# 相対落差の小さい場合における跳水下流部の流速分布に対する流入条件の影響 Effect of Inflow Condition on Velocity Distribution in Downstream Part of Hydraulic Jump at Relative Low Drop

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田陽-日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○加藤拓磨

跳水形成位置 ℓ/d<sub>c</sub>

 $\ell/d_c = 3.5$ 

 $\ell/d_c = 6.3$ 

 $\rightarrow x$ 

 $\ell/d_c = 1.4$ 

表1 実験条件

台形堰H=0.10 m

 $(H/d_c = 1.20, \ \theta = 45^{\circ})$ 

### 1. はじめに

堰などの落差を伴う河川横断構造物を設置する際, 堰下流側で跳水を形成させ高速流を制御する方法がと られている.また,河床保護のために水叩きや跳水区間 に護床工を設置することが指針とされている <sup>1</sup>.

従来の研究では、 スルース・ゲートやノズルを用いて 形成させた跳水を対象に実験的検討が行われ、跳水始 端にて乱流境界層が十分に発達している場合,跳水長Li の 60%より下流側で主流の位置が水面に向かって上昇 することが明らかにされている<sup>2)</sup>. しかし, 堰などの落 差部下流側に形成される跳水の場合、跳水始端で流線 の曲がりの影響を受けるため跳水下流部の流速分布や 主流の発達状態、最大流速の減衰状況は流線の曲がり のない場合と異なることが想定される.

これまで本研究室において、堰下流側に形成される 跳水下流部の流速特性について,相対落差 H/dc(H: 堰落 差高さ, d<sub>c</sub>: 限界水深), θ: 越流面角度, 跳水形成位置 ℓ/d<sub>e</sub>(ℓ:跳水設定位置)を変化させ実験検討が行われ、堰 下流側に跳水が形成される場合、流線の曲がりの影響 を受け、0.60Li以降も主流が底面付近に位置しているこ とが示されている<sup>3)</sup>また,鉛直堰下流側に形成される 跳水について,相対落差によって主流の発達状態が異 なることが示されている4. 現段階では、相対落差が小 さい場合については, 越流面角度による流速特性の違 いについては明らかにされていない.

ここでは,鉛直堰(H/d<sub>c</sub>=1.20, θ=90°)および台形堰 (H/d<sub>c</sub>=1.20, θ=45°)下流側に形成される跳水を対象に, 跳 水下流部の流速特性に対する流入条件の影響について 検討し、その特徴を示す.

#### 2. 実験方法

実験は、水路幅 B=0.80m、長さ 14.5m、高さ 0.60m を 有する長方形断面水平水路に堰模型を設置し,表1に 示す実験条件のもとで堰下流側の射流の特性および跳 水下流部の流速特性について検討した. 射流区間の流 速については、ピトー管を用いて ℓ/d=1.4, 3.5, 6.3 の 位置で横断方向に v/(B/2)=0.00, 0.50, 0.75, 0.88 の 4 ヶ 所で測定した.また,跳水下流部の流速については,図 1 に示す跳水始端から下流側に x/L;=0.65, 0.86, 1.08, 1.46 (跳水長は  $L_{i}=5.5h_{2}^{2}$ )としている.ここに,  $h_{2}$ は跳水 終端水深),横断方向に 0.10m 間隔に 7 ヶ所で測定を行 った. なお, 流下方向流速 u と横断方向流速 v を測定す るため、1型2次元電磁流速計を用いた(採取間隔 50msec, 採取時間 120sec).

### 3. 堰下流側における跳水始端での流速分布

跳水始端の設定位置における射流の流速分布の一例 を図2に示す.図に示されるように、台形堰と比較し て, 鉛直堰では, 跳水始端における射流の流速分布が横 断方向に変化している. 台形堰と比較して鉛直堰の方 が越流水脈の3次元性は大きくなり、落差部下流側に 形成される衝撃波の波面は大きくなる. その結果, 水路 底面への衝突点より下流側の射流の流速分布は横断方

# 4. 跳水下流部における流速分布

キーワード

連絡先

堰下流側に形成される跳水下流部の流速分布特性を



0.6 u/V<sub>1</sub> b) 鉛直堰の場合(H/d<sub>c</sub>=1.20, 0=90°, ℓ/d<sub>c</sub>=1.4) 図2 跳水始端での流速分布

0.4

検討するため、流下方向流速 u を(1)の関係で整理でき る領域と流速分布の特徴を表 2,3 にまとめ、その一例 を図3に示す.

0.8

1

1.2

# $u/U_{max} = f(z/Z, y/[B/2], H/d_c, \ell/d_c, x/L_i, F_1, \theta)$ (1)

ここに、 $U_{max}$ は測定断面での最大流速、Z は底面から Umax/2 が生じる位置(ただし, du/dz<0) までの鉛直高さ (噴流幅) である. 図中破線は, 自由跳水(FJ: free jump) の流速分布<sup>2)</sup>を示し、実線は壁面噴流(WJ:walljet)の流 速分布<sup>2)</sup>を示す.また,UD(undeveloped inflow)は跳水始 端で乱流境界層が発達していない状態を示し, FD(fully developed inflow)は乱流境界層が十分に発達している状 態を示す.

向に変化しやすくなったものと考えられる.

0

0

0.2

表 2 (1)式で整理できる領域と流速分布の特徴(θ=45°)

□ 合形理(H/d <sub>c</sub> =1.20, θ=45°)								
$\ell/d_c$	x/L <sub>j</sub>	y/(B/2)				流速分布の傾向と範囲		
1.4	0.65	-0.75	≦	y/(B/2)	∭	0.75		WJ
	0.86	-0.75	≦	y/(B/2)	≦	0.75		WJ
3.5	0.65	-0.75	$\leq $	y/(B/2)	$\leq$	0.75	y=±0.75	FJ
							$-0.50 \leq y/(B/2) \leq 0.50$	FJとWJ
								の中間
	0.86	-0.50	$\leq$	y/(B/2)	$\leq$	0.50		FJとWJ
								の中間
6.3	0.65	-0.75	$\leq$	y/(B/2)	$\leq$	0.75		FJ
	0.86	-0.50	$\leq$	y/(B/2)	$\leq$	0.50		FJとWJ
								の中間

表 3(1)式で整理できる領域と流速分布の特徴(heta=90 $^\circ$ )



 $\ell/d_c=1.4$ の位置に跳水が形成される場合,表に示されるように, $x/L_j=0.65$ , 0.86 で-0.75  $\leq y/(B/2) \leq 0.75$ の範囲で(1)の関係で示され, $\theta=45^{\circ}$ の場合, $x/L_j \leq 0.86$ の範囲でWJの傾向を示す. $\theta=90^{\circ}$ の場合, $x/L_j=0.65$ では,FJとWJの中間に分布している. $x/L_j=0.86$ では, $y/(B/2)=\pm0.75$ でFJと同様な分布が得られ, $-0.50 \leq y/(B/2) \leq 0.50$ でWJの傾向を示す.これは,落差部下流側に形成される衝撃波の影響を受けたため,鉛直堰の場合では跳水下流部の流速分布が横断方向に変化したと考えられる.

 $\ell/d_c=3.5$ の場合,  $x/L_j=0.65$ では,  $\theta=45^\circ$ のとき,  $y/(B/2)=\pm0.75$ の位置でFJの傾向を示し,  $-0.50 \leq y/(B/2)$  $\leq 0.50$ でFJとWJの間に分布する.また,  $\theta=90^\circ$ では,  $x/L_j=0.65$ の場合,  $-0.75 \leq y/(B/2) \leq 0.75$ でFJの場合と同様な分布が得られる.また,  $x/L_j=0.86$ では $\theta$ に関わらず  $-0.50 \leq y/(B/2) \leq 0.50$ の範囲で(1)の関係で整理でき,  $\theta=45^\circ$ の場合, FJとWJの間に分布し,  $\theta=90^\circ$ の場合, y/(B/2)=0に向かってWJに近づく傾向が得られた.これは, 跳水のローラー部下流側で主流が底面に沿いや すくなったため,  $x/L_j=0.86$ ではWJに近い傾向が得られ たものと考えられる.

 $\ell/d_c=6.3$ の場合, 越流面角度の影響が小さくなるため,  $x/L_j=0.65$ では、 $-0.75 \leq y/(B/2) \leq 0.75$ の範囲で FJ の傾向 が得られる.また、 $x/L_j=0.86$ では、 $-0.50 \leq y/(B/2) \leq 0.50$ の範囲で FJ と WJ の間の分布を示す.

# 5. 跳水下流部における最大流速の位置

 $0.65 \leq x/L_j \leq 1.46$ における最大流速の位置  $z_1$ について, ここでは水路中央部に着目し,(2)の関係で整理した結



台形堰 (H/d<sub>c</sub>=1.20, ℓ/d<sub>c</sub>=6.3, y/(B/2)=0.00) 図 4 跳水下流部における最大流速の位置

果の一例を図4に示す.図中の破線は跳水始端で流線の曲がりの影響がない場合の $z_1$ の変化傾向<sup>2)</sup>を示し,  $x/L_j < 0.6 < 0.7$ の範囲で適用される.ここでは $x/L_j > 0.60$ の 範囲でも噴流の傾向が続くため, $0.60 \le x/L_j < 1.46$ の範囲 にも直線変化を外挿している.

$$z_1/Z = f(x/L_i, y/[B/2], H/d_c, \ell/d_c, F_1, \theta)$$
 (2)

図4に示されるように、 $H/d_c=1.20$ 、 $\ell/d_c=6.3$ の場合、 最大流速の位置 $z_1$ は、 $\theta$ による影響は小さく、 $\ell/d_c$ に関 わらず、 $x/L_j \ge 0.86$ では FJの傾向を外挿した線よりも下 側に位置し、水面方向への上昇傾向は見られない.これ は、相対落差が小さいことによって、跳水始端でのフル ード数 $F_1$ が小さくなる、その結果、表面渦が小さくな り、最大流速が底面付近に沿ったものと考えられる. 6. まとめ

H/d<sub>c</sub>=1.20, θ=45°の台形堰および θ=90°の鉛直堰を対象に,同一の相対落差における射流の流速分布,跳水下流部の流速分布および主流の発達状況について検討した.得られた結果を以下に要約して示す.

*H/d<sub>c</sub>*=1.20 では,鉛直堰の方が台形堰と比較して衝撃 波が顕著に形成されるため,射流の流速分布が横断方 向に変化することを示した.

跳水下流部の流速分布について、台形堰の場合、鉛直 堰に比べて流入射流の流速分布の横断方向変化が小さ くなったため、ℓ/d<sub>c</sub>=1.4 で WJ の傾向が得られた.また、 跳水形成位置が下流側になるにつれて、越流面角度に 関わらず同様な傾向が得られた.

相対落差が小さい  $H/d_c=1.20$  の場合,  $\theta$  および  $\ell/d_c$ に 関わらず,最大流速の位置は跳水終端断面以降も底面 付近に存在していることを示した.

#### 参考文献

- 建設省河川局監修:建設省河川砂防技術基準(案) 同解説・設計編[I],改訂新版,技法堂出版,2012.
- Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Awazu, S., "Free and Submerged Jumps in Rectangular Channels," Report of the Research Institute of Science and Technology, Nihon University, No. 35, 1990, pp. 1-50.
- 安田陽一,高橋直己,佐藤麻衣,神戸基秀:堰下流 側に形成される跳水の流速特性,第68回土木学会 年次学術講演会,第Ⅱ部門,Ⅱ-054,2013,CD-ROM.
- 安田陽一,神戸基秀:鉛直堰下流側に形成される跳水の流速分布に対する相対落差の影響,第70回土 木学会年次講演会,第Ⅱ部門,Ⅲ-053,2015,CD-ROM.