

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

日本工営(株) ○橋本憲二, 保谷智之, 渡部春樹, 伊藤隆郭, 川瀬遼大, 五十嵐和秀, 松岡暁, 菅沼健
 国土交通省 関東地方整備局 富士川砂防事務所 植野 利康, 赤澤 史顕
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 泉山 寛明

1. はじめに

山地河川は河床勾配が急であり、河床材料の粒度分布が幅広い粗粒成分の土砂の生産が多く、土砂移動形態を構成する掃流砂の割合が大きくなる。山地河川の土砂動態を把握するためには、掃流砂の時系列変化を可能な限り正確に観測することが必要となる。

掃流砂量の観測は、主として、ハイドロフォンを用いて行われており、解析手法の違いにより大きく2つに分けられる。1つはハイドロフォンの電圧値を高頻度で記録し、国総研等¹⁾での室内実験等で得られた「電圧と掃流砂量の関係式」を用いて掃流砂量を求める方法「合成音圧方式」である。もう一方はマイクからの出力値を増幅・波形処理した電圧値が、閾値を超える回数(パルス数)をカウントし、観測楯等で得られた掃流砂量とパルス数の比較により構成されるキャリブレーション式を使用して掃流砂量を推定する方法「パルス式」である。両解析手法は、パイプ型における計測実績は多く存在するが、プレート型への適用事例は少なく、実際の山地河川においてハイドロフォンの検出・推定方式の違いがどの程度掃流砂量の推定に影響するのか、直接的に比較した例は少ない。

そこで本稿では、富士川砂防事務所管内の栃原砂防堰堤にて、現地を流れる春木川の流水と現地河床材料を利用し、パイプ型とプレート型の2つのハイドロフォンを対象に実施した現地水路実験結果について整理・考察した。両ハイドロフォンは合成音圧方式とパルス式の2つの解析手法で計測し、合成音圧方式については、異なるデータ取得周期で計測した出力値の違いや現状のプレート型ハイドロフォンによる流砂量算出方法の課題抽出を行った。

2. 実験概要

(1) 実験場所

既設のプレート型ハイドロフォンを使用するため、富士川砂防事務所管内の栃原砂防堰堤にて現地水路実験を実施した。栃原砂防堰堤の詳細と現地状況を図1に示す。

(2) 実験水路と試料諸元

既設のプレート型ハイドロフォン(L=0.116m×B=0.5m)の下流側に、図2(右上)のようにパイプ型ハイドロフォン(L=0.8m, φ=0.0486m)を仮設し、上流側に実験水路(幅=0.5m, 長さ=3.64m, 勾配=1/32)を設置した。設置したハイドロフォンと実験水路、周辺状況を図2(左上)に示す。

実験流水には現地を流れる春木川の流水を水中ポンプにて実験水路に給送水し、必要な流量を確保した。実験試料には堰堤上流付近で採取した現地河床材料を使用した。ふるい分け作業により分級していくつかの代表粒径を抜粋した単一粒径試料と、現地の粒度分布に合わせて攪拌・混合した混合粒径試料を準備した。単一粒径試料を個別給砂、連続的に単一・混合粒径試料をそれぞれ一定の給砂時間で実験水路に投入し、合成音圧方式とパルス式の両解析手法で出力されるハイドロフォンの反応値を記録した。ハイドロフォンに衝突する様子は、ハイドロフォン真上からと真横からの2方向から動画で撮影した。実験水路への試料給砂位置と動画撮影位置を図2(下)に示す。

(3) 計測方法・計測機器

本実験の取得データは、合成音圧方式とパルス式の2つの解析手法で計測する。合成音圧方式は、ハイドロフォンによって取得される音響信号を音響変換機「IHC-2」で増幅させデータロガー「NR-600」で記録する。本実験で

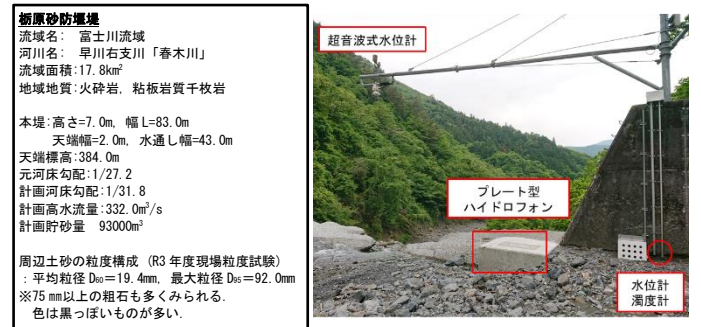


図1 栃原砂防堰堤の詳細と現地状況

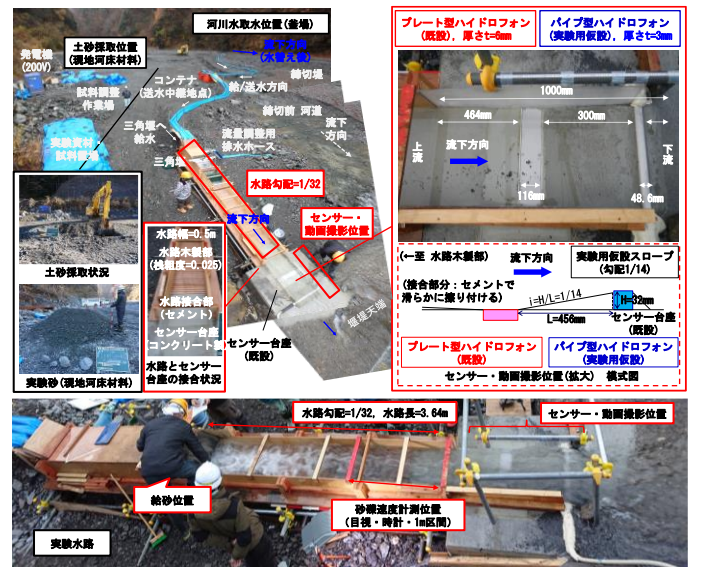


図2 現地水路実験全体図とハイドロフォン設置状況

表1 実験ケース (一部抜粋)

粒径	ケース No.	流量 [l/s]	給砂時間 [s]	給砂量 [m³/s]	単位幅給砂量 [m³/s/m]	土砂濃度
2mm~4.75mm	RUN1-2①	69.4	180	1.60×10 ⁻⁴	3.20×10 ⁻⁴	2.30×10 ⁻³
	RUN1-2②	69.4	180	1.49×10 ⁻⁴	2.98×10 ⁻⁴	2.14×10 ⁻³
4.75mm~9.5mm	RUN2-2①	69.4	180	1.51×10 ⁻⁴	3.03×10 ⁻⁴	2.18×10 ⁻³
	RUN2-2②	69.4	180	1.48×10 ⁻⁴	2.96×10 ⁻⁴	2.13×10 ⁻³
9.5mm~19mm	RUN3-2①	69.4	180	1.56×10 ⁻⁴	3.12×10 ⁻⁴	2.24×10 ⁻³
	RUN3-2②	69.4	180	1.57×10 ⁻⁴	3.14×10 ⁻⁴	2.26×10 ⁻³
19mm~26.5mm	RUN4-2①	69.4	180	1.55×10 ⁻⁴	3.11×10 ⁻⁴	2.23×10 ⁻³
	RUN4-2②	69.4	180	1.58×10 ⁻⁴	3.15×10 ⁻⁴	2.27×10 ⁻³
37.5mm~53mm	RUN5-2①	69.4	180	1.52×10 ⁻⁴	3.05×10 ⁻⁴	2.19×10 ⁻³
	RUN5-2②	69.4	180	1.41×10 ⁻⁴	2.82×10 ⁻⁴	2.03×10 ⁻³
53mm~75mm	RUN6-2-2①	69.4	180	2.83×10 ⁻⁴	5.66×10 ⁻⁴	4.06×10 ⁻³
	RUN6-2-2②	69.4	60	2.45×10 ⁻⁴	4.90×10 ⁻⁴	3.52×10 ⁻³
75mm~100mm	RUN6-2-1①	69.4	180	4.75×10 ⁻⁴	9.51×10 ⁻⁴	6.80×10 ⁻³
	RUN6-2-1②	69.4	60	5.05×10 ⁻⁴	1.01×10 ⁻³	7.23×10 ⁻³
混合	RUN7-2	69.4	70	1.88×10 ⁻⁴	3.75×10 ⁻⁴	2.70×10 ⁻³
	RUN8-2	69.4	140	1.89×10 ⁻⁴	3.77×10 ⁻⁴	2.71×10 ⁻³
	RUN9-2	69.4	175	1.98×10 ⁻⁴	3.97×10 ⁻⁴	2.85×10 ⁻³
	RUN10-2	69.4	455	1.87×10 ⁻⁴	3.73×10 ⁻⁴	2.68×10 ⁻³

は、データ取得周期による取得データへの影響を調査するため、100kHz用と20kHz用の2台の「NR-600」を使用した。高速サンプリングに対して5秒間計測した後2秒間の記録をし、両マイクロフォンの合成音圧方式で取得したデータを比較した。パルス式は、音響信号をパルス変換機「HT-HP5」によって増幅・波形処理を行い、その音響波をデータロガー「CR-1000 4M」で記録する。また、マイクロフォンによる計測の他、目視・ストップウォッチによる流速の計測も同時に行った。

(4) 実験ケース

本実験で実施した実験ケースの一部を表1に示す。流量は69.4ℓ/sで一定とし、給砂時間を変化させて単一粒径試料と混合粒径試料をそれぞれ投入した。

3. 実験結果

(1) データ取得周期の違いによる出力値の変化

合成音圧方式によるパイプ型/プレート型マイクロフォンの解析手法において、データ取得周期(100kHzと20kHz)の違いによる取得データへの影響について、実験から得られた音響データを整理し、考察した。得られたデータを代表して、RUN3-2①(粒径9.5mm~19mm)のグラフを図3(上)に示す。縦軸に投入した単位幅あたりの給砂量を、横軸に両マイクロフォンで計測された単位幅あたりの掃流砂量を表示している。一定の土砂量を投入し続けたため、縦軸は一定値となっている。投入した単位幅給砂量に対し、算出された単位幅掃流砂量のバラツキが大きいことが確認できる。本要旨には1ケースのみを示しているが、全体のバラツキは粒径が大きい実験ケースほどより顕著に表れている。マイクロフォンの種類別で比較すると、プレート型に比べてパイプ型の方がバラツキが大きく表れる傾向が確認できた。これは、プレート型は河床上に平坦に設置されており衝突部への当たりムラが少ない構造をしているのに対し、河床上で突起状に配置されるパイプ型の方が砂礫の当たりムラが発生しやすいためだと考えられる。加えて、パイプ型とプレート型の接触部厚さを比較すると、パイプ型:3mm、プレート型:6mmのため、パイプ型の方が薄く音を拾いやすいことも影響していると考えられる。

(2) プレート型マイクロフォンによる流砂量算出方法の課題抽出

図3(下)に、縦軸に累加単位幅給砂量を、横軸に合成音圧方式によって掃流砂量へ変換した、マイクロフォンの累加単位幅掃流砂量を表示したグラフを示す。パイプ型とプレート型のそれぞれの近似直線の傾きについて比較した。パイプ型は、給砂量と掃流砂量の比が概ね1:1に近似するのに対し、プレート型は直線の傾きが小さくなる傾向が確認された。本実験において、プレート型用の合成音圧方式の換算式は、パイプ型用の換算式をそのまま適用したため、プレート型用に最適化されていないためと考えられる。

(3) プレート型マイクロフォンのパルスデータによる掃流砂量算出方法の検討

プレート型マイクロフォンにおいて、パルス式で掃流砂量を換算し掃流砂量算出方法の検討を行った。ここでは、実際に供用される条件下に近いと考えられる「混合粒径試料」を投入したケースについて、平均給砂量または総給砂量に対するパルス数の比較を行った。その中で、比較的相关性が高かった増幅率64倍のケースについて図4に示す。プレート型マイクロフォンの5分間換算での平均パルス数を横軸に、平均給砂量(図4(上))または総給砂量(図4(下))を縦軸にグラフに整理した。図4に示すように、増幅率64倍時のパルス数と給砂量の相関が最も良いことが確認され、いずれも線形関係のキャリブレーション式が得られた。観測枡を用いずに、現地実験によりパルス数と掃流砂量とのキャリブレーション式が得られた。

4. おわりに

本稿では、栃原砂防堰堤にて現地河床材料と現地河川の流水を使用した現地水路実験の結果に対してデータ整理・考察を行い、データ取得周期の違いによる掃流砂量への影響と、プレート型マイクロフォンのパルス式によるキャリブレーション式の構築を行った。今後の流砂量観測の精度向上に活かしたい。

【参考文献】

- 1) 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, p.22, p.30, 2012

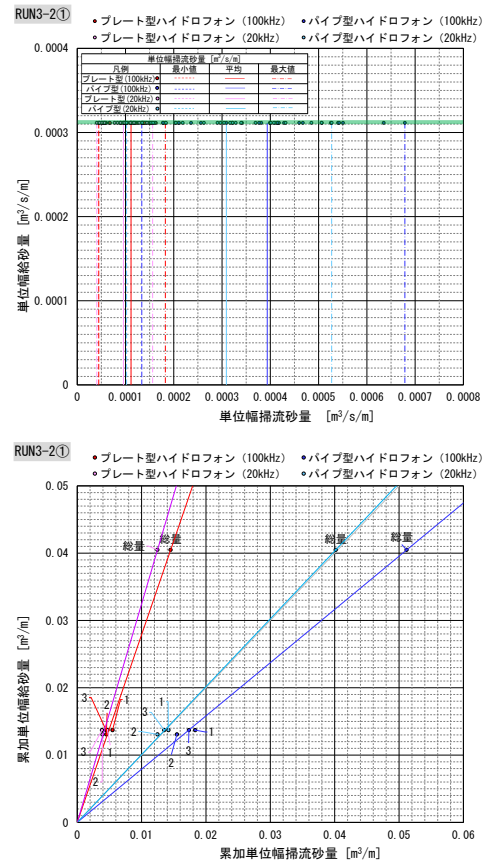


図3 合成音圧方式による算出値と実際の投入土砂量の比較

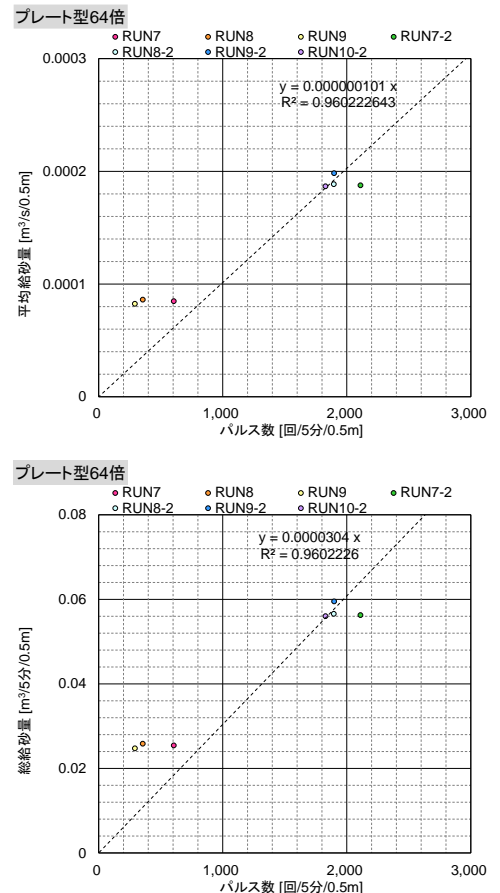


図4 給砂量に対する増幅率64倍での平均パルス数