

プレート型振動センサを用いた高速流中を流下する礫の計測手法に関する研究

(国研) 土木研究所 正会員 ○櫻井 寿之、京都大学大学院工学研究科 学生会員 小柴 孝太
 京都大学防災研究所 正会員 角 哲也、(国研) 土木研究所 正会員 宮脇 千晴、石神 孝之

1. はじめに

ダム貯水池の堆砂の軽減およびダム下流の流砂環境の保全・改善のための手法の一つとして、土砂バイパストンネルが用いられている。土砂バイパストンネルを通過する土砂量を把握することは、施設の操作、施設の摩耗・損傷に関する維持管理と対策、下流への土砂供給状況の把握などにおいて重要であるが、そのための手法は十分に確立されていない。

そこで、筆者らは H28 年度より試験運用が開始される予定の天竜川支川の小渋川に建設中の小渋ダム土砂バイパストンネルへの適用を想定しつつ、施設を通過する土砂のうち 2mm 程度以上の礫が掃流形態で通過する量を把握することを目的として計測手法の検討を実施している。掃流砂の計測手法の既往研究としては、京大穂高砂防観測所での観測など砂防分野で多くの検討が行われているハイドロフォン¹⁾やスイスでのジオフォン²⁾などの研究事例がある。本研究では小渋ダム土砂バイパストンネルで想定されている高速流(最大 15m/s 程度)を考慮して、耐久性の高いプレート型振動センサ(プレートマイクロフォン)³⁾を用いた計測の検討を行っている。本稿では、室内実験によって高速流中に単一の礫を流下させた際の計測特性に関して得られた知見を報告する。

2. 実験方法

実験装置の概要を図-1 に示す。給水用のポンプからの水流を高さ 0.2m×幅 0.5m の長方形の出口を持つノズルで整流し、高さ 0.5m、幅 0.5m、長さ 10m、勾配 1/50 の鋼製水路(底面はステンレス製)に通水を行った。

水路の下流端に図-2 に示すプレート型振動センサを図-1 において水路底面に対する反時計回りの角度を 0° と 10° の 2 条件で設置した。プレート型振動センサは、長辺 0.5m×短辺 0.36m×厚さ 15mm の鋼製プレートと裏面に設置された 3 つのセンサから構成される。センサは、音響センサ(ハイドロフォン)と振動センサおよびジオフォン(スイスの土砂バイパストンネルで採用事例があるセンサ)の 3 つである。

実験では、通水を行った状態で上流端付近から単一の礫を水面付近から落下させる方法で投入し、センサ

から出力される電圧を 20 μ s 毎(50kHz)に記録した。

実験に用いた礫の材料は小渋ダム土砂バイパストンネルの流入部直上流付近の河床から採取した土砂をふるい分けし、表-1 に示す 6 つの一樣粒径とした。

実験ケースは、プレート型振動センサの設置角度と流量(流速)と粒径をパラメータに表-2 に示す 21 ケースとし、各ケースの同条件で 50 回の計測を実施した。

3. 実験結果

実験装置に通水をした状態で、水路中央の水面形(目視による時間平均)を計測した結果、水面形はおおむね安定しているが、流速 10m/s の場合は、水脈の乱れや空気混入による水深の増加およびプレート設置角度が 10° の場合に下流端の水面の上昇がみとめられた。水路上流端からの距離 2m~8m の水深の計測値を平均して水流の平均流速を算定すると、上流端流速 5m/s の場合で 4.75m/s、10m/s の場合で 8.62m/s であった。

礫を流下させた際の計測結果の例として、ケース B-2-4 とケース B-2-6 の計測結果を図-3 に示す。時間軸は計測波形が立ち上がった時点を 0sec としている。ここに示した例以外の計測波形も確認した結果、波形の振幅と継続時間は、概ね粒径との相関がみられ、音響センサの結果にその傾向が顕著にみられた。振動センサは、小さい粒径にも反応し感度がよいが、小さい衝撃でも振幅が計測上限値に達してしまい、振幅から粒径の大きさを判別することは難しいと考えられる。ジオフォンは、振動センサの波形と似ているが、小さい粒径の場合の振幅が小さめになり、振幅の低減時間が長めとなる傾向がみられた。

50 回の試行の中で、上記のような波形の変化が認められた回数の割合を検知率と定義して、図-4 に各ケースの結果をまとめて示した。プレートの設置角度を 10° とすると、全体的に検知率が増加している。また、同じプレート設置角度では、流速が小さいと検知率が大きくなる傾向がみられその傾向はプレート設置角度 0° の方が顕著である。なお呼び粒径 2mm については、初めにプレート角度 10°、上流端流速 10m/s の条件で検討したところ、波形の変化が認められなかったため、他の条件では実施していない。しかしながら補足の実

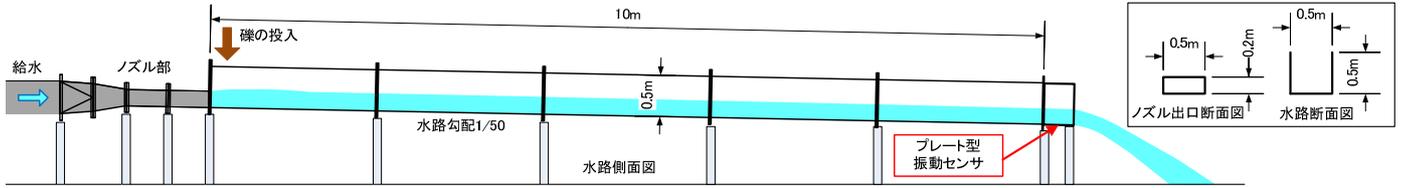


図-1 実験装置の概要

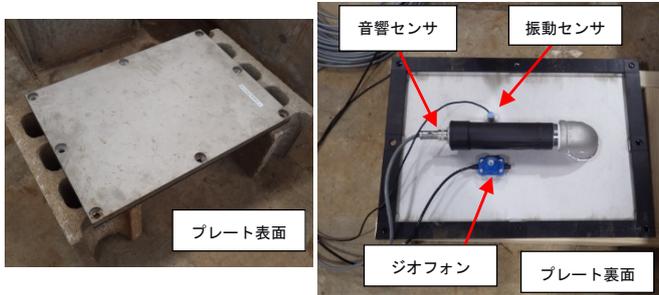


図-2 プレート型振動センサの概要

表-1 実験に用いた礫材料の諸元

呼び粒径 (mm)	ふるい目サイズの上限と下限 (mm)	平均質量 (g) (注)	質量の標準偏差 (g) (注)	平均密度 (g/cm ³)	一個当りの平均体積 (cm ³)	平均体積を有する球体と仮定した場合の直径 (mm)
2	2.00~2.80	0.019	-	2.72	0.0070	1.96
5	4.75~5.60	0.261	-	2.67	0.0976	4.72
10	9.52~13.20	2.765	1.02	2.68	1.0308	10.35
20	19.1~22.4	15.591	3.92	2.66	5.8690	18.47
50	45~63	251.453	79.64	2.66	94.6839	46.68
100	90~100	1670.423	295.50	2.67	625.2399	87.58

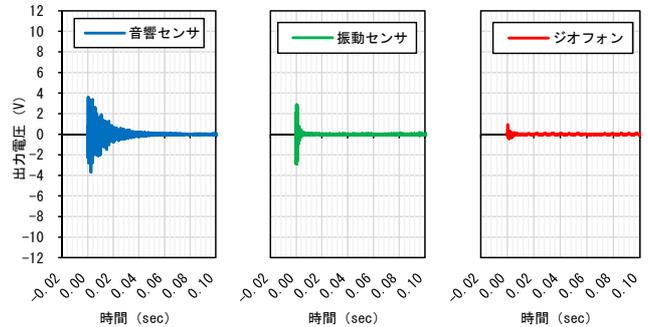
表-2 実験条件

実験ケース	プレート設置角度	流量 (L/s)	水路の上流端流速 (m/s)	呼び粒径 (mm)	試行回数 (回)
A-1-1	0°	500	5	5	50
A-1-2				10	50
A-1-3				20	50
A-1-4				50	50
A-1-5				100	50
A-2-1		1000	10	5	50
A-2-2				10	50
A-2-3				20	50
A-2-4				50	50
A-2-5				100	50
B-1-1	10°	500	5	5	50
B-1-2				10	50
B-1-3				20	50
B-1-4				50	50
B-1-5				100	50
B-2-1		1000	10	2	50
B-2-2				5	50
B-2-3				10	50
B-2-4				20	50
B-2-5				50	50
B-2-6				100	50

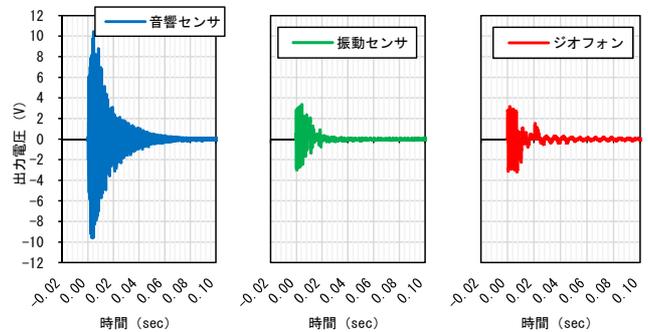
験で2mmの土砂を100g投入すると、波形の変化が確認されたため、今後詳細な検討を行いたい。

4. まとめと今後の課題

実験により高速流中を流下する礫のプレート型振動センサによる計測の基礎的な知見を得ることができた。プレートの設置角度や流速による検知率の変化に関する知見は、現地計測の結果を補正する際に参考になると考えられる。今後は、通過土砂量を定量的に把握することを目標に、複数粒径や混合粒径の条件についての検討や出力結果の解析方法についての検討を進めたい。



(a) ケース B-2-4 の計測結果



(b) ケース B-2-6 の計測結果

図-3 礫を流下させた際の出力電圧計測結果の例

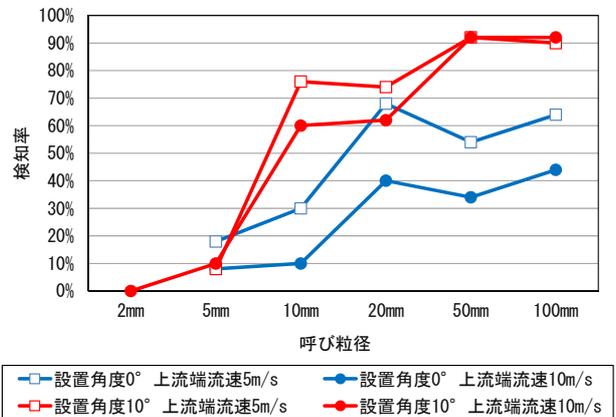


図-4 礫を流下させた際の出力電圧による検知率

参考文献

- 1) 堤大三, 野中理伸, 水山高久, 藤田正治, 宮田秀介, 市田児太朗: 掃流砂観測におけるプレート型ジオフォンとパイプ型ハイドロフォンの比較, 京都大学防災研究所年報, (57), pp. 385-390, 2013.
- 2) Hagmann, M., Albayrak, I. and Boes, R.M.: Field research: Invert material resistance and sediment transport measurements, Proc. Int. Workshop on Sediment Bypass Tunnels, VAW-Mitteilung 232 (R. Boes, ed.), ETH Zurich, Switzerland, pp. 123-135, 2015.
- 3) 小柴孝太, 角哲也, 堤大三: プレート型振動センサを用いた掃流砂量計測手法に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学) Vol. 72, No. 4, I_925-I_930, 2016.