

プレート型ハイドロフォンの流砂量換算手法に関する提案

国土技術政策総合研究所

桜井亘，内田太郎

高原晃宙（現：国土交通省砂防部保全課），小松美緒

株式会社 コルバック

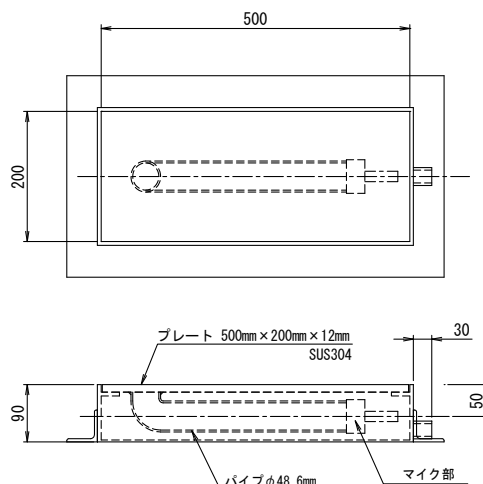
○吉村暢也，鶴田謙次

1. はじめに

近年，掃流砂量観測としてステンレス製のパイプに移動する礫を衝突させて，その音を計測するハイドロフォン計測装置を使用した観測事例が増えてきている。しかし，ステンレス製のパイプに移動礫が衝突するため早期にパイプが損傷することがあり，損傷に強い高強度タイプのハイドロフォンが望まれている。

本検討では，高強度タイプのプレート型ハイドロフォン（以降，プレート型と呼ぶ）を対象として，流砂量の換算方法を従来のパイプ型ハイドロフォン（以降，パイプ型と呼ぶ）と同様の手法を用いて検討を行い換算手法の課題等の抽出したものである。

プレート型ハイドロフォン 標準構造図 図-1



2. プレート型ハイドロフォンの説明

プレート型は，幅 50cm×長さ 20cm×板厚 12mm のステンレス製のプレートの下部にパイプ型を取り付けたものである。パイプ型の板厚 3mm に対してプレート型の板厚は 12mm となっており，礫衝突に対して強度が増している構造となっている（図-1 を参照）。

3. 流砂量換算手法

ハイドロフォン計測値から流砂量に換算する主な手法としては，計測値をパルスに変換してパルスの数と流砂量との関係から換算する手法と計測値を音圧積算値にして流砂量との関係から換算する手法がある。今回検討では，音圧積算値から流砂量に換算する手法を用いて検討した（詳細は参考文献 1）と 2）を参照）。ここで，音圧積算値と流砂量との関係式を式(1)に示す。

$$Sp = \alpha \cdot f(nc) \cdot Qsc \quad \text{-----式(1)}$$

ここに， Sp ：ハイドロフォン計測値で音響波形の上位包絡線の時間積分値「以降，音圧積算値と呼ぶ」（ $V \cdot \text{sec}$ ）， α ：音圧積算値と流砂量との比例係数（ $V \cdot \text{sec} / \text{cm}^3$ ）， $f(nc)$ ：検出率，干渉によって音響波形が打ち消される割合， nc ：単位時間内にハイドロフォンに衝突する粒子数（個/sec）， Qsc ：ハイドロフォンに衝突した流砂量の合計（ cm^3 ）。

検討は，既往の現地水路実験の結果を利用して式(1)に示す比例係数 α と検出率 $f(nc)$ を求め，さらに式(1)による計算土砂の検証および課題抽出を行った。

4. 現地水路実験

現地水路実験は，平成 28 年度に天竜上流河川事務所管内の生田観測所で実施した現地水路実験のデータを利用した。実験は，現地のプレート型ハイドロフォン直上に簡易水路（ $B=50\text{cm} \times L=180\text{cm}$ ，水路勾配 $i=5^\circ$ ）を設置して，水と土砂を流下させて音圧積算値を計測した（図-2 と写真-1 参照）。実験ケースは，粒径を変えて 1 粒子ずつ計測したケースを 11 ケース（個別衝突ケース），混合粒径の土砂の土砂量を変えた 12 ケース（集団衝突ケース）である。

また，実験時の流速は 3 段階に変化させて $V=0.8, 2.0, 2.9\text{m/s}$ （無次元掃流力 $\tau_* = 0.5, 1.0, 1.1$ ）について実施した。ただし，集団衝突ケースについては $V=0.8\text{m/s}$ のケースは計測していない。個別衝突ケースは比例係数 α と検出率 $f(nc)$ の算出，集団衝突ケースは結果の検証に使用した。

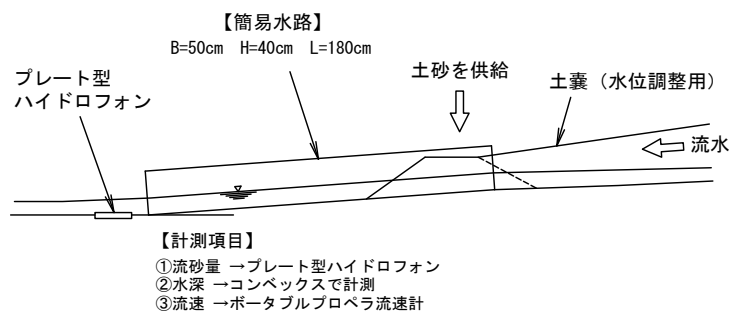


図-2 現地水路実験



写真-1 実験実施状況

5. 検討結果と検証

(1) 比例係数 α

個別衝突ケースで供給した1粒子ごとの土粒子体積と計測値の音圧積算値から比例係数 α を計算した。計算結果を整理したものを図-3に示す。また、この図にはパイプ型の結果(文献1))も合わせて示した。この図-3によると、プレート型の比例係数 α は 6.13×10^{-4} となった。パイプ型の $\alpha = 1.04 \times 10^{-3}$ と比べて約0.6倍の値となり、若干小さな値となるが大きな相違は生じない結果となった。

ただし、図-3の土粒子の体積の小さいケース(体積 0.52cm^3 , 粒径 10mm)について見ると傾向から外れている結果となった。この結果について、図-4に示す粒径 10mm の音響波形を見ると複数回土粒子が衝突しており粒径の小さいケースほどその傾向であった。この複数回衝突したことが傾向を外れた原因の1つと考えられる。また流水ノイズの影響も考えられる。

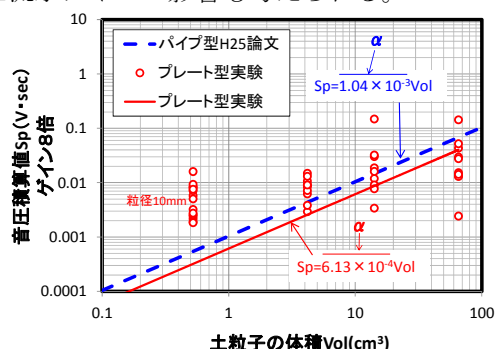


図-3 土粒子体積と音圧積算値との関係

(2) 検出率 f

検出率 f は音響波形の干渉によって打ち消される割合で、モンテカルロシミュレーションにより求めた(計算方法は文献1)と2)を参照)。また計算は粒径 5mm , 10mm , 20mm の混合粒径で実施した。

計算結果を図-5に整理した。この図にはパイプ型の結果(文献1))も合わせて示した。計算結果としては衝突粒子数が少ない時にパイプ型と若干違いが生じているようである。

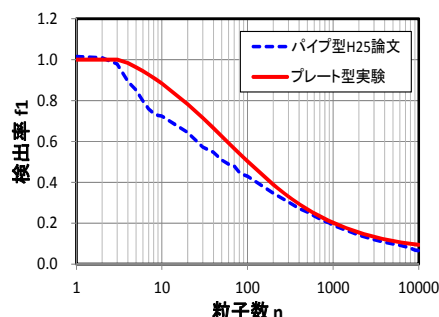


図-5 粒子数と検出率との関係

(3) 検証

集団衝突ケースの計測値を使用して、実験時の供給土砂量と検討により求めた比例係数 α と検出率 f および実験時計測による音圧積算値 Sp を使用して式(1)から計算した土砂量と比較した。

結果を図-6に示す。この結果によると実験で供給した土砂量に対して、計算された土砂量は、供給土砂量の約33%であった。残りの約67%がハイドロフォンに衝突しない割合と考えれば衝突率が約33%となる。

パイプ型での既往の検討結果ではハイドロフォンの衝突する割合が30~70%(無次元掃流力 $0.1 \sim 0.3$ の場合)であるので⁴⁾、今回のプレート型の結果も同様に傾向となった。また、今回使用した既往実験の集団衝突ケースでは水量が多く無次元掃流力が $1.0 \sim 1.1$ と大きなケースであるので、より衝突率が小さくなったと推測される。

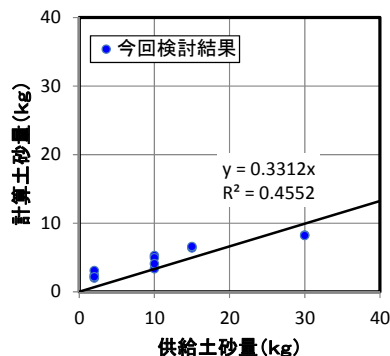


図-6 供給土砂量と計算土砂量

6. まとめと課題

プレート型の計測値から流砂量に換算する手法の留意点と課題を以下に整理した。

- ・プレート型の比例係数 α と検出率 f は、パイプ型と相違があるのでプレート型の値を使用する必要がある。
- ・プレート型は、礫が複数回衝突しており、音響波形に衝突回数による違いが見られることを確認した。今後は衝突回数を考慮した補正が必要と考える。
- ・ハイドロフォンに衝突しない移動礫が存在する。パイプ型でも同様の課題があり、今度、衝突率を考慮して補正する方法を検討することが必要と考える。

謝辞: 現地水路実験のデータについては、国土交通省天竜上流河川事務所砂防調査課から提供していただき、ここに記して深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 鈴木ら: 音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂観測手法の現地適用性の検証, 砂防学会誌, Vol. 66, No. 1, P4-14, 2013
- 2) 井内ら: ハイドロフォンを用いた掃流砂観測における流水によるノイズ・非衝突の影響に関する水路実験, 砂防学会誌, Vol. 69, No. 3, P4-14, 2016
- 3) 吉村ら: ハイドロフォンの破損が流砂観測に及ぼす影響, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, Pa-35
- 4) 桜井ら: 近年の山地河川における流砂水文観測, 国総研資料 第887号, 平成28年3月