

1. まえがき

堰や落差工等から流下する流れが潜り込む場合、その流況は流量 Q 、落差高 H_D 、水路傾斜角 θ 、下流水深 h_d などによって様々に変化する^{1),2)}。特に、落差越流部が滑面傾斜水路で、傾斜角、下流水深が大きい場合、跳水は形成されず高速流が水路床に沿って下流側遠方まで達し、広範囲にわたって循環流^{1),2)}が形成され、堰や落差工周辺でカヌー・ボート利用者や誤って転落した人がその逆流に巻き込まれ溺死するなどの水難事故が報告されている³⁾（この現象は **drowning machine** と呼ばれている⁴⁾）。そのため、水工構造物周辺の安全対策を考える上で、潜り込み流れの逆流域の長さを短縮させる必要がある。

本研究では、潜り込み流れによる逆流域の長さを短縮するために落差越流部に階段状水路を設置し、広範囲な実験条件のもとで逆流域の長さについて検討を行った。また、落差越流部が滑面傾斜水路の場合と階段状水路の場合とで逆流域の長さを比較し、階段状水路設置による潜り込み流れの逆流域短縮効果について明らかにした。

2. 流況

滑面傾斜水路で射流から常流に移る流れの流況は、水路傾斜角 θ が 19° 以下と 23° 以上とで異なる¹⁾。 $0^\circ < \theta \leq 19^\circ$ の場合、表面渦が水路傾斜面と水平面とにまたがって形成される流況から下流水深を大きくしていくと、表面渦が傾斜面上で形成される。すなわち、常に跳水の形成が認められる。一方、 $\theta \geq 23^\circ$ の場合、表面渦が水路傾斜面と水平面とにまたがって形成される状態から下流水深を大きくすると、高速流が水路床に沿って下流側遠方まで達し広範囲にわたって循環流が形成される。すなわち $\theta \geq 23^\circ$ の場合、下流水深が大きくなると跳水の形成は認められない¹⁾。

本研究においては、傾斜角および下流水深が大きくても跳水の形成が認められるように傾斜面上を階段状

水路にして（図-1 参照）検討を行った。また、階段状水路における流れについては、各ステップ隅角部近くで常に渦が形成され、エアポケットが形成されない流況(skimming flow)⁵⁾を対象とした。階段状傾斜水路において射流から常流に移る流況は、図-2 に示されるように $\theta \leq 14^\circ$ と $\theta \geq 19^\circ$ の場合とで異なる。 $19^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ においては常に表面渦を伴

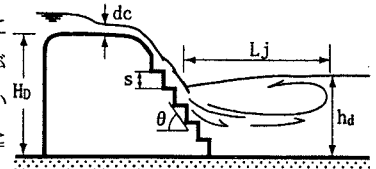


図-1 定義図

う潜り込み流れが形成される。特に、 $\theta \geq 23^\circ$ の場合にお

いて、下流水深が大きくなっても高速流が下流側遠方まで続くことはなく、滑面傾斜水路の場合と異なり常に跳水の形成が認められる。一方、 $\theta \leq 14^\circ$ の場合、ステップ上を通過する射流の流向が水路床と平行になりやすくなるため、表面渦を伴う潜り込み流れ（図-2 (a), (d)）だけでなく、水路床に沿って波状を呈する流況（図-2 (b)）、ステップ直下流で定常的な wave を呈する流況（図-2 (c)）が観察される。すなわち、段落部において射流から常流へ遷移する流れ⁶⁾と同様の流況が観察される。

3. 潜り込み流れの逆流域の長さ

逆流域の長さ L_j/dc を式(1)の関係で整理したものを図-3,4 に示す。

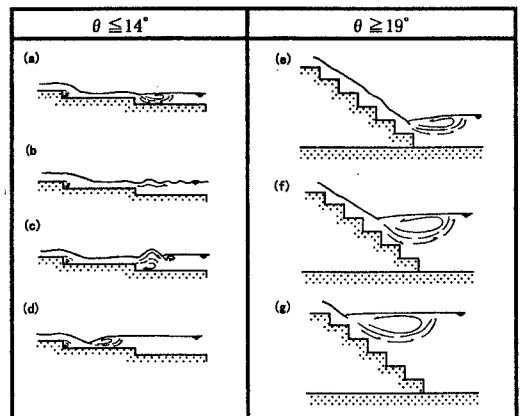


図-2 階段状水路における潜り込み流れの流況

キーワード：階段状水路、潜り込み流れ、循環流、逆流域

〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL. 03 (3259) 0668 FAX. 03 (3259) 0409

$$L_j/dc = f(\theta, H_p/dc, s/dc, h_d/dc) \quad (1)$$

ここで、逆流域終端の位置は常に逆流が見られなくなった最初の断面とする。なお、式中の dc は限界水深 [$dc=(q^2/g)^{1/3}$; q =単位幅流量: g =重力加速度] である。

図-3,4 に示されるように、与えられた水路傾斜角 θ のもとで逆流域の相対長さ L_j/dc は、相対ステップ高さ s/dc 、相対落差高さ H_p/dc 、および相対下流水深 h_d/dc によって変化する。また、与えられた水路傾斜角 θ 、相対落差高さ H_p/dc および相対下流水深 h_d/dc に対して、逆流域の相対長さ L_j/dc は、 $0.6 \leq s/dc \leq 1.2$ の範囲では相対ステップ高さ s/dc によらずほぼ一定となる。

$0.6 \leq s/dc \leq 1.2$ の範囲で検討した階段状水路における逆流域の相対長さ L_j/dc と滑面傾斜水路における逆流域の相対長さ L_j/dc との比較を図-5 に示す。

図-5 に示されるように、与えられた水路傾斜角 θ 、相対落差高さ H_p/dc および相対下流水深 h_d/dc に対して、階段状水路における逆流域の相対長さ L_j/dc は滑面傾斜水路の場合に比べて短くなる。特に、 $\theta \geq 23^\circ$ 、 $H_p/dc \geq 16$ の場合、相対下流水深 h_d/dc が大きくなるにつれて逆流域の相対長さの差が大きくなり、滑面傾斜水路の場合に比べて逆流域の長さは 50% 以上短縮される。これは、階段状水路を用いることによって遷移部始端での流入射流が滑面傾斜水路に比べて減勢され、流脈も大きく乱され、またステップの凹凸がデフレクターの機能を有し、主流が水路床に沿って流れることなく水面に向かって上昇し易くなるためと考えられる。

4. まとめ

傾斜面上に階段状水路を設置し、skimming flow について検討を行った結果、流況は $\theta \leq 14^\circ$ と $\theta \geq 19^\circ$ の場合とで異なることを示した。特に、滑面傾斜水路の場合と異なり $23^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ で下流水深が大きい場合においても跳水の形成が認められることを示した。また、 $\theta \leq 14^\circ$ の場合、階段状水路を用いることによって表面渦を伴う潜り込み流れだけでなく、波状を呈する流況や定常的な wave を呈する流況が形成されることを明らかにした。階段状水路における逆流域の相対長さ L_j/dc は、与えられた水路傾斜角 θ に対して、相対ステップ高さ s/dc 、相対落差高さ H_p/dc および相対下流水深 h_d/dc によって変化する。特に、階段状水路を用いることによって、 $0.6 \leq s/dc \leq 1.2$ 、 $\theta \geq 23^\circ$ 、 $H_p/dc \geq 16.0$ で下流水深が大きい場合、階段状水路を用いることによって滑面傾斜水路の場合に比べて L_j/dc は常に短くなり、50%以上短縮されることが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., (1991), "Hydraulic Jump in Sloping Channels", Jour. of Hydr. Engrg., ASCE, 117 (7), pp.905-921.
- 2) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., "Characteristics of flow passing over drop-structures," Proceeding of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision, University of Mississippi, USA, 1997, May, pp.217-222.
- 3) 馬場、佐藤 (1998), "水難事故における河川のフェイルセーフ機能に関する研究", 第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集, 土木学会, pp.297-302.
- 4) Leutheusser, H.J. and Birk, W.M., (1991), "Drown proofing of overflow structures", Jour. of Hydr. Engrg., ASCE, 117(2), pp.205-213.
- 5) 橋本、安田、大津, (1998), "階段状水路における流れの特性について", 第53回年次学術講演会講演概要集第2部、土木学会, pp.660-661, II-330.
- 6) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., (1991), "Transition from Supercritical to Subcritical flow at an Abrupt Drop", Jour. of Hydr. Res. IAHR 129(3), pp.309-328.

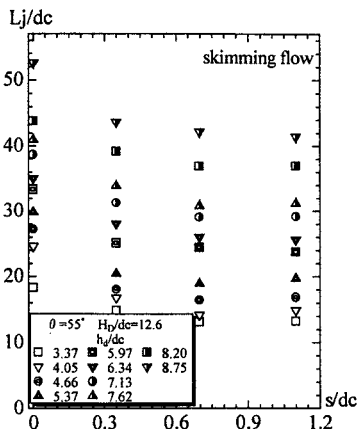


図-3 逆流域の長さ
(s/dc による比較)

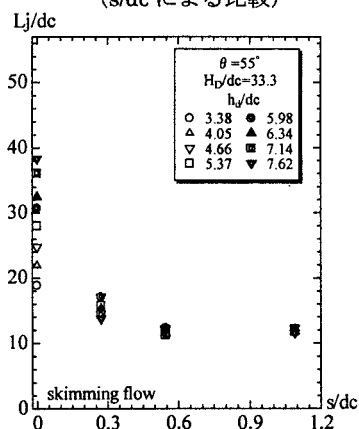


図-4 逆流域の長さ
(s/dc による比較)

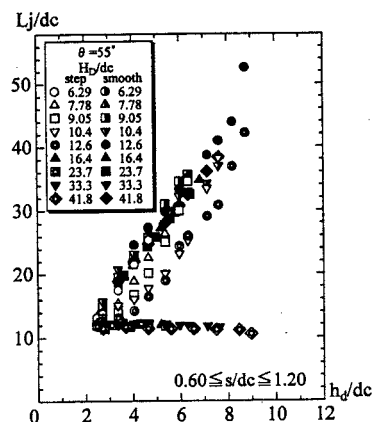


図-5 逆流域の長さ
(滑面傾斜水路と
階段状水路との比較)