

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

湿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。しかし湿噴流の乱流計測は技術上の困難さもありあまり例はなかった。本研究では、2成分レーザー流速計とサーミスタによる流速、温度の同時計測を行ない、湿排水の水平方向の拡がりをもたらし内部機構について考察した。

2. 実験方法

実験は4.7×5×0.5 mの平面水槽に5×5 cmの放出口から表層に放流される3次元温度密度噴流を対象に行なった。座標軸は図1の通りで、後方散乱型LDAによりX, Y方向の流速および焦点の2 mm後方にずらしたサーミスタにより温度を同時計測した。

実験条件は放出口平均流速 $U_0 = 15 \text{ cm/s}$ 、温度差 $T_0 = 7.5^\circ\text{C}$ 、内部フルード数 $F_0 = 5.8$ 、レイノルズ数 $Re = 7500$ である。

3. 実験結果と考察

① 拡がりの区分

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_{ix} の分布を示す。 $\bar{Ri} = \frac{\Delta \rho g H}{\rho_a U^2}$, $R_{ix} = -\frac{g \frac{\partial \rho}{\partial x}}{\rho_a (\frac{\partial U}{\partial x})^2}$ であり、 ρ_a : 周囲水密度, H : 層厚、 $\Delta \rho$: 密度差, U : X方向平均流速。

R_{ix} は密度差に基づき横方向へ上げようとする力と乱れによる一様化しようとする力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_{ix} は急増突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てすそが引きつられていく。このガウス分布からすれる位置と R_{ix} の急増突は一致する。またこのとき $\bar{Ri} = 0.2$ となっている。この突を連ねた線を界面と呼べば図4のように表わせる。界面および半値幅の拡がりはそれぞれ $x^{0.91}$, $x^{1.24}$ に比例する。ここで界面の内側(A)を噴流としての乱れ拡散が卓越する領域、外側(B)を密度流独特の温度差による拡散が卓越する領域と考え結果を考察する。

② 乱れ強さ

図4は断面最大値で正規化した乱れ u' である。実際はBradbury²⁾による平面噴流のものであるが、ピークが内側にずれている。また図6より流下に従い乱れの最大値は増加するがこれは橋、小松³⁾の報告とは異なる結果である。これは後に述べる $\bar{Ri}$ が大きい場合の成層化の影響と考えられるが、橋田らの示した組織的渦による影響も否定できない。

③ レイノルズ応力 $\overline{u'v'}$ 、熱フラックス $\overline{v'e'}$

図8, 9は断面最大値で正規化した $\overline{u'v'}$, $\overline{v'e'}$ である。 $\overline{u'v'}$ の方

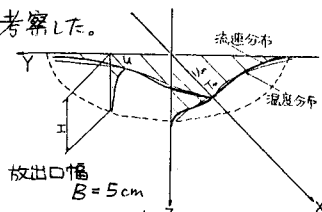


図1 座標軸

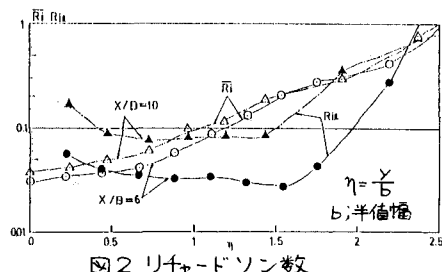


図2 リチャードソン数

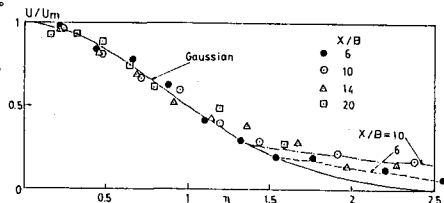


図3 平均流速分布

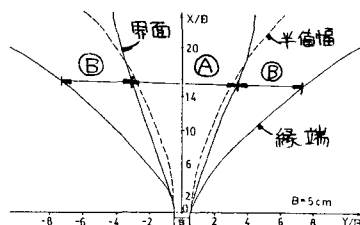


図4 拡がりの模式図

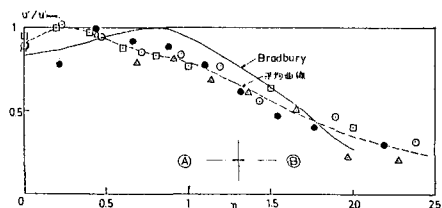


図5 乱れ強さ u'/u'_{max}

がやせた形状をもち、先の乱れの分布と比較すると②領域の減少が大きい。これはこの領域の乱れは運動量の拡散にあまり寄与していないことを意味する。また $\overline{u'v'}$, $\overline{v't'}$ とも流下とともに最大値は増加している。(図7)

④ 渦動粘性係数 ϵ_m , 渦動拡散係数 K_H

水平方向の ϵ_m , K_H は次式で定義する。 $\epsilon_m = \frac{u'v'}{\partial u/\partial y}$, $K_H = \frac{v't'}{\partial T/\partial y}$

図10, 11は断面最大値で正規化した ϵ_m, K_H

である。 ϵ_m は端に向うにつれて減少するが、界面付近での減衰がやや大きい。 K_H は減少の割合が小さいが、界面付近でははらつきが見られる。図12は K_H/ϵ_m の分布だが、端に行くにつれ上昇し、界面でピークをもつ。そして縁端部では1に近づく。界面付近から、⑤領域では ϵ_m の方が抑制されやすいことを示している。

図13は流下、半値幅 b , 温度、半値幅 δ と軸上流速 U_m を用いて無次元化した ϵ_m, K_H の断面最大値の流下による変化を示している。確立した噴流ではほぼ一定値をもつか、混噴流では増加の傾向を示す。これは流下と共に $\overline{Ri_m}$ (軸上 $\cdot Ri$) が上昇することから推定されるようにしたいに平面的な流下になる。すると鉛直方向の乱れは抑制され、その影響で水平方向の乱れや相関の増加につながると考える。ただしこれは $\overline{Ri_m}$ の小さい④領域でのみ成り立ち、より流下して2層流的になると乱れは全般にわたって抑制されると考えられる。また図14のように半値幅の拡がり勾配と ϵ_m, K_H は比例関係にある。

このように半値幅で正規化すると相似形になる④領域の拡がり噴流のように ϵ_m, K_H で推定できることがわかる。

3. おわりに

従来の混排水拡散モデルでは水平方向の ϵ_m, K_H は噴流のものに等しい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。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 孝司 技官, 及び 学部生 (現 宮城県庁) 菅野 洋一 君に感謝を記す。

<参考文献>

1) 福岡ら; 土木学会論文報告集 第277号 (1978)

2) Bradbury; J. F. M. vol. 23 (1965)

3) 橋・小松; 土木学会論文報告集

第273号 (1978)

図14

半値幅の拡がり

勾配と ϵ_m ,

K_H の関係

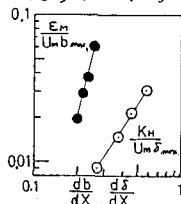


図13 ϵ_m, K_H の変化

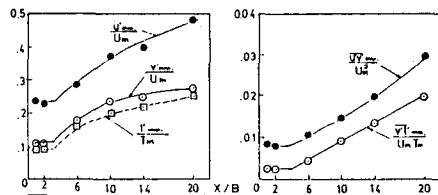
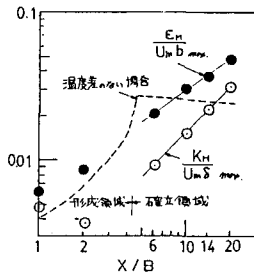


図6 乱流特性の流下方向変化

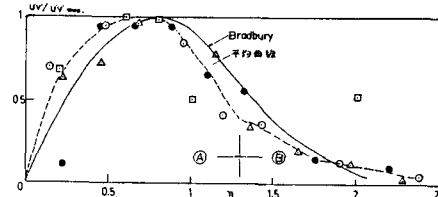


図8 レイリス定数 $u'v' / u'v'_{max}$

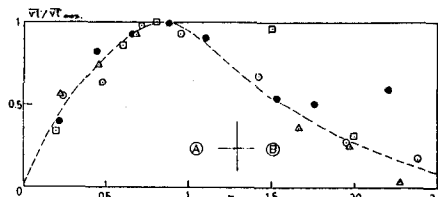


図9 熱フラックス $v't' / v't'_{max}$

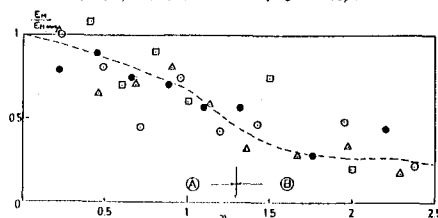


図10 渦動粘性係数 $\epsilon_m / \epsilon_{m max}$

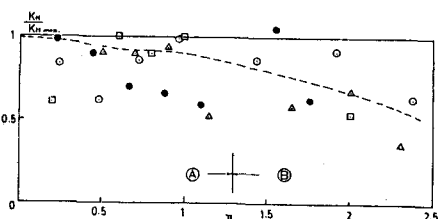


図11 渦動拡散係数 $K_H / K_{H max}$

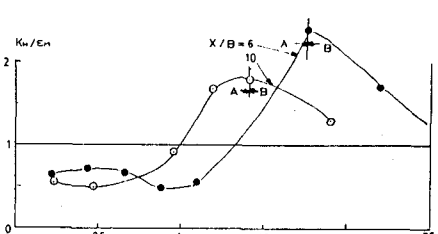


図12 K_H / ϵ_m