吸着機能を利用した透過性地下水浄化壁の設計手法について

大成建設　正会員　○根岸　昌範
大成建設　正会員　有山　元茂
大成建設　正会員　深澤　道子

１．はじめに

汚染地下水の拡散防止対策である透過性地下水浄化壁工法は，クロロエチレン系化合物に対しては金属鉄粉を浄化剤として脱塩素無害化する反応性浄化壁として，既にわが国でも 10 年を超える実績がある技術となっている[1)]．一方で，重金属やふっ素・ほう素に汚染された地下水に対して，有機系化合物のように分解無害化ではなく吸着機能（安定化機能）を利用する透過性地下水浄化壁については，現時点でも報告事例が少ない状況である．

本報告では，吸着機能を利用した浄化壁について，浄化材選定時の留意点，耐用年数の設計方法，阻害要因などについて実験データに基づいて要点を取りまとめた．

２．浄化材の選定について

重金属その他の無機系化合物に対する浄化材選定にあたっては，一次スクリーニング試験として短期間のバッチ方式での吸着試験を実施し，吸着等温線による性能比較などが一般的であると考えられる．汚染土壌の不溶化などに使用する場合には，こうした短期間での性能比較も妥当である．しかしながら，10 年以上の耐用年数が求められる浄化壁においては，長期的に安定化能を維持できない浄化メカニズムは適さないことに留意が必要である．

一例として，ふっ素に対して安定化能を発揮する酸化マグネシウム主体の水和反応による浄化材と，ハイドロタルサイト様合成粘土鉱物で陰イオン交換作用による浄化材の性能比較試験結果を図 1 に示す．ふっ素濃度 20mg/L の溶液 30mL に対し，浄化材添加量と平衡時液相濃度の関係で整理した．浄化材をそのまま試験に供した場合（◇），蒸留水へ 2 週間浸漬（□）および 6 ヶ月浸漬（△）した材料を供した場合の 3 ケースで試験した．初期性能はほぼ同等であったが，水和反応による取り込みを反応メカニズムにする浄化材（図 1 上）では，浸漬期間とともに安定化能が減少していた．6 ヶ月浸漬したサンプルでは，ほぼ全量が水酸化マグネシウムとなり，水和反応が終了したことで，安定化能を喪失したものと考えられる．このことは，図 2 に示した X 線回折スペクトルからも確認できた．一方，イオン交換反応が主体の浄化材（図 1 下）では，ハイドロタルサイト形成過程の 2 週間後で若干安定化能が低下するものの，6 ヶ月浸漬したサンプルでも初期状態と同等の安定化能を発揮している[2)]．

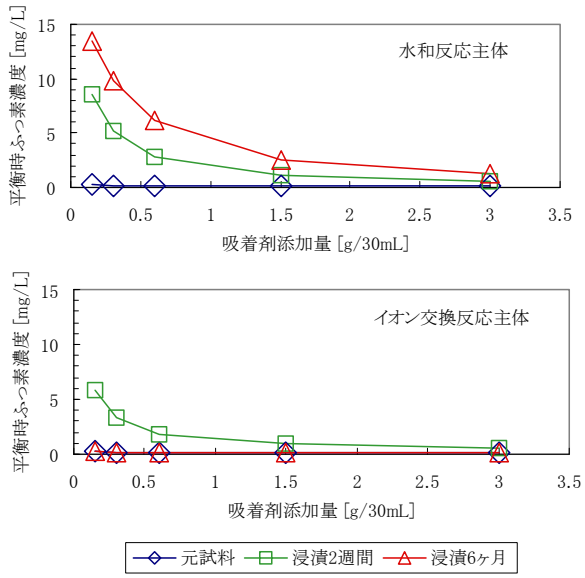

図 1　吸着材添加量と平衡濃度の関係

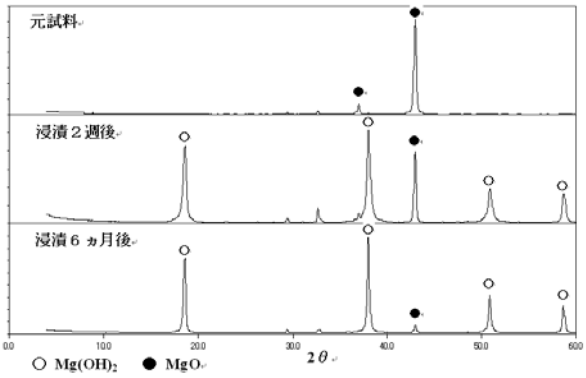

図 2　マグネシウム系吸着材の XRD スペクトル

以上のように，土壌の不溶化処理の観点からは短期的な最大吸着量を重視すべきであるが，地下水浄化壁の材料として使用する場合には，長期的に反応メカニズムを維持できるかという観点も必要になる．

キーワード　透過性地下水浄化壁，吸着，重金属，カラム試験
連絡先　〒244-0051　神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1　大成建設㈱技術センター　045-814-7217

３．耐用年数の設計について

クロロエチレン系化合物に対する反応性浄化壁の場合には，反応速度定数は鉄粉配合比率のみに依存し，通水流速によらない知見を利用し，加速した連続通水試験により反応速度定数を決定し，現地条件に適用した場合の浄化壁必要厚さを設定する[3]．耐用年数は，別途測定した鉄粉の嫌気性腐食速度などから，性能曲線が提案されている[4]．

吸着機能による浄化壁の耐用年数を設計するにあたっては，地下水流動は緩慢であるため，吸着帯の厚さが無視できると仮定すれば，バッチ試験で得られた吸着等温線から流入濃度に対する安定化量を推定することが可能である．しかしながら，長期的な共存イオンなどの水質影響まで評価する意味で，連続通水試験により浄化材単位重量あたりの安定化可能量を求めることが望ましい．一方で，吸着機能を利用するカラム試験では，出口側で濃度検出されるまで安定化可能量を決定できず，試験検討期間が長期化するという課題がある．例えば，室内試験でのカラム長さ 30cm は，実際に現地に構築する浄化壁厚さの 1/3～1/5 程度に相当し，現地の地下水流動条件を模擬した場合には，試験に数年間を要することとなる．

こうした場合，浄化材配合量を固定して固相濃度は固定し，通水流速を加速する方向で連続通水試験を実施する．図 3 はカドミウムを対象として浄化材に鉄粉を使用した場合の，バッチ試験における吸着等温線と，カラム試験における流入濃度と破過までの単位重量あたりの安定化量の関係を示したものである．滞留時間（RT）ごとにプロットした結果から，滞留時間を 1 時間未満とした場合には，耐用年数を過小評価してしまう可能性があった．

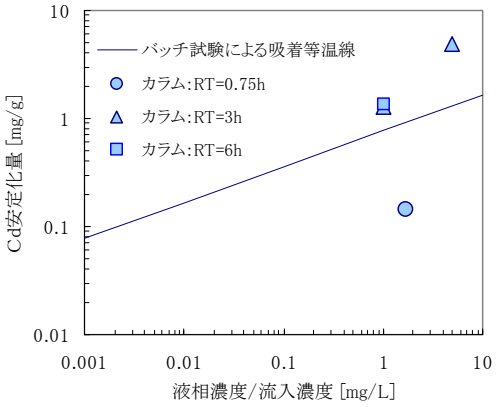

図 3　試験方法ごとの Cd 安定化量

４．阻害要因について

地下水中の重金属は，カドミウムや鉛のように陽イオンとして挙動するものと，ヒ素や六価クロムのようにオキソ酸陰イオンとして挙動するものがあるが，いずれも溶存イオン類による影響を受けることになる．図 4 は，電気伝導度の異なる 2 種類の実汚染サイト地下水に対して，鉄粉を添加するバッチ試験を実施して作成した吸着等温線である．サイト A は比較的清浄な地下水で電気伝導度（EC）で 2.5mS/m である．一方のサイト B は 260mS/m と比較的高濃度のイオン成分を含有しており，硫酸イオンあるいはカルシウムイオンの共存が数 100mg/L オーダーの地下水試料あった．図中に，試験結果を便宜上 Freundlich 型の吸着等温線で近似した結果も併記したが，液相濃度 1mg/L に対する安定化能は，電気伝導度が 100 倍程度高くなることで，1/5 以下に減少していた．

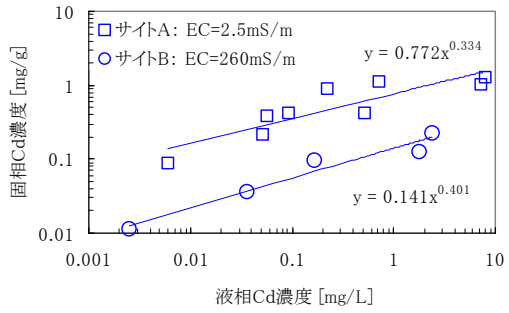

図 4　Cd 吸着試験結果

図 4 の試験では，金属鉄粉によるカドミウムの安定化試験であったが，陽イオン交換など別の安定化メカニズムを用いる場合には，より共存イオンに影響されることも考えられる．また，長期的に硬度成分の沈積などが浄化材による安定化能にどの程度影響を及ぼすかについては，一定期間のカラム試験による評価が必要とされる．

５．まとめ

重金属類を対象とした吸着機能を利用した透過性地下水浄化壁の設計にあたっては，反応性浄化壁とは異なった観点での材料選定や阻害要因の検討が必要であることがわかった．浄化壁内に有害物質が蓄積されていくため，それらの安定化形態や再溶出に関して，対象水質の影響なども踏まえた今後の検討が必要であると考える．

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ー62，2000
2)　深澤道子他，第 12 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，S5-16，2006
3)　根岸昌範他，第 35 回地盤工学年次講演会講演集，pp.2543ー2544，2000
4)　根岸昌範他，土木学会第 65 回年次学術講演会，pp.391ー392，2010