

地下水循環による浄化技術の実現性に関する解析検討

鹿島建設(株) 正会員 ○伊藤圭二郎 酒井 学 河合達司

1. はじめに

土壌・地下水の汚染は、2003年の土壌汚染対策法の施行を契機として各種技術が実用化され浄化実績を積みつつある。しかしながら、2017年4月のクロロエチレンの指定物質への追加などにより、より広範囲の地下水汚染が顕在化する可能性もある。こうした背景から筆者らは、広域の地下水汚染に対して低コスト、かつ浄化確実性を高めるには、水溶性の浄化剤を効率的に汚染範囲に浸透させることが有効と考え、地下水循環による浄化技術を考案した。本報告では、嫌気性バイオスティミュレーションを例に、その技術の実現性を解析検討したので報告する。

2. 地下水循環の概要

地下水循環技術の概要を図-1に示す。本手法は、上部ストレーナーと下部ストレーナーを遮水材により遮断した井戸を設置し、ポンプにより下部の地下水を上部へ送り、隣接する井戸ではその逆方向に上部の地下水を下部に送ることで、井戸間で地下水を循環させようとするものである。このように、井戸間で地下水循環を生じさせつつ、嫌気バイオ

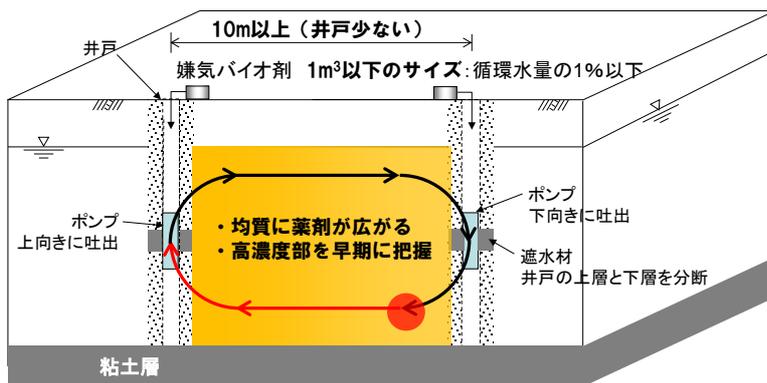


図-1 地下水循環技術の概要

剤を循環井戸から少量ずつ循環地下水に添加すれば、井戸本数の削減や注入設備の簡素化によるコスト削減、また薬剤を均質に浸透させることができ、浄化品質も向上させることができると考えられる。

3. 解析方法とモデル

解析では、地下水循環および嫌気バイオ剤の移流分散分解が評価できるように、汎用シミュレーションソフト MODFLOW の MT3DMS を使用した。MT3DMS の支配方程式のうち本解析に使用したものを式(1)に示す。嫌気バイオ剤の濃度 C の変化を、地下水実流速 v_i による移流 (右辺第2項)、主に流速のばらつきを示す分散テンソル D_{ij} による分散 (右辺第1項)、バイオ剤の一次反応定数 λ による分解 (右辺第3項)、土への線形吸着による遅延係数 R_d を考慮している。

$$R_d \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i C) - \lambda C \quad \text{式 (1)}$$

解析モデルの平面と断面を図-2に示す。循環井戸は平面的に10m間隔の正方形配置を想定し、循環井戸相互の影響を評価するため9本とした。また、帯水層は5mの被圧帯水層を想定し、井戸中央の2~3mを遮水部、その上下を吐出側と吸込み側とし、隣接する井戸では吐出側と吸込み側を逆に設定した。

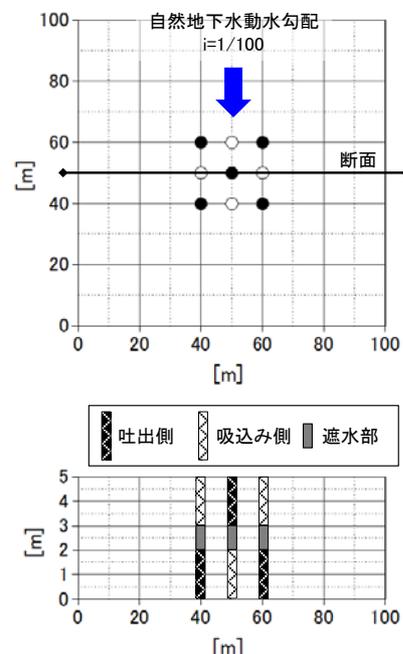


図-2 解析モデル

(上: 平面、下: 断面)

解析条件を表-1に示す。透水係数や循環井戸での流量は、一般的な帯水層を想定して設定した。鉛直方向の

キーワード 地下水, 循環, 解析, 嫌気, バイオ, 浄化

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 岩盤・地下水グループ TEL 042-489-6580

透水係数については、水平方向との比を 1/10, 1/3, 1 の 3 ケースで検討した。嫌気バイオ剤（有機物）の分解定数は、使用する薬剤により大きく異なるが、ここでは短期的な浄化を想定し、比較的容易に分解する性質の薬剤として 1 ヶ月で 1/10 程度に分解する値で設定した。その

他の条件については既往の文献等を参考に設定した¹⁾。

4. 解析結果

4.1 CASE1 の結果

CASE1 で井戸底から 1.5 m, 2.5 m, 3.5 m の 8 日後と 16 日後の平面嫌気バイオ剤濃度分布を **図-3** に示す。解析結果から一定期間

の地下水の循環により、平面形状は異なるもののどの深度でも薬剤が浸透して、対象とする井戸設置範囲内に薬剤が浸透する結果となっている。また、8 日後と 16 日後では大きな違いはなく、10 m ピッチの循環井戸間隔では 8 日間程度の循環により十分に薬剤が均質に浸透する結果となっている。

4.2 水平鉛直透水係数比による影響

水平鉛直透水係数比を 1/3 とした CASE2 と、1 とした CASE3 の 8 日後の解析結果をそれぞれ **図-4** と **図-5** に示す。CASE2 では、水平鉛直透水係数比を 1/10 とした CASE1 の結果とほぼ同様であるが、CASE3 では井戸間で薬剤が浸透していない領域が顕著になってくる傾向にある。また、CASE3 の縦横比 1 だと井戸間ではなく井戸自体の循環になる傾向があり、吐出側と吸込み側の分布があまり変わらないことも特徴的である。この結果から、本技術について井戸間の地下水が循環するのに適した範囲は縦横比が 1/3 以下であると考えられる。

5. まとめ

10 m 以上の井戸ピッチで地下水を循環させる技術を開発することで、浄化技術の低コスト化と浄化確実性の向上を目指し、その実現性を確認するため解析検討した。その結果、本解析条件下では井戸ピッチ 10 m で水平鉛直透水係数比が 1/3~1/10 であれば、実現性がある結果が得られた。既往の報告でも、水平鉛直透水係数比は 1/10 程度という実測例もあり、一般的な地盤で適用可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 地盤工学会：土壌・地下水汚染の調査・予測・対策，2002。
- 2) 乾 一幸，小松洋之，石井 匠：実地盤における透水異方性調査方法について，全地連「技術フォーラム 2012」新潟，No.16。

表-1 解析での設定条件

項目	単位	設定値	
循環井戸での流量	[m ³ /day]	72	
水平方向透水係数	[m/s]	1 × 10 ⁻⁴	
水平鉛直透水係数比 (鉛直/水平)	[-]	CASE1	1/10
		CASE2	1/3
		CASE3	1
嫌気バイオ剤の分解定数	[day ⁻¹]	0.076	
嫌気バイオ剤の遅延係数	[-]	1.5	
間隙率	[-]	0.45	
有効間隙率	[-]	0.35	
縦分散長	[m]	1	
縦横分散長比 (横/縦)	[m]	1/25	

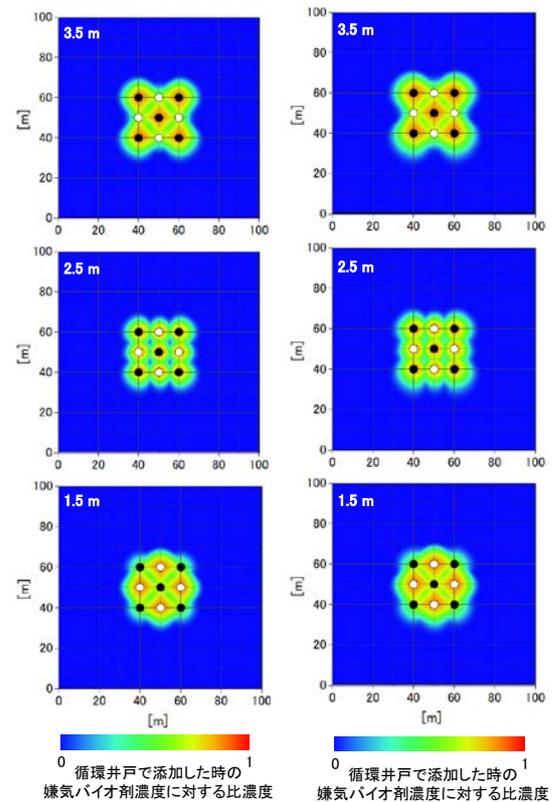


図-3 CASE1 で 8 日後 (左) と 16 日後 (右) の結果

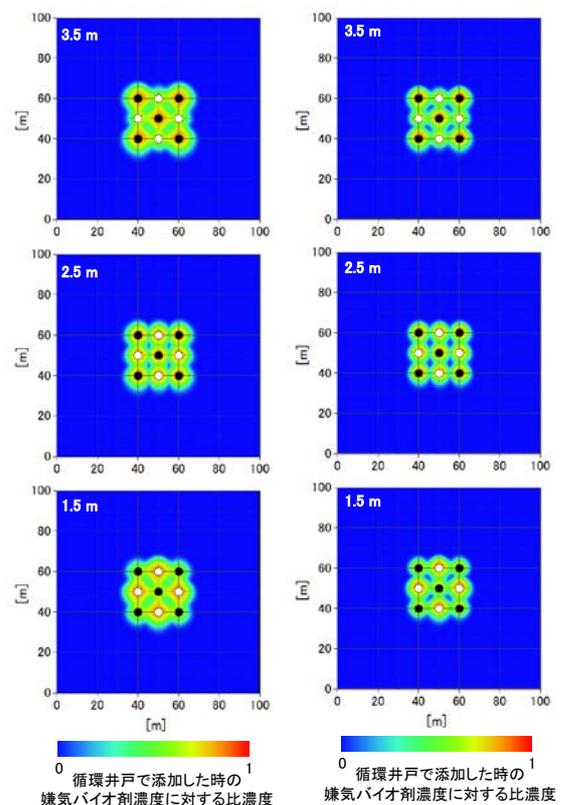


図-4 CASE2 で 8 日後の結果

図-5 CASE3 で 8 日後の結果