

関東学院大学 北野 義則
九州大学 栗谷 陽一

1. まえがき

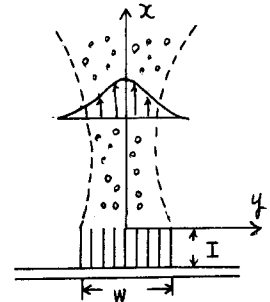
線源からの気泡噴流についての性質は、ある程度知られていて、中心流速は上昇高によらず一定値をもち気泡噴流幅は上昇高に比例する。気泡による曝気を行えば、微生物の働きにより、吸着性の強いフロックが形成され、このフロックに下水中の有機物などが吸着し、微生物により下水の酸化が行なわれ、そのフロックが最終沈殿池に移行して脱炭する。一般に曝気は有限幅をもつ散気装置から気泡を放出し、気泡噴流を形成する。しかしその様子についてはあまり知られていない。この報告は散気板幅が気泡噴流にどのように影響するか調べたものである。

2. 理論

気泡噴流の基礎式は次の通りである。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1) \quad u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad (2) \quad \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon^2 \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \quad (3)$$

線源からの気泡噴流の近似と誤差分布と仮定して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 $u = u_0 e^{-y^2/a^2}$ 、気泡密度分布 $\sigma = \sigma_0 e^{-y^2/a^2}$ とし混合距離 l は噴流幅に比例するとして $l = \epsilon b$ と仮定する。これらを用いて基礎式に代入し0次および1次元方程式をとる。



$$u = u_0/w, \quad X = \epsilon^2 x/a_0, \quad A = a/a_0, \quad B = b/a_0, \quad S = q/a_0/\epsilon^2 w^3, \quad Q = qg/\epsilon^2 w^3$$

w : 気泡相對上昇速度 σ : 気泡密度 q : 送风量 a_0 : 任意な長さ2次元

2次元で表示すると次の結果を得る。

$$\begin{aligned} \sqrt{2} u B \frac{du}{dx} + \frac{1}{2} u^2 B \frac{dB}{dx} &= A S (4) \quad \frac{B A S}{(B^2 + A^2)^{3/2}} \frac{dA}{dx} + \frac{A^2}{(B^2 + A^2)^{3/2}} u S \frac{dB}{dx} + \left\{ 1 + \frac{B^2}{(B^2 + A^2)^{3/2}} \right\} u S \frac{dA}{dx} = 0 \\ (\pi + 4) u B^2 \frac{du}{dx} + (\pi + 2) B u^2 \frac{dB}{dx} &= 2 \sqrt{2} \pi B u^2 + 4 A^2 S \quad (5) \quad + \left\{ 1 + \frac{B^2}{(B^2 + A^2)^{3/2}} \right\} u S \frac{dA}{dx} \\ \left(\frac{1}{2} + \frac{A}{B} + \frac{B A}{B^2 + A^2} \right) S B \frac{du}{dx} + \left(\frac{1}{2} + \frac{A}{B} + \frac{B A (A^2 - B^2)}{(B^2 + A^2)^2} \right) S u \frac{dB}{dx} &+ 2 \left\{ 1 + \frac{B^2}{(B^2 + A^2)^{3/2}} \right\} u S \frac{dA}{dx} \\ + \left\{ 1 + \frac{B^2}{B^2 + A^2} \right\} u S \frac{dA}{dx} &= 2 \sqrt{2} \pi \frac{B^2}{(B^2 + A^2)^{3/2}} u S \quad (6) \end{aligned}$$

$$(5) \text{ は質量平衡より } Q = \sqrt{2} \pi A S \left\{ 1 + \frac{B^2}{(B^2 + A^2)^{3/2}} \right\} u \quad (7)$$

$I=0$: 散気板直上より直接散気を行なうため、初期流速 $u_0=0$

$$u = u_1 x^{1/2} + u_2 x + \dots \quad B = B_0 + B_1 x^{1/2} + \dots \quad A = A_0 + A_1 x^{1/2} + \dots \quad S = S_0 + S_1 x^{1/2} + \dots$$

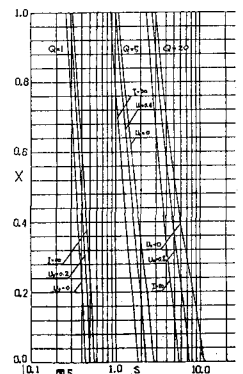
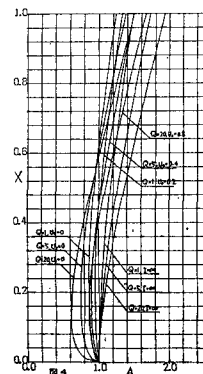
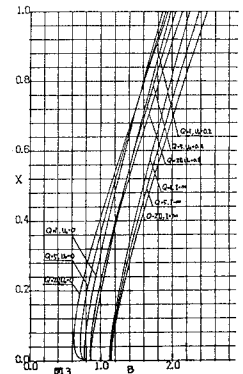
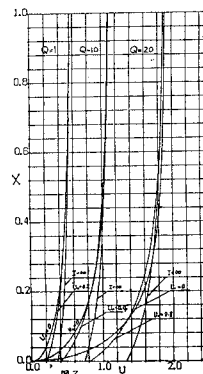
I 有限: 初期流速をなわち吸い込み速度がある。

$$u = u_0 + u_1 x + \dots \quad B = B_0 + B_2 x^2 + \dots \quad A = A_0 + A_1 x + \dots \quad S = S_0 + S_1 x + \dots$$

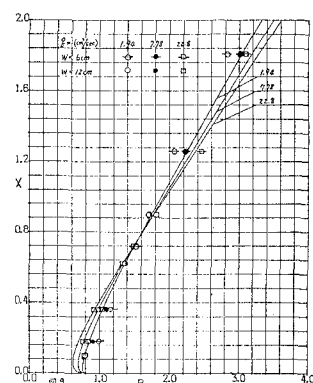
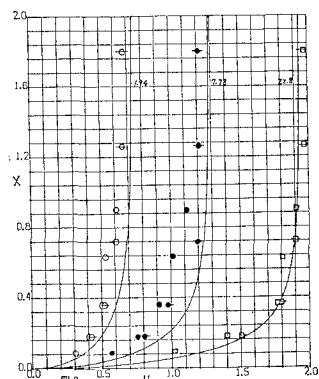
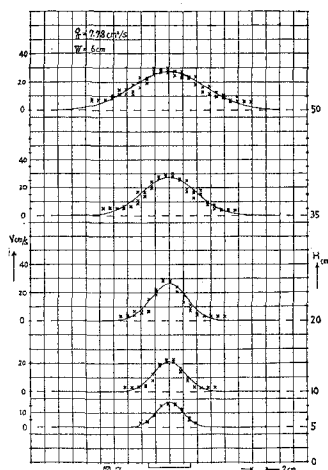
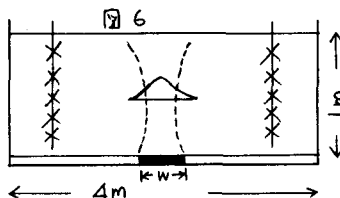
$I=\infty$: $u_0 + u_1 x + \dots \quad B = B_0 + B_2 x^2 + \dots \quad A = A_0 + A_1 x^2 + \dots \quad S = S_0 + S_1 x + \dots$

これを基に基礎式に代入すれば各々関係式が得られ、 $I=0$ 及び $I=\infty$ においては Q と A_0 、 I 有限の場合は Q 、 A_0 と I の条件とをえれば u_0 を与えれば数値計算を行なうことができる。なお a_0 は任意であるから $A_0=1$ としよ。計算結果を図2-図5に示す。

3. 実験 図6に実験装置を示す。実験水槽は長さ4m 高さ1m 奥行60cmの全面アクリル製の水槽を用いた。散気板は幅



$W=12\text{cm}$, 6cm の2種類を用い散気板直上より放出するものとする $I=0$ である。ポンプから送り、送気量はフローメーターで計測した。プロパラ流速計を用いて散気装置より高さ5, 10, 20, 35, 50cmの位置で各断面に沿って1cmおきに流速分布を計測した。今回は気泡密度についての計測は行なわなかった。なおタワレは逆流を阻止するためのものである。



4.考察

図2は流速についての数値計算結果であり、 $I=0$ のとき中に流速は0より始まり運動量の増大に伴い急激に加速され、その後ゆっくり変化し、線源の解に漸近する。 I は有限のときは I の高さにより出口の速度は決定され、 I が大きくなると行くに従って初期流速は大きくなり $I=\infty$ の解に漸近していく。図3は流速幅を表したものである。 $I=0$ のとき流速が急激に加速されるため、初期には流速幅は減少するが、その後再び増大していくことになる。 I は有限のときは幅は減少することなく、ゆっくりと増大していくこととなり $I=0$ の幅の様子と大きく異なっていく。幅は $I=\infty$ に漸近していく。図4は気泡密度分布の幅を表したものである。 $I=0$ のとき流速幅と似た様子となるが気泡が相対上昇速度をもちたためゆっくりとした変化となる。 I は有限では流速幅とは異なり $I=0$ のときと同様初期には減少する。 $I=\infty$ では流速幅と同様初期より増大する。気泡密度については図5に示す。上昇とともに線源解に漸近する。実験結果の一例を図6に示す。これは散気板幅 6cm を用いた例であり、流速が加速され、それに伴い流速幅の変化が表れている。流速及び流速幅について理論計算との比較を行なった結果を図8、図9に示す。 $I=0$ の場合、実験によって決定しなければならぬのは $l=Eb$ の E と任意長さ l_0 である。 E については線源からの気泡噴流が定めたものとこの場合について使用できると考えられるので線源を通 $E=0.3$ を用いることにした。従って l_0 のみを今回の実験より定めた。なお今回は気泡密度分布について計測を行なっていないため l_0 については流速分布より粗く求めてみた。その結果 l_0 は $W=12\text{cm}$ のとき $l_0=5\text{cm}$, $W=6\text{cm}$ のとき $l_0=2.5\text{cm}$ とした。従って $l_0 \approx 0.42W$ となる。流速分布、流速幅ともに傾向的にはよく表れているが、比較的 $W=6\text{cm}$ の方が $W=12\text{cm}$ のときよりよく、また送気量が多いほどよい結果となった。これは、初期に流速分布がガウス分布を示しており、このことにも原因があると思われる。流速が遅くなると気泡の滞留時間が長くなり、懸濁液の収率が低下する。従って同一送気量なら散気板を広くするほうが効率は良いと考えられるが、もう一つの目的である逆流についても合わせて考えなければならぬ。

参考文献 1) 散気板幅について 関東支部 要谷 他 2) 静水中における気泡噴流の性質 工研論文 要谷 他