

堰下流側に形成される跳水部の流速特性

Velocity characteristics in hydraulic jump at downstream of weirs

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田陽一
日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○佐藤麻衣

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⁾。しかしながら、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)}。堰直下流側に跳水が形成される場合、跳水部内の流速特性について不明である。ここでは、台形堰および鉛直堰下流側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。

2. 実験方法

実験は、水路幅 0.8m、長さ 14.5 m、高さ 0.6m の長方形水平断面水路を用いて行った。実験条件を表1に示す。台形堰および鉛直堰模型下流側に跳水を形成させた。測定したポイントは図 1 に示した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²⁾は $L_j=5.5 \times h_{2*}$ で求めた) の位置で、横断方向へ 10 cm 間隔に 7カ所、それぞれ測定した。流速の測定には 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)。

表 1 実験条件

	台形堰 (接合部からの距離 ℓ)			鉛直堰 (淀み点からの距離 ℓ)		
	0.10m	0.25m	0.45m	0.10m	0.25m	0.45m
流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$	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 $Re=q/\nu$	59500	59500	59500	59500	59500	59500
跳水始端のフルード数 F_1	6.29	5.82	5.57	4.43	4.36	4.21
跳水始端水深 $h_1(\text{m})$	0.0210	0.0222	0.0228	0.0266	0.0269	0.0275
跳水終端水深(実験値) $h_2(\text{m})$	0.173	0.168	0.166	0.154	0.148	0.146
跳水長 $L_j = 5.5 h_{2*}$ (cm)	0.970	0.940	0.930	0.850	0.840	0.830

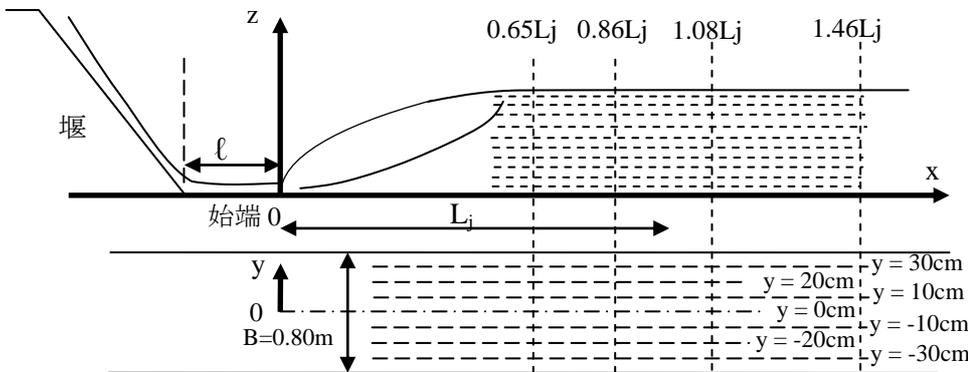


図 1 測定位置 (跳水部下流側を主に測定)

3. 堰下流側の流速特性

台形堰及び鉛直堰下流側に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図 2 に示す。

ここに、 d_c は限界水深、 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。

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

図2に示すように、台形堰($\ell/d_c=1.4$)の $x/L_j=0.65$ の場合は $-0.75 \leq y/(B/2) \leq 0.75$ の範囲で、 $x/L_j=0.86$ の場合は $-0.50 \leq y/(B/2) \leq 0.50$ の範囲で(1)の関係で整理できる。鉛直堰($\ell/d_c=1.4$)の $x/L_j=0.65$ の場合は $-0.75 \leq y/(B/2) \leq 0.75$ の範囲で、 $x/L_j=0.86$ の場合は $-0.25 \leq y/(B/2) \leq 0.25$ の範囲で(1)の関係で整理でき、 $x=0.86L_j$ では台形の場合と比べて(1)の関係が得られる範囲が狭くなる。これは、堰からの越流水脈が台形堰と比べて3次元的になるためと考えられる。 $\ell/d_c=3.5$ 、 $\ell/d_c=6.3$ の場合も同様な傾向が見られる。 $\ell/d_c=3.5$ では、台形堰の $x/L_j=0.65$ の場合、 $-0.75 \leq y/(B/2) \leq 0.75$ の範囲で、 $x/L_j=0.86$ の場合、 $-0.25 \leq y/(B/2) \leq 0.25$ の範囲で(1)の関係で整理できる。鉛直堰の $x/L_j=0.65$ の場合、 $-0.75 \leq y/(B/2) \leq 0.75$ の範囲で(1)の関係で整理できるものの、 $x=0.86L_j$ では $du/dz < 0$ の範囲で u の値が $U_m/2$ より大きい(1)の関係で表示することはできない。なお、 $\ell/d_c=6.3$ では台形堰の $x/L_j=0.65$ の場合は $-0.50 \leq y/(B/2) \leq 0.50$ の範囲で、鉛直堰の $x/L_j=0.65$ の場合は $-0.25 \leq y/(B/2) \leq 0.25$ の範囲で(1)式の関係で表示される。

台形堰および鉛直堰の下流側に形成される跳水部の流速分布については、流線の曲りの影響を受けて跳水区間で jet(噴流)の性格が続くことがわかった。特に中央部を中心にこの傾向が見られる。また鉛直堰の場合、台形堰に比べて堰からの越流水脈が3次元的になるため(1)の関係で整理できる横断方向範囲が狭まる。

キーワード 跳水, 台形堰, 鉛直堰, 減勢工, 主流の位置

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8, TEL&FAX: 03-3259-0409, E-mail : yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

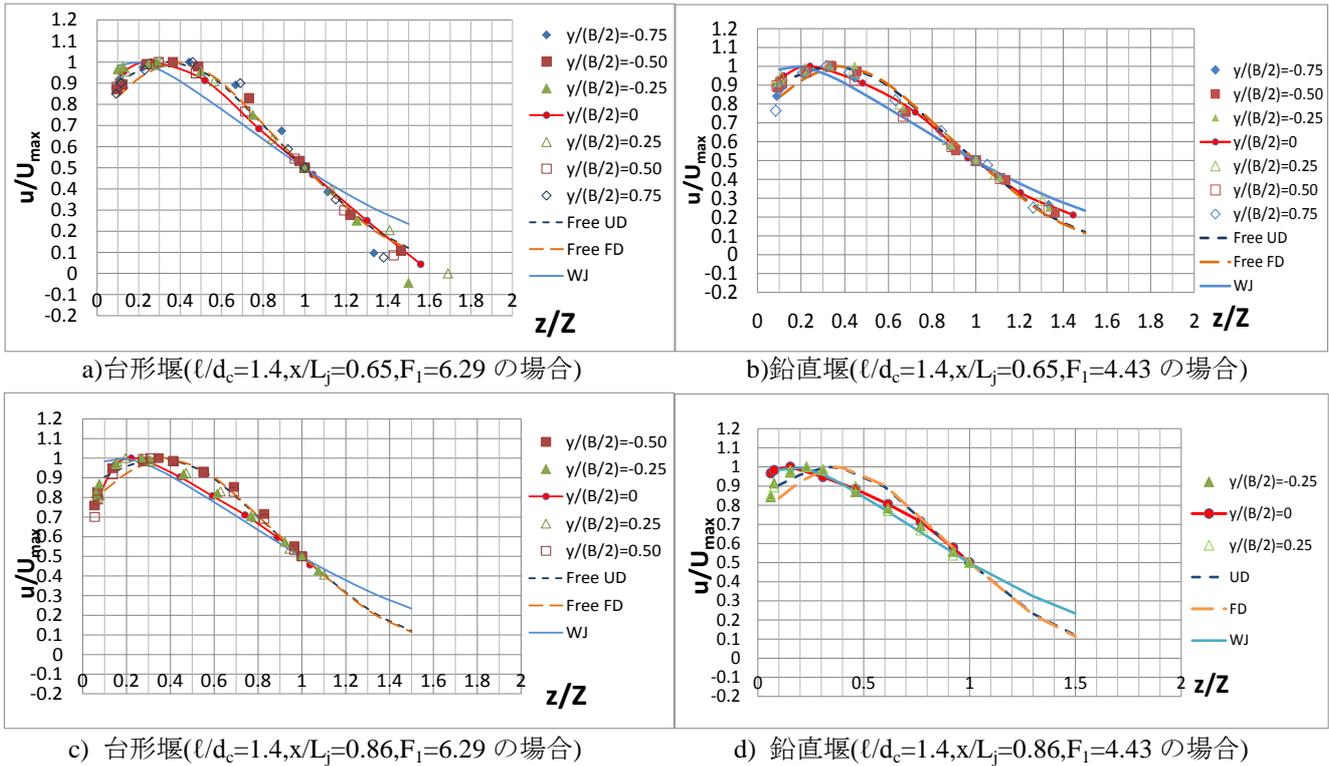


図 2 (1)の関係で整理された流速分布

4. 跳水中の最大流速の位置

跳水中の最大流速 U_{max} の位置 z_1 について $z_1/h_1=f(x/L_j, y/(B/2), l/d_c, F_1)$ の関係で整理したものを図3に示す。図中の破線は跳水流入部で流線の曲りの影響を受けない跳水中の z_1 の変化を $x/L_j=1.5$ まで外想して示している。青は跳水始端で乱流境界層が発達していない場合(UD), 赤は乱流境界層が発達している場合(FD)を示す²⁾。 $l/d_c=1.4$ では台形堰の場合、壁近く($y/(B/2)=0.75$)を除いて $x/L_j \leq 0.86$ の範囲で破線と同様な変化を示し、鉛直堰の場合、 $x/L_j \leq 1.46$ の範囲で破線と同様な変化を示す。すなわち、鉛直堰の場合が台形堰の場合よりjet(噴流)と同様な傾向が見られる範囲が広い。 $l/d_c=3.5, l/d_c=6.3$ においても同様な傾向が見られる。これは、跳水部に流入する射流の流速分布形によるものと考えられる。台形堰の場合、 $1/12$ 乗則の指数分布形を示す⁵⁾のに対し、鉛直堰の場合、水深方向の流速差が小さいほぼ一様な分布形を示す⁶⁾。

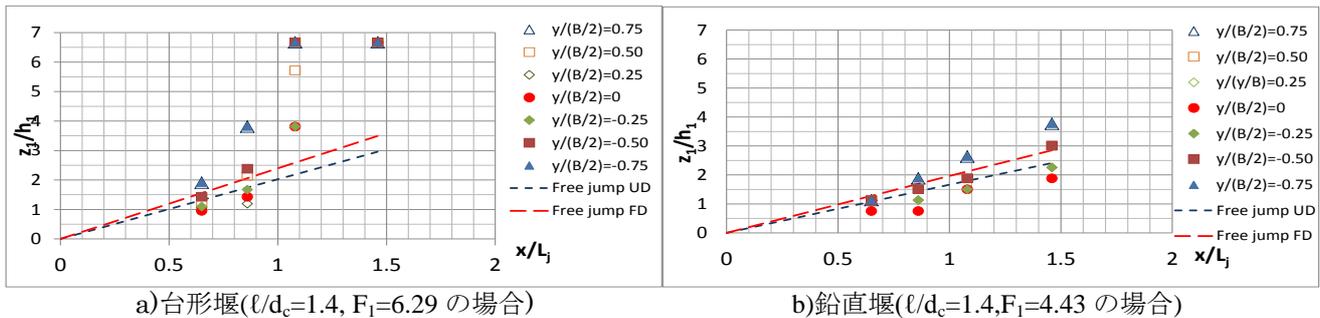


図 4 最大流速の位置 z_1 の変化

5. まとめ

堰下流側に形成される跳水の流速特性について検討した結果、跳水部に流入する射流の流速分布が流線の曲りの影響を受けて $x/L_j > 0.6$ でもjet(噴流)の性格が続くことが示された。台形堰と鉛直堰との比較では越流水脈の形状が異なることから流速分布および主流の発達について違いが生じることが分かった。特に、最大流速が生じる位置については、鉛直堰の場合、跳水区間の約1.5倍までjet(噴流)と同様な直線変化となることを示した。

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[II]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II部門, 2011, CD-ROM.
- 6) 佐藤麻衣, 安田陽一, 鉛直堰直下流側に形成される跳水中の流速特性, 第39回土木学会関東支部第II部門, 2012, CD-ROM.