

II-681 写真像を用いた開水路での気液接触面積の増加率の推定

山梨大学 正会員 平山公明
(株)NSCエンジニアリング 砂山恭一

1. はじめに

単位時間あたりの質量で表わした大気から水への酸素の溶解速度や、臭気物質の水から大気への移動速度は、液側の流動状態以外に、大気と水との接触面積にも依存する。河川で流れがあるとき表面には多少なりとも凹凸が生ずるので、大気と水の接触面積は静止時の面積よりも増加する。河川—大気間の物質の移動量 (g/s) を把握するためには、流れがあるときの気液接触面積の増加率を知る必要がある。

また、接触面積の増加率は気液間の移動現象のモデルと実際をつなぐうえでも重要な意味を持つ。河川の再ばっ気においては、物質の移動速度は濃度で測定した次式の再ばっ気係数 K_2 がまず求まる。

$$dC/dt = K_2 (C_s - C) \quad \text{..... (1)}$$

上式で、 C : 溶存酸素濃度 $[gcm^{-3}]$ 、 t : 時間 $[s]$ 、 K_2 : 再ばっ気係数 $[s^{-1}]$ 、 C_s : 飽和溶存酸素濃度 $[gcm^{-3}]$ である。一方、物質移動現象のモデル化においては次式の酸素移動係数 K_L をどう表現するかという展開になる。

$$J = K_L (C_s - C) \quad \text{..... (2)}$$

J : 酸素移動フラックス $[gcm^{-2}s^{-1}]$ 、 K_L : 酸素移動係数 $[cms^{-1}]$ である。上の2式より K_2 と K_L の間には次の関係がある。

$$K_L = K_2 (V/A) \quad \text{..... (3)}$$

V : 水の体積 $[cm^3]$ 、 A : 接触面積 $[cm^2]$ である。この(3)式中の A の値がわかればモデルと実際が正しくつながるが、水面に凹凸がある場合の A の値を得ることは困難なので、河川などでの開水路では、静止水面の面積 A_0 などで A を代用することもしばしばおこなわれている。そうすると、実測から求めた K_L の値は正しい値より大きくなってしまい、モデルの検証に障害となる可能性がある。

開水路で流れがあるときの気液接触面積増加率に関しては、次のような関係が提案されている^{1),2),3)}。

$$A/A_0 = 1.0 + 0.3 Fr^2 \quad \text{..... (4)}$$

$$A/A_0 = 1.0 + Fr^2 \quad \text{..... (5)}$$

$$A/A_0 = 1.0 + Fr^{0.6} \quad \text{..... (6)}$$

これらのうち(6)式はフルード数の影響をかなり大きく評価している。どの関係が実際の現象に近いのかを検討するために、写真像を用いた気液接触面積の増加率の推定を試みた。

2. 検討方法

予備的な検討を前報⁴⁾でおこなっている。概要は前報と同様である。水が流れると水面に凹凸ができる。水面下に置いた丸などの形を水面の上から写真にとると、水面の凹凸の影響を受けて写真の像はゆがんでしまう。したがって、写真の像は何らかの意味で水面の凹凸の様子を反映していると考えられる。本研究では水面下に置いた中塗りの円を写真にとって検討を行った。

図1(b)に示すような直径8mmの円をたくさん描いたアクリル板を水面下6cmに設置し、図1(a)の様な装置を用いてシャッター速度1/500秒で写真にとった。円は半径方向に、槽壁から1~6cmの範囲にある。写真をスキヤナで読み取り60個以上の円の画面上での面積(単位:ピクセル)を求めた。また、攪拌槽での酸素移動係数 K_L の測定をおこなった。 K_L は、(1)式により K_2 を求め、次式で算出した。

$$K_L = K_2 (V/A_1) \quad \text{..... (7)}$$

ただし、攪拌槽の水位は中心で下がり槽壁であるので、 A_1 には中心と槽壁での水位が円錐の頂点と底面であるとしたときの側面積を用いた。 K_L の値は底に e を用いたときのもので、温度係数を $\theta = 1.024$ として20℃での値に変換してある。

K_L の値から各回転速度での接触面積の増加率を推定する。開水路でも攪拌槽と同様に円の写真をとり、攪拌槽での結果を用いて接触面積の増加率

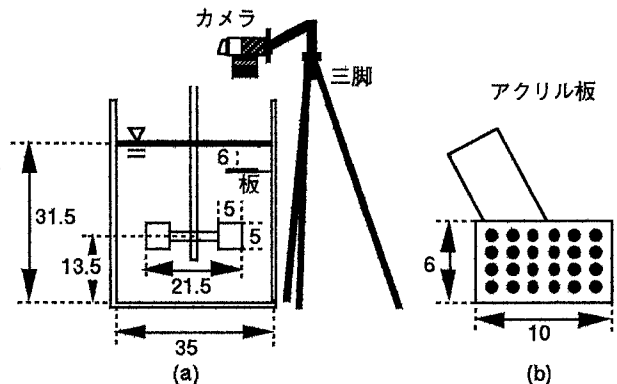


図1 実験装置図 (単位:cm)

を推定した。

3. 結果と考察

図2にはコンピュータ画面上の円の面積の平均値と標準偏差を示す。面積の平均値は攪拌槽の羽根の回転速度が変化してもあまり変化していないが、標準偏差は回転速度の増加とともに大きくなっている。実際、水面を見た感じでは水面の状態は40rpmと100rpmでは大きく異なるという印象を受ける。面積はカメラと円の位置関係によっても変わるので、接触面積の増加量を表わすパラメータとして変動係数を用いることにする。

図3に羽根の回転速度と円の面積の変動係数の関係を示す。60rpmあたりから変動係数が大きくなっている。図4に回転速度と K_L の関

係を示す。 K_L は回転速度とともに大きくなっているが、120rpmでは気泡を巻き込む現象も見られ、その影響も受けていると思われる。40rpmまでは水面を見た感じは平らだったし、図4において0～60rpmまではほぼ直線的に K_L が増加している。したがって、60rpm以下の K_L の変化は、接触面積の増加の影響を受けない液側の流動状態のみの影響が現われているものと仮定して、まずこの範囲での K_L と回転速度の関係を求めた。その際、 K_L は乱れ強度の1.25乗に比例するというモデル⁹⁾に準拠した。その関係を図4中の破線で示す。図4において、破線と測定値の差が接触面積の増加の影響であると考えた。図3、4から変動係数と接触面積の増加率の関係を求めた。その結果を図5に示す。図5より、変動係数が0.3以下であれば接触面積の増加率は2割以下であると思われる。

表1には、開水路で図1と同様にして円の面積を求め、図5を利用して接触面積の増加率を推定した結果を示す。フルード数が0.5以下であれば接触面積の増加率は1割以下と推定される。したがって、フルード数が0.5以下の範囲では、(4)～

(6)式の中では、(4)式がもっとも測定結果にそった関係であると思われる。

4. おわりに

水中に置いた多数の円を写真に取り、その円の写真のゆがみ加減から気液接触面積の増加率を推定する方法を提示し、開水路での接触面積増加率を推定してみた。フルード数が0.5以下なら増加率は1割以下と推定した。また、増加率とフルード数の関係については(4)式が適応性があることが示唆された。

参考文献 1) Dobbins, W. E. : BOD and oxygen relationship in streams, Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 90, SA3, pp. 53-78, 1964.

2) Dobbins, W. E. : BOD and oxygen relationship in streams (Discussion closure), Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 91, SA5, pp. 49-55, 1965. 3) Thackston, E. L. and Krenkel, P. A. : Reaeration prediction in natural streams, Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 95, SA1, pp. 65-94, 1969. 4) 平山ら, 49回年講, 2-B, pp. 1196-1197, 1994.

5) 平山ら, 表面ばっ気における酸素吸収, 下水道協会誌, 17, 193, pp. 21-31, 1980. 6) 平山ら, 温度係数の適合性にもとづく再ばっ気モデルの比較, 土木学会論文集, 485/II-26, pp. 121-129, 1994.

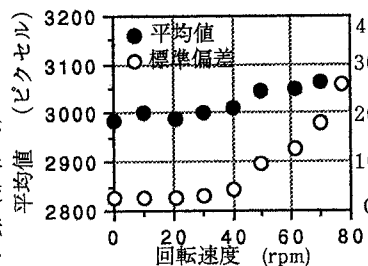


図2 面積の平均値と標準偏差

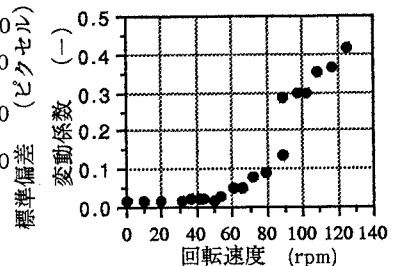


図3 面積の変動係数

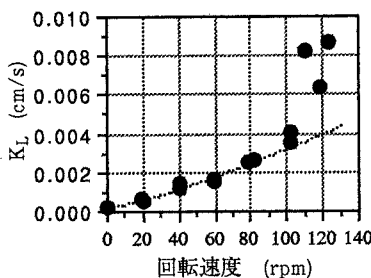


図4 K_L の測定結果

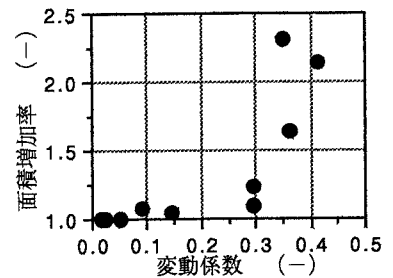


図5 面積増加率と変動係数の関係

表1 野外水路での測定結果

測定 No	流速 (cm/s)	水深 (cm)	水路 幅 (m)	Fr (-)	変動 係数 (-)	接触面 積増加 率(-)
1	68	11	1	0.65	0.09	1.05
2	51	16	1	0.41	0.13	1.05
3	47	26	10	0.29	0.05	1.0
4	42	21	1	0.29	0.06	1.0
5	51	19	1	0.37	0.14	1.1
6	50	21	1	0.35	0.07	1.0
7	46	31	18	0.26	0.03	1.0
8	22	30	1	0.13	0.03	1.0
9	27	27	1	0.17	0.11	1.05
10	87	10	1	0.88	0.34	(1.5)
11	58	29	18	0.34	0.05	1.0
12	23	14	18	0.20	0.10	1.05
13	12	13	18	0.11	0.01	1.0
14	49	13	18	0.43	0.17	1.1

() 内の面積増加率は参考値