

(Ⅱ-5)

エンドシルを有する階段状水路の流況分類

日本大学大学院理工学研究科
日本大学理工学部
日本大学理工学部

○学員 茂木 雄一
正員 安田 陽一
正員 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。すなわち、各ステップで跳水を形成させるため、ステップ終端にエンドシルを用いる。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、ある条件下では非定常な流れが形成されることがあることを見出した。ドイツではこの非定常流れによって導水路の導流壁を越える流れが発生し、歩行者が流される被害があった。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における流況について、水路傾斜角 19° を対象に実験的検討を行い、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 $\theta=19^\circ$ のエンドシルを有する階段状水路(段数 6)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。

$0.5 \leq h/s \leq 2.0$

与えられたステップ高さ、水路傾斜角に対して *skimming flow* (図-2(a)) の状態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とまう流れが形成され、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。

$0.2 \leq h/s < 0.5$

skimming flow の状態から流量を減少させると射流の状態では水面がうねるようになる(図-2(g))。また流量の減少に伴い、やがて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。なお $h/s \leq 0.15$ の場合、 h/s の値の減少に伴い、流況は階段状水路 ($h=0$ の場合^{1),2)}) と同様となる。

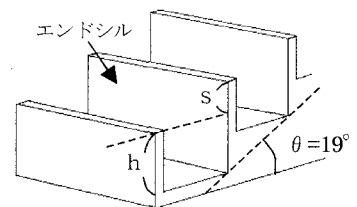


図-1 定義図

表-1 実験条件

$s=0.10(\text{m})$
$0.010(\text{m}) \leq h \leq 0.20(\text{m})$
$2.5 \times 10^{-3}(\text{m}^3/\text{s}/\text{m}) \leq q \leq 9.6 \times 10^{-2}(\text{m}^3/\text{s}/\text{m})$
$0.086 \leq d_c/s \leq 0.96$
$0.10 \leq h/s \leq 2.0$

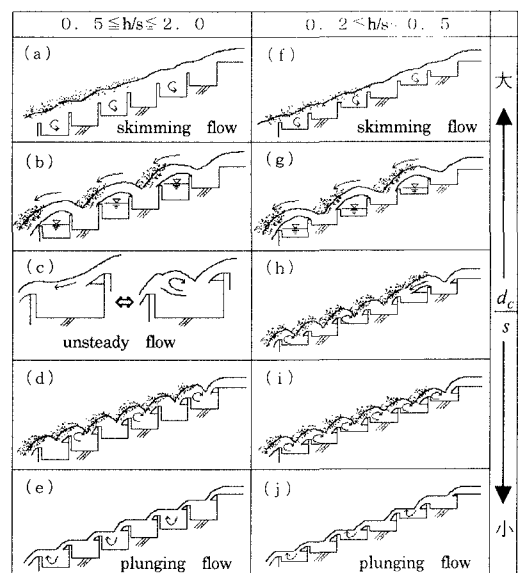


図-2 流量の変化に伴うフローパターンの分類

キーワード：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.&Fax. 03-3259-0409

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 $\theta=19^\circ$ 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、 $0.1 \leq h/s < 0.5$ の範囲では 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ための 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。また、skimming flow (図-2 (f)) が形成されるための d_c/s の範囲についても、 h/s の値が小さくなるにつれて狭くなる。その一方で水面のうねりを伴って射流の状態で流下する流況 (図-2 (g)) が形成されるための d_c/s の範囲は広がる。これは h/s の値が小さくなるにつれて、流速が減勢されない状態で主流がエンドシルに衝突し、ステップ上で表面渦が形成されにくくなり、エンドシルによって流線が上方に曲げられたため水面がうねり易くなったものと考えられる。

$0.5 \leq h/s \leq 2.0$ の範囲で認められる 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。skimming flow (図-2 (a)) が形成されるための d_c/s の範囲は、 h/s の値が大きくなると $0.5 \leq h/s \leq 2.0$ の範囲では広くなり、 h/s の値が 2.0 より大きくなると、skimming flow が形成されるための d_c/s の値は一定となる傾向が見られる。

次に、unsteady flow が形成される直前、直後の流況におけるエンドシル前面に作用する圧力分布について考える。与えられた $\theta, h/s$ に対して d_c/s の値を減少させたとき、unsteady flow が形成される直前、直後の流況と、このときにエンドシル前面に作用する流体運動による圧力 p_{df} の分布を図-4, 5 に示す。図中 V_{c0} は限界流速 ($V_{c0} = q/d_c = q^{1/3}g^{1/3}$)、 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、unsteady flow が形成される直前と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。unsteady flow が形成される直前の流況では $0.30 < y/h < 0.9$ の範囲でエンドシルに主流が衝突し、 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、unsteady flow が形成された直後の流況では圧力の最大値 (主流の衝突位置) が $0 < y/h < 0.30$ の範囲で生じ、 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 に近づくと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、unsteady flow が形成される直前、直後でエンドシルに衝突する主流の位置が異なるほど、unsteady flow の形成領域が広がっている。

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.

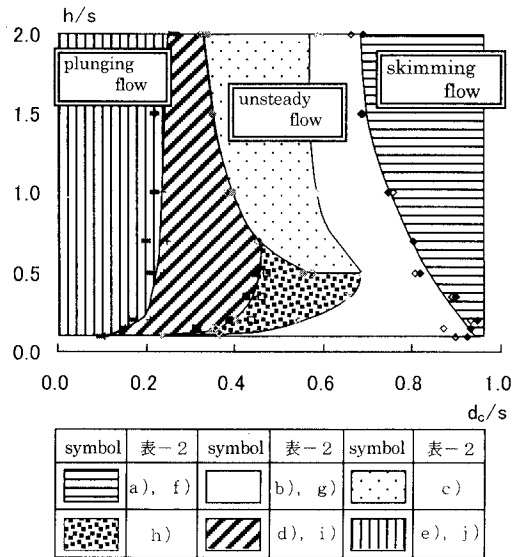


図-3 各流況の形成領域

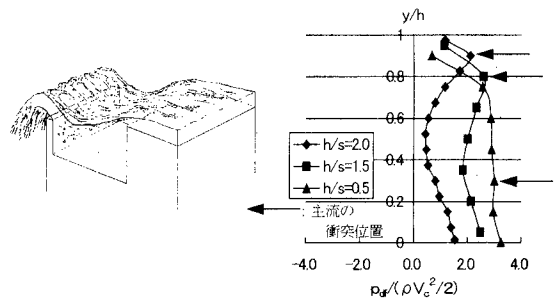


図-4 unsteady flow が形成される直前の流況と p_{df} の分布

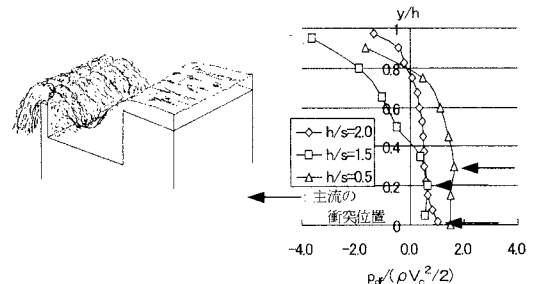


図-5 unsteady flow が形成された直後の流況と p_{df} の分布