

ダムの排砂技術 (潜行吸引式排砂管のご紹介)

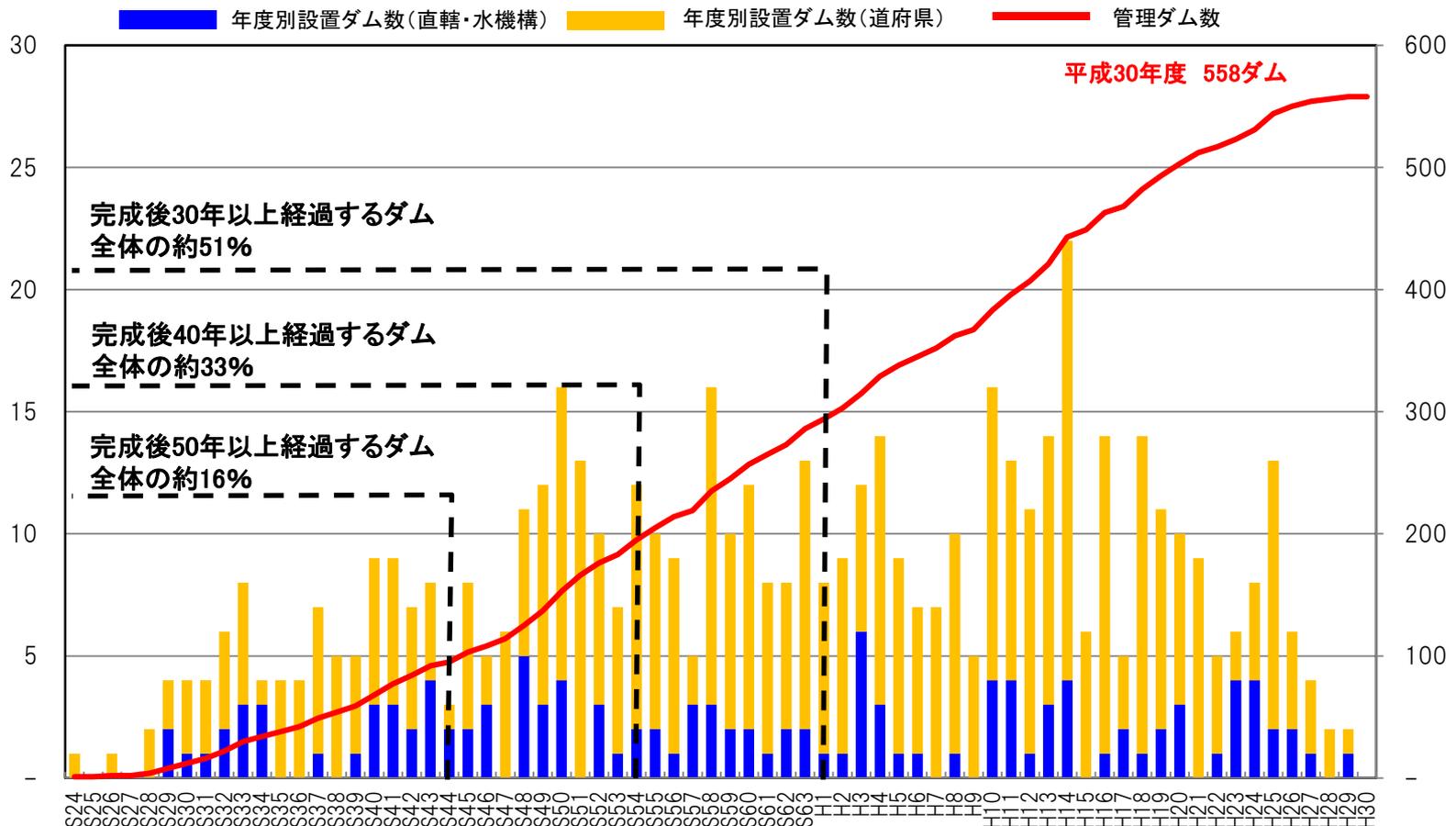
特許5305439号 特許第5599069号
水中堆積物流送用の吸引パイプ、水中堆積物の流送装置、
及びそれを用いた水中堆積物の流送方法



国立研究開発法人 土木研究所
水工研究グループ 水理チーム
主任研究員 宮川 仁

我が国のダム

1. 日本のダム数 : 約2,700
(堤高15m以上、砂防ダムを除く)
2. 国土交通省所管ダム数 : 558
(平成30年度、直轄+水機構+都道府県)
3. 国交省直轄+水資源機構ダム数 : 123



国土交通省所管ダムの建設の変遷

ダムの機能と特徴

- ダムは河川に横断して建設される大規模構造物
- 大量の水が貯留できるので、洪水時や渇水時の国民生活への影響を低減できる極めて重要な社会的資産
- ダムの堤体は、適切に施工、維持管理されているものであれば、半永久的に健全であることが期待でき、既設ダムを長期にわたって有効に、かつ持続的に活用を図ることが重要である。



ダムの特徴

- ダムにより土砂は水とともに捕捉、貯水池内に蓄積、ダムの機能は徐々に低減。
 - 堆砂対策は長期間にわたって貯水池を活用する上で克服すべき重要な課題。
 - ダム下流河床の粗粒化など河床環境への影響も懸念。

かんせいちよくご
完成直後



ねんご
23年後

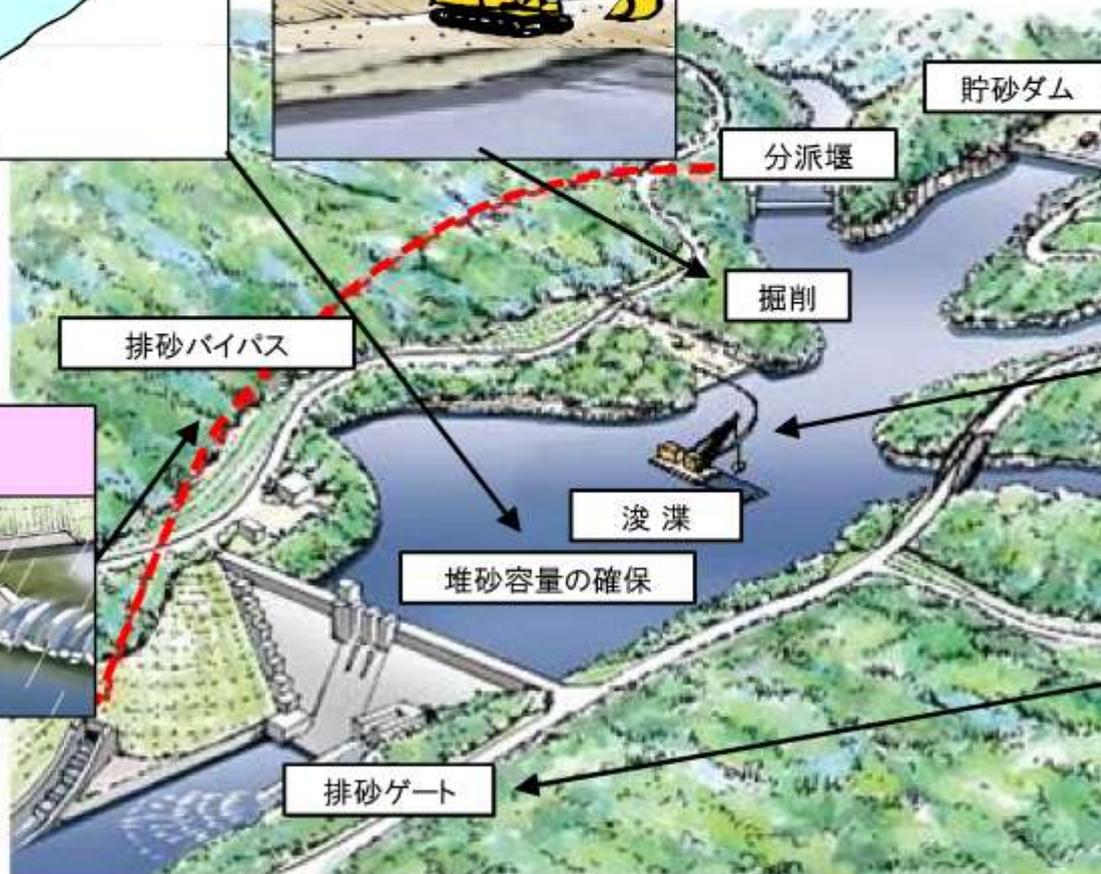
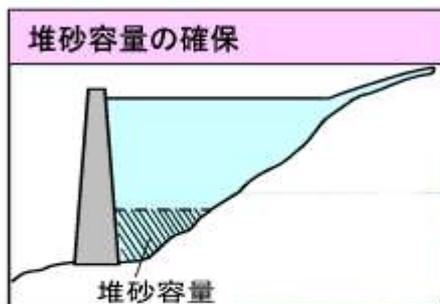


どしゃふ
土砂が増えている

ねんご
36年後



主な堆砂対策



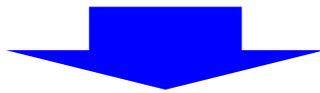
技術開発の背景・目的

● 実用化されている主な堆砂対策技術（掘削・浚渫、土砂パイパス、排砂設備）は、

・ 設備等の建設及び維持管理に**多額の費用**を要する

・ **貯水池運用の制約**を受ける

など適用条件が限定。



土木研究所では、貯水池運用に影響を与えることなく、低コストで貯水池から排砂することを目標に、**ダム上下流の水位差のエネルギー**を利用して土砂を吸引、**輸送する「潜行吸引式排砂管」**を開発している。

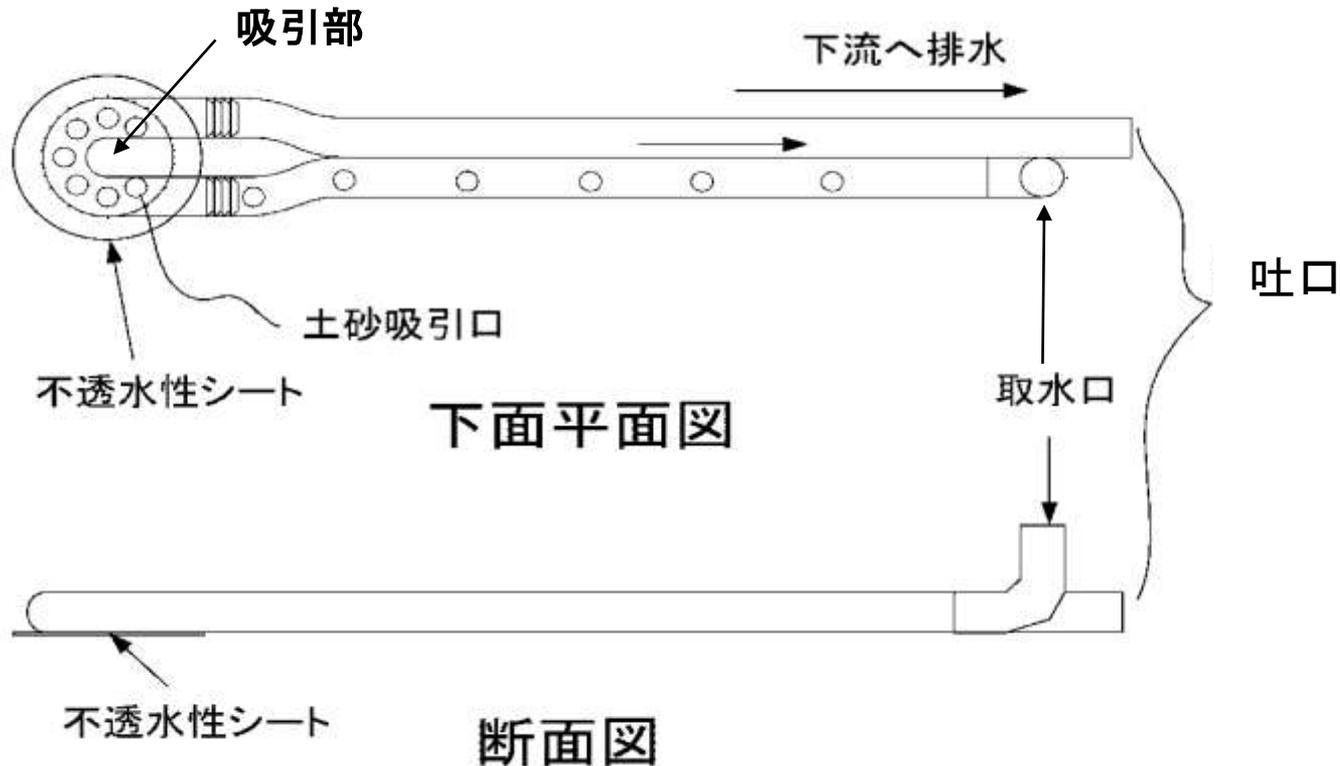
潜行吸引式排砂管の概要

- 土木研究所単独で特許5305439号、5599069号を取得
- 現在の改良中の諸元

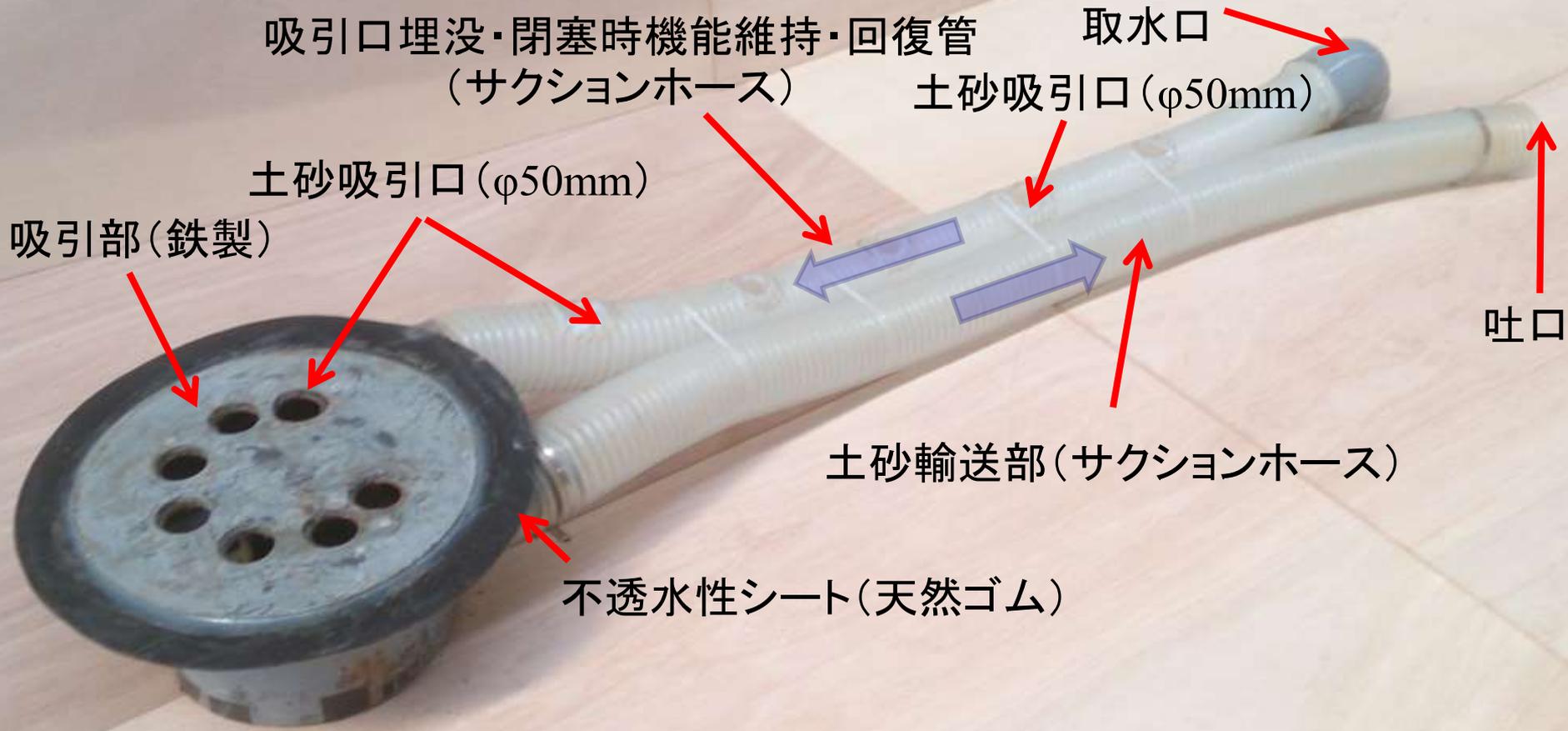
管を折り曲げたようなU字形状、一方が取水口、他方を吐口とする。

材質：吸引部は主に鉄製、他はフレキシブル管（サクシオンホース）

形状：吸引部底部に不透水性シート（ゴム）と管径の半分の吸引口を7つ配置。取水口側のサクシオンホースにも吸引口を5個設置。



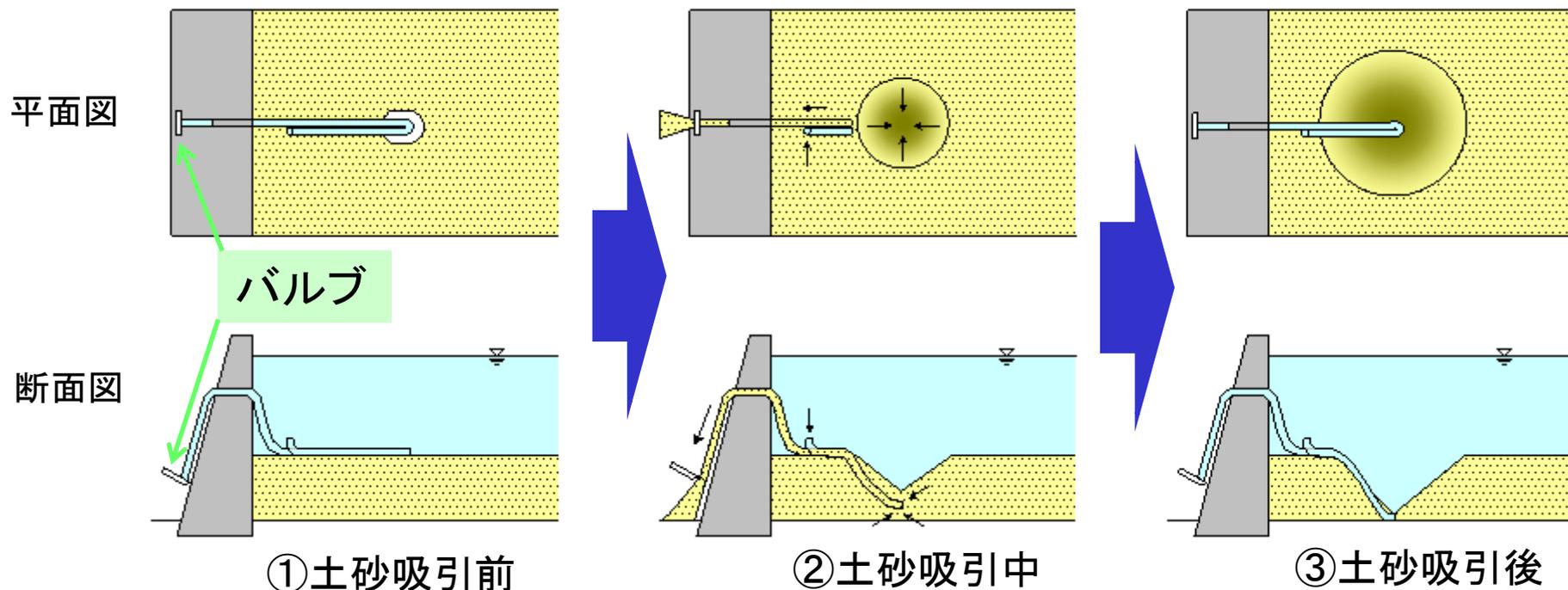
潜行吸引式排砂管の概要



φ100mm潜行吸引式排砂管 (吸引口径50mm: 裏返した状況)

潜行吸引式排砂管による吸引イメージ

- 潜行吸引式排砂管を用いて、以下のような土砂吸引を考えている。
 - 単純な構造、操作も簡単のため、ダム管理者自らでも操作は可能と考えている。
- ① 平水時に装置を**堆砂の表面に設置**し、
 - ② 洪水時に、装置下流※の**バルブを開く**ことにより、**堆砂を吸引・放流**する。堆砂はすり鉢状に崩れながら吸引され、**吸引部は堆砂に潜行**していく。吸引部が底面に達した後も**上流部の管底面に設置された穴等から土砂を吸引し続け**、
 - ③ 最終的には**再び堆砂の表面に吸引部が現れる**。



※装置下流は堤体下流の他に、土砂輸送トンネルも考えられる

室内実験の概要

- 国土技術政策総合研究所の室内実験場約230m²を借用し、幅7.5m、奥行き7.5m、高さ3.5mの水槽を設置。水位差が最大約3mの実験が可能。



実験時の状況

室内実験条件



①水槽内に0.1~2mmの混合砂を敷き詰め、排砂管を堆砂表面に設置



②水槽を満水とし、排砂管をクレーンで吊り下げ



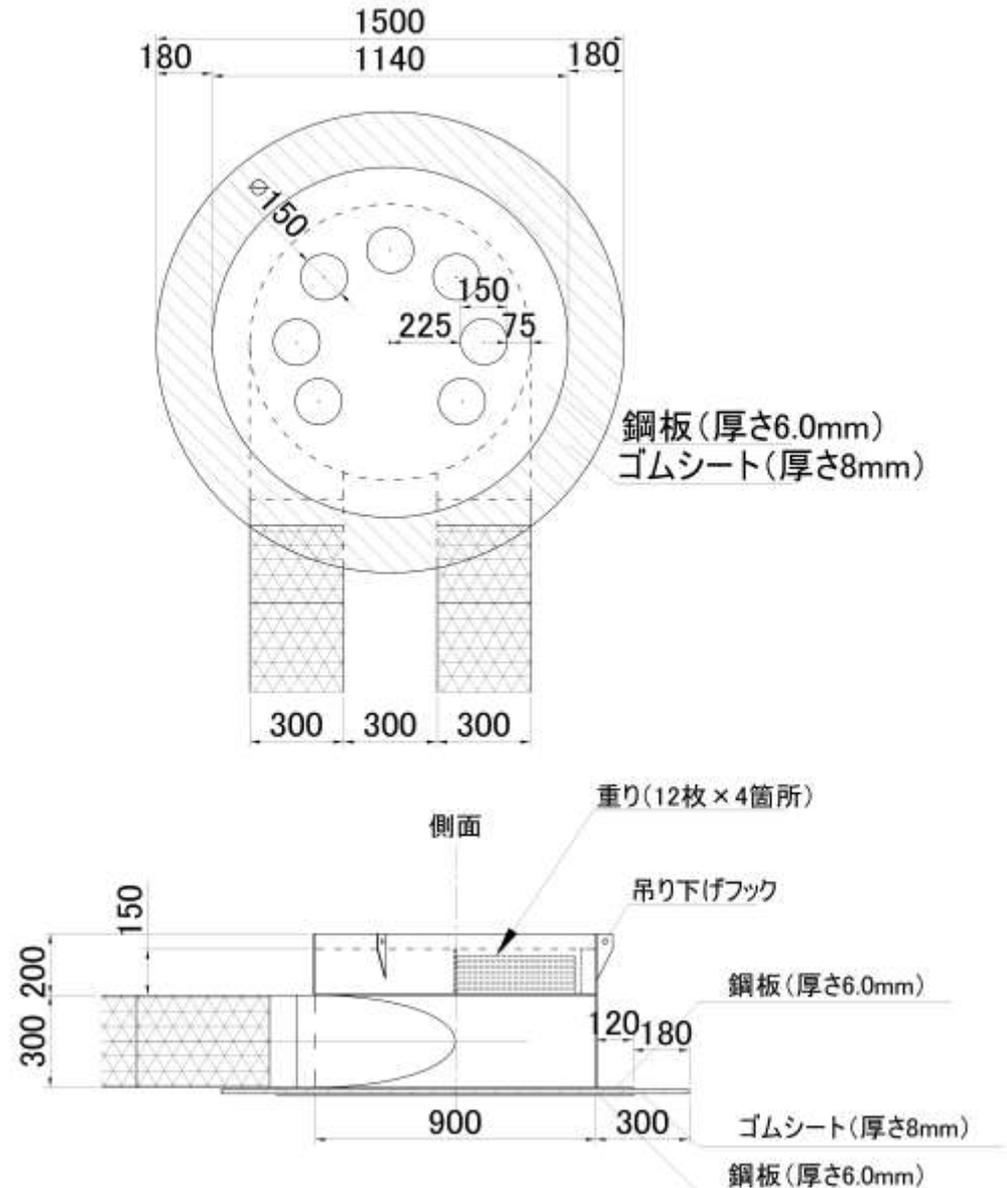
③水槽の水位を維持するための大量の水を要することから循環式で給水を行い、バルブを開けて排砂を行う。



管径300mm潜行吸引式排砂管（吸引口径150mm）



吸引部 重さ約700kg



土砂吸引前



土砂吸引後

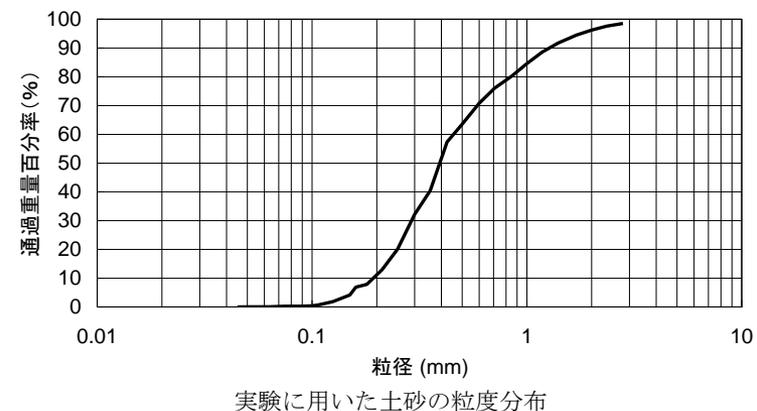


● 排砂管径300mmの模型を用い、粘着性がなく塵芥を含まない砂礫は吸引・排砂が十分可能であることを確認。

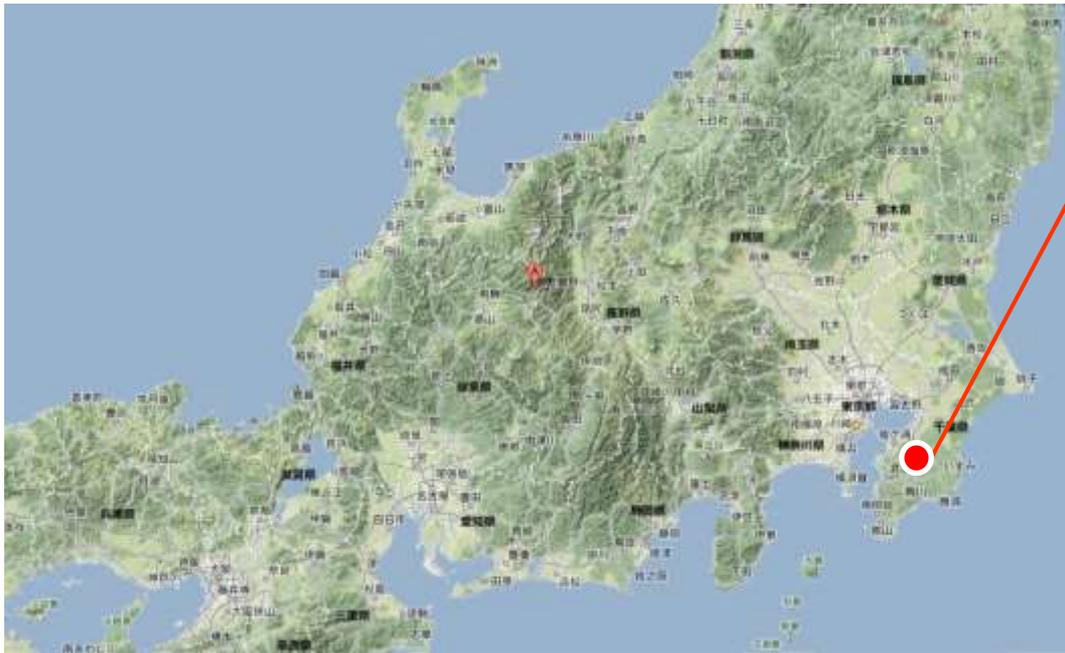
● 1時間で約50m³(約1200m³/日)の土砂を排砂



実用化に向け、適用を想定する現場での
実際の堆砂での現地実験、実証試験が必要



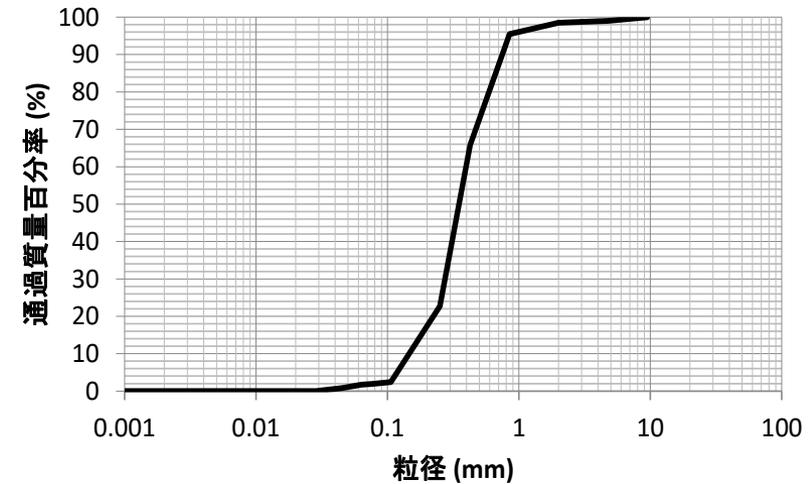
千葉県市原市養老川水系養老川
高滝ダム貯水池内日竹貯砂ダム



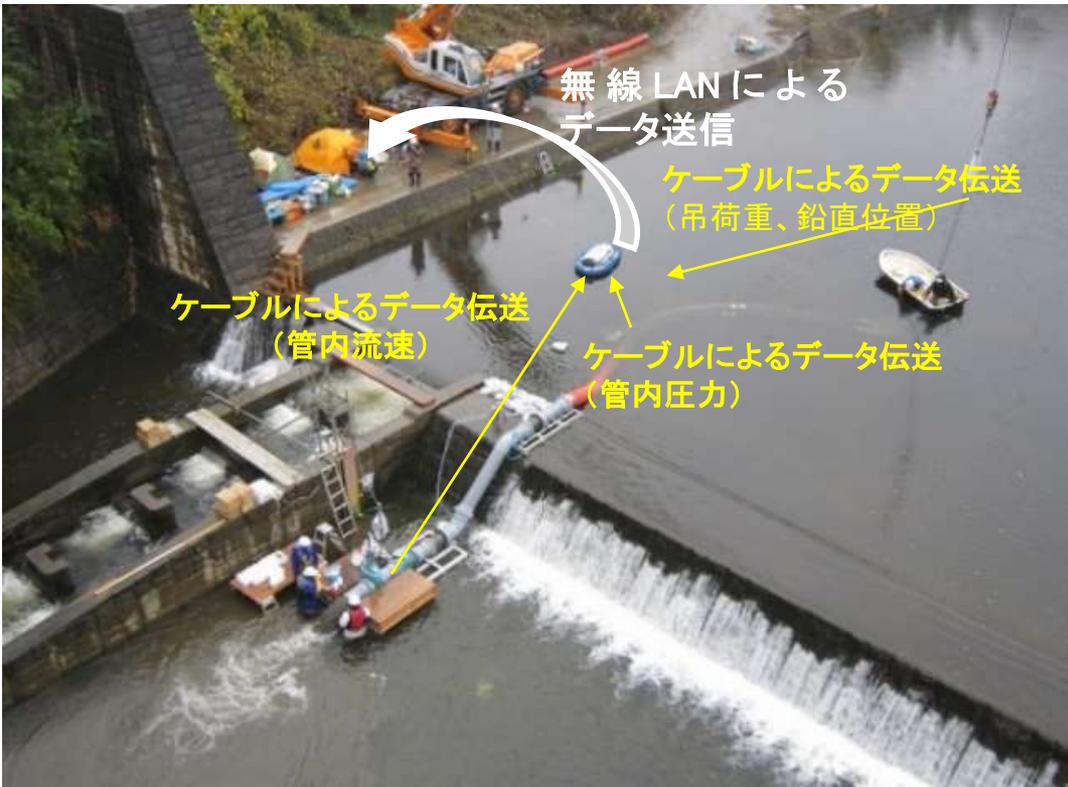
貯砂ダム上流の河床の状況



貯砂ダム全景(水位差約1.6m確保可能)



貯砂ダム上流の河床の粒径

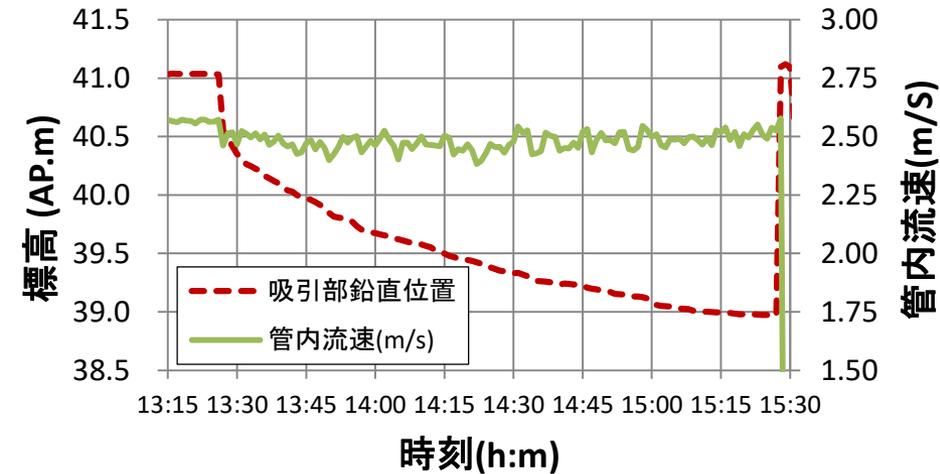


実験時の状況

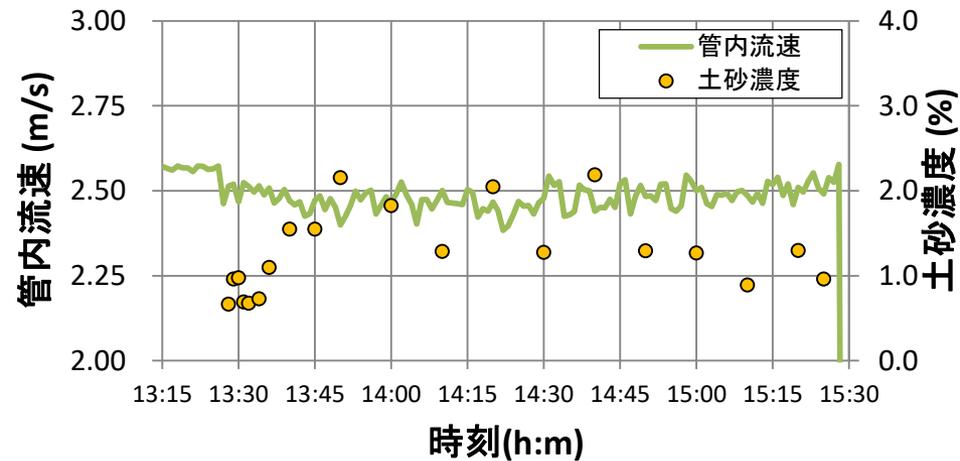


リアルタイムデータのPCへの集約

実用化に向け、水理量等のデータをリアルタイムに収集できるように自動システム化



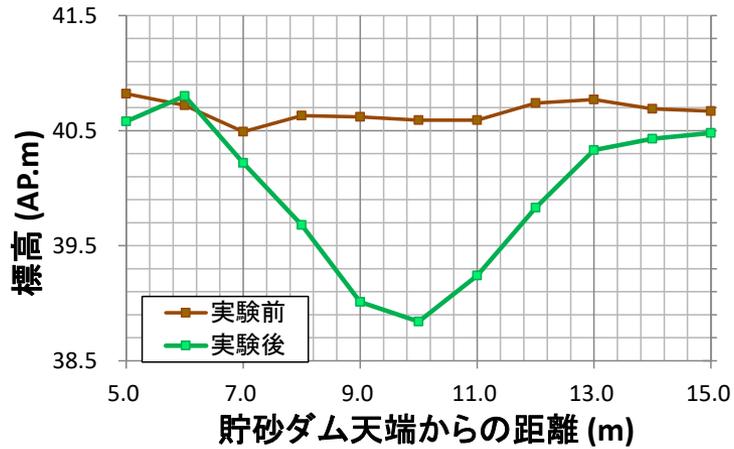
吸引部深度と管内流速の関係



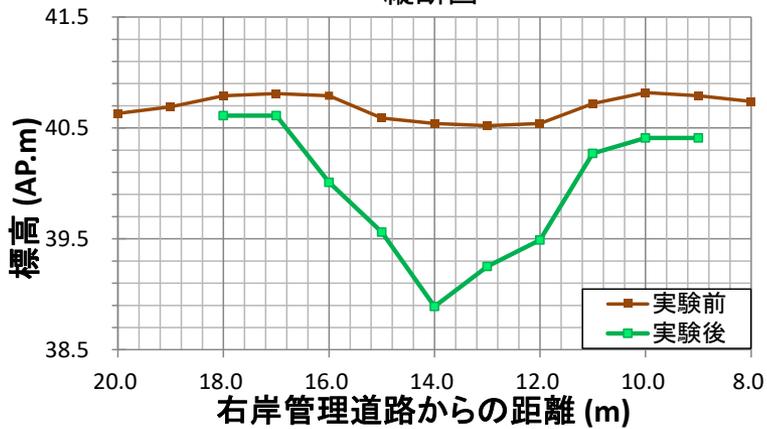
土砂濃度と管内流速の関係



土砂濃度だけは直接採取により計測



縦断面図

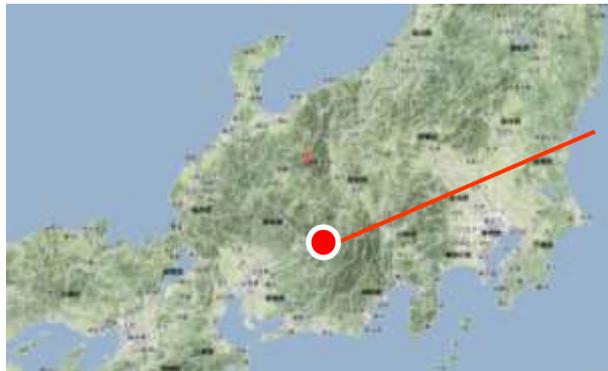


横断面図



連続 2 時間で約21m³の土砂を排出。
 最大径150mm (吸引孔径150mm)
 その他有用な水理量の取得

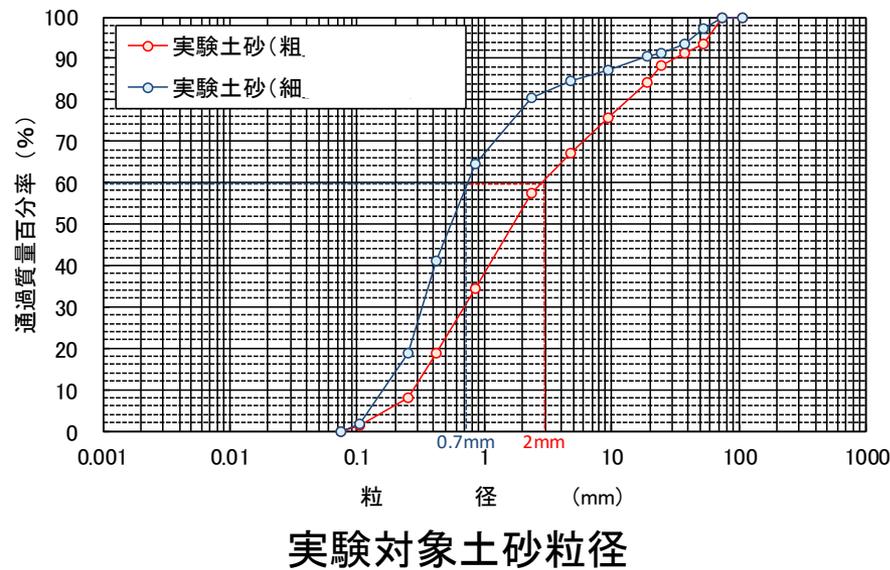
管径300mm 砂防堰堤での現地実験の概要



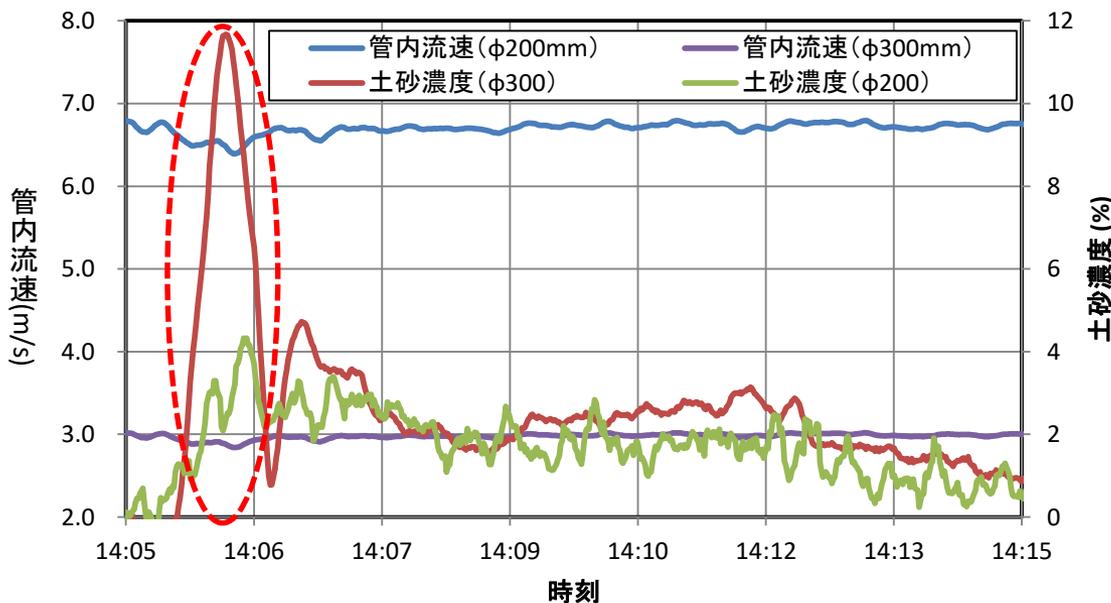
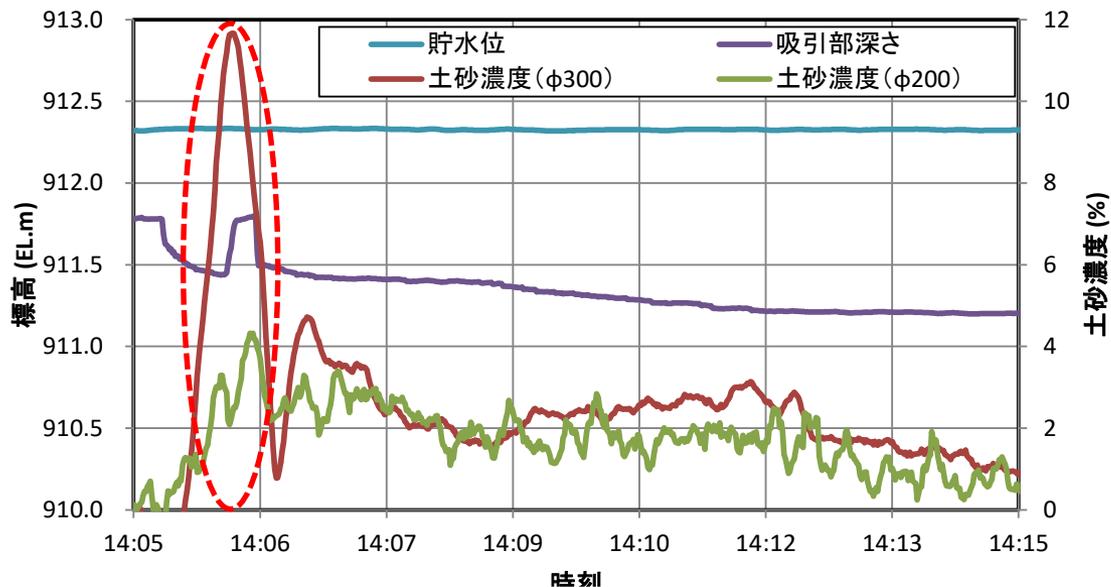
長野県松川町
松川砂防堰堤
(片桐ダム貯水池末端)



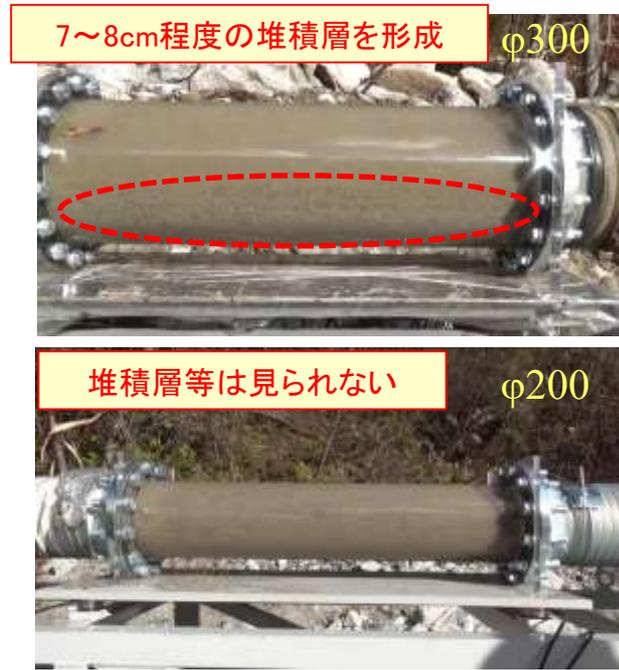
- 片桐ダム貯水池内堆砂を100mmスケルトンバケツ等でふるい分けし、実験土砂 (0.1mm~80mm) を用意。
- 管延長約70m、落差約12mで実施。



現地実験状況および結果



水理量等の時間変化



管内流況 (14:06時点)

代表的な水理量

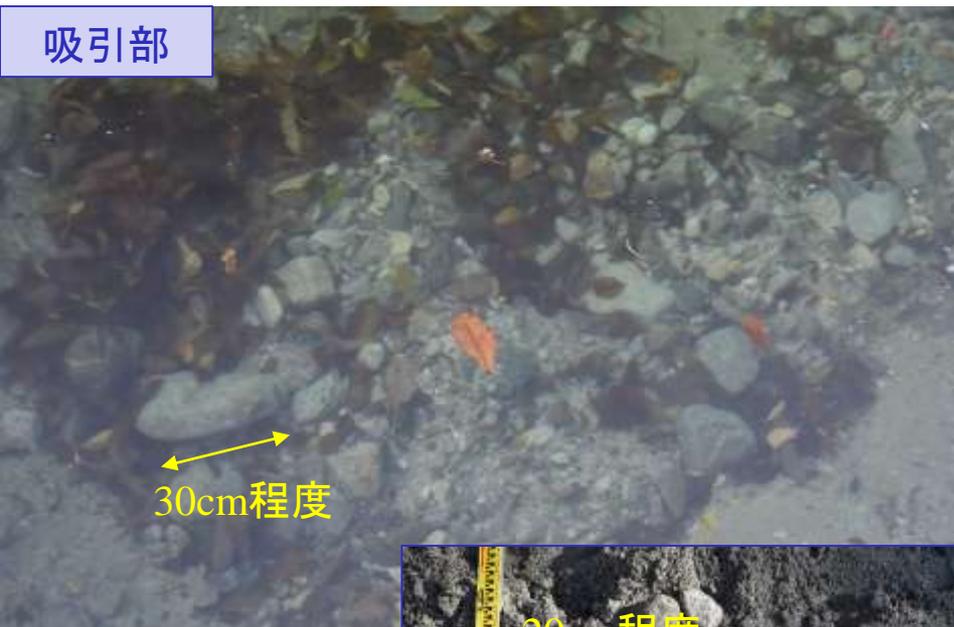
| 項目 | 水理量 | 備考 |
|--------|-----------------------|--------|
| 流量 | 0.21m ³ /s | |
| 流速(清水) | 3.01m/s | φ300 |
| 〃 | 6.78m/s | φ200 |
| 最大土砂濃度 | 4.2% | φ200 |
| 排砂量 | 約3m ³ | 吸引部低下時 |

現地実験状況および結果

実験後の吸引部および沈砂池の堆積土砂の状況

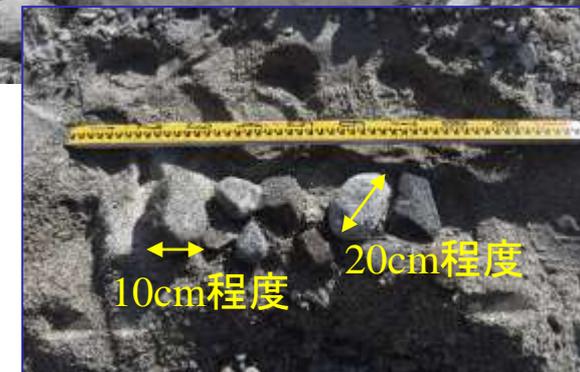
- 実験後の吸引部では、最大長径0.3m程度の礫が残留。また、吸引口径(150mm)を下回る粒径の礫も集積し、排砂が非効率化。
- 実験後の沈砂池では、長径0.2m、短径0.1m程度の礫を70m下流まで排砂。

吸引部



吸引部集積土砂(未排出土砂)の状況

沈砂池



沈砂池堆積土砂(排出土砂)の状況



砂防堰堤での現地実験まとめ

(成果)

- ダムにほぼ近い規模における施設での排砂について実用化に向けた機能確認ができた。
- 管内流速は $\phi 300\text{mm}$ で 3.0m/s で、 $\phi 200\text{mm}$ で 6.7m/s となり、土砂濃度は土砂が浮遊する $\phi 200\text{mm}$ での計測が望ましい。
- $\phi 300$ で 0.1mm 以上の粒径の土砂輸送では、清水時管内流速を 3.0m/s 程度を確保すれば土砂濃度約2%程度で排砂が可能。

(課題)

- 吸引口径(150mm)を上回る粒径の礫は概ね吸引できず、吸引管の機能を阻害。吸引口径を下回る礫に関しても吸引部底部に集積すると吸引機能を阻害または非効率化。
→吸引性能の確保のため土砂中の巨石等の塵芥の割合を事前に低下させることが必要。



管径300mm 潜行吸引式排砂管製作費用（概算）

● 材料単価(主要部品)

- ・吸引部(材料製作費(鉄製)) 1,100,000円/個
- ・上流部(材料費(サクシオンホースφ300mm)) 50,000円/m
- ・土砂輸送部(材料費(鋼管φ300mm)) 25,000円/m
- ・土砂輸送部(材料費(鋼管φ200mm)) 15,000円/m
- ・スルースバルブ(φ200mm1個) 250,000円/個
- ・タケノコフランジ(φ300mm) 40,000円/個
- ・鋼管、サクシオン接続フランジ(φ300mm) 140,000円/個
- ・ロングエルボ管(φ200mm) 40,000円/個
- ・雑材

例:サクシオンホース20m*2(管径300mm)、土砂輸送部200m(管径300mmが¹100m
管径200mmが²100mの場合) **約770万円+雑材費(税込)**



300mm吸引部(110万円重さ約700kg)

● オプション材料費

- ・電磁流量計(検出器+変換器) 1個 1,000,000円/個
- ・圧力式水位計 1個 140,000円/個
- ・土砂濃度計測装置 1式 1,000,000円/式

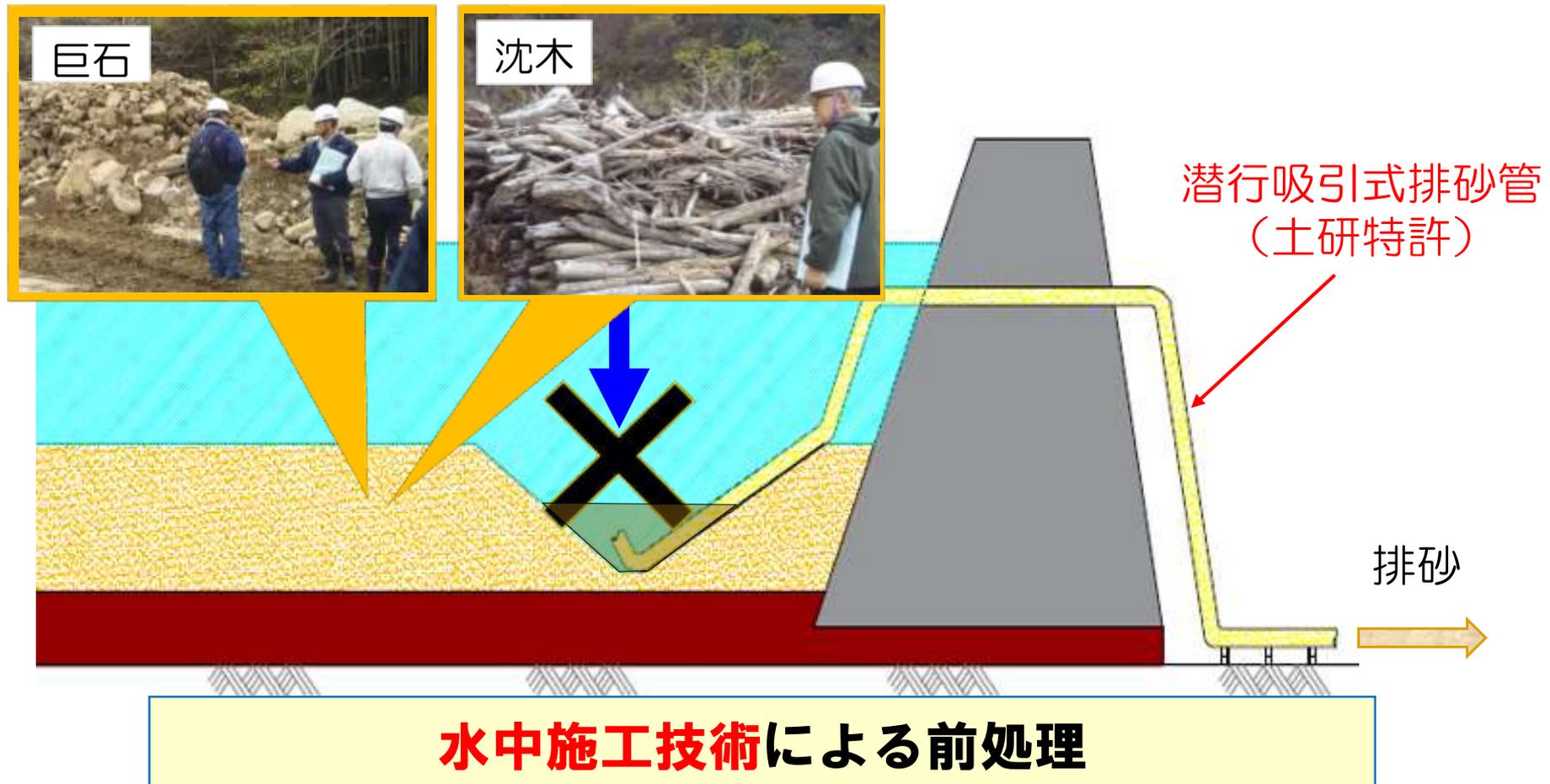
● 計画・設計・設置費 2,000,000円

● 施設整備費 土工事 数百円/m³

塵芥等の前処理技術の開発(大成建設株との共同研究)

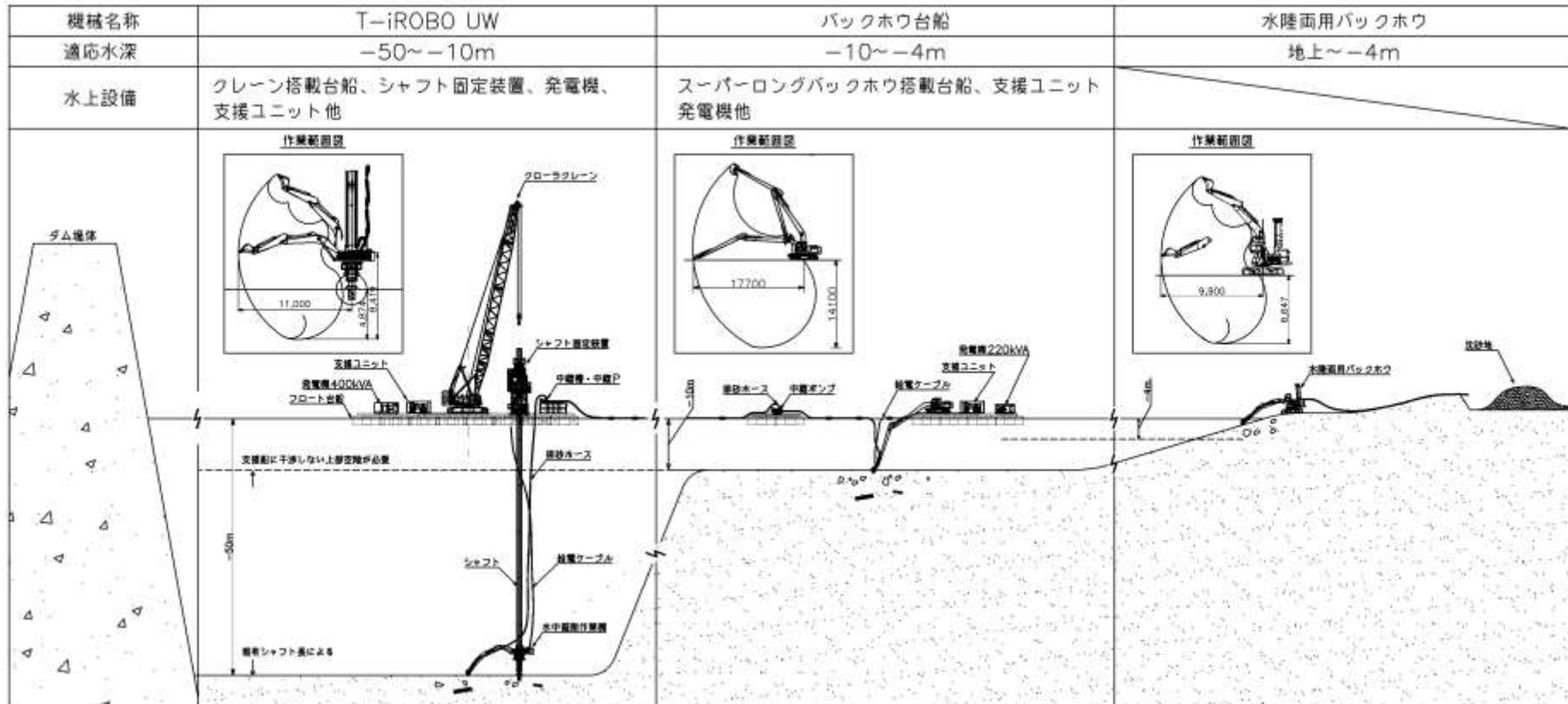
研究目的

ダム堆砂において混在する塵芥等について吸引排砂技術適用前に事前に除去する前処理技術を大成建設株との共同研究を通じて開発する。



効率的な前処理作業のための水深毎の基幹技術

多様な水深での施工が可能でスケルトンバケット等のアタッチメントを自在に変更することで多種の作業が可能となり、前処理作業が効率的に。



各種アタッチメントによる多機能作業への対応



水中ブレイカー



スケルトンバケット



ロックバケット



ツインヘッド



リッパ



コンクリートドレッサー



グラップル



巨礫破碎



沈木切削



沈木除去

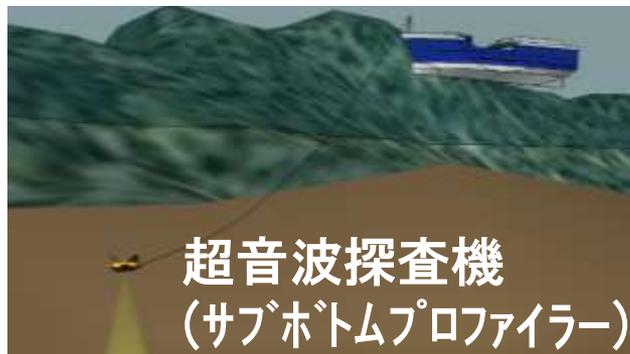


ポンプ浚渫

堆砂処理用アタッチメントの開発

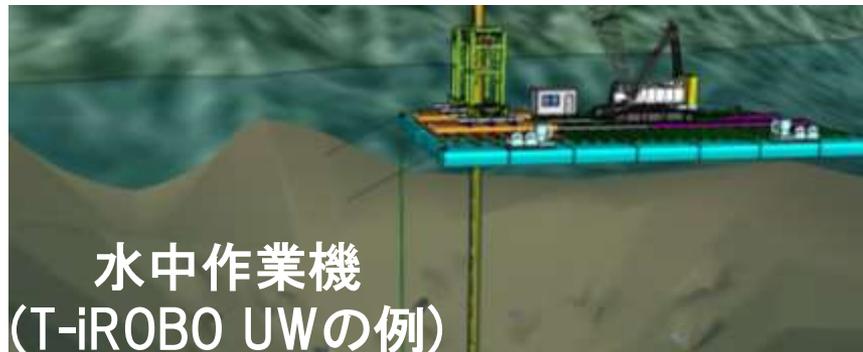
前処理ステップと要求技術(水深10m以上の施工例)

①土砂ピット位置選定



堆砂内の沈木・巨礫等
埋設物探査技術

②土砂ピット構築(浚渫・異物除去)



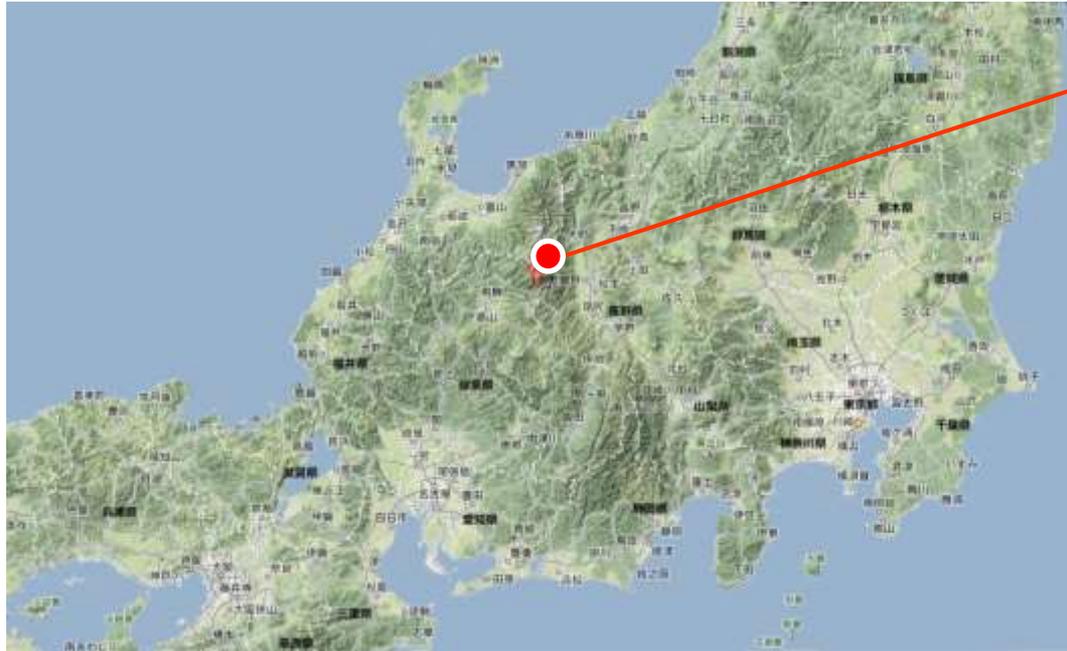
各種水中作業に対応した
水中施工技術

③土砂の湖内輸送・集積



排砂土砂の湖内輸送技術

管径100mm 現地実証試験場所



長野県大町市
東京電力ホールディングス(株)
大町新堰発電所 水槽兼沈砂池

- 発電および農業用水の取水運用がされている長さ約30m、幅約4m、深さ約3mの取水槽兼沈砂池を小規模貯水池とみなし、その堆砂について、施設の運用を停止することなく流速のある環境下で排砂管を運用し貯水池外へ無動力で排出する実証試験を実施

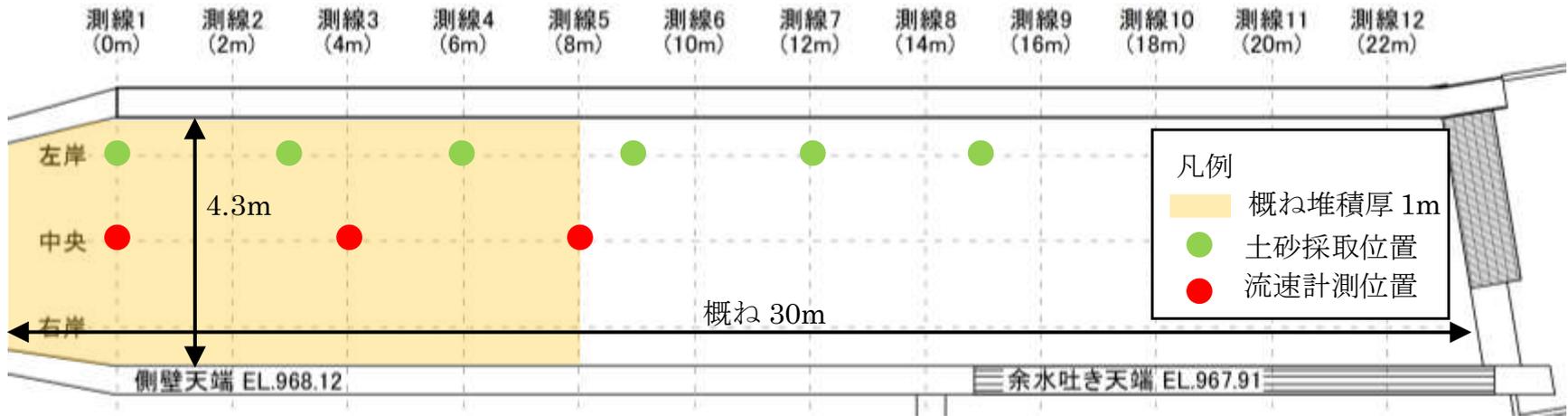


水槽兼沈砂池(運用中)

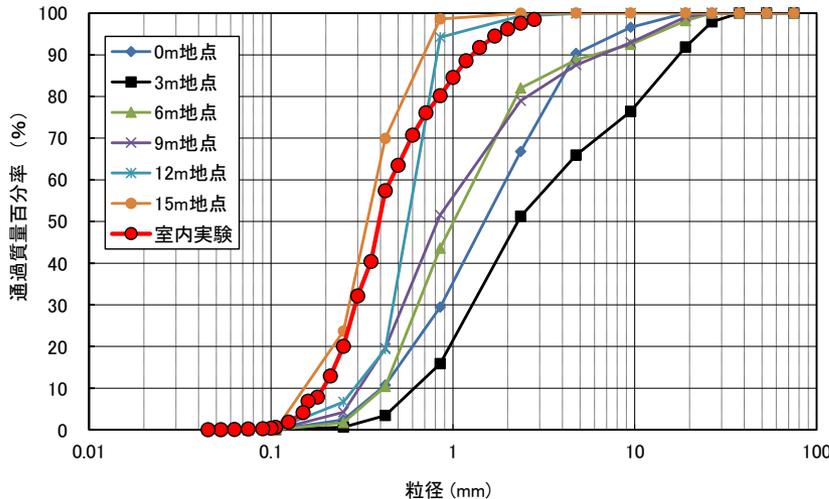


水槽兼沈砂池(排砂時)

管径100mm 現地実証試験条件



貯水池平面図(堆砂および流速の調査位置と試験測線を反映)



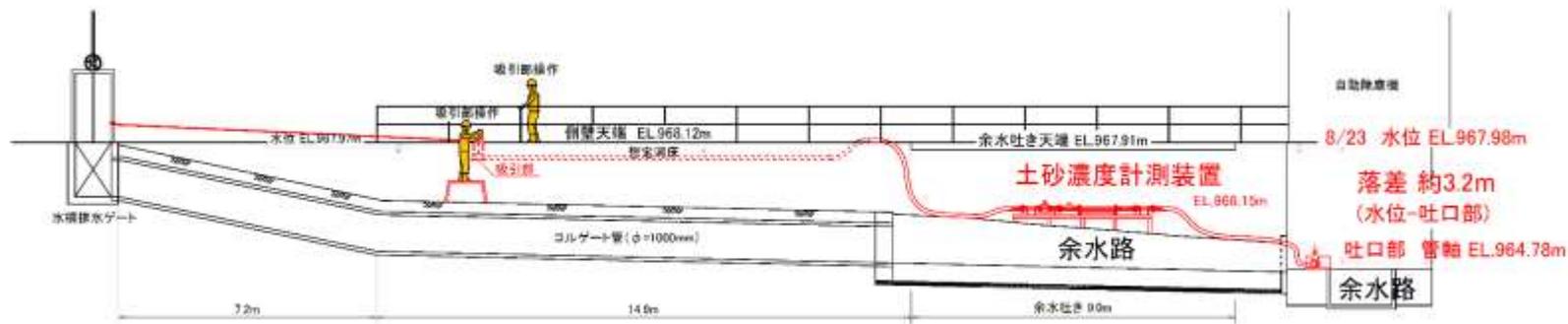
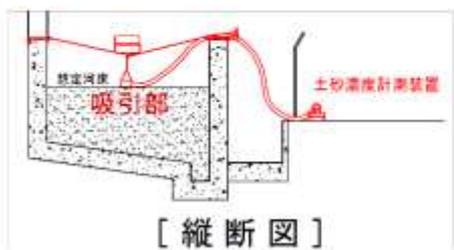
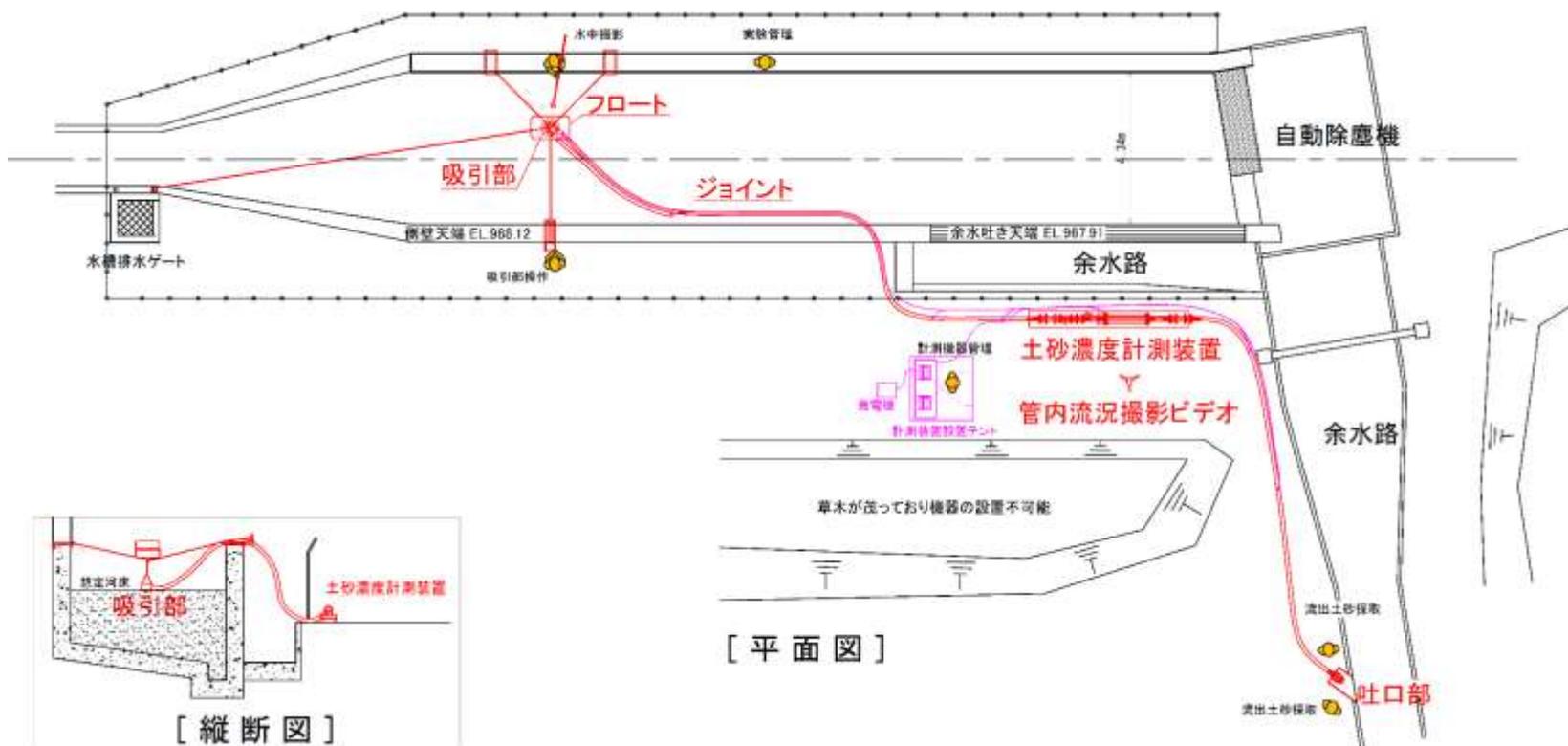
貯水池及び室内実験の粒度分布



4m地点中央部の河床表面

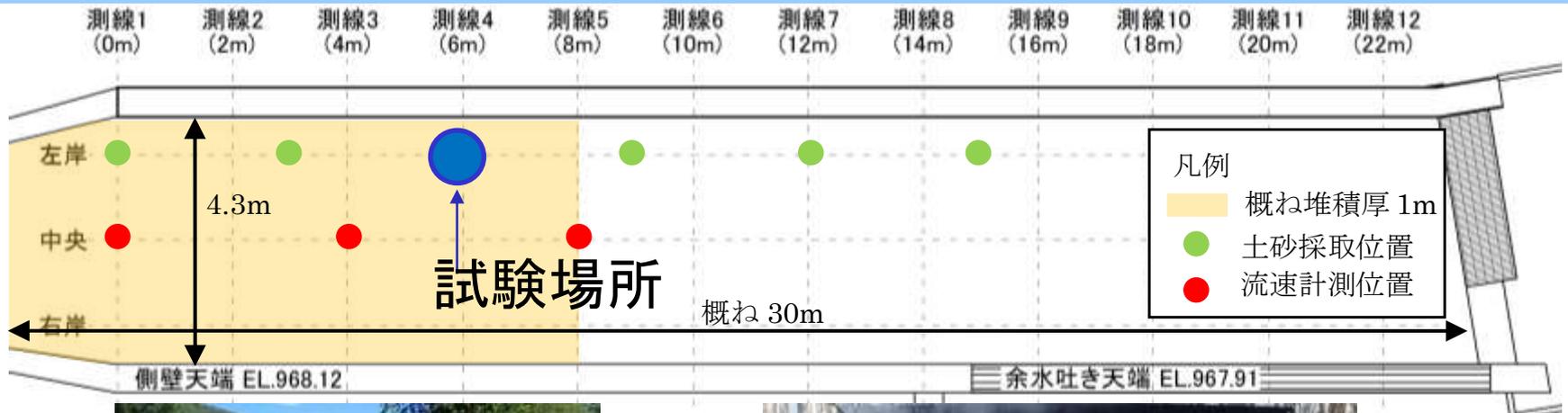
- 流速：0m地点では約0.8m/s程度、4m地点および8m地点では約0.3m/s程度
- 粒径：3m地点では10mmを超える粗い粒径の割合が多い
- 6m地点より下流は10mmを超える粗い粒径の割合が少ないが、室内実験の粒径よりは大きいまたは、同等の粒径、4m地点中央の河床表面は概ね20mmを超える礫も多く散在、アーミング化を確認

管径100mm 現地実証試験装置概要



試験装置配置図(着色部が装置等)

管径100mm 現地検証試験結果



試験中の状況



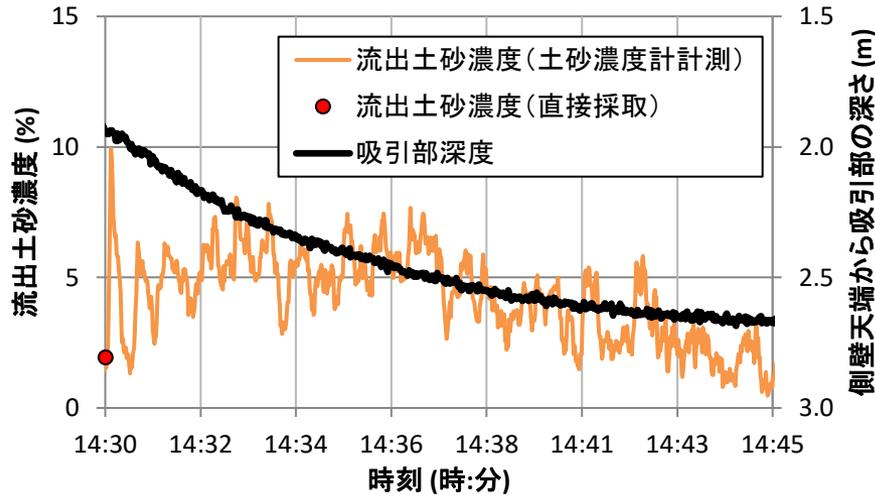
土砂濃度計測装置(自動化)



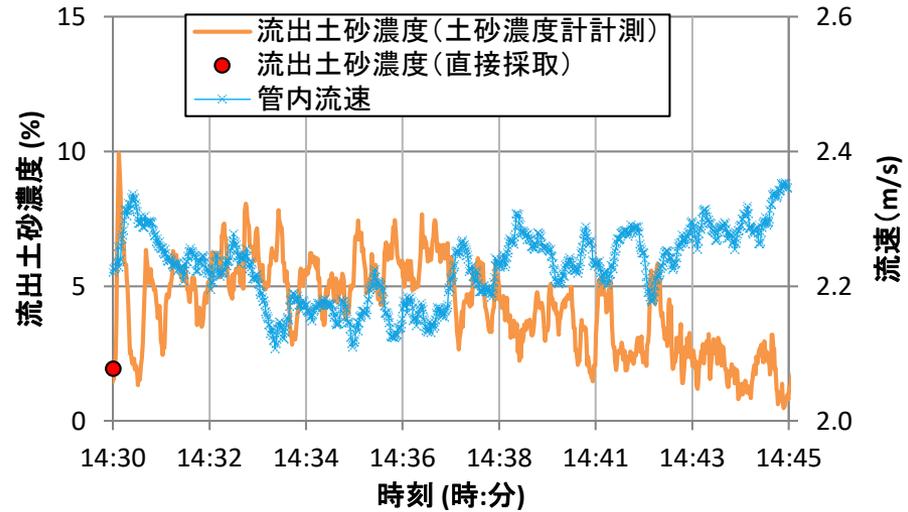
吸引部の土砂吸引の状況(水中)



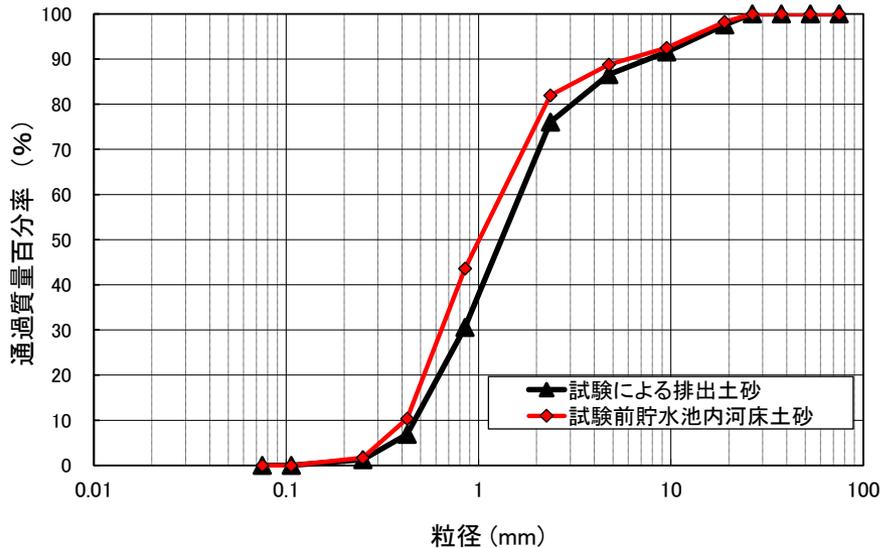
試験中の状況(吐口部)



吸引部深度と土砂濃度の関係



管内流速と土砂濃度の関係



実験前河床土砂と
実験による排出土砂の粒径比較(6m地点:測線4)

- 15分で概ね0.73m潜行し、順調排砂を確認、排砂量の合計が1.17m³ (空隙込(空隙率0.4))となった。
- 土砂濃度が高くなると管内流速が低下
- 試験前の貯水池内の土砂と試験による排出土砂の粒度はほぼ同等の結果で土砂のほとんどを吸引・排砂

- 貯水池の水位を低下させず、発電所の運用を停止することなく、水位差(落差約3.2m)のエネルギーのみにより、流速のある環境下で無動力で貯水池内の土砂の下流への排砂を確認
- ほとんど減電を伴わないことや煩雑な排砂作業を必要としない形で、排砂が行える可能性があり、本現場以外も含めて、本技術が生産性の向上や省力化に貢献できる可能性を確認



管径100mm 潜行吸引式排砂管製作費用（概算）

● 潜行吸引式排砂管 現在の材料とその費用

- ・吸引部(材料製作費(鉄製)) 300,000円/個
- ・上流部(材料製作費(サクシヨンホース)) 6,000円/m
- ・下流部(材料費(サクシヨンホース)) 6,000円/m
- ・土砂輸送部(材料費(塩化ビニル管等)) 1,500円/m
- ・両口タケノコニップル 1個 1,000円/個
- ・パワーロックバンド 4個 2,000円/個
- ・スルースバルブ 1個 50,000円/個

サクシヨンホース40m、土砂輸送部10mの場合 約60万円



100mm吸引部(30万円重さ約30kg)

● オプション

- ・電磁流量計(検出器+変換器) 1個 1,000,000円/個
- ・圧力式水位計 1個 140,000円/個
- ・土砂濃度計測装置 1式 300,000円/式
- ・巻き上げ機 1式 400,000円/式
- ・ブイ 1個 20,000円/個
- ・雑材(滑車等) 数千円/個
- ・紐 4本 数千円



管径100mm潜行吸引式排砂管

● 設計・設置費

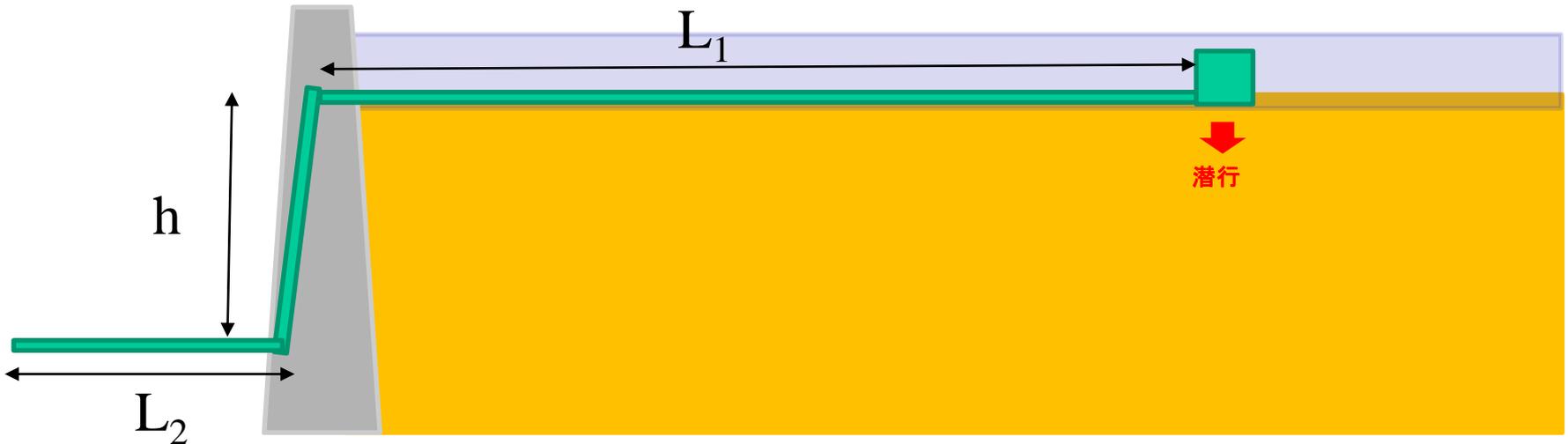


潜行吸引式排砂管の特長

- ダム等の貯水池から下流の川へ土砂を効率的に排砂する技術
(通称: 潜行吸引式排砂管)
- 貯水位を低下させずに、ダム上下流の水位差エネルギーを活用して排砂(ダム運用に影響なし)
- 堆砂の表面に設置し、バルブを開くだけで、堆砂を吸引、下流へ放流(出水時に安全な運用)
- 従来の排砂技術よりも、コストの縮減が見込まれます(経済的)

これまでの試験実績

| 管径 | 吸引口径 | 場所 | 落差 (h) | 管距離 (L1+L2+h) | 排砂可能粒径 | 流速 (清水) | 排砂時流速 (概ね) | 排砂時間 | 排砂量 (空隙込) | 時間当たり排砂量 | 土砂濃度 (平均) |
|-------|-------|----------|--------|---------------|-----------------------|---------|------------|--------|--------------------|------------------------|-----------|
| 100mm | 50mm | 室内 | 2.6m | 約16m | 0.1mm~2mm | 2.8m/s | 2.5m/s | 約4.5時間 | 約30m ³ | 約6.7m ³ /h | 5.66% |
| | | 発電所沈砂池 | 3.2m | 約36m | 0.1mm~50mm (長径80mm) | 2.3m/s | 2.2m/s | 15分 | 約1.2m ³ | 約4.8m ³ /h | 4.63% |
| 200mm | 100mm | 高滝ダム貯砂ダム | 1.6m | 約18m | 0.1mm~100mm (長径140mm) | 2.4m/s | 2.3m/s | 15分 | 約5.5m ³ | 約22m ³ /h | 5.07% |
| 300mm | 150mm | 室内 | 2.4m | 約16m | 0.1mm~2mm | 3.4m/s | 2.7m/s | 約1時間 | 約50m ³ | 約50m ³ /h | 5.13% |
| | | 高滝ダム貯砂ダム | 1.6m | 約18m | 0.1mm~150mm (長径180mm) | 2.6m/s | 2.5m/s | 2時間 | 約21m ³ | 約10.5m ³ /h | 0.99% |
| | | 松川砂防堰堤 | 11.6m | 約70m | 0.1mm~150mm (長径200mm) | 3.0m/s | 2.97m/s | 7分 | 約3m ³ | 約25m ³ /h | 1.98% |





想定される活用の場面、使用上の留意点

- ダムで活用できる管径300mmは管内流速を一定以上とできれば、十分に排砂設備として機能し、実用化可能。
- 効率的な排砂のためには、対象土砂中における吸引口径に近い粒径が占める割合は可能な限り少ないことが望ましい。
- 管径100mmは、持ち運びも容易で作業労力の軽減に貢献。ダムだけでなく、取水堰付近沈砂池の堆砂の掃除での活用
- 現在、適用可能な堆砂の状態や実用的な運用方法などについて現地等で実証確認中。
- 対象土砂粒径(吸引性能に適用範囲がある。)
 - ・粘性土を含まない0.1mm以上から吸引口径までの大きさが対象。
 - ・吸引口径の半分程度の礫が卓越する場合などは排砂効率が低下。
 - ・吸引口径よりも大きい粒径は吸引不能。
このため、試用実験が必要。
- 台船を必要としないため、平水時の排砂でもコスト面でメリットの可能性(濁水対策は別途必要)



利用等にあたって

まずは相談を！

現場条件と排砂管との適合に関する検討が必要なため、個々にご相談ください。（製作の費用はご負担願います。）

様々な現場での検証場所を募集中。

（問い合わせ先）

土木研究所 水工研究グループ 水理チーム 宮川 仁

damsuiri@pwri.go.jp