

スリット流れを伴うプール式階段工の水理特性に関する検討

Investigation on hydraulic characteristics in pool type stepped chute with slits

日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○郷野梨夏, 正会員 安田陽一
横浜市道路局河川事業課 法人会員 石川 眞, 富永裕之, 森松芳隆

1. はじめに

住宅地域を流れる都市河川において水質浄化に伴い様々な水生生物の生息が可能となった環境では、落差部(河川横断構造物を含む)に魚道整備^{1),2)}をすることが求められ、かつ構造物を越える流れによって発生する流水音の制御が必要不可欠となる。また、洪水時には河床低下および局所洗掘が生じない流れの制御^{3),4)}が求められている。これらの要件を網羅し、かつ経済的に整備するためには、局所流の精度の高い予測³⁾が必要となる。ここでは、横浜市内の中心を流れる帷子川に設置された床固め工および河床低下によって生じた落差部にスリット流れを伴うプール式階段工(写真1参照)を整備したときに検討した階段工の水理特性について報告する。なお、スリット流れを伴うプール式階段工については従来検討されていなかった。

2. 実験

魚道以外の箇所を平水時には遊泳魚の溯上が可能で、かつ流水音の制御できる環境にし、洪水時には流れの制御を可能にし、かつ経済的に整備できる構造としてスリット流れを伴う階段工を提案した。提案した階段工の平水時の水理特性を解明するため、図1に示す原型規模の模型を長方形断面水平水路(長さ15m, 高さ60cm, 幅80cm)に設置し、表1の実験条件のもとで検討を行った。



a) 改善前(落差部直下流で露出射流が形成される)

b) 改善後(斜路式の魚道と階段工が設置)



c) 改善前(河床低下によって生じた段差)

d) 改善後(斜路式の魚道と階段工が設置)

写真1 L型鋼板を用いたスリット流れを伴う階段工の施工事例

表1 実験条件

	b (cm)	t ₁ =t ₂ (cm)	s (cm)	Δh (cm)
Case 1	15	32.5	20	20
Case 2	15	32.5	20	30
Case 3	10	35	30	30

D = 21 cm, B = 80 cm (水路幅)

Case 1: 3.6 cm ≤ H ≤ 30 cm,

Case 2: 12.7 cm ≤ H ≤ 32.5 cm,

Case 3: 20.2 cm ≤ H ≤ 42.5 cm

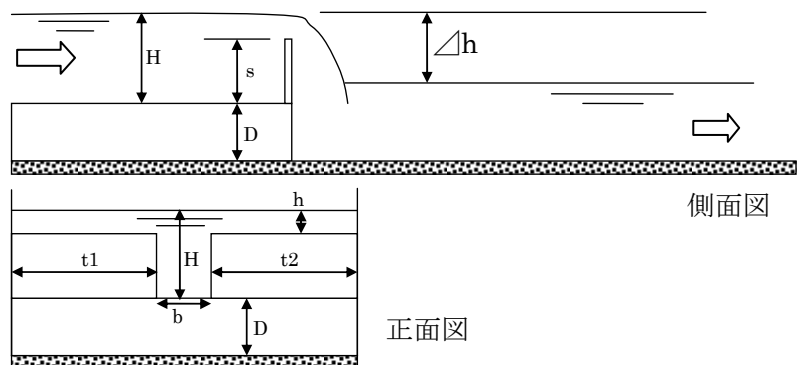


図1 スリット流れを伴う階段工模型

キーワード 都市河川, 階段工, 局所流, 流量係数, 河川環境

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8, TEL: 03-3259-0409, E-mail: yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

3. スリットおよびスリット以外からの流量と越流水深との関係

スリット内の流量と越流水深との関係は限界流の条件を用いて次式で示される。

$$Q_s = C_2 \sqrt{g} \left(\frac{H}{1.2} \right)^{\frac{3}{2}} b \quad (1)$$

ここに、 b はスリット幅、 C_2 は流量係数である。また、 H は越流水深であり、越流水深 H と限界水深 d_c との比 H/d_c をここでは 1.2 としている。

流量係数 C_2 は相対越流水深 H/s によって主に変化するものと考え、 $C_2 = f(H/s, \Delta h/s, b/s)$ の関係で整理したものを図 2 に示す。図に示されるように、 C_2 は H/s によって直線的に変化することが分かる。また、同一の $\Delta h/s$ 、 H/s に対して b/s による C_2 の違いは顕著ではない。また、同一の b/s 、 H/s に対して $\Delta h/s$ による C_2 の違いは見られる。これは、 $\Delta h/s$ が大きいと越流水脈の曲がりの影響が大きくなり、流量係数が小さくなったものと考えられる。Case1~3 の傾向を式化すると、次式となる。

$$C_2 = 0.046 \frac{H}{s} + 0.746 \left(0.18 < \frac{H}{s} < 1.5, \frac{\Delta h}{s} = 1.0, \frac{b}{s} = 0.75 \right) \text{ for Case 1 } r^2 = 0.273 \quad (2) - 1$$

$$C_2 = 0.127 \frac{H}{s} + 0.64 \left(0.64 < \frac{H}{s} < 1.7, \frac{\Delta h}{s} = 1.5, \frac{b}{s} = 0.75 \right) \text{ for Case 2 } r^2 = 0.933 \quad (2) - 2$$

$$C_2 = 0.119 \frac{H}{s} + 0.671 \left(0.65 < \frac{H}{s} < 1.5, \frac{\Delta h}{s} = 1.0, \frac{b}{s} = 0.333 \right) \text{ for Case 3 } r^2 = 0.697 \quad (2) - 3$$

ここに、 r^2 は自己相関係数である。

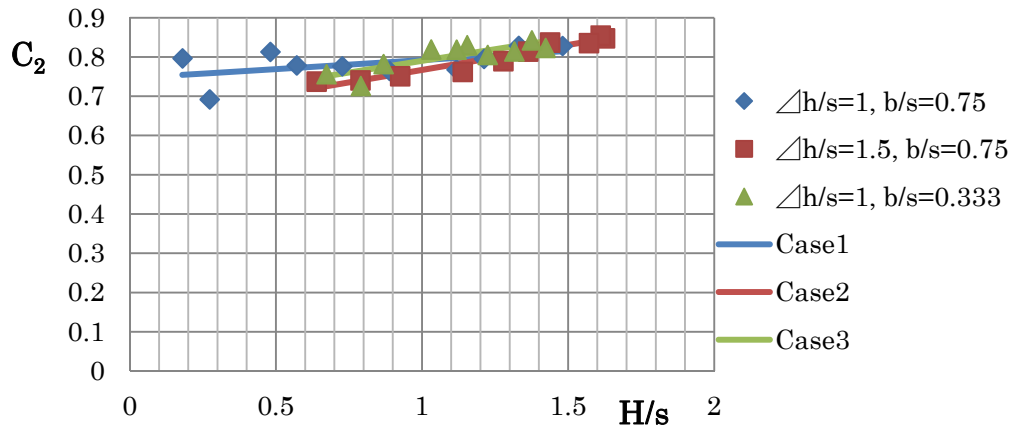
なお、スリット以外の L 型鋼板上から越流する流量は次式から予測できる。

$$Q_w = C_1 \frac{2}{3} \sqrt{2gh} t^3 \quad \text{自己相関係数 } r^2 = 0.998 \quad (3)$$

$$C_1 = 0.095 \ln(h/s) + 0.82 \quad (0.13 < h/s < 0.66)$$

ここに、 h は L 型鋼板からの越流水深であり、 $h = H - s$ であり、 t は L 型鋼板の設置総幅である。

与えられたスリット幅 b 、スリット設置総数 N 、1 ステップに設置された L 型鋼板の総幅 t 、L 型鋼板の高さ s 、水面差 Δh 、越流水深 H に対して、(1),(2),(3)式を用いることによって、全体流量 $Q (=Q_w + NQ_s)$ 、階段工におけるスリットからの流量 Q_s 、スリット以外からの流量 Q_w 、および h が予測可能となる。



スリット流れを伴う階段工のメリット：

平水時において、スリット以外の箇所からの越流量を最小限にすることによって、流水音の軽減につながり、スリットからの溯上環境が良好になる。上記の水理計算から水理設計が可能となる。帷子川では、その水理計算が行われ、設計・施工されている。

4. まとめ

L 型鋼板を用いたスリット流れに伴うプール式階段工を対象に、スリットおよびスリット以外の流量と越流水深との関係を実験的に明らかにした。特に、スリットから流出する場合の流量推定式に含まれる流量係数は越流水深 H/s 、水面差 $\Delta h/s$ に影響することを示した。水理設計が可能な実験式を提案し、帷子川落差部に適用した。

参考文献

- 1) Yasuda, Y. and Seo, Y. (2009), What should civil engineers learn from failures in fishways?, 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment, IAHR, Vancouver, Canada, CD-ROM.
- 2) 安田陽一著 (2011), 技術者のための魚道ガイドライン—魚道構造と周辺の流れから分かること—, 北海道魚道研究会編, コロナ社, 144 pages.
- 3) Yasuda, Y. (2012), Proposed fish facilities at flood control weir installed in urban river, 4th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, Porto, Portugal, CD-ROM.
- 4) Yasuda, Y. and Ohtsu, I. (2003), Energy dissipation structures, Encyclopedia of Water Science, Marcel Dekker Inc., New York, pp.195-198.
- 5) 大津岩夫, 安田陽一編集 (2011), 水理学, 第 3 版, 理工図書, pp.94-98.