

環境に配慮したダムからの土砂供給施設の開発及び運用に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水工研究グループ（水理）

研究担当者：箱石憲昭、宮脇千晴、宮川仁

【要旨】

ダムが土砂を捕捉することにより、下流の河床の粗粒化など河床環境への影響が懸念されており、出水中にできるだけ自然に近い状態でダムから土砂供給することが求められている。また、想定を超える堆砂の進行により、恒久的堆砂対策が必要なダムがあるが、実用化されている排砂設備や土砂バイパスは適用条件が限られ、貯水池運用を変更せずに排砂する技術が求められている。さらに、堆砂対策は現在問題となっていないダムにおいても将来必ず直面する課題である。

そこで、本研究では、これまでに実用化されていない、貯水位を低下させずにダム堆積土砂を適切な量と質に制御しつつ下流へ供給可能な施設を開発すること、及び開発した施設によりダム下流河川の環境を回復させるための運用方法を提案することを目的としている。

26年度は、過年度に実施した潜行吸引式排砂管の検討の規模を大きくして、実際のダム貯水池内において、実証試験を実施し、実用化に向けた検討を行った。

キーワード：ダム貯水池、堆砂対策、潜行吸引式排砂管、現地実証試験

1. はじめに

ダムが土砂を捕捉することにより、下流の河床の粗粒化など河床環境への影響が懸念されており、出水中にできるだけ自然に近い状態でダムから土砂供給することが求められている。また、想定を超える堆砂の進行により、恒久的堆砂対策が必要なダムがあるが、実用化されている排砂設備や土砂バイパスは適用条件が限られ、貯水池運用を変更せずに排砂する技術が求められている。さらに、堆砂対策は現在問題となっていないダムにおいても将来必ず直面する課題である。

そこで、本研究では、これまでに実用化されていない、貯水位を低下させずにダム堆積土砂を適切な量と質（粒径）に制御しつつ下流へ供給可能な土砂供給施設を開発すること、及び開発した土砂供給施設によりダム下流河川の環境を回復させるための運用方法を提案することを目的としている。

23年度には、22年度までの重点プロジェクト研究において提案した「潜行吸引式排砂管」¹⁾²⁾について、管径200mmの排砂管を用いた室内実験により、実際の装置に近い規模での排砂特性を把握した。24年度には、現地実証試験のための改良を行い、管径200mmの「潜行吸引式排砂管」による小規模堰堤での排砂試験を実施した³⁾。

25年度は、24年度までの知見を基に、さらに「潜行吸

引式排砂管」を改良、実際のダム貯水池内において、管径200mmの排砂管を用いた現地実証試験を実施し、比較的小さな水頭差においても、自然堆砂を排砂可能であることなど、実用化に向けて参考となる知見が得られた一方、塵芥の集積による土砂の吸引停止の課題も明らかとなった。

26年度は、25年度までの知見も基に、塵芥の集積による土砂の吸引停止の課題についての基礎的な検討を行うとともに、管径300mmの排砂管を用いた排砂実験を実際のダム貯水池内において実施し、潜行吸引式排砂管の有効性を確認するとともに、水理特性と実用化に向けた管理・運用に係る検討を行った。

なお、「潜行吸引式排砂管」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等に穴を設けて土砂の吸引口としたもので、平成25年7月には、22年度までの重点プロジェクト研究において提案した「潜行吸引式排砂管」が特許として登録（特許5305439号）され、平成26年8月には、改良を重ねた現在の検討形状とほぼ同様の形状が特許登録されている（特許第5599069号）。

2. 潜行吸引式排砂管の設計手法の検討

2.1 潜行吸引式排砂管の塵芥対応能力の基礎的検討

2.1.1 実験方法

24年度までの検討では、実際の貯水池内の堆砂を含めて、ほとんど塵芥を含まず、粘着性のない砂礫については土砂吸引・排砂が可能であることを確認している^{1)~5)}。しかし、25年度の検討において、堆砂内部に存在する、塵芥層（密に沈降、集積した落葉が上部の堆砂により圧密されたと考えられた葉の層）による潜行吸引排砂の停止現象が確認され、現形状での塵芥に対する適用の限界が明らかとなった⁶⁾。

そこで、平成26年度においては、現形状での排砂管の塵芥への対応能力を明らかとするための基礎的検討を行った。具体的には、水理実験施設内における実験水槽において、φ100mmの潜行吸引式排砂管による模型実験を実施して検討を行った。実験に用いた装置を図-1に示す。実験水槽は、長さ4.5m、幅2.5m、深さ1.3m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（内径100mm）を設置している。また、水頭差は、25年度に実施した現地実験時の1.6mを概ね確保した。水槽外の管には、流量計測のための電磁流量計と先端には流量調整が可能なゲートを設けた。また、放流先には沈砂池と、塵芥模型を容易に捕捉・計測できる塵芥採取箱を設置した。また、実験にはφ100mmの排砂管（図-2）を用い、排砂管の潜行深度および傾斜角を計測できるように吸引部上部の4か所（図-2左写真の赤印の位置）には小型のメモリ式水位計（大起理化学工業製、ダイバー水位計）を設置した。また、塵芥層とみなす模型は、落葉は単体であれば吸引容易と考えられるが、現地実験では密に集積、圧密されていたこと、また、排砂管の塵芥への対応能力を定量的に示すことが必要であると考え、便宜的にケミカルウッド板（比重1.1）を図-3のように10mm×10mm×50mmの大きさに裁断して、作製した。

実験の手順は、まず、初期河床作製のため、水槽内に土砂を厚さ0.8mに整形する。その際、堆砂内に1層の塵芥模型を河床-20cmまたは表層に塵芥層として配置した（図-4は表層配置の例）。この後、排砂管を河床面に設置して、一定流量（45L/s）を給水し余水吐きからの越流によって水位を保ちながら、排砂管の下流端ゲートを開けて排砂を実施、管内流速、塵芥排出量、潜行深度、吸引部傾斜角度を調査した。なお、実験開始時には、正時にゲート開度が全開となるようゲート操作を行い、実験中は常に全開とした。また、土砂材料はこれまでの実験で使用した平均粒径1.56mmの1様粒径珪砂を用いた。

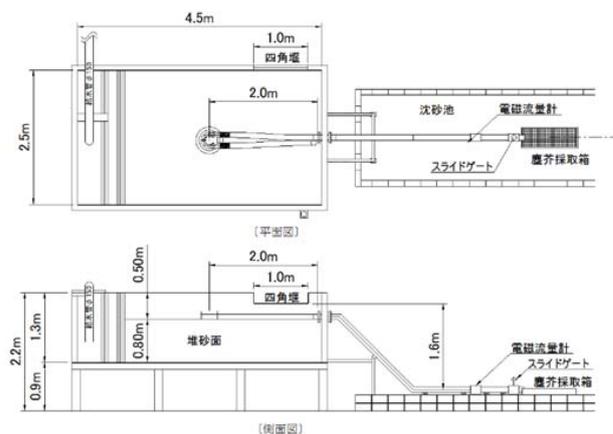


図-1 実験装置概要図

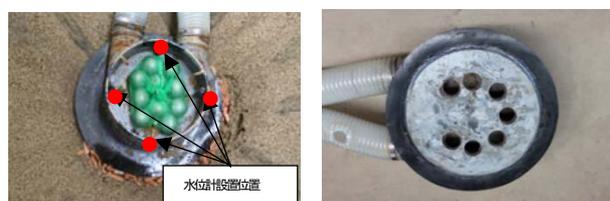


図-2 φ100mm模型吸引部（直径300mm，吸引口7個φ50mm，重量30kg）



図-3 塵芥模型（ケミカルウッド10mm×10mm×50mm 比重1.1）

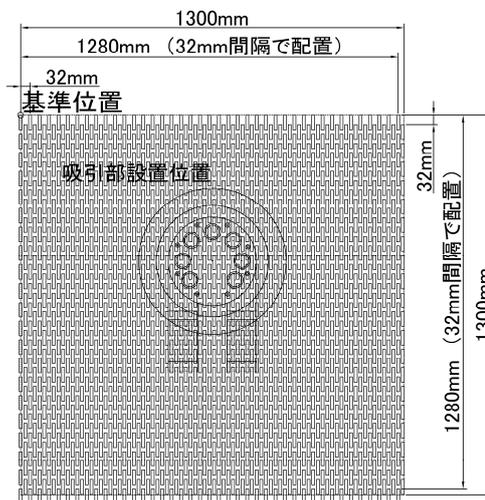


図-4 塵芥模型設置図（ケース3の例、1764本）

2.1.2 実験結果

実験ケースの一覧と結果を表-1、図-5、図-6に示す。実験ケースの設定では、まず、現地実験の結果を再現できるかという観点で河床-20cmの場所に1.0m×1.0mの面積に塵芥模型を全て敷き詰めて（専有面積率100%と定義）検討した（ケース1）。その結果、吸引部が塵芥模型の

表-1 塵芥模型実験のケース一覧と実験結果

| ケース | 塵芥模型専有面積率 | 塵芥模型使用本数 | 塵芥層設置位置 | 排砂の可否 |
|------|-----------------------------------|----------|---------|-------|
| ケース1 | 100% (1.0m×1.0m) | 1950 | 河床-20cm | 停止 |
| ケース2 | 75% (1.0m×1.0m) (ケース1の塵芥露出部のみ) | 1899 | 河床-20cm | 成功 |
| ケース3 | 50% (1.3m×1.3m) | 1764 | 表層 | 停止 |
| ケース4 | 50% (1.0m×1.0m) | 992 | 河床-20cm | 成功 |

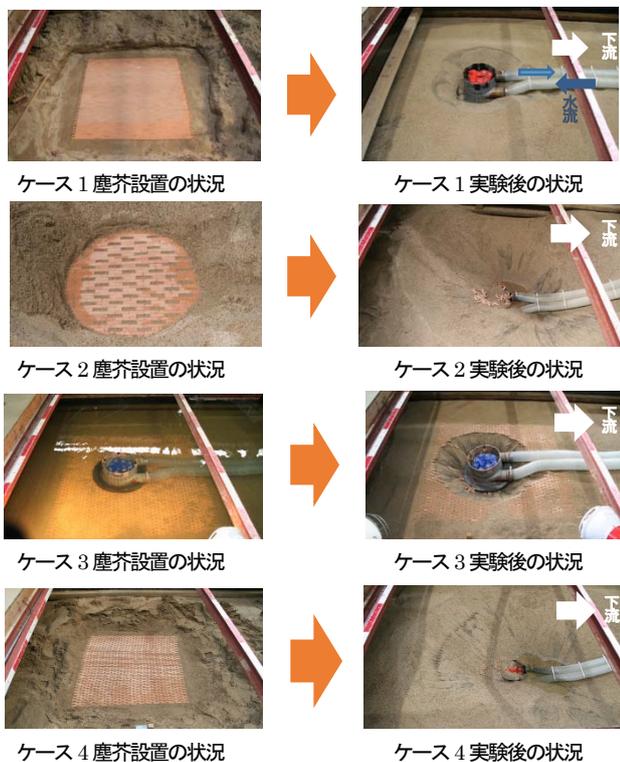
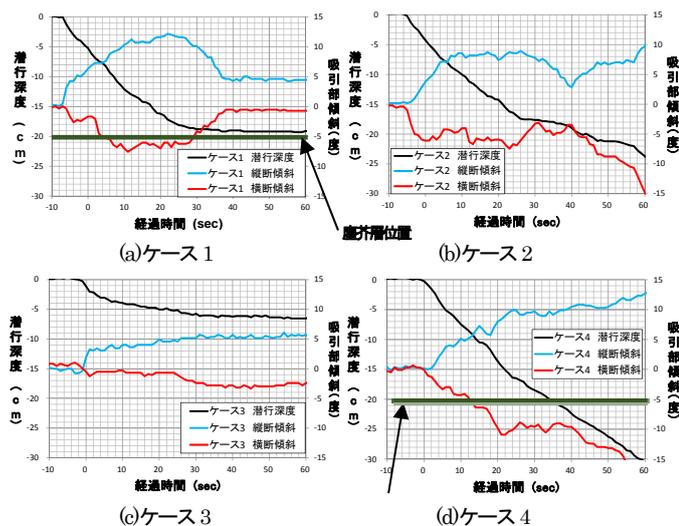


図-5 各ケースの塵芥模型設置状況と実験後の状況



注：縦断傾斜の+は上流側への傾き、横断傾斜の+は右岸側への傾きを示す。

図-6 各ケースにおける潜行深度と吸引部傾斜の時間変化

設置位置で停止、塵芥模型は下流へ全く排出されず、水流上流部の取水口では吸い込み渦が発生し、吸引口の閉塞が示唆され、現地実験結果と同様の現象が確認された。次に、排砂管の塵芥への対応能力を検討するため、ケース1の実験後の塵芥模型の露出箇所を専有面積率75%に減少させて埋戻し検討した(ケース2)。その結果、塵芥模型設置位置付近において潜行速度が低下(図-6(b))したが、吸引部は塵芥層を突破、潜行吸引排砂が継続して行われた。次に、表層に塵芥層が存在する場合の検討を行った(ケース3)。なお、塵芥設置の作業能率から専有面積率は50%とした。その結果、145本の塵芥模型が下流へ排出したものの、深度が7cm程度で排砂は停止し、吸引部下面は塵芥模型が鳥の巣状に密集していた。次に、河床-20cmに専有面積率を50%で検討を行った(ケース4)。その結果、吸引部は塵芥模型設置位置を突破、潜行吸引排砂が継続して行われた。

以上から、塵芥の密集度によって吸引能力に限界があること、同じ専有面積率(50%)でも潜行吸引排砂が可能な場合と不能となる場合があることがわかった。さらに、図-6の縦断傾斜と横断傾斜に着目すると、ケース4では塵芥層突入時の縦断傾斜は10度程度、横断傾斜は-10度程度に対し、ケース3では最大でも縦断傾斜は5度程度、横断傾斜は-4度程度となっており、吸引部を傾斜させれば塵芥への対応能力が高まることが示唆された。

3. 現地実証試験

3.1 現地実証試験の準備

現地実証試験は25年度と同様に千葉県が管理する養老川の中流部にある高滝ダムの貯水池内の日竹貯砂ダムにおいて、準備期間を含めて2014年11月24日~11月30日の間に管径300mmの排砂管を用いて実施した^{7),8)}。潜行吸引式排砂管を用いた排砂装置の実用化のためには、関係者との合意形成や装置の設置のための事前の検討・知見も重要となる。そこで、今回の現地実証試験における準備状況をまず記載する。

① 関係者との合意形成

高滝ダム^{9),10)}は、2級河川の養老川水系養老川に平成2年に21年の歳月をかけ、373億円、180haの用地買収、110戸におよぶ家屋移転という多大な地元協力により建設された。洪水調節、流水の正常な機能の維持(不特定用水)、水道水の確保を目的とする、堤高24.5m、堤頂長379m、総貯水容量1,430万m³(うち、有効貯水容量1,250万m³)の多目的ダムである。貯水池は農業用水の取水、ワカサギやアユの漁場、観光としても利



図-7 日竹貯砂ダム (H25 実験時状況)

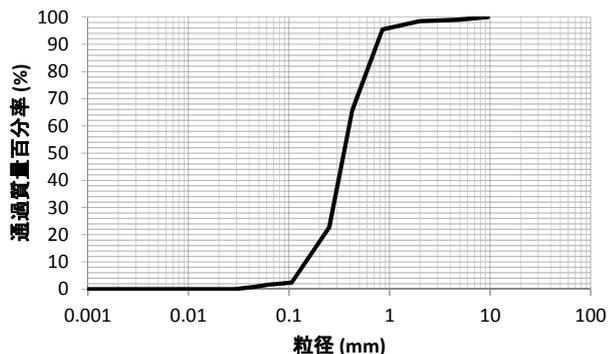


図-8 河床土砂粒度分布図

用されており、地域にとって重要な資源、財産となっている。一方、高滝ダムでは、近年、年約 10 万 m^3 の土砂が貯水池に流入し、堆砂対策がダムを管理していく上で、重要となってきており、現在、貯水池内で堆砂の掘削を行うとともに、現地実証試験を実施した貯砂ダムを含む 2 基の貯砂ダムを設置するなどの総合的な堆砂対策を進めている。

現地実証試験を実施した日竹貯砂ダムは図-7 に示す施設であり、高さ 3.2m、堤頂長 82.1m で、平水時には、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。この現地実証試験にあたって、まず、千葉県河川整備部、千葉県市原土木事務所、高滝ダム管理事務所に現地実証試験の内容をご説明し、趣旨に賛同、現地実証試験の実施についてご理解をいただいた。また、併行して、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ていることから、養老川漁業協同組合、加茂土地改良区へも実験の目的、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。これらの手続きを終えて、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。

② 装置設置のための事前検討

①の作業と併行して、数回にわたり日竹貯砂ダム周辺の事前の現地調査等を行った上で、現地実証試験のため

の実験計画を検討・立案し、試験サイトへ関係機材を設置した。

1) 事前調査

まず、日竹貯砂ダムにおける流況、堆砂状況、構造等に関する情報や、試験サイトへ安全かつ確実に関係機材を運搬できるのかといったアクセス性に関する情報の収集を現地調査により行った。

貯砂ダムは高滝ダム貯水池への堆砂流入を軽減させる目的で設置されており、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、堆砂を掘削、搬出している。このため、高滝ダム管理事務所のヒヤリングや堆砂の表層を調査したところ、現地における柱状サンプリング調査から貯砂ダムの堆砂は、礫分はほとんどなく、落ち葉が含まれていたものの、図-8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。これまでの実験から適当な土砂が堆積しており、十分土砂の吸引が可能と考えられた。

また、事前調査では、日竹貯砂ダムにおける河道内状況及び搬入路の状況について確認を行った。

河道内の状況把握のために、貯砂ダム上流側（貯砂ダムから5m間隔で上流30mの範囲）の水深を計測した。図-9には貯砂ダム上流15m地点での横断測量図の例を示す。また、横断測量の結果を踏まえた平面図を図-10に示す。また、高滝ダム管理事務所のヒヤリングから得られた、平成25年度に実施した排砂工事直後の河床形状も図-9に示す。これら調査から、水深は概ね1.0m以内であり、部分的に1.0mを越える箇所が存在している。また、平成25年度貯砂ダム維持浚渫直後の河床から概ね1.0~1.5m程度の土砂が堆積していることを確認した。

搬入路となる貯砂ダム右岸側へのアクセス路は、図-11の示すように、草木が繁茂しており、運搬車両の通行が困難となっていた。また、実験準備及び実験時に使用するラフタークレーンの配置箇所を予定した貯砂ダム右岸側は図-12に示すとおりであり、15cm程度の厚さで土砂が堆積していることを確認した。

以上から、平成25年度の管径200mmの試験の経験を踏まえながらも、貯砂ダムに十分な落差があること、貯砂ダムへの重機のアクセスは容易であること、また、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たことから、現地排砂実験場所に選定することとし、除草や土砂の撤去などの実験場整備を行った上で実験計画を立案することとした。

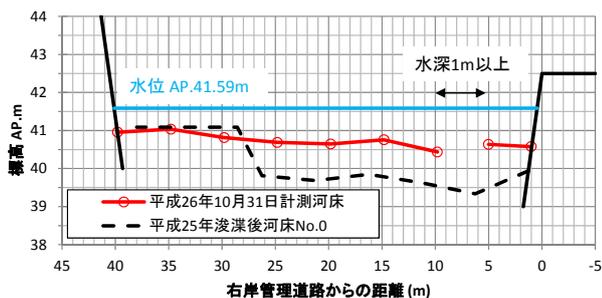


図-9 河床横断図例 (貯砂ダム上流15m地点)

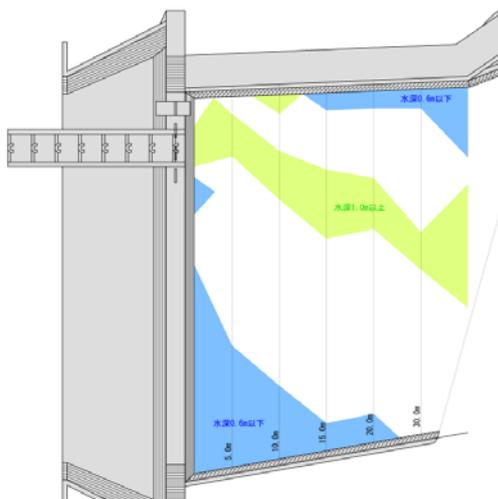


図-10 貯砂ダムの水深分布



図-11 搬入路の状況



図-12 貯砂ダム右岸の状況

2) 実施計画の立案

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実施計画の立案、準備状況を記載する。

1) の現地の状況を踏まえ、現地実証試験のための実施計画（排砂管の設計及び実験計測計画）を検討した。具体的には、平成 25 年度に実施した管径 200mm の実験形状を図-13～図-15 に示すとおり、相似形で製作し、実験することとした。また、図-16～図-18 に示すとおり、貯砂ダム上流部の吸引部を 25t ラフタークレーンにより吊り下げながら堆砂面に設置して実験を実施するとともに、貯砂ダムを削孔することができないことからサイフォンを形成させて、ダム下流への排砂を行う型式とし、実験計測機器として、アクリル管、電磁流量計、ゲートバルブ等を設置する実施計画を検討した。この上で、吸引位置を選定することとし、今回の現地実証試験では、管路長（20m と 28m）をパラメータとして、吸引位置 4 地点で実験を行うこととした。なお、調査地点の選定にあたっては、以下の事項に留意して地点を選定した。

- ・河道内の作業性及び安全性を考慮して、水深 1.0m 以内の箇所とする
- ・ラフタークレーンにより吸引部を安全に操作可能な範囲とする
- ・河床形状を評価するため、各ケースの排砂面が重複しない箇所とする

試験時に吸引部やサクシオンホースにより、25t ラフタークレーンに作用する重量を想定しながら、実験ヤードの水深も踏まえて、図-19 に示す 4 地点を選定した。

3) 関係機材の設置

2) の検討を基に関係機材を現場へ設置することとした。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トラック 3 台で運搬した。なお、管径 300mm の吸引部の重量は 700kg、管路部となるサクシオンホースが 1 本 4m で約 60kg であった。これらを 25t ラフタークレーンにより貯砂ダム右岸側から貯水池内につり込んだ。装置の設置手順は、まず、図-17 に示す土砂輸送部（硬質塩化ビニール管、電磁流量計（管内流速計測）、止水バルブ（流量調整）、アクリル管（管内流況確認）で構成）を貯砂ダムに固定した後、潜行吸引式排砂管（主に吸引

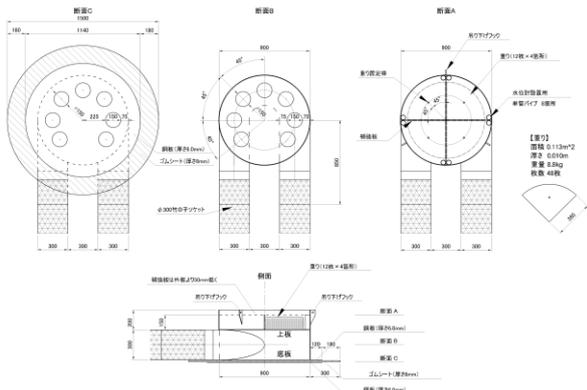


図-13 吸引部形状 (φ300mm)

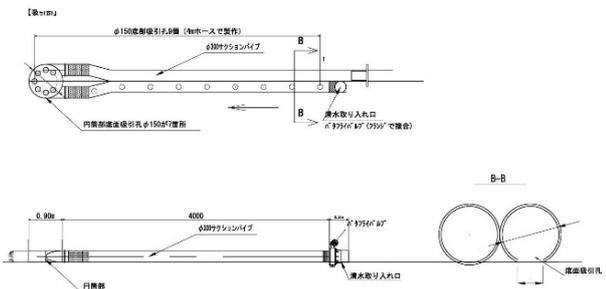


図-14 実験時排砂管全体形状 (φ300mm)



図-15 吸引部写真 (φ300mm)

部は鋼製、その他は繊維補強ポリ塩化ビニール樹脂管(質量 15.5kg/m、許容圧力 0.1MPa、許容曲げ半径 2400mm で構成)を土砂輸送部に連結した。この後、25t ラフタークレーンで吸引部を少し吊り、水中に配置した上で、徐々に排砂管全体の管内を満水にした後、土砂輸送部も充水し、貯砂ダムの天端は、真空ポンプにより排気口から空気を抜いて管内を満水にし、ダム頂部の管を真空に近い

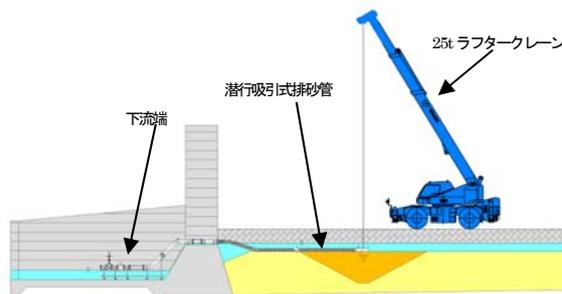


図-16 排砂実験時装置全体図

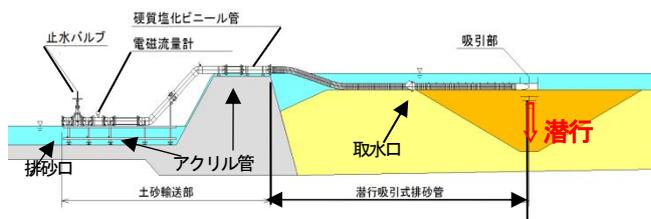


図-17 排砂実験装置全体図 (φ300mm)

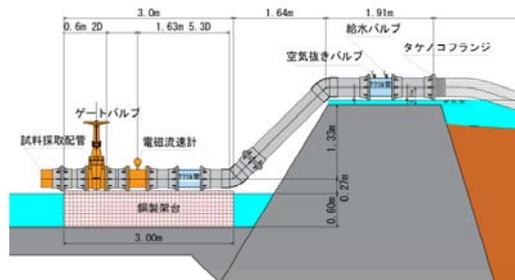


図-18 実験装置詳細図 (下流端部)

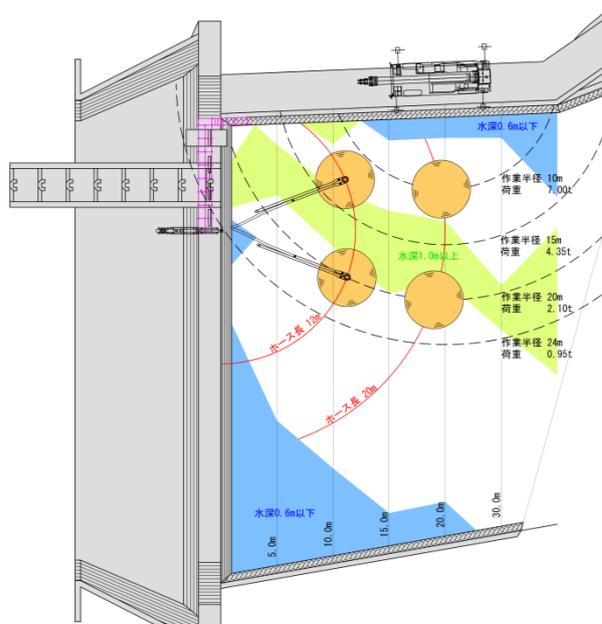


図-19 吸引計画地点



図-20 試験準備途中の出水状況（排砂管下流）



図-21 試験準備途中の出水状況（貯砂ダム天端）



図-22 試験準備中の排砂管の状況

状態とし、下流端のバルブを一気に全開にして、サイフォンを形成させて、装置全体を実験可能な状態に設置した。

潜行吸引式排砂管の設置時間は半日程度で、比較的簡単に設置することができた。なお、11月27日には、図-20～図-21に示すように、出水があり、危険作業となる可能性があったことから、作業を中止した。また、試験終了後においても吸引部をスムーズに回収できる等の構造とするため、25t ラフタークレーンと吸引部は常にワイヤーロープに繋がった状態とした。この状態において、試験のための関係機材の設置が完了した。図-22に試験準備中の排砂管の設置状況を示す。

3.2 現地実証試験の方法

排砂管における水理特性等を把握するための計測項目と計測方法を表-2に示すとともに、具体的には以下のとおりである。まず、これらの項目を計測するための関係機器の設置を行った。

①管内圧力：図-23に示す位置で排砂管にピエゾ管を設置し、管内圧力分布を計測することとした。

②管内流速：土砂輸送部に電磁流量計を設置し、管内流速の時間変化を記録することとした。

③吸引部の鉛直位置：吸引部上面の上流、下流、左岸側、右岸側（排砂管の上流から下流をみる方向を基準とする）の4箇所を上下流水位の計測に用いたのと同様のメモリ式水位計を設置して各箇所の鉛直位置の時間変化を記録し、平均値を吸引部鉛直位置とした。

④吊り荷重：25t ラフタークレーンに荷重計を設置し、排砂管吸引部における吊り荷重を計測した。

⑤上下流水位：小型のメモリ式水位計（大起理化工業製、ダイバー水位計）を上下流に設置し、上流水位と下流水位を観測し、貯砂ダムの水位差の時間変化を記録した。

⑥管内流況、排砂状況：カメラとビデオカメラにより、土砂輸送部に設置したアクリル管の管内流況と排砂口において排砂状況を記録した。

⑦土砂濃度：放流バルブの下流で放流水を適時に採水して土砂濃度を計測した。管径200mmの試験では、人力による直接放流水を採取して土砂濃度を計測できたが、管径300mmの実験規模となると、管内流量が多く、直接の採取が安全上困難となるため、採水方法としては図-24～図-25、表-3に示すように排砂管出口部に上層、中層、下層の3箇所の試料採取用配管から採水を行い、試料サンプルから断面積比率を考慮して平均化したものを土砂濃度とした。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ることとした。土砂濃度の算出方法は次のとおりである。

1. 採取試料は、水と土砂の混在比率を求め、土砂濃度とした。
2. 3箇所を得られた土砂濃度は、表層、中層、底層の断面積比率を考慮し、平均化した（表-3参照）。
3. 2.で得られた濃度を土砂濃度とした。

⑧下流濁度：下流河川への影響と土砂濃度との相関関係を検討するため、放流管約5m下流と下流河道に濁度計を図-26に示すように魚道終端と下流河道に設置し、濁度（NTU）を計測した。

⑨河床形状：実験前後の縦断方向、横断方向の河床形状

表-2 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 | 1回/秒 | 排砂管にピエゾ管、改良式水位計を設置し、管内圧力分布を計測しPCに記録 |
| 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 | 2台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 | — | 1回/場所 | 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 | — | 1回/1時間 | 千葉県へのヒヤリング (上流での流量観測) |



図-26 濁度計設置、計測状況 (魚道終端、下流河道)

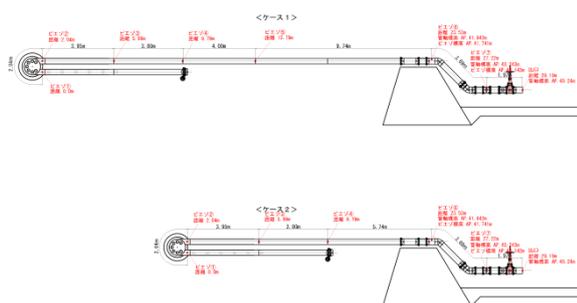


図-23 圧力計測 (ピエゾ) 位置

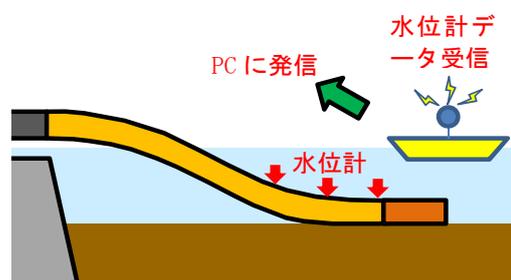


図-27 リアルタイムデータ収集の仕組みのイメージ

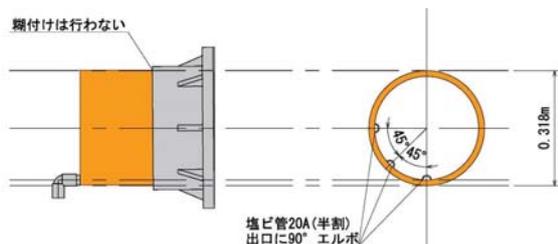


図-24 土砂濃度算出用の試料採取配管

表-4 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 | 28m | H26.11.28 | 10:00~10:57 | φ 300mm | 貯砂ダム中央上流20m地点 |
| Case2 | 28m | H26.11.28 | 11:30~12:20 | φ 300mm | 貯砂ダム右岸上流20m地点 |
| Case3 | 20m | H26.11.29 | 10:00~11:09 | φ 300mm | 貯砂ダム右岸上流12m地点 |
| Case4 | 20m | H26.11.29 | 13:27~15:27 | φ 300mm | 貯砂ダム中央上流12m地点 |

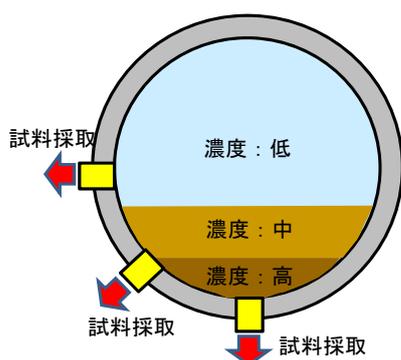


図-25 土砂濃度計測のイメージ

表-3 試料採取箇所断面積

| | 表層 | 中層 | 底層 |
|-----------------------|--------|--------|-------|
| 断面比 | 0.50 | 0.41 | 0.09 |
| 断面積(mm ²) | 35,343 | 29,021 | 6,321 |

を測量した。

⑩土砂の粒度：実験前の河床を対象に、吸引部設置位置周辺において柱状でサンプル採取した土砂の粒度分布をふるい分け試験により求めた。

また、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る。実用化のためには、各種の計測項目特に排砂管に直接関係する水量等を的確にリアルタイムで把握していくことが運用上求められると考えられる。平成25年度の管径200mmの実験では、リアルタイムで水量等を把握できず、試験実施中は排砂管の挙動等の解析が不可能となっていた。このため、今回の管径300mmでの試験では、圧力計測および排砂管鉛直位置等の排砂管に直接関係する水量等の計測については、図-27に示すように貯砂ダム上流に浮かべたゴムボートに有線により情報を集約した上で、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することとした。

3.3 現地実証試験の結果

以上の経緯によって試験を実施できる環境を整え、現地実証試験を実施した。実験は吸引部を25t ラフタークレーンで吊り上げ、下流端のバルブを全開として実験を開始した。実験ケースは表-4 に示すとおりである。

以下、それぞれのケースから得られた知見を報告する。なお、今回の試験では、排砂管の水力特性に関する知見を得ることを目的として、実験開始直前に、吸引部を河床に着底しないように水中に配置して、清水時の管内水量を計測した上で、ラフタークレーンにより吸引部を吊り下ろし、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排砂実験を実施した。

(1) Case1 (11/28 10:00~10:57 流入量1.32m³/s)

Case1 は、排砂管長28m、吸引部を貯砂ダムから上流約20mの右岸側に設置するケースとして実施した。

① 吸引部鉛直位置と吊荷重

図-28 に吸引部鉛直位置と吊荷重の関係を示す。実験中は吊荷重を概ね0kgとし、試験開始(吸引部着底)直後、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続いた。実験終了時の11:00頃には約1.5m程度まで潜行した。

② 吸引部鉛直位置と管内流速

図-29 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の10:05頃には吸引部の降下速度が低減し2.2m/s程度まで下がったが、管内流速が2.4m/s程度まで回復している、10:20頃には降下速度が高くなり、管内流速が再度2.2m/s程度まで低下す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る。なお、清水時の平均管内流速は2.45m/sであった。

③ 土砂濃度と管内流速

図-30 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が、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った。また、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、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、土砂濃度の変化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も含めて、土砂濃度の計測手法の開発が必要であると考えられる。

④ エネルギー損失

試験で得られた管内圧力及び管内流速からサクシオ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-31 に示す。

なお、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。

$$f = \frac{h_L D}{L} \frac{2g}{V^2} \quad (1)$$

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/s²)、 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。

$$f_B = h_B \frac{2g}{V^2} \quad (2)$$

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。

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。排砂実験時は、 f が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のに対し、 f_B は反対に低下する傾向を示し、吸引部の水力特性のさらなる調査が必要であると考えられた。

⑤ 下流濁度

図-32 に下流濁度と土砂濃度の関係を示す。土砂濃度が高くなると下流濁度も上昇し、下流河道においても希釈されていることが判る。

⑥ 河床形状、排砂量、河床状況、流況

実験前後の河床形状計測結果を図-33、図-34 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8.3m³であった。また、図-35 に実験時に水中カメラを用いて吸引部付近の河床を撮影した結果を示す。排砂とともに吸引部付近には礫や沈木が集積している様子を示している。また、図-36 には、実験中の天端付近の亚克力管の状況を示す。土砂が継続的に流下する流況が確認された。

以上Case1においては、礫や沈木の集積による吸引阻害等は生じなかったと考えられる。

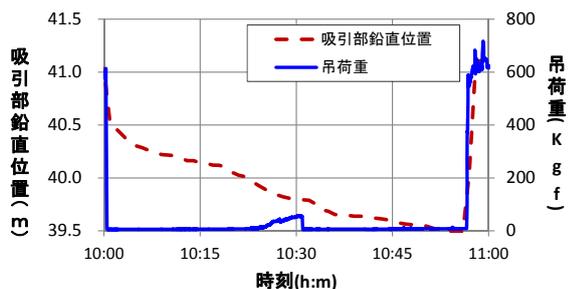


図-28 吸引部鉛直位置と吊荷重の関係 (Case 1)

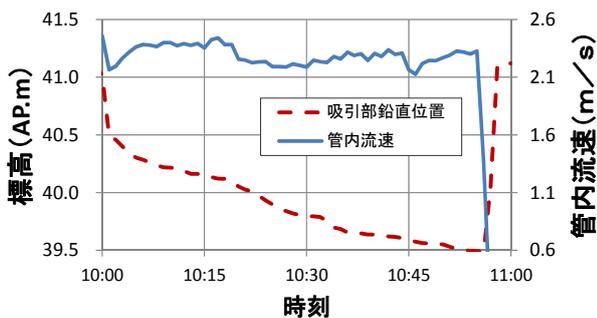


図-29 吸引部鉛直位置と管内流速の関係 (Case 1)

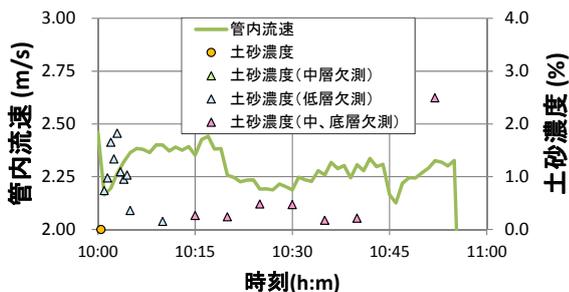


図-30 管内流速と土砂濃度の関係 (Case 1)

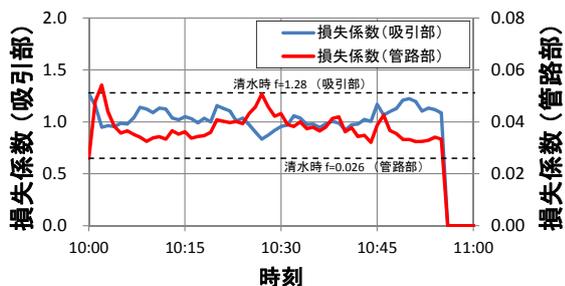


図-31 吸引部と管路部の損失係数 (Case 1)

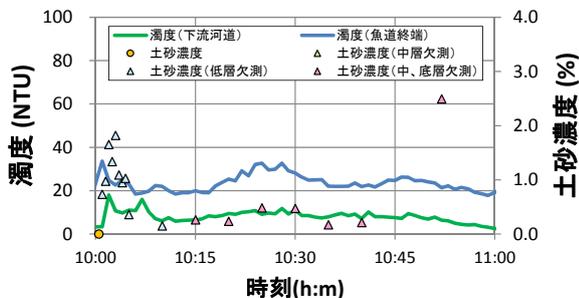


図-32 下流濁度と土砂濃度の関係 (Case 1)

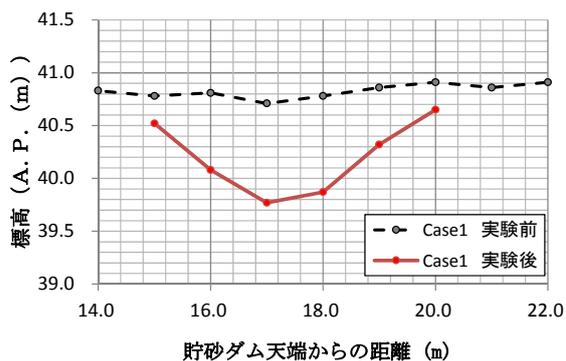


図-33 実験前後の縦断河床形状 (Case 1)

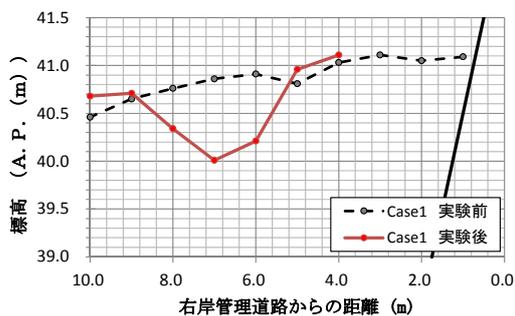


図-34 実験前後の横断河床形状 (Case 1)



図-35 実験中の吸引部周辺土砂の状況 (Case 1)

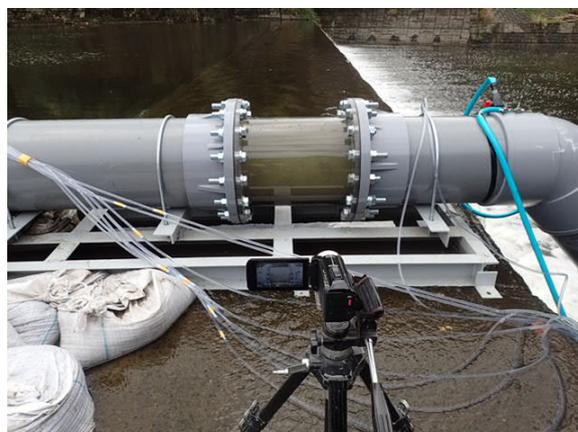


図-36 天端アクリル管での流況 (Case 1)

(2)Case2 (11/28 11:30~12:20 流入量1.32m³/s)

Case2は排砂管長を28mとし、吸引部を貯砂ダムから上流に約20mの河道中央付近に配置して実験を行った。

① 吸引部鉛直位置と吊荷重

図-37に吸引部鉛直位置と吊荷重の関係を示す。実験中は吊荷重を概ね0kgとし、試験開始(吸引部着底)直後、Case1と同様に、急激に吸引部が潜行したが、11:40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続いた。実験終了時の12:20頃には約1.1m程度まで潜行した。

② 吸引部鉛直位置と管内流速

図-38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2.3m/s程度まで下がった後に、11:40頃に2.4m/s程度まで回復、12:00頃に再度2.3m/s程度まで下がる動きとなっている。また、Case1と同様に降下速度が高くなると、管内流速が低下する現象も見受けられ、管内の土砂流下の状況によって流速が変化していると考えられる。なお、11:21~11:30までの清水時の平均管内流速は2.45m/sであった。

③ 土砂濃度と管内流速

図-39に管内流速と土砂濃度の時系列変化の関係を示す。土砂濃度の計測においては、Case1と同様の手法で試料を採取したが、Case1と同様に、管の底部を流下する土砂により試料採取用配管の閉塞、底層及び中層で採取ができない状況が生じた。そのため、11:50頃からポリ塩化ビニール瓶により試料採取用配管付近の3か所で直接試料を採取する手法に切り替えた。

吸引部着底後の流速は、排砂に伴う流速の低下が見られる。また、試料採取方法が時間により異なるため、土砂濃度の変化の傾向のみに着目して評価すると、概ね土砂濃度の急上昇したとき管内流速も急低下していることがわかる。

④エネルギー損失

実験で得られた管内圧力及び管内流速からサクシオ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た。損失係数の算定はCase1と同様に算出した。

得られた損失係数の時系列変化を図-40に示す。清水時の摩擦損失係数 f と曲り損失係数 f_B それぞれの平均値をとると、 $f=0.026$ 、 $f_B=1.28$ となるが、Case1と同様に f の場合、清水時に対し排砂時の損失係数が上昇する傾向となり、 f_B の場合は、低下する傾向を有する。この要因については調査・検討を行う必要があると考えている。

④ 下流濁度

図-41に下流濁度と土砂濃度の関係を示す。今回の場合、試料の採取が異なっていることから、評価は難しい。また、魚道終端での濁度が上昇すると下流濁度も上昇しており、下流河道において希釈されていることが判る。

⑦ 河床形状、排砂量、河床状況、排砂後の状況

実験前後の河床形状計測結果を図-42~図-43に示す。Case2では直径6m、深さ1.1m程度の排砂面が形成され、同様に排砂量、平均土砂濃度を求めるとそれぞれ4.0m³、0.8%となる。また、図-44、図-45にCase1およびCase2の実験直後の放流口下流の状況を示す。排出された土砂には砂分だけではなく、礫も含まれ、様々な粒径土砂が放流されたことがわかる。

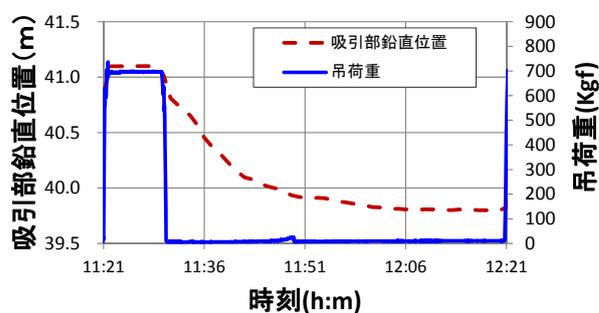


図-37 吸引部鉛直位置と吊荷重の関係 (Case 2)

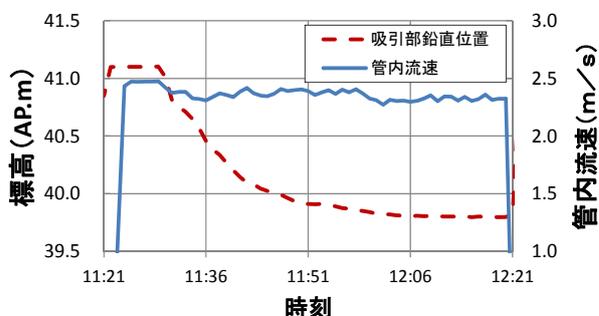


図-38 吸引部鉛直位置と管内流速の関係(Case 2)

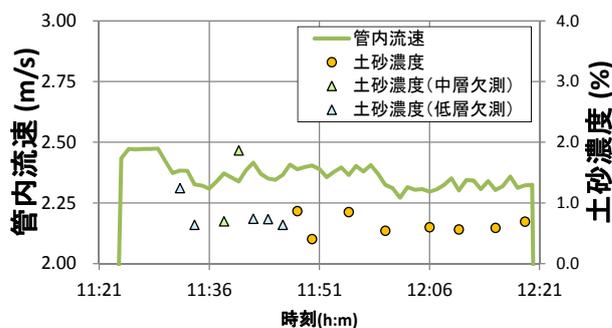


図-39 管内流速と土砂濃度の関係 (Case 2)

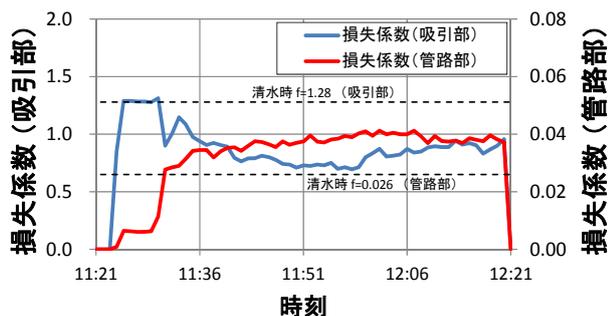


図-40 吸引部と管路部の損失係数(Case 2)

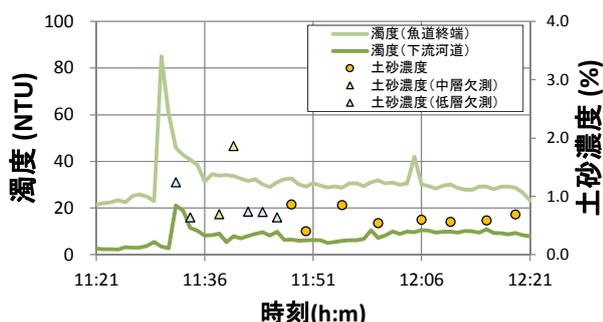


図-41 下流濁度と土砂濃度の関係(Case 2)

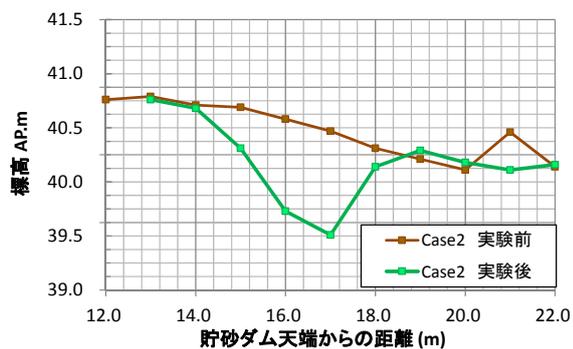


図-42 実験前後の縦断河床形状 (Case 2)

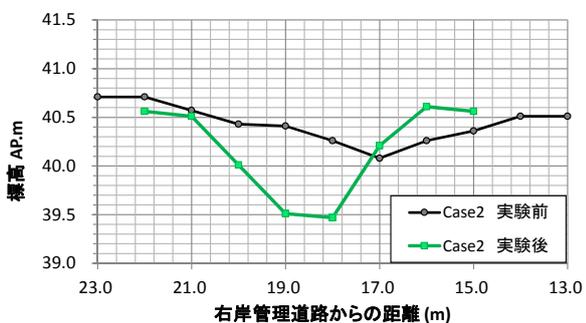


図-43 実験前後の横断河床形状 (Case 2)

(3) Case3 (11/29 10:00~11:09 流入量1.01m³/s)

Case3 は、排砂管長 20m とし、吸引部を貯砂ダムから



図-44 排砂実験後の放流口下流の状況 (Case 2)

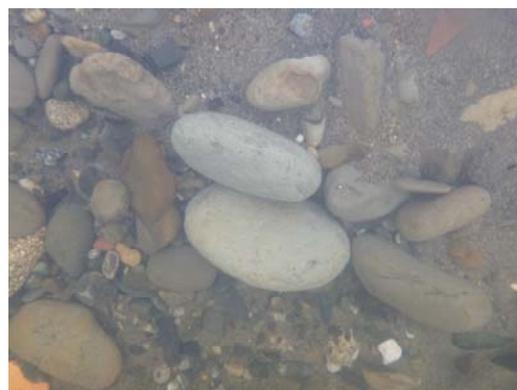


図-45 排砂された土砂 (Case 2)

上流に約 12m の右岸側に配置して実験を行った。なお、吸引部の操作方法はケース 1 の方法と同様とした。

① 吸引部鉛直位置と管内流速

図-46 に吸引部鉛直位置と吊荷重の関係を示す。実験中は吊荷重を概ね 0 kg としていたが、10:05 ごろに、吸引部の潜行速度が鈍化する現象が起こったが、数分後に再び潜行を始めるものの、10:15 ごろに、再び潜行が停止し、10:30 ごろに、約 GL-1.0m でまでに潜行が停止した。このため、実験中に吸引部付近の河床を棒により直接河床を突いて確認を行ったところ、潜行が停止した原因は、固結した粘性土が存在によるものであると考えられた。このため、以降、吸引を継続しても状況が変化しないと想定されたため、吸引部を約 1m 左岸側に移動させ吸引を再開した。再開後は、吸引阻害等もなく吸引を継続でき、ケース 3 終了直前の吸引部位置は GL-1.7m 程度となった。この結果から、固結した粘性土と思われる存在は局所的なものであったと想定される。

② 吸引部鉛直位置と管内流速

図-47 に吸引部鉛直位置と管内流速の関係を示す。今回のケースの場合、Case 1 と Case 2 に比べ、10:30 ごろまでは流速の低減率が低く概ね 2.5m/s 付近の流速となっている。吸引位置を動かした後には流量の低減がみ

られた。清水時に比べて、流速の低下がみられなかった場合は、潜行が円滑に行われていないと考えられ、潜行が円滑に行われれば、管内流速が低下す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る。

③ 土砂濃度と管内流速

図-48 に土砂濃度と管内流速の関係を示す。Case 3 では、Case1、Case2 と同様の方法では試料採取用配管が閉塞してしまうことから、全試料での採取方法を採用（任意の位置で直接サンプル採取）している。Case 3 前半では、潜行が停止したこともあり、土砂濃度は0.5%未満で推移している。Case3 後半の吸引地点を移動した後では、最大約4%まで濃度が上昇し、管内流速も低下している。

④ エネルギー損失

Case1 および Case2 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た。損失係数の時系列変化を図-49 に示す。清水時の損失係数は、 $f=0.027$ 、 $fb=1.26$ となり、サクションホース長の変化による管内損失への影響はほとんど見られなかった。Case3 の前半（吸引部が潜行を停止）では、ほとんど吸引が出来なかったため、吸引部着底直後を除いて清水時の損失係数とほぼ変化していない。一方、継続して潜行したCase3 後半では、ケース1と同様に排砂に伴い f は上昇し、 fb は低下する傾向を有していることを確認した。

④ 下流濁度

図-50 に下流濁度と土砂濃度の関係を示す。Case3 の前半では、土砂濃度の上昇はみられなかったが、魚道終端での濁度は急激に上昇した。一方、Case3 の後半では土砂濃度の上昇に伴い、魚道終端の濁度も上昇しており、前半においては、粒径の細かい成分が流出したため、採水による土砂濃度の計測では値は大きくならなかったものと考えられる。また、魚道終端の土砂濃度が高くなると下流濁度も上昇しており、相関がみられるとともに、下流河道においても希釈されていることが判る

⑤ 河床形状、排砂量、河床状況、流況

実験前後の河床計測結果を図-51～図-52 に示す。Case3 では直径 3m、深さ 1.3m の排砂面が形成され、排砂量は 12.2m³、平均土砂濃度は 1.7%であった。

図-53 に Case3 の後半時の河床撮影結果を示す。Case3 の後半では、堆積土砂は砂分であり、急激に砂分が吸引されている様子が確認できる。また、図-54 に示すとおり、後半では連続的に土砂が排砂された。

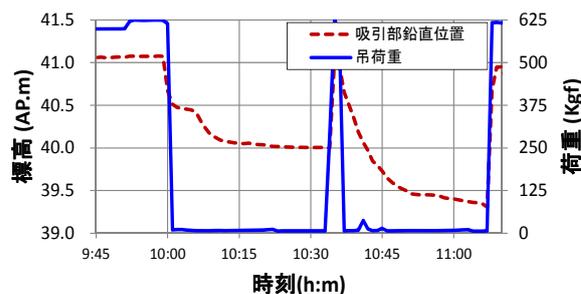


図-46 吸引部鉛直位置と吊荷重の関係 (Case 3)

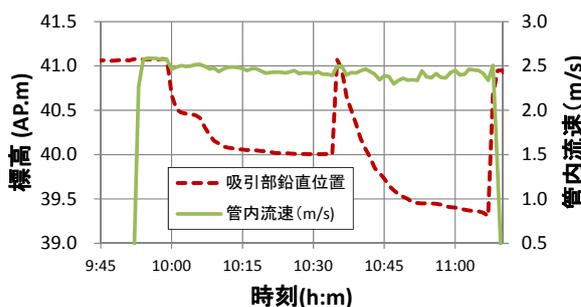


図-47 吸引部鉛直位置と管内流速の関係 (Case 3)

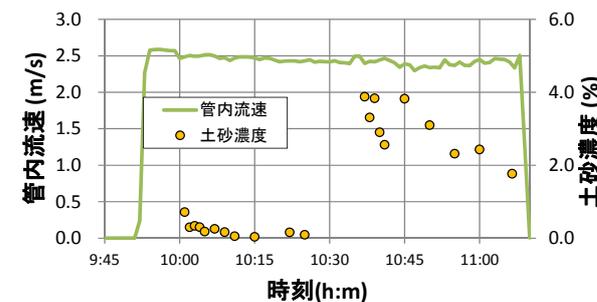


図-48 管内流速と土砂濃度の関係 (Case 3)

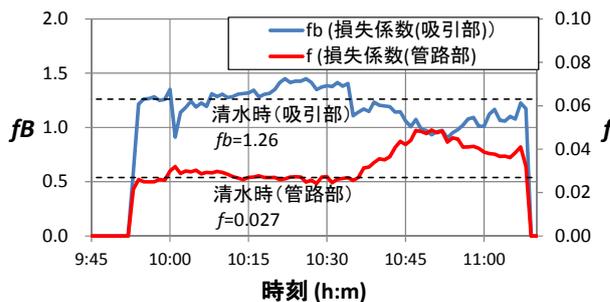


図-49 吸引部と管路部の損失係数 (Case 3)

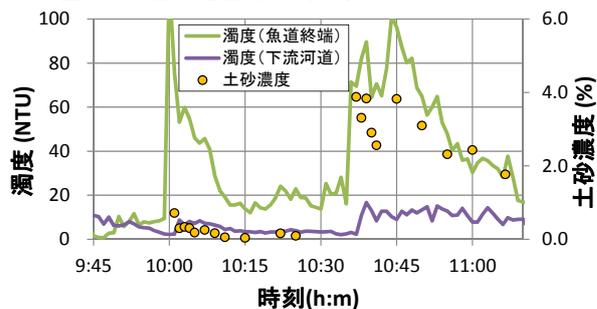


図-50 下流濁度と土砂濃度の関係 (Case 3)

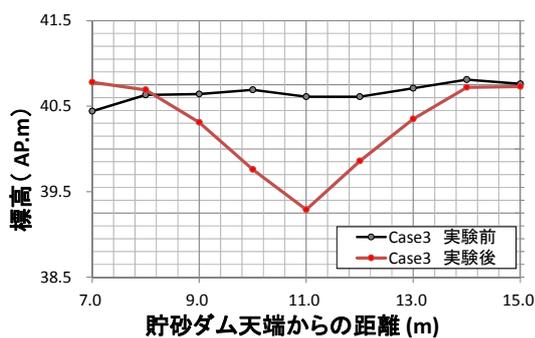


図-51 実験前後の縦断河床形状 (Case 3)

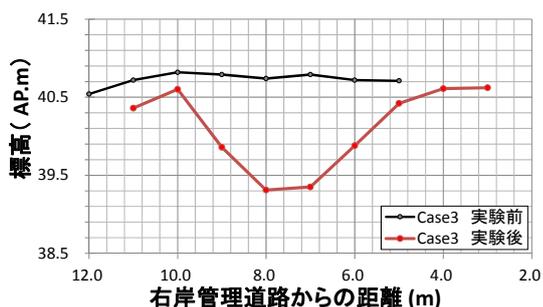


図-52 実験前後の横断河床形状 (Case 3)



図-53 吸引部土砂吸引状況 (Case 3)



図-54 天端アクリル管での流況 (Case 3)

(4) Case4 (11/29 13:27~15:27 流入量1.49m³/s)

Case4 は、排砂管長 20m とし、吸引部を貯砂ダムから上流に約 12m の河道中央部に配置したケースにおいて実施した。Case4 (13:27~) では、本実験を通して最長の 2 時間の吸引を行った。

① 吸引部鉛直位置と吊荷重

図-55 に吸引部鉛直位置と吊荷重の関係を示す。実験中は吊荷重を 0 kg とし、試験開始 (吸引部着底) 直後、急激に吸引部が潜行して試験終了まで潜行速度が徐々に低下していくものの、潜行は継続した。実験終了時の 15:30 頃には約 2.0m 程度まで潜行した。

② 吸引部鉛直位置と管内流速

図-56 に吸引部鉛直位置と管内流速の関係を示す。このケースについては、吸引部の潜行が継続しており、管内流速が概ね 2.5m/s を下回る状態を保って実験が終了した。

③ 土砂濃度と管内流速

図-57 に土砂濃度と管内流速の関係を示す。Case4 では、最大土砂濃度が低いものの、概ね 1~2% で安定している。排砂時の管内流速は、清水時の流速 2.57m/s に対し、約 95% まで低減していることがわかる。土砂濃度と管内流速に関係性が見受けられる。

④ エネルギー損失

実験で得られた管内圧力及び管内流速からサクシオ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た。損失係数の時系列変化を図-58 に示す。Case4 でも、他のケースと同様に排砂に伴い f は上昇し、fB は低下する傾向を有していることを確認した。

⑤ 下流濁度

図-59 に下流濁度と土砂濃度の関係を示す。土砂濃度が高くなると下流濁度も上昇し、下流河道において希釈されていることが判る

⑥ 河床形状、排砂量、河床状況

実験前後の河床計測結果を図-60~図-61 に示す。Case4 では直径 3.5m、深さ 1.7m の排砂面が形成され、排砂量 21.3m³、平均土砂濃度が 1.7% となった。図-62 に Case4 の河床撮影結果を示す。この図から、礫 (写真から数 cm 程度と想定される) が吸引部に吸い込まれている状況が確認された。このことから、管径 300mm の排砂管においては、数 cm 程度の礫は問題なく吸引できると言える。また、図-63 に示すとおり、実験中は連続的に土砂が排砂された。

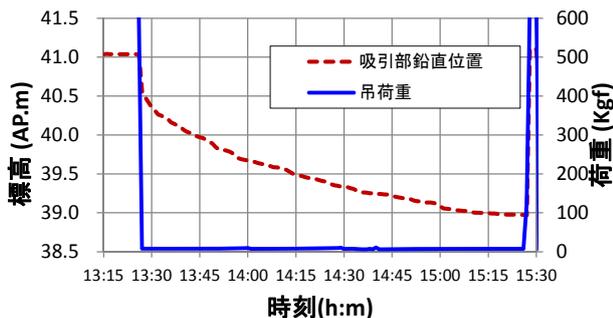


図-55 吸引部鉛直位置と吊荷重の関係 (Case 4)

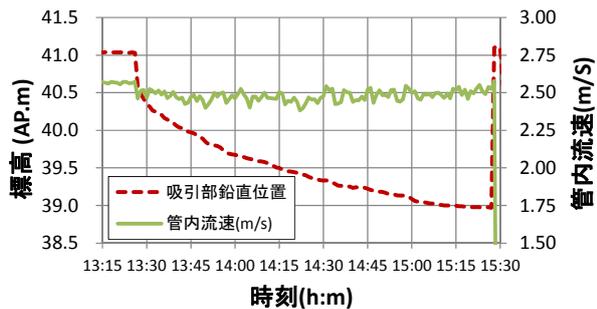


図-56 吸引部鉛直位置と管内流速の関係 (Case 4)

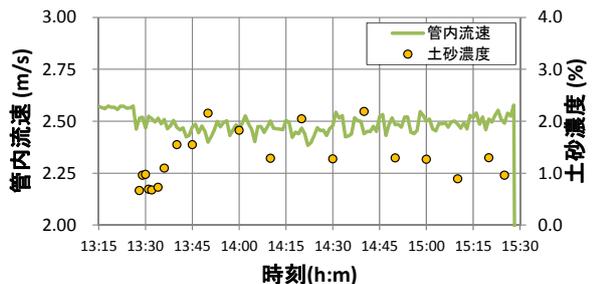


図-57 管内流速と土砂濃度の関係 (Case 4)

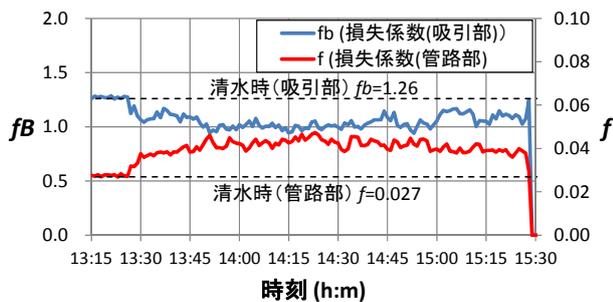


図-58 吸引部と管路部の損失係数 (Case 4)

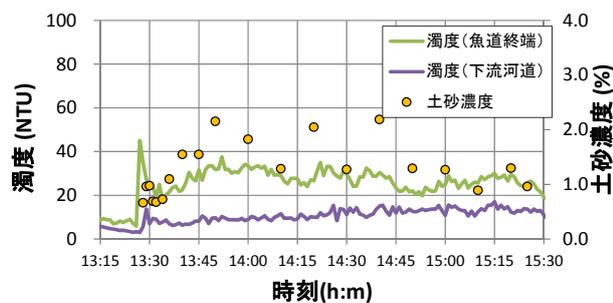


図-59 下流濁度と土砂濃度の関係 (Case 4)

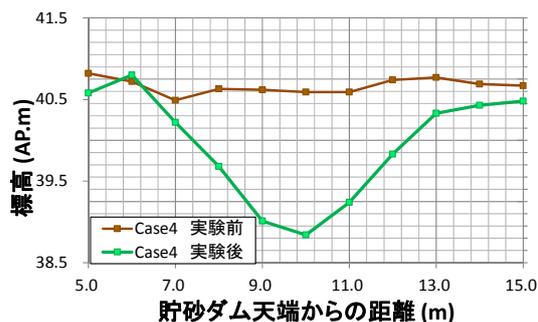


図-60 実験前後の縦断河床形状 (Case 4)

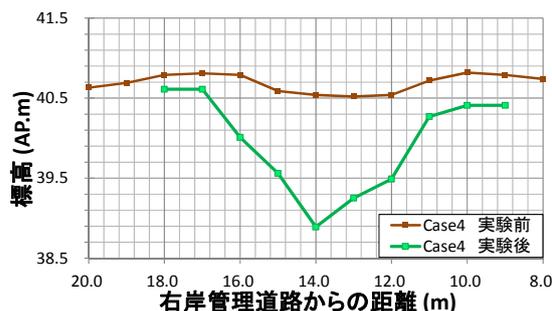


図-61 実験前後の横断河床形状 (Case 4)



図-62 吸引部土砂・礫吸引状況 (Case 4)



図-63 天端アクリル管での流況 (Case 4)

(4) 潜行吸引式排砂管の運用・管理面の検討

平成 25 年度の現地実証試験において、初めて管内流量の計測として機械化、リアルタイムでの計測を可能とする電磁流量計を用いたが、他の計測項目は、機械化できず、例えば、吸引部鉛直位置は自記式水位計を用い、管内圧力はマンメーター板による計測を行い、リアルタイムでの水量等の情報の取得ができなかった。この水中に潜行した吸引部の挙動等が連続的にリアルタイムで把握できないことによって、実験時に概ねの排砂量の推定さえも把握することができず、実験終了後において分析せざるを得ない状況であった。また、吸引部の閉塞を評価する上で重要な指標となる管内圧力についてもマンメーターによる計測としていたことから、土砂濃度が様々に変化の中で管内圧力を密に計測することが困難な状況となっており、排砂管の詳細な状況を実施時に把握することが困難となっていた。このため、平成 25 年度において、今後、実用化の検討にあたっては、設備が大規模となった場合でも、安全かつ的確に円滑に必要な計測情報をリアルタイムで収集・集約でき、関係諸量の計測の機械化による自動化、その計測値を集約して、排砂管の挙動等を把握していく仕組みを構築することが重要であることを指摘した。

潜行吸引式排砂管の実用規模は、今回の実証試験規模（管径 300mm）以上となると考えられ、この装置を実際のダムへ適用しようと考えた場合、排砂時における潜行吸引式排砂管の挙動がリアルタイムで的確に把握され、洪水に対する排砂量も管理、運用されていくことが実用化のためには求められると考えられる。このためには、潜行吸引式排砂管における各種の水量等が的確にリアルタイムで把握する仕組みの構築が不可欠であると考えられる。

このため、管径 300mm での試験では、流砂量以外の排砂管に直接関係する項目について、**図-64** に示すとおり、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。また、**図-65**、**図-66** 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。これにより、実験時に水中に潜行する吸引部等の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-67** に Case1 の水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できる画面を構築した。これを活用すれば、土砂の流



図-64 リアルタイムデータ収集状況

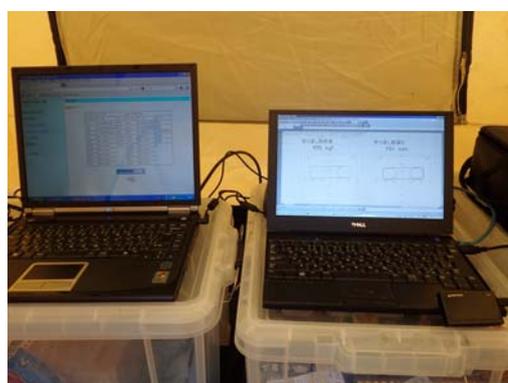


図-65 リアルタイムデータ表示状況

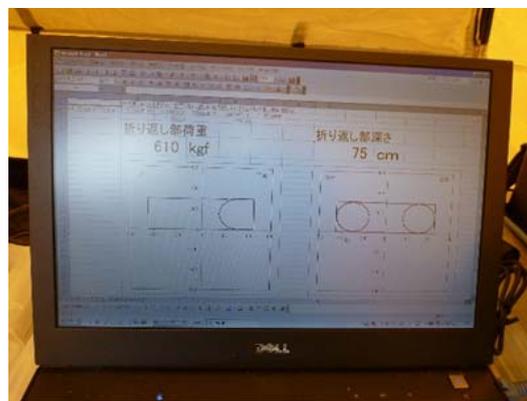


図-66 リアルタイムデータ表示状況 (吸引部傾き等)



図-67 排砂管情報を一元化画面

下状況、潜行吸引式排砂管の挙動等を同時に確認、監視・分析が容易となる。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。

なお、土砂濃度については、排砂にあたって管内閉塞の可能性や下流濁度への影響を評価する上でも重要な指標であるが、リアルタイムでの計測を可能とする手法を構築することができなかったため、今回の試験では人力による計測を行わざるを得なかった、引き続き検討していく必要がある。

4. まとめ

4.1 塵芥対応能力の基礎的検討における知見

潜行吸引式排砂管の塵芥対応能力について室内実験による基礎的な検討において得られた知見等は次のとおりである。

- 1) 現地実験時の潜行吸引排砂の停止現象を室内実験において再現することができた。
- 2) 塵芥の密集の程度による現形状での排砂管での対応能力の限界が判った。
- 3) 塵芥層突入時の傾斜角度によって、塵芥への対応能力が高まることが示唆された。

4.2 現地実証試験による検討における知見

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300mmの潜行吸引式排砂管による現地排砂実験から得られた知見等は次のとおりである。

- 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排砂(土砂供給)でき、排出された土砂も吸引部の長径で吸引口の大きさの礫を排砂できることも確認し、(図-68～図-70)また、排砂された土砂のサンプルを図-71に示す。Case1～Case4のφ300mm(吸引口の径はφ150mm)の実験では、長径で150mm以下の礫や砂は吸引ができた。潜行吸引式排砂管の有効性が確認できた。
- 2) 排砂初期の土砂濃度は、概ね目標とする値が確認され、実用化のために参考となる排砂特性に関する情報が得られた。
- 3) 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、比較的簡便に現地実証試験を行うことができた。



図-68 実験時排砂状況 (Case4)



図-69 実験時排砂状況 (Case4)



図-70 実験後排砂状況



図-71 排砂土砂のサンプリング結果

- 4) 潜行吸引式排砂管における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表示し、潜行吸引式排砂管の水理量等をリアルタイムで監視・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) H25 現地試験 (φ200) では、葉の層や礫の存在などにより深度を確保できず、吸引が停止してしまうケースが複数ケース見られたが、今回の試験 (φ300) では、1 ケースを除いて、概ね問題なく連続的に吸引・排砂を行うことが出来た。これは、排砂管の規模を大きくしたことにより吸引力が増大したことや堆積土砂の粘性土の含有率が小さかったことなどから安定して排砂できたケースが多かったものと考えられる。

なお、4 ケースとも図-72 に示すような実験前に吸引部の設置箇所において柱状サンプリング調査を行っており、採取結果の例を図-73、図-74 に示すとともに、その結果を柱状表示したものを図-75 に示す。表層は8割が砂をしめるものの、深い位置では、粘性の多い土砂も含まれていることが判った。また、吸引開始直後に固結した粘性土と思われる存在により、潜行が停止、吸引不能となった Case3 では、潜行停止位置 (GL.-1.0m 付近) には粘性土を含む砂の堆積層が確認され、これが吸引が不能となった原因であると推察され、粘性土砂への対応も今後検討していくことが必要であると考えられる、

4. 3 今後の課題と研究の方向性

以上から、潜行吸引式排砂管がダム貯水池内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、実際のダム貯水池における現地実証試験を通じて、ある程度確認されたものの、今回の現地実証試験においても、自然堆砂に対する適用性という観点において場合によって吸引・排砂が停止するという課題も残された。実際にこの技術を現場へ適用することを想定すると、吸引部形状の今後の改良の検討も含めて、潜行吸引式排砂管の自然堆砂への適用性を十分整理していくことが必要と考えられる。また、以上の課題とは別に、潜行吸引式排砂管の磨耗損傷への対応や土砂供給時における下流河川への環境負荷を可能な限り少なくしていくといった運用方法の検討も実用化に向けては必要となると考えられる。



図-72 試験前 柱状サンプリング調査の状況

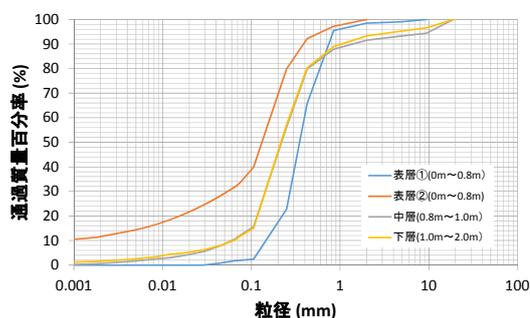


図-73 柱状サンプリング結果 (Case1)

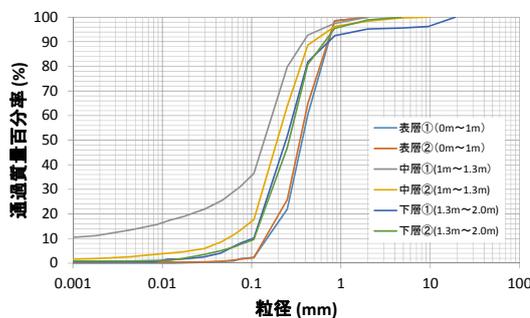


図-74 柱状サンプリング結果 (Case3)

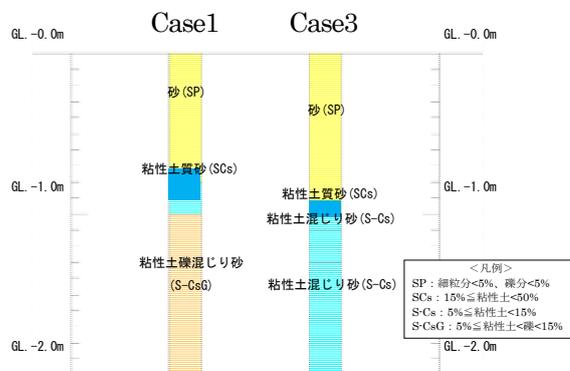


図-75 柱状サンプリング調査から得た堆砂性状

以上の今後の課題とそれを踏まえた新たな研究の方向性を、具体的に示すと次のようなことが考えられる。

- 1) 平成 25 年度における現地実証試験(φ200 排砂管実験)では、葉の層や礫の存在などにより、吸引・排砂が停止してしまうケースが複数ケース見られ、また、今回のケースでも固結した粘性土により吸引・排砂が停止する現象も 1 ケースのみ確認され、塵芥や粘性土等の集積程度によって、吸引・排砂が停止する課題を改めて確認できた。潜行吸引式排砂管は、出水時において一気に、排砂を可能とすることも想定して研究を進めているが、自然堆砂を対象とした円滑な運用を考えると、事前の綿密な堆砂の材料調査や堆砂の土砂特性ごとに適用できる吸引部形状の開発が必要となる。このことから、
 - ① ボーリング等による堆砂の調査に関する技術開発、
 - ② 今回の室内実験において実施した、吸引部の傾斜による吸引特性の把握といった基礎調査を積み重ねた、吸引部形状の検討、さらには、吸引部の傾斜制御手法の検討、
 - ③ 現地実証試験ではケースが限られてしまうため、室内実験において土砂粒径(シルトが卓越した土砂や砂礫が卓越した土砂など)をパラメータとした実験、
 - ④ 土砂吸引力(例えば、水位差、下流バルブ開度、サクシオンホースのくっとう性など)と土砂特性との関係の整理、
 が必要となると考えられる。
- 2) 一方、平水時に吸引位置を柔軟に変更できれば、現地実証試験のように、たとえば貯水池末端に設置された貯砂ダムに堆積した粒径の粗い土砂を空間的に広い範囲において効率的に吸引・排砂、一次陸揚げするような作業に潜行吸引式排砂管を適用していくことも考えられる。なお、その場合、作業効率を考えると潜行吸引式排砂管の軽量化が必要と考えられる。
- 3) ダムからの土砂供給施設として、潜行吸引式排砂管は土砂を吸引部から管路を通じてダム下流へ供給する装置であることから、排砂管が土砂によって磨耗損傷を必ず受ける。このため、磨耗損傷に対応した流量調節設備としていくことが求められる。このために、サクシオンホースの土砂粒径ごとの磨耗損傷の程度(耐久性)に

ついて把握する基礎的な検討も大切ではあるが、サクシオンホースは比較的取り替えも可能であることから、通過する土砂の土砂濃度を適切に管理することによって、磨耗損傷の程度も管理し、適切に装置を維持管理更新ができるような装置を開発していくことが、まずは、実用化に向けての緊急性は高いものと考えられる。今回の現地実証試験は、φ300mm の規模としたことから、排砂管から放流される流量を一定時間すべて補足して、土砂濃度を計測するといったこれまでの室内実験レベルの手法は安全管理上行うことができなかった。このため層別の土砂濃度計測方法により、濃度変化の把握を試みたが、閉塞を起こすなどにより傾向は把握できたものの、厳密な計測を行うことができなかった。実用化するためには、大規模な装置とする必要があり、この場合でも土砂濃度を管理できる装置の開発が必要となると考えられる。また、土砂濃度を調整・管理できるゲートやバルブの開発も 1) の土砂吸引力と土砂特性との関係把握と併せて検討していくことが必要である。

- 4) 今後の科学的知見を基に検証されることと考えられるが、現地実証試験においては、潜行吸引式排砂管による下流河川への影響は、平成 25 年度の試験と同様に、排砂管からの放流量が河川の全体流量に比べて比較的小さかったこともあり、多少、貯砂ダム下流の濁水の上昇はあったものの、比較的環境負荷の少ない技術となりうる可能性が確認されたと考えられる。
- 5) 4) の一方で、潜行吸引式排砂管も含めたダム下流河川へ土砂供給は、下流河川への環境に対し何らかのインパクトを与え、魚類などの水生生物に対して何らかの影響を与えることには必然である。このような中、潜行吸引式排砂管であれば、出水時でも運用することも想定して考案し、研究開発を進めてきているが、水生生物への環境負荷を可能な限り少なくするための出水時の具体的な運用手法については過年度に概略検討したものの、どのように実際のダムに配置し、運用すればよいのかといった、実用化に向けた具体的な検討はできていない。実機に近い規模として行った現地実証試験においてある程度、潜行吸引式排砂管によりダム下流への土砂供給が可能な状況となってきたと考えら

れる今回の結果を通じて、下流河川を回復・維持するための環境に配慮したダムからの土砂供給施設の運用方法を含めた仕組みづくり

(出水中にダムから土砂供給を行う際の施設操作方法(操作タイミング、放流量、土砂流径を管理すること))を検討してみることは適当であると考えられ、次のようなことを検討してみた。現時点の知見では、自然堆砂を対象とすると、塵芥等を含む様々な粒径を1つの潜行吸引式排砂管によって分級を行ったり、土砂濃度はある程度判るとしても、放流土砂に含まれる土砂の粒度分布を把握することなどが技術的に困難であり、操作タイミング、放流量、土砂流径を総合的に管理していくことは極めて困難と考えられる。このため、ダムに潜行吸引式排砂管を複数系統配置することを提案する。このことにより、例えば、自然堆砂を一旦、平水時に何らかの方法により貯水池側で事前に粒径集団ごとに分級した後、ダム堤体の直上流に設置した複数のストックヤードに分級した土砂をそれぞれ投入し、投入土砂に適した潜行吸引式排砂管によって、予測も含め出水の状況、下流河道の状況にあわせて、出水時にダム下流へ複数系統の潜行吸引式排砂管のバルブ等の調整により、操作タイミング、放流量、土砂流径を総合的に管理する方法である。これであれば、同じ土砂濃度でも、出水初期においては巨礫、礫分を多くした土砂供給を行うことや、洪水ピーク時に、シルト分や細粒分を多くした土砂供給、洪水末期は、ウォッシュロードのみとするため、排砂管は運用を停止するといった、粒径集団の適切な配合によって実現できるのではないかと考えられる。なお、この実現には1)の吸引部における土砂特性ごとの吸引特性や形状の検討も必要となる。

また、併行して、以上のような運用方法を前提として、ダム下流河川の物理環境についてシミュレーションしてみることも必要であると考えられ、この検討を通じて、生物にとって、適切な粒径で適切な量の土砂供給を行っていくことが必要である。

- 5) 1)～4)も踏まえ、実用化を見据えると、さらなる大規模施設の実施設設計の課題としては、排砂管をダム堤体を削孔するなどして下流に排

出する場合とバイパスする方法が考えられる、この場合、現地実証試験の管長よりもさらなる管路の延長が必要となってくるのが考えられ、管路輸送の延長と管内損失の関係を明らかにすることの必要性や管路の取替え、磨耗損傷の程度を把握するための保守、点検手法の検討、例えば、管内損失、流量低減率、土砂濃度の計測といった指標による管内閉塞の回避手法の検討も必要となると考えられる。

- 6) また、潜行吸引式排砂管は特に吸引部を吊らない場合、土砂内に潜りこんでしまう特徴があることから、もぐりこんだ場合でも円滑に運用できること、または、吸引部の位置を制御できる仕組みを構築するなど、運用、制御手法の検討も必要であると考えられる。さらに、吸引部において土砂吸引が停止した場合でも回収できる仕組み(サクシオンホースの耐久性の検討等)も必要であると考えられる。
- 7) 最後に、以上の検討を実用化するためには、ダム貯水池、堆砂の規模に適した潜行吸引式排砂管による大規模模型による現地での実証試験が実用化に向けては必要となると考えられる。そのためには、まず、ダムの堆砂対策が水の利用者(治水も含む)にとって大きな社会的な課題であることを関係者への理解を促進させ、大規模模型による実証試験の実施のための合意形成が必要となる。なお、その際には、現場ごとの実情に的確に対応させ、既存技術による対策と比較して全体としてコストが安価となることが重要であると考えられる。

謝辞

現地実証試験においては、千葉県河川整備課、千葉縣市原土木事務所、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ご多大なご協力をいただいた。ここに、謝意を表します。

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・箱石憲昭：大規模実験による潜行吸引式排砂管の開発，河川技術論文集，Vol. 17，pp. 311-316，2011.

- 3) 櫻井寿之・箱石憲昭：管径 200mm の潜行吸引式排砂管を用いた排砂実験，土木学会第 67 回年次学術講演会，II，pp.67-68，2012.
- 4) Miyakawa,M.,Hakoishi,N.&Sakurai,T.(2014):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.
- 5) 宮川仁、櫻井寿之、箱石憲昭：貯水池のエネルギーを活用した排砂技術の開発、土木技術資料 56-2、2014.
- 6) 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.
- 7) Miyakawa, M, Hakoishi, N. & Sakurai, T.(2015): Development of the Sediment Removal Suction Pipe for Practical Use、International Workshop on Sediment Bypass Tunnels,Zurich,Swissland.
- 8) 宮川仁、宮脇千晴、櫻井寿之、石神孝之、箱石憲昭：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、河川技術論文集、Vol.21、pp.189～194、2015.
- 9) 千葉県高滝ダムパンフレット
- 10) 千葉県河川整備課 HP
<http://www.pref.chiba.lg.jp/kasei/kawazukuri/yourou/documents/03siryou-2.pdf>

A STUDY ON THE DEVELOPMENT AND THE OPERATION METHOD OF THE SEDIMENT SUPPLY MEASURES FROM A DAM RESERVOIR CONSIDERING RIVER ENVIRONMENT

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2010-2015

Research Team : River and Dam Hydraulic Engineering
Research Team (Hydraulic Engineering
Research Group)

Author : Hakoishi Noriaki

MIYAWAKI Chiharu

MIYAKAWA Masashi

Abstract : The construction of a dam can interrupt the transport of sediment through the river. Decreased sediment supply downstream causes environmental problems related to the riverbed such as degradation, armoring, and fewer opportunities to renew the riverbed material. Furthermore, sedimentation causes a reduction in the reservoir storage capacity. Therefore, measures are required for sediment supply from the reservoir. In the past, sediment flushing with water level drawdown and sediment bypassing were developed and used. However, the conditions for applying these measures are restricted. The purposes of this study are to develop a new sediment supply facility without water level drawdown operation and to propose the operation methods for the facility in order to restore the downstream river environment.

In 2014, in order to obtain knowledge for the practical application of the burrowing type sediment removal suction pipe, we carried out the sediment discharge field test using the 300 mm diameter suction pipe at the actual dam located in the midstream of Yoro River at Chiba prefecture. As a result, we understood the hydraulic characteristics such as a relationship between velocity in the pipe and the sediment concentration, a water head energy loss of the pipe etc. It is confirmed that the burrowing type sediment removal suction pipe could be applied to remove non-cohesive debris-less sediment material. through the sediment discharge tests. We also examine an applicability to new sediment supply measures through the sediment discharge tests.

Key words : dam reservoir, countermeasures for sedimentation, burrowing type sediment removal suction pipe, field test

原稿承認

平成 年 月 日

重点的研究開発課題報告書原稿承認伺

(平成26年度)

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|----------|
| 1 グループ名等 | 水工研究グループ | | |
| 2 チーム名 | 水理チーム | | |
| 3 重点研究課題名 | ・ 環境に配慮したダムからの土砂供給施設の開発及び運用に関する研究 | | |
| 4 原稿枚数 | 全 枚 | 5 原稿受理 | 平成 年 月 日 |
| <p>上記のとおり 重点的研究開発課題報告書原稿の承認を伺います。</p> <p>平成27年 6月30日</p> | | | |
| 土木研究所理事長 殿 | グループ長等 | 関係上席研究員 | 執筆者 |
| | | | |