

複数のVOCの土壌への吸脱着特性について

鹿島建設(株) 正会員 ○伊藤圭二郎 川端淳一 河合達司

1. はじめに

帯水層における揮発性有機化合物（VOC）の汚染に対して揚水処理法が多く実施されている。VOCは一般的には砂への吸着性が小さい物質であるが、土壌の有機炭素含有量によっては地下水に溶解したVOCの移行特性として吸着が無視できない要素となってくる。そこで筆者らは、有機物を含む自然地盤の細砂を用いてVOCの種類による吸着特性を、バッチ吸着実験とカラム吸着実験によって評価し、カラム洗浄実験により各物質の揚水処理時に予想されるVOC汚染物質の濃度変動を検討した。

2. 実験試料と実験方法

実験試料の基礎物性を表-1に示す。試料は実地盤の帯水層から採取した細砂であり、吸着性に大きく影響するパラメータである有機炭素含有量は0.3%であり、有機炭素を多く含有する細砂である。この細砂試料の吸着性を調べるため、バッチ式では内容積27 mLのバイアル瓶に表-2のような割合で土とVOC溶液を混合し、24時間連続振とうさせ、ヘッドスペース法により振とう後のVOC溶液濃度を定量して吸着量を計算した。カラム式では図-1のような装置により、最初に蒸留水で土壌カラム内を飽和させ、その後でトレーサー（NaCl）とVOC（cis-DCE、TCE、ベンゼン）溶液を透水させて吸着実験を行い、再び蒸留水を透水させることで洗浄実験を行った。

3. 実験結果

3.1 バッチ吸着実験

バッチ吸着実験での分配係数と、有機炭素含有量から計算する簡易な経験式(1)¹⁾による分配係数を併せて表-3に示す。表-3のように計算値も実験値もほぼ同様の傾向が現れており、既存の簡易な経験式で各物質の分配係数を概ね把握できる結果となった。

$$K_d = 0.63 f_{oc} K_{ow} \quad (1)$$

K_d : 分配係数, f_{oc} : 有機炭素含有量,

K_{ow} : オクタノール-水分配係数

3.2 カラム実験

カラム吸着実験でトレーサー比濃度が0.5となった流量を有効間隙体積として整理²⁾した結果を図-2に示す。遅延係数は図-2と表-3のようにバッチ吸着実験から求められる値とほぼ同様の結果が得られた。

カラム吸着実験に引き続き、TCEが破過した後に蒸留水を透水させるカラム洗浄実験を行った。その結果と表-4のような条件で実験値と比較するため実施した数値解析結果を併せて図-3に示す。各物質の遅延係数に応じて濃度低下し始めるのに要する流量は変化し、TCEではcis-DCEの約3倍となる6回間隙水が

表-1 実験試料物性値とカラム実験条件

土粒子密度 (g/cm ³)	2.67
D ₅₀ (mm)	0.322
U _c -	2.57
有機炭素含有量比 (%)	0.3
カラム高さ (cm)	10
カラム内径 (cm)	3.2
乾燥密度 (g/cm ³)	1.65
間隙率 -	0.38
実流速 (cm/s)	1.4×10 ²

表-2 バッチ吸着試験条件

添加したVOCの種類	cis-DCE, TCE, PCE, ベンゼン
初期濃度 (mg/L)	1
乾燥土 (g)	10
VOC溶液 (g)	10
液固比 -	1
温度 (°C)	25

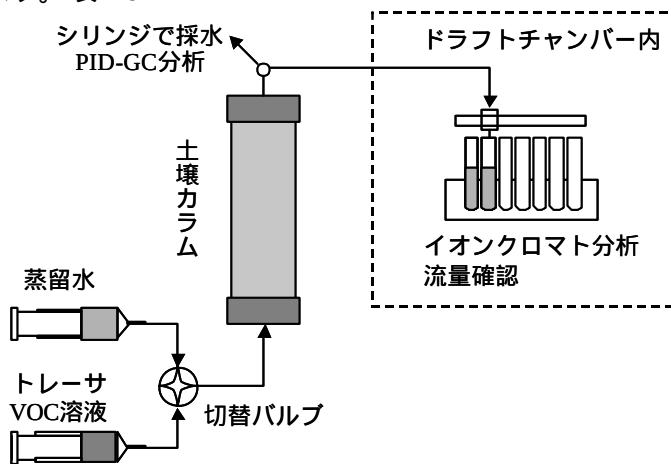


図-1 カラム試験の概要

キーワード VOC, 地下水汚染, 吸着, 遅延係数, バッチ実験, カラム実験

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 TEL 0424-89-7072

入れ替わらないと濃度低下しない結果となった。また、cis-DCEはベンゼン濃度が低下し始める流量（4～6）で濃度低下勾配が

表 - 3 経験式による分配係数の計算結果とバッチ吸着試験結果

VOC種類	計算結果		実験結果			実験値から計算した遅延係数
	オクタノール - 水分配係数, Log(Kow)	分配係数 (L/kg)	平衡濃度 (mg/L)	吸着量 (mg/kg)	分配係数 (L/kg)	
cis-DCE	1.86	0.1	0.84	0.16	0.2	1.9
TCE	2.42	0.5	0.58	0.42	0.7	4.5
PCE	3.4	4.7	0.24	0.76	3.1	16.1
ベンゼン	2.13	0.3	0.72	0.28	0.4	2.9

減少し、その後一旦勾配が解析値に戻るが、TCE濃度が低下し始める流量（7～10）で再度濃度低下勾配が減少する。ベンゼンについても同様に、ベンゼンより吸着性の高いTCEの影響を受けて一旦勾配が緩やかとなる傾向がある。これは、TCEあるいはベンゼンが吸着している部分で局所的に間隙径が小さくなる³⁾、あるいは疎水性が強くなるなどの要因により、cis-DCEあるいはベンゼンが吸着され易い局所領域ができ、TCEあるいはベンゼンと共に脱着してきている可能性が考えられる。以上の洗浄実験での傾向から、吸着性の高い共存物質が多量に土壤に吸着している場合には、他の比較的吸着性の低い物質も濃度低下の勾配が低濃度域で緩くなり、吸着性の高い物質が濃度低下するまでテーリングを引き起こす可能性が考えられる。

表 - 4 解析条件

入力定数	単位	入力値
動水勾配	-	0.55
透水係数	(cm/s)	0.001
有効間隙率	-	0.34
縦分散長	(cm)	0.2
遅延係数		
cis-DCE	-	2
ベンゼン	-	3.5
TCE	-	7

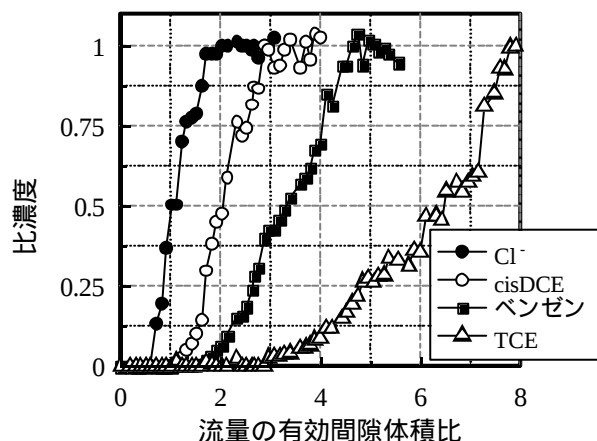


図 - 2 カラム吸着実験でのVOC濃度経時変化

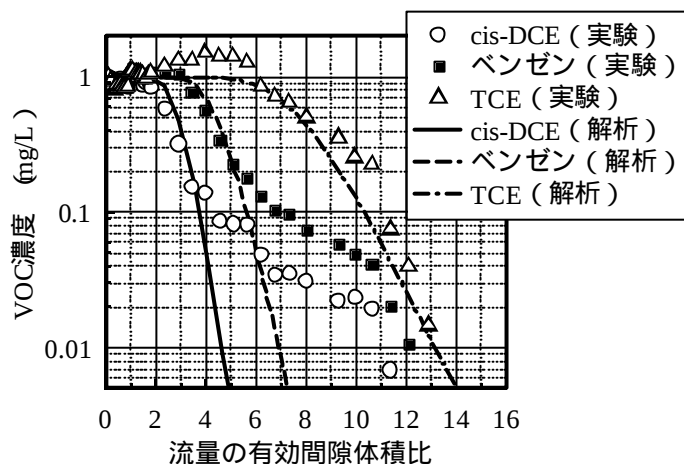


図 - 3 カラム洗浄試験でのVOC濃度経時変化

4. まとめ

一連の実験と計算結果から吸着性の高い土壌については有機塩素化合物の種類によって大きく吸着性が変化する可能性があるため、事前に確認して設計条件や浄化対策へ反映させることが必要である。特に PCE や TCE の汚染サイトでは自然減衰あるいは浄化剤の投入により DCE などが生成される場合が多く、土壌への吸着性が変動することを浄化対策に反映・利用していくことが望まれる。また、揚水処理法を実施する場合には、吸着性の高い共存物質の存在が吸着性の小さい物質の低濃度域でのテーリング現象への要因となる可能性があり、吸着性の高い物質の濃度に留意する必要がある。

(参考文献)

- 1) PRACTICAL DESIGN CALCULATIONS for Groundwater and Soil Remediation, LEWIS PUBLISHERS, 1999, p.44
- 2) 地下水汚染論 - その基礎と応用 -, 共立出版株式会社, 1991 年, pp197 - 205
- 3) Competitive Adsorption of Chloroform and Iron Ion onto Activated Carbon Fiber, Journal of Colloid and Interface Science, Vol.220, No.2, 1999, pp.406-409