

不飽和砂カラムにおける分散係数の飽和度依存性

岐阜大学○学生会員 柴田雅夫
信州大学 正会員 棚橋秀行
岐阜大学 正会員 佐藤健

1. はじめに

地表近くに負荷された農薬などの可溶性物質が、その後の降雨など気象条件の影響を受けつつ、どのように地盤中を移動し地下水帯まで到達するのかを把握することは、汚染物質の初期動態を解明する上で重要である。浅層地盤では、①流れの場合が飽和から不飽和まで激しく変化し、②降雨の他に温度、湿度など物質移動に及ぼす影響要因が多くあり、透水場の特性も含めて物質の動態は解明までに至っていない。飽和帯も含めて、地表面から地下水帯までの溶質移動の機構が解明されると、汚染の規模を正確に算定したり、除洗対策を効果的に進めることが出来るようになる。また、飽和帯と不飽和帯で別々に考えていた溶質の移動を、飽和・不飽和の区別なく統一的な考えで検討することも可能になる。

2. 実験方法

カラム下端に弱い空気吸引圧を負荷させて、カラム全体の水分量を一定に保持しつつ、下端からの流出水の濃度計測を行っている。装置の概要を図-1に示した。並列ポンプでカラム砂層上端への散水と下端からの排水を水道水によって開始する。水道水中の塩素イオン濃度はバックグラウンドとして、実験の都度、計測しておく。予備実験から砂層下端に負荷する空気吸引圧力・平均飽和度・流速の関係を求めておき、その結果に基づき任意の流れ場を作成する。散水流量と排水流量の一致を確認（定常流れ場の確認）後、散水を水道水から NaCl 溶液に切り替え、流出水をフラクションコレクターによって試験管に分採したのち、硝酸銀滴定で濃度計測する。

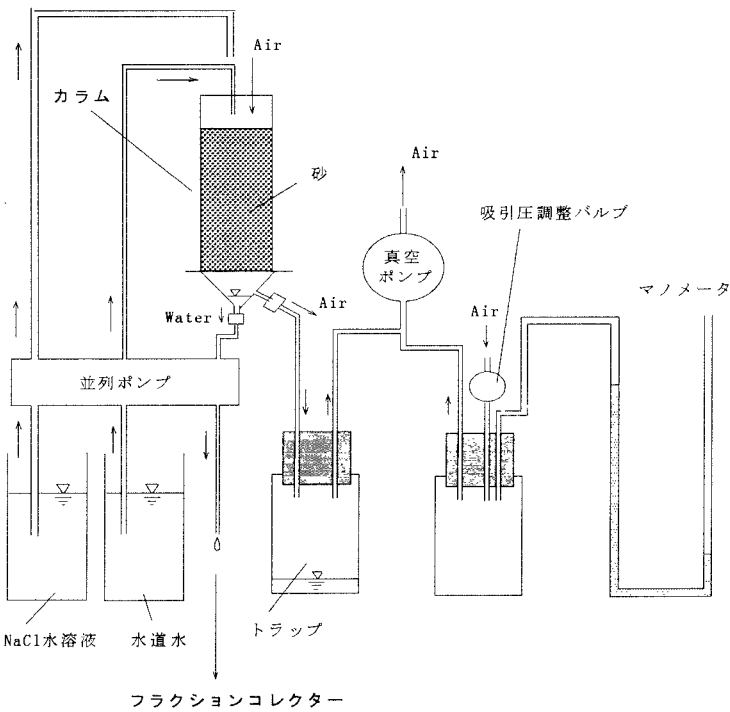


図-1. カラム試験装置

3. 分散係数・流速・飽和度の関係

分散係数と実流速の関係を図-2に示した。横軸は間隙平均実流速である。図中の数値は、試験時の飽和度である。同一の飽和度で分散係数を見ると、実流速が増加するとともに分散係数は増加する傾向がよくわかる。この関係は飽和度が変化しても同じであり、低飽和度になるほど実流速の増加に対する分散係数の増加の割合は大きくなることが判明した。

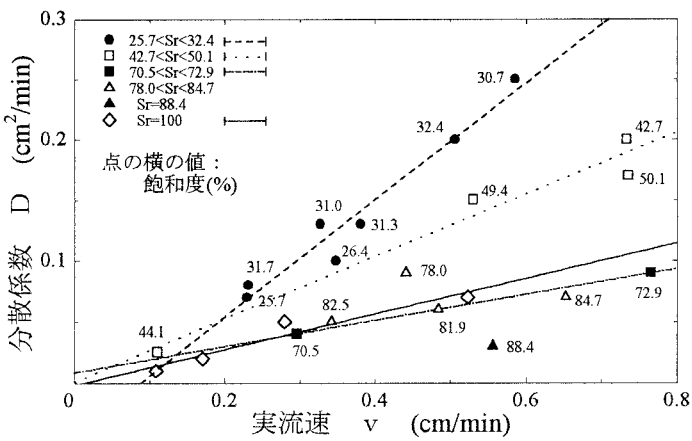


図-2 実流速と分散係数の関係

各飽和度での直線上のペクレ数を調べると、各直線毎にほぼ一定の値になっている

ことがわかった。したがって、図-2の各直線上では、どのような流速でカラム試験を行っても、流出破過曲線は同じ形になることがわかる。飽和度が低くなるほどペクレ数は小さくなる関係を保持しつつ、直線の勾配が増加している。カラムの長さが異なる場合は検討していないので、わからない。

分散係数と流速の比による分散度（分散長ともいわれる）と飽和度の関係を図-3に示した。分散係数と飽和度の関係が幾分ばらつきを見せたのに対し、分散度と飽和度の関係は流速によるばらつきは少なく、分散度—飽和度の直線的関係が認められる。分散度は長さの次元を持ち、定点観測の際には、流れの主方向における溶質の散らばりの範囲を示す。図-3の結果は、可溶性汚染物質の分散範囲が流速よりも水分量に強く影響を受け、飽和度が低くなるほど分散範囲は広がることを示唆している。ある時刻における

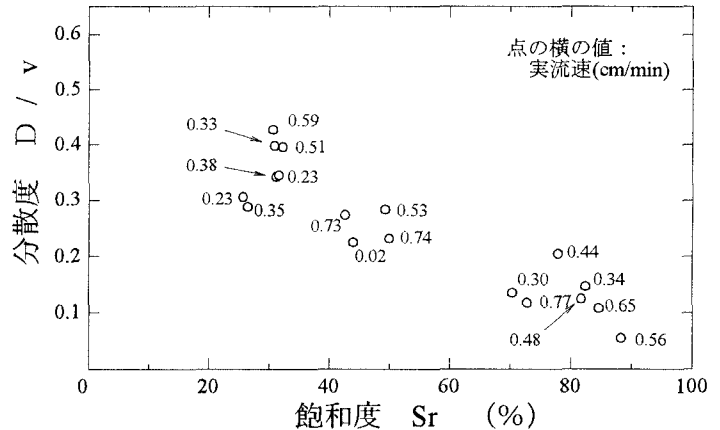


図-3 飽和度と分散度の関係

溶質位置に関する分散 (σ^2) は $\sigma^2 = 2\alpha L$ で推定される。ここで、 α は分散度、 L は汚染源からの距離である。図-3の結果は、飽和度が低くなるほど広範囲に汚染物質が分布する事を示唆するだけでなく、その範囲は時間に関係なく汚染源からの距離だけによって決まることを示している。なぜならば、溶質の空間分布に関する分散が、溶質の移動時間には関係なく分散度と移動距離で決まるからである。

4. まとめ

砂に対する試験では、不飽和流れ場の溶質移動がテーマであったので、カラム下端での飽和度上昇を防ぐため、カラム下端で弱い空気吸引を負荷する方法を採用した。空気吸引の有無による溶質分散特性への影響は、砂、ガラスビーズに対する分散係数が空気吸引の有無でほぼ同じ値になることによって確認している。豊浦砂に対するカラム試験の結果から得られた主要な結論をまとめると次のようになる。

- 1) 分散係数は、間隙平均実流速が増すほど大きくなり、同一飽和度ならば、分散係数と間隙実流速の関係はほぼ直線関係になる。この直線上では層長ペクレ数はほぼ同じ値になり、破過曲線は流速の大小に関わらず同じ形になる。
- 2) 分散度に飽和度依存性が認められ、飽和度が低くなるほど、分散度は大きくなる傾向が得られた。間隙平均実流速が 0.1-0.6cm/min の範囲では、分散度の間隙実流速への依存性はそれほど大きくない。

参考文献

- 1) 棚橋秀行：Two-Region モデルに基づく不飽和砂層中の溶質輸送機構の研究，岐阜大学博士学位申請論文，(1996)
- 2) L. P. DEVKOTA, U. MATSUBAYASHI and F. TAKAGI : A NEW FORM OF DISPERSION COEFFICIENT MODEL FOR THE POROUS MEDIA, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, VOL. 42, pp. 355-360, (1998)