

天竜川上流域で実施した掃流砂観測装置の現地校正試験について

国土交通省中部地方整備局 天竜川上流河川事務所 佐藤保之、澤田宗也、稲葉智彦
株式会社建設技術研究所 家田泰弘、内柴良和、清野真義、戸館光
株式会社コルバック ○吉村暢也、遠藤哲雄、鶴田謙次

1. はじめに

天竜川上流域の支川与田切川および小渋川では、流砂の全成分(掃流砂および浮遊砂・ウォッシュロード)の時系列的な実態を把握する目的で流砂水文観測を実施している。採用している観測装置としては、

- ・与田切川：ハイドロフォン、濁度計、水位計、流速計、トロンメル施設¹⁾
- ・小渋川(3箇所)：ハイドロフォン、濁度計、水位計、流速計
- ・天竜川本川宮ヶ瀬(小渋川合流後)：濁度計、浮遊砂サンプラー

となっている(位置図は図-1参照)。このうちハイドロフォンは、掃流砂量を計測する装置である。本報告は、このハイドロフォンの校正式作成として現地校正試験の実施と検討における工夫点について紹介するものである。

2. 掃流砂観測装置の概要

近年、掃流砂量観測装置として、ステンレス製のパイプまたはプレートに河床を移動する砂礫を衝突させて、その衝突音を計測するハイドロフォンの採用が増えてきた。計測方法は、ハイドロフォン内部に設置してある集音マイクで衝突音を計測して、その衝突音をパルス波形に変換し、パルス波形の数をデータロガーに記録している(パルス方式という)。また、その他の計測方式として音を直接記録する音圧方式がある。天竜川上流域ではパルス方式が採用されている。

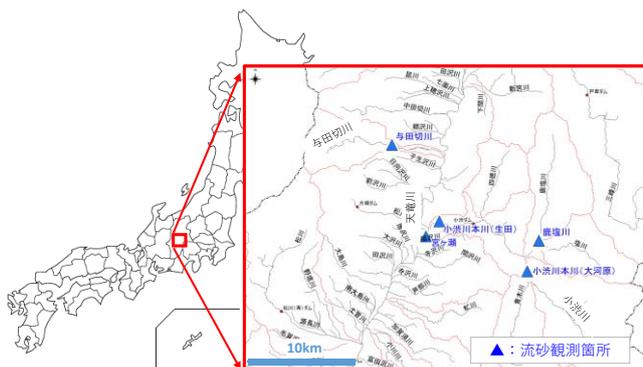


図-1 観測位置図



※この他にパイプ型ハイドロフォンがある

図-2 プレート型ハイドロフォン

3. 現地校正試験

ハイドロフォンの校正式を作成するために、現地に簡易水路を設置し、その簡易水路に一定量の土砂を供

給して、供給土砂量と計測値であるパルス数との関係を分析して校正式を検討した²⁾。

現地校正試験の実施は、与田切川でH27(パイプ型)、小渋川でH26(パイプ型)とH28,H30(プレート型)を行った。ケースは土砂の粒度分布を2種類、土砂量を5種類(0.5~10kg)変化させて計10ケースを基本とした(実験状況を図-3に示す)。

また、R3にハイドロフォンの経年劣化等を調べるために全観測箇所を対象として簡易打撃試験³⁾を実施した(図-4参照)。この簡易打撃試験は、センサー感度の状態を比較的簡易に把握することができる試験となっており、定期的の実施すれば機器の点検や維持管理に役立つものと考えている。



鹿塩川 H30 現地校正試験

水深：最大15cm、流速：最大2.3m/s

図-3 簡易水路を使用した現地校正試験



図-4 簡易打撃試験の実施

4. 校正式の検討

4.1 校正式に関する課題

ハイドロフォンは、センサー部に衝突する砂礫の衝突音を計測しているため、流砂量が多くなると、図-5に示すように複数の衝突音が干渉するようになり、検出できる割合が低下して、計測値が頭落ちする現象が生じ、計測上の課題となっている⁴⁾。

4.2 干渉の影響を考慮した校正式

干渉の影響を考慮している既往の校正式として音圧方式(国総研方式)がある⁵⁾。今回この音圧方式の考え方を参考として式(1)の校正式を設定した。式(1)に示す $f(N)$ が干渉の影響を考慮した検出率で衝突する粒子数 N により変化する値である。

$$P_{\text{gain}} = Q_s \times \alpha_p \times f(N) \quad \text{---- 式(1)}$$

ここに

Q_s : 流砂量[m³/sec/bs]、 P_{gain} : 増幅率 gain のパルス数[pulse/sec]、 α_p : 校正係数、 $f(N)$: 音響波形の干渉による検出率、 N : 衝突する砂礫の粒子数[個/sec]、 bs : センサーの幅[m]

ここで、衝突する土粒子の粒子数 N は、音圧方式では音圧波形から合成音圧法⁵⁾を用いて推定するが、パルス方式では音圧波形を記録していないので合成音圧法は利用できない。そこで今回、各増幅率のパルス数の分布形を利用して、中心極限定理から粒子数 N を推定することとした。

中心極限定理は、母集団から無作為に抽出したときに得られる値が抽出数が多いほど値の頻度分布が正規分布に近づくという定理⁶⁾で、今回各パルス数の頻度分布と衝突粒子数との関係に当てはめた。値の評価は尖度を使用した。尖度は分布形が正規分布に近づくにつれて小さくなる値である（他に情報エントロピーがある）。

3. で示した現地校正試験結果を使用して中央極限定理で分析すると、**図-6**に示すように衝突粒子数 N と尖度との相関性が決定係数 $R^2=0.74$ となり、この関係式を使用してパルス数の尖度 k から衝突粒子数 N を推定することとした。また、衝突粒子数 N から検出率 f を求める方法は、音圧方式で使用している手法⁵⁾を用いた。

4.3 校正係数の検討

現地校正試験で計測したパルス数と供給した土砂量を利用して校正係数の検討を行った。検討した結果を**図-7**に示す。この図が示すように線形関係となり頭落ちする現象が解消された。算出した校正係数 $\alpha_p = 0.0655$ (パイプ型、与田切 H27)、 0.0961 (プレート型、鹿塩川 H30) となった。

4.4 計算例

式(1)の校正式および校正係数 α_p を用いて、与田切川の 2021/5/21 出水時の計測値データを対象として掃流砂量を計算した。その結果を**図-8**に示した。また図には左岸側ハイドロフォンの検出率も示した。この図が示すように、掃流砂量が増加とともに検出率が低下する現象となっており、およそ想定した傾向となった。

5. 新技術による流砂観測データの補完・検証

近年、大規模な出水や経年劣化等により観測装置の故障が発生し、観測精度の低下や欠測が生じている。この対応として、従来の観測装置の耐久性を向上するための補強対策が基本となるが、別のアプローチとして大規模な出水でも欠測しにくい観測手法や欠測時の代替観測手法を模索している（**表-1**参照）。本年度の検討では、UAV 計測や IoT センサー、AI といった新たな技術を用いた手法による観測データの補完、検証方法について一定の適用性が確認できており、この点については、別報にて発表する予定である。

表-1 試行中の流砂観測データの検証・補完方法

手法	概要	
有人機LPデータの差分	航空レーザー測量成果の差分から土砂収支を推定する。	
UAV空撮による簡易差分	UAV空撮およびSfM解析による地形データの差分から土砂収支を推定する。	
簡易な観測手法	IoTセンサー	簡易センサーを設置し、河床変動等を把握する。
	CCTVからのAI画像解析	カメラ画像の解析により、流量や流砂量を推定する。

6. おわりに

今回、ハイドロフォン観測手法の課題となっていた頭落ち現象について、既往の音圧方式の検出率の考え方を利用して校正式を作成した。その結果一定の効果が得られた。今後の現地観測データから精度を確認する必要があると考える。また、欠測時の補完手段として、新技術を利用した手法が有望であることが分かり、今後、実用化に向けて検討を進める予定である。

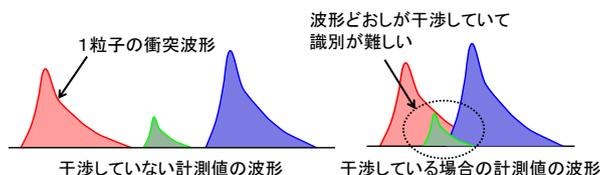


図-5 音響波形の干渉の説明図

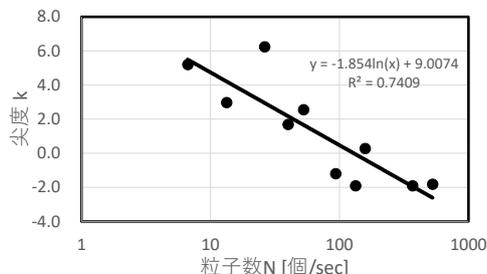
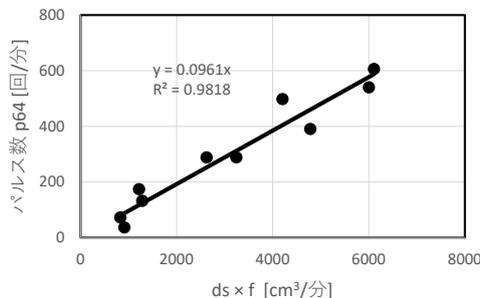


図-6 粒子数 N と尖度との関係



<プレート型ハイドロフォン、鹿塩川 H30 実験結果>
図-7 (供給土砂量 $ds \times$ 検出率 f) とパルス数 p との関係

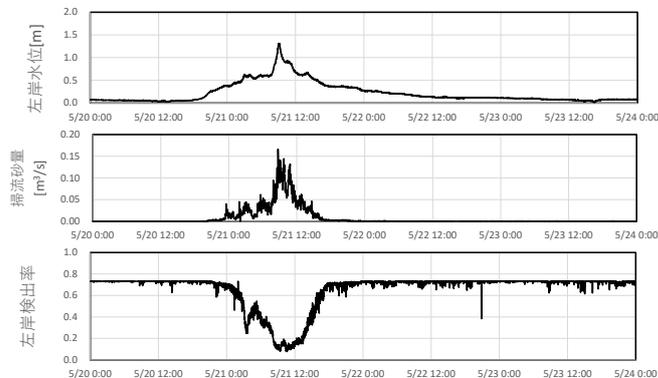


図-8 検出率および流砂量計算例

参考文献

- 1) 中谷ら: Vol.69, 砂防学会誌(2017)
- 2) 吉村ら: H30 砂防学会研究発表会
- 3) 泉山ら: R2 砂防学会研究発表会
- 4) 内田ら: Vol.67, 砂防学会誌(2015)
- 5) 鈴木ら: Vol.66, 砂防学会誌(2010)
- 6) 澤田宏: 独立成分分析入門, 音の分離を題材として(2010)
- 7) 清野ら: R2 砂防学会研究発表会