# 報告書概要

①技術研究開 発テーマ名 流砂モニタリングに基づく流出土砂の管理に関する研究			
②研究代表者			
氏名	所属・役職		
水山 高久	京都大学大学院農学研究科・教授		
③共同研究者			
氏名	所属・役職		
小杉賢一朗	京都大学大学院農学研究科・准教授		
藤田正治	京都大学防災研究所・教授		
宮本邦明	筑波大学・教授		
堤大三	京都大学防災研究所・准教授		
中谷加奈	京都大学大学院農学研究・助教		
宮田秀介	京都大学防災研究所・助教		

## ④背景・課題

本研究は、平時の土砂流出は邪魔をせず、下流で問題を引き起こす土砂流出を制御する次世代の砂防 を目指している。平時から流量、流砂量をモニタリングし、異常な土砂生産を検知して、シャッター砂 防堰堤を運用して制御すべき土砂のみを捕捉する。そのためには、流量、流砂量のモニタリングシステ ムを確立する必要があり、シャッター砂防堰堤の開発も必要となる。

### ⑤技術研究開発の目的

流砂をモニタリングし流出土砂を積極的に管理するシステムを開発する。具体的には、常願寺川に設置された水位、濁度、ハイドロフォン、ピット流砂計測装置により流量、流砂をモニタリングし、降雨 と流量、流量と流砂量との時間的、空間的関係を分析する。これを基礎資料として現在、スリット砂防 堰堤をシャッター砂防堰堤に改造中の妙寿砂防堰堤を対象に、シャッター砂防堰堤の運用について検討 する。

## ⑥技術研究開発の内容・成果

(1) 流域の土砂モニタリングシステム

流量、流砂量などの水文情報の流れは図―1のようなものをイメージしている。

水文情報		40. 10	<b>24</b> B
内部	外都	20 42	14 /H
		+5-5804188	スクリーンに表示
*		との比較	▶ 予警報
	短時間時雨予測 (低象庁などとり)		
			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
			- work Pra
位→流量		(7199)	→ スクリーンに表示
		→ 流砂量 (輸送能) 計算	
2			
1		河床変動計算	河床宽助予報
898		(7199)	▶ スクリーンに表示
			(シャッター砂防えん堤の操作)
ちえん堤堆砂量		→ 土砂収支計算	<b>▶</b> 餘石
·安助利量			スクリーンに表示
表·土石流発生検知			→ ¥ #
<u>िप्र</u> 1	水子桂却 ()法	」 法 小 具 わ し	シの法わ



平成 23, 24, 25 年度について、常願寺川に設置されている水位、濁度、ハイドロフォン、ピット流 砂計測装置(図-3)の観測データを確認した。それらのデータの1次処理された資料を立山砂防事務 所から提供してもらい、それぞれの観測地点での観測結果の特徴を整理し、降雨と流量、流量と流砂 量との時間的、空間的関係を分析した。平成 24 年は大きな降雨は少なく、時間雨量が 20mmをわず かに超える降雨が、7月8月に1回ずつあった程度である。23 年と同様に水位データに欠測が多く、 水位計の設置場所を砂防堰堤の上流側などに移動することなどの改良が進んでいない。図-5は、津 ノ浦の平成 24 年 8 月のハイドロフォンのデータであるが、降雨に対する出水ではなく工事に伴う瀬替 えで水みちが変わったことによる水位上昇、土砂移動と考えられるものである。過去 3 年間のデータ について、常願寺川における土砂流出観測の成果として整理した。





図-4 津之浦下流砂防堰堤に設置されたハイドロフォンとピット流砂計測装置



図-6は、ハイドロフォンパルスのピット流砂計測装置によるキャリブレーションの例である。 また、浮遊砂量についても図-7のような流量と関係が得られた。



図一7 濁度計による浮遊砂量(washload)と流量の関係

(3) シャッター砂防堰堤の建設

スリット砂防堰堤であった妙寿砂防堰堤のスリット部をシャッター砂防堰堤に改造した。(図-6)開 口部の上部は鋼管が固定されており、下部が下流方向に開閉する構造である。



図-6 妙寿砂防堰堤のシャッター部

平成 23 年度の出水で工事が遅れていた妙寿砂防堰堤のシャッター部の工事は予定どおり進み、平成 24 年 11 月に機械部分がほぼ完成し動作確認が行える状態になった。上流の河床変動を把握する砂面計 などの観測体制の整備を平成 25 年度に行い(図-7)、シャッター砂防堰堤の作動状況を確認する予定 であったが、平成 25 年 6 月の出水で流れを誘導していた堤防が流されたため不透過部の閉塞作業ができ なくなった。したがって、運用実験は平成 26 年後半以降に持ち越しとなった。



図-7 シャッター砂防堰堤(上流側より)、H鋼の柱は砂面計



図-8 平成25年6月の出水時の状況

(4) シャッター砂防堰堤に関わるモニタリング体制

シャッター砂防堰堤周辺では、流れ、土砂の堆積、流砂量を把握すべく、図―9のようなモニタリン グの体制を計画した。水位計、ハイドロフォン、濁度計、砂面計だけでなく、シャッター部材の鋼管内 に加速度計、マイクロフォン、ひずみ計を設置し、出水中の振動やひずみについてもモニタリングする 予定である。





図-10 実験水路でのシャッター砂防堰堤の模型

⑦**今後の課題・展望**(本技術研究開発で得られた成果を踏まえ、成果のさらなる発展や砂防行政への活用に向けた、 今後の課題・展望等を具体的に記載ください)

流域を縦断的に監視する、流量と流砂のモニタリングシステムは完成した。今後は、この情報により、 平時、出水時に下流河川に対して流量、流砂量の情報を提供するとともに、崩壊、土石流、天然ダム形 成などで、下流で問題を引き起こす土砂生産があった場合はシャッター砂防堰堤を操作して土砂を捕捉 することになる。下流への影響や、シャッター砂防堰堤の効果を予測するためには流域スケールでの流 量、流砂シミュレーターが必要となる。現在、すでに流域監視支援システム(Watershed Management System; WMS)の原型のシステムの開発は終わっており、これを常願寺川に適用してモニタリングを含 めた統合システムに発展させる必要がある。



図-11 常願寺川の流域監視システム

また、ここでは油圧で遠隔操作するクラス5のシャッター砂防堰堤を設置したが、すでに松本砂防事務所や多治見河川国道事務所で建設されている、鋼管などのシャッター部の部材をシャッター砂防堰堤のそばに準備しておいて、必要と判断された時にはクレーン車などで短時間に設置するクラス2やクラス4のシャッター砂防堰堤のさらなる改良や、運用法についても検討を進める必要がある。

(付録)

次ページ以降に平成23年度から26年度の砂防学会で発表した、本課題に関連する発表の概要を示す。 (平成23年度砂防学会)

長山孝彦ほか;常願寺川の縦断的な掃流砂観測と包括的な観測システムの構築に関する取り組み、 p.528-529

(平成24年度砂防学会)

長山孝彦ほか;常願寺川における2011年7月11日のフラッシュフラッドと縦断的な流砂観測、

(平成 25 年度砂防学会)

三上幸三ほか;常願寺川における可動式シャッター砂防堰堤の設置と運用について、A-p. 32-33

田方智ほか;常願寺川における縦断的な掃流砂観測と津之浦下流砂防堰堤での集中観測、A-p. 224-225 (平成 26 年度砂防学会)

三上幸三ほか;常願寺川における時空間的なモニタリングと土砂管理

三上幸三ほか;可動式シャッターによる流水・流砂の効果的な制御に関する水理実験

ほかに(砂防学会誌)で1件公表している。

三上幸三ほか;常願寺川における可動式シャッター砂防堰堤の設置と運用について、砂防学会誌 66-5, p. 42-48, 2014

# 常願寺川の縦断的な掃流砂観測と包括的な観測システムの構築に関する取り組み

国土交通省 北陸地方整備局 立山砂防事務所 田井中 治, 吉村 明, 工藤裕之 日本工営(株) 河川砂防部 〇 長山孝彦, 田方智 日本工営(株) 中央研究所 伊藤隆郭 京都大学大学院 水山高久, 筑波大学大学院 宮本邦明, 京都大学防災研究所 藤田正治

1. 結論: 日本の山地河川を対象としたハイドロフォンを用いた掃流砂観測(栗原ら 1992, 澤井 2001)が試験的に行われ, その後,幾つかの現地において,海外事例を導入し,ピット式流砂箱計測との併用(星野ら 2004)や水位計計測との併用(水 山ら 2002)による計測,京大防災研 穂高砂防観測所による水位計・流速計,ハイドロフォン,濁度計による連続的な計測法 の試み(堤ら 2008)が行われ,山地河川における流水と流砂の不連続性や浮遊砂を除いた掃流砂・ウォッシュロードと水理 量の関係が明らかになってきた.著者らは,国内外の現地の既往計測法の変遷をレビューする(田方ら 2009)と共に,浮遊 砂流を対象としたハイドロフォンによる計測の試み(酒谷ら 2010a)を通じ,京大防災研による試みを更に発展させる試みを行 っている.ここでは,計測断面でのデータをリアルタイムに砂防事務所に集めて集中管理をさせると共に,そのデータの提示 方法,豪雨等に起因した災害発生の予警報システムへの応用,および,流域内の妙寿砂防堰堤に設置予定のシャッター砂

況や現状の課題などを示し、流域にお ける包括的な観測システムの構築の取 り組みについて報告する.

2. ハイドロフォン等を用いた流水・流 砂観測: ハイドロフォンを用いた流砂 計測(音響法)に関する原理とスリット部 など固定断面を用いた計測において, 流速・粒子濃度(体積濃度,個数密度 など)の情報の必要性および流砂形態 に留意した観測等は,前報(酒谷ら 2010a)で示した.

図-1 は, 常願寺川流域における観 測断面(砂防堰堤)とシャッター砂防堰 堤の位置図である. 多枝原平下流の松



図-1 常願寺川の砂防河川流域と流砂観測の砂防堰堤・観測断面の位置図 (多枝原周辺の流域は右上図に示すが,下流域の「上滝」は示していない)



が鉛直方向に設置 図ー2 洋之浦ト流砂防堰堤における流速・ハイトロフォンハルステ され, 流水・流砂の鉛直分布が計測できるような試験的な試みがなさ 7 まます れている(酒谷ら 2010a).

図-2は、津之浦下流堰堤の縦型ハイドロフォン・流速計によって計 測されたデータの一例、図-3は、図-2に示されたデータのうち7時 40分頃に観測されたハイドロフォンのデータを増幅率ごとに示したも のである.いずれも、2010年7月12日~13日における出水によるデ ータであり、千寿ヶ原観測所における雨量データも示し、水位データ は、同堰堤の数 m 上流に設置されたピット流砂箱近傍における水位 計のデータである.なお、この種のデータは、同年の5月6日~9日、 5月23日~27日、6月14日~20日、6月26日~7月2日、8月12 日~13日、8月10日~16日、9月11日~17日、9月22日~28日、 10月4日~10日、10月31日~11月8日に得られている.河床から の高さごとにスリット部の側壁に設置したハイドロフォンパルス近傍の 流速の鉛直分布に関するデータが取得されており、河床より上方の



図-3 津之浦下流砂防堰堤でのハイドロフォン パルス・流速の鉛直分布データ(2010年7月12日)



流砂の移動を検知することに成功している. スリット側面での側面せん断

加砂の移動を検知することに成功している. スリット傾面での傾面もんめ 力の予測や側壁流速分布からスリット断面を通過する流量の算定方法等 に関する問題(酒谷ら 2010b)は残されているものの,流砂,水位・流量に 関する土砂水理量のデータ取得に関する準備が整った. ハイドロフォンの カウンターデータは,パルスを発生させる音響データの最大振幅値と流砂 の運動量の関係を考慮すれば,粒径別流砂量に変換(栗原ら 1992,谷 口ら 1992,澤井 2001)することが可能である. なお,図-3 に示されてい るように,水深より上方において,ハイドロフォンパルスデータが取得され た. これは,鉛直方向に設置したハイドロフォンが,互いに音響データを干 渉するか,出水時の堰堤の振動値を取得したためであり,2010年10月~ 11 月には,ハイドロフォン同士の音響干渉を防ぐためにゴム素材を用いて 対策工を施した. 今後の雪解出水時の観測データ取得が待たれる.

図-4は、松尾砂防堰堤~上滝床固工に至る区間内における2010年4 月~9月における河床に設置されたハイドロフォンのパルスデータ、水位、 雨量の時間変化を示したものである.図-2に示したように2010年には幾 つかの時期においてデータが取得され、掃流砂の上流から下流への伝播 を検討する準備が整備されている.流砂の上流から下流への伝播 を検討する準備が整備されている.流砂の上流から下流への伝播 特性を 把握するためには、濁度・浮遊砂について、同様のデータ取得が必要で ある.図-5は、図-2、図-4において取得される現地観測データや妙寿 堰堤でのシャッター砂防堰堤による人為的流砂制御に関連するデータを 砂防事務所で一括収集・保存し、リアルタイム監視することにより、管理型 砂防計画へ反映させるための光ケーブルによるデータ通信ネットワークに 関する取り組み(未整備のものも含む)について示した。



図-5 計測機器・データ転送(光ケーブルなど) システムと事務所における一括収集システム

3. 結論: 常願寺川の砂防区間における流水・流砂の縦断的な時空間連続観測と光ケーブル等を用いたリアルタイム・集中的な観測データシステムの構築,およびシャッター砂防堰堤の設置が進み,管理型砂防計画,流砂計測の縦断・鉛直方向への拡張の試みと流砂計測の総合土砂管理への位置づけに関する準備が整いつつある. 今後,管理型砂防計画に繋がる 観測断面の計測機器の補修・増強なども含め,計測環境を整備していく予定である.

**参考文献**: 1) 栗原淳一ら:新砂防,44,5,26-31,1992,2) 谷口伸一ら:彦根論叢(滋賀大学経済学会),276-277 号,323-346,1992,3) 澤井健二:砂防学会誌,54,2,75-84,2001,4)水山高久ら:砂防学会誌,55,3,56-59, 2002,5)星野和彦ら:砂防学会誌,56,6,27-32,2004,6) 堤大三ら:京大防災研年報,51号B,661-668,2008, 7) 田方 智ら:平成21年度砂防学会研究発表概要集,308-309,2009,8) 酒谷幸彦ら:平成22年度砂防学会研究発 表概要集,494-495,2010a,9) 酒谷幸彦ら:平成22年度砂防学会研究発表概要集,454-455,2010b.

# 常願寺川における 2011 年 7 月 11 日のフラッシュフラッドと縦断的な流砂観測

国土交通省 北陸地方整備局 立山砂防事務所 三上幸三, 吉村 明, 工藤裕之 日本工営(株) 河川砂防部 〇 長山孝彦, 田方 智, 松岡 暁, 伊藤隆郭 京都大学大学院 水山高久, 筑波大学大学院 宮本邦明, 京都大学防災研究所 藤田正治

1. 緒論: 山地河川における水位計・流速計,ハイドロフォン,濁度計による連続的な計測法の試み(堤ら 2008)が行われ, 流水と流砂の不連続性や浮遊砂を除いた掃流砂・ウォッシュロードと水理量の関係が明らかになってきた. 著者らは,国内 外の現地計測法の変遷をレビュー(田方ら 2009)し,浮遊砂流を対象としたハイドロフォンによる計測法(酒谷ら 2010a)を通 じ,京都大学や京大防災研 穂高砂防観測所の方法を発展させる試みを行っている.ここでは,計測断面でのデータをリア ルタイムに砂防事務所に集めて集中管理をさせると共に,取得データと山地河川における流水と流砂の不連続性,豪雨等 に起因した災害発生の予警報システムへの応用,および,流域内の妙寿砂防堰堤に設置されるシャッター砂防堰堤を用い

た管理型砂防計画への応用を見据え, 流水・流砂計測機器一式を河川に縦断 的に設置したデータの取得状況や現状 の課題などを示し,流域における包括 的な観測システムの構築の取り組みを 示す.一例として,2011年7月11日に 発生したフラッシュフラッドの観測を通じ て得られた結果や課題を報告する.

2. フラッシュフラッドの観測: 2011年7 月11日に,真川上流(図-1参照)の真 川9号堰堤上流域での短期降雨により, フラッシュフラッドが発生した.真川・折 立観測所や下流の千寿原観測所での 降雨強度は,それぞれ,21mm/h(7月 11日 16:00),19mm/h(7月11日



図-1 常願寺川の砂防河川流域と流砂観測の砂防堰堤・観測断面の位置図 (多枝原・真川周辺の流域は右上図,下流域の「上滝」は示していない)

之言下清理是 而下流砂防堰堤

19.4

17:30년(ピ

121下国世 之浦下流砂防期

図-2 CCTV で撮影された 2011 年 7 月 11 日

出水の流況(津之浦下流,本宮砂防堰堤)

1.50

17:00b

19-25bi

16:00) であり, 真川上流域での降雨情報は得られていない. 常願寺川・真川沿いの堰堤に設置された CCTV があり, 上流か

ら, 真川9号, 真川2号, サブ谷, 妙寿, 空谷, 津之浦下流, 本宮の各砂防堰堤での画像が取得された.水位観測所での水位は, 本宮(小見地 点), 横江堰堤(瓶岩地点)で得られている.津之浦下流〜真川9号堰堤 の距離は,約21,600 m であり, 津之浦下流〜横江堰堤真川の距離は,約10,500 m である.

(1) 津之浦下流砂防堰堤: 津之浦下流砂防堰堤の右岸スリットの右岸 側側壁には,電磁流速計・ハイドロフォンが鉛直方向に設置され,流水・ 流砂の鉛直分布を計測する試験的な試みを行っている(図-1 参照,田 井中ら 2011).

a) ハイドロフォン・流速計: 図-2 は、CCTV で撮影された流況(一部) である. いずれもピーク水位・流量が 1 時間程度で減衰している. 図-3 は側壁に鉛直方向に設置された電磁流速計・ハイドロフォンで観測され た流速, ハイドロフォンのパルス数(回数/5 分), 音響データの電圧値(5 分平均値, 以下, 電圧値と表記)である. ピーク水位(17:03 頃)には, 底 面から 0.82, 1.32, 1.82m の高さで, それぞれ, 流速が 3.54, 3.42, 5.56 m/s であった. ハイドロフォンでは, 電圧値, パルス数のデータは鉛直方 向に取得され, 増幅率の大きい(粒径が小さい)パルス数のデータが取 得され, 浮遊成分の粒径の推定や粒径別の粒子個数の予測が可能と考



図-3 底面流速計・ハイドロフォン(パルス数, 電圧値)で観測されたデータ(津之浦下流砂防堰堤)

えられる. しかし, 高さが 2.32m 以上のハイドロフォン(Hp3, Hp4)においては, 水面の乱れ, ハイドロフォン同士の共振, 堰 堤との共振などの原因が考えられるが, 今後の課題である.

b) 水位・CCTV: 圧力式水位計(観測枡中に設置)は計測の 検知をしたものの,急激な水位上昇に追随できず,堰堤湛水 域の水深の半分程度の値しか計測されなかった.そこで,図-2 に示す CTVV の画像を読み取り,堰堤湛水域の水深を読み 取った(読み取り位置を図-2 に示す.).読み取り水深を開い て,スリット 2 門に対して,堰の公式(流量係数=0.5,0.6,0.7) を用いて流量を予測し,一方,図-3に示すスリット側壁の流速 データを用いて,平均流速 um と側壁流速 usb の比(um/usb)を, 対数型流速分布を仮定して, um/usb= 2.0 として,スリット 2 門の

流量を試算した.計算データを図-4 に示す.これによると、堰の公式を用いた水深と流量の関係と電磁流速計を用いた推定値の時間変化に違いがあり、 ピーク付近では、流量係数が0.7程度、減水期には0.5程度のように水深に応じて、流量係数が変化するようである.堰の公式と電磁流速計による比較より、 ピーク流量が550~600m<sup>3</sup>/s程度と思われる.流量波形は、電磁流速計による ものを採用した.

(2) 縦断的なフラッシュフラッド観測: 図-5 は, 現地観測データやシャッタ ー操作に関わるデータ(妙寿堰堤)を砂防事務所でリアルタイム監視し, 一括 収集・保存するための光ケーブルによるデータ通信ネットワークに関する取り 組み(2011年度末時点, 未整備のものも含む)である. 今回の出水では, 水位 データが取得できず, ハイドロフォンや CCTV カメラデータが取得された. そこ で, 下流域の川幅の広い水位観測所(本宮堰堤(小見), 横江堰堤(瓶岩)) におけるデータを用いて, 常願寺川本川におけるフラッシュフラッドの伝播に ついてみた. 本宮堰堤の 10 分間流量や横江堰堤の時間流量は, 観測所の 水位~流量関係を用いたが, これらは暫定値である.

a) ピーク流量: 図-6 は、津之浦下流、本宮、横江砂防堰堤で予測したピ ーク流量と流量波形である.ここでは、津之浦下流堰堤:電磁流速計の予測 値、本宮堰堤:10 分間流量、横江堰堤:時間流量を用いた.津之浦下流、本 宮、横江砂防堰堤のピーク流量は、それぞれ、約 590 m<sup>3</sup>/s、約 640 m<sup>3</sup>/s、約

500 m<sup>3</sup>/s であり, 下流に向かって単純な減衰傾 向を示していないものの, 概ね, 500~600 m<sup>3</sup>/s 程度のピーク流量が伝播したことが分かる.

また、本宮堰堤の時間流量と10分間流量を 比較すると、洪水ピーク流量とピーク時刻に大 きい差が現れており、この種の流れの観測にお ける観測方法について新たな検討が必要であ ることを示す.

b) 伝播速度: ピーク流量が得られた時刻から, フラッシュフラッドの伝播速度をみた. 津之浦下 流~本宮砂防堰堤(約 6,000 m),本宮~横江 砂防堰堤(約 4,500 m)では,それぞれ, 3.7m/s, 5.0 m/s であり, 概ね 4.4 m/s であった.

ピーク流量の減衰が余りなく、比較的大きい伝播速度で洪水伝播がなされた原因は、急勾配の河川であり、河床侵食・堆積が卓越する流れでは無かったためると思われるが、堰堤によるピークカットや降雨データ解析(レーダー雨量計以外も含めた)と併せて、今後、現象解析が必要であるが、今回の観測データは、山地河川における急激な流れに対する観測・計測の知見が示された一例であると考えられる.また、図-1、5 で示した縦断的な観測やスリット部の浮遊砂濃度(個数密度)の鉛直分布については、別報等にて示す予定である.

0

10

20

30

60

70

80

90

100

(mm/h)

逩

700

600

500

400

200

100

0

1<sup>A:00:00</sup>

16:00:00

酬 貨 300

3. 結論: 常願寺川の砂防区間における流水・流砂の縦断的な時空間の連続観測と光ケーブル等を用いたリアルタイム・集中的な観測データシステムの構築およびシャッター砂防堰堤の設置が進み,管理型砂防計画,流砂計測の縦断・鉛直方向への拡張の試みと流砂計測の総合土砂管理への位置づけに関する準備が整いつつある. 今後,管理型砂防計画に繋がる現地データ収集を蓄積し,計測環境を整備していく予定である.

**参考文献**: 1) 堤大三ら:京大防災研年報, 51 号 B, 661-668, 2008, 2) 田方 智ら:平成 21 年度砂防学会研究発表概要集, 308-309, 2009, 3) 酒谷幸彦ら:平成 22 年度砂防学会研究発表概要集, 494-495, 2010a, 4) 酒谷幸彦ら:平成 22 年度砂防学会研究発表概 要集, 454-455, 2010b, 5) 田井中 治ら:平成 23 年度砂防学会研究発表概要集, 528-529, 2011.







図-6 フラッシュフラッドの縦断的な伝播(津之浦下流,本宮,横江堰堤)

20:00:00

22:00:00

0:00:00

18:00:00

# 常願寺川における縦断的な掃流砂観測と津之浦下流砂防堰堤での集中観測

国土交通省 北陸地方整備局 立山砂防事務所 三上幸三, 越野正史, 奥井淳 日本工営(株) ○ 田方智, 長山孝彦, 松岡暁, 後藤健, 伊藤隆郭 京都大学大学院 水山高久, 筑波大学大学院 宮本邦明, 京都大学防災研究所 藤田正治

1. 結論: 山地河川における水位計・流速計,ハイドロフォン,濁度計による連続的な計測法の試み<sup>1)</sup>が行われ,流水と流砂の不連続性や浮遊砂を除いた掃流砂・ウォッシュロードと水理量の関係が明らかになってきた. 著者らは,国内外の現地計測法の変遷をレビュー<sup>2)</sup>し,浮遊砂流を対象としたハイドロフォンによる計測法<sup>3),4)</sup>を通じ,京都大学や京大防災研 穂高砂防観測所の方法を発展させる試みを行っている(図-1).ここでは,計測断面でのデータをリアルタイムに砂防事務所に集めて集中管理すると共に,取得データと山地河川における流水と流砂の不連続性,豪雨等に起因した災害発生の予警報システムへの応用,および,流域内の妙寿砂防堰堤に設置されたシャッター砂防堰堤の将来的な運用を見据え,流水・流砂計測機器一式を河川に縦断的に設置したデータの取得状況や現状の課題などを示し,流域における包括的な観測システムの構築の取り組みを示す.

2. 常願寺川における縦断的な流水・流砂観測: 現地観測データ(水理・流砂系)やシャッター操作に関わるデータ(妙寿 砂防堰堤)を砂防事務所で,リアルタイムに監視し,一括収集・保存するために,光ケーブルによるデータ通信ネットワークを

構築している(図-2).常願寺川(湯 川・真川流域含む)における縦断的な 掃流砂の伝播特性と、出水前後のシャ ッター砂防堰堤の効果、透過型砂防堰 堤の効果、および支川(称名川)の影響 を確認するために、縦断的な水理・流 砂情報の連続モニタリングを行なってい る.なお、2011年7月11日に発生した フラッシュフラッドの縦断的な検知に成 功している<sup>5)</sup>.

3. 津之浦下流砂防堰堤における長期 観測: 津之浦下流砂防堰堤(流域面 積:139.49km<sup>2</sup>,元河床勾配:1/28,堰 堤堆砂域河床勾配(H19 時):約 1/56)



図-1 常願寺川の砂防河川流域と流砂観測の砂防堰堤・観測断面の位置図 (多枝原・真川周辺の流域は左上図、下流域の「上滝」は示していない)



(1) データ整理手法: 長期観測データ(約 70 出水)に対して,雨量(千寿ヶ原)・水位・ハイドロフォンパルスの関係を整理した. 観測当初のハイドロフォンのセンサー管は,現在の 2m より長い. 比較のため, 2m 当たりの長さに対する値に変換した.

(2) 既往出水データの特徴:山地渓流では降雨・流量に対して, 流砂移動が1:1とならず,流砂発生のタイミングが降雨等の出水 タイミングに対して,ズレを生じることが指摘されている<sup>8),9</sup>. 観測 水位(水深)と出水時期に着目して,出水を分類し,降雨・流出と

流砂の応答に関する検討が行われた.今後,水理的 な解釈が必要となるが,水深の規模に応じた分類(水 深が 2.0m 以上の出水,水深が 1.0m 程度の出水), 出水時期(融雪出水と降雨による出水)を分類指標と して,分類を行った(図-4).

a) 水深 2m 以上の出水(降雨): 水位上昇の後に, ハイドロフォンパルスの増加が始まり,水位ピーク時 刻よりもハイドロフォンパルスのピークの時刻が遅くな る. 増幅率の大小に関係なく,水位~パルスの平面 で反時計回りのループを描く. 出水前期に流砂が少 なく,ピーク後の出水後期に流砂が多いことを示す.

b) 水深1m程度の出水(降雨): 1 降雨による1 出水 の場合には、水位上昇とほぼ同時にハイドロフォンパ ルスの増加が始まり、水位ピーク時刻とハイドロフォン パルスのピークの時刻がほぼ等しい. 増幅率の大小 に関係なく、水位~パルスの平面でループは現れな い. 一方、連続降雨中に複数の降雨ピークがある場 合には、水位上昇時にハイドロフォンパルスの増加が 始まり、水位ピーク時刻よりもハイドロフォンパルスの ピークの時刻が早くなる. 増幅率の大小に関係なく、 水位~パルスの平面で時計回りのループを描く. 出 水前期に流砂が多く、ピーク後の出水後期に流砂が 少ないことを示す.

c) 水深 1m 程度の出水(融雪): 融雪出水の場合に は、降雨の前にある程度の水深規模をもつ出水が続 いている. そのため、降雨による水位上昇の前に、増 幅率の大きいハイドロフォンパルスが観測され、その 後、降雨による水位上昇と共に、全増幅率におけるハ イドロフォンパルスの増加が始まる. このときの水位ピ ーク時刻とハイドロフォンパルスのピークの時刻は、ほ ぼ等しい. 増幅率の大きいパルスデータは、水位~ パルスの平面で時計回りのループを描く. 一方、増幅 率の小さいパルスデータは、水位~パルスの平面で

表-1 ハイドロフォンのセンサー管・システムの変遷 ハイドロフォン 設置位置 センサー管 形状 日付 変更点 2001/6 右岸スリット底面右岸側 観測開始 L型 パイプの変形による交換やシステム調整が実施 2005/7右岸スリット底面右岸側 L型 音響変換器交換 - 管形状変更 2005/8 右岸スリット底面右岸側 **直管** 8m ャンサ 2007/6 センサー管長さ変更 右岸スリット底面右岸側 直管 2m 2008/1 右岸スリット底面右岸側 直管 2m 観測枡設置・音響変換器交換 2009/12 観測枡上流 2m センサー管移設 直管 2012/12 右岸スリット底面流心部 直管 センサー管移設 2m 増幅率 16 倍 1倍 水位 XXX 3.0 6000 20 \$ × oo× o ペルス数(回/5分) 40 (断4素) パルス数(回 는 1 2.0 4000 , XO 0 0 × 畫版 100 60 1.0 2000 ◆ 増水期 <減水期 0.0 2 水位 06/07/18 0 06/07/19 06:00 水深 2m 以上の出水(降雨時) 4.0 8000 2000 1016倍 増幅率 64 倍 64倍 16倍 -4倍 1倍 3.0 20 6000 雨量 水位 ·ス数(回/5 Xaooox 튼 뷮 2.0 1000 4000 í 60 匝 500 2000 1.0 ◇増水期 ×減水期 0.0 1.5 2 水位(m) 06/07/24 12:00 06/07/24 00:00 06/07/25 00:00 06/07/25 12:00 水深 1m 程度の出水(降雨時 1 降雨) 4.0 8000 増幅率 64 倍 観測枡重量 (kg) 16倍 1倍 水位 aemertary (mmu/n, mmu/n) パリレス数(回/5分) パリレス数(回/5分) 3.0 6000 0 8 튼 힢 2.0 4000 到(5分) 88 60 mm .)後2000 シンパン × 8 1.0 增水期 ×滅水期 مشار. 0.0 1.5 2 水位(m) 0.5 09/10/08 00:00 09/10/07 12:00 水深 1m 程度の出水(降雨時 連続降雨) 4.0 8000 ☆ 増幅率 256 倍 観測枡重量 (kg) 3.0 6000 x 20 (4/µm (₹ 2000 ((千寿ヶ原) (mr パルス数(回/5) 臣 된 2.0 4000 国/5分) Ě 60 歴 - AC 2000 1.0 へ増水期 ×減水期 0.0 0.5 1 1.5 水位(m) 13/03/ <u>水深 1m 程度の出水(融雪時)</u> 図-4 特徴的な出水時のグラフと水位-パルスの関係

ループを描かない. すなわち, 融雪時には, 粒径の小さい流砂が多く発生・流下し, 追加降雨時には, 粒径の大きい流砂も 発生し降雨による洪水前期には流砂が多く, ピーク後の出水後期に流砂が減少することを示している.

(3) まとめ: 津之浦下流砂防堰堤の長期観測から,出水規模・パターン(時期)に応じて,流砂発生・流下の幾つかの時期的なパターンが現れることが示された.これは,山地渓流における流水と流砂の不連続性や粒径別流砂量の不連続性を示す一例である.

4. 結論: 常願寺川における流水・流砂情報の縦断的な連続観測,津之浦下流砂防堰堤における流砂応答,光ケーブル 等を用いたリアルタイム・集中的な観測データシステムの構築およびシャッター砂防堰堤の整備が進み,流域監視,流砂観 測の時空間計測の試みと,流砂観測の総合土砂管理への位置づけを議論する基礎データ取得のための準備が進みつつ ある. 今後とも,各種観測・データ解析を継続し,流域内の土砂動態把握を進めていきたい.

参考文献: 1) 堤大三ら: 京大防災研年報, 51 号 B, 661-668, 2008, 2) 田方智ら: 平成 21 年度砂防学会研究発表概要集, 308-309, 2009, 3) 酒谷幸彦ら: 平成 22 年度砂防学会研究発表概要集, 494-495, 2010, 4) 田井中治ら: 平成 23 年度砂防学会研究発表概要 集, 528-529, 2011, 5) 三上幸三ら: 平成 24 年度砂防学会研究発表概要集, p510-511, 2012, 6) 水山高久ら: 砂防学会誌, Vol55, No.3, p.56-59, 2002, 7) 水山高久ら: 砂防学会誌, Vol57, No.6, p.56-59, 2005, 8) 大久保駿ら: 砂防学会誌, Vol41, No.4, p.21-25, 1988, 9)星 野和彦ら: 砂防学会誌, Vol56, No.6, p.27-32, 2004

# 常願寺川における可動式シャッター砂防堰堤の設置と運用について

国土交通省 北陸地方整備局 立山砂防事務所 〇 三上幸三,高橋博己,越野正史,奥井 淳 日本工営株式会社 大橋広治,長山孝彦,田方 智,伊藤隆郭 京都大学大学院 水山高久

1. 結論: コンクリートスリット砂防堰堤は,洪水時には水位せき上げ効果により土砂を捕捉し,洪水後は,河川自流により下流に対して無害な土砂を流下させることを期待した砂防施設である。それは,山地渓流の連続性を確保し,水生生物などの生態系や環境面に配慮した施設でもある。一方で,流量時系列と流砂の関係を想定し,流量制御(例えば水山 1991 など)の検討がなされおり,例えば大暗渠などのスリット形状以外の透過型砂防堰堤に関する検討が行われてきた。近年では,砂防堰堤による土砂調節の議論(西本 2011 など)が紹介され,土石流区間に限らず掃流区間においては透過型砂防堰堤の貯砂量と土砂調節機能を区別して考える方向が検討されつつある。これに応えるための一手段として,土砂流出を積極的に制御する機能をもつシャッター砂防堰堤が議論されている。水山(2011)は,透過型砂防堰堤に対して,新たなシャッター砂防堰堤の考え方を用いて5段階に分類し,開口部の大きい透過型砂防堰堤をクラス1,一方,油圧等の動力でシャッターを出水中に開閉するものをクラス5のように区別する考え方を示し,実際の現地において,土砂調節が実施可能な姿を示した。立山砂防事務所では,積極的な土砂流出の制御を目指した取り組みとして,平成20年よりシャッター砂防堰堤の適地選定,表え方や構造をとりまとめ,設計施工を進めており,このたび試験運用する段階に至った。ここにその概要を報告する。

2. 妙寿砂防堰堤における可動式シャッター:シャッター堰堤の設置は,下流側に空谷や津之浦下流等,複数の砂防施設 堰堤に流水・流砂観測断面があり,シャッターの下流への影響・効果をモニタリングすることが容易である,妙寿砂防堰堤を

選定した(図-1)。スリット幅の大きい(7.5m) 妙寿砂防堰堤にクラス 5 の可動式シャッタ ーを設置した。ここでの流域条件は,流域 面積:115.2km<sup>2</sup>,平均川幅:60m,平均河床 勾配:1/30,水通し部の計画洪水流量: 1980m<sup>3</sup>/s,スリット部の満水流量:316m<sup>3</sup>/s(フ ルード数が 1 想定による試算値),河床材 料(2009 年度時点)の 90%粒径:600mm, 平均粒径:326mm である。

次に,可動式シャッターの構造について 記述する。シャッター部は、3本の可動式横 桟からなり、その上方の固定横桟は、4本の 横桟からなる。検討過程において, 可動式 横桟(下部)の形式は,横桟の自由落下型 や,動力によるゲート型などの種々の形式 が抽出されたが,出水中に空気中から水中 にシャッターを移動させる場合,水圧の影 響が大きく,自重による自由落下では、シャ ッターが水没しない(稼働しない)ことが予見さ れた。そのため、本堤では動力による動力に よるゲート型で、しかも、油圧による駆動が行 える形式とし、トルク軸・軸ねじり式の逆フラッ プ式(フラップゲートの駆動の逆形式)の可 動型鋼管スクリーン(鋼管横桟)とした (図-2, 写真-1)。ゲート駆動部(動力軸)には,引張 り強度が確保されて, 軸径を小さくする部材 とし,曲げ,せん断,ねじりせん断とこれらの 合成,曲げとせん断の合成に対する強度照 査を行っている。横桟の構造については,妙 寿砂防堰堤のスリット部を対象とした水理実 験により、スリット部の掃流力分布から掃流砂 の移動層厚(例えば,水理公式集 1999)を







の移動層厚(例えば,水理公式集 1999)を 図-2 シャッター堰堤改良 一般図 写真-1 可動式シャッター完成写真 算定したところ,約 3.0m 程度の大きさが推定されたため,スリット下部の可動式シャッターによる対処を行う高さを 3.0m と設 定した。河床(スリット床版)と最下部の横桟の隙間は砂礫の噛み合いを避けるため約 18cmと大きく確保,一方で側壁と可動 シャッター部の隙間は,石礫混入を避けるために小さく設定(70mm)した。

可動式横桟の特徴について述べる。横桟の間隔は,通常,土砂捕捉のためには最大粒径の0.5倍程度に設定されるが,稼働時に横桟同士の隙間で"すきま流"に起因する振動が懸念されるため,可動式横桟の間隔を広げることで対応した。ま

た,石礫等の衝突による鋼管のへこみに対応するために,損傷部 の交換可能な構造(フランジ構造)とした。また,許容ひずみについ ては,道路橋示方書に準拠した設定を行っている。

なお、シャッターの閉操作にかかる時間は、約10分である。操作 については、堰堤右岸側の操作室での操作と、立山砂防事務所から遠隔操作ができるよう設定した。

3. 可動式シャッター堰堤の効果と運用(モニタリング・維持管理): シャッターを稼動させることにより,スリット部からの急激な土砂流出 (供給)(図-3参照)防止,砂防事業における土砂処理箇所を限定 させる効果および効率的な土砂処理の可能性等が期待できる。

シャッター運用に際しては、流量や土砂の動きをモニタリングし、 それに応じた開閉操作を行うこととなる、そのため、水理量、流砂に 関するモニタリングが必要不可欠である。幸いなことに、常願寺川 においては、昭和 40 年代頃から、土石流や掃流砂の観測が行わ れ、昭和 60 年代~平成初頭にかけて、先駆的な流砂観測・計測機 器の設置・観測が行われている。平成 24 年時点では、湯川の松尾 砂防堰堤・真川の真川 2 号砂防堰堤から、常願寺川中流域の本宮 砂防堰堤の区間において、掃流砂や Wash load の連続観測のため のハイドロフォン、ピット式流砂箱の設置・観測、砂防堰堤のスリット

部,水通し部を利用した水位,流速の 計測を縦断的に行うことにより,水文・ 水理および土砂水理に関する時系列 データが一括して収集出来るように機 器・計測システム等が整備されてきて いる(三上ら 2012)。このような背景を 活かし,効果検証については,流域内 観測とあわせた運用を進める予定で ある。

加えて、妙寿砂防堰堤周辺におい て、効果検証を行うために必要な各種 観測機器を設置した。流況観察のた めのカメラ、堰堤堆砂域の河床変動と シャッターによる河床変動の時間変化 を見るための、砂面計(10m ピッチに3 基、右岸側)、水位計を水理条件の異 なる3カ所(堰堤堆砂域の水位把握, シャッター操作の基準値計測,シャッ



ター出口(スリット部))に設置,また,シャッター出口(スリット部)の流砂特性の把握のために,濁度計,ハイドロフォン,底面 流速計を設置している(図-4)。また、横桟の耐久性や挙動を観測し今後の改善のためのデータ収集を行う目的で,横桟鋼管 周りにも計測機器を設置,操作室では油圧システムの稼働状況を記録している。当面は,その目的毎に記録を取りながら, 適宜,試験的な開閉を行う。最終的には出水前期に見られる過大な河床侵食による河床低下,出水後期における流送され る土砂供給による河床上昇など,掃流区間の実現象を,シャッター操作により,平滑化させる方策を検討したい。

4. 結論: シャッター砂防堰堤が運用されるためには、緒論で述べたとおり、"水文・水理量の時系列データが連続的に取得 され、それらが蓄積される用意がなされていること"、および、"計測を縦断的に行うことにより、水文・水理および土砂水理に 関する時系列データが一括して収集出来るように機器・計測システム等が整備されていること"が前提となる。妙寿砂防堰堤 の可動式シャッターは、平成 24 年度に完成したが、シャッター周辺の流水・流砂モニンタリング機器の情報ネットワーク化は、 次年度に引き続いて実施し、試験運用の段階に入る予定である。今後は、稼働に合わせて各種観測及びデータ解析を行 い、具体的なシャッター操作方法の検討を進めるとともに、効果検証を実施する予定であり、これに併せてシャッター全体や 部材、流水・流砂のモニタリングを進め、シャッター砂防に関する基礎データを示していく予定である。

参考文献:1) 水山高久: 流量を制御して土砂流出を制御する新しい砂防, 砂防学会誌(新砂防), Vol.44, No.1, p.43, 1991, 2) 西本晴男: 砂防堰堤の土砂調節効果について, 砂防学会誌 Vol.64, No.4, p. 46-51, 2011. 3) 水山高久: シャッター砂防堰堤へのプロセス, 砂防学会誌, Vol.64, No.4, p.64, 2011, 4)土木学会編:水理公式集(平成11年度版), 第2章, 1999, 5) 三上幸三, 吉村明, 工藤裕之, 長山孝彦, 田方 智,松岡 暁, 伊藤隆郭, 水山高久, 宮本邦明, 藤田正治: 常願寺川における2011 年7 月11 日のフラッシュフラッドと縦断的な流砂観測, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, p. 510-511, 2012.

## 常願寺川における時空間的なモニタリングと土砂管理

国土交通省 北陸地方整備局 立山砂防事務所 三上幸三<sup>\*1</sup>, 越野正史<sup>\*2</sup>, 奥井淳<sup>\*3</sup>, 桒原美里 <sup>\*1</sup> 現 水管理・国土保全局, <sup>\*2</sup> 現 黒部河川事務所, <sup>\*3</sup> 現 神通川水系砂防事務所 日本工営(株) ○宅見唯明, 長山孝彦, 後藤健, 伊藤隆郭

京都大学大学院 水山高久, 筑波大学大学院 宫本邦明, 京都大学防災研究所 藤田正治

1. 結論: 山地河川における水位計・流速計,ハイドロフォン,濁度計によ る連続的な計測法の試み<sup>1)</sup>が行われ,流水と流砂の不連続性や浮遊砂を 除いた掃流砂・ウォッシュロード(以下,W.L.と略称)と水理量の関係が明ら かになってきた. 筆者らは,掃流砂に対するハイドロフォンによる計測法<sup>2)-5</sup>を通じ,京都大学や京大防災研 穂高砂防観測所の方法を発展させる 試みを行っている.また,妙寿砂防堰堤に可動ゲートを有する可動式シャ ッターを設置し,積極的な土砂流出の制御を行う取り組みを行っている<sup>6)</sup>. ここでは,計測断面でのデータをリアルタイムに砂防事務所に集めて集中 管理すると共に,山地河川における流水と流砂の不連続性,豪雨等に起 因した災害発生の予警報システムへの応用,および流域内の妙寿砂防堰 堤に設置された可動式シャッターの将来的な運用を見据え,河川に縦断 的に設置した流水・流砂計測機器一式のデータ取得状況を示し,流域に おける包括的な観測システムの構築の取り組みを示す.

#### 2. 常願寺川における縦断的な流水・流砂観測:

(1) データ収集と集積方法: 現地観測データ(流水・流砂)やシャッター 操作に関わるデータ(妙寿砂防堰堤)を,砂防事務所でリアルタイムに監 視し,一括収集・保存するために,光ケーブルによるデータ通信ネットワー クを構築している(図-1).

(2) 縦断的な流水・流砂観測: 2013 年 6 月 19 日に発生した出水で, 妙寿砂防堰堤(以下, 妙寿と略称)において仮締切が決壊した. その出水における縦断的な観測データが取得された. 図-2 は, 空谷砂防堰堤, 津之

浦下流砂防堰堤(以下,津之浦下流と略称),称名 川20号床固,本宮砂防堰堤の水位,ハイドロフォン の観測データ及び流量,浮遊砂・W.L.の観測デー タを示している.ハイドロフォンデータのうち,称名 川20号床固のみ国総研方式による単位幅掃流砂 量を示し,その他の観測地点では増幅率ごとのパ ルス数を示している.流量は,後述する津之浦下流 以外の観測地点では流量観測を基に作成した H-Q 式から算出した.浮遊砂量・W.L.量は,濁度計計 測値から0.005mm 以下の土砂を用いて作成した線 形のキャリブレーション式を用いて算出した容積土 砂濃度と流量から算出した.図-2 中の点は,浮遊 砂観測及び流量観測の実測値である.

(3) 固定断面における集中観測: 津之浦下流で は、右岸スリット部に水位計・ハイドロフォン・観測 枡・底面流速計、右岸スリット側壁(右岸側)に鉛直 方向にハイドロフォンと流速計を並べた縦型ハイド ロフォンシステムが設置されている.

a) 縦型流速計データを用いた流量算出: 図-2 中の津之浦下流の流量は、スリット側壁の流速計と 水位計の計測値を用いて、平均流速 umと側壁流速 usb の比(um/usb)を、対数型流速分布と仮定して、 um/usb=2.23 として、スリット 2 門の流量を算出した. 図-2 に示す直下流の千寿ヶ原の流量観測データ と良く一致している.

b) 微細砂の鉛直分布と粒径推定: 図-3 は,津 之浦下流の縦型ハイドロフォン(鉛直方向最下段, 底面から 0.82m)の出水ピーク時の観測データであ

津之浦下流砂。 (右岸) 加速度計 マイクロフォン ハイドロフォン 土砂調節効果\_ 観測 水位計 ハイドロフォン 空谷砂防堰圳 濁度計 濁度計 砂面計 底面流速計 ハイドロフォン 縦型ハイドロフォン <u>シャッター稼動</u> トリガー 水位計 濁度計 縦型電磁流速計 CCT 観測枡(ロードセル) 底面流速言 称名川20号床園 真川第2号砂防 立山砂防亭務所 ハイドロフォン 水位計 濁度計 データ収集装置 (サーバー) 水位計 別ライン 流速計 リアルタイム表示 本宫砂防堰堤 事務所にて一括データ 収集,解析・表示,操作など ハイドロフォン 凡例 光ケーブル 接続済み 濁度計 底面流速計 光ケーブル 接続予定 水位計 別ライン 流速計 図 -1 計測機器・データ転送システムと

妙寿砂防堰堤 (シャッター砂防堰堤)

ャッター部材 挙動観測 ひずみ計

事務所における一括収集システム



る. 増幅率の大きいパルス数のデータが取得されており, 微細砂の粒径別の粒子個数の予測が可能である. ハイドロフォンの音響データの周方向の振幅最大値と衝突した砂礫の運動量との線形関係<sup>70</sup>を利用して, 衝突した砂礫の粒度分布を推定した(図-3).

(4) 微細土砂の伝播と流量観測: 2013 年 6 月 19 日 8:35~12:00 頃にかけて, 妙寿の下流側の仮締切が流出し, 13:00~14:00 頃にかけて, 上流側の仮締切が決壊した. CCTV 画像から判読される仮締切の流出状況(図-4 上図)と津之浦下流 (妙寿を基準として下流 4,020m)での濁度計計測値(図-4 下図)から得られた情報を示す.

1)6月19日8時15分頃より妙寿の下流側の仮締切が侵食される.津之 浦下流では、9時頃より流量に対して、浮遊砂・W.L.量が増加する.

2) 6月19日12:00頃に水位は上昇しているが,妙寿砂防堰堤の下流側の仮締切の侵食が収まり,津之浦下流砂防堰堤でも,浮遊砂・W.L.量が減少する.

3) 6月19日12時以降から水位増加の後に13時頃,上流側の仮締切が 決壊する.津之浦下流では14時の流量ピーク時に合わせて,浮遊砂・ WL量が増加する.その後は,流量の減少と共に浮遊砂・W.L.量が減 少する.

なお,津之浦下流での流量とハイドロフォンパルス数の関係を見たところ, 掃流砂の到達は検知されず,仮締切決壊による掃流砂成分の流下は見 られなかった.

(5) シャッター砂防堰堤: 妙寿砂防堰堤では可動式シャッターが整備されている<sup>の</sup>. 試験運用において, シャッターの効果を検証するためのモニタリングが必要になる<sup>の</sup>. 常願寺川で進められている流水・流砂モニタリン グとそれらの情報通信・データ集積方法は, シャッターによる土砂管理や 流域監視に対して, 効果的な機能を発揮することになる(図-5).

4. 結論: 常願寺川における流水・流砂情報の縦断的な連続観測や光 ケーブル等を用いたリアルタイム・集中的な観測データシステムの構築が 進み,一方,可動式シャッター砂防堰堤の整備が進んだことにより,流砂 観測の時空間計測を踏まえた流域監視が可能となってきた.また,流砂 観測の総合土砂管理への位置づけを議論するための基礎データ取得が 取得されつつある.各種観測・データ収集解析を継続して,流域内の土 砂動態の把握と総合土砂管理への方向性を見出す予定である.

参考文献: 1) 堤大三ら:京大防災研年報, 51 号 B, 661-668, 2008, 2) 酒 谷幸彦ら:平成 22 年度砂防学会研究発表概要集, 494-495, 2010, 3) 田井中 治ら:平成 23 年度砂防学会研究発表概要集, 528-529, 2011, 4) 三上幸三 ら:平成 24 年度砂防学会研究発表概要集, p510-511, 2012, 5) 三上幸三ら: 平成 25 年度砂防学会研究発表概要集, pA-224-A-225, 2013, 6) 三上幸三 ら:砂防学会誌, Vol.66, No.5, p.42-48, 2013, 7) 栗原淳一ら:砂防学会誌, Vol.44, No.5, p.26-31, 1992





粒度分布(2013 年 6 月 19 日 14:00)



# 可動式シャッターによる流水・流砂の効果的な制御に関する水理実験

国土交通省北陸地方整備局立山砂防事務所 三上幸三\*\*, 越野正史\*\*, 奥井 淳\*\* ※現水管理·国土保全局,※現黒部河川事務所, ※現神通川水系砂防事務所 日本工営(株) 長山孝彦, 〇田方 智, 渡部春樹, 伊藤隆郭 京都大学大学院 水山高久, 中谷加奈, 筑波大学大学院 宫本邦明, 京都大学防災研究所 藤田正治

1.はじめに: 立山砂防事務所管内 にある妙寿砂防堰堤においては, 稼働式シャッターが設置されている <sup>1),2)</sup>. シャッター砂防堰堤の施工後の試験運 用においては、横桟型のシャッター周り に発生する振動や変形、シャッター閉塞 のためのトリガーとなる流量の設 定およびシャッター稼働による土砂制 御の機能・効果の把握が必要であ る.

本研究では,妙寿砂防堰堤を対 象として, シャッター稼働を行う際の水理条件を得 るために,直線水路実験を行った. シャッター砂防 堰堤が持つ水理特性や土砂移動特性を把握す ると共にシャッターを閉じる際に効果的な流量に関 しての検討を行った.

### 2.妙寿砂防堰堤と施設諸元

#### 1) 妙寿砂防堰堤

妙寿砂防堰堤に関する諸元は下記の通りである(図-1参照). ・流域面積:115.2 km<sup>2</sup>, 平均河床勾配:1/30(掃流区間),水通し 幅:54.0 m, スリット幅:7.5 m, スリット高さ 8.5 m, 平均川幅:60m 2) 水理条件

シャッター操作を伴う水理特性および土砂移動特性を把握するた めに、シャッター部の形状・隙間および堰堤高さが大きく再現できる ような縮尺(模型縮尺:1/25)とし(表-1参照),堰堤水通し の一部を再現した抽出模型とした.なお、図-1に示すように 平均川幅 60m に対して、シャッター部を含む幅 20m を取り込み範囲 とした.相似則には、Fr相似則を適用し、諸量の設定を行った. なお、流量に対しては、抽出模型の幅(20m)に対するスリット幅

(7.5m)比が大きいため, 無ひずみ模型(模型縮尺:1/75)を用いて, 水位・流量関係を得て, これに水位を合わせ るように流量を変換した.従って、流量に対するひずみ模型となる.流量波形は、昭和44年出水のハイドログラフを用い、 図-2に示すように減水期想定のハイドログラフを設定した.なお、後述するが、シャッター開時による土砂流出をみるために、同出水の波

形を適用して、増水期ハイドログラフも設定した. 粒度分布は図-3 に示すように模型値において d<sub>60</sub>が 10.9mm (原型値 250mm), d<sub>95</sub>が32mm(原型値600mm)の模型砂を使用した.

3.水深・流量関係: 図 - 4 に清水時におけるシャッター砂防堰堤 (全開, 全閉)の水深・流量関係を示す. 図-4 では, 堰堤 湛水域の最大水深および現地で水位計が設置されているダ ム軸から12.5mの水深を用いた関係を示している、シャッター全 閉時は全開時と比較するとスリット部の流下時(非越流時)に は、シャッターの影響が見られるが、 越流時には、 その差は余り 見られない. 減水期にシャッターを稼働させるためには、 20/0h の大きい越流部よりもスリット部に流れが流下する時に 20/2h が小さく、しかも、ほぼ一定値とみなせるため、ここでは、



図-1 妙寿砂防堰堤の施設諸元



表 - 1 相似則の変換例





図-3 模型砂の粒度分布

700 □全開(最大水深) 600 ◇全閉(最大水深) <全開(ダム軸から12.5m) 500 全閉(ダム軸から12.5m (s) (в) 400 ) 画 援 300 200 • 100 非越济 越況 10.0 0.0 2.04.06.0 8.0 12.0 水深(m) 図 - 4 水深·流量関係(清水時,全開·全閉時)

両者の境界となる O=280~300m<sup>3</sup>/s をシャッター稼働の候補流 量とした.

#### 4.シャッター操作による土砂調節機能

(1) 土砂流の水深・流量関係

図-5 は土砂流時の減水期におけるシャッター全開時の水 深・流量関係である. 越流時には、 湛水域の土砂堆積の 影響をうけ、20/わが清水時よりも大きくなるが、スリット 部を流れ・流砂が流下する時には, スリット部が満水時に H~Q 関係に不連続が見られるものの,水深・流量関係は 清水流のものと比べて余り違いが見られない. 土砂流の シャッター稼働(閉時)においては, H~Q 関係と合わせて, スリ ット部からの流砂量の時系列を見る必要

600 □ 全開(土砂流) 500 400 (S/8) 流量(m 300 非越济 200  $150m^{3/3}$ -0 100 非越 越流 0 6.0 <sup>6.6m</sup> 10.0 2.0 8.0 0.0 4012.0 水深(m) 図 - 5 水深・流量関係(土砂流, Run8)

がある. (2) 土砂調節機能

表-2は、実験ケース(Run7~Run12) および堰堤からの流出土砂量である.

図-6は Run7 (ジャッター全開, 定常流量 Q=150m<sup>3</sup>/s), Run8 (シャッター全開, 減水期 非定常流)の流出流砂量である.Run8に

おいては、減水期のシャッター全開時の土砂流出について次のことがわ かる. (a)  $\partial Q_{h}/\partial t \approx 0$ , (b)  $\partial Q_{h}/\partial t > 0$ , (c)  $\partial Q_{h}/\partial t < 0$  であり, (b)はスリット 部からの減水期における流出流砂量の増加であり、(c)は流量減少に 伴い、堆砂域の土砂移動限界流量(約 85m<sup>3</sup>/s) に近づくために生じ る流砂量の減少である.(b)を見ると、スリット部からの流出流砂量が増 加し始める 6~8h (Q=200~150m<sup>3</sup>/s) 近傍において流砂量の調節を行 うと流出流砂量の調節が効果的であると考えられる.一方、Run7 に おいては、Q=150m<sup>3</sup>/s における定常流時のスリットからの流出流砂量の 時系列データを見たものである.これを見ると、パット部における流 出流砂量が、Q=150m<sup>3</sup>/s において、通水後から急激に減少しており、 シャッター開時における土砂流出の制御に効果的な流量であることが確 認できる.図-7は、減水期中にシャッター閉、開操作を行ったもの

(Run10),減水期中の 150m<sup>3</sup>/s 時にシャッター閉操作を行ったもの (Run11)である.これは、Run7,8において、シャッター操作による土砂流 出の制御において効果的な流量を対象とした操作である.なお, Run10 においては、図 - 6 に示す(b), (c)の境界(Q=150m<sup>3</sup>/s:12h) におい て、シャッターを仮に開操作したものである.これによると、減水期の1 出水中において、シャッター閉操作を行うことにより、流出流砂量の制御 が行われることが分かる.一方,1出水中にシャッター開操作を行うと,シ ャッター開時の流出流砂量の増加が見られ,1出水中の閉・開操作は,流 出流砂量から見て、相応しくない可能性がある.図-8は、Run10の通 水後河床を初期河床として、図-2に示す増水期ハイドログラフを与えて、シャッター 開操作を行い,流出流砂量の変化を見たものである. シャッター開操作は Q=150m<sup>3</sup>/s において行った. これによると, シャッター開操作による流出 流砂量が若干増加するが, 増水期中の湛水域の水位せき上げにより 流出流砂量は余り増加しないことがわかる.

5.おわりに: 妙寿砂防堰堤を対象として, シャッター稼働を行う際の水理 特性を得るために,直線水路実験を行った.減水期ハイドログラフを対象



表-2 実験ケースと総流出土砂量

堰堤からの

堰堤堆砂域の

Run No

Run7

Run8

Run9

Run10

Run11

Run12



として、土砂調節の効果が高いシャッター操作(閉操作)のトリガーとなる流量(Q=150~200m³/s)を得た.併せて、清 水流および土砂流時の水深・流量関係を得て、両者は越流時に特性が異なることが示された. 今後は、次期出水を想 定したシャッター開時の流量やタイミング等に関する検討を行う予定である.

参考文献: 1) 三上幸三ら:砂防学会誌, Vol.66, No.5, pp.42-48, 2013., 2) 三上幸三ら:平成 25 年度砂防学会研究発表 概要集,A224-225, 2013.