

manifold からの噴流列の特性について

大阪大学工学部 正員 村岡 浩爾
大阪大学大学院 学生員 清水 洋

1. 序

二次元噴流の発生装置は実験的には容易に作製できるが、実用的には orifice を列状に並べたものが有用と考えられる。ところで、水噴流の単一の二次元・三次元噴流は幾多の研究があるが、manifold type についてはほとんど基礎的研究がない。ここに、筆者らは一昨年来の三次元および二次元鉛直上向き噴流の実験に続いて行った manifold type の噴流における流速測定の結果を報告する次第である。

2. 実験装置と実験方法

実験に用いた水槽は $1\text{m} \times 30\text{cm} \times 0.8\text{m}$ の鉄製水槽（前面は観測のためのガラス製）の中央を横方向に塩化ビニル製隔壁板で仕切って幅 0.4m とし、この水槽の中間部に図-1 に示すような manifold を有する鋼管を設置し噴流を発生せよ。鋼管に設けた manifold は千鳥状に二列に配置されている。噴流管から噴出された水は噴流管から左右各々約 10cm 離れた吸入口からポンプに導かれ、再び噴流管に至る。

鉛直方向流速測定はピトー管により、また、噴流が水面に衝突した後の水平流速測定はアロペラ式流速計によって行った。実験種類はかがり水深 x_0 が二種類 (220mm , 455mm)、孔径 D が二種類 (2mm , 1mm) の組み合わせで行った。なお、流量の測定には Bentury meter を使用した。

3. 鉛直方向流速分布

A. 中心線流速について

manifold type の噴流では中心線の規定がしがたい。まず、一つの orifice の中心 B 点を通る鉛直線を考え、これに沿う流速測定の一例が図-2 である。横軸は噴出孔からの距離 x を換算スリット幅 d_0 ($d_0 = A/\ell$, ここに A は総 orifice 断面積、 ℓ は manifold の長さで 0.4m) で無次元化したものであり、縦軸は流速 u を最大流速 $u_{\max}$ で無次元化したものである。図中の実線、点線は Albertson による二次元、三次元の無限噴流の結果である。この図によると、manifold 噴流の中心線流速の減衰勾配は多少のばらつきはあるが、二次元の場合の $-1/2$ と三次元の場合の -1 との間にあると言えそうである。また、potential core の大きさを正確に測定することは困難であった。

図-3 は B 点、C 点（同図参照）を通る鉛直線に沿う測定の結果である。縦軸は x を x_0 で無次元化したものであり、横軸は u を $u_{\max}$ で無次元化したものである。C 点に関する流速は $x=0$

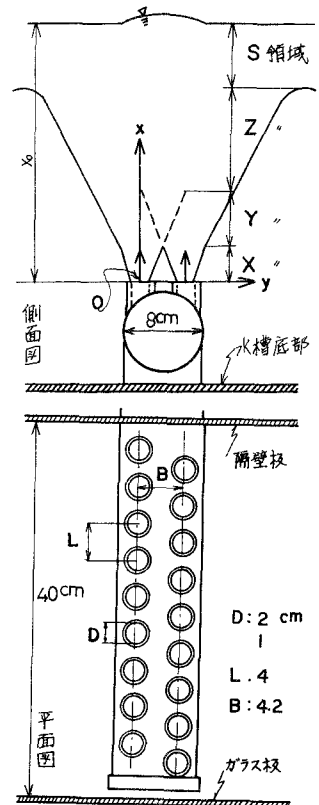


図-1 実験装置

で0であり、 x がある値になるまで0の状態が続く（これは後述するX領域の存在を意味する）。この後、 x の増加と共に増してゆき、B点に関する流速とほぼ等しくなった後、減少してゆく傾向がみられる。水深の小さい場合（ $x_0=22.0\text{mm}$ ）、C点に関する流速とB点に関する流速の値は水面近くで接近するが、水深の大きい場合（ $x_0=45.5\text{mm}$ ）、この接近は噴流孔近くになってくることがわかる。

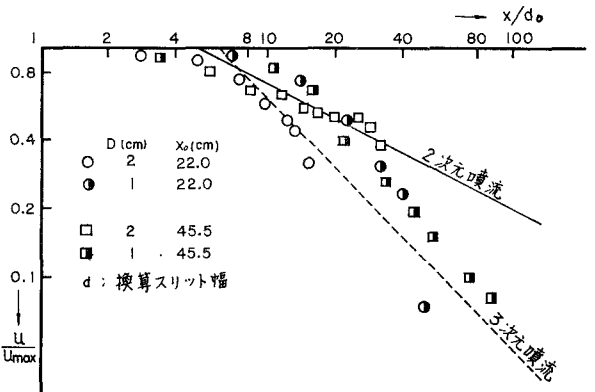


図-2 中心線流速 (その1)

b. X・Y・Z領域の流速分布について manifold による噴流の場を以下よりにX・Y・Z領域に分類して考える。すなわち、
X領域：各 orificeからの噴流が単独の三次元噴流と考えられる領域。
Y領域：X・Z領域の遷移領域であって、始めは三次元噴流が互いに干渉し合い、徐々に二列の二次元噴流の干渉として双頭型の流速分布を示すような領域。
Z領域：噴流が完全に混合し合って一つの二次元噴流の特性を示す領域。
S領域：水面による stagnation 効果を受けて噴流が水平方向に向う領域。

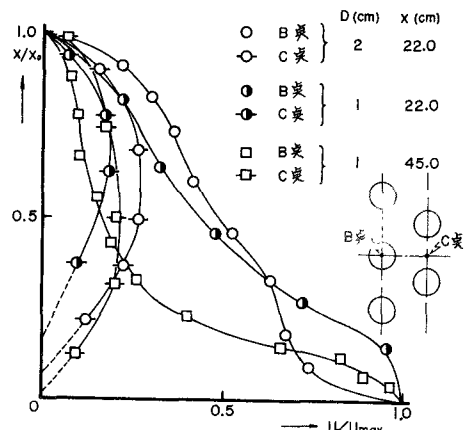


図-3 中心線流速 (その2)

この分類に従ってその境界を明らかにする必要がある。まず、X・Y領域の境界に関しては Albertson の三次元噴流の式²⁾、

$$u_0 = \exp\left[-\frac{(v+C_1x-\frac{D}{2})^2}{2C_1^2x^2}\right] \text{----- A 領域} \quad (1)$$

$$u_0 = \frac{1}{2C_1} \frac{D}{x} \exp\left[-\frac{v^2}{2C_1^2x^2}\right] \text{----- C 領域} \quad (2)$$

u_0 : 出口流速 C_1 : 実験常数

を用い、図-4のA点を通る鉛直線上での各 orifice による流速の和が u_0 の2%となる点をX領域の終端と定義し、このX座標を x_x と置き、 ξ_x/D , ξ_y/D , ξ_z/D の関係を計算したものが同図の曲線群である。ここに、 $C_1=0.1$ とした。本実験の場合、 $D=2\text{mm}$ では $\xi_x/D=21$, $\xi_y/D=20$ であり、これから $\xi_x=6\text{mm}$ となる。

次に、Y・Z領域の境界に関しては Albertson の二次元噴流の式

$$u_0 = \sqrt{\frac{1}{\pi C_2}} \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{y^2}{2C_2^2x^2}\right] \text{----- C 領域} \quad (3)$$

d : スリット幅

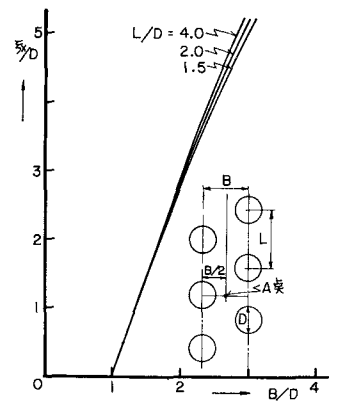


図-4 ξ_x の計算曲線

を用い、manifold噴流を二列の二次元噴流から成るとみなし、各々の流速分布形を重ね合わせたものを考え、二つの噴流の中間の位置における流速が極大となる点をX領域の始端と定義し、このX座標を x_g とわいて、 x_g , B , C_2 の関係を表わしたので図-5. ある。これによると、本実験の場合、 $C_2=0.19$ とすると $x_g \approx 10$ mmとなる。

図-6 は $x_0=45.5$ mm, $D=2$ mm の場合の各断面における流速の測定値であり、 $x=5$ mm における最大流速を U_0 と仮定して無次元化したものである。図中の曲線は、 $x=5$ mm の場合は、(1)式において $C_2=0.2$ として各 orifice の流速を重ね合わせて計算したものであり、 $x=15$ mm 以上の場合は、(3)式において $C_2=0.19$ と仮定して各点の流速の二列の二次元噴流の流速の和であるとして計算したものである。いづれも出口流速 U_0 で無次元化している。この計算の結果と実測値を比較してみると、 $x=5$ mm では X 領域として、 $x=15$ mm 以上では Y 領域として説明できようである。 $x=40$ mm の実測値が計算値よりわず下側になっているのは Y 領域がすでに X 領域に入っているためと考えられる。

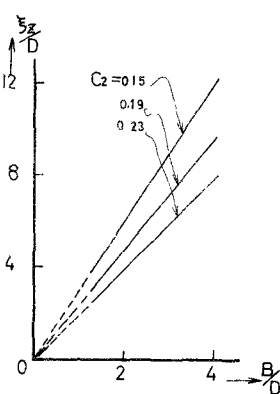


図-5 x_g の計算曲線

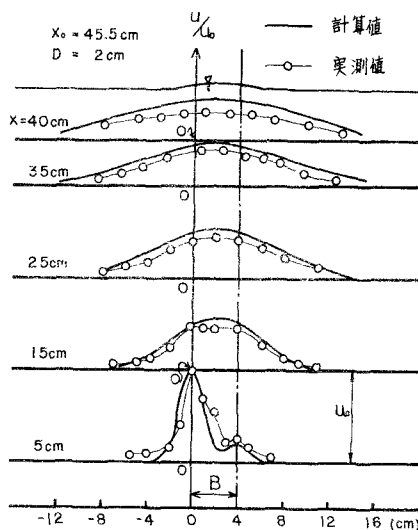


図-6 鉛直方向流速分布

4. 水平方向流速分布

Stagnant region を経た流れは水面沿いに水平方向に収束する。水平流は二次元的に取扱われ、測定の一例を図-7 に示す。水平流流速分布は噴流軸付近を除いてほぼ Tollmien 型の噴流流速分布となる。ただし、おぼろ水深の約三倍以上の距離になるとその分布形は乱れ、間水路の水流のように流下する。水平流の最大値 U_{max} は噴流衝突によって生ずる水面の hump の終端付近の水面上や下層部に生ずる。 U_{max} が生ずる位置を x_0 とし、これを x_0 からの水深、流量に関して整理したものが図-8 である。横軸 M_0 は単位幅当りの噴出 momentum flux で $M_0 = \rho d u_0^2$ (d : 噴出スリット幅) で表わされる。測定値は x_0 がらつくがこれによって実験的に x_0 は次式で示される。ただし、 D は 2mm の場合である。

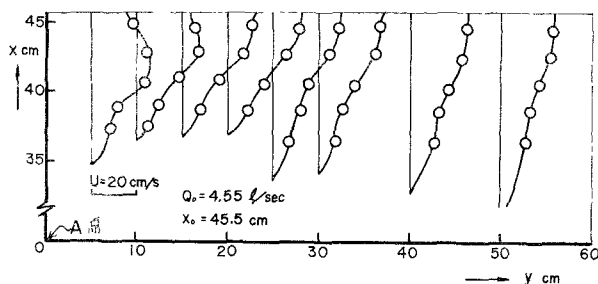


図-7 水平方向流速分布

$$\left. \begin{aligned} x_0=220\text{mmの時} \quad x_0/x_0 &= 1.40 \left(\frac{M_0}{\rho g x_0^2} \right)^{1/3}, \text{ あるいは } x_0 = 3.291 g^{1/3} \text{ (cm-S単位)} \\ x_0=455\text{mmの時} \quad x_0/x_0 &= 0.93 \left(\frac{M_0}{\rho g x_0^2} \right)^{1/3}, \text{ あるいは } x_0 = 3.556 g^{1/3} \text{ (")} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、 q は d に関する単位長さ当たりの噴出流量である。次に、 U_{max} の値を測定し整理したのが図-9である。実験的に U_{max} を求める関係式は以下の通りである。

$$\left. \begin{aligned} X_0 = 22.0 \text{ cm の時 } U_{max}/\sqrt{gX_0} &= 2.0 \left(M_0/gX_0 \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ あるいは } U_{max} = 0.358 q \text{ (cm-S単位)} \\ X_0 = 45.5 \text{ cm の時 } U_{max}/\sqrt{gX_0} &= 2.5 \left(M_0/gX_0 \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ あるいは } U_{max} = 0.312 q \text{ (")} \end{aligned} \right\} (5)$$

(4)式、(5)式より、 q は q^* に、 U_{max} は q に比例するとみなせる。そして、比例常数は X_0 のみに関する。しかしながら、使用するmanifoldの形状(すなわち、 D, B, L の値)が変れば比例常数は若干変るはずであり、種々のmanifoldの形状について実験を行うのは「ならぬであらう」。

5. 結語

manifoldからの噴流域を X, Y, Z および S 領域に分類することにより、現象を具体化することが可能になったが、計算値と実験値は未だ若干の相異がみられる。その相異はAlbertson係数の決定の困難さ、およびかぶり水深とか装置の形状による不確定要素が多いためであらう。したがって、 X, D, B, L を種々に変えたときに多くの実験を行うことが必要であらう。

6. 謝辞

本研究に関し本学室田明教授より適切な助言をいただいた。ここに深く謝意を表する。また、実験に際して資料の整理に際し、大学院生中山茂雄氏(現 運輸省勤務)、および学部学生谷口剛也氏(現 藤田組勤務)に協力を得た。

参考文献:

- 1) 室田利國, 鉛直上向き噴流に関する実験的研究 第11回水理講演会講演集 1967
- 2) H.L. Albertson; Diffusion of Submerged Jets Proceedings of A.S.C.E vol. 74 1948

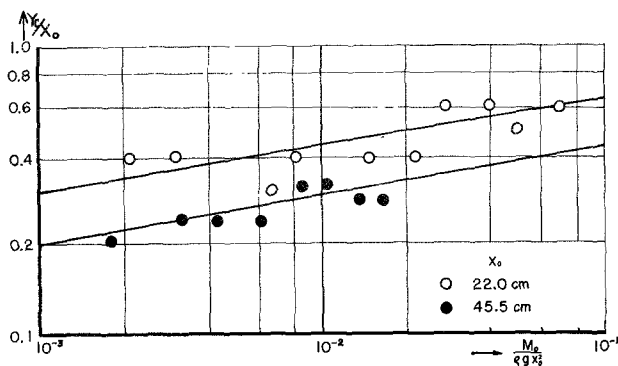


図-8 U_{max} の値に関する測定値

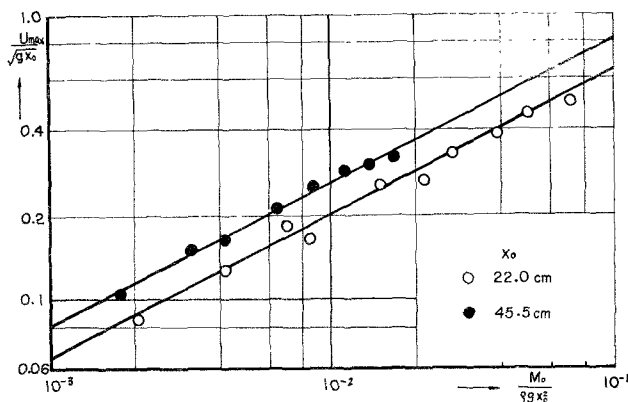


図-9 U_{max} の値に関する測定値