

貯水池のエネルギーを活用した排砂技術の開発

宮川 仁・櫻井寿之・箱石憲昭

1. はじめに

河川においては、出水時に水量に見合った量の土砂が流下する。一方で、ダムを設置すると流入してくる水とともに土砂も併せて貯留され、土砂は水よりも比重が大きいことから多くは貯水池に沈降・堆積する。このため、我が国のダムにおいては、洪水調節や利水のための必要な貯水容量とは別に、100年分の堆砂量を見込んで貯水池の底部に堆砂容量を確保している。このような中、特に、想定を超えて堆砂が進行しているダムにおいては、堆砂対策技術として、土砂バイパスや排砂設備が既に実用化されているが、これらは、洪水調節容量や利水容量の回復といった貯水池運用の制約を受けるとともに、一般に大規模な施設となり、建設及び維持管理に多額の費用を要するなど適用条件が限られている。このため、既設ダムの有効活用を図る上で、貯水池運用を変更せずにダムから排砂する新たな技術が求められている。

一方、ダムによって土砂が捕捉されることにより、下流の河床の粗粒化など河床環境への影響が懸念される。ダム下流の河川環境を考えると出水中にできるだけ自然に近い状態でダムからの放水量に見合った適切な量と粒度分布の土砂を下流に供給し、流下させることが望ましいと考えられる。

そこで、土木研究所では、貯水位を低下させずにダムの堆積土砂を適切な量と質を制御しつつ下流へ放流可能な施設を開発すること、及び開発した施設によりダム下流河川の環境を回復させるための運用方法を提案することを目的として、貯水池のエネルギーを活用して、無動力で洪水中に堆砂を吸引・放流する「潜行吸引式排砂管」の開発に取り組んでいる。

本稿では、「潜行吸引式排砂管」の技術開発の最新状況をこれまでの経緯を踏まえつつ報告するとともに、今後の検討課題等についても述べる。

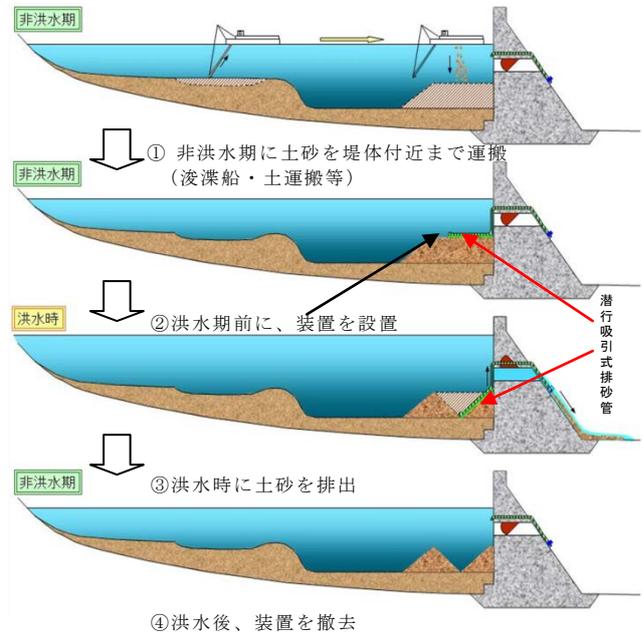


図-1 潜行吸引式排砂管の運用イメージ

2. 貯水池のエネルギーを活用した排砂技術

貯水池のエネルギーを活用した排砂技術とは、貯水池の水位と放流地点の水位差を利用して、貯水池内に設置された管路型の設備等により堆砂を吸引し、ダム下流等へ排出する技術である。この技術のメカニズムとしては管路内の通水に伴い、吸引口で発生する負圧により堆砂を管内へ吸引し、輸送管を通じてダム下流河川へ排出するものである。「吸引口からの土砂の吸引」と「土層表面または土層内での土砂崩落による吸引口付近への土砂の供給」が連続して発生することが、土砂の吸引を成立させる条件である。この条件を適切に維持することが課題となっており、様々な主体が技術開発に取り組んでいる¹⁾。

3. 土木研究所が開発している堆砂技術

3.1 潜行吸引式排砂管の運用イメージ

土木研究所では以上の技術の1つの手法として「潜行吸引式排砂管」を開発している。現時点で想定している「潜行吸引式排砂管」の運用イメージを図-1に示す。潜行吸引式排砂管の具体

的な仕組みは後述するが、まず、①非洪水期に貯水池上流の堆砂を浚渫し、ダム堤体近くに運搬する。②洪水期前に、運搬した堆砂の上に潜行吸引式排砂管を設置し、③出水時にダムからの放流量に応じた量の土砂を吸引・放流する。④非洪水期になったら、排砂管を撤去しメンテナンスを行う。排砂管を複数系統設置できれば、貯水池の上流ほど粒径の粗い土砂が堆積することを活用し、粒径別に分けて運搬し、それぞれの排砂管で吸引・放流する。これにより、放流する土砂の粒径分布をある程度コントロールできるようになり、より自然の洪水に近い形態での下流への土砂供給が可能となる。

3.2 潜行吸引式排砂管の開発

潜行吸引式排砂管の構造を写真-1に示す。フレキシブル管をU字形状として一方を取水口とし、折り返し部の管底面にシートを貼り、折り返し部の管横面と折り返し部と上流部の管底面に穴を設けて土砂の吸引口としているものである。潜行吸引式排砂管の操作イメージを図-2に示す。

まず、潜行吸引式排砂管を堆砂の表面に設置し、排砂管下流のゲートを開くことにより、堆砂を吸引・放流する。堆砂はすり鉢状に崩れながら吸引され、排砂管の吸引部は堆砂に潜行していく。吸引部が底面に達した後折り返し部の管横面と上流部の管底面に設置された穴から土砂を吸引し続け、最終的には再び堆砂の表面に現れるというシステムを想定している。

これまでに、排砂管径 60mm、100mm、



写真-1 φ100mm 潜行吸引式排砂管模型

200mmの模型を用いて、土砂吸引特性の調査を行い、粘着性のない砂礫については吸引・排砂が十分可能であることを確認している^{2),3),4)}。また、このシステムが平成25年7月に特許として登録(特許5305439号：折返し部上流部に穴を設けていない形)されたところである。

しかし、既往の室内実験による検討では、管を比較的軟らかい管材を用いて製作していたため、実用化においては、破断する問題が生じた⁴⁾。平成24年度に、京都大学穂高砂防観測所の施設において、管径200mmの排砂管を用いた現地実験を実施する機会を得たので、この技術の実用化に向けた課題を解決するため、管径200mmの排砂管を①管材を強度の大きいものにする、②管材の強度を高めると柔軟性が低下し堆砂面への追従性が低下するため、折返し部を鉄製とし比重を大きくする、③折返し部のシートを折返し部上面の重り(鉄製122kg)で機能を代用することとした。

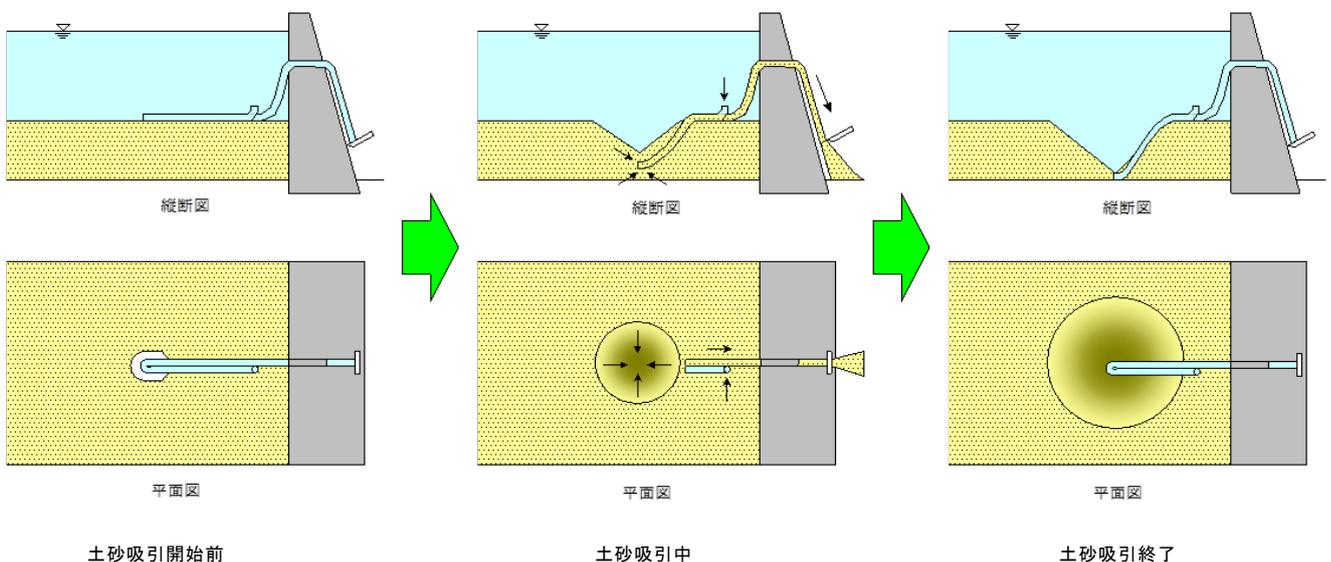
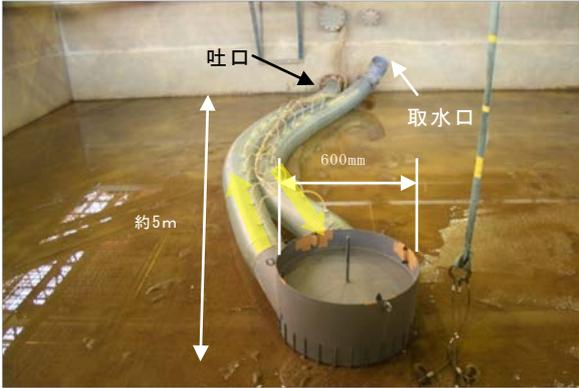


図-2 潜行吸引式排砂管の操作イメージ



実験水槽内における排砂管を上流から見た写真



実証実験実施前の状況(貯水池幅6.55m、長さ14m)



排砂管を吊り下げた底面部（7つの吸引口）の様子
写真-2 改良後の潜行吸引式排砂管



実証実験実施後の排水後の状況

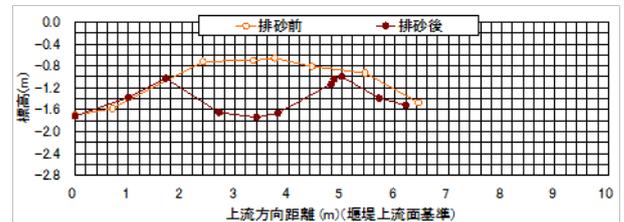
写真-3 実証実験の様子

また、屋外実験のため、④塵芥による閉塞を防ぐために、直径6mm、長さ20cmの鉄筋棒を土砂の吸引口の直径10cmより小さい6cm強の間隔で折返し部底面に30本設置した。排砂管の土砂吸引口としては、室内実験の結果をもとに3~10%程度の土砂濃度が得られるように、折返し部底面に直径10cmの穴を7個、上流管底面に直径9cmの穴を50cm間隔で6個設置する等改良した(写真-2)。

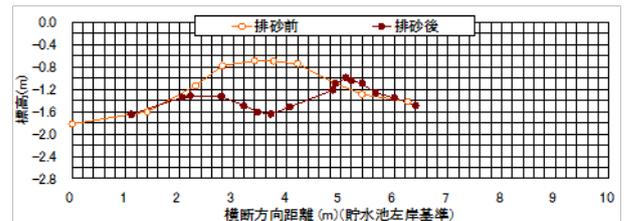
この改良を行った上で、京都大学穂高砂防観測所のヒル谷試験堰堤⁵⁾において、管径200mmの潜行吸引式排砂管の現地実験を2回(平成24年7月、11月)実施した。7月の実験前後の状況を写真-3に示す。実験においては①貯水位、②河床形状、③土砂濃度、④排出土砂の粒度、⑤折返し部の鉛直位置、⑥管内圧力、⑦排砂状況の計測を行い、潜行吸引式排砂管の機能確認を行った。例えば、排砂前後の河床形状について、写真-3や図-3に示すように、台地状の土砂が折返し部を中心に吸引され、頂部にすり鉢状のくぼ地が形成され、土砂が吸引できたことが判る。

3.3 現地実験から得られた知見

現地実験から得た主な知見は次のとおりであり、潜行吸引式排砂管の一定の有効性が確認された。



縦断方向



横断方向

図-3 排砂前後の河床形状(2012年7月)

- 1) 約3mの水位差で、1回目(7月)の試験では113L/sの流量を用いて52分間で3.45m³の土砂を排出でき、2回目(11月)の試験で116L/sの流量を用いて78分間で17.4m³の土砂を排出できた。
- 2) 排砂管の設置・撤去においては大きな問題はなく、比較的簡便に行うことができた。
- 3) 土層表層の土砂崩落による吸引口付近への土砂の供給が連続して発生する現象は見られたものの、排砂管吸引部の堆砂への追従性が不足しているという課題が明らかになった。

京都大学穂高砂防観測所の実験では、堰堤での自然堆積土砂が少なかったため、下流河川で採取した土砂を堰堤内に持ち込んだ。この土砂は粘土・シルトをほとんど含まず、粒径0.1～10mm程度を主体とする砂利で構成され、30mm程度の礫も少量含む砂利であったことから、自然に堆積した土砂を対象とした塵芥対策の検討ができていない状況である。また、折返し部のねじれや浮き上がりの現象も見られた。土砂が盛土形状になっていたことも要因と考えられるが、堆砂面に多少の凹凸があっても堆砂面への追従性を確保することが望ましく、この点も今後の課題と考えられる。

3.4 潜行吸引式排砂管の実用化に向けた課題

堆砂の吸引にあたっては、堆砂の中に含まれる流木や塵芥の扱いが大きな課題である。潜行吸引式排砂管においてもその対策を検討中であるが、十分効果的な対応策は見いだせていない。また、吸引口付近への土砂の供給を連続して発生させるための粘着性のある粘土・シルトを含む土砂への対応、砂礫層の間に固結した粘土・シルト層が挟まれている場合の対応も今後の検討課題である。

図-1で示した運用を想定すると、一旦浚渫して運搬することにより、多くの塵芥や流木は取り除かれ、排砂管吸引部の閉塞のリスクは大きく減少すると考えられる。また、固結した粘土・シルト層は浚渫時に粉碎され、砂礫と分離されることから、確実に吸引可能な砂礫のみを吸引対象とすることが可能となる。一方で浚渫・運搬のコストがかさむこととなるため、より低コストな浚渫・湖内輸送技術の開発も求められる。潜行吸引式排砂管を実用化していくためには今後もこれらの課題を解決していかなければいけない。

4. おわりに

ダム堆砂問題は、現在顕在化していないダム

においても、必ず直面する課題である。また、新規ダムの建設適地が少なくなっている中では、適切な堆砂対策によって長期にわたって既設ダムを環境にも配慮しながら有効活用していくことも重要となってくると思われる。このニーズに的確に応えられるよう、さらなる改良と現地実証試験による潜行吸引式排砂管の研究・技術開発を進めてまいりたい。また、ダム管理に従事されている方々と、このような場を通じて本技術開発の最新状況を情報共有しながら、本技術の実用化に向けた各種のご協力をいただければと考えている。

謝 辞

排砂現地実証試験にご協力いただいた京都大学防災研究所流域災害研究センターの藤田正治教授、堤大三准教授、宮田秀介助教、穂高砂防観測所の皆様、ご助言をいただいた電源開発株式会社の前田修一氏に謝意を表します。

参考文献

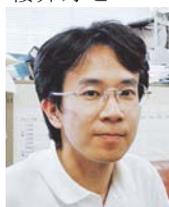
- 1) 前田修一、多田康一郎、加藤孝弘：ダム堆砂の吸引・下流供給技術 鉛直二重管吸引工法の開発、土木学会第68回年次学術講演会、Ⅱ、pp.203～204、2013。
- 2) 櫻井寿之、箱石憲昭：貯水池排砂のための潜行式吸引排砂管の開発、河川技術論文集、Vol.15、pp.441～446、2009。
- 3) 櫻井寿之、箱石憲昭：大規模実験による潜行吸引式排砂管の開発、河川技術論文集、Vol.17、pp.311～316、2011
- 4) 櫻井寿之、箱石憲昭：管径200mmの潜行吸引式排砂管を用いた排砂実験、土木学会第67回年次学術講演会、Ⅱ、pp.67～68、2012。
- 5) 藤田正治、澤田豊明、水山高久：山地小流域における土砂動態のモニタリング手法、京都大学防災研究所年報、第46号B、pp.213～224、2003。

宮川 仁



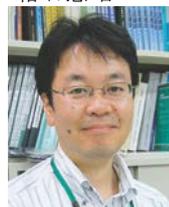
(独)土木研究所つくば中央研究所
所水工研究グループ水理チーム
主任研究員
Masashi MIYAKAWA

櫻井寿之



国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部大規模河川構造物研究室 主任研究員
Toshiyuki SAKURAI

箱石憲昭



(独)土木研究所つくば中央研究所
所水工研究グループ水理チーム
上席研究員
Noriaki HAKOISHI