

水平放出プルームの径路と拡散能について

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 ○柴垣 雄一

1. まえがき : 臨海に設置する発電施設からの温排水や下水処理場からの処理水の放流に際して、その影響範囲の大幅な縮小をめざして、従来の表層放流型式から水中放流型式への転換が試みられる傾向にある。これは、拡散能を高揚させる目的で、噴流形態による強制混合に加えて、密度差に原因する浮力によるプルーム形態の混合希釈を促進させるためである。しかしながら、水中放流されたプルームの挙動は水理学的に複雑であり、とくに水表面および海底面の影響を受ける浅水域での挙動については有益な知見がほとんどないのが実情である。本研究では水中放流されたプルームの挙動と拡散能を実験的に明らかにするとともに、積分モデルの展開により数値解析からも考察をおこなった。

2. 実験・解析 : 実験は $4\text{m} \times 3\text{m} \times 0.5\text{m}$ の水槽の底面から温度差プルームを口径 2.5cm の円管から水平噴出しておこない、プルーム径路、温度分布ならびに軸上希釈率を求めた。初期密度フルード数 F_{d0} の範囲は 1.06 から 6.08 である。数値解析は保存則にしたがい、断面内速度および温度分布の相似形の仮定の下にプルーム軸に沿って積分モデルを展開しておこなった。数値解に影響を与える要因として(i)拡散幅比、(ii)連行係数、(iii)初期条件の設定が挙げられるが、系統だったパラメトリック解析と実験結果との対応より解析の整合度を高めた。

3. 径路の特性 : 図1, 2は径路に関する実験結果と解析結果の比較を示す。図1はSyrkin, CederwallおよびAnwarにより得られたもので、いずれも水深と放流口径の比 H/D の大きな水槽における高密度フルード数の実験結果である。図2は今回の $H/D=20$ での実験結果である。両図より、プルームは、慣性力の卓越する放流口近くで水平方向に移動した後に、次第に浮力が慣性力に比して支配的になり、この浮力の働きで上方へ運ばれ水表面に達するまで上昇することがわかる。 F_{d0} の小さなプルームは放流直後に鉛直上方へ上昇してゆく傾向がある。これは、慣性力支配の領域が非常に小さく、放流直後に浮力支配に変わりプルームは上昇するものと考えられる。

数値解析結果は全体的に実験値の傾向をよく説明し、ほぼ妥当な結果を示しているが、図2の水表面近傍では両者の間にわずかの偏りがみられる。すなわち、水表面近くの

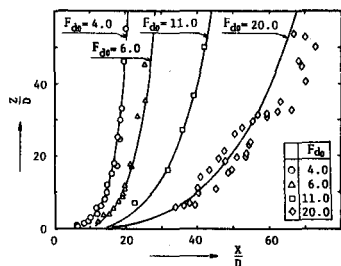


図1 無限水域での径路

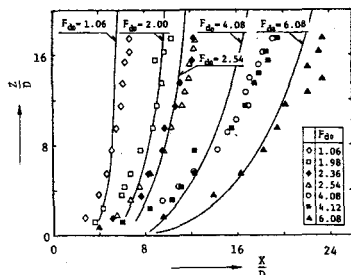


図2 有限水域での径路

実験値は $z/D = 5 \sim 12$ の径路の延長上にプロットされるのに対し、解析結果はより鉛直上向きに上昇する傾向を示している。この原因の一つに水表面の存在が考えられよう。有限水深であるために水表面に到達した放流水束は表層近くで水平方向に拡がり、密度成層を形成する。この結果、水表面近くでは周囲環境水の温度上昇がおこり、相対的な浮力効果が減少するものと考えられる。そのために、水理実験でのプリュームの鉛直上昇速度は鈍り、径路は水平方向に長くなる。この傾向は高密度フルード数になるほど大きい。

つぎに、プリュームの径路を Abraham による無次元表示に基づいて書き換えたものが図3である。図中の実線は片野²⁾による実験式を示す。同図より F_{d0} の小さなプリュームにおいても一つの直線でほぼ近似でき、 F_{d0} が $3.5 \sim 70$ を対象とした片野の実験式 $z/D = 0.0493 (x/D)^3 F_{d0}^{-2}$ で表現できる。これより、径路は F_{d0} のみに依存することがわかる。

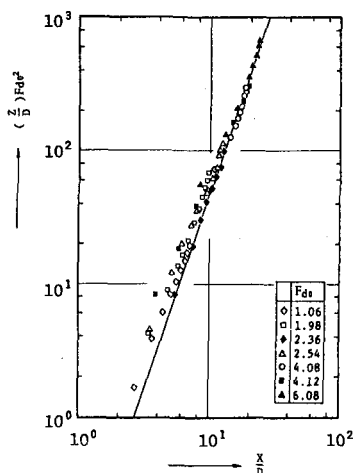


図3 プリュームの径路

4. 混合希釈特性 : 水平放流されたプリューム軸に沿った径路長 l を流程距離と考えて、希釈率 $S = \Delta T / \Delta T_0$ と径路の関係を Chen-Rodi³⁾ による無次元表示にしたがって示したのが図4である。多少のばらつきは認められるものの、彼らの示した次元解析結果、すなわち中間領域では $T_x \propto X_*^{-5/4}$ 、プリューム領域では $T_x \propto X_*^{-5/3}$ で近似できるようである。このことは希釈効果に及ぼす径路長の影響を示しており、興味深い。

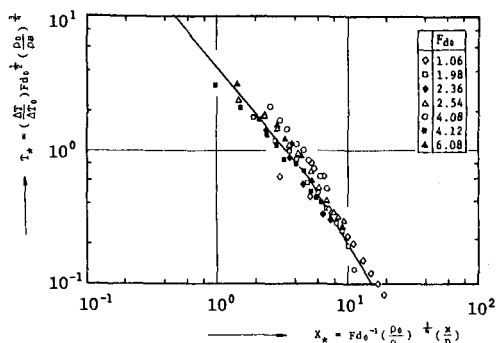


図4 中心軸上の温度の遞減特性

また、図5は希釈率 S と水深 z/D の関係を示したもので、実線は解析結果を示す。放流口近くでは F_{d0} の大きなプリュームの希釈率が比較的大きいが、ある水深からその傾向は逆転することになる。この傾向は解析結果においても同様である。

つまり慣性力支配領域と浮力支配領域とでは混合希釈過程が異なることを示しており、浮力が慣性力より支配的となる領域では周囲流体塊の連行が大きく、 F_{d0} の小さい程単位領域での希釈率が大きくなるものと推定される。このように有限水域での水中放流の場合には、 H/D に対して希釈効果を最大にする最適の F_{d0} が存在するものと考えられ、 H/D に応じて径路を長くとする噴流形態で放出するか、また希釈効果の優れたプリューム形態で放出するかの選択が必要となろう。

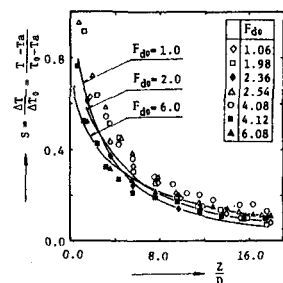


図5 中心軸上の希釈率

【参考文献】 1) G. Abraham: A. S. C. E., 86, HY6, 1960. 2) 片野 等: 電力中央研究所報告 376012, 1977. 3) C. J. Chen & R. Rodi: Pergamon Press, 1976.