

II-598 写真像による気液接触面積パラメータ算出の可能性に関する検討

山梨大学 正会員 平山公明
 山梨大学 正会員 今岡正美
 山梨大学 正会員 平山けい子

1. はじめに

大気と水の間の物質移動、たとえば酸素などの気体の溶解や臭気物質などの揮発、の現象において、その移動量は接触面積の影響を受ける。流れが生じている場合、接触面には凹凸ができ静止の場合の面積よりも大きくなっていることは確かであるが、その増加量、また、増加量と水理パラメータの関係については、検討例はあるものの¹⁾、あまり明確でない。

河川の再ばっ気においては、再ばっ気係数の実測値と酸素移動モデルをつなぐ上で、この接触面積の増加率は重要である。河川や水路では、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。

$$dC/dt = K_2 (C_s - C) \quad \cdots \cdots (1)$$

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、酸素移動係数 K_L をどう表現するかという展開になる。

$$J = K_L (C_s - C) \quad \cdots \cdots (2)$$

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。 K_2 と K_L の間には次の関係がある。

$$K_L = K_2 (V/A) \quad \cdots \cdots (3)$$

V ：水の体積 $[cm^3]$ 、 A ：接触面積 $[cm^2]$ である。この(3)式中の A の値がわかれば正しい K_L が得られるが、 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 を代用せざるを得ない。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ふ。

本研究では流れがあるとき、どの程度 A が A_0 に比べて増加するかを知る手がかりを得るために、写真像を用いた方法を提示し、試みに野外水路で適用してみた。

2. 検討方法

水が流れると水面に凹凸ができる。水面下に置いた丸や四角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4cmに設置し、図1(a)の様な装置を用いてシャッター速度1/125秒で写真にとった。一つの写真の画面(8cm×12cm)に円が約20個現れる。槽壁から5cmくらいの位置にあるものを10個選んでその写真から面積を測った。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、次式により算出した。

$$K_L = K_2 (V/A_1) \quad \cdots \cdots (4)$$

ただし、 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。値は底に e を用いたときのもので、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して円の写真をとり、接触面積の増加率を試算してみた。

3. 結果と考察

攪拌槽では羽根の回転速度が大きくなると水面に細かな波が生じ、空気と水との接触面積は大きくなると考えられる。そこで、円をとった写真から回転速度が大きくなるにつれ大きくなる性質のパラメータを探すことにする。

図2は1枚の写真の各円の大きさを回転速度に対して示したもので、10個の値を小さいものから並べたもので

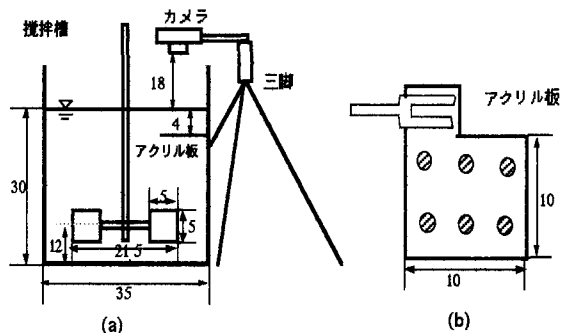


図1 実験装置図 (単位：cm)

ある。図2を見ると、羽根の回転速度が大きくなっても写真に写った円の面積の平均値はほとんど変化しない。しかし、回転速度が大きくなると円の面積のばらつきが大きくなっている。したがって、面積のばらつきを表すパラメータは接触面積を表すパラメータとして使える可能性がある。

図3はいくつかの回転速度に対して、面積の変動係数をプロットしたものである。回転速度が40rpm以下では水面は平らであったので、0rpmでの値と大差ないと考えられる。写真の像は、とる瞬間によってかなり違ったものとなるため、変動係数自体もかなりのばらつきがある。しかし、変動係数の平均値は回転速度の上昇とともに大きくなる傾向にあり、変動係数と接触面積に何らかの関係があることがうかがえる。

攪拌槽での K_L を測定した結果を図4に示す。羽根の回転速度が100rpmを越えるあたりから K_L が急速に大きくなっている。回転速度が大きくなると K_L が大きくなるのは、(1) 乱れが強くなる、(2) 接触面積が大きくなる、(3) 槽の中心部に気泡を巻き込むなど、いくつか要因が考えられる。(1)については、 K_L が乱れ強度の1.25乗に比例するというモデル^{3),4)}を40rpm以下に当てはめ、羽根の回転速度と乱れ強度の間に比例関係を仮定して、その関係を図4の波線で示した。この波線と測定値との差に接触面積の増加効果が現れていると考えられる。そこで、 K_L の実測値と波線上の値の比を求めた。この比は、接触面積以外の効果も加わっていると思われるが、ここでは接触面積比と呼ぶことにする。接触面積比を図5に、また、接触面積比の平均値と変動係数の関係を図6に示す。表1に、野外の水路での写真像の変動係数や水理パラメータを示す。図3、5、6の関係を用いて推定すると、測定した水路での面積の増加は数割程度であると考えられる。

4. おわりに

開水路で水が流れているときの気液接触面積が静水時に対してどの程度大きくなっているのかを写真像を用いて推定するための手順を提示した。写真に写った像の面積よりも、面積のばらつきを表すパラメータが接触面積の増加率と関連していることを指摘した。

本研究をおこなうにあたり、本学土木環境工学科1993年度卒業生能登甚吉氏（現在、西原環境衛生研究所）の協力を得ました。深く感謝いたします。

文献：(1)W. E. Dobbins, BOD and Oxygen Relationships in Streams, ASCE, 90, SA3, pp. 53-78, 1964 (2)E. L. Thackston and P. A. Krenkel, Reaeration Prediction in Natural Streams, ASCE, 95, SA3, pp. 65-94, 1969 (3)平山ら, 表面ばつ気における酸素吸収、下水道協会誌, 17, 193, pp. 21-30, 1980 (4)平山ら, 温度係数の適合性にもとづく再ばつ気モデルの比較、土木学会論文集, No. 485/II-26, pp. 121-129, 1994

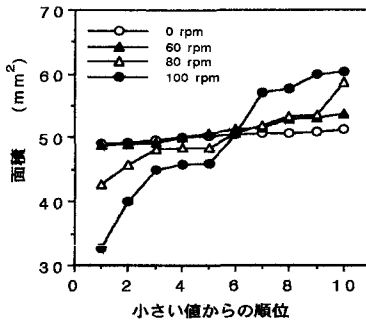


図2 面積の測定結果

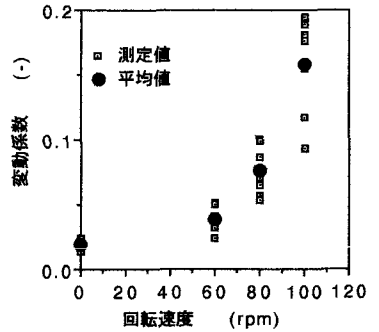


図3 面積の変動係数

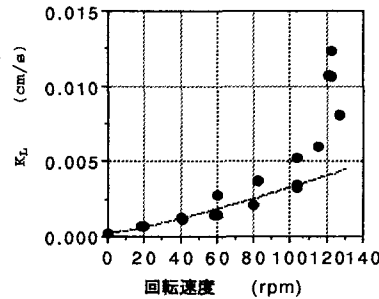


図4 K_L の測定結果

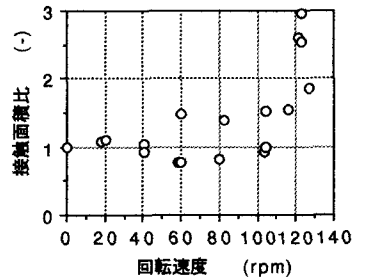


図5 接触面積比

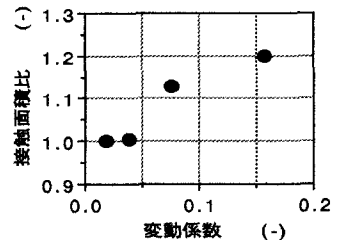


図6 変動係数と接触面積比の関係

表1 野外水路での測定結果

水路番号	流速 (m/s)	水深 (m)	フルード数 (-)	水路幅 (m)	変動係数(-)
1	0.35	0.053	0.48	1.0	0.134
2	0.48	0.085	0.52	1.0	0.171