

芝工大 正員 菅 和利
東大 正員 玉井 信行

1. はじめに

貯水池に流入する河川水の潜り点近傍での初期混合は流入側の境界条件を与える重要な問題である。しかし従来の研究では、初期混合についての十分な考察が行われておらず、さらに初期混合と、その後の連行に伴う上層の補償流を無視して解析を行っている。本研究では密度の大きい河川水が流入する場合の潜り点近傍での混合に着目し、傾斜壁面密度噴流でモデル化し、潜り点の水理的特徴を考察し、潜り点近傍での上層水の混合率、潜り点位置を流入水理量により予測することを、実験的に検討した。

2. 実験の概要

前報¹⁾で用いた実験装置を用い、塩分により密度差をつけ、流速測定には熱膜流速計と可視化法を併用し、塩分濃度測定には導電率計を用いた。潜り点位置及び水深の測定にも可視化法を用いた。実験水理量の範囲は流入点でのフルード数が0.23~2.48、密度フルード数が1.62~270、低勾配が0.15~0.25である。

3. 潜り点近傍での混合現象

実験によると写真1.に見られる大規模な渦が潜り点近傍に出現し、主にこの渦によって上層水を取り込み、さらに下層と混合して底面に沿って流下する。又潜り点の位置は大規模渦の不規則な出現により変動し、この大規模渦が下流に流下するので、潜り点通過後の下層流水にも大規模な渦が認められ、上層水を連行しながら流下する。これらの混合を補償する流れが上層に生じるが、従来の研究では、この流速は、下層流の流速に比して無視しうるとし、上層静止として取り扱ってきた。しかし流入点近傍を考える場合には、貯水池水深は下層水深と比して無限大と考えられず、上層の流速は無視し得ないと思われる。

図-1は潜り点近傍での上、下層の流速分布の例を示したものである。

このように上層の流速は、下層の流速に比して小さくなく、無視し得ない大きさであることがわかる。このことは初期混合及び連行の評価の必要を示しているものである。本研究では、初期混合について扱うことにする。

4. 混合率 M について

潜り点通過直後の流量 Q_p と流入点流量 Q_0 との比を混合率 M と定義する。潜り点を可視化により決定し、この地点での断面平均流速、密度の実測値を用いて計算した密度フルード数 F_{ip} は、 $F_{ip}=0.7\sim 1.0$ となった。又Parker, Keuleganによると、density wedge, salt wedgeの限界点での密度フルード数は、0.75であり、板倉によると潜り点では、1.0となると報告されている。このことより、便宜的に潜り点が水理学的に何らかの限界点と考え、 $F_{ip}=1.0$ とする。

$M = Q_p/Q_0$ となると浮力の保存則より、 $C_p = \epsilon_0/\mu (\epsilon_0 = \frac{\rho_0 - \rho_s}{\rho_0})$ となる。これらを、 $F_{ip} = \sqrt{\frac{Q_p^2}{(\epsilon_p g h_p^3)}} = 1$ に代入して h_p を求めると、 $h_p = M \sqrt[3]{\frac{Q_0^2}{\epsilon_0 g}}$ となる。 $\sqrt[3]{\frac{Q_0^2}{\epsilon_0 g}}$ は流入点水理量より求めた限界水深 h_{c0} である。 $h_p = M h_{c0}$ ……(1)式の確認のために実験による潜り点直後の断面における流速、密度測定より Q_p, ϵ_p, h_p を求めた。その1例を示す。① $Fr = 2.47, F_{i0} = 71.35, Q_p/Q_0 = 1.68, Q_p/\epsilon_0 = 2.0, h_p/h_{c0} = 1.8, F_{ip} = 0.71$ 。

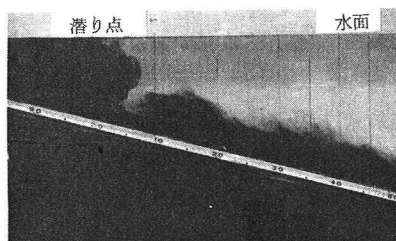


写真-1

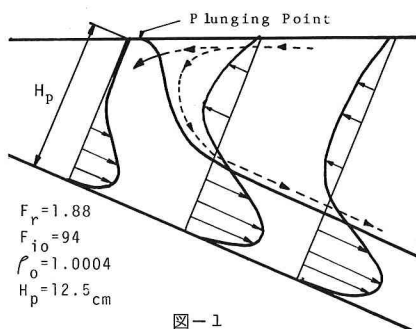


図-1

② $Fr = 0.81$, $F_{10} = 55.9$, $g_p/g_0 = 2.73$, $\xi_p/\xi_0 = 2.63$, $h_p/h_c = 2.8$, $F_{10}p = 0.98$, これらの結果はほぼ (1) 式を満足しうると考えられる。従って (1) より、潜り点水深の実測値と、流入水量より計算した h_{c0} との比より μ を求める。このようにして求めた μ には実測の潜り点と、 $F_{10} = 1$ とした点との差をも含めて評価しているが、この効果は小さいと考えられる。 μ を流入点での密度フルード数 F_{10} に対して整理したのが図-2 である。図中黒点、白点は $Fr < 2$ で、勾配がそれぞれ 0.25, 0.15 の場合であり、□印は $Fr > 2$ の場合である。フルード数 2 を境に傾向を異にし、フルード数により混合状態が異なる様子が観察されるが、機構の詳細については今後の課題である。 $Fr < 2$ の場合には、混合率は、 F_{10} と勾配の関数となり、 $Fr > 2$ の場合には混合率は F_{10} によらず、ほぼ一定値 $1.0 \sim 1.5$ となることがわかる。今回の実験では、勾配は急な 0.15 ~ 0.25 であり、この範囲では、混合率 μ におよぼす勾配の効果は大きいが、一般には、勾配のゆるやかな場合には、現象は勾配によらないと言われているので、 μ におよぼす勾配の効果について、さらに検討を行うつてもある。

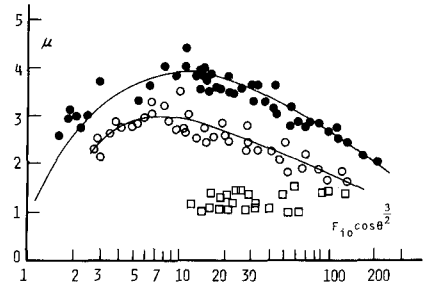


図-2

5. 潜り点における水量

前報において勾配の急な場合での潜り点までの距離 l_p が、 F_{10} の $1/4$ 乗に比例することを報告したが、その後のデータと共に潜り点水深に関して整理を行った。底勾配を θ とすると $l_p = (h_p - h_0) / \sin \theta$ であるので h_p と F_{10} との間には、 h_0 で無次元化した。次の関係が予測される。 $(h_p - h_0) / (h_0 \sin \theta) \sim (F_{10} \cos \theta^{3/2})^{1/4} \dots (2)$ 今回ゆるやかな勾配への適用も考え、 $F_{10} \cos \theta^{3/2} \sin \theta^{-1/4}$ に対して整理したのが図-3 である。図中□印は $Fr > 2$ の場合で、傾き $1/4$ の直線(A)の周りに分散しており、黒点、白点は、 $Fr < 2$ の場合で、直線Aよりずれる。混合率の所で述べたように、 $Fr > 2$ では、 μ は約1であり、この場合には、潜り点水深は F_{10} の $1/4$ 乗に比例する。従って $Fr < 2$ の場合が傾き $1/4$ の直線よりずれるのは、混合の効果であるので図-2 に実線で示す混合率 μ の経験則を用いることにより、直線(A)で表わすことができる。例外的な場合である $\mu = 1$ では、 $h_p = h_c$ であるので $(h_c - h_0) / (h_0 \sin \theta) \sim (F_{10} \cos \theta^{3/2} \sin \theta^{-1/4})^{1/4}$ である。 $h_c = h_p / \mu$ をこれに代入し、 $(h_p - h_0) / h_0 \sin \theta$ を $F_{10} \cos \theta^{3/2} \sin \theta^{-1/4}$ に対してプロットしたのが図-4 である。点は、直線Aと良好一致をしている。従って、混合率 μ を導入することにより、潜り点水深 h_p は、流入点での水量のみによって予測することができる。

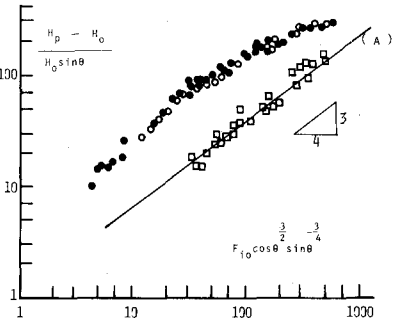


図-3

6. 結論 貯水池潜り点に着目した二次元壁面密度噴流の実験より次のことが得られた。(1) 潜り点近傍の密度流を考える時、混合に伴う補償流が、下層の流速と比して無視し得ない大きさである。(2) 潜り点近傍には大規模な渦が認められ、潜り点での混合に支配的と推測される。(3) 潜り点通過直後の流量と流入流量との比の混合率 μ は、流入点での密フルード数と、底勾配により予測できる。(4) 混合率 μ を導入することにより、流入点での水量のみにより潜り点水深、潜り点通過後の密度を予測することができる。

参考文献

- 1) 菅、玉井、第16回自然災害科学 symp 1979
- 2) 玉井 密度流の水利 新体系土木工学 22
- 3) Yeh, C.S. & Gukka, C.R. Hydraulic jump in a fluid system of two layers, Tellus, Vol. 7, No. 3

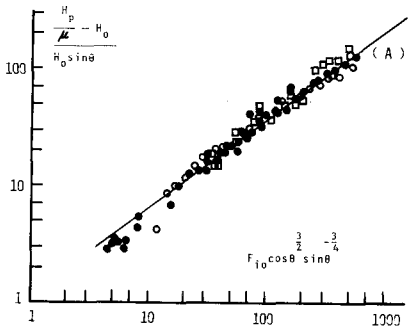


図-4