

水中混入気泡の流下に伴う挙動に関する数値解析（その2）

関西電力 総合技術研究所 正員 原田俊之、正員 永見光央、阿部守
(株)ニュージェック 正員○増田覚、大本雄二

1. はじめに：近年、汽力発電所の放水路系において、泡の発生、流出のない水路設計をする配慮がなされているが、発生した泡の挙動に関しては未知な部分が多い。そこで、本研究では、前年に引き続き、水中に混入した泡の流下に伴う挙動について数値シミュレーションを行った。

2. 基礎方程式：水中に混入した気泡は流下とともに浮上し、やがて水表面から逸脱する。この現象を単純化して、以下に示す2次元定常拡散方程式で表せるものとする。（図-1 参照）

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + w_0 \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (1)$$

境界条件

$$C = f(y) \quad [x = 0]$$

$$\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} - w_0 C = 0 \quad [y = 0] \quad (2)$$

$$\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} - (1-A) w_0 C = 0 \quad [y = h]$$

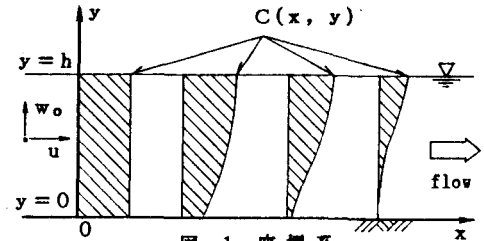


図-1 座標系

ここに、 $C=C(x, y)$ ：混入気泡濃度、 u ：流下方向（ x 方向）の流速、 w_0 ：気泡の浮上速度（一定）

ε_y ：鉛直方向（ y 方向）の乱流拡散係数、 A ：水表面から気泡の抜ける確率（完全に抜ける場合は $A=1$ ）

3. 数値解析手法：基礎方程式(1)を境界条件(2)のもとに差分法で解く¹⁾。具体的には(1)を下に示す移流項(3)と拡散項(4)に分解し、split-operator-method により(3)を解いた後に(4)を解けばよい。

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + w_0 \frac{\partial C}{\partial y} = 0 \quad [\text{移流項}] \quad (3)$$

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad [\text{拡散項}] \quad (4)$$

4. 前年度の概要：検討内容は a) 気泡浮上速度、b) 乱流拡散係数、c) 水表面の気泡の逸脱する確率、d) 初期気泡濃度分布の各パラメータが気泡濃度に及ぼす影響についての数値シミュレーションである。その結果、断面平均濃度に対してはa)が、鉛直濃度分布形に対してはb)が支配的なパラメータであることが解った²⁾。

5. 今年度の検討内容：前年度は 7) 気泡の粒径、1) 流速分布、7) 乱流拡散係数 をいずれも一様分布で検討したが、実際の気泡には様々な粒径のものが存在し、流速、乱流拡散係数も一様分布ではない。そこで今年度は 7)、1)、7) に図-2、3³⁾、4³⁾ のような分布形を仮定して、移流拡散による水中気泡濃度の変化、差異がでるかを計算してみた。なお、7) については各個輸送の考え方で、1つの粒径に対して1つの浮上速度が対応するものとし 粒径の分布=浮上速度の分布 として評価している。

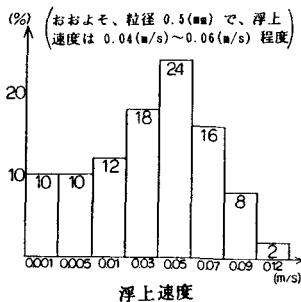


図-2 浮上速度分布

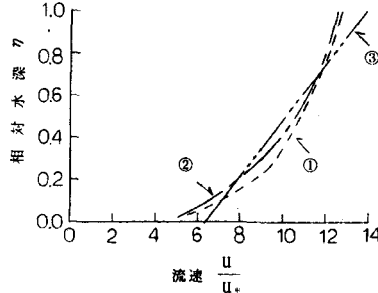


図-3 流速分布

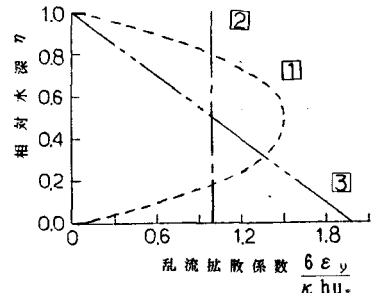


図-4 乱流拡散係数の分布

6. 結果: 7); 図-5より、気泡が混合粒径を有するとその平均浮上速度に等しい一様粒径のものより濃度が高い。また、流下距離が長くなると、混合粒径に対する平均浮上速度の半分(=0.02 (m/s))とした一様粒径の場合よりも高濃度である。これは浮上速度の遅い(粒径の小さい)気泡が残留するためと考えられる。

1); 図-6より、3種類のどの分布でも、断面平均濃度、鉛直濃度いずれにおいても一様分布とほとんど差はないが、一様分布の方がやや大きめの濃度を示す。

り); 図-7より、流下距離が短いときは鉛直濃度分布で乱流拡散係数の分布の特徴がでるが流下距離が長くなるとその差も小さくなり、断面平均濃度をみてもあまり差はない。また流速分布を変えた場合と同様に一様分布の方がやや大きめの値となる。

以上より、流速分布、乱流拡散係数の分布が気泡濃度に与える影響は小さいが、粒径分布が気泡濃度に与える影響は大きいといえる。

7. おわりに: 実験データとの対比を試みたところある程度再現できた。今後は

更に多くの実験データをもとに現地への適用性を高めていく予定である。なお本研究を実施するにあたり、(株)ニュージェットの陳活雄、戸田圭一、(株)日本工業試験所の山口清志、内西博の諸氏に御助言ならびに御協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

8. 参考文献: 1) Jobson & Sayre, 'Predicting Concentration Profiles in Open Channels', ASCE, Vol. 96, No. HY10, Oct., 1970. 2) 原田ら, 「水中混入気泡の流下に伴う挙動に関する数値解析」, 土木学会関西支部年講, 1991. 3) Jobson & Sayre, 'Vertical Transfer in Open Channel Flow', ASCE, Vol. 96, No. HY3, 1970.

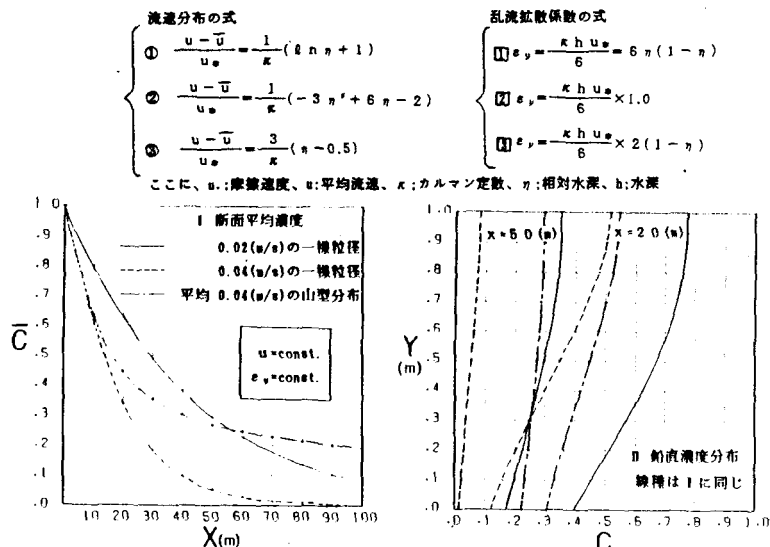


図-5 粒径分布による気泡濃度の差異

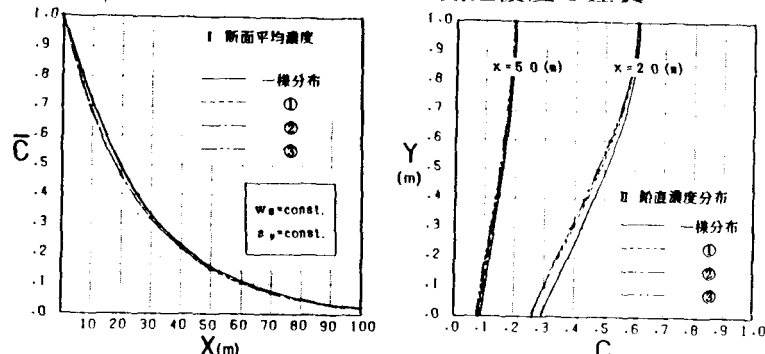


図-6 流速分布による気泡濃度の差異

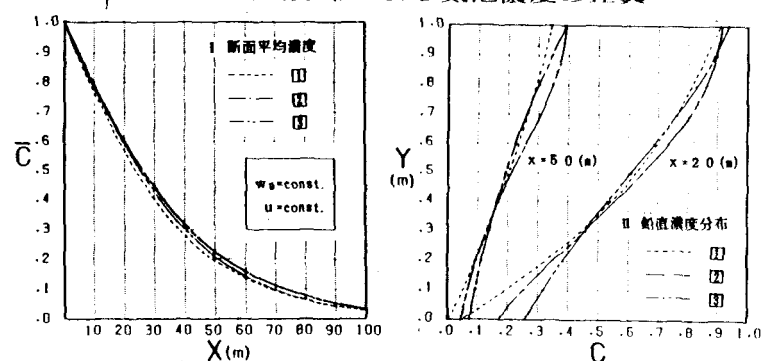


図-7 乱流拡散係数の分布による気泡濃度の差異