

1. よえがき

火力・原子力発電所からの温排水は、現在のところ表層放流方式が主であるが、最近、環境保全の立場から温排水の影響をなるべく狭い範囲におさえようという要請が生じてきた。この対策の一つとして考えられているのが水中拡散放流方式である。これは水底近くに放流管を設置し、高速流で放流することによりまわりの冷たい水との混合をうながし、温排水が水面に到達するまでの過程での冷却効果を期待するものである。このような方式は、どんな立地条件の発電所にも適用できるというものではなく、発電所の設置される地点の地形、海域特性、放水量等充分考慮して決定されなければならない。本報告においては、研究対象地点を七尾火力発電所にもとめて、想定される海象条件のもとに、放流管の径、数、間隔、放流流速等を因子として混合稀釈特性を検討した。

2. 実験方法・実験条件

放流管は水平放流管とし、海面下5mのところに岸壁に直角に10m突き出した。前面水深は岸壁より沖合150mまでは7mであり、それより沖側へは1/10程度の勾配で深くなっている。実験縮尺は1/100とし、水温は主としてサーミスター水温計で測定したが、水温測定精度が悪くなる真夏時にはフローレッシェンによる濃度測定から水温を算定した。水温の測定点は50m間隔の格子点であり、測定水深は0.5mである。なお、放流管の前面付近は随時測定点を増し精度をあげた。

3. 従来の研究結果

図-1は Abraham, Fan, Anwar 等による研究結果である。これは水中に設置された1本の水平放流管で放流した場合、プリュームが水面に達した時の水温に關しての理論式の計算結果であり、ここに、 y : 水平放流管の設置水深、 D : 管径、 S_0 : 濃度比(温度比)、 F_{10} : 内部フルード数 $F_{10} = u_0 / \sqrt{(\Delta\rho/\rho_0)gD}$ 、 u_0 : 管出口の放流速、 ρ_0 : 管出口の放出水の密度、 $\Delta\rho$: 管出口での放出水と周囲流体の密度差、 g : 重力の加速度、である。

4. 実験結果

実験は、まず水中噴流の重力拡散に關する既往の研究結果との比較検証を行なうために、単一管を用いて検討した。放出流量を一定とし、放出管径を変えることによって内部フルード数 F_{10} を変化させ、放出水が水面に浮上するまでの水温低減の経過と、浮上点での環境水温からの水温上昇値を検討した結果、既往の研究結果にもとづく計算値とよく一致することが認められた。表-1に実験値と従来の理論研究結果による計算値とを比較して示した。両者は0.1°C程度の差でまわめてよい一致を示している。また、その時の水温上昇値分布は図-2のようになり、流量一定ならば内部フルード数が大きいほど水温低下率がよいことがわかる。

次に、一定の流量を一定流速で1本の放水管から出す場合と3本にわけて出す場合、さらに3本の管の間隔を変えた場合の拡散状況

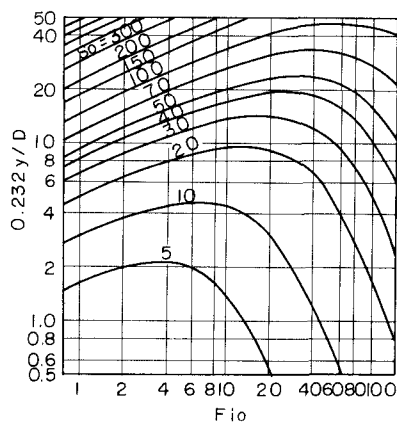


図-1 水平プリュームの稀釈特性
(Abraham らによる理論計算値)

を比較検討した。その結果、図-3に示すように、水面における水温上昇面積は、3本の放水管の間隔が大きくなるほど徐々に小さくなることが判明した。これは、管間隔が大きくなるにつれ、管と管との間から周囲の冷たい水がひきこまれて放出水に加入するようになり、混合稀釈効果がよくなるためである。また、図からわかるように、管が中央に集まるほど放流による流れは遠くまで達するようになり、放流による場の乱れが大きくなる傾向にある。しかしながら、管間隔を広げすぎるのは経済的な観点からはあまり好ましいことではないので、水温低下と放流による場の乱れを考慮して総合的に決定する必要がある。

放出海域の流動が拡散に与える影響を調べるために、場に流れのない静止状態の場合、恒流(8 cm/sec)がある場合、現地海域で認められているかなり速い流れ(40 cm/sec程度)がある場合を想定して実験を行なった結果、流れのない場合が場の乱れが小さいため最も大きな水温上昇範囲を与えることが判明した。

放水管の管径を4通り(1.1 m、1.3 m、1.5 mおよび1.8 m)【流量一定】に変えて実験したところ、管径が小さいほど、すなわち放出流速が大きいほど、重力拡散による混合稀釈効果が大きく、水温の低減が期待できるという結論が得られた。これは、放出流速が大きいほど周囲の冷たい水との混合が強くなるためと考えられる。

放水管の方向は、管軸と平行に配置するよりは、3本の放水管のうちの両外側の管をやや外向きに開いて配置した方が管と管との間から冷たい水をひきこむため、混合稀釈効果が一層よくなることがわかった。ただし、前面の海底地形が微妙に影響するので、発電所地奥ごとに模型実験により放水管の最適の配列角度を決める必要がある。

比較実験として、従来の方式である表層放流方式(放出口 40 m幅、2.2 m深、 $U_0 = 2.5$ cm/sec、 $F_{10} = 1.26$)による結果を図-3に合わせて示した。これからわかるように、このような海域条件をもつ地奥においては、水中拡散放流方式が明らかに効果的だと判断される。

表-1 水平プリュームが水面に達した時の水温上昇値の計算値と実験値の比較

D (m)	U_0 (m/s)	F_{10}	y/D	$0.232 \frac{y}{D}$	S_0	水温上昇値 (°C)	
						計算値	実験値
1.1	7.72	55.3	4.55	1.05	12.5	0.52	0.60
1.3	5.52	36.4	3.85	0.893	8.0	0.81	0.70
1.5	4.15	25.5	3.33	0.773	7.2	0.90	1.03
1.8	2.88	16.1	2.78	0.645	4.7	1.38	1.35

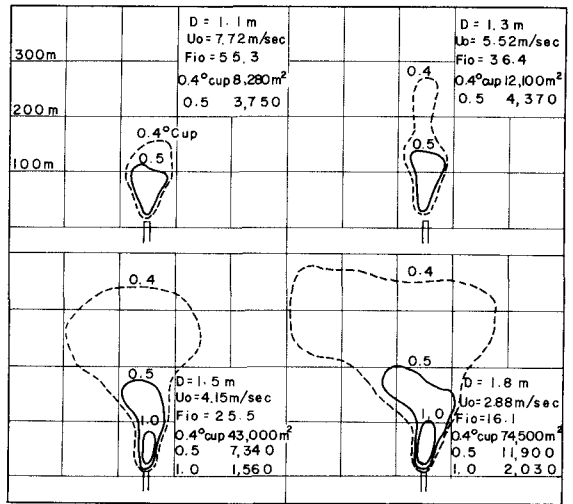


図-2 内部フルード数を変えた場合の水温上昇値分布 (流量: $7.33 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、放水温度: 環境水温 + 6.5°C)

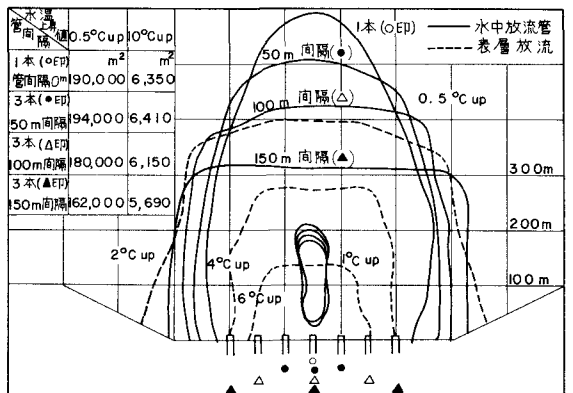


図-3 管間隔を変えた場合の影響 [流量: $2.2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、放出流速: 5.52 m/sec 、管径(1本の場合: 2.2 m 、3本の場合: 1.3 m)、放水温度: 環境水温 + 6.5°C]