

コンクリート製スリット式砂防堰堤の減勢工の工夫

日本大学大学院理工学研究科 学生員 岡田英嗣

日本大学理工学部 正 員 ○安田陽一

日本大学理工学部 正 員 大津岩夫

コンクリート製スリット式砂防堰堤の場合、スリット内から流出する流れによって流下方向の運動量が不透過砂防堰堤と比べて大きく¹⁾、流量規模が大きくなると副ダムに作用する圧力が静水圧より大きくなる。水工設計上、副ダム背面に作用する圧力の定量評価が必要である。また、スリット下流側の減勢池内で土砂が堆積しにくい構造にする必要がある。その対策として副ダム背面を傾斜させる方法が考えられる。しかしながら、傾斜角度を小さくしすぎると、減勢池内で跳水が形成されず、射流の状態が副ダムを越えることになる。したがって、副ダム前方で常に跳水が形成され、土砂が排砂されやすくする水理条件を求める必要がある。本研究では、副ダム背面の傾斜角度を変化させ減勢池内および副ダムを越える流れの流況を観測し、減勢池内で常に跳水が形成されるための副ダム背面の傾斜角度について検討を行った。また、副ダム背面の底面圧力および副ダム上の水深の変化特性を示した。さらに、減勢池内で跳水が形成されるための副ダム背面の傾斜角度の限界値についても理論的考察を行った。

実験

実験は水路幅 80cm、水路長 18 m の長方形断面可変勾配水路に模型を設置し、表-1 の実験条件のもとで流況の観測、水深および圧力の測定を行った。圧力は圧力取り出し孔（ここでは便宜的にピトー管の静圧管を用いた）に接続されたマノメータからピエゾ水頭を計測して得られた。なお、圧力測定箇所は隅角部であり、

ピトー管使用による測定精度の低下は小さいものと考えられる。水深については、ポイントゲージを用いた。また、副ダムの背面の傾斜角度を変化させるため、背面側に減勢池内の形状に合わせた木材を取り付けた。なお、スリット砂防堰堤模型は副ダム背面を除きフルードの相似則で縮小し、現在の設計基準^{2) 3)}に基づき作製されたものである。

流況

表-1 に示す実験条件のもとで、副ダム背面の傾斜角度および流量を変化させると、副ダム背面の傾斜角度が 60 度以下の場合、流量によって、特にスリット内からのみ流出する場合に減勢池内で跳水が形成されない。流量が大きい場合、射流の状態が減勢池を越えるようになる(写真-1)。副ダム背面の傾斜角度が 70 度以上の場合、常に減勢池内で跳水が形成される(写真-2)。

副ダムに作用する底面圧力

副ダム背面の傾斜角度が 69.5°、90° の場合の流量変化に伴う副ダム背面側の底面圧力の変化を図-1 に示す。図中、 h_p は底面の圧力水頭、 h_d は副ダム上の水深と副ダム高さとの和を示し、 h_p/h_d は静水圧からの増加分を示したものである。図に示されるように、相対副ダム高さ S/d_c (S : 減勢池内の底面から副ダム天端までの高さ、 d_c : 水通し幅で表した限界水深) が大きくなるにつれて h_p/h_d の値が小さくなる。また、 S/d_c が 1.3 を境として S/d_c による h_p/h_d の変化傾向が異なる。なお、 $S/d_c = 1.3$ はスリット堰堤の水通しから越流する場合と越流しない場合との変化傾向を示す。水通しから越流する場合、減勢池内で潜り込み流れが形成され、底面近くに主流が位置し、かつ背面に接近する運動量が大きかったため、水通しから越流していない場合よりも背面に作用する底面圧力が大きくなったものと考えられる。さらに、本実験範囲では、図-1 に示されるように、副ダム背面の底面圧力は静水圧より常に大きくなっている ($h_p/h_d = 1.25$ 程度を示す)。

副ダム上の水深変化

副ダム上の水深 h の変化について整理したものを図-2 に示す。図-2 に示されるように、 S/d_c が 2.3 付近で h/d_c のピーク値が現れる。また、 S/d_c が 1 付近で変化傾向が異なる。これは、スリットからの流れの流速

表-1 実験条件

背面の傾斜角度 $\theta = 69.5^\circ, 59^\circ, 41^\circ, 90^\circ$
模型流量 $Q: 0.00255 \sim 0.0246 \text{ m}^3/\text{s}$
砂防堰堤高さ $H_d = 28.5 \text{ cm}$, 減勢池の
長さ $L = 43 \text{ cm}$, スリット幅 $b = 4.5 \text{ cm}$,
スリット底面高さ $D = 4.0 \text{ cm}$



写真-1 副ダム背面傾斜角度 60 度以下



写真-2 副ダム背面傾斜角度 70 度以上

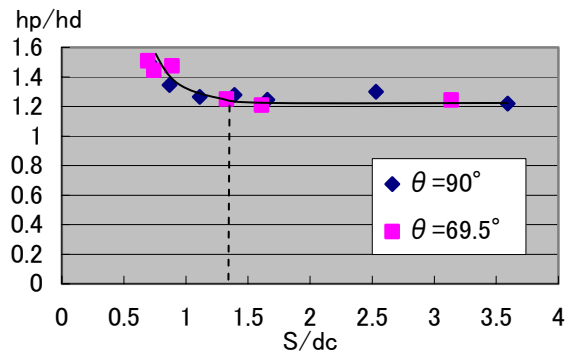


図-1 副ダムに作用する底面圧力水頭の変化

キーワード：砂防堰堤・スリット型砂防堰堤・減勢工・跳水・河川環境

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

が副ダムに到着する前に減衰しているか否かによって副ダムを越える流れの状況が異なるためと考えられる。 S/d_c が2.3以下では、 S/d_c が大きくなるにつれて、 h/d_c が大きくなる。 S/d_c が1以下ではスリット水通しからの越流量が多く、安定した潜り込み流れが形成されているため、副ダム上を越える越流水脈は乱れの程度は S/d_c が1.3以上の場合と比べて小さい。 S/d_c が1.3以上で2.3以下ではスリット水通しから越流することではなく、スリット内からの流出する運動量が大きいいため、副ダム上を越える越流水脈は大きく乱れる。 S/d_c が2.3より大きくなると、スリット内から流出する運動量が小さくなり、副ダムに到着する前に流速が減衰されるようになり、副ダムを越える越流水脈は乱れなくなり、副ダム上の水深が減少するようになったものと考えられる。

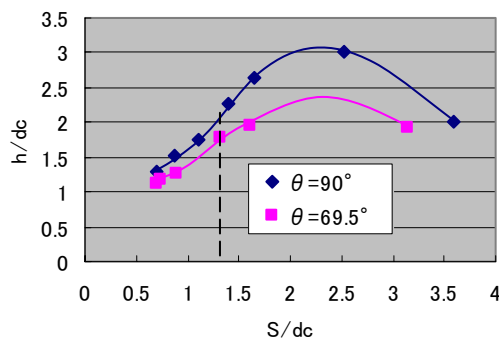


図-2 副ダム上の水深変化

副ダム背面の傾斜角度の限界値についての理論的考察

底面に沿った流線を考える。減勢池内で跳水が形成されるための背面傾斜角度の限界値では、図に示されるように、流れが副ダム背面に衝突することによる圧力水頭の上昇分が速度水頭の減少に付き、副ダムを乗り越える箇所では流速の水平成分は限界流速 V_c になると仮定する。背面底部と副ダム頂部との間でベルヌーイの定理を適用する。ただし、適用区間では流線に沿ってエネルギー損失は生じないものとする。

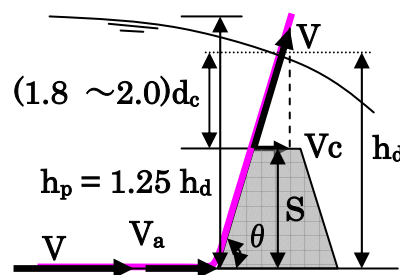


図-3 定義図

$$h_p + \frac{V_a^2}{2g} = h_p + \left[1 - \left(\frac{h_p - h_d}{h_p} \right) \right] \frac{V_c^2}{2g} = h_p + \frac{h_d}{h_p} \frac{V_c^2}{2g} = h_d + \frac{V_c^2}{2g} \quad (1)$$

(1)において、 h_p は背面底部の圧力水頭であり、 h_d は副ダム上の水深と副ダム高さとの和である。 V は副ダム底部に接近する流速であり、副ダム天端においても同様な流速であるものとしている。また、副ダム天端での流速の水平成分を限界流速と仮定することによって $V = V_c / \cos \theta$ と示すことができる。 V_a は副ダム直上流の流速であり、 $V_a = V \sqrt{h_p / h_d}$ として表せるものと仮定する。実験によると、水通しから越流せず、スリット内から流出した場合に背面の傾斜角度によって副ダムを射流の状態で乗り越えるようになる。このことから、水通しから越水せず、スリット内から流出するときの最大流量($S/d_c = 1.3$ の場合)を対象に検討を行う。このときの h_d と h_p と d_c との関係は実験的に次のようになる。

$$h_p = 1.25 h_d \quad (2)$$

$$h_d = S + (1.8 \sim 2.0) d_c \quad (3)$$

これらの実験結果(2),(3)を(1)に代入し、整理した結果を次に示す。

$$\frac{1}{1.25} \frac{V_c^2}{2g \cos^2 \theta} + 1.25(S + (1.8 \sim 2.0)d_c) = \frac{V_c^2}{2g \cos^2 \theta} + (S + (1.8 \sim 2.0)d_c) \quad (4) - 1$$

$$\frac{1}{1.25} \frac{d}{2 \cos^2 \theta} = S + (1.8 \sim 2.0)d_c \quad (4) - 2$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{2.5 \left(\frac{S}{d_c} + (1.8 \sim 2.0) \right)}} \quad (5)$$

式(5)に $S/d_c = 1.3$ を代入すると、 $\theta \approx 68.9^\circ \sim 69.6^\circ$ となる。実験的に、傾斜角度が約 60° の場合、副ダム直上流の一部で表面渦が形成される程度でほとんどは射流で副ダムを越えるようになる。傾斜角度が 70° の場合は常に減勢池内で跳水が形成される。このことから、上記の仮定の基で計算された傾斜角度の限界値($\theta \approx 68.9^\circ \sim 69.6^\circ$)は実験結果をほぼ満足する結果となる。すなわち、減勢池内で常に跳水を形成させるためには、傾斜角度を少なくとも 70° 以上にする必要があることが理論的考察される。

謝辞：本研究を実施するにあたり、平成15年度日本大学学術フロンティア「地域環境の評価と保全に関する研究」から研究助成を受けた。ここに記して謝意を述べる。

- 参考文献**
- 1) 安田陽一、大津岩夫：スリット型砂防堰堤における水理特性，第47回水工学論文集，土木学会水理委員会，pp. 853-858，2003.
 - 2) 透過型砂防堰堤技術指針(案)，建設省砂防部砂防課，pp. 1-17，2001.
 - 3) 水山高久，安部宗平：スリットを有する砂防ダムの土砂調節機能に関する検討，土木研究所資料，第2851号，p.30，1990.