

山口大学 工学部	正員	○ 浦 勝
山口大学 工学部	正員	松尾 信
山口大学 工学部	学生員	星 限 保夫

1 はじめに 鉛直方向に明瞭な密度境界面をもつ成層流の場合から水門により下層流体を流出させる実験を行い、上層流体が下層流体とともに流出するいわゆる2相流出となるときの限界条件を定めようとした。

上層流体の流出を検出するには染料による着色法¹⁾や、中間密度の粒子による方法などが考えられるが、ここでは水門下端に取り付けた白金線電気伝導度検出端子により比伝導度の変化を測定する方法を用いた。この実験では水門より流出する流体の混合密度を規定することばでさないが、少なくとも2相流出となるときの限界条件を与えることができると考える。

実験は10×50×480 cmの透明樹脂板製水路内に水門板を設置し、図-1に示すように水門上流側において上層に淡水(密度 ρ_1)、下層に食塩水(密度 ρ_2)を用いて成層流の場を形成し、水門を通る流量は循環管路中のバルブにより調整し、水門下端の比伝導度と共に記録した。

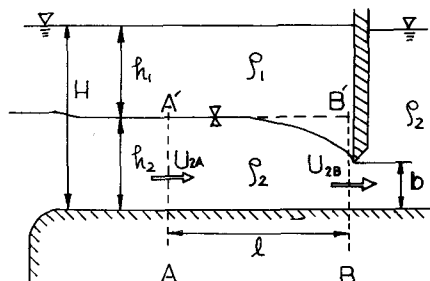


図-1

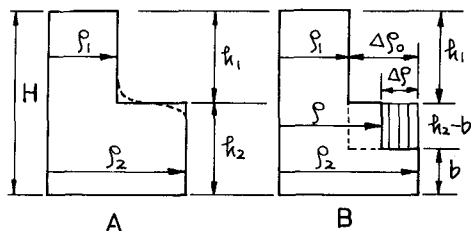


図-2

2 実験結果 水門上流側に形成された成層流の場は静止状態では密度の鉛直分布は図-2・Aの真線で示すような型であり、 $(\rho_1 + \rho_2)/2$ となる高さを密度境界面と定義すれば、密度境界面は水平である。流量調整弁のわずかな開きによつて下層流体が流動し始めると、密度境界面にほぼ一致して速度の急変する速度境界面が生ずる。これら2つの境界面は水門近傍においては一致せず、密度境界面と速度境界面によつてくさび形の部分が形成される。このとき水門下端の密度はわずかに減少するが上層流体の流出は認められず、くさび内部における混合が進行しているようである。さらに流量を増加してゆくときくさび内部の密度がしだいに一様化し、結果的に密度境界面が低下し速度境界面に近づいてゆく。このとき着色された上層流体が水門下端より流出するのが見られるが、検出端子の密度は上・下両流体の密度差($\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$)の30~50%程度の低下を示している。流量がさらに増加すると上層からの混入が深くなり検出端子は淡水に近い密度を示すようになる。流量がある値以上になると、上層流体が水門下層を層をなして流出するようになる。

これら実験結果を縦軸に密度境界面高 h_2 、横軸に単位幅流出流量 Q をそれぞれ無次元化した量 Q/F_0 、および F_0 にとり、上層流体の流出率に関連する量 M をバウ×ターとして整理したものが図-3($l = 50 \text{ cm}$)および図-4($l = 280 \text{ cm}$)である。

3 理論式

図-1 に示すように水門上流側に A A' B B' なる区画を考へ、これに運動量の法則を適用する。

このさいつぎのような仮定を設ける。²⁾
断面 A A' における密度分布は図-2・A に実線で示すような矩形分布が保持される。断面 B B' においては図-2・B に示すように h_1 より上および b_1 より下側ではそれぞれ一様密度 ρ_1 および ρ_2 に保たれ、 $(h_2 - b)$ の間では水門からの流出流量の増加にもなない一様密度で段階的に減少してゆき、 $m = \Delta \rho / \Delta \rho_0$ 、($m = 0 \sim 1.0$) とすればこの区間の密度は $\rho = \rho_2 - m \Delta \rho_0$ で表される。また上層流体は本質的に静止であるとし、下層流体の運動のみを考へる。運動量の法則より、

$$\alpha \rho_2 U_{2A}^2 h_2 B - \beta \rho_2 U_{2B}^2 b B + \frac{1}{2} m \Delta \rho_0 g (h_2^2 - b^2) B = \frac{1}{2} \rho_2 f_0 U_{2A}^2 l B \quad \dots (1)$$

ここに α, β はそれぞれ断面 A および B における運動量補正係数、 B は水路幅、 f_0 は断面 A A' および B B' 以外の検査面に働く抵抗力の総括抵抗係数とする。その他の記号は図-1 のように取る。

連続の式 $Q = U_{2A} h_2 = U_{2B} b$ を用いて式(1)を整理すれば次式が得られる。

$$F_b' = \sqrt{\frac{m}{2} \cdot \frac{\eta(\eta^2 - 1)}{\beta \eta - \alpha + f_0 \xi / 2 \eta}} \quad \dots (2)$$

$$\text{ここに } F_b' = \frac{Q}{\sqrt{(\Delta \rho / \rho_2) g b^3}}, \quad \eta = h_2 / b, \quad \xi = l / b.$$

式(2)に $\alpha = 1.03$, $\beta = 1.02$, f_0 には矩形管の抵抗係数 λ^3 を用いて近似的に次式

$$f_0 \xi / 2 \eta = \lambda \xi (1/\eta + 1/8) / 4$$

(ただし $\lambda = B/b$) を用いて計算した結果を図-3 および 4 に実線で示した。

4. おわりに 上層流体の 2 相流出の限界式は式(2)において $m = 1.0$ とおけば得られる。

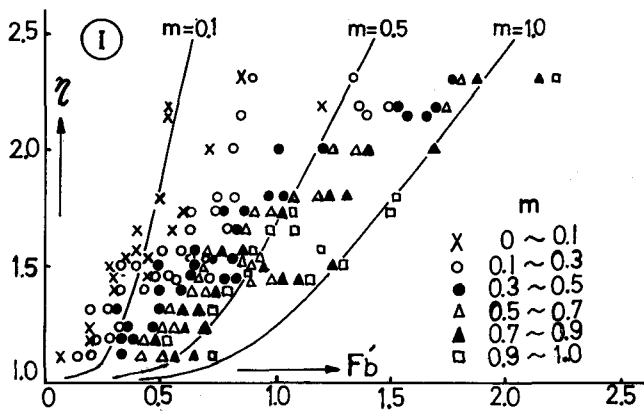


図 - 3

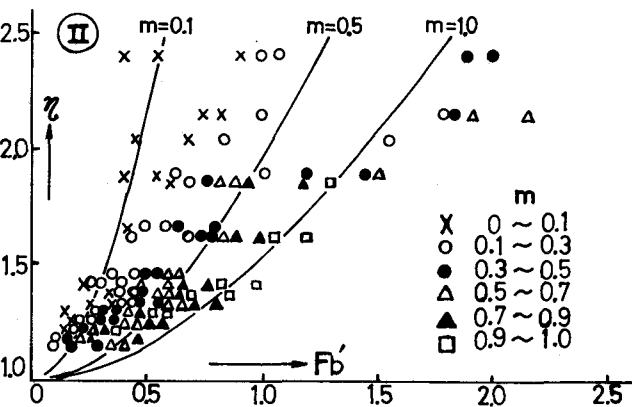


図 - 4

しかし $\eta = 2.0$ 以上では適合性が悪くなる。

この点については、流出流体の混合密度とあわせて今後検討をする予定である。また α, β および f_0 の項については流速分布および密度境界面形状の測定を行ない明らかにしたい。

最後に御指導いただいた九州大学橋東一郎教授、栗谷陽一助教授に、また実験に協力された本学卒業生塔岡和仁氏(五洋建設 KK)、土井努氏(KK 大杯組)に心からの謝意を表する。

参考文献

- 1) Handman et al: Submerged Sluice Control of Stratified Flow, Proc. A.S.C.E. HY2 April (1958)
- 2) 浦・松尾・星根: 成層流から水門による下層流体の運動的取排除について, 山口大学工学部報告, 第20巻 第1号 (1969) (補)
- 3) Schlichting: Boundary layer theory, McGraw-Hill (1968) p576