

## スイスにおける掃流砂観測手法の比較検討

○京都大学防災研究所 堤大三, 京都大学大学院農学研究科 水山高久  
(株) ハイドロテック 野中理伸, 京都大学防災研究所 藤田正治  
Swiss Federal Institute WSL Dieter Rickenmann, Carlos Wyss

### 1. はじめに

山地流域における土砂動態は、土砂生産・供給源の規模や季節変動に依存し、流量の増減のみに依存した流砂量が観測されるわけではないことが知られている。このため、流域の総合的な土砂管理や、土砂・河川災害の防止・軽減のためには、流砂量の実測が不可欠である。わが国では近年、音響センサーを利用したハイドロフォンによる掃流砂観測手法が広く用いられるようになり、山地河川での流砂量の連続モニタリングが可能となりつつある。一方で、スイスにおいて開発されてきた、ジオフォンによる掃流砂観測手法はスイスやオーストリア、イタリアといったヨーロッパ諸国で用いられている。両者は、基本構造や用いるセンサーの違いから、それぞれの利点や欠点があるが、これまでは異なる流域環境下で個別に計測された結果を比較するにとどまり、定量的な比較検討がなされていない。2012年以降、Swiss Federal Institute WSL との共同のもと、日本の足洗谷とスイスの Erlenbach にハイドロフォンとジオフォンの双方を設置し、それぞれの流砂量観測特性を定量的に比較する研究が実施されている。本稿では、その内のスイス Erlenbach での検討結果について報告する。

### 2. 現地観測

#### 2.1 対象流域

対象流域である Erlenbach 川はスイス北部のチューリッヒから南に約 40 km の場所に位置する(図-1 参照)。流域面積は約 0.8 km<sup>2</sup> と小さく、一部は牧草地帯、一部は森林に覆われた山地河川である。夏季の降雨によって頻繁に土砂流出が発生する特性をもち、年に 10 数回のイベントが発生する。流域の最下部には、貯水池が設けられており、流下した土砂の総量を計測することが可能となっている。

#### 2.2 観測方法

音響センサーを用いたハイドロフォンは、堰堤の水通し部等のコンクリート固定床等に設置した金属製パイプの内側にマイクロフォンを挿入する構造であるのに対し、ジオフォンは同じくコンクリート固定床に設置した金属プレート裏側にジオフォンセンサーを設置したものである。ハイドロフォンが、コンクリート上に直接金属パイプを固定すればよいだけなのに対し、ジオフォンは金属プレートの下に 10 cm 程度の深さのスペースを確保し、金属プレート

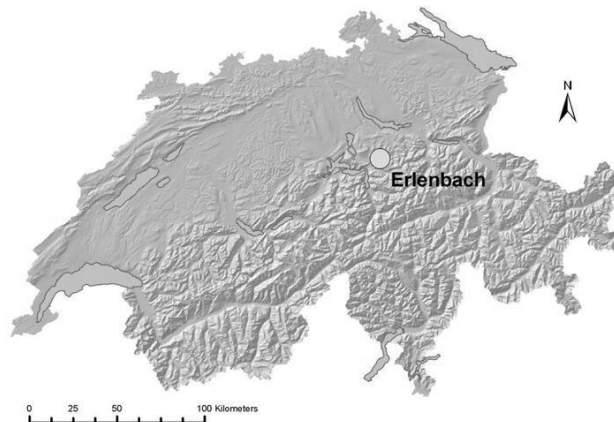


図-1 対象流域 Erlenbach 川的位置

をラバーシーリングによって固定床から分離した構造としなければならない。設置の面ではハイドロフォンの方が格段に容易である。

Erlenbach においては、ハイドロフォンとジオフォンとを比較するため、流域の最下端に近い貯水池への流入部にハイドロフォンを新に設置した。また、その近傍には既にジオフォンが複数設置されている。さらに、新たな試みとして、ジオフォンプレートの裏側にマイクロフォンを設置し、ジオフォンと兼用のプレート型ハイドロフォンを用意した。また、ハイドロフォンもジオフォンも音響や振動を利用した間接法による計測であることから、定量的な流砂量観測のためには直接法による掃流砂の計測が必要である。Erlenbach では、水位とジオフォンのシグナルをトリガーとして自動で掃流砂を捕捉できるバスケット型のサンプラーが 3 台設置されており、イベントの発生と共に稼働する仕組みになっている。なお、バスケットのメッシュサイズは 10 mm であるが、1 台目のバスケットのみ内側に 2 mm のサイズのメッシュを貼り付けており、それぞれメッシュサイズ以上の土砂を採取できるようになっている。また、バスケットから設置壁面に対する垂直荷重が計測されており、イベント終了後に計測する土総重量とから、バスケットで捕捉される土砂量の経時変化を計測することが出来る。図-2 は、それぞれハイドロフォン、ジオフォン、プレート型ハイドロフォン、バスケットサンプラーの設置状況を表したものである。

### 3. 観測結果と考察

2013 年の観測期間中には、複数回の土砂流出イベントが発生したが、その内 7 月 29 日のイベントについて、ジオフォンとハイドロフォンの反応を比較し

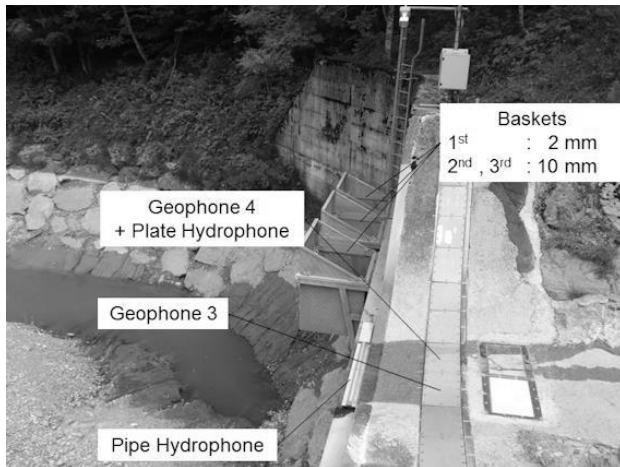


図-2 ハイドロフォン、ジオフォン、プレート型ハイドロフォン、バスケットサンプラーの設置状況

た結果を図-3に示す。横軸と縦軸はそれぞれジオフォンとハイドロフォンの検知信号数を表示している。微小な検知数の範囲ではハイドロフォンによる検知が多いが、ある程度流砂量が増えると全体として、両者は線形関係を示している。ただし、流砂量が大きくなるにつれて、ばらつきが大きくなり、ハイドロフォンによる検知が頭打ちの状態になっているように見える。このことから、ハイドロフォンはジオフォンに比べて小粒径の流砂に対する感度が高いと考えられるが、流砂量が多い状況では信号の飽和が発生しやすいこともうかがえる。

パイプ型ハイドロフォンとプレート型ハイドロフォンの検知信号数の比較を図-4に示す。この図に示すとおり、ほぼ線形の関係を示しており、プレート型ハイドロフォンも従来のパイプ型ハイドロフォンと同等の検知特性を持つものと考えられる。

バスケットサンプラーを用いたキャリブレーションから、掃流砂量を定量化した結果を図-5に示す。この結果のように、土砂の検知特性の異なるハイドロフォンとジオフォンを組み合わせた計測を行うことで、粒径別の流砂の定量化がある程度の精度で可能であることが示された。

#### 4. おわりに

スイス Erlenbach と同様の観測が日本の足洗谷でも実施されており、同様にハイドロフォンとジオフォンの土砂検知特性の違いが示され、ハイドロフォンはジオフォンに比べて小粒径の流砂に対する感度が高いことが明らかとなっている。

Erlenbach で用いられているバスケットサンプラーや足洗谷で用いられているピットサンプラー等の直接掃流砂観測とのキャリブレーションにより、掃流砂の定量的連続観測が可能となりつつあるが、イベント毎の流量や粒径分布、流砂量鉛直分布の違い、観測場所の違い等、さらに詳細に検討するべき点が残されており、今後の課題である。

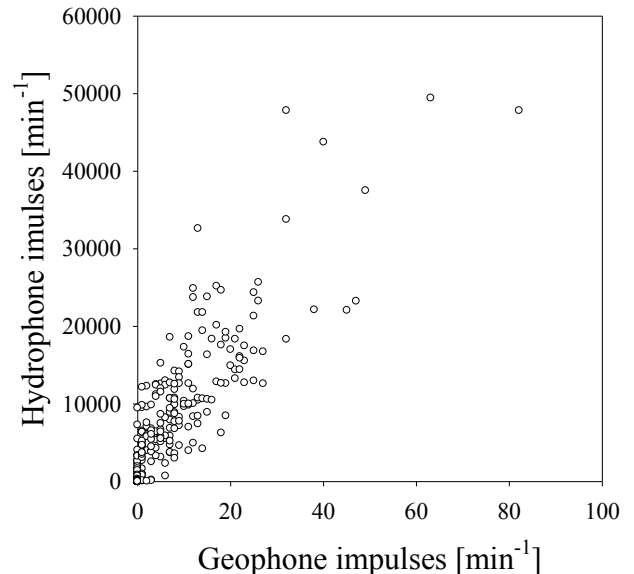


図-3 ジオフォンとハイドロフォンの土砂検知の比較 (検知信号は、音響および振動波形が閾値を超えた数を表し、土砂流指数とは異なる)

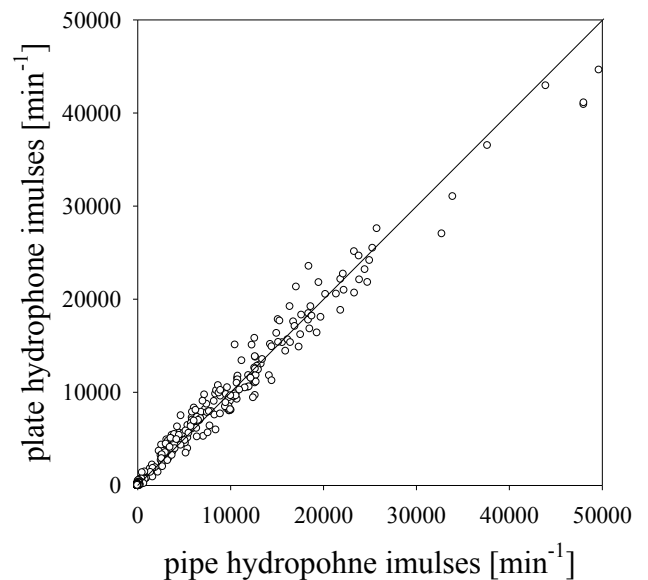


図-4 パイプ型およびプレート型ハイドロフォンの土砂検知の比較

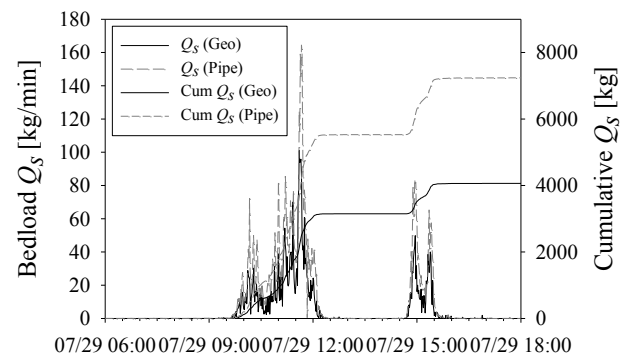


図-5 ジオフォンとハイドロフォンを組み合わせた流砂量定量化