

II-211

温排水の表面水温分布の可視化

東北大学大学院 学生員 ○高 飛

東北大学工学部 正 員 山路弘人

東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1、はじめに

静止表層に放出された温排水は密度流として三次元的に複雑な挙動を示す。従来、温排水拡散の研究は平均的諸量をもとに解析され、渦動粘性係数や渦動拡散係数を適当に仮定したり、物理的根拠の明白でない実験式を用いるなど曖昧な点が多かった。これは技術上の困難さから乱れ特性などの測定が十分になされなかったためと思われる。近年の計測技術の進歩とともに乱流変動も含めた計測が可能となり、レーザードップラー流速計による乱流計測も行われつつある。しかし、温度変動の計測の実験が数少なく、その変動や拡散過程は十分に理解されていないのが実状である。そこで、本研究では赤外線カメラによる表面温度計測と可視化法を実施し、温排水拡散の表面温度分布について実験的に検討を行った。

2、実験装置と方法

実験は、図-1に示すような長さ200cm、幅45cm、深さ45cmの水槽に、 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ の放出口から表層に流れ出す三次元密度噴流を対象に行った。放出口における水理諸量は、流速 $U_0=8.5\text{--}28.3 \text{ cm/s}$ 、温度差 $\Delta T_0=13.1\text{--}25.6^\circ\text{C}$ 、密度フルード数 $F_{d0}=3.25\text{--}13.4$ の範囲である。図-1に示すように、水槽の上方より、赤外線カメラ（TVS-4300）で放出口より下流35cmまで、幅約20cmの水表面を可視化し、テレビでモニターしながら、ビデオに録画した。さらに、温度変化の絶対値を把握するため、数地点にデジタル温度計（D110）を入れて、表層温度を測定した。

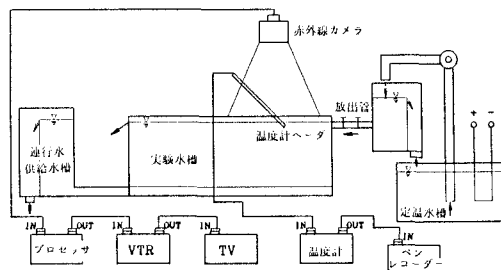
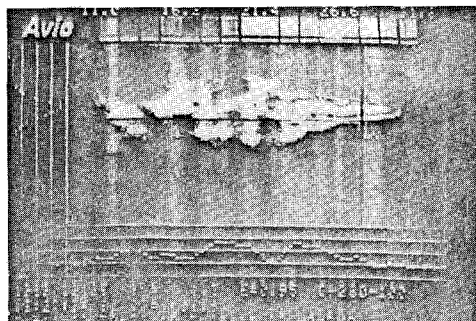


図-1

写真は、赤外線カメラで撮影した、水表面温度分布画像の例である。写真の上部に、カラー・コード・バー16階調の各色と温度との対応が示されている。一秒あたり約30枚のカラー画像を画像入力装置で読み取り、数値データに変換した。各画素の色は、赤(R)と緑(G)及び青(B)に分解される(R,G,B各8ビット)。さらに、それぞれの色の濃淡は256階調に分けられ、0~255の整数値で表される。



写真

図-2にはカラー・コード・バーの画素のR,G,B値と温度との対応を調べたものである。画像中の任意の点Pでの画素値を R_p, G_p, B_p とし、ある温度 T を想定すると、図-2の関係から一組の $[R, G, B]$ の組合せが与えられる。これと、P点での $[R_p, G_p, B_p]$ との残差二乗和 $[R-R_p]^2 + [G-G_p]^2 + [B-B_p]^2$ をもとめ、この値を最小にする温度が点Pでの温度である。

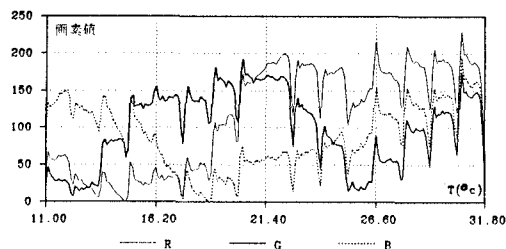


図-2

3、実験結果

①、温度分布

図-3は、画像処理によるある瞬間の温度分布の例である。図中の太い線は水温に関する中心軸である。

$X < 12.0 \text{ cm}$ の範囲においては、温度中心軸は位置のズレが小さく、また温度分布は中心線に関してほぼ対称となっている。一方、 $X > 12.0 \text{ cm}$ から下流では、お互いに逆向きに回転する渦対が千鳥状に形成され、複雑に相互干渉しあい、大規模な渦構造へと発達する。これは、カルマン渦列に似て、中心線に関し非対称な位置関係を保って移流していく。温水中心軸は揺らぎ、蛇行するように見える。観測区間半ばを過ぎあたりでこの渦構造は壊れ、島状に分離したコンターが形成される。

②、温度変動について

図-4に $Y = -1.1 \text{ cm}$ 上での時間的平均温度上昇、およびその分散を示す。ここで分散は $\sigma^2 = \frac{\sum \{\Delta T(t_n, x) - \overline{\Delta T}(x)\}^2}{\sum \{\Delta T(t_n, x) - \overline{\Delta T}(x)\}^2 \max}$ のように無次元表示した。 $X = 5, 12, 22 \text{ cm}$ などに、明瞭なピークが見られる。12, 22 cm のピークは流心（あるいは温度中心軸）の左右への揺らぎに伴って生じたものである。これに対し、 $X = 5 \text{ cm}$ でのピークは別の原因によるものと考えられる。

図-5は温度変動の周期である。0.4秒前後が多い。 $X = 12 \text{ cm}$ の付近では1.0秒と長いものが急に、局地的に出現する。これは図-4の σ^2 の最大ピークと一致する場所である。

③、温度変動の時間的・空間的構造

図-6は、 $Y = -1.1 \text{ cm}$ の直線上で計測した温度変動の時系列を示している。この図は、2.2秒間の ΔT の変化を65枚連続熱画像画面から描いたものである。図により、空間分布についてみるために $t = 2.1 \text{ s}$ で切ってみると、 X 方向に ΔT が変動している。次に、時間的分布を見よう。 $X = 12.0 \text{ cm}$ 付近では周期が長く、変動幅も大きい。これは、図-4、5で見た特徴と一致している。

また、変動の下流への伝播速度は同じであるとは限らない。図中Bで示した、 $X = 12 \text{ cm}$ から始まる変動の伝播速度は、同じくAで示した $X = 22 \text{ cm}$ で発生した変動の伝播速度より遅くなっている。

5、あとがき

①フォーストブルームの表面温度分布変化、乱れ構造を定量化するには、赤外線カメラによる可視化と画像処理を併用する手法が有効である。非接触計測法は、温度場を乱すことなく、現象の全体像を瞬間に把握することができるという利点があるが、表面しか判らないという弱点もある。

② $X < 12 \text{ cm}$ の範囲で温度分布は中心線に関してほとんど対称である。 $X = 12 \sim 22 \text{ cm}$ の間では、温度中心軸は左右に蛇行している。ここでの温度の変動は、こうした中心軸の揺らぎと対応しているようである。 $X < 12 \text{ cm}$ での温度変動は、こうした揺らぎと無関係のようである。

参考文献 室田 明ら：第30回水理講演会論文集、pp. 649-654, 1986.

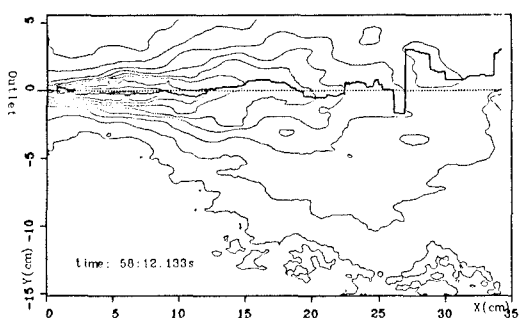


図-3

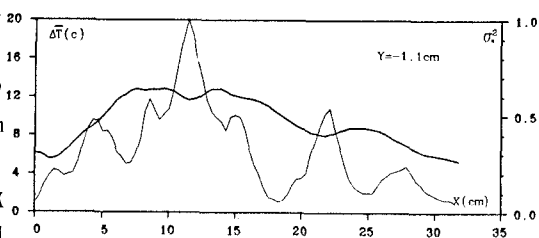


図-4

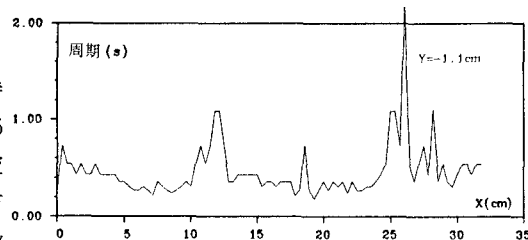


図-5

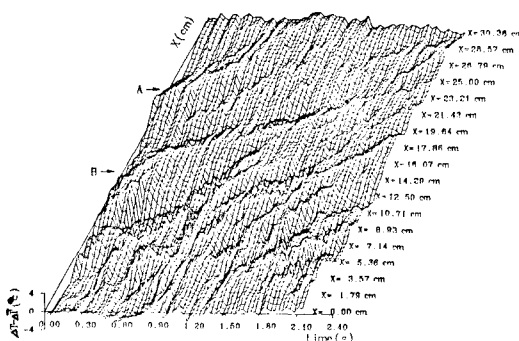


図-6