

電力中央研究所 正員 ○片野尚明
同 上 正員 角湯正剛
同 上 正員 和田 明

1. まえがき 温排水による水域の水温上昇範囲を低減させる対策の一つとして、水中放流管による深層放流方式が考えられる。この方式は水底面近傍に放流管を設置し、水平あるいは鉛直方向に噴流状に温排水を放出させることにより、周囲水との混合によって温排水が水面に到達するまでの過程で、水温を低下させることをねらうものである。水中放流管の機能的な設計指針を樹立するためには、水域における流れや密度成層等の物理的条件に対する種々の放水条件での混合過程が把握されなければならない。本研究においては、第一段階として一般的な密度を有する静止水域を対象として、温排水を用いた基礎水理実験によって単一水平放流管に関する拡散特性、二本および本の水平放流管による噴流間の相互干渉について検討したものである。

2. 実験装置および記号の説明 この実験に用いた水槽は長さ 5.4 m、巾 3.6 m、高さ 1.5 m の規模を有し、2 面は透明ガラス板であり、他の 2 面には可動越流ゲートを設けてある。実験は水槽内に設けてある放流管(直径 2 cm、3.24 cm、5 cm の 3 種類)から周囲水温より約 10~15℃ 高い温排水を噴出させて、水深、ノズル径、流量等をパラメータにして行なった。噴流断面内の水温分布の測定にはサーミスタ型水温計を用いた。

水平重力噴流の特性を表現する記号は以下の通りである(図-1 参照)。

D: ノズル口径, x: ノズル端からの水平距離, y: ノズル中心軸からの鉛直距離, H: 水深, h_w: 水面に到達した後の水温成層の厚さ, s: 噴流軸に沿ったノズル端からの距離, B: 噴流広がり巾, u₀: ノズル出口の放出流速, u_m: 噴流中心軸の流速, u_s: 水面における水平流速, ρ₀, T₀: 放出水の密度と水温, ρ_m, T_m: 噴流中心軸の密度と水温, ρ_e, T_e: 周囲水の密度と水温, Δρ₀ = ρ_e - ρ₀: 周囲水と放出水との密度差。

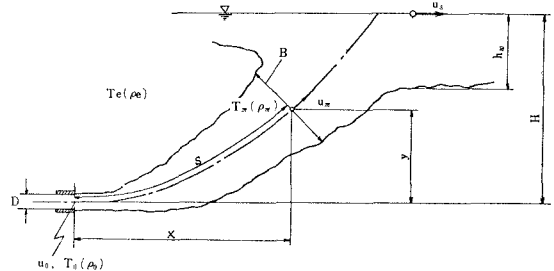


図-1 水平重力噴流の模式図と記号の説明図

水平重力噴流の混合過程を支配する重要なパラメータとして次式で表わされる放水口での内部フルード数がある。

$$Fr_0 = \frac{u_0}{\sqrt{g \frac{\Delta \rho_0}{\rho_0}}} \quad (1)$$

また、水温低減比(T_c)および稀釈倍率(S)は次の定義に従うものとする。

$$T_c = \frac{T_m - T_e}{T_0 - T_e} = \frac{1}{S} \quad (2)$$

3. 単一水平放流管による温排水流の拡散特性

(1) 噴流中心軸における水温低

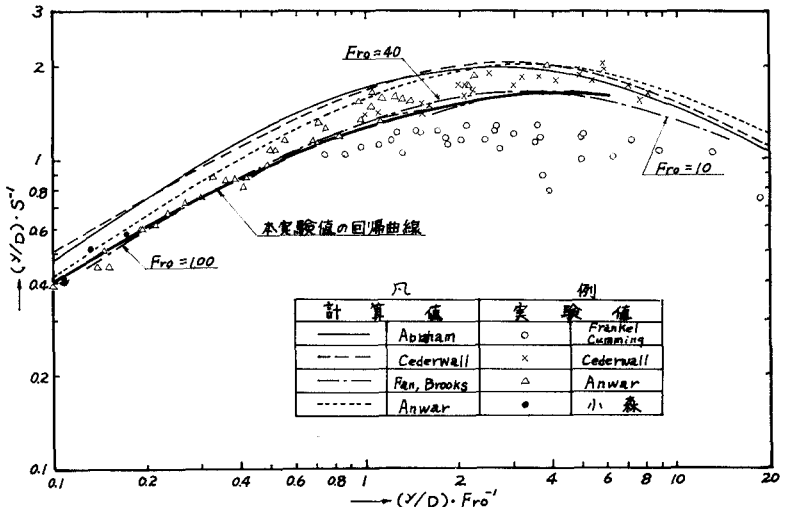


図-2 水平重力噴流の稀釈特性に関する既往の結果との比較

減比および噴流中心軸の軌跡：一様な密度を有する流体中へ、水平方向に噴流状態で放流された密度の小さい温水は浮力の作用によって上昇し、噴流中心軸は曲線を描く。噴流軸の曲率は放出口における内部フルード数 Fr_o の大きさによって左右される。実験は、 $H/D = 6 \sim 40$ 、 $Fr_o = 3.5 \sim 70$ の広い範囲にわたって実施し、その結果に基づいて噴流中心軸に沿う水温低減比（稀釈倍率）と噴流の軌跡に関する実験式を求めた。これらの結果は既往の研究結果と比較しても良好な一致を見る。図-2は噴流中心軸に沿う稀釈倍率に関する本実験結果と既往の研究結果を比較したものであり、同様に図-3は噴流中心軸の軌跡に関して比較したものである。

(2) 噴流の広がり中および水面に到達した後の水温成層の厚み：噴流中心軸に直角な断面の水温分布形から定義される噴流の広がり中は、軌跡の長さ(s)に対して約 $1/2.5$ の割合で広がることを見出した。また、温水が水面に到達した後の厚みは放出口での内部フルード数と水温に依存し、それぞれが大きくなる程水温成層の厚みは増大する傾向にある。

(3) 水平噴流拡散におよぼす水底面の影響：放流管を水底に接して放流させた場合と海底からある高さで放流させた場合を比較した結果、水温低減効果については前者の方がやや有利な傾向が見出された。一方、水底に接して放流させた場合の噴流の軌跡は水平方向に引き延ばされ、噴流の浮上点は放水位置に対してさらに遠方に移動することが見出された。

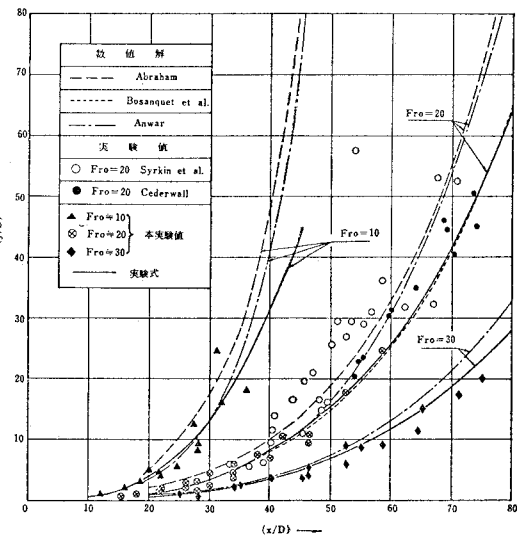


図-3 軌跡に関する既往の結果との比較

4. 2本および3本の水平放流管による噴流間の相互干渉

水平放流管を平行に2本および3本並べた場合に対する噴流間の相互干渉の程度を明らかにするために、 $H/D = 6 \sim 25$ 、 $Fr_o = 5 \sim 50$ 、放流管間隔(L)と放流管口径との比 $L/D = 5 \sim 25$ の範囲について実験を行なった。噴流間で相互干渉を生じない限界の放流管間隔は、2本の場合より3本の場合の方が大きくなり、その値は Fr_o と H/D に依存する。ここで、相互干渉の程度は2本の場合においてはどちらか片方、3本の場合は中央の噴流中心軸における水温低減比と先に示した単一の場合の水温低減比との割合で評価する。図-4、5はそれぞれ2本および3本の噴流における相互干渉の程度の一例を示したものである。2本の場合の相互干渉で特徴的なことは、単一の噴流中心軸の温度低減比より小さくなる領域がかなりの範囲で存在することである。また、3本の噴流間における相互干渉の程度はほぼ噴流広がり中から推定される干渉限界と良好一致をみる。

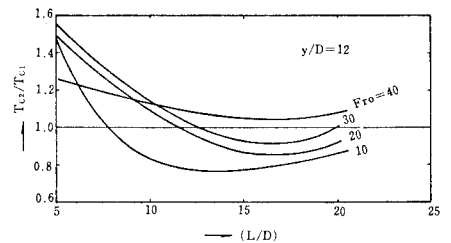


図-4 2本の場合の相互干渉の割合

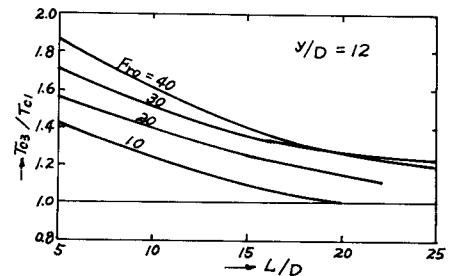


図-5 3本の場合の相互干渉の割合

5. あとがき 本研究に当たって、実験および実験データ整理等に関して電力中央研究所の河村博英氏と鹿児島建設の須藤英明氏に全面的な協力をいただいたことを記す。なお、現在往復流発生水槽を用いて流れにおける温水噴流の拡散実験を実施中である。これらの実験結果から流れと放出向きを組み合わせた際の種々の拡散特性を検討する予定である。