

## H3-3

## 落差部直下流側に形成される跳水部の主流の発達と乱れ強さとの関係

## The relationship between turbulence intensity and development of main flow in hydraulic jumps below drops

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: The formation of hydraulic jump is effective for energy dissipation at downstream side of drop structures. However, local scouring and river bed degradation can be seen below drops, even if bed protective blocks are installed. We have investigated the flow characteristics of hydraulic jumps at downstream of several types of drops. This study reveals that a development of main flow depends on streamwise turbulence intensity near the bottom in the jump under given relative drop height  $H/d_c$ .

## 1. まえがき

河川に堰や床止めなどの落差構造物が設置する場合、落差下流側における河床洗掘を防止するため、水叩きおよび護床工を設置することが設計指針によって定められている<sup>[1]</sup>。また、洪水時には、落差下流側で跳水を形成させ、流れを減勢させる方法が一般的である。既往の研究において、スルース・ゲートの下流側で形成される跳水内部の流速分布や流速の減衰状況について検討が行われている<sup>[2]</sup>。しかし、落差下流部で跳水が形成される場合、越流面形状、流量規模によって、越流部における流況が異なるため、跳水の流入条件および内部の流速特性はスルース・ゲート下流側で形成される跳水とは異なるものと推測される<sup>[3]・[4]</sup>。本研究では、落差形状および限界水深に対する落差高さを変化させ、跳水部の主流の発達状態および底面近くの乱れ強さについて、実験的検討を行った。

## 2. 実験概要

落差下流部で形成される跳水部の流速特性について、水平水路（水路幅  $B=0.8$  m, 水路高さ  $0.6$  m, 流下方向長さ  $15$  m）に設置した落差下流面の形状を鉛直、傾斜面（ $45^\circ$ ,  $18.4^\circ$ ）、階段状（Step edge を結んだ角度を  $18.4^\circ$  とする）とした落差模型を用いて、Table 1 に示す条件のもとで実験を行った（Figure 1 参照）。なお、 $F_1$  は跳水始端におけるフルード数（ $F_1 = V_1/\sqrt{gh_1}$ ,  $V_1$  は跳水始端における断面平均流速,  $h_1$  は跳水始端水深,  $g$  は重力加速度）,  $\ell$  はよどみ点から跳水始端までの流下方向距離,  $Re$  はレイノルズ数（ $Re = q/\nu$ ,  $q$  は単位幅流量,  $\nu$  は動粘性係数）を示す。なお、流速の測定には I 型プローブを有する二次元電磁流速計（採取間隔  $50$  msec, 採取時間  $120$  sec）を用い、跳水始終端における水深  $h_1$ ,  $h_2$  の測定はポイントゲージ（ $1/10$  mm まで判読可能）を用いた。

Table 1. Experimental conditions

$H/d_c$	$\ell/d_c$	$F_1$	$Re \times 10^4$	$\theta$	$x/L_j$	$y/(B/2)$
1.2	1.4	2.5 - 3.0	5.4 - 8.2	$90^\circ, 45^\circ,$	0.0 -	0.00 -
2.8		3.6 - 4.5	5.7 - 7.1	$18.4^\circ, 18.4^\circ(\text{step})$	1.3	0.75

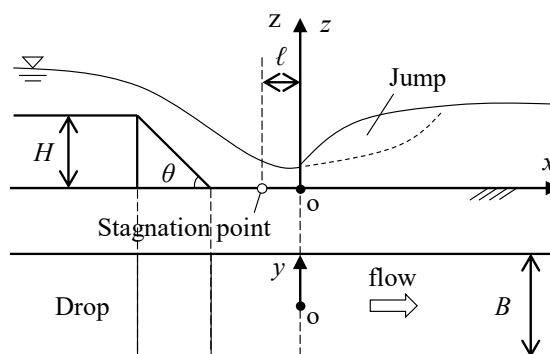


Figure 1. Definition sketch

## 3. 実験結果

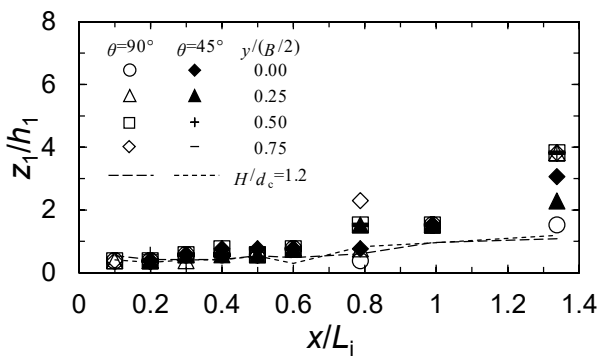
## 3-1. 跳水部の主流位置

跳水部での各測定断面内において、最大流速  $u_{max}$  が生じる位置  $z_1$ （主流位置）の流下方向に対する変化を無次元化した図を Figure 2 に示す。なお、相対落差  $H/d_c = 1.2$  の場合、横断方向に大きな差異が認められないため、水路中央部（ $y/(B/2) = 0.00$ ）のデータを代表し、その傾向線を示している。Figure 2 に示されるように、 $H/d_c = 1.2$  の場合、落差形状に依らず跳水部において主流は底面付近に位置している。これに対し、 $H/d_c = 2.8$  の場合、 $H/d_c = 1.2$  の場合と比較して、跳水部長  $L_j$ （ $L_j = 6h_2$ ）に対する流下方向位置  $x/L_j \geq 0.6$  の範囲で主流が水面に向かって上昇しやすい傾向にあることがわかる。したがって、跳水部の主流位置は相対落差  $H/d_c$  による影響が大きいものと考えられる。

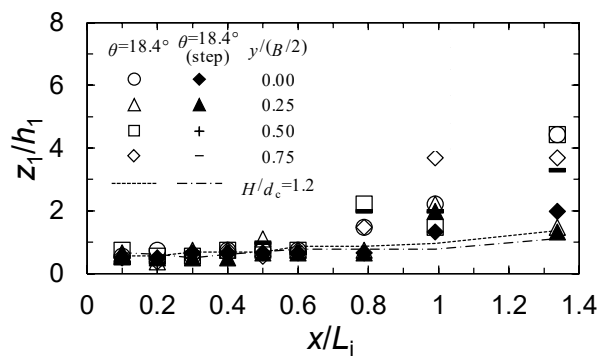
1 : 日大理工・教員・土木 2 : 日大理工・院（前）・土木

3-2. 跳水部の底面付近における流下方向乱れ強さの変化

跳水部の底面付近 ( $z=1\text{ cm}$ ) における流下方向乱れ強さの流下方向に対する変化を無次元化した図を **Figure 3** に示す. ただし, **Figure 2** と同様に相対落差  $H/d_c = 1.2$  のデータは水路中央部 ( $y/(B/2) = 0.00$ ) における傾向線を示している. **Figure 3** に示されるように, 相対流下方向乱れ強さは相対流下方向位置  $x/L_j = 0.6\sim 0.8$  においてピーク値を有し,  $H/d_c = 2.8$  のとき,  $x/L_j \geq 0.6$  の範囲において,  $H/d_c = 1.2$  の場合と比べてより大きな値を示している. これは, 跳水前半区間において底面付近に拘束されていた主流が水面方向に上昇する (**Figure 2**) につれて, 底面付近における流速の変動が大きくなるものと推測される. なお,  $\theta = 90^\circ$  の場合, 落差部直下流での流れの衝突の影響を受けて  $x/L_j \leq 0.6$  の範囲において大きい値を示していると考えられる. 以上から, 落差下流側における河床底面への負担を考慮すると, 主流が上昇した領域においても流速の変動による底面への影響を考慮する必要がある.

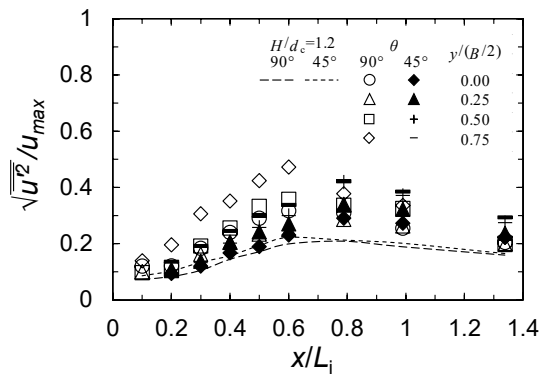


a)  $H/d_c = 1.2, 2.8, \theta = 90^\circ, 45^\circ$

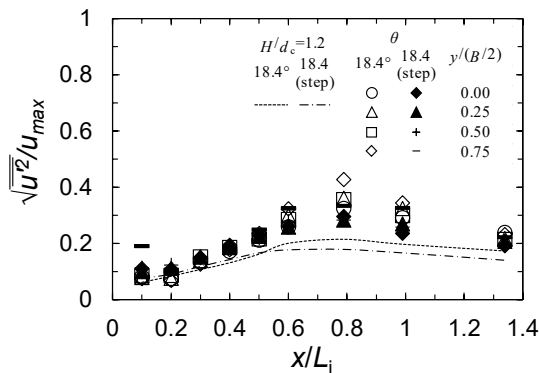


b)  $H/d_c = 1.2, 2.8, \theta = 18.4^\circ, 18.4^\circ \text{ (step)}$

**Figure 2.** Development of main flow in jump



a)  $H/d_c = 1.2, 2.8, \theta = 90^\circ, 45^\circ$



b)  $H/d_c = 1.2, 2.8, \theta = 18.4^\circ, 18.4^\circ \text{ (step)}$

**Figure 3.** Streamwise turbulence intensity near the bottom

4. まとめ

落差部直下流で形成される跳水について, 相対落差  $H/d_c$  および落差下流面の形状を変化させ, 跳水部の主流位置および底面付近における流下方向乱れ強さに関して, 実験的に検討を行った. その結果,  $H/d_c$  を大きくすることで跳水部の主流は上昇しやすくなるが, 底面に拘束された主流が上昇することで底面付近における流下方向流速の変動が大きく, 河床底面に与える影響が大きくなることを示した.

5. 参考文献

- [1] (財)国土開発技術研究センター編:改定 解説・河川管理施設等構造令, pp.171-173 ; 222, (社)日本河川協会, 山海堂, 2000
- [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, pp. 1-50, 1990.
- [3] Yasuda, Y., Shinozaki, R. "Flow characteristics of hydraulic jumps below low drop structures," 12th International Symposium on Ecohydraulics, Japan, Tokyo, August, 2018.
- [4] 安田陽一, 篠崎遼太: 落差直下流部に形成される跳水内部の流速特性に対する落差形状の影響, 水工学論文集, 63 巻, 2018 (論文掲載予定)