

H3-11

粗石斜路における石組み第一帯工の傾きについての実験的検討

Experimental investigation on the angle of the first stone-bridge in gravel slope

安田陽一¹, ○平岡大貴²
 Youichi Yasuda¹, *Daiki Hiraoka²

Abstract: In this report, the authors proposed the installation of gravel slope with stone-bridges in drop structure. The installation might be helpful for both flood control and migration of multi-aquatic animals. This report presents that the flow condition during flood stage depends on the angle of the stone bridge installed at the upstream part of the gravel slope. The experiment was carried out in two cases where the angle of the stone bridge with flow direction was settled either about 20 degrees or about 45 degrees. The experimental results yields that the installation of the stone bridge with the angle of about 20 degrees is important for flood control.

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ためにも、さらなる検討が必要である。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、落差部下流側を全面的に帯工設置に伴う粗石斜路を設置した場合を対象とし、流入部の形状として第一帯工直上流側にプールを形成させ^[5]、第一帯工の角度の変化による粗石斜路上の流況、それに伴う底面への影響を実験的に検討した。

2. 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 **Photo 1** に示す落差模型および礫を設置した。実験は **Table 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、掘り込んでプールを設け、その長さは 30cm とした。今回、プールの形成に用いた第一帯工の角度を約 20 度とした場合(Case1)と、約 45 度とした場合(Case2)で検討を行った。なお、下流水位の設定については、緩傾斜路以降で河床洗掘が起き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 80cm, 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 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 10~30 mm の礫によ



1) bird view from upstream 2) side view
Photo 1. The gravel bed with stone-bridges

Table 1. Experimental conditions

Case	Q (m ³ /s)	S (cm)	dc (cm)	S/dc (-)	I (-)	設置区間 (cm)
Case1	0.112	7.3	12.6	0.579	1/21.9	320 cm
Case2	0.112	7.5	7.75	0.595	1/21.3	320 cm

dc : 限界水深(= $\sqrt[3]{q^2/g}$)
 q : 単位幅流量
 I : 緩傾斜区間の勾配
 S : 落差部天端から緩傾斜直下流側の河床の天端までの鉛直落差

て整形した。緩傾斜面の勾配は約 1/20 (測定結果 1/21.9, 1/21.3) とし、下流側の礫層の厚さは約 3 cm である。

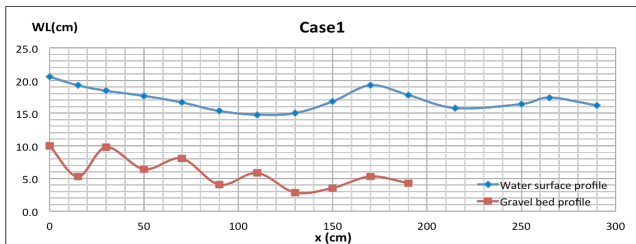
水深の測定にはポイントゲージを用い、流速の測定には、ケネック社製 L 型電磁流速計を用いた(計測時間 30 秒)。水深および第一帯工の角度が及ぼす粗石斜路上の流況について調べるため、帯工上部の流速ベクトルを測定した。

3. 落差部下流側の水面形状および底面形状

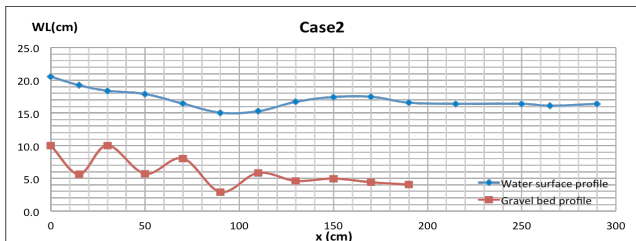
粗石斜路の第一帯工の角度の変化に伴う水面形への影響を知るために、洪水時を想定した流量規模で検討したときの水面形状を **Figure 1** に示す。なお、図に示す底面形状は通水後に安定した状態を確認した後計測したものである。

同一の流量規模のもとで比較すると第一帯工の角度を 45 度とした Case 2 は第一帯工の角度を 20 度とした Case 1 と比較して第一帯工以降に凹凸の大きい流れが見られる。また、Case 1 の底面形状の第一、第二

1 : 日大理工・教員・土木, 2 : 日大理工・院(前期)・土木



1) $S/dc=0.579, I = 1/21.9$



2) $S/dc=0.595, I = 1/21.3$

Figure 1. Water surface and gravel bed profiles

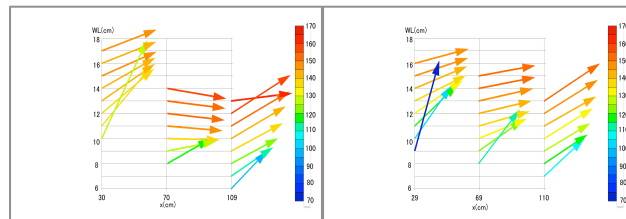
帯工間および第二、第三帯工間のくぼみが Case 2 より大きいことから、礫が流出していることがわかる。すなわち、第一帯工の角度が大きくなると、第一帯工下流側で凹凸の大きい流れが生じ、それに伴い底面付近に流速の大きい流れが生じるようになる。

4. 石組み帯工上の流速ベクトル

粗石斜路の第一帯工の角度の変化に伴う流況特性について検討するために、Case 1, 2 の帯工上の流速ベクトルおよび水平・鉛直成分の流速の時系列データをそれぞれ Figure 2, Figure 3, Figure 4 に示す。Case 1, 2 の流速ベクトルを比較すると Case 1 の第二帯工付近の流速ベクトルは下向きになっている。これは、第一帯工で押し上げられた流れが第二帯工上を通過したためである。なお、上向きの流速ベクトルは底面付近に流速の大きい流れが存在する場合、帯工に衝突して形成されると考えられる。次に、Case 1, 2 の第一帯工の底面付近の流速の時系列データを比較すると、水平方向成分、水深方向成分ともに Case 2 の方の変動が大きくなっている。このことから、乱れの大きい流れが第一帯工に衝突していることが分かる。すなわち、Case 2 は第一帯工に流れが強く衝突した影響で、曲率の大きい上向き流れが生じ、第二、第三帯工付近の底面の流速が大きくなることが推定された。

5. まとめ

落差部下流側を全面的に粗石斜路とし、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に掘り込みのプールを設け、第一帯工の角度を変化させた場合について、洪水時を想定した流量規模のもとで流況特性について検討した。同一の流量規模の水面形状、底面形状、流速ベクトル、流速の時系列データの比較から、第一帯工の角度を 20 度とした場合、第一帯工により主流が上方に押し上げられるため、第一帯工下流側の底面付近の流速が小さくなることを示した。第一帯工の角度を 45 度とした場合は主流が大きな曲率を持って上方に押し上げられたため、第一帯工下流側で下向き流れの影響が強くなり、底面付近の流速が大きくなることを示した。以



1) $S/dc=0.579, I = 1/21.9$ 2) $S/dc=0.595, I = 1/21.3$

Figure 2. Flow velocity vectors above stone bridges

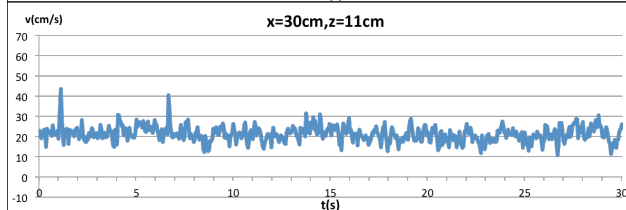
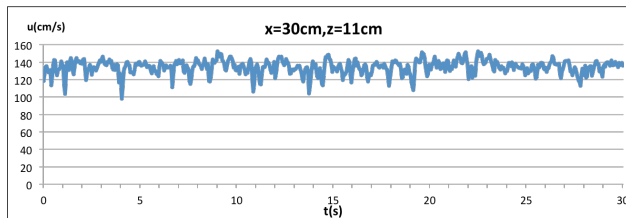


Figure 3. Time series data of velocity near bottom for $S/dc = 0.579, I = 1/21.9$ (Case1)

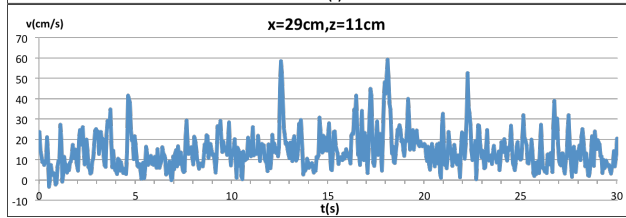
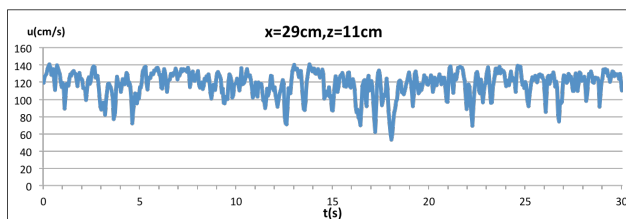


Figure 4. Time series data of velocity near bottom for $S/dc = 0.595, I = 1/21.3$ (Case2)

上のことから粗石斜路の流入部にプールを設置する際、第一帯工の角度は 20 度程度にすることが洪水対策に重要であることがわかった。

6. 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, CD-ROM, 2014.
- [3] 安田陽一, 水生生物の溯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, pp. 343-348, 2014.
- [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, pp. 490-503, 2010.
- [5] 平岡大貴, 安田陽一, 第 72 回年次学術講演会, 土木学会, 第 2 部門, II-061, CD-ROM, 2017.