第4回東アジア地域ダム会議シンポジウム投稿論文（要約）

河床の環境を復元するための土砂供給手法の開発
― シート排砂及びエアーバルブ排砂 ―

櫻井寿之[*1]
箱石憲昭[*2]
柏井条介[*3]
泉谷隆志[*4]
久保康夫[*5]

1. はじめに

ダムの建設により，河川の土砂輸送の一部分が遮断される。下流への土砂供給が減少することによって，河床低下，粗粒化，河床材料更新阻害等の河床環境の問題が生じる。さらに，堆砂によって，貯水容量の減少が生じる。そこで，貯水池内の土砂を下流へ供給する手法が求められている。より詳細な下流の河床環境の条件や時間変動に配慮すると，土砂供給のタイミング，供給量，粒径について制御できることが望ましい。

これまでに，対象とする土砂量が数十万m³/年以上となるような多い場合には，土砂フラッシング（出し平ダム[1]，宇奈月ダム[1]）や土砂バイパス（旭ダム[2]，美和ダム[3]）といった手法が開発され，実用化されている。しかしながら，土砂フラッシングは貯水位を低下させることが必要であり，土砂バイパスは大規模な施設が必要となる。このため，これら手法の適用条件は，かなり制約を受けるものと思われる。また，これら手法によって放流土砂量の量と質をきめ細かく制御することは困難である。

そこで，筆者らは，より広範囲な貯水池条件に適用可能な方法として貯水池上下流の水位差のエネルギーを利用した新しい土砂供給手法の開発を試みている。開発においては以下の事項を目標としている：①貯水池運用の変更が不要，②放流量に対する供給土砂量の制御精度が高い，③設備規模が小さく経済的。

開発している手法は，シートとパイプを用いた手法（以下シート排砂と称する）及びエアーバルブを用いた手法（以下エアーバルブ排砂と称する）の二つの手法である。シート排砂については，土木研究所と株式会社IHIとの共同研究によって，エアーバルブ排砂については，土木研究所と株式会社八千代エンジニヤリングとの共同研究によって開発を実施している。

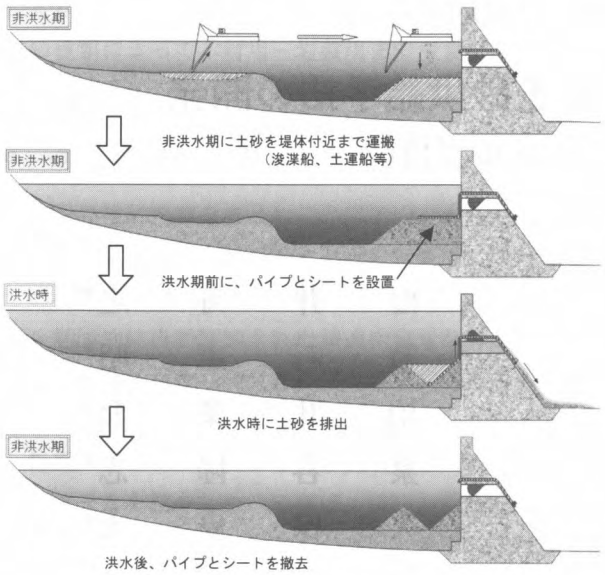
現状では，開発は水理模型実験による検討の段階にある。本稿では，模型実験によって得られた各手法の排砂特性と，実用化に向けての課題を報告する。

2. シート排砂

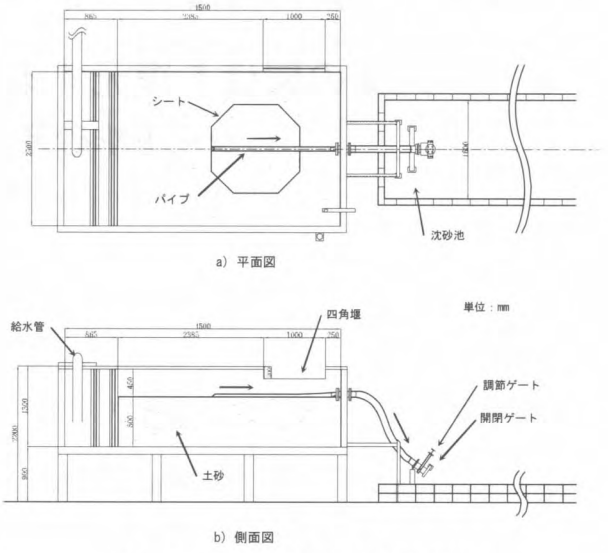
2.1 排砂方法の概要

シート排砂は，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するものである。パイプの底部には切り欠きが設けられており，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，水のみを吸い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，シート（不透水性）を設置する。

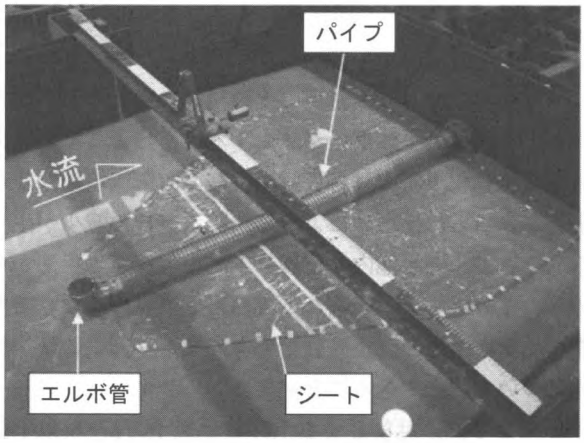
*1 ㈱土木研究所 水工研究グループ 河川・ダム水理チーム 主任研究員
*2 ㈱土木研究所 水工研究グループ 河川・ダム水理チーム 上席研究員
*3 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 流域管理研究官
*4 ㈱土木研究所 水工研究グループ 河川・ダム水理チーム 交流研究員
*5 ㈱IHI 産業システム事業部 工業炉プロジェクト部



図—1 シート排砂の運用イメージ



図—2 シート排砂実験模型概要



図—3 シートとパイプの設置状況

この排砂方法では，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m³以下の貯水池も多く存在しており，このような堆砂量の大きくない貯水池において，土砂の排出により，土砂収支のバランスを達成する目的においては有用と考えられる。土砂の水中安息角を30°と仮定すると，1万m³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。

この排砂方法について，想定している運用方法を以下に示す（図—1参照）。①非洪水期に，土砂を堤体近くまで運搬する。②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って土砂の排出を行う。④排砂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 実験方法

シート排砂の排砂特性を調査するために水理模型実験を実施した。実験は，図—2，3に示すように，長さ4.5m，幅2.5m，高さ1.3mの水槽に土砂を0.8mの厚さで敷き，その上にパイプとシートを設置して行った。

パイプには，上流部の底面に120°の切欠きを設けた。排砂進行時のパイプ上流端の吸い込み口の埋没を防ぐため，上流端の形状を適宜工夫している。堆砂材料としては，平均粒径1.3mmの一様粒径珪砂を用いた。

2.3 実験結果

以前に行った管径101.6mmの実験結果（図—4参照）を以下に要約する[4]。

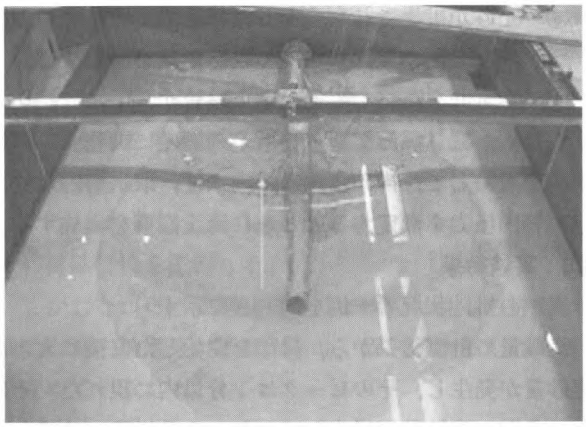
①非粘着性材料（珪砂）では，管径の5倍程度の深さまでの排砂が可能。②流量が大きいほど，粒径が小さいほど排砂量が多くなる。③流量が大きくなると，パイプの切り欠きの下流端付近からの土砂の吸い込みが大きくなる。④すり鉢形状が大きくなると，排砂量が増加する。⑤掃流力と排砂量には相関がみられる。

上記の結果を踏まえて，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。

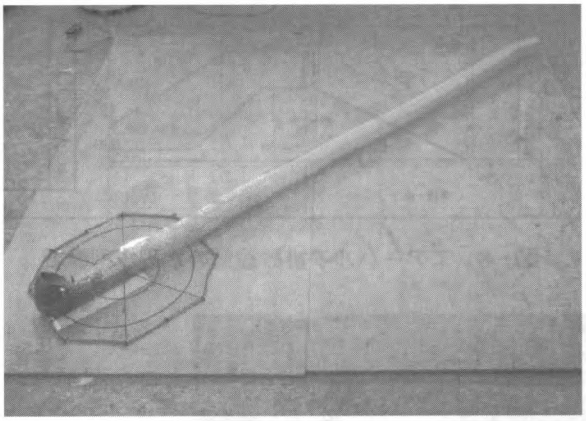
吸い込み口が1つの場合については，水中でのシートの設置等を考慮すると，シートは小さい方が望ましいの

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（図―5参照）。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―6参照）。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。

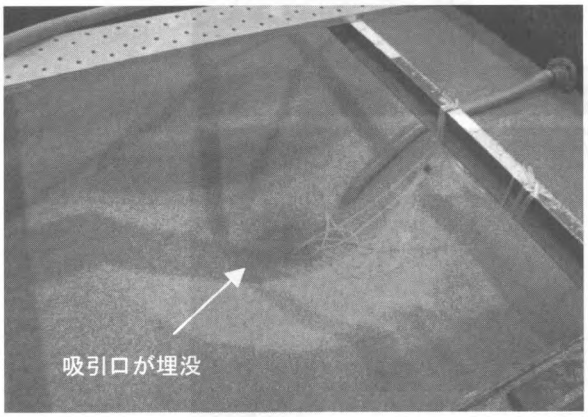
現状では，それぞれの形状に課題があるため，形状が単純な吸い込み口が1つの場合が有望と考えており，今後，吸い込み口が埋まる問題を改良していきたい。



図―4　排砂後の堆砂形状の一例
（粒径0.3mm，流量4.21L/s）



図―5　吸い込み口が1つの形状

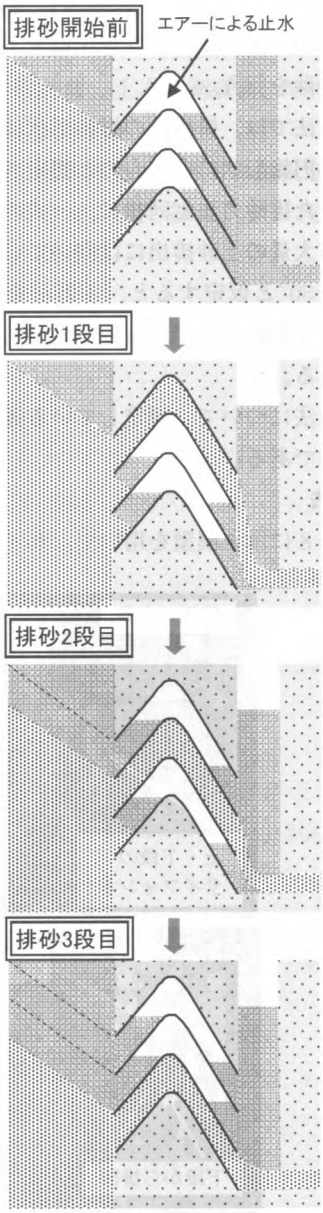


図―6　吸い込み口が1つの形状の排砂後状況

3.　エアーバルブ排砂

3.1　排砂方法の概要

ダム堤体直上流等のある固定した位置の排砂設備を用いて，貯水位を低下することなく排砂を行うためには，



図―7　エアーバルブ排砂の概念図

排砂の進展に伴って低下する堆砂面に対して呑口を追随させる必要がある。これは，土砂に対して，常に放流による吸引力を作用させるためである。そこで，エアーバルブ排砂では，鉛直方向に移動する呑口として，エアーバルブ式放流設備を採用している。

エアーバルブ式放流設備とは，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することを可能とするものである[5]。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し，ゲートの摺動部分を有しないため，土砂の噛み込みによるゲート操作不能等が懸念されるダム排砂設備の呑口施設への適用性が高いと考えられる。

排砂方法の概念図を図―７に示す。堆砂面の低下に伴って，通水を行うサイフォン管を順次下段に移していくことで，排砂を行う。

この排砂方法では，排砂後の堆砂形状は，すり鉢を半分に割った半円錐形状になるものと想定され，シートとパイプを用いた排砂方法と同様に，一式の施設で，１回の操作による大量の土砂排出には向いていない。土砂の水中安息角を30°と仮定すると，１万m³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。

この排砂方法について，想定している運用方法はシート排砂と同様である。

3.2 実験方法

実験は，図―８に示す模型を用いて，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 土砂を水槽内の水平堆砂標高から，上段呑口の半分程度が埋没するように水中安息角ですり付けて設置。

② 流量調節ゲートの開度を80％（下段管のエアーロックが破壊されない条件下での最大流量に近い状態）として上段のサイフォン管から排砂を行う。

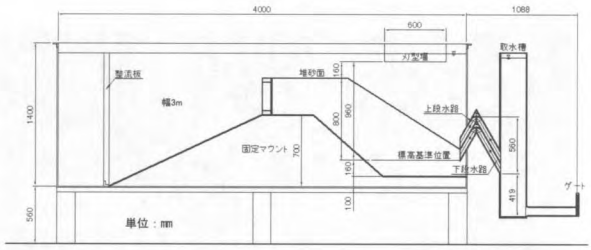
③ 土砂が排出されなくなった状態で，一旦流量調節ゲートを閉めて，水槽内の堆砂形状を測定する。

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，流量調節ゲートを所定の開度に調整し，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。

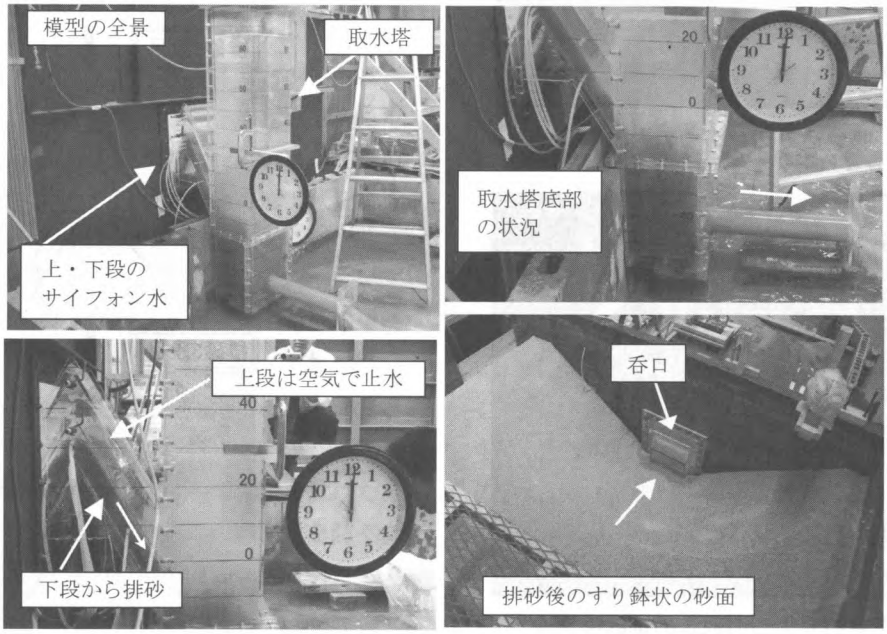
3.3 実験結果

実験の排砂状況の一例を図―９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ており，５分以降にはほとん



図―8 エアーバルブ排砂設備の水理模型概要



図―9 エアーバルブ排砂の実験状況

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堆砂形状の観察から，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

貯水位を低下することなく，水位差のエネルギーを利用して土砂を排出する方法の開発について報告した。シート排砂とエアーバルブ排砂について，水理模型実験により，非粘着性土砂の排出が可能であることを確認し，その排砂特性を把握した。

しかしながら，実用化に向けては，粘性土の排出や経済的な湖内輸送等の課題があり，課題解決のための研究を進めていきたい。

参考文献

1) Hirokatsu Kanazawa：Comprehensive sediment management in the Kurobe river, International symposium on sediment management and dams proceedings, the 2nd EADC Symposium, pp.35-46, 2005.
2) Koki Kataoka and Takashi Tada：Reservoir sedimentation management at the Asahi dam, International symposium on sediment management and dams proceedings, the 2nd EADC Symposium, pp. 145-152, 2005
3) Yasushi Enomura：Sediment management measures at the Miwa dam, International symposium on sediment management and dams proceedings, the 2nd EADC Symposium, pp.67-72, 2005
4) 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
5) 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.