

自動マルチビーム測深システムによる 水中3次元データの取得

神谷 光顕（中日本航空株式会社 調査測量事業本部）
 城下 奨（株式会社フジヤマ 測量調査部）
 今井 浩久（ヤマハ発動機株式会社 UMS 事業推進部）
 鵜飼 尚弘（株式会社ジェノバ 経営企画室）

1. はじめに

近年の測量技術向上と周辺関連機器の高度化に伴い、3次元測量技術は飛躍的に進歩している。深浅測量に於いては、従来のシングルビーム測深による線的な計測から、ナローマルチビーム（以下：マルチビーム）測深技術による面的な3次元計測へと転換期を迎えている。

とりわけダム堆砂測量では、頻発する豪雨災害により、利水・治水容量の確保が懸念され、3次元計測を活用した詳細なダム貯水池の地形と正確な堆砂状況の把握が重要となっている。一方で、マルチビーム測深における艀装やキャリブレーションの省力化、計測作業環境の改善等が重要な課題となっている。

今回は、小型無人艇を用いた自動マルチビーム測深システムによる水中3次元データの取得について実地検証を実施したので報告する。

2. 業務上の課題

ダム堆砂測量業務におけるマルチビーム測深の課題を以下に示す。

①艀装時間の短縮

複数の計測機器（ソナー・GNSS・IMU・制御PC等）からなるマルチビーム測深システムは、艀装に半日（4～5時間）程度の時間を要しており、作業効率向上のために艀装時間の短縮は大きな課題となっている。



図 2.1 冬期(積雪時)の現場状況 (例)



図 2.2 上流部の現場状況 (例)

②作業環境の改善

ダム堆砂測量は一般的に非洪水期となる10月以降の寒い冬の時期に実施され、長時間の船上作業となり厳しい環境下での測深作業となっている（図 2.1）。

③安全面の確保

複数の機器類を艀装した作業船は、不安定であり、突風による作業船の横転や、浅く狭いダム湖上流部における作業船の座礁や岩礁衝突等、危険リスク軽減が求められている（図 2.2）。

3. 自動マルチビーム測深システムの構成と検証

前述したダム堆砂測量におけるマルチビーム測深の課題を改善すべく、自動マルチビーム測深システムを考案、構築し、実地検証を行った。以下にシステム構成、実地検証について述べる。

3.1 自動マルチビーム測深システムの構成

マルチビーム測深を自動化する仕組みとして、小型無人艇による自動マルチビーム測深システムを考案し、構築した。

このシステムは、ヤマハ発動機(株)開発の自動航行が可能な小型無人艇「OT91」(図 3.1)に従来のマルチビーム測深システム「Sonic2024」を搭載し、以下のシステム構成により水中3次元データ取得を自動化したものである。システムの諸元を(表 3.1)に示す。

○小型無人艇

(OT91: ヤマハ発動機(株)社製)

○マルチビーム測深機

(Sonic2024: R2SONIC 社製)

○慣性 GNSS ジャイロ

(POS/MV: APPLANIX 社製)

3.2 システムの実地検証

太田川ダム(静岡県)(図 3.2)を検証フィールドとして、構築した小型無人艇による自動マルチビーム測深システムの実地検証を行った。

①実地検証の流れ

実地検証を以下の手順で実施した(図 3.3)。

②自動マルチビーム測深

実地検証では、貯水池を見渡せる箇所に陸上通信基地(図 3.4)を設け、遠隔操作用 PC 及び通信設備を設置し、湖面上に浮かべた小型無人艇へ観測指令を送り、自動航行により測深データの取得を行った。測深中は、陸上



図 3.1 小型無人艇 (OT91 ヤマハ発動機製)

表 3.1 システム諸元

小型無人艇	
形式	OT91
全長×全幅	2.85m×0.98m
乾燥質量	185kg
巡航速度	2knot
バッテリー	リチウムイオンバッテリー (24Ah×4)
連続使用時間	3 時間
マルチビーム測深システム	
ソナー	Sonic2024
周波数	200~400kHz
ビーム幅	0.5°×1° @400kHz
ビーム本数	256 本
スワ幅	10~160°
レンジ分解能	1.25cm



図 3.2 検証フィールド 太田川ダム



図 3.3 実地検証手順



図 3.4 陸上通信基地

通信基地からソナー制御モニターを監視し操作を行った。測深の概念図を(図 3.5)に示す。

3.3 検証結果

本検証では、主に①艀装時間、②自律航行計測、③取得データの精度確認を行った。結果を以下に示す。

①艀装時間

マルチビーム測深機の従来の艀装は、揺れる狭い船上で行われ、不安定で作業効率が悪い状況であった。しかし、小型無人艇への艀装作業は、予め屋内でもその作業を行うことができ、安定した安全な作業足場の確保によって、確実な艀装と艀装時間の短縮が可能となった。

②自律航行計測

陸上通信基地局からの遠隔操作により、観測指令を送り、小型無人艇の自律航行により計画測線上を航行させ測深作業を行った(図 3.7)。

③取得データの精度確認

実地検証により取得した測深データを解析し、1m メッシュデータを作成した。同ダムでは、マルチビーム測深による堆砂測量が毎年実施されており、平成 25 年度業務の 1m メッシュ成果をもとに検証データとの比較を行った。両者の標高差分による比較と、起伏図および断面図による比較を実施したところ、

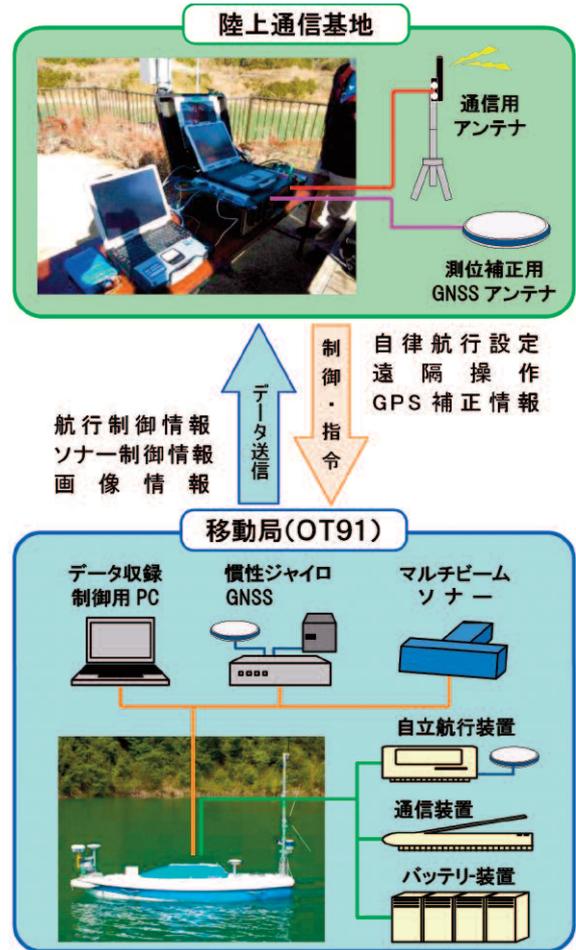


図 3.5 深概念図



図 3.6 艀装と運搬の状況

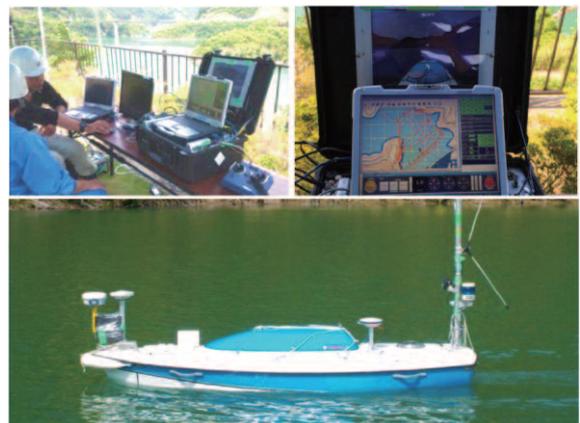


図 3.7 自律航行計測実施状況

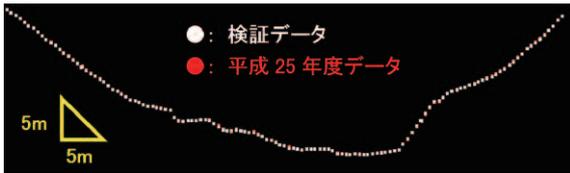


図 3.8 二時期の断面データの比較

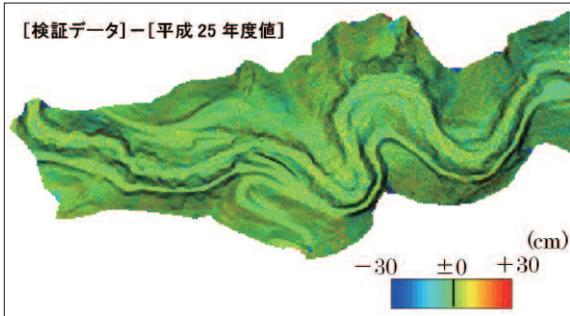


図 3.9 標高差分図

小型無人艇を用いた自動計測による弊害もなく良好なデータ取得がなされていることを確認した。

〈断面比較〉

平成 25 年度業務と本検証で得られたデータの 1 m メッシュデータによる同一断面の比較を行ったところ、誤差の生じやすい斜面部においても、その形状は一致しており自動マルチビーム測深によるデータ取得は良好であることが確認された (図 3.8)。

〈標高差分比較〉

1 m メッシュデータの同座標位置における標高を比較し、両者のデータの差分を段彩的に表現した標高差分図 (図 3.9) を作成した。全体的に緑色を示しており、両者の比較による標高差分は少ないことが伺えた。

〈較差点検〉

1 m メッシュの同座標位置における標高較差を点検した。較差点検の許容値は次式による。

$$\text{許容値} = \pm (10+h/100) \text{ cm} \quad h: \text{深さcm}$$

〈較差分布〉

較差点検結果について、ヒストグラムによ

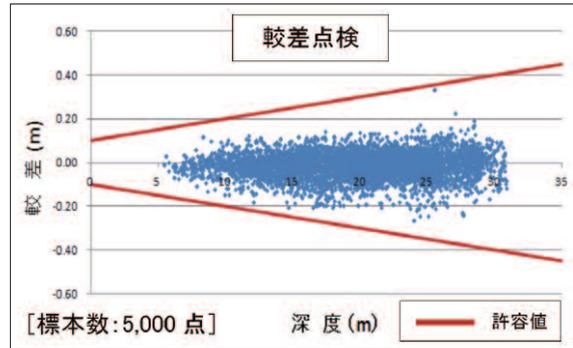


図 3.10 較差点検

表 3.2 較差点検表

平均値	-0.014
標準偏差	0.061
最小値	-0.479
最大値	0.891
最大値-最小値	1.370
データ数	5,000

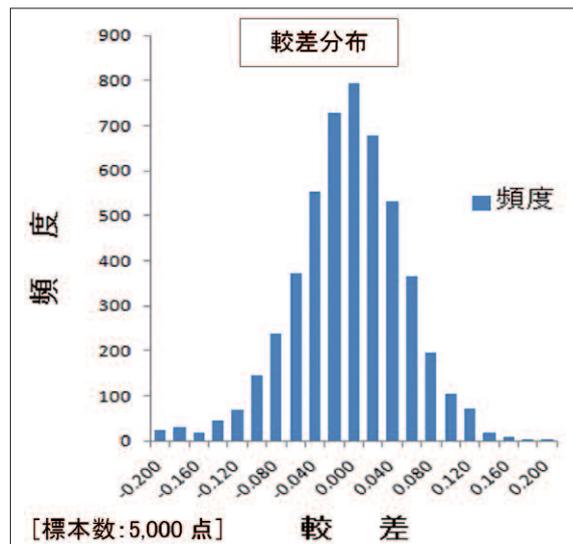


図 3.11 較差分布

る較差分布を確認した。較差は“0”を中心に正規分布していることがわかった。

4. まとめと今後の課題

本検証では、小型無人艇による自動マルチビーム測深システムを用いた水中 3 次元データの取得が、従来方式と比較して遜色のないものであることが確認された。また、この測

深システムの構築により、様々な効果を得ることができた。

4.1 自動マルチビーム測深による効果

自動マルチビーム測深システムの構築により得られる効果を以下に示す。

- ①屋内での艀装が可能となり、安定した作業足場の確保により、安全性及び作業効率を向上させ、艀装時間の短縮に繋がる。
- ②小型無人艇による自動計測を行うことで、冬期の船上作業が軽減され、作業環境の改善に繋がる。
- ③計測機器類の取付位置が一定化され、取付誤差の発生を抑制する。
- ④従来方式では、オペレーター操船者、見張員が船上で作業を行っていたが、本システムを用いることで、自動航行中はオペレーター（モニター監視）のみとなり、作業人員の削減と時間的な有効活用が期待できる。

4.2 今後の課題

本検証により、自動マルチビーム測深の活用が有効的であることが確認できたが、実用化に向けては以下の課題が残る。

- ①連続航続時間が短い（バッテリー容量又は搭載素数の増）。
- ②陸上通信基地からの死角における自動航行計測時の無人艇および計測機器の安全確保。
- ③無線通信が遮断される範囲での計測（ソナー制御が不能となる）。

5. おわりに

小型無人艇を用いた自動マルチビーム測深システムによる水中3次元データの取得は、作業環境の改善や安全の確保という重要な課題に対する効果が期待できる。実作業での運

用課題の解決、作業効率の向上化を図り、実用化に向けて今後も取組んでいきたい。

最後に本件の実験フィールドとした太田川ダム貯水池（かわせみ湖）における、検証場所及び検証データをご提供いただいた静岡県袋井土木事務所に対し、深く感謝の意を表します。

■執筆者

神谷 光顕（かみや みつあき）

中日本航空株式会社

調査測量事業本部

mitsuaki.kamiya@nnk.co.jp



（共著者）

城下 奨（しろした すすむ）

株式会社フジヤマ 測量調査部

今井 浩久（いまい ひろひさ）

ヤマハ発動機株式会社 UMS 事業推進部

鵜飼 尚弘（うかい なおひろ）

株式会社ジェノバ 経営企画室