

九州大学工学部 正 員 栗谷陽一

同 大学院 学生員 田中終彦

同 学生員 北野義則

1. まえがき 河口でのノリ養殖場において海水の塩分濃度が $\frac{1}{2}$ 以上に薄められるとノリの成育に支障をきたし淡水に長時間浸っていると枯死する。特にノリ網は海水面近くにあり河川水が海水面を滑って来ることから害が大きいのである。これを防ぐために養殖場の上流において淡水と海水を混合することが要求されている。この混合の一方法として適当な長さの散気管を流れと平行に適当な間隔をおいて河口を横断して設置し、これにより得られた一連の気泡による噴流の間を淡水が塩水上を滑って流下する間に噴流の攪拌作用によって混合させる方法が考えられる。この研究はこの混合方法に実験的な検討を加えたものである。自由噴流あるいは気泡噴流に関する研究の報告はかなり見られるが、二層流中の噴流あるいはその混合についての研究はあまり見られないようである。混合の速さは送気量と密接な関係があるであろうことは容易に考えられることであるが、混合現象を流体力学的に支配するものが、淡水の厚さ、淡塩水の密度差、噴流中の気泡密度などささるごとに考えられ複雑である。この論文で行った実験は一本の散気管の噴流が混合を受け持つ範囲がその両隣の噴流までのそれぞれ $\frac{1}{2}$ の距離までと考え、流れの影響を考慮せず静水の場合について実験水槽の中央に噴流をつくり、淡水の厚さと送気量を変えて混合現象を調べた。

2. 実験装置と実験方法 実験に使用した水槽の寸法は高さ1m、たて2m、横40cmで散気装置は長さ40cmの塩化ビニルパイプに直径約2cmの市販の熱帯魚用散気ストーンを等間隔に13コならべて水槽中央に長手方向に直角に取りつけた。散気板上の水深は80cmに保ち淡水の厚さを10, 20, 40cmと変え、塩水は比重1.02のものでウターブルーで着色した。それぞれの淡水厚に対して送気量を変え槽内の塩分濃度分布の時間変化を測定した。塩分濃度の測定は塩分濃度の変化につれて水の電導度が変化することを利用して、あらかじめ検定した7コの電極を

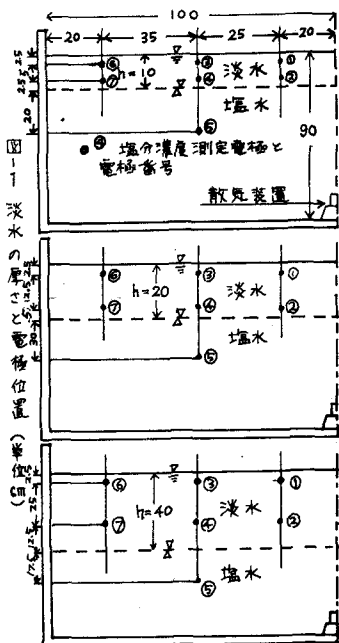
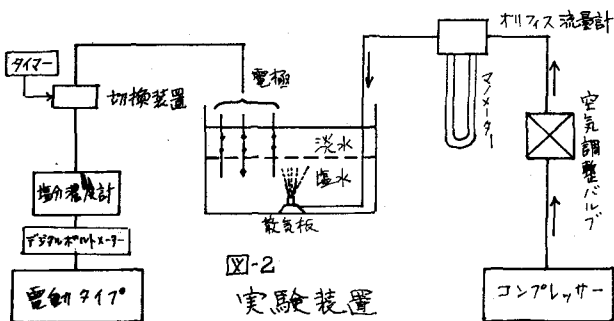
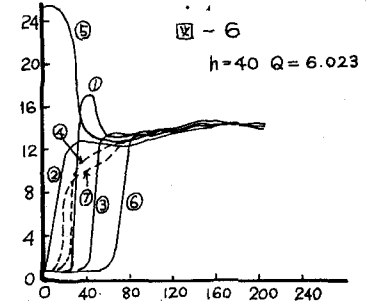
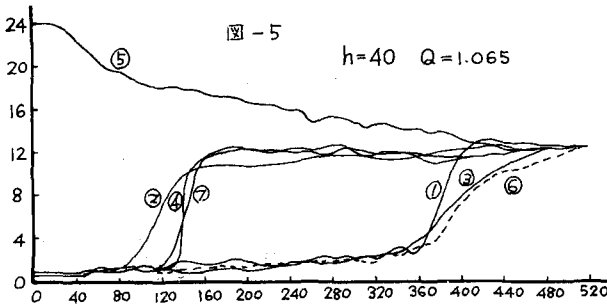
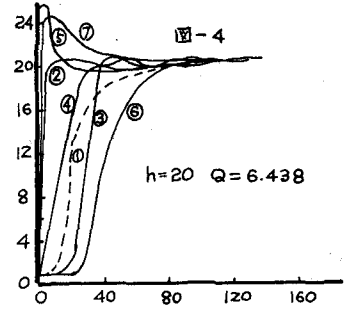
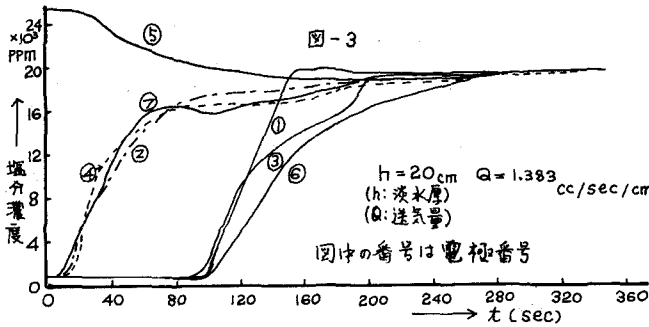


図-1に示めす位置に取りつけて測定した。測定の時間間隔は5秒で行い測定値は自動的に電動タイプに打ち出した。実験装置の概略を図-2に示めす。

3. 実験結果と考察 7コの測定点の塩分濃度の時間変化の数例を図-3, 4, 5, 6に示めす。



上図より送気量 Q が小さい図-3, 5において塩水面に近い電極②③⑦がまずほぼ同時に塩分濃度の上昇を示めし、これにおくれて水表面に近い①③④がこれもほぼ同時に上昇している。このことは塩水面がほぼ水平を保って上昇していることを示めしている。又送気量の大きい図-4, 6においては②④⑦と①③④群の上昇時刻がそれぞれ離れてきて互に入り組み①②, ③④, ⑥⑦の垂直関係にあるものの上昇時刻が接近して来ている。以上のことは観測において見られた現象、送気量が小さい時は噴流直上に淡塩界面の盛り上りが見られず槽全体にわたり水平を保ったままで界面が上昇し、送気量が大いときは界面が盛り上り塩水部分が淡水層を突きめけて水表面に達し界面が槽の両側へ傾斜をもって進んでいくのが見られたことと一致している。更に観測によれば噴流は淡水と塩水との密度差の故に界面において進行を妨げられ界面下の塩水域を著しく乱し、淡水中には乱れはほとんどみられなかった。このため淡水と塩水は界面において相互に溶け合うのではなく乱れの大きい塩水が淡水をその中に取り込む現象が見られ故に界面は常に明瞭なまま上昇して行った。

混合の速さを算定するにあたり界面がほぼ平行を保って上昇し、中央の測点③④で全体を代表できるとして③④の垂直距離を、混合した最終濃度の $\frac{1}{2}$ の濃度の界面中の点が③④を通過するに要した時間で除したものを界面の上昇速度とし、これに水槽の幅 2m を掛けたものを単位時間当りの淡塩水の混合量 Q_m とした。このようにして求めた Q_m と送気量 Q 、淡水厚 h との関係を図-7に示めす。

現象を支配する量の一つとして、気泡の浮力による塩水の見掛け密度の減少、塩水と淡水との密度差に対する比が考えられる。しかし気泡密度は水深が減るにつれて減少するため、便宜上淡水厚

の中間での値を用いることにした。

気泡密度 σ と送気量 Q の関係は先に発表した論文⁴の実験で測定した流速分布の資料を基にして次のようにして求められる。

図-8 に示めすように噴流中心から水平に y 軸をと、 $y=0$ の点からとった噴流の幅を B 、中心流速を U とし、流速分布 u に誤差分布を仮定すれば u は次の形におかれる。

$$u = U \exp(-y^2/B^2) \quad (1)$$

実測値は図-8に示めすプロットの如く求められていて、

(1)式において $y=B$ とおいたとき、すなわち $u=U/e$ となるところまでを噴流幅 B と定義する。

いま、噴流流速の平均の値を U_1 、このときに相当する幅を B_1 、平均気泡密度を σ_1 とし、噴流幅 B_1 と σ_1 に対する気泡分布の幅を等しいとすれば、気泡と水との相対速度 w を考慮して($w=\text{const}$)次のような関係が成り立つ。

$$B_1(U_1 + w)\sigma_1 = Q/2 \quad (2)$$

(2)式より平均気泡密度 σ_1 は次のように表わされる。

$$\sigma_1 = \frac{Q}{2B_1(U_1 + w)} \quad (3)$$

B_1 、 U_1 は噴流中での質量と運動量の保存則より求められる次の2つの式によって B と U の函数として求められる。すなわち

$$\int_0^\infty u dy = B_1 U_1, \quad \int_0^\infty u^2 dy = B_1 U_1^2$$

2式に(1)式を代入しそれぞれ積分すれば次の関係が求められる。

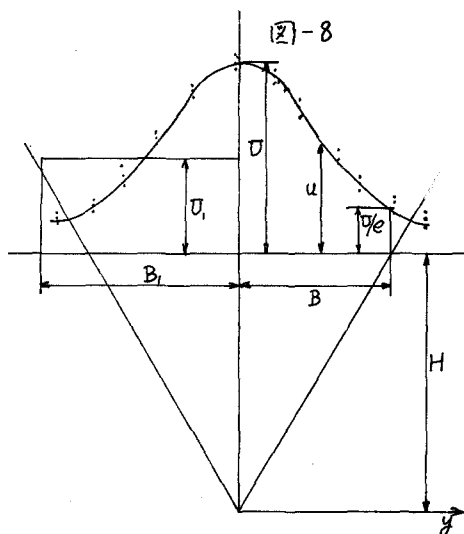
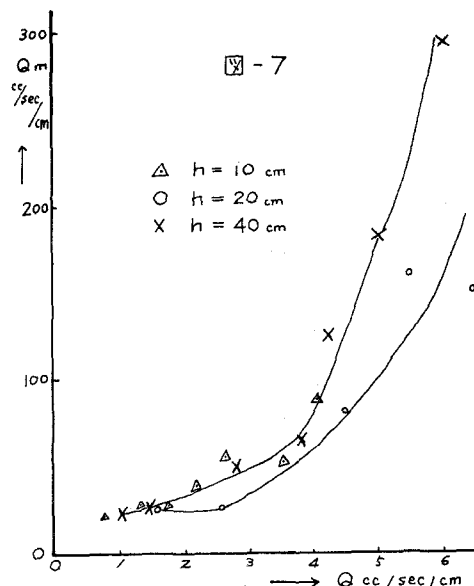
$$\frac{\sqrt{\pi}}{2} UB = B_1 U_1, \quad \frac{1}{2} \sqrt{\pi} U^2 B = B_1 U_1^2$$

上の2式を B_1 、 U_1 について解けば

$$U = U_1/2, \quad B_1 = \sqrt{\pi} B \quad (4)$$

の関係が求められ、実測値より U 、 B が求まれば(4)より U_1 、 B_1 が求まり(3)より平均気泡密度 σ_1 が求められる。以上のようにして求めた送気量 Q と散気板表面から淡水厚 h の $1/2$ のところまでの距離 H での平均気泡密度 σ の関係を図-9に示めす。図-9の Q を媒介として図-7の $Q-Q_m$ 図を $\sigma-Q_m$ の関係にプロットすると図-10のようにほぼ一本の曲線で代表でき Q_m を σ の函数とみれば実質上 h (あるいは H)によらなくなることがわかる。従ってこの結果を用いるためには σ と Q との関係を与える必要がある。

H のところで気泡の浮力と運動量の間に次のような関係が成り立つ。



$$U^2 B_1 = \int_0^H g \sigma_1 B_1 dH \quad (5)$$

噴流が直線的に広がり、気泡が保存されることを考慮すれば

$$B_1 = k H \quad (k = \text{const.})$$

$$\sigma_1 H = \text{const.}$$

とより結局(5)式は

$$U^2 = g \sigma_1 H \quad (6)$$

となる。(6)式の U_1 を(2)式に代入すれば

$$Q = 2B_1 \sigma_1 (\sqrt{g \sigma_1 H} + w) = 2k \sigma_1 H (\sqrt{g \sigma_1 H} + w) \quad (7)$$

となる。(7)式の k と w を図-9の曲線に乗るように決定すれば(7)式は

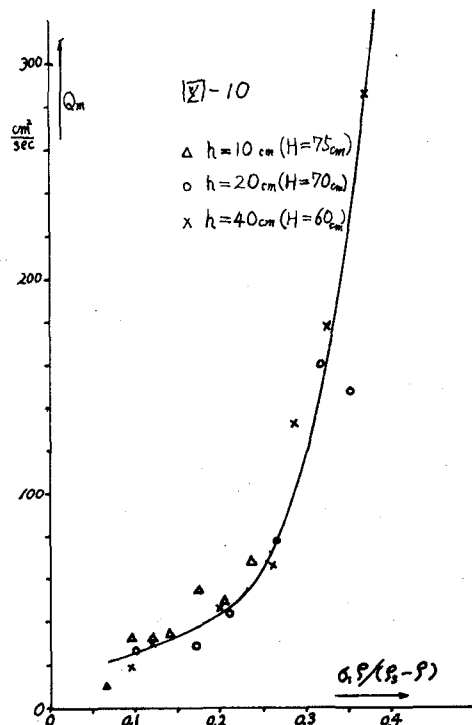
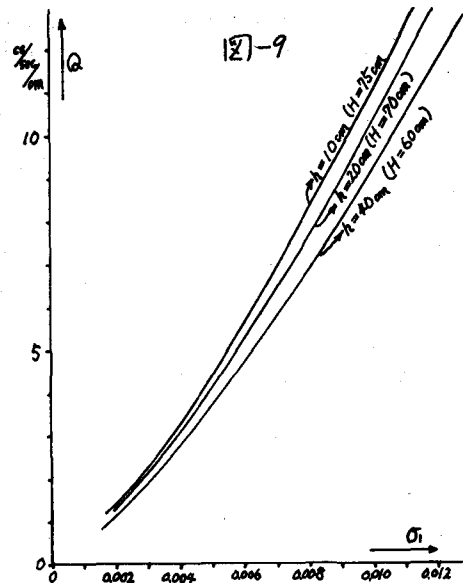
$$Q = 0.45 \sigma_1 H (\sqrt{g \sigma_1 H} + 9.53) \quad (8)$$

となる。

(8)式と図-10により必要な Q_m を与える Q が推定される。図-10によると $P_0/(P-P_2)$ の値(P :水の比重, P_2 :塩水の比重)が0.27を越えたあたりで Q_m が著しく増大しているのがわかり注目される。

ここで行った実験では淡水層は混合が完了するまで噴流域に留まっているのであるが、実際は上流から連続的な淡水の供給があり、ここに問題が残るようである。

しかし淡水層が噴流域を流下する間に混合が完了されるような混合量 Q_m に見合った淡水の量が流れて来ると考えれば不都合はつくと思われる。



参考文献

- 1) 昭和43年 第23回 年次学術講演会講演概要 工Ⅱ部門 「曝気槽における気泡噴流の性質」