

エンドシルを有する階段状水路における流況

Flow Conditions on Stepped Cascades with an End Sill

日本大学大学院 学生員 ○茂木 雄一
日本大学理工学部 正会員 安田 陽一
日本大学理工学部 正会員 大津 岩夫

1. まえがき

貯水池や人工湖から落差を伴って河川に接続する場合、越流する流れの流速を減勢させて河川に接続させる必要がある。この方法の一つとしてエンドシルを有する階段状水路の利用が挙げられる。また、ステップ終端にエンドシルを設置した場合、ステップ上でプールが形成されるため、プール式魚道としても利用されている。実験によると階段状水路の勾配、エンドシルの高さ、ステップの高さ、流量によって様々な流況が形成され、非定常な流れが形成されることがある。しかしながら、その形成条件は不明である。エンドシルを有する階段状水路において、各ステップ上で定常的な流れが形成されるための水理条件を知ることが水工設計上重要である。本研究ではエンドシルを有する階段状水路で形成される流況について実験的検討を行い、形成される流況を分類し、各流況の形成領域を提示した。

2. 実験条件

実験は水路幅 $B=40\text{cm}$ の長方形断面水平水路に水路傾斜角 $\theta=5.7^\circ, 19^\circ$ のエンドシルを有する階段状水路を設置して行った (h : エンドシル高さ、 s : ステップ高さ、 q : 単位幅流量、 d_c : 限界水深、 $d_c=(q^2/g)^{1/3}$ 、 g : 重力加速度)。

3. 流況の説明

エンドシルを有する階段状水路で形成される流況は相対エンドシル高さ h/s 、相対ステップ高さ d_c/s 、水路勾配 $\tan \theta$ によって種々変化する。相対ステップ高さ d_c/s の変化に伴うフローパターンは相対エンドシル高さ h/s の大きさによって以下のように分類される。

フローパターン A

相対エンドシル高さ h/s の値が比較的大きい場合、射流で流下する状態 (図 - 2(a)) で流量を減少させるとエンドシルに主流が衝突するようになり、水面のうねりが大きくなる (図 - 2(b))。また、ある段階で下流側のステップから周期的に繰り返す流況、すなわち unsteady flow が形成される (図 - 2(c))。unsteady flow が形成されている状態からさらに流量を減少させると、ある段階で定常的な流況が再び形成される。この場合、全てのステップにおいて顕著な表面渦を伴う流れが形成され、エンドシルに主流が衝突しているため、越流水脈が大きく乱れる (図 - 2(d))。この状態からさらに流量を減少させると、ある段階で主流がエンドシルに衝突しなくなり、エンドシルを越える越流水脈が乱れることなく、潜り込む流れ (plunging flow) (図 - 2(e)) が形成される。

フローパターン B

相対エンドシル高さ h/s の値が比較的小さい場合、射流で流下する状態で流量を減少させると水面がうねるようになる (図 - 2(g))。また流量の減少に伴い、最上流部のステップにおいて表面渦が形成され (図 - 2(h))、全てのステップで顕著な表面渦を伴う流況が形成される (図 - 2(i))。この場合、主流がエンドシルに衝突しているため、越流水脈が大きく乱れる。この状態からさらに流量を減少させると主流がエンドシルに衝突しなくなるため、越流水脈が乱れることなく、潜り込む流れ (plunging flow) (図 - 2(j)) が形成される。

キーワード：河川環境，階段状水路，非定常流れ，減勢工

〒103-8308 東京都神田駿河台 1-8 Tel. 03-3259-0668 Fax. 03-3259-0409

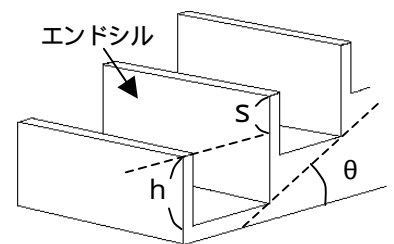


図 - 1 定義図

表 - 1 実験条件

θ (deg.)	5.7	19
s (m)	0.05, 0.025	0.10
h (m)	0.01 h 0.10	0.01 h 0.20
q (m ³ /s/m)	2.7×10^{-3} q 9.5×10^{-2}	2.5×10^{-3} q 9.3×10^{-2}
h/s	0.20 h/s 4.0	0.10 h/s 2.0
d_c/s	0.18 d_c/s 2.5	0.086 d_c/s 0.96

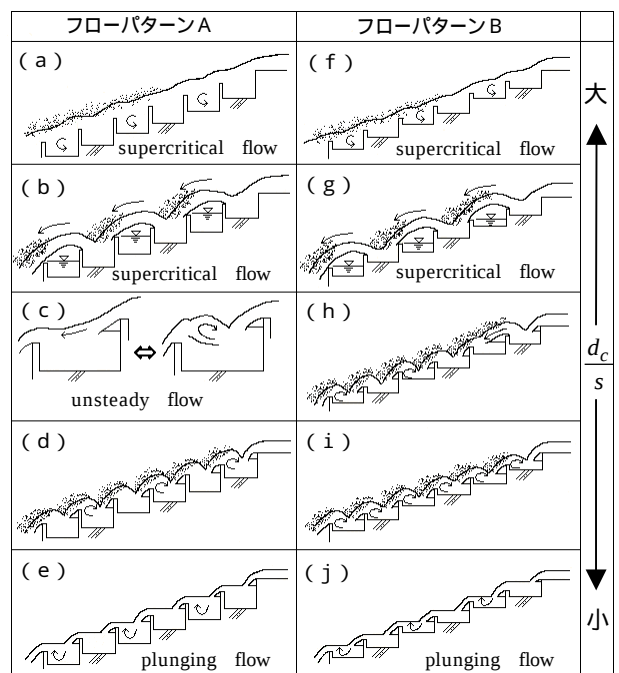


図 - 2 流量の変化に伴うフローパターンの分類

4. 各流況の形成領域

与えられた θ に対して、各流況の形成条件は h/s と d_c/s によって変化する。これら 2 つの水理量を用いて $\theta=5.7^\circ$ 、 19° における、各流況の形成条件を整理したものを図 - 3 に示す。

図 - 3 に示されるように、 $\theta=5.7^\circ$ と 19° の各流況の形成領域を比較すると、 $\theta=5.7^\circ$ の場合は $h/s=1.0$ 、 $\theta=19^\circ$ の場合は $h/s=0.5$ を境界にフローパターンが異なる。 $\theta=5.7^\circ$ の場合は $0.2 < h/s < 1.0$ の範囲において、 $\theta=19^\circ$ の場合は $0.1 < h/s < 0.5$ の範囲において、unsteady flow の形成は認められず、ステップの場所によって表面渦が形成されたり、射流で流下する流況が形成される。また、全てのステップで表面渦が形成される d_c/s の範囲（図 - 2 (i), (j)）は、 h/s の値が小さくなるにつれて狭くなる。なお、射流の状態に階段状水路上を越える流況（図 - 2(a), (b), (f), (g)）が形成されるための d_c/s の範囲は、 $\theta=19^\circ$ の場合、 $h/s=0.5$ で、 $\theta=5.7^\circ$ の場合、 $h/s=1.0$ で再び広くなる傾向が見られる。

unsteady flow（図 - 2 (c)）が形成されるための d_c/s の範囲は h/s の値が大きくなるにつれて広がる。一方、各ステップで表面渦を伴う流況が形成される場合、特に越流水脈が大きく乱れた状態となる流況（図 - 2 (d)）が形成されるための d_c/s の範囲は h/s の値が大きくなるほど狭くなる。

なお、 $\theta=5.7^\circ$ の場合、 h/s の値が 4.0 のとき、 $0.7 < d_c/s < 1.0$ の範囲において、表面渦が形成されている状態でエンドシルによって形成されたプール内の水深が水路横断方向に周期変動を伴い変化する流況（静波）が形成される。

unsteady flow が形成される直前の流況におけるエンドシル前面に作用する流体運動による圧力 p_{df} の分布の一例（ $\theta=19^\circ$ の場合）を図 - 4, 5 に示す。図中 $V_c=q/d_c=q^{1/3}g^{1/3}$ 、 y は水平ステップ底面からの鉛直高さを示す。図 - 4, 5 に示されるように、与えられた θ 、 h/s に対して、流況(b)から unsteady flow が形成される直前と unsteady flow から流況(d)が形成された直後の流況では、エンドシル前面に作用する圧力の分布形状が異なる。すなわち主流の衝突位置が異なっている。直前の流況では、エンドシルの上部に主流が衝突し、 h/s の値が大きくなるにつれて衝突位置が高くなる。また、直後の流況では、エンドシルの下部に主流が衝突し、 h/s の値が大きくなるにつれて衝突位置が低くなる。ただし、 h/s の値が 0.5 に近づく衝突位置および圧力分布の違いが顕著でなくなる。このことから、 h/s の値が大きくなるほど主流の衝突位置が異なり、unsteady flow の形成領域が広がることを確認した。

参考文献

- 1) Youichi, Yasuda and Iwao, Ohtsu: "Characteristics of Plunging Flow in Stepped Channel Chutes.", Proceeding of International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, ETH VAW, Switzerland, A. A. BALKEMA, pp. 147-152, 2000.
- 2) Youichi, Yasuda, Masayuki, Takahashi and Iwao, Ohtsu: "Energy Dissipation of Skimming Flows on Stepped - Channel Chutes.", Proceeding of the 29th IAHR Congress, Beijing, Theme D, Vol.1, pp.531 - 536, 2001.

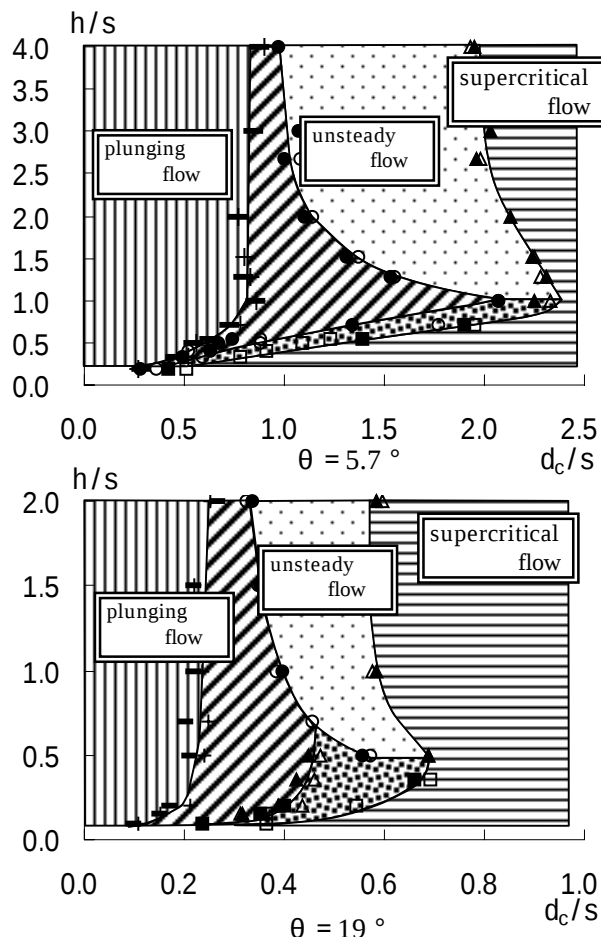


図 - 3 各流況の形成領域

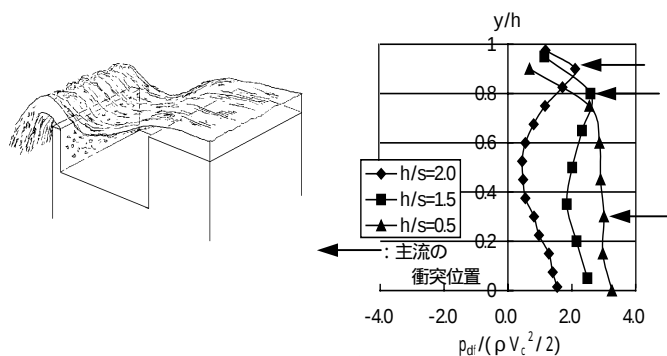


図 - 4 unsteady flow が形成される直前の流況と p_{df} の分布

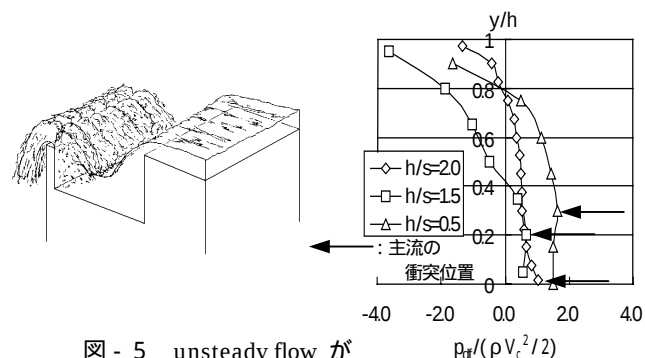


図 - 5 unsteady flow が形成された直後の流況と p_{df} の分布