

(株)大林組技術研究所	正会員	○西田 憲 司
同 上	正会員	上野 孝之
同 上	正会員	西林 清 茂

1. はじめに

近年、環境問題の1つとして地下水汚染がクローズアップされており、地下空間利用などに際しては、汚染状況を予測する技術が必要となる。そこで、筆者らは独自に有限要素解析プログラムを開発し¹⁾、その一、二次元問題への適用の妥当性を確認している。こうした解析を行う際は、物質の拡がり方を支配するパラメータの分散能を入力する必要がある。特に多次元解析においては、地下水流れに対して直角方向の分散能 ε_T が解析結果に大きな影響を及ぼすが、その設定方法は確立されていない。ここでは、室内実験および数値解析を通して分散能を推定する方法について述べる。

2. 基本概念

保存系物質を対象とした二次元場において地下水流れが一方方向(x方向)の場合、移流拡散現象の基礎式は式(1)で表せる。用いた記号は文献¹⁾参照。

$$\frac{\partial(\rho \theta C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) - u \frac{\partial(\rho C)}{\partial x} \dots (1)$$

ここに、 $D_{xx} = \epsilon_L u + D_m \quad \dots (2), \quad D_{yy} = \epsilon_T u + D_m \quad \dots (3)$

地盤内のある点における濃度 C の時間変化を測定し、式(1)に代入すれば、未知数は分散能 ε_L 、 ε_T となる。そこで測定値を一次元場での値と仮定し、式(4)の Harleman and Rummel の一次元場の理論解²⁾と式(2)から、流れ方向の分散能 ε_L を求めて二次元場での分散能と仮定する。これを式(1)に代入すれば、流れに対し直角方向の分散能 ε_T だけが未知数となり推定できる。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x - u't}{2\sqrt{\frac{D_{xx}t}{\theta}}} \right) + \exp \left(\frac{u' \theta}{D_{xx}} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x - u't}{2\sqrt{\frac{D_{xx}t}{\theta}}} \right) \right] \quad \dots(4)$$

3. 二次元移流拡散実験

図-1の実験装置を用いて表-1の条件下で二次元実験を実施した。供試体はガラスビーズで作製し、移動物質にはNaClを用いた。実験はまず供試体底面(40×5cm²)から真水を鉛直上向きに一樣に通水し供試体を飽和させ、瞬時に供試体底面の中心部(10×5cm²)を塩水

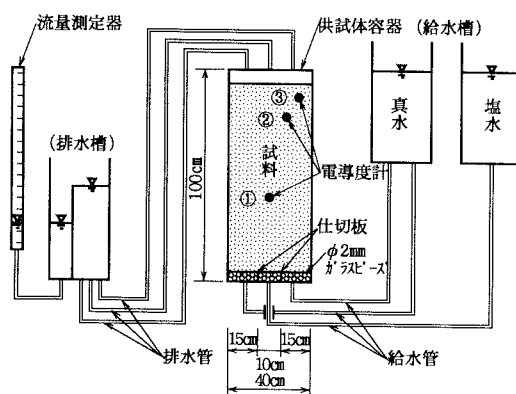


図-1 二次元移流拡散実験装置模式図

表-1 実験条件と実験試料の物理的性質

給水槽と排水槽の水位差	1.0cm
供給塩分濃度	1.0%
通水方向	鉛直上向に通水
NaCl濃度測定点	① { 底面から上へ39.0cm 中心から横へ0cm ② { 底面から上へ79.0cm 中心から横へ5.0cm ③ { 底面から上へ89.0cm 中心から横へ10.0cm
土の種類	0.2mm径ガラスビーズ
供試体寸法	幅40cm×高91cm×奥5cm
間隙率 θ	0.37
透水係数 k	7.3×10^{-3} cm/sec

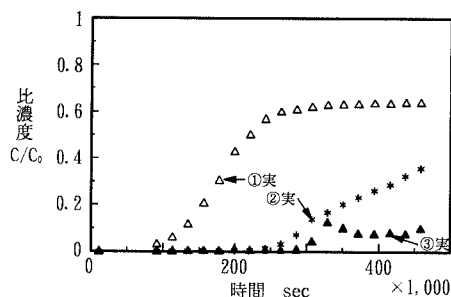


図-2 実験結果
(①～③における比濃度時間変化)

に切り替え、両端部(15×5cm²)はそのまま真水を通水した。塩水を通水し始めてからの通水時間は459,600secである。この実験は、浸透流に関しては一次元であるが、物質(NaCl)移動については二次元となる。供試体中の3箇所に設置した電導度計によって、塩水通水後の塩分濃度変化の測定結果は図-2のとおりである。測点①では時間の経過とともに濃度が上昇し、供給塩水濃度の約65%の濃度に達した後一定となる。供給塩水濃度まで達していないのは、流れと直角方向へNaClが分散しているためと考えられる。測点②も同様の傾向が見られる。

4. 分散能の推定

4.1 流れ方向の分散能 流れ方向の分散能 ε_L は、一次元実験¹⁾と同様に求めることができると仮定する。そこで供試体中心線上の測点①について、図-2の測定値(Δ 印)を図-3(*印)のように漸近一定比濃度が $C/C_0=1$ となるよう変換する。この変換値に最も近い C/C_0 を与える分散係数 D_{xx} を式(4)から逆算した結果は $D_{xx}=0.0004\text{cm}^2/\text{sec}$ (図-3参照)で、NaClの分子拡散係数を $D_m=1.26\times 10^{-5}\text{cm}^2/\text{sec}$ とすると、式(2)から $\varepsilon_L=1.67\text{cm}$ となる。

4.2 流れに対して直角方向の分散能 ε_T を求めるために実験条件と4.1節で得られた ε_L を用い二次元実験のシミュレーション解析を行った。解析にあたっては実験モデルが左右対称であることから、図-4のように供試体の左半分を解析モデルとした。モデルは3次元200要素であり、初期条件は全節点濃度を $C=0$ 、境界条件は塩水流入面の節点濃度を $C=1$ 、真水流入面の節点濃度を $C=0$ 、流出面は物質流出境界と設定した。いくつかの ε_T を入力して解析した結果、図-5のとおり各ケースで比濃度変化が異なったが、測点①の実験値と最もよく一致したは、図-6のように $\varepsilon_T=0.2\varepsilon_L=0.334\text{cm}$ を入力したケースであった。

4.3 推定分散能の妥当性検証 図-5は ε_T が大きいほど漸近一定比濃度は小さく、流れと直角方向へ物質が多く分散することを示している。 ε_T により比濃度変化が異なる一方で、 T_1 (濃度が上昇してから一定値になるまでの時間)は ε_T に係わらず一定である。よって $\varepsilon_T=0$ の場合が一次元に相当するため、4.1節で得られた ε_L は二次元場の縦分散能を表している。また図-6は、測点①の実験値から推定した ε_L 、 ε_T を入力した解析結果と実験値を比較しているが、測点②についてもほとんど一致しており推定値の妥当性が確認できた。

【参考文献】1)西田, 上野, 西林: 第29回土質工学研究発表会講演集, pp.1929~1930, 1994. 2)D. R. F. Harleman and R. R. Rumer: J. Fluid Mech, Vol. 16, pp. 385~394, 1963.

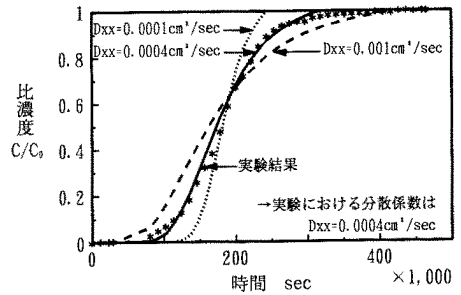


図-3 分散係数 D_{xx} 逆算

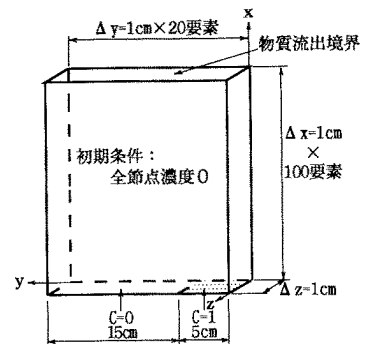


図-4 2次元解析モデル

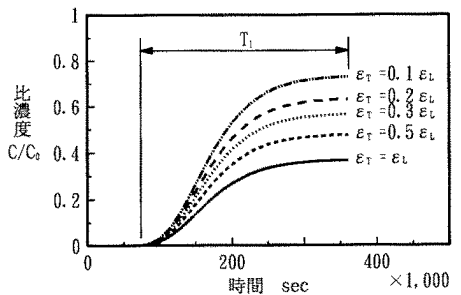


図-5 ①における比濃度時間変化($\varepsilon_L=1.67\text{cm}$ の場合)

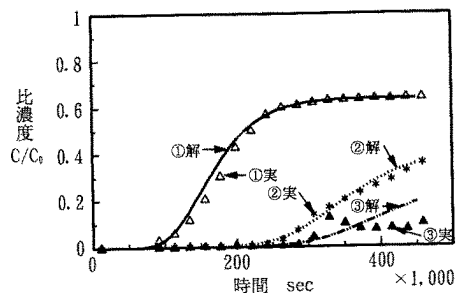


図-6 実験結果と解析結果の比較
(①~③における比濃度時間変化)