

溶質分散係数の推定法

岐阜大学工学部 学生員 棚橋 秀行

岐阜大学工学部 学生員○鴛渕 貴光

岐阜大学工学部 正会員 佐藤 健

1. 目的

地上の人間活動に伴う地下水汚染が全国的に問題になっている。効果的な防止対策・浄化法の確立のためには汚染物質がどのような挙動を示すのかを把握する必要がある。そこで本研究は、汚染物質の分散現象に着目し、飽和度・実流速・土の種類と分散係数の関係を実験的に求め、分散係数の推定式を提案することを目的とした。

2. 実験方法

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、空気を砂層内に流し込むことによってカラム内の飽和度を均一な状態にできる。吸引圧は吸引圧調整バルブによって制御し、その大きさをマンノメーターによって大気圧との水頭差によって読みとる。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の解析解(式(1))と比較し分散係数を求めた。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{z-vt}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (1)$$

(ここで C_0 : 溶質の原水濃度、 C : 間隙液層における溶質濃度(mg/l)、 erfc : 補誤差関数、 v : 実流速(cm/min)、 D : 分散係数(cm^2/min)、 t : 時間(min)である。)そしてこの一連の作業を豊浦砂・ガラスビーズGB-ACを用いて様々な流速・飽和度で行い、それぞれのケースの分散係数を求めた。

3. 分散係数の推定式の提案

3.1 結果

実験より、ダルシー流速一定条件下においては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にあることがわかった。図-3は、カラムに上から溶液を流して分散の中心(相対濃度0.5)が同位置まで到達したときの濃度分布を表している。斜線部分の面積は、分散した実際の溶質の質量を意味しているが、この面積が飽和度が異なっても等しいことが確認できた。

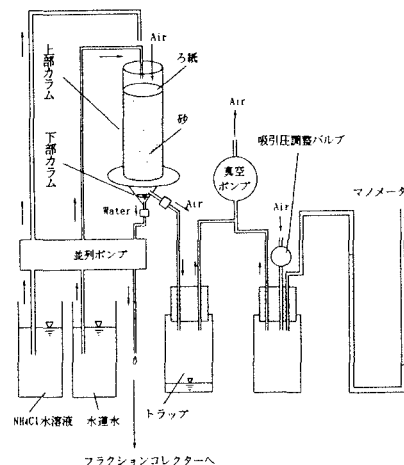


図-1 空気吸引不飽和カラム実験装置

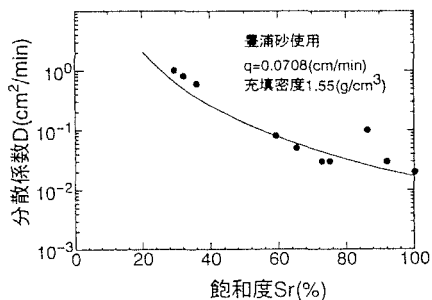


図-2 飽和度と分散係数の関係

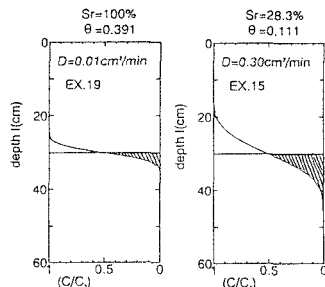


図-3 異なる飽和度の濃度分布

3.2 飽和度・実流速・分散係数の関係

3.1より飽和度・実流速・分散係数の関係式を提案してみる。図-3の規則性を用いて式(1)の解析解から式(2)が導かれる。

$$D_1 = \left[\frac{Sr_2}{Sr_1} \right]^2 \cdot \left(\frac{D_2}{v_2} \right) \cdot v_1 \quad (2)$$

(ここで Sr : 飽和度 (%) である。) 式(2)は飽和度・実流速より分散係数を推定することのできる式である。飽和度・実流速によって分散係数がどのように変化するかを式(2)によって計算した結果と実験結果は図-4に表すようにほぼ一致している。

3.3 水分保持特性曲線と濃度分布の形状の関係

水分保持特性曲線と濃度分布の形状は図-5のようにほぼ一致することがわかった。水分保持特性曲線のモデル式として、式(3)に示す van Genuchten モデルがある。

$$Se = \left[\frac{1}{1 + |\psi/a|^n} \right]^{(1-1/n)} \quad (3)$$

(ここで Se : 有効飽和度 (-), n : 定数, ψ : 圧力水頭 (cm), a : 定数 (cm) である。)

(1)にペクレ数 ($Pe = av/D$) を代入すると

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\sqrt{Pe}(z/a-1)}{2} \right) \quad (1)'$$

となる。 a と Pe を与えて、式(1)'にもとづき濃度分布を描き、この濃度分布とほぼ同じになるような水分保持特性曲線 ((3)式の a は同じ値) を描くことができるように n を求めた。砂かガラスビーズに対して、この計算を行ったところ、このときの Pe と n の関係式は

$$Pe = -13.19 + 0.77n + 0.618n^2 \quad (4)$$

となることがわかった。

以上のことから、土の水分保持特性曲線より、 n と a を求めれば、 Pe と式(1)'を通じて任意の実流速・飽和度における分散係数を推定できることがわかった。このように本研究の目的であった飽和度・実流速・土の種類から分散係数を推定する式の提案をすることができた。

参考文献

M.Th.van genuchten : A closed-form equation for predicting the hydrandic conductivity of unsaturated soil, Soil, Sci, Soc. Am. J., vol. 144, pp. 892~898, 1980.

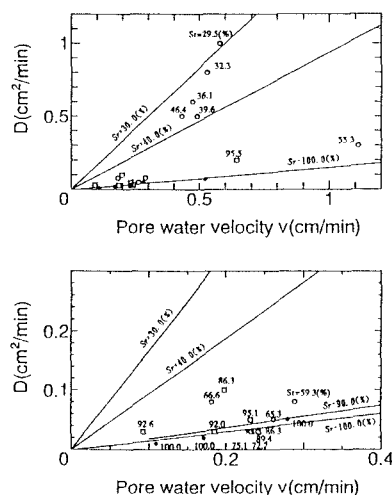


図-4 飽和度・実流速・分散係数の関係

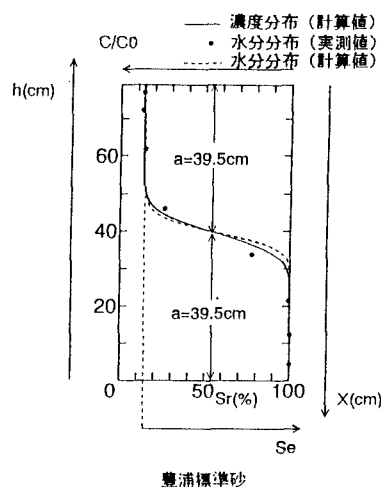


図-5 水分保持特性曲線と濃度分布の形状の比較