

樋門の堆砂除去装置の開発

岩松 裕二・上東 公治・平岡 等

琵琶湖開発総合管理所では、洪水時に琵琶湖水位が上昇するとゲートを全閉にし、ポンプによる内水排除を行う。この際、ゲート扉体下部に堆積した多量の土砂等があると全閉にならないことから重機等で定期的に堆砂除去を行っている。それでも、平成7年の洪水では堆砂が原因で全閉にできなかったゲート設備が十数箇所あり、そのうち数箇所のゲート設備においては、人力作業による堆砂除去を行いゲートを全閉にした。

人力作業による堆砂除去は危険を伴うとともに作業効率が悪いことから、定期的に重機等で行っている堆砂除去とは別に、洪水時に使用する堆砂除去装置開発を「水資源技術5箇年計画」として取組み、所期の成果が得られたので報告する。

キーワード：堆砂、堆砂除去、一体型、分離型、小型軽量、市販品

1. はじめに

琵琶湖開発総合管理所では、158箇所263門（水門設備15箇所26門、閘門設備2箇所4門、樋門・樋管設備130箇所222門、堰設備11箇所11門）のゲート設備を維持管理している。

これらのゲート設備は、河川からの流入土砂や漂砂が堆積しやすい河口付近に設置されているため底部戸当りの堆砂が原因で全閉にならない箇所があることから、洪水期前に重機等を使用し定期的に堆砂除去を行っている（グラビヤ）。

それでも、平成7年5月の洪水で底部戸当りの堆砂が原因で全閉できないゲート設備が十数箇所あった。その多くは、全閉間際の水流によるフラッシングで全閉可能となったが、残りの数箇所のゲート設備は、圧縮空気による噴砂および潜水土による人力作業で堆砂除去を行い、ゲートを全閉することができた。

非常時におけるゲート設備の開閉操作は、安全、迅速、確実に行うことが求められるが、人力作業による堆砂除去は危険を伴うとともに、作業効率が悪いことから、重機等により定期的に行っている堆砂除去とは別に、洪水時に使用する堆砂除去装置が必要であった。こうしたことを背景とし、平成9年度より「水資源技術5箇年計画」の一環として開発に取り組むこととなった。

これまでの堆砂除去装置の採用例としては、ゲート

扉体下部に固定式ノズルを配列し圧力水により除去する装置があるが、この装置を採用する場合、琵琶湖開発総合管理所は前述したとおりゲート設備数が多く、また堆砂除去の必要な箇所が特定できないことから、全てのゲート設備に設置することになり、コストがかなり非現実的である。

そこで、低コストかつ、各ゲート設備共通で使用できる小型軽量の装置開発を行った結果、所期の成果が得られたので報告する。

2. 堆砂除去装置開発経緯

（1）平成9年度

堆砂除去装置開発を開発するにあたり、次に示す基本項目を定めた。

- ① 除去範囲は、樋門下部戸当り周辺に堆積した堆砂とする。
- ② 洪水時に使用するため濁水対策は行わない。
- ③ 軽量化を図り、機動性のある装置とする。
- ④ 編成は4人程度とし、1門を30分程度で安全・確実に除去できる機能をもった装置とする。

（2）平成10年度

受注者である財団法人ダム技術センターと平成9年度に定めた基本項目に基づき次のとおり検討した。

- ① 現地調査
- ② 堆砂除去装置の構想検討

③ 総合比較検討および選定

実態調査、堆砂除去方式、堆砂除去装置の必要能力等を考慮し、堆砂除去方式は、吸引または噴砂により除去する方法等の構想を抽出した。

(3) 平成 11 年度

平成 10 年度の成果に対する基礎実験を主とし、次の検討を受注者である社団法人日本建設機械化協会と行った。

- ① 汎用機器類の諸元調査
- ② 堆砂除去装置試作機の仕様（案）作成
- ③ 堆砂除去装置構内基礎実験
- ④ 堆砂除去装置現場基礎実験
- ⑤ 堆砂除去装置の全体構想検討

平成 10 年度において抽出した案について、次の項目と基本項目を基に再評価し、より具体的な絞込みを行った。

- ① 使用機器の汎用性（入手性など）
- ② 作業の緊急性（作業所要時間など）
- ③ 簡便性（仮設装置、仮設配管の数量、質量など）
- ④ 操作性（特殊作業員の要否など）
- ⑤ 信頼性（関連技術の実績など）
- ⑥ 経済性（特注製品の価格など）

絞込みの結果、実現性をより引出すために汎用品機器調査、ノズル基本原理、流送原理調査およびノズル予備試験等を行った。

この結果、油圧式水中ポンプを採用することによって大幅な軽量化、小型化が図れる見通しを得たうえで試作機を製作した。

(4) 平成 13 年度

平成 11 年度までの検討結果から、堆砂除去装置の詳細設計および試作機の改良を社団法人日本建設機械化協会と行った。

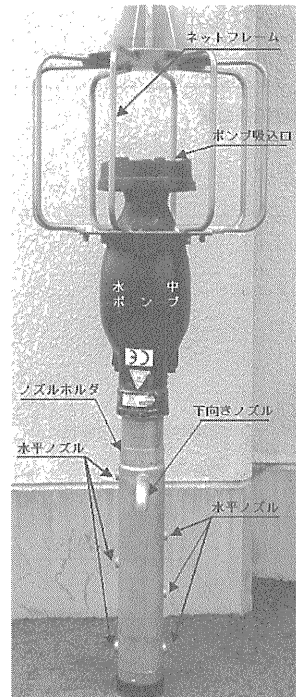
- ① 堆砂除去装置試作機の改良
- ② 現場実験
 - a. 堆砂除去性能調査
 - b. 油圧源所要動力調査
 - c. 油圧式水中ポンプの噴射動力調査
 - d. ごみ対策調査
 - e. 分離型堆砂除去装置作業性調査
 - f. 排水ポンプ使用調査
 - g. 職員へのアンケート調査
- ③ 汎用機械の油圧ユニット代用案検討
- ④ 実用堆砂除去装置設計条件検討

3. 堆砂除去装置概要

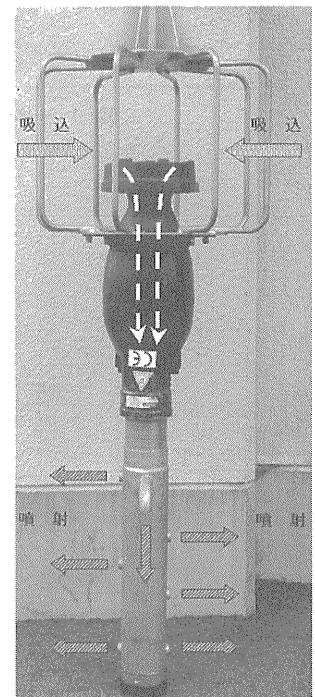
(1) 堆砂除去原理

堆砂除去装置は、油圧式水中ポンプを上下逆に取付け、吐出す水の圧力で堆砂を除去するもので、水中ポンプの吐出口にノズルホルダを取付けた構造となっている。ノズルホルダには水平ノズル 6 本、下向きノズル 1 本が取付けてある（写真—1）。

堆砂除去装置稼働時の水の流れは、写真—2 のようになる。



写真—1 ポンプ、ノズル部の構造

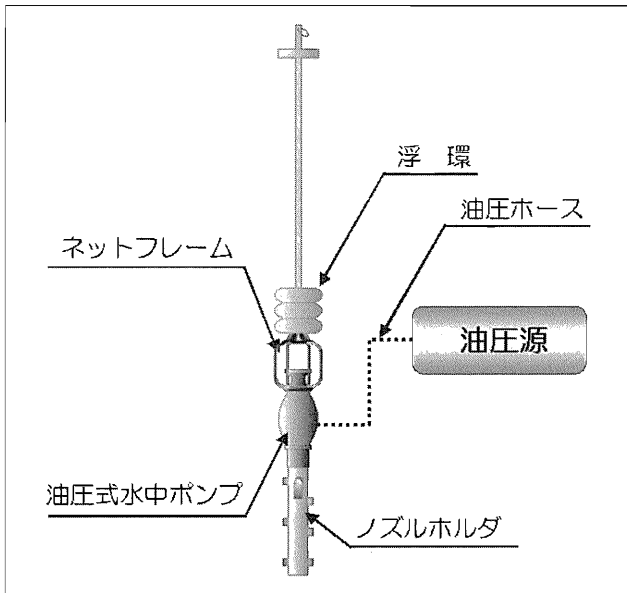


写真—2 水の流れ

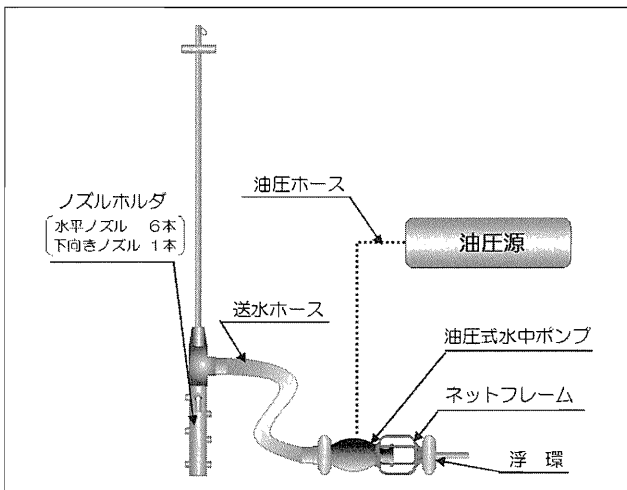
(2) 堆砂除去装置

堆砂除去装置は、ポンプ部とノズル部が一体となった一体型堆砂除去装置（以下、一体型という）の検討を行ってきたが、水深の浅い場所での使用および装置の有効利用を図るため、ポンプ部とノズル部をホースで連結した分離型堆砂除去装置（以下、分離型という）への組替えも可能なものとした。各タイプの使い分けとして一体型は、おおむね水深 1.5 m 以上で使用し、分離型についてはそれより浅い水深に対応する装置とした。

一体型堆砂除去装置を図—1、分離型堆砂除去装置を図—2 に示す。



図一 一体型堆砂除去装置



図二 分離型堆砂除去装置

(3) 堆砂除去装置の構成

堆砂除去装置は、製作および消耗部品のコストの削減などの経済性、部品の入手性などから市販品による構成を基本としたが、ノズルホルダおよびネットフレームは装置の機能を考慮し、特注品とした。堆砂除去装置の構成部品概略は写真一3～写真一7に示す部品で構成されており、各部品を現場条件（ゲート敷高、水深）に応じて、一体型、分離型および排水ポンプとして使用できるものとした。

なお、組立ておよび組替えは、特殊工具は一切使用せず、10分程度で完了させることができる。

堆砂除去装置の主要諸元は表一に示すとおりである。

表一 堆砂除去装置主要諸元

項目		仕様
水中ポンプ	型式	油圧式水中ポンプ
	噴射流量	1,125 L/min
	全揚程	30 m
堆砂除去性能	除去速度	4 m/10 min
	最大除去厚さ	へどろ 0.6 m
		砂 0.3 m
	ノズル 推力	68.6 N (7 kgf)
		口径
	噴射圧力水頭	12 m
噴射流量	1,050 L/min	
質量*1	23.85 kg	
油圧源 必要性能	作動油圧力	10.3~13.7 MPa
	作動油流量	15~34 L/min

*1 ボール（短）+ノズルホルダ（短）の組合わせにおける質量。油圧ホースおよび油圧源は質量に含まない。

4. 堆砂除去装置開発ポイント

堆砂除去装置の開発ポイントは次に示すとおりである。

(1) 油圧式水中ポンプの採用

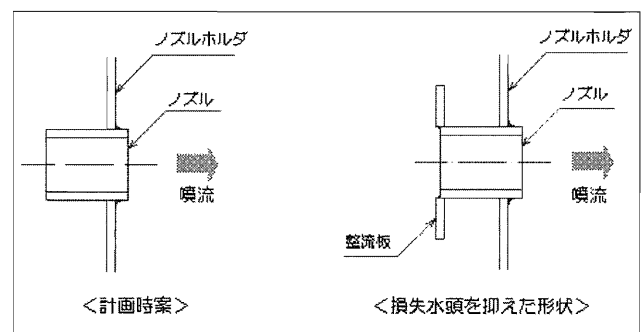
本装置で使用している油圧式水中ポンプと一般的に使用されている電動式水中ポンプを同程度の吐出量と比較すると、電動式水中ポンプは、油圧式水中ポンプに比べ重量で約10倍、コストにおいても5~7倍となるため、軽量かつ安価な油圧式水中ポンプを採用した。

(2) ノズルホルダ

ノズルホルダの長さは、琵琶湖開発総合管理所で管理している全樋門設備の平均堆砂厚から500 mm（短）と、平均堆砂厚以上の樋門用として940 mm（長）の2種類から選択することができるものとした。

ノズルは、損失水頭を抑えた形状にしてあり、流量のロスを軽減している（図一3）。

また、ノズルの径については、流量と圧力の関係に基づき構内実験の結果から20 mmとした。



図一3 ノズルの形状



写真-3 一体型専用部品

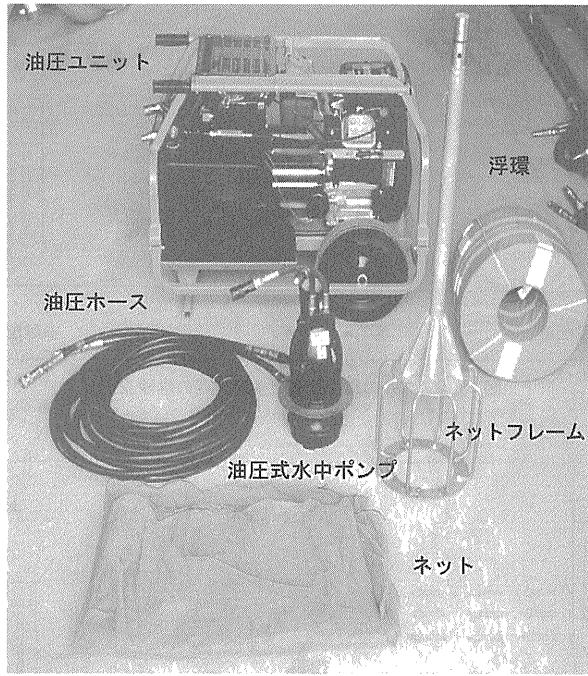


写真-4 一体型・分離型共通部品

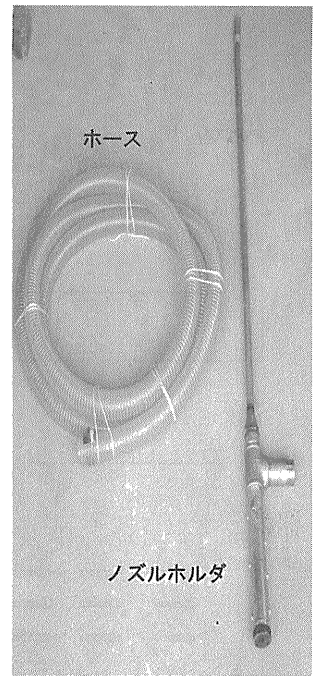


写真-5 分離型専用部品

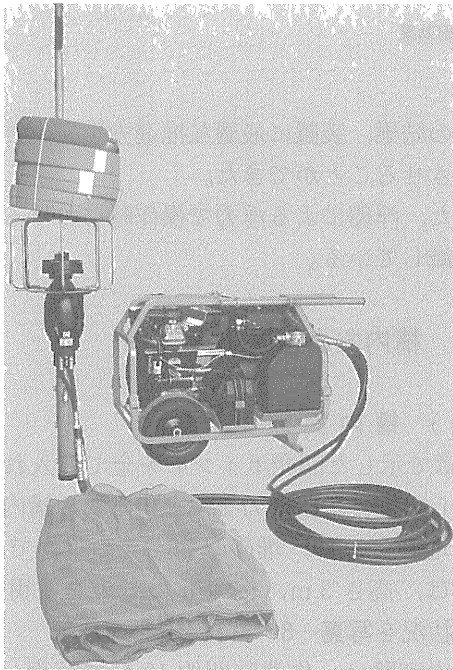
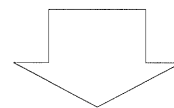
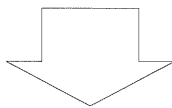


写真-6 一体型堆砂除去装置

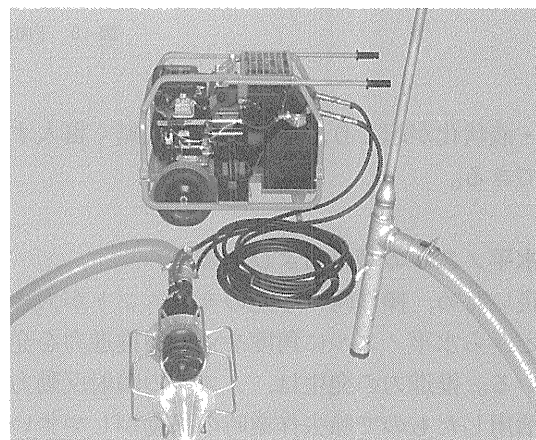


写真-7 分離型堆砂除去装置

配置したところ、噴流で掘削した堆砂の水中流送が効率的になった。

段数については、3段以下にするとノズルからの噴射が強くなり、除去効率が悪くなる。逆に4段以上にすると噴射が弱くなり、堆砂を遠くまで吹飛ばせないことから3段とした。

また、ノズル間隔は、ノズルホルダの考え方と同様、平均堆砂厚および構内実験の結果から決定した。

(3) 水平ノズルの配置

図-4に示すように、水平ノズルを単段配置した場合は、特定部分のみの堆砂除去となり、特に堆砂量が多ければ理想的な水中流送が期待できないことが判明した。

そこで、水平方向に10~15 cm 間隔にノズルを多段

(4) 下向きノズルの効果

堆砂除去装置を稼働させ、堆砂面へ降ろしていきと図-5に示すように、下向きノズルの噴射により堆砂

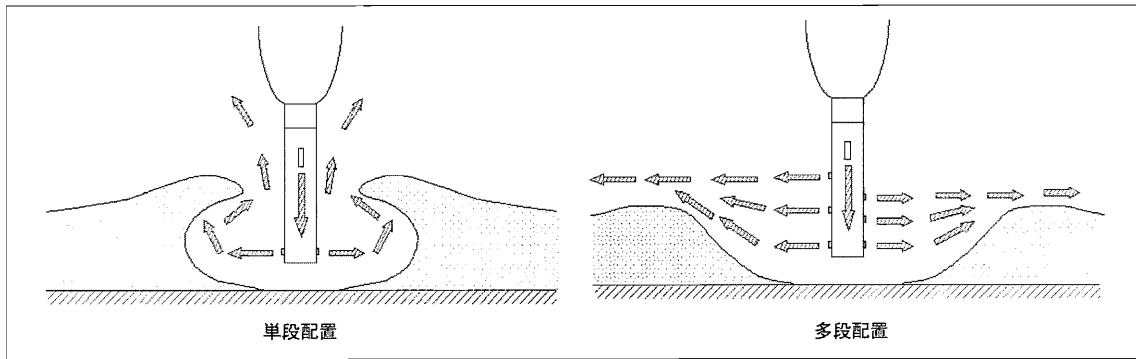


図-4 ノズルの単段配置と多段配置の堆砂流送

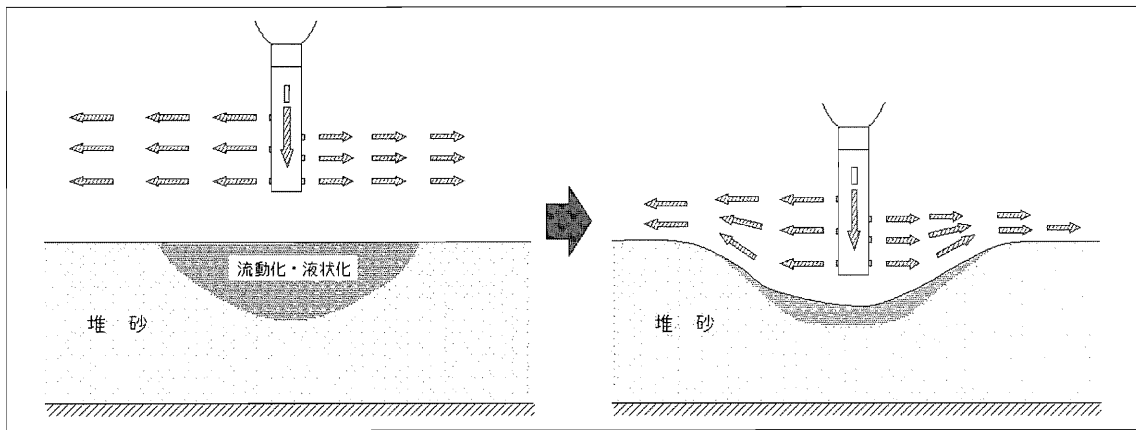


図-5 下向きノズルの噴射効果

の流動化・液状化が起こり、堆砂内に抵抗無く貫入することができる。

(5) 水平ノズルの傾斜および浮環

装置が長いから、操作時に手元のモーメントが大きくなることから水平ノズルに角度をつけて推進力を発生させている。推進力の発生は、ノズルの噴射反動力の分力を活用したもので除去作業時の移動がしやすいよう $\theta=7^\circ$ 後方に傾斜させている (図-6)。

傾斜角度については、作業速度、除去速度を考慮したうえで実験を行い装置に最適な角度としている。

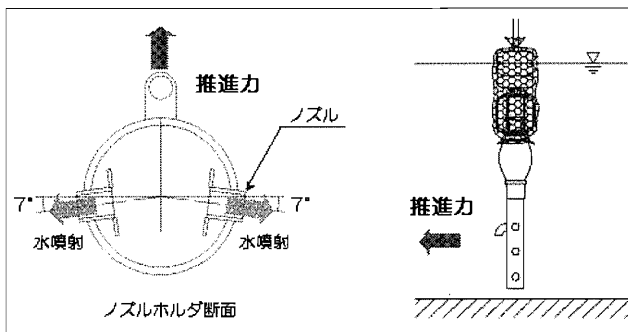


図-6 推進力の発生原理

この結果、装置に最適な推進力を発生させ作業性を向上させることができた。

また、浮環による浮力で操作時における装置の重量を軽減している。

5. 構内および現場実験

(1) 構内実験

4章で示した開発ポイントを全て取入れた試作機を製作し、堆砂除去能力を検証するため構内実験を行った。堆砂質は砂、堆砂厚 50 cm の条件で行い、実験水槽は、高さ 3 m、幅 4 m のものを使用した。構内実験状況を写真-8~写真-9 に示す。

構内実験は、作業時間約 10 分で写真-9 のような理想的な堆砂除去となったことから、当初考えていた性能を満足した結果となった。

(2) 現場実験

現場実験は、琵琶湖開発総合管理所で管理している平均的なサイズの樋門 (高さ 3 m、純径間 4 m) で堆砂質はへどろ、堆砂厚は 40 cm の条件で行った。

堆砂除去前のイメージ図を図-7 に、堆砂除去後の

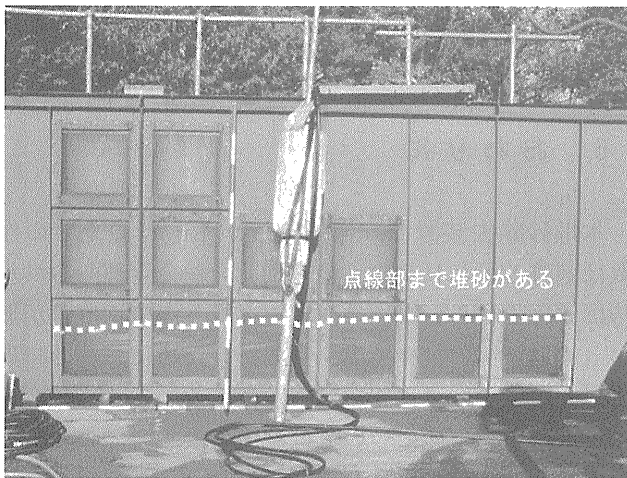


写真-8 堆砂除去前

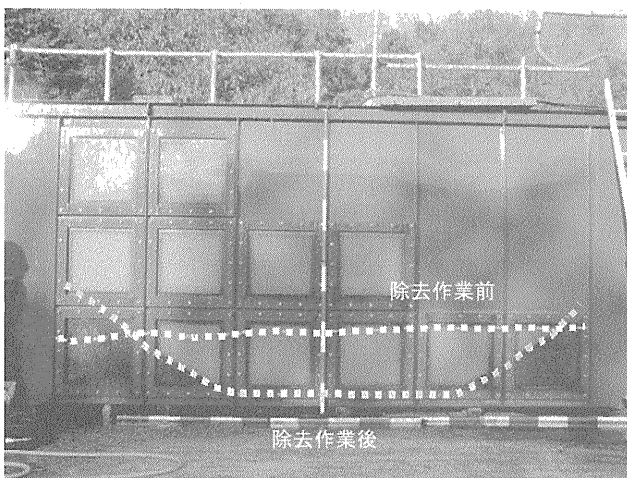


写真-9 堆砂除去作業後の堆砂断面

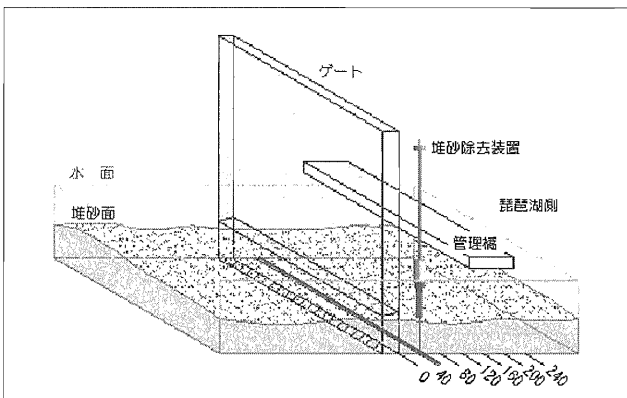


図-7 堆砂除去前イメージ

イメージ図を図-8に、現場実験状況をグラビヤ写真に示す。

この結果、作業時間は構内実験と同じ10分程度で堆砂除去を完了し、ゲートが全閉できることが確認できたことから現場実験においても満足した結果となった。

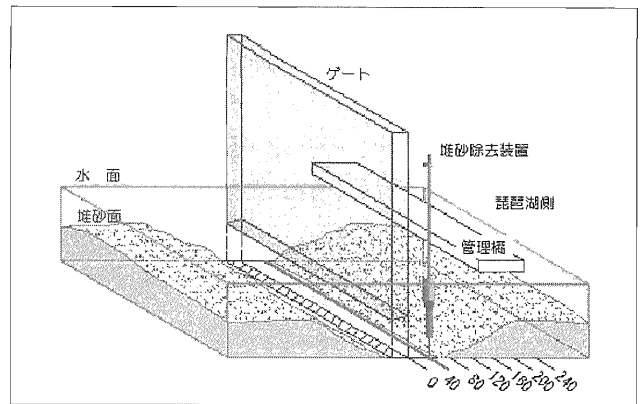


図-8 堆砂除去後イメージ

また、10分程度での作業で除去できる堆砂厚は60cmまで可能であることも確認できた。

平成11年度に行った現場実験では、沈殿していた葦の茎等が噴射により浮遊し、それをポンプが吸込みごみ詰まりとなり流量が低下するとともに、排砂能力が低下する問題が発生した(写真-10)。

この改良策として、ポンプの吸込み面積を大きく確保するため、直径30cmのフレームで囲み、その周りをネットで覆うことにより解消することができた(写真-11)。

現場実験は平常時に行い、当然のことながら洪水時



写真-10 ごみ付着状況

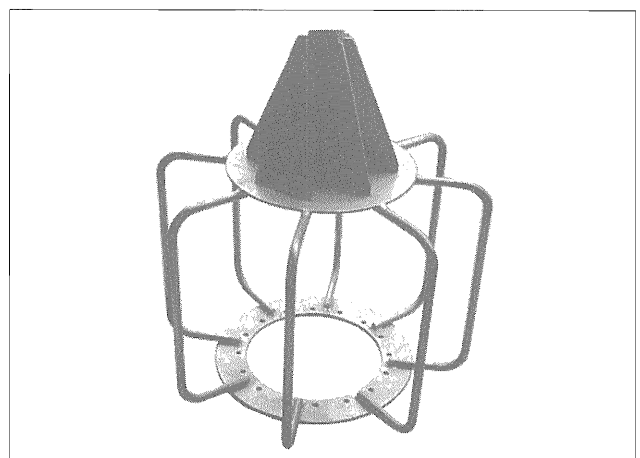
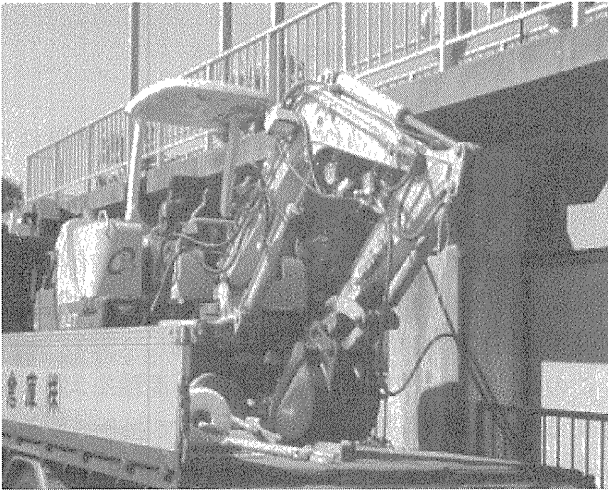


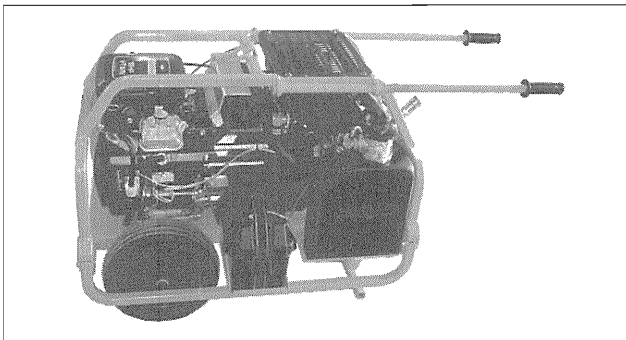
写真-11 ネットフレーム

の状況とは異なるが、今回の実験結果より洪水時においても堆砂除去装置としての機能が十分に発揮できるものとする。

また、実験段階では専用の油圧源を持たず、一般的な小型バックホウ（写真—12）から得ていたが、その後作業性と効率性向上のためには専用の動力源を持つ方が有利であることから、小型可搬式油圧ユニットを導入した（写真—13）。



写真—12 油圧源（小型バックホウ）



写真—13 油圧ユニット

油圧ユニットには万一、油漏れがあった場合でも水中のバクテリアにより水と二酸化炭素に分解すること

ができる生分解性の作動油を使用し、環境面にも配慮している。

6. おわりに

本堆砂除去装置は、河川流速が1 m/s以上での作業は困難と思われるが、琵琶湖開発総合管理所の洪水時におけるゲート操作は、ゲート上下流の水位差が無い（流速が無い）タイミングで行うために、この時点での堆砂除去作業は問題無いと考える。

洪水時の実用性については今後の洪水時での検証となるが、開発目標をほぼクリアする堆砂除去装置となった。今後は、運用を重ねてさらにより装置とするため改善を行っていきたいと考えている。

最後に、本堆砂除去装置は現在財団法人ダム技術センター、社団法人日本建設機械化協会および水資源機構の三者により特許出願中である。

JCMA

【筆者紹介】

岩松 祐二（いわまつ ゆうじ）
独立行政法人水資源機構
日吉ダム管理所主幹
（前琵琶湖開発総合管理所機械係長）



上東 公治（うえひがし こうじ）
独立行政法人水資源機構
琵琶湖開発総合管理所
機械課長



平岡 等（ひらおか ひとし）
独立行政法人水資源機構
関西支社
ダム事業部
設備課
（前琵琶湖開発総合管理所機械係長）

