

栃原砂防堰堤におけるハイドロフォンを用いた掃流砂計測の現地検証試験と粒径の及ぼす影響

日本工営株式会社 ○橋本憲二・渡部春樹・松岡暁・伊藤隆郭  
 国土交通省 関東地方整備局 富士川砂防事務所 植野利康※1・野坂隆幸・唐木理富  
 京都大学 藤田正治・宮田秀介, 信州大学 堤大三, 筑波大学 内田太郎  
 ※1: 現 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 保全課

1. はじめに

掃流砂の観測には主としてハイドロフォンが用いられており、形状の違いにより「パイプ型」と「プレート型」の2種類が存在する。また、解析手法も「合成音圧方式」と「パルス式」の2種類が使用されており、現地河床状況に適したハイドロフォンと解析手法が選択・運用されている。この2種類のハイドロフォンと解析手法の比較は過年度実施されており、富士川砂防事務所管内の栃原砂防堰堤にて、現地河床材料と現地流水を利用した現地水路実験が行われている。

栃原砂防堰堤ではプレート型ハイドロフォンによる常時観測が行われており、合成音圧方式を用いてデータ収集を行っている。しかしながら、合成音圧方式はパイプ型用に最適化された解析手法であり、プレート型に適用する際にはプレート型用に最適化し直す必要があると思われる。

そこで本稿では、過年度に実施された現地水路実験結果の内、合成音圧方式による計測データについて再整理を行った。両ハイドロフォンの合成音圧方式で取得したデータを対象に、単一粒径との関係、および混合粒径による影響について調査し、課題を抽出した。

2. 現地検証試験

2.1 試験場所と試験水路

既設のプレート型ハイドロフォンを使用するため、富士川砂防事務所管内の栃原砂防堰堤にて現地検証試験を R3 年度に実施した。試験時にはパイプ型ハイドロフォン (L=0.8m, φ=0.0486m, t=3mm) を仮設している。設置したハイドロフォンと試験水路、周辺状況を図 1 に示す。

2.2 試験試料諸元

現地検証試験では、単一粒形試料と混合粒径試料の2種類を使用した。単一粒径試料は河床材料をふるい作業により分級し作成した。混合粒径試料は既往の河床材料調査による粒度分布に合わせて現地河床材料を攪拌・混合し作成した。必要量の投入試料を準備するために現地で採取した河床材料を分級しながら、一部、現場粒度試験を行った。過年度の試験結果と比較すると、今回採取した河床材料の中に大きい粒径の材料が含まれていたことから、粒径加積曲線は大粒径側へ変化しているものの、粒度分布の大まかな傾向は変わらず、過年度試料と同じ材料とみなすことができることを確認した。現場粒度試験結果と試験時の給砂量を図 2 に示す。

2.3 計測方法と計測機器

栃原砂防堰堤では、合成音圧方式を用いたプレート型ハイドロフォンによる常時観測が行われている。合成音圧方式による常時観測は、Keyence 社製データロガー「NR-600」を使用し、計測サンプリング 20kHz で行われている。試験時には計測サンプリング 100kHz の記録も同時に行うため、Keyence 社製データロガー「NR-600」を1台仮設した。データは毎秒収集する設定で記録を行った。パルス式での計測は、ハイドロフォンから出力される生値をパルス変換機に分岐させ、Campbell 社製データロガー「CR1000X」で記録した。パルスデータは5秒間計測・2秒間記録で収集した。現地検証試験時の観測機器配線図を図 3 に示す。

3. 試験結果

3.1 粒径の関係

単一粒径試料を投入した試験ケースにおいて、合成音圧方式で計測したデータを対象に、ハイドロフォンの予測値と試験時に投入した給砂量の比「予測値/給砂量」を試験で投入した単一粒径試料の粒径で分類し、その関係性について検討した。縦軸に「予測値/給砂量」、横軸に各試験ケースで投入した試験試料粒径をプロットしグラフに整理した(図 4)。パイプ型 (20kHz) における最小粒径が 10mm ~ 20mm の試験ケースについては、「予測値/給砂量」の値が概ね 1.0 と一致する結果が得られた。しかし、10mm 以下のケースでは、ハイドロフォンの検知限界等の影響により、「予測値/給砂量」の値が線形的に減少し、30mm 以上のケースでは、音圧の飽和等により、「予測値/給砂量」の値が指数関数的に減少している。また、パイプ型 (100kHz) の「予測値/給砂量」の値を基準とした各ハイドロ



図 1 現地検証試験の概要

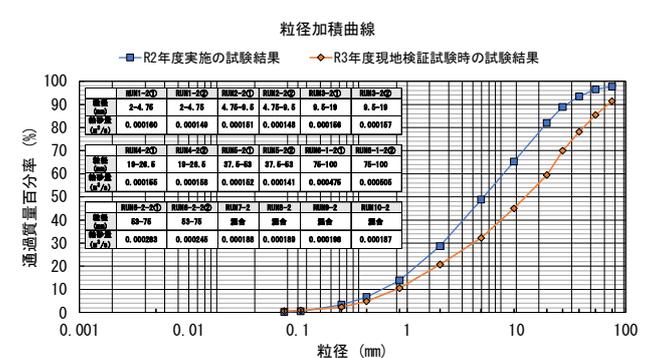


図 2 現場粒度試験結果と試験時の給砂量 (R2 年度と R3 年度現地検証試験時)

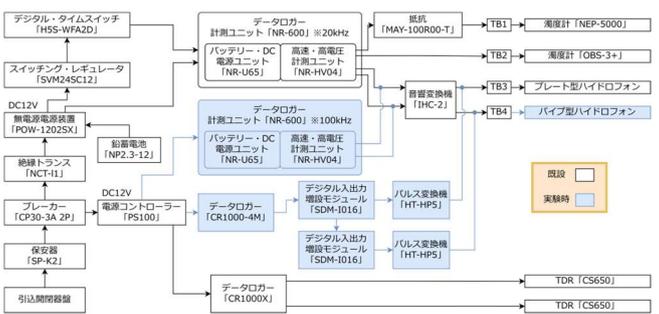


図 3 現地検証試験時の観測機器配線図

オンの「予測値/給砂量」の比 R を算出した (表 1)。パイプ型 (20kHz) はパイプ型 100 (kHz) と比較して、全試験ケース平均で約 0.77 倍であり、全体の傾向としては概ね一致している。しかし、プレート型 (100kHz・20kHz) については比 R が 1.00 から大きく外れ、最小粒径が 19mm~26.5mm の試験ケース「RUN4-2」においては、パイプ型 (100kHz) と比較して比 R は約 0.14 倍となっている。

### 3.2 混合粒径の影響

混合粒径試料を投入した試験ケースにおいて、混合粒径試料の  $D_{60}$ :7.5mm,  $D_{95}$ :55mm 程度の粒径範囲の試験ケースである、 $D_{60}$ 「RUN2-2①および RUN2-2②」、 $D_{95}$ 「RUN6-2-2①および RUN6-2-2②」と掃流砂量算出値の比較を行い、混合粒径計測時の単一粒径による影響について検討した。縦軸に累加給砂量、横軸にハイドロフォンの予測値である累加単位幅掃流砂量をプロットしグラフに整理した (図 5)。グラフ中には 1:1 線を記入している。混合粒径試料を投入した試験ケース「RUN7-2~RUN10-2」において、1:1 線と比べて給砂量/予測値の比が概ね 1/4 程度の範囲に収まっており、4 ケース全てにおいてパイプ型 (100kHz) の給砂量/予測値の比が最も 1:1 線に近く、プレート型 (20kHz) が最も遠い結果となった。 $D_{60}$ :7.5mm「RUN2-2①および RUN2-2②」は、給砂量/予測値の比が 1:1 線と比べて 1/2 程度の範囲に収まっており、 $D_{95}$ :55mm「RUN6-2-2①および RUN6-2-2②」は、給砂量/予測値の比が 1:1 線と比べて 1/10~1/15 程度の範囲に収まっている。混合粒径投入ケースと  $D_{60}$  粒径範囲投入ケースの給砂量/予測値の値は、概ね一致していると考えられるため、代表粒径がハイドロフォンの検知限界範囲内であれば、ハイドロフォンは概ね混合粒径内の平均粒径周辺サイズの掃流砂を計測していると考えられる。

### 4. おわりに

過年度に実施された現地検証試験結果の再整理を行い、両ハイドロフォンの合成音圧方式で取得したデータを対象に、単一粒径との関係および混合粒径による影響について検討した。合成音圧方式と粒径の関係については、最小粒径 10mm~20mm の範囲におけるパイプ型 (20kHz) の予測値/給砂量の比において、ほぼ 1.0 と一致する結果が得られた。しかし、プレート型 (100kHz・20kHz) は 1.0 から大きく外れ検知範囲内の粒径範囲においても給砂量の約 40%程度しか算出していない。合成音圧方式による混合粒径の計測においては、試験結果の給砂量/予測値の比が、平均粒径サイズの試験結果の比と凡そ一致していたため、ハイドロフォンは概ね平均粒径サイズの掃流砂を検知していることが確認できた。現状の課題として、プレート型ハイドロフォンは合成音圧方式では正確に掃流砂を計測できていない可能性が高く、合成音圧方式はプレート型用に最適化し直す必要があると考えられる。混合粒径ケースの給砂量/予測値の比は 1:1 線の 1/4 程度であり、現地土砂を使用した現地試験を実施しキャリブレーション式の更新を行うことで、混合粒径全体としての予測値算出精度を向上させていくことが望ましい。

謝辞：国土交通省国土技術政策総合研究所砂防研究室より、パイプ型ハイドロフォンの情報や技術指導を頂いた。記して感謝します。

### 参考文献

- 橋本ら (2022), 現地土砂・流水を用いたハイドロフォン応答試験のための現地水路実験, 令和 4 年度砂防学会研究発表会概要集, p.299-300.

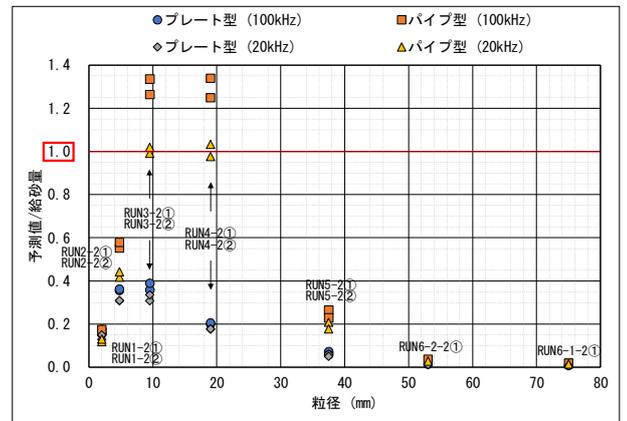


図 4 「予測値/給砂量」と粒径

表 1 パイプ型 (100kHz) の「予測値/給砂量」に対する各ハイドロフォンの「予測値/給砂量」の比 R

試験ケース	RUN1-2	RUN2-2	RUN3-2	RUN4-2	RUN5-2	RUN6-1-2	RUN6-2-2
最小粒径 [mm]	2	4.75	9.5	19	37.5	75	53
プレート型 (100kHz)	0.974	0.635	0.287	0.157	0.262	0.404	0.374
パイプ型 (100kHz)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
プレート型 (20kHz)	0.817	0.545	0.247	0.136	0.223	0.333	0.309
パイプ型 (20kHz)	0.733	0.761	0.774	0.776	0.781	0.770	0.763

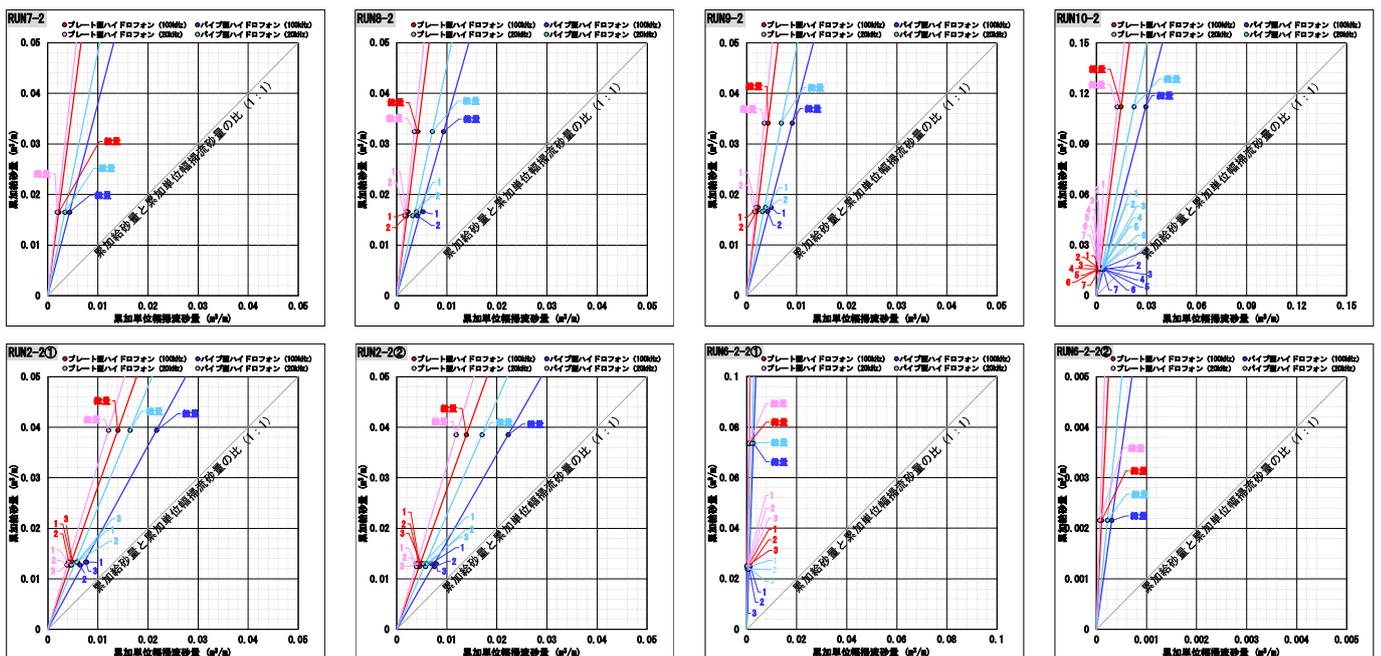


図 5 混合粒径試料投入ケースの掃流砂量算出値と代表粒径範囲の掃流砂量算出値の比較