

東京大学工学部 正員 玉井信行
 芝浦工業大学 正員 ○菅 和利
 東京大学工学部 正員 廣沢佑輔

密度の大きい河川水が貯水池に流入する場合には、初期の混合の後、密度差によって貯水池の底面に沿って流下すると考えられる。この初期の混合は、流入水のその後の挙動を決定する重要な課題の一つであり、現象を三次元傾斜壁面噴流でモデル化し、実験的に検討した。この場合自由水面を有する水域に流入する形態が重要と考えられるので、噴出口が水面下にある場合と、開水路で流入する場合との噴流の特性の比較を中心に報告する。

1. 実験の概要

図-1に示すような二つのケースについて実験を行った。ケース1は、噴出口が水面下にある場合で、ケース2は、噴出口が水面より上にあり、開水路として流入する場合である。周囲水よりも密度の大きい塩水を流入させ、導電率計による塩分濃度測定と、熱線流速計による流速の測定を行った。ケース1では噴出された塩水は壁面に沿って流下するが、ケース2では流入点近くでの跳水により塩水は全水深にわたって拡散する。このうち、水面近くに拡散された塩水は、ある距離流下した後下方に流入し、再び壁面に沿って流下する。この地点を潜り点とし、この地点に関連する水理的な特徴を考察した。

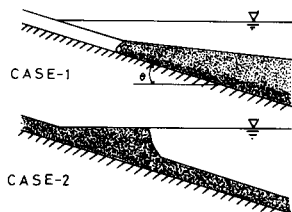


図-1

2. 実験結果とその考察

2-1 流速分布 座標は壁面に沿って流下方向にX軸、これに垂直上方にZ軸、横方向にY軸を取る。流速分布は壁面より最大流速 U_m の生じるまでの壁面境界領域と、それよりも壁面より離れた噴流域との二つに分けられ、ここでは噴流域についてのみ考察する。一般に噴流においては流速分布の相似が認められているが、頁の浮力を有する壁面噴流においてこの確認を行った。Z方向の分布については、 U_m とその半値になる点までの距離 b_z によって、又Y方向の分布については、中心軸上の流速及びその半値となる点までの距離 b_y によって、流速、距離をそれぞれ無次元化して示したのが図-2、3である。ケース1のZ方向の分布は(A)式で示される Gauss 分布に、それ以外の分布は(B)、(C)式のような Görtler 型の分布に、よく合っており相似であることを示している。Gauss 分布より広がった分布となるのは、密度差及び初期の混合による効果であると考えられる。

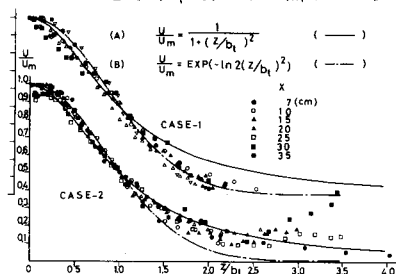


図-2

2-2 濃度分布 濃度 C を $(P - P_s)/(P_o - P_s)$ と定義し、流速分布と同様な特性量により無次元化して示したのが、図-4、5である。 P_s は静止水の密度、 P_o は噴出水の密度であり、流速分布と同様にケース1のZ方向は(G)式の Gauss 分布に、その他の分布は(H)、(F)式の Görtler 型の分布によく合っており相似である。

2-3 特性量 連続式、運動方程式、質量保存の式に境界層近似を適用し、Z方向の運動については連行速度のみを考へ、Y方向の速度 V についても相似な分布型を置いておくと仮定する。又壁面せん断力は無視して考へる。噴流断面を b_c 、 b_r で代表される断面と考へ、これらの式を噴流断面内で積分する。

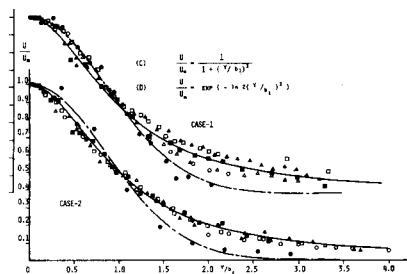


図-3

$$d(Umb_L b_T)/dx + \alpha_1 V m b_T = \alpha_2 f U m b_L \quad (1)$$

$$d(U^2 b_L b_T)/dx + \alpha_3 U m V m b_T = -\alpha_4 d(B m b_L b_T^2) \cos \theta / dx - \alpha_5 b_L b_T B m \cos \theta \quad (2)$$

$$d(U m V m b_L b_T)/dx + \alpha_6 V m^2 b_T = -\alpha_7 B m b_T^2 \cos \theta \quad (3)$$

$$d(B m U m b_L b_T)/dx + \alpha_8 V m B m b_T = 0 \quad (4)$$

$B m = g(P - P_s)/\rho_s$, $\alpha_i (i=1, 8)$ は分布形によって定まる定数。

Richardson 数を $R_i = B m b_T / U m^2$ で定義し、特性量が次のように表わせるとする。 $U m / U_0 \sim X^a R_i^0$, $B m / B_0 \sim X^b R_i^0$, $b_L / D \sim X^c R_i^0$, $b_T / D \sim X^d R_i^0$, $V m / U_0 \sim X^e R_i^0$ (5)

ケース2について考える。今回の実験の範囲では Richardson 数が小さく、この場合には流下方向の運動への浮力の寄与は小さく、運動量が卓越すると考え、(2)式の右辺は無視できるとする。しかし横方向への拡がりには、横方向の圧力勾配が寄与すると考えられるので(3)式の右辺は無視できない。初期の跳水による混合効果を連行係数 f により評価することとする。 f は R_i の (-1) 乗に比例すると云われているが、ここでは $f = A R_i^j$ とし、(5)式を(1), (2), (3), (4)式に代入し、 X の同じべき乗で変化するとする。 $j = 1/3$ とすると $a = 17/15$, $b = 17/15$, $C = 9/5$, $d = 7/15$, $e = 1/3$ となる。

図-6は流速、濃度の特性長さ、図-8は $U m, C m$ の X 方向の変化を示したものであるが、実験結果と上記の指数とは良く一致している。上記の考察では、流速、濃度の特性長さは等しいと仮定しているが、濃度の拡散の方が強いことがわかる。次にケース1について考える。ほぼ等しい Richardson 数の場合にはケース2よりも流下方向の運動量が卓越すると考えられるので、(2)式の左辺第二項以外を無視する。さらに(3)式の左辺第二項、(4)式の左辺第二項をそれぞれ無視し、連行係数 f は R_i の (-1) 乗に比例するとして、ケース2と同様に考察を行うと、 $a = 13/15$, $b = 5/3$, $C = 19/15$, $d = 7/15$, $e = 3/5$ となる。

図-7は特性長さ、図-9は $U m, C m$ の X 方向の変化を示したものであり、全体的に良く一致しているが、濃度の遙減の傾き(b)については、実測値と上記の考察により得られたものと異なる。

潜り点までの距離 L は、初期跳水後の水面近くの運動量と浮力とのつり合いによって決定されると考えられる。初期の跳水による混合を支配するのは主にフルード数 (Fr) と考えられ、 Fr が大きい程混合が強く、水面近くに拡散された塩水を流下方向に移送する力が低下する。 L はこの移送力と負の浮力の効果とのつり合いによって決まるとすると、密度フルード数 F_d がもう一つの因子となる。すなわち Fr が大なる程 L は小さく、又同じ Fr に対しても F_d が大なる程 L は大きくなる。

3 結論 三次元密度壁面噴流の実験によって次の事が解明した。① 噴出口が水面下の場合の流速分布、濃度分布は Z 方向は Gauss 分布、 Y 方向は Görtler 型となる。② 噴出口が水面上の場合には流速、濃度分布は Z, Y 方向共 Görtler 型となる。③ 噴出口が水面上にある効果を連行係数 $f = R_i^{-1/3}$ で評価すると、特性量の実測値を良く説明できる。④ 潜り点までの距離は噴出口での Fr と F_d の関数となることを考察した。

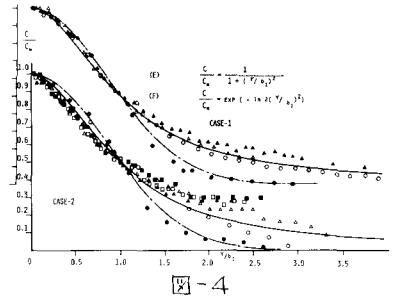


図-4

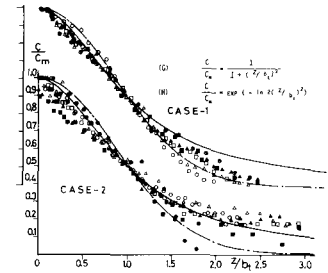


図-5

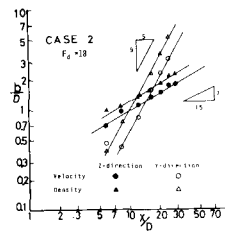


図-6

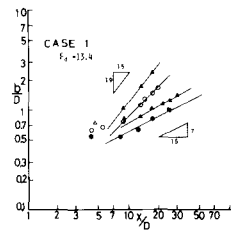


図-7

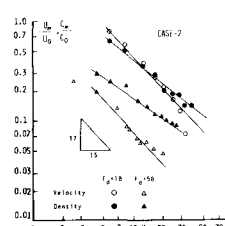


図-8

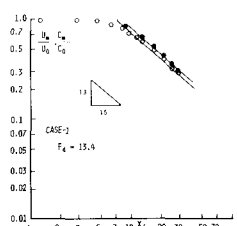


図-9