

# 貯水池の堆砂状況調査に対する AUV導入の有効性検証

おおもととしげゆき くわじまたかのぶ かたおさなみ おおかわひろし きむらいちろう  
大本茂之<sup>1</sup>・桑島孝暢<sup>2</sup>・片尾紗凡<sup>3</sup>・大川博史<sup>4</sup>・木村一朗<sup>4</sup>

<sup>1</sup> (株) エイト日本技術開発 技術本部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町3-1-21)

<sup>2</sup> (独) 水資源機構 吉野川本部 (〒760-0018 香川県高松市天神前10-1)

<sup>3</sup> (株) エイト日本技術開発 国土インフラ事業部 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町3-1-21)

<sup>4</sup> (株) エイト日本技術開発 技術本部 (〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11)

水中の調査を無人で実行するAUVは、水中における生産性向上技術の1つとして注目されている。本研究では、インターフェロメトリ音響測深機を搭載したAUVを貯水池の堆砂状況調査に導入し、その有効性について精度・労力・コストの3つの観点から検証した。その結果、AUVのインターフェロメトリ音響測深機で計測した地盤高は真値に近い確からしい値であることが確認された。また、AUVを導入した堆砂状況調査は、その投入・回収に従事する2名の調査員だけで実行可能であったため、ナローマルチビーム音響測深機の場合に比べて機装と測深に係るコストを25%程度低減できると評価された。

**Key Words** : AUV, インターフェロメトリ音響測深機, 貯水池, 堆砂状況調査, 省力化, コスト低減, i-Construction

## 1. はじめに

ダムは、流入してくる水に加えて土砂も貯留する。堆砂は、ダムの治水機能や利水機能等の低下を引き起こす場合がある。このため、ダム管理者は河川法施行令(昭和40年政令第14号)に従い、貯水池の堆砂状況を継続的に調査している。しかしながら、貯水池は広大な面積を有することが多いため、調査に係る過大なコストや労力が問題視されており、効率的な調査手法の確立が喫緊の課題となっている。

一方、建設産業では平成28年度以降、産官学が連携してi-Constructionの取組みが進められている。トップランナー施策の1つである「ICTの全面的な活用(ICT土工)」では、大幅な生産性の向上が見込まれるUAV等の測量技術、ICT建機やロボット技術の全面導入等が推奨されている<sup>1)</sup>。こうした陸上における生産性向上技術の開発はメディアにも取り上げられ、着実な進展が見られる。

近年、国内の海洋環境調査や海底調査に利用され成果を上げている探査機に自律型無人潜水機(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)がある<sup>2), 3)</sup>。AUVは、コンピュータと各種センサー類を搭載した水中ロボットである。調査仕様を予め入力し、その仕様に従って水中の調査を無人で実行するため、水中にお

ける生産性向上技術の1つとして注目されている。

そこで、本研究では、インターフェロメトリ音響測深機を搭載したAUVを貯水池の堆砂状況調査に導入し、その有効性について精度・労力・コストの3つの観点から検証した。



図-1 貯水池の堆砂状況調査に導入したAUV

## 2. AUVを導入した貯水池の堆砂状況調査

### (1) 調査方法

AUV(i3X0 EcoMapper AUV, YSI; 図-1)を導入した貯水池の堆砂状況調査は令和元年12月13日に、香川県三豊市に位置する香川用水調整池で実施した。香川用水調整池の位置図を図-2に示す。水資源機構所管の香川用水調整池は、水道用水を一時的に貯留し

ておき、渇水時の補給または緊急時に活用する貯水量約300万 $\text{m}^3$ の貯水池である<sup>4)</sup>。

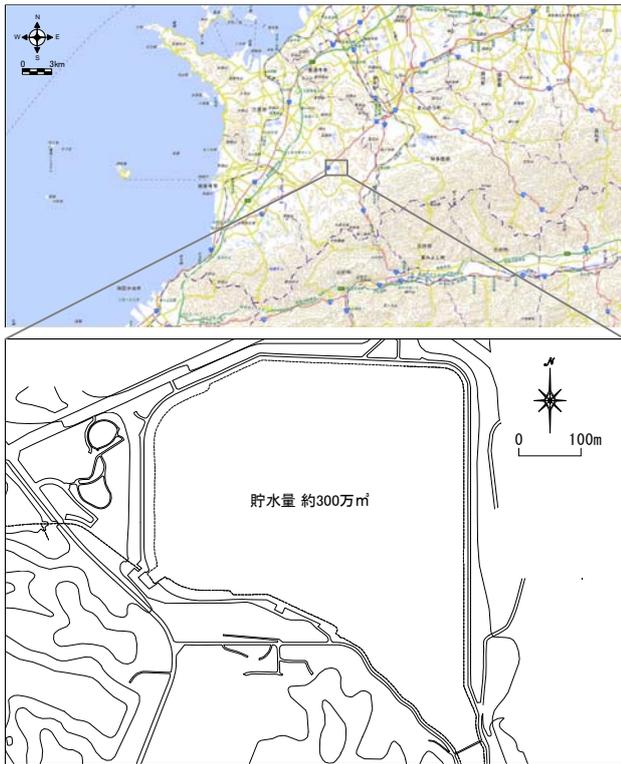


図-2 香川用水調整池の位置図

香川用水調整池内に25m間隔で設定した19本の調査測線(平均測線長370m; 図-3)とその外周の水面上を速度1m/sでAUVに自律航行させ(航行距離9,598m)、インターフェロメトリ音響測深機(2205AUV, EdgeTech)のスワ幅を50mに設定して水面から池底までの距離(水深)を0.02秒間隔で計測した。ここで、AUVの航行時間は予定通りの160分間であった。AUVの航行ルートは回頭直後を除き、調査測線とよく整合していた(図-4)。なおAUVは、図-4に示す地点において2名の調査員により投入・回収した。



図-3 香川用水調整池内に設定した調査測線

また令和元年11月15日に、RTK-GNSS([GNSSアンテナ

：Model A21, Hemisphere GPS], [通信モジュール：BaseStation, SonTek; PCM, SonTek])とADCP(RiverSurveyor M9, SonTek)を搭載したゴムボート(図-5)で同一の調査測線上を航行し、1秒間隔で地盤高を5地点ずつ計測した。これらは、上述の測深点データの精度を検証するデータとして取得した。

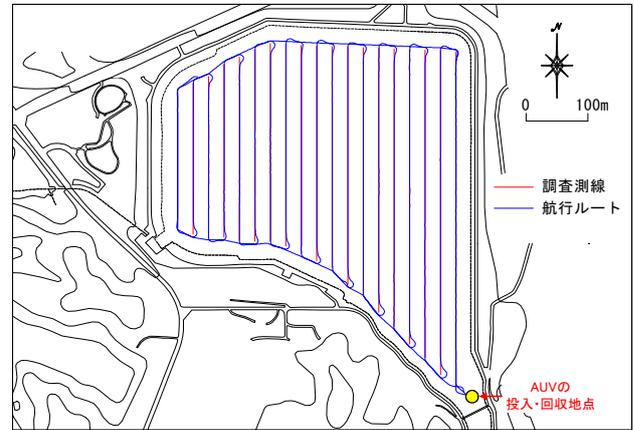


図-4 AUVの航行ルート



図-5 RTK-GNSSとADCPを搭載したゴムボート

## (2) 解析方法

JSF形式で出力されるインターフェロメトリ音響測深機のデータはSonarWizを用いて処理した。センサーのオフセット補正值、喫水補正、パッチテストによって得られたロール・ピッチ・ヘディングの補正、動揺補正、水位補正(計測時の水位T.P. 72.2m)、音速補正等の各種補正はポストプロセスで行った。ノイズはすべて、フィルターを使用せず手動で除去した。

ノイズを除去した測深点データを2つのグループ(グループ①：北→南の方向に調査測線を航行して取得したもの+調査測線の外周を航行して取得したもの、グループ②：南→北の方向に調査測線を航行して取得したもの)に分け、ICPアルゴリズム<sup>5)</sup>を使用してグループ②がグループ①に重なるような変換を施した。このように位置合わせした測深点データから0.2m間隔のグリッドデータをクリギング法<sup>6)</sup>により作成した。

## (3) 調査結果

0.2m間隔のグリッドデータから作成した香川用水調整池内の地形図を図-6に、平成21年3月時点と同一の位置で作成した断面図を図-7に示す。香川用水

調整池内の湖底はT.P. 55m程度で平坦に仕上げられているとともに、貯水池の中央部には2箇所(75m×75m, 100m×110m)の矩形の深掘れ部が設けられていた。各断面の地盤高は平成21年3月時点のそれと比較してさほど大きく変わらず、河川からの直接流入が無いため堆砂が進行しづらいという調整池の特性を裏付けるような結果であった。

今回の調査では、堆砂が進行していなかったこともあるが、膨大な測深点データ(約3,600万)が取得できたため、平坦に仕上げられた湖底や深掘れ部の形状に加えて、水路のような凹地(建設中の仮設の素掘り排水路)の形状も正確に把握することができた。



図-6 香川用水調整池内の地形図

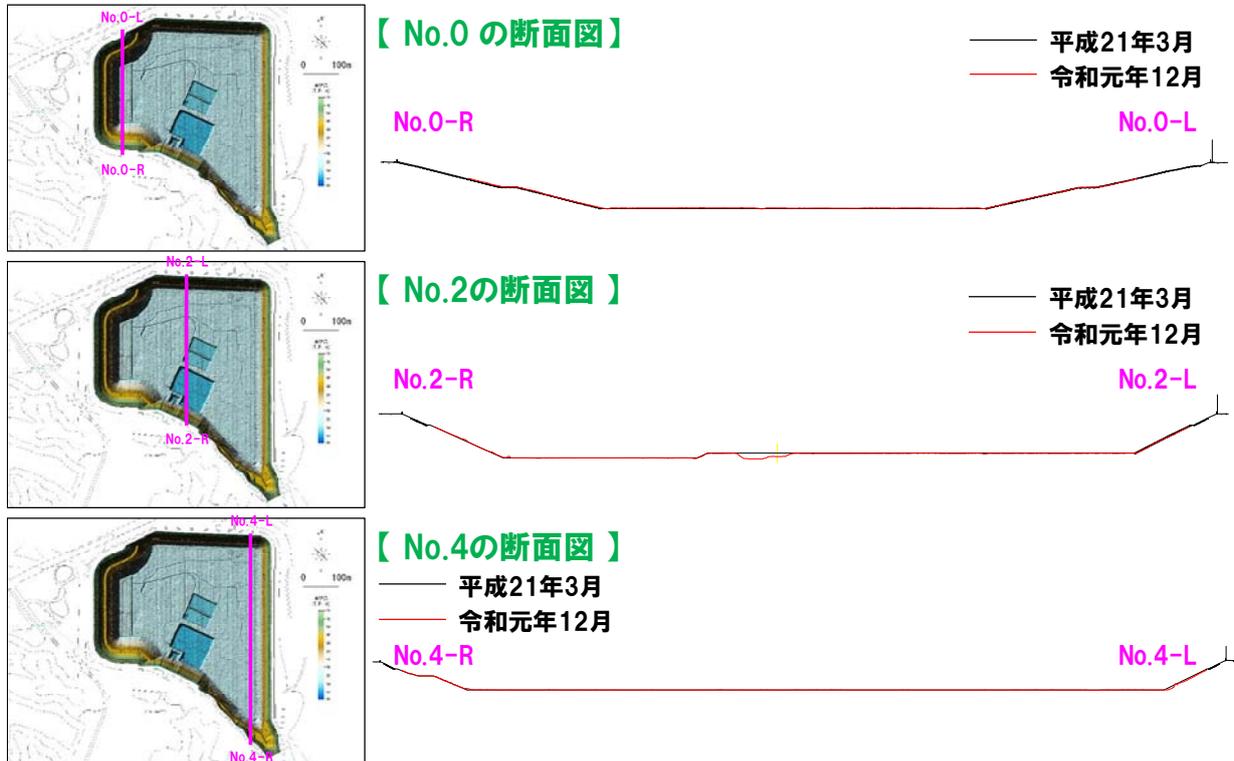


図-7 香川用水調整池内の断面図

### 3. 有効性検証

貯水池の堆砂状況調査に対するAUV導入の有効性は、精度・労力・コストの3つの観点から検証した。

#### (1) 精度

AUVのインターフェロメトリ音響測深機で計測した地盤高とRTK-GNSS・ADCPで計測した地盤高を最近傍の測深点間(点間距離0.01m未満)で比較した。両者を変数とする散布図(図-8)を見ると、プロットされた点の多くは回帰直線(傾き1, 切片0)の周囲(95%予測区間内)に分布していた。また、両者には有意な比例関係が認められた( $p < 0.05$ )。したがって、RTK-GNSS・ADCPで計測した地盤高は正しいという仮定が成立する場合には、AUVのインターフェロメトリ音響測深機で計測した地盤高は真値に近い確からしい値であると評価される。

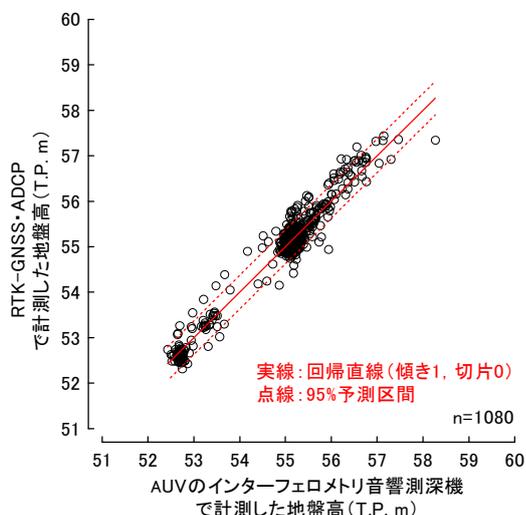


図-8 AUVのインターフェロメトリ音響測深機、RTK-GNSS・ADCPで計測した地盤高の比較

#### (2) 労力

最近普及が進んでいるナローマルチビーム音響測深機を使用した堆砂状況調査では、船舶への艀装、計測中の調査船の誘導やシステム・オペレーション等の作業が必要となるため、調査員4名での実行が想定されている(例えば、港湾土木請負工事積算基準<sup>7)</sup>)。これに対してAUVを導入した堆砂状況調査は、インターフェロメトリ音響測深機を搭載したAUVが自律航行するため、その投入・回収に従事する2名の調査員だけで実行することができた。したがって、堆砂状況調査へのAUVの導入は、ナローマルチビーム音響測深機の場合に比べて艀装と測深に係る労力を50%程度軽減できると評価される。

#### (3) コスト

前述の調査員数を考慮し、堆砂状況調査の艀装と測深に係る概算費用(調査面積1km<sup>2</sup>、水深10m)について、港湾土木工事請負積算基準<sup>7)</sup>を参考に積算すると、表-1に示すようにAUVのインターフェロメトリ

音響測深機の場合で約130万円、ナローマルチビーム音響測深機の場合で約170万円となった。したがって、堆砂状況調査へのAUVの導入は、ナローマルチビーム音響測深機の場合に比べて艀装と測深に係るコストを25%程度低減できると評価される。

表-1 AUVのインターフェロメトリ音響測深機とナローマルチビーム音響測深機の概算費用

項目	調査範囲1km <sup>2</sup> 、水深10mの場合の概算費用(円)	
	AUVのインターフェロメトリ音響測深機	ナローマルチビーム音響測深機
艀装	250,280	593,439
測深	987,027	1,075,927
合計	1,237,307	1,669,366

### 4. おわりに

インターフェロメトリ音響測深機に加えて多項目水質センサー(EX01, YSI)を搭載しているAUVは、貯水池内の水質(水温、塩分、pH、ORP、濁度、DO、クロロフィル、フィコシアニン、溶存有機物等)も調査可能である。国内には、冷・温水現象や濁水長期化現象、富栄養化現象といった水質変化現象<sup>8)</sup>に伴う水質問題が発生している貯水池が多く存在する。したがって今後は、水質変化現象の発生原因の推定や水質改善対策の効果把握等に貢献するために、AUVを導入した効率的な水質調査手法の確立に取り組むつもりである。

#### 参考文献

- 1) i-Construction委員会：i-Construction～建設現場の生産性革命～，pp. 11-13, 2016.
- 2) 芦寿一郎，森田澄，清川昌一，月岡哲：泥火山の微細構造と発達過程：深海巡航探査機「うらしま」による熊野トラフ海底調査，日本地質学会学術大会講演要旨集，No.114，pp. 99, 2007.
- 3) 笠谷貴史，月岡哲，山本富士夫，百留忠洋，澤隆雄，吉田弘，石橋正二郎，田原淳一郎，木下正高，青木太郎：深海巡航AUV「うらしま」によって得られた相模湾初島沖の海底地すべり音響イメージ，海洋調査技術，Vol.19，No.2，pp. 11-17, 2007.
- 4) 独立行政法人 水資源機構 香川用水管理所ホームページ：<https://www.water.go.jp/yoshino/kagawa/houzanko/houzanko.html>.
- 5) 中井康博：特別研究報告書 複数の点群に対する位置合わせ手法の性能比較(指導教員 美濃濃彦 教授)，京都大学工学部情報学科，pp. 8-10, 2012.
- 6) 小林知勝：クリギング法を用いた歪場の推定の試み，北海道大学地球物理学研究報告，No.72，pp. 257-268, 2009.
- 7) 公益社団法人 日本港湾協会：港湾土木請負工事積算基準 令和2年度改訂版(国土交通省港湾局監修，一般社団法人 港湾空港総合技術センターSCOPE編集)，pp. 2-1-(3)-2-1-(6), 2020.
- 8) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：ダム貯水池水質改善の手引き，pp. 8-10, 2018.