

平川・源太郎堰堤に設置したハイドロフォンの基本特性に関する現地実験

国土交通省北陸地方整備局 松本砂防事務所 神野忠広、○吉田俊康、宮澤和久
いであ株式会社 谷口丞、樋田祥久

1 はじめに

姫川水系左支川平川源太郎砂防堰堤では、平川流域の流砂量観測のためハイドロフォンを設置している。ハイドロフォンは金属管に粒子が衝突する音を電圧に変換し、閾値を越えた回数や電圧そのものをデータとする流砂量観測機器である。従来の研究により掃流砂量を相対的に評価できることが知られており、流域の土砂動態の把握には有効な手段であると考えられている¹⁾。一方、粒子の管への衝突と出力されたデータの関係が明らかではない。また、ハイドロフォンは測定管の設置状況や形状、管の中身（吸音材など）により応答性が異なる。そこで、源太郎堰堤水通し部に設置したハイドロフォンの基本特性を把握するため、ハイドロフォン上を通過する粒子の粒径、流砂量および水深、流速が把握できている状態での現地実験を行い、音圧と運動エネルギー、流砂量の関係、流砂の検知率を調査することを目的としている。

2 現地実験

平川は流域面積 22.85km²、堰堤から上流 350m の平均河床勾配は 1/31 である。堰堤水通し幅は 68m、堰堤水通し部に右岸・中央・左岸の 3 箇所ハイドロフォンが設置されており、中央ハイドロフォンを実験に用いた。ハイドロフォン測定管は管径 48.6mm の円管で、管長 2.0m、管の一部をモルタルで舗装しており、露出部は 700mm が 2 箇所、管の中には乾燥剤が詰め込まれている。ハイドロフォンが検知しているデータは、管に砂粒子が衝突した音をマイクロフォンで出力した電圧（以下音圧(mV)と呼ぶ）と、アンプで増幅した電圧が閾値（2.5V）に達した回数（以下、パルス数(回)と呼ぶ）を計測している。なお、増幅率は 4 倍、16 倍、64 倍、128 倍、256 倍、1016 倍の 6ch 設定している。



写真-1 実験水路

2.1 実験条件

実験では水路長直線部が 15m 以上、水路幅の上幅が 3.3~3.6m、下幅が 2.4~2.6m であるハイドロフォンに垂直な直線水路を用いた。実験水路を写真-1 に示す。実験材料は現地土砂をふるい分けた 5 粒径を用い、流量を 3 段階に変化させ、15 ケースの実験を行った。堰堤水通しのコンクリート部、ハイドロフォン上流 50cm 地点から実験材料を流下させ、測定管のマイク側露出部（700mm）に衝突させた。なお、実験ケースごとに水深と電磁流速計を用いて水面から 6 割水深の流速を計測している。さらに、粒子がハイドロフォンを通過する時間を計測することで、流砂量を計測している。実験条件を表-1 にまとめた。ここに、 d は砂の粒径、 h は水深、 $u_{z=0.4h}$ は計測した流速、 h/d は相対水深、 Q_s は流砂量、 u_* は摩擦速度（ $=\sqrt{gh\bar{b}}$ ）、 u_g は粒子速度、 w_0 は沈降速度（Rubey の式）、 Fr はフルード数、 Re はレイノルズ数、 Re^* は粒子レイノルズ数、 e は粒子 1 つの運動エネルギー、 T は水温である。

表-1 実験条件

	d (mm)	h (cm)	$u_{z=0.4h}$ (cm/s)	h/d	Q_s (cm ³ /s)	u_* (cm/s)	u_g (cm/s)	w_0 (cm/s)	u_*/w_0	Fr	Re	Re^*	e (g·cm ² /sec ²)	T (°C)
Case1-1	① 0.85~2.00	22.5	115.40	158	40	26.5	160.4	11.8	2.2	0.78	173100	252	52	6
Case1-2	② 2.00~4.75	23.5	132.45	70	42	27.1	148.8	18.8	1.4	0.87	207505	610	590	6
Case1-3	③ 4.75~9.5	22.0	128.15	31	73	26.2	126.7	27.6	1.0	0.87	187953	1246	4029	6
Case1-4	④ 9.5~19.0	22.0	131.55	15	115	26.2	105.3	39.1	0.7	0.90	192940	2491	22271	6
Case1-5	⑤ 19.0~26.5	22.0	133.35	10	112	26.2	86.1	49.5	0.5	0.91	195580	3978	60537	6
Case2-1	① 0.85~2.00	19.0	84.20	133	34	24.4	145.7	11.8	2.1	0.62	106653	232	43	6
Case2-2	② 2.00~4.75	18.0	91.20	53	35	23.7	125.8	18.8	1.3	0.69	109440	534	422	6
Case2-3	③ 4.75~9.5	17.5	107.80	25	50	23.4	107.4	27.6	0.8	0.82	125767	1111	2896	6
Case2-4	④ 9.5~19.0	18.5	116.10	13	85	24.0	90.5	39.1	0.6	0.86	143190	2285	16451	6
Case2-5	⑤ 19.0~26.5	18.5	103.00	8	25	24.0	71.3	49.5	0.5	0.76	127033	3648	41511	6
Case3-1	① 0.85~2.00	14.5	64.85	102	24	21.3	124.8	11.8	1.8	0.54	62688	202	31	6
Case3-2	② 2.00~4.75	14.8	58.80	44	22	21.5	110.5	18.8	1.1	0.49	57820	483	326	6
Case3-3	③ 4.75~9.5	14.8	55.85	21	25	21.5	94.4	27.6	0.8	0.46	54919	1020	2236	6
Case3-4	④ 9.5~19.0	14.5	51.05	10	25	21.3	71.8	39.1	0.5	0.43	49348	2023	10341	6
Case3-5	⑤ 19.0~26.5	14.5	54.75	6	127	21.3	52.5	49.5	0.4	0.46	52925	3229	22541	6

■ 概算単位流量0.29(m³/s/m)
■ 概算単位流量0.18(m³/s/m)
■ 概算単位流量0.08(m³/s/m)

3 実験結果及び考察

粒子が速度を持ち管に衝突する音を拾うことで、ハイドロフォンはデータを検出する。そのため、ハイドロフォンデータには粒子の体積（質量）および粒子速度との関係があると考えられる。そこで、体積・粒子速度の関係式である運動エネルギーと流砂量を用いてハイドロフォンの検知データの評価を行う。また、粒子がハイドロフォンを飛び越えていることも考えられるため、ハイドロフォンの検知率に関する評価を行う。なお、Case2-5、3-3、3-4、3-5 については粒子が金属管に貯まり流れなかったためデータの評価には用いなかった。

3.1 音圧に関する解析

音圧と粒子 1 つの運動エネルギーの関係を図-1 に、音圧と流砂量の関係を図-2 に示す。なお、図には近似値（累乗近似）を示している。図-1 より、 e が 200 程度以上（粒径 2.0mm 以上が目安となる）のデータについて、音圧と運動エネルギーの関係について見ると高い相関関係にあることがわかる。この結果より、音圧データを解析する場合には、 e が 200 以上（もしくは粒径 2.0mm 以上）のデータを対象にすれば良いことがわかる。また、図-2 に示すとおり音圧と流砂量の関係を見ると高い相関関係にあることが明らかとなった。この結果は音圧から流砂量を算出できることを示している。

3.2 ハイドロフォンパルスに関する解析

次に、増幅率 1016 倍のパルス数を供給粒子個数で割る事で検知率とし、相対水深 h/d と検知率との関係を見ると、図-3 に示すとおり h/d と検知率の間には高い相関関係があることがわかる。この結果から、ハイドロフォンに衝突した粒子の粒径と水深が既知であれば、ハイドロフォンの検知率を推定できることが明らかとなった。

4 おわりに

本実験の成果として、①音圧データを解析する場合は、粒子 1 個の運動エネルギー e が 200 以上（粒径 2.0mm 以上が目安）のデータを用いること、②音圧と流砂量の間には相関関係があり、音圧から流砂量が推定可能であること、③ハイドロフォンの検知率が h/d で概ね評価できることが明らかとなった。

5 参考文献

1) 水山高久、松岡美和、野中理伸：砂防学会誌 vol. 61, No. 1, pp. 35-38, 2008 流砂量の多い状態のハイドロフォンによる流砂計測（音圧データの所得）

6 謝辞

流砂量とハイドロフォンパルスの調査・解析にあたっては、京都大学大学院農学研究科 水山高久教授に助言をいただいた。ここに深く感謝申し上げます。

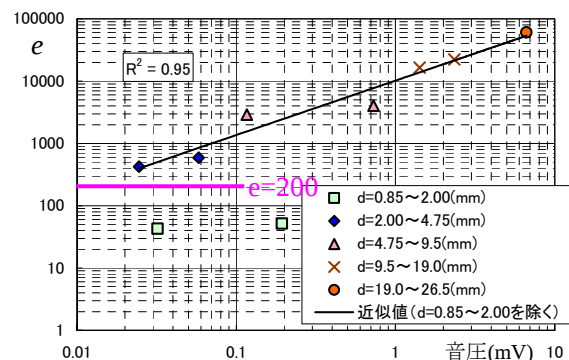


図-1 音圧と粒子 1 つの運動エネルギー e の関係

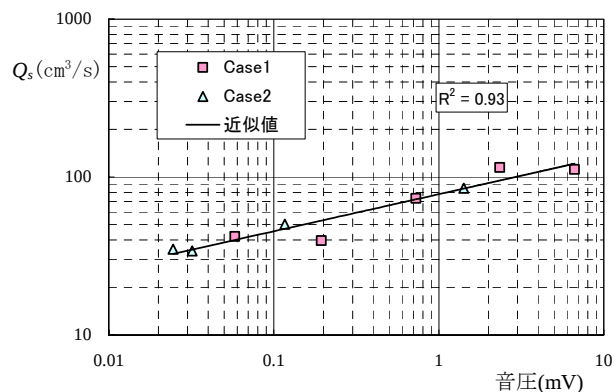


図-2 音圧と流砂量の関係

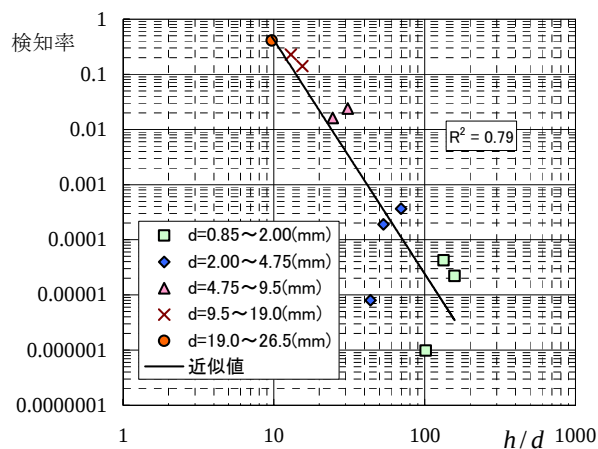


図-3 相対水深と検知率の関係