

スリットえん堤下流側の石組み連続帯工による減勢機能の実験検討

Experimental investigation on energy dissipator in continuous stonework girdles downstream of a slitted check dam

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一

日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○高原 遼

1. はじめに

不透水性コンクリート治山えん堤によって、洪水流に伴う砂礫の輸送が滞り、かつ水生生物の連続性の確保が難しくなる¹⁾。これらの課題を解消するための対策の一つとして、えん堤を複断面化またはスリット化が行われてきている。複断面化またはスリット化した場合、複断面化またはスリット化された通水断面は平水時の河道幅にしていることが多く、出水時には流れが集中し、スリットを通過する流速が加速し、えん堤下流側の河川の蛇行による堰上げ水位上昇が期待できない場合、えん堤下流側の掃流力が增大することによる局所洗掘および河床低下が生じやすくなったためと考えられる。えん堤下流側の河道において動的平衡が得られるように、えん堤上流側から輸送される砂礫の供給量を適切に調整し、かつ水生生物の連続性を確保するためにもえん堤の複断面化およびスリット化を行うための設計基準を確立する必要がある。また、スリットを通過する洪水流による河床低下、スリット底面と河川との段差が生じないためにもスリットえん堤下流側の減勢工²⁾を確立する必要がある。

本研究では、北海道空知総合振興局産業振興部林務課が管轄する本沢地区の溪流河川にある複断面化された治山えん堤を対象とし、えん堤下流側に掘り込み型減勢工を設け、その下流側で連続した石組み帯工を提案し、流況及び帯工区間における底面付近の流速の変化について実験検討を行った。

2. 実験方法

えん堤下流側の掘り込み型減勢池と石組みによる連続帯工による減勢工の水理設計が可能となるために、1/16.7 scale model の模型実験を実験条件(表1に示す)通して検討を行った。また、実験はフルード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) を有する可変勾配式矩形断面水路に模型を設置した。スリット高さが 8.8 cm、スリット内の側壁勾配が 1 : 0.5 ($m=0.5$)、スリット底部の幅 b が 15 cm を有する複断面スリット型えん堤模型(図1参照)である。流量の設定について、台形スリット部を満水状態で流れた場合の流量規模 $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (原型換算)、および 100 年確率の洪水を想定した流量規模 $34 \text{ m}^3/\text{s}$ (原型換算) の 2 種類とした。

えん堤前後の設定条件について、上流側は流れが集中する影響を検討するため、スリットの空間を中心に通水断面を確保し、写真1に示されるように台形状に礫を堆積させた³⁾。減勢池下流側では、現地の状況を考慮して、勾配を 30 分の 1 としている。また、現地では河川が蛇行しているため、流量増加に伴い、ある程度の水位が堰上がる可能性があるが、ここでは、危険性を考慮して、直線化した状態で検討している。河床に使用した粒径は 3 ~ 5 mm、10 ~ 30 mm の混合粒径である。また、石組み帯工として使用した粒径は 40 ~ 60 mm である。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。礫の設置状況を写真2に示す。

キーワード 治山えん堤、スリット断面、減勢工、洪水流、帯工

連絡先: 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14, TEL:03-3259-0409, E-mail:yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

石組み帯工の設置数は、影響範囲を検討するため、6か所とした。その設置間隔を 30 cm (原型換算すると、約 5 m) とした。これは、設定された勾配が 30 分の 1 であるため、帯工間の落差を 15 cm 前後とするためである。

えん堤直下流に設けた減勢池内の掘り込みの深さ D については、 $D = 3.5 \text{ cm}$ (原型換算すると、58.5 cm) と設定した。また、減勢池の長さ L を 19 cm (原型換算すると、3.2 m) とした。現地調査において、えん堤直下流部の局所洗掘の状態から 3 m 前後の洗掘された領域が認められることから、現地状況を踏まえて、ここでは 3.2 m と定めた。掘り込みの最深部の深さについては 90 cm 前後であるが、溯上する魚類の移動環境、年最大または中小洪水時の流れの減勢機能、および最近の整備実績・経済性を考慮すると、60 cm 程度が適当であると判断した。なお、掘り込み深さを 60 cm 以上設けても、スリットからの流れが半潜り込み状態 (完全に潜り込んだ状態ではなく、スリットからの流れは表層に近い位置で潜り込む状態) となるため、輸送された砂礫等によって堆積が生じる。

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、えん堤下流側の減勢状況を調べるため、減勢池中央、各帯工設置箇所、および帯工と帯工の中間の底面付近を測定した。

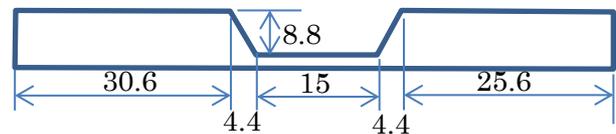


図1 えん堤模型(寸法単位: cm)



写真1 えん堤上流側の礫による堆積状況



写真2 減勢工模型および礫の設置状況

表 1 実験条件

	D(m)	hw(m)	Q(m ³ /s)	m	b(m)	hc(m)	Tc(m)	Ac(m)	$\alpha TQ^2/(gA^3)$	α	Vc (m/s)	
スリット内	0.035	0.0355	0.0127		0.5	0.15	0.086	0.236	0.0167	1.00	1.2	0.76
最大流量	0.5845	原型換算	14.43		0.50	2.51	1.44	3.95	4.65	1.00	1.2	3.10

	D(m)	hw(m)	Q(m ³ /s)	m	b(m)	hc(m)	Tc(m)	Ac(m ²)	$\alpha TQ^2/(gA^3)$	α	Vc(m/s)	
模型	0.035	0.0632	0.02984		0.5	0.15	0.122	0.8	0.0443	1.00	1.2	0.67
原型	0.5845	計画洪水	34.00		0.5	2.51	2.04	13.36	12.36	1.00	1.2	2.75

3. 流況説明

原型換算値 $Q = 14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の流況（スリット内で流れる最大流量^{4),5)} の場合、スリットからの流れが射流の状態で掘り込み型減勢池を通過することなく、半潜り込み状態となるため、減勢池からの流れが分散されやすく、帯工設置区間の流況において、水面の凹凸を有する「うねり」は小さい。この場合、帯工間に設置した礫の流出はあまりなかった。すなわち、礫の流出による底板の露出は見られなかった。この場合、通水幅は 65 cm（スリット幅の 4.3 倍、放水路幅の 0.81 倍）である。

原型換算値 $Q = 34 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の流況（スリット内で流れる最大流量）の場合においても、流況はえん堤直下流側で半潜り込み状態となる。なお、帯工間に設置した礫の流出が第 1 帯工と第 2 帯工の間で一部認められた。この場合、通水幅は 80 cm（スリット幅の 5.3 倍、放水路幅の 1 倍）である。

河道幅については、台形断面として、少なくとも平水時から年最大または中小洪水時までの冠水幅が平水時の 3 倍程度まで変化するように整備し、大洪水時には放水路程度の通水幅（ここでは、スリット幅の約 5.5 倍程度）を確保することが望ましいことが推定できる。

4. 帯工区間における底面付近の流速変化

帯工区間における底面付近の流速 V の測定データ ($Q = 14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合) を整理した結果を図 2 に示す。図に示されるように、 x/D の値が 30 以内では、流下方向に進むにつれて、中央部の底面付近の流速が減勢している。これは、スリットによって集中した流れが減勢池を経て石組み帯工を通過することによって、中央部の流れが分散したため、底面付近の流速が減衰したものと考えられる。中央と河道の河岸付近を比較すると、帯工設置区間の上流部河岸側では滞留域に近い状態となっていることが分かる。 x/D の値が 40 以上になると、中央部の底面付近の流速の値が 2.6 m/s 前後を示している。これは、帯工区間の流れが疑似等流状態（河床の凹凸があるため、厳密な等流状態にはならない）に近づいたためと考えられる。この場合、えん堤上流側の断面形状が 2 割程度の勾配を有する台形断面となっているため、中央部に比べて河岸側の流速が小さいなり、中央と河道の河岸付近の流速差が大きくなっている。帯工区間における底面付近の流速 V の測定データ ($Q = 34 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合) を整理したものを図 3 に示す。図に示されるように、 x/D の値が 30 以内では、流下方向に進むにつれて、中央部の底面付近の流速が減勢している。これは、スリットによって集中した流れが減勢池を経て石組み帯工を通過することによって、流れが分散したためと考えられる。 x/D の値が 40 以上になると、中央部の底面付近の流速の値が 3.8 m/s 前後を示している。これは、帯工区間の流れが疑似等流状態に近づいたためと考えられる。

帯工区間の流速の減衰状況から判断すると、少なくとも、掘り込み深さの 40 倍程度までは石組みによる帯工を設置することが重要である。

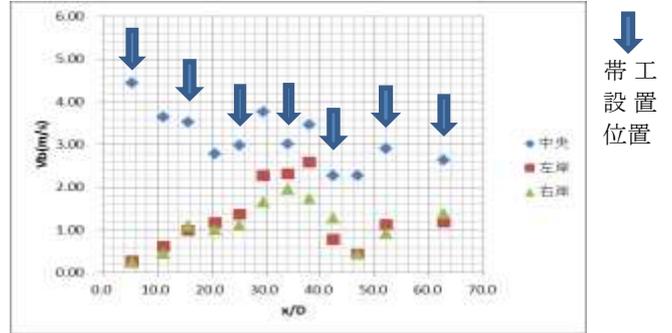


図 2 $Q = 14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ のときの帯工上部及び帯工間の底面付近の流速の変化

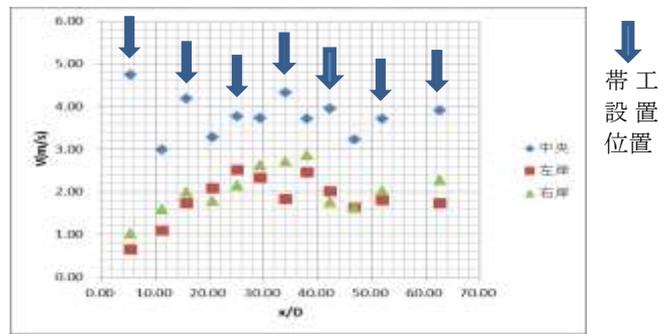


図 3 $Q = 34 \text{ m}^3/\text{s}$ のときの帯工上部及び帯工間の底面付近の流速の変化

5. まとめ

北海道空知総合振興局産業振興部林務課が管轄する本沢地区の溪流河川にある複断面化された治山えん堤を対象とし、えん堤下流側に掘り込み型減勢工を設け、その下流側で連続した石組み帯工を提案し、帯工区間における底面付近の流速の変化について実験検討を行った結果、帯工区間の流速の減衰状況から判断すると、少なくとも、掘り込み深さの 40 倍程度までは石組みによる帯工を設置することが重要であることを示した。河道幅については、台形断面として、少なくとも平水時から年最大または中小洪水時までの冠水幅が平水時の 3 倍程度まで変化するように整備し、大洪水時には放水路程度の通水幅（ここでは、スリット幅の約 5.5 倍程度）を確保することが望ましいことが推定した。

参考文献

- 1) 水山高久, 阿部宗平, 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, 1990.
- 2) 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.
- 3) 及川将司, 安田陽一, 岸功規, 有賀誠, 第 67 回土木学会全国年次講演会, 第 II 部門, II-064, CD-ROM, 2012.
- 4) 長沢研作, 安田陽一, 第 68 回土木学会全国年次講演会, 第 II 部門, II-055, CD-ROM, 2013.
- 5) 長沢研作, 安田陽一, 第 69 回土木学会全国年次講演会, 第 II 部門, II-167, CD-ROM, 2014.