

自然エネルギーを活用したダム堆砂対策技術

潜行吸引式排砂管の開発

宮川 仁・石神 孝之・高田 翔也

土木研究所では、ダムの上下流の水位差によるエネルギーを活用し、輸送管としてフレキシブル管を用いた排砂手法（通称：潜行吸引式排砂管）の研究開発を行ってきた。室内実験の結果として、管径 300 mm 管で管内流速 3 m/s 程度での施設が設置できれば、浚渫などの従来技術よりも低コストで 50 m³/h/ 系統の排砂能力（4 系統用いると約 1 万 m³ の堆砂を 2～3 日で吸引、下流へ排砂できる能力）を有することを確認した。また、一様粒径では 20 mm 程度、混合粒径では 0.075 mm～75 mm 程度であれば安定的に排砂が可能となることも確認した。本報告では、潜行吸引式排砂管の適用範囲を明らかにした実験を中心に実績を紹介するとともに、ダムでの適用のための排砂設備の設計手法を紹介する。

キーワード：堆砂対策, 潜行吸引式排砂管, 吸引工法, 設計手法, 水理実験

1. はじめに

土木研究所では、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、より広範囲な貯水池条件に適用可能で、かつ、経済的な堆砂対策手法として、ダムの上下流の水位差によるエネルギーを活用し、輸送管としてフレキシブル管を用いた排砂手法（通称：潜行吸引式排砂管（以下、「排砂管」という））の開発を行ってきた。研究の結果、室内試験で管径 300 mm において管内流速 3 m/s 程度での施設が設置できれば、浚渫などの従来技術よりも低コストで、50 m³/h/ 系統の排砂能力（4 系統を用いれば、約 1 万 m³（国土交通省所管管理ダム（約 540）の約半数の年堆砂量をカバーできる量）の堆砂を 2～3 日で吸引、下流へ排砂できる能力）を有することを確認した。また、一様粒径では 20 mm 程度、混合粒径では 0.075 mm～75 mm（平均粒径 d_m : 12 mm）程度であれば安定的に排砂が可能となることも確認した。本報告では、排砂管の適用範囲を明らかにした実験を中心に実績を紹介するとともに、ダムでの適用のための排砂設備の設計手法を紹介する。

2. 潜行吸引式排砂管の概要

(1) 潜行吸引式排砂管

排砂管の構造を図-1、写真-1に示す。形状はフレキシブルな管路を U 字状に折り返した形で、一方

を取水口としている。使用材料は、取水口から折り返し部（以下、吸引部）までがフレキシブル管（サクションホース）、吸引部は重量を持たせて主に鋼製とし、底面に天然ゴム製の不透水性のシートを配している。吸引部から排水口側は輸送管としてフレキシブル管（サクションホース）としている。また、鋼製の吸引部と取水口側のフレキシブル管の底面には管径の半分

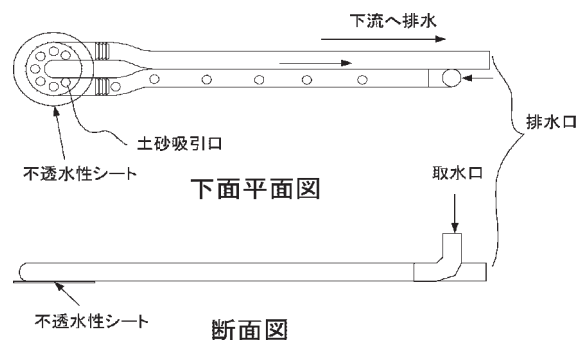


図-1 潜行吸引式排砂管の構造

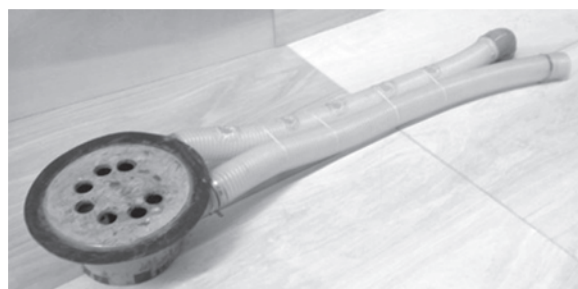


写真-1 排砂管（裏返した状況）

の大きさの穴を設けて土砂の吸引口とする構造となっている。排水口側はダム下流まで延ばすものである。

(2) 排砂メカニズム

排砂管の操作イメージを図-2に示す。まず、①平水時に排砂管を堆砂の表面に設置し、その後、②出水時に排砂管下流のバルブを開くことにより、堆砂を吸引・放流する。堆砂はすり鉢状を形成しながら吸引され、吸引部は堆砂内に潜行していく。吸引部が底面に達した後も吸引部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、③最終的には排砂管は再び堆砂の表面に現れるという仕組みにより排砂を行う。この技術は貯水池の水位と放流地点の水位差を利用して、水位差で生じる管路内の通水に伴い、吸引口から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。

3. 実験実績と室内実験結果

表-1に主な実験実績を示す。管径毎の実績を見ると、排砂可能な粒径は0.053 mm から吸引口径程度(50 mm ~ 150 mm)の大きさとなっているが、吸引口径程度の粒径が多数存在する場合は吸引性能が低下することを確認している¹⁾。また、清水時で管内流速2.3 m/s ~ 3.7 m/sが確保できれば、土砂濃度5%程度での排砂が可能な技術であることを確認している²⁾。また、管径が大きくなると時間当たりの排砂量が多くなることが見受けられる。本稿では、排砂管の室内実験を通じて得た排砂管の適用範囲を明らかとした実験を紹介する。なお、現地実験も実施しているが、実用化に向けての適用性が十分に検証できていないため、本稿での紹介は割愛する。

室内実験(表-1 ⑤)の状況を写真-2に示す。また、実験は図-3に示す水槽で実施した。排砂管は、土砂を水槽内に床板から約2.5 mの高さまで投入した

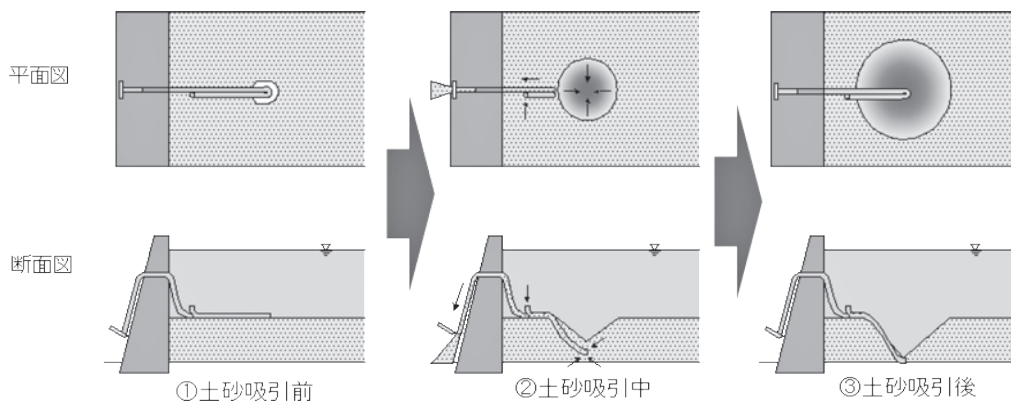


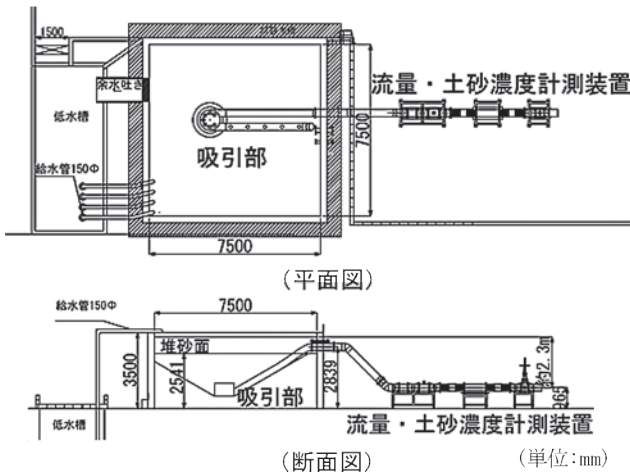
図-2 潜行吸引式排砂管の操作イメージ

表-1 主な実験実績

番号	管径	吸引口径	実施年	場所	落差	管距離	排砂可能粒径	流速 (清水)	排砂時間	排砂量 (空隙込)
①	100 mm	50 mm	H29	室内	2.6 m	約 16 m	0.053 mm ~ 3.35 mm	2.8 m/s	約 4.5 時間	約 30 m ³
②			H29	発電所沈砂池	3.2 m	約 36 m	0.1 mm ~ 50 mm (長径 80 mm)	2.3 m/s	15 分	約 1.2 m ³
③	200 mm	100 mm	H25	高滝ダム貯砂ダム	1.6 m	約 18 m	0.1 mm ~ 100 mm (長径 140 mm)	2.4 m/s	15 分	約 5.5 m ³
④	300 mm	150 mm	H26	高滝ダム貯砂ダム	1.6 m	約 18 m	0.1 mm ~ 150 mm (長径 180 mm)	2.6 m/s	2 時間	約 21 m ³
⑤			H30	室内	2.4 m	約 16 m	0.053 mm ~ 3.35 mm	3.4 m/s	約 1 時間	約 50 m ³
⑥			R1	松川砂防堰堤	11.6 m	約 70 m	0.1 mm ~ 150 mm (長径 200 mm)	3.0 m/s	7 分	約 3 m ³
⑦			R2 ~ 3	室内	2.4 m	約 16 m	0.075 mm ~ 75 mm	3.2 m/s	約 0.25 時間	約 7 m ³



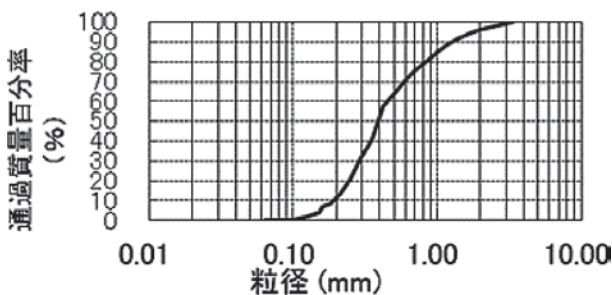
写真—2 実験中の様子



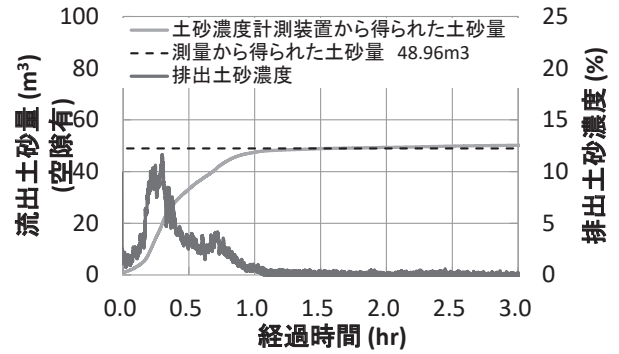
図—3 実験施設概要図

後、土砂表面上に設置した。この高さを初期河床高(吸引部深度0m)とする。排砂管と水槽外の管径300mmの塩化ビニル管を接続し、下流に流量・土砂濃度計測装置、管終端部に止水バルブ(スルースバルブ)を設置した。管終端部との水位差を約2.3m程度確保する。管終端部は水槽の床板から約1mの高さに位置し、吸引部が床板に到達すると管終端部より低くなる。土砂は図—4に示す粒径0.053mm~3.35mmで構成される平均粒径0.55mmの混合粒径砂を使用した。

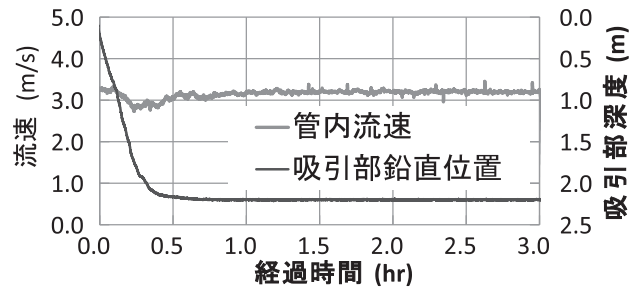
実験は図—5、6に示すように3時間行い、実験開始直後から吸引部は潜行し、概ね30分で吸引部が水槽の床板に到達した。潜行中は排出土砂濃度が上昇す



図—4 実験土砂の粒度分布



図—5 排出土砂濃度と総量の時間変化

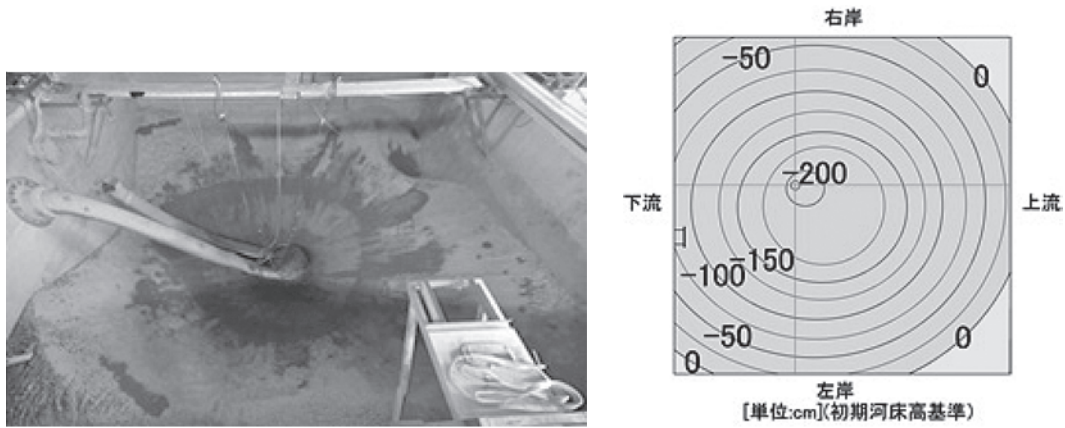


図—6 管内流速と吸引部鉛直位置の時間変化

るとともに管内流速が低下する現象が確認された。流量・土砂濃度計測装置による計測から1時間で総排砂量は50.19m³(空隙率0.4含む)となった。実験前後の水槽内の土砂の測量から総排砂量を計算し、流量・土砂濃度計測装置から計算された総土砂量と比較した。図—7に実験後の水槽内の状況と縦横断測量結果から得た河床高を示す。等高線法により求めた総排砂量は48.96m³(空隙率0.4含む)となった。2%程度の差はあるが、管径300mmの流量・土砂濃度計測装置においても精度の高い排出土砂濃度が計測できたと考えられる。また、この結果から排砂管4系統を用いて約2日間(50時間)の洪水中に運用できれば1万m³相当の土砂が排砂できることとなり、実際のダムにおける堆砂対策に活用可能な規模と考えられる。

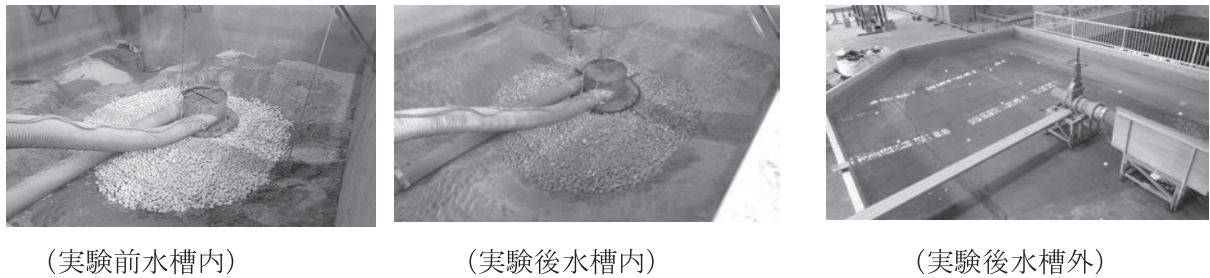
さらに、粒径・粒度分布の異なる土砂を用いて排砂が可能な粒径について確認する実験も同じ水槽で行った。図—8に実験の状況(排砂できなかったケースと排砂可能なケース(表—1⑦)の1例)を示す。また実験結果を基に図—9に排砂可否の粒度分布を示す。実験の結果、図—9に示すとおり一様粒径では20mm程度、混合粒径では0.075mm~75mm(平均粒径d_m:12mm)程度であれば安定的に排砂が可能となることを確認した。

以上の結果は、室内実験の結果で現場条件とは異なるが、排砂管の適用範囲を明らかにできた。



図一七 実験後の水槽内の状況と河床高

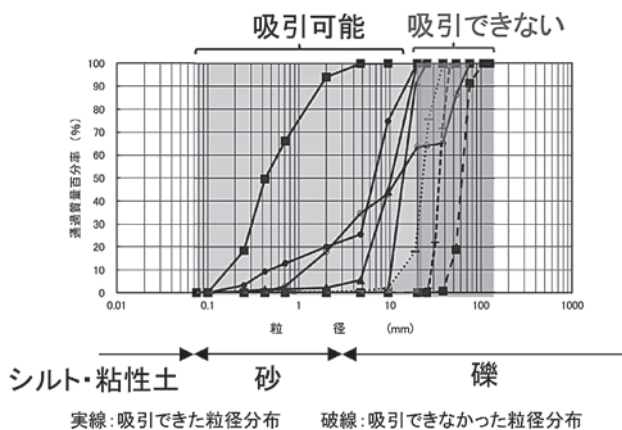
最大粒径 106mm、 $d_{61.6}61.6\text{mm}$ の実験



最大粒径 75mm、 $d_{12.2}12.2\text{mm}$ の実験



図一八 粒径別の実験前後の状況



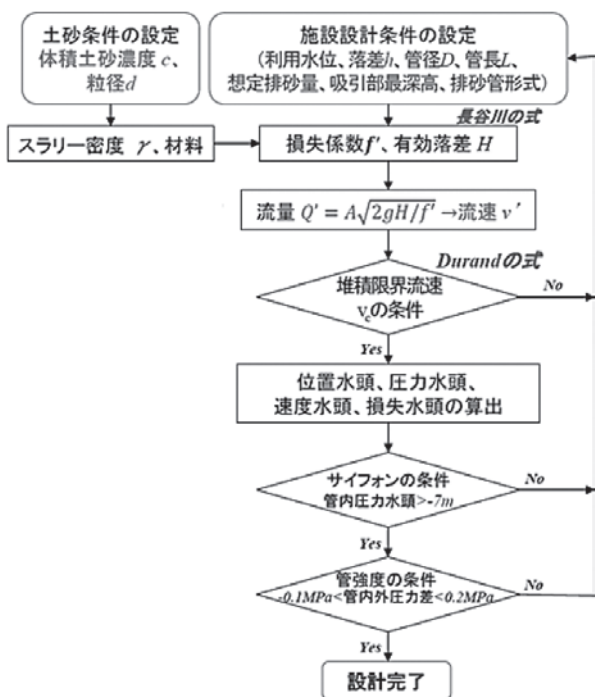
図一九 粒径別の吸引可否実験整理結果

等の情報を基に適切に設備設計を行わなければならない。これまでの実験を通じた検討から確認した施設設計の流れは図一十に示す。設備設計にあたって最も重要な事項は、適切な管内流速を設定することである。最初に使用する管径を設定し、堆砂位置等を基に管延長・水位差を想定して管内流速を算定することとなり、算定した管内流速から吸引可能な土砂粒径・土砂量（土砂濃度）・管内圧力等の確認を行う必要がある。表一に示した、これまでの実験等の結果から、目標土砂濃度を5%程度とすると、その時の管内流速3 m/s以上が必要と考えられる。一方、管内流速が大きい場合は、最高標高位置で管内圧力が低下して、排水が停止する可能性があることも留意しなければならない。なお、管径については、吸引部に接続するフレキシブル管の可撓性を考慮すると、現時点では管径300 mmを上限と想定している。

4. 排砂管の設計手法

(1) 基本的設計事項

排砂管を実際に使用するには、堆砂の位置・水位差



図一10 排砂設備設計の流れ

5. おわりに

排砂管について、室内実験の結果ではあるが、排砂能力として $50 \text{ m}^3/\text{h}$ の土砂量を、一様粒径では 20 mm 程度、混合粒径では 0.075 mm 以上最大粒径 75 mm (平均粒径 $d_m: 12 \text{ mm}$) 程度であれば安定的に排砂可能となることを確認した。また、設計手法として、管径 300 mm の配管の土砂輸送に適した流速として想定している管内流速約 3 m/s 以上を確保する方策も紹介した。

なお、現地の貯水池内堆積物は実験室の理想的な砂礫とは異なり、沈木や巨礫が混じっている。現地に適用するには、吸引前に沈木や巨礫を処理できる大成建設(株)との共同研究成果の活用等も考えられる。これについては、大成建設(株)の記事を参照いただきたい。

これまでの水理実験においては、関係者の多大なご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

JCMA

また、排砂管内の水は土砂を含むものとなり、水のみに対して重い流体となって流れていることに留意する必要がある。このため、水位差(水位-吐口標高)と管内流速の関係は、(1)式に示すとおり管内比重および吸引部標高を考慮したものとする必要がある。

$$(H_n - H_i) + \gamma(H_i - H_o) = \gamma \frac{v^2}{2g} + F\gamma \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

ここに、 H_n : 貯水位 (m)、 H_i : 吸引部標高 (m)、 γ : 管内比重、 H_o : 吐口部標高 (m)、 v : 管内流速 (m/s)、 F : 全管路損失係数、 g : 重力加速度 (m/s^2) を表す。

(2) 配慮事項

ダムでは水位差が大きいいため、管径 300 mm の配管の土砂輸送に適した流速(約 3 m/s) に対して管内流速が大きくなりすぎた場合の対応が必要となる。最も簡易に対応する方法としては、吐口部に設置したバルブの開度を小さくし、管内流速を 3 m/s の流速まで低下させることである。しかしながら、土砂を含んだものであるため、バルブ部での閉塞が想定される。このため、ダムでは、配管を途中で管径を小さく (300 mm を 200 mm に縮小) することで対応し、閉塞などの問題が生じない形で排砂する工夫を行うことが挙げられる²⁾。

《参考文献》

- 1) 土木研究所: 令和2年度研究開発プログラム報告書「12.2.3 吸引管を用いたダムからの土砂供給技術に関する研究」, 2021
- 2) 土木研究所: 令和元年度研究開発プログラム報告書「12.2.3 吸引管を用いたダムからの土砂供給技術に関する研究」, 2020

【筆者紹介】



宮川 仁 (みやかわ まさし)
国立研究開発法人土木研究所
河道保全研究グループ 水工チーム
主任研究員



石神 孝之 (いしがみ たかゆき)
国立研究開発法人土木研究所
河道保全研究グループ 水工チーム
上席研究員



高田 翔也 (たかた しょうや)
国立研究開発法人土木研究所
河道保全研究グループ 水工チーム
研究員