

## ハイドロフォンの流砂量換算手法に関する検討

国土技術政策総合研究所  
株式会社 コルバック

山越隆雄, 泉山寛明, 西脇彩人  
○吉村暢也, 鶴田謙次

### 1. はじめに

流砂量観測の実施は、平成22年度ごろから全国の直轄砂防事務所を中心に進められて<sup>1)</sup>、10年程度のデータが蓄積された。蓄積されたデータは、砂防事業の実施や総合土砂管理の推進などの基礎的な情報となるものと考えている。しかしながら、観測データの有する信頼性（データのばらつき）が定量的に評価されておらず、またセンサー感度の経年劣化やパイプの変形による特性変化<sup>2)</sup>など結果に与える影響が不明である。

本研究は、掃流砂観測で使用している計測装置であるハイドロフォンを対象として、センサー特性の変化の実態を調べ、掃流砂量観測手法の特性について検討したものである。

### 2. ハイドロフォンの形式について

ハイドロフォンは、センサー部に衝突する砂礫の音響波形を計測して、音響波形から流砂量に換算する計測装置である。センサー部の形状からパイプ型（写真-1）とプレート型（写真-2）の2種類が用意されており、これまで多く設置されてきているのがパイプ型で、強度を高めたものがプレート型である。



写真-1 パイプ型ハイドロフォン



写真-2 プレート型ハイドロフォン

### 3. 試験球による衝突実験

今回、現地実験2箇所、室内実験1箇所行い、さらに既往の水路実験結果<sup>3)</sup>を再分析して検討に利用した（表-1）。実験は、ハイドロフォンのセンサー感度を調べる簡易打撃装置による実験と、土砂等の粒子がハイドロフォンに衝突したときの計測値のバラツキを水路実験により調べた。

#### (1) 簡易打撃装置

簡易打撃装置は、衝突位置と衝突の運動量をコントロールできる簡易な装置で、パイプ型ハイドロフォンの場合はビー玉を30度の角度で中央位置に衝突させ（図-1）、またプレート型ハイドロフォンの場合は垂直にプレートの中央に衝突させた。ともに、試験球が衝突したときの計測値が最大となる条件を想定した。計測値の整理は、1回の衝突の音圧積算値を運動量で割った値で整理し、10回実施して平均値を使用した。また、ビー玉がリバウンドして複数回衝突する場合は、最初の衝突波形のみを使用した。

#### (2) 水路実験

現地実験では、水路幅30cm、長さ150cmの簡易水路をハイドロフォン直上に設置し、その水路に試験球を1粒子ずつ投入して音響波形を計測した。また、ハイドロフォンと簡易水路との間には10cm程度間隔を空けて試験球が横断方向にランダムに衝突するように工夫した。試験球は、ビー玉、鉄球、アルミ球、土砂の4種類、大きさを5種類用意して実施し、試験球の材質の違いが結果に与える影響を検討した。試験球以外の条件は、既往文献<sup>4)</sup>に合わせた。

室内実験では水路幅65cm、長さ800cmの実験水路にパイプ型ハイドロフォンを水路下端から2.5m位置に設置したものを使用した。試験球については現地実験と同じとした。試験球以外の条件は、既往文献<sup>5)</sup>に合わせた。また、試験球のハイドロフォンへの衝突速度はビデオ判読により1粒子ごと計測した。

表-1 実験箇所（既往実験箇所も含む）

河川名他	観測所名	実験年度	パイプ型	プレート型
釜無川支川大武川	大武川第50床固 右岸	H30,R1	○	
"	大武川第50床固 左岸	R1	○	
釜無川支川神宮川	濁川下流第9床固	R1	○	
釜無川支川流川	流川第36床固	R1	○	
天竜川支川与田切川	坊主平砂防堰堤右岸	R1,R2	○	
"	坊主平砂防堰堤中央	R1	○	
"	坊主平砂防堰堤左岸	R1	○	
天竜川支川小渋川	鹿塩川	H30		○
住吉川支川西谷川	安場砂防堰堤	R1	○	
住吉川	大谷砂防堰堤	R1	○	
熊野川支川神納川	神納川	H30		○
蒲田川支川足洗谷	京大穂高 足洗谷観測水路	R2		○
室内実験	富山県立大室内水路実験室	R2	○	

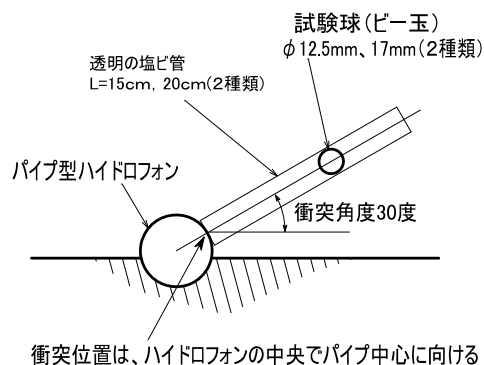


図-1 簡易打撃装置

#### 4. 掃流砂観測手法の改良についての検討

##### (1) 試験球径と音圧積算値との関係

衝突させた試験球の径と音圧積算値との関係は大武川第50床固右岸の水路実験結果を使用して図-2に整理した。この図の青丸(R1)と赤四角(H30)は水路実験結果、黒実線は簡易打撃試験結果の回帰曲線を示している。赤実線は現在使用している校正式のライン、破線は流水ノイズの最大値のラインである<sup>5)</sup>。

音圧積算値は同じ粒径でも衝突の仕方できくばらつく。簡易打撃試験の回帰曲線は発生する音圧積算値のほぼ上限に位置し、流水ノイズがあることから下限が設定できる。ばらつきの範囲はこれらの範囲内に収まり、同じ音圧積算値でも粒径は校正式での推定値の1/10~10倍程度あるもの(2オーダー程度の開き)と読める。また、図には示せていないがマイクの限界、流域により異なるが流下する粒径の上限が定まるとすれば、音圧積算値が大きいほど誤差範囲は小さくなり得る。なお、スイスのジオフォンでは同じ掃流砂量でも記録されたインパルス数には最大2オーダーほどのばらつきがあり<sup>6)</sup>、ほぼ同様である。

##### (2) 計測値の分布

次に箇所ごとの計測値のバラツキの分布を分析した。バラツキは、式(1)で評価し、水路実験での単位運動量あたりの音圧積算値と、簡易打撃装置でのそれとの比で整理した。この計算式で1.0となる場合は簡易打撃装置での音圧積算値と同一であり図-2でいうと黒の実線上に位置することになる。1.0より小さい値は黒の実線より下に、1.0以上は黒の実線より上に音圧積算値が位置することになる。ここに、 $S_{pf}$ : 水路実験での1粒子衝突時の音圧積算値[V・sec]、 $P_f$ : 1粒子衝突の運動量[V・m/s]、 $S_{pt}$ : 簡易打撃装置での1粒子衝突時の音圧積算値[V・sec]、 $P_t$ : 1回の運動量[V・m/s]。音圧は4.4kHzBPFを適用している。

$$\beta = \frac{S_{pf}}{P_f} / \frac{S_{pt}}{P_t} \quad \text{-----式(1)}$$

箇所ごとのバラツキ係数 $\beta$ を整理した結果を図-3に整理した。整理した図は箱ひげ図(25%-75%)とバイオリン図で示した。材質の違いはあまり見られなかった。与田切川左岸と大武川右岸を除いてバラツキ係数がおよそ0.32~0.91の範囲となった。ただし、与田切川左岸と大武川第50床固右岸についてはばらつきが大きい。両者では全帯域の音圧積算値は他とそれほど違いはないものの、4.4kHz帯に音のエネルギーが集中する例が見られ試験球の衝突の仕方原因があると考えている。大武川では2オーダーほどのばらつきがあるが、図-3のバラツキ具合をみると他の観測所ではこれより誤差範囲は小さい可能性がある。

#### 5. おわりに

本検討から、マイクロフォンは衝突位置の違いなどにより計測値にバラツキが生じており、箇所によっては2オーダー程度の誤差が生じることが分かった。また、衝突する礫により生じる最大の音圧積算値は簡易打撃装置で確認できるので、劣化状況のみならず簡易に誤差範囲を調べられることが分かった。

**参考文献:** 1)吉村ら, H26 砂防学会研究発表会概要集, R2-07, 2)泉山ら, R2 砂防学会研究発表会概要集, R2-016, 3)井内ら, R1 砂防学会研究発表会概要集, P-120, 4)吉村ら, H30 砂防学会研究発表会概要集, V-084, 5)井内ら, 砂防学会誌, Vol.69 (3), 2016 6) Wyss et al.: Laboratory flume experiments with the Swiss plate geophone bed load monitoring system 2, Water Resources Research, 52, 2016

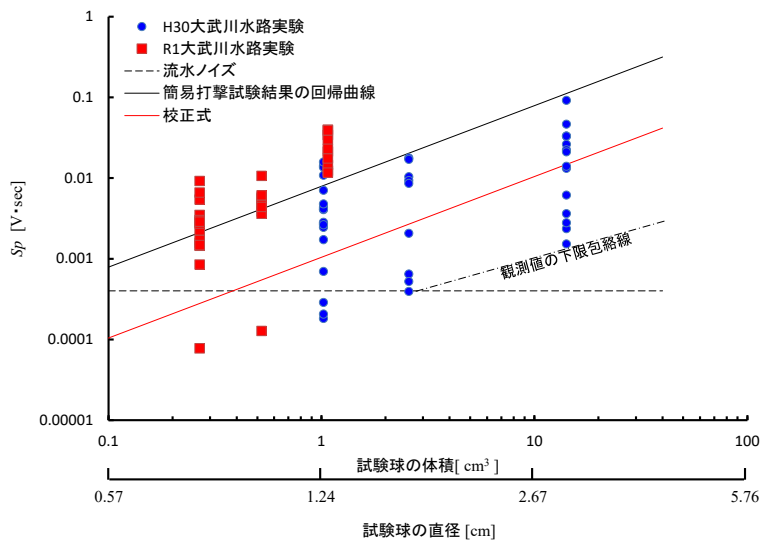


図-2 粒径と音圧積算値 (大武川第50床固)

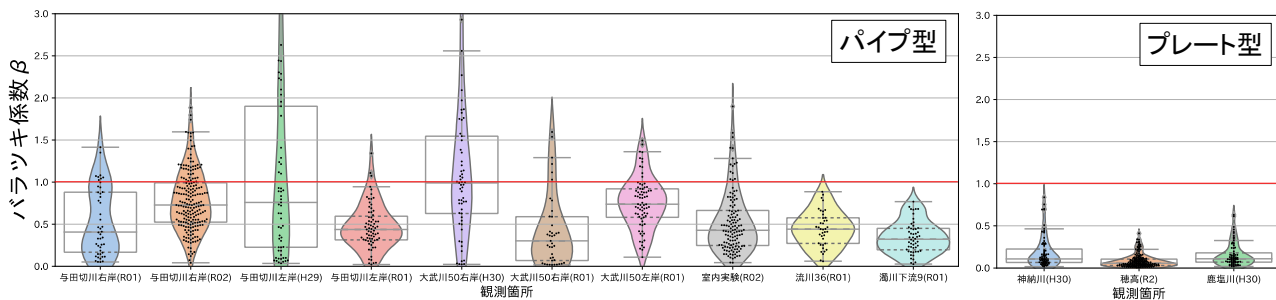


図-3 計測値のバラツキの分布、4.4kHzBPF