

重金属を含有する汚染地下水に対する浄化壁の適合性試験

大成建設(株) 正会員 ○太田 綾子
大成建設(株) 篠原 直規
大成建設(株) 正会員 根岸 昌範
大成建設(株) 正会員 高畑 陽

1. はじめに

汚染地下水の拡散防止策である透過性地下水浄化壁は、塩素化エチレン系の化合物に対しては金属鉄粉を浄化材として脱塩素無害化する反応性浄化壁であり、既に我が国でも 10 年を超える実績がある技術である¹⁾。しかし、重金属類による汚染地下水を対象とした吸着機能を有する浄化壁についての報告事例は少なく、反応性浄化壁とは異なる観点での浄化材選定および設計が必要であることがわかっている²⁾。

本報告ではカドミウム（以下，Cd）および亜鉛（以下，Zn）を含有した汚染地下水を用いてバッチ方式の吸着試験および浄化壁を模擬したカラム方式の連続通水試験の双方を適合性試験として実施し、予測される耐用年数などの評価結果について比較・考察を行った。

2. 試験方法

表-1 に試験に用いた汚染地下水の性状を示す。Cd と Zn がそれぞれ環境基準の数 10 倍，1000 倍超のオーダーであり，カルシウムイオンおよび硫酸イオンが数 100mg/L オーダーと比較的豊富に共存している。

バッチ試験では，浄化材と汚染地下水を密閉容器に秤量し，20℃恒温室内で回転型振とう器（10rpm）を用いて 24 時間振とうした上澄み溶液を，0.45μ でろ過したものを分析用試料とした。浄化材は鉄系鉄粉（リサイクル材）および天然ゼオライト（クリノプチロライト系）の 2 種類とした。測定項目は Cd，Zn とし，原子吸光光度法により定量分析した。

カラム試験では，内径 4cm 長さ 30cm のガラスカラムに，あらかじめ均一に混合した母材と浄化材を充填し，マイクロチューブポンプを用いて上向きに連続通水した。母材は 4 号珪砂，浄化材はバッチ試験と同様の鉄粉とゼオライトとし，浄化材配合量はそれぞれ 10%，50%とした。汚染地下水のカラム内滞留時間は 6 時間あるいは 12 時間となるよう制御し，一定時間ごとに流入水，流出水を採取し，バッチ試験と同様の項目について分析を実施した。汚染水はバッチ試験と同様に実汚染サイトからの供給水を使用した。試験が長期にわたったため，流入水の性状に変動が見られた。汚染地下水の連続通水終了後，一定期間水道水を通水し，浄化材を取り出して Cd および Zn のカラム内蓄積量を把握した。浄化材に吸着した重金属は安定化していると考えられたため，底質調査法に準じて抽出・測定を実施した。

3. 試験結果

バッチ試験結果は平衡時液相濃度と固相濃度の関係をプロットし、式(1)に示す Freundlich 型の吸着等温線で整理した。

$$q = kC^{1/n} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで q：固相濃度[mg/g]，C：平衡時液相濃度[mg/L]，k および 1/n：吸着等温

表-1 汚染地下水性状一覧

区分	汚染物質	濃度 (mg/L)	環境基準 (mg/L)
有害金属類	カドミウム	0.54	0.01
	亜鉛	46	0.03
陽イオン類	ナトリウムイオン	20	-
	アンモニウムイオン	0.77	-
	カリウムイオン	19	-
	マグネシウムイオン	18	-
	カルシウムイオン	280	-
陰イオン類	塩化物イオン	5.9	-
	硝酸イオン	0.78	-
	硫酸イオン	790	-
	重炭酸イオン	120	-

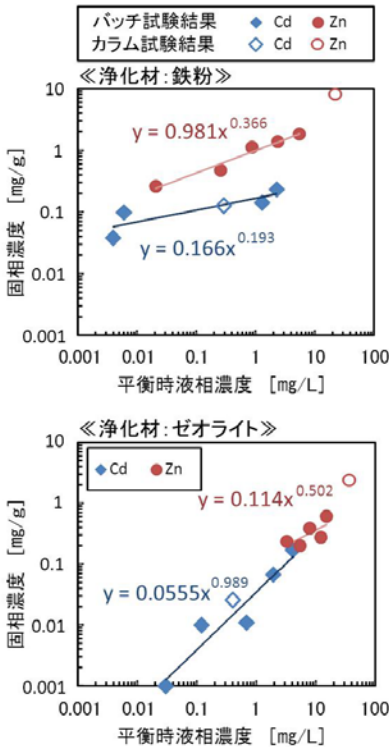


図-1 バッチ試験結果

(上段：鉄粉，下段：ゼオライト)

キーワード 透過性地下水浄化壁，吸着，重金属

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7217

係数を表す。図-1 にバッチ試験結果を、表-2 に吸着等温線係数一覧を示す。鉄粉を浄化材として用いた場合は、Cd, Zn とともに吸着するものの、Zn に対する吸着性能のほうが大きい結果となった。一方ゼオライトを浄化材として用いた場合は、Cd に対する吸着性能はほとんど期待できないものの、高濃度の Zn はよく吸着することがわかった。

カラム試験結果を図-2 に示す。鉄粉を浄化材とした場合、試験開始から 49 日後に Cd, Zn とともに基準値を超過（以下、破過）した。一方ゼオライトを浄化材に用いた場合は試験開始から 14 日で破過した。バッチ試験結果で広範な濃度域で吸着性能を発揮する鉄粉の方が、カラム試験での吸着量も大きい結果となった。なお、試験終了後にカラムを解体して測定した各浄化材への重金属蓄積量は、流入水と流出水の重金属濃度から算出した吸着量とほぼ合致していることを確認した。

4. 試験方法の違いによる耐用年数の評価

カラム試験とバッチ試験の比較を表-3 に示す。試験期間中の平均流入濃度と破過までの単位吸着量を算出し、更に平均流入濃度に対して吸着等温線から計算される予想吸着量を理論値として比較した。この結果に基づき、図-1 にカラム試験の流入平均濃度と吸着量の関係を示した。

Cd に対しては、鉄粉、ゼオライトともにカラム試験から求めた単位吸着量とバッチ試験から求めた理論吸着量が同等の値となり、吸着等温線での評価と合致することがわかった。一方 Zn については、カラム試験から求めた単位吸着量は理論吸着量の数倍の値となった。

表-4 に一般的な地下水流動条件（動水勾配 0.005、透水係数 $1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ ）で、今回カラム試験に用いた平均流入濃度に対して鉄粉（配合量 10%）を用いた場合の浄化壁耐用年数について、評価結果を示す。浄化壁厚さ 1m に対する耐用年数で、Cd に対してはいずれの試験方法でも 30 年弱、Zn に対してはバッチ試験で評価すると 10 年弱となった。高濃度の汚染物質に対しては試験方法による差異が顕著となり、バッチ試験は安全側の耐用年数を想定できるものの、カラム試験を実施した方が現実的に即した合理的な予測ができるものと考えられる。

5. まとめ

カドミウムと亜鉛を含有した汚染地下水を用いて、鉄粉とゼオライトを浄化材として使用した場合の適合性試験をバッチ試験とカラム試験で実施した。比較的低濃度のカドミウムに対してはバッチ試験とカラム試験結果は良く合致し、厚さ 1m 程度の浄化壁で一般的な地下水流動条件であれば 30 年程度の耐用年数が期待された。一方、高濃度の亜鉛に対しては、二つの試験方法で予測した耐用年数が乖離しており、カラム試験での適合性試験を実施する方が妥当であると考えられた。

参考文献

1) 根岸昌範他，第 8 回土木学会地球環境シンポジウム講演論文集，pp. 57～62，2000。
2) 根岸昌範他，土木学会第 66 回年次学術講演会，pp373～374，2011。

表-2 吸着等温線係数一覧

浄化材	重金属	吸着等温線係数		C=0.1mg/Lでの吸着量[mg/g]
		k	1/n	
鉄粉	Cd	0.166	0.193	0.106
	Zn	0.981	0.366	0.422
ゼオライト	Cd	0.0555	0.989	0.006
	Zn	0.114	0.502	0.036

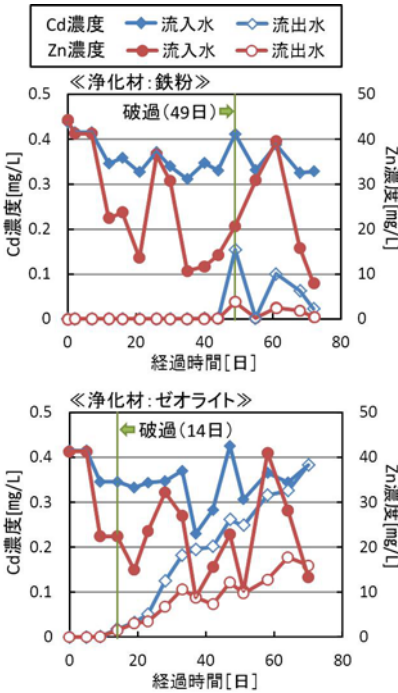


図-2 カラム試験結果
(上段:鉄粉, 下段:ゼオライト)

表-3 カラム試験とバッチ試験の結果比較

浄化材	カラム試験				バッチ試験に対する カラム試験の 吸着性能
	浄化剤 配合量	破過日数	平均流入濃度 (mg/L)	単位吸着量 (mg/g)	理論吸着量 (mg/g)
鉄粉	10%	49日	Cd: 0.357	Cd: 0.131	Cd: 0.136
			Zn: 24.65	Zn: 8.38	Zn: 3.17
ゼオライト	50%	14日	Cd: 0.385	Cd: 0.028	Cd: 0.022
			Zn: 33.22	Zn: 2.36	Zn: 0.66

表-4 浄化壁耐用年数評価結果（浄化壁 1m あたり）

浄化材	対象 重金属	年間負荷量 (mg/y)	カラム試験による評価		バッチ試験による評価	
			単位吸着量 (mg)	耐用年数 (年)	単位吸着量 (mg)	耐用年数 (年)
鉄粉 (10%)	Cd	751	20960	27.9	21760	25.9
	Zn	51324	1340800	29.0	507200	9.8