

ハイドロフォンの衝突率に関する1考察

国土技術政策総合研究所 蒲原潤一、内田太郎、林真一郎
 株式会社 コルバック ○鶴田謙次、吉村暢也
 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター 鈴木拓郎
 京都大学防災研究所 長谷川祐治

1. はじめに

現在、全国的に直轄砂防事務所において流砂水文観測が進められており、その観測手法として土粒子の衝突音から掃流砂量に変換するハイドロフォン^{*1)}が採用されている。しかしハイドロフォンで計測される観測値（音圧値）には、複数の土粒子の衝突音が干渉して打ち消し合う現象（検出率の低下）^{*2)}と、土粒子がハイドロフォンを飛び越えて全ての土粒子が衝突しない現象（衝突率の低下）が含まれている。

前者の検出率については鈴木ら^{*2)}により研究進んでいるが、後者の衝突率については検討されたものはほとんどない状況にある。本研究では、後者の衝突率について検討を行ったものである。

2. 検討方法および結果

ハイドロフォンを使用した既往の水路実験結果を使用して、衝突率の検討を行った。

衝突率は、式(1)より計算した。

$$\text{衝突率 } f_2(n_2) = \text{ハイドロフォンに衝突した土粒子の数 } n_1 / \text{全土粒子の数 } n_2 \quad \text{-----式(1)}$$

衝突率の検討は、次の2つの方法より実施した。

- ・水路実験での供給土砂量とハイドロフォン観測値から計算した掃流砂量から衝突率を計算
- ・水路実験時のビデオ映像を基に土粒子のハイドロフォンへの衝突の有無を判読して衝突率を計算

2. 1 水路実験概要（既往の水路実験結果）

実験水路は、幅 55cm、長さ 6m の直線矩形断面可変勾配水路で、ハイドロフォンは、水路下流端から 10cm 上流の位置に、パイプ径の 1/4 程度が河床から突出するように設置したものである。実験砂は一樣粒径を使用し、水路下流に敷き詰めて水を定常的に供給して流下させた。流下区間は固定床で 1.5mm（粗度係数 0.02）の砂を張り付けたものである（図-1 参照）。

実験ケースは、土砂の粒径（3～16mm）、水路勾配（1～5°）、流量（5～80 リットル）、供給土砂量（100～2680cm³）を変化させて 6 6 ケース実施した。

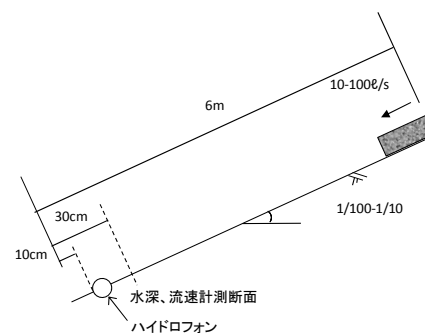


図-1 実験水路

2. 2 水路実験時のハイドロフォン観測値（音圧値）から衝突率の推定

ハイドロフォンが計測している音圧値を式(2)のように表して検討を行うこととした。

$$Sp = \alpha \times Qs \times f_1(n_1) \times f_2(n_2) \quad \text{-----式(2)}$$

ここに

Sp : ハイドロフォンで計測された音圧値 (V)

α : 音圧値と掃流砂量との比例係数

Qs : 掃流砂量（水路実験時の供給土砂量）

$f_1(n_1)$: 検出率（干渉によって音圧の波形が打ち消される割合）

n_1 : ハイドロフォンに衝突した土粒子の数 = $n_2 \times$ 衝突率

$f_2(n_2)$: 衝突率

n_2 : 衝突せず通過した土粒子も含めた全土粒子数

また、式(2)を変形すると式(3)のとおりとなる。

$$Sp / (\alpha \times Qs) = f_1(n_1) \times f_2(n_2) \quad \text{-----式(3)}$$

ハイドロフォンの音圧値 Sp は水路実験での計測値を使用し、掃流砂量 Qs は水路実験での供給土砂量を使用した。係数 α と検出率 $f_1(n_1)$ については、既往文献^{*2)}による方法より算出した。残りの係数である衝突率 $f_2(n_2)$ は式(2)よ

り算出した。ここで、全土粒子数 n_2 は、水路実験で供給した土砂量を土粒子の体積で割って計算した。

以上より水路実験での計測値を使用して計算した結果を図-2に示す。この図は、横軸が土粒子の全数 n_2 、縦軸が式(3)で示すように検出率×衝突率を示している。縦軸の値の1.0の意味は、土粒子の全数 n_2 の全てがハイドロフォンに衝突し、音圧波形が干渉することなく100%検出したことを示す。

図-2の実線は、衝突率100%として検出率を鈴木らの方法²⁾により計算した値である。このラインより下側はハイドロフォンに全て衝突していないことを示す。また、参考として破線を衝突率40%、長破線を衝突率10%のラインをとって示した。

水路実験の観測値を無次元掃流力 τ_* で区分して図-2にプロットした。その結果、今回の水路実験の条件の範囲内では、衝突率約10%～約40%となる結果となった。ただし、無次元掃流力に対する傾向は明確に示せなかった。

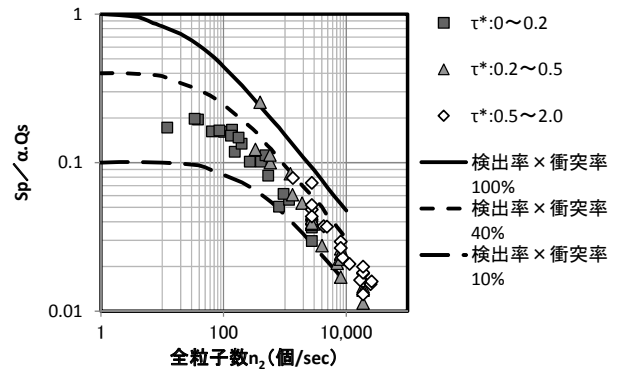


図-2 全粒子数 n_2 と検出率×衝突率との関係

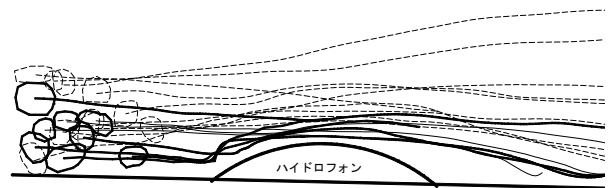
2. 3 ビデオ判読

水路実験時に撮影したビデオ映像を判読して土粒子のハイドロフォンへの衝突の有無を判読した。判読した実験ケースは、2. 2の検討で衝突率の大きいケースと小さいケース、無次元掃流力の大きいケースと小さいケース、粒径の大きいケースと小さいケースを抽出して全11ケース実施した。

ビデオ映像から土粒子の軌跡をトレースして、衝突の有無を図化した1例を図-3に示す。この判読を各ケース実施して2. 2の手法による衝突率との関係を図-4に整理した。

この図-4によると、無次元掃流力0.2以上のケースについて両者は概ね同じ結果となっているが、無次元掃流力0.2以下については大きくかけ離れている結果となった。

これは、無次元掃流力が小さい場合、ビデオ判読では土粒子は衝突しているものの、ハイドロフォンの観測値からは感知できていない可能性があり、感知できるか否かの境界が無次元掃流力0.2以下のどこかにあるものと考えられる。



CASE 3-7 実線：衝突した礫 破線：衝突しなかった礫
(粒径 3mm、無次元掃流力 $\tau_* = 0.51$)

図-3 ビデオによる衝突有無の判読例

3. まとめ

- ・今回、水路実験の条件の範囲ではあるが、衝突率の概算として10～40%を推定することができた。
- ・ただし、衝突率について無次元掃流力や粒径等との傾向を示すことが出来なかった。これは、2. 3で説明したように無次元掃流力の小さいケースにおいてハイドロフォンでは感知できていないことによる可能性が考えられる。

4. 参考文献

- 1) 水山高久・野中理伸(2002): 衝突音による掃流砂計測手法の開発, 河川整備基金助成事業, p10
- 2) 鈴木ら(2013): 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
- 3) 鈴木ら(2012): ハイドロフォンによる粒径別掃流砂量の計測手法に関する検討, 砂防学会研究発表概要集, H22
- 4) 岡本, 内田, 鈴木: 山地河道における流砂水文観測の手引き(案), 国総研資料 第686号, 平成24年4月

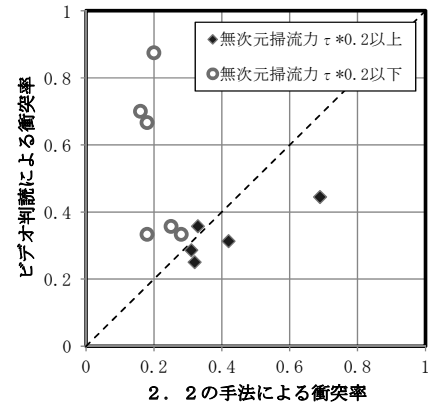


図-4 2. 2の手法とビデオ判読による衝突率