

木曾川水系中津川における現地土砂・流水を用いたプレート型 hidroフォン現地キャリブレーション試験

日本工営株式会社 ○川瀬 遼太・流川 遥平・渡部 春樹・保谷 智之・伊藤 隆郭
国土交通省 中部地方整備局 多治見砂防国道事務所 森下 淳^{※1}・市川 東大^{※2}・大畑 隆史^{※3}・西條 裕道・西崎 涼真^{※4}

※1: 現 国土交通省 砂防部 保全課 土砂災害対策室 ※2: 現 中部地方整備局 河川部
※3: 現 中部地方整備局 木曾川水系ダム統合管理事務所 管理課 ※4: 現 中部地方整備局 河川部 水災害対策センター

1. はじめに

木曾川水系の主要な支川の一つである中津川は、平成12年9月の東海豪雨や令和3年8月豪雨など、大規模な出水での土砂流出イベントのほか、平年の中小出水においても土砂移動が発生している河川である¹⁾。

中津川流域の土砂動態把握や流域監視、総合土砂管理の参考とするデータを取得するため、多治見砂防国道事務所は令和4年12月に中津川中流に位置する川上(カオレ)第6床固工に流砂観測機器を設置し、観測を開始した(図1)。

掃流砂の観測にあたっては、プレート型 hidroフォンによる連続観測を行っている。hidroフォンによる観測は解析手法が主に2つ存在する。ひとつはhidroフォンの電圧値を高頻度で記録し、室内実験等で得られた「電圧と掃流の土砂量の関係式」を用いて掃流砂量を求める「合成音圧式²⁾³⁾など」である。もう一方は、hidroフォンへの掃流砂の衝突音をアンプで増幅し、電圧が閾値を超えた回数(パルス数)を記録する「パルス式⁴⁾⁵⁾など」である。

パルス式は観測楯で捕捉した土砂量とパルス数の関係から掃流砂量の推定式を導くことが一般的である。しかし、川上第6床固工には観測楯を設置していないことから、別途掃流砂量の推定式を導く必要がある。また、プレート型 hidroフォンは現地の観測機器設置条件等で応答に変化があることが知られており、観測地点ごとにキャリブレーションを実施することが望ましい。現在まで、プレート型 hidroフォンを対象に流下土砂量と観測値の関係を現地実験により示した報告は橋本ら(2022)がある。しかし、水路設置のための河道の掘削や必要流量確保のため重機を用いる等、大がかりな実験となっていた。

今後「パルス式」による観測も想定し、本稿では川上第6床固工のプレート型 hidroフォンで「パルス式」で計測したデータを対象に、従来報告されていた事例より簡易な手法で現地土砂および流水を用いた現地キャリブレーションを行った結果を報告する。

2. 実験概要

2. 1. 実験水路と使用試料

筆者らは、川上第6床固工に矩形直線水路を現河床勾配程度(1/21)で設置し(図2)、実験流水は水中ポンプや止水板等で必要流量を確保した。水路幅はプレート型 hidroフォンの1/2の幅である25cmとし、河川の粗度を反映するため、水路内に高さ5mmの棧を50mm間隔で設置した(図2左上)。通水後に現地で計測したところ、水深0.125m、流速1.05m/s、粗度係数 $0.0565\text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ となった。

実験で流下させた試料は、毎年生じうる規模の出水で流

下する程度の礫とし、中津川下流で採取した礫を15~25mmに破碎したものをを用いた(図2左下)。



図1 観測位置

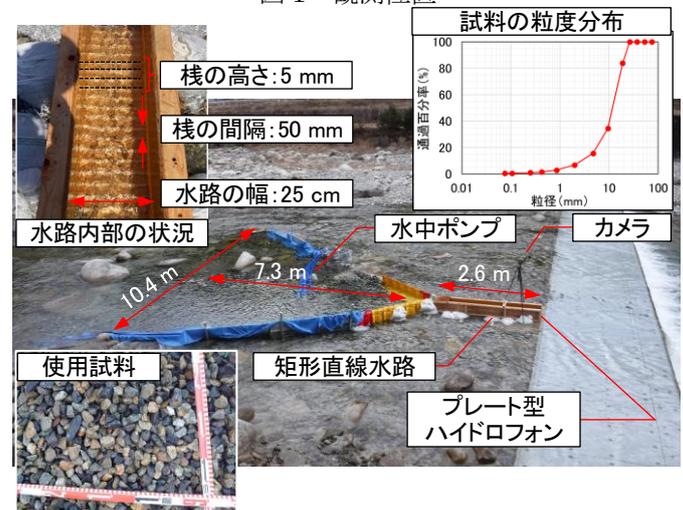


図2 川上第6床固工 矩形直線水路配置状況

表1 実験ケース

	Run A-1	Run A-2	Run A-3	Run B-3	Run B-5	Run B-7
実施日	2月26日	2月27日	2月27日	2月26日	2月27日	2月27日
粒径 [mm]	15~25mm	15~25mm	15~25mm	15~25mm	15~25mm	15~25mm
流量 [ℓ/s]	32.8	33.5	33.5	32.8	33.5	33.5
給砂時間 [s]	180	180	180	180	180	180
給砂総重量 [kg]	118.250	119.185	119.165	39.655	39.710	39.840
体積 [m³]	0.0447	0.0450	0.0450	0.0150	0.0150	0.0150
給砂量 [m³/s]	0.0002481	0.0002501	0.0002500	0.0000832	0.0000833	0.0000836
輸送濃度	0.00751	0.00741	0.00741	0.00253	0.00248	0.00249
平均給砂量 [m³/s/m]	0.00099	0.00100	0.00100	0.00033	0.00033	0.00033

2. 2. 実験ケース

本実験においてパルス式でのデータは、増幅率 2 倍, 4 倍, 8 倍から順に 1024 倍までの増幅率で取得した。実験ケースは表 1 に示す。流量はおおむね毎年発生しうる出水規模程度で流下する礫径(15~25 mm)が支障なく流下できる, 約 33 l/s で実施した。輸送濃度は平衡濃度に近い 0.0075 および 0.0025 の 2 通りとした。

3. 実験結果

本実験は、水路幅をプレート型ハイドロフォンの半分で行ったため、実験によって得られたパルス数は 2 倍に換算して結果の整理を行った。各増幅率で横軸に 1 分当たりのパルス数, 縦軸に単位幅掃流砂量(空隙なし, 以下同様)をとったグラフを整理した。なお, 給砂土砂がすべて水路内を流下したことを確認したため, 給砂土砂量を流出土砂量として扱った。表 2 の中で最も相関の良かった増幅率 32 倍のケースを表 3 および図 3 に示す。このとき, 1 分当たりのパルス数(x)から単位幅掃流砂量(y)を求める式は

$$y = 1.30 \times 10^{-6}x \quad (1)$$

となった。このときの決定係数 R^2 は 0.949 と良い相関を示していると考えられる。

表 3 パルス式の実験結果(増幅率 32 倍)

	平均パルス数 [回/分/0.5m]	平均給砂量 [m ³ /s/m]	総給砂量 [m ³ /3分/m]
● Run A-1	722	0.000992	0.0447
● Run A-2	651	0.00100	0.0450
● Run A-3	658	0.00100	0.0450
○ Run B-3	471	0.000333	0.0150
● Run B-5	347	0.000333	0.0150
○ Run B-7	388	0.000334	0.0150

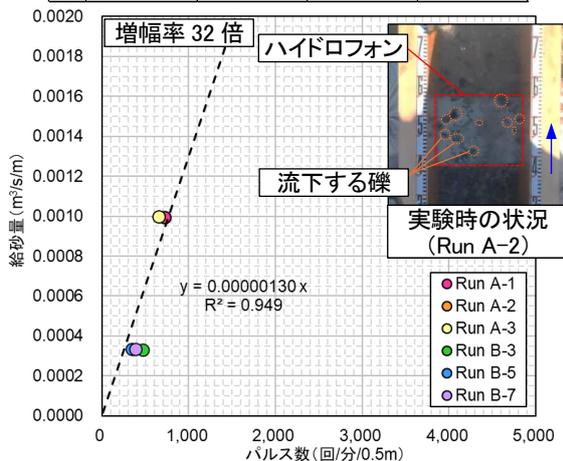


図 3 パルス数と単位幅あたり給砂量の関係

なお, パルス数を 5 分当たりの回数(x' [回/5 分/0.5 m])とした場合の換算式は以下の通りとなった。

$$y = 2.60 \times 10^{-7}x' \quad (2)$$

先行報告⁶⁾による換算式は, $y = 1.01 \times 10^{-7}x'$ となっており, オーダーでは一致している。係数の差は現地の機器設置状況や実験の対象とした流量や粒径, 礫の形状の差等が影響した可能性がある。

4. おわりに

現地の流水を用いた現地キャリブレーション試験の結果を基に, プレート型ハイドロフォンの取得データから流下掃流砂量を推定するキャリブレーション式を導出した。従来, プレート型ハイドロフォンは観測樹と併用した運用が主流であった。しかし今回, 現地キャリブレーション試験を行ったことで, 先行報告より簡易な手法で流下する掃流砂量を把握できるようになった。本稿では毎年発生しうる規模の出水を対象として実験を行ったため, 中規模程度以上の出水の際の観測データについては外挿による推測となる。そのため, 今後, より大きい規模を対象とした実験を行うことや, 観測データの蓄積・検証を行うことで, 観測の精度向上を図っていくことが望まれる。また, プレート型ハイドロフォンのキャリブレーション結果を多く蓄積することで, 標準的なキャリブレーション式の導出が望まれる。

謝辞

国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室の方々には, 本実験実施にあたり技術的なご指導を頂いた。ここに記して関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 森下淳・堀智幸・大畑隆史・伊藤美沙・西崎涼真・田中健貴・小室知栄・西尾陽介・佐藤敏明・宮田直樹, 木曽川水系中津川における中長期の土砂動態について(2), R6 砂防学会研究発表会概要集, p.547-548, 2024
- 2) 鈴木拓郎・水野秀明・小山内信智, 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, p.18-26, 2010
- 3) 鈴木拓郎・内田太郎・岡本敦・高橋健太・山下伸太郎・小菅尉多・福本晃久, 音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂観測手法の現地適用性の検証, 砂防学会誌, Vol.66, No.1, p.4-14, 2013
- 4) 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観測, 砂防学会誌, Vol.49, No.4, p.34-37, 1996
- 5) 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, 京都大学防災研究所年報, 第 53 号 B, p.537-543, 2010
- 6) 橋本憲二・保谷智之・渡部春樹・伊藤隆郭・川瀬遼太・五十嵐和秀・松岡暁・菅沼健・植野利康・赤澤史顕・泉山寛明, 現地土砂・流水を用いたハイドロフォン応答試験のための現地水路実験, R4 年度砂防学会研究発表会概要集, p.299-300, 2022