

新技術開発探訪

河川管理施設等の維持管理における
水中心検ロボットの活用について国土交通省 北陸地方整備局 信濃川河川事務所 いけだ よしかず 池田 義一, さいとう しん 齋藤 真

1. はじめに

河川の適正な管理を行うためには、堤防・護岸・堰等の河川管理施設の他、河道を含めた河川空間など多岐にわたる項目について、適切な時期に調査し、評価結果に基づき補修等を行う必要がある。

しかし、長大な河川延長により河川の縦横断測量、大規模な河川管理施設周辺の深浅測量や構造物の目視点検等では、作業量も多くコストの面で課題があり、十分な情報が得られていない状況にある。

これらの課題に対して、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」では、近年の ICT 等を活用し、効率的・効果的な維持管理等を可能とする技術開発を目的とし、公募を行ったところである。

本稿では、上記施策に基づき開発された「水中心検ロボット」を堰等河川管理施設の維持管理を目的に試験的に導入・活用した事例について紹介する。

2. 水中心検ロボットの開発経緯

「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」は、平成 25 年に国土交通省および経済産業省が共同で設置したもので、社会インフラの維

持管理や災害対応に関するロボット開発が必要な「5つの重点分野」を策定、これらに対応する技術を広く民間企業、大学等から公募し、現場での実証実験、検証・評価を経て導入を促進することを目的に実施されたものである。

水中心検ロボットは、これら「5つの重点分野」のうち、河川・ダムにおける水中維持管理技術（河床等の土砂堆積状況調査、潜水土による近接目視の代替等）に関して開発された技術であり、平成 27 年 10 月に信濃川中流域の妙見堰上流で実証実験が行われた（写真－1）。

実証実験の結果は概ね良好であり、「濁水中でも河床の洗掘状況や土砂堆積状況等の面的な把握が可能」等の評価を得た。また、評価委員による検証後の指摘に対して、その後、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の技術開発支援を受け、2カ年にわたり実用化に向けた改良がなされた。



写真－1 実証実験の状況

3. 水中心検口ロボットの概要

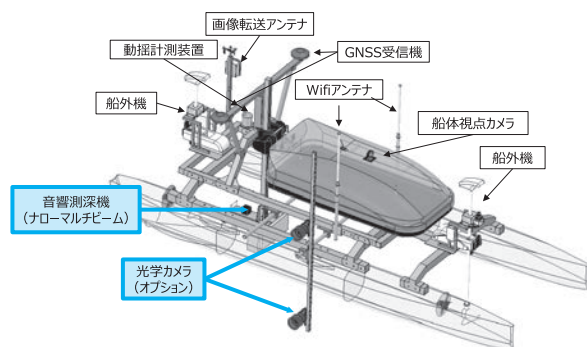
(1) 機器の構成および諸元

水中心検口ロボットは、遠隔操作により人が河川内に入らなくても調査が可能であり、ロボット本体にマルチビーム音響測深機1基、光学カメラ2基を搭載、河床および河川構造物等の三次元点群データ、河川構造物等（水上および水中）の画像を取得できる（図－1）。

搭載した音響測深機は、周波数 400 kHz の超音波をスワ幅最大 160° で照射し、最大測深レンジ 500 m まで測定可能である。

音響測深機を垂直方向から傾けて取り付けることにより、河床と護岸等の両方の三次元点群データが取得可能となる。

また、ロボット側面に取り付けられた光学カメラは、水上・水中の2カ所を同時に撮影でき、取得画像の鮮明化・モザイク処理を施した後、上記の三次元点群データと組み合わせた三次元展開図（VRML 形式）を作成、護岸等の面的な状態把握が可能である。



寸法・重量	全長/全幅/全高	4550mm / 1695mm / 2000mm
	重量	315kg ※カメラユニット搭載時350kg
主要搭載物	動力	船外機 × 2
	バッテリー	Li-ION 12V80AH × 2 Li-ION 24V80AH × 2
	対応可能ソナー	Sonic2024 / Sonic2022 (R2Sonic社)

運動性能	最大航行速度	2.0m/s
	対応流速	1.5m/s
測深性能	動作周波数	200 ～ 400kHz
	測深分解能	1.25cm
	単一ビーム幅	Sonic2024: 0.5° × 1.0° Sonic2022: 1.0° × 1.0°

図－1 水中心検口ロボット構成図および諸元

(2) 水中心検口ロボットの特徴（従来技術との比較）

本機の特徴は、音響測深機や各種センサー類がユニット化されており、ロボット本体の搬入や、準備・動作確認に要する時間を大幅に短縮したところにある。

従来の有人スワス船の場合、現地までの輸送に手間がかかる上、測定器およびセンサー類の取り付け（艀装）、テスト計測・調整に通常5時間程度かかるが、対して本機は、専用の発着台ごと車載クレーンで積み降ろしが可能であり、その他、準備等に要する時間は約1.5時間である（写真－2）。

開発当初の試作機は、船体が流水の影響を受けやすい構造であったが、改良機はプレジャーボート用のフロートを採用した双胴船とし、電動式船外機を前後に配置した（写真－3）。これにより、最大航行速度 2.0 m/s、対応流速 1.5 m/s と運動性能が向上し、さらには、前後進・旋回その他、護岸等の構造物に正対したポジションをキープしたまま、水平スライド走行が可能となった。改良後の計測能力は、水深 4 ～ 5 m の場合、1 時間あたり約 30,000 m² に向上した。

これにより、平時の河川横断測量の他、洪水後の河床および床固工、護岸の変状把握、局所洗掘の調査等、さまざまな条件下での対応が可能な技術となった。



写真－2 本体および発着台の積み降ろし状況



写真－3 改良機全景

4. 河川管理施設等の維持管理への活用

本技術のさらなる活用を図るため、平成 29 年度にいくつかの現場で、実証実験を行っている。ここでは、その一つである大河津洗堰での活用状況について紹介する。

(1) 大河津洗堰の概要

大河津洗堰は、大河津分水路と信濃川との分流点に位置し、大河津可動堰と共に日本有数の穀倉地帯である越後平野を洪水から守る役割を担っている（写真－4）。

洗堰の諸元は以下のとおりであるが、その特徴としては、周辺景観に配慮し堰柱の高さを抑えるため、主ゲートの開閉方式を「油圧シリンダ自走式」を国内で初めて採用したことが挙げられる。

堰 長：167.52 m

主ゲート：プレートガーダ構造ステンレス鋼製
ローラゲート

高さ 8.2 m × 幅 12.0 m × 5 門

魚 道：3 種類 × 左右岸

開 門：マイターゲート 幅員 10.0 m

開室長 60.0 m

(2) 調査目的・概要

大河津洗堰主ゲートの維持管理においては、必要に応じて、主ゲート上流側に予備ゲートを設置し、流水を遮断、または上下流に設置し、作業エリア内をドライ状態にして点検・整備等を実施する場合がある（写真－5）。

予備ゲートを確実に設置し水密をはかるためには、事前に堆積物調査を実施、仮に土砂等の堆積が確認された場合は速やかに除去する必要がある。その際は、潜水土作業による状態把握が欠かせない（写真－6）。

現状の課題として、作業における安全対策には十分に配慮をしているものの、潜水作業は常に危険を伴うものであるため、極力水中作業を少なくすることが挙げられる。

そこで、遠隔操作で作業ができる本技術の特性に着目し、安全性の向上および作業時間短縮を目

的に「水中点検ロボット」を活用した予備ゲート設置箇所周辺の堆積物調査を実施し、潜水土による作業との比較検証を行った。

なお今回は、毎年実施している重要構造物周辺の深浅測量との比較も兼ねて、洗堰上流 150 m 区間全面の調査を実施した（写真－7）。



写真－4 大河津洗堰 全景（下流側より撮影）



写真－5 予備ゲートの設置状況



写真－6 潜水土による堆積物調査



写真－7 水中点検ロボット調査状況

5. 調査結果

(1) 洗堰上流の堆積状況等

今回の調査結果からは、洗堰上流全体に土砂等の堆積が進行しており、特に左岸側魚道上流と右岸側閘門上流の堆積が顕著であることが判った(図-2)。

左岸側魚道上流の矢板護岸については、特に変状は確認されなかったが、魚道呑み口の土砂等の堆積は、今後の運用に支障を来すおそれがある(図-3)。また、同じく右岸側閘門上流の堆積についても、船の通行に支障が出る可能性がある(図-4)。

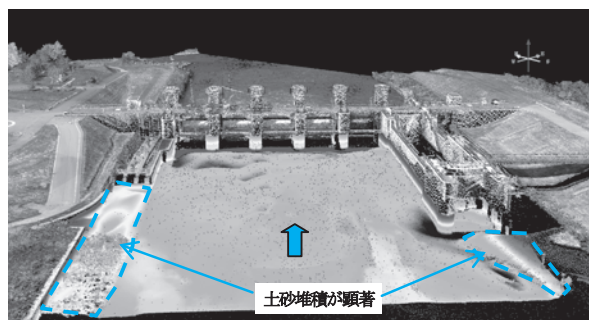


図-2 調査結果(洗堰上流よりみた点群データ)

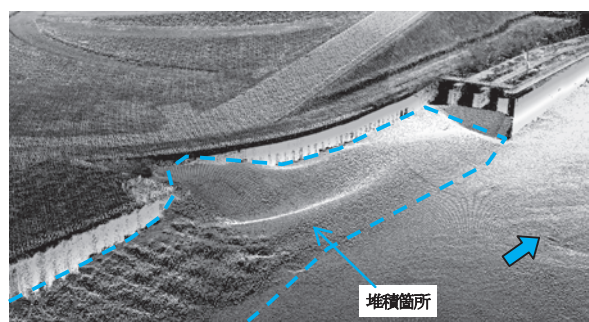


図-3 左岸側魚道上流点群データ(拡大図)

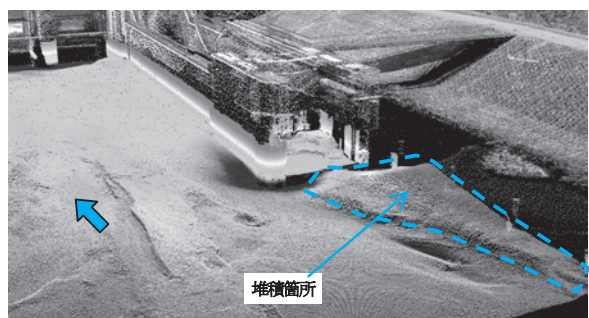


図-4 右岸側閘門上流点群データ(拡大図)

(2) 予備ゲート設置箇所の堆積状況

1～5号主ゲート上流については、特に顕著な土砂堆積はなかったものの、1号主ゲート上流側に厚さ最大30cm程度の堆積物があることを確認、徐々に厚さが減っているものの予備ゲート設置箇所(戸当り金物)上まで堆積が連続していることが確認された(図-5, 6)。

これらの堆積物については、併行して行われた潜水作業にて、同様に厚さ約30cm土砂が確認され、戸当り金物上では厚さ約3cm、その上に沈木(小枝程度)が十数本堆積している状況であり、その場で撤去を行った。

水中点検ロボットと潜水土調査との比較検討結果について、表-1に示す。

その他、1号および5号主ゲートの左右岸に近い箇所に、やや堆積が進行している傾向がみられた。大河津洗堰は、下流が洪水となっている場合を除き、常に270 m³/sを放流するよう定められ

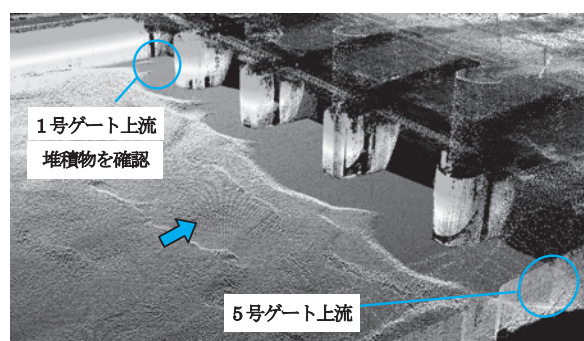


図-5 調査結果(上流右岸側よりみた点群データ)

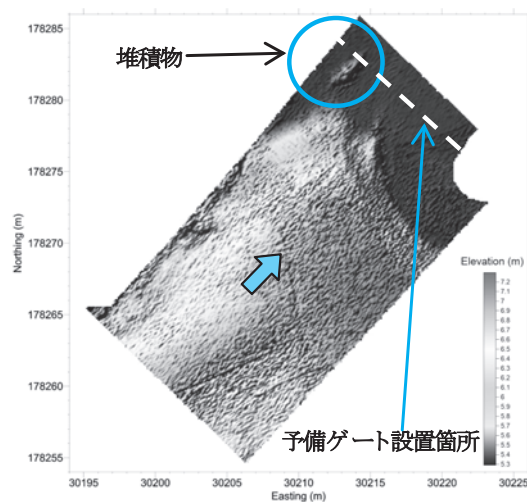


図-6 標高段彩図(1号主ゲート付近拡大図)

表－１ 堆積物調査比較表

項目	潜水調査	水中点検ロボット	備考
計測範囲	スポット調査のみ	30,000 m ² /h ※ ¹	※ 1. 水深 4 ～ 5 m の場合
堆積物の把握	種類まで特定可能	水中カメラ併用により可能	
安全性	危険が伴う作業	無人作業 ※ ²	※ 2. 水中および水上作業
調査日数	調査日＋1 日 ※ ³	調査日＋0.5 日 ※ ³	※ 3. 準備・撤収等
調査費用	約 80 万円（3 人×2 日）	約 200 万円 ※ ⁴	※ 4. データ解析込み
成果物	写真（不鮮明）	測量データ	
その他	少量の堆積物であれば、その場で除去できる		

ており、通常は、主ゲート 2 門を順番に操作し流量を調整している。この際に、1 号または 5 号主ゲートの開度を調整し、フラッシング効果による堆積物の除去が可能であれば、今後の維持管理の効率化に寄与するものと考ええる。

(3) 適用性等評価

今回の成果から、実際の土砂等の堆積状況は場所により変化が大きく、通常の横断測量（20 m ピッチで測線を設定）では把握が難しい細かい部分まで確認ができた。また、土砂等浚渫範囲の決定および推定堆砂量の算出も併せて行い、今後の計画的な維持管理に寄与するものであった。

予備ゲート設置に関しては、堆積物の種類によって除去方法は異なり、少量であれば今回のように潜水土が直接除去し、大型の流木であれば潜水土＋クレーンでの作業、大量の土砂であればサンドポンプを用いた浚渫作業となる。今後、堆積物種類特定については、点群データの密度アップおよび水中カメラ映像との組合せ等により特定が可能であると考ええる。

以上のことから、今回実施した水中点検ロボットによる調査は、予備ゲート設置前の堆積物調査等に対して有効な技術であることが確認された。

6. ま と め

本技術は、もともと有人船によるマルチビーム深浅測量を比較対象とし開発された技術であるため、潜水調査と直接比較することは難しい面もあるが、調査費用等の課題はあるものの安全性の面

および広範囲の調査には有効な技術であり、成果として記録が残る点でも活用が期待できる技術であると考ええる。

また、これらの実証実験を経て、河川管理や河川改修計画を目的とした定期縦横断測量において、試行導入段階となっている航空レーザ測深システム（ALB：Airborne Laser Bathymetry）との併用について、新たに提案がされている。

ALB は、近赤外レーザとグリーンレーザを同時に発射することで、陸上部と水部のシームレスな三次元データを広域かつ面的に取得するシステムである。しかし、グリーンレーザは、水部においては透明度や水質の影響を受けやすく、河床等に到達せず欠測箇所が出現する場合もあり、水質の影響を受けにくい音波を利用した水中点検ロボットを補測に利用することで、水陸の網羅的なデータを取得することが可能となる。

結びに、本技術については、今後、危険回避機能や操作アシスト機能などの追加が予定されており、さらなる技術開発・改良に期待するものである。

【参考文献】

- 1) 水中維持管理技術の現場検証・評価結果（次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会 水中維持管理部会）
- 2) 論文 建設機械施工 Vol.70 No.5 May 2018
「河川維持管理に資する水中点検ロボットの開発事例紹介」清成研二
- 3) NEDO インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発 成果報告