

低落差部における斜路式減勢工としての護床ブロックの適用 Application of protection block for sloping energy dissipator below low drop structures

日本大学 正会員 安田 陽一
日本大学 学生会員 ○増井 啓登
會澤高圧コンクリート株式会社 菅沼 伸吉

1. まえがき

堰や床止めなどの落差を有する横断構造物では、落差部下流側で跳水などの潜り込み流れを形成させ、減勢する方法が一般的である¹⁾。この潜り込み流れは、跳水の形成位置を安定化させる役割を持つが、最大流速は河床付近に位置し、かつ下流側遠方まで続いていく特徴を持つため、護床工およびその下流側において護床ブロックの不等沈下や局所洗掘が生じている事例がある²⁾。

以上のことを踏まえ、既往研究^{3),4)}では、落差部において潜り込み流れを形成させず、下流側遠方まで減勢させる方法の一つとして、粗礫を用いた大粗度斜路式減勢工を提案している。実務的な視点から、設置区間において巨礫の傾きを $20\sim 40^\circ$ となるように石組みを施工する技術が確立されていない。

本研究では、低段落水路の範囲となる相対落差⁵⁾を対象に、護床ブロック設置によって段落流れにおいて潜り込み流れが形成される範囲⁵⁾で巨礫を用いた斜路式減勢工と同様な流況および減勢効果が得られるのか実験的に検討した結果を報告する。

2. 護床ブロックを用いた大粗度斜路式減勢工の提案

大粗度斜路式減勢工とは、落差部から越流する流れに対し、緩勾配の斜路に巨礫またはコンクリート製ブロックなどの大粗度を付与し、形状抵抗を大きくさせ、射流から常流へ遷移する流れとなる区間にて主流の位置を水面付近に向かう流れを形成し、主流の乱れを利用して減勢させる方法を総称した工法を示す。

既往研究^{3),4)}から、減勢工の設置が容易となる半球状のブロックを用いた場合を提案している。ここでは、突起を有する護床ブロックを用いた減勢工を提案する。護床ブロックは水平に設置されるが、突起を有する場合は、形状抵抗が期待できる構造になる。また、護床ブロックは本国の技術基準等⁷⁾で体系化され、粗礫と比べて汎用性が高い。突起を有する護床ブロックを用いる場合、千鳥配列に近い並べ方で設置し、ブロックを配列するための底盤は、ぐり石および砂礫で整形する。以降、護床ブロック斜路式減勢工と呼ぶ。

3. 実験方法

実験は、矩形断面水平水路（水路幅 $B=0.80$ m、水路高さ 0.60 m、水路長さ 14.5 m）に、堰高さ s を設定でき

る板（高さ 0.032 m、幅 0.798 m、長さ 1.40 m）を重ねるように設置し、低段落水路となる範囲⁵⁾である $0.5\sim 1.5\leq h_m/h_1\leq 8.0\sim 9.0$ を対象に、相対落差 h_m/h_1 (h_m は落差高さ、 h_1 は段落上の射流水深)、段落上のフルード数 F_1 ($F_1 = V_1/\sqrt{gh_1}$, V_1 は h_1 における平均流速、 g は重力加速度)、斜路の設置勾配 i を表 1 に示す条件のもとで実験的検討を行った。ここで、段落上とは段落上端から $3.5 h_1$ 上流側の位置であり、Brink depth で生じる流線の曲率の影響が無視できる⁵⁾。斜路式減勢工に用いた巨礫は $0.04\sim 0.07$ m 径、砂利は $0.01\sim 0.02$ m 径、コンクリート製護床ブロック模型（會澤高圧コンクリート株式会社製）の寸法は、高さ 0.04 m、幅 0.10 m、長さ 0.10 m である。また、相対粗度 ε/d_c (ε は斜路の凹凸高さ、 d_c は段落上の限界水深) は、粗礫の場合、減勢工の凹凸高さをポイントゲージで測定した。護床ブロック模型の場合、突起部の高さ 0.01 m を凹凸高さとして記録した。

実験では、 h_m/h_1 および F_1 を設定し、落差下流側の相対水深 h_d/h_1 (h_d は落差下流側の水深) を水路下流端に設置しているゲートを用いて h_d を変化させ、主流が水面に沿っている流況であることを確認し、動画および写真で記録した。また、流速特性を把握するために、各測定断面（斜路終端部を原点とした流下方向および横断方向、鉛直方向）での流下方向の流速 u の測定を行った。なお、流速の測定には、KENEK 社製の I 型プローブを有する電磁流速計（測定時間 30 sec、測定間隔 0.05 sec (20 Hz)) を用いた。

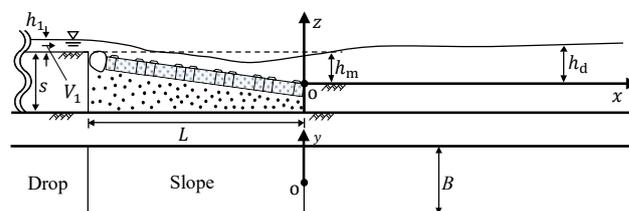


図 1 護床ブロック斜路式減勢工の定義図

表 1 実験条件

	h_m/h_1 (-)	ε/d_c (-)	F_1 (-)	i (-)	$R_e \times 10^4$ (-)
Stacked Boulders	0.79	0.09-0.18	1.00	1/10	11.7-12.2
	1.32	0.09-0.18	2.16	1/10	11.7-12.2
Protection Blocks	0.79	0.09	1.00	1/15	14.1-14.5
	1.32	0.09	2.16	1/15	14.1-14.5

4. 護床ブロック斜路式減勢工で形成される水面に沿う流れ

図2, 3は, 護床ブロック斜路式減勢工に形成された流況の一例を示す. 下流水深 h_d が小さいとき, 斜路終端部での流れの向きが下向きとなり射流で流下する. この状態から h_d を大きくすると, 斜路終端部での流れの向きが下向きから平行になり始め, 射流から常流へ遷移する. 遷移過程において, 平行になり始めた h_d を下限値と定義する. さらに, h_d を大きくすると, 斜路上で射流から常流へ遷移する流れが上流側に移動し, Ohtsu ら⁹⁾によって定めた wave type flow となり, ある段階で段落上端から射流の流れが上向きとなる. ここに, 段落上端を通過する流れの向きが水平から上向きになる直前の h_d を上限値と定義した. この下限値から上限値までの流れを水面に沿う流れと呼ぶ.

表1に示す実験条件では, 潜り込み流れは形成されず, 水面に沿う流れが形成された.



図2 水面に沿う流れ ($F_1=1.00$, $h_m/h_1=0.79$, $h_d/h_1=1.44$)



図3 水面に沿う流れ ($F_1=1.00$, $h_m/h_1=1.32$, $h_d/h_1=2.17$)

5. 護床ブロック斜路下流側での最大流速の減衰状況

図4, 5は, 各測定断面における護床ブロック斜路下流側の最大流速 U_{max} (時間平均した値) を V_1 で無次元化し, 流下方向の測定位置を無次元化した x/h_1 との関係を整理したものである. 各プロット形状の違いは, 水面に沿う流れが形成される h_d の下限値, 上限値, およびその中間として示している.

図4に示されるように, 与えられた h_m/h_1 (限界流の場合, $h_1 = d_c$) に対して, 段落上で限界流が形成されると, $0.00 < x/h_1 < 15.0$ の範囲で最大流速が減衰し, 粗礫を用いた場合と同様な減衰傾向となる. $F_1 = 2.16$ の場合, 図5に示されるように, 与えられた h_m/h_1 に対して, $0.00 < x/h_1 < 25.0$ の範囲で最大流速が減衰される.

以上の結果から, 斜路の設置勾配 i を $1/15$ にすると, 水面に沿う流れが形成され, 最大流速を減衰させることがわかった. 他の条件においても同様な減勢効果が得られるのか更なる検討が必要とされる.

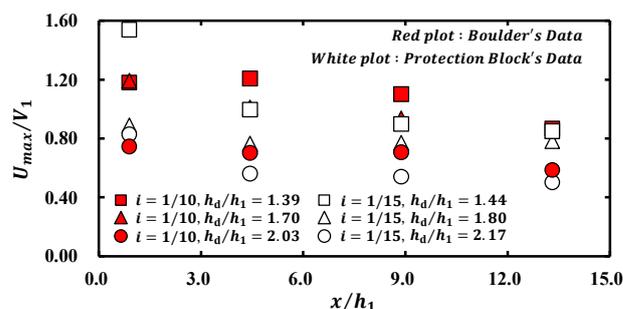


図4 最大流速の減衰状況 ($F_1=1.00$, $h_m/h_1=0.79$)

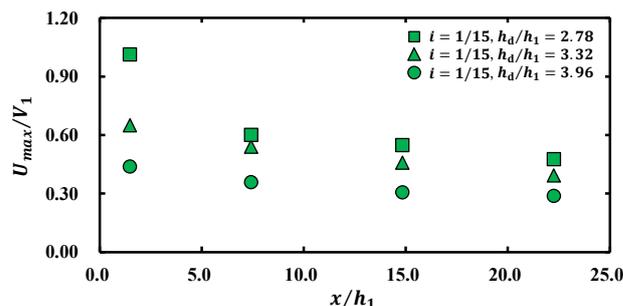


図5 最大流速の減衰状況 ($F_1=2.16$, $h_m/h_1=1.32$)

6. まとめ

主流の位置を河床に衝突させないように, 水面に沿う流れを生み出すため, 低段落水路の範囲となる相対落差 h_m/h_1 を対象に, 突起を有する護床ブロックを用いた大粗度斜路式減勢工の提案をした.

水面に沿う流れの形成領域と大粗度斜路下流側における最大流速の減衰状況に着目し, 粗礫を用いた場合で得られている傾向と比較検討 (段落上のフルード数 F_1 および相対落差 h_m/h_1 による) を行った.

その結果, 斜路の設置勾配 i を $1/15$ にすると, 水面に沿う流れが形成され, 最大流速については, 粗礫を用いた場合と同様な減衰傾向を示す (図2, 3, 4, 5を参照).

参考文献

- 1) 建設河川局監修:「建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編[I]」, 改訂新版, 技法堂出版, pp.48-60, 2012.
- 2) 阿部宗平, 下東久巴, 福本晃久: 床固工水叩き下流の局所洗掘と護床工の形状, 土木技術資料 29-5, 1987.
- 3) 安田陽一, 増井啓登: 低段落水路における大粗度礫斜路式減勢工の提案, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.2, 2019.
- 4) 安田陽一, 増井啓登: 粗礫斜路下流側における流速特性に関する実験的検討, 第74回年次学術講演会, II-142, CD-ROM, 2019.
- 5) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., "Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.29, pp309-328, 1991.