

H3-2

鉛直堰下流側に形成される跳水の流速特性
Velocity characteristics of hydraulic jumps below an abrupt drop

○佐藤麻衣¹, 安田陽一²
*Mai Satoh¹, Youichi Yasuda²

Abstract: This report presents the effect of curvature of streamline below abrupt drop on velocity fields in hydraulic jumps. The experimental results yield that the velocity in downstream part of jump region ($0.6 < x/L_j < 0.9$; x = stream-wise axis from toe of jump, L_j = jump length) has been distributed like a wall jet. Also, the stream-wise change of the velocity distribution reveals that the flow condition in the downstream part of jump is three dimensional.

1. まえがき

可動堰や固定堰などの河川構造物を造る際に、河床保護のための水叩きや護床工を設置することが義務付けられている¹⁾。しかし、固定堰直下流側では護床ブロックが下流側へ流されてしまう事例が確認されている。既往の文献から、跳水中の主流の位置が跳水始端での乱流境界層の発達状態によって異なることが報告されている^{2),3)}。しかしながら、堰直下流側に跳水が形成される場合(Photo 1)跳水部内の流速特性について不明である。ここでは、鉛直堰直下に形成される跳水部の流速特性について実験的な検討を行い、流線の曲がりの影響について考察した。



Photo1 Hydraulic Jump immediately below an abrupt drop

2. 実験方法

実験は、水路幅 0.80m, 長さ 14.5m, 高さ 0.60m を有する長方形水平断面水路を用いて行った。実験条件を Table1 に示す鉛直堰模型直下流側に跳水を形成させた(Photo1)。測定したポイントは Fig.1 に示すように跳水始端から流下方向に $x=0.65L_j, 0.86L_j, 1.08L_j, 1.46L_j$ (跳水長は $L_j=5.5 \times h_{2*}$ で求めた²⁾)の位置で、横断方向へ 0.10m 間隔に 7 ヶ所、それぞれ測定した。また、流下方向と横断方向の流速を計測するため、I型2次元電磁流速計を用いた(採取間隔 50 msec, 採取時間を 90 sec)。

3. 鉛直堰下流側の流速特性

鉛直堰下流側で形成される跳水内部の流速特性を検討するために、流下方向成分の流速 u を(1)の関係で整理した一例を Fig.2 に示す。a)は鉛直堰高さ $H=0.20m$, b)は $H=0.40m$ の場合について示している。

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

$$z_1/h_1 = f(x/L_j, y/[B/2], \ell/d_c, F_1) \quad (2)$$

ここに、 d_c は限界水深、 h_1 は跳水始端水深、 U_{max} は測定断面での最大流速、 z_1 は底面から U_{max} が生じる位置までの鉛直高さ、 Z は底面から $U_{max}/2$ が生じる位置までの鉛直高さ(主流幅)である。

Table1. Experimental conditions

鉛直堰	高さ0.20m (淀み点からの距離 ℓ)			高さ0.40m (淀み点からの距離 ℓ)		
	0.10m	0.25m	0.45m	0.10m	0.25m	0.45m
流量 $Q(m^3/s)$	4.80×10^{-2}	4.80×10^{-2}	4.80×10^{-2}	4.80×10^{-2}	4.80×10^{-2}	4.80×10^{-2}
レイノルズ数 $Re(=p/v)$	59500	59500	59500	59500	59500	59500
跳水始端のフルード数 F_1	4.43	4.36	4.21	5.43	5.35	5.17
跳水始端水深 $h_1(m)$	0.0266	0.0269	0.0275	0.0232	0.0234	0.0240
跳水終端水深(実験値) $h_2(m)$	0.154	0.148	0.146	0.164	0.163	0.160
跳水長 $L_j(m)$	0.85	0.84	0.83	0.90	0.89	0.88

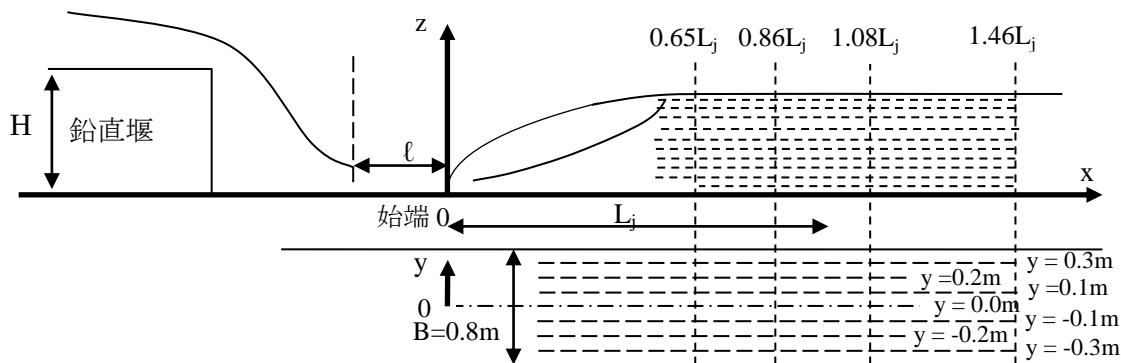
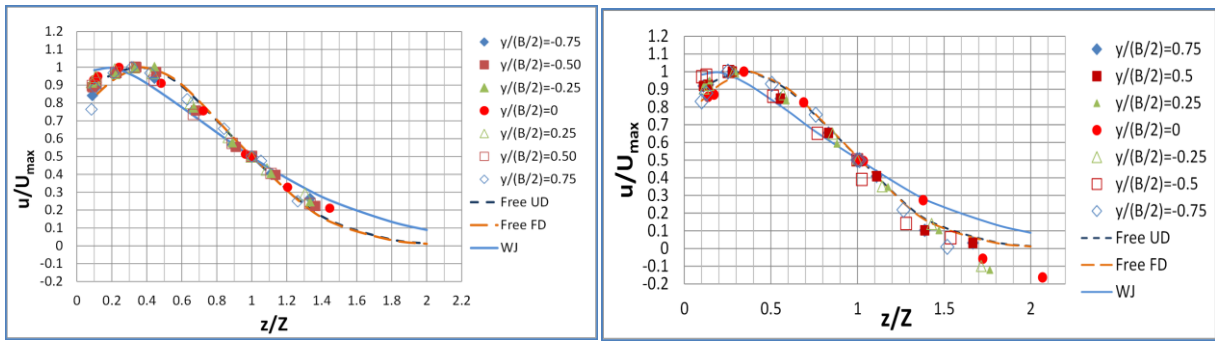


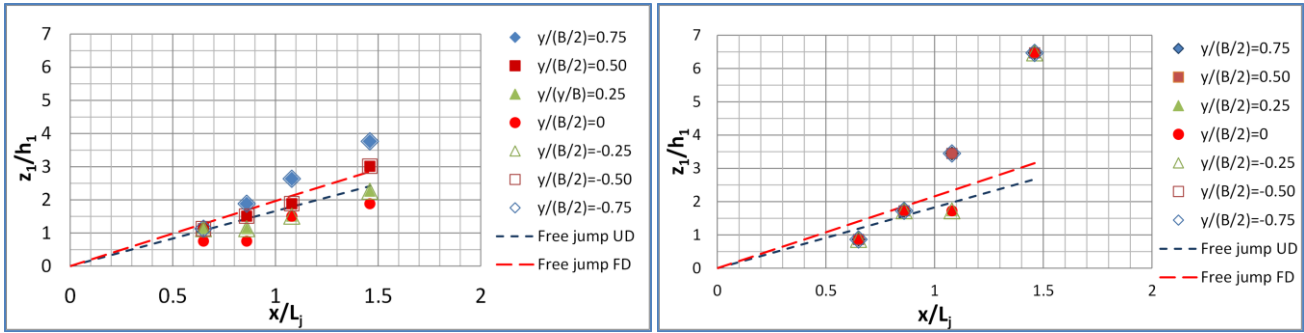
Figure 1. Location of velocity measurement in jumps

1:日大理工・院(前)・土木, 2:日大理工・教員・土木



a) $l/d_c=1.4, H/d_c=2.79, F_1=4.43, x/L_j=0.65$ b) $l/d_c=1.4, H/d_c=5.58, F_1=5.53, x/L_j=0.65$

Figure 2. Velocity distribution in jump below an abrupt drop



a) $l/d_c=1.4, H/d_c=2.79, F_1=4.43$ b) $l/d_c=1.4, H/d_c=5.58, F_1=5.43$

Figure 3. Change of $z_1(z = z_1 \text{ at } u = U_{\max})$ with x/L_j

Fig.2に示されるように、 $1.4 \leq l/d_c \leq 6.3$ の範囲において、跳水中の $x/L_j \geq 0.6$ でも (1) の関係で表示できる $y/(B/2)$ の範囲が存在する。 $l/d_c=1.4$ の場合、 $H/d_c=2.79, 5.58$ のいずれも $x/L_j=0.65$ では $-0.75 \leq y/(B/2) \leq 0.75$ の範囲で自由跳水の流速分布として示される(3)式²⁾と同様な傾向となる。 $x/L_j=0.86$ では $H/d_c=2.79$ の場合、 $-0.25 \leq y/(B/2) \leq 0.25$ の範囲で、 $H/d_c=5.58$ の場合、 $-0.50 \leq y/(B/2) \leq 0.50$ の範囲で(1)の関係で示される。 $l/d_c=3.5$ の場合、 $x/L_j=0.65$ において(1)の関係で示され、 $H/d_c=2.79, 5.58$ のいずれも $-0.75 \leq y/(B/2) \leq 0.75$ の範囲で示される。 $l/d_c=6.3$ の場合、 $x/L_j=0.65$ において(1)の関係で示され、 $H/d_c=5.58$ では $-0.50 \leq y/(B/2) \leq 0.50$ の範囲で、 $H/d_c=2.79$ では $-0.25 \leq y/(B/2) \leq 0.25$ の範囲で示される。 $H/d_c=5.58$ の場合より $H/d_c=2.79$ の場合に (1) の関係で示される $y/(B/2)$ の範囲が狭くなるのは、鉛直面を有する落差部からの流れの衝突の違いによるものと考えられる。

$$u/U_{\max} = \{(1/k)(z/Z)\}^{1/n} \quad (0 < z/Z < z_1/Z) \quad \left[\begin{array}{l} n=12 \text{ for UD, } n=7 \text{ for FD} \\ k=0.333 \text{ for UD, } k=0.351 \text{ for FD} \end{array} \right] \quad (3)-1$$

$$u/U_{\max} = \text{EXP}\{0.5[1.177(k-z/Z)/(1-k)]^2\} \quad (z_1/Z < z/Z < 1.5) \quad (3)-2$$

$$u/U_{\max} = 1.48(z/Z)^{1/7}\{1 - \text{erf}(0.68z/Z)\} \quad (z/Z > 0) \quad (4)$$

4. 跳水中の主流の位置の変化

Fig.3 は $l/d_c=1.4$ に跳水始端が位置する場合の各測定断面の最大流速が生じる位置 z_1 の流下方向の変化を (2) の関係で示したものである。図に示されるように、 $H/d_c=2.79$ の場合、側壁付近($y/(B/2)=0.75$)を除いて跳水始端での流線の曲りの影響のない自由跳水の場合に示される z_1 の変化傾向を示す破線²⁾(ここでは外装して示している)と同様な変化が $x/L_j \leq 1.5$ の範囲まで見られる。 $H/d_c=5.58$ の場合、 $x/L_j \leq 0.86$ の領域まで側壁付近($y/(B/2)=0.75$)を除いて破線と同様な変化が見られる。なお、跳水始端で流線の曲りの影響がない場合、 $x/L_j \geq 0.6 \sim 0.7$ で z_1 は破線よりも上方に位置する。また、 $H/d_c=2.79$ の場合より $H/d_c=5.58$ の場合の方が衝突点下流側で射流の乱れが大きくなるため、同一の l/d_c に対して z_1 が上昇しやすくなる。

5. まとめ

Fig.1 に示される鉛直堰模型下流側に形成される跳水を対象に、Table1 に示す実験条件のもとで流速特性を検討した結果、 $1.4 \leq l/d_c \leq 6.3$ の範囲において、 $x/L_j \geq 0.6$ でも、鉛直堰下流側の跳水部に流入する射流の流速分布が流線の曲がりの影響を受けるため、領域によって相似な流速分布が得られ、(1)の関係で表示できることを示した。また、相対落差の大きい方が、衝突点下流側で射流の乱れが大きいため z_1 が上昇しやすくなることがわかった。

参考文献

- 1) 建設省河川局監修, 改訂新版建設省河川砂防技術基準(案) 同解説・設計編[2]技法堂出版, 1999.
- 2) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Awazu, S., Free and Submerged hydraulic Jumps in Horizontal Rectangular Channel, Report of the Research Institute of Science and Technology, Nihon University, No.35, 1990, pp.1-50.
- 3) 松澤貴士, 高橋正行, 大津岩夫, 跳水内部の空気混入率及び流速分布に対する流入射流の影響, 第 52 回日本大学工学部学術研究報告会, 土-2-10, 2009, pp.102-105.
- 4) Wu, S. and Rajaratnam, N., Free jump, Submerged jump, and Wall jets, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.33, No.2, 1995, pp. 197-212.
- 5) 佐藤麻衣, 安田陽一, 台形堰下流側に形成される跳水中の流速特性, 第 38 回土木学会関東支部第 2 部門, 2011, CD-ROM.