

# 小渋ダム排砂バイパストンネルにおけるインパクトプレートを用いた掃流砂観測

京都大学 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

## 1. はじめに

排砂バイパストンネル (Sediment Bypass Tunnels, SBT) は、貯水池堆砂対策手法の一つであり、ダムの上流から洪水と共に流入してくる土砂を下流へとバイパスするトンネル構造物である。SBT は効率的かつ、コスト・環境双方に対して持続可能な技術である点で有望であるものの、高速で流下する礫によるトンネルインバートの摩耗問題が未だ大きな課題として残る。2017 年に京都で開催された、第 2 回国際排砂バイパストンネルワークショップにおいて、当問題を解決するために重要な研究課題は、以下の三点に集約された：1) どのように礫が SBT 内を流下するのか、2) インバートに礫がどのように衝撃を与えているのか、3) どのような摩耗対策が効果的か。

著者らは、上記課題の特に 2 と 3 を明らかにすることを目的として、流速が大きい環境でも土砂モニタリングが可能な、インパクトプレートと呼ばれる間接的掃流砂観測手法の開発および長野県小渋ダム SBT における現地観測を行ってきた。小渋 SBT では、2016 年の初運用よりインパクトプレートを用いた計測を 8 回の SBT 運用期間中に行っており、土砂動態に関する知見が集まりつつあるので、当論文で報告する。

## 2. インパクトプレート

インパクトプレート (IP, (株) ハイドロテック, 図-1) は、河床に埋め込まれたスチールプレート (49.2 cm × 35.8 cm × 1.5 cm) とその背面に導入されたマイクロフォンから構成される。IP の上部を通過した土砂がプレートに衝突した際に生じる音響エネルギーをマイクロフォンで捕捉し、得られた信号を解析することで粒径や土砂量など流下土砂の情報を得る。IP は、生波形を 50 kHz で記録したのち、得られた波形を砂防分野で広く使用実績があるパルス数 ( $I_{ps}$ ) とよばれる特徴量に変換する。 $I_{ps}$  とは、音響信号値 (単位: ボルト) が一定の閾値を超えた回数を記録した値である。このとき、信号は 10 段階の増幅率 ( $Amp$ ) で増幅され、それぞれの  $Amp$  に対して  $I_{ps}$  がカウントされる。ここで、高  $Amp$  は高感度に相当し、幅広い粒径の礫による衝突が  $I_{ps}$  として検出される一方で、低  $Amp$  は低感度に相当し、相対的に大きな粒径の礫のみが検出される。つまり、 $Amp$  別の  $I_{ps}$  から粒径加積曲線を推定することを意図して提案された特徴量である。 $I_{ps}$  の詳細なカウント方法は Koshiba et al. (2018) に述べられている。

小渋 SBT には 5 基の IP が吐口横断方向に設置され、SBT 運用に合わせて計測を行っている (図-2)。これは、流下土砂量の時間変化だけでなく、トンネル湾曲による土砂移動の横断方向の非対称性も観測するためである。

## 3. 小渋 SBT 運用の観測例 (2017 年 10 月 22 日, 23 日)

2017 年 10 月 22 日から 23 日にかけて、台風 21 号の接近に伴い、約 10 時間にわたり小渋 SBT が運用された。図-3 に SBT 運用中及び前後期間のダム流入量及びバイパス流量、コンジットゲート流量、呑口の水位、貯水池の水位を示す。ゲートは最初、下流環境の急激な変化を避けるために、階段状に開度が上げられた。その後、バイパス流量が約 100 m<sup>3</sup>/s に到達すると全開にされ流水はバイパス効率が高いフリーフローへと移行した。流入量の減少を受

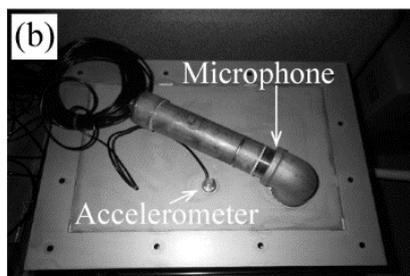


図-1 小渋ダムに設置されたインパクトプレート, (a) 正面, (b) 背面

図-2 5 基の IP の配置

キーワード 排砂バイパストンネル, 流砂観測, インパクトプレート

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 E-mail: koshiba.takahiro.47v@st.kyoto-u.ac.jp

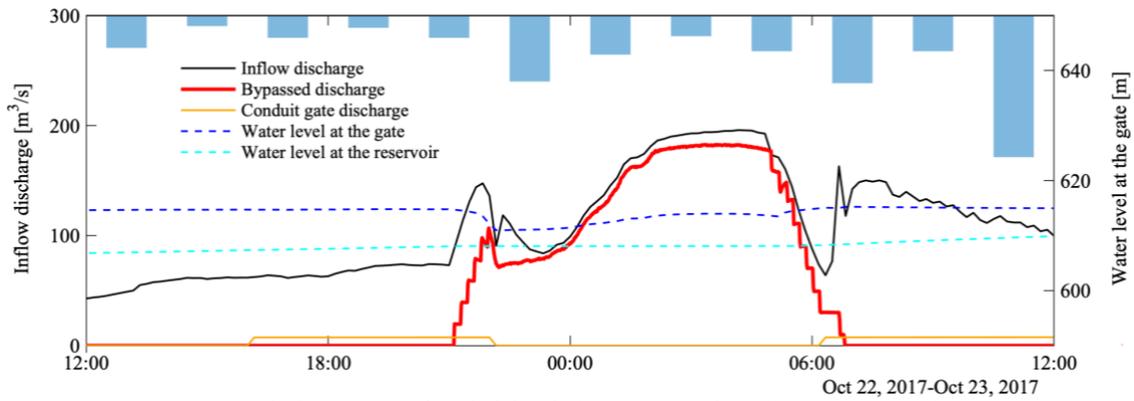


図-3 小渋 SBT 運用時の水文観測データ (2017 年 10 月 22 日, 23 日)

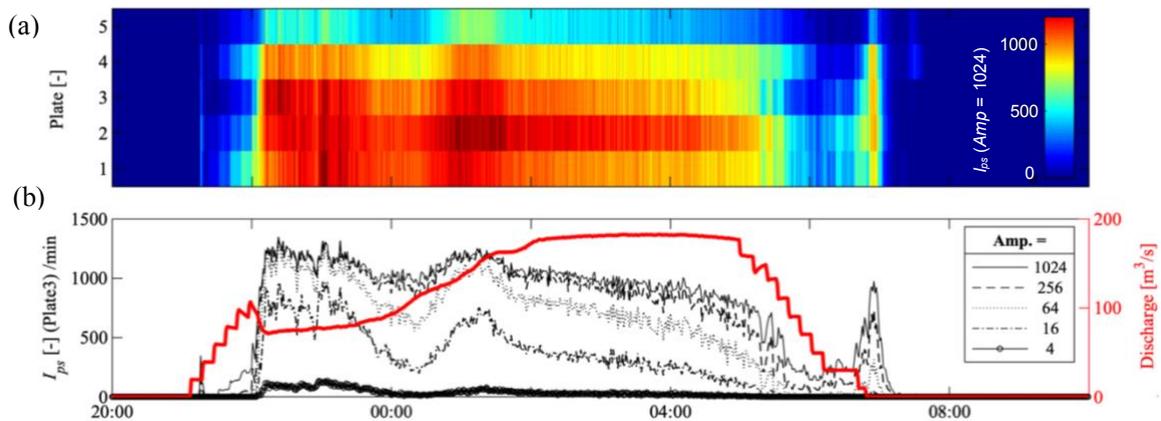


図-4 IP による観測結果, (a) 各 IP (図-2 のプレート番号に対応) によって計測された  $I_{ps}$  ( $Amp = 1024$ ), (b) プレート 3 により計測された  $I_{ps}$  ( $Amp = 1024, 256, 64, 16, 4$ )

け、再び階段状の操作で閉扉を行い、流入量が下がり切る前にゲートは完全に閉められている。これは、閉扉過程においても、SBT 内の流量を十分に高く維持することで、SBT 内の土砂堆積を防ぐためである。

IP による計測の結果を図-4 に時系列で表す。図-4a は 5 基それぞれの IP による  $I_{ps}$  ( $Amp = 1024$  倍, 最高増幅率) を示す。また、図-4b は、バイパス流量とプレート 3 (図-2 の番号と対応) がカウントした  $I_{ps}$  のうち、5 つの  $Amp$  に対応する値を示す。これらより以下のことがわかる：

1. プレート 4, 5 による  $I_{ps}$  の値は他のプレートによる値と比べて小さい (図-4a)。これは、トンネル湾曲による二次流の発生に起因していると想定される。つまり、土砂はトンネル湾曲の内側に集中するため、外側に位置するプレート 4, 5 では流砂量が小さくなる。奈良県旭 SBT では、インバート摩耗の実測値がトンネル湾曲内側で大きいことが報告されており、今回の計測結果と一致している (Nakajima et al., 2015)。
2. 図-4b より、土砂の到達・流下終了時点が明確に確認される。また、流砂量の相対的な時間変動が  $I_{ps}$  の時系列変動より確認できる。特に、フリーフローになった直後に大きな流砂量が現れたことが推測される。
3. 図-4b より粒度について流量が最大値に達する前に、低感度の  $I_{ps}$  ( $Amp = 4$ ) が最大値を観測している。これは、フリーフローになった直後に大粒径礫が SBT に引き込まれたことを示している。また、2 時から 5 時にかけては、 $I_{ps}$  が全ての  $Amp$  に対して一定率で減少しており、流砂量は減っているものの、粒径分布の変化は小さかったことが推測される。以上のように、 $Amp$  別  $I_{ps}$  から凡その粒径の時間変化が推測可能である。

### 参考文献

Koshiha, T., Auel, C., Tsutsumi, D., Kantoush, S. A., & Sumi, T. (2018). Application of an impact plate-Bedload transport measuring system for high-speed flows. *International journal of sediment research*, 33(1), 35-46.

Nakajima, H., Otsubo, Y., & Omoto, Y. 2015. "Abrasion and corrective measures of a sediment bypass system at Asahi Dam", *Proc. Int. Workshop on Sediment Bypass Tunnels*, VAW-Mitteilung 232 (Boes, R.M, ed.), ETH Zurich, Switzerland:21-32.