

Ⅲ—19 地下水流における塩分拡散に関する一実験

東京大学工学部 正員 嶋 祐之

現場で地下水の調査を行う際、トレーサーとして塩を注入し電氣的に流速や透水係数を測定することが良く行われる。また干拓地域や 潮河川沿岸においては、塩水と真水とが混合した地下水流を形成する。このような場合 塩分濃度の場所および時間的变化がどのようなになるか極めて重要な問題となる。

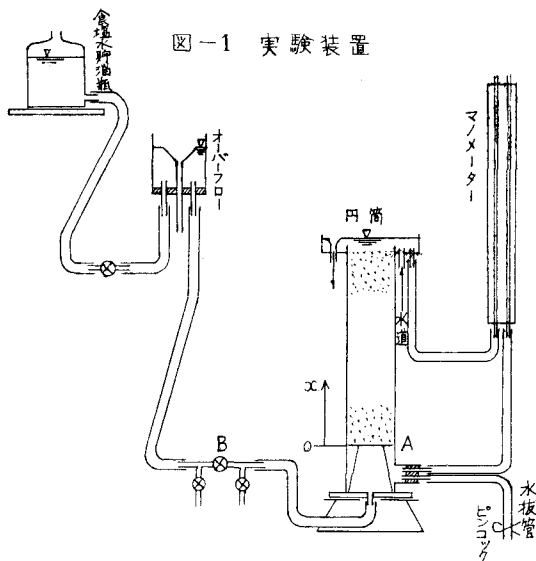
本実験は図—1 に示す装置を用い、上記現象の基本的課題である塩分拡散について研究を行ったものである。すなわち円筒下部 A において真水と塩水との境界面を作り静置し、コック B を開き一定の水頭を与えて塩水を砂層内に流入せしめる。砂層内には図—2 に示す回路を持った白金電極を 15cm 間隔に 6 個装置し、塩分濃度の時間的な変化を Oscillograph に記録した。円筒は全長約 1.10m、径約 20cm を有し、プラスチック製である。砂層は真鍮製砂受台の上に乗し、黒部川産の砂を標準網篩で 1.2mm~0.6mm および 2.5mm~1.2mm に分け、二通りの砂層を使用した。実験は最大水頭 31cm、最小水頭 6cm の間を 6 段階に分けて行ったが、いずれも Darcy 法則の適用範囲内にあった。

上述の一次元の流れにおいて図—1 に示すように x 軸をとる。これと垂直な断面を通過する流量を Q とし、断面積を a とすれば、

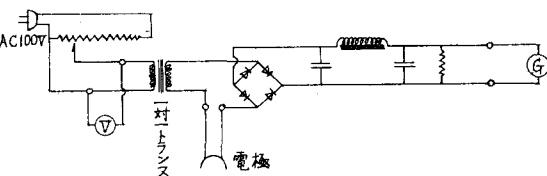
Darcy 的意味での平均流速 v は $v = Q/a$ で定義される。いま砂の空隙率を n とすれば、砂層を通過する水分子の平均速度 V は $V > v$ であり $V \cdot n = v$ と置ける。砂層内の砂粒子は複雑な形態をなしており、流路も従って複雑な構造をしているので、水分子個々の速度は V を平均値としたある頻度分布をしているものと考えられる。こゝで塩水と真水を $x=0$ で接触させ $x=0$ でその境界面を除去すると共に一定の動水勾配が与えられたとする。もし砂層内で水分子すべてが一様に速度 V で移動するならば、塩水と真水は分離した状態を保ち境界面は V なる速度で進行する。しかしながら水分子の速度は不均一であるから、境界面はばやけ塩水の濃度は先端に行く程稀薄になっている。このことは、現象的には気体の分子拡散と非常に良く似たものであるから、拡散的現象と呼ばれている。

菅原氏は、単位量のトレーサーが地下水中に投入された場合を確率論的に取扱ひ、任意時刻における濃度を $\theta(x,t)$ としたとき、 $\theta(x,t)$ を次式のように誘導している。

図—1 実験装置



図—2 測定回路



$$\theta(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta^2 t}} e^{-\frac{(x-Vt)^2}{2\delta^2 t}} \quad (1)$$

しかるに上式は拡散方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} - V \frac{\partial \theta}{\partial x} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (2)$$

において、初期条件 $\theta(x,0) = 0$ 、境界条件 $x=0$; $V\theta - K \frac{\partial \theta}{\partial x} = \phi_0$, $t < t_0$.

$$V\theta - K \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0, \quad t > t_0.$$

とおき $\lim_{t_0 \rightarrow 0} \phi_0 t_0 = \frac{1}{2}$, $\delta = \sqrt{2K}$ ならしめたときの解に一致している。それ故塩分拡散量が濃度勾配に比例すると仮定した(2)式を基礎方程式にとって良いことが推論される。

本実験に適合する境界条件の下に(2)を解けば

$$\theta(x,t) = \frac{\theta_0}{2} \left\{ 1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x-Vt}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\lambda^2} d\lambda \right\} \quad (3)$$

但し θ_0 ----- 初期濃度

干はそれぞれ $x \geq Vt$

解の特性の一つとして $x = Vt$ を満足する時刻では常に $\frac{\theta_0}{2}$ の濃度となることが挙げられる。図-3はこのことの成立を非常に明確に示すものである。但し Δh は実験水頭。

つぎに各測定における濃度の時間的変化の状況を示したものが図-4である。図の作成の便宜上実際の時刻は図の時刻にそれぞれ Δt を加えたものとなっている。この図より全般的には計算値と実測値が良く一致することが認められるが、 x の値の大きい程より両者が一致すること、および $\theta \approx 1$ 附近では計算値が理論値に比しやや早目に $\theta = 1$ に漸近することが認められる。拡散係数 K の値は(3)と実測値とを比較して定めたのであるが、その特性として同一粒径であれば実験水頭の大きい程、同一実験水頭であれば粒径の大きい程 K の値が大きくなる事が知られた。また V/v の値は流況の如何に不拘一定値 0.435 となった。本研究は昭和 33 年度文部省科学研究費の補助を受けたものであり、謝意を表す。

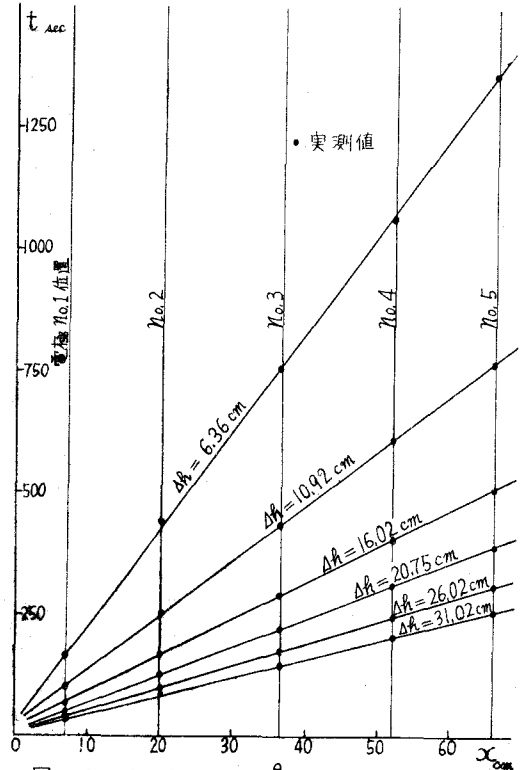


図-3 各測定において $\frac{\theta_0}{2}$ となる時刻

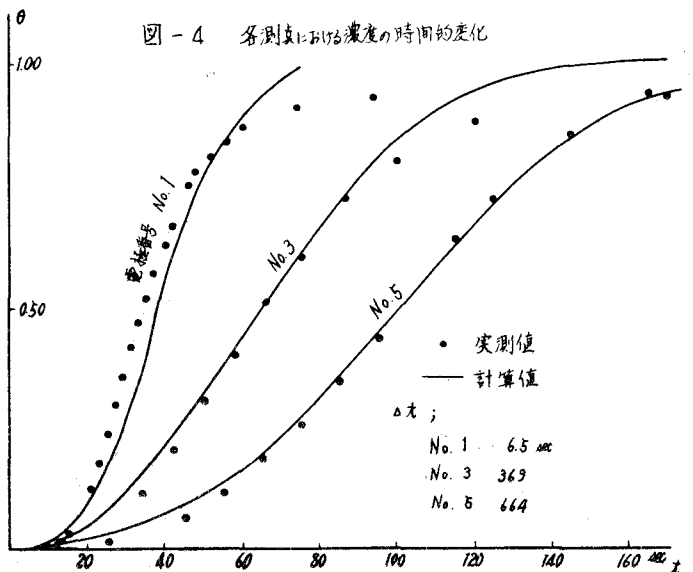


図-4 各測定における濃度の時間的変化