

V-30 地表水の地下水水質に及ぼす影響について

京都大学工学部 正員 工博 岩井重久
日本水道コンサルタント 正員 工修 平野栄一

本研究は地下水取水、とくに伏流水を取水する場合の問題に関連し、地表水の水質が地下水に及ぼす影響に注目して、理論的、実験的検討を行なったものである。

地表水中に含まれ、地下水汚染の対象となる物質には色々あり、地下水の用途によっての重要性も異なるが、一般にこれらの成分が地下水にどのようなあらわれにくるが、換言すれば、主として土粒子による阻止のされかたにより分けて考えることができる。

1. 塩素イオン：これは土粒子の吸着能、篩効果などの阻止効果が小さいので無視でき、地表水が海の場合は淡塩両水の密度差による密度流の効果、その他濃度勾配による拡散の影響を考えねばならぬが、主として水と共に地中を移動すると考えられ、その挙動は水理学的な考察によって明らかにすることができ。

2. 溶解性カチオン：これは土粒子の吸着能の影響を受け、水と一緒に行動せず、かなりおくれであらわれにくる。今基礎的考察として、均質砂層中に、ただ一種のカチオンを含む水が、一次的に滲透してゆく場合を想定すると、連続式は、

$$\lambda \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = - \frac{\partial q}{\partial t} \quad (1)$$

吸着速度式は Langmuir の単分子層吸着理論によれば、

$$\frac{\partial q}{\partial t} = K_0 u C (a - q) \quad (2)$$

ここに、 C ：単位体積の水に含まれる吸着可能物質の質量、 u ：流速、 λ ：空隙率、 a ：交換容量、 t ：時間、 x ：砂層表面からの距離、 K_0 ：定数、である。

条件として、 $x=0$ で $C=C_0$ 、(C_0 ：原液濃度)、滲透水が到達するまでは $q=0$ とすると、

$$\left. \begin{aligned} C(x=0, t) &= C_0 \\ q(x, t = \frac{\lambda x}{u}) &= 0, \quad 0 \leq t \leq \frac{\lambda x}{u} \end{aligned} \right\} (3)$$

$\bar{u}$ ： $t=0$ から t までの u の時間平均値

のごとくあらわされるから次のような C の解がえられる。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{e^{C_0 K_0 \bar{u}}}{e^{K_0 a x} - 1 + e^{C_0 K_0 \bar{u}}} \quad (4)$$

ここに、 $\bar{u} = \int_0^t u dt - \lambda x$

しかし、砂粒子のような粒状物質に対する吸着は、単分子層のみならず多分子層のがあるとわらわける。このため、BET の多分子層吸着理論から、2 分子層吸着を仮定すると吸着速度式が

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} &= K u C (\delta + f(x, t) - q) \\ f(x, t) &= - \frac{\beta}{K_2} \frac{1}{u} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{u} \frac{\partial q}{\partial t} \right), \quad K, \delta, \beta; \text{定数} \end{aligned} \right\} (5)$$

であらわされ、(2) 式の代りに (5) 式を用いてとけば、近似解として次式がみちづけられる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{C}{C_0} &= \frac{\eta(x, y)}{C_0 K \int_0^y \eta(x, y) dy + e^{KSL}} \\ \eta &= e^{C_0 K y} \left(1 + \frac{e^{KSL} - 1}{C_0 K y} \right)^{-\beta}, \quad y = x \end{aligned} \right\} (6)$$

3. 浮遊物質：浮遊物質は砂粒子間隙の篩効果などのため阻止され、溶解性カチオンと同様、水と一緒に移動しないが、この場合は間隙の閉塞現象のため、流速減少、損失水頭の増大など、水理学的諸要素に与える影響も大きく、又特に砂層表面に生成する過膜の及ぼす効果が支配的となる場合が多い。

今、最初均質であった砂層中に浮遊物質を含む水が一次元的に滲透して行くとする、連続式は(1)式と同様、 $\lambda \frac{\partial M}{\partial t} + u \frac{\partial M}{\partial x} = - \frac{\partial N}{\partial t}$ (7)

ここに、M：単位体積の水に含まれる浮遊物質の質量、N：単位体積の砂に阻止された浮遊物質の質量。ただしこの場合、 λ, u は一般に (x, t) の函数である。次に吸着速度に対応して、単位時間に単位体積の砂に阻止される浮遊物質の質量として定義される阻止速度を考え、これを

3過膜部で： $\frac{\partial N}{\partial t} = A u M (q_0 - (1-E)N)$ 、砂層部で： $\frac{\partial N}{\partial t} = A' u M (q'_0 - (1-E')N)$ 、 $(A, A', q_0, q'_0, E, E')$ は定数(8)のごとくあらわす。条件としては(3)と同様、

$M(x=0, t) = M_0$ (M_0 ：原液濃度)、 $N(x, t = \frac{\int_0^x \lambda dx}{u}) = 0$ 、 $(0 \leq t \leq \frac{\int_0^x \lambda dx}{u})$ (9)と与えられ、この場合の解として次式をうる。

$$\frac{M}{M_0} = \frac{e^{M_0 P_3 (V - \int_0^x \lambda dx)}}{[e^{P_4 - 1 + e^{M_0 P_3 (V - \int_0^x \lambda dx)}}]^{P_1/P_2} + e^{P_3 P_2} [e^{P_4 (x-0)} - 1]} \cdot \{ [e^{P_4 - 1 + e^{M_0 P_3 (V - \int_0^x \lambda dx)}}]^{P_1/P_2} + e^{P_3 P_2} [e^{P_4 (x-0)} - 1] \} \quad (10)$$

ここに、 $P_1 = A'(1-E')$ 、 $P_2 = A'q'_0$ 、 $P_3 = A(1-E)$ 、 $P_4 = Aq_0 \delta$ 、 $V = \int_0^x u dt$ 、 δ ：3過膜厚
4. 実験的検討：以上みちびいた理論式が妥当なものであるかを、直径10cm、高さ200cmの3過筒により、試料砂として京都市蹴上浄水場急速3過池用砂を用いて実験的検討を行ったが、その結果を以下に示す。

(1)、溶解性カチオンとしてコバルトイオンを用い、砂層下端から流出する過液の濃度の時期的変化を測定した実測値に(4)式と(6)式の理論曲線を適用した結果、定性的一致をみた。

なお、(4)式と(6)式による理論曲線の差は大きくなく、しかも2分子層吸着を仮定した理論曲線は計算が複雑であると共に、定数 K, δ, β の決定が困難であり、実用上は単分子層吸着を仮定した(4)式を用いても十分であると考えられる。

(2)、浮遊物質に対する実験にはカオリンを用いた。砂層下端から流出した3過液のカオリン濃度の時期的変化は、滲透水が到達した時急激に上昇するが、3過膜発達につれ、その大きな阻止能力により、次第に減少し始める。これに(10)式であらわされる理論曲線を適用したところ、実測値と満足すべき一致をみた。

以上より、本研究でみちびいた理論式は、溶解性カチオンに対しては定性的に、浮遊物質では定量的にも妥当なものであることがわかる。しかしこれは基本的状態に対するものであり、これを実際に適用するにはまだ多くの問題点が残されている。