

農林地流域から流出する土砂量の観測

(独) 土木研究所寒地土木研究所 水利基盤チーム ○鵜木 啓二
古檜山 雅之
(独) 土木研究所寒地土木研究所 道北支所 細川 博明

流域からの土砂流出に対する抑制対策を実施するためには、土砂流出量の予測技術を開発する必要がある。この予測技術の精度確認のためには、まずは現地データを取得しなければならない。本研究では、農林地流域を対象に、河川を流下する土砂のうち浮遊砂を濁度計と自動採水器で、掃流砂を音響式掃流砂計で観測した。また、この観測値と流域末端の沈砂池に堆積した土砂量を比較することにより、観測精度の検討を試みた。

キーワード：土砂流出、農地、濁度計、音響式掃流砂計

1. はじめに

農地からの土砂流出は、肥沃な土壌の流出による農地の生産性低下や土砂堆積による排水路の機能低下を引き起こす。また、排水路に流入した土砂は下流の湖沼等に流出し、土砂に含まれる栄養塩類とともに水環境を悪化させ、水生生物の生育環境や漁業への影響が問題となる。北海道の畑地は、圃場の大規模化で降雨や融雪水が集中しやすいこと、受食性の比較的高い火山性土壌等が分布している地域があること、収穫後に地表面が被覆されていない裸地状態で融雪出水があること、傾斜圃場が広く分布することなどから、水食の危険性が高いと考えられる。一部の湖沼では土砂の堆積による生態系への影響が顕在化しているが十分な対策が実施されているとはいえない。流域からの土砂流出に対する抑制対策を実施するためには、土砂流出量の予測技術を開発する必要がある。この予測技術の精度確認のためには、まずは現地データを取得しなければならない。

河道を流下する土砂の形態はウォッシュロード、浮遊砂、掃流砂に大別される。本研究では、ウォッシュロードと浮遊砂を合わせて浮遊砂と記す。農地からの土砂流出のみを対象とするのであれば、観測対象は浮遊砂のみで十分と考えられる。しかし、流域面積が数km²の農林地流域を対象とした場合、流出土砂発生箇所は農地だけでなく、林地や林道、河道等が想定され、掃流砂も流下している。そのため、土砂流出対策施設の規模決定には、掃流砂も含めた土砂流出量を把握する必要がある。

そこで本研究では、農林地流域を対象に、河川を流下する土砂のうち浮遊砂を濁度計と自動採水器で、掃流砂を音響式掃流砂計で観測した。また、この観測値と流域末端の沈砂池に堆積した土砂量を比較することにより、観測精度の検討を試みた。

2. 調査方法

(1) 調査方法概要

現地調査は北海道網走郡美幌町内の豊幌川に設置されている沈砂池で実施した(図-1)。本施設は、1997年度から2004年度に実施された国営総合農地防災事業「網走川上流地区」において、下流域への土砂流出を抑制するために整備された。

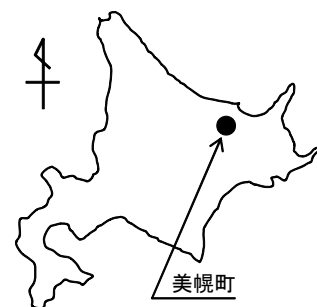


図-1 調査地点

本研究では、沈砂池に流入した掃流砂はすべて池内に堆積すると考えた。すなわち、沈砂池への流入土砂量(=掃流砂+浮遊砂)は、沈砂池の堆積土砂

量と沈砂池からの流出土砂量（＝浮遊砂）の和に等しいことになる。そこで、上記沈砂池において、流入・流出・堆積土砂量の調査を行った。現地調査の観測体制を図-2に示す。なお、本研究で観測する沈砂池の堆積物や水中の浮遊物質には有機物も含まれるが、堆積土砂、浮遊砂として整理した。

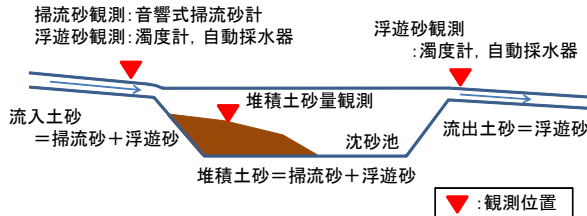


図-2 沈砂池に流出入する土砂と観測体制

(2) 掃流砂の観測方法

a) 音響式掃流砂計概要

掃流砂量は音響式掃流砂計で観測した。音響式掃流砂計とは、内部にマイクロフォン備えた金属管（掃流砂計）を流れに対して鉛直方向に河床に埋設し、河床を移動してきた砂礫が金属管に衝突した時の音響データを電圧（音圧値）に変換してロガーに記録する装置である。おもに砂防学分野において、この音圧値を掃流砂量に変換する研究が1980年代から進められてきた¹⁾。現在、音圧値を掃流砂量に変換する方式は大きく2つに分類される。ひとつは、観測した音圧値が閾値を超えた回数をパルス数として計数して記録する手法であり（これをパルス法と記す）、多くの研究実績がある^{2),3),4)}。もう一つは、観測した音圧値そのものを記録し、音圧値または音圧の積分値から直接的に流砂量に変換する方法（これを音圧法と記す）であり、未だ研究事例は少ない^{5),6)}。

パルス法は、従来の手法では音響式掃流砂計による観測と並行して掃流砂を直接採取し、音響式掃流砂計の観測値（パルス数）と掃流砂量の実測値を統計的に処理して連続的な掃流砂量に変換する必要があった。掃流砂の直接採取は、河床を大きく掘削して機器を設置するなど規模の大きい装置が必要となるため簡単ではない。現在は、音響から音圧値に変換するときの増幅率が異なるパルス数の比率から粒径分布を推定するなどの改良が行われているが⁷⁾、掃流砂量への換算方法は未だ確立していない。一方、音圧法は、課題は残っているものの⁸⁾、現地での簡易なキャリブレーション試験のみで、音圧値から流砂量に換算する一連の手法が確立している。以上から、本研究では音圧法を採用した。

音圧法は極めて短時間間隔でのデータの取得が必要であり、膨大なデータ量となることが指摘されているが⁹⁾、現在は大容量の電子記録媒体が開発されており、自動計測機で長期間のデータ収録が可能と

なっている。

b) 観測方法

使用した音響式掃流砂計は、掃流砂計と音響変換器、データロガー等で構成されている（図-3）。掃流砂計設置箇所の河床幅は1.5m、掃流砂計の測定部長さは0.8mである。掃流砂計は図-4に示すような形状に加工した。現地では河床を掘削し、河床のセンターラインと掃流砂計中心部が合うように設置・固定を行った。観測間隔は15分で、1回の観測につきサンプリング周期100kHz（10 μ s）で5秒間記録した。観測期間は2011年9月16日から12月5日までである。

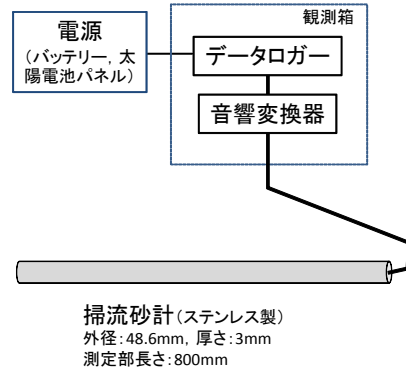


図-3 音響式掃流砂計システム概要

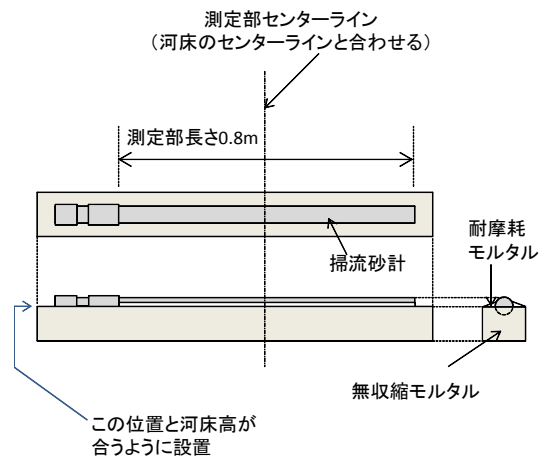


図-4 掃流砂計の設置方法

c) 音響データから掃流砂量への変換方法

音響データから掃流砂量への変換は、鈴木ら⁵⁾の理論により行った。

鈴木ら⁵⁾は、音響式掃流砂計の特性として、衝突粒子数が増加すると音波の干渉が増大することにより、掃流砂量の増加と音圧値の増加が比例関係ではないことを明らかにした。そして、予想される音圧値に対する観測された音圧値の割合を検出率と定義して音圧値と掃流砂量、検出率、衝突粒子数に以下の関係があることを示した。

$$\alpha \times Q_s \times R_i = S_p \quad (1)$$

$$R_i = f(N) \quad (2)$$

α : 比例定数、 Q_s : 掃流砂量、 Sp : 音圧値

R_i : 検出率、 N : 衝突粒子数

そこで、音響式掃流砂計を設置した現地において、粒子径が既知の砂礫を個別に掃流砂計に衝突させて波形を計測する個別衝突試験を実施し、 α と(2)式を算出した。

次に、個別衝突試験データの波形を重ね合わせることで元データの10倍の波形データを作成し、このときの検出率(R_{10})と衝突個数($10N$)の関係式 $f(10N)$ から、以下の検出率比(R_{10}/R_i)の関数形を求めた。

$$R_{10}/R_i = f(10N)/f(N) \quad (3)$$

以上(1)~(3)式から、以下の手順により観測値(音圧値 Sp) から掃流砂量に変換した。①観測値の R_{10}/R_i の値から(3)式により衝突粒子数(N)を算出する。②算出された N から(2)式により検出率(R_i)を算出する。③すでに決定されている比例定数(α)と R_i から(1)式により掃流砂量を算出する。なお、本研究では、掃流砂の大部分は洪水時に流下すると考え、降雨出水による流量増加の立ち上がり点から、低減部分の第2変曲点までを直接流出期間とし、この期間のみを掃流砂流下量算出の対象とした。

(3) 浮遊砂の観測

浮遊砂は自記濁度計による濁度と自動採水器による採水試料の浮遊物質量を相関させて連続的な浮遊砂濃度を観測した。また、河川流量は、随時流量観測を実施して水位流量曲線を作成し、自記水位計の観測値から連続値を観測した。そして、浮遊砂濃度と流量を乗じて浮遊砂量を算出した。濁度に欠測のある期間は流量と負荷量の関係式から換算した。観

測期間は、掃流砂量と同期間である。

(4) 沈砂池の堆積土砂量観測

沈砂池に堆積した土砂量の測定として、沈砂池を縦2m横1mの格子で区切り、各格子点における堆積土砂頂部の標高を測量した。測量作業は、陸地化している箇所は徒歩により、水中部分はボートを使用して堆積土砂を乱さないように実施した。観測日は、2011年10月5日と11月29日で、標高差から増加量(体積)を求め、単位体積重量を乗じて重量に換算した。

単位体積重量は、陸地化している部分と水中に没している部分で値が異なると考え、それぞれにおいて表層部の堆積土砂を採土管(容積1000cm³)により未攪乱で採取した。採取した試料は室内で炉乾燥して乾燥密度を求めた。

3. 観測結果

(1) 土砂流下量

河川中の土砂流下量状況として、雨量、沈砂池上流地点の流量、浮遊砂流下量、掃流砂流下量の経時変化を図-5に示す。観測期間中、6回の降雨出水が発生したが、9/21~9/23(総降水量約60mm)の出水以外は比較的小規模の出水であった。そのため、流量割合で全期間の1割程度にすぎない9/21~9/23の出水期間に浮遊砂量の約7割、掃流砂量の9割が流下していた。沈砂池下流地点の浮遊砂流下量も同様の傾向であった。

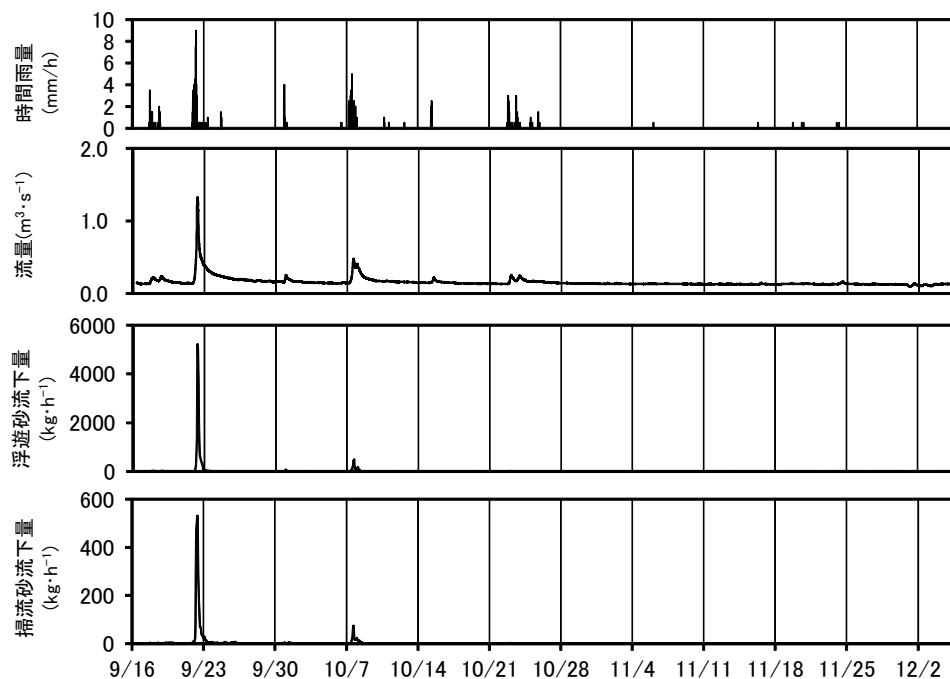


図-5 時間雨量、沈砂池上流地点の流量・浮遊砂流下量・掃流砂流下量の経時変化

(2) 沈砂池の堆積土砂量

沈砂池の堆積土砂量の調査結果を表-1に示す。約2ヶ月の観測期間で、図-5に示したように降雨出水は3度発生したが、いずれも規模の小さな出水であった。そのため、沈砂池に流入する土砂が少なく、堆積土砂の増加量はわずかであった。

表-1 堆積土砂量調査結果

	2011.10.5	2011.11.29	変化量
堆積土砂量(t)	2345.6	2351.2	5.6

4. 土砂量観測の精度

本研究で実施した土砂量観測精度を検討するために、沈砂池での土砂量の収支を算出する。調査方法概要に記したように、沈砂池への流入土砂量（上流地点の浮遊砂量と掃流砂量の和）は沈砂池の堆積土砂量と沈砂池から流出土砂量（下流地点の浮遊砂量）の和に等しくなるはずである。そこで、沈砂池の堆積土砂の変化量を把握した期間（2011年10月5日～11月29日）における沈砂池の上・下流地点の土砂流量、沈砂池の堆積土砂量を表-2に整理した。その結果、流入土砂量は9.2t、流出土砂量と沈砂池の堆積土砂量の和は11.4tであり、比較的高い精度で観測できたと考えられる。

今回の観測期間は降水量が少なく、流下した土砂量も少なかったことから、今後、長期間の観測で土砂量が多いときのデータを収集して観測精度を検討する必要がある。

表-2 沈砂池への土砂流出入量と堆積量一覧
(2011年10月5日～11月29日)

		土砂量(t)
流入土砂 (上流地点)	浮遊砂流量	8.6
	掃流砂流量	0.6
流出土砂 (下流地点)	浮遊砂流量	5.8
	沈砂池 堆積土砂量	5.6

5. おわりに

本研究では、農林地流域を対象として、河川を流下する土砂のうち浮遊砂を濁度計と自動採水器で、

掃流砂を音響式掃流砂計で観測した。その結果、浮遊砂、掃流砂ともに、大規模出水のときに流量が多いことを明らかにした。また、浮遊砂と掃流砂流量の観測値と流域末端の沈砂池に堆積した土砂量を比較することにより、本研究で実施した土砂量観測の精度が良好であることが分かった。

謝辞：本研究で実施した音響式掃流砂計による掃流砂量の観測・解析の実施において、国土交通省 国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター 砂防研究室の鈴木拓郎研究官にご指導を頂いた。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 谷口伸一, 板倉安正, 清野雅雄, 鈴木宏, 澤井健二, 小倉久直: 流砂量の間接的な測定法としての音響の提案とその信号処理, 第26回計測自動制御学会学術講演会予稿集, pp. 667-668, 1987
- 2) 谷口伸一, 板倉安正, 清野雅雄, 鈴木宏, 澤井健二, 中山純一: 音響センサーによる流砂量の間接的測定 (その2), 第27回計測自動制御学会学術講演会予稿集, pp. 139-140, 1988
- 3) 水山高久, 野中理伸, 野中伸久: 音響法 (ハイドロフォン) による流砂量の連続計測, 砂防学会誌, vol. 49, No. 4, pp. 34-37, 1996
- 4) 中谷洋明, 鶴田謙次, 吉村暢也: 手取川上流域でのハイドロフォンを用いた流砂量観測及び解析, 砂防学会誌, vol. 60, No. 3, pp. 1-6, 2007
- 5) 鈴木拓郎, 水野秀明, 小山内信智, 平澤良輔, 長谷川祐治: 音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂量計測手法に関する基礎的研究, 砂防学会誌, vol. 62, No. 5, pp. 18-26, 2010
- 6) 野本英裕, 平澤良輔, 水山高久, 長谷川祐治, 堤大三: ハイドロフォンによる音圧計測の流砂量推定への摘要, 第59回平成22年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 486-487, 2010
- 7) 堤大三, 平澤良輔, 水山高久, 志田正雄, 藤田正治: 山地流域における音響法を用いた流砂量観測, 京大防災研年報, 第53号B, pp. 537-543, 2010
- 8) 鈴木拓郎, 長谷川祐治, 水野秀明, 小山内信智: ハイドロフォンによる粒径別掃流砂量の計測手法に関する検討, 第59回平成22年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 290-291, 2010
- 9) 長谷川祐治, 鈴木拓郎, 平澤良輔, 宮本邦明, 野中理伸: ハイドロフォンによる流砂量計測に関する研究 (2), 第59回平成22年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 288-299, 2010