

温排水の乱流特性

東北大学 大学院 学生員 内 海 博
 東北大学 工学部 学生員 菅 野 洋 一
 東北大学 工学部 正 員 首 藤 伸 夫

1. はじめに

温排水の拡散機構を解明するにはその乱流特性を十分に把握する必要がある。しかし温排水の乱流計測は技術上の困難さのためその例は少ない。本研究では、2成分レーザ流速計とサーミスターによる流速、温度の同時計測を行ない、温排水の拡がりに対する乱れの影響を考察した。

2. 実験方法

使用水槽については既報を参照されたい。¹⁾ 座標軸は図1の通りで、レーザ流速計によりX, Y方向の流速U, Vが測定できる。今回の解析はX-Y平面(Z=0)のみ行ない、サンプリング60枚 20Hzで処理した。

実験条件は 放出平均流速 $U_0 = 15 \text{ cm/s}$ 温度差 $T_0 = 7.5^\circ\text{C}$ 、内部フルード数 $Fr_0 = 5.82$ 、レイノルズ数 $Re_0 = 7,500$ である。

3. 結果および考察

図2に層平均リチャードソン数 $\bar{Ri}$ と水平方向の局所リチャードソン数 R_{il} の分布を示す。 $\bar{Ri} = \frac{\varepsilon g H}{u^2}$, $R_{il} = \frac{\frac{\partial \rho}{\partial y}}{\rho_0 (\frac{\partial u}{\partial y})^2}$ ε : 密度差, H : 層厚 u : 平均流速 ρ_0 : 周囲の密度 である。

R_{il} は本来の浮力と慣性力の比という意味をもたず、水平方向の温度、流速分布の勾配の比のようなものである。 $\bar{Ri}$ はゆるやかに上昇するが、 R_{il} は急増点がはっきりと現われる。また平均流速分布は図3のように流下につれ、すそが引きずられたような形を示す。このガウス分布からずれる位置と R_{il} の急増点はほぼ一致し、また橋、小松²⁾による $\bar{Ri} = 0.2$ で密度増流は2層流的な流れに移行するが、この点とも一致する。この点を連ねた線を界面と呼べば、図4のように模式的に表わせる。界面および半値幅の拡がりはいずれも $x^{0.5}$, $x^{1/3}$ に比例する。ここで噴流としての乱れ拡散が卓越する領域としてA、密度未維持の温度差による拡散が卓越する領域をBとし、界面がこの2つの領域の境界とする。以下この考えに基づき考察する。

① 乱れ強さ u', v', T'

図5に軸上流速 u_m および温度差 T_m で無次元化した乱れ強さ u', v', T' を示す。 $X=10$ は形成領域のもので $\eta < 0.5$ ではポテンシャルコア内のため乱れは小さくなっている。また流下に供ない乱れは大きくなりピークが内側にずれて行く傾向がみられる。 T' は u', v' とは若干異なる分布で、 $\eta = 1.2$ 付近でゆるやかなピークを持つ。この位置は温度勾配が最大の点である。

② 相 関 $-\overline{u'v'}$, $-\overline{v'T'}$

図6に乱れの相関 $-\overline{u'v'}/u_m$, $-\overline{v'T'}/u_m T_m$ の分布を示す。流下につく値は大きくなり、 $-\overline{u'v'}$ の方がやせた形状を示している。また先の乱れ強さと比較すると、B領域での減衰が速い。これは乱れが拡散に寄与していることを意味する。

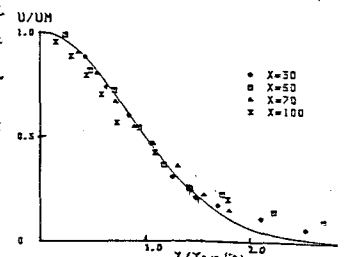
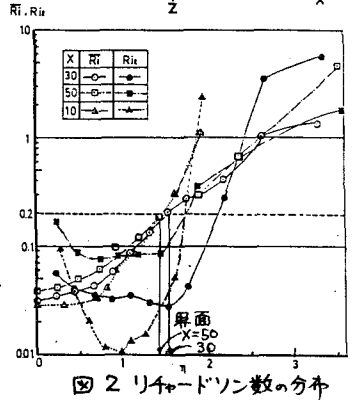
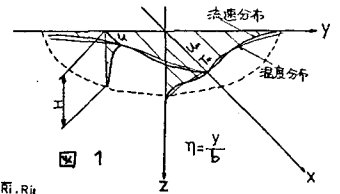


図3 平均流速分布

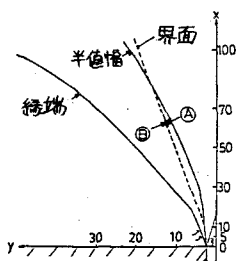


図4 拡がりの模式図

③ 渦動粘性係数 E_m , 渦動拡散係数 K_H

水平方向の E_m, K_H は次式で定義される。

$$E_m = \frac{-\overline{u'v'}}{\partial \bar{u} / \partial y}, \quad K_H = \frac{-\overline{v'T'}}{\partial \bar{T} / \partial y}$$

流速の半値幅 b , 温度の半値幅 $T_{1/2}$ を用いて無次元化した

E_m/Umb , $K_H/U_{mT_{1/2}}$ の分布を図7に示す。

噴流では E_m/Umb は流下の場全体でほぼ一定値を示すことが解っているが、($X=10$ で 0.007, 確立領域で 0.02~0.03) A 領域ではほぼこれぐらいの値でも B 領域に入るにつれてかなり減少している。これは速度勾配の割に $-\overline{u'v'}$ の値が小さくなっていることで、B 領域の拡がりに対する乱れの効果はだいが小さくなっていると言える。

また図8は E_m/Umb , $K_H/U_{mT_{1/2}}$ の断面最大値の流程による変化を示しているが、流下につれてかなり増大している。これは流下と共に $\bar{u}$ が上昇することからも解かるように次第に平面的な流になる。すると鉛直方向の乱れは抑制され、そのため水平方向の乱れは増加し E_m の上昇をひきおこすと考えられる。また図9のように 渦動粘性係数は半値幅の拡がり勾配 db/dx と比例関係にあるという噴流での解析結果とも一致する。拡がりの土台は乱流拡散がなっていると言える。

$K_H/U_{mT_{1/2}}$ もほぼ同様な結果を示すが、界面付近ではやや大きい値をもつのがわかる。 K_H/E_m の水平方向分布を図10に示すが、横に行くほど増加し、界面付近で逆転する。渦動粘性係数の方が B 領域での成層化の影響を強く受けることがわかる。流速分布より温度分布の拡がりの方が大きいということのひきの説明になるう。

3. おわりに

温排水の流速、温度同時計測を行ない乱流諸量を求めた。温排水では「チャードリン」数などで決定される界面を境に内側に乱れ拡散が卓越する領域 A, 外側に温度差による密度差としての拡がり卓越する領域 B に分けて考えると、結果を説明できることがわかった。

従来のモデルでは、水平方向の渦動粘性係数、渦動拡散係数は一定であるとして解析しているが、成層度に応じて変化させる必要がある。

今後は B 領域での拡散機構を検討し内部フルード数を変化させた場合の解析を行なうつもりである。

最後に実験等の円滑な進行を支えていただいた東北大学 真野 明 講師、佐藤栄司 技官に感謝の意を表す。

〈参考文献〉

- 1). 内海, 佐藤, 岩崎; 第39回年講 (1984)
- 2). 橋, 小松; 土木学会論文報告集 第273号 (1978)
- 3). 田中; 東北大学学位論文 (1980)

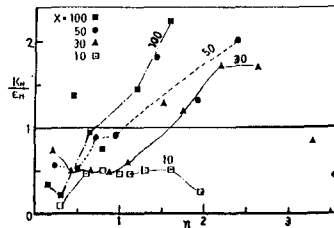


図10 K_H/E_m の分布

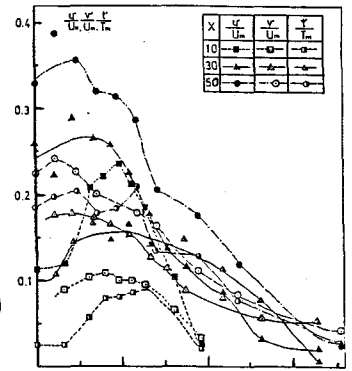


図5 乱れ強さ

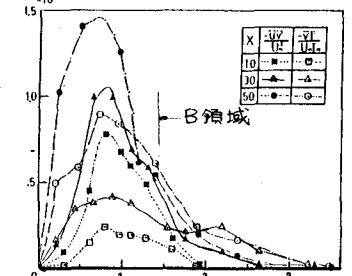


図6 相関

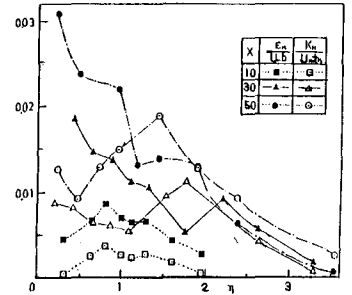


図7 渦動粘性(拡散)係数

