

I-20 放射性廃水による地下水の汚染について

京都大学工学部衛生工学教室 正員 岩井重久
 京都大学工学部衛生工学教室 正員 合田 健
 京都大学工学部衛生工学教室 准員 〇井上頼輝

要旨 本研究は放射性物質を取扱う施設より、地中に漏出した放射性廃水による地中の汚染、ことに地下水汚染の程度を知るために、廃水中に含まれる放射性物質の動きを水理学および物理化学的な面より理論的に考察し、またその結果を実験的にたしかめたものである。放射性廃水が地中に漏水、滲透する場合の汚染状態は、漏水の様子により、また廃水の性状、地層の状況等により異なるため、個々の場合についてそれぞれ研究を進める必要がある。ここでは地表に一定水深の廃水が滞留し、それが一様な地層に滲透する最も基本的な場合を取り上げて考察した。

理論 地中に放射性物質を含んだ液体が移動する場合、放射性物質そのものは土壌の有する大きな吸着能のために、液体に必ずしも追従せず、これより少しおくれで、濃度も低くなるのが常である。このため放射性物質の濃度分布を知るには、水理学的な滲透機構と土粒子の吸着能による阻止能とを合わせて考える必要がある。

いま、塩類濃度 C_0 (放射能強度 I_0) の放射性廃水が、地中を鉛直に滲透流下するとき、任意深さ z の位置の厚さ dz の薄土層についての塩の保存を考えれば、

$$\frac{\partial(C\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(Cv)}{\partial z} = -\frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1)$$

をうる。ここにも t は時間、 $\phi = PS$ で P は空隙率、 η は飽和度、 v は滲透速度、 θ は土層に吸着された塩類の濃度である。 ϕ, v はそれぞれ位置と時間の関数であるが、いま土層は滲透水の先端 (Wet Front) が通過して後は一様な空隙率と飽和度とをもち、滲透による地層の締め固めが起るものとすると、 ϕ は一定とみることができ。また v は、 z には関係しないと考えてよい。 v の時間変化に対する水理学的研究は、大地に雨水が滲透する場合等についてすでに Horton, 内田等の研究があり、また Darcy 法則を修正したものも見られる。ここでは一応実験的によく合致するといわれる Horton 型の

$$v = v_c + (v_0 - v_c)e^{-\lambda t} \quad (2)$$

を仮定した。ここに v_0, v_c は初期、および最終滲透速度、 λ は常数である。かくすれば (1) 式は

$$\phi \frac{\partial C}{\partial t} + \left\{ v_c + (v_0 - v_c)e^{-\lambda t} \right\} \frac{\partial C}{\partial z} = -\frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (3)$$

となる。

つぎに土壌による塩類の吸着速度を、Langmuir の仮定より求めれば、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = K C (a - \theta) \quad (4)$$

をうる。ここに a は土壌の飽和吸着量、 K は吸着速度に肉する係数である。 K を一定とみて、地下水の地表における濃度 C_0 が一定の場合について解く。すなわち初期条件、境界条件として

$$C(z=0, t) = C_0$$

$$\theta(z, t = \frac{dz}{v_0}) = 0$$

(ここに $\bar{v}$ は、時刻 t までの v の時間平均値) をとれば、次の解をうる。

$$C = \frac{C_0 \exp \left[C_0 K \left\{ v_0 t + \frac{v_0 - \bar{v}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \right\} - \phi z \right]}{\exp \{ K a z \} + \exp \left[C_0 K \left\{ v_0 t + \frac{v_0 - \bar{v}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \right\} - \phi z \right] - 1} \quad (6)$$

これを放射能の強度 I に換算すれば

$$I = e^{-\frac{0.693}{T} t} \times \frac{I_0 \exp \left[C_0 K \left\{ v_0 t + \frac{v_0 - \bar{v}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \right\} - \phi z \right]}{\exp \{ K a z \} + \exp \left[C_0 K \left\{ v_0 t + \frac{v_0 - \bar{v}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \right\} - \phi z \right] - 1}$$

となる。 T は放射性物質の半減期である。これが地中における放射能の濃度分布を表する式である。

実験 試料土として、水道用ろ過砂 ($e.s. =$

0.36^{mm} , $u.c. = 1.81$, 比重 2.60) 及び北白川扇状地横土砂 ($e.s. = 0.26^{\text{mm}}$, $u.c. = 6.93$, 比重 2.59) を用い、直径 15 cm , 長さ 200 cm

のビニール製円筒に乾燥した状態の試料土をつめて、上から溶液を透過させた。まず理論に用いた仮定の一つである飽和度が一定であることを検するため、蒸留水を通水し、飽和度を白金電極を用いた電導度測定器で測定して、この仮定の正しいことを知った。つきに溶液として、塩化コバルトを用い、滲出水の濃度を定量することにより (6) 式の信頼性を検討した。すなわち実験した濃度 C_0 を、 $a, \phi, v_0, \bar{v}$ 等の測定値を用いて求めた理論値と比較した。 K の値は、直接実験により求め得ないので、 K に種々の値を代入して、理論曲線を求めた。砂の場合を図-1、土砂の場合を図-2に示す。定性的な傾向は一致しており、最もよく適合する K の値が時間により変化するのは、 K を一定とした仮定にもとづくものと考えられる。

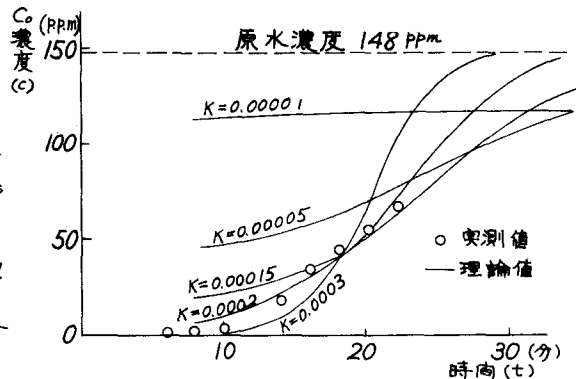


図-1 理論と実験の比較(砂の場合)

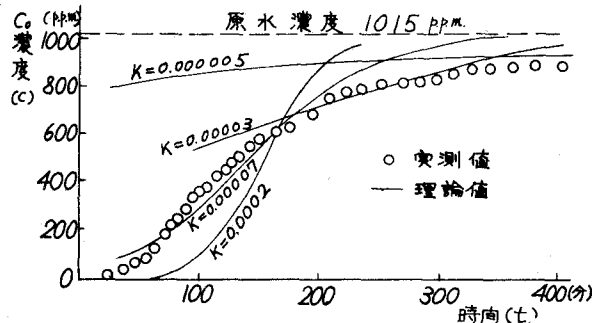


図-2 理論と実験の比較(土砂の場合)