

密度フルード数の小さなプリュームの混合希釈特性

大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
 大阪大学大学院 学生員 石田 悦一

1. はじめに ; 密度フルード数 F_{do} の小さなプリュームの研究は温排水の混合希釈過程の解明を目的に従来から数多く行われてきた。もちろん噴流に関する研究も数多い。しかしながら、浮力効果の卓越する F_{do} 数の小さなプリュームに関する知見は得られていない。 F_{do} 数の小さなプリュームは下水処理水を海域に放流するような密度差の大きい場合や水質差をとれなくて低流速で放流する場合等に見られる。近年の下水道の整備にとっても、この種の施設は増大する傾向にあり、放流設備の合理的な設計が必要とする。そこで、本研究では浅水域に鉛直上向きに放出された F_{do} 数の小さな軸対称プリュームの混合希釈特性を実験的に明らかにする。

2. 実験 ; 幅 $3m$ 、長さ $4m$ 、高さ $0.5m$ の拡散水槽に炭水を満たし、口径 $5cm$ 、 $2.5cm$ の放流口から温度差プリュームを鉛直上向きに放出する実験を行った。実験諸元は表-1に示す。温度は26個のサーミスターを用いて多点同時計測を行った。また、プリューム軸については小型プロベラ流速計を併用して流程方向速度も測定した。サーミスターの特定数は0.4秒である。

表1 実験諸元

Run No.	u_0 (cm/s)	T_0 (°C)	T_1 (°C)	$\Delta\rho$	F_{do}	Re_0
A-1	7.6	22.9	61.2	0.0148	0.889	8090
A-2	14.0	23.0	63.2	0.0159	1.571	15250
A-3	34.3	23.3	61.6	0.0148	3.966	36120
A-4	7.6	23.5	42.4	0.0065	1.348	6080
A-5	14.0	23.3	42.6	0.0065	2.558	11540
A-6	34.1	23.3	42.5	0.0065	6.015	27150
A-7	7.6	24.4	71.2	0.0200	0.763	9390
A-8	14.0	25.4	71.4	0.0200	1.399	17240
B-1	12.1	9.4	63.5	0.0184	1.813	6680
B-2	38.9	9.1	50.3	0.0119	7.716	17620
B-3	53.9	9.1	30.4	0.0043	16.660	16950

3. 噴流断面内温度特性 ; Chen-Rodi¹⁾によれば、鉛直上向きプリュームは流動とともに噴流的な挙動から遷移過程を経てプリュームの挙動を呈する。そこで、各領域の代表的な断面で平均温度と相対乱れ強さを測定して示したのが図-1, 2である。横軸は軸上温度の $1/2$ となる半値半幅で無次元表示した距離を示す。平均温度分布は各領域ともにガウス形を示しており、相異点はみあたらないが、温度変動はそれぞれ異った分布を示す。各領域とも乱れ強さは軸上で最小値をとり、 $y/y_{0.5} \approx 2.3$ の外縁部で最大値をとる傾向にあるが、その絶対値はプリューム領域の方が噴流領域よりも最小値、最大値ともに大きくなる。また、最大値付近の分布は、プリューム領域で非尖塔的に傾向がある。平均流速もこれに対応してプリューム領域で増大していることを考え合えると、温度変動には可視観測で観られるプリューム外縁の“ゆらぎ”の影響を顕著に反映しているものと推察できる。

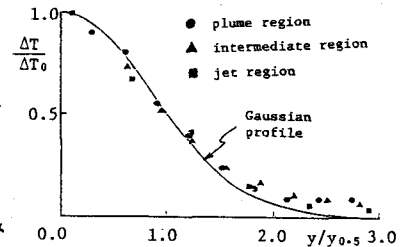


図1 断面内温度分布

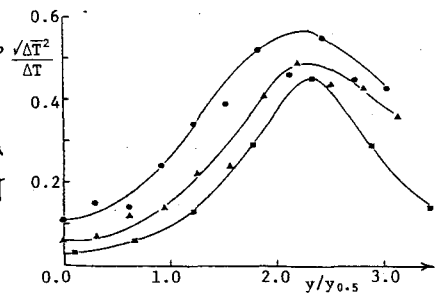


図2 断面内相対乱れ強さ分布

4. 軸上での温度、速度の遠減特性；

図3,4はプリューム軸上の温度ならびに速度の遠減特性を示す。図中の実線はChen-Rodiにより次元解析から求められた半経験式であり、比較のために示した。今回得られた実験結果によれば、放流口から十分離れた無次元距離 X_* においては図中の実線に準拠することになる。 $0.5 < X_* < 5.0$ の遷移領域では $T_* \propto X_*^{-1/2}$, $U_* \propto X_*^{-1/2}$, $5.0 < X_*$ のプリューム領域では $T_* \propto X_*^{-1/3}$, $U_* \propto X_*^{-1/3}$ のように、実験値は各領域毎に一本の直線にプロットされるようである。放流口近傍においては T_* , U_* ともに理論直線にのらず小さく値を示す。その原因としてはChen-Rodiの半経験式は自己相似の仮定の下に展開された理論であり、流れの形成領域である放流口近傍で自己相似が成立しないためと考えられる。とくに、低 F_{do} 数の場合には流れが十分に確立した段階で即座にプリューム的挙動を呈する場合が多く、 $F_{do}=16.66$ のプリュームにおいてさえも噴流的挙動を示す範囲は非常に小さかった。各 F_{do} 数別の温度遠減特性に注目すると、初期流速あるいは初期温度差が異なる場合においても、同じ F_{do} 数では同じ曲線に載って遠減することがわかる。また、水深と放流口径の比 H/b が10, 20と有限の水域においては F_{do} 数の小さい程プリューム形態に移行する距離が短く、水表面近傍での希釈効果が大きくなる。同様に、同じ F_{do} 数のプリュームに対しては H/b が大きい程水理学的な流程は長くなり希釈効果が高くなる。Run Eに着目してみれば水表面近くの流れ遠減 U_* はいづれの場合にも半経験式より小さめにずれる傾向にある。これは、水表面の影響のためであると推察されるが、温度遠減 T_* にはそれほどの差異は認められない。運動量とスカラー量との保存性の違いが現われており、興味深い。

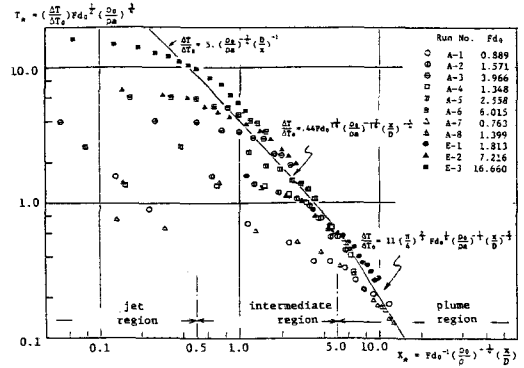


図3 中心軸上の温度の遠減特性

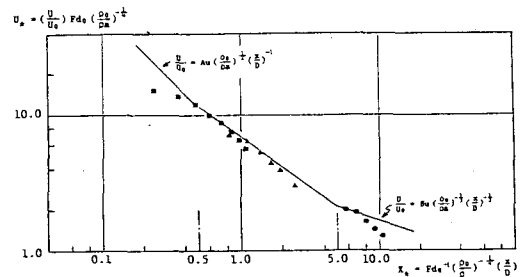


図4 中心軸上の流速の遠減特性

5. プリュームの拡がり幅と成層厚さ； 図5は周囲水と 0.5°C 差の等温度線より求めた $H/b=10$ での拡がり幅 B/D の流程方向変化と成層厚さを示す。 F_{do} が4以下の拡がり率は F_{do} 数に無関係にほぼ一定で約0.17の値を示すが、 F_{do} 数の大きいRun A-3では $B/D=6$ において急増大する。これは水表面の影響を反映している。成層厚さは F_{do} 数に比例して増大し、 $B/D=3\sim5$ の範囲とより有限水深水域での実験における水表面の影響の重要性を示す。

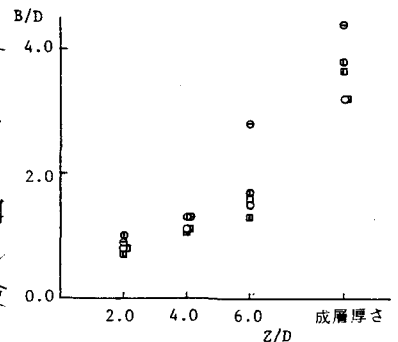


図5 拡がり幅と成層厚さ $\Delta T=0.5^\circ\text{C}$

〔参考文献〕 1) C.J.Chen & Rodi : Pergamon Press (1976)