

水頭差を利用した移動式排砂工法

矢作ダム実証実験

北村 広志・宮入 齊・増井 健次

矢作ダムでは、ダム堆砂対策の一手法として「水頭差を利用した吸引方式による排砂工法」の検討が進められており、その機能を確認するための現地実証実験を実施した。実験は矢作ダム貯水池内の貯砂ダム付近にて、水頭差 4.5 m、排砂管径 600 mm、延長 47 m の設備を設け「水頭差を利用した移動式排砂工法」で行った。排砂対象土砂、管内流速、運転操作等により 5 ケースの実験を行い、各実験ケースの排砂状況を確認し、設備機能を実証した。本稿では共同実験の概要とその実験結果について報告する。

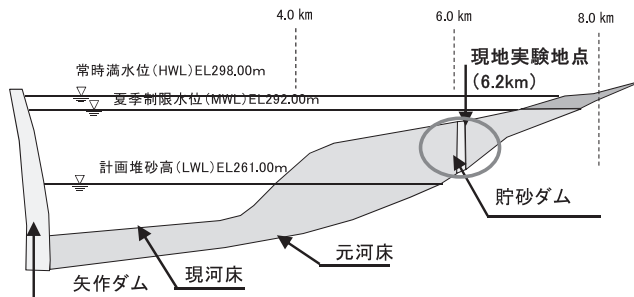
キーワード：ダム、堆砂、水頭差、サイフォン、吸引方式、移動式、ダム排砂工法

1. はじめに

矢作ダムは、矢作川の河口から約 80 km に位置し、洪水調節、農業用水、工業用水、水道用水および発電を目的とする多目的ダムとして、昭和 46 年に建設された堤高 100 m、堤頂長 323 m、集水面積 504.5 km²、総貯水容量 8,000 万 m³、計画堆砂容量 1,500 万 m³ のアーチ式コンクリートダムである。

矢作川流域の地質は領家花崗岩類が大部分を占め、地表の花崗岩はマサ化し、崩壊しやすい特徴を有しており、貯水池内の全堆砂量は平成 21 年度時点で、計画堆積量 1,500 万 m³ を上回っている（図一 1、2）。

国土交通省中部地方整備局では、矢作ダムの堆砂対策の一手法として「水頭差を利用した吸引工法」の機能を確認するため、現地実証実験を計画した。実験は、実機レベルのφ600 mm 大口径排砂管（延長 L=



図一 2 矢作ダム貯水池縦断面図

47.0 m) を用い、矢作ダム貯水池内の貯砂ダム付近で、水頭差 4.5 m を設け「水頭差を利用した移動式排砂工法」で実施した。

2. 排砂実験

(1) 水頭差を利用した移動式排砂工法

「水頭差を利用した吸引方式による排砂工法」は水位差を利用して、サイフォンの原理で水とともに吸引した土砂を、排砂管を通じて下流に排出するものである。この工法の利点は①動力に化石燃料等をほとんど使用しないことで運転コストが低い、②構造が簡単である、③排砂管内に流下を阻害するものがなく、ごみが詰まりにくいなどが挙げられる。

移動式にはこの他に、台船により任意の場所に移動できる施工の自由度や吸引部の上下移動による排砂能力の制御、補助掘削機による河床堆積物への対応能力などの利点がある。



図一 1 矢作川流域図

(2) 実験施設

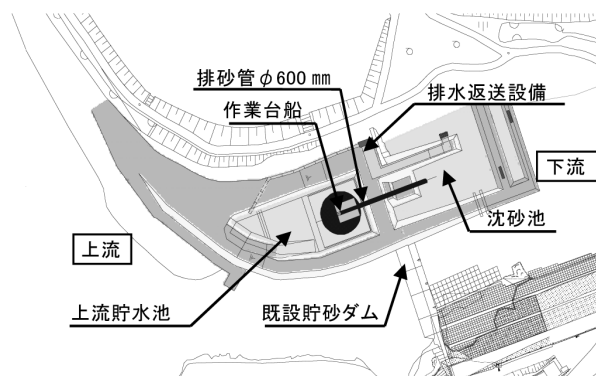
実験施設は、既設の貯砂ダムを利用して水頭差 4.5 m を設けた。また、矢作川出水時に対応するため、半川締切（河川の左岸側に実験施設を配置，右岸側を河川流下）で設置した。施設平面図を図一 3 に、排砂管縦断面図を図一 4 に示す。また、実験施設全景を写真一 1 に示す。

(3) 実験概要

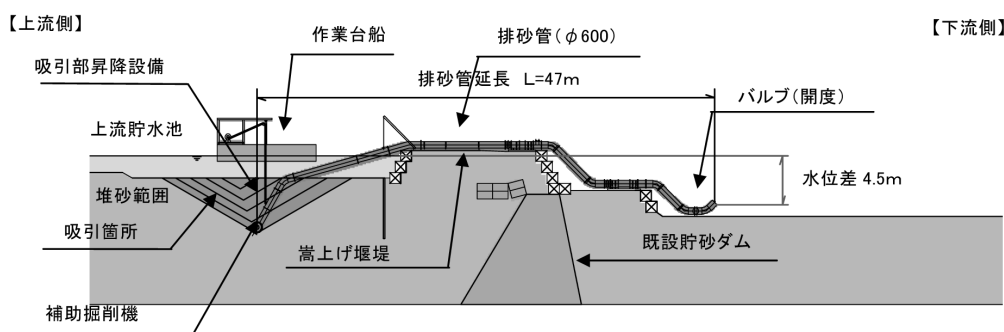
(a) 実験ケース

実験は対象土砂，バルブ開度（管内流速），補助掘削機の有無や吸引操作（オペレーション）に着目し，表一 1 の 5 ケースを計画した。なお，ケース①では

現況の河床堆積土砂を吸引し，ケース②～⑤では採取土砂に入れ替えて実施することとした。



図一 3 実験施設平面図



図一 4 排砂管縦断面図



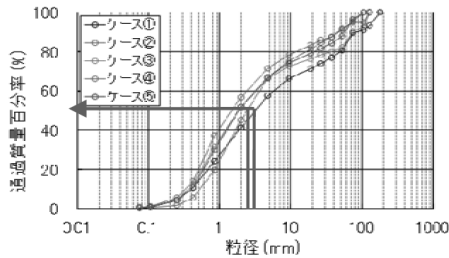
写真一 1 実験施設全景

表一 1 実験ケース一覧表

実験ケース	吸引対象土砂	バルブ開度	実験目的
ケース①	現況河床堆積土砂	100%	・現況河床堆積土砂を吸引した時の吸引特性調査 ・補助掘削機の有無による影響確認
ケース②	採取土砂	100%	・採取土砂を吸引した時の吸引特性調査 ・補助掘削機の有無による影響確認
ケース③	採取土砂	100%	・オペレーションによる最適排砂濃度の確認 ・排砂濃度の違いによる吸引特性調査
ケース④	採取土砂	50,75,100%	・管内流速を変化させたときの吸引特性調査
ケース⑤	採取土砂(塵芥混入)	100%	・塵芥を混入させたときの吸引特性調査

(b) 実験土砂の粒度分布

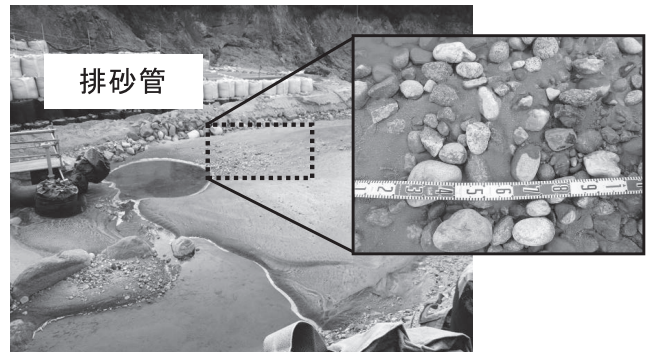
排砂実験に使用した実験ケースごとの土砂粒度を図一5に示す。現況河床堆積土砂のD50粒径は3mm、採取土砂のD50粒径は1.9mm（ケース②～⑤の合成値）であった。



図一5 実験土砂粒度

※粒度分布の整理にあたっては、混合比が小さく粒度分布の影響を与える20cm以上の礫は除外している。

は、排砂管直下から沈砂池末端にかけて分級されており、排砂管直下に最大30cm程度、概ね10~20cm程度の礫が認められた（写真一2）。



写真一2 沈砂池に排出された礫の状況（ケース②）

(c) 実験計測

吸引特性の把握およびオペレーション情報の収集を目的として、表一2の計測計器を設置した。

表一2 計測計器

計測目的	計測内容	計測機器	設置個数
土砂濃度の把握	管内密度	γ線密度計	1
管内損失の把握	管内圧力	圧力計	8
	管内流量	超音波流量計	1
オペレーション情報の把握	吸引部位置 (排砂管角度)	圧力式水位計	1
		深度計	1
	補助掘削機圧力	油圧計	1
	補助掘削機回転数	回転計	1



写真一3 貯水池に残された礫

また、管内排砂状況観測のため、アクリル管を2箇所配置し、目視観測した。図一6に観測計器配置図を示す。



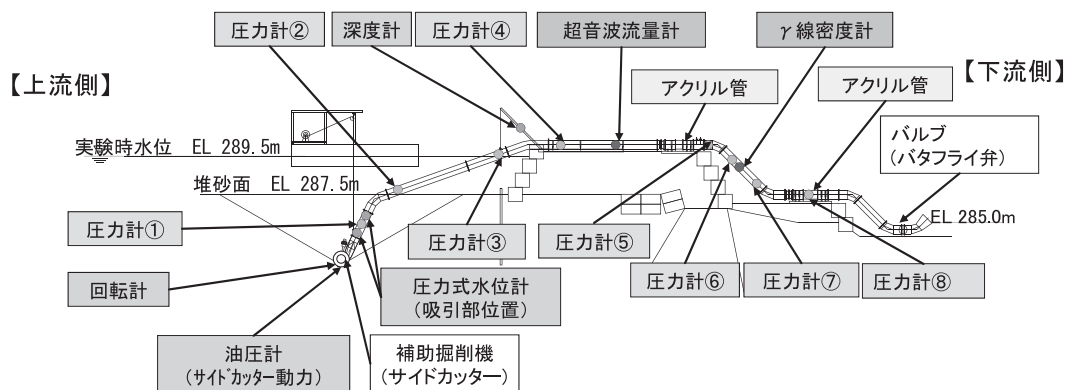
写真一4 排砂面底部に残された礫

3. 実験結果

(1) 排砂状況

(a) 沈砂池に排出された礫

いずれの実験ケースにおいても、排出された土砂



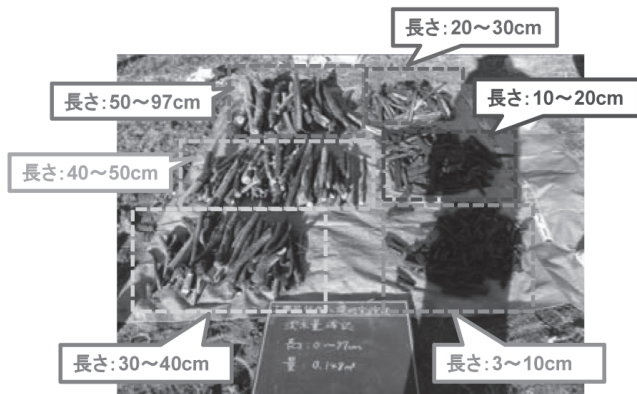
図一6 計測計器配置図

(b) 貯水池に残された礫

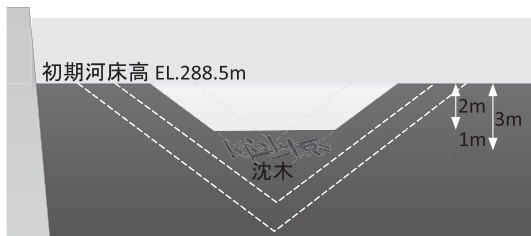
現況河床堆積土砂の排砂（ケース①）では、掘削深度1.4 m 付近に1 m 程度の礫が多数確認された（写真—3）。ケース②，③では排砂面底部に10~40 cm 程度の礫が認められた（写真—4）。ケース④，⑤では礫の残留はなかった。

(2) 沈木による吸引阻害の影響

河川に堆積する土砂には、さまざまな塵芥が混入するため、実験では、矢作ダム貯水池上流4.0 km 付近で調査した結果から、人為的に実験土砂に混入させる



写真—5 投入した塵芥（沈木）



図—7 沈木投入位置



写真—6 排出された沈木

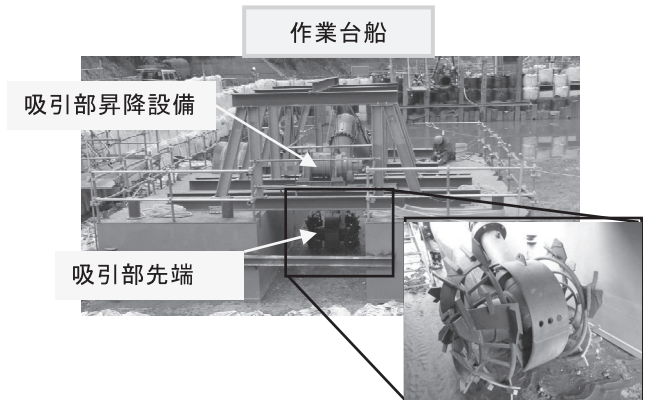
塵芥の種類や規模を設定した（写真—5）。塵芥（沈木）は図—7に示す位置に投入した。

結果は塵芥による吸引阻害の影響はなく、長さ1 m 程度の沈木は問題なく排出できた（写真—6）。

(3) オペレーションによる影響

(a) オペレーション機構

排砂管径がφ600 mm と今までに実績がなく、また、管径に対して水頭差が比較的小さいことから、大口径管の管内堆砂の制御が必要となる。また、現地の堆積土砂を吸引することから、粘性土や沈木、落ち葉、玉石などの障害物が存在しても排砂作業が行えるよう、以下の機構を実験設備に装備した（写真—7）。



写真—7 台船設備と補助掘削機

- ・吸引部を台船に乗せ、任意の場所に移動できる。
- ・吸引部を上下移動できる。
- ・吸引口先端に補助掘削機を取り付ける。
- ・補助掘削機のカッター回転数を制御できるとともに逆回転機能を設ける。

(b) 吸引部引上げ（管内フラッシュ）操作

土砂濃度の上昇により管内堆砂が発生し、管内流速の低下によりさらに堆砂が進行する状態となった時、吸引部を引上げ、清水を吸引して管内堆砂を流し去る操作（以降、管内フラッシュ操作と表現）を行った。

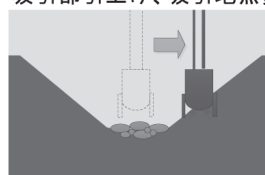
(c) 吸引部移動操作

礫の集積による土砂濃度の低下や障害物による吸引

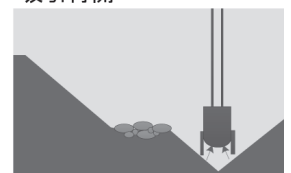
礫集積による土砂濃度低下・吸引部下げ止まり



吸引部引上げ、吸引地点変更



吸引再開



図—8 吸引部移動操作概念図

部の下げ止まりが発生した場合、吸引部を引上げ、吸引地点を移動する操作を行った（図-8）。

(4) 吸引特性の把握

(a) 平均土砂濃度

各ケースの管内平均土砂濃度と最大土砂濃度を表-3に示す。表における全平均は補助掘削機を使用し、吸引部を着底した状態のデータを使用している。

吸引開始から管内フラッシュ操作するまでの期間（パターンA）と排砂面底部に礫が集中して吸引効率が低下し、吸引位置を変更する前の期間（パターンB）にわけてそれぞれの平均土砂濃度を整理した（図-9）。バルブ開度 100%、通常の排砂作業で極力管内堆砂が発生しないよう操作した場合（ケース②、パターンA）の平均土砂濃度は 2.7% を記録した（表-3 参照）。

(b) 平均土砂濃度と管内流速

実験時の平均土砂濃度と管内流速の関係を図-10に示す。バルブの開度調整により管内流速を変化させ、パターンAの状態と比較した。

(c) 管内堆砂開始土砂濃度

管内流速と管内に土砂が堆積し始めた時の土砂濃度の関係を図-11に示す。実験値は Durand の式より算出した計算値とほぼ一致した。

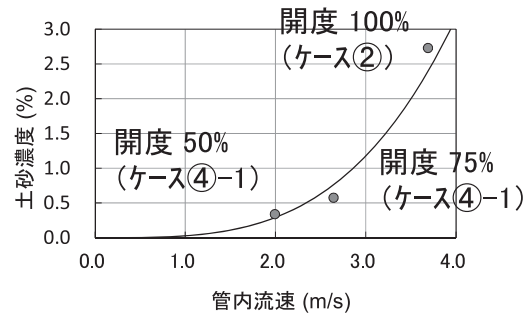


図-10 土砂濃度の推移

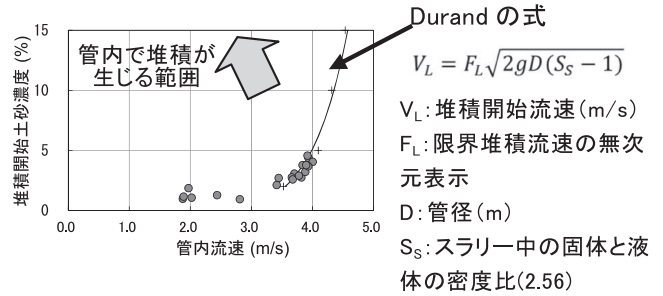


図-11 堆積開始土砂濃度と管内流速の関係

(5) 補助掘削機の影響

補助掘削機を使用した場合としなかった場合の土砂濃度は、補助掘削機を動作させた方が上昇の度合いが大きい。

表-3 実験ケース別管内平均土砂濃度と最大土砂濃度

実験ケース	バルブ開度 (%)	平均土砂濃度 (%) (補助動力稼働時)			最大土砂濃度 (%)	備考
		全平均	パターンA	パターンB		
ケース①	100	0.412	-	0.412	3.943	礫による吸引阻害が顕著
ケース②	100	1.295	2.728	0.578	6.923	バルブ開度100%、排砂作業モデルケース
ケース③-1	100	1.205	1.963	0.598	14.441	土砂濃度管理を目的としたオペレーション
ケース③-2	100	0.408	0.890	0.219	5.675	
ケース④-1	50	0.338	0.338	-	3.328	管内流速を変化させた場合の吸引特性
	75	0.574	0.574	-	2.033	
ケース④-2	100	1.260	1.560	0.732	8.618	
ケース⑤	100	1.517	2.025	0.249	12.308	管内堆砂発生を許容する操作を含む

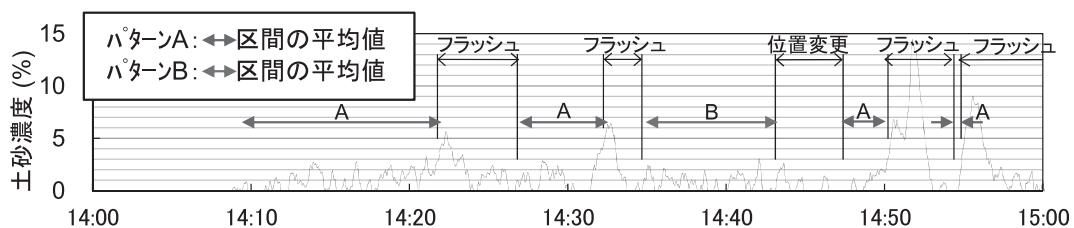
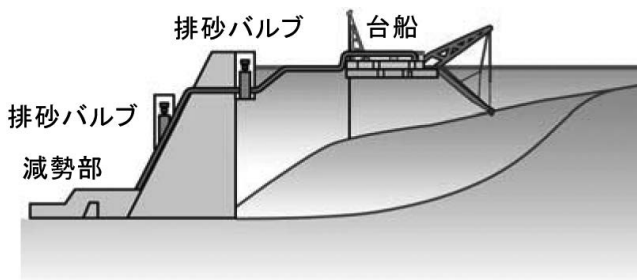


図-9 平均土砂濃度と管内流速の関係

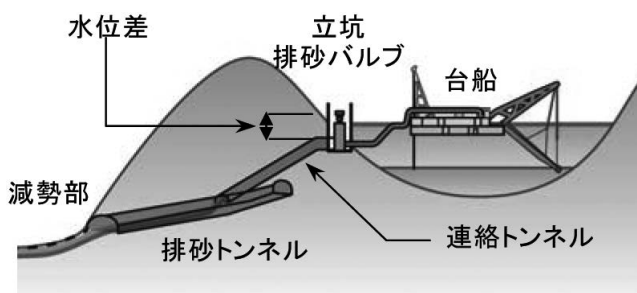
4. おわりに

実機規模のφ600 mm 排砂管を用い、水位差 4.5 m の条件で得られた結果は、想定した能力とほとんど相違なく、実際の堆積土砂の吸引が可能であることが実証できた。また、各種吸引条件を変化させた時の吸引特性や補助掘削機および吸引操作の有用性も確認できた。

しかし、今後「水頭差を利用した移動式排砂工法」を実際にダム排砂施設として適用するためには、個々のダムの堆砂状態や排砂に係る諸条件に配慮した排砂システムが必要である。



図—12 ダム堤体を利用した排砂工法 (案)



図—13 排砂トンネルを利用した排砂工法 (案)

すなわち、水位差をどのように確保するかにしても、重力式コンクリートダム堤体に移動式排砂設備を設ける場合 (図—12) や排砂トンネルに接続して移動式排砂設備を設ける場合 (図—13) などが考えられる。

いずれにしても、排砂後の河川への土砂流入による影響や放流時の濁度の程度、また、下流に排砂した土砂の利用方法など、河川全体の土砂管理の検討が必要であり、事前の課題解決が不可欠である。

JCMMA

《参考文献》

- 1) 渡邊 守, 田島 健: ダムにおける堆砂対策の現状と課題, 水産工学, 第46巻第2号
- 2) 国土交通省中部地方整備局矢作ダム管理所ホームページ <http://www.cbr.mlit.go.jp/yahagi/>
- 3) 土木学会土木建設技術発表会 2013 講演論文

〔筆者紹介〕



北村 広志 (きたむら ひろし)
 (株)大林組
 生産技術本部ダム技術部
 副部長



宮入 齊 (みやいり いつき)
 (株)大林組
 生産技術本部ダム技術部
 担当課長



増井 健次 (ますい けんじ)
 (株)ダムドレ
 技術次長