

9.5 大規模農地流域からの土砂流出抑制技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水利基盤チーム、寒地技術推進室

研究担当者：中村和正、鶴木啓二、古檜山雅之、平野政則、
細川博之、長畑昌弘、平吉昭、幸田勝

【要旨】

農地からの土砂流出は、農地の生産性低下や土砂堆積による排水路・小河川の機能低下を引き起こす。また、河川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。以上の背景より、本課題では、排水路・小河川の機能保全と水系の水環境の保全のために、農地からの土砂流出抑制技術を提案する。平成 23 年度は以下の検討を行った。

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、大規模農地流域の末端に整備されている沈砂池で堆積土砂量と流出土砂量の調査を行い、流域から流出する土砂量を把握した。また、当該沈砂池の流入部において、自動計測機器（濁度計と音響式掃流砂計）で土砂流下量の連続観測を実施した。自動計測機器による観測値は、沈砂池に堆積した土砂量と比較し、精度が良好であることを確認した。

キーワード：濁度計、ハイドロフォン、沈砂池

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。農地からの土壌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。

本研究では、大規模農地流域から流出する土砂量を二つの方法で観測した結果を報告する。一つは、流域末端に整備された沈砂池を利用する方法である。しかし、この土砂量観測方法では、観測可能な箇所が限られる。大規模農地からの土砂流出状況を把握するには、土地利用状況や地形、気候条件等の異なる地域でのデータの蓄積が不可欠である。そこで、沈砂池を利用しない方法として、自動計測機器である濁度計と音響式掃流砂計により、河川を流下する土砂量の定量化を試みた。農地流域を対象とした音響式掃流砂計による観測事例は無いため、本研究では観測機器を沈砂池の直上流に設置し、沈砂池を利用する方法の観測値と比較することで、観測精度を検証した。

2. 流域末端の沈砂池を利用した土砂量の観測

2.1 調査方法

2.1.1 調査地点概要

調査は、北海道東部で実施された国営総合農地防災事業において美幌町に整備された沈砂池で実施した。この地域は、受食性の高い軽しょうな火山灰土壌の農地が広が

り、融雪期や降雨時に侵食を受けて土壌流亡が生じやすい地域である。当該事業では、沈砂池が11箇所整備された。本研究では、事業実施中に重点的に調査が行われてデータが蓄積されている2地点を選定して調査した(図-1、表-1)。

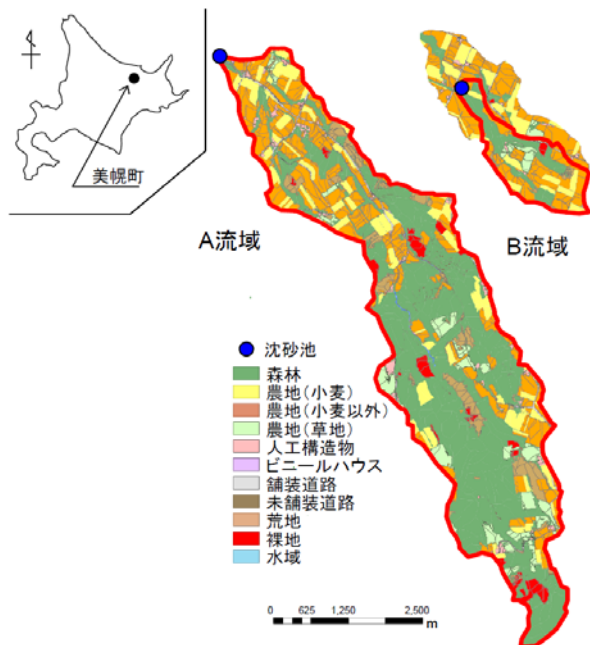


図-1 流域図

表-1 沈砂池諸元

流域名 (沈砂池名)	流域面積	土地利用割合(%)				沈砂池の最大可能堆積容量(m ³)
		森林	農地	裸地	その他	
A流域 (沈砂池A)	17.2km ²	43	33	8	16	2,439
B流域 (沈砂池C)	1.8km ²	33	55	6	6	969

2.1.2 調査方法概要

河道を流下する土砂のうち、一般河川において掃流砂を簡易に定量化する方法は確立されていない。そこで、本研究では、掃流砂はすべて沈砂池において堆積するものと考え、沈砂池から流出する土砂はウォッシュロードと浮遊砂のみとした。すなわち、流出口の浮遊物質(SS)を測定することで沈砂池からの流出土砂量を観測できることになる。また、沈砂池に堆積した土砂量は測量により把握した。これにより、流域から流出する土砂量(=沈砂池への流入土砂量)は、沈砂池からの流出する浮遊物質と堆積土砂量の和として観測できることになる。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。

2.1.3 堆積土砂量調査

沈砂池に堆積した土砂量は、沈砂池を縦5m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の変化を測量により計測することで把握した。さらに、測量により求められた土砂量の体積に単位体積重量を乗じて重量に換算した。調査は、2011年5月上旬、7月、10月、11月末に実施した。

単位体積重量は、堆積土砂が十分に締まっていればコア採取が可能なお場合には、1000cm³の不攪乱試料を採取して乾燥密度を求めた。また、水中部分などで堆積土砂のコア採取が困難なお場合には、「北海道開発局 港湾・漁港工事監督マニュアル暫定版」¹⁾に記載の湿潤飽和状態における中詰材の単位体積重量の測定方法に準拠して1000cm³の試料を作成して乾燥密度を求めた。

2.1.4 流出土砂量調査

沈砂池から流出する土砂量調査として、沈砂池の流出口直下流において流量と浮遊物質(SS)の観測を実施した。観測期間は2011年3月1日から11月30日である。流量は、水位観測と流量観測からH-Q曲線を作成し、自記水位計で観測した連続水位から連続流量に換算した。SSは、自動採水器を用いた採水試料による実測濃度と、自記濁度計による濁度との相関から連続濃度を求めた。河川の凍結のため観測の困難な冬期間(前年12月から当年2月まで)のSS濃度と流量は、上記観測期間の最低値を一律に当てはめた。

2.2 観測結果

観測結果として、沈砂池Aの堆積土砂量、流出土砂量の変化を図-2に、土砂量一覧を表-2に示す。流出土砂量は、3月末から4月末までの融雪期と降水量の多いときに流出量が多いことが分かる。また、B流域の面積はA流域の約1/10であるが、流域から流出する土砂量は約1/5と土砂が流出しやすい状況にあることが分かる。これは、B流域の農地面積割合がA流域と比較して高いことが一因と考えられる。

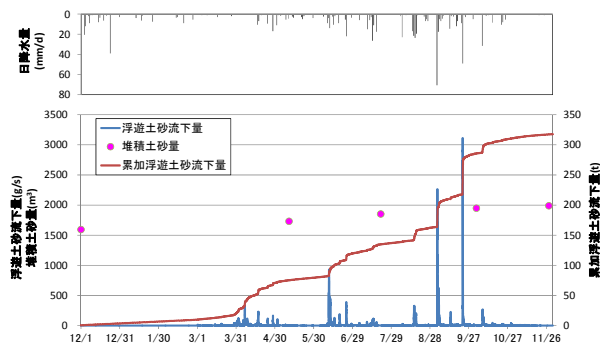


図-2 沈砂池Aの堆積土砂量、流出土砂量の経時変化

表一2 流出土砂量観測結果一覧

流域名	観測期間	期間 降水量 (mm)	期間 流出高 (mm)	沈砂池の土砂量(t)		流域からの 流出土砂 量(t)
				堆積 土砂量	流出 土砂量	
A流域	2010/12/1 ~2011/11/30	835	477	587	318	905
B流域	2010/12/1 ~2011/11/30	835	338	148	27	175

2.3 小括

本章では、大規模農地流域から流出する土砂量を流域末端に整備されている沈砂池を利用して観測した。この結果は、次年度以降に実施する流出土砂モデルの検討において、実測データとして利用する予定である。

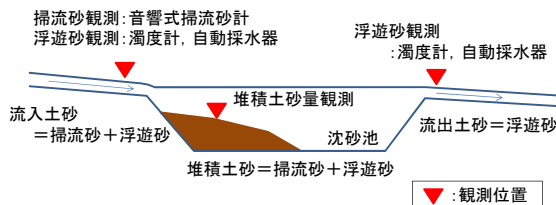
3. 自動計測機器による土砂量の観測

3.1 調査方法

3.1.1 調査方法概要

現地調査は、前章と同様に北海道東部の美幌町と津別町で実施された国営総合農地防災事業で整備された沈砂池で実施した。本施設は、前章で示した沈砂池Aの上流部に位置する。

前章と同様に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、本沈砂池において、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一3に示す。



図一3 沈砂池に流入する土砂と観測体制

3.1.2 音響式掃流砂計概要

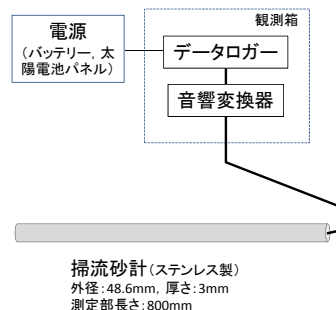
掃流砂量は音響式掃流砂計で観測した。音響式掃流砂計とは、内部にマイクロフォン備えた金属管(掃流砂計)を流れに対して鉛直方向に河床に埋設し、河床を移動してきた砂礫が金属管に衝突した時の音響データを電圧(音圧値)に変換してロガーに記録する装置である。おもに砂防学分野において、この音圧値を掃流砂量に変換する研究が1980年代から進められてきた²⁾。現在、音圧値を掃流砂量に変換する方式は大きく2つに分類される。ひとつは、観測した音圧値が閾値を超えた回数をパルス数として計数して記録する手法であり(これをパルス法と記す)、多くの研究実績がある^{3),4)}。もう一つは、

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)}。

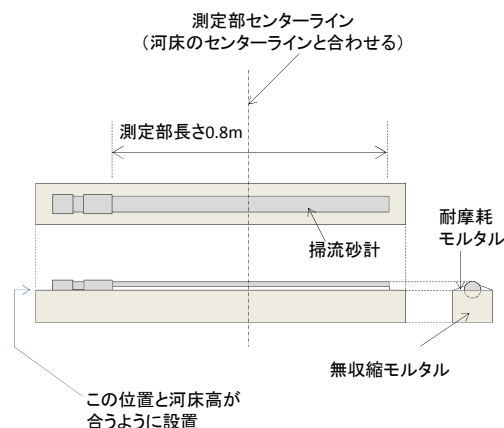
パルス法は、従来の手法では音響式掃流砂計による観測と並行して掃流砂を直接採取し、音響式掃流砂計の観測値(パルス数)と掃流砂量の実測値を統計的に処理して連続的な掃流砂量に変換する必要があった。掃流砂の直接採取は、河床を大きく掘削して機器を設置するなど規模の大きい装置が必要となるため簡単ではない。現在は、音響から音圧値に変換するときの増幅率が異なるパルス数の比率から粒径分布を推定するなどの改良が行われているが⁷⁾、掃流砂量への換算方法は未だ確立していない。一方、音圧法は、課題は残っているものの⁸⁾、現地での簡易なキャリブレーション試験のみで、音圧値から流砂量に換算する一連の手法が確立している。以上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

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(図一4)。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



図一4 音響式掃流砂計システム概要



図一5 掃流砂計の設置方法

である。掃流砂計は図-5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。

3.1.3 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。

$$a \times Q_s \times R_l = S_p \quad (1)$$

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

a : 比例定数、 Q_s : 掃流砂量、 S_p : 音圧値

R_l : 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、 a と(2)式を算出した。

次に、個別衝突試験データの波形を分割して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_l)の関数形を求めた。

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

以上(1)~(3)式から、以下の手順により観測値(音圧値 S_p)から掃流砂量に変換した。①観測値の R_{10}/R_l 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_l)を算出する。③すでに決定されている比例定数(a)と R_l 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。

3.1.4 浮遊砂の観測

浮遊砂量は、前章と同様に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を相関させて連続的な浮遊砂濃度を観測し、流量を乗じて算出した。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。

3.1.5 沈砂池の堆積土砂量観測

沈砂池の堆積土砂量は、前章と同様に堆積土砂の頂部を測量して把握した。測定点は縦2m横1mの格子点とした。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。

3.2 観測結果

3.2.1 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-6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。

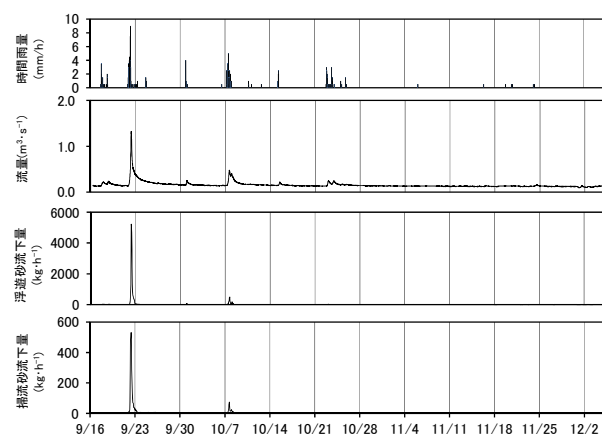


図-6 時間雨量、沈砂池上流地点の流量・浮遊砂流下量・掃流砂流下量の経時変化

3.2.2 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-3に示す。約2ヶ月の観測期間で、図-6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-3 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

3.3 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・下流地点の土砂流下量、沈砂池の堆積土砂量を表-4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。

表-4 沈砂池への土砂流入量と堆積量一覧
(2011年10月5日~11月29日)

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

3. 4 小括

本章では、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結果を示した。掃流砂は浮遊砂と同様に、大規模出水のときに流下量が多いことを明らかにした。また、浮遊砂と掃流砂流下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。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。

4. まとめ

本研究では、大規模農地流域の末端に整備されている沈砂池で堆積土砂量と流出土砂量の調査を行い、流域から流出する土砂量を把握した。また、当該沈砂池の流入部において、自動計測機器(濁度計と音響式掃流砂計)で土砂流下量の連続観測を実施した。自動計測機器による観測値は、沈砂池に堆積した土砂量と比較することで、精度が良好であることを確認した。

次年度は、本年度の現地観測を継続するとともに、様々な条件における土砂流出状況のデータを蓄積するために、自動計測機器の設置箇所を増やす予定である。また、土砂流出の実測データを用いて、土砂流出モデルの検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 北海道開発局:港湾・漁港工事監督マニュアル暫定版, p. 159, 1999
- 2) 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
- 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

A STUDY ON TECHNOLOGIES TO REDUCE SEDIMENT RUNOFF FROM LARGE-SCALE FARMLAND ALONG RIVERS

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Cold-Region Agricultural Development
Research Group (Irrigation and Drainage
Facilities) and Director for Cold-Region
Technology Development Coordination
(Cold-Region Technology Promotion Division)

Author : NAKAMURA Kazumasa, UNOKI Keiji,
KOHIYAMA Masayuki, HIRANO Masanori,
HOSOKAWA Hiroaki, NAGAHATA Masahiro,
TAIRA Yoshiaki and KOHDA Masaru

Abstract : The runoff of sediment from farmland results in reduced farm productivity, and its deposition further induces the functional deterioration of drains and creeks. Sediment flowing into rivers is carried down to lakes in their lower reaches, and together with the nutrient salts contained, causes deterioration of water environments. These effects in turn influence aquatic habitats and the fishing industry. Against such a background, the research outlined here was conducted to examine technologies aimed at reducing sediment runoff from farmland for the conservation of drain and creek functions and water environments. The study was carried out in FY 2011 as described below.

Currently, there is demand for the development of a technology to predict amounts of sediment runoff so that measures can be taken to reduce the sediment output of basins. However, before the accuracy of such predictive technology can be verified, a suitable body of field data needs to be collected. This study involved the surveying of sediment deposition and discharge in a settling basin at the end of a river basin in which a number of large-scale farms are located to clarify the volumes of sediment being discharged from the basin. Automatic measuring devices in the form of a turbidity meter and an acoustic bedload sensor installed at the inlet of the settling basin were also used to continuously quantify the sediment flow. Comparison of measurements taken using the automatic instruments with figures for actual sediment deposition in the settling basin confirmed a high level of measurement accuracy.

Key words : turbidity-meter, hydrophone, settling basin