II－19　散気板幅の影響について

九州大学　粟谷 陽一
関東学院大学　○北野 義則

1. まえがき

線源からの気泡噴流において，気泡噴流の中心流速は上昇高によらず一定値をとり，拡がり幅は上昇高に比例する。気泡密度は上昇高に逆比例することが知られている。曝気槽での散気板は一般に曝気槽の底部の片側に沿って並べ，しかも槽表面積の5~10%をおおうように設計されている。その挙動は線源と異なったものとなる。しかしながら上昇するにつれて気泡噴流は線源からの気泡噴流の解に漸近する。この報告は気泡の水流に対する相対速度と散気板の幅とが気泡噴流にどのように影響するか調べたものである。

2. 理論

気泡噴流の基礎式は次の通りである。

連続の式　$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \qquad (1)$$

運動量式　$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = \sigma g + \frac{\partial}{\partial y}\left(l^2\left|\frac{\partial u}{\partial y}\right|\frac{\partial u}{\partial y}\right) \qquad (2)$$

気泡の保存式　$$(u+w)\frac{\partial \sigma}{\partial x} + v\frac{\partial \sigma}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y}\left(l^2\left|\frac{\partial u}{\partial y}\right|\frac{\partial \sigma}{\partial y}\right) \qquad (3)$$

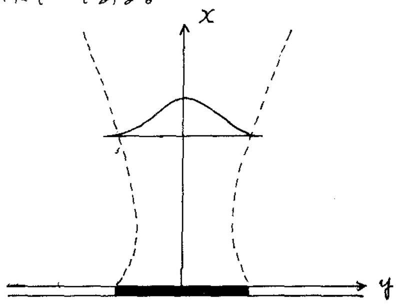

図-1

線源からの気泡噴流の近似解を誤差分布と仮定してもその性質を十分知ることができるので，この場合についても流速分布 $u = u_0 e^{-y^2/b^2}$，気泡密度分布 $\sigma = \sigma_0 e^{-y^2/a^2}$ と仮定する。l は噴流幅 b に比例するとして $l = \varepsilon b$。

これらを用いて(2)，(3)に代入し，0次および1次モーメントをとる。

$$\left.\begin{aligned} &U = u_0/w, \quad X = \varepsilon^2 x/a_0, \quad A = a/a_0 \\ &B = b/a_0, \quad S = g a_0 \sigma_0/\varepsilon^2 w^3, \quad Q = gq/\varepsilon^2 w^3 \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

(4)で無次元表示すると次の結果が得られる。

$$\sqrt{2}UB\frac{dU}{dX} + \frac{1}{\sqrt{2}}U^2B\frac{dB}{dX} = AS \qquad (5)$$

$$\frac{BAS}{(B^2+A^2)^{1/2}}\frac{dA}{dX} + \frac{A^3}{(B^2+A^2)^{3/2}}US\frac{dB}{dX} + \left\{1 + \frac{B^3}{(B^2+A^2)^{3/2}}U\right\}S\frac{dA}{dX} + \left\{1 + \frac{B}{(B^2+A^2)^{1/2}}U\right\}A\frac{dS}{dX} = 0 \qquad (6)$$

$$(\pi+4)UB^2\frac{dU}{dX} + (\pi+2)BU^2\frac{dB}{dX} = 2\sqrt{2\pi}\,BU^2 + 4A^2S \qquad (7)$$

$$\left(\tan^{-1}\frac{A}{B} + \frac{BA}{B^2+A^2}\right)SB\frac{dU}{dX} + \left\{\tan^{-1}\frac{A}{B} + \frac{BA(A^2-B^2)}{(B^2+A^2)^2}\right\}SU\frac{dB}{dX} + 2\left\{1 + \frac{B^4}{(B^2+A^2)^2}U\right\}S\frac{dA}{dX} + \left\{1 + \frac{B^2}{B^2+A^2}U\right\}A\frac{dS}{dX} = 2\sqrt{\pi}\,\frac{B^3}{(B^2+A^2)^{3/2}}US \qquad (8)$$

$$Q = \sqrt{\pi}AS\left\{1 + \frac{B}{(B^2+A^2)^{1/2}}U\right\} \qquad (9)$$

以上の式を用い数値計算を行なう。しかしながら散気槽幅が有限幅をもつとき $X=0$ すなわち $U=0$ の点は特異点であるので，考慮を必要とする。U, B, A, S についての境界条件より $X=0$ の近傍の解は次のように置くことができる。

$$\left.\begin{aligned} U &= U_0X^h + O(X^{h'}) & h' > h > 0 \\ B &= B_0X^i + O(X^{i'}) & i' > i \\ A &= A_0 + O(X^j) & j > 0 \\ S &= S_0 + O(X^k) & k > 0 \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

(10)を(5)，(9)に代入すると次数を決めることができる。　$i = 0$，$h = \frac{1}{2}$ となる。

以上のことを考慮すれば(10)は次の様に書き改めることができる。

$$U = U_0X^{1/2} + U_1X + \cdots\cdots$$

$$
\left.\begin{aligned}
B &= B_0 + B_1 X^{1/2} + \cdots\cdots \\
A &= A_0 + A_1 X^{1/2} + \cdots\cdots \\
S &= S_0 + S_1 X^{1/2} + \cdots\cdots
\end{aligned}\right\} \quad (11)
$$

(11)を各基礎式に代入すれば，

$$
\left.\begin{aligned}
& A_0/B_0 = (\pi+4)/4\sqrt{2} \equiv \gamma_0 \\
& U_0 = \left(\sqrt{2}\,\gamma_0 Q/\sqrt{\pi} A_0\right)^{1/2} \\
& S_0 = Q/\sqrt{\pi} A_0 \\
& A_1 = \left\{ \frac{\gamma_0}{(1+\gamma_0^2)^{1/2}} - \tan^{-1}\gamma_0 \cdot \frac{\gamma_0}{1+\gamma_0^2} \right\} B_0 U_0 \\
& B_1 = 4\sqrt{2} A_1 / (2\pi + 6 - 2\sqrt{2}\,\gamma_0) \\
& S_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}\,\gamma_0} \left\{ \frac{2}{(1+\gamma_0^2)^{1/2}} - \frac{1}{\gamma_0}\tan^{-1}\gamma_0 - \frac{1}{1+\gamma_0^2} \right\} U_0^3
\end{aligned}\right\} \quad (12)
$$

を得る。

線源からの気泡噴流の解はQを与えさえすれば，気泡噴流の解を求めることができたが，幅をもつ散気装置からの気泡噴流では散気板幅に対応するもう1つのものがA_0となる。数値計算においてA_0は任意に選べるので$A_0=1$としても一般性は失なわれない。種々のQに対するU，B，A，Sを図2，3，4，5に示す。

3. 考察

図2は気泡噴流の中心流速の変化を示めしている。中心流速は上昇するにつれて加速され，次第に線源からの気泡噴流に漸近していくことがわかる。図3は流速分布の幅を表したものである。流速が散気板近傍において加速大であるため，Bが上昇とともに減少する。流速の加速がおだやかになってくると再び幅は増加を始め，線源の解に漸近していく。相対上昇速度の影響が小さいほど早く線源の解に近づくことがわかる。送気量が大きいほど，散気板幅が小さいほど同様なことが言える。気泡噴流の幅Aも又同様なことが言える。図5は気泡密度Sを示している。気泡密度はある値から始まって上昇とともに減少し気泡噴流の線源解に近づくことを示している。曝気槽での散気の目的は，基質が沈殿しないため旋回流を与えることと，airを汚水中に吹き込むことである。旋回流を与えることに注目すれば，散気板の出し口の構造は重要な影響を与えることになる。

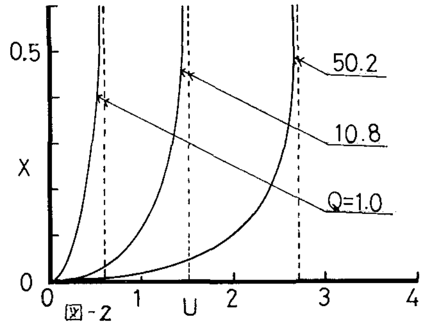

図-2

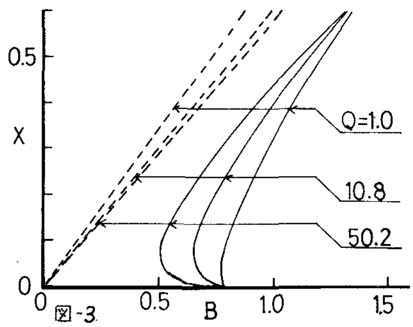

図-3

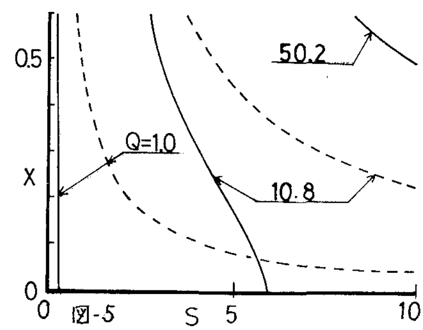

図-5

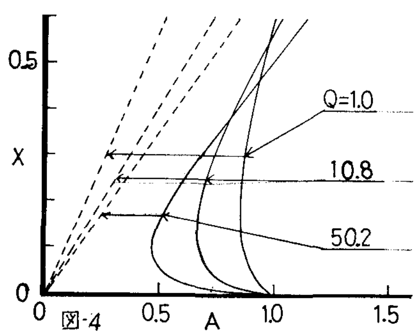

図-4

参考文献

北野・田中・粟谷"静水中における気泡噴流の性質"
土木学会論文報告集 253号 1976年9月

W.W. Eckenfelder and D.J. O'conner "Biological Waste treatment"
岩井重久訳，コロナ社，1965年