

振動格子水槽を用いたガス交換速度に関する実験的研究

九州大学工学部 学生員 ○村井大亨

九州大学工学部 正会員 中村由行 小松利光

九州大学大学院 学生員 井上徹教 油島栄蔵

1. はじめに

水表面を通しての物質輸送量を定量的に評価することは、曝気装置の設計等工学的な問題に対して、また地球温暖化に関して大気海洋間の炭酸ガス交換率を正確に算定する上でも極めて重要である。しかしながら、物質交換メカニズムに関しては未だ不明な点が多く、輸送量を正確に予測・評価するまでには至っていない。そこで本実験では乱れをコントロールしやすく、かつ乱れの情報が得やすい振動格子乱流場を対象として、下層部の DO 濃度の変化からマクロ的にガス交換速度 K_L の評価を行った。一般に、酸素のような溶解度の低い物質の水表面におけるガス交換は、液相側の乱流条件と水表面近傍特性によって支配されることが知られている。このことから液相を水表面近傍領域 (Surface Influenced Layer) と、それ以外の領域 (bulk 領域) の二つに分けて考える必要がある。本実験ではこれらのうち主に bulk 領域を測定し、その乱流特性量と DO 濃度の時間変化を測定することによりガス交換速度 K_L および K_L と乱流条件との関係を考察した。

2. 実験装置及び方法

2-1 実験装置の概要及び乱れの計測法

本実験で用いた装置の概要を図 1 に示す。水槽は長さ 200.0 cm、高さ 50.0 cm、幅 25.0 cm のアクリル製で、角柱正方格子 (メッシュサイズ $M = 4.418$ cm, 栈幅 $d = 0.884$ cm, $M/d = 5.0$) を水槽底部から 20.0 cm 上方に取り付け、これを鉛直に振動させることにより乱れを発生させた。乱れの強さは格子の振動数 f (Hz) とストローク長 S (cm) によりコントロールし、乱流レイノルズ数 R_L は $R_L = 2U_{HT}L_\infty/\gamma$ により算出した。ここで U_{HT} は Hopfinger-Toly 速度と呼ばれ $U_{HT} = 0.25f S^{1/5}M^{0.5}Z_s^{-1}$ で決定される水表面での乱れの強さの指標である。¹⁾ また L_∞ は SIL の厚さであり、 $L_\infty = 0.1Z_s$ により求められた。 γ

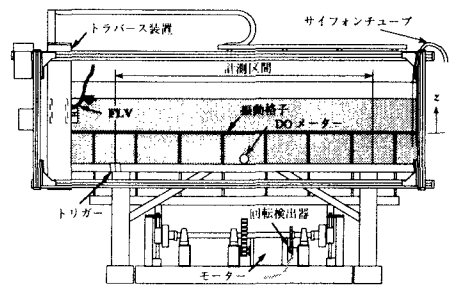


図 1 振動格子実験装置

は水の動粘性係数で温度の関数として算出されたものである。 Z_s は格子の振動の中心 ($Z = 0.0$ cm) から水表面までの距離であり、本研究では全実験を通じて $Z_s = 20$ cm とした。また水槽内の水は水道水を用いた。乱れの計測には FLV (Fiber Laser Velocimeter) を使用し、それを水槽と独立させたトラバース装置に取り付け、水平方向に一定速度 22.0 cm/s で滑らかに走行させながら乱れの計測を行なった。その際、1 回の走行で得られた出力信号は、時間間隔 $\Delta t = 1/1000$ 秒で AD 変換され、8192 個のデータとして収録された。

2-2 DO 濃度の測定法

まず実験前に窒素バブリングを約 1 時間行うことにより、水槽内の DO 濃度を約 1 ppm にした。DO 濃度の測定は、サイフォンチューブを用いて bulk 領域の濃度が様な水を採水する方法と、DO メーター (TOA 製 DO メーター DO-25A) を水槽の底に設置することにより直接測定する方法の二通りで行われた。サイフォンチューブを用いた採水では約 60 分 ~ 90 分置きに 100 cc フランビン 2 本に採水し、滴定により DO 濃度を測定した。

3. 結果及び考察

3-1 サイフォンによる採水及び DO メーターの設置による影響

本実験では DO 濃度の測定のため、図 1 に示すように水槽内にサイフォンチューブ及び DO メーターを設置した。このため、水槽内の乱流

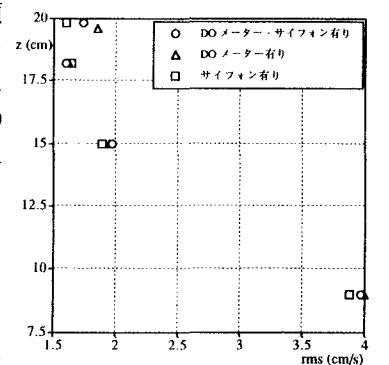


図 2 乱れ強度 u の鉛直分布 ($RL = 525$)

構造が変化すること、またそれに伴い K_L の値も変化することが考えられる。そこでまずこれらが乱れに対してどう影響を及ぼすかについて調べるため、図 2,3 に水平及び鉛直方向の乱れ強度 u, w の鉛直分布を示す。図 2,3 によると bulk 領域では、サイフォン及び DO メーターの設置による乱れ強度への有意の影響はないことがわかる。図 4 は K_L に対する影響を調べるために溶存酸素欠損量 $C_s - C$ (C_s は飽和濃度) を経過時間に対してプロットしたものである。図 4 より K_L への影響もないことがわかる。

3-2 シーディング材混入による影響 乱流条件一定のもとで実験開始から 3～4 時間経過後にシーディング材を注入した場合の $C_s - C$ の時間変化を図 5 に示す。乱れ成分の測定を FLV を用いて行うにはシーディング材が必要となるが、 K_L への影響を確認する必要がある。図 5 によると本実験の計測範囲内では、シーディング材の影響は無視できるようである。

3-3 ガス交換速度 K_L のレイノルズ数依存性 図 6 は無次元ガス交換速度 K_L / U_{HT} と乱流レイノルズ数 Re_L との関係をプロットしたものである。Chu and Jirka²⁾ が Split - film 型熱膜流速計を用いて、振動格子乱流場を対象に同様な実験を行っているので、比較のために彼らの実験データもプロットした。

水表面におけるガス交換は水槽中の乱流条件に影響されるが、図 6 によると K_L / U_{HT} のレイノルズ数に対する依存性は明確には見られない。原因として、今回使用した実験水槽は彼らのものと比べて 2.5 倍程度大きいことから水槽内の乱流構造が異なっているためであると考えられる。また、今回使用した実験水槽で生成される乱れは Hopfinger and Toly¹⁾ が用いた水槽のものに比べておよそ 1.2 倍であることが Komatsu *et al.*³⁾ により確認されている。

4. おわりに

本研究は bulk 領域の DO 濃度の長時間変化からマクロ的にガス交換速度 K_L を評価したものである。本研究で得られた主な知見を列挙すると次の通りである。

- (1) サイフォンによる採水や DO メーターの設置により水槽内の乱流構造は若干変化するけれども、 K_L に対する影響はほとんど見られない。
- (2) 本実験の範囲内では、シーディング材を注入することによる K_L への影響はほとんど見られない。
- (3) 無次元ガス交換速度 K_L / U_{HT} の乱流レイノルズ数に対する依存性は明確には見られない。

今後は蒸留水を用いた実験を行い、さらに微小酸素電極を用いて水表面近傍領域 (Surface Influenced Layer) に対して、100 μm スケールで詳細に濃度分布を計測する予定である。

参考文献

- 1) Hopfinger and Toly : *J. Fluid Mech.*, Vol. 78, pp. 155-175, 1976.
- 2) Chu and Jirka : *Int. J. Heat.Mass. Transfer*, Vol. 35, No.8, pp. 1957-1968, 1991.
- 3) Komatsu, Yushima and Shibata : *Proc. of 27th IAHR Congress*, 1997 (to be submitted).

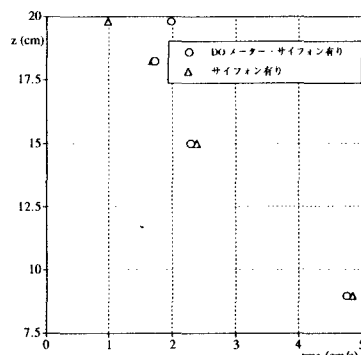


図 3 乱れ強度 w の鉛直分布 ($Re_L = 525$)

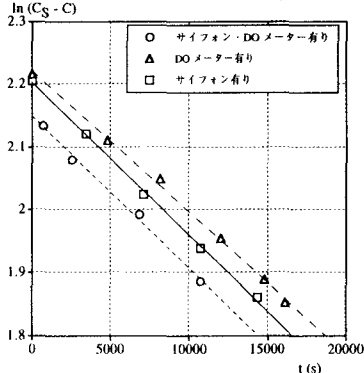


図 4 サイフォン及び DO メーターの影響

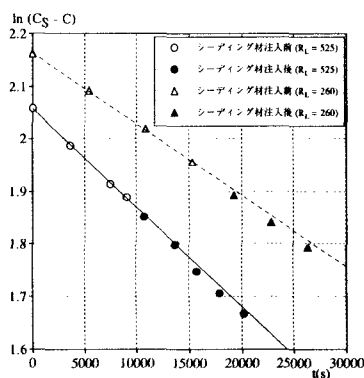


図 5 シーディング材の影響

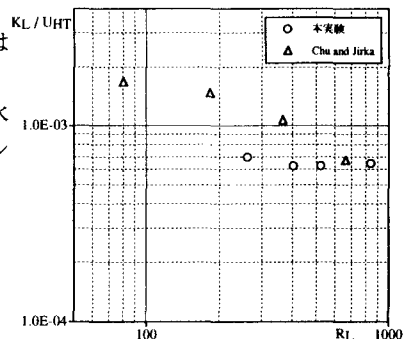


図 6 K_L のレイノルズ数依存性