

II-247

気泡噴流の特性量に関する基礎的検討

（財）電力中央研究所 正員 松梨史郎

（財）電力中央研究所 正員 宮永洋一

1. まえがき

気泡噴流に関与する特性量には、気泡径、気泡上昇速度、連行流量等が挙げられ、これらは空気注入孔形状、注入水深、注入空気量に支配されている。

本論文は、これらの特性量を予測するための理論的な考案を行うとともに、前報¹⁾に引き続いて行った室内実験によって検証したものである。

2. 気泡径・気泡上昇速度

噴流内の気泡は群となって上昇するが、本論文では単一の気泡が上昇する場合の知見を整理し、実験値をどの程度説明できるかを確認した。

気泡形状を球形とみなし、空気注入孔からの発生時における気泡径が空気注入孔の表面での表面張力と浮力のつりあいから決まり、その後状態方程式によって支配されながら水面まで上昇するものとする、気泡径は

$$d = \left(\frac{Patm / \rho g + H_2}{Patm / \rho g + H_2 - z} \right)^{\frac{1}{3}} d_0, \quad d_0 = \left\{ \frac{6 \delta \sigma_L}{(\rho - \rho_a)g} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

で算出される。ただし、 $Patm$:大気圧、 ρ 、 ρ_a :それぞれ水、空気の密度、 H_2 :空気注入水深、 δ :空気注入孔径、 σ_L :表面張力、 d :気泡径、 d_0 :気泡発生時における気泡径である。

また、気泡が空気注入孔から発生してすぐに終端速度に達するものとする、気泡上昇速度は

$$W_s = \left\{ \frac{4}{3} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho} \right) \frac{gd}{C_D} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

で算出される。ただし、 W_s :気泡上昇速度、 C_D :抵抗係数で、 C_D :は只木ら²⁾の経験式を与える。

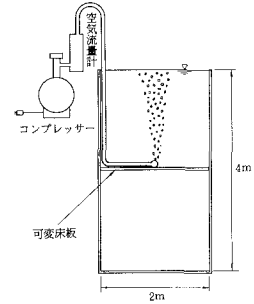


図1 実験装置

表1 実験条件（気泡径・気泡上昇速度）

空気注入孔 (cm)	全水深 (cm)	注入空気量 (ℓ/min)
多孔0.03	80	0.01~1.0
多孔0.005	80	0.01~1.0
多孔0.01	40, 80, 140, 220, 300	0.1~2.0
単孔0.5	40, 80, 140, 220, 300	0.1~2.0

表2 実験条件（非成層での流速測定）

空気注入孔 (cm)	全水深 (cm)	注入空気量 (ℓ/min)
多孔0.01	80, 220	0.4~2.0
単孔0.5	80, 220	0.1~2.0

以上、式(1)、(2)は単一気泡についての算定式であるが、これらの式によって、群となって上昇する気泡の気泡径および気泡上昇速度がどの程度推定できるか、室内実験によって検討した。実験には図1のような、2m×2m×4mの水槽を用い、表1に示すような空気注入条件（空気注入孔、全水深、注入空気量）で行った。測定は気泡径、気泡上昇速度ともに写真撮影によって行っている。

図2に水平方向に平均した気泡径の鉛直方向変化を示す。理論値と実験値を比較すると単孔の注入孔の場合には実験値の方がやや大きくなっているが、単孔、多孔両者とも単一気泡の理論値でほぼ近似し得ることが

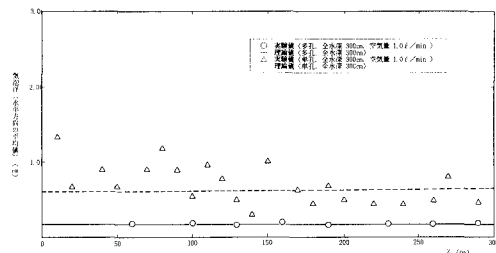


図2 気泡径の鉛直方向変化

わかる。

図3に水平方向に平均した気泡上昇速度の鉛直方向変化を示す。気泡径と同様、単孔、多孔両者とも単一気泡の理論値でほぼ近似し得ることがわかる。また実験結果は他の注入空気量、全水深についても同様の傾向となった。

図4に実験結果を気泡Re数と抵抗係数について整理して示す。本実験結果は $Re=200\sim3000$ に属し、実線の経験式によってほぼ近似し得ることがわかる。

3. 気泡噴流の拡がり幅と連行流量

次に気泡噴流内の鉛直流速をプロペラ流速計によって測定し、気泡噴流によって連行される流量を算定した。

図5に流速分布から得られる半値半幅 $b_{0.5}$ と気泡の拡がりの半値幅 $\lambda b_{0.5}$ の鉛直方向変化を示す。両者とも鉛直方向に増加し、 $\lambda b_{0.5}$ は $b_{0.5}$ に比べてわずかに大きくなっている。

図6に $b_{0.5}$ と噴流の中心流速 W_c で無次元化した流速の水平分布を示す。流速分布はGauss分布形で相似形の保たれているのがわかる。また次式³⁾によって得られる連行効率(単位注入空気量あたりの連行流量)

$$\frac{Q_{ae2}}{Q_{atm}} = \frac{f_q}{f_w f_a} \frac{1}{F_1} \frac{1}{F_1} \equiv \frac{1}{A_1} \frac{\rho - \rho_a}{\rho} g \int_0^z \frac{P_{atm} / (W_a Q_{atm})}{P_{atm} + \rho g (H_2 - z)} dz \quad (3)$$

は、図7に示されるように、分布形より決まる係数を介して、流速分布より得られる実験値を精度よく模擬できることがわかった。ただし式(3)において、 Q_{ae2} ：気泡噴流による連行流量、 Q_{atm} ：注入空気量、 f_q, f_w, f_a ：分布形より決まる係数、 A_1 ：噴流断面積である。

参考文献

- 1) 松梨・宮永：第42回年講、2) 只木・前田：化学工学No.25, 4号、3) 松梨・宮永：第31回水講、4) Kobus: Proc. 11th Conference on Coastal Engineering

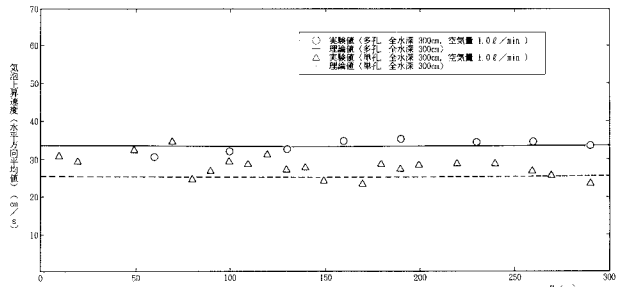


図3 気泡上昇速度の鉛直方向変化

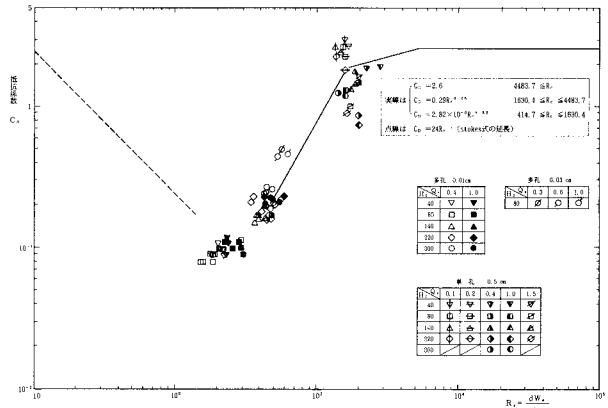


図4 気泡Re数と抵抗係数の関係

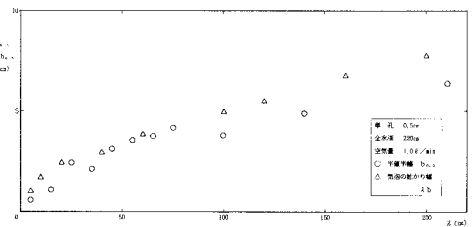


図5 気泡噴流幅の鉛直方向変化

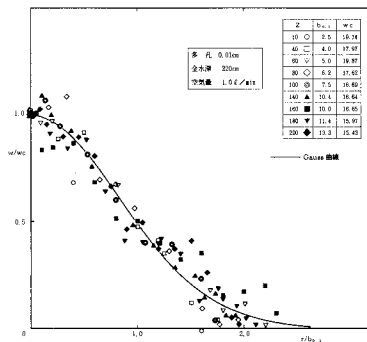


図6 鉛直流速の水平分布

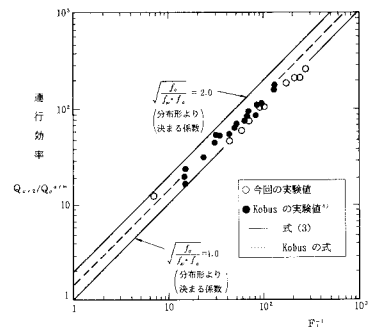


図7 連行効率の理論値と実験値の比較