

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

海岸に面した浸透地盤内の分散機構に関する研究はかなり古くから行われているが、吸着と遅れを伴う分散現象について検討した研究は少ない。本研究は、砂柱モデル装置を用いた室内実験によって、砂質土の分散パラメータの分散定数、遅れ係数および減衰係数を求めているが^{1,2)}、今報は珪砂、川砂および発泡スチロール球の分散パラメータを求めて検討したものである。

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
 であり、初期条件 $c(z, 0) = 0$ と境界条件 $c(0, t) = 0 (t > 0)$ 、 $c(\infty, t) = c_0 (t \geq 0)$ のもとでの式1の解は、ベクレ数 $Pe (= z/a)$ が $Pe < 10$ の場合、式2のようになる³⁾。

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

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
発泡球	0.98	0.98	1.0	47.7

$$c(z, t) = \frac{c_0}{2} \exp\left[\frac{z(1-m)}{2a}\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{z-utm/R}{2\sqrt{au/R}}\right] \quad (2)$$

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。実験装置は前報と同じ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り付けている。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。

4. 実験結果と考察

①実験砂による輸送現象の相違

図1、図2は、流量7ml/sの時の侵入過程と排除過程における塩分輸送の様子を示している。これらの図は、縦軸に各時間の伝導度を伝導度の最終値で除したものを濃度として用いており、横軸は各実験砂での測定流量の差を考慮して、到達時間を各々の測定時において実測した流速と砂層長さで無次元化した値を用いている。これらの図から、3種類の実験砂での塩分輸送現象には明かな差異が認められることが分かる。

まず図1と図2に示した濃度の立ち上がりと降下は、発泡スチロール球の場合が最も早く、また一定値に収束

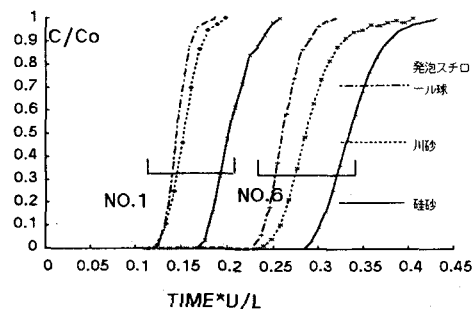


図1 塩水侵入過程の濃度の時間的变化

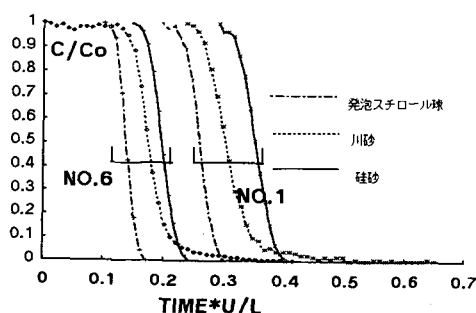


図2 塩水排除過程の濃度の時間的变化

する様子も早いことが分かる。これは、発泡スチロール球の粒子表面が滑らかで粒子径が均一であるため、粒子表面への吸着が起らず、流動に寄与しない滞留空隙部分が発生しにくく、その結果このような理想的な分散現象が起こったものと考えられる。これに対し、川砂と珪砂での濃度の変化傾向は、発泡スチロール球とは異なり、立ち上がり及降下が遅く、一定濃度への収束も遅い。特に川砂には収束の遅延傾向が顕著に現われている。これは、川砂については、表1に示すように均等係数が大きいことから、細粒分が多いことによる滞留空隙部分が発生しやすい状況にあることによる違い、珪砂については、粒子表面に多くの凹凸が存在することから、その部分で塩分吸着と滞留が発生しやすい状況にあることによる違いが輸送現象の遅れを生じさせているものと考えられる。

②分散定数

上記のような時間的な濃度変化の測定結果を用いて、式2から分散定数、遅れ係数および減衰係数を逐次近似法で求めた。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侵入過程と排除過程での平均値を示している。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く、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。これは表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る。

③遅れ係数

図4は、遅れ係数の侵入過程と排除過程での平均値を示したものである。この結果からは傾向を把握できない。図1、図2から分かるように、発泡スチロール球は遅れが少なく、珪砂が最も遅れているにもかかわらず、遅れ係数は必ずしもこれに対応しておらず、例えば珪砂の遅れ係数の値は他に比べて相対的に大きいとは言えず、侵入過程においては発泡スチロール球の遅れ係数の方が川砂よりも大きくなっている。これは、逐次近似法による同定作業に問題があったと思われる。遅れ係数の評価は本研究の重要課題でもあり、今後の検討としたい。

④減衰係数

図5は減衰係数の値を示している。全体的には、侵入過程の値が排除過程より大きくなっていて、珪砂と発泡スチロール球でその相違が顕著に見られるが、川砂では相違は少ない。またレイノルズ数の変化により数値が大きく異なることが分かる。この結果を基に図1と図2の濃度変化を見ると、減衰係数の大きい場合に濃度の収束が遅いようになり、濃度変化曲線の非対称性がこの変数によって表現されていることが分かる。

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、分散定数と減衰係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考えられる。

☆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.

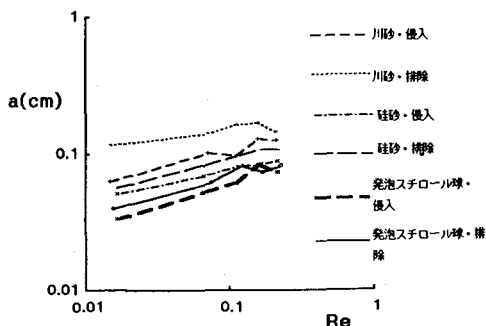


図3 分散定数

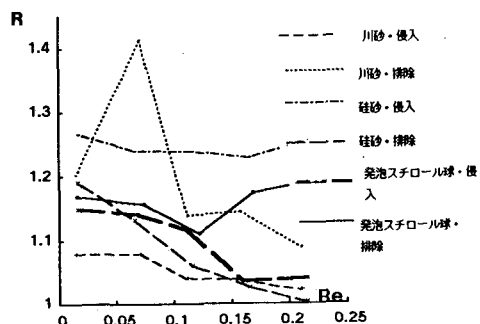


図4 遅れ係数

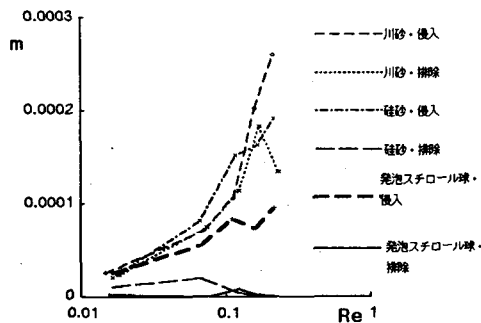


図5 減衰係数