

(株) 阪神インサルタンツ 正員 渡辺 弘
竹田英彦

1. 概要

建設工事あるいは各種廃棄物埋立による地下水汚染については地下水および土壌が人間生活の基盤であること、累積されること、さらに汚染速度が比較的緩速であることから現在ではもちろん将来的にも重要な問題である。この種の問題に対しては現場において井戸あるいはボーリング孔より得た試料についての水質、土壌分析結果等による管理方法が頻度・精度上の問題があるにしろも説得力の点で非常に有効であろう。一方電子計算機を利用しての数値解析も急速に発展しており地下水汚染の基礎式となる拡散方程式……(1)式……を有限要素法(F.E.M.)で求めるところまで進んでいる。解析手法の進歩に伴い、入力データの種類の精度アップが要求されるのは他の分野と同じである。

井上・森澤⁽¹⁾によつて(1)式に(2)式なる変数変換を施せば(3)式となり(4)式において $k_d=0$ といたした場合に相当すること、すなわち汚染物質の移動と地下水そのものの移動とが時間軸について数学的に相似であることが示された。これを利用して汚染物質の帯水層中での移動を予測する2種類の方法を提案している。オ1の方法は帯水層についての水理学的、地質学的、物理学的特性値を得る(4)式により推定するもので、オ2の方法は適当なトレーサ(土壌に吸着しないもの)を用いたトレーサの帯水層中での移動を把握し(2)式によつてトレーサ移動の時間スケールを汚染物質移動の時間スケールに読みかえることにより推定するものである。オ1の方法で推定する場合の地下水流速については現場における地下水位等の実測値から(4)式で示される非定常2次元地下水解析を用いて求める例が多い。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left\{ 1 + \frac{1-f}{\rho} \rho k_d \right\} C + \frac{\partial}{\partial x} (u_x C) + \frac{\partial}{\partial y} (u_y C) = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C}{\partial y}) \quad \text{----- (1)}$$

ここに C : 汚染物質の地下水濃度 D : 地下水の拡散係数
f : 地層の空隙率 $D = D_m |u| + D_d$ D_m : 標準拡散係数
ρ : 地層を構成する土壌の密度 D_d : 分子拡散係数
 k_d : 汚染物質の地下水と土壌との間分配係数 u : 地下水流速

$$t = \left\{ 1 + \frac{1-f}{\rho} \rho k_d \right\} T \quad \text{----- (2)}$$

$$\frac{\partial C}{\partial T} + \frac{\partial}{\partial x} (u_x C) + \frac{\partial}{\partial y} (u_y C) = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C}{\partial y}) \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{k}{\lambda} \left[\frac{\partial}{\partial x} \{ (h-z) \frac{\partial h}{\partial x} \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (h-z) \frac{\partial h}{\partial y} \} \right] \quad \text{----- (4)}$$

一般に地盤は何層かの帯水層を構成されており水位観測用ボーリング孔あるいは井戸の深度、ストレーナ加工深度によつて同一現場でも異なる結果が得られる場合がある。また部分的に流速の大きい層が存在しても水位変動に直接反映されるとは限らないが汚染の問題ではむしろ流速の速い層が問題となるので何らかの対処が必要である。地下水の追跡調査に現場で行なえばある程度把握できるが経済性・調査期間、頻度に多少問題があり、短期間で把握されればとの願いから単一ボーリング孔を利用して例えば地下水検層のような簡単な測定器を用いて孔内の塩分濃度を測定し拡散理論と組み合わせて流速を求められないかと考えた。なお同様の測定方法については有泉⁽²⁾のものがある。今回地下水追跡調査の機会を得、塩水投入孔において地下水検層を実施した結果、精度上かなり問題はあるが測定器の改良か人とは可能性もあるとの結論を得たので報告するものである。

2. 現場測定および数値解析結果

地下水追跡調査実施場所、沖積地盤の柱状図の一部を図-3に示す。観測孔はトレーサ(塩)投入孔より2mおよび7mの半径上に設け、試行錯誤の末8日間投入した場合半径2mの地点では図-1に示す結果が得られた。図-1よりボーリング孔上部の流速=0.5 m/day、下部は1 m/day程度とあることがわかる。なお図中の R_y はダミー孔の抵抗値であり観測孔での抵抗値を R とすれば塩水流入により R が下り $(R-R_y)/R_y$ 値は低下するので図中の矢印を到達日とした。数値解析は3式でCrank-Nicolson型の差分近似でSDRによることも、結果は図-2に示した。地下水層厚測定結果より図-2を利用し流速を求めるためには抵抗値と濃度の関係と把握が必要であるが、今回使用した某メーカーの検層器を用いて室内実験した結果良好な結果は得られなかった。そこで抵抗値濃度関係のうち直線に近い範囲のデータに着目し3.5および6時間経過後の抵抗値(それぞれ $R_{3.5}$, R_6 と表わす)の比を検層結果に基づいて数値解析結果について求めた。図-3がその結果であり、これによれば流速は上部で0.5 m/day、下部は1 m/day程度と前述の追跡結果とよく対応している。問題点は仏積み状態であるが1つ1つ解決していく予定である。

地下水汚染について多大の資料と御教示頂いた京都大学工学部 森澤真輔氏に御礼を表します。

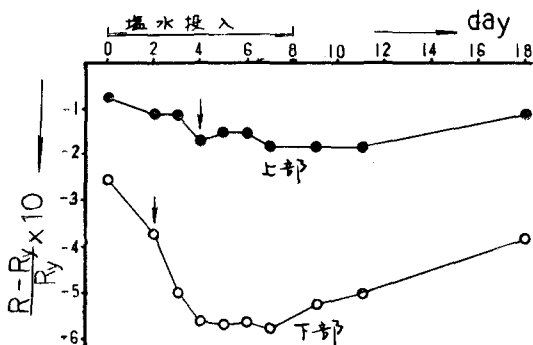


図-1 地下水追跡測定結果

参考文献

- (1) 井上雅輝, 森澤真輔: 帯水層における放射性核種の移動, (II) 日本原子力学会誌 Vol. 18, No. 6 1976
- (2) 有泉昌ほか: 137Cs-中性子水分計を利用した単一井による地下水の流速・流向測定方法, ヤマト工業株式会社

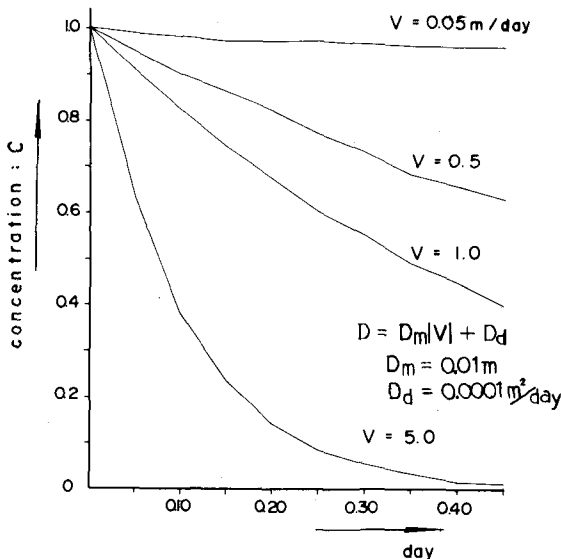


図-2 数値解析による流速～濃度～時間関係

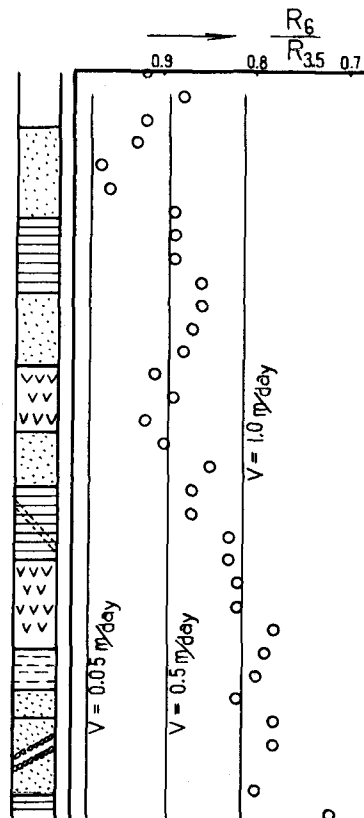


図-3 提案法の実例