

地下水流動及び物質輸送数値シミュレーション -神野健二-(2014 July 24)

廃棄物処分場での地下水の流れと物質輸送解析

1. 解析の目的

電子計算機の発達には複雑な自然現象の解明に大きな貢献をもたらしている。今日では地下水の流れや地下水に溶解して流れる物質の輸送解析もパソコンでも1次元、2次元はおろか、3次元解析でも実行可能となっている。以下に解析事例を紹介し、シミュレーション技術が実務においての利用可能性を考えたい。

2. 地下水シミュレーションとは

地下水が地表水と大きく異なるのは、地下水が人目に触れずに流動することである。したがって汚染物質が地下水の流れによって輸送されることも見る機会も少ない。また流動速度が遅いことや複雑な地層条件のため、流速や物質の変動を正確に予測するのは多くの場合は難しい。しかし、降雨の観測値や地質条件、物質の化学特性などの情報が与えられれば、流れの方向や速度、物質の濃度の変化などの再現や将来予測なども可能であり、地域の水循環や水環境の保全策などに利用できる。

ここで言う地下水の数値シミュレーションとは、現象を支配する数式を電子計算機でプログラム言語によって書き直し、計算対象領域の地質や降雨量情報を与え、現象を再現することを目的とする。地下水の流れが再現できれば、地下水によって移動する汚染物質の輸送や将来の拡がり予測される。通常はフォートランとよばれるプログラム言語が使われる。ちなみに、広領域平面の2次元地下水流動を計算する場合には、下に示す式(1)~(3)をデジタル化し計算を実行する。また、立方体での地下水の動きをも解析する場合には、3次元の基礎式をデジタル化しプログラムを作る。式(3-a)に3次元解析の基礎式である。また式(3-b)は物質輸送の基礎式である。しかし、これらの計算プログラムはパッケージとして市販されているが高額であるため、あまり普及していない。このため、数値解析が身近なものから手の届かないものとなっている状況と思われる。

3. 適用方程式

- (1) 2次元鉛直断面地下水流動方程式
- (2) 2次元平面地下水流動方程式
- (3) 3次元数値シミュレーション(流れと物質拡散)
 - (a) 3次元不飽和-飽和地下水流動方程式
 - (b) 3次元物質輸送方程式

$$\begin{aligned}
 (C_w + \beta S_0) \frac{\partial h}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k(h) \frac{\partial h}{\partial y} \right\} \\
 & + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right\} \quad (3-a)
 \end{aligned}$$

h : 圧力水頭, (x, y, z) : 座標, $k(h)$: 透水係数, t : 時間,
 C_w, β, S_0 : 体積水分率, 変数 (0 or 1), 比貯留係数

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right) \dots (3-b)$$

$C(x, y, z, t)$: 汚染物質濃度, (u, v, w) : (x, y, z) 座標の流速成分,
 t : 時間, 式(3-b)の右辺の分散項は表示は一部割愛, D は分散係数

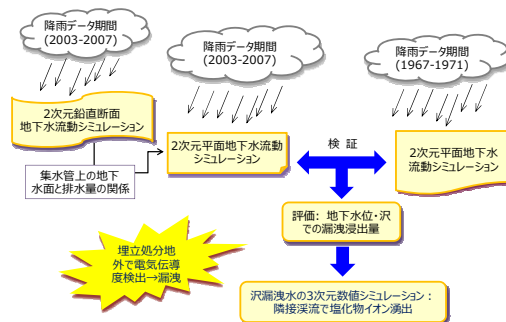


図-1 浸透流解析及び物質輸送解析による現象再現・予測

4. 適用事例とまとめ

式(3-a)で地下水流動解析を実施し、得られた3方向の流速分布を式(3-b)に適用して、汚染物質の移動を計算する。ある廃棄物処分場で計算を実行して、図-2のように湧水点での塩化物イオンの上昇傾向を再現している。なお、図では断層1および2の透水係数 K_{F1} 、 K_{F2} はそれぞれ0.01cm/sec および0.005cm/secとした場合である。断層2に沿って湧水する塩化物イオンは観測値と整合している。なお断層1に沿って湧水からの塩化物イオン Cl^- の湧出は観測されていないが、断層2から湧出した水中の塩化物イオン濃度は観測値(緑色)に近い挙動を示している。

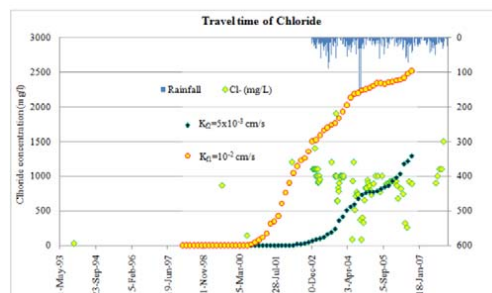


図-2 浸透流解析と物質輸送解析によるトレーサー移動解析

5. 参考資料

1) Dang Thuong Huyen, "Numerical Analysis for Effects of Landfill Operation on Groundwater Environment(埋立処理が地下水環境に及ぼす影響の数値解析評価)"