

土砂バイパストンネルを流下する土砂を把握する試み

(国研) 土木研究所 櫻井 寿之、京都大学防災研究所 角 哲也

京都大学大学院工学研究科 小柴 孝太、(国研) 土木研究所 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（以降 SBT と記載）が用いられている。SBT 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、下流河川の河床環境変化の検討・評価などにおいて重要である。

そこで、本稿では、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 SBT¹⁾ への適用を想定しつつ、SBT を流下する土砂を把握する手法についての現状と課題を考察するとともに、現在実施中の礫が掃流形態で通過する量を把握するための計測手法についての検討状況を報告する。

2. SBT を流下する土砂の把握手法の現状と課題

SBT を通過する土砂は、粒径や輸送形態などによって分類することができるが、ここでは、国交省天竜川ダム統合管理事務所が設置している「小渋ダム土砂バイパストンネルモニタリング委員会」で用いられている下記の粒径による分類を使用して、流下土砂の把握手法について記載する。

(1) シルト成分 (0.075mm 以下)

ウォッシュロードとも称される粒径の小さい土砂であり、ダムの多くが設置される山地河川では、出水時に浮遊状態で輸送され、流水中で概ね一様に混合されると考えられる。現状では、出水時に 1 時間程度の間隔でバケツ採水等によって得られたサンプル水の SS と粒度分布を分析することで、流下量を把握する。出水時に欠測が無いように採水するための労力は大きく、省力化には濁度の自動計測が有用であるが、土砂の粒度分布や土質などにより濁度と SS との相関関係が異なるため、採水分析によるキャリブレーションが重要である。

(2) 砂成分 (0.075mm~2.0mm)

砂成分については、掃流力に応じて掃流形態から浮遊形態で輸送される。山地河川では出水時には掃流力が大きくなり、浮遊形態で輸送される量も多くなるため、出水前後の河床形状の違いから通過量を把握することは難しい。SBT では一般に比較的急勾配の開水路トンネルとして設計される場合が多く、小渋ダムの SBT でも出水時には 10m/s 以上の流速となることが想定され、砂成分は浮遊状態で輸送されると考えられる。ただし、

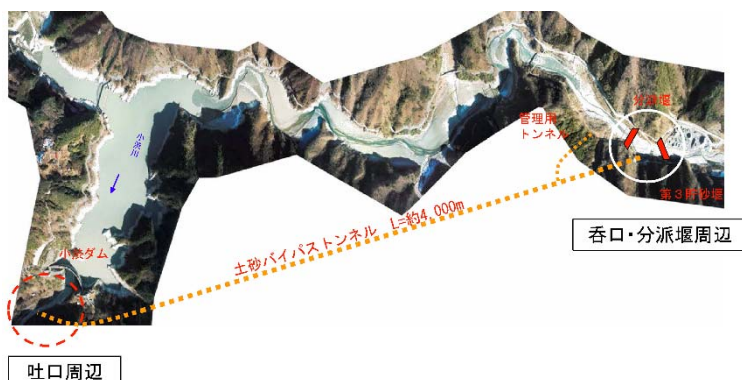


図-1 小渋ダム SBT の概要（平面配置）¹⁾

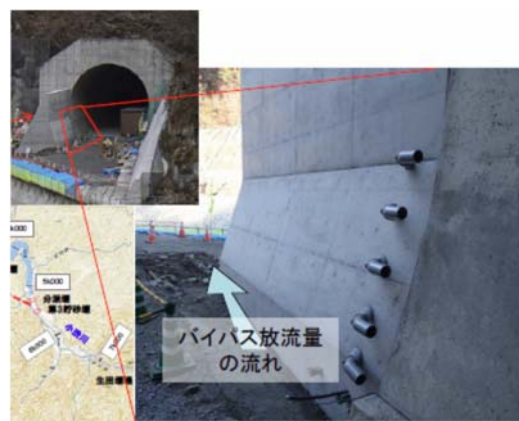


図-2 小渋ダム SBT の吐口の採水管¹⁾

水深方向の土砂濃度が異なることも想定され、小渋ダム SBT では、吐口に高さ別の採水管を設置して採水分析することが計画されている。この採水分析の結果はシルト成分、礫成分についても利用される予定である。

(3) 礫成分 (2.0mm 以上)

砂成分と同様に、掃流力に応じて掃流形態から浮遊形態で輸送されるが、砂成分よりは掃流形態の輸送量が多い。小渋ダム SBT では、出水期後に SBT の上下流（上流約 2km、下流約 4.6km）の河床形状を測量し、SBT 上流の河床材料調査を行い、その変化から流下土砂量を把握することが計画されている。

また、SBT を通過する礫成分を直接計測するための試みとして、SBT の吐口にプレート型振動センサを設置することも計画されている。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²⁾やスイスでのジオフォン³⁾などの研究事例があるが、小渋ダム SBT で想定されているような高速流（最大 15m/s 程度）での計測特性については十分な知見がない。

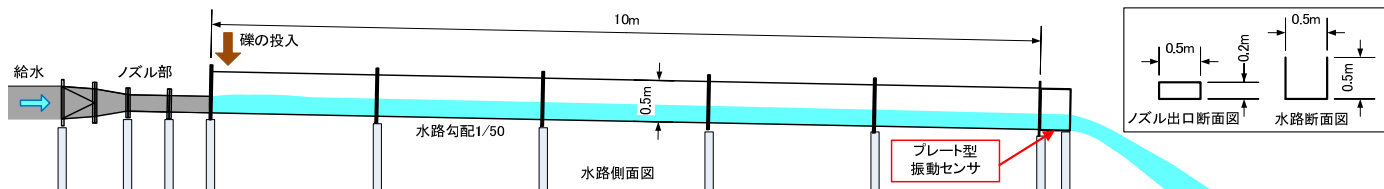


図-3 実験装置の概要

3. 高速流中を流下する礫計測の試み

前述の礫成分の直接的な計測に関する課題に関して、筆者らは、室内実験によって高速流中に礫を流下させた際の計測特性に関する検討を実施しており、その検討状況の概要を報告する。

実験装置の概要を図-3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、下流端に図-4に示すプレート型振動センサを設置した高さ 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。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の3つのセンサで構成される。

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 SBT 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、約 2、5、10、20、50、100mm の6つの一様粒径とした。

実験結果の流況の例を図-5に、礫を流下させた際の計測結果の例を図-6に示す。出力電圧の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。

4. まとめ

小渋ダム SBT の運用については、堆砂の軽減などの本来の目的の効用が期待されるのはもとより、土砂流下量の把握手法や施設の操作・維持管理手法の技術的な発展も期待される。室内実験による検討についても現場への適用を考慮して進めていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省天竜川ダム統合管理事務所webサイト (<http://www.cbr.mlit.go.jp/tendamu/picup/monitoring/index.html>)
- 2) 堤大三, 野中, 水山, 藤田, 宮田, 市田: 掃流砂観測にお

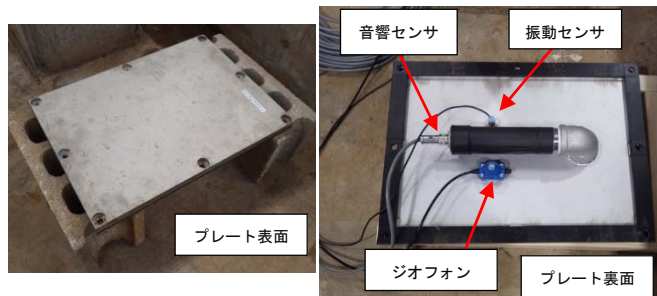
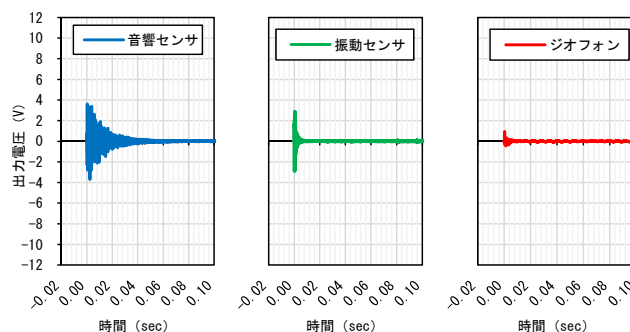


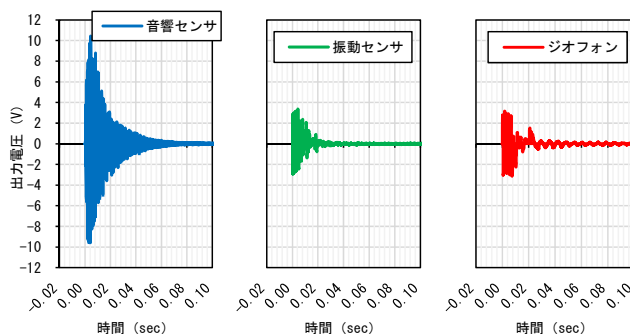
図-4 プレート型振動センサの概要



図-5 流速約 8m/s の流況 (上) と高速撮影した礫の流下状況 (下)



(a) 水路上流端流速 10m/s、粒径 20mm の計測結果



(b) 水路上流端流速 10m/s、粒径 100mm の計測結果

図-6 礫を流下させた際の出力電圧計測結果の例

- 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.
- 3) Hagmann, M., Albayrak, I., Boes, R.M.: Field research: Invert material resistance and sediment transport measurements, Proc. Int. Workshop on Sediment Bypass Tunnels, VAW-Mitteilung 232, ETH Zurich, Switzerland, pp. 123-135, 2015.