

エンドシルを有する階段状水路の流況

日本大学大学院 学 ○佐藤啓太郎
日本大学理工学部 正 安田 陽一
日本大学理工学部 正 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傾斜角、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¹⁾。しかしながら、その形成条件は不明である。またエンドシルのない階段状水路における流れの特性は報告されているものの^{2),3)}、エンドシルを有する場合の流況特性は明らかにされていない。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は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、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 $\theta=5.7^\circ, 11.3^\circ, 19^\circ$ 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、 s :ステップ高、 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 h/s 、相対ステップ高 d_c/s 、水路勾配 $\tan \theta$ によって種々変化し⁴⁾、相対ステップ高 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 h/s の大きさによって2つに区分される(図-2)。各フローパターンについて以下に説明を加える。

フローパターン A

相対エンドシル高 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))から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、ある段階で周期的に繰り返す流況、すなわち非定常的な流れ(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表面渦を伴う流況が形成される。また、主流がエンドシルに衝突しているため、

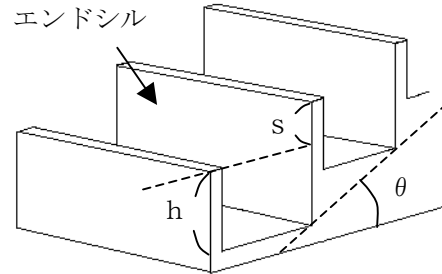


図-1 定義図

表-1 実験条件

θ (deg.)	5.7	11.3
s (m)	0.05, 0.025	0.1, 0.05
h (m)	$0.01 \leq h \leq 0.10$	$0.025 \leq h \leq 0.15$
q (m ³ /s/m)	$2.7 \times 10^{-3} \leq q \leq 9.5 \times 10^{-2}$	$5.6 \times 10^{-3} \leq q \leq 8.6 \times 10^{-2}$
h/s	$0.20 \leq h/s \leq 4.0$	$0.25 \leq h/s \leq 3.0$
d_c/s	$0.18 \leq d_c/s \leq 2.5$	$0.26 \leq d_c/s \leq 1.2$

θ (deg.)	19
s (m)	0.1
h (m)	$0.01 \leq h \leq 0.20$
q (m ³ /s/m)	$2.5 \times 10^{-3} \leq q \leq 9.3 \times 10^{-2}$
h/s	$0.10 \leq h/s \leq 2.0$
d_c/s	$0.086 \leq d_c/s \leq 0.96$

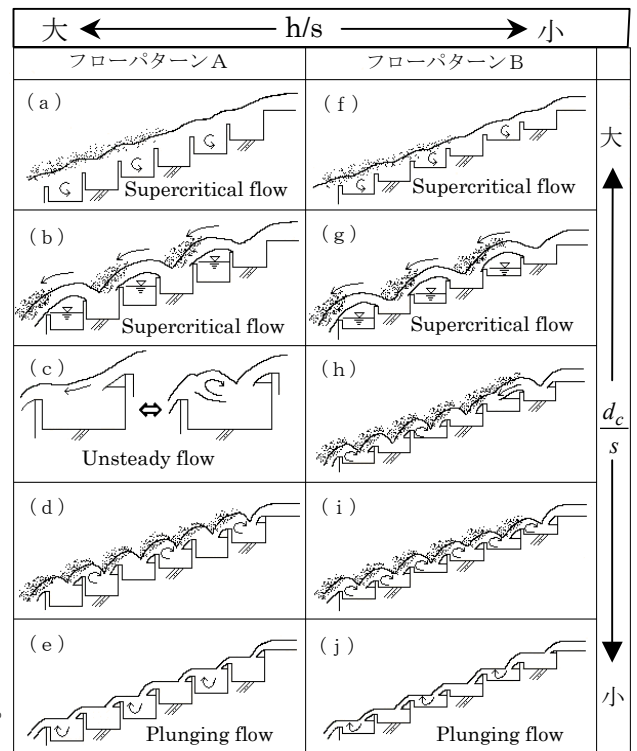


図-2 流量の変化に伴うフローパターンの分類

キーワード：階段状水路、非定常流れ、減勢工、河川環境

連絡先：東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL：03-3259-0409 FAX：03-3259-0409

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 h/s の値が比較的小さい場合、射流で流下する状態から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、ステップ上で表面渦が形成される所と形成されない所が混在した流況(図-2(h))となる。さらに流量を減少させると、全てのステップで表面渦を伴う流況が形成されるようになる(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。この状態から流量を減少させると、越流水脈が乱れない潜り込む流れ(Plunging flow)(図-2(j))が形成される。

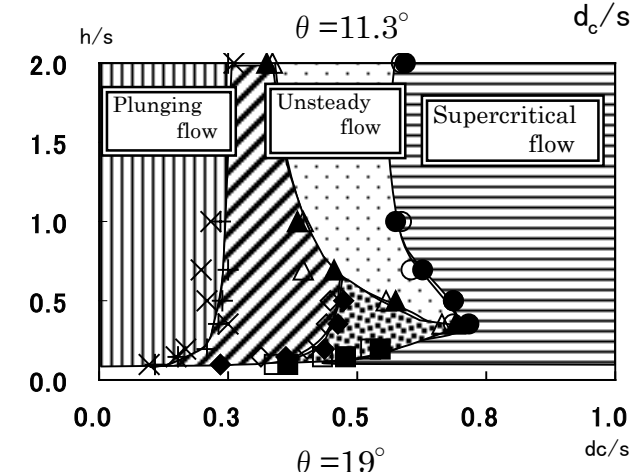
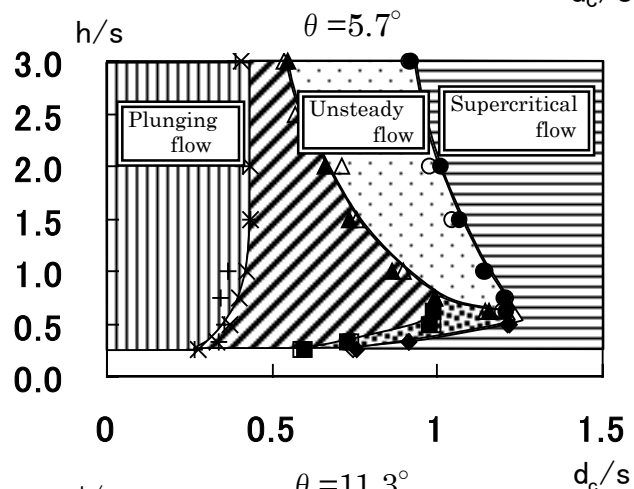
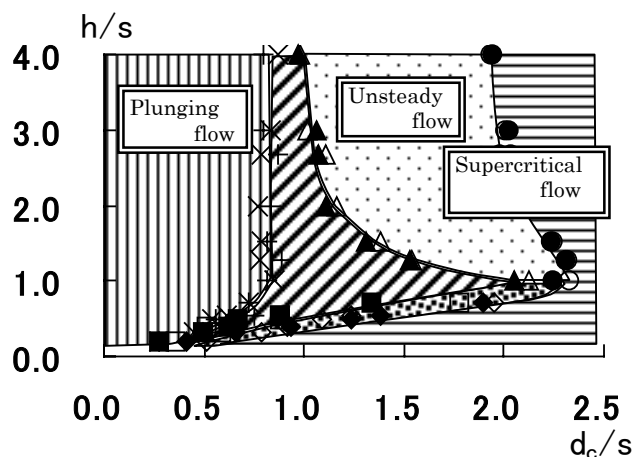
4. 各流況の形成領域

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 によって定められる。 $\theta=5.7^\circ$ 、 11.3° 、 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。

$\theta=5.7^\circ$ と 11.3° と 19° の各流況の形成領域を比較すると、図-4に示されるように、 $\theta=5.7^\circ$ の場合は $h/s=1.0$ 、 $\theta=11.3^\circ$ の場合は $h/s=0.6$ 、 $\theta=19^\circ$ の場合は $h/s=0.35$ を境にフローパターンが異なる。すなわち $\theta=5.7^\circ$ の場合は $h/s<1.0$ の範囲において、 $\theta=11.3^\circ$ の場合は $h/s<0.6$ の範囲において、 $\theta=19^\circ$ の場合は $h/s<0.35$ の範囲において、Unsteady flow は形成されなくなる。また、Unsteady flow が形成されない h/s の範囲において、ステップ上で常に表面渦が形成される d_c/s の範囲(図-2(i), (j))は、水路傾斜角 θ が大きくなるにつれて、または相対エンドシル高 h/s の値が小さくなるにつれて狭くなる。これは、ステップ水平面の長さが相対的に短くなるため、エンドシルに主流が衝突し易くなり、ステップ上で表面渦が形成されにくくなったものと考えられる。Unsteady flow (図-2(c))の形成領域については、 h/s の値が大きくなるにつれて d_c/s の範囲は広がる。

参考文献

- 1) M.Redeker, "Wave phenomenon in the cascade type spillway of the Sorpe Dam", Department of Dams and Water Courses, Ruhrverband, Interim report, August, 2000, pp.1-8.
- 2) Youichi, Yasuda and Iwao, Ohtsu: "Characteristics of Plunging Flow in Stepped Channel Chutes.", Proceeding of International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, A. A. BALKEMA, pp.147-152, 2000.
- 3) 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.
- 4) 安田, 大津, 茂木, "エンドシルを有する階段状水路における流況", II-109, 土木学会第 57 回年次学術講演会, pp.217-218.



Symbol	図-2	Symbol	図-2	Symbol	図-2
	a), f)		c)		d), i)
	b), g)		e), j)		h)

図-3 各流況の形成領域

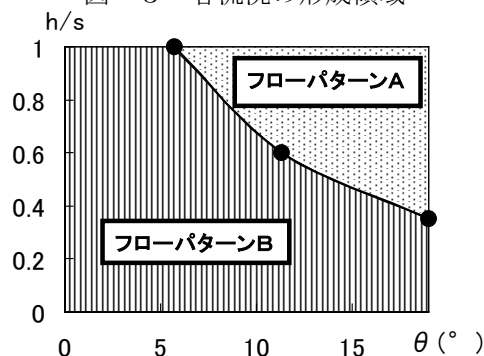


図-4 水路傾斜角によるフローパターン