

(S4-23) 透過反応壁による複合地下水汚染対策について

○山野賢一¹・菊地達也¹

¹DOWA エコシステム株式会社

1. はじめに

地下水汚染の拡散防止対策の工法の一つとして透過反応壁（以下、PRB（Permeable Reactive Barrier））が知られている。この工法は対象物質を吸着または分解除去する資材（揮発性有機塩素化合物を対象にする場合は鉄粉等）を用いて地中に透過性を持つ壁を構築し、汚染地下水がこの壁を通過する過程で対象物質を除去することで浄化するものである。

今回、廃棄物の不法投棄現場から流出する重金属及び揮発性有機塩素化合物で汚染された地下水を、PRB によって拡散防止を行なったので、実施内容を事例として報告する。

2. 現地状況

2.1 汚染状況

国内の山間部の不法投棄現場において、建設系の産業廃棄物が 2 つのエリアに合計で推定約 29,800 m³ (A エリア約 17,600 m³, B エリア約 12,200 m³) で埋設されていた（本報告においてはエリア A への対策事例を取り上げる）。埋設廃棄物内で採取された地下水は廃棄物に起因して砒素、ふっ素、ほう素及び 1,2-ジクロロエタン（以下、1,2-DCA）が地下水基準を超過して確認され、最大濃度はそれぞれ 0.1 mg/L、1.2 mg/L、2.6 mg/L 及び 0.017 mg/L であった。対象地の状況を図-1 に示した。

現場の下流側に位置する公共水域（池）の水質は全て環境基準に適合しているものの、廃棄物層内の汚染地下水が拡散することによって、将来、公共水域に影響を及ぼすおそれが懸念された。

2.2 水文地質状況

対象地は図-1 に示すとおり山間地形である。

廃棄物層の下流側の対策位置（No.1）における地質は、地表から深度 4.7 m までは細砂を主体とし、玉石や粘土が混入する盛土であった。深度 4.7 ~ 5.5 m は風化花崗岩であり、下部ほど礫が主体となった。深度 5.5 m で花崗岩の軟岩に着岩し、深度 7.5 m までは連続してこの軟岩が確認された。

地下水位が深度 4.35 m で確認されたことから、帯水層は地下水位以下深度 5.5 m までと判断した。なお、帯水層区間の透水係数は現地透水試験の結果、 $3.25 \times 10^{-5} \sim 6.00 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ であった。また、地下水流向は地下水位分布及び地形分布より、南から北側であり、地下水流速は 0.075m/d と推察された。

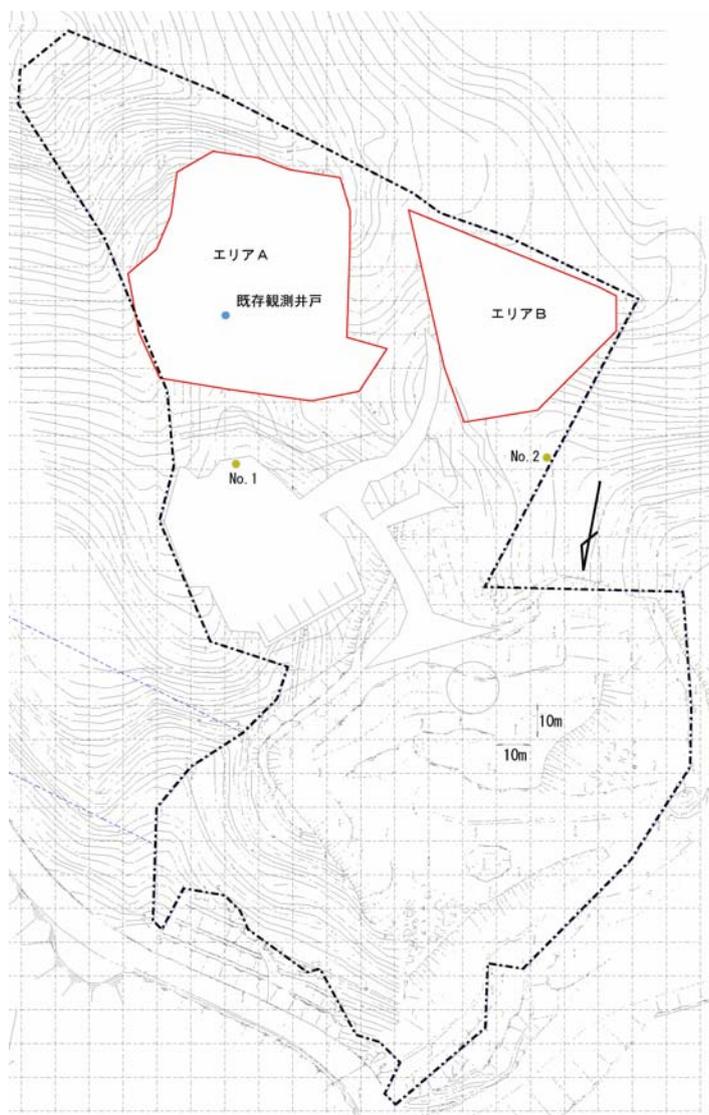


図-1 対象地の状況図

The case study of Permeable Reactive Barrier for VOCs and heavy metals contaminated groundwater

Kenichi Yamano¹, Tatsuya Kikuchi¹ (¹DOWA ECO-SYSTEM CO., LTD.)

連絡先：〒136-0071 東京都江東区亀戸 2 丁目 22 番 17 号 日本生命亀戸ビル 3 階

DOWA エコシステム株式会社 TEL 03-3683-5198 FAX 03-3683-5142 E-mail yamanok@dowa.co.jp

3. 対策技術選定

対策技術の選定にあたっては、将来の土地利用を考慮して、①地上構造物を残さないこと、②メンテナンスフリーであること、の2点を前提条件として検討した。その結果、PRBによる対策が最適と判断した。図-2にPRBの概念図を示す。

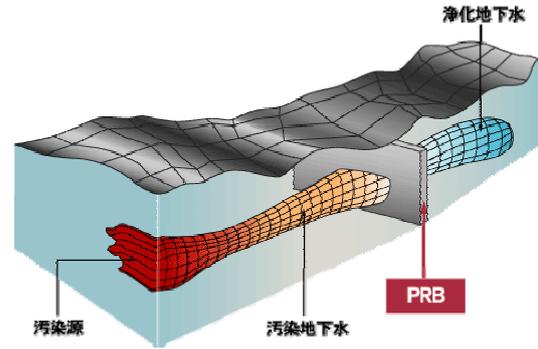


図-2 PRB 概念図

4. 実施内容

4.1 設計

4.1.1 PRB 設置位置及び構造

PRB は廃棄物層から流出する地下水の流出口に設置する必要がある。そこで、地下水の流出位置を地形図の解析により推察した。その結果、集水範囲の下部の10m区間に地下水が概ね集水されることが推察できたことから、PRBは図-3に示す位置に10m幅で設置することとした。地下水流速から想定される地下水量は約430 m³/yであった。

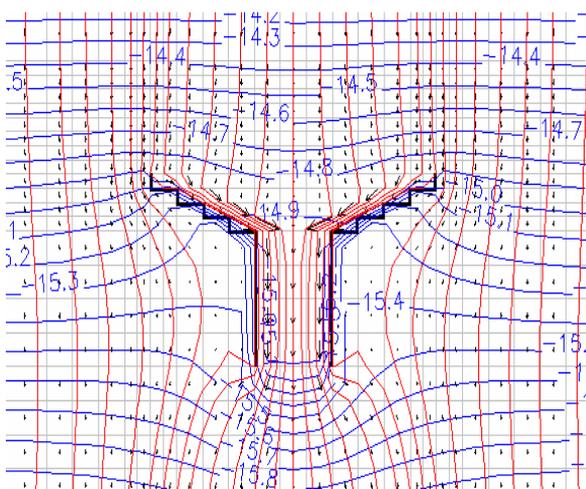
地下水がPRBを通過せず周辺へ回り込む懸念もあるため、地下水流動に関するシミュレーションを行なって、PRBの構造を決定した。

その結果、構造はPRB資材を中央に配置し、両脇にガイドとして粘土壁を集水用のファネルとした。PRB資材の前面に碎石層を設けることで、地下水はPRBを回り込むことなく中央のPRB資材に導入されることが分かった。ここで、この構造におけるPRB設置後の地下水位分布のシミュレーション結果を図-4に示した。

設置深度については工事時の地下水位（深度4.35m）に水位変動も考慮して、深度4.0~5.5mの1.5m区間とした。ここで、PRB構造を図-5及び表-1に示した。



図-3 PRB 設置位置図



条件	値	
透水係数	帯水層	6.0×10^{-4} cm/sec
	PRB層	1.0×10^{-2} cm/sec
動水勾配	0.15	
有効間隙率	0.3	

(※) Processing Modflow ver5.2 で計算

図-4 地下水位分布図 (シミュレーション結果)

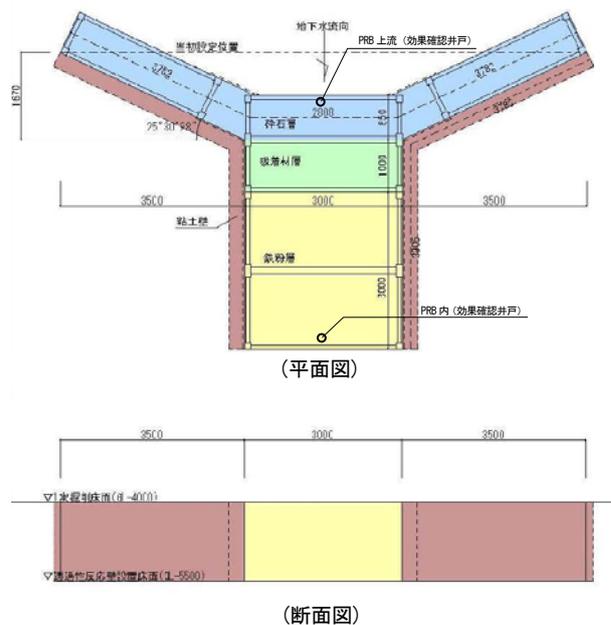


図-5 PRB 構造図

表-1 PRB 構造一覧

項目	数量	備考
高さ	1.5 m	深度 4.0~5.5 m ※深度 0~4.0 m は元土にて埋め戻し
長さ	3.0 m	※両脇のファネル長さ：3.8 m
厚さ	4.0 m	吸着材層：1.0 m 鉄粉層：3.0 m

4.1.2 PRB 資材

PRB は地下水中の砒素、ふっ素及びほう素を吸着する吸着材層と 1,2-DCA を分解する鉄粉層の 2 層構造とした。

1) 吸着材層

吸着材は重金属を地下水基準以下まで 10 年間にわたって吸着除去できるように設計した。①室内試験（バッチ試験及びカラム試験）で求めた各吸着材の吸着能力及び②10 年間に吸着材層を通過する地下水量から求めた吸着物質量から、必要な吸着材量を求めた。配合率は吸着材使用量を吸着材層の体積で除して求めた。

2) 鉄粉層

鉄粉は 1,2-DCA を地下水基準以下まで分解除去できるように設計した。①室内試験（バッチ試験及びカラム試験）で求めた鉄粉による 1,2-DCA の分解速度定数、②鉄粉層を通過する地下水流速及び 1,2-DCA の最大濃度から、必要な鉄粉量を求めた。ここで、PRB 資材一覧を表-2 に示した。

表-2 PRB 資材一覧

項目		対象物質	吸着能力/ 分解速度定数	数量（配合率）
充填材	吸着材層	希土類系吸着材	砒素 ふっ素	432 kg (96 kg/m ³)
		樹脂系吸着材	ほう素	1,511 kg (336 kg/m ³)
	鉄粉層	浄化用鉄粉	1,2-DCA	4,050 kg (300 kg/m ³)

4.2 現地施工

現地施工は図-6 の施工フローに基づき実施した。設置深度が比較的浅かったことから、バックホウにて底面深度まで掘削し、土砂崩壊防止と充填材投入ガイドとして簡易土留めを設置した。

吸着材及び鉄粉は室内試験で求めた配合設計に基づき、現地にて混合して作製し、簡易土留め内に充填するとともに、遮水壁となる粘土を所定の位置に壁状に配置した。この後、地表面まで埋戻して地表面を現状復旧して完了とした。施工状況写真を図-7 に示した。

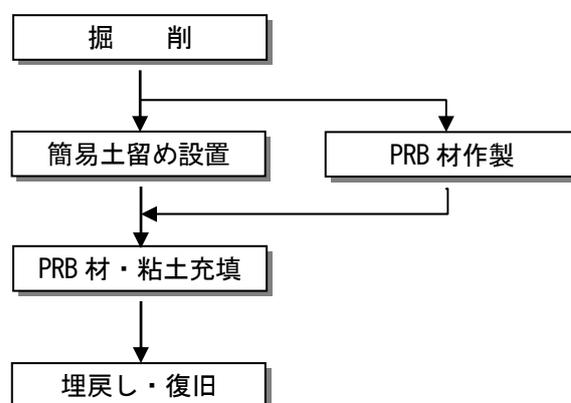


図-6 施工フロー

4.3 効果確認

PRB 資材の透水性と反応性を確認した。透水性は PRB 設置時に吸着材層と鉄粉層から各サンプルを採取して室内透水試験により、それぞれの透水係数を測定することで確認した。反応性は PRB 設置約 1 ヶ月後に図-4

に示す PRB 上流と PRB 出口付近に設置した観測井戸で地下水を採取し、対象物質の濃度を測定することで確認した。

ここで、室内透水試験結果を表-3、地下水濃度測定結果を表-4 に示した。

表-3 室内透水試験結果一覧

項目	透水係数
吸着材層	$1.07 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$
鉄粉層	$6.09 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$



図-7 施工状況写真

表-4 地下水濃度測定結果一覧

項目	地下水基準	PRB 上流	PRB 内	参考) 廃棄物層内最大値
砒素	0.01 mg/L 以下	0.004 mg/L	0.002 mg/L 未満	0.1 mg/L
ふっ素	0.8 mg/L 以下	0.4 mg/L	0.1 mg/L	1.2 mg/L
ほう素	1.0 mg/L 以下	1.7 mg/L	0.1 mg/L 未満	2.6 mg/L
1,2-DCA	0.004 mg/L 以下	0.0007 mg/L	0.0004 mg/L 未満	0.017 mg/L

PRB 層を構成する吸着材層及び鉄粉層は、地下水流動シミュレーションにおいて PRB 層で想定した透水係数 ($1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$) 及び帯水層の透水係数 ($3.25 \times 10^{-5} \sim 6.00 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$) よりも透水係数が大きくなったことから、対象とする地下水は PRB 層に集水され、周辺へ回り込む懸念はないと判断した。

また、地下水濃度については、全ての項目が PRB 上流に対して PRB 内で減少し、地下水基準に適合したことから PRB は設計した浄化効果があるものと判断した。

5. まとめ

重金属を吸着除去する吸着材層、揮発性有機塩素化合物を分解除去する鉄粉層を組み合わせた PRB により、廃棄物の不法投棄現場から流出する重金属及び揮発性有機塩素化合物の複合汚染地下水の拡散防止を行い、目標とした効果を挙げることができた。

PRB は地上に構造物を残さず、メンテナンスフリーである点で、非常に有効な汚染地下水の拡散防止工法である。しかし、この工法が十分な効果を出すためには、対象とする地下水に応じた適切な浄化資材を選定すること、地下水流動を考慮して構造を設計すること、が重要である。

平成 21 年度に判明した不法投棄は 279 件、昭和 55 年以前から平成 21 年までに判明し残存している不法投棄件数は 2591 件にのぼる。今後、PRB のような拡散防止対策のニーズは増えることが予想されることから、さらに多様な物質や地質条件等に対し、PRB の適用性の検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 産業廃棄物の不法投棄の状況 (平成 21 年度) について、環境省、2010 年
- 2) 根岸昌範他、複合汚染地下水に対する多重透過性浄化壁の設計手法の検討、地下水・土壌汚染とその防止に関する研究集会、第 11 回講演集、p.376-p.380、2005 年
- 3) 塩谷剛他、原位置封じ込めと透過反応壁適用時における地下水流動解析、地下水・土壌汚染とその防止に関する研究集会、第 13 回講演集、p.422-p.425、2007 年