

## 1. まえがき

下水処理場を設計するにあたり、処理場敷地の面積および形状等により処理施設の形状や構造が検討され、設定される。従来一般に行なわれていたエアレーションタンクの水深は5m前後であるが、深層エアレーションは水深10m位まで深くしてエアレーションする方式である。敷地のより効率的利用を目的として採用されているのである。水压を考慮した線源からの気泡噴流は上昇に伴って流速は増大するが、噴流幅のひろがり角度は上昇につれて下向きになる。実際のエアレーションタンクにおいては線源として気泡を発生させているわけではなく、ある幅をもつ散気装置から気泡を発生させているのである。この報告は水压を考慮して幅をもつ散気板から発する気泡噴流について検討したものである。

## 2. 理論

図1のように2次元気泡噴流の主運動方向に沿ってX軸をとり、それに垂直して、Y軸をとる。自由表面より散気装置までの水深をH、大気圧を同じ水柱に換えて $H_0$ とする。散気装置の深さにおける圧力の $p$ と $\rho$ の空気の密度 $\rho_H$ および気泡密度を $\rho_H$ とする。又任意の深さでのそれぞれに対応するものと $\rho_x, \sigma_x$ とすると  $m = \sigma_x \rho_x = \sigma_H \rho_H$  (1)

従って容積変化に伴う気泡噴流に対して、次の流体運動式および気泡運動式は

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial U}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left( k^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \sigma_x g \quad (u+w) \frac{\partial m}{\partial x} + U \frac{\partial m}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left( k^4 \frac{\partial^2 m}{\partial x^2} \frac{\partial^2 m}{\partial y^2} \right) \quad (2) \quad (3) \quad \text{となる。}$$

$w$ は気泡の相対速度である。また $\rho_H$ と $\rho_x$ の間には  $\rho_x = (H_0 + H) \rho_H / (H_0 + H - x)$  (4) が成立する。(4)を用いれば

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial U}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left( k^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \frac{H_0 + H}{H_0 + H - x} \sigma_H g \quad (5) \quad (u+w) \frac{\partial m}{\partial x} + U \frac{\partial m}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left( k^2 \frac{\partial^2 m}{\partial x^2} \frac{\partial^2 m}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

を得る。実用上、流速分布、気泡密度分布と誤差分布で十分近似できると考えられるので、流速分布  $U = U_0 e^{-y^2/b^2}$ 、気泡密度分布  $\rho_H = \rho_0 e^{-x^2/a^2}$  と仮定する。 $k$ は噴流幅 $b$ に比例するとして  $k = \epsilon b$  とする。これらを用いて、(5),(6)の0次および1次元-Xをとる。4つ係数に対して2次元量で表示する次のように置く。

$$\begin{aligned} x &= (H_0 + H) X, & b &= \epsilon^2 (H_0 + H) B, & A &= \epsilon^2 (H_0 + H) A \\ \rho_0 &= w^2 / g (H_0 + H), & u_0 &= w U, & g &= \epsilon^2 w^2 / g \end{aligned} \quad (7)$$

$$\sqrt{2} U B \frac{dU}{dX} + \frac{1}{\sqrt{2}} U^2 \frac{dB}{dX} = \frac{AS}{1-X} \quad (8) \quad (\pi+4) U B^2 \frac{dU}{dX} + (\pi+2) B U^2 \frac{dB}{dX} = 2\sqrt{2} \pi B U^2 + 4 \frac{A^2 S}{1-X} \quad (9)$$

$$\frac{BAS}{(B^2+A^2)^{3/2}} \frac{dU}{dX} + \frac{A^3}{(B^2+A^2)^{3/2}} U S \frac{dB}{dX} + \left\{ 1 + \frac{B^2 U}{(B^2+A^2)^{3/2}} \right\} S \frac{dA}{dX} + \left\{ 1 + \frac{B U}{(B^2+A^2)^{3/2}} \right\} A \frac{dS}{dX} = 0 \quad (10)$$

$$\left( \tan^2 \frac{A}{B} + \frac{BA}{B^2+A^2} \right) S B \frac{dU}{dX} + \left( \tan^2 \frac{A}{B} + \frac{BA(A^2-B^2)}{(B^2+A^2)^2} \right) S U \frac{dB}{dX} + 2 \left\{ 1 + \frac{B^2 U}{(B^2+A^2)^{3/2}} \right\} S \frac{dA}{dX} + \left( 1 + \frac{B^2 U}{B^2+A^2} \right) A \frac{dS}{dX} = 2\sqrt{2} \frac{B^2 U S}{(B^2+A^2)^{3/2}} \quad (11)$$

(10)は積分して差気量と与える式  $Q = \sqrt{2} AS \left\{ 1 + BU / (B^2+A^2)^{3/2} \right\}$  (12) となる。以上の式を用いて微分計算を行なうわけであるが、散気装置の有無幅 $\epsilon$ と $x=0$ で $U=0$ の点の特異点である。

$$U = U_0 x^{k_1} + \dots : B = B_0 + B_1 x^{k_2} + \dots : A = A_0 + A_1 x^{k_3} + \dots : S = S_0 + S_1 x^{k_4} + \dots \quad (13)$$

(13)を(11)に代入して整理すれば次の関係式を得る。

$$U_1 = 1.0036448 (Q/A_0)^{1/2} : B_0 = 0.7920998 A_0 : B_1 = -0.3116313 (QA_0)^{1/2}$$

$$A_1 = -0.4799582 (A_0 Q)^{1/2} : S_0 = 0.5641895 (Q/A_0) : S_1 = -0.080804 (Q/A_0)^{1/2} \quad (14)$$

但つ2任意の  $A_0, Q$  に対して数値計算を行うことが出来る。

### 3. 考察

図2~5に  $Q=1, 10$  の流速, 流速幅, 気泡密度幅, 気泡密度分布について示す。図6・9は散気板幅による違いを示したものである。流速は浮力の増大により加速される。初期の加速は主に散気板幅の影響であり、その後加速は流速変化が主であると考えられる。噴流幅は流速の加速に伴い一時減少するが、再びその後増大する。気泡分布幅は噴流幅と類似な現象となるが、初期に噴流幅より大きいが途中でその大きさが逆となる。気泡密度は始めに速より始まり上昇とともに減少する。

