

II-86

ゲートから流出する射流の二、三の特性

日大 理工 正員 大津 岩夫
日大 理工 正員 〇安田 陽一
日大 理工 学生員 原 雅人

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、水面まで達する。また、その下流側では乱流境界層が十分に発達した流れとなる（図1）。従来、このような流れの特性、例えば乱流境界層の発達状態や流速特性などについて十分に解明されているとは言えない。ここでは、ゲートから流出する射流の水面形状、境界層発達状態、および流速特性について検討を加えた。

実験 長さ17 m、幅40 cm、高さ40 cmの滑面長方形断面水平水路（下流端から9.5 mの位置にスルース・ゲート設置）を用いて実験を行なった。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 40 ms、採取時間 164 s）。

射流の流速特性

developing flow の場合、時間平均された流速 $\bar{u}$ および x 方向の乱れ強さ $\sqrt{u'^2}$ の実験値を（1）、（2）の関係で整理した一例を図-2に示す。

$$\bar{u} / U = f(y / \delta) \quad (1)$$

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

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距離、 δ は境界層厚さであり、 $\bar{u} = 0.999 U$ となる y の値として定めた。

図-2に示されるように、境界層内の流速は1/7 乗則（図中、実線）で近似される。相対乱れ強さ $\sqrt{u'^2} / U$ については、与えられた Re に対して、 Fo による分布の違いは顕著ではない。また、その分布は空気流での smooth flat plate（zero pressure gradient）の場合¹⁾（図中、破線）とほぼ同様な傾向が得られる。境界層外側の流れについては、図-2に示されるように、 $\sqrt{u'^2} / U$ の値は小さくなり、一定値を示す。

図-3～5は流速 $u (= \bar{u} + u')$ の時系列変化および頻度分布を示したものである。 $y / \delta < 0.4$ では壁面と流れとの境界で生ずる大きい乱れの存在が認められる（図3）。 $y / \delta > 1.0$ では、空気流の場合には観察されなかった小さい乱れの存在が認められる（図4）。

この乱れはゲートのエッジと流れ

との境界で発生するものと考えられる。なお、 $y / \delta > 1.0$ に対する $\sqrt{u'^2}$ の値は、ゲートのエッジ近くで測定された場合とほぼ同じ値を示すことが確かめられた。

$0.5 < y / \delta < 1.0$ の場合、図5に示されるように、 $y / \delta < 0.4$ の場合と $y / \delta > 1.0$ の場合の2つの状況が時間的に混在している。

この現象は空気流での

乱流境界層の場合に定義された intermittency¹⁾ と同様なものと考えられる。

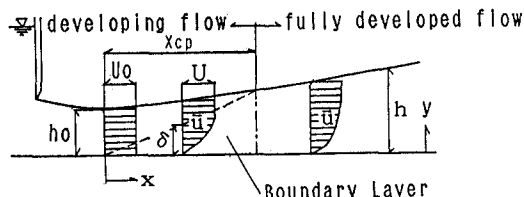


図-1

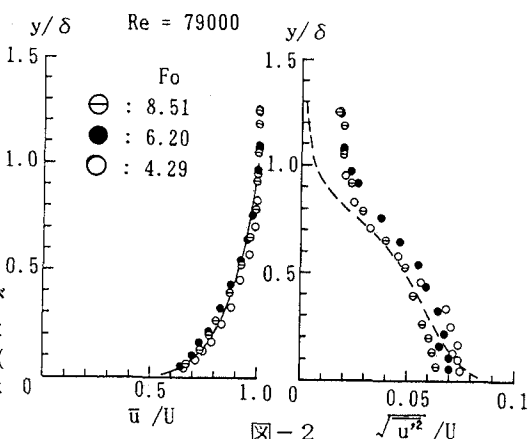


図-2

$Fo = 4.29, Re = 79000, x/h_0 = 41, y/\delta = 0.248,$

u (m/s) $\bar{u} = 1.966$ m/s, $\sqrt{u'^2} = 0.168$ m/s

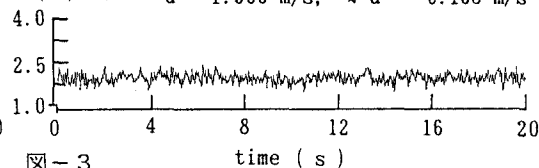


図-3

$Fo = 4.29, Re = 79000, x/h_0 = 41, y/\delta = 1.24,$

u (m/s) $\bar{u} = 2.365$ m/s, $\sqrt{u'^2} = 0.043$ m/s

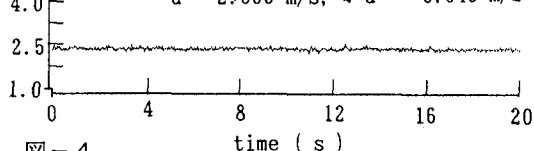


図-4

fully developed flow
の場合、時間平均され
た流速 $\bar{u}$ および x 方向
の乱れ強さ $\sqrt{u'^2}$ の実験
値を (3)、(4) の
関係で整理した一例を
図-6に示す。

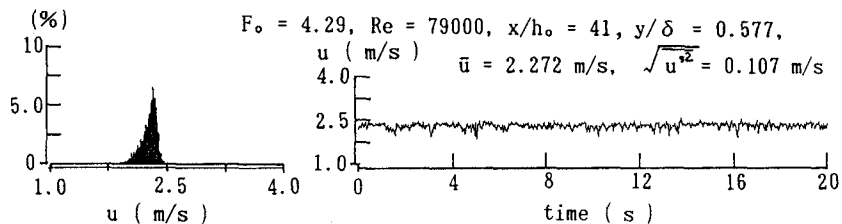


図-5

$$\bar{u} / U = f(y / h) \quad (3)$$

$$\sqrt{u'^2} / U = f(y / h) \quad (4)$$

図-6に示されるように、流速分布は1/7 乗則（図
中、実線）で近似される。また、 $\sqrt{u'^2} / U$ については
与えられた Re に対して、 F_o による分布の違いは顕著
ではない。

射流の水面形状と境界層の発達状態

developing flow の場合、境界層内の流速分布は1/7
乗則で近似され、境界層外側の流れをPotential flow
と仮定すると、 h/h_o および δ/h_o について、次式が
示される²⁾。

$$h/h_o = 0.5 F_o^2 (1 - 1/J^2) + 1 \quad (5)$$

$$\delta/h_o = 8 \{ 0.5 F_o^2 (1 - 1/J^2) + 1 - J \} \quad (6)$$

ここに、 $J = U_o / U$ である。

境界層内の運動量方程式に基づき、次式が導かれる²⁾。

$$x/h_o = 194 Re^{1/4} \{ (37/99) F_o^2 \{ 1 - J^{-11/5} \} + (23/9) (2 + F_o^2) \{ J^{-1/5} - 1 \} - (8/9) \{ 1 - J^{4/5} \} \}^{5/4} \quad (7)$$

fully developed flow の場合、不等流の基礎式
に基づき、次式が導かれる²⁾。

$$x/h_o = \{ 8 / (f F_o^2) \} \{ F_o^2 (h/h_o - h_{cp}/h_o) + (1/4) (h_{cp}/h_o)^4 - (1/4) (h/h_o)^4 \} + x_{cp}/h_o \quad (8)$$

ここに、 $1/\sqrt{f} = 1.81 \log_{10} (4Re \sqrt{f}) - 0.35$ 。

なお、 h_{cp} ($h = \delta$ になり始めた水深) および x_{cp} ($h = h_{cp}$ での x の値) については (5)、(6)、(7) より
求められる。

以上のことから、射流の水面形は developing flow の場合、(5)、(7) から求められ、fully developed flow
の場合、(7)、(8) から求められる。また、境界層の発達状態は(6)、(7) から求められる。これらの計算値と
実験値との比較を図-7に示す。図-7に示されるように、計算値は実験値を満足している。

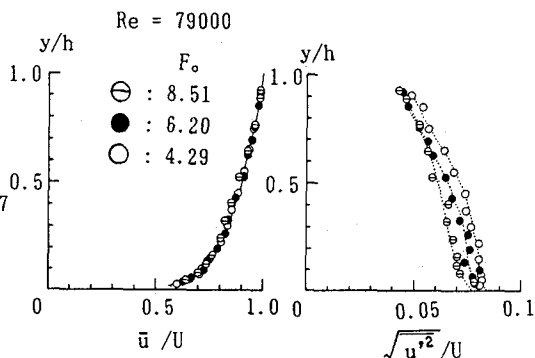


図-6

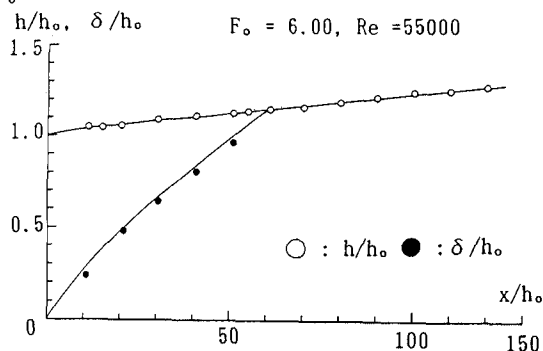


図-7

記号説明

$\bar{u}$: 時間平均された流速、 u' : 変動流速、 $\sqrt{u'^2}$: x 方向の乱れ強さ、 U_o : 縮流部での流速、 U : 境界層外
縁の流速、 x : 縮流部からの水平長さ、 h_o : 縮流部での水深、 h : 任意な断面での射流水深、 y : 水路床に
垂直な方向の距離、 δ : 境界層厚さ、 h_{cp} : 境界層が水面に達し始めたときの射流水深、 x_{cp} : $h = h_{cp}$ での
 x 、 Re : レイノルズ数 ($Re = q/\nu$; q : 単位幅流量)、 f : 壁面摩擦係数 [$f = 8 \tau_o / (\rho v^2)$;
 v : 平均流速 ($v = q/h$)]、 F_o : 縮流部のフルード数 ($F_o = U_o / \sqrt{gh_o}$)

参考文献

- Schlichting, H. (1979). Boundary-layer theory, McGraw-Hill, New York, N.Y.
- 大津、安田、原 (1992). “下流水位の変化に対する跳水位置の移動” 土木学会第47回年次講演、
第II部門