

特殊エジェクターを用いたダム堆砂の移動システム

特殊エジェクター工法〈礫送（れきぞう）〉

天明敏行・山上裕也・角哲也

ダム貯水池の堆砂対策として貯水池内外で土砂を移動させる技術は重要である。ここでは、礫を含む堆砂土砂を効率的に移動させるために、特殊エジェクターを用いた土砂移動システムの開発を行った。ダム貯水池内で行った試験工事により、水深5m程度の砂礫土砂（最大粒径150～300mm）を35m³/h程度で吸引して400m輸送できること、船上でシステムに直接ホップ投入した砂礫土砂は30m³/hで1,000mまで輸送できることを確認した。さらにエジェクターを水中に設置することで、水深15mの砂質土に対し、400mの距離を70m³/h程度で貯水池内土砂移動できることを確認した。

キーワード：ダム堆砂，土砂移動，特殊エジェクター，砂礫ポンプ，貯水池内移動

1. はじめに

堆砂対策において土砂を移動する方法は多くあるが、ポンプで吸引してそのまま輸送・排出する方法は、グラブ船と土運搬船を用いる方法と比べて連続的に実施できる面で効率的である。浚渫におけるポンプ工法では一般にサンドポンプが用いられるが、高圧のジェット水を利用して負圧を発生させ、土砂を吸引・輸送するエジェクターポンプはダム湖内の砂礫やごみ・沈木などの異物に対する適用性も高く、コンパクトなシステムであることが特徴である¹⁾。ここでは、筆者らが開発を進めている、大型で礫にも対応可能な特殊エジェクターを用いたポンプシステムによるダム堆砂の移動システムの性能試験工事について報告する。

2. 特殊エジェクターを用いた土砂移動システム

(1) システム概要

特殊エジェクターシステムは土砂の吸引を行う浚渫台船（ホップ工法の場合は船上で土砂を供給するポンプ台船）と土砂の排出を行う撒布台船（陸上に土砂を揚げる場合は不要）、これらを結ぶ土砂輸送管から構成される。

ここでは土砂を移動する場所により、吸引工法（水中から陸上へ移動）、ホップ工法（船上から水中へ移動）、貯水池内移動工法（水中から水中へ移動）に分けそれぞれについて実施した試験工事について述べ

る。いずれの工法においても土砂を輸送する輸送管は直径φ400mmの鋼管をフロータで水面に浮かべて設置した。

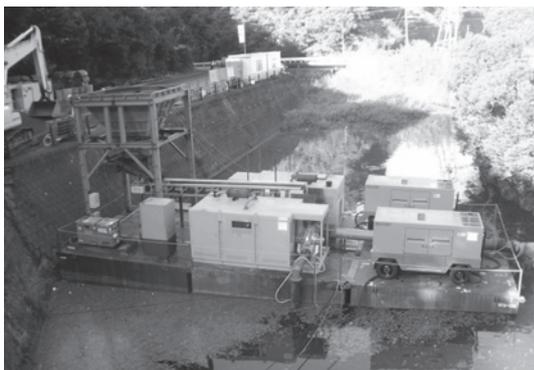
浚渫台船、撒布台船は共に電動ウインチが設置しており、張ったワイヤーを操作して移動することができる構造とした。

(2) 浚渫台船（ポンプ台船）

浚渫台船には、特殊エジェクターのほか、超高压ポンプ、スクリー破碎機付きのロングアームバックホウもしくはテレスコピック式掘削機、空気圧縮機などを艀装している（写真-1）。ホップ工法では、船上に設置したホップに陸送した砂礫土砂を供給し、エジェクターシステムを用いて水中へ投入する。このため、ホップ工法のポンプ台船ではスクリー破碎機の代わりに土砂の受入れホップを設置している（写真-2）。



写真-1 浚渫台船



写真一 2 ポンプ台船

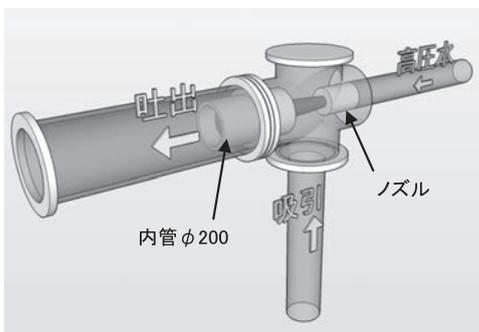


写真一 4 超高压ポンプ

(3) 特殊エジェクター

エジェクターとはノズルから高圧水を噴出させ、そのエネルギーによって他の流体を吸引搬送するものである。流体通過経路にインペラー等の回転部をもたないシンプルな構造であり、詰まりにくいことや管理が容易といった利点を有する。

本試験工事で使用したポンプは特殊エジェクター(図一1)を利用しており、これまでにない大口径の内管(φ200mm)を用いた点やノズル部に少量の空気を導入する点などが通常のエジェクターと異なる。特殊エジェクターの外観を写真一3に示す。



図一 1 特殊エジェクターのイメージ



写真一 3 特殊エジェクターの外観

超高压ポンプは、1,800回転/minで揚程1.5MPa、流量5m³/minの送水が可能である。これに350kW

相当の大型トラック用エンジンを動力として取付けて組立てた(写真一4)。

なお、貯水池内移動工法の試験工事では揚程1.5MPaを能力向上して揚程1.95MPaの超高压ポンプを使用した。

(4) スクリュー破砕機

吸引工法や貯水池内移動工法を行う際は、吸引管の先端に砂礫土砂を効率的に吸引するためのスクリー破砕機を設置した。スクリー破砕機はスクリーの軸が円錐形になっており、取込んだ石を軸と筒の間で破砕する構造になっている。最大直径300mm程度までの玉石を取込むことが可能であるが、全ての石を破砕することは困難であるため、破砕できない石は直ちに逆回転で排出できる構造になっている(写真一5)。



写真一 5 スクリュー破砕機



写真一 6 撒布台船

(5) 撒布台船

貯水池内に土砂を排出するための撒布台船では排砂管の先端部にサイクロンと呼ばれる減勢器を設置した。また、濁水の発生を抑制するため、汚濁防止膜を二重に設置した(写真-6, 図-2)。

3. 試験工事の結果

(1) 堆砂の粒度

吸引工法で使用した土砂とホッパ工法で移動した土砂は同じ河川内のものであり、粒度は同様であるが、ホッパ工法ではスクリー破砕機を通さないために粒径150 mm以上の大きな礫が含まれていると閉塞する懸念があった。このため、予めふるいを用いて「粒径150 mm」、「粒径100 mm」の2種類に分級した。同時に濁水の発生を抑制するための洗浄を行った。

貯水池内移動工法で使用した堆積土砂も同じ河川内ではあるが、概ね最大粒径2 mmの砂質土であった。また、吸引工法と貯水池内移動工法で対象とした堆砂には転石や木片、ごみなども多く混ざっていた。

(2) 吸引工法による吸引・輸送性能

水深4~9 m, 輸送距離200~400 mで吸引工法の試験を実施した。特殊エジェクターシステムで堆砂を吸引し、陸上に設置した水槽に土砂と水を排出して土砂の吸引・輸送性能を測定した。超高圧ポンプ2台使用時のポンプ圧力は1.40~1.55 MPaであり、その流量は10~11 m³/minであった。また、輸送管始点の圧力は0.08~0.18 MPaであり、吸引流量は7.9~12.0 m³/minであった。土砂の吸引・輸送量は水深が深くなるに従い減少する傾向であったが、水深約5 mでの時間当たりの土砂移動量は平均で35 m³/h程度であった。水深が深い場合には、吸引管が長くなって閉塞が発生しやすくなることが課題であり、水中にエジェクター本体を設置して、吸引管を短くすることによって改善されることがわかった。

吸引試験での吸引物の例を写真-7に示す。最大粒径は200 mm, 長さ500 mm程度の沈木や自動車の



写真-7 吸引された石や異物

タイヤのような異物まで吸引・輸送されていた。

(3) ホッパ工法による輸送性能

陸揚げした堆砂を貯水池内の有効貯水量を貯水する以外の場所に投入する場合や、貯水池の底質を改善する目的で土砂を投入する場合には貯水池内に土砂を撒布するシステムが必要となる。このため、特殊エジェクターシステムを用いて、ホッパ工法で土砂を輸送・撒布する試験工事を実施した。

ホッパ工法では分級・洗浄した土砂を陸送し、バックホウで台船上のホッパに投入してベルコンで特殊エジェクターへ定量供給する方法とした。砂礫を長距離輸送する場合には排砂管に空気を混入し、水と土砂・空気の3層流として輸送すると効率がよいことから、本試験施工では特殊エジェクターの先に空気挿入管を設置し、コンプレッサーを用いて空気の注入を行った²⁾。

超高圧ポンプの流量は8~11 m³/minであり、輸送距離別の最大輸送量は600 mで約50 m³/h, 1,000 mで約30 m³/hであった。

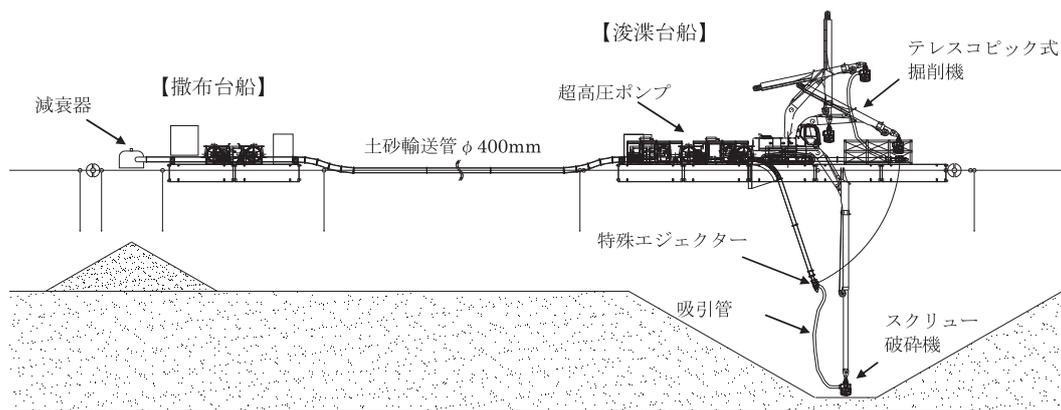
(4) 貯水池内移動工法による吸引・輸送性能

近年、総合土砂管理の観点から、洪水時にダムゲートを積極的に操作して貯水池から排砂を行う堆砂対策が増加しているが、初めてのゲート操作時には、長年にわたって堆積した土砂が急激に排出されることに伴う高濃度の濁水の発生などが懸念される。そこで、これを軽減させるための補助工法として、貯水池内の土砂を予め移動させて緩やかな土砂排出を誘導するために、特殊エジェクターシステムを用いて土砂を吸引・輸送して河床整形を行う試験工事を実施した³⁾。

先述のように、特殊エジェクター工法では、吸引管が長くなると閉塞を起しやすいため、水深が深くなる場合の閉塞防止対策として、エジェクターを水中に設置して吸引管を短くできる構造とした。さらに掘削深度に合わせてエジェクターの設置深度を変えられるように昇降設備を設ける工夫を行った(図-2)。また貯水池内移動時の輸送距離は約400 mとした。

移動土砂量は浚渫実時間48.4 hに対し、浚渫土量が3,572 m³であったことから約70 m³/hであった。

試験工事では土砂排出部での濁水の拡散を抑制する目的で天然凝集材を用いた。凝集材はノズル先端部から添加可能な方法を採用した。ノズルから噴射されるジェット水の流速は毎秒50 m以上となり、凝集材の攪拌効果を高めた。河床の地形が平坦でない箇所での試験であり、発電の影響で流れがあったが概ね濁水は汚濁防止膜の内側に留まった。また、天然凝集材の効



図一 2 台船、配管の配置断面図

果で試験工事の翌日は汚濁防止膜の中の濁度は低下していることを確認した（写真一 8）。



写真一 8 貯水池内移動工法による試験工事

4. おわりに

特殊エジェクターを用いたダム貯水池内の砂礫を対象とした堆砂土砂の吸引・輸送試験の結果、水深4～6m程度であれば、35 m³/h程度の吸引が可能であることが確認できた。輸送試験では、最大粒径が150mm程度の砂礫土砂に対する試験工事後の結果、直径400mmの輸送管を用いた場合、配管延長600mで約50 m³/h、1,000mで約30 m³/hの輸送能力があることを確認した。また、貯水池内の土砂移動工法においては、70 m³/h程度の土砂輸送能力と天然凝集材や汚濁防止膜による濁水の制御対策についてその有効性を確認することができた。

ダムの堆砂対策は貯水池の持続的管理の基本である。その場合の課題として、貯水池上流部に堆積した粗粒土砂は、洪水時の貯水池運用を大きく変化させない限り、自然の流水の力だけでは貯水池内を移動させることは困難であり、近年開発が進む土砂吸引システムやダムゲート本体から土砂排出する場合のネックとなっている。

本稿で紹介したダム堆砂の土砂移動システムは、水中に堆積した土砂を貯水池運用に大きく制約を与えずに効果的に採取・輸送することで、ダム貯水池の堆砂対策として有効であるとともに、採取した土砂をダム下流河川に供給することで河川環境改善にも資する工法として今後の発展が期待される。

JCMA

《参考文献》

- 1) 中村雄二, 山下徳次郎, 加来陸宏, 山上裕也, 黒木修身, 角 哲也, 岡部俊男, 天明敏行, 「特殊エジェクターを用いたダム貯水池の堆砂移動工法」, 土木学会土木建設技術発表会, pp.226-232, 2011.11
- 2) 黒木修身, 山上裕也, 角 哲也, 天明敏行, 「エジェクターポンプにおける空気圧送の効果」, 土木学会, 第65回年次学術講演会講演概要集, II-071, 2011.9
- 3) Yamagami, Y., Kaku, M., Asazaki, K., Tashiro, Y., Yamashita, T., Nishida, K., Oshikawa, J., Nonaka, K., Kodama, H., Su-gio, S., 2012. Approaches for Integrated Sediment Flow Management at Dams in the Mimikawa River Basin, International Symposium on Dams for a Challenging World, ICOLD Kyoto, June 2012

【筆者紹介】



天明 敏行 (てんみょう としゆき)
ハザマ
土木事業本部



山上 裕也 (やまがみ ゆうや)
九州電力㈱
耳川水力整備事務所



角 哲也 (すみ てつや)
京都大学防災研究所