

落差部に設置する粗石斜路の流入構造に関する実験的検討

Experimental investigation on upstream structure of boulder ramp installed in a drop structure

日本大学理工学部土木工学科○安田陽一
日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 平岡大貴

1. はじめに

洪水時に落差構造物を越えた流れの河床保護対策として、水叩きと護床工が設置されている¹⁾。水理条件によっては、落差構造物直下に跳水を形成させるために必要な下流側水深が確保できず、護床工よりも下流側で跳水が形成され、局所洗掘や河床低下が引き起こされた事例がある。また、洪水時の跳水位置の安定化を図った掘り込み型減勢工²⁾が有効な手段であるが、落差がある以上は魚道整備が必要である。魚道内の構造および魚道外からの流れ込みによっては迷入する可能性がある³⁾。その対策の1つとして全断面魚道が挙げられる。これは落差部に、粗礫斜路または階段状の魚道を設けた場合⁴⁾である。事例として山梨県の山梨市内を流れる重川に設置された床固工の緩やかな階段状の斜路がある。これは経験的に施工されたもので、洪水流によって構造物の機能が損なわれていないことが科学的に裏付けられたものはない。水工設計上、洪水流中の構造物の安定性を検討し、普遍性を確立することが重要である。ここでは、2 m以下の落差部を対象に、落差部下流側を全面的に緩傾斜面とし、石組みによる連続帯工によって構成された構造を提案する。また、流入部の構造を変化させたことによって、中小洪水時の流況および帯工、帯工間の流速分布がどのように影響されるのか実験的に検討した。

2. 低落差帯工群による緩傾斜面減勢工の提案

緩傾斜面型連続石組み帯工群による減勢工の一例を写真-1に示す。提案した構造の特徴を以下に示す。

- ・平常時から豊水時にかけて緩傾斜面を水生生物が溯上できるように、斜路式魚道の実例⁵⁾に基づき、緩傾斜の勾配を約1/20~1/30としている。
- ・緩傾斜面では、洪水時の斜面の安定性を強化するために、1 m(原型換算値)規模の巨礫を自然溪流で見られる石組み状とした帯工を設置し、帯工間には中礫・大礫・巨礫を設置する。
- ・帯工の設置状態として、落差部の天端と第一帯工の天端(最高位)が同一になるように帯工を配置し、落差部から第一帯工までの距離を3 m(原型換算値)程度とする。また落差模型と第一帯工の間にプールを設ける。帯工が巨礫によって構成されているため、平水時および豊水時には巨礫同士の谷間から主に流れることが推定される。落差部で水面差が生じるものと推定されることから、水生生物の溯上するために必要なプール長さとして3 m(原型換算値)とした。
- ・第一帯工以降の帯工間の落差は原型規模で10 cmから20 cm程度に収まるように配置する。帯工間の長さを大きくすると、洪水流によって形成される凹凸によって、中小洪水時に波状水面を伴った流れが形成されるため、底面付近の流速が局所的に加速することにより、礫が掃流されやすい状況になるので注意が必要である。
- ・横断面形状については緩傾斜面の台形とする。流量規模によって冠水幅が変化することによって、多様な流れが形成され、水生生物が溯上しやすい経路を選ぶことができる。洪水時には、断面形状を台形にした

ことで側岸付近の流速を小さくすることが可能となる。また、主流の位置が上方に上がりやすい。



a) 上流から下流側を見た状況 b) 側面から見た設置状況



c) Case1 の流況

d) Case3 の流況

写真1 緩傾斜面型連続石組み帯工群の設置状況

表1 実験条件

Case	Q (m ³ /s)	S (cm)	dc (cm)	S/dc (-)	I (-)	設置 区 間 (cm)
Case1	0.112	7.7	12.6	0.611	1/20.7	320
Case2	0.0540	7.7	7.75	0.994	1/20.7	320
Case3	0.112	7.3	12.6	0.579	1/21.9	320
Case4	0.0540	7.3	7.75	0.942	1/21.9	320

dc: 限界水深(= $\sqrt[3]{q^2/g}$)

q: 単位幅流量

I: 緩傾斜面区間の勾配

S: 落差部天端から緩傾斜面直下流側の河床の天端までの鉛直落差

3. 実験概要

1/10 scale model の模型実験を想定して検討を行った。また、実験は Froude の相似則に基づいて行い、水路幅 80 cm、水路長さ 15 m、水路高さ 60 cm(水路下流部の高さ)を有する矩形断面水平水路に写真-1 に示す落差模型および礫を設置した。実験は表-1 に示す条件のもとで落差模型と第一帯工の高さを同一とし、その間を礫で埋めたもの(Case1,2)と、掘り込んでプールを設けたもの(Case3,4)で行った。なお、下流水位の設定については、相対落差が $S/dc=0.903$ のときに帯工設置区間では疑似等流が形成され、その下流部では露出射流が形成されないように水路下流端のゲートで水位を調整した。落差模型の寸法は高さが 10 cm、幅 80 cm、流下方向の長さが 100 cm である。落差部下流側に使用した礫は混合粒径の礫であり、3~5 mm の礫と 10~30 mm の礫である。また、石組み帯工として粒径が約 100 mm のホワイトストーンを使用した。なお、河岸の形状を整形する

ために、底層部を中心に 40~60 mm の礫を使用し、中層から表層にかけて 3~5 mm, 10~30 mm の混合粒径によって整形した。緩傾斜面の勾配は約 1/20 (測定結果 1/20.7, 1/21.9) とし、下流側の礫層の厚さは約 3 cm である。

水深の測定にはポイントゲージを用い、流速の測定には、ケネック社製プロペラ式流速計を用いた(計測時間 20 秒, 1 秒間のパルス数の平均値を計測)。水深および流速の測定箇所について、帯工設置区間の減衰状況を調べるため、帯工上部、および帯工と帯工との中間を測定した。

4. 落差部下流側の水面形状

Case 1, 3 の水路中央部での水面形状を図-1 に示す。Case1 の場合下に凸の水面形状となっているが、Case3 の場合水面の曲率が小さい。相対落差高さ $S/d_c=0.611$, 緩傾斜勾配 $I=1/20.7$ (Case 1) の場合、第一帯工($x=30\text{cm}$)の天端が落差部天端と同一の高さとしその間を礫で埋めているため、落差部からの流れが下向きにならない。しかし、第一帯工以降で下向きの流れが生じ、斜面に沿った流れとなっている。そのため第一帯工以降の底面付近の流速が大きくなるのが推定される。 $S/d_c=0.579$, $I=1/21.9$ (Case 3)の場合、落差模型と第 1 帯工の間にプールを設けているため落差部からの流れが下向きになり、第 1 帯工付近から上向きの流れが生じている。そのため、第 1 帯工以降で下向きの流れが生じにくくなり、底面付近の流速が小さくなるのが推定される。

5. 落差部下流側の流速分布

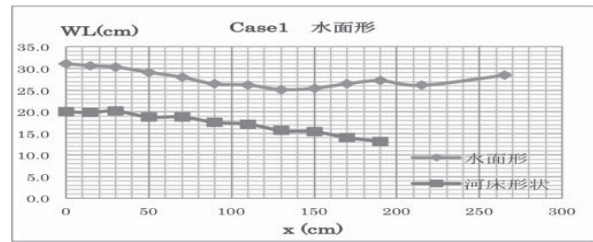
$S/d_c=0.611$, $I=1/20.7$ (Case 1)の場合および $S/d_c=0.579$, $I=1/21.9$ (Case 3)の場合の流下方向成分の流速分布をそれぞれ図 2, 3 に示す。Case1 の場合、第二帯工以降($x \geq 70\text{cm}$)に下向きの流れが生じ、底面付近の流速が速くなる。Case3 の場合、第二帯工より下流側($x \geq 70\text{cm}$)では主流は上方に位置する。Case1 と Case3 との比較から、Case3 のように、落差部と第一帯工との間にプールを設けると、落差部からの流れが下方に向き、第一帯工周辺の底面近くの流速が大きくなる。

6. まとめ

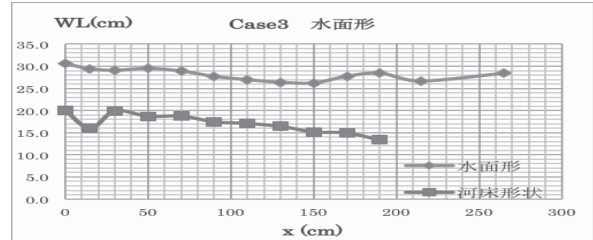
落差部下流を全面的に緩傾斜路とし、石組みによる連続帯工によって構成された構造物を対象に、落差部と第一帯工の間を礫で埋めた場合と、掘り込みのプールを設けた場合の中小洪水時($S/d_c=0.6$ 程度)の水理特性について検討した。水面形状と流速分布からプールを設けた場合、第一帯工により主流が上昇し、それに伴い水面の曲率が小さくなるため、第二帯工以降の底面付近の流速が小さくなることを示した。すなわち、帯工および帯工間の礫が掃流されにくく、構造物の機能が保たれることが推定される。落差部から第一帯工、第二帯工については、落差部からの流れが下向きになっているため、礫に作用する流体力が大きくなりやすくなっている。このことから、石組みを丁寧にする必要がある。

参考文献

- 1) 建設省河川局監修, 改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編[II], 技法堂出版, 1999.
- 2) 青木一繁, 高橋直己, 安田陽一, 第 69 回年次学術講演会, 土木学会, 第 2 部門, II-168, 2014, CD-ROM.
- 3) 安田陽一, 水生生物の湖上行動からみた魚道からの流れ, 日本流体力学会, ながれ 33, 2014, pp. 343-348.
- 4) 福留脩文他 3 名, 石礫河川に組む自然に近い石積み落差工の設計, 土木学会論文集 F, Vol.66, No.4, 2010, pp. 490-503.
- 5) 安田陽一, 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わかること-, コロナ社, 154 pages, 2011.

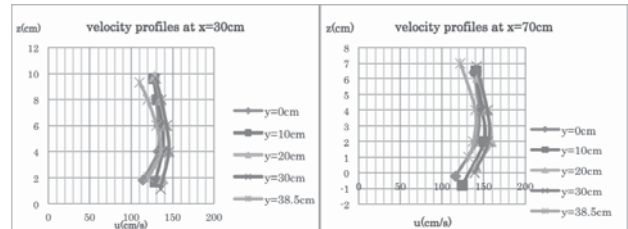


a) $S/d_c=0.611$, $I=1/20.7$



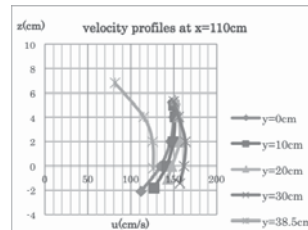
b) $S/d_c=0.579$, $I=1/21.9$

図 1 水面形状



a) $x = 30 \text{ cm}$

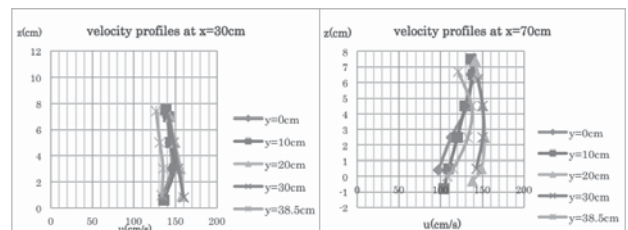
b) $x = 70 \text{ cm}$



c) $x = 110 \text{ cm}$

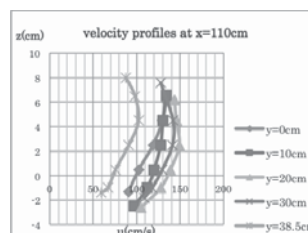
図 2 Case1 の流下方向成分の流速の水深方向変化

緩傾斜勾配 $I = 1/20.7$
相対落差高さ
 $S/d_c = 0.611$



a) $x = 30 \text{ cm}$

b) $x = 70 \text{ cm}$



c) $x = 110 \text{ cm}$

図 3 Case3 の流下方向成分の流速の水深方向変化

緩傾斜勾配 $I = 1/21.9$
相対落差高さ
 $S/d_c = 0.579$