

プレートマイクロフォンを用いた掃流砂計測手法 Flume experiment on bedload measurement with plate microphone

○角哲也・小柴孝太・堤大三・竹門康弘

○Tetsuya SUMI, Takahiro KOSHIBA, Daizo TSUTSUMI, Yasuhiro TAKEMON

To advance bedload measurements in sediment bypass tunnels as well as in natural rivers, we conducted calibration experiments of plate microphone, a new technique to record hitting sounds of bedload, using an artificial flume in ETH, Switzerland. The output data was calibrated by number or volume of bedload particles under several conditions (flow velocity, grain size, and plate slope angle) to understand the effect of these conditions on the estimation of bedload volume. We revealed that the plate microphone can detect bedload particles of 10 mm and coarser well. Finally, we compared the results of the plate microphone and the other techniques (i.e., geophone, hydrophone) and showed applicable river conditions for bedload estimation by each technique.

1. はじめに

日本には約 3,000 箇所のダムが存在するが、堆砂問題が顕在化しており、適切な貯水池土砂管理手法の開発が急務である。その中では、排砂バイパスは世界の中で日本とスイスがリードする最先端技術であるものの、トンネル内部の土砂動態をどのように把握するのかは未確立である。特に、長期的な維持管理に直結するトンネルインバートの摩耗対策を進めるためには、トンネル内部の水理特性と土砂輸送機構の解明が必須である。

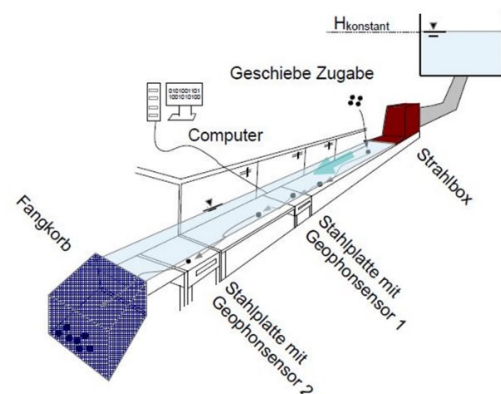
日本では掃流砂の観測手法としてパイプ式ハイドロフォンが導入されている。これは、河床に設置したマイク内蔵の金属パイプにより、砂礫の衝突音をパルスとして計測しそれを基に流砂量を推定する。一方、スイスで開発されたプレート式ジオフォンは、河床に振動センサ内蔵の金属プレートを設置し、砂礫衝突の振動を電圧に変換しそれを基に掃流量を推定する。ハイドロフォンは比較的細かい流砂も検知できるが、流砂量が大きい場合衝突音が飽和し推定流砂量が過小評価され、巨石の衝突で変形し易いといった欠点がある。ジオフォンは大きな礫の衝突に強いが、細かい流砂は検知されないといった問題を抱えている。

本研究では、ハイドロフォンとジオフォンの双方の利点を持つ観測手法としてプレートマイクロフォンを検討するため種々の水理実験を行った。プレートマイクロフォンは河床にマイク内蔵の金属プレートを設置し、ハイドロフォンの原理で流

砂量を推定する。

2. 実験概要

流砂に対するプレートマイクロフォンの反応の実験をスイスのチューリヒ連邦工科大学にある実験施設で行った。長さ 10m、幅 50cm の水平実験水路[Fig. 1]において、下記のように条件を変えて砂礫の投入を行い（各条件の組み合わせでそれぞれ 20 回の反復実験、合計 1060 回の実験）、下流端に設置されたプレートマイクロフォンにより計測された音響波形や音パルスの解析を行った。



[Fig. 1] Testing flume

- ・流速条件：2.5m/s (Low), 4.5m/s (High)
- ・金属プレート傾斜条件：0 度, 5 度 [Auel and Boes (2011) は傾斜条件によって流砂が衝突する確率が変わるという報告をしている].

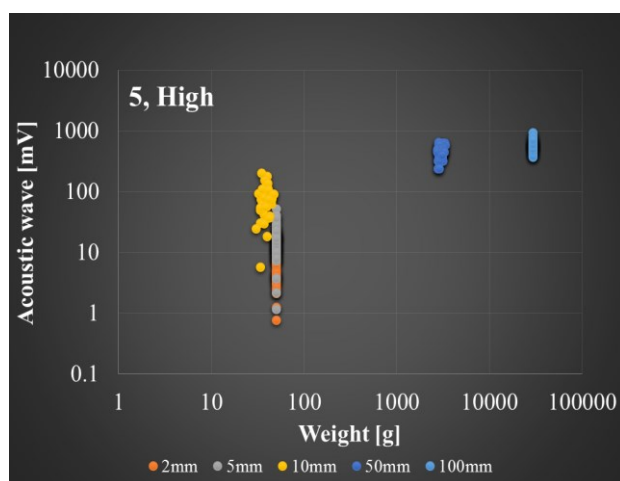
・投入砂礫の粒径：単一粒径（2mm, 5mm, 10mm, 50mm, 100mm）と混合粒径（50mm+100mm, 5mm+10mm+50mm）

計測データとして 2, 4, 16, 64, 256, 1024 倍の 6 段階の amplitude によるパルス数, 及び音響波形の積分値である Acoustic wave を 10 秒間隔で出力した。

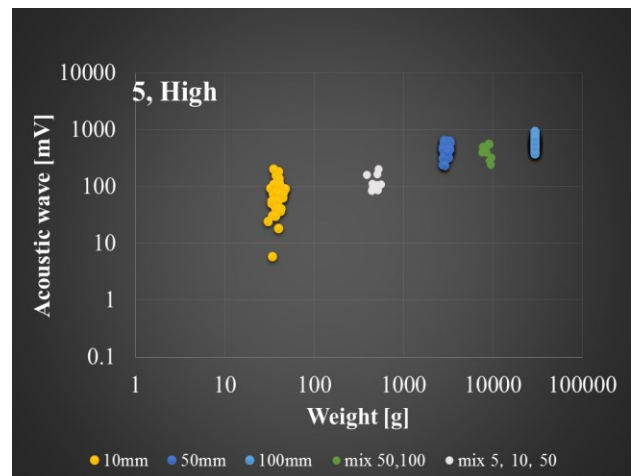
3. 得られた成果

高流速, 大きな粒径が衝突しても機器の破損は認められず, 安定した計測を実施できた。また, 全条件において土砂衝突による明確な音響波形データが得られた。投入土砂粒径による反応の違いを検出することができたが, 2mm, 5mm については極めてパルス検出率（＝計測パルス数／実際の粒子数）が小さく, 概ね 10mm 以上の粒径に対して反応していることがわかった。また, 検出に最適な Amplitude は 10mm に対しては 256 倍, 50mm は 16 倍, 100mm は 4 倍であった。実験の水理条件では, 流速条件の影響は見られなく, また流速が小さいため顕著なプレート勾配の影響も見られなかった。

投入土砂重量と Acoustic wave の関係については [Fig. 2]（プレート傾斜 5°, 流速 High）のようになり 10mm 以上については正の関係がみられた。また, 混合土砂実験の結果も重ねてプロットすると [Fig. 3] のようになり, 土砂重量と Acoustic wave についてはキャリブレーション関係があることがわかった。



[Fig. 2] Relationship between weight and acoustic wave



[Fig. 3] Relationship between weight and acoustic wave with mixed-grain size experiment

4. まとめ

本研究で行ったキャリブレーションを通して, プレートマイクロフォンの基礎的な性質が分かった。今後は今回の知見を踏まえ, 平成 28 年に運用が開始され, プレートマイクロフォンが設置させる小渋ダム排砂バイパストンネルをフィールドに, 排砂バイパストンネルおよび下流河道における土砂動態把握手法の高度化を図る。

5. 参考文献

Auel, C., and R. M. Boes. "Sediment bypass tunnel design-hydraulic model tests." Proc. Hydro (2011)