

中央大学 理工学部 正員 林 泰造
中央大学 大学院 学生員 〇 原嶋 伸郎

1. まえびき

静止流体中に水面下から放出された浮上プリュームの拡散については, Abraham¹⁾, Frankel and Cunningham²⁾など数多くの実験が行なわれた。しかし, これらの実験は浮上プリューム部分についてのみであって水面の存在を考慮してはいない。我々は鉛直浮上プリュームが水面下に到達したのち, どのような現象を示すかに興味を持ち実験を行なった。本報はこの実験に関して記述するものである。

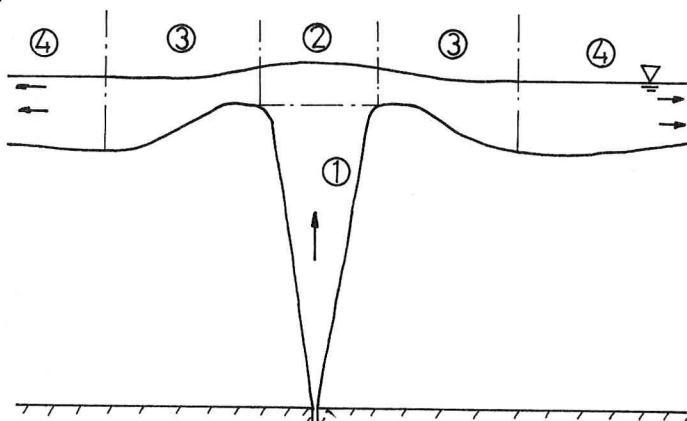


FIG-1

2. 鉛直浮上プリュームの拡散現象

放出時において, 周囲水よりも比重の軽い液体が鉛直上方向に放出された場合, 周囲水の密度が一樣ならばプリュームは水面直下まで上昇し, その後水面下を横方向に拡がってゆく。FIG-1に示した①領域は鉛直浮上プリュームの領域で従来より行なわれている解析の適用できる部分である。②領域は鉛直浮上プリュームが水面下に到達し水平流に移行するまでの遷移領域で激しい混合を生じ, その後の流れの状態に大きな影響を及ぼす。この領域を通過した流れは水平流領域に入る。Harleman³⁾はこの領域を③の内部跳水領域と④の水平流領域とに分割している。③は内部跳水の発生する領域で躍層厚の急激に増大する部分である。④の水平流領域に流れが入ると, プリュームとしての拡散とはほとんど無関係となり, 拡散は主として渦巻拡散や移流によって生じる。

3. 実験装置と実験方法

実験は中央大学理工学部水理実験室の縦12m, 横5.6m深さの, 5mm厚のガラス張りの平面水槽を使用して行なった。この水槽の中心底面に放出口を設け, ここから放出水を連続的に放出される。放出口は水槽水面より約5mmの落差のある高所に置かれた放出水を入れた水槽とビニールチューブを介してつながれている。また放出口はノズル部分と交換できるようにしており, これによって水深口径比H/Dを調節できるようにしている。この管路の途中には流量調節用バルブを設け, ロータメーター式流量計によって放出水流量を知ることができる。

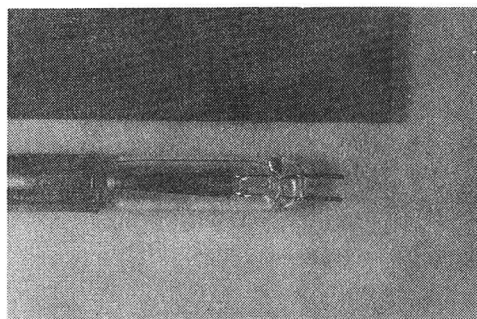
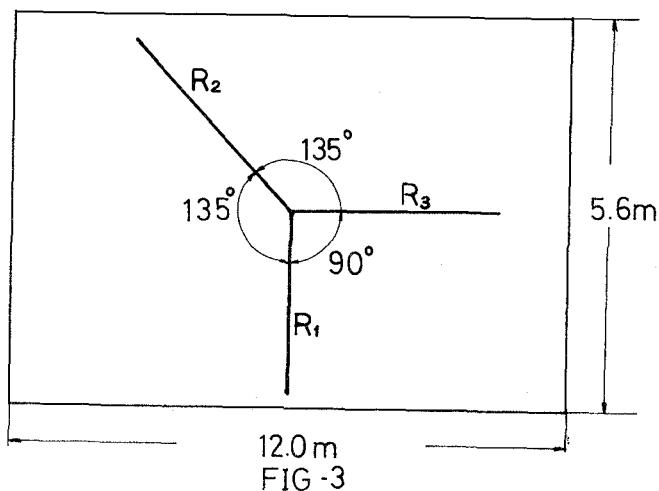
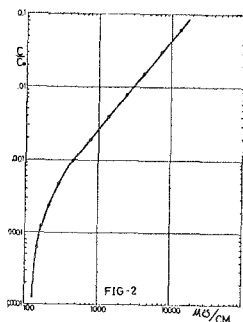


PHOTO-1

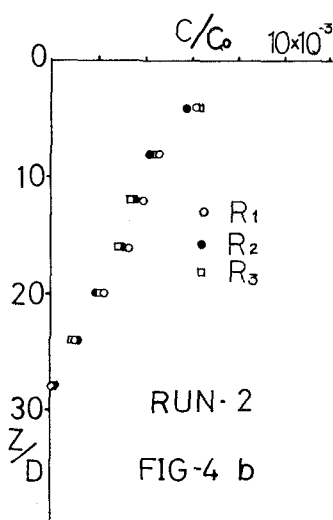
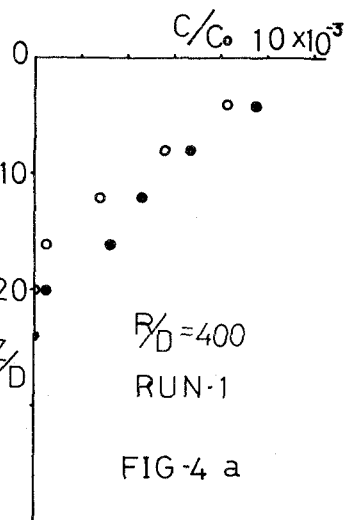


周囲水には水道水を用い、放出水には水道水と変性エチルアルコールを混ぜたものを使用し、観測のためウォーターブルーを加えてある。また濃度測定用のトレーサーとして適量の食塩を混じった。放出水の内部Froude数は、Baume型比重計を使って測定した比重と、放出流量と放出口面積で割って求めた放出流速から計算する。

放出水の濃度測定には電気化学計器製WB-31V型電導度計を用いて放出水中の塩分濃度を測定した。測定用セルには軸部の流れたるばす影響が電極部にはないようにピット管型のものを使用した。電極部の詳細をPHOTO-1に示す。濃度と電導度の関係は水槽水と同温にした放出原液を水槽水で希釈していき、あらかじめFIG-2のような検出曲線を描いておき実験後に得られた電導度と濃度に換算する。また放出水中に混じる食塩の量は、放出時の内部Froude数、水素口径比 R/D に依じた希釈率をAbramson, 林伊藤⁽⁴⁾などの式から求めておき、永動に達した時放出水濃度がFIG-2の直線部にのるように加減する。測定点はFIG-3に示すように水槽上の方角にチャンネルを渡し、このチャンネルをレールとして測定用セルを取り付けた台座が水平に移動できるようにしてある。水素方向はバーニヤ付のゲージを使って $1/20$ mmまで読みとることができる。

4. 水槽側壁の影響

濃度分布形状などを測定するにあたっては流れがほぼ定常状態になってから行なったが、これらの測定には長時間の測定時間を要し、その間に側壁に達した躍層が測定点に影響を及ぼさないように考慮した。FIG-4aは側壁からの反射によって躍層濃度が増加している例で、躍層下部の濃度増加が見られる。また水槽はFIG-3に示したような形状であるので、放出水が軸対称に拡がるのを経験を持ち、3方向に測定点を取り実験を行った。その結果をFIG-4bに示す。このような予備実験から $R=120$ cm程度まではほぼ軸対称に拡がることわかった。本実験の際にはこの各方向の値のはらつきから実験の良否を判断することにした。



5. 周囲水の密度変化の影響

本実験は一様な密度を持つ静止水域中に密度の小さい液体を放出する場合を想定している。しかし気温が水温よりも高い時には、周囲水は水深方向に密度変化を生じてしまう。使用した水槽は一辺注水を行なうと水の静止するまでにほぼ一昼夜を要する。この間に気温が高い場合には、水面近くに密度成層を生じることがある。この場合、放出水は鉛直浮上プリズム部分においてすでに数十倍程度の希釈がなされており、周囲水のわずかな密度成層が水平流領域での流れに大きな影響を与える。FIG-5aはその一例として、RUN-1とRUN-3と比較して示した。両者の濃度分布形状は大きく異なり、密度成層のある場合には躍層厚は非常に厚くなり、水面よりもかなり

下側に最高濃度を示す点が存在し水面下に溜った流れのようになっている。また希釈効果も成層のない場合よりも小さいことがわかる。FIG-5bは、その時の水温分布図で ΔT は放出口点の水温との温度差で、RUN-1は 0.1°C 、RUN-3は 1.7°C であった。

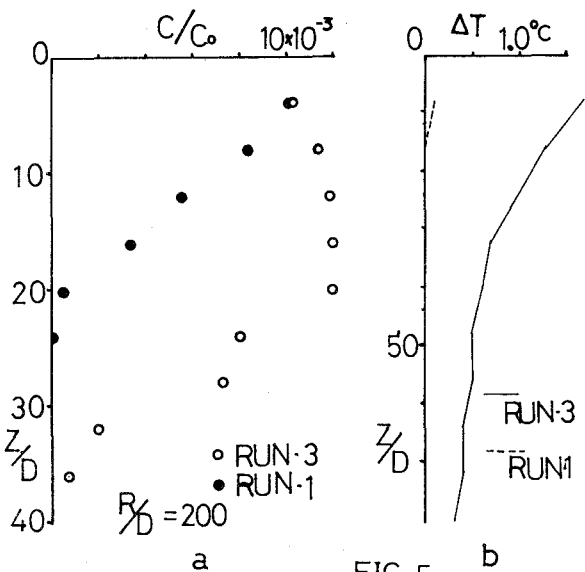


FIG-5

6. 濃度分布

濃度分布は水深方向には 0.5cm 間隔で測定した。水面付近では測定用セルの形状から、 Q よりも浅い部分の測定は困難である。FIG-6はRUN-4の各断面での濃度分布を描いたものである。浮上点直下では躍層厚は薄く、遠方に行くほど厚みが増大する。 $R/D=40$ と 80 の間では分布形状が大きく異なり、この区間で混合が行なわれているのがわかり、それによってトレーサーが下方に拡散しているのが顕著にあらわれている。この区間を通過してしまえば流れの分布形状はほぼ同様の形を保つようになり大きな変化は見られない。塩分濃度最高値は $R/D=160$ で最大となっているが図中の測点よりも水面に近い部分では浮上点に近いほど高濃度を示すであろう。これらの分布形状から、濃度輸送量は一定であることを考慮して流速と相関すると、浮上点近くでは非常に大きな流速を持ち、 $R/D=160$ 程度の所では急激に減速されているであろう。この後は流速は徐々に減少していると考えられる。FIG-7は濃度分布をもとにして等濃度線を描いたもので、 $R/D=100$ 前後に等濃度線の急曲が見られ内部渦水の存在が認められる。FIG-8は内部Froude

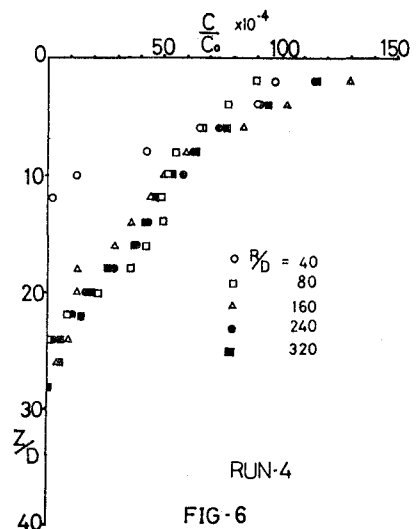


FIG-6

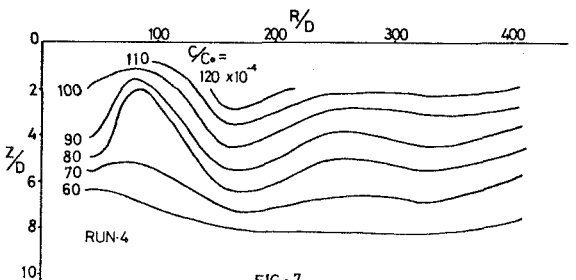
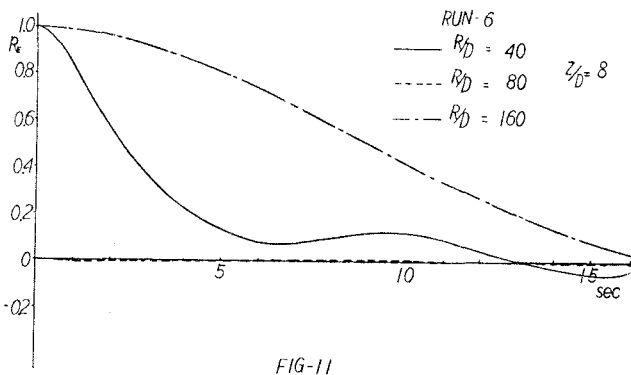
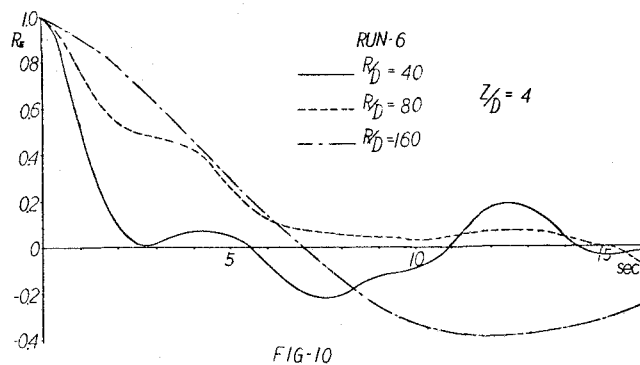
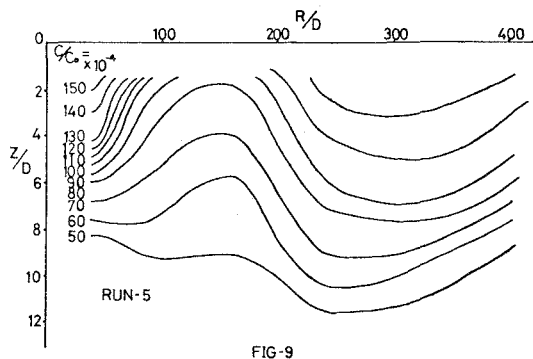
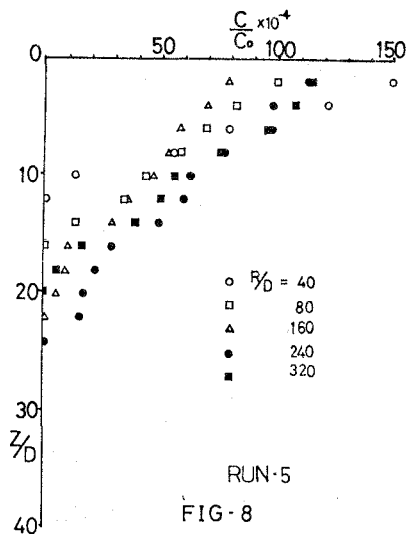


FIG-7



数を大きくして同様の実験を行なったもので、浮上点近辺での濃度値減り著しい池は半径方向の変位等前記実験と同様な傾向が見られる。FIG-9は等濃度線を描いたもので等濃度点より遠方に移動しているのがわかる。

7. 相関係数

濃度変動を取り扱った相関係数を求めたのがFIG-10, 11である。測定時間間隔は電導度計のタイムコンスタントと現象の後慢性を考えて1/4秒とした。浮上点近くでは相関係数は急に減少するが遠方では長周期の変動が存在する。また濃度変動に及ぼす流速変動の影響は水平方向の U よりも、鉛直方向 W の寄与が大であると考えられる。FIG-11, $Z/D=80$, $R/D=80$ の点

では相関係数は急激に0となり測定間隔1/4秒では拾い得ないほど高周波の乱れがあり、 W の非常に大きな場所では内部跳水領域にあたる所であろう。遠方では水速が大になると変動は長周期になり内部波動的な変動となってくる。右表に各点での乱れ強度 $\sqrt{\overline{w^2}}$ を示す。これらも乱れは遠方では小さく、浮上点近くでは大きいことがわかり、 $R/D=80$, $Z/D=80$ の点で乱れ強度が非常に大なのがある。

なお右に引用した実験の内部Froude数、水深口径比を示す。放出口径は0.25cmである。

参考文献 1) Ababian, F.: Jet diffusion in liquid of greater density, Jour. of the Hydraulics Division, Proc. A.S.C.E. vol. 86, No. HY.6, pp. 13, June 1960. 2) Frankel, R.J. and J.D. Cunniff: Turbulent mixing phenomena of ocean outfalls, Jour. of Sanitary Engineering Division, Proc. A.S.C.E., vol. 91, No. SA2, pp. 53-59, April 1965. 3) Lee, J.H., Jirka, G.H. and D.R.F. Hartleman: Stability and mixing of a vertical round buoyant jet in shallow water, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources Hydraulics, Department of Civil Engineering, M.I.T., Report, No. 195, November 1974. 4) 村桑造, 伊藤正樹, 池田佳子, 放出口径と水深口径比の関係について, 土木学会第19回水理講演会論文集, pp. 271-286, 1974

Z/D	R/D		
	40	80	160
4	0.626	0.437	0.049
8	1.534	9.551	0.095
12	1.766	0.351	0.166

RUN	Fr	H/D
1	28.2	148.0
2	9.4	152.8
3	31.1	154.0
4	21.0	155.2
5	78.2	156.0
6	12.6	154.8