

温水アリュームの内部機構について

東北大学 大学院 学生員 内海 博
 東北大学 工学部 正員 首藤 伸夫

1. はじめに

表層に放流された温排水は浮力により均質噴流とはだいぶ異った挙動を示す。したがって拡散現象の本質的な解明にはアリューム内部の乱れ構造や、乱流輸送機構に基づいた議論が必要である。2次元表層密度噴流においては大規模渦運動や連行などに関する研究が進められているが、3次元の問題となると乱流計測が難しいこともあり内部機構に立ち入った研究はあまりなかった。本研究では流れ場の可視化およびレーザー流速計を用いた乱流計測に基づき温水アリューム拡散の乱流構造について検討した。

2. 実験装置および方法

実験は4.7×5.0×0.5mの平面水槽に5×5cmの放出口から表層に流れ出す3次元の温水アリュームを対象に行なった。放出口での平均流速は15cm/s、周囲水との温度差は7.5℃、内部フルード数は5.8である。

流速測定は2成分の後方散乱型レーザー流速計を用い、サーミスタを焦点後方に据えることにより温度変動も同時に計測した。さらに流れ場を把握するためにレーザーシートによる可視化を行なった。

3. 可視化による流れ

写真1は流れの横断面を可視化したもので、中心より左側半分が写っている。▼で示した位置まで大規模な渦塊が拡がっているのがわかる。連続的にみるとこの大規模な渦が約3秒の周期で規則的に発生しまたスケールもほぼ一定値をとることがわかった。またこの位置より外側では流れるように拡がる様子が観測された。よってこの位置を「内部界面」と呼び、これより内側を①、外側を②と領域分けを行なう。①領域では一定のスケールと周期をもつ組織的な渦構造が拡がり支配し②領域では乱れより圧力勾配による拡がりが卓越すると考えられる。

4. 平均流速分布

図2は主流方向の平均流速Uの水平方向分布である。噴流の場合ガウス曲線で近似できるが、アリュームではすその方で曲線からずれ、流下につれてその点が内側に寄っていく。このずれる点、は可視化で決めた内部界面の位置とよく一致するので、①領域では乱れ拡散が強いため噴流のようにガウス曲線で近似でき、②領域では圧力勾配がきいているため拡がりを増していると考えることができる。図3

は拡がりの模式図である。

5. レイノルズ応力の四象限区分

水平方向の組織的な渦構造の特性を把握するために瞬間レイノルズ応力をu, vの正負にしたがって四象限に区分するLu-Willmarthの方法を

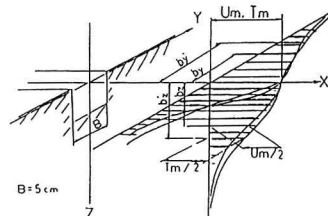


図1 座標軸

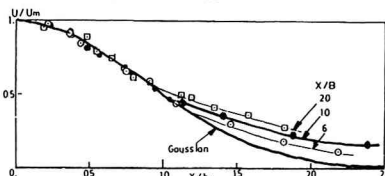


図2 平均流速分布U (水平方向)

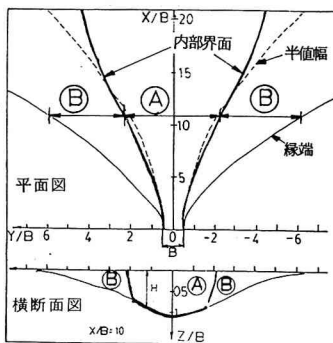
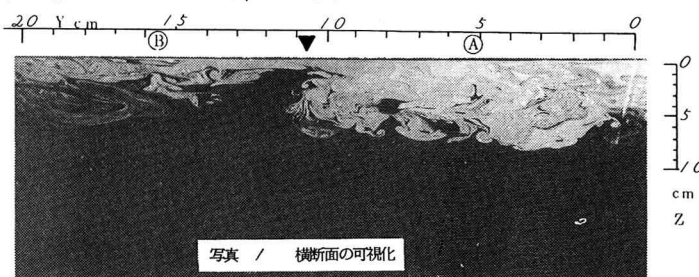


図3 拡がりの模式図



用いた。図4に区分の概念図を示す。第I象限の運動は運動量を水平方向に輸送し、せん断流域を拡大する働きをなす。第II象限はエとは左方向の輸送を意味する。また第I, III象限ともエネルギーの生成に正の貢献を果たす。レイノルズ応力 $\overline{uv}$ に対する寄与率は次式で示される。

$$\overline{uv}_i = \frac{1}{\overline{uv}} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u(t)v(t) I_i(t, H) dt$$

ここで検出関数 $I_i(t, H)$ は

$$I_i(t, H) = \begin{cases} 1 : u, v \text{ の符号が } i \text{ 象限に属し } |uv(t)| < H\sqrt{\overline{u^2}\overline{v^2}} \text{ のとき,} \\ 0 : \text{上記以外のとき} \end{cases}$$

である。

しきい値 H を変化させた寄与率の結果を ④, ⑤ 領域について示したのが図5である。④領域では I 象限の寄与が非常に大きく、しきい値が増加するとさらに相対的な寄与率は上昇する。間欠的に発生する瞬間値の大きいレイノルズ応力は第I象限の運動がもとになっており、運動量を水平方向に拡散することに貢献している。

それに対し⑤領域では各象限とも寄与率が大きくなっており、しきい値以下の弱い乱流運動の寄与はしきい値が大きくなってあまり増加しない。これは間欠的で大きな乱流変動がランダムに発生していることを意味している。また II, III 象限の寄与は大きくなっていてこれらは運動量を左方向に運搬作用をしている。

図6は単位時間占有率あたりのレイノルズ応力の寄与率を示している。これはすなわち一変動あたりの相関の強さを意味している。④領域では第I象限の強さが他の象限の3~4倍の大きさとなっているが、内部界面 ($\xi=1$) をすぎると急激に減少し、逆に他の象限の強さが増してくる。すなわち④領域と⑤領域ではレイノルズ応力の内容が全く異なり、④領域では組織的運動により水平方向に拡げようとする運動が卓越し、⑤領域では割とランダムな変動になっていて乱れが、運動量の拡散にあまり貢献していないことがわかる。

6. おわりに

可視化および乱流計測から得られた結果から温水アルミニウムの拡がりには「内部界面」を境に ④, ⑤ 領域に分割でき ④領域は組織的運動による乱れ拡散が現象を支配し、⑤領域では乱れの効果は小さく、圧力勾配による拡散が卓越していると考えられる。今後はこういった基礎的現象の内部構造を考慮した温水排水のモデル化が重要と思われる。
<参考文献>

- 1) 室田・中辻・萩内; 土木学会論文報告集, 第337号, 1983
- 2) 内海・首藤; 第30回水理講演会論文集, 1986
- 3) W.W. Willmarth・S.S. Lu; J. Fluid Mech. Vol. 55, 1972

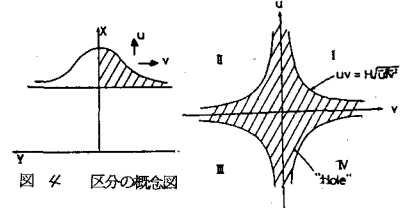


図4 区分の概念図

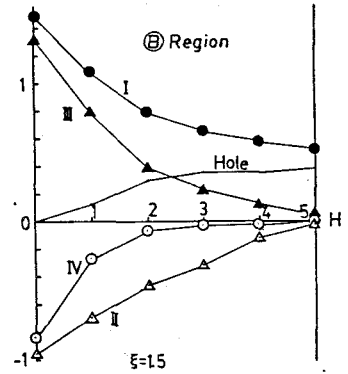
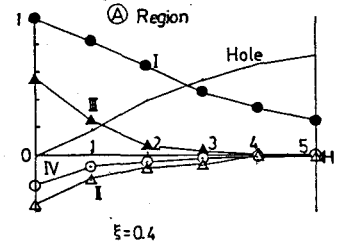


図5 各象限の寄与率

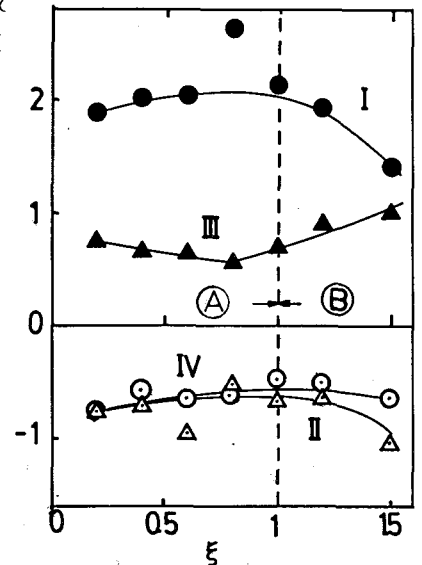


図6 変動あたりの寄与率