

小渋ダム上流河道の掃流砂観測を用いた排砂バイパストンネル分派湖の堆砂量予測
Sediment volume prediction in the diversion pool of the Koshiibu Dam sediment bypass tunnel
using bedload monitoring in upstream reaches

○三浦爽・小柴孝太・角哲也

○Sawa MIURA, Takahiro KOSHIBA, Tetsuya SUMI

Sediment bypass tunnel (hereafter SBT) is one of the countermeasures for reservoir sedimentation which bypasses inflow sediment to the downstream directly. For operating an SBT efficiently, issues to be known are how and when to switch the inflow both for refilling the reservoir water volume and bypassing high concentration sediment, and to find the appropriate sedimentation height in the diversion pool to minimize the sediment inflow to the reservoir. In order that, it is required to predict sediment transport phenomena during SBT operations. In this study, we analyzed the field data at upstream river to predict inflow sediment discharge and created a sediment diversion model at the SBT diversion pool.

1. はじめに

ダムは水を貯めると同時に、水と一緒に流れてくる土砂も貯める。日本のダムでは、計画堆砂容量を設けているものの、中部地方を中心に急速に堆砂率が増加し 100%に近いダムもある。貯水池の堆砂は、発電取水口の土砂埋没、貯水池の利水・治水容量の減少、下流河川における流下土砂量の減少や河岸浸食を引き起こす。ダムの堆砂対策としては、貯砂ダムに加え掘削、浚渫、スルーシングやゲート排砂等が行われており、その一つである排砂バイパストンネル (Sediment Bypass Tunnel, 以後 SBT) は、流入土砂を迂回させることで堆砂量を抑制する設備で、天竜川水系の小渋ダムでも 2016 年から運用が開始されている。

トンネルのゲートは人が操作する必要がある、SBT の効率的な操作をするには、流入土砂予測や排砂時の土砂動態の解明を通して、SBT の運用・維持管理に有用となる知見を蓄積していくことが重要である。そこで本研究では、長野県小渋ダム SBT を対象に、ダムへ流入する土砂量の予測高度化を目指し、ダム上流河道の土砂観測システムのデータ分析を通して複数タイプの洪水波形に伴う流入土砂動態を明らかにする。そして、SBT 呑口 (SBT ゲート直上流地点) 直上にある分派堰の簡単な土砂動態モデルに流入土砂データを組み込み、効率的な SBT 運用操作について検討することを目的とする。

2. 観測データに基づく流入土砂量予測式の提案

小渋ダム上流部では、支川の小渋川大河原地点において、2016 年から現在まで 1 分間隔で水文及び流砂観測が行われている。掃流砂観測には、河道の左岸・中央・右岸側の 3 か所に設置されたハイドロフォンが使用されており、右岸がプレート型で、中央・左岸はパイプ型ハイドロフォンである (図-1)。他の計測項目は水位、流速、濁度で、流量は水位から HQ 曲線を用いて導出されているものを本研究では使用している。

図-2 に、2016~2018 年の間で、ピーク流量が 40 m³/s 以上を記録した出水における掃流砂量と流量の関係 (L-Q 関係) を示す。また、ピーク流量を境に出水の前半 (増水期) と後半 (減水期) に分けている。これは、大河原地点における L-Q 関係のヒステリシスループは反時計回りであることが知られており、増水期と減水期では同じ流量でも減水期のほうが掃流砂量が大きくなる傾向があるためである。回帰式は L-Q 式で一般的に用いられている $L = \alpha Q^\beta$ に定数項を与えた $L = \alpha Q^\beta + \gamma$ とし、最小二乗法により係数を算出した。増水期は流量が大きいときに掃流砂量が頭打ちになる一方で、減水期は流量が大きいときにも増加する傾向がある。また、減水期は決定係数から判断すると 0.22 と当てはまりが良くないが、増水期は 0.75 と概ね良好な近似式が得られた。

3. 分派湖の土砂排出モデルの構築

排砂時の分派湖における流れ及び土砂輸送動態の予測を行うために土砂分派モデルを構築した。簡単のため、分派湖内の河床変動は考慮せず、掃流砂は一様に分布していると仮定し、ボックスモデルを適用した。流入掃流砂量は前節で提案した予測式(L-Q式)を用いて算出し、バイパス流入土砂量は SBT 呑口における掃流力に基づいて芦田道上式を用いて推定した。ここで、バイパス土砂量は分派湖内の堆砂高さによって変動すると想定されるため、分派湖内の堆積高さを考慮する場合と考慮しない場合に分けて計算した。堆積高さを考慮しない場合、芦田道上式が平衡流砂量を与えることを踏まえると流砂量が過大となることが予測されたので、補正係数 α (本研究では0.5)を乗じた値とした。また、分派湖内の水位とゲート開度より、ゲート付近の流れをフリーフローとオリフィス流に分けて計算した。

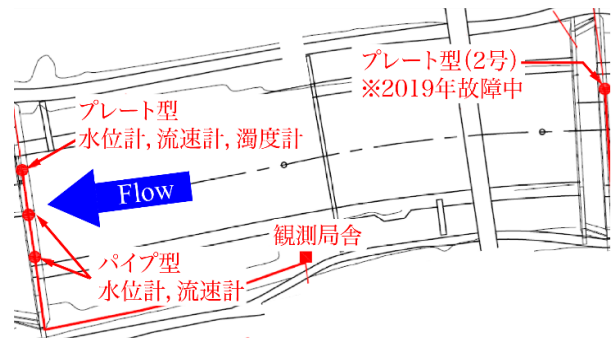


図-1 小渋川大河原の観測機器の設置状況 (国土交通省提供)

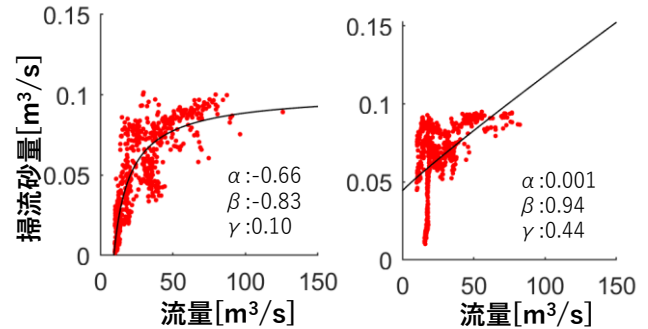


図-2 L-Q 予測式 (左: 増水期, 右: 減水期)

4. バイパス運用事例の再現

実際にバイパストンネルが運用された 2018 年 9 月 30 日の出水を対象に、排砂時の分派湖におけるハイドログラフと土砂輸送の再現結果を図-3、図-4、図-5 に示す。バイパス土砂量を、SBT 吐口で計測している流砂観測データと比較した結果、堆砂高さを考慮した場合の土砂量と概ね一致する結果となった(図-4)。このことより、堆砂高さを考慮して計算を行ったモデルの方が、精度が良いことが確認できた。なお、今回は、分派湖内の初期堆砂土砂量を 0 としたため、分派湖計画貯砂量の 21 万 m^3 を超えることはなかった。しかしながら、実際にはある程度堆砂した状態から SBT 運用を行うことになるため、今後は、分派湖内堆砂高さの初期値を変えて計算を行う必要がある。

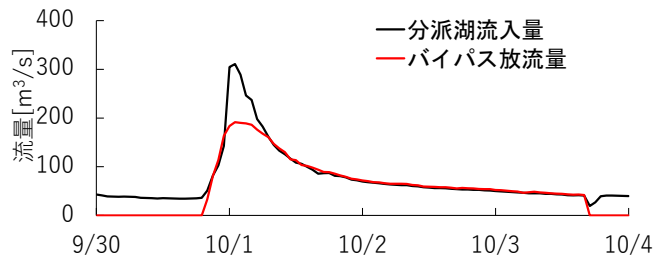


図-3 ハイドログラフ (2018年9月30日出水)

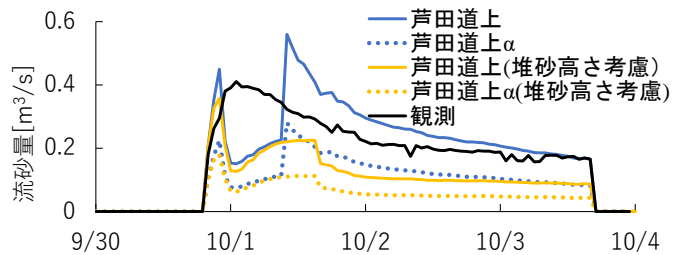


図-4 バイパス土砂量計算結果

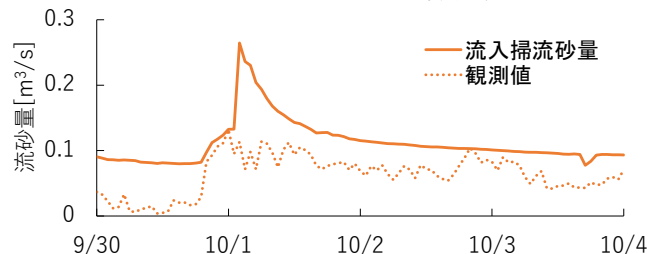


図-5 流入土砂量計算結果

5. まとめ

本研究では、ダム上流河道での流砂観測データを用いて貯水池流入土砂量を予測し、SBT 分派湖における土砂分派モデルに組み込むことで、SBT からの排砂量を推定する手法について検討を行った結果、分派堰内の排砂時の土砂動態をある程度再現できることが明らかとなった。今後は、分派湖内の年間の堆砂管理を考慮して、分派堰を乗り越えてダム湖へ流れる土砂量を少なくしながら、効率的に SBT を運用する手法をさらに詳細に検討していく必要があると考えられる。

参考文献

国土交通省天竜川ダム統合管理事務所：第 6 回小渋ダム土砂バイパストンネルモニタリング委員会資料 (平成 31 年 3 月 14 日), 国土交通省天竜川ダム統合管理事務所, 2019