

## II-204

## スルース・ゲートから流出する射流の特性

日大院・理工 学生員 高橋 正行  
 日 大・理工 正 員 安田 陽一  
 日 大・理工 正 員 大津 岩夫

## はじめに

水平水路において、スルース・ゲートから流出する射流では、乱流境界層が縮流部から発達し水面に達する。また、その下流側では境界層が十分に発達した流れとなる。強制跳水のシルに作用する抗力や、波状跳水内部の流速特性が、跳水始端での乱流境界層の発達状態によって異なることが著者らの研究によって明らかにされた<sup>1)~3)</sup>。このようなことから、乱流境界層の発達する射流の特性を知ることが水工設計上必要となる。ここでは、スルース・ゲートから流出する射流の特性について実験的検討を加え、射流の流速特性のアスペクト比による影響を示した。すなわち、アスペクト比が小さい場合、乱流境界層の発達状態、流速分布、および乱れ強さの分布が水路横断方向に対して変化することを示した。

## 実験方法

長さ17m、幅40cm、高さ40cmの滑面長方形断面水平水路を用いて実験を行った。流速は1次元 L. D. V. (レーザー流速計)を用いて測定した。(採取間隔40ms、採取時間164s)。また射流の水面形については、ポイントゲージを用いて測定した。なお、実験範囲は  $2 \leq F_0 \leq 8$ 、 $3 \leq B/h_0 \leq 20$ 、 $50000 \leq Re \leq 350000$  である。 $[F_0=U_0/\sqrt{gh_0}; Re=q/\nu; U_0=q/h_0]$

## 射流の流下方向の流速および乱れ強さの特性

developing flow における時間平均された流下方向(x 方向)の流速( $\bar{u}$ )および乱れ強さ( $\sqrt{u'^2}$ )の実験値を(1)、(2)の関係で整理した一例を図1、2に示す。

$$\frac{\bar{u}}{U} = f\left(\frac{y}{\delta}\right) \quad (1)$$

$$\frac{\sqrt{u'^2}}{U} = f\left(\frac{y}{\delta}\right) \quad (2)$$

ここに、 $U$  は境界層外縁の流速、 $y$  は水路床に垂直な方向の高さ、 $\delta$  は水路中央部における境界層厚さであり、 $\bar{u} = 0.999 U$  となる  $y$  の値として定めた。

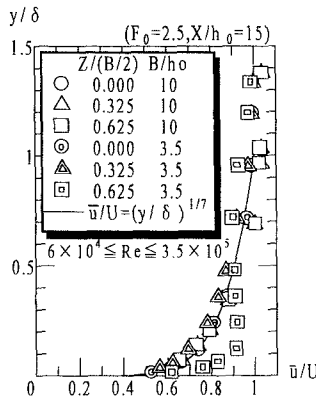


図1 developing flow の流速分布

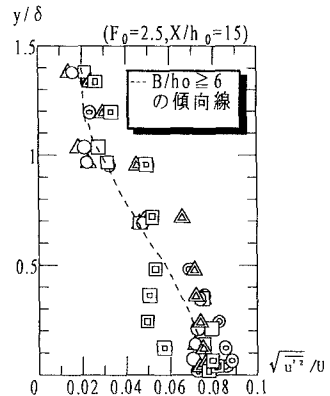


図2 developing flow の乱れ強さの分布

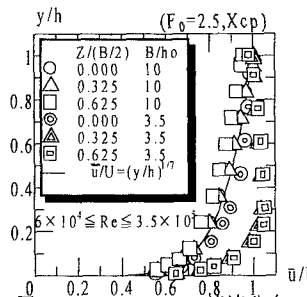


図3 developed flow の流速分布

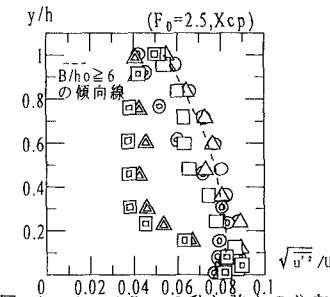


図4 developed flow の乱れ強さの分布

キーワード: 開水路流、射流、乱流境界層

〒101-8303 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL.03-3259-0668 FAX.03-3259-0409

fully developed flow における時間平均された流下方向(x 方向)の流速( $\bar{u}$ )および乱れ強さ( $\sqrt{u'^2}$ )の実験値を(3)、(4)の関係で整理した一例を図3、4に示す。

$$\frac{\bar{u}}{U} = f\left(\frac{y}{h}\right) \quad (3) \quad \frac{\sqrt{u'^2}}{U} = f\left(\frac{y}{h}\right) \quad (4)$$

$B/h_0 \geq 6$ 、かつ水路側壁近傍を除いた( $Z/(B/2) < 0.8$ )場合、図1～4に示されるように、水路横断方向に関わらず、境界層内の流速分布は  $1/7$  乗則(図1、3 実線)で近似され、相対乱れ強さについては、相似な分布(図2、4 破線)が得られる。一方、 $B/h_0 \leq 5$  の場合、図に示されるように3次元的な分布となる。特に、 $Z/(B/2) \approx 0.625$  では底面近くの流速が他の断面に比べて速くなり、流下方向の乱れ強さが小さくなる。これは、アスペクト比が小さい状態でゲートから流出した流れは3次元的になり、水路横断面内で二次流が左右対称に形成されるため(図5参照)、比較的速い流速が底面近くで認められるものと考えられる。

#### 射流の水面形状と乱流境界層の発達状態

射流の水面形状および乱流境界層の発達状態を(5)、(6)の関係で整理した結果を図6に示す。ここで、実線と破線はベルヌーイの定理と境界層方程式を用いることによって求めた境界層の発達状態と水面形状を示している<sup>1),5),6)</sup>。

$$\frac{h}{h_0} = f\left(\frac{x}{h_0}, F_0, Re\right) \quad (5) \quad \frac{\delta}{h_0} = f\left(\frac{x}{h_0}, F_0, Re\right) \quad (6)$$

図6に示されるように、 $B/h_0 \geq 6$  の場合、計算値(図中実線、および破線)は実験値を満足し、流れが2次元であることが認められた。一方、 $B/h_0 \leq 5$  の場合、図に示されるように境界層の発達状態が  $B/h_0 \geq 6$  の場合よりも早く発達する傾向が見られた。これは図5に示されるように、アスペクト比が小さくなることによって、流れの三次元性が顕著となるため、境界層が短区間で発達するためと考えられる。

#### まとめ

スルース・ゲートから流出する射流の場合、 $B/h_0 \leq 5$  において、流れが3次元的な様相を呈し、 $B/h_0 \geq 6$  の場合と比較して乱流境界層が早く発達する傾向が得られた。また、 $B/h_0 \leq 5$  の場合に、流速特性および乱流境界層の発達状態に対するアスペクト比の影響が見られることを示した。

#### 記号説明

$\bar{u}$ : 時間平均された流速、 $u'$ : 変動流速、 $\sqrt{u'^2}$ : 時間平均された x 方向の乱れ強さ、 $U_c$ : 縮流部での流速、 $U$ : 境界層外縁の流速、 $x$ : 縮流部からの水平距離、 $x_0$ : 境界層が水面に達し始めたときの  $x$ 、 $h_0$ : 縮流部での水深、 $h$ : 任意な断面での平均射流水深、 $y$ : 水路床に垂直な方向の距離、 $\delta$ : 水路中央部での境界層厚さ、 $Z$ : 水路中央部からの横断方向の距離、 $B$ : 水路幅、 $Re$ : レイノルズ数( $Re = q/\nu$ ;  $q$ : 単位幅流量)、 $F_0$ : 縮流部でのフルード数( $F_0 = U_0/\sqrt{gh_0}$ )

#### 参考文献

- Ohtsu, I. and Yasuda, Y. (1994) "Characteristics of supercritical flow below a sluice gate", J. Hydr. Engrg., ASCE, 120(3), 332-346
- Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Hashiba, H. (1993) "Drag on Vertical Sill of Forced Hydraulic Jump", Proc. of the 25th IAHR Congr., A-10, Tokyo, Japan
- Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Gotoh, H. (1995) "Characteristics of Undular Jumps in Rectangular Channels", Proc. of the 26th IAHR Congr., IC14, London, U.K.
- Schlichting, H. (1979) Boundary-layer theory, McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Iwasa, Y. (1957) "Boundary layer growth of open channel flows on a smooth bed and its contribution to practical application to channel design", Memoirs of Fac. of Engrg., Kyoto Univ., 19(3), 229-254
- Knight, D.W., Demetrious, J.D., and Hamed, M.E. (1984) "Boundary shear in smooth rectangular channels.", J. Hydr. Engrg., ASCE, 110(4), 405-422.

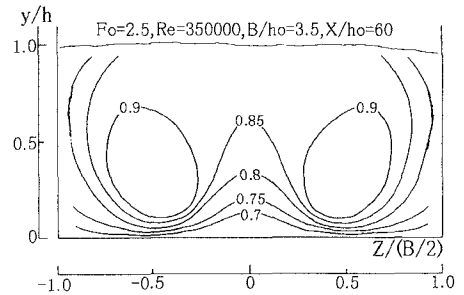


図5 水路横断方向の等流速線図

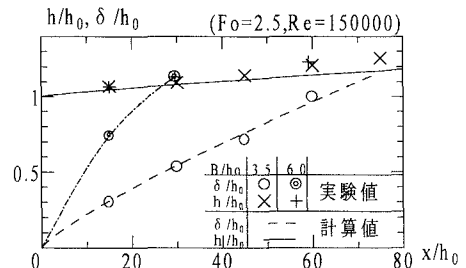


図6 水面形状と境界層の発達状況