

山梨大学工学部 学生員 小泉 卓也
山梨大学工学部 正会員 平山 公明

1. はじめに

河川における自然浄化機能を考える際に、水中の溶存酸素濃度は重要な指標となる。これは有機物質の生物的分解、アンモニア性窒素の硝化などにおいて、非常に重要な役割を果たしているからである。河川の溶存酸素は主に大気からの供給に律されている。よって水中への酸素移動速度を把握することが、河川における自然浄化機能を検討する上で必要になってくる。

大気から水中への酸素移動速度を推定するには様々な方法があるが、実測するには困難であり推定式も確立されていないと考えられる。ところで、乱流中の固体からの物質の溶解速度は固体表面付近の乱れの影響を受け、また、大気から水中への酸素移動速度も同様に水面付近の乱れの状態に依存すると考えられている。したがって、固体表面からの溶出現象と大気から水中への酸素移動は、何らかの関連があると考えられる。実際、固体の溶解速度から酸素移動速度を推定することの有効性を指摘する研究者もいる¹⁾。

開水路での酸素移動速度を推定する上での問題点の一つは、これまでに測定された酸素移動係数が、図.1に示されるように、およそ二つのグループに分かれることである。本研究では、物質の溶解速度を測定することにより、いずれのグループの関係が妥当であるか検討することを目的にした。

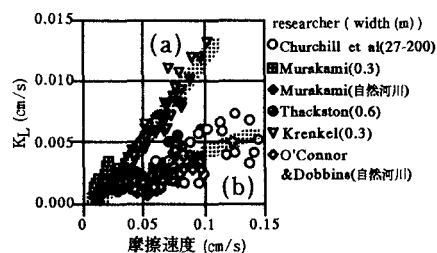


図.1 K_L と摩擦速度の関係

2. 検討方法

まず、ガラス棒（直径7mm、長さ19cm）に安息香酸を付着させたものを作り、野外水路および自然河川にて安息香酸の溶解速度、流速、摩擦速度、乱れ強度（流速の変動量の二乗平均の平方根（root mean square））、川幅等の水理データを測定した。測定した水路や自然河川は幅0.2～18m、水深3.5～40cmの40地点で行った。安息香酸の溶解速度は、ガラス棒に付着させた安息香酸を一定時間水中に沈めた後、溶解した重量を測定し、単位は $[g/cm^2/min]$ で表した。摩擦速度は鉛直方向の流速分布より求めた。

また、開水路での酸素移動係数（以下 K_L $[cm/s]$ ）を推定するために、安息香酸の溶解速度と(1)式から求められる K_L の関係を撹拌槽で調べた。

$$dC/dt = K_L \cdot A/V(C_s - C) \quad (1)$$

ここに、 C : 溶存酸素濃度 $[mg/l]$, C_s : 飽和溶存酸素濃度 $[mg/l]$, t : 時間 $[s]$, A : 大気との接触面積 $[m^2]$, V : 水の体積 $[m^3]$, K_L : 酸素移動係数 $[cm/s]$ である。

3. 検討結果と考察

始めに安息香酸の溶解速度と水理パラメータの検討を行う。

図.2に流速と安息香酸の溶解速度の関係を示す。この結果、安息香酸の溶解速度は流速に依っていることが指摘できる。

図.1は、見かけ上、水路幅で二つのグループに分かれているとも考えられる²⁾ので、物質の溶解速度を川幅で分類してみたものが図.3の摩擦速度と安息香酸の溶解速度の関係である。図.3の関係もまた見かけ上、川幅によって影響を受け、摩擦速度に対し安息香酸の溶解速度の値は、少なくとも川幅が50cm以下の場合にはそれ以上の川幅の溶解速度の値より大きく現れる傾向にある。また、川幅に対する水深の比 H/B でデータを分類した摩擦速度と安息香酸の溶解速度の関係を図.4に示す。図.4をみる限り安息香酸の溶解速度は水深と

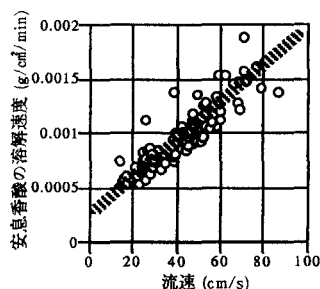


図.2 安息香酸の溶解速度と流速の関係

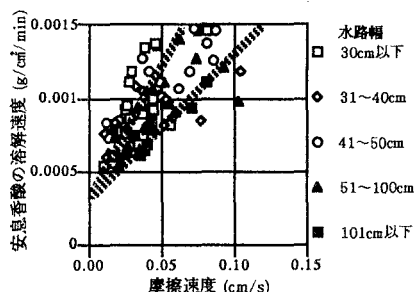


図.3 安息香酸の溶解速度と摩擦速度の関係（水路幅別）

川幅の比によって分類されることはなく、明確に理由は挙げられないが、単純に川幅で分類した方が摩擦速度と安息香酸の溶解速度の間に関係が見てとれる。

次に物質の移動速度と関係が大きいと考えられる乱れ強度の、各水理パラメータとの関係を検討する。

乱れ強度と安息香酸の溶解速度の関係は、図5に示すように水路幅が50cmより大きい場合では比例的な関係が見られたが、50cm以下の川幅の場合、乱れ強度と物質溶解速度の関係は図6の様になり両者の関係を読みとることは困難であった。

乱れ強度と流速の関係を図7に示す。図7をみると乱れ強度は流速の約5～10%の値を取ることが判る。しかし、流速に対し水路幅50cm以下の時の乱れ強度の値が比較的ばらつきがあるように見える。このことは、水路幅が小さくなると物質の溶解速度や水理パラメータの秩序性が小さくなることを示唆している。以上より、小水路（少なくとも幅50cm以下）で得た K_L と摩擦速度などの関係を大水路や自然河川にまで延長するのは、問題があるように考えられる。

最後に、開水路での K_L の値について検討を行う。まず、撹拌槽での K_L および安息香酸の溶解速度の測定値から、 K_L と安息香酸の溶解速度の関係を求めた。この関係を用いて、野外開水路（幅0.5～18m）での安息香酸の溶解速度の値から K_L の値を推定し、プロットしたのが図8である。過去の研究者のデータ²⁾と比較すると、安息香酸の溶解速度から推定した K_L の値は実測データの範囲内に収まっている。また、図1の2つのグループ(a)、(b)のうちでは、水路幅が50cmより大きい開水路の場合、(b)の関係が当てはまるものと示唆される。

4. まとめ

本研究では物質の溶解速度という観点から、開水路での酸素移動係数の推定について基礎的な検討を行い、以下の点を指摘した。

(1) 幅が50cm以下の水路では、物質の溶解速度、摩擦速度、乱れ強度などのパラメータ相互の秩序性が小さい。したがって、小水路で得た K_L と摩擦速度の関係から自然河川での K_L と摩擦速度などの関係を求めるのは問題があるように考えられる。(2) 開水路での K_L の値についての検討から、一般的な河川では、(b)の関係が成り立つのではないかと示唆される。

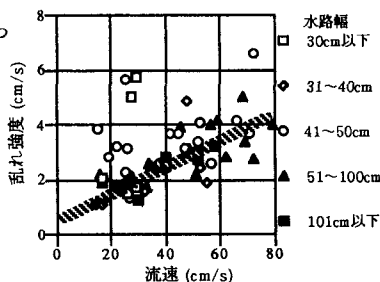


図7 乱れ強度と流速の関係

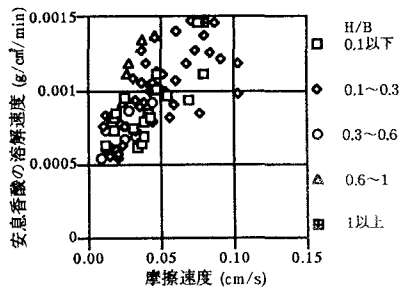


図4 安息香酸の溶解速度と摩擦速度の関係 (H/B分類)

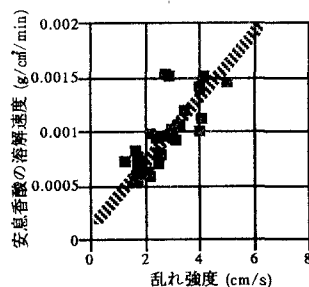


図5 安息香酸の溶解速度と乱れ強度の関係 (水路幅51cm以上)

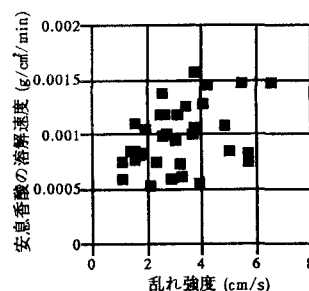


図6 安息香酸の溶解速度と乱れ強度の関係 (水路幅50cm以下)

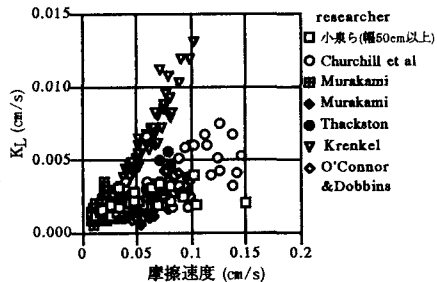


図8 K_L と摩擦速度の関係

参考文献

- 1) J.R.Bicudo and A. James : Measurement of Reaeration in Streams : Comparison of Techniques, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 5, pp. 992-1009, October, 1989.
- 2) 平山公明、松尾友矩、今岡正美、平山けい子 : 乱れ強度モデルに基づく河川の再ばっ気係数の推定式、土木学会論文集、No.521/ II-32, pp. 184-190, 1995