

鉄粉混合砂カラム実験とバッチ実験の相関性及び浄化壁の耐久性について

鹿島建設(株) 正会員 ○伊藤圭二郎 正会員 河合達司 正会員 川端淳一

1. はじめに

トリクロロエチレン（以下 TCE）をはじめとする揮発性有機化合物（以下 VOC）に対して、0 価の鉄粉の還元力を利用して自然地下水下流側で VOC 溶解地下水を無害化する鉄粉浄化壁工法¹⁾がある。鉄粉浄化壁の設計では鉄粉の反応速度が設計上の重要な要素であり、酸化・還元反応速度に影響する対象地盤の地下水 pH・ORP（酸化還元電位）・電子受容体となる物質の濃度など数多くの反応影響因子を考慮しなければならない。このため、実際の設計ではこれらの影響因子を個々に検討するよりも、性状を包括している現場の地下水によるトリータビリティ試験が必須である。本稿では、トリータビリティ試験として現場地下水を用いたバッチ実験が迅速さと簡便さから有効と考え、原地盤に近い条件での実験であるカラム実験とバッチ実験での分解速度の相関性からバッチ実験のみで設計する手法について検討した。また、飽和溶存酸素水を流しつづけたカラム実験結果から鉄粉の耐久性についても考察した。

2. 実験方法

バッチ実験は、内容積 27mL のバイアル瓶に 10mg/L の TCE 溶液 10g と鉄粉 1g を 20°C で振とうさせ、時間経過ごとに TCE 濃度をヘッドスペース-PID ガスクロマトグラフ法により計測した。

カラム実験の諸条件を表-1、実験模式図を図-1 に示す。鉄粉と豊浦砂を混合し、円柱ガラス容器 3 つにそれぞれ突き固めによって土壌カラムを作成し、それらを連結させて TCE 溶液を十分に通水し、濃度が安定状態となった時点で実験を開始した。流速については、最初の 30PV（Pore Volume、カラム間隙体積）で 10PV ごとに表-1 に示すようにダルシー流速を 3 つの条件に変え、ほぼ 1PV ごとにサンプルを採取して濃度分析を行い、その後は 33.5cm/day の流速で固定した。サンプルはシリンジで 100 μ L 採水し、1.5mL のバイアル瓶でヘッドスペース-PID ガスクロマトグラフ法により分析した。TCE 溶液としては溶存酸素濃度が飽和状態（8mg/L）にした蒸留水に TCE を 1mg/L となるように添加した。

3. 実験結果

(1) バッチ実験とカラム実験の相関性

バッチ実験結果を図-2 に示す。鉄粉の反応を一次反応と仮定すると実験結果から分解速度定数 $K' = 0.14$ (hour⁻¹) を決定することができる。さらに、分解速度定数 K' は鉄粉混合量に比例する²⁾と仮定され、TCE 溶液中の鉄粉量で一般化された分解速度定数 $K = 1.4$ (cm³-TCE 溶液/g-鉄粉/hour) を求めることができる。

カラム実験でのカラム浸透長さと TCE 比濃度の関係を流速ごとまとめたプロット、及びバッチ実験での分解速度定数において TCE 溶液量を土壌カラムの間隙体積と等価と仮定し、分解速度定数 $K = 1.4$ (cm³-間隙体積/g-鉄粉/hour) で、カラムの浸透長さと TCE 比濃度の関係を計算した値を同時に図-3 に示す。カラム実験

表-1 実験試料物性値とカラム実験条件

条件	条件値
使用した砂	豊浦砂
土質分類	細砂
土粒子密度 (g/cm ³)	2.64
鉄粉 : 砂の重量混合比	1:20
実験温度 (°C)	20
カラム高さ (cm)	10×3
カラム内径 (cm)	3.2
鉄粉+砂乾燥密度 (g/cm ³)	1.68
間隙率	0.36
ダルシー流速 (cm/day)	14.2, 33.5, 44.1

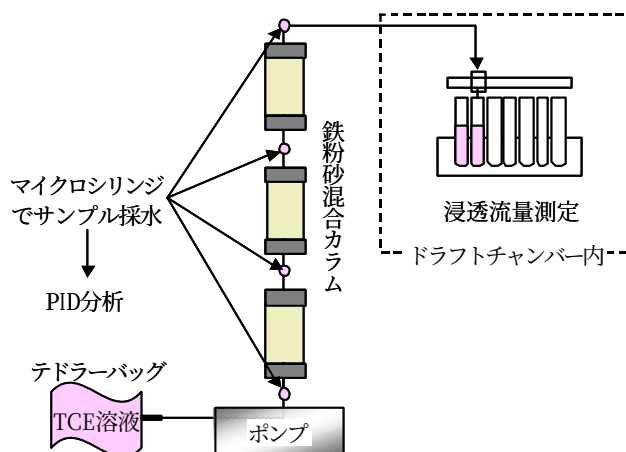


図-1 鉄粉砂混合カラム実験装置の概要

キーワード VOC 汚染地盤, 鉄粉浄化壁, 分解速度, トリータビリティ試験, 耐久性

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 TEL0424-89-7730

結果のプロットから流速ごとに濃度低下勾配はほぼ均等に变化しており、鉄粉の反応は TCE 溶液との接触時間に依存することが確認された。また、バッチ実験での TCE 水溶液をカラムの間隙体積に換算することでほぼ一致した値が得られることを確認した。

(2) カラム実験での耐久性の検討

溶存酸素飽和水を流したカラム実験で、最も入り口側のカラム（浸透長さ 10cm）での分解速度、入り口側 2 つのカラム（浸透長さ 20cm）での平均分解速度、3 つ全てのカラム（浸透長さ 30cm）での分解速度と累積流量との関係をまとめたものを図-4 に示す。10cm の場合では、ほぼ流量の増加に伴って分解速度は低下していくが、30cm の場合では、データのバラツキが大きいものの 10L 程度まで分解速度の低下傾向は比較的小さく、10L 以降で 10cm の場合と同様に流量の増加に伴って低下していく。このように、手前のカラムから分解速度は低下し、厚みがあれば初期の比較的高い分解速度の期間が持続し、その後分解速度の低下が生じる傾向がある。

カラム実験結果から一定割合で砂と鉄粉を混合した浄化壁では浸透長さにより耐久性が評価できる傾向があり、浄化壁が必要な分解速度を持続する期間について原地盤の条件を仮定して概算した。地盤帯水層の条件として、透水係数 1×10^{-2} cm/sec、動水勾配 1/300 ～ 1/200 程度を想定し、実流速 10cm/day で浄化壁に 10mg/L の TCE 汚染地下水が流れ込むと仮定する。環境基準値 0.03mg/L（比濃度 0.003）まで浄化するために必要な分解速度定数は、表-2 のように 10cm 厚みで約 6day^{-1} 、20cm、30cm 厚みで 1/2、1/3 となる。図-4 より連続的に必要な分解速度以下になる流量はそれぞれの厚みで点線のように 7、17、24L である。この流量分に相当する年数は、仮定した地盤条件より計算すると表-2 のように浄化壁厚みと耐用年数がほぼ比例関係であり、10～30cm 厚みでは溶存酸素飽和濃度の地下水が流れ込んだ場合で必要な分解速度が得られる期間は約 1～2 年となった。

4. まとめ

バッチ実験とカラム実験との比較により、現場地下水性状を反映させるトリータビリティ試験としてバッチ実験が有効であることが確認された。鉄粉の溶存酸素に対する耐久性については限られた条件での計算例を示したが、実地盤の地下水中の溶存酸素濃度は本実験よりも低い場合が多いため、劣化するまでの最短期間と考えられる。また、浄化壁入り口側から劣化が進む傾向が顕著に現れることから、浄化壁内部に観測井戸を設けて劣化傾向を監視することが必要であると考えられる。

参考文献

1) 例えば、ウォータージェット工法を用いた原位置 VOC 浄化技術：土壤環境センター技術ニュース第 6 号，2003，pp.1-6. など 2) 鉄粉を用いた揮発性有機化合物の分解浄化に関する研究：第 6 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会，1998，pp.159-162.

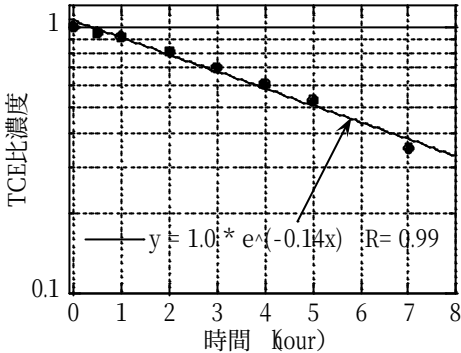


図-2 バッチ実験でのTCE濃度と時間変化

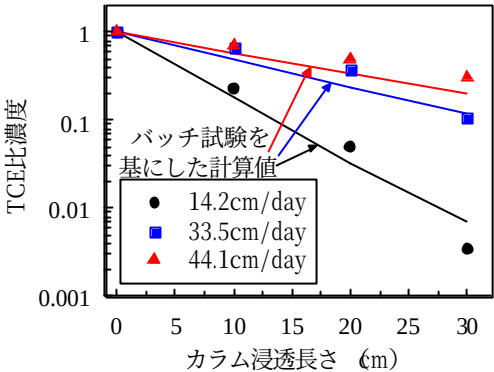


図-3 バッチ実験を基にした計算値とカラム実験での実測平均値の比較

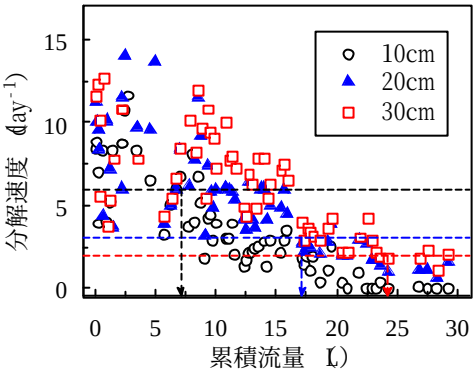


図-4 カラム実験での分解速度と流量の関係

表-2 浄化壁厚さによる飽和溶存酸素水溶液での耐久年数の計算例				
浄化壁厚さ (cm)	浄化壁出口での TCE比濃度 (ϵ)	必要な 分解速度 (day^{-1})	必要な分解速度以 下となる流量 (L)	飽和溶存酸素水での 耐久年数 (年)
10	0.003	6	7	0.7
20		3	17	1.6
30		2	24	2.3

※ 耐久年数は地下水実流速10cm/day、鉄粉 砂=1 20での計算値