

II-13

吸着と遅れを伴う砂層内の塩水輸送

宮崎大学工学部 正会員 杉尾 哲、学生会員 ○池畑 義人

1. まえがき

海岸沿岸部の地下水の塩水化の対策を考えるにあたって、地下水中の塩分の動きを知ることは非常に重要である。そのため本研究では、砂質土を想定した珪砂、均等係数の大きな川砂、粒子表面が滑らかで粒径の揃った発泡スチロールの原料のビーズ状の粒子（以下、発泡スチロール球と称する）の3種類の砂層内での塩分の動きを測定して互いに比較し、それらの違いを定量的に評価するために分散パラメータ^{1,2)}を求めた。

2. 遅れを考慮した物質輸送の解析解

塩水が砂層内を移動するときに、砂粒子表面への塩分の吸着と砂層内の流動に寄与しない滞留空隙部分における微視的な塩分拡散現象に伴う輸送の遅れの両方が作用していると考え、これらを考慮した一次元の分散方程式は式1で表される。

ここに c : 濃度、 $D_L = a u$ 、 a : 分散定数

u : 移動速度、 R : 遅れ係数、 m : 減衰係数

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{u}{R} \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{D_L}{R} \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - mc \quad (1)$$

であり、初期条件 $c(z, 0) = 0$ と境界条件 $c(0, t) = 0 (t < 0)$; $c = c_0$

$(t \geq 0)$ 、 $c(\infty, t) = 0$ のもとでの式1の解は、ペクレ数 $Pe (= z/a)$ が $Pe < 10$ の場合、式2のようになる³⁾。

$$c(z, t) = \frac{c_0}{2} \exp\left[\frac{z(1-\sqrt{1+4maR/u})}{2a}\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{z-ut/R\sqrt{1+4maR/u}}{2\sqrt{aut/R}}\right] \quad (2)$$

3. 実験装置および実験方法

実験砂は、表1に示す3種類の砂を用いた。実験装置は鉛直一次元の浸透装置で、内部の断面は9.5cm×9.5cmである。装置下部には定量ポンプが接続しており、食用色素で着色した比重1.03の塩水を供給排除する。砂層長の平均は約50cmであり、砂層の下から17cmの位置から2.5cm間隔で6ヶ所に5mm直径の電気伝導度用のセンサーを取付けている。実験は、塩水を供給排除して、砂層内の塩水移動に伴う電気伝導度の変化を測定した。この測定を1, 4, 7, 10, 13ml/sの5種類の流量について行った。

表1 実験砂の物性値

実験砂	d ₁₀	平均粒径	均等係数	間隙率
珪砂	0.54mm	0.76mm	1.67	45.0%
川砂	0.27	0.96	3.15	41.9
発泡スチロール球	0.87	0.87	1.0	38.6

4. 実験結果と考察

①実験砂による輸送現象の相違

図2は流量7mlの時の図1のNo.4のセンサーで測定した塩分濃度の変化の様子を表したものである。縦軸には電気

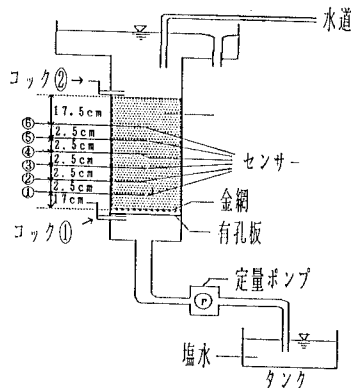


図1 実験装置図

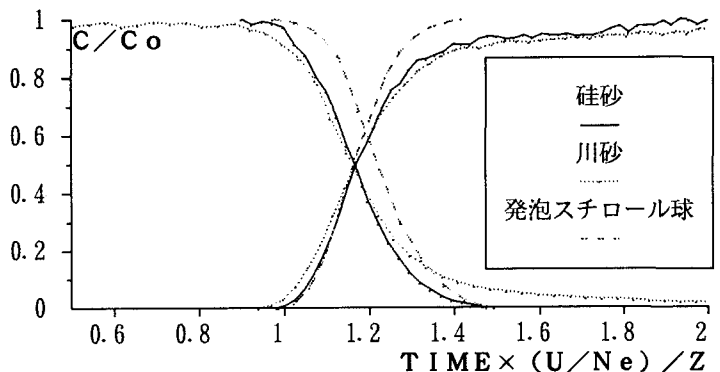


図2 塩分濃度の変化

伝導度の最終値で除して濃度と近似した値を、横軸には流速と空隙率の違いによる到達時間の違いを補正するために、測定開始点からセンサーまでの鉛直距離と実流速を用いて無次元化した測定開始からの経過時間を用いている。この図から濃度の最終値への収束は発泡スチロール球が最も早く、次に珪砂、川砂の順になっている。この収束傾向の違いは、粒子表面への吸着と流動に寄与しない滞留空隙部分への拡散現象の実験砂による相違によって起こると考えられるが、発泡スチロール球の場合は表面が滑らかで吸着が起りにくく、粒径が均一であるため滞留空隙部分が生じにくいと考えられる。また、川砂の場合に濃度の収束が非常に緩やかであるが、これは均等係数、つまり微細な粒子が存在することによって表面積が増加すること、の影響が現れたものと思われる。次に、この破過曲線をもとに式1から分散定数、遅れ係数、及び減衰係数を逐次近似法で求めた。

②分散定数

分散定数は破過曲線の形状に係るパラメータで、この値が大きいほど曲線の立ち上がりが急で、なかなか一定値に収束しない傾向を示す。この傾向で図2を参照すると、分散定数の大小が推定できる。図3は、それぞれの実験砂から求めた各センサーごとの分散定数の値を侵入過程と排除過程でそれぞれ示したものである。全体的な傾向として、排除過程の値が侵入過程の値よりも大きい。また、実験砂別には、川砂の値が最も大きく、珪砂、発泡スチロール球の順になっている、図2の傾向と一致する。この順序を表1の物性値と対比させると、 d_{10} あるいは均等係数の大小と一致していて、分散定数が d_{10} あるいは均等係数の関数であることが分かる。

③遅れ係数

図4は、それぞれの実験砂から求めた各センサーごとの遅れ係数の値を侵入過程と排除過程でそれぞれ示したものである。この結果は侵入過程と排除過程あるいは実験砂によって明瞭な傾向を示さず、ほぼ1.1~1.25の値で分布しているが、珪砂と発泡スチロール球の侵入過程の値はレイノルズ数が大きいほど遅れ係数が大きくなる傾向を示していることが分かる。

④減衰係数

減衰係数は輸送中の吸着などによる塩分の消費を示すものであるが、今回は電気伝導度の最終値で除して濃度と近似したので實際上、消費は考慮されておらず、 10^{-5} のオーダーの非常に小さな値に算定されている。

5. まとめ

以上、異なった3種類の実験砂について分散パラメータを求めてきた。今回の測定により、分散定数については砂粒子表面の形状・粒度等の違いとの対応関係がある程度つかめたものとする。

☆参考文献

- 1) 杉尾：土木学会第41回年次講演会概要集II、1986。
- 2) 杉尾・黒木：土木学会西部研究発表会講演概要集、1993。
- 3) 上田監訳：パソコンによる地下水解析、森北出版、1990。

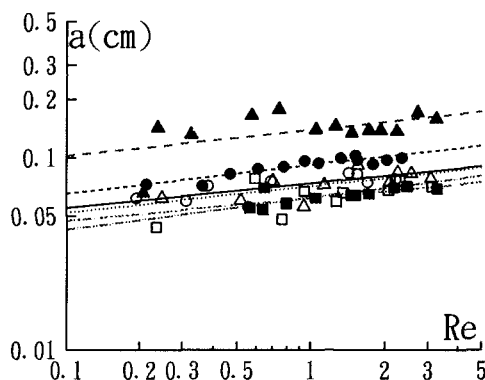


図3 分散定数

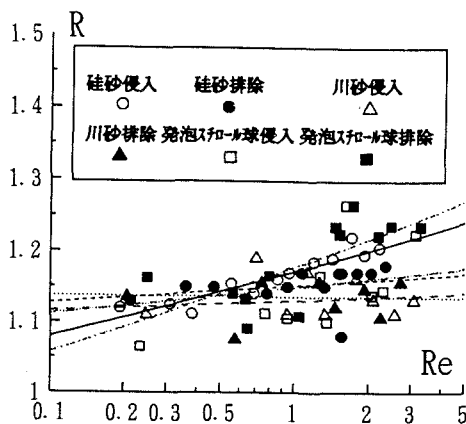


図4 遅れ係数

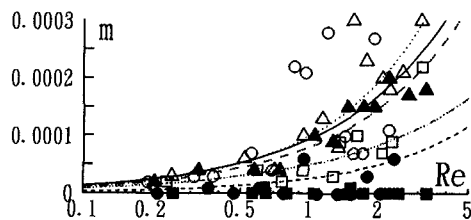


図5 減衰係数