# 潜行吸引式排砂管の現地排砂実験による 実用化に向けた検討

## EXAMINATION OF THE BURROWING TYPE SEDIMENT REMOVAL SUCTION PIPE BY THE SEDIMENT DISCHARGE FIELD TEST FOR PRACTICAL USE

宮川 仁<sup>1</sup>・宮脇 千晴<sup>1</sup>・櫻井 寿之<sup>1</sup>・石神 孝之<sup>2</sup>・箱石 憲昭<sup>3</sup> Masashi MIYAKAWA, Chiharu MIYAWAKI, Toshiyuki SAKURAI and Noriaki HAKOISHI

1 正会員 土木研究所水工研究 がープ 水理チーム主任研究員(〒305-8516 つくば市南原 1-6)
2 正会員 土木研究所水工研究 がープ 水理チーム上席研究員(同上)
3 正会員 ダム技術センター 首席研究員(〒110-0008 台東区池之端 2-9-7)

Sediment supply measures from a reservoir are required to reduce sedimentation and to preserve the downstream river bed environment. Then, we have been trying to develop a new sediment supply measures using the differential water head energy between upstream and downstream of a dam. We have proposed "the burrowing type sediment removal suction pipe method". In this study, in order to obtain knowledge for practical application of the pipe, we carried out the sediment discharge field test using the 200mm and 300 mm diameter pipe at the actual reservoir. As a result, we understood the hydraulic characteristics, the applicability to the material, and the availability of the pipe. It was confirmed that the pipe could discharge sediment at almost the expected performance for reservoir material (almost non-cohesive debris-less sediment material).

*Key Words* : reservoir sedimentation, burrowing type sediment removal suction pipe, field test, sediment discharge test

## 1. はじめに

ダム貯水池の堆砂対策およびダム下流の流砂環境の 保全・改善のために、既存の堆砂対策手法に加えて、よ り広範囲な貯水池条件に適用可能で、経済的な土砂供給 手法が求められている. そこで, 筆者らは貯水池の上下 流水位差によるエネルギーを活用したフレキシブル管を 用いた排砂手法の開発を試みている. これまでの検討に より「潜行吸引式排砂管」と称する装置を提案し、室内 実験、現地実験を通じて、粘着性のない土砂を対象に、 管径 200mm までの排砂管による実験を通じ排砂特性を 把握してきた <sup>1),2)</sup>.本稿は,排砂管の実用化に向けた知 見を得るために塵芥や粘性土を多少含む実際のダム堆砂 を対象として、千葉県が管理する養老川中流にある高滝 ダム貯水池内の日竹貯砂ダム(以下、貯砂ダム)におい て 2013 年 11 月 18 日~11 月 23 日に管径 200mmの潜行 吸引式排砂管による現地排砂実験を,2014年11月24 日~11月30日に管径300mmの潜行吸引式排砂管によ る現地排砂実験を実施した結果から得られた有用な知見 についてポイントを絞って報告する<sup>3)</sup>.

#### 2. 潜行吸引式排砂管の改良

「潜行吸引式排砂管」(以下、排砂管)とは、フレキ シブル管をU字形状として一方を取水口とし、折返し 部(以下,吸引部)の管底面にシートを貼り,吸引部と 上流部の管底面に穴を設けて土砂の吸引口としたもので ある1-3).既往の現地実験での検討では、シートの機能 を代用する形として、吸引部を鉄で製作し、重量を増加 させて実験を行ったが、排砂に伴い、吸引部が傾き、底 部の吸引口から水が吸い込まれることによる吸引部の堆 砂面への追従に関する課題が明らかとなった2). そこ で、管径 200mm の排砂管を用いた現地排砂実験を行う にあたって、再度シート(底面に半径 200mmの円形の 天然ゴム(厚みは3mm))を設置することとし、シー トの巻き込みによる吸引口の閉塞の防止の観点から、図 -1に示すようにゴムを鋼板で挟む形状に改良した. な お,吸引口は,これまでの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、吸引部底面に直径 10cm の穴を7個,上流管底面に直径9cm の穴を50cm 間隔で6個設置した. 管径300mmの排砂管は, この相 似形状で製作した.



図-1 吸引部形状 (φ200mm)



図-2 日竹貯砂ダム(H25実験時状況)

## 3. 現地排砂実験の準備

貯砂ダムは図-2に示す施設であり、高さ3.2m、堤頂 長 82.1mで、平水時は、越流水深数センチ、水位差は 約 1.6m 程度が確保できる施設である.また、貯砂ダム は高滝ダム貯水池への堆砂流入を軽減させるために設置 されており、2年に1度水位を低下させて貯砂ダム内の 堆砂をバックホウ等の重機を用いて、掘削、搬出してい る.このため、貯砂ダムへの重機のアクセスは容易と なっている.また、堆砂が進み水深が数十センチ程度の 場所もあるなど、実験時の河床計測などの作業を効率的 に行える環境となっていることから、現地排砂実験場所 に選定した.

また, 貯砂ダム直下流は, アユの漁場, 農業用水の取 水口が設置されることから, 養老川漁業協同組合, 加茂 土地改良区へ実験の目的, 意義についてご説明し, ご理 解をいただいた. なお, この際には, 本技術の早期開発, 実用化を期待するご意見もいただいた. この後に, 千葉 県から河川の一時使用及び貯砂ダムの施設借用の許可を いただき, 実験を実施できる運びとなった.

さらに、排砂装置の実用化のためには、装置をどの ように貯水池へ設置し、管理・運用するかが重要になる. そこで、想定される実物(管径 300~600mm 程度)に 近づけた今回の現地排砂実験における準備状況を記載す る.

排砂管,計測機器,その他機材等については,茨城 県つくば市の土木研究所つくば中央研究所より貯砂ダム まで運搬した. 管径 200mm の排砂管の重量は吸引部が 約 200kg,管路部となるサクションホースが1本5mで 約 50kgであり,管径 300mmの吸引部の重量は700kg, 管路部となるサクションホースが1本4mで約60kgで あった.これらをクレーンを用いて貯砂ダム右岸側から 貯水池内につり込んだ.また、図-3に管径200mmの排 砂実験装置の全体図を、図-4に実験装置下流の詳細図 を示す.下流端においては、流砂量調査のため、人力に よる土砂採取を行うとともに、電磁流量計を設置し、管 内流速を計測、また、管内流況を確認できるアクリルパ イプ、流量調整可能なゲートバルブも設けた.また、貯 砂ダムを削孔できないため、排砂管を天端に固定し、排 気口を設置した上で真空ポンプにより空気を抜いて管内 を満水にし、サイフォンを利用した排砂装置とした.

堆砂の表層を調査したところ、落ち葉が含まれてい たものの、図-5のとおり、砂分が約8割程度を占め礫 分や粘性土がほとんどないことがわかった.これまでの 知見から現地土砂において排砂可能であると想定された.

#### 4. 実験方法

図-6に実験時の排砂管の設置状況を示す.また,排 砂実験時の様子を図-7に示す.計測を行った項目と計 測方法を表-1に示す.吸引部を25tラフタークレーン で吊り上げられるようにして下流端のバルブを全開とし





図-6 排砂実験時装置全体図



図-7 リアルタイムデータ収集の仕組み て実験を開始した. 排砂管の実用規模は、今回の検討規 模以上となると考えられ、実用化のためには、各種の水 理量等を的確にリアルタイムで把握していくことが求め られると考えられる. 管径 200mm の実験では、リアル タイムで水理量等を把握できず、現場では排砂管の解析 が不可能であった. このため, 管径 300mm での実験で は、流砂量以外の排砂管に直接関係する項目については、 貯砂ダム上流にゴムボートを浮かべ、有線により情報を 集約し、ゴムボートから無線 LAN を用いて、右岸の ヤードへ情報を送信、パソコン上で排砂管の挙動等が一 目で監視できる仕組みを構築した. なお、流砂量調査に ついては、管径 200mm の実験では、直接放流水を採取 し、土砂濃度を計測したが、管径 300mm の実験規模と なると、試料採取が人力では困難となるため、図-8に 示すように排砂管出口部に試料採取用配管を上層, 中層, 底層の3箇所に配置し、 試料サンプルから土砂濃度を計 測することとした.具体的には、まず、3箇所での採取 試料の水と土砂の混在比率を求め、得られた土砂濃度を 3層の断面積比率を考慮し求めた.

#### 5. 実験結果

実施した実験ケースを表-2に示す.本報告では Case1, Case2 の2ケースから得られた知見を報告する. Case1 は管径 200mm の排砂管での実験, Case2 は管径 300mm の排砂管での実験である.

表-1 計測項目と計測機器,計測頻度,計測方法

項目	計測機器	計測頻度	計測方法	
圧力調査	水位計(¢300mm実験時)	1回/秒	排砂管にピエゾ管、改良式水位計を設置し、管内圧 カ分布を計測しPCIに記録	
	マノメータ( ¢200mm実験時)	適時	排砂管にピエゾ管を設置し、貯砂ダム下流のマノ メーター板で管内圧力分布を写真により記録、計測	
流量調査	電磁流量計	1回/秒	排砂管下流の電磁流量計において計測	
排砂管鉛直位置	水位計	1回/秒	吸引部上面の上流、下流、左岸側、右岸側の4箇所 に小型メモリ式水位計を設置し、平均値で算出	
排砂管荷重調査	ロードセル	1回/秒	25tラフタークレーンに吊り下げ部にロードセルを配置 計測	
上下流水位差	水位計	1回/秒	貯砂ダム上下流に小型のメモリ式水位計を設置し 計測	
流況調査	水中カメラ、ビデオ	連続撮影	アクリル部、吸引部、吐口部をカメラ、ビデオで撮影	
流砂量調査	メスシリンダー	適時	放流バルブの下流で放流水を採水して水と砂をメスシ リンダーで計測	
濁度調査	濁度計	1回/秒	放流管下流に濁度計を設置し、濁度(NTU)を計測	
河床変動調査	レベル	2測線/回	実験前後で縦断方向、横断方向にレベルを用いて 河床形状を直接計測	
土砂粒度分布	土砂粒度分布 一		実験前後に、吸引部設置位置周辺で柱状採取しふ るい分け試験により求めた。	
ダム流入量 ー		1回/1時間	千葉県へのヒヤリング(上流での流量観測)	



図-8 土砂濃度計測方法 (φ300mm 実験)

<b>表-2</b> 実験ケース							
実験ケース	排砂管長	実施日	時間	排砂管径	実施位置		
Case1	15m	H25.11.22	9:27~11:05	φ200mm	貯砂ダム右岸上流10m地点		
Case2	28m	H26.11.28	10:00~10:57	$\phi$ 300mm	貯砂ダム中央上流20m地点		
Case3	28m	H26.11.28	11:30~12:20	ф 300mm	貯砂ダム右岸上流20m地点		
Case4	20m	H26.11.29	10:00~11:09	$\phi$ 300mm	貯砂ダム右岸上流12m地点		
Case5	20m	H26.11.29	13:27~15:27	ф 300mm	貯砂ダム中央上流12m地点		

## (1) Case 1

Casel は、 貯砂ダムから上流約 10m, 右岸付近に吸引 部を設置するケースとして実施した.排砂管長は15m で実施した.また、運用面での知見を得ることを目的と して、まず、下流バルブを全閉にして管内の流れを無い 状態にし、排砂管を吊らない状態で、吸引部を堆砂面に 設置した後、下流バルブを全開にして実験を開始した. 図-9に吸引部鉛直位置と吊荷重の関係を示す.実験開 始から約15分までの間は、吸引部鉛直位置が急激に下 がり初期河床高から1.1m程度まで潜行したが、突然、 吸引・排砂が停止した.また、図-10に吸引部鉛直位置 と管内流速の関係を示す. 全体的に管内流速は2.3m/s 程度に維持されるが、実験開始から約15分後に、管内 流速が一時的に2.0m/sに低下する現象がみられた.こ の時点において、図-3の取水口においては吸い込み渦 が発生し、吸引部は低下しなくなったことから、吸引部 における閉塞が推察された.

また,図-11 に管内流速と土砂濃度の関係を示す. 9:40頃に採水した土砂濃度が約4%となったが,土砂濃 度の高い時間においては管内の流速も低減していること がわかる.出水時に数千から数万m<sup>3</sup>の土砂を排出する ことを想定すると、土砂供給設備の土砂濃度は2~5% 程度が必要と考えており、試験の初期の放流において、 目標とする土砂濃度が確認できた.

さらに、排砂管の管軸に沿って計測した管内のピエ ジ水頭の分布から、体積土砂濃度と吸引部の下流管、吸 引部のピエゾ水頭の圧力低下勾配を用いて求めたエネル ギー損失係数の関係を図-12に示す.吸引部より下流の 管路部のエネルギー損失係数の算定には、以下の式を用 いた.

$$f = \frac{h_L D}{L} \frac{2g}{V^2} \tag{1}$$

ここで、f:吸引部下流のエネルギー損失係数、 $h_L$ : 圧力損失水頭(m)、D:管径(m)、g:重力加速度(m/s<sup>2</sup>)、 L:管長(m)、V:管内平均流速(m/s)を表す.

また,吸引部におけるエネルギー損失係数の算定に は,以下の式を用いた.

$$f_B = h_B \frac{2g}{V^2} \tag{2}$$

ここで、 $f_B$ :吸引部のエネルギー損失係数、 $h_B$ :吸引部の圧力損失水頭(m)を表す.

管路部のエネルギー損失係数は 0.06 以下であるが, 実験開始から土砂濃度が高かった 9:40 頃に高い損失係 数の値が示された.また,吸引部では,実験開始から 9:40 頃までの間,損失係数が 2 程度と大きくなっていた.

図-13 および図-14 に実験前後の縦横断の河床形状を 示す.吸引部位置を中心に、約1.1mの深さのすり鉢形 状の河床が形成され,既往の室内実験の結果をほぼ再現 できた.排出土砂量(空隙込み)で約5.5m<sup>3</sup>の土砂を排 出することができた.なお,この実験でも吸引部の全て が土砂に埋没することは無かった.

実験後,吸引・排砂の停止原因を特定するため,高 滝ダム管理事務所へのヒヤリングを行うとともに,堆積 土砂の柱状サンプリング調査を実施した.貯砂ダムにお ける2年に1度の排砂工事の掘削河床高と柱状サンプリ ング調査から概ね吸引部が停止した位置に厚さ10cm 程 度の葉の層(葉が重層的に重なり合って固結している状 態)が広く分布していることが判った.吸引停止位置と これらの位置関係を図-14に整理したところ,吸引停止 位置,葉の層,掘削河床の高さがほぼ一致したことから, 吸引部が葉の層に到達し,吸引・排砂が停止したものと 考えられた.

このように、塵芥等の集積の状況によって、吸引・ 排砂が停止する排砂管開発の課題が明らかとなり、実用



化にあたっては、 塵芥等の密集度に応じた排砂管の適 用範囲を明確にする必要があると考えられた.

#### (2) Case2

Case2 は,排砂管長 28m,吸引部を貯砂ダムから上 流約 20m の河道中央付近に設置するケースとして実施 した.

ここでは、排砂管の水理特性に関する知見を得るこ とを目的として、まず、吸引部を河床に着底しないよう にラフタークレーンで水中に配置できるように吊り上げ た上で、下流のバルブを全開とし、清水時の管内水理量 を計測、その後、吊っている吸引部を下ろして堆砂に着 床させ、吊り荷重が無荷重となった時点を開始時刻とし て実験を実施した.

図-15 に吸引部鉛直位置と吊荷重の関係を示す. 初期 河床を基準(0m)としており,吸引部着底直後は,急 激に吸引部が潜行したが,10:05頃において,潜行速度 が遅くなるものの,一定の速度で潜行は継続した. 実験 終了時の11:00頃には約1.5m程度まで潜行したが, 実験の工程の都合上,吸引部を吊り上げ,実験を終了した.

図-16に吸引部鉛直位置と管内流速の関係を示す.吸引部が急激に潜行した実験初期においては管内流速が2.2m/s程度まで下がった後に、10:05頃に2.4m/s程度まで回復、10:20頃に再度2.2m/s程度まで下がるなど、Case1と比較して、不安定な管内流速の動きとなっている.例えば、10:05頃に吸引部の降下速度が低減し、管内流速が回復している、10:20頃には降下速度が高くなり、管内流速が低下しているといったことが見受けられ、管内の土砂流下の状況によって流速が変化しているとも考えられ、さらなる詳細な調査が必要であると考えている.なお、清水時の平均管内流速は2.45m/sであった.

図-17に管内流速と土砂濃度の時系列変化の関係を示 す.ここでは前述の手法により土砂濃度を計測した.し かし、実験直後に管底部を流下する土砂により試料採取 用配管が閉塞し、底層での採取が困難となり、10:10頃 には中層も同様に閉塞が生じて採取困難となった.この ため、試料採取方法が時間により異なるが、土砂濃度の 変化の傾向のみに着目すると、10:05頃の管内流速が低 減する時間において、低層は欠測しているが、土砂の濃 度が2%程度となり.概ね土砂濃度が上昇すると管内流 速も低下していることが伺える.このことから、Casel と合わせても管内流速と土砂濃度は相関関係を有してい ると考えられる.

この層別の土砂濃度の計測方法によって、土砂濃度 が変化する傾向を把握できたが、巨礫の計測や底層部に 土砂の層が堆積した場合など、計測方法として不十分で あるといえ、今後、採取方法を含めた土砂濃度の計測手 法の開発が必要であると考えている.

Casel と同様に実験で得られた管内圧力及び管内流速 からサクションホースの摩擦損失係数及び吸引部の曲り



損失係数を算定し、得られた損失係数の時系列変化を図 -18 に示す.実験前の清水時の摩擦損失係数fと曲り損 失係数 $f_B$ の平均値は、f=0.026、 $f_B=1.28$  であったが、fは 清水時に対し排砂時の損失係数が上昇する傾向となった が、 $f_B$ は反対に低下する傾向を示した原因について、さ らなる調査を進めてまいりたい.

実験前後の河床形状計測結果を図-19,図-20に示す. 直径 4m,深さ 1.0m 程度の排砂面が形成され,この排 砂面形状からを求めると排砂量(空隙込み)で 8.3m<sup>3</sup> であ る.



また、図-21 に排砂管に直接関係するデータをリアル タイムでパソコン上において表示できるシステムを構築 した画面を示す.これにより、実験時に水中に潜行し目 視が困難となってしまう排砂管の挙動等が一目で確認で きるようになり、スムーズに実験を行うことができた. また、図-22 に Case2 の水理量等の情報を一画面上でア ニメーションや動画を用いてわかりやすく表示する画面 を示す.これを活用すれば、土砂の流下状況、吸引部の 挙動等を同時に確認でき、潜行吸引式排砂管の挙動等の 監視・分析が容易となり、このようなシステムの構築は、 実用化に向けて有用であると考えられる.

# 6. おわりに

本報告は、塵芥や粘性土を多少含む実際のダム堆砂 を対象とした管径 200mm、300mm の潜行吸引式排砂管 による現地排砂実験の結果の一部を報告したものである. 具体的には、

- 1)約1.6mと比較的小さな落差条件下でも、貯砂ダム 上流約20m地点の堆砂を潜行吸引式排砂管を用い れば、水頭差エネルギーだけで連続的に貯砂ダム 下流へ土砂供給できることを明らかとした.
- 2)排砂時の管内流速と土砂濃度には相関関係があると いった実用化に向けて参考となる潜行吸引式排砂 管の複雑な水理特性の特徴を明らかにした.
- 3)潜行吸引式排砂管の現場での設置・撤去において大 きな問題はなく、比較的簡便に行うことができた.
- 4)潜行吸引式排砂管の各種水理量等を円滑,安全,的 確にリアルタイムで把握できる仕組みを検討・構 築するとともに、その計測情報を一つの画面に一 元化、一目でわかりやすくすることによって、潜 行吸引式排砂管の水理量等を監視・分析できる、 実用化に向けて有用な仕組みを検討・構築した.
- 5)管内閉塞等の指標となると考えられる土砂濃度の計 測手法の開発の必要性が明らかとなった.

潜行吸引式排砂管を用いた技術がダムの排砂技術と して効率的で効果的な技術となる可能性が一定程度確認 されたものの、ケースによっては塵芥等の集積の状況に よって、吸引・排砂が停止する現象も認められ、実用化 に向けて、さらなる検討が必要であると考えている.

謝辞:実験にご協力いただいた千葉県河川整備課,千葉 県市原土木事務所,千葉県高滝ダム管理事務所,加茂土 地改良区,養老川漁業協同組合の皆様に謝意を表します.

## 参考文献

- Miyakawa,M., Hakoishi,N. and Sakurai,T. :Development of the Sediment Removal Suction Pipe by Laboratory and Field Experiments, *Dams and Reservoirs under changing Challenges* "82th Annual Meeting of ICOLD 2014", pp.V-15-V-24,
- International Commission on Large Dams, Bali, Indonesia. 2014. 2) 櫻井寿之・箱石憲昭:潜行吸引式排砂管の現地排砂 実験,土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 69,

No. 4 , pp. I \_1075- I \_1080, 2013.

3) 宮川仁, 宮脇千晴, 櫻井寿之, 箱石憲昭:潜行吸引式 排砂管によるダム貯水池内における排砂実験, 土木学 会第 69 回年次学術概要集, II-186, pp. 371~372, 2014.

(2015.4.3受付)