

土の飽和度と水分保持特性曲線が溶質の分散現象に与える影響について

大豊建設(株) 正会員 ○祖父江 崇
 岐阜大学工学部 正会員 佐藤 健
 " 学生員 棚橋秀行

1. 目的

汚染物質の地中での挙動を把握するため、室内カラム試験とその解析が多く行われているが、近年は不飽和状態における挙動が特に注目されてきている。本研究は不飽和状態における汚染物質の分散現象について着目し、1)分散係数と飽和度の明確な関係を把握し、この関係を力学的に説明すること、2)土の間隙指標として実験の容易な水分保持特性曲線に着目し、これを出発点として分散現象と土の間隙構造との関連性を考察することを目的とした。

2. 方法

図-1に空気吸引不飽和カラム実験装置を示す。砂層カラムの下部には真空ポンプによって負圧が与えられており、空気を砂層内に流すことによって、カラム内の飽和度を均一な状態にできる（飽和度分布を図-2に示す）。吸引圧は吸引圧調整バルブによって制御し、その大きさはマンノメーターによって大気圧との水頭差から読み取る。そして並列ポンプを用いて砂層カラム上端へ汚染物質として NH_4Cl 溶液を一定流量で散水し、下部から同じ流量を排水する。流出水中の非吸着性物質である Cl^- の濃度の時間的変化を測って破過曲線を描き、これと移流拡散方程式

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} + q \frac{\partial C}{\partial x} = \theta D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

（ここで、 C :間隙液相における溶質濃度、 q :ダルシー流速、 D :分散係数、 θ :体積含水率、 t :時間、 x :距離）を比較し分散係数を求めた。そしてこの一連の作業を、①豊浦砂を用いて様々な飽和度（ダルシー流速一定）で、②豊浦砂、ガラスビーズGB-G、ガラスビーズGB201Mを用いて飽和状態で行い、それぞれ分散係数を求めた。

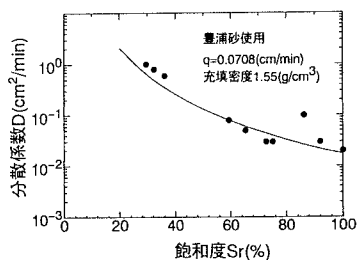


図-3 飽和度と分散係数の関係

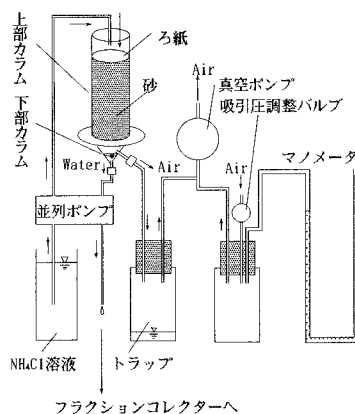


図-1 空気吸引不飽和カラム実験装置

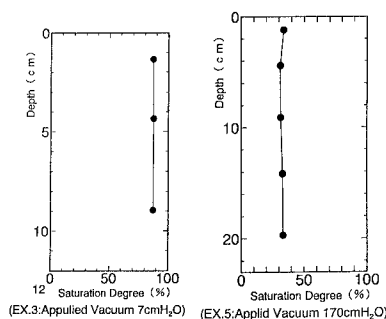


図-2 カラム内飽和度分布

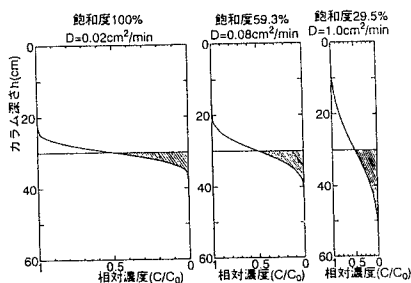


図-4 飽和度の違いによる濃度分布の比較

3. 結果と考察

3.1 飽和度と分散係数の関連性

豊浦砂を用いて様々な飽和度で分散係数を求めた結果を図-3に黒丸で示す。飽和度と分散係数の関係は片対数紙上で左上がりの曲線になることがわかった。

3.2 濃度分布に見られる傾向

3.1の関連の力学的説明を試みるため、無作為に飽和度100%, 59.3%, 29.5%の点を取り、カラム内での濃度分布が飽和度が違うことによって、どう異なるのか調べた（図-4）。図-4はカラムに上から溶液を流し分散の中心（相対濃度0.5）が同位置まで到達したときの濃度分布である。横軸の相対濃度を飽和度の比率で表示することによって、実際の溶質の質量を視覚的にわかりやすく表している。そして平均流速より早く降下してくる部分を斜線部で示した。斜線部の面積は、分散した実際の溶質の質量を意味することになる。この面積が各飽和度ともほぼ等しいことが確認できた。このことから、飽和度が変わっても分散する溶質の質量が同じになるメカニズムを明らかにできれば、飽和度と分散係数の関連性の力学的説明が可能になるのではないかと考えた。図-4の3つのケースの間では、充填されている砂の密度、粒径だけが共通であり、飽和度、実流速は異なることから、分散現象は主に土の密度、粒径といった土の間隙構造に支配されているのではないかと考察した。

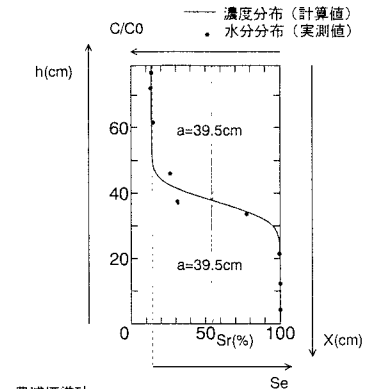
3.3 水分保持特性曲線と濃度分布の相似性

土の間隙指標として水分保持特性曲線がある。水分保持特性曲線と溶質の濃度分布の形に相似性があることに気づいた。このことについて検討するため、3つの試料で水分保持特性曲線と濃度分布の形状の比較を行った。水分保持特性曲線は1つの土試料について固有であるのに対して、濃度分布は時間とともに刻々と形状も位置も変化していく。そこで、両者の形がS字型になることに着目し、両者の変曲点を中心に重ね合わせることを考えた。水分保持特性曲線の変曲点は有効飽和度 $Se=0.5$ のあたりである。濃度分布は $h=0$ の点からこの点までの距離(a)と同距離を、濃度分布の中心（相対濃度0.5）が降りてきた瞬間を考え、変曲点の位置を合わせた。この計算結果を図-5に示す。この図から、全ての場合について水分保持特性曲線と濃度分布の形状がほぼ一致していることがわかる。

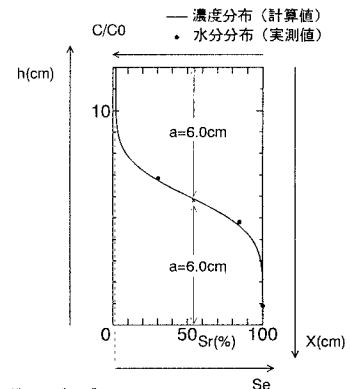
4. 結論

本研究で得られた主要な知見は次の通りである。

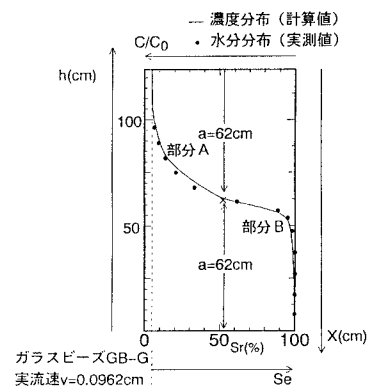
- ①ダルシー流速一定条件下における飽和度と分散係数の間には、図-2のような左上がりの曲線関係があることがわかった。
- ②カラム内の同位置における分散した溶質の質量が、飽和度によらず等しくなることがわかった。
- ③飽和状態における溶質の濃度分布と水分保持特性曲線の形状がある条件下においてほぼ等しくなることが、3つの土試料全てにおいて確認できた。



豊浦標準砂
実流速 $v=0.171$ cm/min, 分散係数 $D=0.03$ cm²/min
ペクレ数 $Pe=av/D=225.2$



ガラスビーズGB201M
実流速 $v=0.158$ cm/min, 分散係数 $D=0.02$ cm²/min
ペクレ数 $Pe=av/D=47.4$



ガラスビーズGB-G
実流速 $v=0.0962$ cm/min
部分A：分散係数 $D=0.35$ cm²/min, $Pe=17.0$
部分B：分散係数 $D=0.02$ cm²/min, $Pe=298$

図-5 水分保持特性曲線と濃度分布の形状の比較