

ゲート下流の射流の水面変動に与える乱流境界層の発達状態とフルード数の影響

日本大学大学院理工学研究科
日本大学大学院理工学研究科
日本大学理工学部

学生会員 ○佐藤柳言
学生会員 東條晃己
正会員 高橋正行

1. まえがき

スルースゲート下流側に形成される射流は、乱流境界層の発達状態によって undeveloped flow (以下, UD と略す), partially developed flow (PD と略す), および fully developed flow (FD と略す) に分けられている^{1),2)}. このような射流の特性を考慮し, ゲート下流側の射流の水面形状と跳水位置の確定¹⁾, UD と FD における跳水の空気混入メカニズムの解明²⁾, FD における跳水の流況特性³⁾ が明らかにされた. また, 乱流境界層の発達状態が UD と PD で $\delta/h = 0.5$ (PD_{0.5} と略す) の場合 (図 1(a), 1(b)), 射流の水面は滑らかに変動もなく; PD で $\delta/h = 0.8$ (PD_{0.8} と略す) の場合 (図 1(c)), 水面に凹凸と変動が間欠的に生じ; FD の場合 (図 1(d)), 水面に凹凸と変動が常に生じることが示されている²⁾. ここに, δ は乱流境界層厚, h は射流水深である. しかし, 射流における水面の凹凸と変動の有無は高速度ビデオカメラによる観察結果であり, 水面の凹凸と変動を定量的に評価する必要がある.

本研究は, スルースゲート下流側に形成される射流の水面変動が乱流境界層の発達状態とフルード数によって受ける影響について実験的検討を行い, 射流の水面変動について定量的に明らかにしようとしたものである.

2. 実験

実験は, スルースゲートを有する長方形断面水平水路において, 表 1 に示される条件の射流を対象に行われた. 時間平均水深 $\bar{h}$ は超音波水位計 (採取間隔 10 ms, 採取時間 200 s, 設置高さは水面より鉛直上方の 70 ~ 100 mm) を用いて各評価断面の水路中央面 ($z = 0$) で 10 回測定された. ここに, $F_r [= V/(g\bar{h})^{0.5}]$ は評価断面のフルード数, g は重力加速度, V は断面平均流速, $Re [= V\bar{h}/\nu]$ はレイノルズ数, ν は水の動粘性係数である. 評価断面は乱流境界層の発達状態が UD, PD ($\delta/\bar{h} = 0.3, 0.5, 0.7, 0.75, 0.8, 0.9$), FD ($x/x_{cp} = 1.0, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 2.0$) となる断面を対象とした. ここに, x は縮流部を原点とする流下方向座標, x_{cp} は乱流境界層が水面に到達した断面 (critical point) の x である (図 2 参照). なお, UD の場合は $x = 0$ (縮流部), PD の場合は $\delta/\bar{h} = 0.3, 0.5, 0.7, 0.75, 0.8$ および 0.9 となる x , FD の場合は $x = x_{cp}, 1.2x_{cp}, 1.3x_{cp}, 1.4x_{cp}, 1.5x_{cp}, 1.7x_{cp}$ および $2.0x_{cp}$ とした.

与えられた F_r , Re , および $\delta/\bar{h}$ (UD, PD, FD) となる x/h_0 を求めるため, Ohtsu and Yasuda の方法¹⁾ を用いて乱流境界層厚 δ , 時間平均水深 $\bar{h}$, 流下方向距離 x を計算し, 表 1 の条件が得られるように単位幅流量 q , スルースゲートの開口高 a を調整して実験を行った. ここに, h_0 は縮流部 ($x = 0$) における水深であり, $h_0 = 0.64a$ で示され, 縮流部はスルースゲート直下から下流に $2a$ の位置にある^{1),4)}.

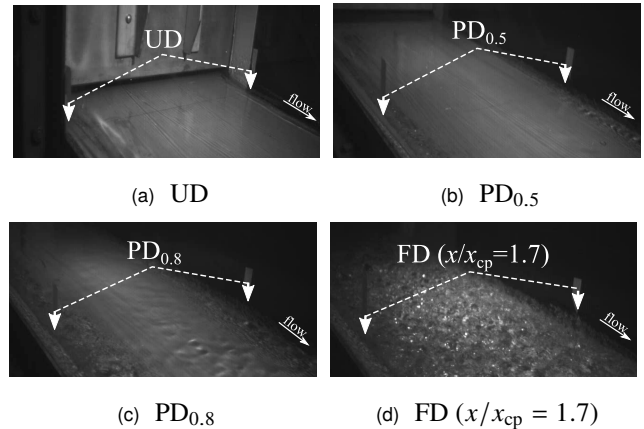


図 1 射流の水面形状 ($F_r = 7.2$, $Re = 6.2 \times 10^4$)²⁾

表 1 実験条件

Flow condition	F_r	$Re \times 10^{-4}$	B	$\delta/\bar{h}$	x/x_{cp}
	[—]	[—]	[m]	[—]	[—]
UD	3.2 ~ 8.2	6.2	0.4	0	0
PD	7.2	6.2	0.4	0.3~0.9	0.2 ~ 0.9
FD	3.2 ~ 8.2	6.2	0.4	1	1.0 ~ 2.0

3. 乱流境界層の発達状態と水面変動との関係

水面変動 $\sqrt{h'^2}/\bar{h}$ の流下方向変化を図 3 に示す. ここに, $h' [= h - \bar{h}]$ は変動水深, $\sqrt{h'^2}$ はその標準偏差である.

図 3 に示されるように, $\sqrt{h'^2}/\bar{h}$ は UD と PD に比べて FD のほうが大きい. UD と PD で $0 < \delta/\bar{h} \lesssim 0.7$ の場合, $\sqrt{h'^2}/\bar{h}$ はほぼ一定で小さい値を示す. これは, UD と PD で $0 < \delta/\bar{h} \lesssim 0.7$ の場合の水面に凹凸が生じないことを示しており, 水面の観察によって UD と PD_{0.5} の水面に凹凸と変動が認められなかった結果 (図 1(a), 1(b)) と対応している.

FD で $x/x_{cp} \gtrsim 1.5$ の場合の $\sqrt{h'^2}/\bar{h}$ は, 図 3 に示されるように, ほぼ一定で UD と PD に比べて大きい値を示す. これは, 乱流境界層が水面に到達した断面 ($x/x_{cp} = 1.0$) より下流側の $x/x_{cp} \gtrsim 1.5$ の断面で水面付近の乱れが十分発達した状態になることを示している. すなわち, critical point ($x/x_{cp} = 1.0$) の $\sqrt{h'^2}/\bar{h}$ の値は $x/x_{cp} \gtrsim 1.5$ の断面の $\sqrt{h'^2}/\bar{h}$ の値に比べて小さい.

PD で $0.8 \lesssim \delta/\bar{h} < 1$ の場合では, 図 3 に示されるように, 乱流境界層の発達 ($\delta/\bar{h}$ の増加) に伴い $\sqrt{h'^2}/\bar{h}$ は増加している. このことから, 射流の水面の凹凸と変動は PD_{0.8} ($\delta/\bar{h} \approx 0.8$) 付近から生じ始めることを示しており, PD_{0.8} の水面に間欠的な凹凸と変動が観察された結果 (図 1(c)) に対

キーワード: 水面変動, 乱流境界層の発達状態, フルード数, 射流

連絡先: 〒 101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 TEL. 03-3259-0676

