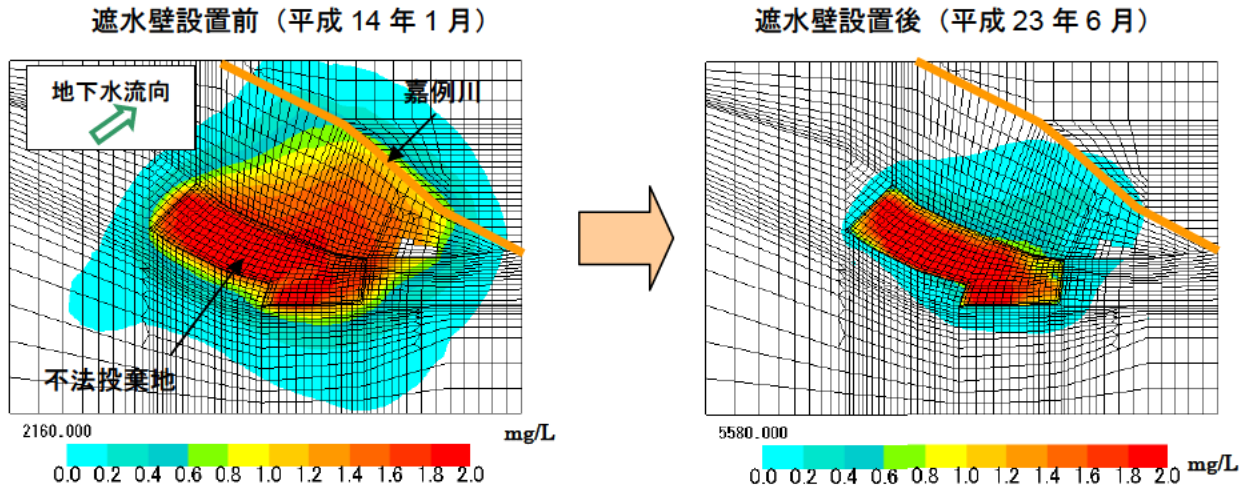
汚染拡散シミュレーションの結果では、1,4-ジオキサンの濃度分布は、遮水壁設置前（平成 14 年 1 月）、第 1～第 3 帯水層とも、地下水流れの影響によって不法投棄地から北側の嘉例川を超えた付近まで大きく拡散しており、その拡散範囲は、遮水壁設置 9 年後（平成 23 年 6 月）の現時点においても嘉例川付近まで広がっている。遮水壁設置までの拡散範囲と比べると小さくなっているため遮水壁の効果が表れたものとなっている(図 2.5)。

しかし、**現時点における 1,4-ジオキサンの拡散範囲はかなり広範囲となっており、ジクロロメタンの遮水壁設置後の遮水壁内に留まった拡散範囲と比較すると、遮水壁による 1,4-ジオキサンの汚染拡散防止効果はジクロロメタンと比較して小さく、将来的にも拡散範囲は現状とほとんど変化しない。**なお、実測データにおいても **1,4-ジオキサンは第 2 帯水層では拡散シミュレーションと同様に嘉例川付近まで拡散しており、第 3 帯水層では不法投棄地南側及び東側に広く拡散している。**

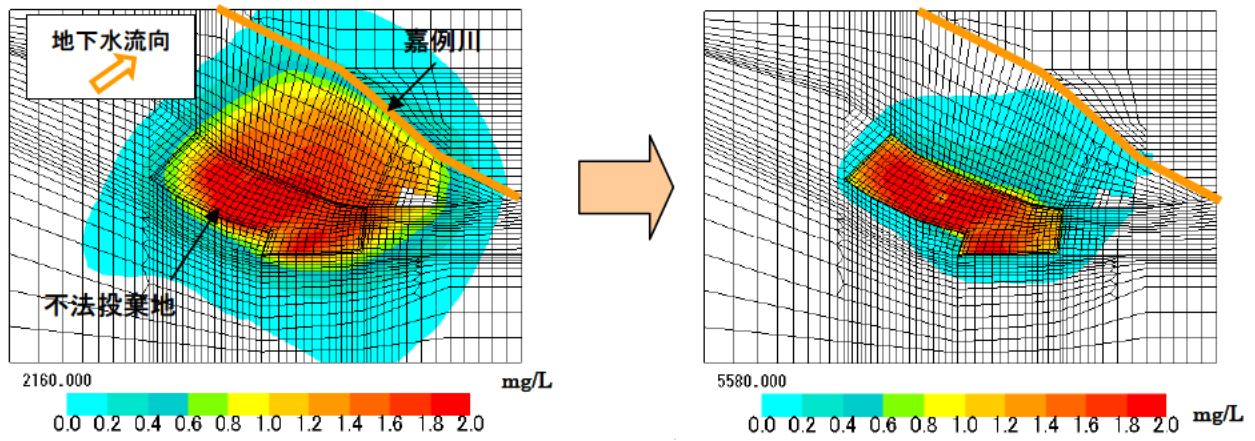
遮水壁設置後においても 1,4-ジオキサンがジクロロメタンに比べて広範囲に拡散している要因は、土壌への吸着性がほとんどなく (1,4-ジオキサンの遅延係数 R_d は 1.0、ジクロロメタンは 1.142)、ジクロロメタンのように土着菌により分解されず (1,4-ジオキサンの減衰定数は 0、ジクロロメタンは 6.8×10^{-3} /日)、水に近い挙動を示すことから地下水と同様の動きをする。に広がる性質をもつからである (解析では、1,4 ジオキサンの遅延係数 R_d は 1.0、減衰定数は 0 で、ジクロロメタンは 1.142 と 6.8×10^{-3} 1/日とした)。

従って、1,4-ジオキサンにおける支障除去対策工を検討する上では、遮水壁による汚染拡散防止効果がジクロロメタンより小さいことを考慮して対策工を検討する必要がある。

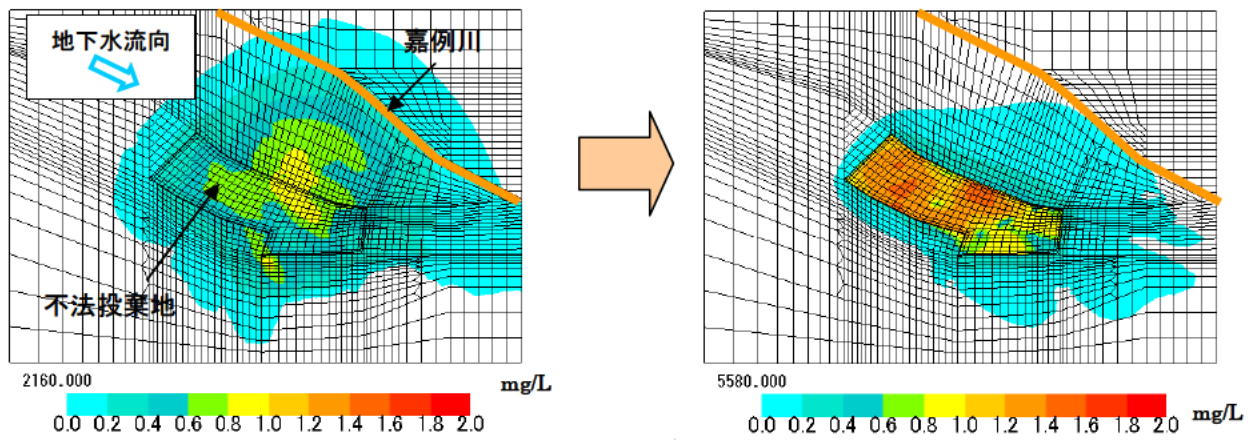
なお、緊急対策においては遮水壁による汚染拡散防止効果は低いことを前提に地下水位の管理を行うことにしている。



(a) 第1帯水層 (EL45m)



(b) 第2帯水層 (EL42m)



(c) 第3帯水層 (EL36m)

解析条件：分散長 $A_l=10\text{m}$, $A_t=1.0\text{m}$, 遅延係数 $R_d=1.0$ 、最大濃度 2.0mg/L

図 2.5 遮水壁設置前と設置後の 1,4-ジオキサン濃度分布 (最小濃度 0.05mg/L)