

II-225 砂層塩分の流水による拡散

九州工業大学 正員 浦 勝
山口大学工学部 学生員 〇 山中 美樹

水域の水質を予測する上で底質に含有する物質の水中への拡散量を評価することは重要な課題である。拡散物質として、測定が容易な食塩を採用し、底質としては砂および碎石層を用いて、実験槽において測定した塩分濃度分布より、拡散量を算出する上で必要な諸量について検討を行った。

1. 静置拡散時の境界面濃度と拡散係数について。

底層より上方にある水が流動しない場合の拡散実験を図-1に示す実験槽を用いて、底層内・水中の塩分濃度の測定により行った。鉛直塩分濃度分布の時間的变化を図-2に示す。

これより境界面濃度 S_b はほぼ瞬時的に一定値になり、不変と推定される。この値に対して前報¹⁾では最終平衡濃度と解釈していたが、これでは不合理な点があり、今回次のように規定した。

砂層中の濃度: $(S_* - S)/(S_* - S_b) = 1 - \operatorname{erf}(Z/\sqrt{D_*t}) \dots (1)$

静水中の濃度: $(S - S_b)/(S_b - S_0) = 1 - \operatorname{erf}(-Z/\sqrt{D_0t}) \dots (2)$

ここに、 S_* : 砂層内初期濃度、 S_0 : 静水中初期濃度、 Z : 境界面より下向きを正とする長さ、 D_* : 砂層中の拡散係数、 D_0 : 静水中の拡散係数、 t : 時間、 $\operatorname{erf}(X) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^X e^{-\eta^2} d\eta$ 。

濃度分布式(1),(2)で表されると仮定すると、砂層より境界面へ流入する塩分量と、境界面より静水中へ輸送される量は等しいから、次式が成立する。

$$\lambda AD(\partial S/\partial Z)_{Z=0} = AD_0(\partial S/\partial Z)_{Z=0} \dots (3)$$

ここに、 λ : 底層空隙率、 A : 境界面表面積である。

式(3)に(1),(2)を代入して、 $S_0/S_* \ll \lambda(D/D_0)^{1/2}$ である場合は S_b に関して次のように表される。

$$S_b/S_* = r\lambda/(1+r\lambda) \dots (4)$$

$$\text{ここで } r = (D/D_0)^{1/2} \dots (5)$$

静水中の拡散係数 D_0 は、何ら攪乱が与えられなければ液中の分子拡散係数 D_M を用いることができる。

式(5)の右辺の値についてはこの D_M を用いて、前報¹⁾より、

$$D/D_M = 3/\lambda = r^2 \dots (6)$$

となるから、式(6)を(4)に代入して次式となる。

$$S_b/S_* = \lambda^{2/3}/(1+\lambda^{2/3}) \dots (7)$$

この関係は底層として、砂、ガラスビーズ、碎石、混合(粒径)碎石を用いて、 $\lambda = 0.36 \sim 0.54$ の範囲で、ほぼ実測値を満足する。

図-1

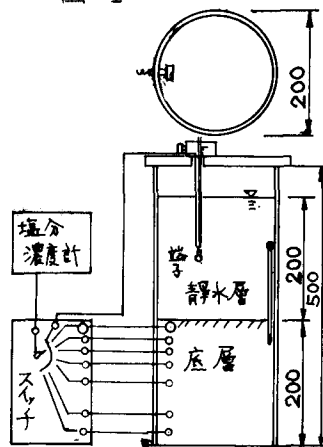
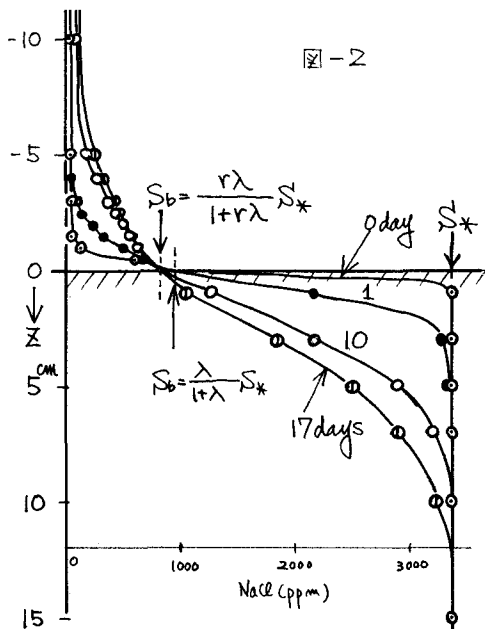


図-2



式(6)の仮定は多孔体内での気体と単一気体中での電気伝導率の比を K_p/λ としとき、 $K_p/\lambda = 1/(F\lambda)$ で表され、 $1/F$ が $1/\lambda$ に比例するとみることから $K_p/\lambda \sim \lambda^2$ となり、多孔体中の拡散係数を表す式としては妥当と考えられる。

2. 上層流体流動による底層内の拡散係数の変化について。

底層上方の流体が流動する場合の実験は図-3に示す装置を用いて、底層内の塩分濃度を測定した。この場合は砂層内に浸透流を生じ、拡散方程式の中に輸送項を考慮しなければならぬ。

しかし、ここでは静止拡散のモデルを延長し、境界面濃度が S_0 となるとするだけで、その他のいさようは拡散係数の変化という形で評価を行った。

拡散係数の算出は、底層の一定深さに埋め込まれた端子の得る塩分濃度の時間的变化から、次式に適合する値を逆算するという方法をとった。

$$(S_x - S_0)/(S_\infty - S_0) = 1 - \operatorname{erf}(z/2\sqrt{Dt}) \quad \dots\dots (8)$$

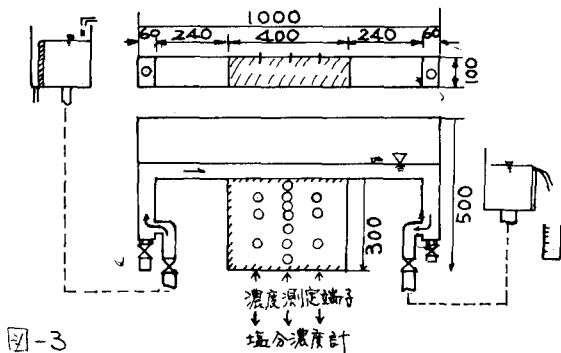


図-3

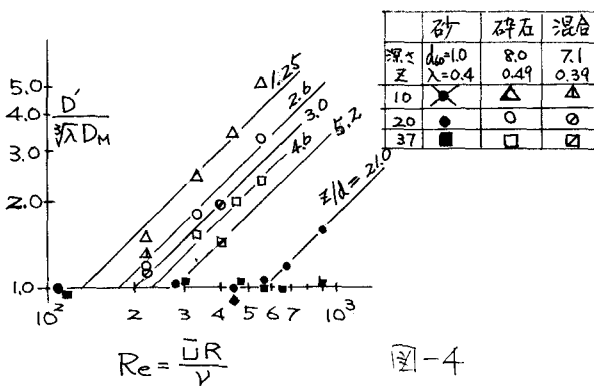


図-4

底層材料としては図-4に記入したように、砂、碎石、混合碎石を用いた。流れが底層に及ぶと拡散係数が増加する。増加した後の拡散係数 D' と静止底層内の拡散係数 $\lambda \sqrt{D_M}$ の比を縦軸にとり、流水平均流速 $\bar{u}$ 、径深 R を用いた流れの Re 数を横軸にとり、各測定点ごとの拡散係数を示したものが図-4である。図の直線は Re 数に比例する線であり、底層の代表粒径(通過60%粒径)を用いて表した相対深度 z/d_{60} を記入した。これより、相対深度が同一であれば拡散係数は Re 数に比例して増加し、 Re 数が大きいほど相対深度の深い所で拡散係数にこのような見られる。微小粒子径の底層では、流れの効果は深部にまでなく、極く表層のみにとどまることがわかる。このように上層流体の流動の効果は相対深度の大きさによって、簡単に表示し得るようである。これらの関係については、今後さらに検討を進めたいと考えている。

底層からの単位面積あたりの浸出塩分量は式(3)を時間に関して積分して次式により求められる。

$$M/A = 2\lambda(D/\pi)^{1/2}(S_\infty - S_0)t^{1/2} \quad \dots\dots (9)$$

流れのないような場合式(9)より $D = \lambda \sqrt{D_M}$ とすればいいが、図-4のように流れによる拡散係数は場所的変化がある場合は平均値を総拡散係数 D_A を用いなければならぬ。この値については現在整理中である。

最後に本実験に協力した山口大学工学部卒業生水野弘一、中村孝行、曾我好志の諸氏に感謝の意を表します。

参考文献 1) 浦・増田: 砂層から水中への塩分拡散について、山口大学工学部研究報告 vol. 23, No. 2 (1972) 187p
浦・増田: 河川底からの塩分浸出について、土木学会27周年誌、II部 547, 1987p
2) Fried & Combarous: Dispersion in porous Media; P193.
Advances in Hydroscience, vol. 7 1971, Academic Press