

## 常願寺川中流域における直接・全流砂計測の試行

北陸地方整備局 立山砂防事務所 小竹利明, 村元陽介  
日本工営(株) ○長山 孝彦, 古谷 智彦, 松田 悟, 伊藤 隆郭  
京都大学名誉教授 藤田 正治

**1. 結論:** 立山砂防事務所管内では、流域を通じた計器配置による流砂観測が 2008 年より継続されており、約 15 年にわたる観測データの蓄積が進められてきた(図-1)。これにより、洪水時における流砂量の時間変動や粒径特性に関する知見が蓄積されつつある一方、各観測手法が有する計測限界も明らかとなってきた。

具体的には、ウォッシュロード成分は濁度計により把握可能であるものの、粒径情報を直接得ることは困難であり、また掃流砂観測に用いられているパルス式ハイドロフォンでは、流砂量が増大した際に出力が飽和する問題や、転動する礫の捕捉率が低下する問題が指摘されている(図-2)。これらの制約により、特に浮遊砂成分の定量的把握が不十分であることが、流砂動態の総合的理解における課題として残されている。

浮遊砂のみを分離・直接計測することは、現時点では技術的・運用的な制約が大きい。そこで本研究では、浮遊砂と掃流砂を区別せず、出水時に流下する全流砂量を直接捕捉する手法として、全流砂観測水路を用いた観測を試行し、従来手法では把握が困難であった土砂移動実態の解明を目的とした。

### 2. 全流砂観測設備の配置と構成

**2.1. 観測設備の配置:** 既存の観測機器による流砂観測には、浮遊砂および掃流砂の双方に計測限界が存在することを踏まえ、本研究では出水中に流下する土砂を物理的に全量捕捉する方法を採用した。具体的には、河道内に大型水路を掘削し、流下中の流砂(掃流砂・浮遊砂)を水路内に導入・沈降させることで、全流砂を捕捉することを狙いとした(図-3)。

この方法により、出水後に堆積した土砂量および粒度分布を直接計測することが可能となり、従来の観測限界により十分に把握できなかった土砂移動現象の実態把握が期待される。

設置箇所は、概ね掃流区間に相当する下流域を候補として複数案を比較検討した結果、空谷砂防堰堤の堆砂敷を選定した。空谷砂防堰堤堆砂敷は、出水時にはほぼ全幅通水する地形条件を有し、多角的な流砂観測を実施している津之浦下流砂防堰堤に近接している点も考慮した(図-1)。

**2.2. 観測設備の構造:** 全流砂観測水路は、浮遊砂が沈降・堆積し、再懸濁が生じにくい規模とすることを目的として、延長 100 m、深さ 2 m、底幅 3 m の素掘り水路とした(図-3)。水路の形状および設置方向については、事前に 2 次元河床変動シミュレーションを実施し、出水時の流況を確認した上で決定している。

当初は掘削断面の安定性を考慮し、ラス張り等による掘削面保護を検討したが、施工費とのバランスを踏まえ、掘削前後に高精度測量を実施することを前提として、掘削面保護は行わない方針とした。

**3. 観測より得られた成果:** 観測期間中において、全流砂観測水路が概ね満砂となった出水イベントは、令和 7 (2025) 年 6 月 15 日の出水である。本出水の最大時間雨量は 14 mm であった(図-4)。空谷砂防堰堤には水位・流量観測機器が設置されていないため、本研究では一つ上流側に位置する妙寿砂防堰堤の観測データを用いて出水状況を整理した。妙寿砂防堰堤では、同日 4 時 45 分に最大水位 1.22 m を記録している。



図-1 常願寺川流域

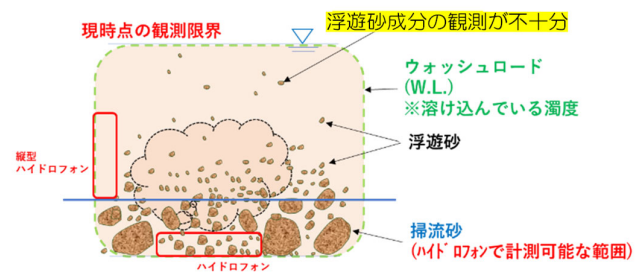


図-2 流砂観測機器の計測限界



図-3 大型水路による全流砂観測の概要

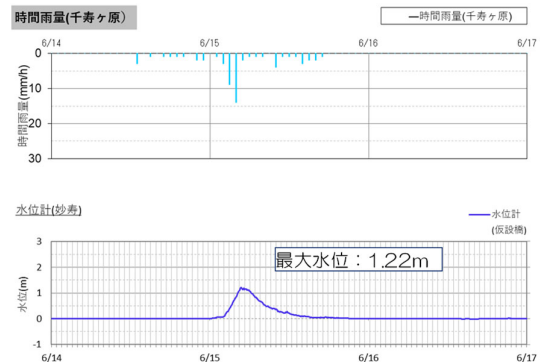


図-4 計測対象となった出水

また、空谷砂防堰堤右岸上流に設置したインターバルカメラの画像より、令和7(2025)年6月15日午前5時頃に出水が発生し、全流砂観測水路内に土砂が堆積していく様子が確認された(図-5)。



図-5 出水時の流下状況

出水前後には UAV-SfM による堆砂計測を実施するとともに、堆積構造把握を目的としてトレンチ観察および材料調査を行った。

**3.1. 捕捉土砂量:** 令和7(2025)年6月12日(出水前)および同年6月18日(出水後)に実施した UAV-SfM 測量結果を用いた差分解析により、本出水における全流砂観測水路内の堆積土砂量は  $1,060 \text{ m}^3$  と算出された(図-6)。堆積厚は水路全体で概ね  $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$  であり、滞筋に相当する位置では相対的に堆積厚が小さい傾向が認められた。

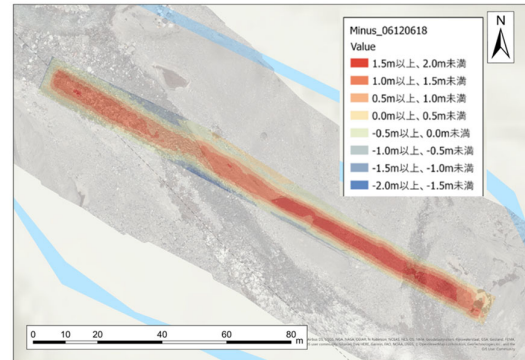


図-6 堆砂後の差分解析結果

**3.2. 堆積構造:** 全流砂観測水路内の堆積土砂を対象として、上流・中流・下流の3地点でトレンチ観察および材料調査を実施した。代表例として上流側の観察結果を図-7に示す。上流側には明瞭なラミナ構造を有する砂層、下流側には砂礫層が分布していた。砂礫層は礫径および礫含有率の違いにより最大7~8層に区分され、中間層では礫径5cm以下の円礫・亜角礫と粗粒砂基質が卓越した。これらの堆積特性から、対象とした1出水中においても5~7回程度の土砂移動イベントが記録されたものと推察される。

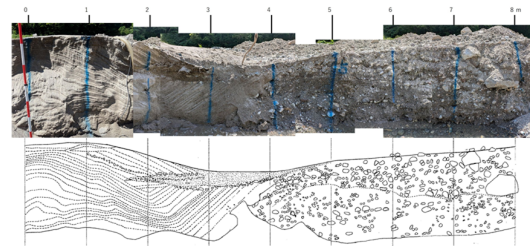


図-7 トレンチ観察例(上流側)

**3.3. 土砂動態の推定:** 土砂量とその堆積土砂の粒度分布試験結果等より、全流砂観測水路で捕捉した土砂の土砂量および粒径成分の推定を実施した。

(1) 流量および水位の推定

出水当時、空谷砂防堰堤には流量・水位観測データが存在しないため、下流に位置する津之浦下流砂防堰堤の流量観測結果および Manning 式を用いて、空谷砂防堰堤における流量および水位を推定した。

津之浦下流砂防堰堤のピーク流量は  $320.8 \text{ m}^3/\text{s}$  であり、空谷砂防堰堤および津之浦下流砂防堰堤の流域面積はそれぞれ  $127.9 \text{ km}^2$ ,  $131.49 \text{ km}^2$  である。流域面積比より、空谷砂防堰堤のピーク流量は  $312.0 \text{ m}^3/\text{s}$  と推定された。ピーク流量の  $1/4$  を代表流量とすると  $78.0 \text{ m}^3/\text{s}$  となる。粗度係数は山地河川の一般値である  $0.04$ 、水路幅は出水時画像より全幅通水と判断し  $75 \text{ m} \times 1.1$ 、河床勾配は写真測量結果より  $0.015$  とした。これより、ピーク流量時の水位は  $1.13 \text{ m}$ 、代表流量時の水位は  $0.49 \text{ m}$  と推定された。

(2) 土砂の運動形態と粒径

本出水におけるウォッシュロード (W.L.), 浮遊砂, 掃流砂の粒径区分を検討した。W.L. の粒径は  $d < 0.5 \text{ mm}$  とした。代表流量時の水位から限界摩擦速度を算出し  $0.27 \text{ m/s}$  とした。無次元限界掃流力は砂防河川の一般値である  $0.05$ 、礫の比重は現地材料の見かけ比重測定結果より  $2.544$  を用いた。その結果、移動限界粒径は  $9.66 \text{ cm}$  と算出された。この値は、トレンチ観察において卓越する礫径や、津之浦下流砂防堰堤に設置された縦型ハイドロフォンによる浮遊砂検知結果とも整合的である。以上より、本出水における粒径と運動形態の関係は以下のように整理される。

W.L. (ウォッシュロード)  $< 0.5 \text{ mm} < \text{浮遊砂} < 9.66 \text{ cm} < \text{掃流砂}$

(3) 全流砂観測水路内で捕捉した土砂の割合

UAV-SfM 差分解析により求めた全捕捉土砂量  $1,060 \text{ m}^3$  を、上流・中流・下流の3区間に分割し、各区間(約  $353 \text{ m}^3$ ) について粒度試験結果に基づき運動形態別土砂量を算出した。

その結果、令和7(2025)年6月15日の出水において、全流砂観測水路で捕捉された土砂のうち、浮遊砂成分が約8割を占める結果となった(表-1)。このことは、従来の観測手法のみでは浮遊砂成分の把握が十分でなかった可能性を示唆している。

表-1 運動形態別土砂量(全体)

運動形態	粒径 $d$	土砂量(見かけ)
W.L.	$d \leq 0.5 \text{ mm}$	$114 \text{ m}^3$
浮遊砂	$0.5 < d < 9.66 \text{ cm}$	$818 \text{ m}^3$
掃流砂	$9.66 \text{ cm} \leq d$	$129 \text{ m}^3$

**4. 結論:** 本研究では、全流砂観測水路を用いた直接捕捉手法により、従来の流砂観測設備では把握が困難であった浮遊砂を含む全流砂量およびその粒径構成の内訳を、

実測に基づいて把握することができた。また観測水路で捕捉された流砂の堆積構造からは、対象とした流量条件下における土砂の流送堆積過程が1出水中においても不連続で断続的に行われていることが明らかになってきた。今後、流量規模の異なる条件において同様の観測を継続的に実施することにより、流量規模別の全流砂量を実測に基づいて推定できる可能性がある。計測データに基づく全流砂量の把握は、砂防堰堤群による土砂流出調節効果の定量的評価を可能とするだけでなく、数値シミュレーションを用いた流域全体の土砂管理計画での検証にも資するものと考えられる。今後は、「総合土砂管理」や「流域治水」への応用を見据え、簡易で再現性の高い本手法の適用事例を蓄積することが望まれる。

**参考文献:** 1) 三輪賢志ら: 令和5年度砂防学会研究発表会概要集, p.127-128, 2023. 2) 三上幸三ら: 砂防学会誌, Vol.66, No.5, p.42-48, 2013. 3) 川合康ら: 平成28年度砂防学会研究発表会概要集, (B), p.40-41, 2016.