

II-137

階段状傾斜水路における潜り込み流れについて

日大院・理工 学 松田 淳
 日大・理工 正 安田 陽一
 日大・理工 正 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 、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、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・ボート利用者が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、潜り込む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、水路傾斜面を階段状にすることによって潜り込み流れの逆流域の長さが滑面水路に比べて短くなることを明らかにした。特に、水路傾斜角、下流水深が大きい場合においても、階段状水路を用いることによって、逆流域の長さが短くなり跳水の形成が認められることを示した。

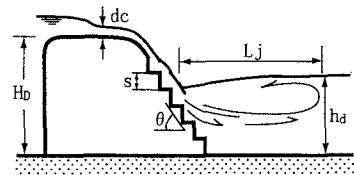


図-1 定義図

2. 流況

滑面傾斜水路において射流から常流に移る流れの流況は、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流況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ようになり、水路床近くの流れは壁面噴流の場合と同様な流況となる。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⁾。

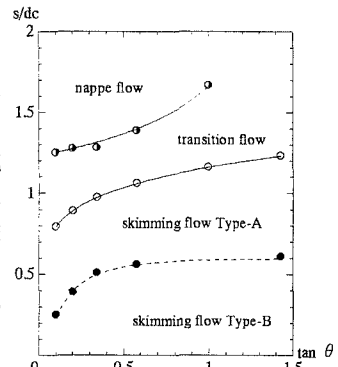


図-2 各流況の形成範囲

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検討を行った。

また、階段状傾斜水路における流れについては、ステップ隅角部に常に渦が形成され射流の水面がステップの凹凸に大きく影響される流況(skimming flow Type-A⁵⁾ 図-2)を対象として実験を行った。階段状傾斜水路において射流から常流に移る流況は、図-3に示されるように $\theta \leq 11^\circ \sim 12^\circ$ 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、 $\theta \leq 11^\circ \sim 12^\circ$ 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

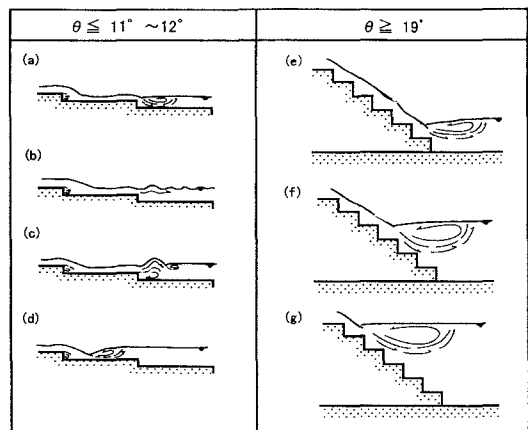


図-3 階段状傾斜水路における流況

キーワード：階段状水路、落差工、減勢工、跳水

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

込む流れ(図-3 (a)、(d))だけでなく、水路床に沿って波状を呈する流況(図-3 (b))、ステップ直下流で定常的な wave を呈する流況(図-3 (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 eq.(1) の関係で整理したものを図-4,5 に示す。

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

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、eq.(1) 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-4,5 に示されるように、与えられた水路傾斜角 θ 、相対落差高 H_D/dc および相対下流水深 h_d/dc に対して、階段状傾斜水路における逆流域の長さ L_j/dc は滑面傾斜水路の場合に比べて短くなる。これは、階段状傾斜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大きく減勢され、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。また、図-4 に示されるように $\theta \geq 19^\circ$ の場合、滑面傾斜水路の場合と階段状傾斜水路の場合とを比較すると相対落差高 H_D/dc 、および相対下流水深 h_d/dc が大きくなるにつれて L_j/dc の差は大きくなり、50%程度短縮される。また、図-5 に示されるように $\theta \leq 11^\circ \sim 12^\circ$ の場合、与えられた H_D/dc に対して h_d/dc によらず L_j/dc は一定となる。これは、下流水深が大きくなっても各ステップ上で跳水が形成されるようになるためと考えられる。なお、階段状水路において skimming flow Type-A が形成される場合、 s/dc による L_j/dc の違いは認められない。

4. まとめ

傾斜面上を階段状水路にし、各ステップ隅角部に常に渦が形成され、射流の水面がステップの凹凸に大きく影響する流況 (skimming flow Type-A) を対象に潜り込み流れについて検討を行った結果、流況は $\theta \leq 11^\circ \sim 12^\circ$ と $\theta \geq 19^\circ$ の場合とで異なることを示した。特に $23^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ 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、滑面傾斜水路の場合と異なり $\theta \leq 11^\circ \sim 12^\circ$ の場合、階段状傾斜水路を用いることによって表面渦を伴う潜り込む流れだけでなく、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示した。水路傾斜面を階段状にすることにより傾斜面上を通過する射流の流速が大きく乱され、個々のステップがデフレクターの機能を有するため、逆流域の長さは、与えられた θ 、および H_D/dc のもとで滑面水路の場合に比べて常に短くなることを明らかにした。特に、水路傾斜角、相対下流水深、および相対落差高が大きい場合、滑面傾斜水路と階段状傾斜水路との違いが大きくなり、逆流域の長さは 50%程度短縮される。

【参考文献】

- Ohtsu, I. and Yasuda, Y., (1991), "Hydraulic Jump in Sloping Channels", Jour. of Hydr. Engrg., ASCE, 117(7), pp.905-921.
- 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.
- 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.
- Leutheusser, H.J. and Birk, W.M., (1991), "Drown proofing of overflow structures", Jour. of Hydr. Engrg., ASCE, 117(2), pp.205-213.
- 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.
- 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.

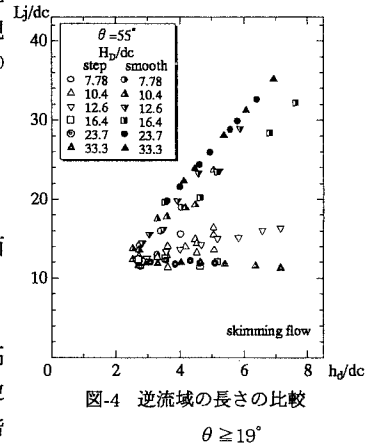


図-4 逆流域の長さの比較

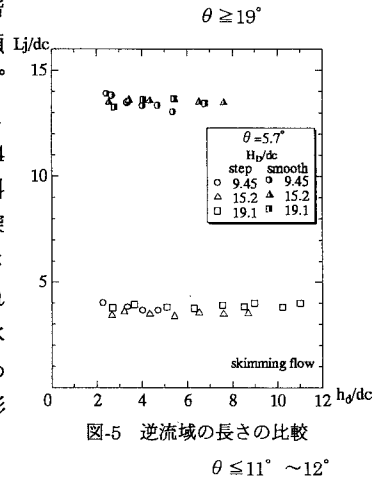


図-5 逆流域の長さの比較