

## 低落差下流部に形成される潜り込み流れの流速特性 Velocity characteristics of plunging flow below low drop structures

日本大学 正会員 安田 陽一  
日本大学 学生会員 ○篠崎 遼太

### 1. はじめに

利水堰や床止め等の落差を有する河川構造物周辺の流況は、河川流量と落差下流側の水深との関係に依存し、落差下流側の河床保護の視点から、各流況の流速特性を把握することが重要である<sup>1)</sup>。本研究室では、落差直下流部に形成される跳水に関して、限界水深（流量）に対する落差高さ（以下、相対落差とする）が小さい条件下では、落差下流面の形状に依らず跳水部下流側まで主流が底面に位置する、すなわち河床への負担が大きいことが著者ら<sup>2,3)</sup>によって明らかにされている。これに対し、跳水の始端が越流部に位置する潜り込み流れについて（図-1参照）、Yasudaら<sup>4,5)</sup>は相対落差が大きい場合を対象に、潜り込み流れの流速特性に対する落差下流面形状の影響が大きいことを示している。しかし、既往研究<sup>2,3)</sup>の結果から相対落差が小さい条件下では潜り込み流れにおいても、落差形状によらず主流は底面付近に位置するものと推測される。以上から、本研究では相対落差が小さい場合を対象に、潜り込み流れに関する実験的検討を行った。



図-1 潜り込み流れの流況

### 2. 実験概要

落差下流部に形成される潜り込み流れについて、長方形断面水平水路（水路幅 0.80m、高さ 0.10m、長さ 15m）に落差模型（幅 0.796m、落差高さ  $H=0.2$ 、 $0.1$ m、流下方向長さ 1.0m）を設置し、相対落差  $H/d_c$

（ $H$  は落差高さ、 $d_c$  は限界水深）および落差下流面形状を変化させ、表-1 に示す条件のもとで実験を行った。 $\theta$  は落差下流面角度、 $h_d$  は下流水深、 $R_e$  はレイノルズ数（ $R_e=q/v$ 、 $q$  は単位幅流量、 $v$  は動粘性係数）である。また、水深の測定はポイントゲージを、流速の測定は電磁流速計（測定時間 120 秒、測定間隔 0.05 秒（20Hz））を用いた。

表-1 実験条件

$H/d_c$	$\theta$	$h_d$ (cm)	$h_d/(H+d_c)$	$R_e \times 10^5$
2.8	45°, 18.4°, 18.4°(step), 90°	20.7	0.76	4.4-5.8
1.2	45°	16.4	0.89	5.8

### 3. 最大流速の減衰状況

図-2、図-3 に各測定断面における最大流速  $u_{max}$ （時間平均流速）の流下方向に対する減衰状況を示す。ここに、 $V_d$  は下流側における断面平均流速（ $V_d=q/h_d$ ）、 $V_c$  は限界流速（ $V_c=q/d_c$ ）、 $x$  は流入断面を基準とした流下方向座標であり、流速が概ね減衰した位置を流れの遷移区間の終端としてそれぞれ矢印で示す。なお、流速分布が横断方向に大きく変化しないことから横断方向の算術平均値を用いている。図-2 に示されるように、越流部付近（ $x/d_c=0\sim 8$ ）において、落差下流面の形状の違いにより減衰状況は異なる傾向を示すが、下流側に向かうにつれてその差異は小さくなり、本実験条件下では流れの減衰に要する流下距離は落差形状に依らないことがわかる。また、図-3 に示されるように、相対落差  $H/d_c=1.2$  の場合、 $H/d_c=2.8$  の場合に比べ、最大流速  $u_{max}$  は小さく、より短い距離で減衰が完了している。これは、越流による流線の曲がりに伴う流れの加速が小さいことに起因すると考えられる。

キーワード 潜り込み流れ、潜り跳水、低落差構造物、河床保護、主流の発達、落差形状

連絡先 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL : 03-3529-0409 E-mail : csry18008@g.nihon-u.ac.jp

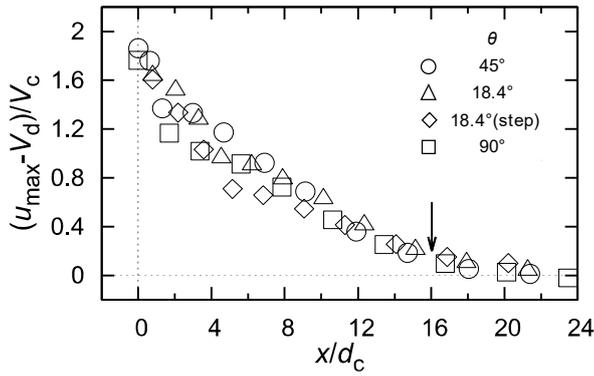


図-2 最大流速  $u_{max}$  の減衰状況 ( $H/d_c=2.8$ )

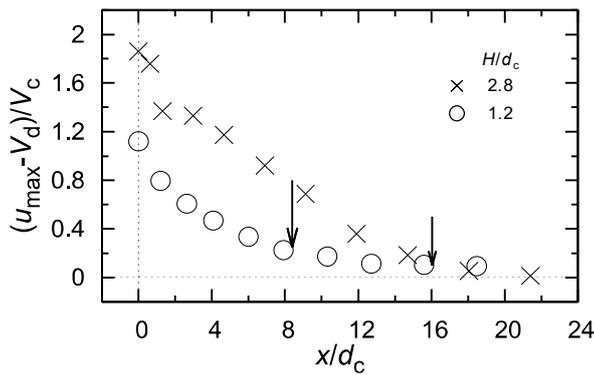


図-3 最大流速  $u_{max}$  の減衰状況 ( $\theta=45^\circ$ )

#### 4. 主流の発達状態

図-4, 図-5 に潜り込み流れにおける最大流速  $u_{max}$  が生じる鉛直位置  $z_1$  の流下方向に対する変化(主流の発達状態)を示す. なお, プロットは横断方向の平均値を用いており, 各水面形 ( $h$  は水深,  $z$  は水路床を基準とした鉛直座標) と同様な直線を用いて, 落差形状を示している. 図-4 に示されるように, 相対落差  $H/d_c=2.8$  の場合, 越流部付近 ( $x/d_c=0\sim 8$ ) において, 落差形状によって相対主流位置  $z_1/d_c$  が異なり, 同様な角度  $\theta=18.4^\circ$  においても, 階段とした方が主流は上に位置する. しかし, さらに下流側 ( $x/d_c>8$ ) では, 落差形状に依らず主流の発達状態は同様な傾向を示していることが確認される. また, この場合, 流速の減衰に伴い (図-2 参照), 徐々に主流が発達していくのに対し, 相対落差  $H/d_c=1.2$  の場合, 図-3 に示されるように, 流速の減衰区間 ( $x/d_c=0\sim 8$ , 図-3 参照) において主流は底面に沿い, 流速が概ね減衰した後水面へ上昇し始める. さらに, 相対落差  $H/d_c=2.8$  の場合に比べて, 下流側で主流位置が底面に近いことから,  $H/d_c$  が小さい場合, 潜り込み流れによる河床への負担が大きいものと推論される.

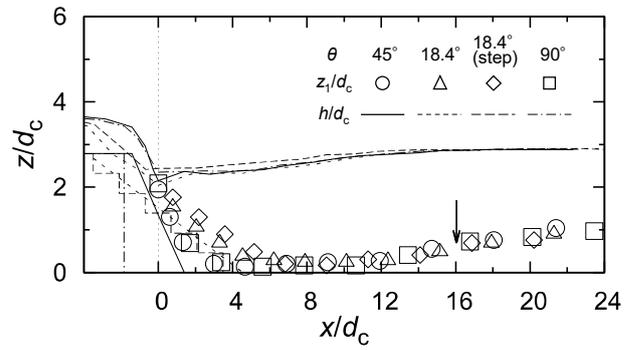


図-4 主流の発達状態 ( $H/d_c=2.8$ )

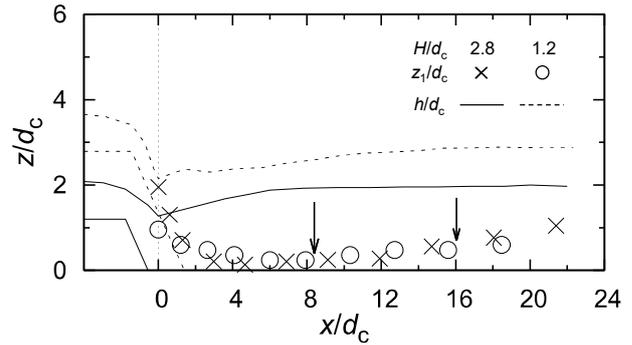


図-5 主流の発達状態 ( $\theta=45^\circ$ )

#### 5. まとめ

限界水深 (流量) に対する落差高さ  $H/d_c$  が小さい条件下における潜り込み流れの流速特性について, 落差下流面形状を変化させた実験的検討を行った. その結果, 越流部付近を除いて流れに対する落差形状の影響が小さいこと, また, 流れの遷移区間において主流が底面に位置することを明らかにした. 以上から, 相対落差  $H/d_c$  が小さい場合, 潜り込み流れが河床に与える影響は大きいものと考えられる.

#### 6. 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) Yasuda, Y., Shinozaki, R., Flow characteristics of hydraulic jumps below low drop structures, 12th International Symposium on Ecohydraulics, Japan, Tokyo, August, 2018.
- 3) 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
- 4) Yasuda, Y., Ohtsu, I., Flow characteristics of plunging flows in steep sloping channels with a horizontal channel portion, Acta Mech 201, 95-104, 2004
- 5) Yasuda, Y., Characteristics of plunging flows stepped-channel chutes, Proceedings of the International Workshop on State-of-the-art Hydraulic Engineering, Bari, Italy, February, 2004