

転倒マス式掃流砂計を用いた掃流砂採取調査

室蘭開発建設部 二風谷ダム管理所 ○矢萩 愛彦
二風谷ダム管理所 佐々木 晋
株式会社ドーコン 土門 優介

二風谷ダムでは、ダム湖から流出する土砂の特性把握を目的に、雨量計等で用いられる転倒マスの原理を応用した測定器を採用し、掃流砂の採取調査を実施している。本報告では、二風谷ダムで採用した転倒マス式掃流砂計の概要と平成24年度から平成25年度の融雪出水期までの期間における調査結果をとりまとめ、報告する。

キーワード： 掃流砂、転倒マス式掃流砂計、土砂動態

1. はじめに

二風谷ダムでは、「沙流川水系河川整備計画 [変更] (直轄管理区間) 平成19年3月」¹⁾に基づき、水系一貫の土砂管理に必要な土砂に係る基礎データの収集を目的とし、二風谷ダム下流域における土砂の実態把握の一環として掃流砂採取調査を行っている(図-1)。

二風谷ダムからの流出土砂のうち、浮遊砂については、河川水の直接採取により、モニタリングしている。

掃流砂については、観測手法として河床面又は河床内への採取器の設置により、掃流砂を直接採取する方法と、荷重計を利用した重量の計測²⁾又はハイドロフォンを利用した音響の計測³⁾により、掃流砂量を推定する手法がある。

前者は、掃流砂を直接採取できるが、掃流砂量の経時変化の把握において、コスト等の観点から容易でない。

後者は、掃流砂量の経時変化の把握が可能だが、掃流砂を直接採取しないため、掃流砂量及び粒度の推定精度は推定式に依存する。

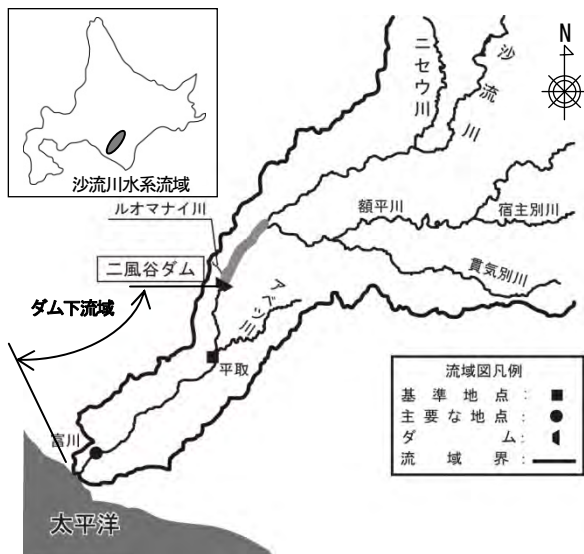


図-1 二風谷ダム位置図

一方、河床変動や掃流砂量が小さい河川を対象とした掃流砂観測法として、河床内トラップ型簡易掃流砂計(以下、転倒マス式掃流砂計)を用い、掃流砂の直接採取と同時に掃流砂量の経時変化を把握した研究報告⁴⁾がある。

二風谷ダムでは、掃流砂の直接採取による掃流砂量及び粒度とその経時変化に着目し、転倒マス式掃流砂計を用いて、掃流砂の量と質に関する特性の把握を試みた。

本稿では、二風谷ダムで採用した転倒マス式掃流砂計の概要と平成24、25年度に実施した転倒マス式掃流砂計を用いた掃流砂調査結果について報告する。

2. 観測方法

(1) 転倒マス式掃流砂計の概要

本掃流砂採取調査では、図-2に示した構造を持つ転倒マス式掃流砂計を用いた。

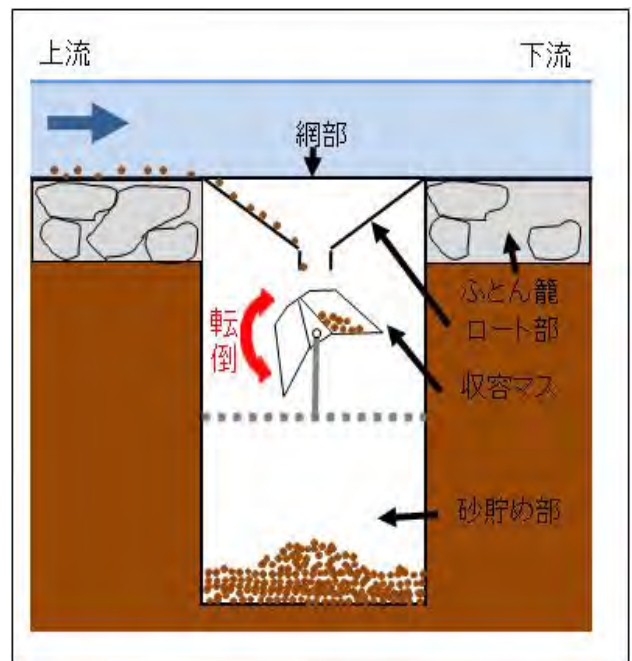


図-2 転倒マス概念図

この転倒マス式掃流砂計は、河床内に設置し、その上面を通過する掃流砂を捕捉し、その土砂が網部を通り、ロート部で集められ、下部の収容マスを転倒させることで掃流砂量を測定する機器である。マスが転倒した時間は、転倒マスと一体となったデータロガーに記録される。つまり、転倒マス式掃流砂計は、掃流砂の直接採取と掃流砂量の経時変化の把握が可能である。二風谷ダムでは、沙流川での転倒マス式掃流砂計の適用に向けた基礎データの取得を目的とし、本調査前に稼働試験を実施した。

(2) 転倒マス式掃流砂計の稼働試験

試験は、ダム下流2.5kmの河床変動が小さい箇所に転倒マス式掃流砂計を設置し、融雪出水及び夏季秋季出水期を含む平成23年2月24日から平成24年7月6日までの期間実施した。

試験の結果、転倒マス式掃流砂計の動作に係る「網部及びロート部の目詰まり」、「砂貯め部の満砂」、「転倒マスの回転不良」の3つの問題点が明らかとなった。

(3) 転倒マス式掃流砂計の改良

以下に、3つの問題点と改善方法について説明する。

a) 網部及びロート部の目詰まり

平成23年8月2日～12月13日に設置した転倒マスを回収した際、網部及びロート部に藻が繁殖し、目詰まりが発生していた。このため、捕捉した掃流砂は、ロート部より下部に到達できない状態であった(写真-1)。

そこで、網部及びロート部に目詰まりを防ぐために、網部のメッシュサイズを3.4×3.4mmから5.0×5.0mm(写真-2(ア))、ロート部の口径を15.0mmから20.0mmに拡大した(写真-3)。



写真-1 目詰まり発生状況

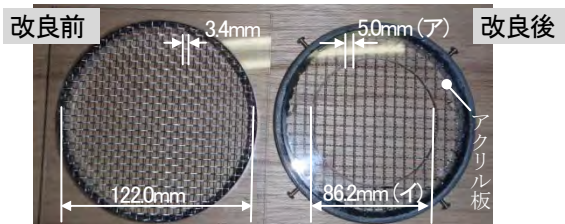


写真-2 網部における改良前(左)と改良後(右)の比較



写真-3 ロート部における改良前(左)と改良後(右)の比較

b) 砂貯め部の満砂

平成23年2月24日～8月2日の期間に設置した転倒マスを回収した際、砂貯め部が満砂になり、ロート口部まで堆砂していた(写真-4左)。そこで、融雪出水期間を通じた掃流砂の捕捉のため、砂貯め部の深さを約0.18mから10倍程度の2.0mに拡張した(写真-4右)。なお、その後の試験期間においても、掃流砂の堆積増を確認したため、開口部を面積比で2分の1に縮小した(写真-2(イ))。



写真-4 左：砂貯め部の満砂状況 右：拡張した砂貯め部

c) 転倒マスの回転不良

平成24年2月13日～7月6日の期間設置した転倒マスを回収した際、転倒マスは回転軸上の収容マスと固定用ステー(以下、ステー)の間で土砂が噛み、回転しにくい状態であった(図-3左)。また、データロガーによる転倒マスの回転記録においても、融雪出水初期である4月7日まで2回のみであった。上記2つの事実から、転倒マスは、融雪出水初期に回転軸部で土砂が噛み、転倒マスの回転抵抗がマス内に堆積した土砂による回転力よりも大きくなったため、転倒マスの回転が止まったと判断した。

そこで、回転軸上の収容マスとステーの間で土砂が噛むことを防ぐために、収容マスとステーの間に確保可能な幅である1mmの隙間を設けると共に、土砂の入り込みを防止するために、その直上に傘となる突起を設置した(図-3右)。

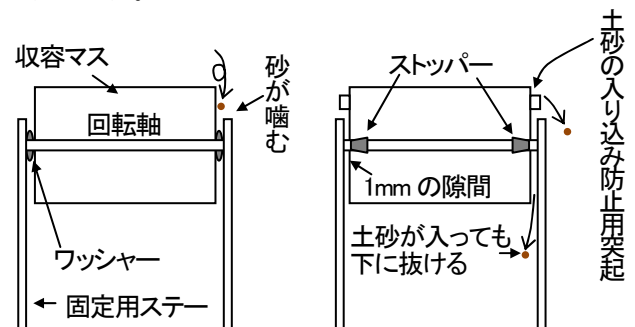


図-3 回転軸部の改良前(左)と改良後(右)

(3) 設置箇所と方法

稼働実験を行い、明らかとなった問題点を改善することで、転倒マスの沙流川への適用が可能であると判断し、改良した転倒マス(以下、改良転倒マス)を用いた掃流砂採取調査の実施に向け、設置箇所を選定した。

改良転倒マス設置箇所は、オリフィスゲートから流出する掃流砂の特性を把握するために、①ダムからの直接流水箇所、②平常時に露出、出水時に水没箇所、③中州堆積物による影響が小さい箇所、④オクマウシ川からの土砂流入による影響が小さい箇所を考慮し、**図-4**に示すとおり、河床とほぼ同じ低い位置に設置しているダム放流主ゲート（以下、オリフィスゲート）直下における中州最上流部のうち、オクマウシ川合流部から最も離れた場に設定した。

また、設置に際し、設置箇所における河床及び転倒マスを固定するため、河床にふとん籠を敷設した上で、転倒マスを設置した（**写真-5**）。

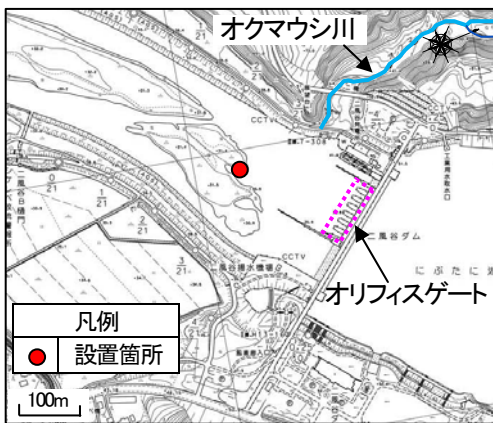


図-4 転倒マス設置箇所



写真-5 左：ふとん籠 右：設置した転倒マス

(4) 設置・回収時期

融雪出水期と夏季及び秋季出水期において流出する掃流砂の特性を把握するために、融雪出水期は、融雪前に設置し、融雪出水後に回収、夏季及び秋季出水期は、融雪出水後に設置し、夏季及び秋季出水後に回収した（**表-1**）。

表-1 改良転倒マス設置時期

対象期間	設置期間
融雪出水期	平成24年12月17日 ～平成25年7月29日
夏季及び秋季出水期	平成24年8月28日 ～平成24年12月17日

3. 観測結果

改良転倒マスの回収により、砂貯め部への土砂の堆積、データロガーへの転倒時刻の記録を確認した（**表-2**）。

表-2 期別の堆積重量と全転倒回数

対象期間	①全転倒回数	②堆積重量	②/①
融雪出水期	549回	3,141g	5.72g/回
夏季及び秋季出水期	269回	2,158g	8.02g/回

これらの結果をもとに全乾燥重量を全転倒回数で除し、融雪出水期で5.72g/回、夏季及び秋季出水期で8.02g/回に時間毎の転倒数を乗じ、掃流砂捕捉係数、土砂密度、川幅等を考慮した上で掃流砂量に換算した（**図-5**）。

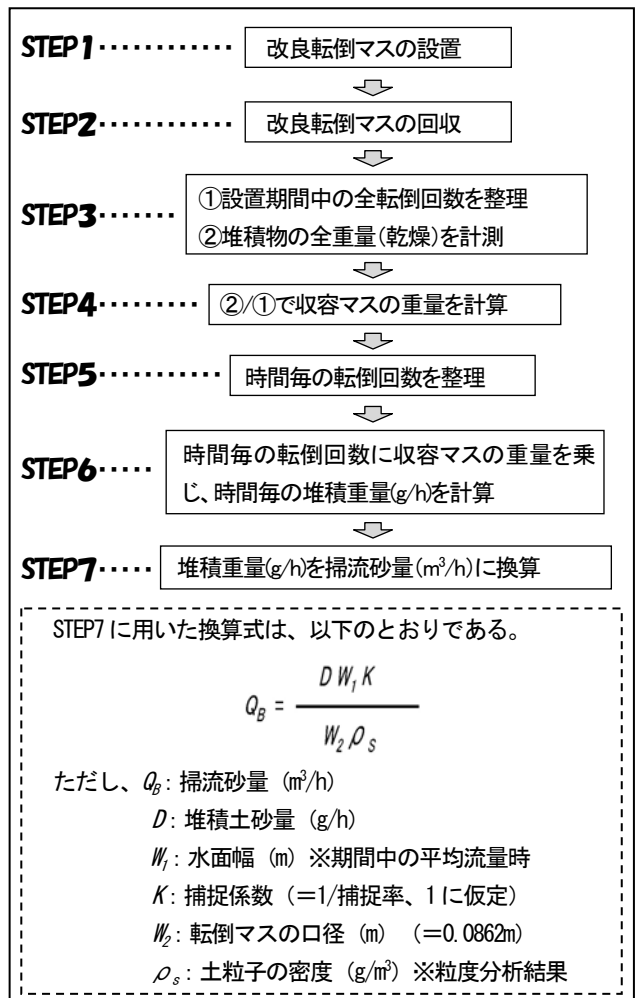


図-5 掃流砂算出フロー

掃流砂量の算出にあたり、オリフィスゲート操作開始以前の50m³/s以下の放流においては、掃流砂の発生がないと仮定し、データを棄却した。加えて、一連の転倒から次の転倒の発生までの時間（以下、無転倒時間）が4時間未満については、按分したほか、4時間以上は、転倒マスの不確実性を考慮し、棄却した。なお、堆積土砂粒度の経時変化は、全重量に対する各時間の積算重量割合を堆積コアの各深度へ適用することで把握した。

(1) 融雪出水期（平成25年度）

融雪出水期の出水状況として、流量ピークを持つ出水が大小約10回観測され、期間中最大出水となる4月8日に日平均放流量が約290m³/sのピークを持つファーストフ

ラッシュ（以下、F1）を4月4～11日にかけて観測した（図-6）。

掃流砂は、冬季閉門していたオリフィスゲートを開門した4月4日18時7分の24分後、18時31分に観測された。

掃流砂の採取状況と粒径特性として、F1のピークまではシルト～中砂、以後中砂であった（写真-6、図-7）。

掃流砂量は、F1時において4月5日に日最大となる約0.4m³、出水期間を通じた4月4～10日で約1.3m³であった。その後、4月15日にピークを持つ第2回出水までは、掃流砂が確認されたが、5月8日～6月12日には出水が約5回発生したものの掃流砂は観測されていない。融雪出水期を通じた掃流砂量は、約2.3m³であった。

掃流砂量と出水との関係として、F1時においては、流量ピーク前に掃流砂量のピークがあり、以降出水時に掃流砂量が確認された2回の出水では、掃流砂量のピークは流量ピークに同期した。

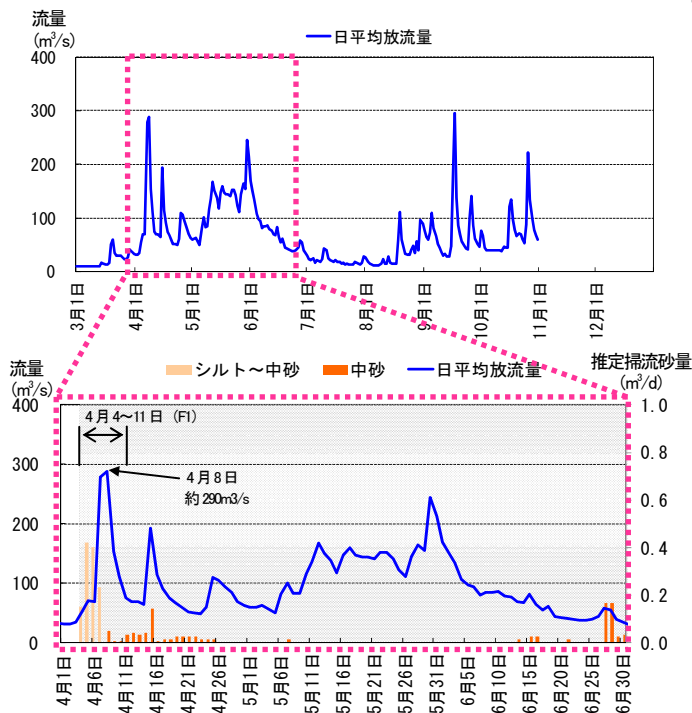


図-6 融雪出水期における掃流砂量の観測結果と放流量（グラフの網掛けは、オリフィスゲートの開門を示す）

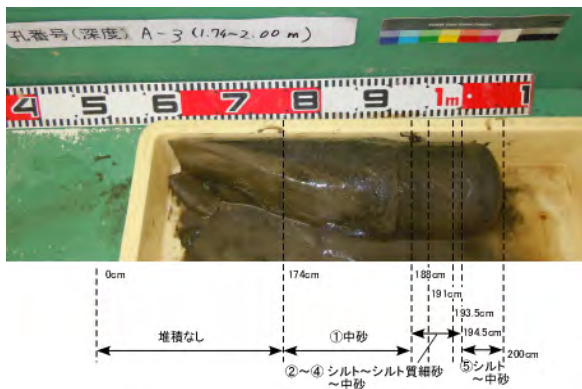


写真-6 融雪出水期における採取結果

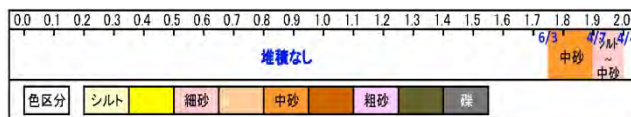


図-7 融雪出水期における粒度の観測結果

(2) 夏季及び秋季出水期（平成24年度）

夏季及び秋季出水期の出水状況として、ピークを持つ出水が大小約5回観測され、9月10日に日平均放流量が約180m³/sの流量ピークを持つ出水（以下、F2）が期間中最大規模であった（図-8）。

掃流砂とオリフィスゲートの関係として、期間中、ゲートは流量に応じて6度開閉を繰り返しており、そのうち3度、掃流砂は観測されず（図-8①）、2度が開門から1時間以内に観測され（図-8②）、1度が4日後に観測された（図-8③）。

掃流砂の粒径特性については、期間を通じて細砂～中砂であった（写真-7、図-9）。

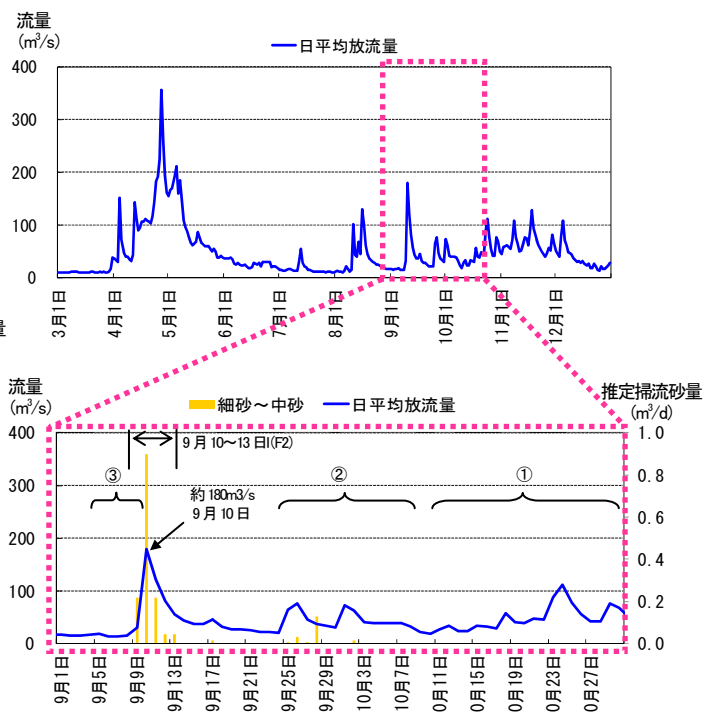


図-8 夏季及び秋季出水期における掃流砂量の観測結果と放流量（グラフの網掛けは、オリフィスゲートの開門を示す）



写真-7 夏季及び秋季出水期における採取結果



図-9 夏季及び秋季出水期における粒度の観測結果

掃流砂量は、F2時において9月10日に日最大となる約0.9m³、出水期間を通じた9月9～14日で約1.4m³であった。

その後、日平均放流量が約100m³/sを超える出水が10月下旬に発生したが、掃流砂は観測されていない。

日平均放流量が約100m³/sを超える出水時の掃流砂量と出水との関係として、掃流砂の観測があったF2時においては、掃流砂量のピークが流量ピークに同期した。

4. 考察

(1) 転倒マス式掃流砂計を利用して分かったこと

a) 転倒マス式掃流砂計の沙流川への適用

本調査では、転倒マス式掃流砂計の一部改良により、沙流川における掃流砂の捕捉を行った。改良転倒マスを使用することで「掃流砂の直接採取」のほか「掃流砂量の経時変化」を確認でき、掃流砂に関する特性の把握に有効であることがわかった。

b) 掃流砂量と流量の関係性

観測期間中の全ての出水ではないもののF2の様に掃流砂量のピークが流量ピークに同期する出水を確認した。

c) 掃流砂量のオリフィス開閉による影響

融雪出水期においては、①開門直後からの掃流砂の観測、②開門時の出水（F1）初期における掃流砂量ピークの発生、③期間中の出水の中で、開門時の出水（F1）の総掃流砂量が最大という結果から、オリフィスゲートにおいて冬季～F1発生までの長期閉門時に蓄積された土砂が、F1発生時にオリフィスゲートの開門により一斉に流出し、その結果として掃流砂量に影響したと考えられる。

夏季及び秋季出水期においては、オリフィスゲートの開閉が短期間に繰り返されており、また掃流砂量とオリフィスゲートの開閉の間に明瞭な関係が確認されたケースが少なかった。

d) 掃流砂流の流量、オリフィスゲート開閉以外の要因

大規模出水のF1及びF2後の期間において、出水が観測されているにもかかわらず、掃流砂量が減少又は観測がないことや、掃流砂が観測された最低流量を大きく上回る流量時において、掃流砂の無観測期間が確認された。掃流砂量の決定要因として流量及びオリフィスの開閉以外が寄与している可能性がある。

(2) 課題と今後の展望

転倒マスを用いた掃流砂採取調査についての課題と今後の展望を挙げる。

a) 掃流砂の捕捉率

本調査においては、転倒マスの捕捉率を1、すなわち転倒マス上を通過した掃流砂を全て捕捉しているという仮定の下、掃流砂量を推定した。しかし、実際に転倒マ

スが捕捉した掃流砂は、転倒マス上を通過する全掃流砂の一部であると考えられることから、より精度の高い掃流砂量の推定を行うためには、掃流砂の捕捉率を明らかにする必要がある。

b) 堆積コアの回収方法

堆積物は粒度層毎に粒度区分を行ったが、夏季及び秋季出水期の粒度区分が異なる状態であった(図-9)。

この要因のひとつとして、堆積コア回収時における振動による堆積コア内における土砂の攪拌が考えられる。

このことから、土砂堆積状態を維持した分析のため、土砂の攪拌の少ないコア回収方法を検討する必要がある。

c) 堆積コアの粒度の把握

堆積土砂の深度に応じた粒度分析は、粒度の経時変化を把握するために必要であり、本調査では、粒度層毎に目視観測により実施している。

今後は、より詳細かつ客観的な粒度の経時変化の把握に向けて、一定間隔に細かく区分した層毎に、粒度試験を行う必要がある。

d) データの蓄積

転倒マスを利用した掃流砂採取調査方法は、上記課題の他、構造的な問題も潜在していると思われる。

このことから確かな掃流砂の量と質に関する特性の把握に向けて、観測データを蓄積する必要がある。

5. おわりに

二風谷ダムにおいて、掃流砂の直接採取による掃流砂量とその経時変化を同時に把握する機能を有する転倒マスを用いた掃流砂採取調査の実施により、掃流砂量に関する特性の把握を試み、転倒マス式掃流砂計の一部改良により、沙流川における実測による連続的な掃流砂量データの取得を行うことができた。そして、取得したデータの解析により、掃流砂と流量の関係において、いくつかの出水で掃流砂量のピークと流量ピークがほぼ同期しており、また、F1発生時におけるオリフィスゲートに蓄積された土砂の一斉流出等、ゲートの開閉との関係を確認することができた。一方で、掃流砂の捕捉率、深度に応じた粒度分析等の課題が明らかとなった。

このことから、より精度の高い掃流砂量の把握のため、上記課題の克服に取り組み、今後も転倒マス式掃流砂計を利用した掃流砂採取調査を継続していきたい。

引用・参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局(2007)：沙流川水系河川整備計画[変更](直轄管理区間)。
- 2) 二村貴幸, 山本浩一, 坂野章, 小川和彦, 日下部隆昭, 末次忠司(2004)：荷重計を用いた新しい掃流砂量観測手法の開発, 河川技術論文集, Vol. 10, pp. 291-296.
- 3) 桑村貴志, 外山淳(2003)：音響を利用した掃流砂観測手法の開発, 北海道開発土木研究所月報, No. 596 2003年1月.
- 4) 二瓶泰雄, 塗師劉生(2005)：河床内トラップ型簡易掃流砂計の試作, 河川技術論文集, Vol. 11, pp. 327-332.