

II-80 遅れを考慮した砂層内の塩水移動

宮崎大学工学部 正会員 杉尾 哲

1. まえがき

地下水の塩水化問題において、浸透層内の侵入過程の塩分移動解析については、これまでに多くの数値モデルが検討され、その現象を精度良く再現できるようになった。これに対し、侵入した塩水の排除過程については分散解析を行っても再現できていないようである¹⁾。この相違は、土粒子表面への吸着・脱着現象と浸透層内の流動に寄与しない空隙部分における貯留された塩分の微視的な拡散現象とが両過程において相違するためであると解釈される。本報は、砂層内に侵入・排除を繰り返した場合の塩分濃度の変化を実験測定し、塩水移動の遅れを考慮した解析により遅れ係数を求めたものである。

2. 遅れを考慮した物質輸送の解析解

吸着・脱着および残留による塩水移動の遅れを考慮した一次元の輸送方程式は次式で表される。

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

c : 濃度、 $D_L = \alpha u$ 、
 α : 分散定数、 R : 遅れ係数

式1の、初期条件 $c(z, 0) = 0$ と境界条件 $c(0, t) = 0 (t < 0)$; $c_a (t \geq 0)$, $c(\infty, t) = 0$ のもとでの解は、ベクレ数 $Pe (= z/\alpha)$ が $Pe < 10$ の場合、式2のようになる²⁾。 $R=1$ とおくと、遅れを考慮しない解と一致する。

$$c(z, t) = \frac{c_a}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{z-ut/R}{2\sqrt{\alpha ut/R}}\right) \quad (2)$$

3. 実験装置および実験方法

実験砂は、熊本産の硅砂($d_m=0.76\text{mm}$)を洗浄して用いた。実験装置は透明な塩化ビニール板製の、図1のような装置を使用した。内部の砂層断面は $9.5\text{cm} \times 9.5\text{cm}$ である。装置下部には定量ポンプ(PA-21B)が接続してある。また各実験開始前には、コック①あるいはコック②から塩水と淡水の混合液を排除して、塩水と淡水の境界面を形成させた。タンク①の塩水は比重1.025で、淡水と区別できるように食用色素で着色した。砂層の長さは 48.75cm であり、砂層の下から 12.2cm , 24.4cm , 36.65cm の3ヶ所に 5mm 直径の温度補償回路付きの電導度用のセンサーを壁面から 5cm 突き出して取り付けた。

実験方法は、最初に砂層内を淡水で飽和させておき、塩水を定量ポンプで供給して、砂層内の塩水移動に伴う電導度の変化を測定した。その後、上面から淡水を供給しながら、定量ポンプで塩水を排除させて電導度の変化を測定した。なお境界面が砂層の上面あるいは下面に達した時点を送り出しを停止し、この測定を1, 4, 7, 10, 13ml/sの5種類の流量について連続して行い、このシリーズを連続して5回繰り返した。

4. 実験結果と考察

① 輸送速度を与えた場合の分散定数

式2の輸送速度 u を砂層への侵入開始時刻から測定曲線

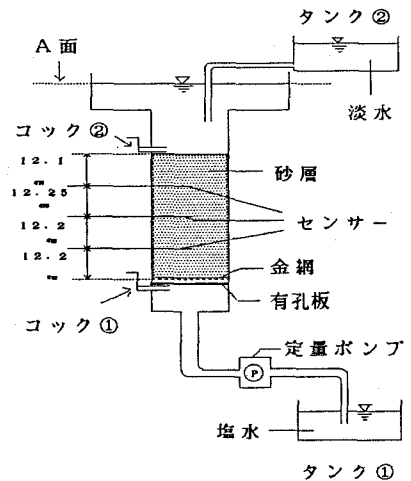


図1 実験装置の概略図

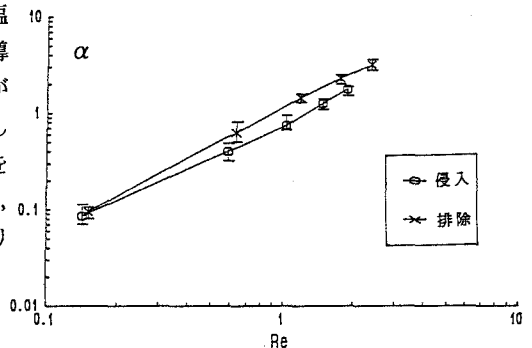


図2 遅れ係数を考慮しない分散定数

の50%濃度に達するまでの経過時間から求めて与え、 $R=1$ として分散定数を求めると、図2が得られた。図中には分散定数の範囲とその平均値を示しているが、値がレイノルズ数($Re=ud/\nu$; d は実験砂の粒径)によって変化していることが分かる。いま流量4ml/sの場合の塩水侵入過程での濃度の時間変化を示したものが図3であるが、この図から、塩水移動に遅れが生じていることが分かる。これは、土粒子表面への吸着脱着現象と浸透層内の流動に寄与しない空隙中での微視的な拡散現象に塩分が消費されていることによるものであり、図中のずれは、排除過程に完全に排除されずに残留する塩分があるために生じたものと解釈される。

② 遅れ係数を考慮した場合の分散定数

次に、輸送速度 u を実験流量と砂層断面積および間隙率 n ($=47\%$) で算定して与え、分散定数と遅れ係数を求めると、図4と図5を得た。

図4は遅れ係数を考慮した場合の分散定数の範囲と平均値を描いたものである。この場合の分散定数は図2の場合に比べてレイノルズ数による変化が小さく、ほぼ一定値になっていることが分かる。

③ 遅れ係数

図5は遅れ係数の範囲とその平均値を描いたものである。この図から、遅れ係数の値が塩水侵入過程ではほぼ $R=1.25$ の一定値となるが、排除過程ではやや小さい値となって、レイノルズ数が大きくなるほど1に近づく傾向にあることが分かる。この両過程において遅れ係数が相違し、レイノルズ数によって変化することが、塩水排除過程の解析の困難さに影響していると考えられる。なお遅れ係数の値は実験繰り返し回数によって次第に小さくなっている。

④ 計算値と実測値との比較

図6は、1回目の1ml/sの実験曲線(実線)と式2の計算曲線(点線)および $R=1$ において求めた計算曲線(破線)を比較したものである。これから遅れ係数の効果が理解できる。なお実線と点線を比較すると、侵入過程では実験曲線の方が高濃度付近の濃度上昇がゆるやかで、排除過程では実験曲線の低濃度付近の濃度低下がゆるやかになっている。このことから、土粒子表面への吸着・脱着現象と浸透層内の流動に寄与しない空隙中に貯留された塩分の微視的な拡散現象は複雑で、式2の解ではこれらの現象を十分に表現できていないことが分かるが、遅れ係数を考慮することによって、塩水侵入過程と排除過程の現象の違いを表現できることが考えられる。

☆参考文献 1) 細川・神野：地下塩水・契の侵入・排除過程における塩分混合特性、第41回年講II-104, 1986。

2) 上田監訳：パソコンによる地下水解析、pp.177-181、森北出版、1990。

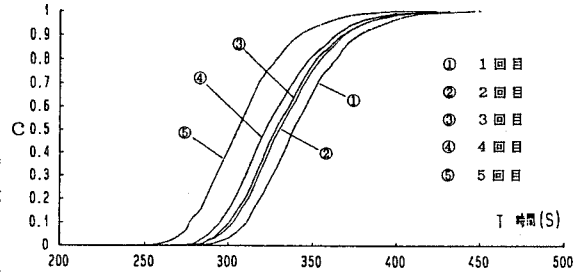


図3 履歴による侵入過程の濃度変化

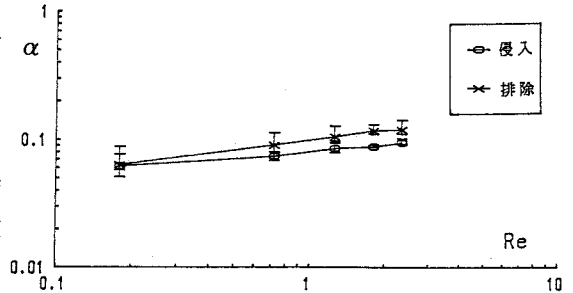


図4 遅れ係数を考慮した分散定数

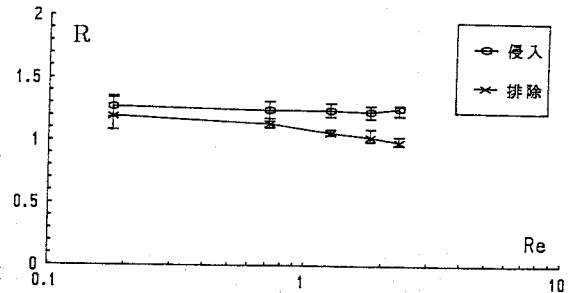


図5 遅れ係数

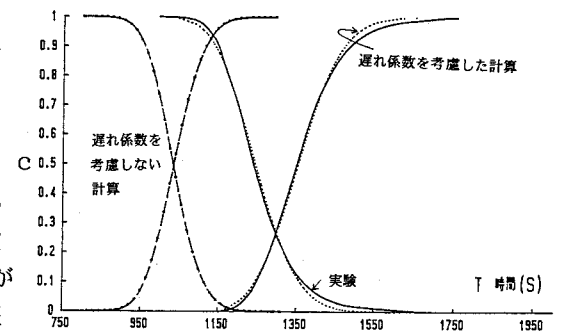


図6 実験曲線と計算曲線の比較