

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 河川・湖沼での酸素移動速度を推定するためのモデル式はこれまでも提案されている。酸素移動現象は、気液界面での乱れの状態がその移動速度の支配的な要因であると考えられるが、いくつかのモデル式では、表面での乱れのエネルギー逸散率は全体のエネルギー逸散率 $E = gIU$ に比例するという仮定がおかれている。しかし、今本による開水路流れの乱れ特性量の普遍関数表示を用いれば、表面での局所的な乱れ特性値を式中に導入できるし、また、渡倉らが検討している乱れの強さによる酸素移動現象のモデル化を、開水路流れに応用することが可能である。本研究は、乱れ特性量の普遍関数表示を用いて、いくつかの酸素移動現象のモデル式を開水路流れに適用することについて検討した。

2. 乱れ特性量の普遍関数表示 今本は、開水路での乱れの特性量を、相対水深 (z/H) の関数として普遍関数表示することを提案している。今本は、エネルギー逸散率と乱れの強さに対しては、次の2つの式による普遍関数表示が実験結果をよく満たすことを報告している。 $\varepsilon/(U_s^3/H) = \phi_\varepsilon(z/H)$ —— (1), $u'/(U_s U_s^{1/2}) = \phi_u(z/H)$ —— (2) (1)式より、表面でのエネルギー逸散率は $\varepsilon = \phi_\varepsilon(1) U_s^3/H \propto U_s^3/H$ —— (3), (2)式より、表面での乱れの強さは $u' = \phi_u(1) U_s U_s^{1/2} \propto U_s^{3/2}$ —— (4) とあらわされる。

3. 普遍関数表示式の酸素移動モデル式へのあてはめ 開水路での大気から水中への酸素の移動は次式で記述される。 $dC/dt = K_2(C_s - C)$ —— (5) (5)式中の K_2 が再び気係数と呼ばれ、酸素の移動速度をあらわす指標として用いられている。さらに、開水路では一般に K_2 が次のようにあらわされる。 $K_2 \approx K_L/H$ —— (6) (6)式中の K_L は酸素移動係数と呼ばれている。酸素移動現象のモデル化は、この K_L を、乱れの特性量といかに関係づけるかという問題に帰着する。

本研究でとりあげた酸素移動のモデル式は次の3つである。ここでは、乱れをあらわす指標だけをとりあげる。

Dobbins³⁾, 村上⁴⁾による式 $K_L \propto \varepsilon^{1/2}$ —— (7), 栗谷らによる式 $K_L \propto \varepsilon^{1/4}$ —— (8),

平山²⁾による式 $K_L \propto u'^{1/2}$ —— (9)

これらの3つの式に、普遍関数表示により得られた(3), (4)式を代入すると、次の3つの式が得られる。

$K_L \propto U_s^{3/2} H^{1/2}$ —— (10), $K_L \propto U_s^{3/4} H^{1/4}$ —— (11), $K_L \propto U_s^{3/2} U^{1/2}$ —— (12)

4. 実験値との比較検討 上に得られた(10)~(12)の3つの式の有効性を検討するために、これまでに得られている再び気係数の実験値を用いる。使用したデータの測定者と測定対象を表-1に示す。さらに、(10)~(12)式の右边と、実験された再び気係数から求めた K_L の値との関係を図-1~9に、また、各場合における回帰式と相関係数を表-2に示す。

データ別にみると、どの式においても Krenkel⁷⁾による測定値の相関係数が最も高く、河川での測定値の相関係数が最も低い。河川では、実験水路に比べると、水理条件の測定が困難であろうし、酸素の吸収・発生に関しても、多くの要因

が複雑に作用しているために、再び気係数も正しく求めることが、非常にむづかしいものと思われる。そのため、実際の河川での相関係数が、実

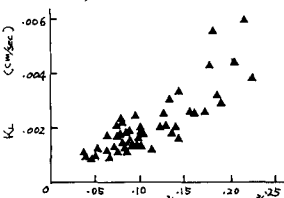


図-1. Thackstonのデータによる(10)式の相関

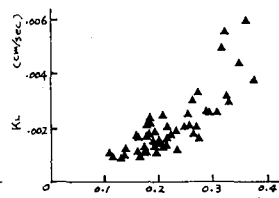


図-2. Thackstonのデータによる(11)式の相関

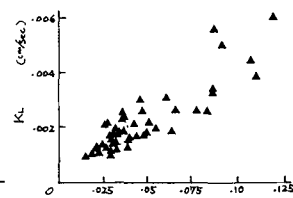
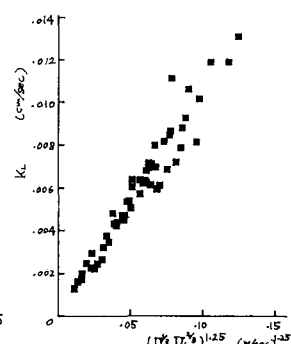
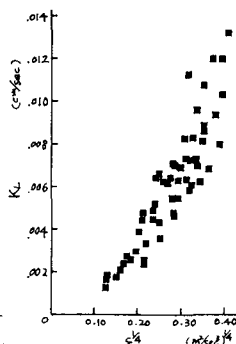
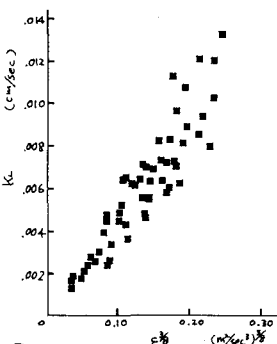


図-3. Thackstonのデータによる(12)式の相関

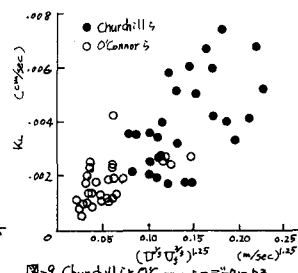
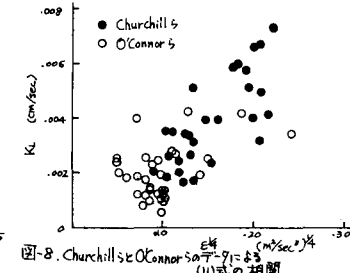
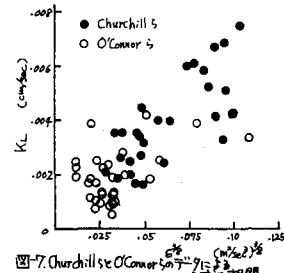
表-1. 再び気係数の測定者と測定対象

測定者	測定対象
Thackston ⁶⁾	実験水路 巾0.61m
Krenkel ⁷⁾	実験水路 巾0.30m
Churchill ⁸⁾	河川. Chindri, Holson ¹⁾ 等
O'Connor ⁹⁾	河川. Ohio ¹⁾ 等

験水路に比べて小さくなっているのは、やむを得ないことであると考え。実験水路においては、(10)~(12)式のいずれの式も、かなり強い相関を示しているが、図-1~6、ないしは、表-2と比較すると、(12)式による相関が最も強いことがわかる。したがって、乱れ



の強さにもとづく酸素移動現象のモデル的な取り扱いも、開水路へ十分応用できると考えられる。河川の場合の測定値に対する



る相関についても、図-7~9、ないしは、表-2に示されるように、各式による大きな相関状態のちがいはみうけられないが、(10)式による相関係数が最も高かった。

表-2 に示された帰帰直線式の K_L 軸切片に注目する。(10)式の場合の K_L 軸切片は $-0.00035 \sim +0.00068 \text{ cm/sec}$ 、(11)式

の場合は $-0.00287 \sim -0.00038 \text{ cm/sec}$ 、(12)式の場合は $-0.00001 \sim +0.00073 \text{ cm/sec}$ であった。 K_L 軸切片の値は、乱れがない場合の K_L の値であると考えられる。かく乱がない場合の K_L の値の測定例が、 0.00016 cm/sec 、 0.0003 cm/sec であることを考慮すると、(11)式の場合の K_L 軸切片の値は、これらの値からかなりずれているといえる。

河川での測定結果を用いて得られた(10)~(12)式による帰帰式を以下に示す。

$$\text{Dobbins, 村上による式} \quad K_L = 0.0464 U_f^{1/2} H^{1/4} + 0.00068 \quad (13)$$

$$\text{栗谷らによる式} \quad K_L = 0.0258 U_f^{1/2} H^{1/4} - 0.00038 \quad (14)$$

$$\text{平山らによる式} \quad K_L = 0.0219 U_f^{1/2} U_f^{1/2} + 0.00073 \quad (15)$$

単位 $K_L: [\text{cm/sec}]$ (底は cm)
 $U_f: [\text{m/sec}]$, $U: [\text{m/sec}]$, $H: [\text{m}]$

5. まとの 乱れの特性量の普遍関数表示をいくつかの酸素移動モデルに適用して、開水路での、水流量と酸素移動係数との関係と導いた。そして、それらの関係式と実測値と比較した結果、乱れの強さによる酸素移動現象のモデル化も、開水路流れに対して有効であることが示された。また、実験水路では平山らによる式が、河川ではDobbins, 村上による式が最も高い相関係数を示した。

使用記号 C: 酸素濃度, C_s : 飽和酸素濃度, E: 流れ全体の平均速度 $E = gI/U$, g : 重力加速度, H: 水深, I: エネルギー勾配, K_L : 再び係数, K_L' : 酸素移動係数, t : 時間, U : 乱れの強さ, U_f : 平均速度 $U_f = \sqrt{gIH}$, Z: 水路底からの距離, ϵ : エネルギー消散率, ϕ , ϕ' : 普遍関数表示に用いられる無次元関数, ρ : 相関係数, U : 流速

文献 1) 日本水質汚染研究報, Vol. 14-B, 1971 2) 平山ら, 下水道協会誌, 17, 198, 1980 3) Dobbins, A.S.C.E., 90, SA3, 1964 4) 本社, 第6回衛生工学研究討議会, 1970 5) 栗谷ら, 土木学会西部支部講演会, 1973 6) Thackston, A.S.C.E., 95, SA1, 1969 7) Krenkel, Univ. of California Dept. Sanit. Eng. Ph.D. dissert., 1960 8) Churchill's, A.S.C.E., 88, SA4, 1962 9) O'Connor's, A.S.C.E., 82, SA6, 1956 10) 平山ら, 第17回衛生工学研究討議会, 1981 11) 本社, 第30回土木学会年次講演会, 1975