

II-505

河川での酸素移動係数推定のための水理パラメータに関する検討

山梨大学 正会員 平山公明

東京大学 正会員 松尾友矩

1. はじめに

溶存酸素濃度は河川の水質環境を支配する要因の一つであり、その供給源である大気から水中への酸素の移動(再ばつ気)もまたその要因に関わってくる。したがって、その移動速度を知ることが、河川の水質管理を考える上で必要になってくる。

酸素移動係数(K_L [cm/s], 底e)は乱れが強いときに大きな値をとるので、 K_L と水理パラメータの関係を求め、その関係から河川での酸素移動速度を推定する研究が数多く行われている。そのうち、なんらかの理論的な展開により関係を求める場合、水理パラメータとしてエネルギー逸散率を用いるものと、乱れ速度の平方根2乗平均値(以下、乱れの強さ)によるものに分けることができる。著者らは実験水路においては K_L は乱れの強さとの相関が強いことを指摘している¹⁾。本研究はいずれのパラメータによるのが妥当なのか調べることを意図して、これまでに測定されているより広範囲の開水路の K_L の値を整理しパラメータの特徴を指摘したものである。酸素移動速度の指標には、再ばつ気係数(K_2 [1/s])ではなく K_L を用いた。

2. 検討方法

水路勾配、または、エネルギー勾配が測定されている開水路での K_L のデータを利用した。検討に用いたデータを表1に示す。

K_L とエネルギー逸散率、ないしは乱れの強さとの関係は、次のようなものが提案されている^{2)~6)}。

$$K_L = C_1 D_m^{0.5} \rho^{0.5} \sigma^{-0.5} \nu^{0.375} \epsilon^{0.375} \dots (1) \quad K_L = C_2 D_m^{0.5} \nu^{-0.25} \epsilon^{0.25} \dots (2)$$

$$K_L = C_3 D_m^{0.5} \rho^{0.5} \sigma^{-0.5} u'^{1.5} \dots (3) \quad K_L = C_4 D_m^{0.5} \rho^{0.25} \sigma^{-0.25} \nu^{-0.25} u'^{1.25} \dots (4)$$

ここに、 K_L : 酸素移動係数[cm/s]、 $C_1 \sim C_4$: 定数[-]、 D_m : 拡散係数[cm²/s]、 ρ : 密度[g/cm³]、 σ : 表面張力[g/s²]、 ν : 動粘性係数[cm²/s]、 ϵ : エネルギー逸散率[cm²/s³]、 u' : 乱れの強さ[cm/s]、である。これらの関係をもとに検討を行った。

本研究では、今本により検討された乱れ特性量の普遍関数表示⁷⁾を用いて乱れパラメータを推定する。この表示法によれば、表面付近のエネルギー逸散率と乱れの強さは次の関係で表される。

$$\epsilon = C_5 U_*^3 / H \dots (5) \quad u' = C_6 (U_*^2 U)^{1/3} \dots (6)$$

ここに、 C_5 、 C_6 : 定数[-]、 U : 流速[cm/s]、 U_* : 摩擦速度[cm/s]、 H : 水深[cm]である。普遍関数表示にもとづけば、(5)、(6)式中の定数 C_5 、 C_6 は、一定値とされる。乱れパラメータと K_L の関数関係を知りたいので、定数は仮に1とおいて(5)、(6)式より求められる乱れパラメータと、 K_L を比較した。

3. 検討結果と考察

(5)、(6)式より求めた乱れパラメータと K_L の関係を図1~4に示す。これらの図から次のことが指摘できる。同じパラメータの図どうし(図1と2、図3と4)は類似の傾向を示し、この程度の指数の値の変化は乱れパラメータと K_L の関数に大きな傾向の変化をもたらさない。Owens らのデータは K_L の値が大きい。乱れの強さで K_L を整理すると、二つのグループ(村上の水路実験、Owens ら、Kremkel らのグループと、それ以外)に分かれる傾向がある。

表1 使用したデータ

	NO	研究者	対象	水路幅	文献
エネルギー逸散率で整理する	(1)	O'Connor ら	河川	不明	Proc. ASCE, SA6, Proc. Paper 1115, 1956
と、Thackston らのデータは	(2)	Churchill ら	河川	27~200m	ASCE, Vol. 88, SA4, 1962
低い K_L の値をとる。	(3)	Owens ら	河川	3~12m	Int. J. Wat. Poll., Vol. 8, 1964
表1中の水路幅に注目する	(4)	村上	実験水路	30cm	参考文献(3)
と、乱れの強さで整理した場合、	(5)	村上	河川	不明	参考文献(3)
幅が小さい場合に K_L が大	(6)	Thackston ら	実験水路	30cm	ASCE, Vol. 95, SA1, 1969
	(7)	Krenkel ら	実験水路	60cm	参考文献(8)

きくなる傾向にあるともいえる。実際、水路幅/水深が K_L の値に関与する可能性を指摘する研究者⁸⁾もいるが、対象河川・水路での酸素の供給源と消費源を十分把握できていないことも考えられるし、(5)、(6)式中の定数 C_5 、 C_6 を一定と見なせるかどうかと言う問題もあり、これらの図だけから水路幅が K_L に影響するかどうかを判断することは難しい。

エネルギー逸散率については次式で評価することも行われている。

$$\epsilon = C_7 g I U \quad \cdots \cdots (7)$$

ここに、 C_7 :定数[-]、 g :重力加速度 $[cm/s^2]$ 、 I :勾配[-]である。

(7)式を用いた場合の $\epsilon^{0.375}$ と K_L の関係を図5に示す。図1、2と似た関係にある。摩擦速度自身は乱れの強さに関連の深いパラメータであると考えられる。そこで、 $U_*^{1.25}$ と K_L の関係を図6に示す。これも、図3、4と類似の関係となっている。

K_L と水理パラメータの関係にFr数を導入することもしばしば行われる。再ばつ気係数の推定精度がよいとされる⁹⁾、Thackstonの関係式を示す。

$$K_L = 0.000125 U_* (1 + Fr^{0.5}) \cdots (8)$$

(8)式の水理パラメータと K_L の関係を図7に示す。この場合でもデータが二つのグループに分かれるという点は、改善されていない。

4. まとめ

エネルギー逸散率と乱れの強さに関わるパラメータでこれまで測定された K_L の値を整理した。その結果、次の点が指摘できる。

- (1) いずれのパラメータで整理しても河川ではOwensらの測定値は大きめの値を、実験水路ではThackstonらのデータは小さめの値となる。
- (2) 乱れの強さで整理すると2つのグループに分かれる。

参考文献

- (1) 平山ら、第37回年次講義要集 II、pp.131-132, 1982 (2) Dobbins, A.S.C.E., 90, SA-3, pp.53-78, 1964 (3) 村上、第6回衛生工学研究討論会論文集、pp.45-52, 1970 (4) 栗谷ら、西部支部講演要集、pp.193-194, 1973 (5) Levich, "Physicochemical Hydrodynamics", Prentice-Hall, Inc., 1962 (6) 平山ら、下水道協会誌、17, 193, pp.21-30, 1980 (7) 石原藤次郎編、水工水理学、丸善、pp.148-165, 1977 (8) Bennett et al, "Reaeration in Open-Channel Flow", U.S.G.S. paper 737, p.44, 1972 (9) Roberts et al, 1982 National Conference on Envi. Eng. ASCE, pp.418-422

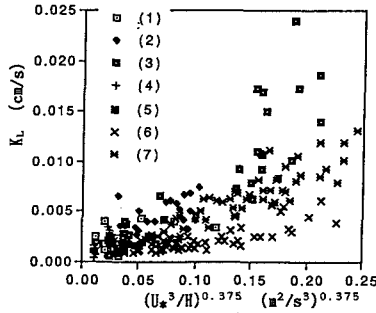


図1 K_L と $(U_*^3/H)^{0.375}$ の関係
()内は表1のNO

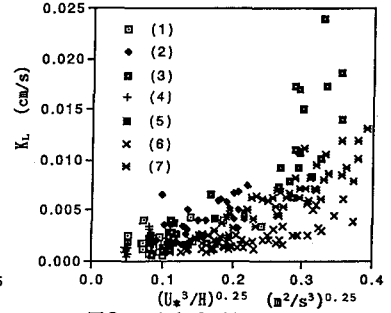


図2 K_L と $(U_*^3/H)^{0.25}$ の関係
()内は表1のNO

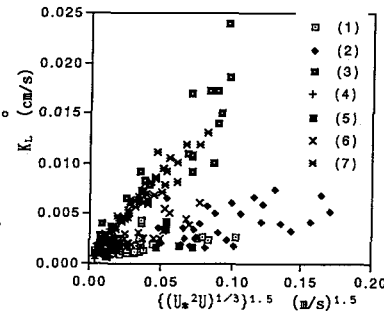


図3 K_L と $\{(U_*^2 U)^{1/3}\}^{1.5}$ の関係
()内は表1のNO

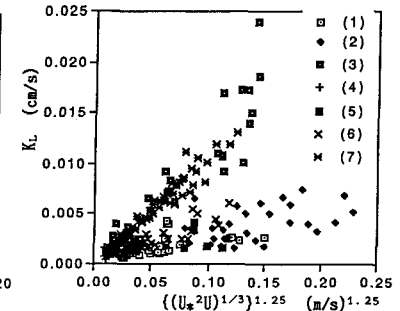


図4 K_L と $\{(U_*^2 U)^{1/3}\}^{1.25}$ の関係
()内は表1のNO

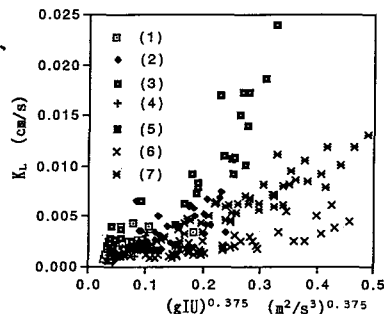


図5 K_L と $(gIU)^{0.375}$ の関係
()内は表1のNO

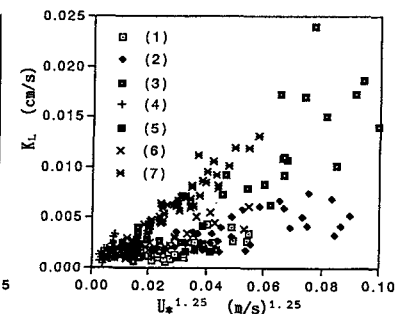


図6 K_L と $U_*^{1.25}$ の関係
()内は表1のNO

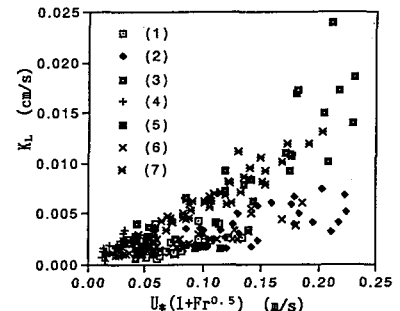


図7 K_L と $U_* (1 + Fr^{0.5})$ の関係
()内は表1のNO