

## H3-9

## 落差直下流部で形成される跳水の流速特性に対する落差形状の影響

## The effect of drop shape on velocity characteristics of hydraulic jumps below drop structures

安田陽一<sup>1</sup>, ○篠崎遼太<sup>2</sup>Youichi Yasuda<sup>1</sup>, Ryota Shinozaki<sup>2</sup>

Abstract: Free hydraulic jump in rectangular channel was investigated experimentally. In case the jump is formed at immediately downstream of drop structure, the curvature of stream line at toe of jump affects inflow condition. For low drop structure, the main flow in the jump is located near the bottom. This report presents the stream wise change of maximum velocity at each section in jump, and the comparison of drop shapes (i.e., vertical drop, and slope with 45 degrees) on velocity characteristics has been discussed.

## 1. はじめに

河川に対し、落差を有する横断構造物を設置する場合、落差直下流部での洗掘を防止するため護床工を設置することが指針として示されている<sup>[1]</sup>。また、スルース・ゲート下流部で形成される自由跳水について、既往の研究において実験的検討により流速分布特性や主流位置に関して明らかにされている<sup>[2]</sup>。これに対し、落差直下流部で跳水が形成される、すなわち、跳水始端において流線の曲がりの影響が含まれる場合、自由跳水の場合と比較して跳水流入部における条件が異なるため、跳水内部における流速特性についても異なるものと考えられる。以上の背景から本研究室では、落差直下流部で形成される跳水の下流部(跳水長  $L_j$  に対する流下方向距離  $x/L_j \geq 0.60$ )を対象に、相対落差高さ  $H/dc$  ( $dc$ :限界水深), 跳水形成位置  $l/dc$ , 越流面角度  $\theta$  を変化させた実験的検討が行われている<sup>[3]</sup>。その結果から、 $H/dc$  が小さい場合、主流は下流側遠方まで底面付近に位置することが明らかになっている。しかし、跳水下流部を対象とした検討では、その流速特性の全容の解明には至らない。本研究では相対落差高さ  $H/dc$  の小さい落差直下流部で形成される跳水を対象に、 $x/L_j \leq 0.60$  の範囲での流速特性を明らかにし、また越流面角度  $\theta$  を変化させ、落差部背面における渦の形成が跳水内部の流速特性に及ぼす影響を実験的に検討した。

## 2. 実験概要

実験は、水路幅 0.80m, 水路高さ 0.60m, 水路長さ 18m を有する長方形断面水平水路に鉛直堰模型(落差高さ 0.1m, 幅 0.796m, 長さ 1.0m)を設置した場合(Case1 とする), および台形堰模型(落差高さ 0.1m, 幅 0.796m, 長さ 1.1m, 越流面角度  $\theta=45^\circ$ )を設置した場合(Case2 とする)の二つの検討を行った。Table 1 に実験条件を示す。なお、 $Q$  は流量,  $Re$  はレイノルズ数,  $Fr_1$  は流入フルード数,  $h_1$  は跳水始端水深,  $h_2$  は跳水終端水深,  $L_j$  は跳水長を表す。流速の測定は流下方向および水路横断方向の流速  $u, v$  を測定するため、I型プローブを有する二次元電磁流速計を用いた。また、測定点は横断方向に 7 点( $y=0\text{cm}, \pm 10\text{cm}, \pm 20\text{cm}, \pm 30\text{cm}$ ), 流下方向に 6 点( $x/L_j=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ ), 水深方向に

は底面 1cm の位置から 1~2cm 間隔で気泡混入によるノイズが小さくなるよう水深を考慮して流速を測定した(採取間隔 50msec, 採取時間 120sec)。

Table 1. Experimental conditions

$H/dc$	$l/dc$	$Q(\text{m}^3/\text{s})$	Case	$\theta$	$Re(-)$	$Fr_1$	$h_1(\text{m})$	$h_2(\text{m})$	$L_j(\text{m})$
1.2	1.4	$6.03 \times 10^{-2}$	1	$90^\circ$	81894	2.89	0.0413	0.147	0.879
			2	$45^\circ$	78093	2.82	0.0419	0.147	0.879

## 3. 実験結果

## 3-1. 最大流速の生じる位置について

落差直下流部で形成される跳水内部において、最大流速の生じる位置  $z_1$  を跳水始端水深  $h_1$  で無次元化した  $z_1/h_1$  と  $x/L_j$  で整理したグラフを Figure.1, Figure.2 に示す。細い実線は水面形を、太い実線は  $z_1/h_1$  を横断方向に平均化した場合の傾向線を、破線は自由跳水の  $z_1/h_1$  の変化傾向を示している。なお、UD, FD は跳水始端において乱流境界層が発達していない場合(Undeveloped flow), と十分発達している場合(Fully developed flow)を示し<sup>[2]</sup>,  $0.1 \sim 0.2 \leq x/L_j \leq 0.6 \sim 0.7$  で適用されるが、ここでは比較のため  $x/L_j \leq 1.34$  の範囲まで外挿している。図に示されるように、 $x/L_j \leq 0.60$  の範囲では、越流面角度  $\theta$  によらず、 $z_1/h_1 \approx 0.5$  ( $z_1 \approx 2\text{cm}$ ) に位置し、 $x/L_j$  に対して変化しないことわかる。

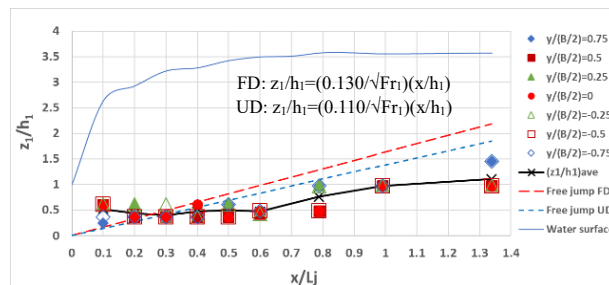


Figure.1 Position of maximum velocity (Case1)

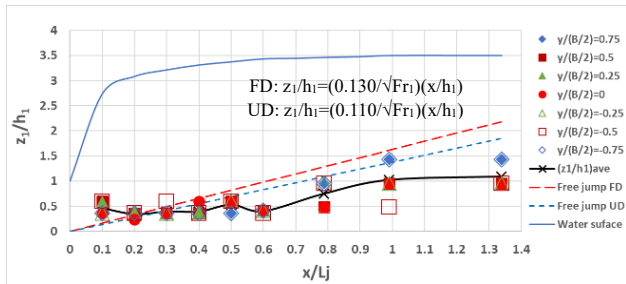


Figure. 2 Position of maximum velocity (Case2)

3-2. 最大流速  $u_{max}$  の減衰状況について

$(u_{max}-V_2)/V_1$  を縦軸、 $x/Lj$  を横軸に整理したグラフをそれぞれ Figure. 3, Figure. 4 に示す. なお,  $V_1, V_2$  はそれぞれ跳水始端および終端での断面平均流速を表し, 図中の実線は自由跳水内部における最大流速の減衰状況の変化傾向を示している [2]. Figure. 3, Figure. 4 に示されるように, 最大流速は Case1 (鉛直堰の場合) の方がわずかに大きいことがわかる. これは, 落差部背面に形成される渦の違いによるものと考えられる.

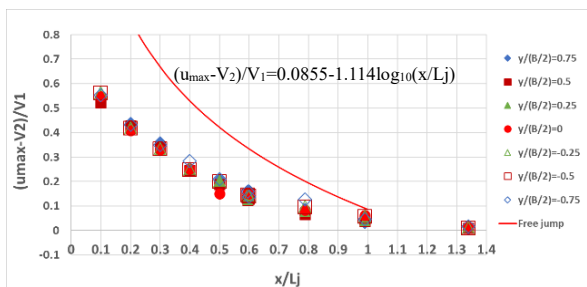


Figure. 3 Decay of maximum velocity (Case1)

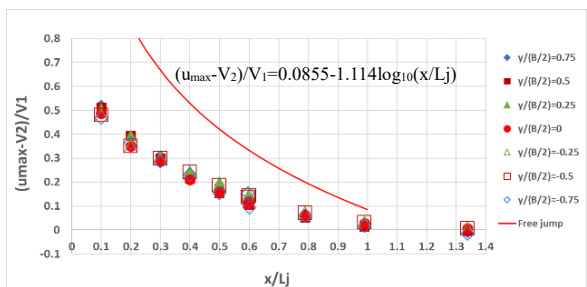


Figure. 4 Decay of maximum velocity (Case2)

3-3. 主流位置における乱れ強さについて

落差直下流部で形成される跳水内部における流下方向および水路横断方向の主流位置 (最大流速が生じる位置) における乱れ強さをそれぞれ  $u', v'$  とする. これらを跳水始端位置における断面平均流速  $V_1$  で無次元化した  $u'/V_1, v'/V_1$  と  $x/Lj$  で整理したグラフを Figure 5, Figure. 6 に示す. なお, Case1 および Case2 との間で大きな差異は見られなかったため, ここでは Case1 の場合を示す. Figure. 5 より  $u'/V_1$  について,  $x/Lj=0.1$  では落差部背面に形成される渦による乱れの影響を受け,  $x/Lj=0.4\sim 0.6$  では跳水の逆流域における乱れが伝搬し,  $u'/V_1$  の値が大きくなっているものと考えられる. 同様に Figure. 6 より  $v'/V_1$  について, 落

差部背面における渦による乱れは横断方向成分が卓越している. また, 逆流域における乱れは横断方向成分  $v'/V_1$  と比べて流下方向成分  $u'/V_1$  が卓越していることがわかる.

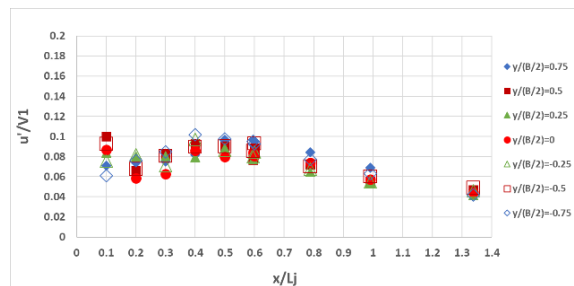


Figure. 5 Change of  $u'/V_1$  at maximum velocity with  $x/Lj$  (Case1)

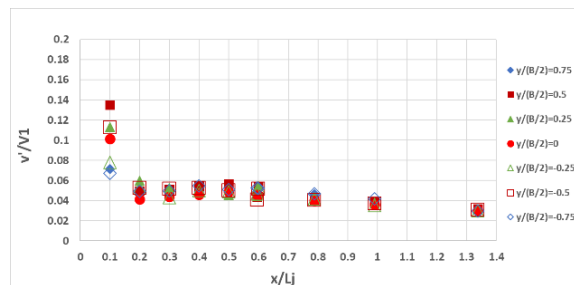


Figure. 6 Change of  $v'/V_1$  at maximum velocity with  $x/Lj$  (Case1)

4. まとめ

本研究では  $H/dc$  の小さい落差直下流部で形成される跳水を対象に,  $x/Lj \leq 0.60$  の範囲での流速特性を明らかにし, 越流面角度  $\theta$  が跳水内部の流速特性に及ぼす影響を実験的に検討した. その結果から, 跳水内部における最大流速の生じる位置およびその減衰状況, 乱れ強さの変化について, 越流面角度  $\theta$  による差異はほとんど生じなかった. その要因として, 本実験において越流面角度  $\theta=45^\circ$  の場合にも, 落差部背面に渦が形成されたため, 流入条件に違いがなかったことが考えられる. 今後, 落差部背面に渦が形成されない場合の検討を行うために, 堰下流部の形状を越流水脈に近い形(Ogee Crest)にして実験を行う予定である.

参考文献

[1] 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],改定新版,技法堂出版,2012,pp.48-60

[2] 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.

[3] Yasuda, Y., "Characteristics of hydraulic jumps below drop structures," E-proceedings of the 37th IAHR Congress, August, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia