

東京都立大学工学部 正会員 左合正雄

○茂庭竹生

1. はじめに

底泥の性質がいかなる形態で流水中の酸素を消費してゆくかを考えると大別して3通りの考え方が成立つと考えられる、すなわち、1)汚泥粒子が流水中に巻き上り、浮遊物の形となって消費する場合、2)汚泥表面が直接消費する場合、3)汚泥中の間隙水に含まれる有機物質が拡散により流水中に溶出し、流水中の有機物質濃度を高めることにより、間接的に酸素を消費する場合である。もちろん、流水中の酸素分子が逆の拡散現象で汚泥中へ侵入し、そこで消費する形態も考えられるが、現象の取扱い方は3)の形態に含めて考えられる。さて筆者等は上記の3)の場合、すなわち、土中の拡散現象の取扱いについて今まで若干の考え方を述べてきたが、本報では土中の拡散係数のオーダーやその分布について若干の知見を得たので、この機会を借りて報告する。

2. 実験方法と結果

河川の底泥をモデルとする場合、汚泥の性質は必ずしも均一ではなく、一般には比較的細かい砂まじり層とヘドロ層に大別して考えられ、しかもヘドロ層は非定常で、水と泥の境界を明確に区別し得ないと考えられる。そのため、水、ヘドロ、底泥と3層に分けて考え、アプローチする必要があることは既に別の報告で述べ、その数学的な取扱い方についても若干報告したが、今回拡散係数の分布を求める場合は、その取扱いが非常に困難なこともあって、中間のヘドロ層を無視した形で実験を行ない、底泥層についての拡散係数分布を測定した。

実験装置は図-1に示す通りで、回流流速は約 2 cm/sec 、底泥には平均粒径 0.025 mm の珪砂

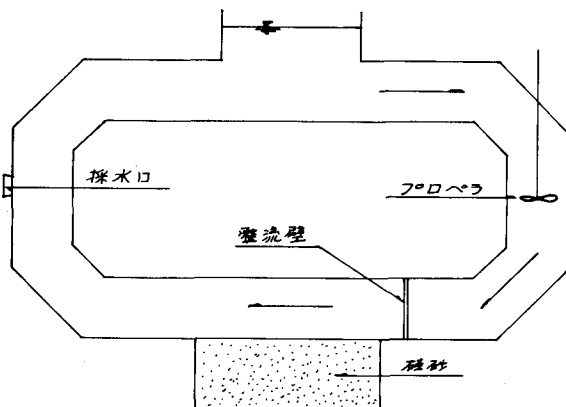


図-1 実験装置

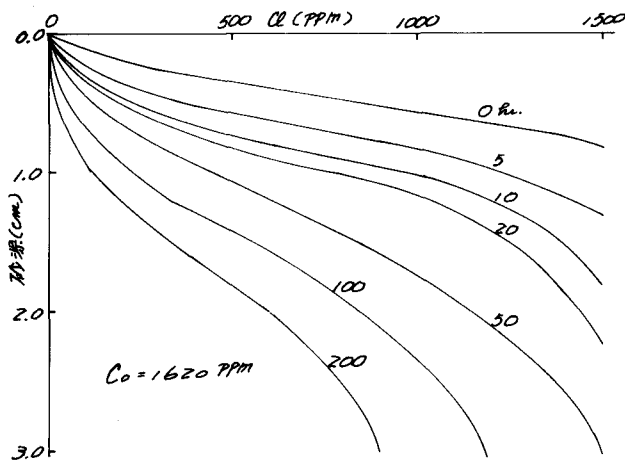


図-2 砂中のCl分布

深さ (cm)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
10~20	0.472	0.481	1.899	2.330	1.861	1.880	1.966	2.189	
20~30	0.267	0.340	1.825	3.851	2.047	1.917	1.425	4.078	
30~40		0.430	1.376	2.021	2.126	1.961	1.935	1.731	2.299
40~50		0.422	1.157	2.029	2.040	2.130	1.984	1.680	1.462

表-1 差分法による拡散係数 $\times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$

を用い、溶解物質には食塩を用いた。塩分濃度の測定は予め5mm間隔で砂中に配置した電極で電気伝導度を測定し、換算した。なお、初期間隙水の塩分濃度は0.71620ppm、砂の間隙率は0.379であった。

図-2は時間別の砂中の塩分濃度分布を示す。この図から、差分法で拡散係数を求めた結果が表-1に示してある。これから判断して、砂中に拡散係数の深さ方向の有位差は認め難く、また $10^{-6}\text{cm}^2/\text{sec}$ というオーダーから考えても、砂中では分子拡散が支配的であることがわかる。なお拡散係数の平均値は $1.892 \times 10^{-6}\text{cm}^2/\text{sec}$ であった。以上のことから、砂中に拡散係数の分布はないものと考えると方程式は次のように導くことができる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

初期および境界条件

$$C(0, t) = 0, \quad \frac{\partial C}{\partial z}(-H/2, t) = 0, \quad C(z, 0) = C_0 \quad (1)$$

この解は

$$C = C_0 - C_0 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left\{ \text{erfc} \left(\frac{2nH/2 + z}{\sqrt{4Dt}} \right) + \text{erfc} \left(\frac{2nH/2 + H/2 + z}{\sqrt{4Dt}} \right) \right\} \quad (2)$$

となる。また、大括弧内の2項以下は無視できるので、近似的に解は次の如くなる。

$$C = C_0 - C_0 \text{erfc} \left(\frac{z}{\sqrt{4Dt}} \right) \quad (2')$$

したがって、砂表面からの脱塩量は次式で示される。

$$m = 2n \sqrt{\frac{D \rho}{\pi}} \quad (3)$$

(3)式に水中の塩分濃度の測定値を代入して拡散係数Dを求め、その平均をとると $1.284 \times 10^{-6}\text{cm}^2/\text{sec}$ が得られた。

図-4は上記2通りで求めた拡散係数を用い、(3)式から求めた水中の塩分濃度曲線と実測値をプロットしたものである。

3. 考察及び結論

砂中での溶質の拡散現象が分子拡散で支配されているということを別な面から検討を加えてみると、砂中には砂上の流水によるエネルギーがほとんど伝播していないということになる。すなわち、もし、砂上の水流の影響が砂中に及べば、そこでは分子拡散よりもっとオーダーの高い拡散が支配的になるはずである。山口柏樹によれば砂中に流速の影響が及ぶ深さは次式で示されるとしている。

$$y_z = \frac{U_0 \rho d^2}{\mu} = 0 \left(\frac{U_0 \rho d^2}{\mu} \right) \quad (4)$$

ここに、 U_0 : 砂表面での流速、 ρ : 水の密度、

d : 自由行路、 μ : 動粘性係数、 d : 砂粒径である。

U_0 に平均流速 2cm/sec を与え y_z を求めると、

$y_z = 0.09\text{cm}$ となる。これは、この程度の流速では

砂中に流れの影響はまったくないと考えてよい。

また、実際には U_0 はもっと小さい値となるはずで

あるから、この結果からも、砂中では分子拡散が

支配的になることが考えられる。

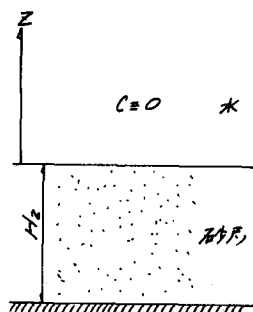


図-2

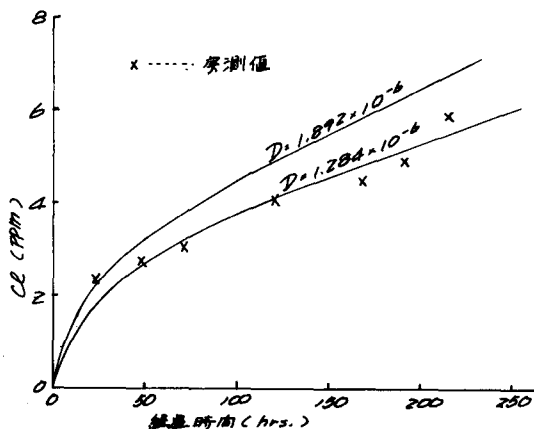


図-4 水中塩分濃度