

II-211 表面温排水の拡がりに関する研究

中部大学工学部 正員 松梨順三郎, 五洋建設 正員○梯 浩一郎,
日本通運 大概 秀史

火力、原子力発電所等から海域へ放出される温排水による水温上昇は、周辺海域の環境に対して種々の影響を及ぼすものと懸念され、いわゆる熱汚染の問題として近年社会的な関心のまとなっている。この熱汚染問題を解決するための中心課題と考えられる温排水拡散現象の解明のための1ステップとして水理模型実験を実施した。対象領域は長い水路長をもつ沈殿池型モデルを用い、下流壁の影響を受けることの少ない範囲における温排水及び周囲水の挙動特性、および水温変化の特性を観察した。なお温排水は表面放流とした。

1. 設定モデルと実験方法

図-1に設定したモデルを示す。このモデルでは水深14 cmの水槽の $X = 425\text{ cm}$ の地点に越流板を設けており、初期水が静止の状態では貯留されている。この水槽の表面へ、初期水と 20°C の差をもった温水が流入する。このときの水槽内での流況と水温変化に注目している。なお実験は温水流入流量が $200\text{ cm}^3/\text{s}$ の場合と $100\text{ cm}^3/\text{s}$ の場合の2つのパターンで行っている。その他の実験条件を表-1に示す。

流況は、水素気泡法を用いて流れを可視化して観察し、ビデオカメラで撮影した。なお測定断面は $X = 0, 20, 40, 70, 100, 150, 200, 250, 300, 350$ および 400 cm の各断面とした。水温については、 $X = 20, 70, 150, 250$ および 350 cm の各断面について、サーミスタ温度計を用いて30秒間隔で測定した。

2. 実験結果と考察

まず流況観察結果として、定常後の全測定断面における流速分布図を図-2に示す。この図から次のようなことがわかる。RUN-1, 2に共通して、温水が初期水を連行加入することにより温水層は徐々に拡がるが、連行加入量は下流方向へ進むに従って減少し、 $X = 150\text{ cm}$ の地点でほぼそれはなくなり等流のような状態になる。またRUN-1の場合は、連行加入による温水層の拡がりが大きく、温水層はほぼ水路底面まで達しているのに対して、RUN-2の場合は、温水層の拡がり小さく、 $Y = 5\text{ cm}$ より下部の領域では、定常後も流れがほとんどない状態である。さらに流速分布が定常状態に達するまでの時間は、RUN-1の場合は約90分、RUN-2の場合は約240分とかなり差があった。これらは、温水の流入流速の違いに基づく連行加入量の違いに起因している。

次に温度分布測定結果として、水槽内全体の温度分布図を図-3、図-4に示す。図-3はRUN-1の場合で実験開始後10分及び90分、図-4はRUN-2の場合で実験開始後60分及び6時間での温度分布を示す。なおこれらの図中の温度の値は、初期水水温からの上昇温度である。これらの図によると、等温線はほぼ水平に層を成しており、時間の経過とともに表層から底部へと水温が上昇することがわかる。RUN-1とRUN-2を比較すると、RUN-1の場合は、全領域で温度がほぼ一様な状態で定常に達しているのに対し、RUN-2の場合は、底面付近で全領

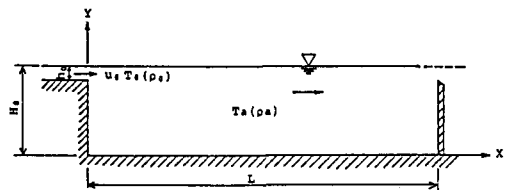


図-1 対象領域と座標系

表-1 実験条件

	RUN-1	RUN-2
水槽全長 L (cm)	425.0	
水路幅 B (cm)	12.5	
水槽内水深 H (cm)	14.0	
流入部水深 h (cm)	2.0	
流入水流量 Q (cm^3/s)	200.0	100.0
流入水平平均流速 U (cm/s)	8.0	4.0
水温差 $T_w - T_o$ ($^\circ\text{C}$)	20.0	

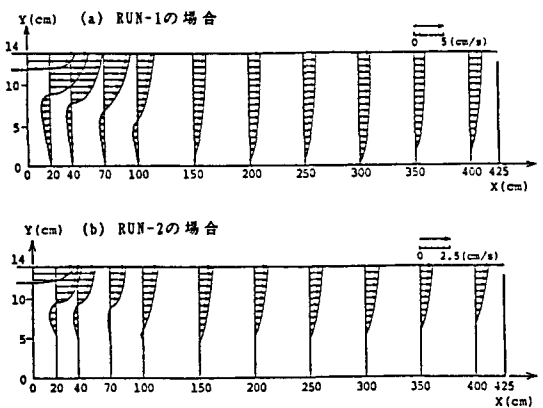


図-2 定常後の流速分布図

域にわたり水平な温度成層を成して定常に達している。また温度分布が定常状態に達するまでに要する時間は、RUN-1の場合は約90分で流速分布が定常になるまでに要する時間に一致しているのに対し、RUN-2の場合は約6時間で、流速分布が定常になるまでの時間に比べ、2時間近く長い時間を要している。これらの結果は図-2の流速分布図からも理解できる。これらのことから水槽内の熱量の輸送は、熱伝導よりも対流が寄与するところが大きいことがわかる。

3. 数値解析

数値解析では陽解法の適用を試み、その適用性を検討した。基礎方程式は層流モデルとし、次の様な連続の式(1)、X,Y方向の運動方程式(2)、(3)およびエネルギー保存の式(4)から成っている。

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + c^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} = - \frac{\partial \psi}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} = \alpha \left(\frac{T - T_a}{T_a} \right) g - \frac{\partial \psi}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

ここにu、vは流速、Tは温度、 ϕ は完全静水圧からの変動圧を環境密度 ρ_a で除したものである。さらにcは音速、 ν は動粘性係数、 T_a は環境温度、 λ は熱拡散率、 α は体積膨張係数の無次元量を表す。この基礎方程式を空間方向にGalerkin有限要素法を用いて離散化し、時間方向には陽解法の一つであるRalston Runge-Kutta法を用いた。連続の式には音速cを考慮し、いわゆる音速法を採用した⁽¹⁾。なお計算では水路長を300cmとし、10℃の初期水に30℃の温水が流入するものとした。図-5は温水流入流速が4cm/sの場合で、時間ステップ Δt を0.001秒にとった場合の $t=20, 60, 90$ 秒時点での温度分布図である。この図から水面付近で温度がほぼ水平に層を成しながら、流れに沿って徐々に熱が下流に輸送されていることがわかる。しかし、水面付近で温度の高い領域と低い領域が交互に現れ、非常に複雑な分布になっている。現時点での数値計算は安定性などの点で不十分であり、上記の結果の現象との対比などは今後の課題である。

4. おわりに

実験では表層から放流された温水及び周囲水の1次的な流れの挙動、またその流れに支配された水温変化の特性を観察できた。一方、数値解析ではこのモデルに音速法、陽解法などを用いたが、十分な結果をうるに至らなかった。

参考文献 (1)川原睦人著 "有限要素法流体解析", 日科技連, 1985

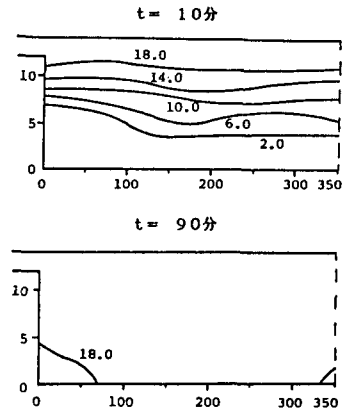


図-3 温度分布図 (RUN-1)
(図中単位 °C および cm)

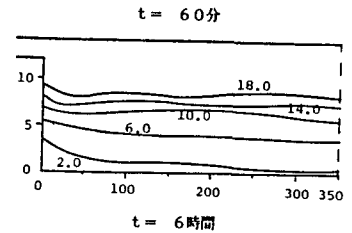


図-4 温度分布図 (RUN-2)
(図中単位 °C および cm)

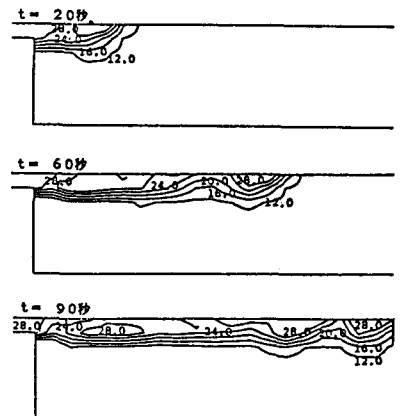


図-5 温度分布図 (RUN-2-b)
(図中単位 °C)