

## (Ⅱ - 5) 鉛直壁に沿う Bubble Plume の基本特性について

宇都宮大学工学部 正員 池田裕一  
宇都宮大学工学部 正員 須賀亮三

### 1. はじめに

ダム湖の富栄養化対策として Bubble Plume を考える場合、従来の運用例や研究を見ると、水域の中央で Bubble Plume を発生させているものがほとんどである<sup>1)</sup>。しかし、何らかの構造物 (例えばダムの堤体) の近辺あるいは構造物そのものに発生器を取り付けてやれば、設置・管理がしやすいシステムが構築できるのではないだろうか。そこで本研究では、構造物近傍において発生する Bubble Plume の基本特性を把握するために、鉛直壁に沿って上昇する 2 次元 Bubble Plume の実験を行い、その流速分布や連行係数・摩擦係数などを調べることにした。

### 2. 実験装置および方法

実験は、流れの 2 次元性を持たせるために、幅 1.5m・奥行 50cm の水槽の前面 10cm を仕切って行った (図 1)。気泡発生器は水槽の角に設置し、そこから放出された気泡が側面に沿って上昇するようにした。単位幅空気量  $Q_0$  は、目盛りをいれた容器で Bubble Plume を覆い、一定時間にその容器に溜まる空気の体積から求めた。流速測定には電磁流速計を用い、気泡発生器より 5cm 毎の高さの流速分布を求めた。実験条件は表 1 に示す通りである。

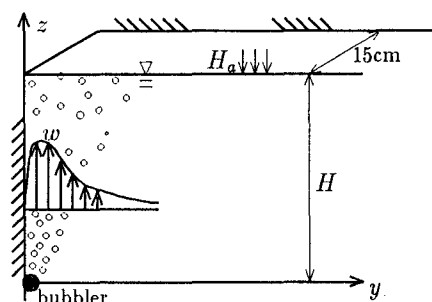


図 1 実験装置と記号の定義

### 3. 実験結果および考察

図 2 は、鉛直壁からの水平距離  $y$  による上昇流速成分  $w$  の変化を示したものである。上昇流速は当然ながら鉛直壁面でゼロで、そこから水平方向に離れるに従い急激に増加して最大値をとり、そこからは緩やかに低減して自由流の様相を呈する結果となった。この図では各水平断面での測定結果をそれぞれ、その断面内の最大流速  $w_m$  と、自由流側で  $w = w_m/2$  となる水平距離  $b$  を用いて無次元化してある。どの水平断面でのデータも、ある一つの曲線の周りにばらついており、流速分布の自己相似性がうかがわれる。図中の破線は、液体の 2 次元壁面噴流の無次元流速分布<sup>2)</sup>を示したもので、これと比べると、今回の 2 次元壁面 Bubble Plume は自由流側の分布が尖っており、液体の場合よりも流れが壁面近傍に集中しているのがわかる。流れの様子を見ると、気泡は壁面近傍に集中して (いわゆる気泡コア) 上昇しており、その浮力によって壁面近傍の水塊が大きな上昇流速を得るために、

表 1 実験条件

| Run  | $Q_0(\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm})$ | $H(\text{cm})$ |
|------|---------------------------------------|----------------|
| WH-1 | 2.60                                  | 65             |
| WH-2 | 0.68                                  | 65             |
| WH-3 | 1.56                                  | 65             |

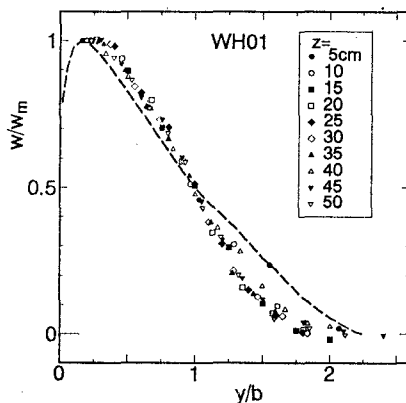


図 2 流速分布の相似性

こうした分布形をとるものといえる。

続いて図3,4に、単位幅あたりの流量 $Q$ 、運動量フラックス $F$ の鉛直方向変化を示す。これは流速の測定結果を

$$Q = \int_0^\infty w \, dy, \quad F = \int_0^\infty w^2 \, dy \dots\dots\dots (1)$$

という定義にしたがって積分したものである。図3を見ると、 $Q$ は $z$ の0.9~1.1乗に比例しているのがわかる。これは $Q$ の支配要因を考えれば、 $w \sim (Q_0 g)^{1/3}$ 、 $b \sim z$ であることからおおそ説明できる。一方図4では、 $F$ は $z$ のおよそ1.4乗に比例しており、これは $Q$ と同じ要因だけでは説明がつかず、ここに壁面摩擦の影響が現れているのだといえる。

次に連行・摩擦特性を検討してみる。先に流速分布の相似性を確認しているので、 $W \equiv F/Q$ を各断面での代表流速とすることができる。この代表流速を用いて連行量および摩擦応力を表すことにすると、体積および運動量保存則はそれぞれ

$$\frac{dQ}{dz} = \alpha W \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{dF}{dz} = \sigma_a \frac{Q_0 g}{W + \sigma_a u_s H_a + H - z} - C_f W^2 \dots (3)$$

となる。ここに $\alpha$ :連行係数、 $\sigma_a$ :浮力補正係数、 $C_f$ :摩擦係数、 $u_s$ :気泡のスリップ速度である。そして、図3,4に示した $Q, F$ と $z$ の関係が、式(2)と(3)をできるだけ満たすように、 $\alpha, \sigma_a, C_f$ を求めたところ、図5.6.7のようになった。横軸の $S_H \equiv Q_0 g / u_s^3$ は、気泡による浮力の大きさを示す無次元パラメーターである。 $\alpha$ はおおよそ0.1で、これは液体 Plume<sup>3)</sup>と同程度の値である。 $\sigma_a$ は今回の実験範囲で2倍強の変化を見せている。摩擦係数については、Run1と3では液体噴流の場合<sup>2)</sup>と同オーダーであるが、Run2には $S_H$ の影響としても他とは大きく値が離れている。いずれにしても、 $\alpha, \sigma_a, C_f$ については、今後さまざまな条件下で実験・観測を行い、その傾向をさらに検討していく必要があろう。

謝辞：本研究を行うにあたり、河川環境管理財団の河川整備基金研究助成（研究代表者 池田裕一）の援助を受けた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 例えば、松梨・宮永：電力中央研究所報告，U88078，1989。
- 2) Rajaratnam, N.: Turbulent Jets, Elsevier, 1976。
- 3) Rouse et. al : Tellus, vol.4, pp.201-210, 1952。

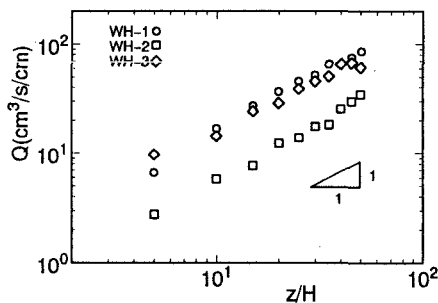


図3 上昇流量 $Q$ の鉛直方向変化

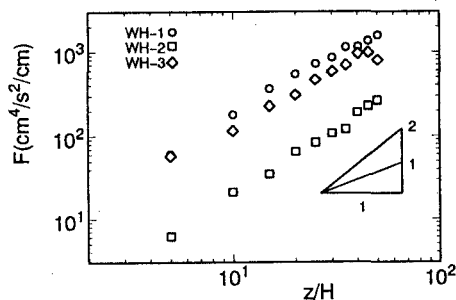


図4 運動量フラックス $F$ の鉛直方向変化

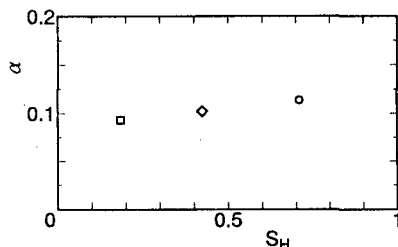


図5 連行係数

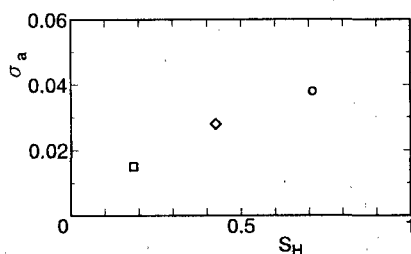


図6 浮力補正係数

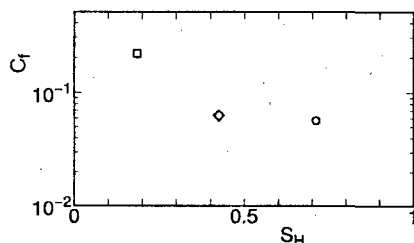


図7 摩擦係数