

プレート型ハイドロフォンによる掃流砂量のキャリブレーション式のための水路実験

日本工営株式会社 ○保谷(碓屋) 智之, 渡部 春樹, 橋本 憲二, 高木 優, 松岡 暁, 菅沼 健, 伊藤 隆郭
 国土交通省 関東地方整備局 渡良瀬川河川事務所 上原 舞, 杉田 毅, 熊木 正, 小見 一志

1 はじめに

上流からの流出土砂に伴う河床上昇等により引き起こされる土砂・洪水氾濫¹⁾への懸念などを背景に、国土交通省地方整備局等の事務所等において全国的に流砂観測が実施されている²⁾。現在、渡良瀬川管内では、足尾銅山跡地荒廃地からの土砂流出把握や、赤城山由来の脆弱な火山性地質を有する流域の流出土砂量の把握を目的として、管内4箇所(図1)で流砂量観測が実施されている。渡良瀬川の支川の中で赤城山山麓に位置する流砂強度の大きい川口川が継続した重点的な観測対象の一つとされ、川口川下流砂防堰堤(図1)にプレート型ハイドロフォンが設置されている。この現場では観測柵等の直接的な流砂観測は行われておらず、本稿では、ハイドロフォンの計測値を掃流砂量へ変換するキャリブレーション式の構築や計測限界の把握のためのデータを得る目的で、現地設置機器と同様のシステムを採用した室内水路実験について報告する。

2 実験内容

2.1 パルス式の観測手法とキャリブレーション方法

流砂形態の中で特に掃流砂量を実測する手法のうち間接法に大別されるハイドロフォンは、マイクを内蔵し、土粒子が衝突する際に生成される音響信号を記録する装置である³⁾⁴⁾。

音響信号の分析手法は①合成音圧法⁵⁾と②パルス法⁶⁾の2つがある。合成音圧法は音響信号の波形を分析する方法であり、国土交通省が実施する掃流砂観測に広く用いられる⁴⁾⁵⁾。一方、パルス法は変換機内で音響信号波形を数段階の異なる率で増幅し各波形が閾値を越えた場合に出力されるパルスの数をカウントする(図2)。これにより収録するデータ容量は小さく済み、連続的に長期間の観測を行う実務上での利点となるため古くから用いられ、本現場で採用されている。

パルス法では各設定増幅率で得られたパルス数のうち、直接法で計測された掃流砂量と最も相関が良い増幅率を採用し、その相関から掃流砂量を推定することが一般的に行われる³⁾⁴⁾。一方で予めパルス数と掃流砂量との相関を求めておけば、掃流砂の直接計測を行わない期間でも間接法による連続的な掃流砂量の観測が可能になる³⁾⁴⁾。対象現場では直接計測は行われておらず、本稿では室内水路へ既知の給砂量を与えることでキャリブレーションを行うこととした。

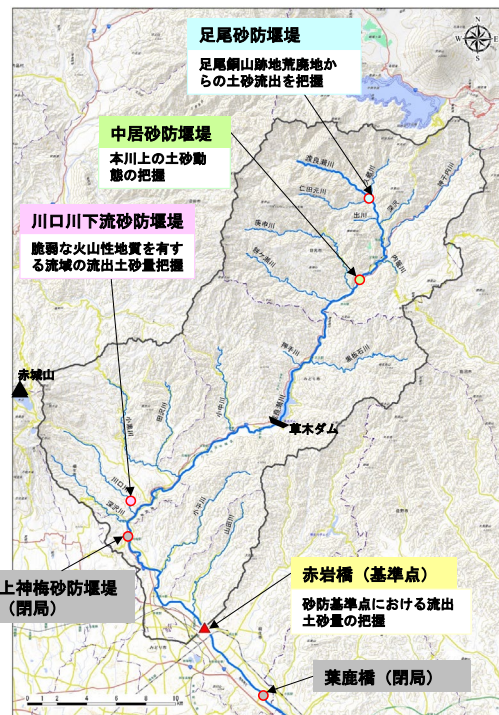
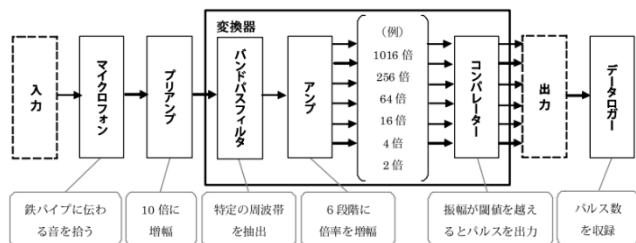


図1 管内の観測対象位置関係図



(本検討で用いた変換器 HT-HP6 では増幅率を 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 倍の 10 段階としている)

図2 パルス式観測のシステム概要図の一例

参考文献⁶⁾より引用・加筆

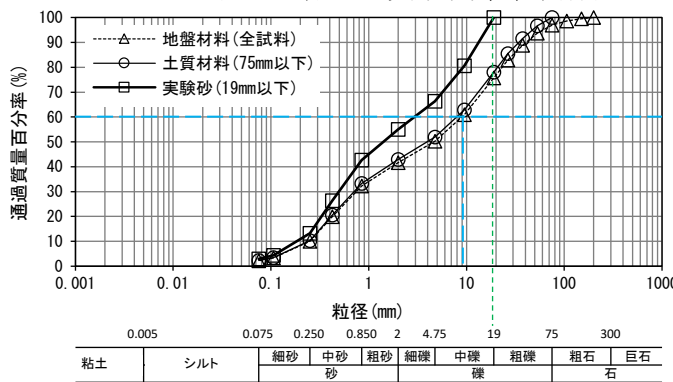


図3 現地採取土砂と実験砂の粒径分布図

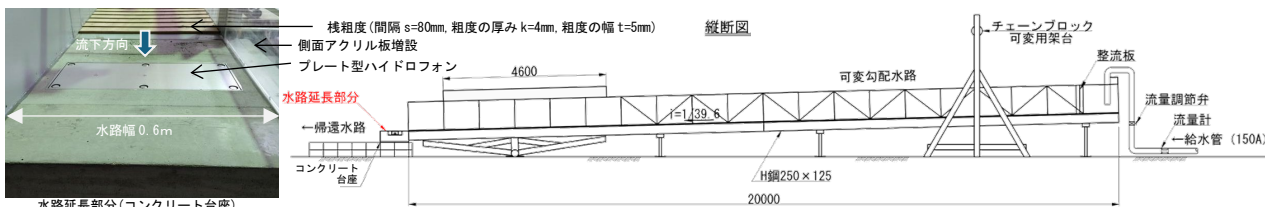


図4 室内実験水路概略図及びプレート型ハイドロフォン設置状況

2.2 実験で用いた砂礫試料

実験で用いる砂礫試料は現場特性を考慮するため上流側堆砂域内の河床から採取して用いた。現地土砂の粒径は60%粒径 9.02mm 最大粒径 200mm(地盤材料), 土粒子密度 2.3gf/cm³であった。一般的な土粒子密度 2.6 gf/cm³程度に対して本試料の土粒子密度が軽い原因は火山由来の砂礫を多く含む地域特性のためと考えられる。実験では、現場で概ね年に1度程度の出水規模のピーク流量程度の流量にて河床を移動可能な最大粒径(20mm程度)以下となるようにJGS規格の中からフルイ目を選び、現地土砂の19mmフルイ通過試料を用いた。粒度分布図を図3に示す。

2.3 実験条件・実験水路諸元

原寸大実験水路として幅0.6m, 長さ約20mの左岸側が透明アクリル製の固定床の矩形断面開水路を使用した。底面に栈粗度を設置した(間隔s=80mm,粗度の厚みk=4mm,粗度の幅t=5mm,出水時想定粗度係数0.02[m-s系])。水路勾配は川口川下流砂防堰堤水通し部上流側堆砂域内の平均的な勾配を想定し, 約1.5° (=1/39.6)に設定した。水路下流端に水平なコンクリート台座(幅0.8m,長さ0.8m,厚さ0.3m)を設置し現地と同型(L=0.5m,B=0.2m,t=6mm)かつ同様の構成のパルス式観測システムのプレート型ハイドロフォンを設置した(図4)。なお, 現場実験も併せて実施し, 室内水路に設置した機器は現場に設置されている機器とほぼ同じ応答特性を持つことを確認した。

実験での流量は, 川口川下流砂防堰堤で観測された近年の出水のうち, 単位幅流量で概ね年に1度程度の出水規模のピーク時の掃流砂量を流し得る流量として90ℓ/sを一定流量で流した。一定流量下で濃度を変えた土砂供給を行い, ハイドロフォンによる計測とビデオカメラでの流況撮影を行った。供給土砂量のケース一覧を表1に示す。

3. 実験結果

3.1 実験結果(キャリブレーション式の推定)

供給土砂量とパルス数の関係をグラフ上でプロットした結果,倍率32倍, 64倍, 128倍の増幅率の場合のパルス数と土砂量の相関性がよいことがわかった。そこで, 3つの倍率での結果に対して単位幅(1m)当たりの値として結果を整理し, 最も線形性のよい倍率は倍率64倍であった(図5)。キャリブレーション式は以下の通りである。

$$\text{土砂量(m}^3\text{/s/m)} V_s = 7.37 \times 10^{-8} \times P_{64_5\text{min}_1\text{m}} \quad \text{式(1)}$$

ただし, P_{64_5min_1m}: 単位幅当たりでの倍率64倍のパルスの5分間積算値(回)

3.2 実験結果(大規模・頭打ち)

図5によると, 供給土砂量を増加させてもパルス数が一定の値からほぼ増加しなくなるのは供給土砂量0.0003~0.0004 m³/s/m程度であり, 土砂濃度で示すと0.002~0.003程度(表1参照)が上限となっていると考えられる。

4. おわりに

本稿では, 川口川下流砂防堰堤での現場特性を考慮したプレート型ハイドロフォンのパルス式観測のためのキャリブレーション式の構築や詳細な機器特性(パルスの飽和等)の把握を室内水路実験で行った。その結果, 式(1)のキャリブレーション式を得た。また, 観測可能な土砂濃度は0.002~0.003程度以下であることがわかった。今後, この結果を用いて観測を実施し, 観測値を対象流域の土砂流出特性把握のために活用していく予定である。

【謝辞】本検討に当たっては, 国土技術政策総合研究所 赤澤史頭 主任研究官 及び, 土木研究所 清水義彦 群馬大学名誉教授より貴重なご助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1)国総研(2018); 河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き(案), 国総研資料第1048号
- 2)国総研(2025); 山地河川における流砂水文観測データ(平成26年~令和4年), 国総研資料第1331号
- 3)矢下ら(2013), 魚野川流域におけるパイプハイドロフォンを用いた掃流砂観測とその課題, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集, p.A.218-219
- 4)東ら(2022), パルス法による山地河川における流砂量推定手法の高度化, 砂防学会誌74巻5号, p.3-13
- 5)鈴木ら(2010), 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62巻5号, p.18-26
- 6)水山ら(2008), 流砂量の多い状態のハイドロフォンによる流砂計測(音圧データの取得), 砂防学会誌61巻1号, p.35-38

表1 実験ケース一覧表

ケース名	目標供給量(水路幅0.6m当たり)				実量(比重含水比で補正)
	流砂量(ℓ/s)	流量(ℓ/s)	土砂濃度(小数点表示)	継続時間(秒)	単位幅当たり供給土砂量(m ³ /s/1m)
ケース1	0.09	90	0.0010	60	0.00014, 0.00017
ケース2	0.18	90	0.0020	30	0.00029, 0.00029
ケース3	0.21	90	0.0023	50	0.00034
ケース4	0.45	90	0.0050	30	0.00072, 0.00072
ケース5	0.73	90	0.0080	30	0.00124, 0.00124
ケース6	0.91	90	0.0100	30	0.00144
ケース7	1.84	90	0.0200	30	0.00288

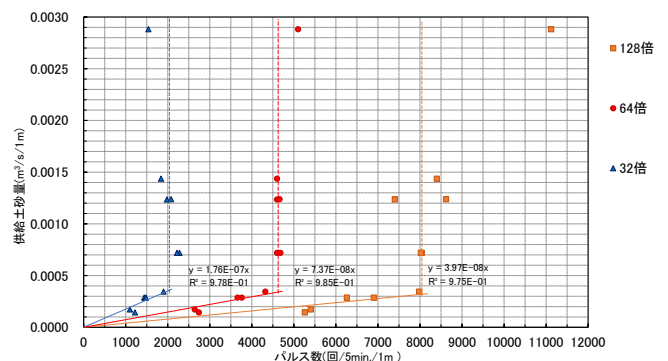


図5 実験結果(パルス32倍, 64倍, 128倍)