

九州大学工学部 正会員 栗谷陽一
 学生員 安部 喬
 学生員 野中博樹

1. まえがき 表面曝気の理論には、*Dankwerth*¹⁾、又は *O'Connor*, *Dobbins* の表面更新説、*Levich* の表面張力の影響を考えるものなどがあるが、これらの説では、曝気速度を支配する表面付近の乱れとの関係が明確ではない。ここでは、液膜内での酸素拡散の物理モデルを設定し、酸素吸収速度と乱れとを関連づけるため表面付近の速度変動と酸素吸収速度を測定して検討を加えた。

2. 理論 表面付近で図1のような乱れを考える。液膜内では $\frac{\partial u}{\partial z}$, $\frac{\partial v}{\partial y}$ は一定と考えられ、連続の式 $\frac{\partial w}{\partial z} = -(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})$ より $\frac{\partial w}{\partial z} = -\alpha$ (const.) とする。表面付近の乱れの最小スケール l とそのスケールに対する乱流強度 k が曝気を支配すると考え

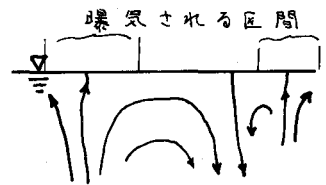


図1. 酸素吸収のモデル

$$\frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{w}{l} = -\alpha \quad (1)$$

$$\therefore w = -\alpha z \quad (z=0; w=0)$$

z方向の流速 w がある場合、z方向への酸素濃度 C の分子拡散は、定常状態では

$$w \frac{\partial C}{\partial z} = D_H \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (D_H = \text{液膜を通過する分子拡散係数})$$

1) したがって

$$-\alpha z \frac{\partial C}{\partial z} = D_H \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

これを境界条件 $z=0; C=C_0$ (C_0 : 飽和酸素濃度), $z=\infty; C=C_\infty$, $\frac{\partial C}{\partial z} = 0$ (C_∞ : 液体の酸素濃度) のもとに解くと

$$C = C_0 - \sqrt{\frac{2\alpha}{\pi D_H}} (C_0 - C_\infty) \int_0^\infty e^{-\frac{\alpha}{2D_H} z^2} dz$$

$$\therefore \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=0} = -\sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} (C_0 - C_\infty) \frac{1}{D_H} \alpha^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

表面曝気速度 j は

$$j = -D_H \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=0} = K (C_0 - C_\infty) \quad (K: \text{再曝気係数}) \quad (3)$$

式(3)の $\frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=0}$ に式(2)を代入して

$$j = -\sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} (C_0 - C_\infty) D_H^{\frac{1}{2}} \alpha^{\frac{1}{2}}$$

曝気区間の割合は $\frac{1}{2}$ と考えられるから

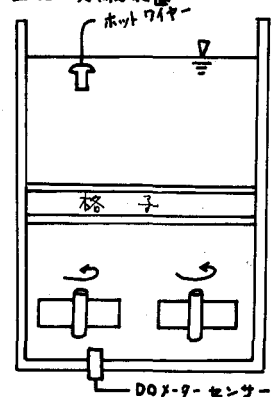
$$j = -\sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} (C_0 - C_\infty) D_H^{\frac{1}{2}} \alpha^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$K = -\sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}} D_H^{\frac{1}{2}} \alpha^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Dankwerth の表面更新説において、 k_{L_0} を平均表面寿命と考へれば、定性的には同じ式であるが、このようにすれば、表面近くの乱れの実測値と直接結びつけられることと、表面更新の考えでは、境界が *Stagnant* になる矛盾もさけられると思われる。

3. 実験 直径 310mm, 深さ 340mm のアクリル製円筒形水槽の

図2 実験装置



底で、同一方向に回る2組の羽根車により旋回流と乱れとを発生させた。また羽根車と水面との間にも幅10mmの格子を2段に置いて乱れを起した。水面付近の流速変動をホットワイヤーで測り、ペン書きオシロスコープに記録した。底にはDOメータのセンサーを挿入して酸素濃度を測定した。

実験は、まず、水槽に空気を吸き込んで、水槽内の酸素濃度を4ppmぐらいにしたあと、攪拌速度20%, 15%, 10%の各々について、水表面下2mmでの速度変動と酸素濃度の時間変化をはかる。又、水深方向の乱れの変化の様子を調べるため、攪拌速度10%については、2mm, 8mm, 32mmの水深での速度変化も測定した。

4. 実験結果と考察 速度変動は、エネルギー・スケール解析して、乱れの最小スケールとそのスケールの乱れに対する代表乱流強度 u'_r を求めた。酸素濃度の時間変化より、再曝気係数 K を式(3)によって求めた。

表1に水深方向に対する乱れの変化の様子を示す実験結果をまとめた。 α の値は、水深2mm, 8mmではあまり大きく変っていないから表面の α として水深2mmの値を使った。

表3に攪拌強度と再曝気係数との関係を示す結果をまとめた。図3は α と K を両対数グラフにプロットしたものである。直線は、理論式(5)において $D_H = 0.000021$ %として求めたものである。

これによると、この実験の攪拌強度の範囲では、再曝気係数 K の値を式(5)により評価できるのではないかと思われる。しかし、実験データの数が少ないことと、データのばらつきが大きいので再曝気速度が α の $1/2$ 乗に比例するかどうかはわからなかった。

今後、攪拌強度の違った数多くのデータをそろえて検討するつもりである。

水深	平均速度	乱流強度 u'	最小スケール	u'_r	α
2mm	9.3%	0.32%	0.74cm	0.09%	0.12%
8	10.3	0.37	0.94	0.14	0.15
32	11.0	0.66	0.67	0.29	0.43

表1. 水深方向の乱れの変化

平均速度	乱流強度	最小スケール	u'_r	α	K
18.6%	0.95%	1.28cm	0.21%	0.16%	0.00102%
14.8	1.19	1.00	0.34	0.34	0.00069
9.3	0.32	0.74	0.088	0.12	0.00056

表2 攪拌強度と再曝気係数

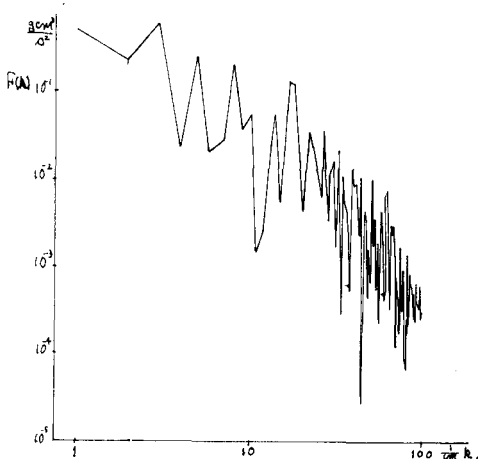


図2 エネルギー・スペクトル

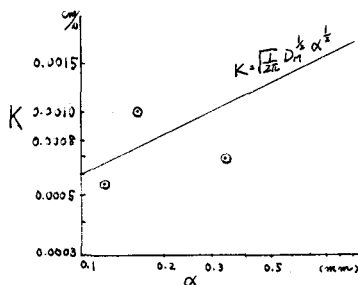


図3