

低落差部直下流で形成される跳水内部の減衰状況に対する落差形状の影響  
 Effect of drop shapes on velocity decay in hydraulic jump below low drop structure

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 ○篠崎遼太

1. はじめに

河川中に、堰などの落差を有する横断構造物を設置する場合、河川に接続するときに河床の洗掘を防止する必要があり、水叩きおよび護床工を設置することが河川管理施設等構造令によって定められている<sup>1)</sup>。また、鉛直段落を通過する流れに関して、Ohtsu and Yasuda は、落差部下流側の水深変化による射流から常流に遷移する流れのフローパターンを区分し<sup>2)</sup>、Rand は段落部直下流で形成される跳水の水量間との関係を表す実験式を提案している<sup>3)</sup>が、跳水内部における流速特性は明らかにされていない。すなわち、落差下流側で形成される跳水に着目した流速の検討は行っていない。また、スルース・ゲート直下で形成される跳水に関しては、Ohtsu らは流速特性を実験的に明らかにしている<sup>4)</sup>。これらの背景から、本研究室では従来落差部直下流で形成される跳水の下流部を対象に、相対落差  $H/d_c$ 、相対跳水始端位置  $\ell/d_c$ 、越流面角度  $\theta$  を変化させた実験的検討が行われ、相対落差  $H/d_c$  が小さい場合、落差下流側で主流が遠方まで底面付近を沿いやすく、さらに最大流速の減衰率が小さいことが報告されている<sup>5)</sup>。ここでは、相対落差  $H/d_c$  が小さい場合を対象に、跳水内部の流速の減衰状況に対する落差下流面の形状（鉛直、斜面(1/1, 1/3 勾配)、1/3 勾配で階段とした場合）の影響を検討し、さらにスルース・ゲート直下で形成される跳水の場合との比較検討を行った。

2. 実験概要

実験は、長方形断面水平開水路(幅 0.80m, 高さ 0.60m, 長さ 15m)に堰模型(幅 0.796m, 高さ 0.10m, 長さ 1.0~1.3m)を設置し、落差下流側の形状を鉛直(越流面角度  $\theta=90^\circ$ )、斜面( $\theta=45^\circ, 18.4^\circ$ (1/3 勾配)), 1/3 勾配の階段(Step Edge を結んだ角度を  $18.4^\circ$  とする)と変化させ、落差部直下流の跳水について検討を行った。実験条件を表 1 に、図 1 に記号の定義図を示す。ここに、 $Q$  は流量、 $Re$  はレイノルズ数、 $a$  はゲート開口高、 $F_1$  は跳水始端におけるフルード数である。流速の測定は、射流中ではピトー管を、跳水内部では I 型プローブを有する二次元電磁流速計を使用し、水路左岸側を対象に横断方向に 4 点、流下方向に 10 点、水深方向に 6~9 点の測点を設け、測定を行った。なお、二次元電磁流速計の採取間隔を 50msec、採取時間を 120sec としている。

表 1. 実験条件

	$Q(m^3/s)$	$H/d_c$	$\ell/d_c$	$Re$	$F_1$
$\theta=90^\circ$	$6.03 \times 10^{-2}$	1.2	1.4	$8.19 \times 10^4$	2.78
$\theta=45^\circ$				$7.81 \times 10^4$	2.79
$\theta=18.4^\circ$ (Slope)				$5.41 \times 10^4$	2.92
$\theta=18.4^\circ$ (Step)				$5.41 \times 10^4$	2.72
Sluice gate				$7.53 \times 10^4$	2.85
		$h_1/a$	$\ell/a$		
		0.64	2.0		

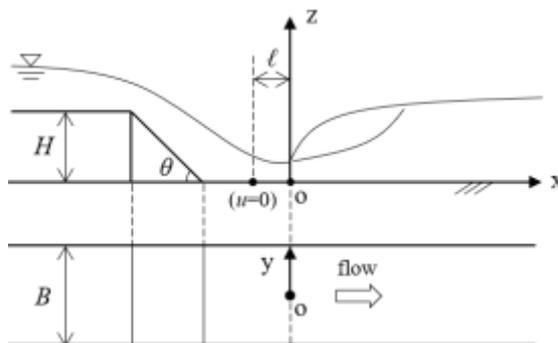


図 1. 記号定義図

キーワード 跳水, 最大流速, 低落差, 落差形状, 減衰状況

連絡先 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL.03-3529-0409 E-mail : csry14100@g.nihon-u.ac.jp

### 3. 実験結果

各測定断面における時間平均の最大流速  $u_{max}$  の流下方向 (x 方向) の減衰状況を図 2 に示す. なお, グレーのマーカーはスルース・ゲート直下で形成される跳水における減衰状況 (ただし, 水路横断方向の平均値) を示す. 図 2 に示されるように, いずれの場合も跳水長の範囲内で ( $x/L_j \leq 1$ ), おおよそ減勢が完了しているが, 越流面角度  $\theta=45^\circ$  とした場合および, 階段を設けた場合には, 跳水の前半区間において最大流速の減衰率が大きいことがわかる. これは, 落差形状の違いによる落差部背面での流況の違いとそれに伴う跳水の流入条件に起因するものと考えられる. 跳水内部の各測定断面における最大流速の生じる位置(主流位置)の流下方向に対する変化について, 落差形状を変化させた場合, スルース・ゲート直下で形成される跳水と同様な傾向を示し, 底面付近に位置する. なお,  $H/d_c$  を大きくした場合, 主流が水面付近に速やかに上昇することが報告されていることから<sup>5)</sup>, 最大流速の生じる位置の変化は相対落差による影響が卓越しているものと考えられる.

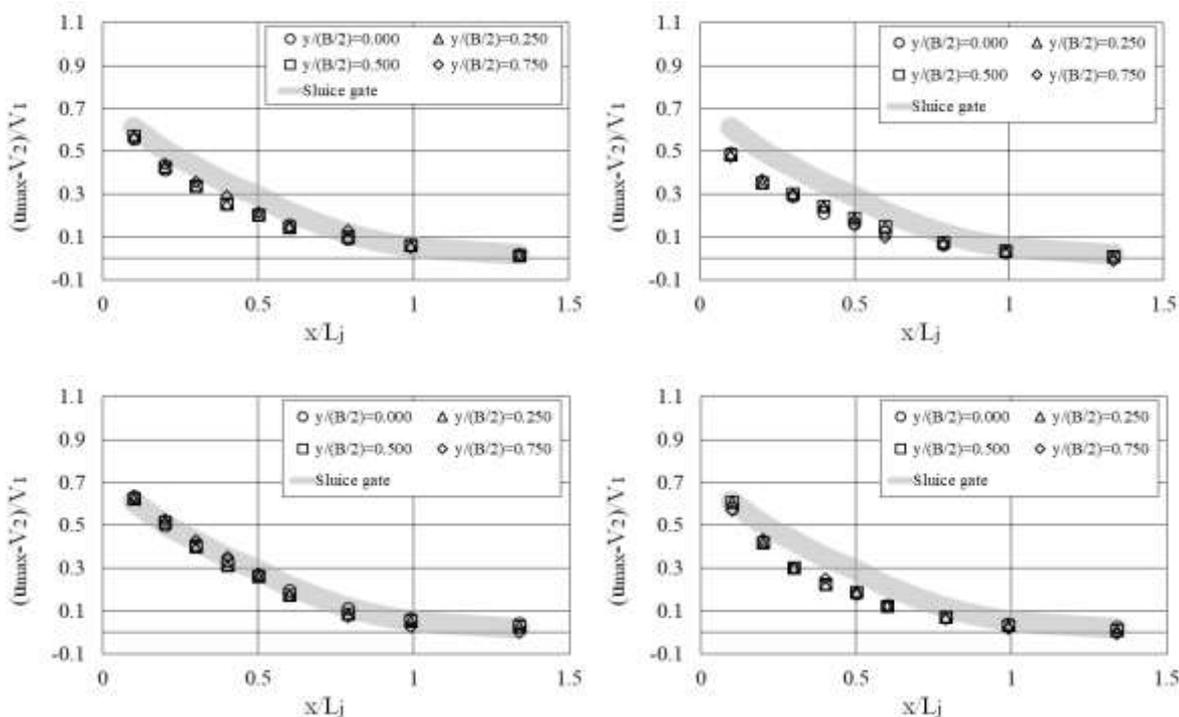


図 2. 跳水内部の最大流速の減衰状況(左上:  $\theta=90^\circ$ , 右上:  $\theta=45^\circ$ , 左下:  $\theta=18.4^\circ$ , 右下: 階段( $\theta=18.4^\circ$ ))

### 4. まとめ

相対落差の小さい低落差部を対象に, 落差直下流で形成される跳水内部の最大流速の減衰状況に対する落差形状の影響を実験的に検討した. その結果, 落差形状を変化させることで落差部背面での流況が異なり, それに伴って跳水内部の最大流速の減衰率が変化することを明らかにした. また, 跳水内部の主流位置は, 落差形状の違いによる差異が小さいことから相対落差  $H/d_c$  による影響が支配的であるものと考えられる.

### 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, (社)日本河川協会, 山海堂, 2000, pp.171-173 ; 222.
- 2) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., "Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop" Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 29, 1991, pp.309-328.
- 3) Rand, W., "Flow geometry at straight drop spillways", Journal of Hydraulic Division, Proc. ASCE, Vol. 81, 1955, pp1-5
- 4) 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.
- 5) Yasuda, Y., "Characteristics of hydraulic jumps below drop structures," E-proceedings of the 37th IAHR Congress, August, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia