

# 大規模実験による潜行吸引式排砂管の開発

## DEVELOPMENT OF THE BURROWING TYPE SEDIMENT REMOVAL SUCTION PIPE BY LARGE SCALE MODEL TEST

櫻井寿之<sup>1</sup>・箱石憲昭<sup>2</sup>

Toshiyuki SAKURAI, Noriaki HAKOISHI

<sup>1</sup>正会員 工修 (独)土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>2</sup>正会員 (独)土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

By means of the dam construction, a part of the sediment transportation through the river is interrupted. Decrease of the sediment supply to downstream causes the environmental problems related to riverbed. Furthermore, the sedimentation causes the reduction of the reservoir storage capacity. Then, the sediment supply measures from the reservoir are required. Considering more detail condition and time variation of the downstream riverbed environment, it is desirable to be able to control the timing, volume and particle size of the supplied sediment. Then, we have been trying to develop the new sediment supply measures using the differential water head energy between upstream and downstream of the dam. We proposed the burrowing type sediment removal suction pipe by small scale model test. In this study, we carried out the large scale model test of the burrowing type sediment removal suction pipe. As a result, we confirmed that the original suction pipe was not able to discharge sediment to the end. We improved on the suction pipe. And it was confirmed that the improvement was proved successful by the model test.

**Key Words :** Reservoir sedimentation, sediment removal facility, suction pipe, sheet, hydraulic model test, burrowing type sediment removal suction pipe

### 1. はじめに

ダム貯水池の堆砂問題の軽減およびダム下流の河川環境の保全・改善を目的として、洪水中に適切な粒径の土砂を供給することが求められるようになってきている。

これまで、対象とする土砂量が数十万 $\text{m}^3$ /年以上となるような場合には、土砂フラッシング（出し平ダム、宇奈月ダム）や土砂バイパス（旭ダム、美和ダム）といった手法が開発され実用化されている。しかしながら、これらの手法は貯水池運用条件の制約が大きく、排砂のタイミングと量のコントロールに限界がある。また、施設が大規模で比較的成本が高い。

そこで、筆者らは、貯水位運用に与える影響が小さく、より広範囲な貯水池条件に適用可能で、ある程度土砂量をコントロールでき、かつ貯水池の上下流水位差によるエネルギーを活用した低コストの土砂排出手法の開発を試みてきている。既往の検討の結果、後述する「潜行吸引式排砂管」と称する手法を考案した<sup>1)</sup>。

既往の検討では、比較的小規模な模型により検討を実施してきたが、本検討では、実用化に向けて、土砂堆積厚の大きい大規模な装置を用いた実験により排砂特性の

検討および排砂管形状の改良を行った。

### 2. 既往検討の概要

著者らは民間企業との共同研究により、堆砂面上に底面を切り欠いたフレキシブル管を設置し、管の周辺にシートを展開する方法（「シート排砂」と称す）<sup>2)</sup>を開発してきた。しかしながら、検討を進める中で、以下のような課題が明確になってきた。①シートが大きいため排砂が進むとシートの浮き上がり、皺の発生等によって水みちができ土砂の吸引力が減少する。②土砂吸引が進むと堆砂面はすり鉢状になるが、すり鉢が大きくなってすり鉢内の崩落土砂量が多くなると取水口が土砂に埋まり管が閉塞する。③水中でのシートの展開が困難である。

これらの課題を解決するため、小規模な模型実験により、排砂の状況を確認しながらシートの形状や吸い込み口の数、管の配置等を検討した<sup>1)</sup>。排砂管のメンテナンスを考慮して排砂の過程で排砂管が堆砂面上に露出することを条件として試行錯誤を行ったが、前述の②の問題を解決することができなかった。

そこで、発想を転換して、排砂中は管が埋没すること

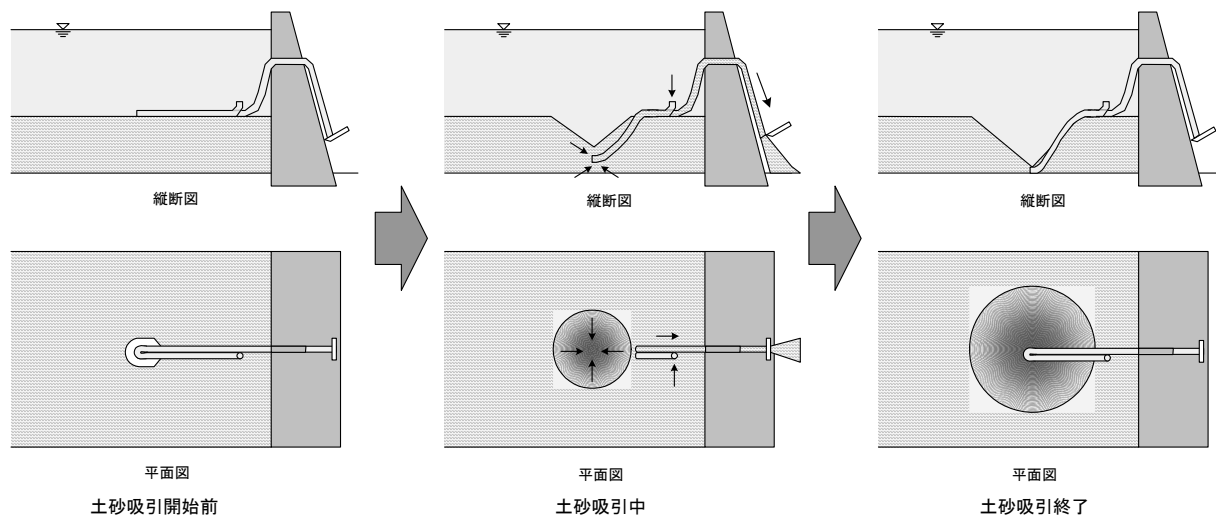


図-1 潜行吸引式排砂管の排砂プロセス

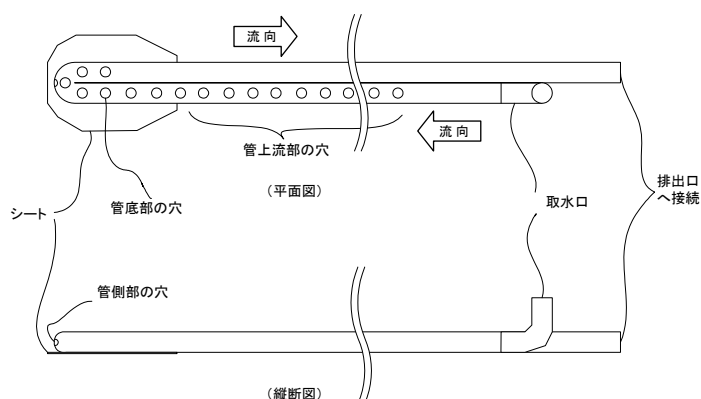


図-2 潜行吸引式排砂管の概要

を許容し、取水口については常に埋没せずに土砂濃度を制御できる装置として、後述する「潜行吸引式排砂管」を考案した。

原型の1/10～1/20程度の縮尺を想定した水理模型実験により、管径60～100mmの排砂管模型を用いて土砂堆積厚0.6～0.8mの排砂が、潜行吸引式排砂管によって、可能であることを確認した<sup>3)</sup>。本検討では、原型の1/5～1/10程度の縮尺を想定して、管径100mmの排砂管模型を用いて土砂堆積厚さが2mの条件での検討を行った。

### 3. 潜行吸引式排砂管の概要

「潜行吸引式排砂管」の排砂プロセスのイメージをに図-1、装置の概要を図-2に示す。潜行吸引式排砂管は、フレキシブル管をU字形状として一方を取水口とし、折り曲げた湾曲部の底面に不透水性のシートを貼り湾曲部の底部、側部及び上流部の管に穴を設けて土砂の吸引口とした装置である。取水口は想定される最大のすり鉢形状のさらに外側に位置する必要がある。

なお、詳細は後述するが、当初は、シートを設置した部分の管の底部を切り欠いた形状としていた。また、上流部の管の穴は設置していなかったが、検討の過程で装置の修正を行い、最終的には図-2に示す形状を得た。

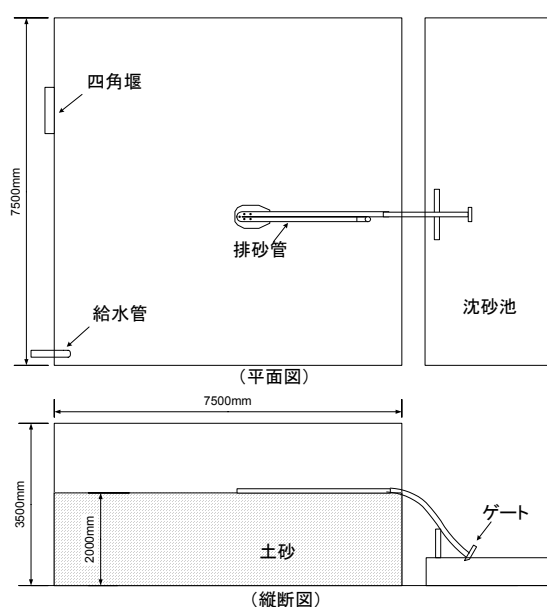


図-3 実験装置の概要

この装置で想定している排砂のプロセスは、図-1に示すように、はじめに、堆砂の上面に装置を設置して、装置の下流のゲートを開けることにより、排砂を開始し、湾曲部が次第に堆砂の中に潜行しながら土砂を吸引するものである。湾曲部が底面に達した後は、管の上部の土砂を吸引し、すり鉢形状が徐々に拡大する。管が全て土中から露出した状態で排砂終了となる。

### 4. 実験方法

#### (1) 実験装置

実験に用いた実験装置の概要を図-3、図-4に示す。実験水槽は、鉄筋コンクリート製で長さ7.5m、幅7.5m、深さ3.5mであり、水位を維持するための余水吐きおよび排砂を行うための管を設置している。水槽外の管の先端には流量調整が可能なゲートを設けている。

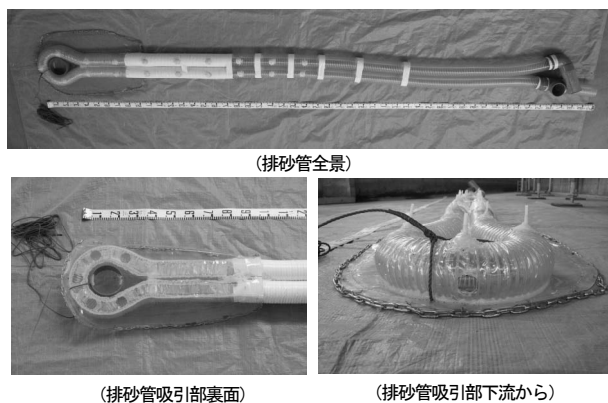


図-4 排砂管の模型及び実験水槽の概要

## (2) 実験手順

実験の手順は、はじめに水槽内に土砂を所定の厚さに整形し、初期河床の上に排砂管を設置する。その後、一定流量を給水し余水吐きからの越流によって水位を保つ。その後、排砂管の下流端のゲートを開けて排砂を実施して、水槽内の水位、排砂管内の圧力、流砂量、流況等の調査を行った。

## (3) 実験条件

排砂管の内径を 100mm、土砂の体積厚さを 2m とした。実際に用いる管径を 0.5～1.0m と想定した場合、模型の縮尺は 1/5～1/10 に相当する。大規模実験の土砂材料には混合粒径砂を用いており、その粒度分布を図-5 に示す。図には、入手した土砂からサンプリングした 3 つの試料の分析結果とその平均値を示した。これより、試料によるばらつきはほとんど無く、50%粒径は 0.39mm で、0.1mm～2mm の砂で構成されている。

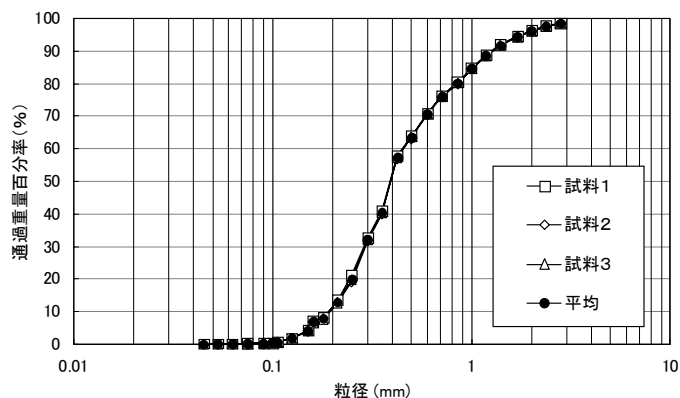


図-5 実験に用いた土砂の粒度分布

表-1 実験条件と実験結果の概要

| ケース | 実験条件                                |                  | 実験結果概要         |                         |          |                  |                  |
|-----|-------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------|------------------|------------------|
|     | 排砂管形状                               | ゲート開度 (%)        | 流量 (終了時) (L/s) | 管内流速 (円形断面) (終了時) (m/s) | 通水時間 (分) | 排出土砂量 (空疎込) (m3) | 体積土砂濃度 (最大値) (%) |
| 1   | 湾曲部底部の切り欠き有り<br>湾曲上流部の穴無し           | 適宜変更<br>(最大35%)  | 8.64           | 1.10                    | 1420     | 7.1              | 9.3              |
| 2   | 湾曲部底部の切り欠き無し<br>湾曲上流部の穴あり<br>管長約8m  | 40%              | 12.16          | 1.55                    | 720      | 14.8             | 11.3             |
| 3   | 湾曲部底部の切り欠き無し<br>湾曲上流部の穴あり<br>管長約10m | 適宜変更<br>(最大100%) | 11.52          | 1.47                    | 600      | 16.0             | 9.4              |
|     |                                     |                  |                |                         |          |                  | 5%程度             |

実験では、当初は排砂の可能性を検討する目的で実施したため、固定した実験条件ではなく、排砂状況に応じて、適宜、ゲート開度の調整や開閉、管を人為的に振動させる等の行為を行った。ここでは、代表的な 3 ケースの実験について報告する。実験条件と結果の概要を合わせて表-1 に示す。

## 5. 実験結果

### (1) ケース 1 の実験結果と新たな課題

ケース 1 の実験結果のゲート開度と流量、排砂量、体積土砂濃度の時間変化を図-6 に、排砂後に水位を下げた状態の河床形状を図-7 に、排砂後の河床形状を図-8 に示す。なお、体積土砂濃度は、採取した水と土砂について「土砂体積/(水体積+土砂体積)」から算定しており、土砂体積に空隙は含んでいない。

ケース 1 では、既往の小規模実験の形状を参考に、湾曲部の管底面には切り欠きを設置し、湾曲部上流部の管には穴を設けていない。

ケース 1 の結果では、土砂濃度のピークは、実験開始 43 分後に、ゲート開度 25%の時に約 9.3%となった。実験開始 105 分後に排砂管が水槽の底に達し排砂量の減少がみられた。

なお、330 分程度までは、排砂管内に空気溜まりが発生し、ゲート開度を小さくして空気抜きをする作業を繰

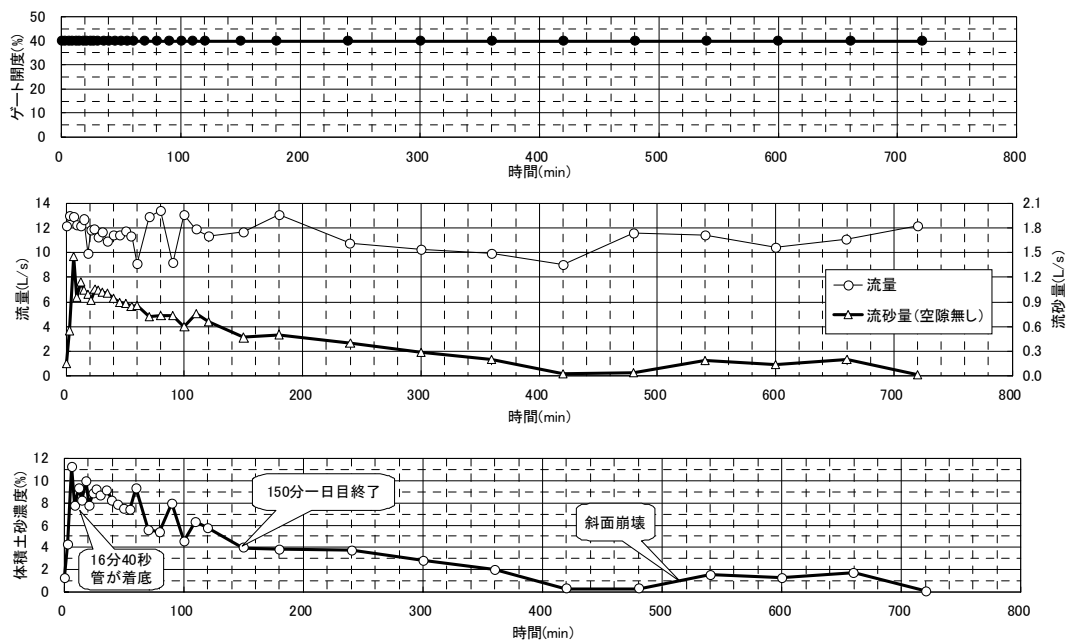


図-6 ケース1の実験結果 (流量、流砂量、体積土砂濃度)

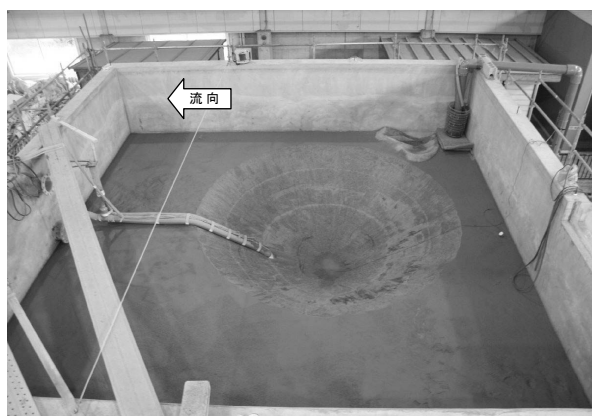


図-7 排砂後の河床形状 (ケース1)

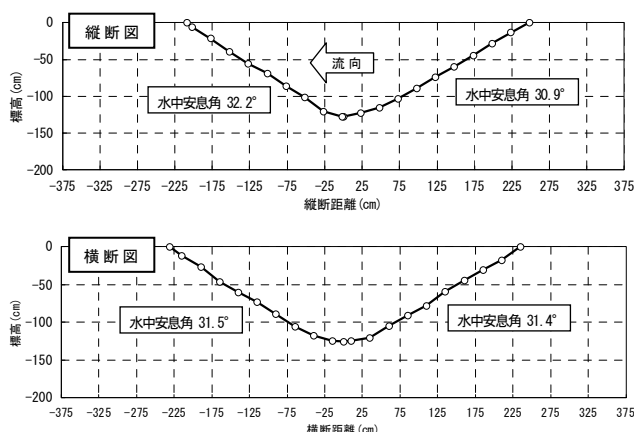


図-8 排砂後の河床形状 (ケース1, 最深部基準)

り返す必要があった。これは、初期の堆砂形状を整形する際に、土砂中の空気が十分に抜けていないことにより、土砂の吸引口から土砂中の空気を吸い込んだことが原因と考えられる。実際の堆砂では、水中で砂礫が流送されて堆積する場合には、空気の混入は少ないと考えられる。しかしながら、有機物の分解によるガスの発生や、土砂崩壊などによる堆積などでは、空気が土砂中に存在する可能性もあり、空気抜き対策を考慮しておく必要がある。

330 分以降では、特に空気溜まりの問題はみとめられなかったにもかかわらず、土砂濃度が極端に薄くなり、ほとんど土砂が排出されなくなった (このとき水は放流されていた)。そこで、湾曲部に付けた紐を用いて、管を上下に動かして振動を与えた。その結果、排砂が再開され、しばらく継続したが、また土砂濃度が小さくなり、再度振動を与えるという作業を繰り返した。最終的には、振動を与えても、ほとんど土砂が出なくなり、1425 分後に実験を終了した。

排砂後の河床形状は、すり鉢状になっており、排砂量 (空隙込み) は約  $7.1\text{ m}^3$  であった。当初の想定では、

すり鉢の深さを  $1.9\text{ m}$  程度と想定していたが、実験結果は  $1.3\text{ m}$  弱であり、吸引部 (湾曲部) の上方に  $0.6\text{ m}$  程度の土被りがあるにもかかわらず、土砂が吸引できなかった。ケース1以外にも実験を実施したが、想定した排砂は達成できなかった。この原因として、土砂中の塵芥による吸引口の閉塞、土砂中で吸引口の周りに空間ができて、土砂のアーチアクションで空間が維持され、空間の壁面に作用する吸引力が小さくなり土砂が吸い込めないこと等が考えられたが、特定できなかった。

## (2) 課題を解決するための改良

予備実験により、吸引口の土被りが小さい場合には、上述の様な現象が生じないことが確認されたため、課題を解決するために、湾曲部が潜行しても、土被りが小さい位置に土砂の吸引口が常に存在するように湾曲部の上流部の管に一定の間隔で穴を設ける改良を考案した。これがケース2の形状である。また、他の予備実験の結果から、管を切り欠くとフレキシブル管の強度が不足する場合があったことから、湾曲部底部の切り欠きについて

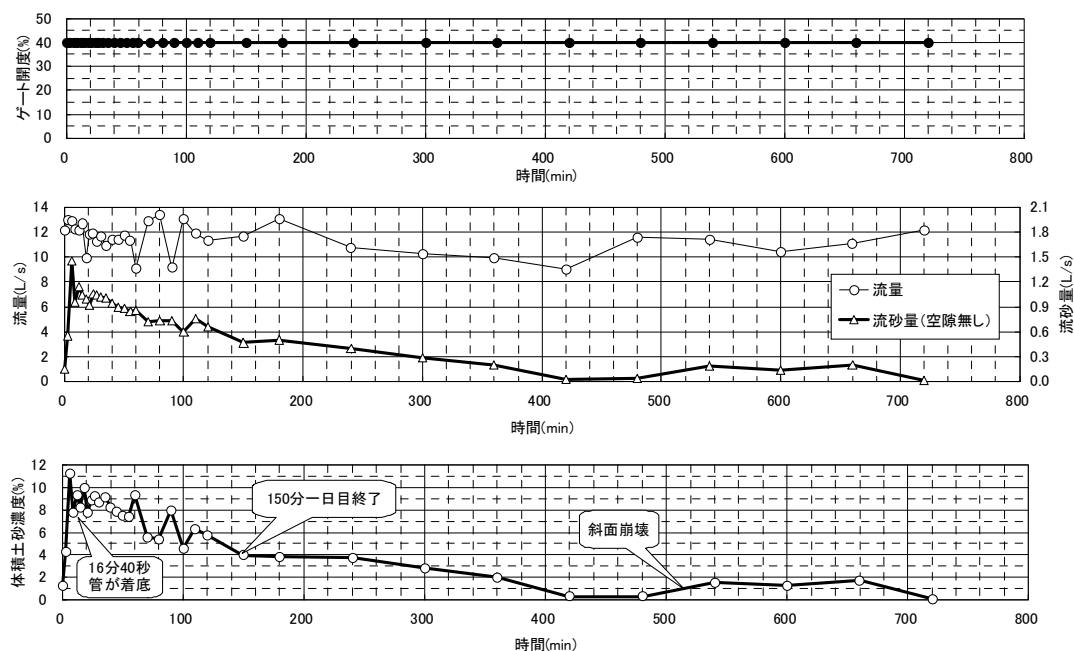


図-9 ケース2の実験結果（流量、流砂量、体積土砂濃度）



（排砂管の設置状況、給水前）

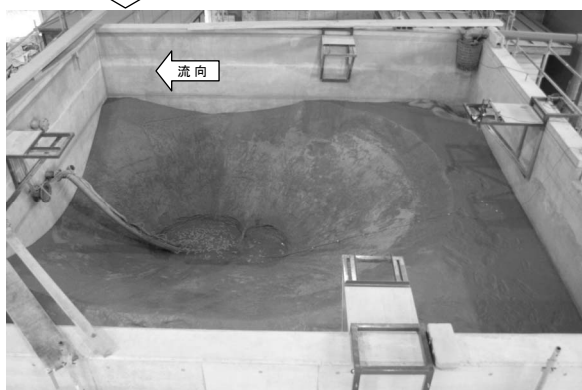


図-10 排砂前後の河床形状（ケース2）

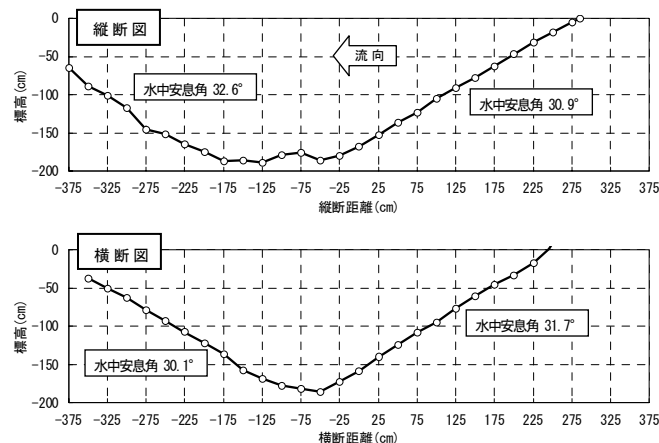


図-11 排砂後の河床形状（ケース2）

排砂を開始したが、再起動も問題なくできた。通水時間400分後ぐらいに一度土砂濃度が低下したが、すり鉢の斜面が崩壊すると、再度土砂濃度が上昇した。ちなみに、斜面の崩壊は、土砂中の気泡の発生から把握した。その後、洗掘深が1.9m程度になり、土砂濃度が薄くなったところで通水時間720分にて終了した。その後、排水して河床形状を確認すると、湾曲部の先端が土砂から出ている状態で、想定通りの排砂が達成できた。

ケース3では、湾曲部が底面に到達した後に、管内流速と土砂濃度の関係を調べる目的でゲート開度を変化させた。ゲート開度の変化は、排砂の序盤と終盤の2回実施し、変化させない場合は40%とした。

ケース3の実験結果のゲート開度と流量、排砂量、体積土砂濃度の時間変化を図-12に、ゲート開度を変化させた場合のゲート開度と管内流速の関係を図-13に、管内流速と体積土砂濃度の関係を図-14に示す。

図-13より、ゲート開度40%以下では、排砂の序盤、終盤に関係なく、ゲート開度と管内流速の相関が高い。

も無くした。

ケース2の実験結果のゲート開度と流量、排砂量、体積土砂濃度の時間変化を図-9に、排砂後に水位を下げた状態の排砂前後の河床形状を図-10に、排砂後の河床形状を図-11に示す。

ケース2の結果では、土砂濃度のピークは、実験開始約17分後に、11.3%となった。150分後に初日の実験を終了し、ゲートを全閉にした。翌日にゲートを開けて

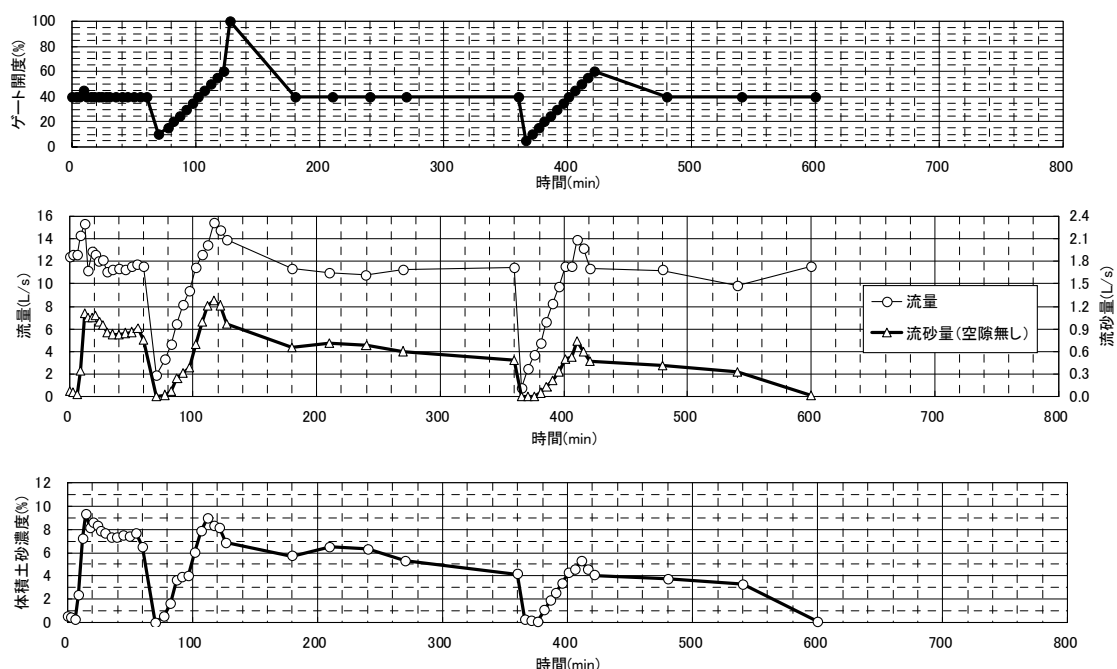


図-12 ケース3の実験結果（流量、流砂量、体積土砂濃度）

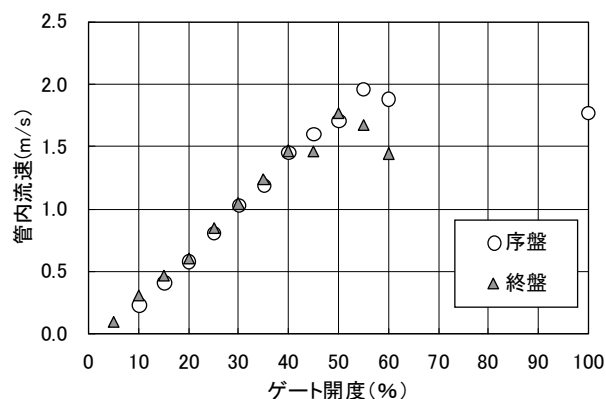


図-13 ゲート開度と管内流速の関係（ケース3）

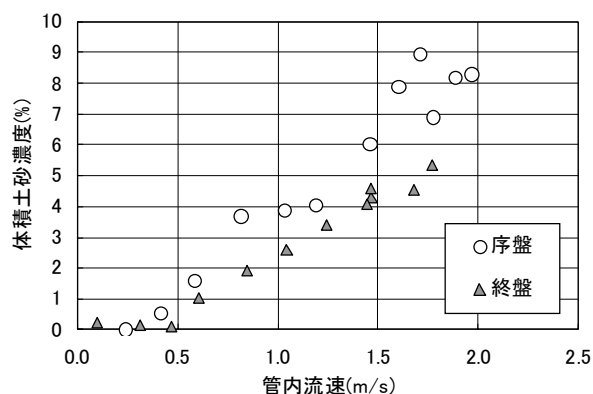


図-14 管内流速と体積土砂濃度の関係（ケース3）

ゲート開度 40%以上では差が生じ、ゲート開度が増加しても管内流速が増加しなくなる。これは、今回の実験条件では、これ以上のゲート開度では、支配断面がゲートから離れて上流の管内に移ってしまうためである。

図-14 より、管内流速が 0.4m/s 程度より小さいと、土砂が輸送されないことがわかる。また、それ以上の流速では、ややばらつきがあるものの、流速と土砂濃度の相関は高い。ただし、序盤と終盤では、傾きが異なってお

り、管の土被りが小さくなる終盤の方が、土砂濃度は小さくなる傾向が認められる。

なお、ケース3においても、問題なく想定した排砂を完了することができた。

## 6. おわりに

比較的大規模な水理模型実験による潜行吸引式排砂管の検討において、以下の知見が得られた。

- 1) 排砂管内への空気混入に留意する必要があることを確認した。
- 2) 当初考案した排砂管の湾曲部のみに穴を設けた形状では、湾曲部着底後に土砂吸引ができなくなる新たな課題を把握した。
- 3) 湾曲部上流部の管に穴を設置することで、上記の課題を解決し、排砂が達成できることを確認した。
- 4) 大規模模型実験において、排砂特性及び管内流速と土砂濃度の関係を把握した。

今後は、排砂管のエネルギー損失や装置の維持管理方法等の検討を行い、実用化に向けて研究を進めていきたい。

## 参考文献

- 1) 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.
- 2) 櫻井寿之, 柏井条介, 久保康夫: シートとパイプを用いた排砂装置, 土木技術資料, Vol. 48 No. 12, pp. 30-35, 2006.
- 3) 櫻井寿之, 箱石憲昭: 潜行式吸引排砂管の模型実験による検討, 土木学会第65回年次学術講演会, II, pp. 17-18, 2010.

(2011. 5. 19受付)