

排砂バイパスの土砂輸送効率とダム下流環境影響を踏まえた排砂システムの発展

京都大学 ○角 哲也 1*
 京都大学 竹門康弘 2*
 京都大学 Kantoush Sameh 3*
 京都大学 小林草平 4*
 京都大学 野原大督 5*
 京都大学 陳 鵬安 6*
 国立台湾大学 賴 進松 7**
 国立台湾大学 李 豊佐 8**

ダム堆砂 堆砂対策 排砂バイパス
 台湾 河川環境 砂州

研究の目的

世界でダム貯水池の土砂堆積（堆砂）問題が急激に進行し、貯水容量の減少やダム下流の河床低下・海岸浸食や河川環境の劣化が生じている。ダムの堆砂対策は図-1のように分類され、その中でも日本とスイスが世界をリードする排砂バイパストンネル（以下 SBT）は、貯水池に並行してトンネルを建設し、洪水時の流入土砂をダム下流に迂回させるものである。日本では約 100 年前から採用例（神戸布引五本松ダム）があるが、世界でも事例は限られ未解明の課題が多い。これまでスイスと国際共同研究を立ち上げ国際会議を共同開催した（第1回：2015年チューリッヒ、第2回：2017年京都）。本研究は、第3回会議を台湾・台北で開催する機会に、最先端の研究情報と今後の技術開発について討議を行うことを目的とした。

研究の内容

第3回目排砂バイパスに関する国際ワークショップ（国立台湾大学主催）には、12 개국（台湾、日本、スイス、フィリピン、ノルウェー、米国など）から、研究者と実務担当者を中心に合計約 250 名（日本から約 30 名）が参加した（図-2）。会議では、8 つの基調・招待講演、48 の口頭発表、26 のポスター発表が行われ、また、SBT の計画や建設が進んでいる台北や台南の 3 つのダムを訪問した。

国際会議で議論された SBT の計画・設計・建設・管理手法における課題を整理すると図-3 のようになる。このうち、スイスとの国際共同研究において、①トンネル内の土砂の流れ、②トンネル底面のコンクリートの摩耗メカニズム、③トンネル内の土砂輸送量のモニタリング手法、④トンネル下流に供給された土砂による河床地形変化の評価手法、などの課題に取り組んできた。しかしながら、①世界中の多くのダムのうち、どのような場合に排砂バイパスが有利になるのか、②その場合の経済性はどうか、



図-1 ダムの堆砂対策の分類



図-2 会議風景（国立台湾大学）（2019. 4. 9-12）

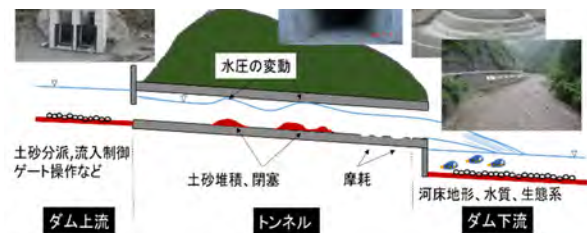


図-3 排砂バイパストンネル（SBT）の様々な課題

③通過する土砂による生態系への影響はどうか、④トンネルの効果を高めるために、降雨予測を活用したトンネル運用の高度化や、一時的な貯水水位の低下によるトンネル延長の短縮可能性、など引き続き未解明の課題が多い。

そこで会議では、これらに関する最新研究・技術情報の交換を行った。また国内では、ダム排砂に伴う土砂供給がダム下流にもたらす河川地形変化や環境変化をドローンを活用して効果的に調査する手法について検討した。

研究の成果、新知見

(1) 排砂バイパスに関する国内外の動向

本会議の基調講演では、トンネルへ分派するタイミングやトンネルの輸送能力によって排砂効率や水資源利用可能量がどのように変化するかなどに関する費用便益の分析例などが示された。

SBT の実現可能な規模としては、トンネル内部で土砂堆積が進行しないように、縦断勾配は 1-5% で設計される場合が多く、また構造上の制約からスイスでは延長が 2km 以下の場合が多い。日本のダムを対象に、排砂バイパスに必要なトンネルの径と長さを計算し、建設に必要な経費の経済妥当性を調査した結果、トンネルの長さ（10km 以下）や径（3-10m）に制約を設けてもなお、バイパスの導入が適しているダムが多くあることが示された。日本では新たに複数のダム（矢作ダムなど）において SBT 導入の計画が進められている。

さらに、トンネルなど施設建設のコストを抑えるため、様々な輸送手段を組み合わせた排砂も計画されつつある。日本の天竜川の佐久間ダムでは、貯水池の長さが 30km 以上もあるため SBT の導入は難しく、ここでは掘削や浚渫した土砂を土運船で貯水池の堤体近くまで輸送し、トンネル内に設置したベルトコンベアでダム直下に輸送して「置き土」を行い、これを洪水時の流れでフラッシュさせる計画が進んでいる。

一方、台湾で計画されている SBT（石門、曾文、南化ダム）の多くは、洪水時の浮遊土砂濃度が非常に高く（時として数万 mg/l 以上）、また、取水施設に対する堆砂影響が顕著な場合が多いことから、貯水池に流入した主に細粒成分を、貯水池の底部から排砂する「密度流排出」が多く計画されている。

(2) 排砂バイパスシステムの分類

日本やスイスでの代表的なバイパスと、台湾での密度流排出を中心とするバイパスでは大きくコンセプトが異なり、これらを体系的に整理する図式を提案した（図-4）。通常の SBT（貯水池上流端からバイパス）では、基本的に開水路での土砂輸送であり、分派堰からトンネルへの導流によって高い排砂効率が望める。なお、貯水池の中流部にトンネル入口を設けてトンネル延長を短く計画する場合には、一時的な貯水池の水位低下などが必要となり、排砂効率を上げるためには降雨予測の活用などが必要である。貯水池の下流側（ダム直上流）にトンネルの入口がある場合は、貯水位低下の必要性に応じて、底部放流トンネル、通砂トンネル、排砂トンネルに区別される。ダム堤体に排砂門がある場合も、同じく貯水位低下の必要性に応じて、底部放流ゲート、通砂ゲート、排砂ゲートに区別される。

排砂路施設の定義

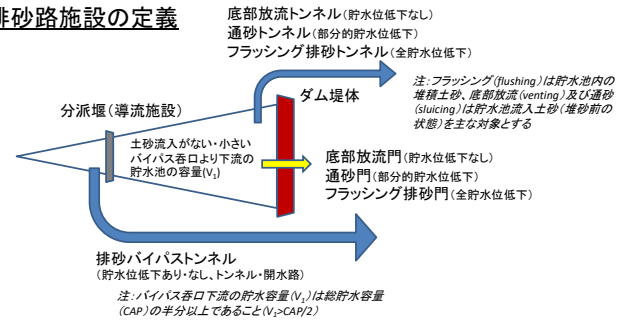


図-4 排砂バイパス (SBT) の新たな定義と分類

(3) ダム排砂と下流河川環境の評価

排砂バイパスの導入は、土砂不足に伴う河床低下や砂浜減少などによる環境劣化の改善機会でもある。そうした土砂供給に伴うダム下流の河床地形や河床材料、生物（付着藻類、底生動物、魚類）の変化のモニタリングが重要であり、会議では日本から長野県小渋ダムの SBT や宮崎県耳川におけるダム通砂の事例が報告された。いずれも、ダム下流に土砂が供給されることで地形（瀬の増加など）や河床材料（代表粒径の低下）に変化が生じ、生物相はダム上流や自然河川の状態に近づく好例であった。



図-5 ドローンで計測した砂州地形と湧水ポテンシャル

ここで、排砂に伴う河川環境評価で鍵となるのが、供給土砂が新たに形成する砂州であり、砂州周辺の多様な生息場や、砂州が生み出す「伏流-湧水」のコンビネーションが重要であることが明らかとなっている。本研究でも、砂州が果たす環境機能を明らかにするために、宮崎県耳川のダム通砂を対象に、新たに形成された砂州地形をドローンを用いて調査する手法の研究開発に取り組み、湧水ポテンシャルを評価することに成功した（図-5）。

今後の予定

本研究は、国際大ダム会議（ICOLD）や国際水圏工学会（IAHR）などで成果報告するとともに、第4回会議（2021年：ノルウェー）に向けて継続予定である。

謝辞

本研究の実施にあたり、大成学術財団からの補助をいただき、日本・スイス・台湾をはじめ、本研究を今後進めていく可能性がある研究者・技術者のネットワーク形成を大きく進展させることができた。ここに記して謝意を表する。

*京都大学防災研究所

**国立台湾大学

* Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

**National Taiwan University, Taiwan