## エンドシルを有する階段状水路の流況特性

日本大学大学院	学	○佐藤啓	各太郎
日本大学理工学部	Æ	安田	陽一
日本大学理工学部	Æ	大津	岩夫

表-1 実験条件

## <u>1. まえがき</u>

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<sup>1)</sup>。 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<sup>2),3)</sup>、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。最近、著者らの 研究によってエンドシルを有する階段状水路における流 況が相対ステップ高 d./s、相対エンドシル高 h/s、水路傾斜 角θによって変化し、d/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 の値が比較的大きい場合(フローパ ターンA)と小さい場合(フローパターンB)の2つに分 類されることを明らかにした(図-2)<sup>4),5)</sup>。ここでは、水 路傾斜角度を 30° まで拡張し、各流況の形成領域を示し た。また、階段状水路直下流に形成させた跳水を利用して エンドシルを有する階段状水路によるエネルギー損失を 明らかにした。

### <u>2. 実験条件</u>

実験は水路幅 B=40cm の長方形断面水平水路に水路傾斜 角  $\theta$  のエンドシルを有する階段状水路を設置し表-1 の条 件のもとで行った (h:エンドシル高, s:ステップ高, q:単位幅 流量, d<sub>c</sub>:限界水深, d<sub>c</sub>=( $q^2/g$ )<sup>1/3</sup>, g:重力加速度)。

### 3. 流況の形成領域

 $\theta = 30^{\circ}$ における各流況の形成領域を図-3に示す。図-3 0.5 に示されるように、d<sub>c</sub>/s の変化に伴うフローパターンは h/s  $\geq 0.25$ でフローパターンA、h/s<0.25でフローパターンB 0.0 となる。

水路傾斜角 $\theta$ によるフローパターンAとフローパターン Bの境界となる h/sの値の変化を図-4に示す。図-4に示

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



 $\boxtimes -2$ 

heta (deg. )	30
s(m)	0.12, 0.24
h(m)	0.026≦h≦0.48
q(m³/s/m)	$8.9 \times 10^{-3} \le q \le 5.9 \times 10^{-2}$
h/s	0.13≦h/s≦2.0
d <sub>c</sub> ∕s	0.11≦d <sub>c</sub> ∕s≦0.35





流量の変化に伴うフローパターンの分類

されるようにフローパターンの境界は水路傾斜角 θ が大きくなるに つれて、小さい h/s の値となる。これは、角度が大きくなると越流部 における乱れが大きくなり、流れが不安定であるために、小さい h/s の値でも Unsteady flow が形成されやすくなるものと考えられる。 <u>4.エンドシルを有する階段状水路による相対エネルギー損失</u>

図-2(d),(e),(i),(j)に示す流況を対象として、エンドシルを有する 階段状水路によるエネルギー損失を求めるため、図-5に示される ように、階段状水路直下流側に跳水を形成させ、(1),(2),(3)式<sup>3)</sup>を用 いて損失水頭 $\Delta$ H<sub>1</sub>を算定した。ただし、跳水始端は底面の圧力水 頭が最大となる位置としている。ここで、(1)式の $\alpha$ はエネルギー補 正係数であり、 $\alpha$ =1と仮定する。h<sub>1</sub>は跳水始端水深、H<sub>dam</sub>は 階段状水路の総落差、H<sub>1</sub>は水路直下での全水頭である。また、  $\lambda_1$ は水路直下での圧力補正係数であり、(2)式から算定される。  $\Delta$ p は静水圧からの圧力増加分であり、u は流速を示し u=U(y/h<sub>1</sub>)<sup>1/8</sup>で示される(U:y=h<sub>1</sub>での流速、y:水路床からの高さ)。 <sup>H</sup> さらに、(3)式の h<sub>2</sub>は跳水終端水深、 $\rho$  gh<sub>p</sub>は跳水始端での底面 での圧力である。

相対エネルギー損失 Δ H<sub>1</sub>/H<sub>max</sub>(4)について整理したものを図-6 に示す。同一な相対ダム高 H<sub>dam</sub>/d<sub>c</sub>に対して、図-6 に示される ように水路傾斜角 θ が大きくなるにつれて Δ H<sub>1</sub>/H<sub>max</sub>の大きさが 小さくなる傾向が見られる。特に、相対ダム高 H<sub>dam</sub>/d<sub>c</sub>が小さく なるほどその傾向が大きくなる。これは各プール内の渦の形成 の違いにより、H<sub>dam</sub>/d<sub>c</sub><40 の範囲で水路傾斜角 θ によるエネル ギー損失の違いが生じたものと考えられる。すなわち、水路傾 斜角 θ が小さい場合には同一なステップ高さ s に対してステッ プ水平部の長さが長くなり、各プールにおいて安定した渦の形 成が確保される。また、ステッププール内の渦は各段において 同様な形成状況となる。一方、水路傾斜角 θ が大きい場合は、 同一なステップ高さに対して各プール水平部の長さが短いため 安定した渦の形成が確保できない。つまり、最初の複数段 では流況が異なる。以上のような渦の形成の違いがエネル

# ギー損失の違いを示したものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) Redeker, M., "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) Minor, H.E. and Hager, W.H. "Hydraulics of stepped spillways", Proceeding of International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, A. A. BALKEMA, 2000.
- 3) Yasuda, Y., Takahashi, M. and Ohtsu, I.: "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) 茂木,安田,大津,"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.217-218,2002.
- 5) 佐藤,安田,大津, "エンドシルを有する階段状水路の 流況", II-84,第30回土木学会関東支部技術研究発表会 講演概要集,CD-ROM,2003.



図-4 水路傾斜角とフローパターンの関係



#### 図-5 エネルギー評価の定義図

$$H_{\text{max}} = H_{dam} + 1.5d_c = H_1 + \Delta H_1$$
$$= \alpha \frac{q^2}{2gh_1} + \lambda_1 h_1 + \Delta H_1 \quad (1)$$
$$\lambda_1 = 1 + \frac{1}{wqh_1} \int_0^{h_1} u \Delta p dy \quad (2)$$

$$p q^{2} \left(\frac{1}{h_{2}} - \frac{1}{h_{1}}\right) = \frac{1}{2} \rho g h_{1} h_{p} - \frac{1}{2} \rho g h_{2}^{2} \quad (3)$$
$$\frac{\Delta H_{1}}{H_{\text{max}}} = 1 - \frac{\left(\frac{h_{1}}{d_{c}}\right)^{-2} + 2\lambda_{1} \left(\frac{h_{1}}{d_{c}}\right)}{2\left(\frac{H_{dam}}{d_{c}}\right) + 3} \quad (4)$$

