

ハイドロフォンによる掃流砂量の連続観測

鈴木拓郎* 内田太郎** 岡本 敦***

1. はじめに

流域の最上流の山腹斜面から河口、漂砂域までの土砂が移動する領域を流砂系という。流砂系においては、ダム堆砂、河床低下・上昇、海岸侵食など、土砂移動に関わる様々な問題が発生する場合がある。このような問題の解消のためには、流砂系一貫とした総合的な土砂管理が必要である。そのためには、土砂移動の出発点である山地河川の流砂量を定量的に把握することが重要である。

このような背景から、国土交通省では、山地河川の流量及び流砂量を定量的に把握することを目的とした全国的な水文流砂観測を平成21年度から実施している。その中で、河床面近くを流れる成分である掃流砂量*の観測についてはハイドロフォンと呼ばれる音響式センサーによる間接的な手法を用いている。ハイドロフォン自体は従来から用いられている計測器であるが、得られる音響データの解析手法には新たな手法¹⁾を用いている。

ここでは、新たな解析手法を用いたハイドロフォンによる掃流砂観測方法の精度に関して、直接観測結果との比較検証結果を報告する。

2. ハイドロフォン

2.1 ハイドロフォンの概要

ハイドロフォンとはマイクロフォンを内蔵した金属管である^{2),3)} (写真-1, 図-1)。砂防堰堤水通し部等の構造物上に設置し、掃流砂の衝突音をアンプ、データロガー等を通じて音響データとして記録し、そのデータを解析して掃流砂量に換算する間接的な手法である。流砂量を直接採取する観測手法は膨大な費用・労力を要することに加え、連続的な観測が困難なことから、このような間接的な手法が考案されてきた。

2.2 ハイドロフォンデータの解析手法の概要

ハイドロフォンによって取得される音響データ

の解析¹⁾には、著者らが考案した音圧値を利用した手法を用いている。音圧値とは音の振幅値の平均値のことであり、音量とほぼ同義と考えて差し支えない。著者らは水路実験の結果より、流砂量と音圧値の間には以下のような関係があることを示した。

- (1) 流砂量と音圧値は正の相関関係にある。
- (2) 個別の衝突波形同士が独立している（重なり合っていない）場合、流砂量と音圧値は比例関係にある。
- (3) 集合的に衝突し、衝突波形同士が重なり合うような場合、音波の相殺的干渉が生じて音圧値は(2)の比例関係よりも小さな値になる。
- (4) 音圧値の検出率（実際の音圧値÷(2)の比例関係の値）は、単位時間当たりの衝突個数のみに関する減少関数となる。

このような性質を利用した数値解析によって、掃流砂量に換算する。



写真-1 ハイドロフォンの写真

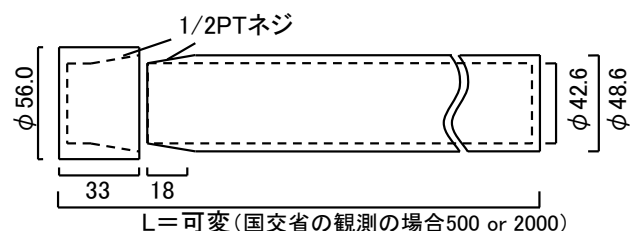


図-1 水文流砂観測で用いているハイドロフォンの寸法図 (単位はmm)

Continuous Observation Of Bedload Discharge Rate With A Hydrophone

*土木用語解説：掃流砂量

3. 現地観測による検証

3.1 観測地

図-2に示す天竜川右支川与田切川中流部の坊主平砂防堰堤において、流砂観測施設を用いた直接観測及びハイドロフォンによる観測を実施した。

3.2 流砂観測施設による直接観測

流砂観測施設を写真-2に示す。本観測施設は、砂防堰堤の袖部に設けた取水口から流砂を直接採取して流砂量を計測する装置⁴⁾である。垂直方向の3箇所（上・中・下段）に取水口を設けている。本研究では掃流砂を対象としているため、本観測施設でも下段のみのデータを解析対象とした。



図-2 観測地点の位置図



写真-2 流砂観測施設

3.3 ハイドロフォンによる観測システム

観測地には試験的に複数のハイドロフォンが設置してある（写真-4）。本研究では、そのうちの1つを用いて連続観測システムを構築した。システムは、ハイドロフォン、アンプ、データロガー、PCから構成される。ハイドロフォンによって取得される音響データはアンプによって増幅される。データロガーはPC上の動作する制御用プログラムによって直接制御され、1分に1回解析処理がなされる。

本システムでは観測データを即時に解析するため、生データを保存する必要がなく、記録容量が大幅に少なくなる。全国の流砂観測では、保存した生データを回収した後に解析処理を実施するため、保存容量との兼ね合いから観測頻度を15分に1回としている。本研究の場合は観測頻度の限界はデータ取得～解析に要する時間によって決まり、1分に1回まで短くすることが可能となっている。

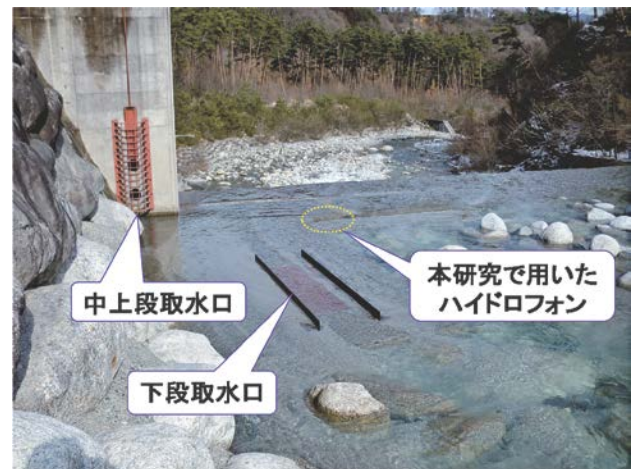


写真-3 取水口等の位置



写真-4 ハイドロフォンの位置

3.4 観測期間

ハイドロフォンを用いた連続観測システムは1分に1回の常時観測を実施している。

流砂観測施設を用いた直接観測は平成23年台風12号、台風15号（写真-5）を対象として実施した。観測頻度は1時間に1回である。

3.5 観測結果

図-3に台風12号時の観測結果を、図-4に台風15号時の観測結果を示す。それぞれ時間雨量、水位、流砂観測施設による掃流砂量観測結果（以後、直接観測結果とする）、ハイドロフォンによる掃流砂量解析結果（以後、ハイドロフォン解析結果とする）を示している。掃流砂量については単位幅当たり（1m当たり）の掃流砂量を示している。流砂観測施設による観測は観測回数に限界があるため、台風12号時の観測はピークに達する前の水位が緩やかに上昇する期間のデータしか

得られなかった。台風15号時については水位ピーク付近のデータが得られた。



写真-5 平成23年台風15号時の様子（9月21日8時）

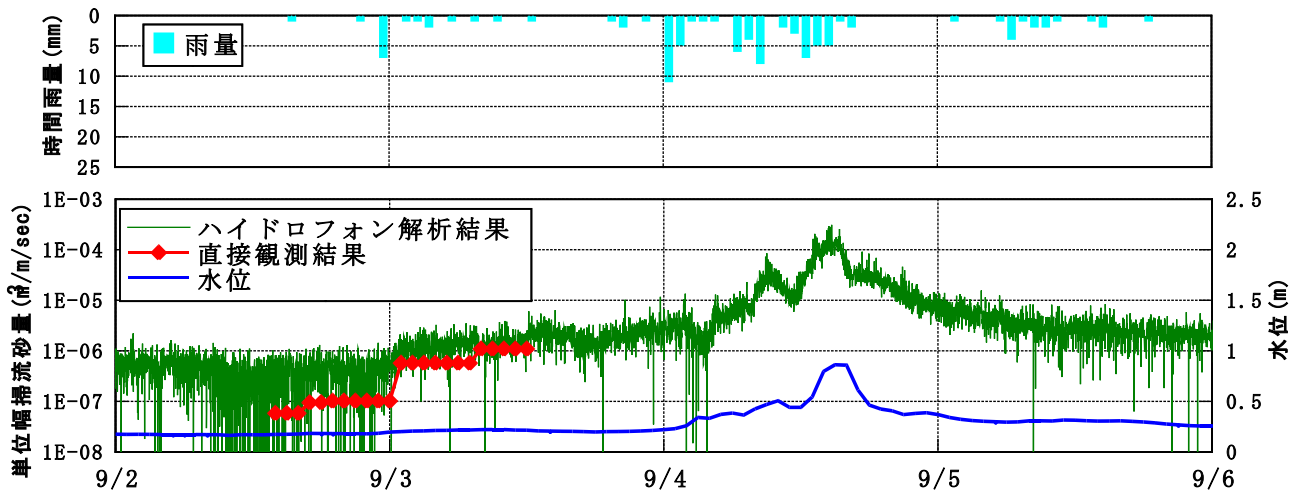


図-3 平成23年台風12号時の観測結果

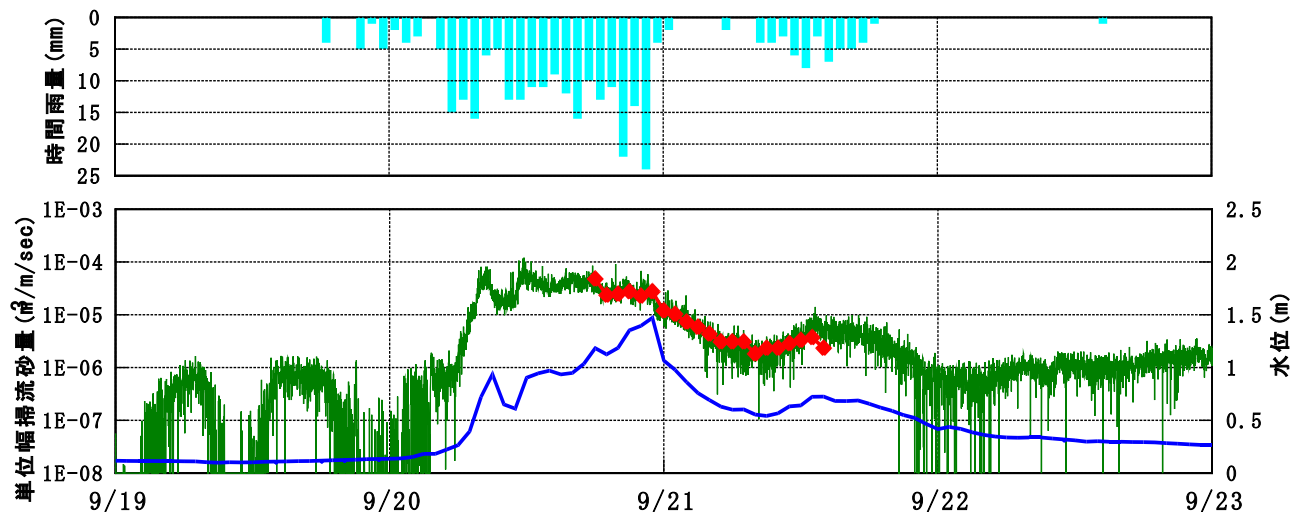


図-4 平成23年台風15号時の観測結果

直接観測結果とハイドロフォン解析結果を比較すると、全体的に良好に一致しているものの、9月2日（台風12号時）のデータでは、ハイドロフォン解析結果が直接観測結果の数倍となっている。これはハイドロフォンの解析では水の音の影響を完全に分離できないためであると考えられる。掃流砂量が発生していない時でも単位幅掃流砂量の解析結果は0とならず、 $10^{-7} \sim 10^{-6}(\text{m}^3/\text{m}/\text{sec})$ 程度となり、この値がハイドロフォンの解析限界と言える。なお、この値は数mm程度の砂礫が1秒当たりに1個通過する程度の量である。

単位幅掃流砂量が約 $10^{-6}(\text{m}^3/\text{m}/\text{sec})$ 以上の領域では、直接観測結果とハイドロフォン解析結果は非常に良好に一致している。特に台風15号時は水位の大小と掃流砂量の大小が必ずしも連動していないが、そのような変化まで良好に一致していることは、ハイドロフォンの適用性の高さを示しているといえる。

4. まとめ

本研究では、流砂観測施設による掃流砂量の直接観測結果とハイドロフォンによる解析結果を比較し、ハイドロフォンの現地適用性を検証した。

直接観測結果とハイドロフォン解析結果は細かな変化まで非常に良好に一致しており、本手法の現地適用性の高さを示すことができた。

以上、流砂観測によって流砂量を定量的に把握することが可能であることが示された。流砂観測の結果は、周辺地域における土砂生産の発生や土砂災害の切迫性を即時的に把握すること、土砂が

でやすい溪流を把握した上で計画的な砂防事業を推進すること、砂防基本計画の策定や砂防事業の効果評価を行う際に実施する流出解析及び河床変動計算の係数を設定するための基礎情報として利用されることなど、総合的な土砂管理だけでなく、様々な場面での活用が期待される。

謝 辞

流砂観測施設を用いた直接観測結果は天竜川河川事務所から提供を受けたものである。また、ハイドロフォンの設置に当たっても同事務所の関係各位には多大なご尽力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。また、直接観測の実施や連続観測システムのプログラム開発にあたっては、多くの方々のご協力をいただいたことを記して、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木拓郎、水野秀明、小山内信智、平澤良輔、長谷川祐治：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、pp.18～26、2010
- 2) 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計測、砂防学会誌、Vol.49、No.4、pp.34～37、1996
- 3) 水山高久、富田陽子、野中理伸、藤田正治：ハイドロフォンによる流砂量の観測（続報）、砂防学会誌、Vol.50、No.6、pp.44～47、1998
- 4) 伊藤仁志、矢澤聖一、石田勝志、山下伸太郎、佐光洋一、高橋健太、水山高久：天竜川水系と田切川における流砂計測、砂防学会誌、Vol.61、No.6、pp.19～26、2009

鈴木拓郎*



一般財団法人砂防・地すべり技術センター砂防技術研究所砂防システム研究室 主任研究員（前国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室研究官）、博士（農学）
Dr. Takuro SUZUKI

内田太郎**



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室 主任研究官、農博
Dr. Taro UCHIDA

岡本 敦***



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室長
Atsushi OKAMOTO