

宇都宮大学 正 員 池田 裕一
 宇都宮大学 学生員 ○臼井 恒夫
 宇都宮大学 正 員 須賀 堯三

1. はじめに

近年、富栄養化現象が閉鎖性水域での重要な環境問題となっている。富栄養化現象の発生要因としては、水域に形成される温度成層により水域の上層と下層との混合が抑制されることがあげられる。気泡噴流はこの温度成層を破壊し、かつ貧酸素状態を解消するために有効な対策の一つとして考えられている。しかし、空気を水域の深い所まで送り込むには多大なエネルギーが必要となってしまうので、気泡だけでなく上層の低密度水を同時に放出させれば混合の促進には有効であろうと思われる。

本研究は、密度成層を破壊する際に、気泡だけでなく低密度水を同時に放出する場合の混合促進効果を実験的に検討した。

2. 実験装置及び方法

実験には、図1に示すような断面 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 深さ 1 m の水槽を使用し塩水で2層状態を形成した。水槽底面の中央には気泡発生器と淡水噴出口を設置し、安定した気泡流量が得られるまであらかじめ筒をかぶせて気泡による流動を抑えておくようにした。そして筒を移動して密度成層を混合させた後、再び筒をかぶせて混合を停止し、流れが十分静穏になってから電気伝導度計を用いて鉛直方向の密度分布の測定をした。

実験条件は表1に示す通りである。

表1. 実験条件

C A S E	気泡流量 (cc/sec)	淡水流量 (cc/sec)	密度差 (g/cc)	h_u (cm)	h_l (cm)
1	2.303	0	0.01173	35	32.8
B 1	6.429	140.741	0.00573	29.8	24.7
B 2	5.008	109.141	0.01474	32.8	20.6
B 3	4.065	43.925	0.00887	30.8	26.7
B 4	4.209	13.132	0.00988	30.8	27.4
W 1	8.521	54.257	0.01041	31.3	26.8
W 2	5.386	52.747	0.01022	31	26.8
W 3	2.244	54.777	0.00918	30.8	24.2

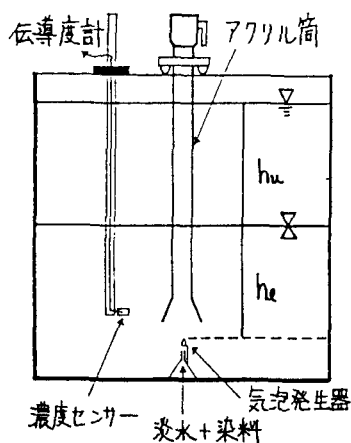


図1. 実験装置

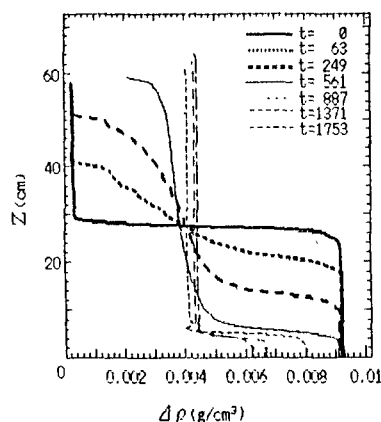


図2. 密度成層の時間変化 (CASE B3)

3. 実験結果及び考察

図2は、密度成層の時間変化の一例を示したものである。これを見ると時間の経過に伴い、上層と下層の間に中間層が発達していくのがわかる。そして、この中間層と下層あるいは上層との界面の移動速度に水槽断面積を乗ずることにより、それぞれ下層内の上昇流量 Q_u と上層から中間層への連行流量 Q_{ou} を求めることが出来る。

図3は、こうして得られた上層からの連行量 Q_{ou} を密度フルード数で整理したものである。ただし、 F_d は上層と中間層との界面での噴流の半径 b 、相対重力 g' ($=g \Delta\rho/\rho_0$)、上昇速度 w を用いて、

$$F_d = w / (g' b)^{1/2} \quad \dots(1)$$

と定義され、また図中の実線は浅枝¹⁾らが提案する実験式

$$Q_{ou}/Q_{wu} = 0.18 F_d^3 / (1 + 0.2 F_d^3) \quad \dots(2)$$

である。これより本研究が浅枝らと同じ傾向にあり、淡水混入によってフルード数が変化するものの Q_{ou}/Q_{wu} と F_d の関係自体は変化がないことがわかる。

図4は、下層内での連行流量の高さ変化を示したものである。ここで、連行流量 Q_{ou} は上昇流量 Q_u と淡水流量の差であり、気泡流量 Q_B で無次元化し噴出点からの高さ Z は気泡による混合運動の長さスケール

$$L_m = (Q_B^2 / g)^{1/6} \quad \dots(3)$$

を用いて無次元化してある。図の実線は高さ Z での気泡による上昇流量 Q_w の実験式、

$$Q_w = 0.302 Q_B (Z / L_m)^{4/3} \quad \dots(4)$$

である。グラフより気泡流量に対する淡水流量の割合が同じであれば高さ Z での連行流量が等しいことがわかる。

図5は、今回の実験での上昇流量 Q_w OBSと、(4)式と Morton²⁾の(気泡を含まない)密度噴流の解析結果との和から計算した Q_w CALとを比較したものである。これを見ると計算値よりも実験値の方が大きくなっており、大まかな傾向はよく説明しているものの単なる重ね合わせではなく、気泡と低密度水の相互作用についての詳細な検討が要請される。

〈参考文献〉

- 1) 浅枝, 他(1991)不連続な密度界面をもつ成層中における Bubble Plume の挙動と成層の時間推移; 土木学会論文集第438号
- 2) Morton, B.R.: Forced plumes, J. Fluid Mech., Vol. 5, 1959

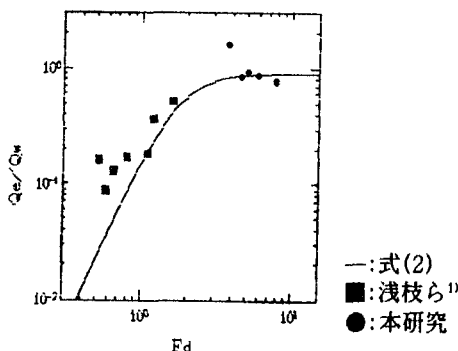


図3. $F_d \sim Q_{ou}/Q_{wu}$

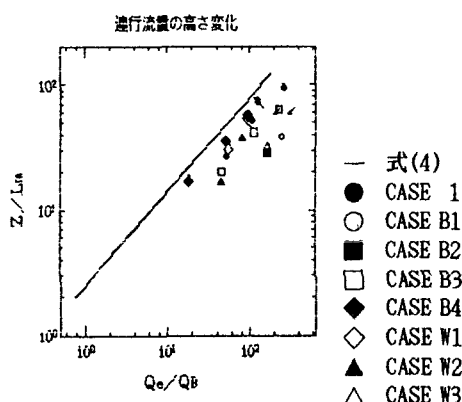


図4. 連行流量の高さ変化

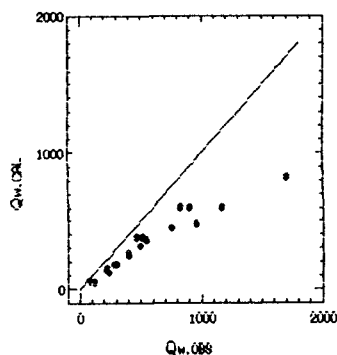


図5. Q_w OBS $\sim$ Q_w CAL