

1. 緒言

第18回年次学術講演会において筆者等は「変換法による混合稀釈問題の解析とその応用」と題した研究報告表を行い、木の拡散輸送と沈殿、凝集、吸着などの現象が同時に起る場合には、適当な tracer を用いて水流の拡散輸送の状況を明らかにすれば、さらに複雑な現象はその結果から推定できることを示した。また第19回年次学術講演会および今回は沈殿、凝集に關するこの手法の適用について述べた。さて本研究は、この原理も吸着、イオン交換に利用しようとするものである。

2. 理論的考察

衛生工学の分野では、海水の地下水浸入や、放射性廃水の地下処理の場合における地下水に溶存物質の移動、あるいはイオン交換による廃水の処理など、いわゆる多孔体中に拡散しながら流動するものに含まれる溶存物質の移動を取扱う場合が多い。この場合、一般式は

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1-f}{f} \rho \frac{\partial q}{\partial t} = \text{div}(D \text{grad } C) - \text{grad}(VC) \quad (1)$$

と書くことができる。ここに C は水中溶存物質の濃度、 t は時間、 V は流速、 w_0 は粒の沈降速度、 f は空隙率、 ρ は土の比重、 D は拡散係数、 q は土壤に吸着した溶存物質の濃度である。

さてこの式は、水理学者と化学者によりよく研究されている。De Jong¹⁾ は1)式で $q=0$ とするうち土の吸着作用の無い場合を取り扱い、地下水は土壤により無視し得るほど大きく拡散作用を受けることも明らかにした。一方、H.C. Thomas²⁾、T. Vermeulen³⁾、井上⁴⁾ などは、1)式で $V=0$ 、すなわち拡散の無い場合をとり上げ、

$$\frac{\partial q}{\partial t} = k_1 C - k_2 q \quad (2)$$

(ここに k_1 、 k_2 は吸着、脱着に關する係数) なる微分式も(1)式と連立させ、均一な地層中を流れが一方に定常に進む場合につき解を得ている。でも q も有限である、すなわち吸着も拡散も起るとした場合の解析は、Ogata and Banks⁵⁾ が單純な場合について取り扱ったが、多くの仮定を必要とし、適用範囲のせまい解より得られていない。

ゆえゆえは(1)式を厳密に解くことは困難なので、まず水の拡散混合の状態も Tracer を用いて実験し、その結果から解を求める方法を採用した。 q と C との關係は一般に(2)式で表わされるが、通常イオン交換ないし吸着は主として短時間のうちに終わるので、交換平衡を仮定すれば、

$$C/q = k_2/k_1 = k_d \quad (3)$$

を得る。ここに k_d は分配係数とよばれるものである。そして

$$t = \left\{ 1 + \frac{1-f}{f} \rho k_d \right\} T$$

なる時間変換をほどこせば、(1)式は Navier-Stokes 型の水の拡散混合を示す式となる。そこで(1)式の初期条件の時間 Scale に(3)式の変換をほどこして水の多孔体内の移動速度を実験し、得られた結果の時間の尺度を(4)式で元に戻せば、イオンの多孔体内移動速度を求めることができる。

3. 実験

上の理論をイオン交換樹脂塔による脱塩操作に適用する実験を行った。直径1 inch, 長さ24 inch のPyrex 円筒に20~50 mesh のGreensandを詰め、これに0.012N $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ と0.00012N $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ およびRadiotracerとして ^{90}Sr と三重水素水(HTO)を通水し、流出する ^{90}Sr とHTOの濃度もGas Flow CounterとLiquid Scintillation Counterで測定した。流速3.79 cm^3/min と7.98 cm^3/min の場合の流出曲線も図-1, 2に示す。前に述べた理論により、HTOの流出時間を

$t = \frac{V}{Q}$ だけ倍すれば、 ^{90}Sr の流出曲線となるはずである。実験によりこの値を求めると72.2になるのだ、これより ^{90}Sr の流出曲線を推定したのが図中に示された推定値であって、実験値とかなり良好な一致を示している。ことに流速の低い場合に一致は良好である。

以上の実験から、イオン交換樹脂塔による腐食処理の流出曲線は、交換法により同じき水の流出曲線と、交換剤の比率、分配係数などが推定できることが判明した。なおこの理論は一次元流ばかりでなく、さらに複雑な流れにも適用可能なので、広い実用性を持つものと考えられる。

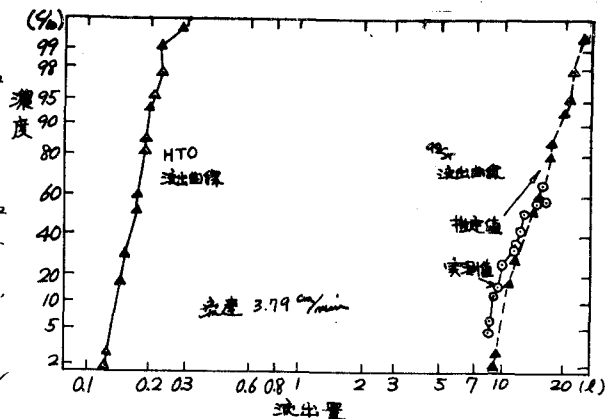


図-1 イオン交換樹脂塔によるSr-90流出曲線の実測値と理論値

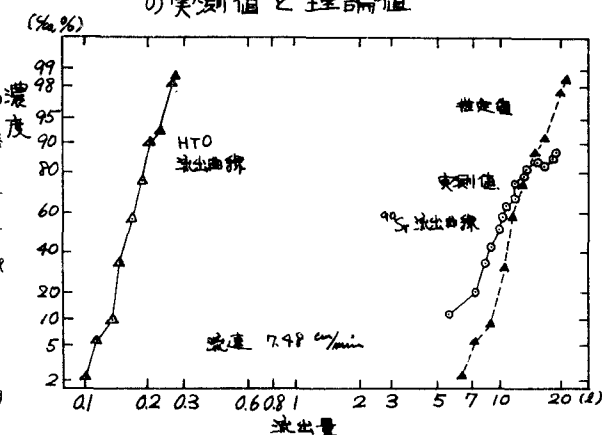


図-2 イオン交換樹脂塔によるSr-90流出曲線の実測値と理論値

参考文献

- 1) De Jong, "Dispersion in Granular Deposits", Trans. American Geophysical Union, Vol. 39, No. 1, pp 67 (1958)
- 2) Thomas, H.C., "Heterogeneous Ion-Exchange in a Flowing System", Journal of American Chemical Society, vol. 66, p. 1664 (1944)
- 3) Verneulen, T and N.K. Hiester, "Saturation Performance of Ion-Exchange and Adsorption Columns", Chemical Engineering Progress, Vol. 48, No. 10, p 505 (1952)
- 4) 井上頼輝, 「イオン交換による放射性廃液の処理」 土木学会論文集, 第58号, 38~43頁 (昭和33年9月)
- 5) Ogata A. and R. B. Banks, "Dispersion of Fluid Flow in Porous Media", Northwestern University, Evanston U.S.A. (1959)