

スリットダムの土砂輸送特性 に関する基礎的水理実験

HYDRAULIC EXPERIMENT ON SEDIMENT TRANSPORT CHARACTERISTICS OF SLIT DAM

片山小裕美¹・渡邊康玄²・木渕大輝³
Sayumi KATAYAMA, Yasuharu WATANABE and Taiki KIBUCHI

¹学生会員 北見工業大学大学院 工学研究科 社会環境工学専攻 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

²正会員 工博 北見工業大学 社会環境系 (同上)

³非会員 株式会社ニュージェック (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)

Shiretoko Peninsula, located east of Hokkaido, was registered as a World Heritage Site in July 2005. In order to be registered as a World Heritage Site, river works located in the Shiretoko Peninsula area were evaluated for the run-up of salmonids. As a result, 13 river structures including check dams in 5 rivers were evaluated as necessary for improvement. One of these rivers, the Iwauetsu River, has seven check dams. Five of these seven check dams were improved to be slit-type dams. In the Iwauetsu River, the remaining two check dams are scheduled to be slit. Hydraulic experiments and numerical simulations were performed to understand the basic phenomena in order to clarify the response of a river channel when a slit was made. As a result, it was found that the slitting eliminated the riverbed degradation that had occurred downstream of the check dam. In addition, it turned out that iRIC can reproduce almost.

Key Words : Check dam, Slit type, Sediment transport, The Shiretoko Peninsula, Hydraulic experiment, Numerical simulation

1. はじめに

北海道の東に位置する知床半島にあるイワウベツ川水系では、1981年8月5日から8月6日の低気圧、台風の影響により大雨が発生した。この大雨により、イワウベツ川下流に設置されている捕獲・孵化施設が壊滅状態になるなどの被害が生じた¹⁾。この被害を受け北海道は砂防ダムをイワウベツ川本川支川のピリカベツ川にあわせて7基設置した。

イワウベツ川を含む知床半島は、海から陸へと繋がる生態系が見られること、希少な動植物の生息地となっていること、そしてこれらを保全していくための管理体制が整っていることが高く評価されて、2005年7月17日に世界自然遺産に登録された²⁾。世界自然遺産登録にあたりUNESCO世界遺産委員会の諮問機関である国際自然保護連(IUCN)から地域内の河川工作物に関してサケ科魚類が自由に移動できるような措置を求められた¹⁾。環境省は2004年7月に知床世界遺産地域科学委員会を設置し、その下に河川工作物ワーキンググループを設置、世界遺産地域内及び下流にある14河川100基の工作物について周辺環境の評価とサケの生息状況や砂防ダムや治山ダム

(以下砂防ダムと総称することとする)の防災機能を含めた河川影響評価を行った。その結果5河川13基の河川工作物について砂防ダムのスリット化や魚道改良が必要であると評価された。これを受け、順次砂防ダムのスリット化等の改善策が実施された。

イワウベツ川水系では、河川工作物ワーキンググループおよびその後継組織は林野庁に対し、砂防ダム5基の改良と改良後のサケ科魚類の遡上調査による改良効果の検証を行うことが望ましいとの提言を行った。この提言に基づき、林野庁は砂防ダムのスリット化等の河川工作物の改良に着手し、平成22年度に5基すべての改良工事が完了した。

今後、残る2基のダムのスリット化を実施していくことが想定されることを踏まえ、スリット化による河道の応答について、より詳細に把握する必要がある。特に、魚類の移動に関する連続性の確保の状況や、サケ科魚類の産卵床にとって重要と考えられる中規模河床波の形成状況並びに河床材料の変化について、明確にする必要がある。本研究では、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基礎的な水理模型実験を行うと

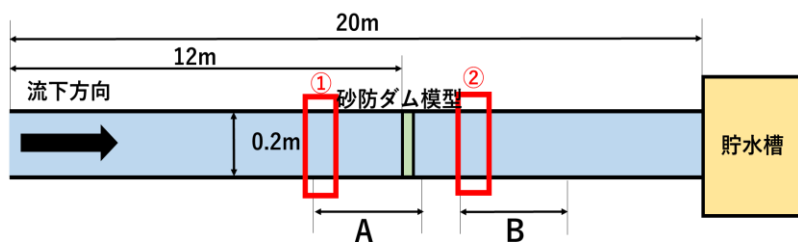


図-1 実験水路概要

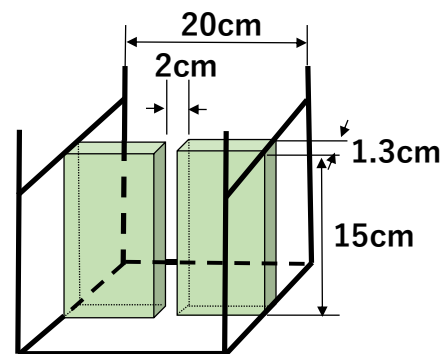


図-2 砂防ダム模型

ともに、その結果を利用して、魚類の移動の連続性の検討に重要なダム周辺の河床高およびサケ科魚類の産卵床に重要な中規模河床形態の形状と河床粒径の変化に着目し、数値解析の再現性の確認を行った。また、現在改良が行われている砂防ダムの調査をもとにスリット幅による違いについても検証を行った。その結果を報告する。

2. 水理実験概要

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てから砂防ダムのスリット化による河道の応答について確認することにした。

(1) 実験水路

実験で用いた水路は、長さ20cm、幅0.2m、側壁高さ21cmの直線水路である。図-1および2にその概要を示す。この水路に砂防ダムが設置される前の河床として、平均粒径1.138mmの珪砂3号、平均粒径0.788mmの珪砂4号、平均粒径0.526mmの珪砂5号、平均粒径0.360mmの珪砂6号及び平均粒径0.186mmの珪砂7号をすべて同じ比率で混ぜ合わせた平均粒径0.60mmの実験砂を厚さ10cmで均一に敷き詰めて移動床にした。河床勾配は現地の河道特性を考慮して1/100と設定した。さらに、図-2に示す縦断方向の厚さが13mmで高さ15cmの砂防ダムの模型を、水路上流端より12.0m下流の位置に設置した。なお、スリットの幅は2cmである。以上のサイズは、現地の概ね1/75となっている。

(2) 実験条件

実験に用いた流量は、は伊万ウベツ川中流部における超過確率規模1/20年から1/30年程度を想定し、770cm³/sとした。この流量は、ピーク流量時の無次元掃流力を合わせたものである。通水中は、水路上流端から河床材料と同一の実験砂を上流端の河床が変動しないように給砂した。なお、砂防ダムの設置によりそれより上流では堰上げ背水が生じるが、初期河床においては、この堰上げ範囲は上流端まで及ばない位置に砂防ダムを設置している。しかしながら、砂防ダム上流への土砂の堆積が進行するにしたがって、上流端の水位も変化した。

(3) 実験方法

本研究では、砂防ダムが建設される以前の状態から、砂防ダム上流部に土砂が堆積して満砂状になることも含めて現象の把握を試みているため、最初に、厚さ1.0mmの亚克力板で砂防ダムのスリット部を塞いでから通水を開始した。その後、砂防ダムの上流が満砂状態になり、河床が平衡状態になったことを確認してから、通水を停止して、河床高の測定を行った。次に、砂防ダムのスリットを塞いでいた亚克力板を取り除いて通水を再開し河床が平衡状態になるまで通水を継続させた。砂防ダム上流が満砂状態になるまでの通水時間は4.5時間であり、砂防ダムをスリット化して河床が平衡状態に達するまでの通水時間は6.5時間であった。なお、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。水路上流端から流下方向に9.0m地点までは、ポイントゲージで水路両壁から横断方向に3cmの位置と水路中央の3点を縦断方向20cm間隔で実施し、水路上流端から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間隔で実施した。また、スリット化後と初期河床の河床材料の粒径分布を把握するため上流から10m、14mの位置の珪砂を採取し、ふるい分け試験を行った。

3. 水理実験結果

水路中央の河床高の縦断図を示したものを図-3に示した。図-1のAの範囲を水路上流端から8m～12.5m、Bの範囲を水路上流端から14m～16.5mとして、河床高のコンター図をそれぞれ示したものが図-4(a), (b)、図-5(a), (b)である。各図には、砂防ダム満砂時及び通水終了時の各ステージのコンターが示されている。図-6(a), (b)は砂防ダムスリット化後の通水終了時点での河床材料の粒径加積曲線を示したものでそれぞれ、砂防ダムから2m上流(a)および砂防ダムから2m下流(b)の位置のものである。また、砂州の大きさ、勾配の変化について比較するため表1および2にまとめた。なお、流れに関しては、現象であったため、観測は実施していない。

(1) 河床高の変化

砂防ダム模型を設置した位置での河床高の差は、堆積後では、10.5cm、スリット化後では1.3cmとな

表-1 波長・波高結果(水理実験)

実験結果				
	波長 (cm)	波高 (mm)	波長 (cm)	波高 (mm)
	上流		下流	
スリット化前	160	15	—	
スリット化後	250	13	230	10

表-2 河床勾配結果(水理実験)

実験結果			
	河床勾配		落差 (cm)
	上流	下流	
初期河床	1/100	1/100	—
堆積後	1/164	1/463	10.5
スリット化後	1/109	1/103	1.3

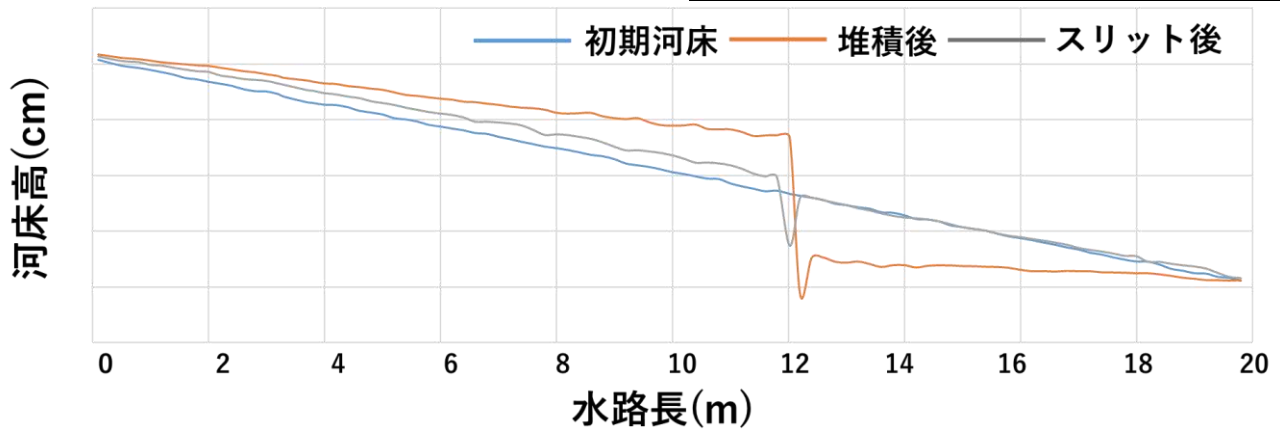


図-3 水理実験水路河床高の縦断面図

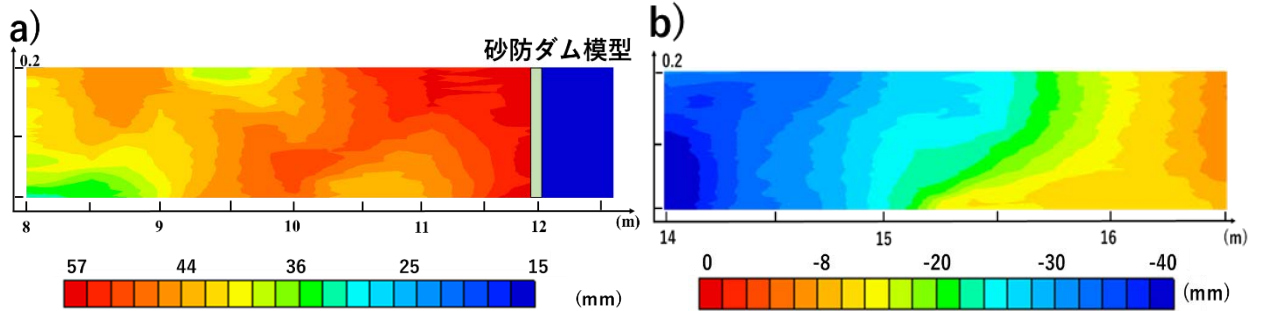


図-4 砂防ダム上流部への堆積後のコンター図 (a)砂防ダム上流部, b)砂防ダム下流部)

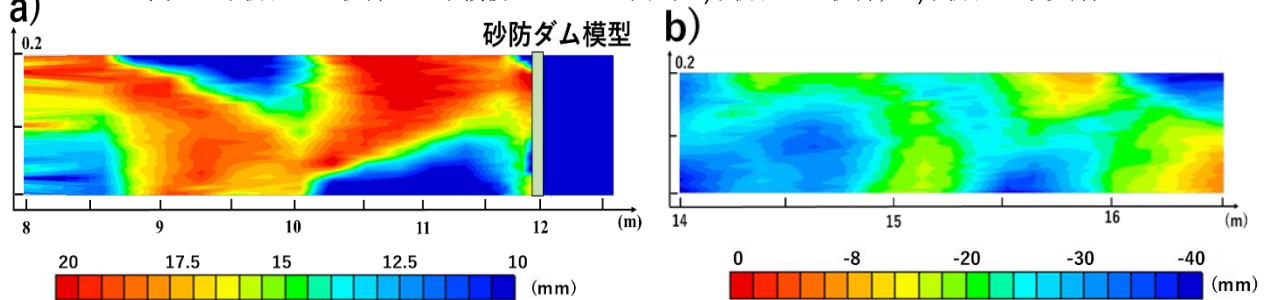


図-5 砂防ダムスリット化後のコンター図 (a)砂防ダム上流部, b)砂防ダム下流部)

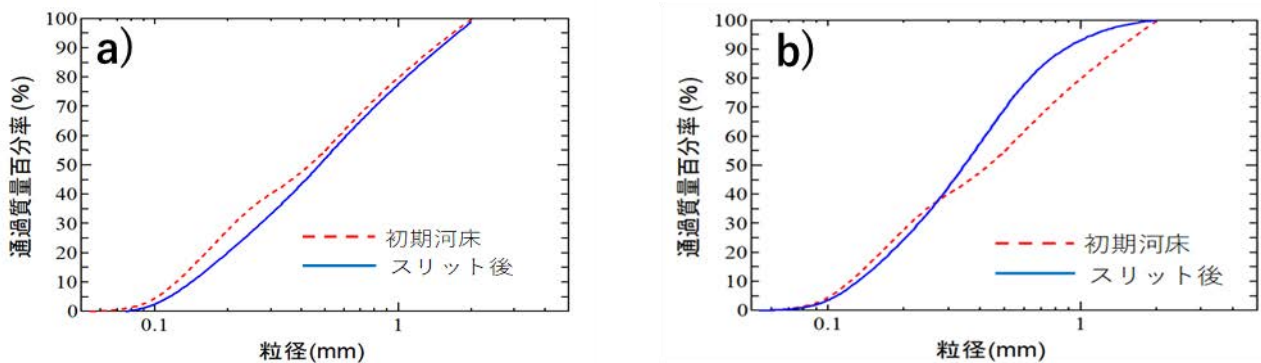


図-6 スリット化後の河床材料の粒径分布 (a)砂防ダムから2m上流の位置, b)砂防ダムから2m下流の位置)

った。スリット化前の河床高の勾配は砂防ダム模型よりなった。スリット化後の河床高の勾配は砂防ダム模型より上流では1/164, 砂防ダム模型より下流では, 1/463となった。スリット化後の河床高の勾配は, 砂防ダム模型より上流では, 1/109, 砂防ダム模型より下流では1/103であった。砂防ダムのスリット化により, 砂防ダムによって変化した河川縦断形が概ね砂防ダム建設前の状態に戻ったことを示している。また, スリット化前とスリット化後の砂防ダム上流部における砂防ダム建設以降に堆積している, スリット化前で約65,900cm³, スリット化後では約20,000cm³である。スリット化により約45,900cm³の土砂が下流に流出した。

(2) 河床材料の変化

図-6(a)から分かるように砂防ダム上流部では, 初期河床時と比べるとスリット化後では若干粗粒化している。また, 図-6(b)から分かるように砂防ダム下流部では, 初期河床時と比べるとスリット化後では粒径が細かくなっていた。

(3) 砂州形状の変化

図-4および5のコンター図からわかるように砂防ダム模型上流側ではスリット化前後, 下流側ではスリット化後に砂州が発達していることが分かる。目視で, 通水20分後から砂州がし始めたことを確認している。形成されている交互砂州の変化に着目する。砂防ダム上流が満砂時の砂防ダム上流側では, 波長が160cm, 波高が15mmで下流側は砂州が確認できなかったが, スリット化後では, 砂防ダム上流側の砂州波長および砂州波高がそれぞれ250cmおよび13mm, 下流側がそれぞれ230cmおよび10mmに変化している。このようにスリット化前後, 砂州の形状は大きく異なっている。この原因として河床勾配および河床材料の粒径が大きく変化していることが挙げられる。

4. 数値実験概要

次に, 今回の実験の再現には, これまで数多くの実験の再現性が確認されている数値シミュレーションソフト iRICNays2DH を使用した³⁾。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てから砂防スリット化させ実験との比較を行った。

(1) 実験概要

実験で用いた水路と同様, 長さ20cm, 幅0.2mの水路に上端より12.0m下流の位置に厚さが13mmで高さ15cm砂防ダムを模したものを固定床として設置し計算を行った。流量は実験に用いた流量である770cm³/sを用いた。河床材料は混合粒径として計算を行った。予備計算の結果, 実験の初期河床における河床材料の粒度分布(2mm;0.09%, 0.85mm;22.46%, 0.452mm;32.26%, 0.25mm;6.3%, 0.106mm;37.46%,

0.075mm;1.43%)で表現している。マンニングの粗度係数は, 0.012とし, 河床勾配は実験と同様1/100としている。計算格子は, 横断方向に0.01m, 縦断方向に0.02mとした。通水時間は砂防ダム上流部に土砂を貯めるまで実験では4.5時間通水しているが, 平衡状態を確保するため, それより長い6時間通水させた。その後砂防ダムに幅2cmのスリットを持たせた後, 再度同じ流量を用いて計算を行った。砂防ダムをスリット化させた後10時間通水させた下流端水位は等流計算, タイムステップ0.005に設定し, するとともに, 砂州を発生させるため上流部に微小な障害物セルを設定して計算を行った。また, 比較のため砂防ダムを設置していない場合の計算も実施した。また, 再現計算を行うと同時にスリット幅を3cm,5cm,7cm,8cmに設定して計算を行った。

5. 計算結果

図-8は水路中央の河床高の縦断図を示したものである。図-1のAの範囲を水路上流端から8m~12.5m, Bの範囲を14m~16.5mとして, 河床高のコンター図をそれぞれ示したものが図-9(a)および(b)である。示したコンター図は河床変動しなくなり, ほぼ平衡状態になったと判断された通水後7時間の結果を示す。なお, 本来であれば, 流れも併せて検討を行うべきであるが, 水理実験において, 流れの観測を実施していないため, ここでは, 河床変動についてのみ検討を行っている。

(1) 河床高の変化

砂防ダム模型を設置した位置における河床高の差は, スリット化前では, 9.8cm, スリット化後では2.5cmとなった。水理実験結果と比較すると, スリット化前で0.7cm小さく, スリット化後で1.2cm大きな値となった。また, 河床勾配についてみると, 堆積後の河床高の勾配は砂防ダム模型より上流では1/172, 砂防ダム模型より下流で1/296となった。スリット化した場合, 砂防ダム上流での勾配は, 1/104, 砂防ダム下流の勾配は1/110となった。このように, 計算結果では, スリット化前の下流側の洗堀および, スリット化後の下流側の堆積が過少に評価されているものの, 概ね縦断形を示している。また, スリット化前とスリット化後の砂防ダム上流部で堆積した土砂の堆積は, スリット化前で約58,000cm³, スリット化後では約12,000cm³である。スリット化により約46,000cm³の土砂が流出した。水理実験結果と比較すると, 初期河床からの土砂の堆積量は過小評価しているが, スリット化による下流への土砂の移動量としては, 概ね水理実験結果を再現している。

(2) 粒径の変化

砂防ダムが建設された後における河床材料の平均粒径の時間変化について, 砂防ダム上流2mの位置と砂防ダム下流2mの位置のものを図-10に示す。砂

表-3 波長・波高結果(数値計算)

数値計算結果				
	波長 (cm)	波高 (mm)	波長 (cm)	波高 (mm)
	上流		下流	
スリット化前	120	9	—	
スリット化後	160	11	170	18
	波長(cm)		波高(mm)	
砂防ダムなし	180		15	

表-4 河床勾配結果(数値計算)

数値計算結果			
	河床勾配		落差 (cm)
	上流	下流	
初期河床	1/100	1/100	—
堆積後	1/172	1/296	9.8
スリット化後	1/104	1/110	2.5

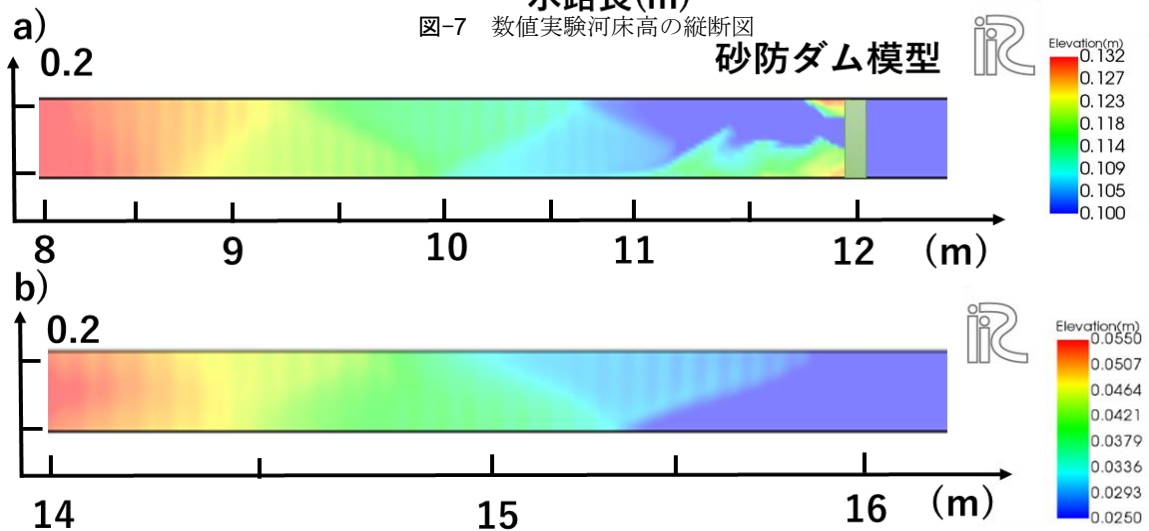
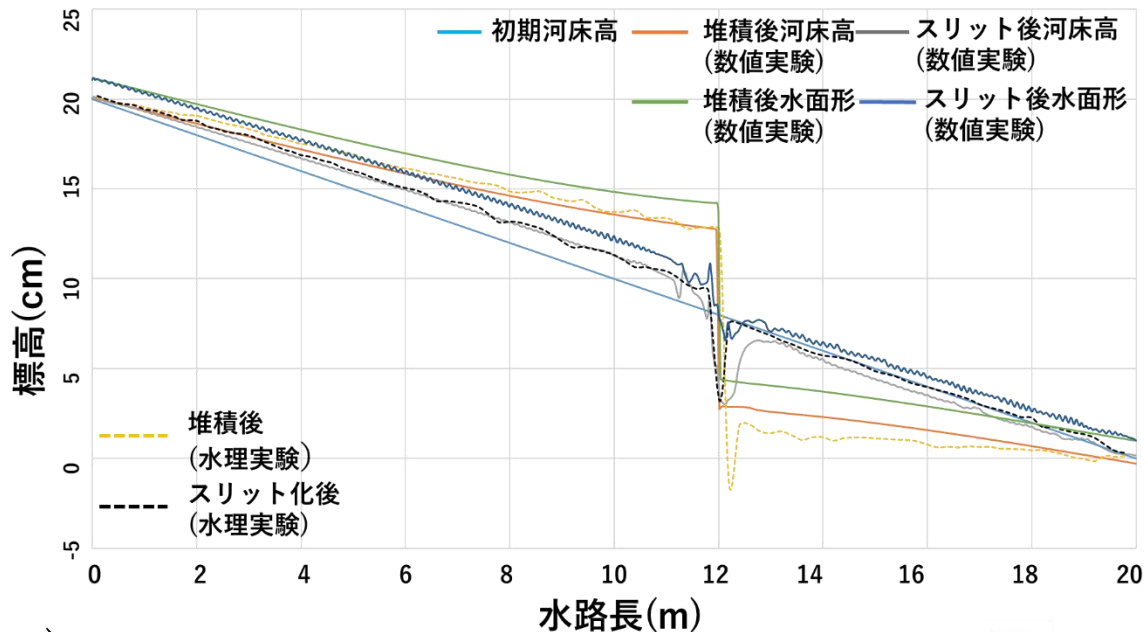


図-8 通水後の河床コンター図 (a)砂防ダムより上流部, b)砂防ダムより下流部

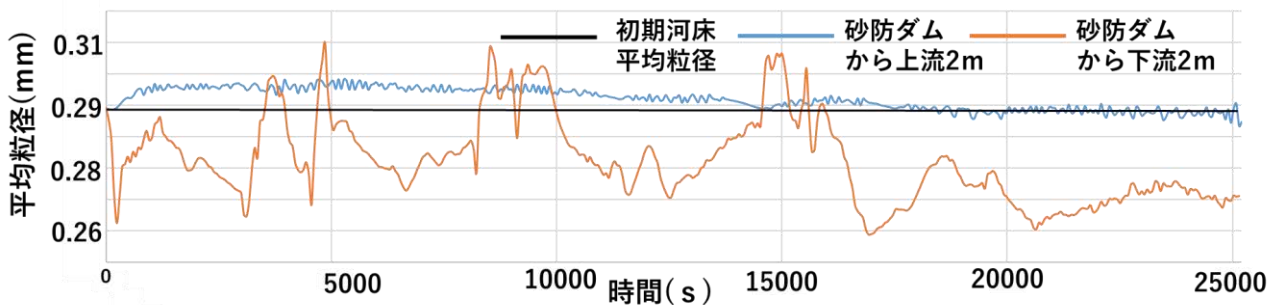


図-9 スリット化後の平均粒径の変化

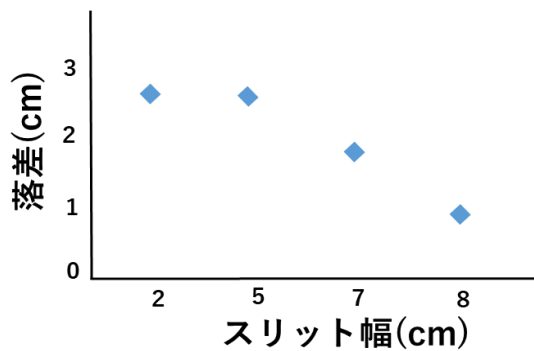


図-10 スリット幅別落差

防ダム上流から2mでは、通水後5時間まで平均粒径は粗くなったが、その後若干ではあるが細くなった。砂防ダム下流から2mの位置では、時間が経つにつれ平均粒径は細くなっていった。平均粒径の変化を時間ごとに示したものを図-10に示す。砂防ダム下流における河床材料の変化は水理実験の傾向を再現できたが、砂防上流では通水後半において、水理実験の傾向と異なる傾向を示した。これは、スリット化前のダム上流部に堆積した河床材料の粒径分布が初期河床と大きく異なっており、数値実験でそのことが表現できていない可能性がある。この点については、さらに検討が必要である。

(3) 交互砂州の変化

図-9(a)および(b)のコンター図からわかるように砂防ダム模型上流側と通水後には水理実験と同様に砂州が発達していることが分かる。形成されている交互砂州の変化に着目する。砂防ダム上流部に土砂が堆積する過程において、交互砂州を形成しながら堆砂が進み、満砂状態の交互砂州の形状は、波長120cm、波高9mmであった。水理実験では、波長160cm、波高15mmであったことから、数値計算の砂州は波長、波高ともに水理実験におけるものより、やや小さい結果となった。また、堆積後、砂防ダム下流側では、水理実験と同様、交互砂州は形成されなかった。スリット化した場合、砂州は砂防ダム上流では通水初期は波長200cm、波高12mmの交互砂州が形成され、時間とともに変化し、最終的に、波長160cm、波高11mmの交互砂州となった。水理実験結果に比べ波長が短く波高が高い形状となった。一方、砂防ダム下流では最終的に、波長170cm波高18mmの交互砂州が形成された。水理実験結果に比べ波長が短く波高が高い形状となった。砂防ダムが存在していない場合の交互砂州の波長は180cm、波高は15mmである。交互砂州の形状変化についてまとめたものが、表-3および4である。数値計算では、水理実験結果に比べやや波長が短いものの、満砂状態に形成された砂州がスリット化によって波長が長くなる傾向は表現されている。また、スリット化後には、砂防ダムの上下流で概ね同じ波長となることも再現されている。ただし、波高については、数値計算結果は水理実験結果に比べ概ねやや低い値を示すものの、スリット化後のダム下流では水理実験に

比較して2倍ほどの高さとなっており、一貫した傾向は見いだせなかった。原因として河床勾配、河床材料の粒径が大きく変化していることが挙げられる。

(4) 開口幅による変化

スリット幅の違いによる現象の違いを見るため、スリット幅を5cm、7cm、8cmに変えスリット幅以外は水理実験の再現計算と同じ条件で計算を行い、砂防ダムが設置されている部分での落差の比較を行った。落差の変化についてまとめたものを図-11に示す。スリット幅が広がるにつれ河床高の落差は小さくなる傾向を示した。一方、スリットを広げることにより砂防ダムの本来の目的である土砂の捕捉効果は低くなると想定されることから、両者の兼ね合いが重要であると判断される。

6. おわりに

本研究では、水理模型実験により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てから砂防ダムのスリット化による河道の応答についての検証およびiRIC Nays2Dhでの現象の再現の検証を行った。水理実験の結果より、砂防ダムをスリット化させることにより土砂が流出し河道に影響をあたえることが分かった。特に、粒径の大きさが河床に形成される河床波の形状に与える影響も大きいことを確認した。スリット化前後では粒径の大きさの違いから砂州の形状が異なることがわかった。このことから粒径の大きさに産卵床を変えるサケ科魚類の産卵環境に影響することもある。また、砂防ダムによる下流河道の河床低下は、砂防ダムをスリット化させることにより、元河床の高さまで回復させることが可能となることが確認された。スリット化させ通水後砂防ダム模型下流部では河床高が高くなっていたことと初期河床の状態に近づくことからスリット化による河川環境の復元にはある程度効果があつたと考えられる。しかし、今回の条件では砂防ダムの位置における河床高の不連続性は完全に解消されていない。このためスリットの幅等についてさらなる検討が必要である。また、iRIC Nays2Dhで砂州波長の変化や、砂防ダム直下の局所に洗掘されている箇所以外の河床変動や粒径の変化については水理実験を概ね再現可能であることが分かった。しかし、砂州波高や現象が3次元的になる箇所である砂防ダムスリット部の河床高の再現性には課題も残るため、使用には注意が必要である。

参考文献

- 1) 第4回 河川工作物ワーキンググループ附属 災害記録一覧, 2005
- 2) 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, 2014
- 3) iRIC HP(<https://i-ric.org/ja/>)

(2020.4.2受付)