

階段状水路設置による堰直下潜り込み流れの特性

日本大学理工学部 土木工学科 正会員 安田 陽一
日本水工コンサルタント 正会員 松田 淳
日本大学理工学部 土木工学科 正会員 高橋 正行
日本大学理工学部 土木工学科 正会員 大津 岩夫

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 、鉛直流下距離 H_s 、水路傾斜角 θ 、および下流水深 h_d などによって変化する^{1),2)}。特に、越流落差部が滑面傾斜水路を有し、傾斜角、下流水深が大きい場合、高速流が水路床に沿って下流側遠方まで続き、広範囲にわたって循環流^{1),2)}が形成される。このような潜り込み流れが形成されているとき、カヌー・ボート利用者や堰周辺で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（この現象は drowning machine と呼ばれている³⁾）。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。最近、著者らは、越流落差部に階段状水路を設置することによって潜り込み流れの逆流域の長さが、滑面傾斜水路に比べて短縮されることを見出した^{4),5)}。

実験によると階段状水路を流下するにつれて空気混入されてない流れが空気混入された流れへと流況が変化する。しかしながら、空気の混入状態がどのように潜り込み流れの逆流域の長さの短縮に影響を及ぼすのかについては、十分な検討がなされていない。

ここでは、越流落差部に階段状水路を設置することによって生じる潜り込み流れの逆流域の短縮効果について空気の混入状態に着目して検討を行った。

2. 流況

階段状傾斜水路（図1参照）において射流から常流に遷移する流況は、水路傾斜角 θ 、相対ステップ高さ s/d_c 、相対落差高さ H_s/d_c 、および相対下流水深 h_d/d_c によって変化する。下流水深の変化に伴うフローパターンは wave を呈する流況が形成される場合(Flow pattern 1)と常に潜り込み流れが形成される場合(Flow pattern 2,3)とに大別できる(図2)。ただし、 d_c は限界水深 [$d_c=(q^2/g)^{1/3}$; q =単位幅流量: g =重力加速度]である。なお、本研究では階段状水路上の流れにおいて、各ステップ隅角部近くで常に渦が形成され、エアープocketが形成されない流況である skimming flow⁴⁾を対象とした。

図2に示されるように $5.7^\circ \leq \theta \leq 14^\circ \sim 19^\circ$ の場合、ステップ上で流線が曲げられるため、射流の流向が水路床と平行になり、表面渦を伴う潜り込み流れだけでなく、下流水深の変化によって、波状を呈する流況やステップ直下流で定常的な wave を呈する流況⁶⁾が観察される。なお、これらの流況に対する空気混入の影響は小さい。

$23^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ の場合、常に潜り込み流れが形成される。特に、相対鉛直流下距離 $H_s/d_c \geq 12.0 \sim 15.0$ の場合、十分空気混入した状態(図3参照)のため、気泡の上昇によって常に顕著な表面渦を伴う潜り込み流れが形成される。また、相対鉛直流下距離 $2 \leq H_s/d_c \leq 12.0 \sim 15.0$ の場合、空気混入が十分でない状態(図3参照)で流れが潜り込むようになるため、広範囲にわたって循環流が形成される。

3. 潜り込み流れの逆流域の長さ

逆流域の長さ L_j/d_c を式(1)の関係で整理したものの一例を図4、5に示す。

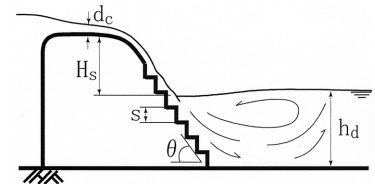


図1 定義図

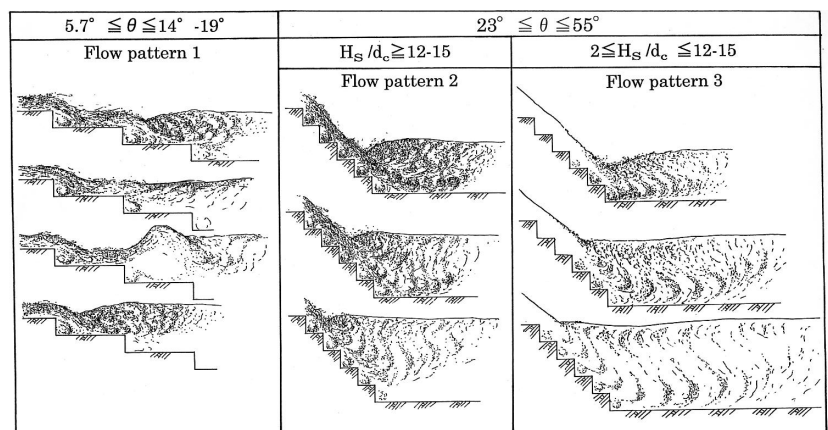


図2 階段状水路における潜り込み流れのフローパターン

キーワード：階段状水路 skimming flow 潜り込み流れ 落差構造物 河川環境

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

$$Lj/d_c = f(\theta, H_s/d_c, s/d_c, h_d/d_c) \quad (1)$$

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定義している⁵⁾。

図4に示されるように、 $23^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ の場合、相対鉛直流下距離 H_s/d_c および相対下流水深 h_d/d_c によって逆流域の相対長さ Lj/d_c は変化する。相対鉛直流下距離 $H_s/d_c \leq 12.0 \sim 15.0$ の場合、 H_s/d_c の増加に伴い、空気混入率[空気混入率=(空気の量)/(水の量+空気の量)]； C_{mean} ：断面平均された空気混入率は大きくなり、主流が気泡によって水面付近に持ちあげられる効果が増加する。このことによって、潜り込み流れの逆流域の相対長さ Lj/d_c が減少するものと考えられる。なお、この場合相対下流水深 h_d/d_c が大きくなるにつれて Lj/d_c の値も大きくなる。相対鉛直流下距離 $H_s/d_c \geq 12.0 \sim 15.0$ の場合、逆流域の相対長さ Lj/d_c は、相対鉛直流下距離 H_s/d_c および相対下流水深 h_d/d_c によらず一定の値となる。これは、空気混入率の値が H_s/d_c に対して一定(最大)となった状態(図3参照)で流れが潜り込むようになるため、気泡の上昇によって主流が水面付近に持ち上げられる効果は最も大きい一定値となり、逆流域の相対長さが最小で一定の値を示すものと考えられる。

なお、 $5.7^\circ \leq \theta \leq 14^\circ \sim 19^\circ$ の範囲で潜り込み流れが形成される場合、図5に示すように逆流域の相対長さ Lj/d_c は相対鉛直流下距離 H_s/d_c および相対下流水深 h_d/d_c によらず一定の値となる。このことから、潜り込み流れの逆流域の長さに対する空気混入率の影響は小さいものと考えられる。

4. まとめ

傾斜面上に階段状水路を設置した場合に形成される潜り込み流れについて検討を行った結果、 $23^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ の場合、潜り込み流れの流況は鉛直流下距離に対して空気混入率の値が一定の場合($H_s/d_c \geq 12.0 \sim 15.0$)と変化する場合($2 \leq H_s/d_c \leq 12.0 \sim 15.0$)とで異なることを明らかにした。すなわち、水路傾斜角が大きく下流水深が大きい場合、階段状水路の設置によって逆流域は短縮できるが、さらに効果的に短縮させるためには、空気の混入を十分にさせるための流下距離が必要であることを示した。

【参考文献】

- 1) Ohtsu, I., and Yasuda, Y., (1991), "Hydraulic jump in sloping channels", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117 (7), pp.905-921.
- 2) Ohtsu, I., and Yasuda, Y., (1997), "Characteristics of flow passing over drop-structures", Proceeding of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision, University of Mississippi, USA, May, pp.217-222.
- 3) Leutheusser, H. J. and Birk, W. M., (1991), "Drown proofing of overflow structures", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117(2), pp.205-213.
- 4) Yasuda, Y., and Ohtsu, I., (2000), "Characteristics of plunging flows in stepped channel chutes", *Hydraulics of Stepped Spillways*, A. A. Balkema, Rotterdam, pp.147-152.
- 5) 安田, 大津, (1999), "階段状水路設置による堰直下潜り込み流れの逆流域短縮効果", 河川技術に関する論文集, 第5巻, pp.141-146.
- 6) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., (1991), "Transition from Supercritical to Subcritical flow at an Abrupt Drop", Journal of Hydraulic Research, IAHR, 129 (3), pp.309-328.

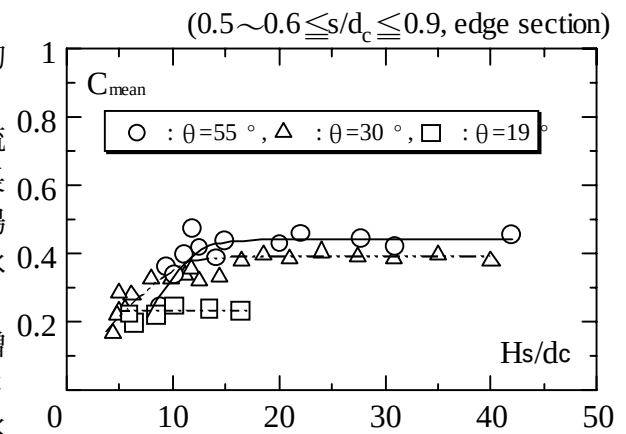


図3 相対落差高さと空気混入率との関係

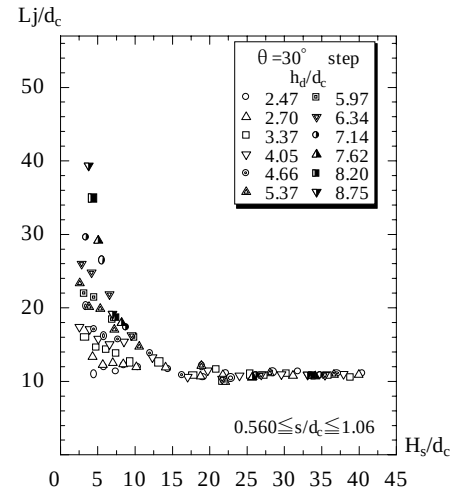


図4 相対流下距離に対する逆流域の長さ($23^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$)

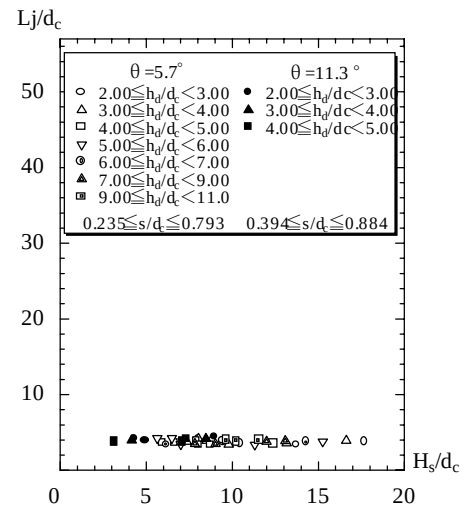


図5 相対落差高さに対する逆流域の長さ($5.7^\circ \leq \theta \leq 14^\circ \sim 19^\circ$)