

濁度計の測定方式と土砂の粒径を考慮した浮遊砂濃度換算方法の提案

国土技術政策総合研究所 桜井亘, 内田太郎, 泉山寛明 (現: 国土交通省砂防計画課),
井内拓馬 (現: 建設環境株式会社)
株式会社 コルバック ○吉村暢也, 鶴田謙次

1. はじめに

現在, 山地河川を対象にした流砂水文観測が全国的に進められており, 観測結果を用いて砂防計画や施設配置計画, 危機管理, 総合土砂管理等への活用が期待されている。しかし流砂量を時系列的に安定して得るには未だ課題³⁾が存在しており, その課題が観測結果の分析や活用方法の検討に障害となっている状況である。そこで本報告では, 流砂量観測の内, 濁度計に着目して計測値から浮遊砂濃度に換算する校正式について, 課題を整理するとともに解決方法を提案した。

2. 濁度計の計測原理

濁度計は, 計測する土粒子にセンサー光を照射して, 透過する光量や反射する光量を計測している。このときに計測される値は, 標準液 1mg/L に相当する濃度を 1 濁度としている。また標準液にはカオリンやホルマジンなどがあり濁度計によって異なる。主な計測方式は, 透過する光量から計測する方法として透過光方式, 反射する光量から計測する方法として散乱光方式がある。また山地河川などの浮遊砂濃度が高濃度となる箇所では散乱光方式が採用されることが多いようである。

ここで, 濁度計計測値の濁度 T_b から浮遊砂濃度 SS に換算する場合に, 換算結果に影響する項目を整理すると主に以下の 2 つがある。

①粒径

計測される濁度 T_b と浮遊砂濃度 SS との関係は, ミーの散乱理論によると粒径 $1 \mu\text{m}$ 以上の粒子において粒径 $1/D$ の比例関係にあり, 式 (1) に示すように粒径に依存する関係にある¹⁾。

$$T_b = \beta \times \left(\frac{1}{D}\right)^n \times SS \quad \text{-----式 (1)}$$

ここに, T_b : 濁度, D : 浮遊砂の粒径, SS : 浮遊砂濃度, β , n : 補正係数で n は 1 前後 (粒子形状や色等により変化する), β は使用する標準液や計測方法, 機種等に依存する係数

②計測方法・機種の違い

濁度計の出力値は, 計測方式や使用する標準液または機種の違いが生じるようであることから, 式 (1) の係数 β で考慮する。

3. 濁度 T_b から浮遊砂濃度 SS に換算する上での課題

①計測する浮遊砂の粒径範囲の違い

通常の河川域では, 従来から濁度計を用いて浮遊砂観測を実施しており, 計測している粒径範囲はおよそ中央粒径 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ で粒径が大きな場合でも $30 \sim 40 \mu\text{m}$ 程度となっている¹⁾。一方, 今回対象としている山地河川では, 例えば平成 25 年度に整理した²⁾富士川の大武川第 50 号床固では中央粒径 $100 \sim 300 \mu\text{m}$ となっており山地河川の方が 1 桁程度大きい。このように山地河川では通常河川よりも粒径が大きいケースがあり, 粒径の依存性を考慮しなければ正確な浮遊砂濃度を得ることはできないと考える。

②現地試験での課題

出水時に採水作業を行って濁度計を校正すれば現地の浮遊砂粒径に基づいた校正式となるが, 実際の採水作業は山地河川であるため危険が伴うとともに, 水位上昇が早く確実に必要な採水試料が得られると限らない。また得られるとしても数年の調査期間が必要となることが多い。

上記の解決方法として「山地河道における流砂水文観測の手引き(案)」⁴⁾では, 出水時に採水作業は実施せずに現地材料を使用して粒度調整した試料で校正するようにしている。ただし, この方法では出水時の浮遊砂粒径と一致しておらず, 粒径依存性の影響が残り, それが観測誤差となっている。

4. 提案する方法

解決方法として, 粒径依存性と計測方式・機種の依存性を考慮した方法とした。また粒径依存性の考慮で使用する粒径は, 浮遊砂サンプラーの分析結果を利用して現地採水作業等を行わない方法を考えた。

①必要な情報

- ・計測方式・機種等に依存する係数 β

使用する濁度計の係数 β が分かればそれを使用する。なければ別途試験を行い求める。今回の検討で使用した濁度計機種 (OBS-3+) の係数 β は, 六甲砂防で実施した濁度計試験結果⁴⁾をもとに求めると, $\beta = 0.5254$ となった。

- ・濁度計のメーカー提供の校正式と標準液の粒径

濁度計出力電圧（または電流）から濁度 T_b に換算する校正式または校正係数。濁度計購入時にメーカーから提供されるのでそれを使用する。メーカー提供の校正式の元となっている標準液の粒径。通常は $5\sim 10\mu\text{m}$ が使用され、今回の検討では $5\mu\text{m}$ を使用することとした。

・浮遊砂の粒度分布：浮遊砂サンプラーによる粒径調査結果を使用する。

②校正式の作成方法

式（2）はメーカー提供の校正式で濁度計出力電圧 V から濁度 T_b を求める式である。

式（3）は、式（1）をもとに係数 n を 1.0、粒径 D を粒度分布として、さらに標準液の粒径 D_i を基にした式である。

以上の式（2）と式（3）を使用すれば濁度計出力電圧 V から浮遊砂濃度 SS が求まるので、数ケース計算して相関式としたものが校正式となる。

$$T_b = A \times V^2 + B \times V + C \quad \text{-----式（2）}$$

$$T_b = \beta \times \sum_{i=1}^m \left(\frac{D_c}{D_i} \times P_i \times SS \right) \quad \text{-----式（3）}$$

ここに、 T_b ：濁度（NTU）、 V ：濁度計出力電圧、 A, B, C ：濁度計のメーカー提供の校正係数、 SS ：浮遊砂濃度（mg/L）、 β ：機種および計測方式に依存する係数、 D_c ：標準液の粒径、 D_i ：粒度分布の i 番目の粒径（mm）、 p_i ：粒度分布の i 番目の粒径階の重量比、 m ：粒度分布の粒径階の数

③検証

上記で説明した校正式について、平成 21 年度に実施した日光砂防の関の沢第 2 床固での現地校正試験結果を使用して検証した。検証に使用した条件を整理すると以下に示すとおり。また、現地校正試験は山地河道における流砂水文観測の手引き（案）⁴で示された方法で実施されたものである。

- ・使用した粒度分布：現地校正試験で使用した試料の粒度分布（図-1 参照）
- ・土粒子の密度 $\gamma_s = 2.65\text{g/cm}^3$
- ・計測方式・機種に依存する係数 $\beta = 0.5254$
- ・濁度計出力電圧 V から濁度 T_b に換算する式：関の沢第 2 床固に設置した濁度計のメーカー提供の校正式（濁度 $T_b = 91.8 \times V^2 + 721.98 \times V - 3.39$ ）

上記の条件と式（3）から濁度計出力電圧 V と浮遊砂濃度との関係を計算した結果（図-2 の●印）と現地校正試験結果（図-2 の△印）を重ねて図-2 に整理した。整理した図によると、両者は、ほぼ一致（電圧 1V で濃度の誤差が約 5%）する結果となり、式（3）による濁度計校正式は精度的に問題がないことが示唆された。また、濁度計出力電圧の大きい範囲まで計算できる利点もあることが分かった。

5. おわりに

山地河川での現地試験は、人的な労力が必要でかつ技術的な経験も求められハードルが高い。一方、今回提案した方法は、浮遊砂サンプラーによる浮遊砂粒度分布と濁度計の機種が分かれば、濁度計の校正式を得ることができるので比較的容易である。また、精度的にも大きな誤差は生じないものと考えている。ただし、計測方式・機種等に依存する係数 β は流域の違いによって変わる可能性があるため、より精度が得たい場合には流域ごとに係数 β の現地試験を実施されたい。

今後は、他の流砂観測に関する課題³を解決するための検討を進めて、観測の労力を軽減する努力を行っていく予定である。そのことによって安定して継続的にデータを蓄積できるようになり、その結果観測データの活用に繋がるものと考えている。

参考文献

- 1) 横山，濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察，土木学会論文集，No698，2002. 2
- 2) 吉村ら，浮遊砂サンプラーを用いた浮遊砂粒径に関する調査，H25 年度砂防学会研究発表会論文集，Pa-71
- 3) 桜井ら，近年の山地河川における流砂水文観測，国総研資料 第 887 号，平成 28 年 3 月
- 4) 岡本ら，山地河道における流砂水文観測の手引き（案），国総研資料 第 686 号，平成 24 年 4 月
- 5) 蒲原ら，山地河道の流砂水文観測における濁度計観測実施マニュアル，国総研資料 第 792 号，H26 年 3 月
- 6) 岡本ら：山地河道における濁度計を用いた流砂観測の課題と対応，H25 砂防学会研究発表会概要集，R1-11

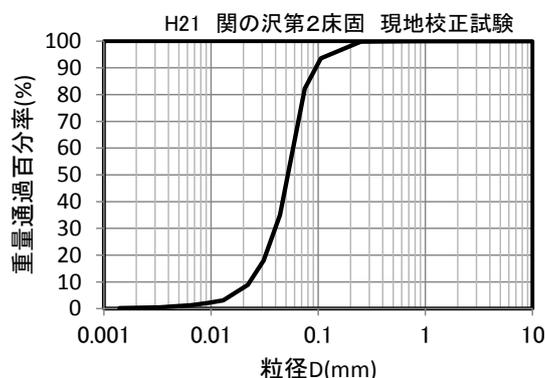


図-1 粒度分布

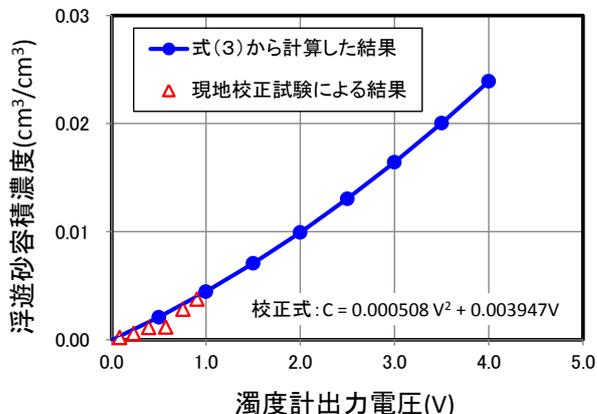


図-2 濁度計出力電圧と浮遊砂濃度との関係