

土中の溶質移動現象を調べるカラム試験結果の解析

岐阜大学工学部 正会員 佐藤 健
岐阜大学大学院 学生会員 鈴森俊希
岐阜大学工学部 ○清水泰貴
岐阜大学工学部 城崎達哉

1. はじめに

近年ゴミの埋め立て処分場やゴルフ場に散布される農薬が起源と思われる土壌、地下水汚染が多数報告されるようになってきた。また、工場跡地などの再開発の際にも土壌地下水汚染が発見される例も全国的に報告されている。浄化工法の中で微生物の分解特性を利用した、バイオレメディエーションは、低濃度汚染の浄化に効果を発揮し、他の工法に比べ低コストである点で現在注目を集めている浄化工法の一つである。

しかし、バイオレメディエーションの実用化には課題が多くある。土中の物質輸送に関連する問題点を挙げると、①微生物をいかに汚染されたところに入れるか。②微生物の栄養源を地下水の流れに載せていかに供給するのか。③効率良く空気を送るにはどのような配置で井戸を掘ればいいのか。④窒素、リンなどの栄養源を地下水の流れに載せるためのシミュレーションをどのようにして行うのか。⑤微生物がどのくらい流れてどのくらい生き延びることができるかなどである。

筆者らは、土中の物質輸送を表現する際によく用いられる Two Region Model(TRM)を栄養源輸送に応用する事を念頭に、TRM のパラメータ評価を行い、研究目的をバイオレメディエーションの際に重要となる栄養源の土中移動に関する基礎資料を蓄積する事とし、パラメータの推定を行うため室内カラム実験を行い、流れ場と TRM パラメータとの関係を吟味した。

2. 実験方法

- (1) カラム内を水で満たし、試料を水中落下させ飽和状態を作りながらカラム内に均質に充填させる。
- (2) 並列ポンプを使い水で流れを定常にし、しばらく時間をおいた後、NaCl 溶液に切り替える。
- (3) 電気伝導度計を取り付け、一定時間ごとに電気伝導度を計測する。
- (4) 電気伝導度の変化より相対濃度を求め、TRM によって fitting させ、カラム上端からそれぞれの位置の分散係数を求める。

3. 実験結果と考察

結果の一部を表-1 に示す。

カラム装置の上部、中部、下部の流出破過曲線に対して fitting より推定して TRM パラメータ値を抽出したものである。

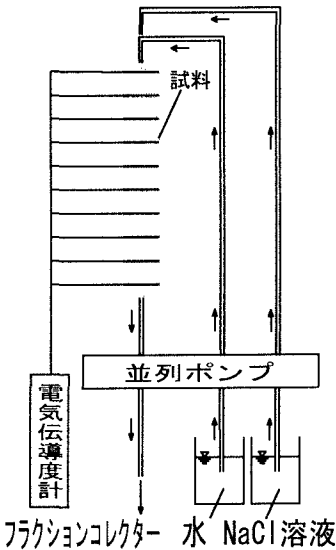


図-1 飽和カラム実験

表-1 実験結果

試料	粒径範囲 (mm)	ダルシー流速 (cm/min)	L (cm)	TRMパラメータ				分散係数 D (cm ² /min)
				ω	β	R	Pe	
鹿沼土	0.001-20.000	0.713	13.300	0.320	0.525	2.700	3.120	8.251
			43.200	0.542	0.510	2.300	10.400	8.276
			72.100	0.720	0.565	1.553	15.800	8.207
ガラスビーズ	0.425-0.600		13.400	0.355	0.980	1.174	120.000	0.230
			40.000	0.440	0.980	1.118	385.000	0.210
			70.000	0.635	0.980	1.056	685.000	0.210
豊浦砂	0.075-2.000		13.400	0.368	0.947	1.100	220.000	0.120
			40.000	0.469	0.973	1.156	690.000	0.110
			70.000	0.495	0.968	1.150	1100.000	0.130

3.1 可動水存在割合(β)

可動水存在割合はダルシー流速によらずほぼ一定値を示し、鹿沼土のバラツキが大きいことがわかった。

砂、ガラスビーズに比べて、鹿沼土の可動水存在割合が小さいのは、鹿沼土の比表面積が他の試料と比べて大きく、土粒子径が微小で、微細な間隙が広範囲に形成されているためと考えられる。微生物の生息環境として不動水部分が多くなることは好ましく、可動水存在割合が小さい試料が効果的である。そのためには、比表面積が大きく、微細間隙を多く持つ試料が好ましい。

3.2 遅延係数(R)

遅延係数はガラスビーズ、豊浦砂では約 1.0 を示し、鹿沼土に関しては不動水部分の割合が他の試料に比べて多いため遅延係数が大きい値となった。これは、鹿沼土が団粒構造の為不動水部分が多く、可動水から不動水へ行われる物質輸送に時間がより長くなる為である。

3.3 スタントン数(ω)

スタントン数は可動水と不動水間の物質輸送時間に対する移流の時間スケールの比を表したものである。可動水存在割合と同様にダルシー流速によらず、ほぼ一定値を示した。しかし、カラム長が長くなるに従ってスタントン数も大きくなる結果になった(図-2)。スタントン数の値はどの試料も 1 以下で、不動水部分への分子拡散の時間スケールが、流れ場の移流の時間スケールに比べ長いことがいえる。

3.4 ペクレ数(Pe)

ペクレ数もスタントン数と同様にダルシー流速に依存せず、カラム上端からの距離に依存して増加していく傾向が見られる。ペクレ数は土中の間隙内の流速分布による溶質分散の程度を表現しており、人工の球形材料のガラスビーズに比較して、自然堆積土の豊浦砂、鹿沼土でペクレ数の値にバラツキが見られたのは土粒子表面で形成される間隙境界面がガラスビーズに比べて凹凸が激しいためである。また、鹿沼土はペクレ数が豊浦砂、ガラスビーズに比べ小さい値を示し、分散係数が大きくなることも分かった。

3.5 分散係数(D)

図-5 は分散係数と流量(ダルシー流速)の関係で、流量の増加に伴って分散係数が大きくなっているのがわかる。他の試料でもダルシー流速の増加に伴って、分散係数が増加する傾向が確認できた。しかし、図-4 のグラフから分かるように溶質移動距離には依存していないことが確認できる。鹿沼土の分散係数は、豊浦砂・ガラスビーズの分散係数よりも大きい値となりこれら二つの試料よりも分散しやすいということになる。

4. 結論

- 1) 実験で使用した試料ではスタントン数は 1 以下になり、可動水ー不動水間の物質移動にかかる時間は、溶質の移流にかかる時間に比べて大きいことがわかった。
- 2) 分散係数は、溶質移動距離に依存せず、ダルシー流速に依存する。

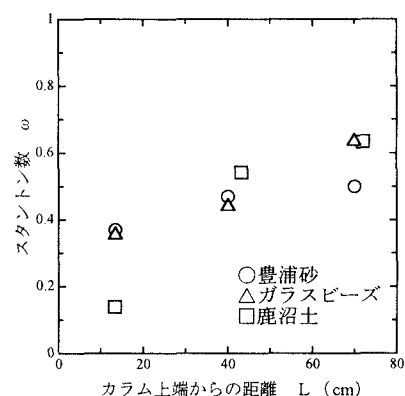


図-2 L- ω グラフ

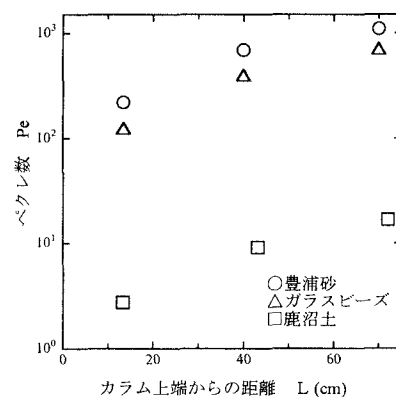


図-3 L-Pe グラフ

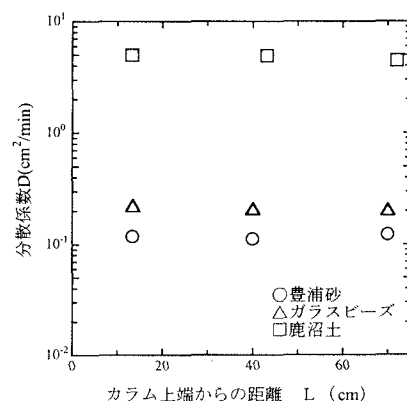


図-4 L-D グラフ

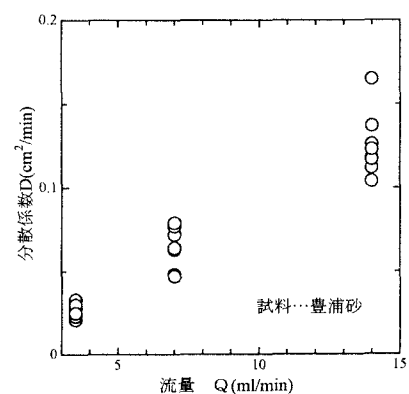


図-5 Q-D グラフ