

東北大学工学部 正 員 岩崎 敏夫
東北大学大学院 学生員 ○田中 博通
東北大学大学院 学生員 半沢 総

1. はじめに 最近、開水路流れの乱流構造の研究が盛んに行なわれている。そこで、今回は表層水平噴流の乱流特性²⁾について、今までの研究と比較・検討を行なった。また、以前に著者等が報告した流量増加割合・エネルギー減少割合の理論式に多少の修正と追加実験を行なったので報告する。

2. 実験装置及び実験方法 実験は4.7 m X 5.0 m X 0.5 mの実験水槽と1.0 m X 5.0 m X 0.5 mの貯水槽及び0.8 m X 1.0 m X 0.8 mの高水槽から構成された平面水槽を用いて行なった。放出口は5.0cm X 5.0cmの正方形である。座標系は放出口の中心を原点とし、流下方向にX軸、水深方向にZ軸、それらに直角にY軸とした。乱流計測において、初期平均流速は20cm/s ($Re = u_0 B_0 / \nu = 1.0 \times 10^4$)とし、流速測定にはHot Film流速計(TSI製)を用いた。測定点は $X = 10\text{ cm}, 30\text{ cm}, 50\text{ cm}, Z = 0\text{ cm}, Y = 0\text{ cm}$ のX-Y面、X-Z面である。データ処理に際して、サンプリング間隔は0.05秒データ総数は2000個である。流量増加割合・エネルギー減少割合においては、初期平均流速が20cm/s(Case1), 30cm/s(Case2)の2ケースについて測定した。 $X = 10, 20\text{ cm}$ は0.5 cmメッシュ、 $X = 30, 50, 80\text{ cm}$ は1.0 cmメッシュで流速測定し、 $\bar{u} > 3.0\text{ cm/s}$ までは超小型プロペラ流速計、 $\bar{u} \leq 3.0\text{ cm/s}$ においてはHot Film流速計を用いた。

3. 乱流特性について Fig.1 は乱れ強さの分布である。 u' の乱れ強さのピークは最大流速勾配となる $\eta = 0.85$ の付近に生じている。 $X = 10\text{ cm}$ において $\eta < 0.5$ のときはポテンシャルコア内であり、混合領域に比べて乱れ強さが小さい。既往の三次元・二次元噴流と比べると v', w' の乱れ強さは小さく、 u' の乱れ強さはやや小さい。また、表層水平噴流は非等方性であることがわかる。いま、 $\overline{v'^2} = \overline{w'^2}$ とみなし $\overline{q'^2} / \overline{u'^2_{max}}$ と $\eta (= Y/b_y, Z/b_z)$ とをプロットするとFig.2を得る。 $\eta > 1.0$ においては、Xの値にかかわらず次式で表わされる。

$\overline{q'^2} / \overline{u'^2_{max}} = D \exp(-\lambda \eta)$, $D = 0.751$, $\lambda = 2.33$
 $\eta < 1.0$ においては、Xが増すにつれて乱れが増加し、その特性は開水路と異なって複雑である。Fig.3はReynolds Stressの分布である。ピークは $\eta = 1.0$ 付近となった。Xが同じ値のX-Y面、X-Z面において同じような値となり、既往の三次元・二次元噴流より、

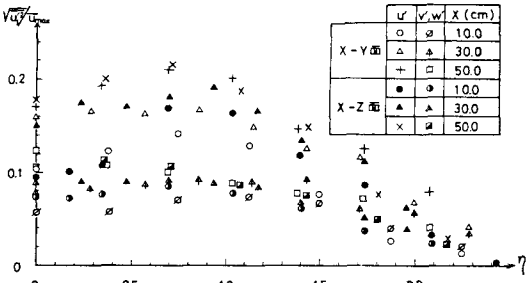


Fig.1 乱れ強さの分布

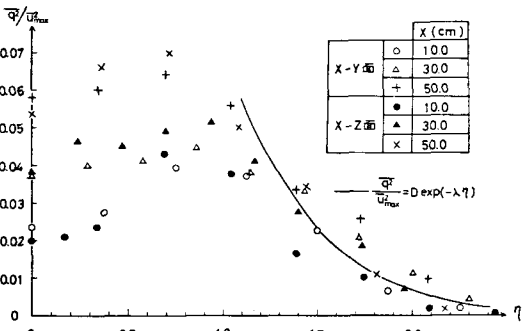


Fig.2 $\overline{q'^2} / \overline{u'^2_{max}}$ と η の関係

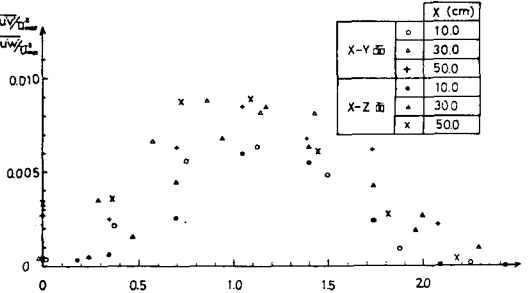


Fig.3 Reynolds Stress の分布

小さな値となった。この実験値を用いて渦動粘性係数 ε ($= -\overline{uv}/\partial \overline{u}/\partial y$) を求めると $\varepsilon/(\overline{u}_{\max} b) = 0.010 \sim 0.013$ となり、既報³⁾の理論よりも小さな値となった。

Fig.4 は Reynolds Stress の相関係数である。椿・小松⁴⁾による二次元表層噴流と同様な結果となった。

Fig.5 は $X = 30 \text{ cm}$ の $X-Y$ 面におけるスペクトルである。 η が大きくなるにつれ全体的にエネルギーレベルが小さくなり、高周波側においてエネルギー勾配が急になる。林・岩崎⁵⁾は理論的に次式のようなスペクトル密度関数を求めた。

$$E(f) = \frac{2\overline{u}^2 T_E}{1 + (2\pi f T_E)^2} \quad \left(\begin{array}{l} T_E : \text{Integral time-scale} \\ \text{Two-sided spectrum} \end{array} \right)$$

Fig.5 に $\eta = 0.287$ と 1.723 について理論値を同時に示した。 $\eta = 1.723$ の場合はよく一致し、 $\eta = 0.287$ の場合もほぼ一致する。

4. 流量増加割合・エネルギー減少割合について 著者等が以前発表した式³⁾を修正すると形成領域・確立領域それぞれ次式となる。

(I) 形成領域

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{2}{h_0 B_0} \left\{ Y_e Z_e + (b_y - Y_e)(b_z - Z_e) I_1 I_2 + Z_e (b_y - Y_e) I_1 + Y_e (b_z - Z_e) I_2 \right\}$$

$$\frac{E}{E_0} = \frac{2}{h_0 B_0} \left\{ Y_e Z_e + (b_y - Y_e)(b_z - Z_e) I_9 I_{10} + Z_e (b_y - Y_e) I_9 + Y_e (b_z - Z_e) I_{10} \right\}$$

(II) 確立領域

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{u_0}{u_{\max}} \frac{I_{11} I_{12}}{I_{13} I_{14}} \quad \frac{E}{E_0} = \frac{u_{\max}}{u_0} \frac{I_{19} I_{20}}{I_{13} I_{14}}$$

(I_i などの流速分布の積分形ならびに積分値と b_y, b_z の値は参考文献³⁾を参照のこと) $u_{\max}/u_0 = \sqrt{(B_0 h_0)/(2 I_{13} I_{14} b_y b_z)}$ として計算し、実験値と共に表わしたのが Fig.6 である。Case1, Case2 ととも理論とよく一致する。Albertson 等⁶⁾による三次元・二次元噴流に関する理論式も同時に表わした。これから、三次元表層水平噴流は、三次元噴流に比較的近い値となった。最後に研究に協力された長久保重利氏(現福島県庁)に感謝します。

< 参考文献 >

- 1) 祢津家久：開水路乱流の乱れ強度に関する研究，土木学会論文報告集，第261号，pp.67～76，1977
- 2) 岩崎敏夫・田中博通：三次元表層水平噴流の乱流特性，東北支部技術研究発表会，pp.133～pp.134，1978
- 3) 岩崎敏夫・田中博通：三次元表層水平噴流に関する研究，第24回海講，pp.524～pp.528，1977
- 4) 椿東一郎・小松利光：2次元表面密度噴流における流れの特性と連行現象，土木学会論文報告集，第273号，pp.69～pp.81，1978
- 5) 林泰造・岩崎光隆：開水路における拡散の実験，第18回水講，pp.151～pp.155，1974
- 6) Albertson, M.L., Y.B. Dai, R.A. Jensen and H. Rouse: Diffusion of Submerged jets, Transaction, A.S.C.E., Vol.115, pp.639～pp.697, 1950

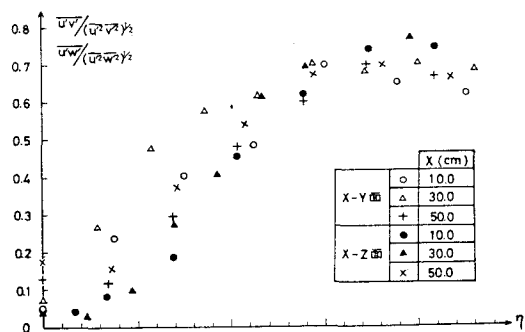


Fig.4 Reynolds Stress の相関係数

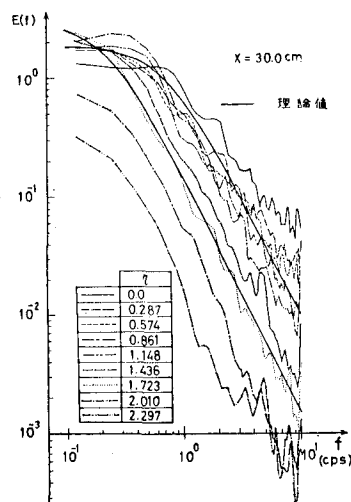


Fig.5 スペクトル(u') $X-Y$ 面

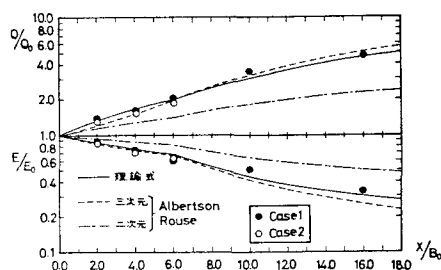


Fig.6 流量増加割合とエネルギー減少割合