

成層流からの水門による下層流体の選択的取・排水に関する研究

浦 勝*・松尾 信*・星隈 保夫**

Selective Withdrawal of Lower Fluid Layer from Stratified Field through Sluice Gate

Masaru URA, Shin MATSUO and Yasuo HOSHIKUMA

Abstract

The field of stratified fluid, where the upper layer faces lower one with distinct density interface, exists in the upstream portion of the sluice gate.

In order to determine the critical condition of selective withdrawal of lower layer through the sluice gate, experiments and analytical considerations have been taken.

Connecting the electrical conductivity probe at the lip of the sluice gate, the density of the withdrawal fluid is measured.

In theoretical consideration the model of the density distribution profile at the gate section which changes corresponding to the process of flowing out is introduced, and the density of flowing out fluid is expressed by the parameter "m".

According to these assumptions, the critical condition of selective withdrawal of lower layer alone could be expressed by the equation (23) or (24).

Analytical solution with the model and assumptions must be examined in more detail.

1. 緒 言

自然界に存在する流体には温度差、浮遊物質濃度差、溶解物質濃度差などによって鉛直（深さ）方向に密度差を生ずることが多い。このような流体中の密度差が原因となり惹起され、影響される重力場の流体の運動は成層流とよばれている。この現象の身近な例として大気中の寒冷前線の動きや大洋における海流などがある。

土木工学に関する分野においては、河川・湖沼・海・貯水池などに温度・浮遊砂・塩分などにより生じた成層流体を積極的に利用しあるいは制御することが緊迫化した水資源の保全と効率的利用に重要な意義を生じつつある。この成層流の利用と制御の一方法として、成層流の場から希望する密度の流体のみを取り出すいわゆる選択取水という方法がある。これには冷却用水としての低温取水、工業用水としての淡水取水、農業用水としての温水取水、貯水池埋没防止としての堆積泥砂の放流、沈澱池からの汚泥排除など応用範囲

は広い。とくに近年工業都市近傍に水資源を求める方法として考えられている河口湖においては、下層に残留する塩分あるいは提体を浸透した塩分を含んだ水をすみやかにかつ効率的に排除する必要がある。

このような観点から、鉛直方向に明瞭な密度境界面をもつ成層流の場から水門（スルースゲート）により下層流体を流出させる実験を行ない、下層流体の選択的取水限界を決定しようとした。

なお成層流体の理論的解析は、流体の運動方程式中の密度が場所的に変化するため非常に困難となる。このためいくつかの仮定と流出過程に対応する密度分布の変化モデルを導入し理論式を展開した。

これらの仮定とモデルについてはなお実験と解析を継続中であるので、検討を加えて再び報告する予定である。

2. 実験装置および実験方法

* 土木工学教室

** 大学院工学研究科土木工学専攻

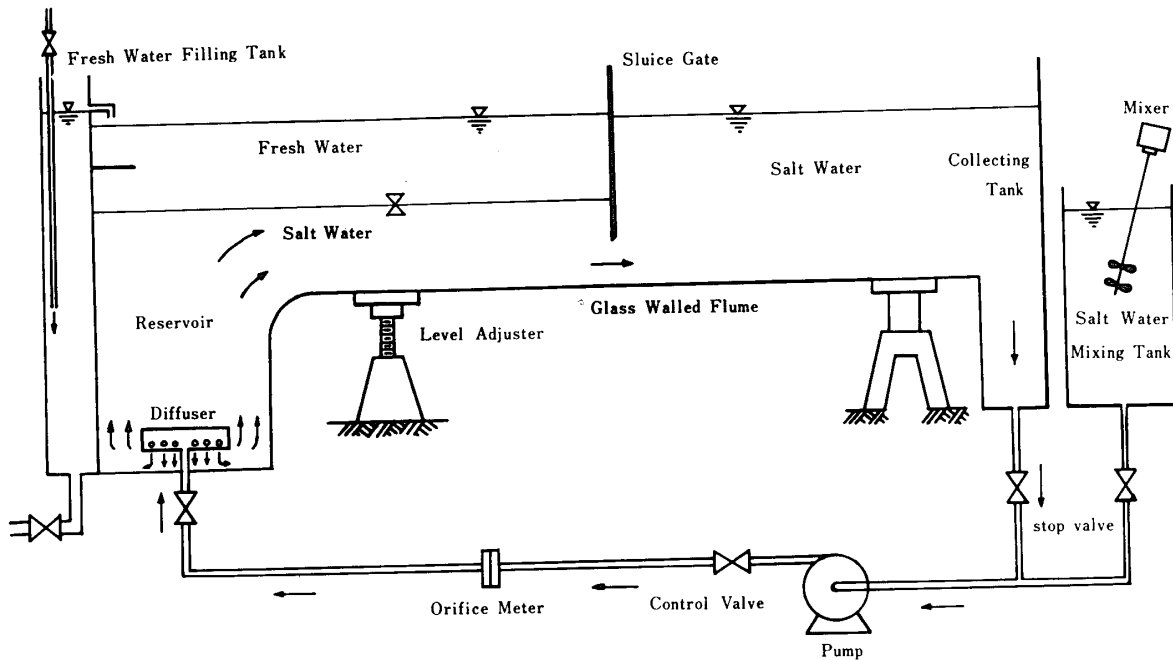


Fig.1 Diagram of experimental equipment

2・1 実験装置

成層流実験装置の概略をFig. 1に示す。

実験装置は淡水槽、整水槽、実験水路、水門板、集水槽、塩水混合槽、ポンプおよびこれらを連結する循環管路、バルブ、流量計よりなる。

実験水路は幅50cm、深さ50cm、長さ480cmのアクリル樹脂透明板製矩形水路で、流の模様が観測できるようにした。水路床は上流側のジャッキにより水平に支持されている。なお現象を2次元流れとするために水路内に仕切板を設け流出幅を10cmとした。

水路内に設置する水門は厚さ1.0cmの透明樹脂板を用い、45°の縁を持つ水門下端には流出する流体の密度を測定するため白金線の端子を取り付けた。この水門は水路内の任意の位置に、任意の開口高で設置することができる。

整水槽は50×100×100cmの塩化ビニール製であり、底部には管路より流入した流体が水路内に一様にしかも乱れずに流入するようにディフューザーと整流網を工夫した。

流量計として循環管路にオリフイスメーターを設置した。オリフイスメーターはJIS規格¹⁾により設計し塩水による腐食を防ぐ意味で砲金製とした。

2・2 測定機器

流量測定用として0.02kg/cm²および0.3kg/cm²の微差圧計、歪指示記録計を用い、密度測定用として電気伝導度計および標準検出端子、試作検出端子。

その他流況観測のため着色剤としてローダミンB、

追跡糸としてウォーターブルー、カラー写真を用いた。

2・3 実験方法

まず所要の成層流の場を水門より上流側にするために、つぎのような手順で実験準備を行なう。このとき、密度の小なる上層流体としては淡水(水道水)、密度のより大なる下層流体としては食塩水を用いる。

(1) 水路内の所定の位置($x=L_B$)に水門を開口高($z=b$)で設置する。

(2) 塩水混合槽において計画下層密度($\rho=\rho_2$)になるよう電気伝導度を測定しながら食塩を投入し攪拌調整する。

(3) 密度 ρ_2 の食塩水を水路内に所定の高さ($z=h_0$)までポンプで入れ、静置する。

(4) 上層流体として水道水($\rho=\rho_1$)を淡水槽より細管を通じて食塩水上に滴下させ、水路における総水液が計画高さ($z=H$)になるまで入れる。この両層間の密度境界面をできるだけ明瞭にするため、上層流体滴下には混合防止板を工夫し、また滴下流入時間を十分長く(3時間以上)とった。

以上のようにして密度成層流の場が形成された後、計測実験を開始する。

(5) バルブを循環系統に切り換える。このとき、密度の鉛直分布は考案試作した検出端子を用いた電気伝導度計により1cm間隔で測定した。これは電気伝導度によりCl⁻量を測定し、表²⁾よりCl⁻から密度を求めた。オリフイスメーターに接続した差圧計のバラン

スをとる。

(6) 流量調整弁を除々に開くと、下層流体は流動し、水門下を流下する。流量が増加してゆくと水門下端に取りつけた電気伝導度計の値が変化する。これを流量と同時に記録する。

(7) 密度の鉛直分布、境界面形状および流速分布は適宜観測する。流速分布はウォーターブルーの粒子を落下させ水路中に形成した線を時計と共に2枚の写真に撮影し解読した。

(8) 電気伝導度計の値が十分低下し、上層流体が完全に流出し、水門下で淡塩両層がそれぞれ層をなして流動するいわゆる二層流になるまで実験を行なった。

(9) 以上の実験を終えてバルブを除々に閉じ静置すれば、境界面がより高い成層流の場に変化する。

(10) これを次の実験ケースとして1回の注水につき3~4ケース行なった。

本実験においては水門位置を $L_{B1}=50\text{cm}$ (Series I)および $L_{B1}=230\text{cm}$ (Series II)とし、それぞれのSeriesにおいて水門開口高 $b=8.0\text{cm}$ 、給水深 $H=20, 30, 40\text{cm}$ とし、上・下層の密度差 $\Delta\rho_0=\rho_2-\rho_1$ を0.0025から0.030までの間でほぼ4段階にわけ密度

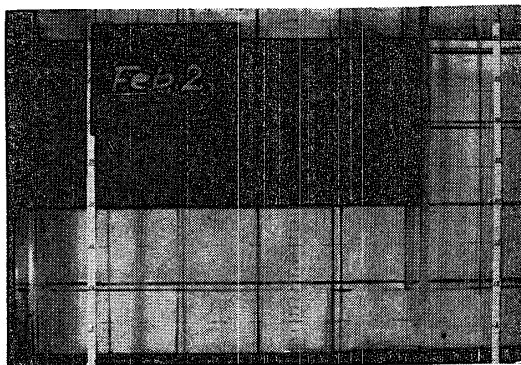


photo. 1

3.2 流出過程

流量調整バルブを開くと成層流の場は流動を始める。下層流体の流動は水門近傍を除く上流側の断面においては密度境界面にはほぼ一致して速度の急変する速度境界面(Velocity Interface)ができる。しかし水門近傍においてはこれらは一致せずこれら2つの境界面によってくさび形の部分が形成される。Harlemanら³⁾はこれを分離くさび(Separation wedge)とよんでいる。このくさび形の内部には速度境界面に生ずるせん断力によって緩かな循環流が起こる。この状態

境界面高 $h_2=9\sim 30\text{cm}$ について合計85ケース行なった。

3. 実験結果

3.1 成層流の場

上・下両層間の密度差は淡水および食塩水を用い、 $\Delta\rho_0=0.0025\sim 0.030$ とした。これは温度差 $18\sim 80^\circ\text{C}$ あるいは河川水と海水によって生ずる密度差に相当するものである。

水門より上流側に形成された成層流の場は流体が静止している場合 Photo. 1および Fig. 2に示すような状態である。Fig. 2には水門上流側20cmの断面で測定した密度の鉛直分布を示したが、 $z=20\text{cm}$ 近傍で密度勾配がいちぢるしく大きく、密度が急変していることがわかる。これを密度境界面(Density Interface)あるいは内部境界面(Interface)とよぶ。密度分布図と写真とを比較すると静止状態では着色境界面(Coloured Interface)と密度境界面とはよく一致している。この密度境界面は水平で重力的にはひじょうに安定でスケールの小さい分子拡散以外はないものと思われる。

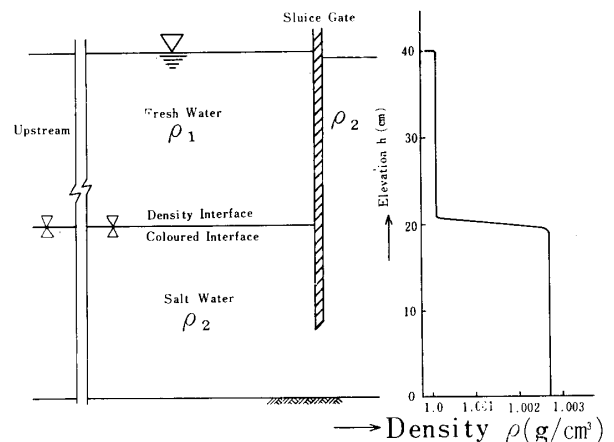


Fig. 2 Behavior of density interface (I) at stationary state

は Photo. 2に見られるが、これを Fig. 3に模式的に表わした。この時水門下端の電気伝導度計による密度はわずかに減少するが上層流体はほとんど流出せずくさび内の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、くさび内部の密度がしだいに一様化され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。この時着色流体が下層流体に引きずられて流出する。Photo. 3, Fig. 4にこの時の様子を示し、この着色流体流出を初期流出と定義して Fig. 10, 11に星印(☆)で示した。この時水門下

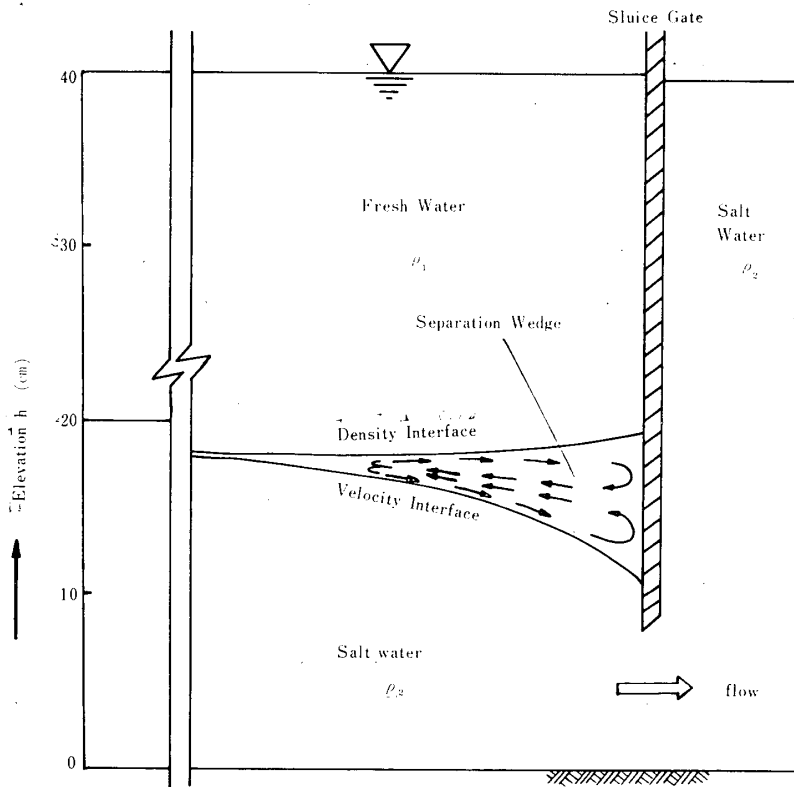


Fig.3 Behavior of density interface(II) at small discharge

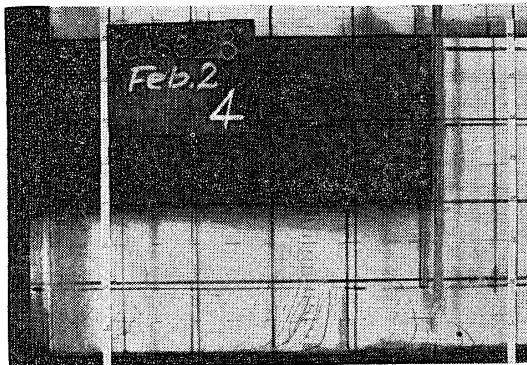


photo.2

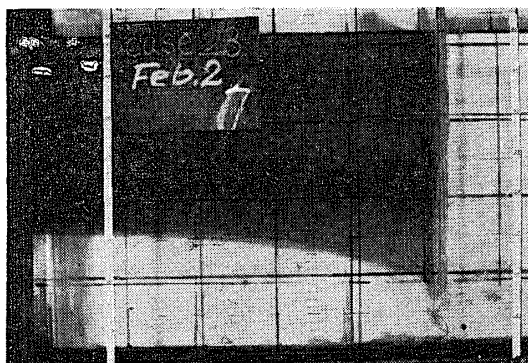


photo.3

端の検出端子は約10%密度低下を示した。

流量がより増加すると着色流体はより多く流出し、水門下端の検出端子はしだいに淡水に近い密度を示してゆく。

流量がある値以上になると上層流体が水門下を層をなして流出するいわゆる二層流出となる。この時の水門下端の検出密度はほぼ上層流体密度を示している。

Fig.10, 11に実験値を示す。座標軸として、縦軸に密度境界高 h をゲート開口高 b で無次元化した量 η をとり横軸は水門下流出流量 Q を有効重力加速度

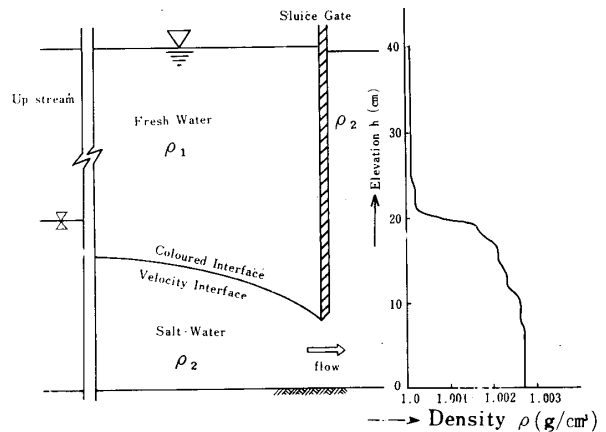


Fig.4 Behavior of density interface (III) (at incipient drawdown)

$(\Delta\rho_0/\rho_2) \cdot g$ と b で無次元化したデンシメトリックフルード数 F'_b をとった。パラメータ m は水門下端流出密度の低下量 $\Delta\rho$ と初期上下層密度差 $\Delta\rho_0$ との比である。

これより η が一定のとき F'_b の増加とともに m が増加してゆき、 $m=1.0$ 以上では二層流出となる。 η が大きくなると二層流出となる F'_b の値は大きくなる。

η の大きいときは初期流出から二層流出になるまでの F'_b の範囲は大きいことがわかる。

3.3 密度分布の変化

静止状態における密度の鉛直分布は 3・1 において述べたようなものである。静止状態から二層流出に到る過程の密度分布の変化は、まだ十分測定できていない状態である。

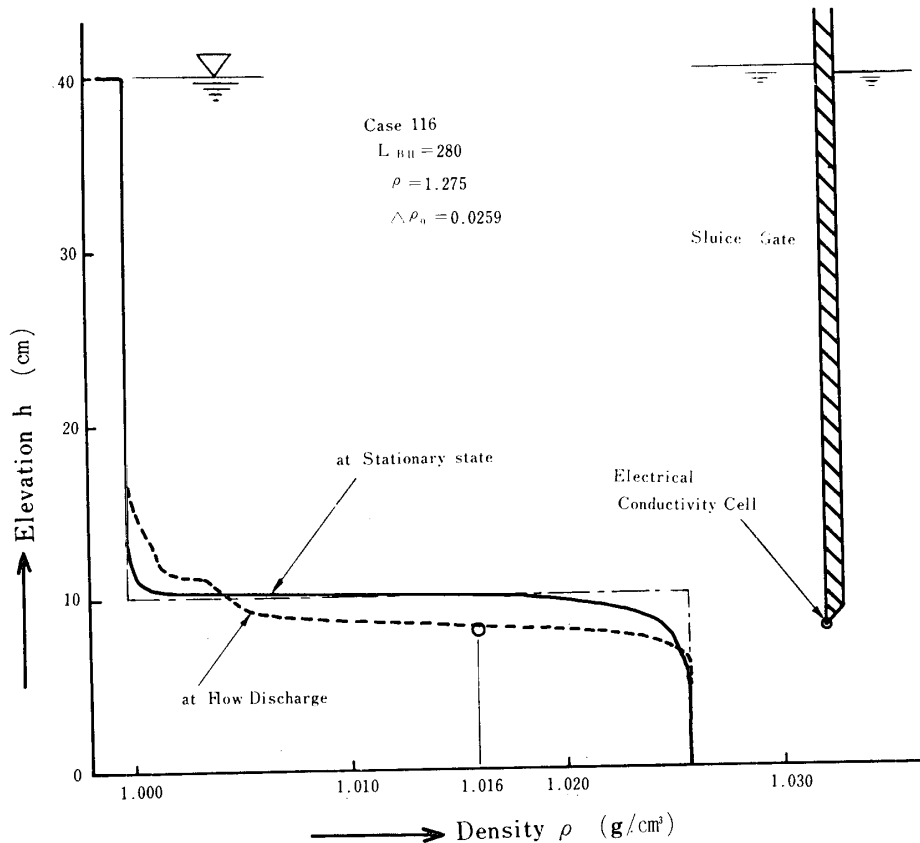


Fig.5 The change of density distribution profile at section 275

流出にともなう水門上流側 5 cm における密度分布の一例を Fig. 5 に示したが、これは $L_{BII}=280$, $\eta=1.275$, $\Delta\rho_0=0.0259$ の場合である。実線は静止状態のものであり、点線は $F'_b=0.285$ の状態である。この時は密度境界面が 10.0 から 8.5 cm に低下しており、ほぼ密度境界面と速度境界面が一致しているようである。なおこの流出時における水門下端の検出端子による密度は 1.0160 であり、流出密度比 m は 0.375 であった。

3.4 流速分布

流出過程における流速分布の測定は非常に困難であり、現在までのところ十分な測定と検討はできていない。測定された流速分布の一例を Fig. 6 に示す。

これは水門位置 $L_{BII}=280$, $H=30$, $\eta=1.45$, $\Delta\rho_0=0.0059$ で $F'_b=0.355$ の時であり $m=0.424$ であった。A 曲線は水門上流側 130 cm ($L=150$) における流速分布であり、B 曲線は水門上流側 20 cm ($L=260$) におけるものである。同図左側には上流点における密度分布を示したが、これより密度境界面において流速勾配がいちぢるしく大きく、流速境界面を生じていることがわかる。

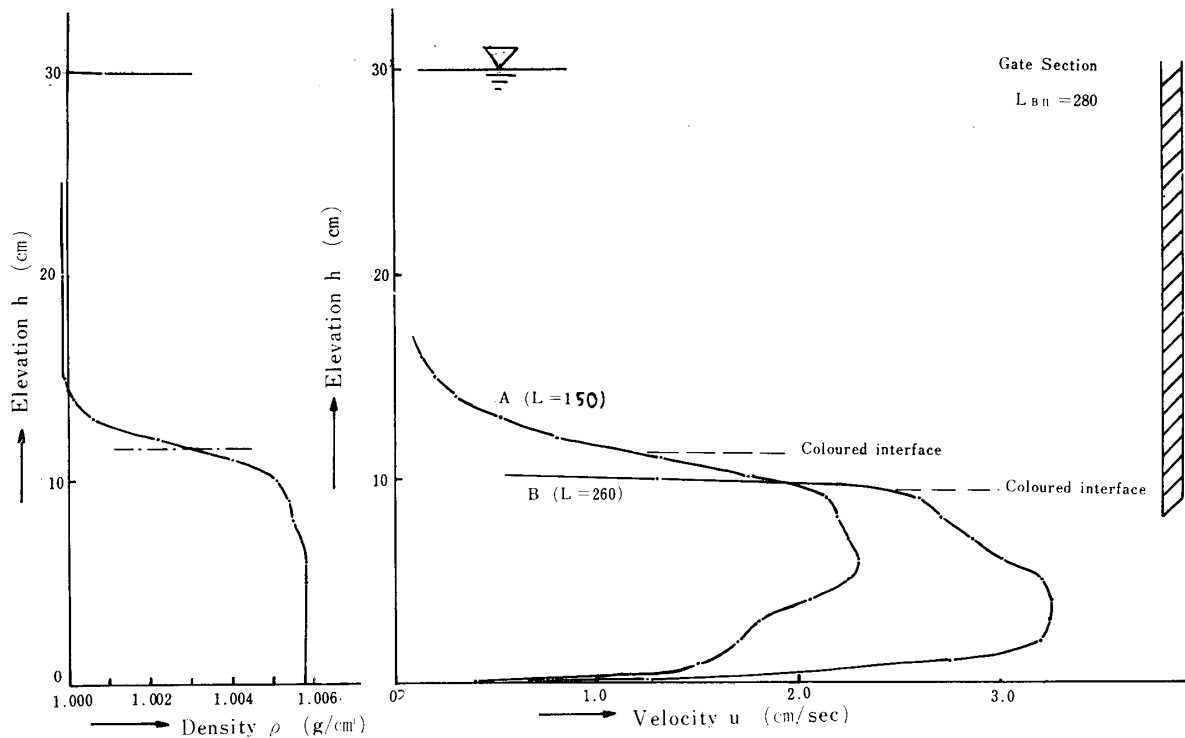


Fig. 6 Velocity distribution profile near A, B section

4. 理論的考察

成層流の場より水門を用いて下層流体を取り出す場合の選択的取水限界を決定するために、次のような仮定に基づいて理論式を展開し、実験結果との考察を行なう。

4.1 流れの場

水路内に設置された水門の上流側に鉛直方向に密度の変化する成層流の場が存在する。この成層流の場の物理量および幾何学的諸量をFig. 7のようにする。

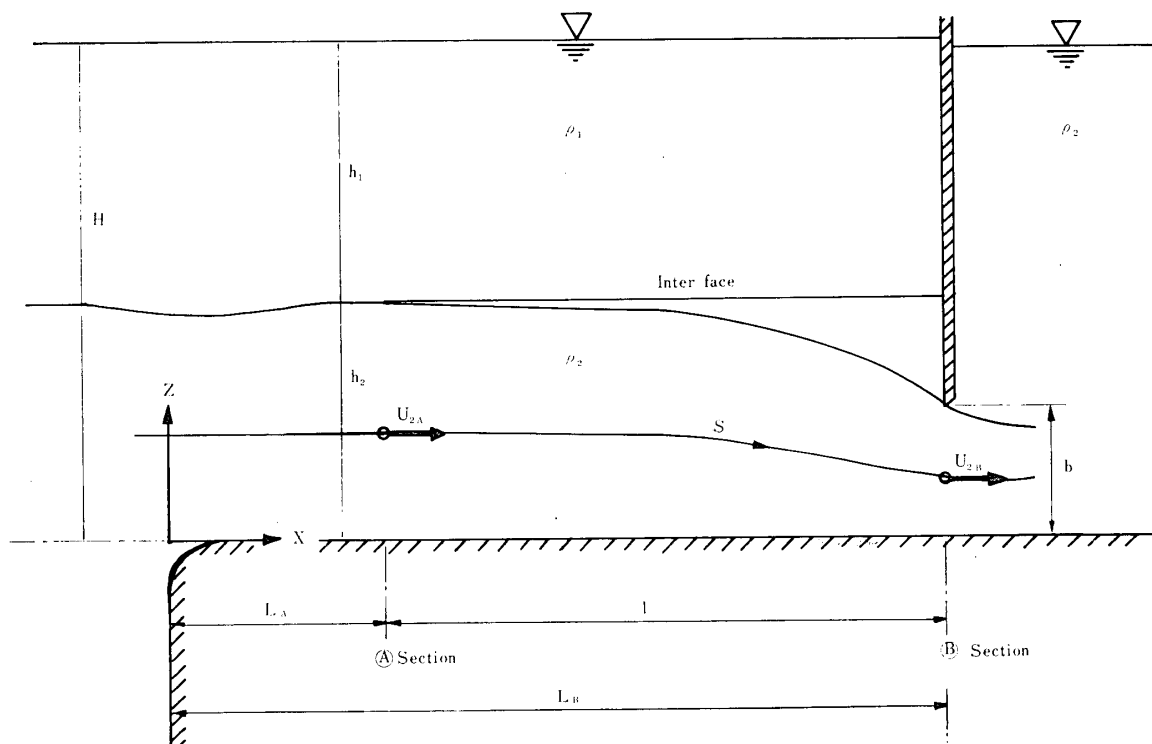


Fig. 7 Dimensions of stratified field

ここで

ρ ; 流体密度	H ; 流体総水深	(1)
ρ_1 ; 上層流体密度	h_1 ; 上層流体厚	
ρ_2 ; 下層流体密度	h_2 ; 下層流体厚	
g ; 重力加速度	b ; 水門開口高	
p ; 圧力の強さ	W ; 水路幅	
u ; 流体流速	Q ; 流量	
u_2 ; 下層流体速度	q ; 単位幅流量	
U_2 ; 下層平均流速	f' ; 抵抗係数	
x ; 水路入口より水路床に沿う距離		
z ; 水路床より鉛直上向の距離		
L_B ; 断面Bの水路入口よりの距離		
l ; $(=L_B-L_A)$ 断面A B間の距離		

4・2 流出過程における密度変化のモデル

3節の実験結果において述べたように、静止状態における密度分布は鉛直方向に急変するパターンであった。これは、簡単のためにFig. 8のA断面として示したように矩形分布に置き換えてもよいであろう。すなわち、密度境界面を上・下両層の平均密度となる高さで定義してつぎのような仮定をする。

域が形成されることにより密度分布は複雑になるが、

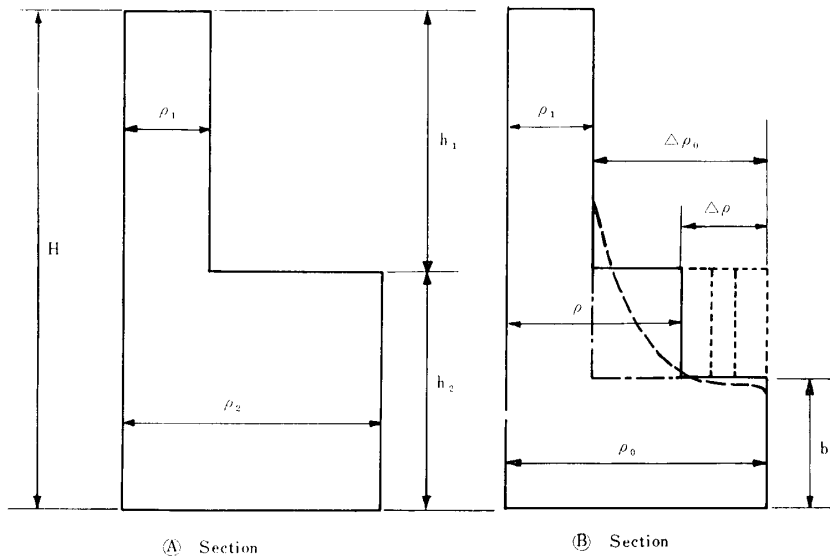


Fig.8 The Model of changing density profile through the process of flow discharge

- ① 密度境界面より上層 (h_1) は一様密度 ρ_1 に保たれる。
- ② 密度境界面より下層 (h_2) は一様密度 ρ_2 に保たれる。
- ③ 断面Aにおいては境界面における混合は少ないとして2層流出にいたるまでこの密度分布は変化しない。

さて、水門直前の断面Bにおいては、くさび形の領

密度境界面は徐々に低下することになる。

実験結果を考慮して水門断面における密度の鉛直分布は流量の増加とともにつぎのような経過をたどり変化してゆくものと仮定する。(Fig. 8断面B参照)

- ① 上流側境界面より上方 (h_1) においては一様密度 ρ_1 に保たれる。
- ② 水門開高 b より下方においては一様密度 ρ_2 に保たれる。
- ③ 総水深 H は上流側と同じである。
- ④ 中間層 (h_2-b) の部分は一様密度

$$\rho = \rho_2 - \Delta\rho \tag{2}$$

であり、これは静止の状態の ρ_2 から二層流出状態の ρ_1 まで変化する。ここで、

$$\Delta\rho_0 = \rho_2 - \rho_1 \tag{3}$$

$$\Delta\rho / \Delta\rho_0 = m \tag{4}$$

とおけば、 $m = 0 \sim 1.0$ であり、式(2)はつぎのように表わすことができる。

$$\rho = \rho_2 - m\Delta\rho_0 \tag{5}$$

4・3 流速分布

3・4において述べたように流速分布は密度境界面にほぼ一致して速度境界面が存在する。また上層流体

部分には非常に緩やかな循環流が生起するために、本質的には静止しているとみなしてもよいであろう。したがってここでは下層流体のみが流動すると仮定する。

4・4 理論式の展開

Fig. 7に示すような成層流の場に以上の仮定を用い、下層流体のみの運動を考える。

下層流体内に流線Sを考え、水門の存在する断面を $B(x=L_B)$ 、水路入口の縮流の影響が無視できると思われる断面を $A(x=L_A)$ とする流線S上の断面AおよびBにおける

全エネルギーはつぎのように表わされる。

$$p_A + \rho_2 g z_A + \frac{1}{2} \rho_2 u_{2A}^2 = p_B + \rho_2 g z_B + \frac{1}{2} \rho_2 u_{2B}^2 + \frac{1}{2} \rho_2 f' u_{2B}^2 \tag{6}$$

ここに各記号は式(1)に示すものであり、添字 A, B は断面を表わす。式(6)の両辺の第1, 第2および第3項はそれぞれ単位体積あたりの圧力、位置および運動エネルギーであり、右辺第4項は断面間AB ($l=L_B-L_A$)

L^A の損失エネルギーを表わす。

ここで圧力項は

$$p = \rho g (H - z) \quad (7)$$

で表わされるから、4・2において述べた密度変化のモデルを用いて

$$\begin{aligned} p_A &= \rho g (H - z) \\ &= \rho_1 g (H - h_2) + \rho_2 g (h_2 - z) \end{aligned} \quad (8)$$

このとき水門断面から $\Delta\rho = m\Delta\rho_0$ の流体部分が流出している状態のときには、

$$\begin{aligned} p_B &= \rho g (H - z) \\ &= \rho_1 g (H - h_2) + \rho g (h_2 - b) \\ &\quad + \rho_2 g (b - z) \\ &= \rho_1 g (H - h_2) + (\rho_2 - m\Delta\rho_0) g (h_2 - b) \\ &\quad + \rho_2 g (b - z) \end{aligned} \quad (9)$$

下層流体を1つの流管とみなし、式(6)に(8)、(9)を代入し全断面にわたって平均すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} \rho_1 g (H - h_2) + \rho_2 g h_2 + \alpha \cdot \frac{1}{2} \rho_2 U_{2A}^2 \\ = \rho_1 g (H - h_2) + (\rho_2 - m\Delta\rho_0) g (h_2 - b) \\ + \rho_2 g b + \beta \cdot \frac{1}{2} \rho_2 U_{2B}^2 + f \cdot \frac{1}{2} \rho_2 U_{2B}^2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{ここに } \alpha = \int_0^{h_2} u_{2A}^2 dz / h_2 U_{2A}^2 \quad (11)$$

$$\beta = \int_0^b u_{2B}^2 dz / b U_{2B}^2 \quad (12)$$

ただし、 U_{2A} 、 U_{2B} はそれぞれA、B断面における平均流速を表わし、次式により求められる。

$$U_{2A} = \int_0^{h_2} u_{2A} dz / h_2 \quad (13)$$

$$U_{2B} = \int_0^b u_{2B} dz / b \quad (14)$$

$$\frac{1}{b} \int_0^b \frac{1}{2} \rho_2 f' u_{2B}^2 dz = \frac{1}{2} \rho_2 f U_{2B}^2 \quad (15)$$

一方連続の式は

$$q = Q/W = U_{2A} \cdot h_2 = U_{2B} \cdot b \quad (16)$$

$$\text{よって } U_{2A} = q/h_2 \quad (17)$$

$$U_{2B} = q/b \quad (18)$$

式(10)を整理して

$$1/2\rho_2[(\beta+f)U_{2B}^2 - \alpha U_{2A}^2] = m\rho_0(h_2 - b)$$

式(17)、(18)を代入して整理すれば、

$$\frac{q^2}{(\Delta\rho_0/\rho_2) g b^3} = \frac{2m(h_2/b - 1)(h_2/b)^2}{[(\beta+f)(h_2/b)^2 - \alpha]} \quad (19)$$

ここでデンスメトリックフルード数として次のように定義し、

$$F'_b = U_{2B}^2 / (\Delta\rho_0/\rho_2) g b = q^2 / (\Delta\rho_0/\rho_2) g b^3 \quad (20)$$

また

$$\eta = h_2/b \quad (21)$$

とすれば、式(19)は次式のように表わされる。

$$F'_b = \frac{2m(\eta - 1)\eta^2}{[(\beta+f)\eta^2 - \alpha]} \quad (22)$$

両辺の平方根をとって、

$$F'_b = \eta \sqrt{\frac{2m(\eta - 1)}{[(\beta+f)\eta^2 - \alpha]}} \quad (23)$$

上式は与えられた条件のもとに水門より流出する密度が下層流体密度より $m\Delta\rho_0$ だけ下った場合の取水流量を与える無次元表示である。

$m=1.0$ とおけば上層流体が流出する二層流出の限界条件となり、この場合は次式で与えられる。

$$F'_{bc} = \eta \sqrt{\frac{2(\eta - 1)}{[(\beta+f)\eta^2 - \alpha]}} \quad (24)$$

4・5 α 、 β の評価

式(11)および(12)で定義される α 、 β は流速分布が一様でないための運動エネルギー項の補正係数である。流速分布は3・4において述べたように未だ十分な測定をなし得ておらず、この α 、 β の値を定めることは尚早の感がある。

ここで一つの目安として平板間の二次元流れの場合について計算を行ってみよう。

J. Nikuradse によれば、管路の場合 $Re = Ud/\nu$ が $4 \times 10^3 \sim 3.2 \times 10^6$ の範囲で流速分布は

$$u = u_{max}(z/d)^{1/n} \quad (25)$$

で表わされることが確かめられ、これは流速分布の $1/n$ 乗則として知られている。

$Re = 4.0 \times 10^3$ の場合 $n = 6$ 、 $Re = 1.1 \times 10^5$ のとき $n = 7$ を用いて、これを二平板間の流れとして計算すると、

$$\alpha = 1.021 \quad (Re = 4.0 \times 10^3) \quad (26)$$

$$\alpha = 1.015 \quad (Re = 1.1 \times 10^5) \quad (27)$$

である。

一方Fig. 6の実測流速分布例について計算すれば、

$$\alpha = 1.03 \quad (28)$$

$$\beta = 1.02 \quad (29)$$

であった。ここでは一応式(26)、(29)の値を採用することにした。

4・6 f の評価

式(15)で定義した f は断面A B間(距離 l)の間に失なわれたエネルギーの損失を表わす係数である。

いま損失エネルギーがA B間の水路床、内部境界面、側壁の摩擦によって失なわれたと考える。

$$f(1/2)\rho_2 U_{2B}^2 = l D/A \quad (30)$$

ここに A は断面A B間の平均流水断面積、

D は断面A B間に働く単位長さあたりの全抵抗で、次式のように表わす。

$$\begin{aligned} D &= 1/2\rho_2 U_{2A}^2 f_b B + 1/2\rho_2 U_{2A} f_w h_2 \times 2 \\ &\quad + 1/2\rho_2 U_{2A}^2 f_i B \end{aligned} \quad (31)$$

ここに f_b, f_w, f_i はそれぞれ水路床, 側壁および内部境界面における抵抗係数である.

式(30)に(31)を代入すれば,

$$f \frac{1}{2} \rho_2 U_{2B}^2 = \frac{1}{2} \rho_2 U_{2A}^2 (l/B/A) [f_b + 2 f_w (h_2/B) + f_i] \quad (32)$$

ここで $A = Bh_2$ とおき, 式(16)より

$$U_{2A} = (b/h_2) U_{2B}$$

この関係を式(32)に代入すれば,

$$f \frac{1}{2} \rho_2 U_{2B}^2 = \frac{1}{2} \rho_2 U_{2B}^2 (b/h_2)^2 (l/h_2) [f_b + 2 f_w (h_2/B) + f_i]$$

したがって

$$f = (b/h_2)^3 (l/b) [f_b + 2 (h_2/B) f_w + f_i] \quad (33)$$

ここで

$$f_b + 2 (h_2/B) f_w + f_i = 4 f_0 \quad (34)$$

とおけば, この値は管路の抵抗にほぼ近似できる値と考えられよう. 管路の抵抗係数は一般に

$$\tau_0 = D l / A = \frac{1}{8} \cdot \lambda \rho U^2 \quad (35)$$

の形で表現され, λ が与えられている⁴⁾.

$$f_b + 2 (h_2/B) f_w + f_i = 4 f_0 = \lambda \quad (36)$$

したがって f の値は式(33)に(36)と(21)を代入し,

$$f = \lambda (l/b) \eta^{-3} \quad (37)$$

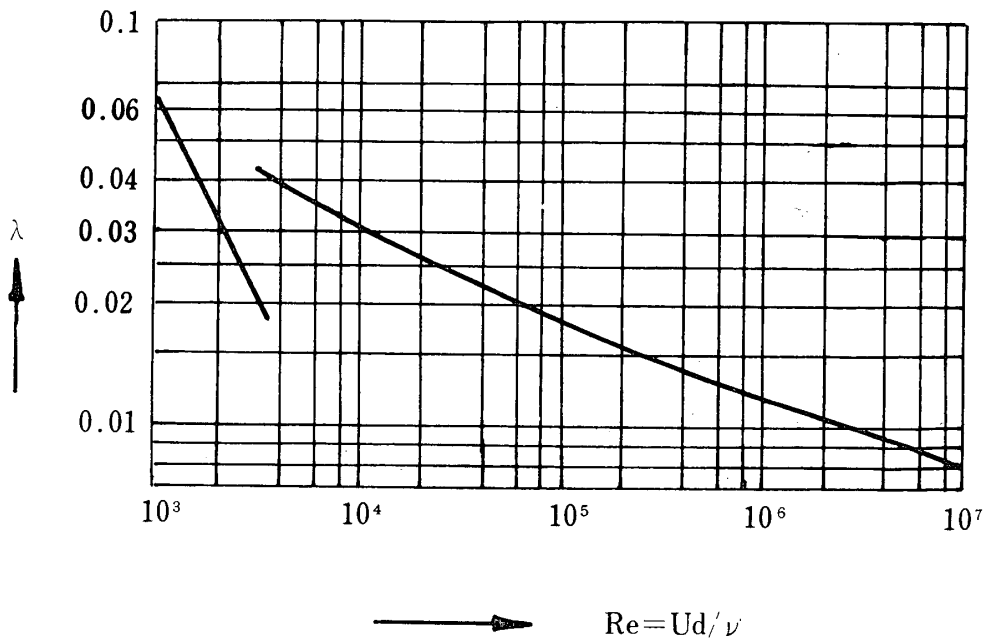


Fig.9 Frictional resistance in a smooth pipe⁴⁾

となる. λ と $Re = Ud/\nu$ の関係を Fig. 9 に示す.

このように f は与えられた条件項 $(l/b)\eta^{-3}$ 以外に流れのレイノルズ数に關係する量 λ によって定まる量であるため解析は非常に困難となる. ただ現象のスケールが大きい場合には λ の値がほぼ一定値に近づくを見てよいから f は Re 数に無關係になる性質をもつ.

この実験の場合 $Re = Ud/\nu$ で表わして $10^3 \sim 10^4$ のオーダーであるので λ は遷移領域にあり, 一定値にすることは妥当ではないが, 一応の目安として $\lambda = 0.04$ を用いた.

4・7 理論値と実験値の比較

以上のようにして見積られた α, β, f の値を用いて式(24)を計算し, m をパラメーターとして図示したものが Fig. 10, 11 の曲線である. Fig. 10 は Series I ($L_{B1} = 50\text{cm}$), Fig. 11 は Series II ($L_{B1} = 280\text{cm}$) のものである. Fig. 10 は水門が水路入口近くにあるため, 入口縮流の影響があり, あまり良い適合性は得られていないようである.

Fig. 11 についてはかなり良い近似度を表わしているが, η の上昇にともない理論式が過少な値を示している.

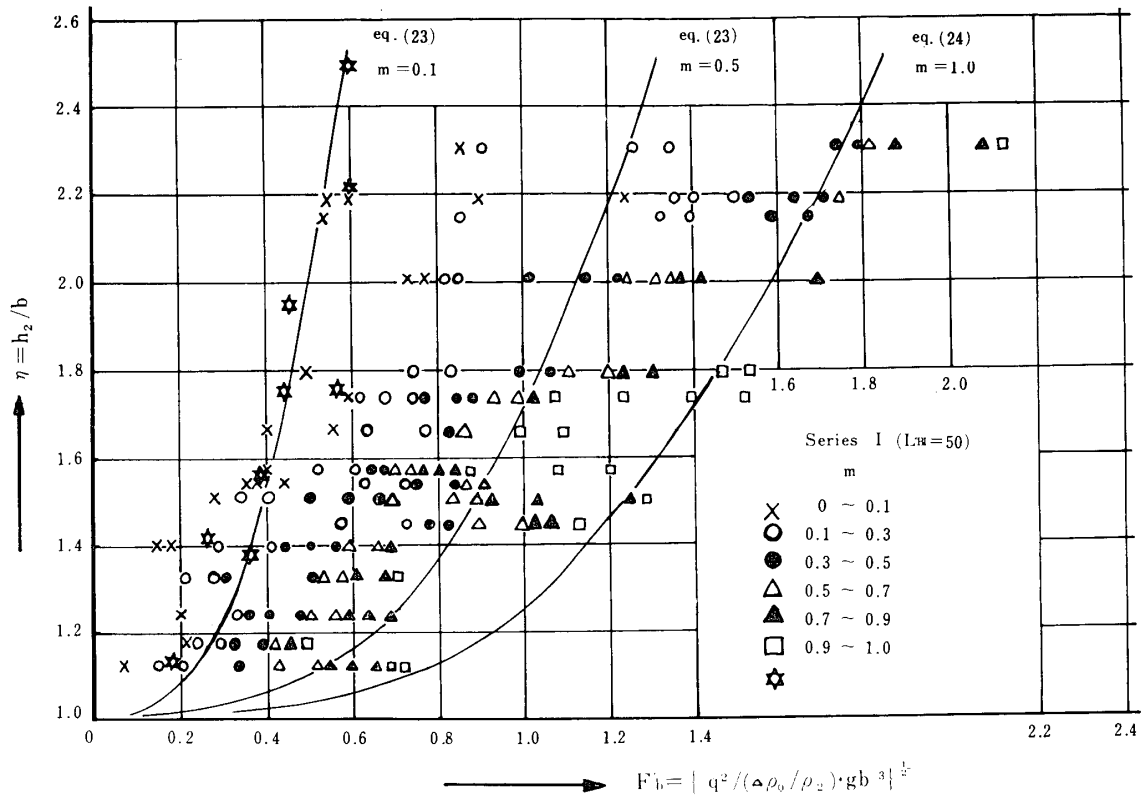


Fig.10 Critical discharge through sluice gate in stratified field (Series I)

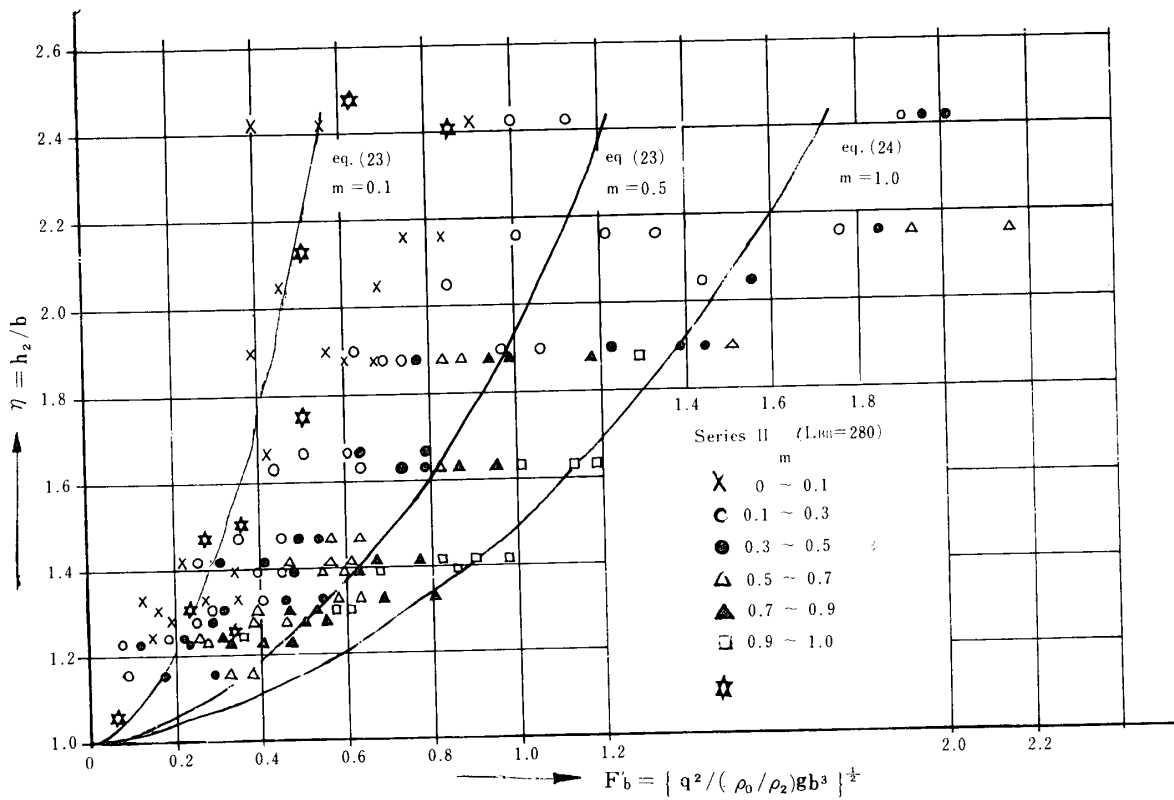


Fig.11 Critical discharge through sluice gate in stratified field (Series II)

5. 結 論

鉛直方向に密度の急変するいわゆる密度境界面が存在する成層流の場から水門によって下層流体を選択的に取、排水する場合について次のことがいえる。

① 流出量の無次元量としてデンシメトリックフルード数 F'_{ρ} を用いれば、上流側密度境界高 h_2 と水門開口高 b との比 η と F'_{ρ} の関係は式(23)によって規定することができる。

② したがって二層流となる限界流量は式(24)によって表わされる。

③ 流出流体密度は m によって表わされる。

④ なお今後の問題として、式(22)の誘導にあたっては流出過程に、4・2において述べた仮定を用いたが、この妥当性を検討するためにはくさび内部の密度分布の測定が必要である。

⑤ 流出流体の混合密度を知るためには水門下断面における流速分布および密度分布が測定されなければならない。

⑥ 断面A, B間の損失エネルギーの評価については水門位置を移動して検証しなければならない。

⑦ 流速分布の測定によって α, β の評価の妥当性を検討しなければならない。

最後に本研究に熱心な協力を戴いた昭和43年度本学卒業生塔岡和仁氏（五洋建設株式会社）と土井努氏（株式会社大林組）に心から謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 日本工業規格：ポンプ揚水量測定法, JIS B8302, (1954)
- 2) 半谷高久：水質調査法, 丸善 (1960) P.8
- 3) Harleman, D. F, Gooch, R. S and Ippen, A. T ;
Submerged Sluice Control of Stratified Flow, Proc.
A. S. C. E. HY. 2 April (1958)
- 4) Schlichting H; "Boundary layer theory", McGrawhill
(1968) P. 562.

(昭和44年4月21日受理)