

跳水部の流速場に対する跳水始端での流線の曲がりの影響

Effect of Curvature of Stream Line at Toe of Jump on Velocity Field in Jump

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田陽一

日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○佐藤麻衣

日本大学理工学部土木工学科 岡崎 伸之介, 勝又 祐貴, 高子 和朗

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。現在、水叩きの長さは流水や転石による直接衝撃を受ける範囲として、また水叩きの厚さは水叩きにかかる揚圧力に対して安定である厚さとしている¹⁾。また、護床工(慣例上、護床ブロック)の長さは跳水長までとしている¹⁾。護床工の長さを跳水長としている理由は、跳水区間中に流速が減衰するため、跳水区間の河床保護を行えばよいと判断したためと考えられる。しかし、固定堰直下流側では上記の考えの基で設置された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。護床ブロックが流されてしまう理由として、流速の大きい流れが河床に沿うことでブロック上部の圧力が下がり、吸い出しが発生したため、護床ブロックが不当沈下し、局部的に流体力が作用し過剰に流されたものと考えられる。すなわち、条件によっては跳水中の主流が底面近くに位置するためと考えられる。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⁾。境界層が発達していない場合、跳水中の主流は底面近くに位置し、境界層が十分に発達した場合は短区間で主流が水面に向かって上昇する。しかしながら、台形堰直下流側に跳水が形成される場合(写真 1), 跳水始端で流線が曲げられるため、乱流境界層が発達した状態でも主流が短区間で上昇するのか不明である。ここでは、台形堰直下に形成される跳水およびゲート下流側に形成される跳水の下流部に着目し、流速場の比較を行い、流線の曲がりの影響について検討した。



写真 1 跳水始端での流線の曲がりの影響がある場合



写真 2 跳水始端での流線の曲がりの影響がない場合

2. 実験方法

実験は、水路幅 80 cm, 長さ 14.5m, 高さ 60cm を有する長方形水平断面水路を用いて行った。実験条件を表-1 に示す。台形堰模型直下流側および、スルース・ゲート下流側で境界層が十分に発達した位置³⁾に跳水を形成させ(写真 1, 2), 跳水中の流速の大きさ、流向を測定し比較した。なお、台形堰の斜面上で境界層が速やかに発達するようにするため、シリコンを毛羽立たせる工夫をした(図 1)。測定したポイントは図 2 に示すように跳水始端から流下方向に X=60cm(65%), 80cm(86%), 100cm(108%), 135cm(146%) (カッコ内の数値は跳水長の長さを 100%とした時の割合で、跳水長⁴⁾は $L_j = 6.0 \times h_2$ で求めた)の位置で、横断方向へ 10 cm 間隔に 7 ヲ所、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)。

表 - 1 実験条件

	曲がりの影響がある場合	曲がりの影響がない場合
流量 Q (m ³ /s)	4.13×10^{-2}	4.13×10^{-2}
Re	48700	48700
Fr	6.28	6.15
跳水始端水深 h_1 (cm)	1.903	1.904
跳水終端水深 h_2 (cm)	15.45	15.67
アスペクト比 (B/h_1)	41.5	42.1
アスペクト比 (B/h_2)	5.2	5.1
跳水長 L_j (cm)	92.7	94.0

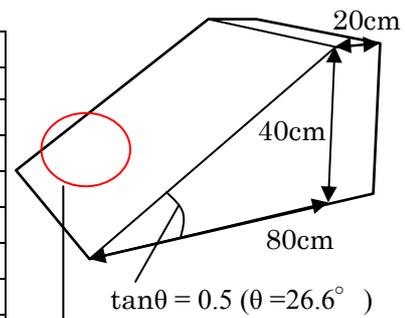


図 1 台形堰模型

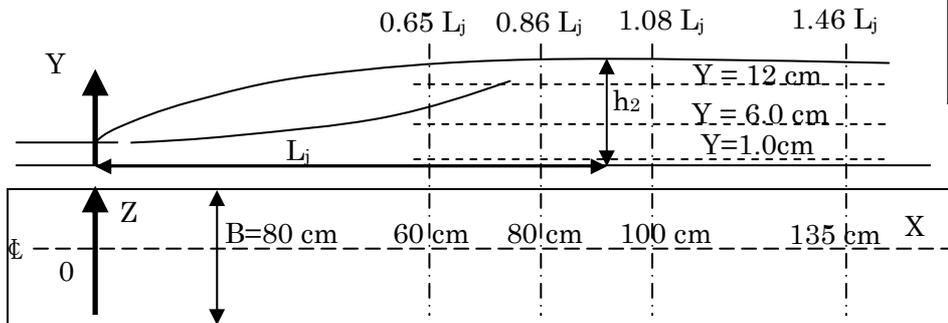


図 2 測定位置 (跳水部下流側を主に測定)



写真 3 シリコンを毛羽立たせた状態

キーワード 局所流, 3次元, 跳水, 河川横断構造物, 減勢長

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

3. 跳水下流部の流速ベクトル

跳水下流部の平面流速ベクトル($0.6 < X/L_j < 1.5$)を図3に示す. 図中一点鎖線は堰やゲート下流側の流れを射流にした場合に見られる衝撃波の位置を示す. また, (a) (b) は与えられた跳水始端でのフルード数およびレイノルズ数に対して流線の曲がりがある場合とない場合をそれぞれ示す. なお, 流線の曲がりがある場合, 接合部直上流の射流において乱流境界層が十分に発達した状態となっている. また, 流線の曲がりがない場合においても, 跳水始端での乱流境界層が十分に発達した状態となっている. 図に示されるように, 流線の曲がりの有無による流速特性の違いがみられる. また, 跳水中の流速ベクトルは2次元ではなく, 3次元であり, 同一なXの位置で比較した場合, 中央の流速が必ずしも最大とは限らない.

a) 流線の曲がりの影響のある場合
b) 流線の曲がりの影響のない場合

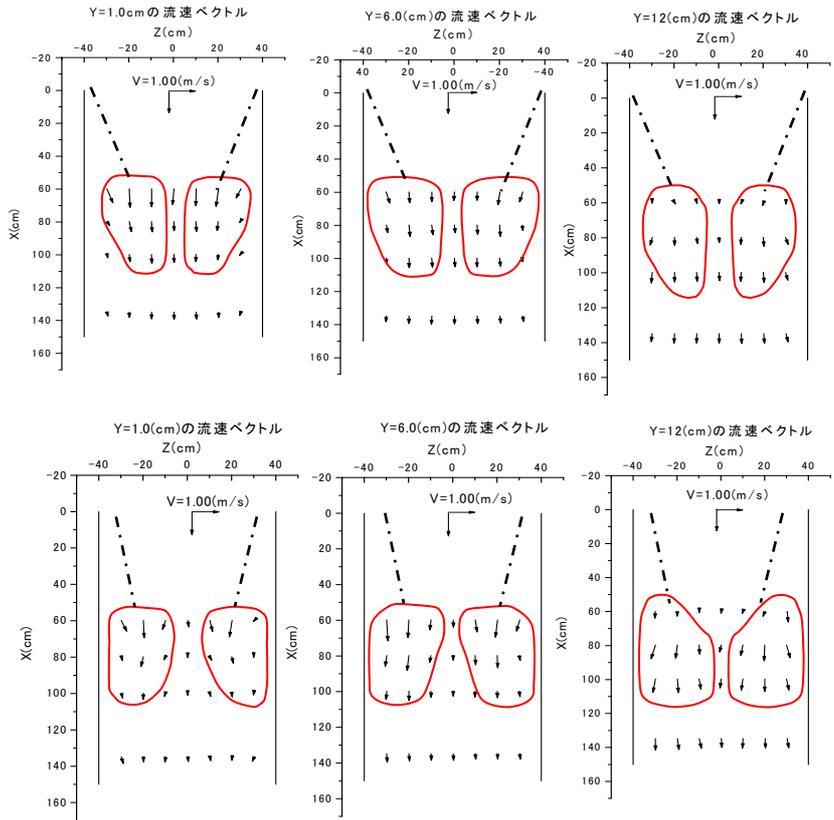


図3 $0.6 < X/L_j < 1.5$ おける平面流速ベクトル (図中一点鎖線は堰やゲート下流側の流れを射流にした場合に見られる衝撃波の形成位置を示す)

流線の曲がりがある場合, 側壁側から中央に向かう流速となっている. この場合, 同一平面に示される流速場がY方向に変化していなかった. これは, 跳水内部の主流が水面に向かって上昇することなく底面近くに位置するためと考えられる. なお, 流速が側壁から中央に向かった方向になるのは堰下流端の両側から発生する(堰下流側の流れを射流にした場合に見られる)衝撃波によるものと考えられる. この場合, 跳水始端での乱流境界層が発達していても跳水部の気泡混入の影響で主流が上昇することはなかった.

流線の曲がりの影響がない場合, 跳水始端の側壁側から中央に向かった流れによって, 中央に向かう流速ベクトルが $X/L_j \approx 0.6 \sim 0.7$ の位置で見られる. この場合, $X/L_j \geq 0.8$ では水路中央の水面に向かって上昇した主流が交差したため, 水面付近で側壁に向かった流れとなっている. この場合, 跳水始端の側壁を基点として, 新たに側壁境界層が発達し, 3次元性を誘起したのと考えられる.

4. まとめ

表-1 に示す実験条件のもとで, 台形堰直下に形成される跳水およびゲート下流側に形成される跳水に着目し, 護床区間の河床保護対策に重要な跳水下流部 ($0.6 < X/L_j < 1.5$) の流速場の比較を行った. 乱流境界層が十分発達した条件下において, 流線の曲がりの影響について検討した結果, 跳水始端での流線の曲がりがある場合, 跳水下流部 ($0.6 < X/L_j < 1.5$) において側壁側から中央に向かう流速が見られた. また, 流線の曲がりの影響によって, 主流は遠方まで底面を沿うようになり, 水面に向かって上昇しないことが分かった. すなわち, (堰下流側の流れを射流にした場合に見られる) 衝撃波等の影響を受けて跳水中の流速ベクトルが3次元的になることが分かった. 流線の曲がりがない場合, $X/L_j \approx 0.6 \sim 0.7$ において, 跳水始端の側壁側から水路中央に向かう流速が見られた. また, $X/L_j \geq 0.8$ では, 水面付近で側壁に向かった流れが見られるようになった. すなわち, 同一のXに対して, アスペクト比によっては水路中央の流速が必ずしも最大とは限らないことが分かった.

今後, 跳水始端での流線の曲がりおよびスルース・ゲートを支えるガイドレールなどから生じる側壁からの剥離流れによって, 跳水内部の流速特性にどのように影響するのかを実験的に検討していく.

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. and Yasuda, Y., Characteristics of Supercritical Flow Below Sluice Gate, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.120, No.3, 1994, pp.332-346.
- 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) 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.