

次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進 宮ヶ瀬ダム堆砂深淺測量

自動航行型測深システム「自動ベルーガ」

富岡 秀

ダム湖・湖沼などの汀線を含む全域の詳細測量は、大量の測線設定に伴い、多くの時間と労力を費やしていた。自動航行型測深システム「自動ベルーガ」（以下「本測深システム」という）は、山間部での利用を考え、工具を必要としない組立式双胴船をプラットフォームとして採用し、運搬性の向上と各センサの設置精度と再現性を確保し、総合精度の向上を図るとともに、自動航行の実現により省人化及び省力化を可能としたものである。

本稿は、国土交通省より公募された「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進」のダム貯水池における堆積物の状況を把握する技術として採択された本測深システムの実証試験について報告するものである。

キーワード：自動航行、維持管理、深淺測量、組立式双胴船、ダム、ナローマルチビーム測深器

1. はじめに

2014年に安倍内閣は成長戦略「日本復興戦略」を閣議決定した。成長戦略の柱の1つである「ロボットによる新たな産業革命」に対し、「ロボット革命実現会議」が立ち上げられ、ロボット技術の開発・導入を迅速かつ集中的に進めていくことが掲げられた。これは、労働者の高齢化が進む中小製造業者や医療・介護サービス、農業・建設等の人材不足分野における働き手の確保など、課題解決に迫られている日本の企業に対し、ロボット技術の活用により、生産性の向上を実現すると共に、企業の収益力向上及び賃金の上昇を図ることを目的としている。

近年、社会インフラをめぐっては、老朽化の進行、地震及び風水害の災害リスクの高まり等の課題に直面している。前述の成長戦略と、今後増大すると推測されるインフラ点検を効果的かつ効率的に行い、また、人が近づくことが困難な災害現場の調査や応急復旧を迅速かつ的確に実施する実用性の高いロボットの開発・導入促進のため、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進」が施策された。これは、社会インフラの老朽化、大規模地震や豪雨等の災害に対し、より効果的かつ効率的な対応に資するロボットのインフラ現場への導入を図るため、「5つの重点分野」（維持管理：橋梁・トンネル・水中、災害対応：調査・応急復旧）に対応できるロボット技術を民間企業等から

公募し、関係省及び産学官の共同体制のもと、直轄現場において実際の作業を想定した現場検証・評価を行い、より実用性の高いロボットの開発・改良を推進し、直轄での先導的な導入とその普及を図るものである。今回、国土交通省より公募された「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進」のダム貯水池における堆積物の状況を効率的に把握する技術として、本測深システムが採択された。

本測深システムは、可搬式で工具不要の組立式双胴船を用いて、無人で測量を行うシステムであり、省人省力化を図ることができ、より精密で浅海域までの測量、構造物の状況把握や人間の立ち入り難い消波ブロック等の形状把握・測量等に利用可能である。

本件は、本測深システムによる当該技術の活用の促進を目的とし、実用性に係る効果について実証試験を実施するものである。

2. 開発の経緯

従来のダム湖の測量は、管理する測線を設け、その測線に沿って音響測深器もしくは重錘で計測していた。しかし、全域を網羅するほど密な測線では測らないため、測線に沿って帯状に未測線幅が生じることになる。この未測線幅が狭いほど、測量の精度は高くなる反面、労力と時間が必要である。また、ダム湖調査の実績の中で、狭隘な場所にあるダム湖等では、測量

船の運搬が困難となるだけでなく、湖底の地形が複雑な場所では、喫水の問題から座礁の可能性もあった。さらに、調査の度に使用する船が変わることも多く、艀装作業やキャリブレーションも多くの時間と労力が必要となる。

これらの問題を解決すべく、平成12年に本測深システムの開発を行った。本測深システムは、ナローマルチビーム測深器とGPS受信機、コンピュータとを組み合わせることにより、未測線幅の無い、より効率的で高精度な面的な測量を可能とした。また、運搬性を向上させるために工具を必要としない組立式双胴船を用い、各計測機器を専用の架台に設置することにより、計測条件に再現性を持たせ、総合精度の向上を図っている。さらに、自動航行を図ることにより省人化および省力化も実現した。

3. システムの構成

本測深システムは、ナローマルチビーム測深器を中心に位置と方位を検出する2台のGPS受信機、船体の動揺を検出する動揺補正装置、各機器からのデータの収集・収録を行うパソコン、推進装置である電動スラスタとその制御を行うスラスタアンプ、陸上監視局と双胴船を繋ぐ無線通信端末から構成されている。

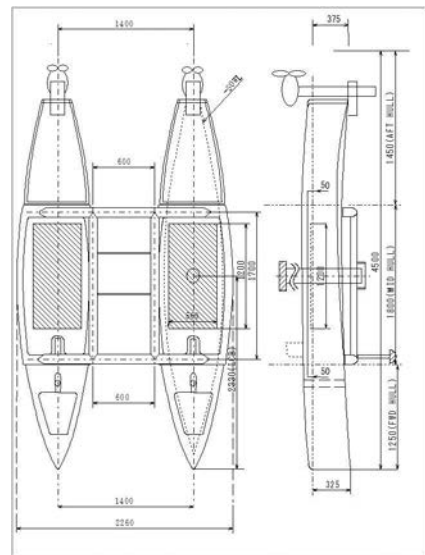
ナローマルチビーム測深器は、 $1^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ のビームを240本（測深幅 120° ）発信し、前進することにより、湖底を面で捉え、高密度なデータが取得可能な装置である。測量の際には、20%程度ラップさせることにより欠測の無い三次元計測データを取得することができる。

動揺補正装置は、双胴船のピッチング、ローリング、ヒービングを計測・補正する装置である。ナローマルチビーム測深器は一度に広範囲のデータを取得することから、わずかな船体動揺からも大きな影響を受けるため、静穏なダム湖等においても動揺補正装置は不可欠である。図一に機器構成図を示す。



図一 システム構成図

船体は、分割可能な組立式双胴船を採用している。人力による運搬が可能な測量船であり、寸法は、全長：4,500 mm × 全幅：2,300 mm × 全高：400 mm、重量は約 80 kg（分割時最大 20 kg / 個程度）で、ペイロードは約 300 kg である。推進装置は、約 20 kgf / 基の推力を有する電動スラスタ 4 基を用いており、通常 1.4 knot（最大 2 knot）で航行可能である。図一2に船体概略図を示す。



図一2 双胴船概略図

計測・制御システムは、陸上監視局と双胴船が無線LANで接続されており、陸上監視局側から双胴船側に対して計画測線座標の設定やナローマルチビーム測深器の設定変更等が行え、自動測量時の未測線範囲の確認や計測状況がリアルタイムに確認できる仕様となっている。また、スラスタ用バッテリーの電源電圧の監視も出来、交換時期を適切に判断できるようになっている。

双胴船は制御システムにより制御され、効率の良い測量が可能である。

制御モードは、大きく「航行モード」と「監視機能モード」、「制御モード」の3つに分けられる。

- ①「航行モード」では、航行に関する目標位置を設定することができ、「トラッキング」と「定点復帰」の機能を有する。
 - ・トラッキング：設定した位置を通過するように航行する。
 - ・定点復帰：設定位置を保持するように滞留する。
- ②「監視機能モード」では、双胴船の航跡を、位置情報をもとに画面上で確認できる。
- ③「制御モード」では、本測深システムの航行方法を選ぶことができる。モードは「自動モード」と「遠

隔操作」,「直接操作」の3種類があり,各種モードの選択は遠隔操作でも可能である。

- ・自動航行:事前に設定した測線上を風波や水流の影響を考慮した制御量等に従って航行する。
- ・遠隔操作:無線操縦で手動による操船を行う。
- ・直接操作:スラスタアンプに接続したジョイスティックにより操船を行う。

制御システムの自動航行機能により,毎回決められた測線で航行させ,測量することが可能であり,測量の効率化を図っている。

4. 実証試験

(1) 試験概要

本案件の実証試験名称は,「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進 水中維持管理技術(自動バレーガ)宮ヶ瀬ダム堆砂深淺測量」であり,実証試験内容としては,本測深システム(ナローマルチビーム)による詳細深淺測量である。実証試験は,平成26年11月20日~平成26年11月21日に行った。試験場所は,神奈川県愛甲郡愛川町半原と相模原市緑区青山,愛甲郡清川村宮ヶ瀬の3市町村に跨る宮ヶ瀬ダムにて実証試験を実施した。宮ヶ瀬ダムにおける測量対象場所,艀装場所,陸上監視局を図-3に示す。測量対象は,500m×500mの測量エリアと500mの測線1本で,本測深システムを用いた自動航行による測量実証試験を,上記2カ所に対して実施した。

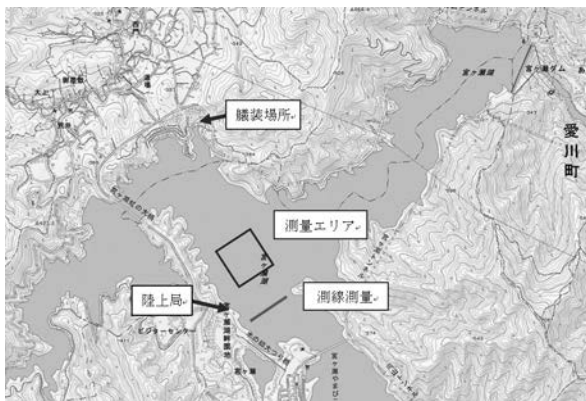


図-3 実証試験実施場所

(2) 試験内容

搬入から組み立て,測量,撤去までを行うに伴い,事前に機材搬入経路や到達航路,使用機器の確認を行った。使用機器の確認では,既設基準点にWADGPSを設置し,計測された座標と既知点座標の比較を行い,GPSの精度(=±15cm程度)確認を行っ

た。以下にGPSキャリブレーション内容と表-1に精度確認結果を示す。

表-1 精度確認結果

	X	Y	ΔX	ΔY
最大値	-50.856.356	-53.200.764	-	-
最小値	-50.856.410	-53.200.815	-	-
平均	-50.856.385	-53.200.795	-0.033	-0.104
標準偏差	0.011	0.010	-	-

- ・測定日:平成26年10月28日
- ・測定点K-1:平面直角座標(X,Y)=(-50856.418,-53200.899)
- ・測定時間:13時48分~13時58分
- ・使用データ数:600データ
- ・使用機器:GPS受信機

精度確認結果から,基準点との誤差はX座標3.3cm,Y座標10.4cmであり,許容誤差内であることを確認した。

この事前踏査の結果を踏まえ,使用する機器やGPSの機種について決定した。

実証試験当日は,機材搬入から始まり,双胴船の組立,センシング機器の設置・固定,動作確認,実証試験という流れで行った。

艀装状況を写真-1に示す。双胴船の組立と機材積載後に,取得データのテスト及び所要項目の設定を行い,補助艇により双胴船を測量場所まで曳航し,実証試験を開始した。



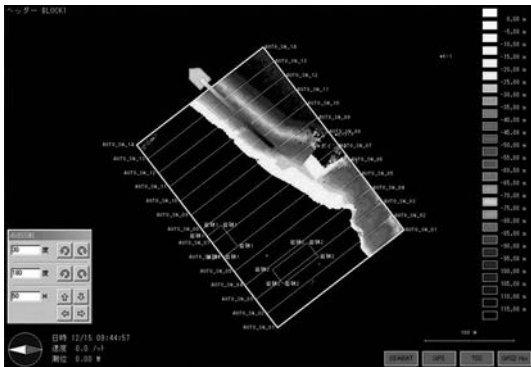
写真-1 艀装状況

実証試験内容は,双胴船に搭載したナローマルチビーム測深器を用いての測量エリアと測線の自動航行測量である。自動航行測量状況を写真-2に示す。船位はWADGPS,方位はGPS方位計により取得した。船体の動揺は動揺補正装置を使用して計測した。

測深データの収録及び測深結果の表示は,データ取得・処理ソフトウェア「バレーガシステム(自社開発)」



写真一 自動航行測量状況



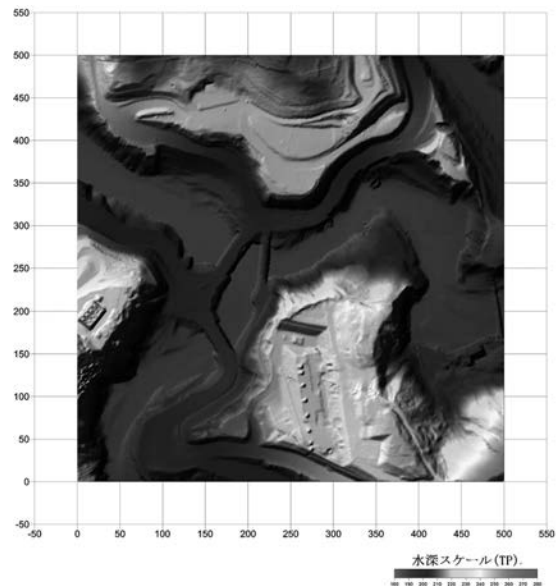
図一 ソフトウェア画面

(以下「本ソフトウェア」という)を使用した。モニタ画面上に測深区域及び計画測線を表示し、GPSで得られた測位データを取込み、座標変換後、船位を画面上に表示する。ソフトウェア画面を図一に示す。測量は本測深システムの機能である自動航行を基本とし、フィルコンタ及びプロファイルデータをリアルタイムでPCモニタ画面上に表示する。また、自動航行にて測量を行うことに際し、双胴船のトラブル対応のために補助艇を付近に待機させ、実証試験を実施した。補助艇には、測量画面やバッテリー容量などを監視するため、無線通信と監視用PCを搭載させた。また、無線LANを用いて陸上から測量画面や測量状況の監視を行った。作業終了後、全データを合成し、未測深域の有無について現場で確認を行った。

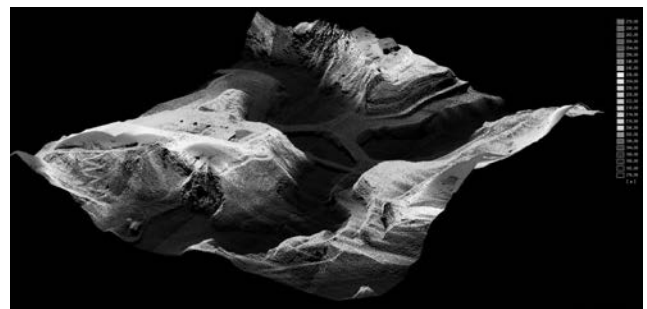
全データの取得を確認し、現地で取得された計測データは、後日、本ソフトウェアによって解析処理を行い、成果物を作成した。解析作業の1次処理として、取得データの整合、確認を行い、機器間の遅延時間、傾斜角、水面高等の補正値を算出・反映させ、2次処理として、取得データの正規化を行った。

(3) 実証試験結果

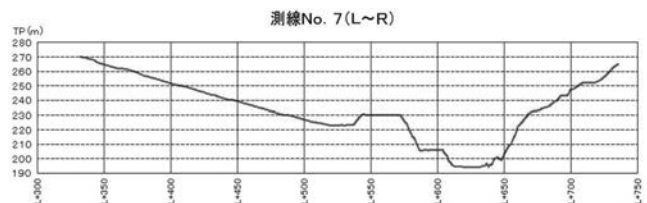
自動航行による測量で得られた成果物を図一5～7に示す。



図一 平面図



図二 鳥瞰図



図三 断面図

(4) 今後の課題の抽出

当該技術は工事実績もあり、技術的にも確立しているが、実証試験の結果、以下の課題や改善点が顕在化した。

- ・航行速度の高速化とバッテリー容量の増大化
- ・バッテリー等の積載物の小型・軽量化
- ・障害物の自動回避機能の検討
- ・自動回帰機能の検討

今後、これらの項目に対してシステムの改良及び検討を実施する予定である。

5. おわりに

精密な測量を行うためには、測量船の航行速度を極

力落し、直線的に密なデータを収集する必要がある。また、器械固有の誤差以外に機器の取付誤差が精度に大きく影響する。しかし、通常の深淺測量では、測量船に仮設で機器を取り付けざるを得ず、測量船の能力や船長の技量等により航行速度や測線誘導精度は一定しないのが現状である。本測深システム、自動航行型測深システム「自動ペルーガ」は、各機器を専用の架台に設置するため、計測条件は常に同じであり、再現性があることから、総合精度の向上に繋げることができる。また、決められた測線を10cm程度のズレに抑え、非常に低速度で航行することにより、密なデータを収集することが可能である。本測深システムを導入することにより、測量に要する労力の大幅な削減が可能であり、更に精密な測量が可能となる。また、無人での調査や測量が可能であることから、立ち入りが制限される危険地域での調査や喫水の浅い水域での調査等への利用が、本測深システムの有する最大限の効果を発揮できる場である。今後、本システムが被災地やダム等での測量で活躍することを期待する。

謝 辞

最後に、今回の実証実験の準備から現場作業、実証試験、解析までを行うにあたり、ご協力いただいた関係者各位に文末ながら謝意を表する次第である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 湖沼等における自律航行型測深システム「自動ペルーガ」の開発、建設の機械化 第620号、pp20～pp25, 2001.
- 2) 自律走行型測深システム「自動ペルーガ」の開発、マリンボイス 21 vol.225, pp11～pp13, 2002.
- 3) ナローマルチビームを用いた遠隔・精密測量の実例、海洋調査技術学会研究成果発表会講演要旨集 16, pp23～pp24, 2004.
- 4) 「日本再興戦略」改訂 2014
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/honbun2JP.pdf>
- 5) 国土交通省 HP 内、次世代インフラ用ロボット開発・導入検討会
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000022.html

【筆者紹介】

富岡 秀（とみおか しゅう）
東亜建設工業㈱
土木事業本部 機電部 電気グループ



橋梁架設工事の積算 ——平成 27 年度版——

■改訂内容

1. 鋼橋編
 - ・ 送出し設備における説明文章、写真の追加
 - ・ 少数桁橋の足場工及び防護工の一部改定
 - ・ プレキャストPC床版工、場所打ちPC床版工の一部改定
2. PC橋編
 - ・ 門構移動装置の新規掲載
 - ・ ポストテンション桁製作工他、各工種の適用範囲の明確化
 - ・ 横組工 地覆・高欄施工足場の記載
 - ・ 緩衝ゴム設置工 新規掲載 ほか
3. 橋梁補修編
 - ・ 足場タイプ別詳細作業内容の掲載
 - ・ 落橋防止システム工の一部改定

- ・ ストップホール工の新規掲載
- ・ 塗替塗装 素地調整工の改定
- ・ はく離材による塗膜除去作業の注意点の新規掲載

■B5判／本編1,201頁（カラー写真入り）
別冊197頁 セット

■定価

一般：9,720円（本体9,000円）
会員：8,262円（本体7,650円）

※別冊のみの販売はいたしません。

※送料は会員・一般とも 沖縄県以外600円

注1) 沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会
（電話：098-879-2097）にお申し込み下さい。

■発行 平成27年5月21日

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>