

透過型砂防堰堤による流木の捕捉と 土砂動態への影響

CHARACTERISTICS OF DRIFTWOODS AND SEDIMENT TRANSPORTATION AROUND A SLIT SABO DAM

加藤陽平¹・檜谷治²・梶川勇樹³・永谷直昌⁴

Yohei KATO, Osamu HINOKIDANI, Yuki KAJIKAWA and Naomasa NAGATANI

¹正会員 博(工) いであ株式会社 大阪支社水圏部 (〒559-8519 大阪市住之江区南港北1-24-22)

²正会員 工博 鳥取大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

³正会員 博(工) 鳥取大学大学院助教 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

⁴学生会員 鳥取大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

Recent years, slit Sabo dams have been selected for their function to prevent debris flow disaster and conserve continuity of water and sediment flow simultaneously. In order to clarify the effect of a slit Sabo dam on sediment transportation, the authors have researched the characteristics of rainfall-runoff and sedimentation around a slit Sabo dam in a channel in the Tenjin river basin since 2010. The authors had reported that a slit Sabo dam with steel frame had trapped driftwoods which would prevent the sediment runoff to the downstream channel. This paper reports the results of the field observation from 2012 to 2014 and quasi-2D numerical simulation which enables to consider the influence of the driftwoods on the sediment transportation.

Key Words : *Slit Sabo dam, sediment runoff, driftwood, quasi-2D numerical analysis*

1. はじめに

1998年に流砂系の総合的な土砂管理¹⁾が提言されて以降、我が国の水系砂防あるいは土石流対策では、有害な土砂移動を制御するとともに、河川・海岸に必要な土砂を流す施設として、透過型砂防堰堤が用いられることが多くなっている。既往の研究を見ると、透過型砂防堰堤の土石流捕捉機能に関する研究²⁾は多数見られる一方、中小出水時の堆砂・土砂流出現象に関する研究³⁾は少なく、河川・海岸に対する土砂供給機能の検証がほとんどできていない状態にある。また、水山⁴⁾はスリット部に流木・巨礫等が閉塞し、堆砂と異常な土砂噴出が発生することを指摘しており、透過型砂防堰堤の機能と安全性を確保するためには実溪流に設置された堰堤での土砂・流木の動態を検証することが重要と考えられる。

このような背景から、著者らは2010年以降、透過型砂防堰堤周辺における中小出水時(土石流非発生時)の土砂動態の解明を目的として、天神川水系の溪流赤岩川に設置された透過型砂防堰堤を対象とした現地モニタリングおよび数値解析を行っている。既報⁵⁾では、2011年9月出

水により多量の土砂・流木が捕捉されたことを把握するとともに、流木捕捉の影響により堰堤上流の河床高がスリット部の天端高より高くなった可能性があることを指摘し、流木捕捉影響の検証とモデル化手法が課題として残された。本論文では2012年以降の現地モニタリング結果から、透過型砂防堰堤上流の土砂・流木の捕捉状況を示すとともに、簡易なモデルによる流木捕捉の表現方法について述べる。

2. 降雨流出特性および流木・土砂の動態

(1) 研究対象領域の概要

本研究では、鳥取県倉吉市関金町に位置する天神川水系小鴨川の支流赤岩川流域(図-1参照・流域面積2.7km²)を対象とし、福原2号砂防堰堤(国土交通省管理)周辺の降雨流出・土砂動態モニタリングを行っている。調査の領域・手法・項目等については既報⁵⁾に詳しい。本研究では砂防堰堤周辺の流況を把握するために固定カメラを使用しているが、流木捕捉を確認するために2013年から固定点を砂防堰堤上流側に変更した(図-2)。

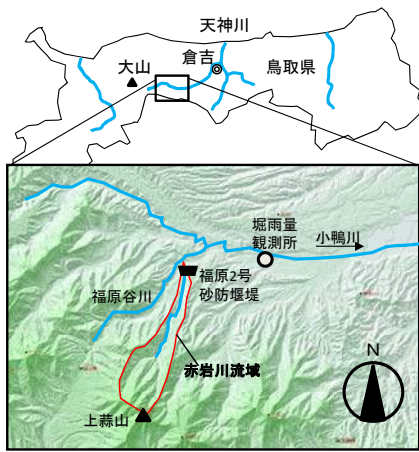


図-1 研究対象領域 (赤岩川)

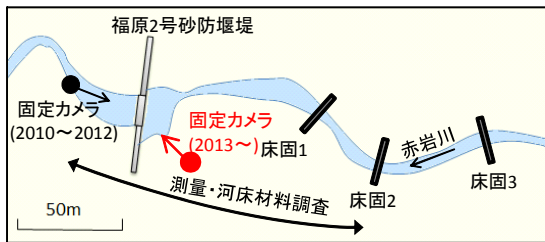


図-2 調査領域周辺図

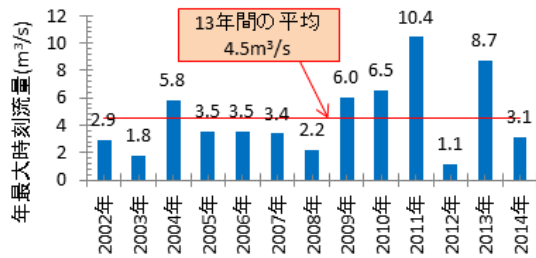


図-3 赤岩川年最大流量 (降雨流出解析結果)

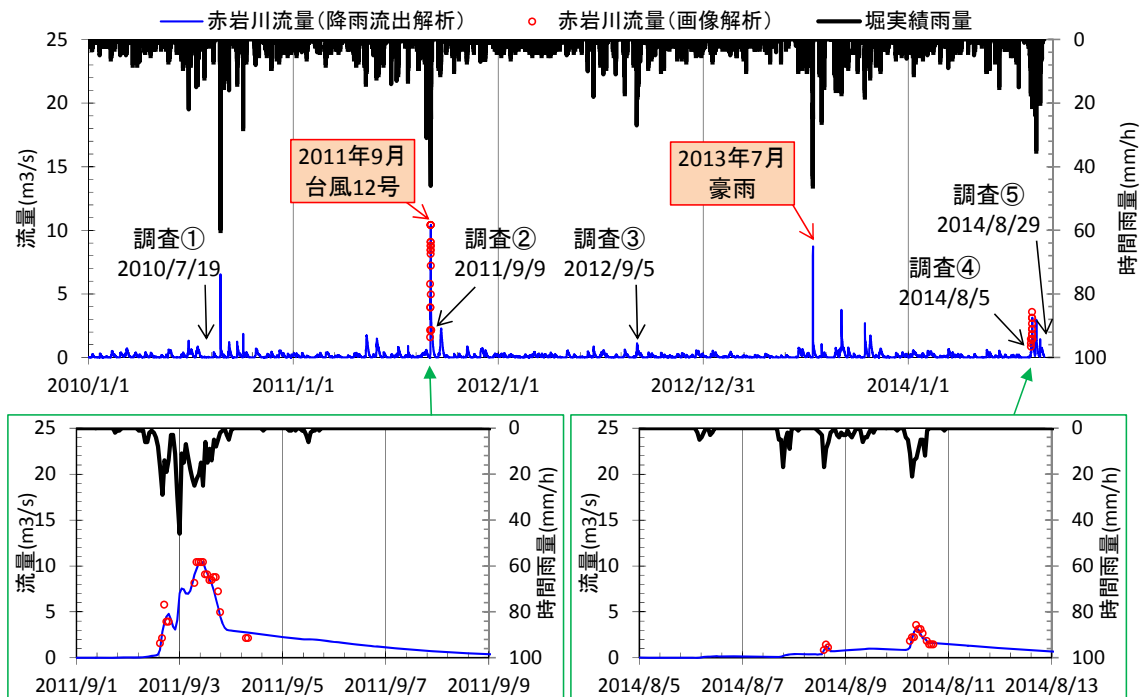


図-4 堀観測所時間雨量および赤岩川推定流量 (2010年1月～2014年9月)

(2) 降雨流出特性

図-3は降雨流出解析から得られる時刻流量の年最大値である。計算式や入力条件は既報⁹⁾に準拠しており、計算期間を2014年8月末まで延長した。2002年～2014年の平均年最大流量は4.5m³/sであり、2011年9月および2013年7月に平均年最大流量の2倍程度の流量が発生している。

図-4はモニタリング開始 (2010年) 以降の堀雨量観測所 (図-1) の時間雨量、および画像解析⁵⁾・降雨流出解析⁹⁾による赤岩川の推定時刻流量である。

図の下段に画像解析を実施した期間の拡大図を示しており、画像解析値と降雨流出解析値が概ね一致しており、流出解析モデルの精度が確保できていることがわかる。流出解析結果を信頼すれば、赤岩川ではピーク雨量40mm/h程度の降雨が生じたとき平均年最大流量以上の流量が生じるが、ピーク雨量10～20mm/h程度の降雨ではほとんど河道に流出しないようである。

(3) 流木・土砂の動態

図-5は福原2号砂防堰堤上流の河床測量結果から作成した河床コンターである。調査時点を図-4に示しており、このうち調査①・②については既報⁹⁾に詳述している。(a)2011年9月9日と(b)2012年9月5日を比較すると、調査②～③間に目立った出水がないため、ほとんど形状が変化していないが、スリット部の直上流に存在していた砂州が縮小していることがわかる。国土交通省により2011年9月出水後に流木が全て撤去されており、その影響から土砂が流出したとみられる。(c)は2014年8月5日であり、2013年7月15日出水 (推定ピーク流量8.7m³/s) を受け、土砂堆積により河床が上昇している。図-6(a)は出水直後の撮影画像であり、スリット部に多量の流木が捕捉さ

れていることがわかる。流木の影響により長期間湛水していたが、2014年6月に湛水の解消を確認した（図-6(b)）。また、湛水解消後に国土交通省により流木が全て撤去され、8月7日時点では図-6(c)のように砂が残存していることを確認した。8月8日にピーク流量 $1.3\text{m}^3/\text{s}$ の出水が発生（図-4下段右参照）し、図-6(d)のようにスリット直上流が侵食された後、同10日にピーク流量 $3.1\text{m}^3/\text{s}$ の出水が発生し、図-6(f)のように侵食域が拡大している。図-5(d)は同29日の河床コンターであり、スリット部から床固1までの範囲において、概ねスリット部の開口幅と同程度（10m）の幅で、侵食域が生じていることがわかる。写真-1は図-5(d)に示した崖状地形部分の写真であり、堆積していた砂が完全に流失せず、礫層の上に砂層が残存していることがわかる。

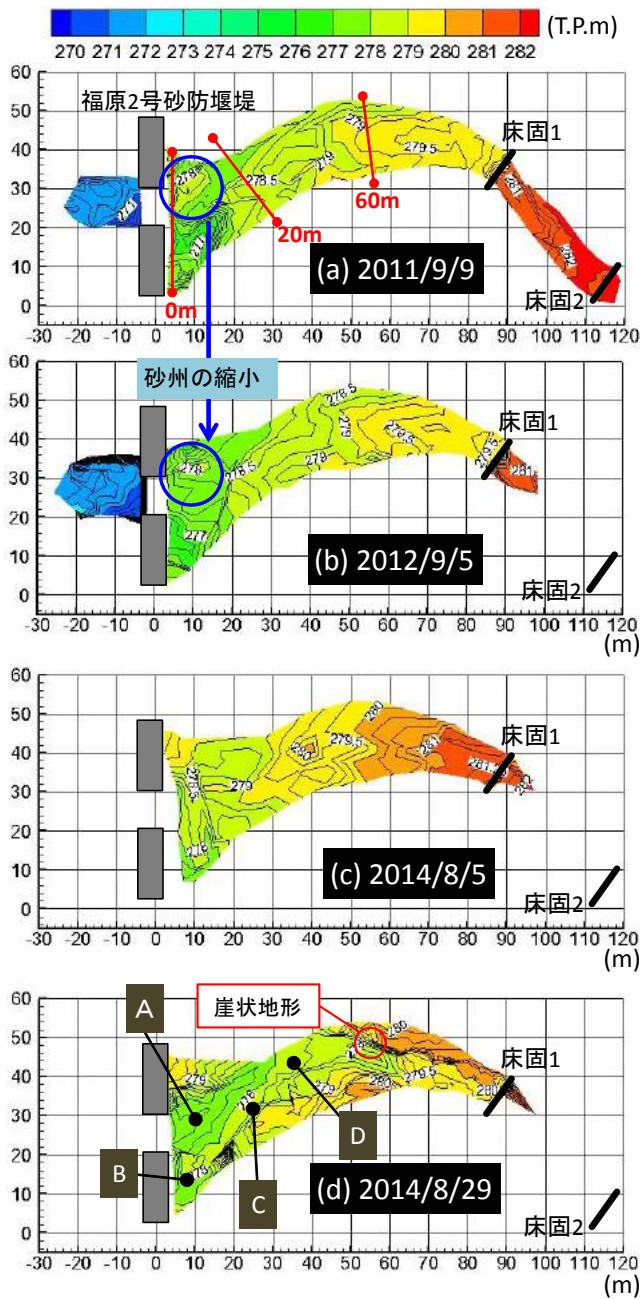


図-5 福原2号砂防堰堤上流の河床コンター



図-6 福原2号砂防堰堤上流の撮影画像

図-7は福原2号砂防堰堤から0m, 20m, 60m地点の横断形状である。測線は図-5(a)に示す。2011年9月から2014年8月5日にかけて、20mおよび60m断面では1m程度の河床上昇が生じている。その後流木が除去されたことを受け、同29日には右岸側の河床が低下している。一方、わん曲内岸である左岸側では河床がさらに上昇している。

図-5(d)に示すA~D地点では継続して河床材料調査を実施しており、図-8に各地点表層(深さ約0.2m)の粒度分布を示す。スリット部直上流であるA地点は、2010年7月時点は細粒成分が堆積していたが、2011年9月洪水時に100mm程度の粗い成分に置き換わった後、2013年7月洪水による流木捕捉・湛水の影響により再び細粒土砂が堆積している。堰堤の袖部であるB地点では、2011年9

月以降に砂成分が見られる。これは洪水中に死水域(図-6(e)参照)となり浮遊砂が沈降しやすいことが影響していると考えられる。C地点では2014年に調査を開始しており、2014年8月5日では砂が多く堆積していたが、流木の撤去と8月10日出水により礫層が露出している。D地点では、2010年7月に1~100mm程度の幅広い粒度が見られるが、2011年9月出水により粗粒化し、2013年7月洪水後の湛水により細粒成分が増加した。流木撤去と2014年8月10日出水の影響により再度粗粒化している。このように、2013年以降の洪水時に、流木捕捉による水位の堰上げの影響からスリット開口部の天端高以上に堆積していた土砂は、流木の撤去により小規模な出水で部分的に流出していることが明らかになった。



写真-1 崖状地形の状況 (図-5(d)参照)

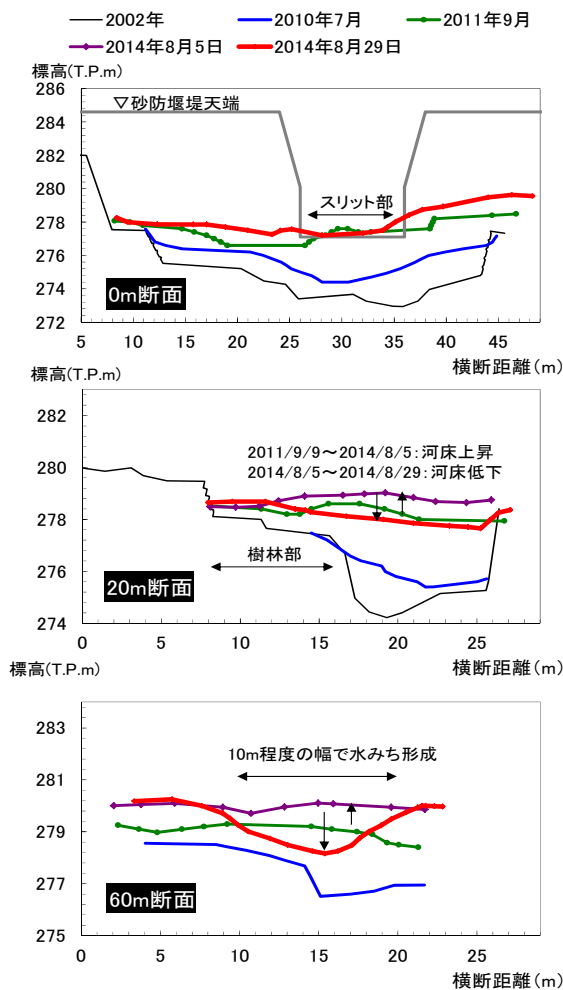


図-7 福原2号砂防堰堤上流の河床横断形状

3. 流木捕捉を考慮した河床変動計算

(1) 河床変動モデルの概要

前章のモニタリングの結果、小出水時でも流木の捕捉あるいは撤去が河床変動に大きな影響を及ぼしていることがわかった。したがって、河床変動の再現精度の向上

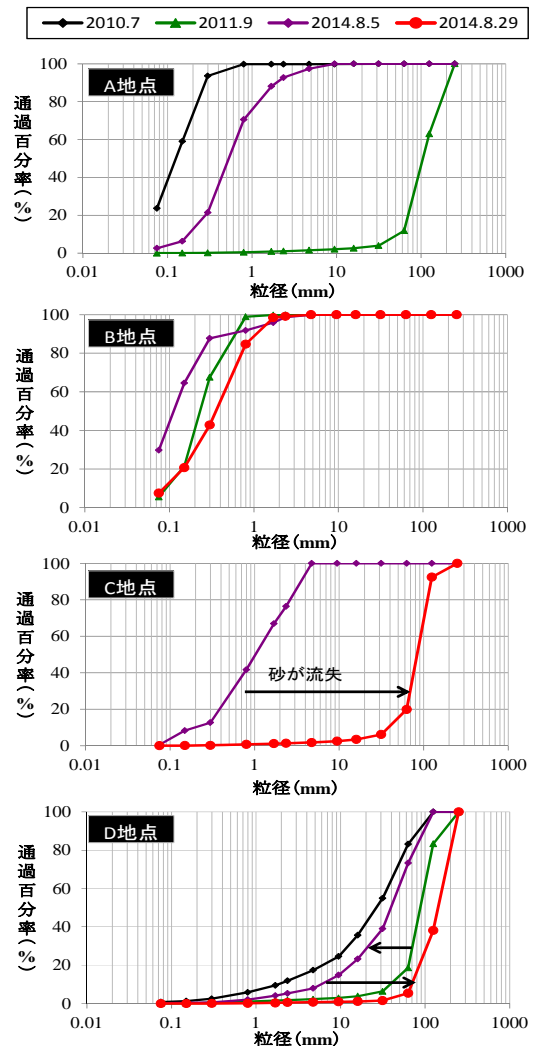


図-8 出水による河床材料粒度分布の変化

には流木捕捉を考慮した解析モデルが不可欠である。既報⁹⁾では透過型砂防堰堤を考慮できる準2次元不等流河床変動モデルを考案しているが、流木の捕捉を考慮しておらず、河床の再現精度に問題があった。そこで本研究では本間の越流公式をベースに、流木を考慮したせき上げ水位の境界条件を設定することとした。図-9は福原2号砂防堰堤のスリット部寸法であり、上段スリットからの放流量 Q_1 および下段の水吐からの放流量 Q_2 は、式(1)(2)により得られる。

$$Q_1 = C_1 B_1 \sqrt{2g(H - (z_1 + h_D))^3} \quad (1)$$

$$Q_2 = C_2 B_2 (z_2 - z_3) \sqrt{2g(H - z_3)} \quad (2)$$

ここに、 H ：堰堤地点の水位、 C_1 および C_2 ：スリットおよび余水吐の流量係数、 B_1 および B_2 ：スリットおよび余水吐の総幅、 g ：重力加速度である。 h_D は流木捕捉高と定義する。流木は堰堤の開口部に一様な厚さ h_D で堆積するものと仮定し、その時間変化を式(3)で表す。

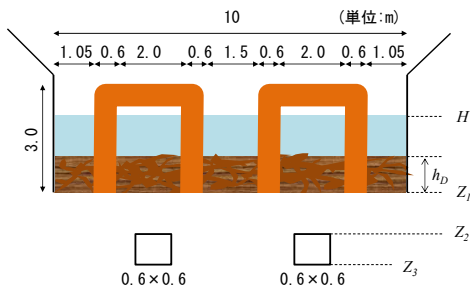


図-9 福原2号砂防堰堤の寸法

表-1 河床変動計算条件

項目	設定条件
計算区間	福原2号砂防堰堤から上流170m(床固3)まで
計算期間	2010年7月10日～2014年8月29日
計算対象流量	赤岩地点流出解析流量のうち1m ³ /s以上の出水
$\Delta x \cdot \Delta t$	$\Delta x=20m$, $\Delta t=5\sim 60sec$ (流量規模で可変)
初期河床高	堰堤～床固1：2010年7月測量 床固1の上流：基盤地図情報5mDEM (2010年2月)
初期河床材料	2.0～200mm (4粒径) で礫床を想定した粒度分布
上流端供給土砂量	上流端の粒度分布・掃流力により算定する。粒度分布は時間的に不変とする。
砂防堰堤パラメータ	$B_1=7.6m$, $B_2=1.2m$, $C_1=0.35^{7)}$, $C_2=0.02^{5)}$ $Z_1=T.P.+277.1m$, $Z_2=T.P.+272.7m$ $R_D \times \alpha_D=0.1$, $A_D=20m^2$
掃流砂量式	芦田・道上式 ⁸⁾
浮遊砂浮上量式	Itakura-Kishi式 ⁹⁾
粒度分布式	芦田・江頭・劉式 ¹⁰⁾

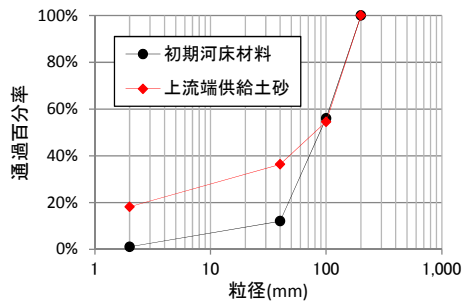


図-10 河床変動計算に用いる粒度分布

$$\frac{\partial h_D}{\partial t} = \frac{R_D}{A_D} Q_D = \frac{R_D}{A_D} (\alpha_D Q_s) \quad (3)$$

ここに、 R_D ：流木の捕捉率、 A_D ：流木が堆積する平面積、 Q_D ：単位時間あたりの流木流入量と定義する。ただし、 Q_D は実態が不明なため、本研究では浮遊砂の通過量（全粒径合計） Q_s の α_D 倍が流木であると仮定した。流木捕提高の実態が再現可能な値として $R_D \times \alpha_D=0.1$ とした。堰堤からの越砂条件については、堰堤直上流断面の河床高が Z_1+h_D より低い場合、掃流砂が流出しないものとした。浮遊砂の流出については制限を設けていない。

(2) 河床変動の再現

流木捕捉を考慮した河床変動モデルの適用性を検証するため、表-1の条件により河床変動再現計算を行った。初期河床材料の粒度分布は礫床状態を想定し、図-10に示すものを用いた。上流端の粒度分布については上流域からの砂の供給を表現するため、2mmの成分を20%与えた。これは図-8に示すD地点（2010年）の粒度を参考に調整した値である。以上の計算条件により、図-11に示す結果を得た。(a)は2011年9月9日時点であり、流木を考慮しない場合は河床高が実測値よりも低くなっているが、流木を考慮することで実測値を精度良く再現できて

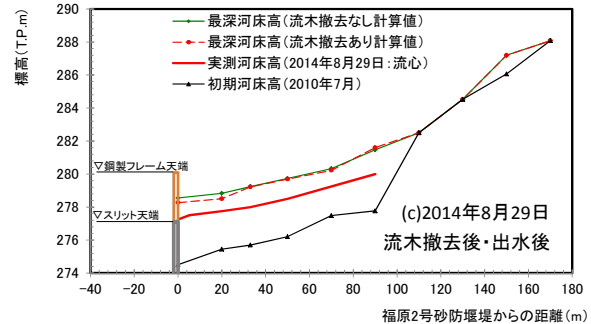
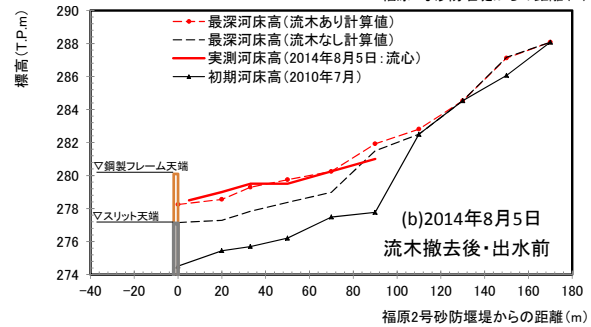
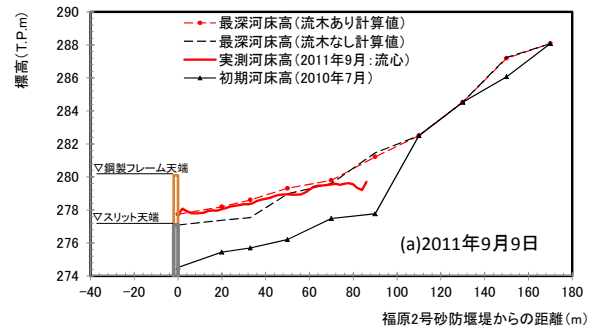


図-11 福原2号砂防堰堤上流の河床変動再現結果

いる。(b)は2014年8月5日時点を再現したものであり、同様の結果が得られている。(c)は2014年8月29日時点の結果であり、流木撤去後の土砂流出の再現を図ったものである。流木撤去については、2014年8月6日時点に h_D を0に戻すことで表現し、比較のため流木撤去を行わない場合の計算も行った。流木撤去を行った場合は行わない場合よりも河床高が低くなっているものの2014年8月29日の実測値を再現できなかった。

図-12は堰堤から0m断面の最深河床高および流木捕捉高の時間変化、および掃流砂・浮遊砂の流入・流出量である。2011年洪水時に多量の掃流砂・浮遊砂が流入するが、堰堤からの土砂流出量が少ないため河床高が上昇している。河床高がスリット部の天端高に到達してからは浮遊砂の流入量と流出量がほぼ釣り合い、2013年洪水時も浮遊砂の流入量と流出量がほぼ等しく、細粒土砂がほとんど堆積しない計算となっている。これは図-6(b)に示した実態と乖離している。砂防堰堤からの浮遊砂流出は断面平均濃度×通過流量としており、流木の影響を特に設けなかったため、結果に乖離が生じたとみられる。

4. 結論

透過型砂防堰堤周辺の土砂動態モニタリングおよび流木を考慮した河床変動再現計算の結果、次のことがわかった。

- (1) 透過型砂防堰堤の鋼製フレームに流木が捕捉され、湛水域が生じ、砂礫が堆積する。
- (2) 流木を撤去した場合、 $1\sim 3\text{m}^3/\text{s}$ 程度(平均年最大流量未満)の出水により砂成分が流出する。ただし、渓岸や堰堤袖部に砂層が残る。
- (3) 流木捕捉を簡易的に表現した準2次元河床変動計算モデルを提案し、堰堤上流の堆砂形状を概ね再現できた。しかし浮遊砂の捕捉・流出現象の再現に至っておらず、流木捕捉時の浮遊砂流出実態を把握し、適切にモデル化することが今後の課題である。また、流木の流入量

や捕捉率の実態が不明であるため、今後のモニタリングによる解明を要する。

謝辞：本研究を進めるにあたり、国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所より多数の資料を提供いただきました。また、鳥取大学工学部水工研究室の皆様には、現地調査や論文作成にあたりご協力をいただきました。ここに記して心より謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省河川局砂防部砂防課:流砂系の総合的な土砂管理に向けて(総合土砂管理小委員会報告), 1998.
- 2) 原田紹臣, 里深好文:粒径分布特性を考慮した透過型砂防えん堤の土砂流出調節機能に関する研究, 水工学論文集, 第58巻, I_931-I_936, 2014.
- 3) 藤田正治, 水山高久, 武蔵由育:砂防ダム群の土砂流出調節効果, 水工学論文集, 第45巻, pp.697-702, 2001.
- 4) 水山高久, 下東久巳, 下田義文, 井戸清雄:スリットを有するダムに関する実験的研究, 第28回水理学講演会論文集, pp.723-728, 1984.
- 5) 加藤陽平, 檜谷治, 梶川勇樹:透過型砂防堰堤周辺の土砂動態特性, 水工学論文集, 第57巻, I_973-I_978, 2013.
- 6) 加藤陽平, 檜谷治:透過型砂防堰堤を有する流域の土砂流出予測法, 水工学論文集, 第58巻, I_1063-I_1068, 2014.
- 7) 国土交通省 水管理・国土保全局:河川砂防技術基準 調査編, 第7章 第3節-5, 2014.
- 8) 芦田和男, 道上正規:移動河床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69, 1972.
- 9) Itakura, T. and Kishi, T.: Open channel flow with suspended sediments, Proceedings of ASCE, HY8, pp.1325-1343, 1980.
- 10) 芦田和男, 江頭進治, 劉炳義:二層モデルによる複断面河道の流れおよび河床変動の数値解析, 京都大学防災研究所年報, 第35号 B-2, pp.41-62, 1992.

(2014. 9. 30受付)

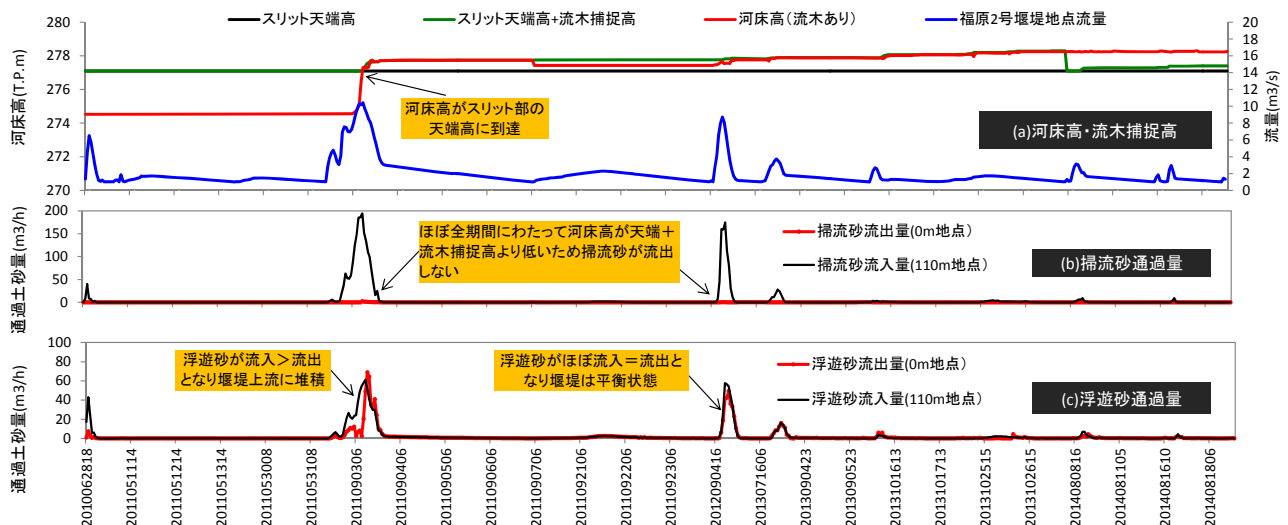


図-12 福原2号砂防堰堤直上流の河床高・流木捕捉高および流入・流出土砂量の時間変化