

# 砂防ダムのスリット化による河道への影響

Hydraulic experiment on slit event of check dam

|             |      |                          |
|-------------|------|--------------------------|
| 北見工業大学工学部   | ○学生員 | 高杉優人 (Yuto Takasugi)     |
| 北見工業大学社会環境系 | 正 員  | 渡邊康玄 (Yasuharu Watanabe) |
| 北見工業大学大学院   | 学生員  | 片山小裕美 (Sayumi Katayama)  |
| 北見工業大学社会環境系 | 正 員  | 早川博 (Hiroshi Hayakawa)   |

## 1 はじめに

砂防ダムは、大雨による土石流などの土砂災害を防ぐ役割を持っているが、砂防ダムによる土砂の捕捉機能により河床の連続性が消失し、魚類の遡上を妨げてしまう等の問題が発生している。北海道北東部の知床半島を流れるイワウベツ川水系では、1981年の豪雨により、岩尾別温泉に至る町道の大部分と岩尾別孵化場の施設が流出するという被害を受けた<sup>1)</sup>。この災害後、イワウベツ川では災害復旧や防災強化を目的とした砂防ダムを設置した。知床半島は、世界で最も低緯度の季節海水地域であり、海水に特徴づけられる海洋生態系と陸上生態系が連続することによる複合生態系を形成していることから、世界自然遺産に登録された<sup>2)</sup>。2005年の世界遺産登録以降、知床世界自然遺産地域科学委員会では、遺産地域内のダム等の在り方を議論する河川工作物ワーキンググループを設置し、周辺環境の評価、サケの生息状況、砂防ダムの改良についての検討を行った。その結果、イワウベツ川水系の砂防ダムについて、所管する斜里町及び北海道森林管理局による堤体のスリット化、切り下げ等の改良が計6基行われ、サケ科魚類の遡上の阻害要因が解消された<sup>3)</sup>。イワウベツ川本流には2基、魚の遡上を妨げる砂防ダムが残存していて、これらの砂防ダムのスリット化を実施することが予想されるが、より適切な対策を考えるためには、これまでにスリット化された箇所の河道の応答の違いを明確にする必要がある。そこで、河道の応答が顕著に異なる砂防ダムの解析を行いスリット化による河道の応答について検証するため、その第一段階として概略的な水理量を基にした水理模型実験が行われた<sup>4)</sup>。その結果、砂防ダムをスリット化しても、急激な土砂移動は確認されず、河床高が砂防ダム設置前の状態に戻るなどが把握された。この結果を受け本研究では、粒径や流量などの実験条件をより現地のイワウベツ川に近づけ、現地河川の河道の応答の再現性を高め、河道の応答を詳細に把握することを目的として水理模型実験を行った。

砂防ダムをスリット化させる直前の河道を再現するために、前回の実験では、砂防ダムが満砂状態になった時点としていたが、本研究では、現在のイワウベツ川の状態をより正確に再現するため、砂防ダムが満砂したのちも通水を続け、砂防ダム下流の河床変動が見られなくなる時点とした。また、河床材料も、砂防ダム上下流の河床砂のふり分け試験を実施し、使用する実験砂を選定した。さらにスリット化前後の検討対象流量を前回はい

ワウベツ川の最下流付近の超過確率年 1/20~1/30 程度の出水を対象としていたが、本研究ではより現実に近い条件として、イワウベツ川で砂防ダムのスリット化が検討されている地点における流量とし、スリット化前の砂防ダム上流に土砂を堆積させる流量として超過確率 1/20~1/30 の流量を用い、スリット化後の土砂の排出に対しては超過確率年 1/2~1/3 の流量をそれぞれ用いて、実験を行った<sup>5)</sup>。

## 2 水理模型実験

### 2-1 実験の概要

本研究では、直線水路に砂防ダムを模したものを設置し、砂防ダム模型の上流部に土砂を堆積させた後、砂防ダム模型にスリットを入れ、スリット化による河道への影響を確認することとした。

### 2-2 実験水路

実験では、昨年と同様イワウベツ川に設置された砂防ダムの縮尺 1/75 の長さ 20m、幅 0.2m、側壁高さ 0.21m の直線水路を用いた。また、縦断方向の厚さが 1.3cm で、高さが 15cm、スリット幅が 2cm のスリットダム模型を、水路上流端より 12.0m 下流の位置に設置した。なお、スリットダム模型の上流側に厚さ 1.0mm のアクリル板を入れ、スリット部を塞ぐことで、スリット化前の砂防ダムを再現した。図-1 および図-2 にその概要を示す。通水前の初期河床として、平均粒径 1.041mm の珪砂 3 号、平均粒径 0.660mm の珪砂 4 号、平均粒径 0.302mm の珪砂 6 号、平均粒径 0.164mm の珪砂 7 号、平均粒径 0.098mm の珪砂 8 号、平均粒径 0.058mm の珪砂 9 号を 4:1.5:1:1:2.5:2.5 の比率で混ぜ合わせた平均粒径 0.47mm の混合砂を厚さ 10cm で均一に敷き詰めて移動床にした。珪砂の比率は、現地の平均粒径を基に、現地と水理実験との無次元掃流力が一致するように設定した。図-3 に、現地の河床材料の粒径分布と用いた実験砂の粒径分布を合わせて示す。河床勾配は、現地の河道特性を考慮して 1/100 と設定した。

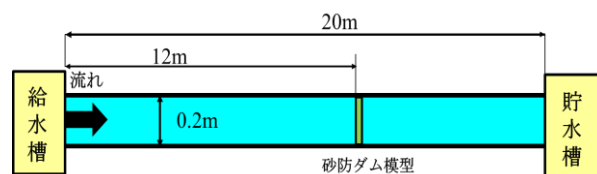


図-1 水理実験水路

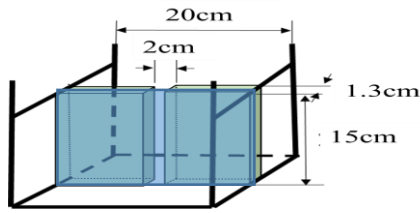


図-2 砂防ダム模型

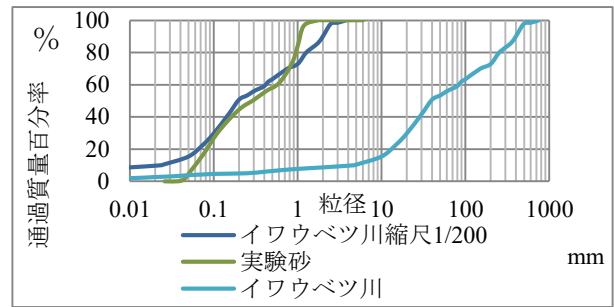


図-3 現地の河床材料と実験砂の粒度分布

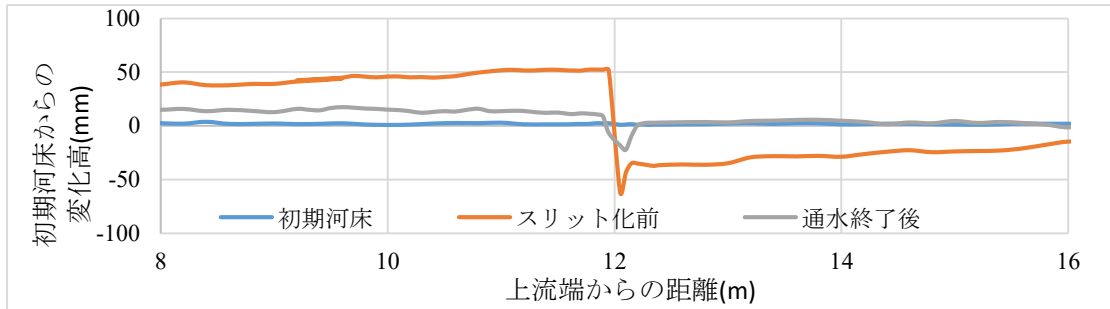


図-4 河床高の縦断面図

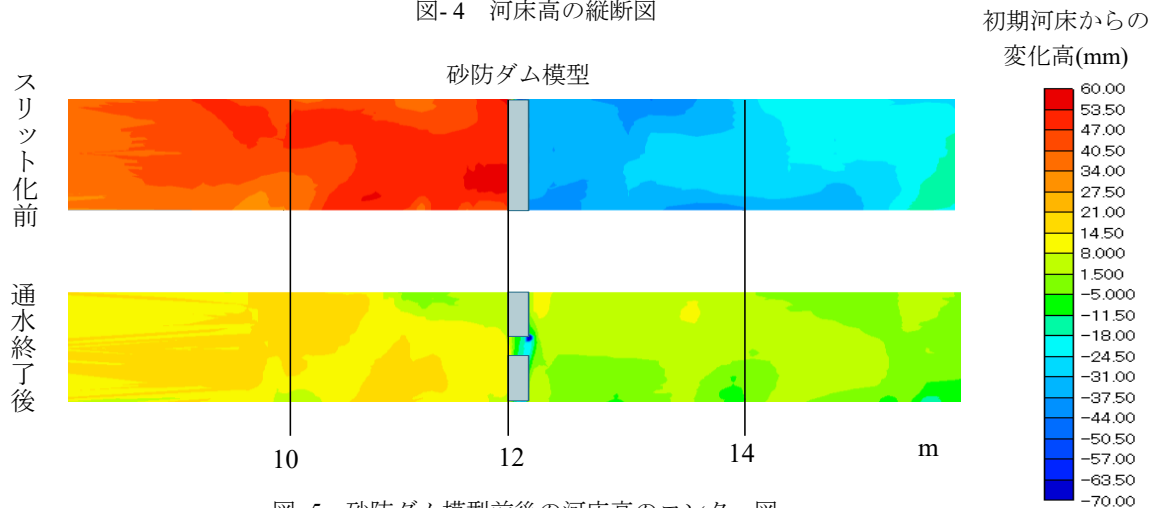


図-5 砂防ダム模型前後の河床高のコンター図

### 2-3 実験条件

本研究では、砂防ダムが設置される以前の状態からの変化を見るため、砂防ダム上流に土砂が堆砂されていない状態から、実験を開始した。砂防ダム上流部に土砂が堆積し満砂状態になり河床変動がなくなるまでの15時間(満砂してから8時間)、流量  $Q=410\text{cm}^3/\text{s}$  で通水した。この流量は、砂防ダム上流への土砂堆砂は、比較的大きな出水時が支配的であるとの考えから、イワウベツ川のスリット化の検討が予想されている地点の超過確率年  $1/20\sim 1/30$  程度の出水を合理式から算出し、無次元掃流力が同程度となるように設定した。河床変動が見られなくなった後、水面勾配を測定してから一度通水を止め、河床高の測定を実施した。河床高の測定後、流量  $Q=210\text{cm}^3/\text{s}$  で通水を再開した。この流量は、上記と同地点の超過確率年  $1/2\sim 1/3$  程度の出水を無次元掃流力が同程度となるように設定した。これは、砂防ダム上流に堆積した土砂が比較的小規模の出水時に時間をかけて流出することを想定している。通水を再開し、流量が安定した段階で、砂防ダム上流側に設置されているアクリル

板を取り除き、スリット化させた状態で河床が平衡状態になるまでの5時間通水した。通水終了とともにスリット部にアクリル板を入れ砂防ダム前後での河床の移動を最小限に留めた後、河床高の測定を実施した。河床高の測定には、レーザー砂面計とポイントゲージを用いた。水路の上流端から流下方向9.0m地点まではポイントゲージを使用し水路両壁から横断方向3cmの位置と水路中央の3点を縦断方向20cm間隔で測定し、水路の上流端から9.2mの地点から下流は、縦断方向20cm間隔でレーザー砂面計により横断方向に5mm間隔で測定した。スリット化前と通水終了後の河床高を測定した後、砂防ダム前後での河床材料分布を測定するために、上流端から流下方向10.0m、14.0mの地点と砂防ダム模型直上流部、直下流部の5か所を水路の左岸側、中央、右岸側の3点ずつ採取した。通水中は、スリット化前と通水終了後の砂州の波長や形状を比較するため、15分から30分毎に砂州の位置を計測した。

### 3 実験結果

#### 3-1 河床の変化の概要

レーザー砂面計で測定したスリット化前と通水終了後の河床高のコンター図を砂防ダム模型前後の上流端から8~16mの範囲で図-5に示した。スリット化前の河床の縦断面図とコンター図から砂防ダム模型が設置されている12.0m前後の地点で大きな違いがあるのが分かる。これは砂防ダム模型が土砂を堆積させたことが要因である。

#### 3-2 河床高の変化

初期河床、スリット化前と通水終了後の水路中央の河床高の縦断面図のグラフを図-4に示した。スリット化前と通水終了後の河床を比較すると、砂防ダム模型上流側に堆積していた土砂が下流側へ流出し砂防ダム模型の上流側と下流側それぞれが初期河床へ近づいていることが分かる。また、スリット化前の河床勾配は砂防ダム模型より上流では約1/340、下流では約1/260となった。通水終了後の河床勾配は砂防ダム模型より上流では約1/500となり初期勾配より緩やかとなった。下流では約1/120となり初期勾配に近づいた。これにより、砂防ダムにスリットを入れることで河床の連続性が回復されることが確認された。しかし、砂防ダム模型の箇所での河床高の高低差がスリット化前で約110mm、通水終了後で約10mmと、河床の連続性はほぼ回復されているものの、完全な連続性が確保できたとは言えない結果となった。

#### 3-3 砂州の変化

レーザー砂面計で計測した河床高から、スリット化前と通水終了後の砂州の波長をそれぞれ砂防ダム模型の上流側と下流側に分けて算出した。本研究では、砂州の半波長を左右岸近傍の河床高をそれぞれ縦断的に記述し、2本の河床縦断線が交差する距離と定義している。図-6にスリット化前後の砂防ダム模型上流側の左右岸の河床高の縦断面図を示す。図-7にスリット化前後の砂防ダム模型下流側の河床高の縦断面図を示す。それぞれの地点の半波長の平均を表-1に示す。砂州の移動速度を表-2に示す。また、砂防ダムが設置される前の砂州の形状を把握するために、数値シミュレーションソフト iRIC Nays2DH<sup>®</sup>を用いてダムが設置される以前の砂州の半波長と移動速度を算出し、表-1及び表-2に示す。砂防ダム設置前と、ダム模型の上流側、下流側のいずれも波長の大きな変化は見られなかった。なお、ダム設置前の砂州の移動速度は、ダム設置後及びスリット化後に比して、かなり速い速度となっている。この点については、今後さらに検討を要すると考えられる。今回の実験において、目視では上流側では通水開始から210分から砂州の形成が確認でき、下流側では630分から確認できた。前回の実験では砂防ダム模型の上流側ではスリットを入れることで波長が大きくなり、砂防ダム模型の下流側ではスリット化前に砂州は見られなかったが、異なる結果を得た。これは、前回の実験では、砂防ダムが満砂になった直後に通水を停止したため、ダム下流への供給土砂が存在しない状態であったためと考えられる。砂州の移動速度も波長と同様、スリット化前と通水終了後の砂州の波長をそれぞれ砂防ダム模型の上流側と下流側に分けて算出した。スリットを入れることで、砂防ダム模型の上流側では移動速度が

表-1 砂州の半波長

| 半波長(cm) | ダム上流側 | ダム下流側 |
|---------|-------|-------|
| ダム設置前   | 142   |       |
| スリット化前  | 148   | 120   |
| 通水終了後   | 140   | 102   |

表-2 砂州の移動速度

| 移動速度<br>(cm/min) | ダム上流側 | ダム下流側 |
|------------------|-------|-------|
| ダム設置前            | 6.185 |       |
| スリット化前           | 2.286 | 1.693 |
| 通水終了後            | 2.347 | 3.854 |

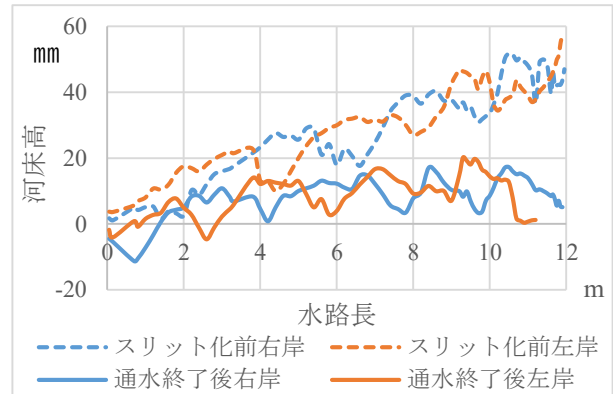


図-6 ダム模型上流側の左右岸の河床高

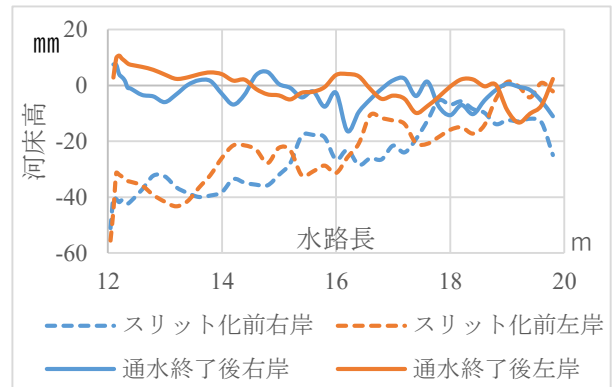


図-7 ダム模型下流側の左右岸の河床高

遅くなり、下流側では速くなった。スリットを入れることで砂防ダム模型の上流部に堆積していた土砂が流出し流砂量が多くなることで、移動速度が速くなったと考えられる。この結果から、スリット化後、十分な時間が経過すれば既設の砂防ダムにスリットを入れても砂州の形状は、スリット化前の状態と変化しないことが判明した。

#### 3-4 河床粒径の変化

現地のイワウベツ川とスリット化前の河床粒径の粒度分布を図-8に示す。砂防ダム模型下流側では、初期河床よりも粒径が粗粒化する様子を再現できたが、砂防ダム模型上流側も粒径が粗粒化してしまい再現することができなかった。これは、上流端で給砂した混合砂の粒径が初期河床のものと同じであることが原因と考えられる。

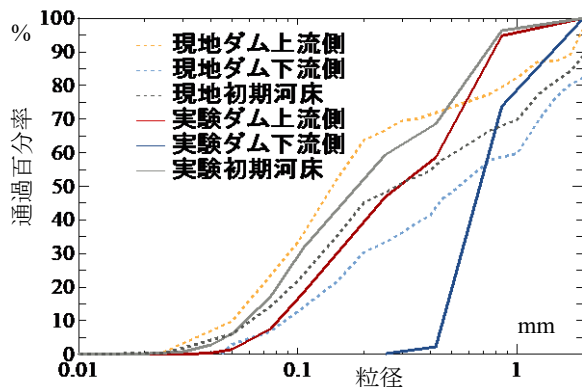


図-8 現地と本研究の砂防ダム前後の粒度分布

このように、現地とは若干異なる結果を得たが、スリット化前の状況は概ね現地の傾向を再現しているものと判断した。

初期河床、スリット化前及び通水終了後の河床粒径の粒度分布を図-9に示す。スリット化前では、下流側の粒径が極端に粗くなっていることが確認できる。本研究では粒径の一番粗い珪砂3号のみ黒色の珪砂を使用しているため、図-10に示すスリット化前後の下流側から見た砂防ダム模型の写真からでも砂防ダム模型下流側の粒径が粗くなっていることが分かる。これは、砂防ダム模型上流部に土砂が堆積した際、砂防ダム模型下流側へ土砂が供給されにくくなり、下流側の河床が低下し、勾配が急になることでアーミングが生じたためである。スリット化後では、スリット化前に比べ、砂防ダム模型上流側の粒径が粗粒化し、下流側は細粒化した。上流側の粒径が細粒化したのは、スリット化前に砂防ダム模型上流側に土砂が堆積していく過程で、粒径が粗い珪砂が多く堆積していき、表面には細かい珪砂が堆積していくことが確認されており、スリット化により河床表面に堆積していた粒径の細かい珪砂が流出し、下層の粗い珪砂が表面に現れたためであると考えられる。一方で、スリット化後に下流側の粒径が細粒化したのは、砂防ダム模型上流側の河床表面の細粒成分が流出したことによるものと考えられる。この結果から、砂防ダム前後で不均一であった河床材料の粒径がスリットを入れることである程度均一になることが確認された。

#### 4 おわりに

本研究では、現地のイワウベツ川の状態をより正確に再現するため、砂防ダム模型をスリット化させる前に、十分な時間の通水を行い、スリット化前の河道の状態の再現性を高めることとした。その結果、砂防ダムのスリット化前後で、砂州の形状に大きな変化がなく、粒径も初期河床に近づくことが明らかとなったが、スリットを入れた後も河床の連続性は完全には確保することが出来なかった。生物の視点からの落差の許容範囲を明確にし、最適なスリット幅を見つけていく必要があると考えられる。また、本来の砂防ダムの役割である大雨による土石流などの土砂災害を防ぐ機能を損なわないようにすることも考慮しながら比較実験を行う必要があると考えられる。しかしながら、土石流等大規模な出水による現

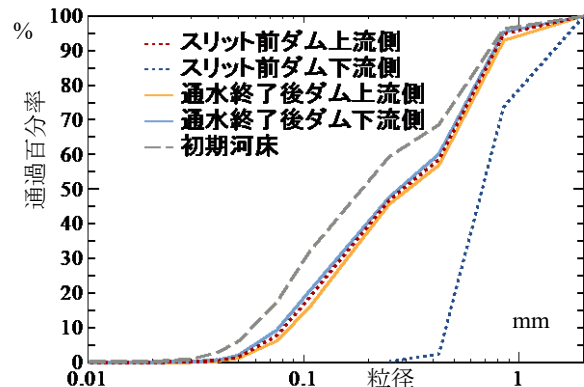


図-9 砂防ダム模型前後の粒度分布分布



図-10 スリット化前後の砂防ダム模型写真

象を除けば、現在知床で議論されているサケ科魚類が遡上しやすい環境になると考えられる。また、スリット化させた直後急激な土砂移動は見られなかったため、本研究の条件では超過確率年 1/2~1/3 規模の出水が起きても防災機能の効果が期待できる。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、知床財団及び株式会社北海道技術コンサルタントの皆様に、現地調査の便宜をいただいた。期して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 林野庁北海道森林管理局；生活を守りサケを育むダムへの挑戦，URL([https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/tisan/hoanrin\\_tisan/pdf/8siretoko.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/tisan/hoanrin_tisan/pdf/8siretoko.pdf))
- 2) 知床世界自然遺産地域の概要環境省釧路自然環境事務所 HP，URL(<http://www.env.go.jp/nature/isan/shiretoko/gaiyo.pdf>)
- 3) 斜里町・公益財団法人知床財団；岩尾別川のサケ科魚類の自然産卵と河川環境の復元に関するしれとこ 100 平方メートル運動の取り組みと現状，河川工作物アドバイザー会議参考資料，2019。
- 4) 片山小裕美・渡邊康玄・木渕大輝；スリットダムの土砂輸送特性に関する基礎的水理実験，河川技術論文集 26 巻，pp.407-412，2020。
- 5) 林野庁北海道森林管理局；平成 26 年度知床世界自然遺産地域における河川工作物改良効果検証事業報告書 2015，URL([http://dc.shiretoko-whc.com/data/research/report/h26/H26river\\_report.pdf](http://dc.shiretoko-whc.com/data/research/report/h26/H26river_report.pdf))
- 6) iRIC HP，URL(<https://i-ric.org/ja/>)