

特集：水系一貫した土砂輸送に向けて

ダム貯水池排砂技術の開発

櫻井寿之* 箱石憲昭** 泉谷隆志***

1. はじめに

河川にダムを造ると水と一緒に川を流れる土砂の一部も貯水池に貯まることになり、土砂の流れの連続性が保たれなくなる。貯留型のダムでは砂より大きな粒径の土砂はほぼ全量が堆積し、シルトや粘土といった微細な粒径の土砂は貯水池の規模・流況・放流操作に応じて部分的に補足される。これによって貯水池下流の河川では、川底の小さな粒径の土砂が少なくなる、河床材料である土砂が更新されないなど環境面での問題が指摘されている。

そこで、貯水池に堆積した土砂を下流河川に供給する排砂技術が求められている。

一方、日本の多くの貯水池では、本来の目的に利用する容量（有効容量）の他に100年間に堆積する土砂量を予測して、あらかじめ堆積土砂用の容量（計画堆砂容量）を確保するように設計されているが、貯水池によっては予想以上のスピードで土砂の堆積が進んだり貯水池の上流の高い標高の領域に堆積したりする問題があり、貯水池の長寿命化の観点からも排砂技術は重要である。

排砂技術に求められる条件は、①貯水池の運用の変更（貯水位の低下など）を必要としないこと、②土砂供給量、供給時期、土砂の粒径について制御できること、③経済的であることが挙げられる。②の条件は自然の土砂流下状態に近い土砂供給を行うことを想定した場合に必要とされる。

これまでに、大量の土砂の排出を目的とした土砂バイパスや土砂フラッシング等の技術が実用化されてきている。これらの手法は、年間に数十万 m^3 といった大量の土砂を効率的に排出することができるが、大規模な施設や貯水池運用の変更が必要であり、また土砂供給の量・時期・粒径の制御には限界がある。そこで、土木研究所では、比較的少量の土砂を制御しながら経済的に排出する新しい技術の開発を行っている。

排砂技術としては、株式会社IHIとの平成18年度までの共同研究で開発を行った「シート排砂技術」と八千代エンジニアリング株式会社との平成18年度までの共同研究で開発を行った「エアバルブ排砂技術」の二つがあり、土木研究所にて研究開発を継続中である。本稿では両技術の概要と実験による開発状況を紹介する。

2. シート排砂技術

2.1 排砂方法の概要

シート排砂技術は、パイプにシートを取り付けて、堆砂の上に置き、水位差のエネルギーで土砂を吸引して排出する手法である（図-1）。パイプの底部には切り欠きを設けて、ここから土砂を吸引する。また、排砂が進み堆砂形状が変化すると、パイプと堆砂面の間に隙間が出来て水のみを吸引込むため土砂を吸引しなくなる。これを防ぐために、柔軟性のあるパイプを採用し、さらに、パイプを堆砂面に貼り付けるために、不透水性のシートを設置する。このとき、パイプの切り欠きは、土砂の吸引口としての機能以外に、放流により低下した管内の圧力をシートに伝達して、堆砂面に貼り付けさせる機能を合わせ持つ。

この排砂技術では、排砂後の堆砂形状は、すり鉢状になるものと想定され、一式の施設で大量の土砂を排出することは困難である。しかしながら、日本の貯水池では、年平均堆砂量が数万 m^3 以下の貯水池も多く存在しており（図-2）、このような堆砂量の大きくない貯水池において、土砂の

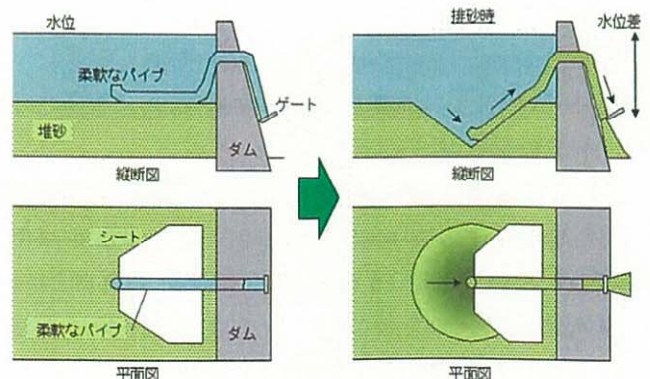


図-1 シート排砂技術のイメージ

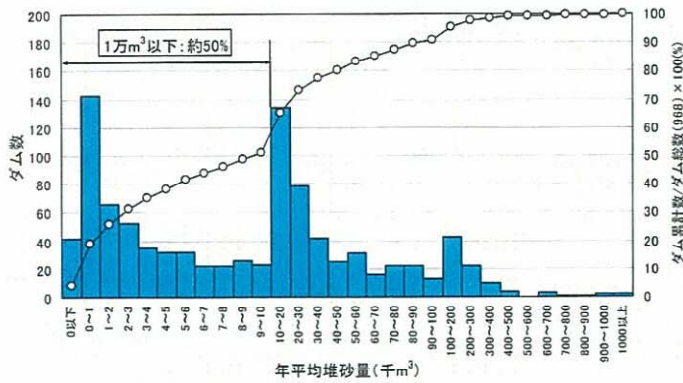


図-2 日本のダムの年平均堆砂量

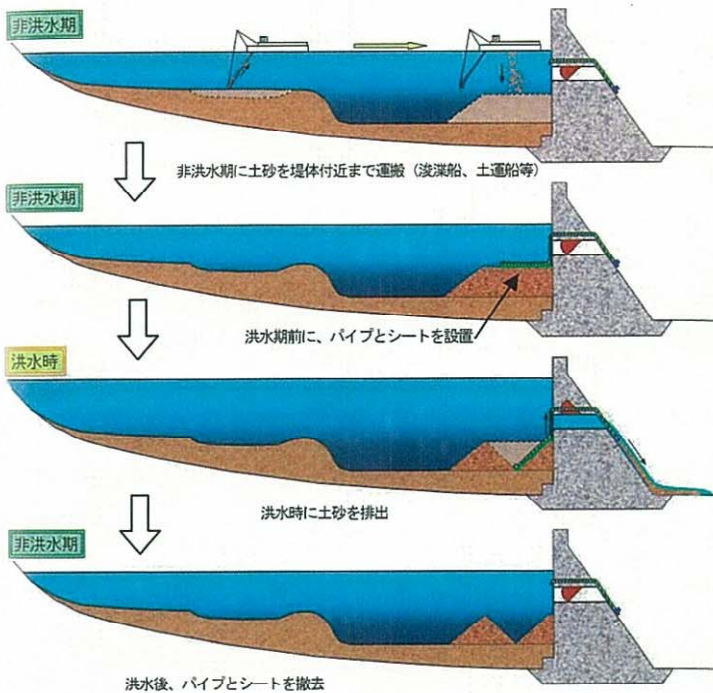


図-3 シート排砂技術の運用イメージ

排出により、土砂収支のバランスを達成する目的に有用と考えられる。土砂の水中安息角を 30° と仮定すると、 1万m^3 を排出するためには、深さ 15m 程度、半径 26m 程度の円錐を形成する必要がある。

シート排砂で想定している運用方法は以下のとおりである(図-3)。

- ①非洪水期に土砂を堤体近くまで運搬しておく。
- ②洪水期前に、運搬した土砂の上にパイプとシートを設置する。
- ③出水時にパイプ下流端のゲート操作により土砂を排出する。
- ④洪水期終了後、パイプとシートは一旦回収し、メンテナンスを行う。
- ⑤以上のプロセスを毎年繰り返す。

ここで、排砂を出水時に行うのは、下流の河川



図-4 パイプおよびシートのレイアウト例

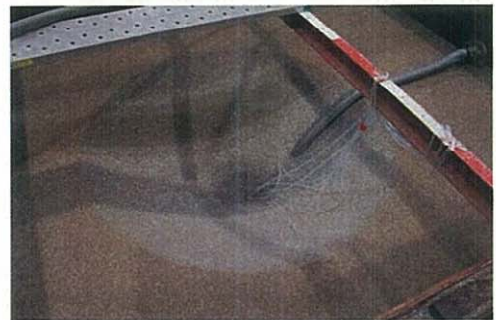


図-5 吸い込み口が1つの形状の排砂後の状況

環境に配慮して、自然状態での土砂の流下状況に近い土砂供給を行うためである。

2.2 実験による検討

シート排砂の排砂特性を調査するために実物の $1/5 \sim 1/10$ 程度の縮尺を想定した水理模型を用いて、排砂実験を行っており、管径 101.6mm のパイプを用いた実験結果については、本誌に既に報告している(1)ので詳細は参照いただきたいが、砂がすり鉢状に排出可能なことが確認されている。

その後、既報告の結果を踏まえて管径 60.5mm の模型実験を実施し、排砂の状況を確認しながらレイアウト形状を検討した。考案したパイプ及びシートのレイアウト案は、吸い込み口が1つの場合、2つの場合、4つの場合の3形状である(図-

4)。

吸い込み口が1つの場合については、水中でのシートの設置等を考慮すると、シートは小さい方が望ましいので、シートを小さくした検討を行った。その結果、シートの大きさについては、管径の8倍程度の大きさまで小さくしても排砂が可能であることを確認した。しかしながら、排砂が進展し、吸い込み口を中心としたすり鉢形状が大きくなると、崩れた土砂がシートの上に堆積し、最終的には吸い込み口が埋まってしまい、パイプ内の断面がほとんど土砂で満たされる状況となった(図-5)。この状況は、土砂を安定して排出することができず、また、排砂後のパイプとシートの回収が困難になる。したがって、土砂濃度を極端に大きくしない対策及びパイプが埋まらない対策が必要と考えられる。

現状では、それぞれの形状に課題があるため、形状が単純な吸い込み口が1つの場合が有望と考えており、今後、吸い込み口が埋まる問題を改良していきたい。

3. エアーバルブ排砂技術

3.1 排砂方法の概要

排砂設備をダム堤体直上流等のある固定した位置に設置して、貯水位を低下することなく排砂を行う場合には、土砂に対して、常に放流による吸引力を作用させるために排砂の進展に伴って低下する堆砂面に呑口を追従させる必要がある。そこで、エアーバルブ排砂技術では、鉛直方向に移動する呑口として、エアーバルブ放流設備を採用している。

エアーバルブ放流設備とは、空気によって止水を行うタイプの選択取水設備で、連続して配置された逆V字管の頂部に空気を出し入れすることで開閉を行い、任意の取水管から取水可能な放流設備である²⁾。連続サイフォン式放流設備と称されることもある。この設備は空気で止水・通水の操作を行いゲートの摺動部分を有しないため、土砂の噛み込み等の問題が懸念される排砂設備呑口施設への適用性が高いと考えられる。

排砂方法のイメージを図-6に示す。堆砂面の低下に伴って、通水を行う逆V字管を順次下段に移動していくことで、排砂を行う。

この排砂方法では、排砂後の堆砂形状は、すり

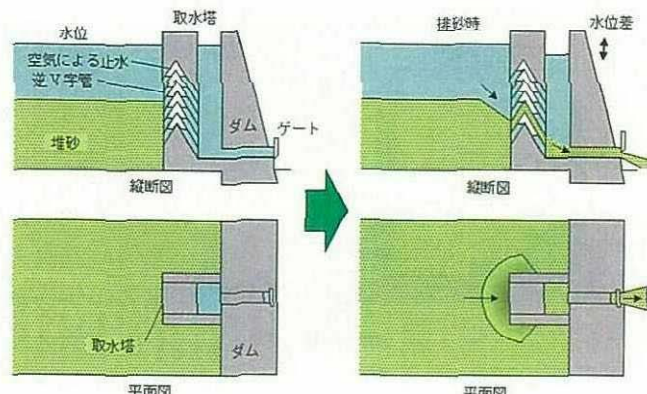


図-6 エアーバルブ排砂のイメージ

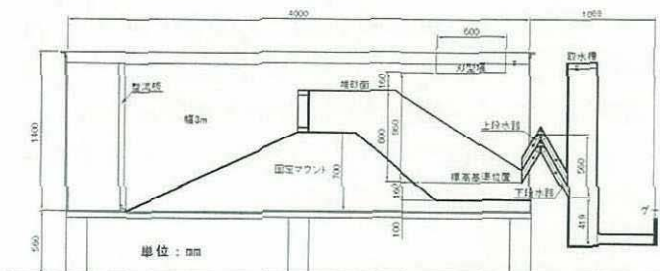


図-7 エアーバルブ排砂設備の水力模型概要



図-8 エアーバルブ排砂設備の模型及び排砂状況

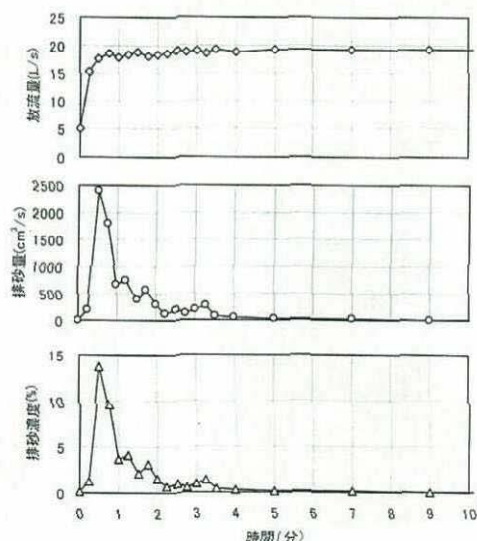


図-9 排砂中の流量と排砂量 (粒径1.73mm、流量19L/s)

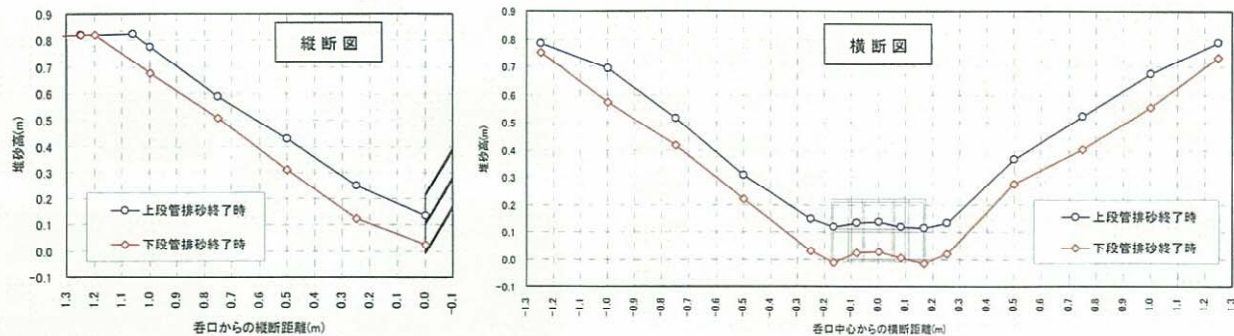


図-10 排砂後の堆砂形状 (粒径1.73mm、流量19L/s)

鉢を半分に割った半円錐形状になるものと想定され、土砂の水中安息角を 30° と仮定すると、1万 m^3 を排出するためには、深さ19m程度、半径33m程度の半円錐形状を形成する必要がある。

この排砂技術について、想定している運用方法はシート排砂技術と同様である。

3.2 実験方法

実験は、実物の1/20程度の縮尺を想定した図-7に示す模型を用いて、上下段のサイフォン管の切り替えを行った場合の排砂特性を調査した。

実験の手順は以下に示すとおりである。

- ①土砂を上段呑口の半分程度が埋没するようなすり鉢を半分にした形状で設置。
- ②上段のサイフォン管から排砂を行う。
- ③上段管の排砂終了後、一旦流量調節ゲートを閉めて、水槽内の堆砂形状を測定する。
- ④空気弁を調整して通水を上段管から下段管に切り替え、下段管から排砂を実施して、排砂量、水槽内水位、取水塔内水位、管内圧力を測定するとともに流況観察を実施する。

3.3 実験結果

実験結果の一例を図-8～10に示す。

流砂量の計測結果から、排砂を開始した直後に大きな流砂量が発生し、そのピークは1分以内に

現れた。その後は急激に流砂量が減少し5分以降にはほとんど土砂の排出がみられなかった。

下段管からの排砂が終了した後の観察から、堆砂形状は排砂前のすり鉢形状が一回り大きくなった形状で安定した。

今後は、流量調節ゲートの開度や土砂の粒径を変化させて実験を行ってデータを蓄積し、土砂輸送能力の解析を行い、設計のための水理特性の把握と運用方法を検討していきたい。

4. おわりに

これらの技術は、現在のところ、非粘着性土砂(砂)を用いた実験室規模での検証を行った段階である。今後の実用化に向けては、実物大規模での動作の検証、経済的な湖内の土砂輸送方法、粘土やシルトといった粘着性土砂への対応等の課題があり、研究開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 櫻井寿之・柏井条介・久保康夫：シートとパイプを用いた排砂装置、土木技術資料、Vol.48、No.12、pp.30-35、2006.12
- 2) 津村信昌・重政博史：尾原ダム選択取水設備における連続サイフォン式の採用、ダム技術、No.240、pp.93-96、2006.9

櫻井寿之*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水工研
究グループ河川・ダム水
理チーム主任研究員
Toshiyuki SAKURAI

箱石憲昭**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水工研
究グループ河川・ダム水
理チーム上席研究員
Noriaki HAKOISHI

泉谷隆志***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水工研
究グループ河川・ダム水
理チーム交流研究員
Takashi IZUMIYA