

II - 330

段落下流部における潜り込み流れについて

日大 理工 正員 安田 陽一
日大 理工 正員 後藤 浩
日大 理工 正員 大津 岩夫

1. まえがき

河川の中に落差工・堰などの段落部を設けることは、河床勾配を安定させ、河床低下を防ぐために重要である。また、ゲート、堰などから流出する高速流を減勢させるため、跳水を形成させることが一般的で、特に段落部を設置することによって跳水位置を安定させる効果があることが知られている¹⁾。段落上を通過する流れが潜り込む(plunging condition)場合、段落下流部で渦の形成に伴い逆流域が見られる。鉛直段落部で落差高が大きく下流水位が高い場合、逆流域が広範囲にわたって形成される。この現象は、ボート・カヌー利用者および人命救助隊を巻き込み、溺死させる原因となり、極めて危険な状態を引き起こすことがある(この現象は"drowning machine"²⁾と呼ばれている)。親水性向上を図り、河川利用者の安全性を考慮した落差工・堰などを設計するために、plunging conditionの水利特性を把握し、逆流域の長さを縮小させる対策を考えることが重要である。ここでは、段落下流部に傾斜水路を設け、plunging conditionの逆流域の縮小効果について検討を加えた。このことより、逆流域の長さが縮小できる水利条件が得られた。

2. 実験

実験は水路幅 $B = 80$ cm、水路長 $L = 15$ m、高さ $H = 60$ cm の長方形断面開水路の途中に鉛直段落模型を設置し、その下流側に、 $\tan \theta = 0.10, 0.15, 0.27, 0.34, 0.42$ の傾斜水路模型を設置して行なった(図-1参照)。低段落水路と高段落水路とでは、流れの特性が異なる³⁾ことから、落差高 S については本研究の問題設定に基づき高段落水路($S/h_1 \geq 15 \sim 16$)の範囲で設定した。さらに、鉛直段落部分の段落高さ D については、低段落水路($0.5 \sim 1.5 \leq S/h_1 \leq 8 \sim 9$)の範囲で設定した。

3. 流況

段落上のフルード数 $1 \leq F_1 \leq 3$ 、落差高 $S/h_1 \geq 15 \sim 16$ [段落高さ $0.5 \sim 1.5 \leq D/h_1 \leq 8 \sim 9$ (ただし、傾斜水路が設置されている場合の D/h_1 の範囲)] の実験条件のもとで検討した結果、流況は下流水位の変化によって図-2のように示される。段落部を越えた流れが段落下流側の水路に衝突し、直ちに跳水が形成される流況(limited jump)の状態から下流水位を上げていくと、段落部を越える流れが潜り込む、すなわち plunging condition が形成される。さらに下流水位を上げていくと、ある段階で、潜り込んでいた流れが水面に沿い水面の動揺が下流側遠方まで続く流況(wave train)が形成される。

4. plunging conditionにおける遷移領域の長さ

段落上・下流側の水路が水平である場合の plunging condition における遷移領域の長さ L_{JH} は、段落面から常に逆流が観察されなくなった最初の鉛直断面までの水平長さとして定められ、次式が提案されている^{1), 3)}。

$$\log_{10}(L_J/H_L) = -4.8(H_L/H_1) + 2.2 \quad (1)$$

$$(0.07 \leq H_L/H_1 \leq 0.2)$$

$$\log_{10}(L_J/H_L) = -1.71(H_L/H_1) + 1.58 \quad (2)$$

$$(0.2 \leq H_L/H_1 \leq 0.75)$$

ここに、 H_L は plunging condition による損失水頭、 H_L/H_1 は相対エネルギー損失であり、次式で示される。

$$H_L/H_1 = 1 - 2 \cdot \{F_1^2 / (h_d/h_1)\} + (h_d/h_1) / [F_1^2 + 2 + 2 \cdot (S/h_1)] \quad (3)$$

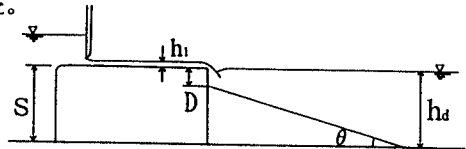


図-1. 定義図

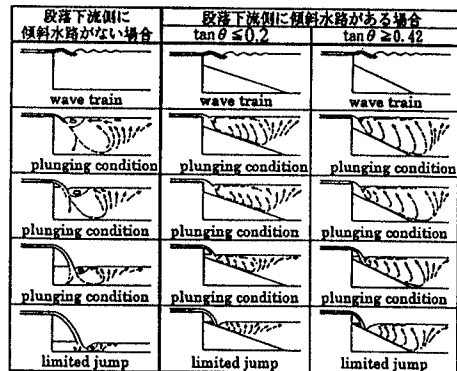


図-2. 流況図

KEY WORDS: 開水路・落差工・堰・河川環境

東京都千代田区神田駿河台 1 - 8 Tel. & Fax. 03 - 3259 - 0409

逆流域の縮小効果を検討するため、同一な相対落差高 S/h_1 、相対下流水深 h_d/h_1 、段落上のフルード数 F_1 に対して段落部下流側に傾斜水路を設置した場合のplunging conditionにおける遷移領域の長さ(段落面から常に逆流が観察されなくなった最初の鉛直断面までの水平長さ) L_{JS} と、段落部下流側に傾斜水路を設置されていない場合のplunging conditionにおける遷移領域の長さ L_{JH} との比較を図-3, 4に示す。図中 R_L は、同一な S/h_1 , F_1 , h_d/h_1 に対する L_{JS} と L_{JH} との比($R_L = L_{JS}/L_{JH}$)を示す(図-5参照)。

図-3, 4の実線は、段落部下流側に傾斜水路が設置された場合($D/h_1 = 4$)のlimited jump(plunging conditionの下限)と同一な S/h_1 , F_1 , h_d/h_1 に対して、傾斜水路が設置されていない場合との比較を行ったものを示す。破線は与えられた S/h_1 , F_1 に対して、段落部下流側に傾斜水路が設置された場合($D/h_1 = 4$)に形成されるplunging conditionの遷移領域長 L_{JS} が最も長くなったときの h_d/h_1 と同一な条件で、傾斜水路が設置されていない場合との比較を行ったものを示す。

図に示されるように、水路傾斜角 θ が大きくなるほど R_L の値は大きくなり、 $\tan \theta \geq 0.42$ になると常に $R_L \geq 1$ となる。すなわち、逆流域の縮小効果は得られない。これは、 $\tan \theta \geq 0.42$ の場合、たとえlimited jumpが形成されても流速の減衰に対する表面渦の効果は小さく、主流が下流側遠方まで水路床に沿うため、逆流域の長さが短くならなかったものと考えられる。一方、 $\tan \theta \leq 0.20$ の場合、常に $R_L \leq 1$ となる。すなわち、傾斜水路上で常に顕著な表面渦が形成され、流速の減衰に対する表面渦の効果が大きい。このため、逆流域の縮小効果が得られるようになるものと考えられる。

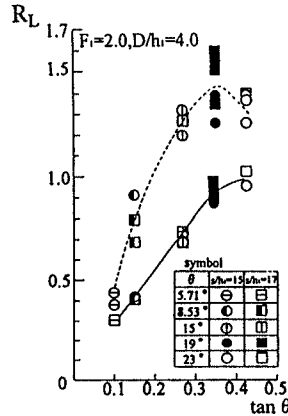


図-3. 段落部下流側に傾斜水路がある場合とない場合の遷移領域の長さの比($F_1=2$)

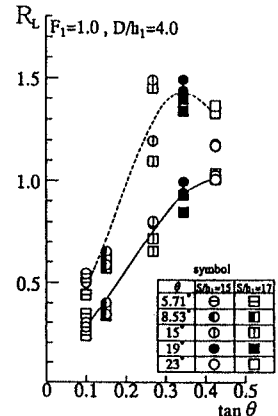


図-4. 段落部下流側に傾斜水路がある場合とない場合の遷移領域の長さの比($F_1=1$)

5. まとめ

段落高さが高段落水路($S/h_1 \geq 15 \sim 16$)、段落上の流れが低フルード数($1 \leq F_1 \leq 3$)の条件下で、plunging conditionの逆流域について、段落部下流側に傾斜水路を設置した場合と設置しない場合とを比較すると、 $\tan \theta \leq 0.20$ の傾斜水路を設置することによって、逆流域を短くする効果が得られることが認められた。一方、 $\tan \theta \geq 0.42$ では逆流域の縮小効果は得られず、逆流域をさらに広げる結果となった。

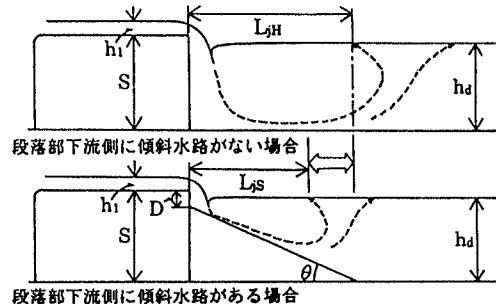


図-5. 逆流域の縮小効果(概念図)

付記 本研究は日本大学総長指定研究費の補助を受けた。

謝辞 実験には、大学院生 伊藤達也君、学部4年生 川戸隆行君、北村和孝君の協力を得た。記して謝意を表する。

記号説明

D : 段落高さ, F_1 : 段落上のフルード数, h_1 : 段落上の射流水深, h_d : 下流水深, H_1 : 段落上の全水頭, H_L : 損失水頭, L_{JH} : 段落部下流側に傾斜水路が設置されていない場合の遷移領域長, L_{JS} : 傾斜水路が設置されている場合の遷移領域長, $R_L = L_{JS}/L_{JH}$, S : 落差高さ, θ : 傾斜水路が設置されている場合の傾斜角

参考文献

- Ohtsu, I. and Yasuda, Y., "Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop," Jour. of Hydraulic Research, IAHR, 1991, 29 (3), pp. 309-328, and 1992, 30 (3), pp. 428-432.
- Leutheusser, H. J. and Birk, W. M., "Drownproofing of low overflow structures," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1991, 117 (2), pp. 205-213.
- Ohtsu, I. and Yasuda, Y., "Characteristics of flow over drop-structures," 1994 Conference on Hydraulics in Civil Engineers, Brisbane, Queensland, 15-17 Feb. 1994, The Inst. of Engrs, Australia pp. 223-228.
- Ohtsu, I. and Yasuda, Y., "Characteristics of flow passing over drop structures," Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision, Oxford, MS USA, 19-22 May 1997 (to be published).