

ゼオライト混合土壌の溶質移動特性

Diffusion and dispersion coefficient of synthetic zeolite sand mixture

白土 博之、西村 拓、加藤 誠

Hiroyuki SHIRATO, Taku NISHIMURA, and Makoto KATO

1. はじめに

近年、土壌汚染対策法が制定されるなど、土壌および地下水の汚染が注目されている。土壌汚染の防止および修復は早急な解決が望まれる課題の一つである。土壌汚染対策の一つとして、吸着能力の高い人工ゼオライトの利用が期待されている。

土壌汚染を評価する際には吸着量だけでなく、汚染拡散を防止する観点から移動速度、移動時間および移動範囲を把握する必要がある。溶質移動の予測には通常、以下の移流分散方程式(以下 CDE)が用いられ、吸着がない場合には溶質の移動をよく予測できることがわかっている。

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D_s \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \dots\dots\dots (1)$$

$$R = 1 + \left(\frac{\rho}{\theta}\right) K_d \quad D_s = D_m + \lambda v \quad (2)$$

ここで、R: 遅延係数、C: 溶質濃度(mol l⁻¹)、D_s: 分散係数(cm² s⁻¹)、D_m: 拡散係数(cm² s⁻¹)、v: 平均間隙流速(cm s⁻¹)、x: 位置(cm)、t: 時間(s)、λ: 分散長(cm)、ρ: 土壌の乾燥密度(g cm⁻³)、K_d: イオン交換平衡の分配係数(L kg⁻¹)

吸着性の強いものほど、見かけの移動速度は遅くなり、この遅れをCDEの遅延係数Rで表している。また、溶液が混合するまでに流れる距離のことを分散長λといい、一般に溶液はこの分散長を単位長さとした移動と混合を繰り返す、その結果、土壌全体の溶質濃度勾配は減少してゆく。ある厚さの土壌において、分散長が大きいほど混合回数が大きいと考えられる。

本研究では移流分散現象のカギとなるこの二つのパラメータに着目し、吸着能増強の為にゼオラ

イトを添加した時の溶質の移動特性を検討することを目的とした。

2. 試料と実験方法

1) 試料

土壌試料は、豊浦砂(平均粒径 0.125mm)およびマサ土(粒径 2mm 以下)を用いた。また、ゼオライトは、(株)プランテック製の P 型人工ゼオライト R-107(粒径 10 μm 以下)を用いた。

各試料の陽イオン交換容量を Table1 に示した。

Table 1 各試料の陽イオン交換容量(meq/100g)

豊浦砂	ゼオライト 2.5% 混合豊浦砂	マサ土	ゼオライト 2.5% 混合マサ土
0	7.5	15	22.5

2) 混和置換実験

Fig.1 に実験装置模式図を示す。全長 14cm、内径 4cm のアクリルカラムに、上から 2.5cm, 5.5cm, 8.5cm, 11.5cm の高さに 4

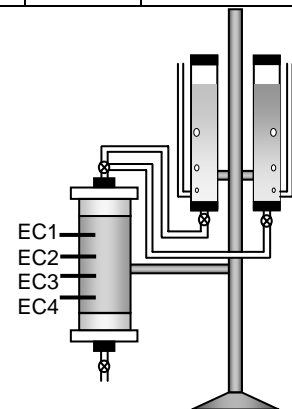


Fig.1 実験装置模式図

電極センサー(以下 EC1, EC2, EC3, EC4)を設置し、供試土を所定の乾燥密度(豊浦砂:1.6 g cm⁻³、マサ土:1.3 g cm⁻³)で充填した。10mM の CaCl₂ 溶液で初期飽和し、センサー値が安定するまで、10mM の CaCl₂ 溶液を流下させた。その後、100mM の CaCl₂ 溶液に切り替え、センサー値が安定するまで流下させた。4 電極センサーで得られた溶液濃度切り替え後のカラム内の電気伝導度(EC)の経時変化からブレイクスルーカーブ(以下 BTC)を作成した。実測値と

CDE の解析解とのフィッティングから分散係数 D 、間隙流速 v 、遅延係数 R を求め、 $D-v$ グラフの傾きより分散長を求めた。フィッティングは、EC 値だけではなく、フィッティング時の平均間隙流速が実験中の定常排水フラックスから算出した値と同程度になるように注意した。各実験とも 4 反復行った。

3. 結果と考察

Fig.2 はマサ土の BTC の例を、Fig.3 はゼオライト混合マサ土の BTC の例を示した。

各試料とも、深さが大きくなるにつれて BTC の立ち上がりが遅くなった。分散が進むにつれて、BTC は緩やかな S 字曲線を描くことから、深くなるにつれて分散の寄与が大きくなったと考えた。

Table 2 より、ゼオライト混合により若干、分散長が増加することがわかった。カラム長を 14cm とした本研究では、カラム通過中に分散長 0.214cm のマサ土では約 65 回混合が生じるのに対し、分散長 0.309cm のゼオライト混合マサ土では約 45 回の混合が生じる。十分な混合がなければ、吸着サイトへの効率的な接触も減ると考えられるため、汚染防止障壁に高性能の吸着材を用いても、障壁にある程度の厚みがなければ吸着を効率的に行うことができないと考えられる。

Table3 は、ゼオライト混合によって生じた吸着が溶質移動の遅れをもたらすことを示している。吸着剤の添加により汚染物質の範囲拡大を遅らせることができると考えられる。別途測定したゼオライトのイオン交換等温線において、線形吸着を仮定して得た選択係数 K_d は 7.65 であり、これと、混和置換実験から推定したマサ土の選択係数を用いて加重平均によって推定した各カラムの遅延係数は、測定値よりも若干小さな値を示した。

実測値と CDE との適応状態を見てみると、ゼオライト混合の有無に関わらず、多くの部分でよく一致した。このことはゼオライトのようなきわめて大きい吸着能を持つ物質を用いたときも CDE による溶質移動の予測が可能であることを示唆している。

4. まとめ

汚染修復・防止をより効率的に行うには、吸着量だけでなく、移動に関わる分散長等の移動パラメータも考慮する必要がある。また、吸着のない溶質移動現象だけでなく、吸着のある場合において

も CDE が適用可能であり、汚染防止バリアや汚染物質吸着材の埋設を計画する際に、数値計算を援用することで、より効率的・効果的な設計が期待できる。

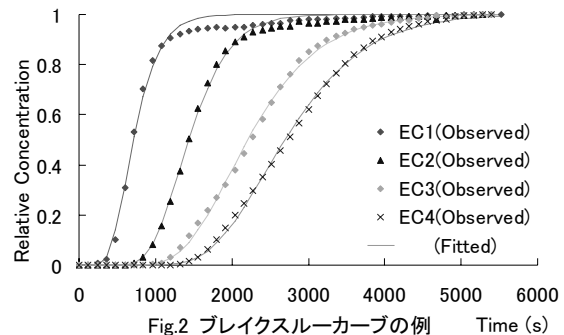
Table2 各試料の分散長 (cm)

	豊浦砂	ゼオライト 2.5% 混合 豊浦砂	マサ土	ゼオライト 2.5% 混合マサ土
分散長	0.056	0.088	0.214	0.309

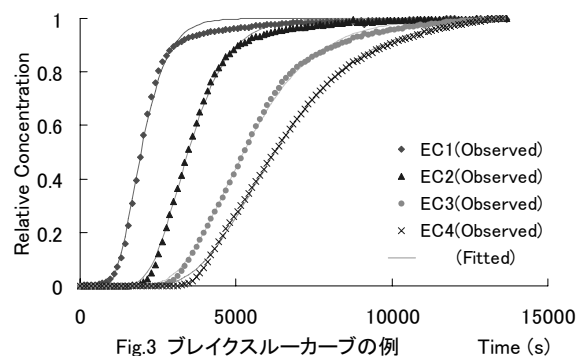
Table3 各試料の遅延係数と選択係数

	ゼオライト	ゼオライト 2.5% 混合 豊浦砂	マサ土	ゼオライト 2.5% 混合マサ土
R	—	2.2	1.25	2.4
K_d	7.65 ¹⁾	—	0.077 ²⁾	—
$R^{*3)}$	—	1.8	—	1.7

1) バッチ試験から線形吸着を仮定、2) 遅延係数から(2)式を用いて推定、3) R^* : 見かけの K_d を加重平均で求め、(2)式により遅延係数を推定



(マサ土)



(ゼオライト混合のマサ土)

参考文献: M. Inoue et al. Simultaneous estimation of soil hydraulic and solute transport parameters from transit infiltration experiments. Adv. Water. Res, 23 (2000) 677-688