

## 土砂濃度と濁度計出力に関する比較検証

国土技術政策総合研究所 西脇彩人\*, 山越隆雄\*\* (\*現 静岡河川事務所, \*\*現 国土交通省水・管理国土保全局)  
日本工営(株) ○木佐洋志, 渡部春樹, 橋本憲二, 保谷智之, 濱原能成, 木村詩穂, 松岡暁, 伊藤隆郭  
京都大学 宮田秀介

### 1. はじめに

これまで山地河川を対象とした流砂水文観測が全国的に進められてきた。継続的な観測に際し、機器故障や製造終了に伴う機種変更を行う場合があるが、観測機器の変更前後のデータの連続性を確保することが望ましい。本稿では、流砂量観測機器のうち濁度計を対象として、土砂濃度と濁度計出力の関係を測定方式の異なる機種間で比較し、機種変更時の留意点を把握した。

### 2. 方法

散乱光測定方式の濁度計は、出力電圧値と土砂濃度の検定線を作成して電圧から土砂濃度を求める方法や、濁度から土砂濃度に換算する方法等が用いられる<sup>1)</sup>。今回は濁度を使用しない前者の手法により、複数機種の出力特性を(1)室内検定、(2)現地実験、(3)現地観測により比較した。

(1)室内検定：現地土砂および機器点検で使用されるカオリン<sup>2)</sup>による検定を行い、濁度計出力に影響する粒径および土砂濃度への応答を把握した。現地土砂は、神通川水系蒲田川左支川足洗谷流域にある京都大学防災研究所の足洗谷観測水路の上流の堆積土砂を2023/10/6に採取した。採取土砂(土粒子の密度2.62g/cm<sup>3</sup>)をふるい分け、図1と図2の凡例に示す単一粒径、混合粒径を作成し、使用した。

流砂量観測において、濁度計の出力電圧 $V$ を容積土砂濃度 $C$ へ変換する式は以下のとおり表される<sup>2)</sup>。

$$C = AV^2 + BV$$

ここに、 $A, B$ は検定係数である。本稿では土砂濃度と出力電圧が線形となる濁度計の計測原理<sup>例えは3),4)</sup>をふまえ、 $A=0$ の場合を扱った。容積土砂濃度 $C$ は次式のとおりである。

$$C = V_s / (V_1 + V_s)$$

ここに、 $V_s$ は加える土砂の体積、 $V_1$ は初期の水の体積である。土砂濃度の条件は0.001~0.01cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>の範囲とした。

室内検定は、濁度計が計測領域<sup>3)</sup>を確保でき、かつ均一な土砂濃度の維持が可能な最小容器サイズ・攪拌手法とし、直径100mmの1Lガラスビーカー、スターラー、攪拌子、水500ml、データロガー等を用いた。

(2)現地実験：山地溪流で実験を行い、土砂濃度と濁度計出力の線形性を、(1)室内検定で求めた線形関係と比較した。足洗谷観測水路(水路幅5m、高さ1m、水路勾配1/20、流域面積6.5km<sup>2</sup>)に濁度計を設置し、2023/10/5に足洗谷支流の

ヒル谷(0.85km<sup>2</sup>)堰堤排砂実験にあわせて、濁水の計測、採水等を行った。現地実験中の観測水路の水深は約5cm、表面流速1.5~2m/s程度であった。

(3)現地観測：2023/9/21降雨(時間最大雨量21mm/h、累加雨量51mm)に伴う出水時観測データを整理し、(1)室内検定結果と比較した。

本稿では、近赤外光後方散乱方式のOBS-3+(メーカー製造終了)と、測定方式の異なる濁度計としてISO7027<sup>5)</sup>に準拠したClariVUE10およびNEP-5000を使用した(表1)。なお、本稿ではOBS-3+(T3タイプ)はHighレンジを、ClariVUE10は中央値を使用し、NEP-5000(4-20mA出力タイプ)は抵抗250Ωにより1-5V変換した後、0-5Vに換算した。

表1 使用した濁度計

濁度計	メーカー	測定方式	使用波長λ	計測範囲
OBS-3+	Campbell Sci. Inc	後方散乱	850±5nm	0-4000NTU
ClariVUE10	Campbell Sci. Inc	ISO7027	830-890nm	0-4000FNU
NEP-5000	Observer Instruments	ISO7027	830-890nm	0-5000NTU

### 3. 結果と考察

#### 3.1 室内検定

幅広い粒径範囲( $d=0.005\sim0.85\text{mm}$ ,  $d/\lambda=6\sim1000$ )に対し、室内検定を行った。検定結果としてOBS-3+の例を図2に示す。粒径が小さいほど係数 $B$ は小さく、土砂濃度の変化に対する出力電圧の変化が大きい(感度が高い)。また、図3

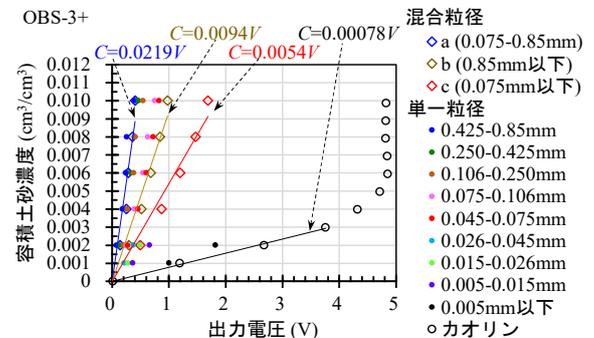


図2 容積土砂濃度と濁度計出力値 (OBS-3+)

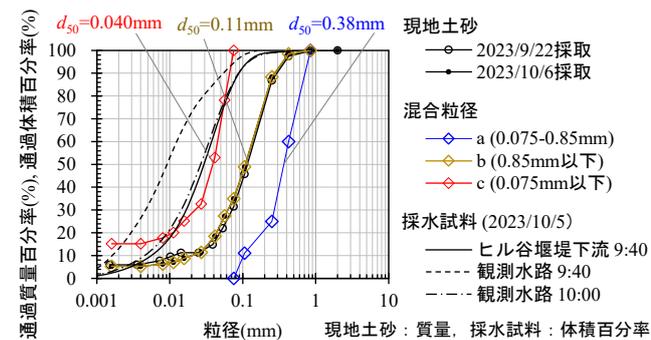


図1 現地土砂試料の粒度分布

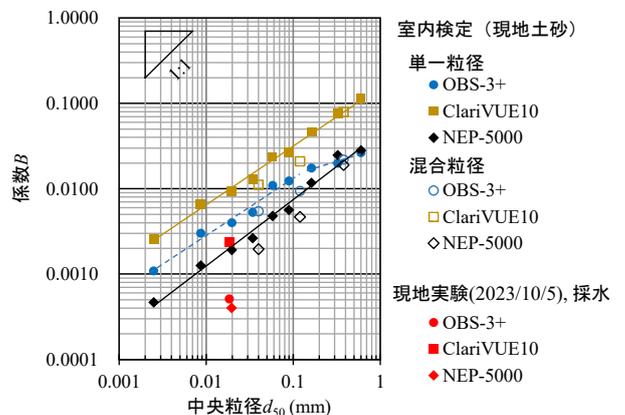


図3 中央粒径 $d_{50}$ と係数 $B$ の関係

に各濁度計の係数  $B$  と中央粒径  $d_{50}$  の関係を示す。後方散乱光量が粒径に反比例する Mie 理論は、図 3 では右肩上がりの 1:1 の傾きで表される。OBS-3+ の傾きは 1:1 よりやや緩やかであるが傾向は類似していた。中央粒径  $d_{50}=0.1\text{mm}$  以下でみると、係数  $B$  は機器により絶対値は異なるが、 $d_{50}$  と係数  $B$  の関係は 3 機種で同様であった。仮に交換前機種を OBS-3+、係数  $B_{\text{obs}}$  とすると、 $0.1\text{mm}$  以下で係数の比  $B/B_{\text{obs}}$  はほぼ一定 (ClariVUE10 は 2.3 程度、NEP-5000 は 0.44 程度) となり、中央粒径  $d_{50}$  に依存しなかった。よって、 $0.1\text{mm}$  以下の土砂に対しては、機種変更前後の土砂濃度を係数  $B$  に基づき関連づけられる可能性がある。また、カオリンでの検定結果は ClariVUE10 で  $B/B_{\text{obs}}=2.2$ 、NEP-5000 で  $B/B_{\text{obs}}=0.50$  で現地土砂と同程度であった。定期的なカオリンでの検定がデータの連続性確保に資すると考えられる。

### 3.2 現地実験

排砂開始(10/5 9:37)直後のヒル谷堰堤下流(9:40)、観測水路での濁水到達前(9:40)、到達後(10:00)の採水試料の粒度分布を図 1、土砂濃度を図 4(上)、観測水路の濁度計計測値を図 4(下)に示す。濁度計近傍での採水試料の土砂濃度と採水時刻の濁度計出力値でみた線形性を図 5 に、係数  $B$  と中央粒径  $d_{50}$  の関係を図 3 に示す。なお、NEP-5000 はセンサー付近での落葉付着、気泡付着等の影響で濁水到達時(10:00 頃)と 13:50 以降のデータのみを使用した。現地実験で得た係数  $B$  を室内検定結果と比較すると、OBS-3+ で 1 オーダー近く小さく、ISO7027 準拠の 2 機種は 1/5 程度であった(図 3)。3 機種とも現地実験の方が土砂濃度の変化に対する濁度計出力の変化が大きい(感度が高い)。これは、現地実験の土砂濃度は最大でも  $0.00015\text{cm}^3/\text{cm}^3$  と低濃度で、浮遊粒子による散乱光の遮蔽や多重散乱が生じにくく、散乱光が濁度計の受光部に到達しやすい条件であるためと推測される。

### 3.3 出水時観測

2023/9/21 出水時の観測データを図 6 に、翌 9/22 に観測水路の上流で採取された現地土砂の粒度分布を図 1 に示す。ClariVUE10 の OBS-3+ に対する係数  $B$  の比を、観測された出力電圧値から、図 7 に示す期間別に求めた。室内検定結果の係数比  $B/B_{\text{obs}}=2.3$ (現地土砂)、 $2.2$ (カオリン)と比較すると、出水前と減水期 1 ではやや開きがあるが、増水期、減水期 2、3 では近い結果となった(図 7)。今後も、流出土砂の材料特性(粒径等)が異なる出水での検証が必要であるが、観測結果から、カオリンによる検定が機種変更前後の濁度計観測データの連続性確保に有効と示唆された。

## 4. まとめ

土砂濃度と濁度計出力に関する比較検証を行って得られた要点を以下にまとめる。

- (1) 低濃度(今回、 $0.00015\text{cm}^3/\text{cm}^3$  以下)や大きい粒径( $d_{50}$  で  $0.1\text{mm}$  以上)を除けば、2 機種の出力電圧と土砂濃度の線形性を把握することで、機種変更前後のデータの連続性を確保できる可能性がある。
- (2) カオリンでの濁度計の検定は、機器故障や異常の有無把握だけでなく、機種変更時の観測データの連続性確保に資すると考えられ、定期的な実施が望ましい。

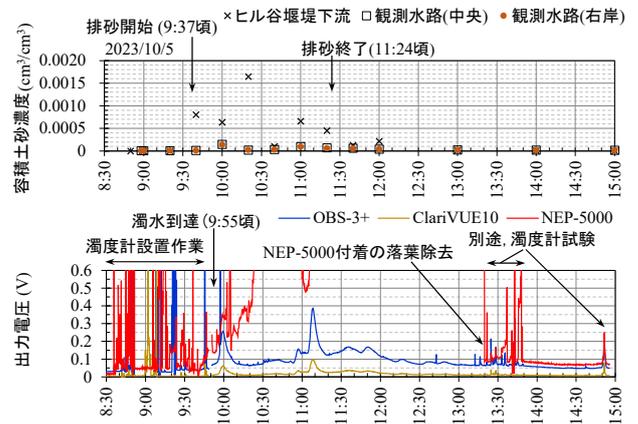


図 4 2023/10/5 現地実験データ

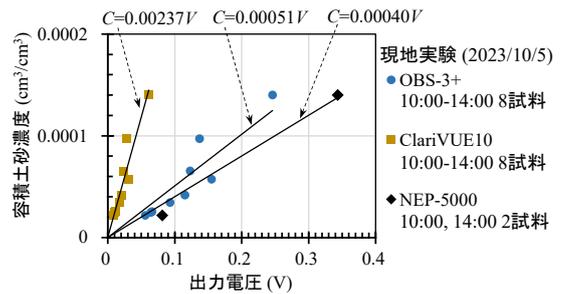


図 5 現地実験の採水土砂濃度と濁度計出力値

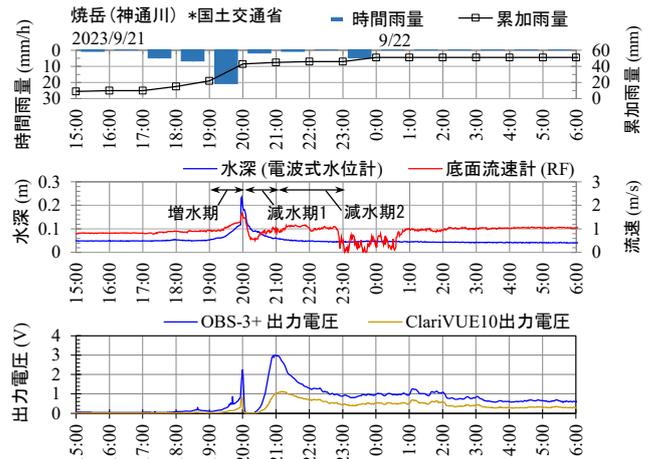


図 6 出水時観測データ (2023/9/21 出水)

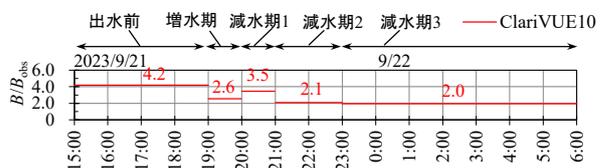


図 7 OBS-3+に対する ClariVUE10 係数  $B$  の比

**参考文献** 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, 第 686 号, 2)蒲原ら, 2014, 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 (案), 国総研資料第 792 号, 土研資料 4284 号, 3) Campbell Sci., Inc., OBS-3+ and OBS300 Suspended Solids and Turbidity Monitors, Instruction Manual, 4) C. S. Conner and A. M. De Visser, 1992, A laboratory investigation of particle size effects on an optical backscatterance sensor, Marine Geology, 108, 151-159, 5) ISO7027-1 :2016(E)