

# 室内実験に基づく浮遊砂濃度観測のばらつきの粒径依存性の評価 Evaluation of Grain-Size Dependence in the Variability of Suspended Sediment observation from Laboratory experiments

○鹿島 歌乃・山野井 一輝・宮田 秀介

○Kano KASHIMA, Kazuki YAMANOI and Shusuke MIYATA

Sediment transport observations in mountainous streams are essential for understanding runoff characteristics and sediment dynamics, and turbidity meters are widely used for continuous monitoring of suspended sediment loads. In optical scattering-type turbidity meters, relationships between output voltage or turbidity and suspended sediment concentration are determined through calibration; however, measured turbidity varies with particle size even at the same sediment concentration. The response of turbidity meters to mixed particle sizes has not been sufficiently investigated, and turbidity is expected to exhibit variability when sediments have continuous particle size distributions. In this study, laboratory experiments were conducted using sediments with different particle size distributions but the same mean particle size to examine the response of a turbidity meter. The results clarify the range of variability that should be considered when estimating suspended sediment concentration from turbidity measurements.

## 1. 濁度計による浮遊砂観測

山地河道における流砂水文観測は、流域の流出特性、土砂動態を把握する上で重要である。浮遊砂観測においては濁度計を用いて得られた浮遊砂濃度より浮遊砂量を求める<sup>1)</sup>。

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。

$$T_b = \alpha \times \left(\frac{1}{D}\right)^n \times SS \quad (1)$$

ここに、 $T_b$ ：濁度、 $D$ ：浮遊砂の粒径、 $SS$ ：浮遊砂濃度、 $\alpha$ 、 $n$ ：補正係数で  $n$  は 1 前後（粒子形状や色等により変化する）、 $\alpha$  は使用する標準液や計測方法、機種等に依存する係数である<sup>2)</sup>。濁度計の計測値は同じ土砂濃度でも粒径に依存して異なるため、浮遊砂量を得るためには粒径に関する情報が必要となる。従来は、粒径を固定して作成した諸係数を用いて、浮遊砂量を推定するが、山地流域では異なる粒径の成分が流出してくることが多い。さらに、一様粒径だけでなく、広い粒径範囲を有する材料が流出する。しかし濁度計の混合粒径に対する応答は十分検討されておらず、連続的な粒径分布を持つときの濁度には振れ幅があることが想定される。そこで、本研究では平均粒径が同一になる様々な粒径分布の土砂で濁度計の応答を調べることで、濁度計の計測値から濃度のとりうる値を調べる。

## 2. 実験手法

使用した濁度計は ClariVue™20 であり 90 度側方散乱式濁度センサにより浮遊物質によって散乱された光を測定する。出力値は濁度であり単位は FUN である<sup>3)</sup>。粒径および土粒子密度が既知の土砂として東北珪砂 6 号、7 号、8 号を使用した<sup>4)</sup>。

### (1) 実験手順

ビーカーに精製水 400ml を準備し、乾燥土砂を質量土砂濃度  $C_m = 0.01\%$ ,  $0.02\%$ ,  $0.05\%$ ,  $0.1\%$ ,  $0.2\%$ ,  $0.5\%$  となるように測り入れ、スターラーで攪拌しながら濁度計で計測した。計測は 1 分ごとに出力される平均値を五点以上計測した。

質量土砂濃度  $C_m$  は式(2)であらわされる。また濁度計の出力値から求められる土砂濃度は容積土砂濃度  $C_v$  であり式(3)のとおりである。

$$C_m = \frac{m_s}{(m_i + m_s)} \quad (2)$$

$$C_v = \frac{V_s}{(V_i + V_s)} \quad (3)$$

ここに、 $m_s$  は加える土砂の質量、 $m_i$  は初期の水の質量、 $V_s$  は加える土砂の体積、 $V_i$  は初期の水の体積である。

体積土砂濃度と質量土砂濃度の関係は混合土砂の土粒子密度を  $\rho$  として式(4)であらわされる。

$$C_v = \frac{C_m}{\rho} \quad (4)$$

### (2) 実験条件

使用した珪砂 8 号 (Case1)、珪砂 7 号 (Case2)、珪砂 6 号 (Case3) それぞれの単体での計測と、平均粒径  $\mu$  が  $0.161\text{ mm}$  (Case2, 4-7)、 $0.130\text{ mm}$  (Case8-10)、 $0.226\text{ mm}$  (Case11-13) となるような混合砂を複数用意した計測を行った。各ケースでの粒径加積曲線は図-1 に示す。平均粒径  $\mu$  と分散（粒径を対数変換した後の分散とした） $\sigma^2$  は以下の通りに定義した。

$$\mu = \sum d_i w_i \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \sum w_i (\log_{10} d_i - \log_{10} \mu)^2 \quad (6)$$

ここに  $d_i$ ：メッシュサイズ、 $w_i$ ： $d_{i-1}$  以下で  $d_i$  より大きい区間の粒子の質量比率である。

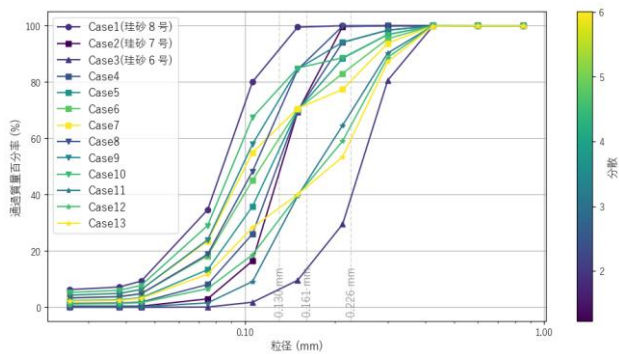


図-1 各ケースでの粒径加積曲線

### 3. 結果

計測の結果を図-2に示す。切片を0とする回帰分析を行うことより土砂濃度と濁度の関係の比例定数を求めた。計測結果から求めた分散および平均粒径と比例定数の関係を図-3に示す。平均粒径が大きくなるほど比例定数が小さくなる傾向はみられるが、同一の平均粒径でも濁度から土砂濃度は一位に定まらないことがわかる。Case8においては平均粒径は0.130だが平均粒径が0.161となる多くのケースより比例定数が小さくなっている。また、分散が大きいほど比例定数が小さくなる傾向はみられるが、必ずしも同じ平均粒径で分散が大きいほうが比例定数が大きくなるわけでもなく明確な関係性はみられなかった。

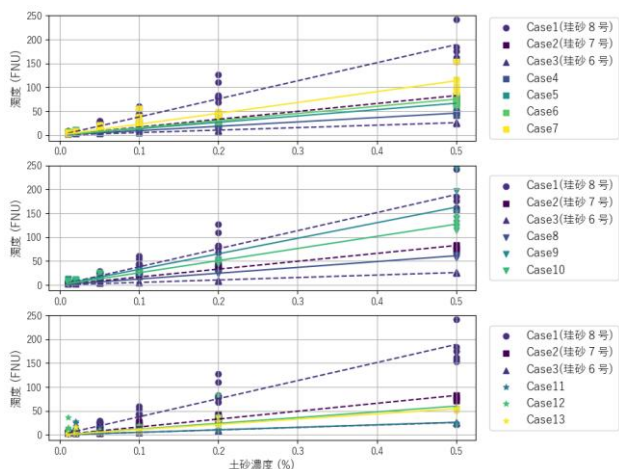


図-2 土砂濃度と濁度の関係

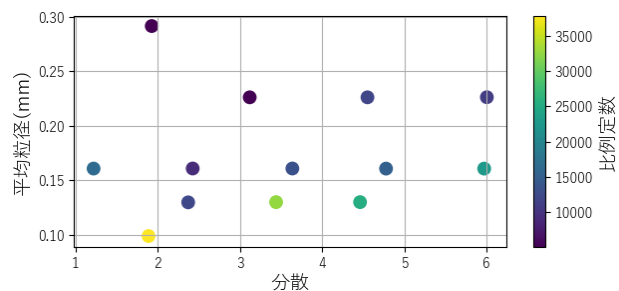


図-3 分散および平均粒径と比例定数の関係

式(1)と式(4)より  $n=1$  とし SS に  $C_v$  を用いると、濁度から土砂濃度に変換する式を示すと式(7)の通りになる。

$$C_m = \rho \frac{D}{\alpha} T_b \quad (7)$$

計測結果から求めた比例定数は  $\alpha/\rho D$  である。式(7)の  $D$  に平均粒径  $\mu$  を代入し、土粒子密度  $\rho$  を用いて  $\alpha$  を求めた。土砂濃度は  $1/\alpha$  に比例するため濁度計による計測値から算出される土砂濃度のばらつきは  $\alpha$  のばらつきで評価できる。

ケースごとではなく全ての計測点において  $\alpha$  を求めた。図-4 に  $1/\alpha$  と分散および平均粒径の関係を示す。  $1/\alpha$  は平均粒径によらずおよそ 0.0001~0.0003 の範囲でばらついていることがわかる。本研究の範囲では濁度計による計測値から算出される土砂濃度は最大3倍ほどばらつく結果が得られた。

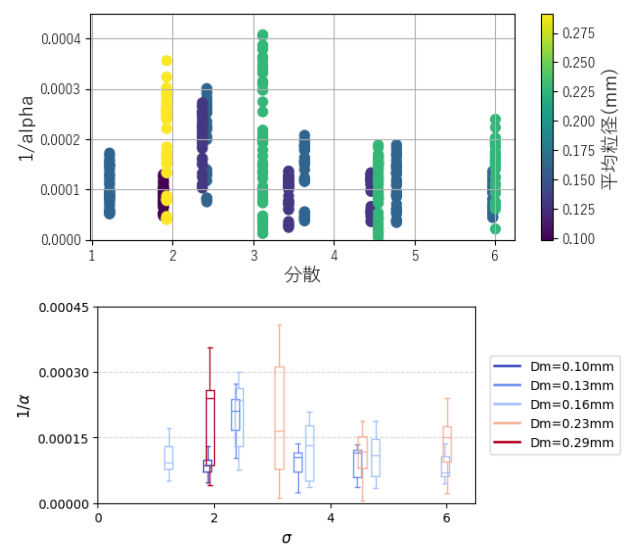


図-4  $1/\alpha$  と分散および平均粒径の関係

このばらつきには研究目的として求めたかった混合粒径によるばらつきだけでなく計測によるばらつきも含まれる。今後の方向性として、この結果をもとに現地の濁度観測結果をもとにした浮遊砂濃度観測が、不確かさを有しているかを定量的な評価を行う。

### REFERENCES

- 1) 岡本ら, 2012, 山地河道における流砂水文観測の手引き (案), 国総研資料, 2) 横山ら, 2002, 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 No.698/II-58, 93-98, 2002.2, 3) 濁度センサ, Campbell, <https://www.campbellsci.co.jp/turbidity/#:~:text=%E6%BF%81%E5%BA%A6%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B5:%20%E6%B5%AE%E9%81%8A%E7%89%A9%E8%B3%AA,%E3%81%9F%E5%85%89%E3%82%92%E6%B8%AC%E5%AE%9A%E3%81%99%E3%82%8B>, 4) 北日本産業株式会社, 東北珪砂データ, <https://www.ktsangyo.co.jp/data1.htm>