

可搬ボート型マルチビーム測深機 ～CARPHIN V～

植松 圭一 高橋 一成

深浅測量は海底（湖底）の地形を把握する技術であり、主に音響測深機（以下、測深機）が用いられ、水力発電用ダム湖の貯水量を点検するための水深測定や、船舶の航行安全のための水路測量、防災や環境調査などの基礎データとしての詳細な地形把握などを目的として、さまざまな場所で行われ、その一つとして、港湾の浚渫（しゅんせつ）工事での出来高管理のための、施行前後の水深測定も行われている。

この出来高管理に対し、国土交通省が建設現場の生産性向上を図る「i-Construction」を推進している中で、マルチビーム測深機により取得される3次元データを活用した「ICT活用工事（浚渫工）」が平成29年度から導入され、マルチビーム測深機の需要が高まってきている。

このような状況の中、マルチビーム測深機のOKIシーテック、測量系ソフトウェアの株式会社ビーシステム（以下、ビーシステム）、シングルビームリモコンボート測深機のコデン株式会社（以下、コデン）が3社協同で、可搬ボート型マルチビーム測深機「CARPHIN V」（カーフィンブイ）を開発した。

本稿では深浅測量に必要な現状の国内測深機（従来の当社測深機「CARPHIN」を含む）を紹介した後に、新規開発した「CARPHIN V」を紹介する。

測深機とは

測量船に取り付けた測深機から発射された音波が海底（湖底）で反射して戻ってくるまでの時間を計測し、別途計測した水中の音波伝搬速度（音速）から水深を算出する。

測深機には測量船直下付近の水深を測定するシングルビーム方式や、扇状に音波を放射し指向性の鋭い複数の音響ビームを使用することで測量船の進行方向に直交した方向の広い範囲の水深を効率的に高精細で測定するマルチビーム方式がある。

シングルビーム方式は簡素な構成なので、安価かつ小型であるが、同時に測深できる範囲が狭いため測深効率が悪い。また一般的にはビーム幅が広くフットプリント（音波が到達する範囲）も広がるため、測深結果が粗くなる。

これに対しマルチビーム方式は、上述のとおり測深効率が良く、ビーム幅が狭いので高精細な測深結果が得られる

反面、複雑な構成となるため高額かつ大型な装置となる。

図1及び図2は各方式の測深イメージを示す。

なお、深浅測量には船の動揺（ロール・ピッチ）の補正と位置計測が必要であるが、マルチビーム方式では精度を確保するために、非常に高精度な動揺計とアンテナを2個用いた方位の精度も高いGNSS測位システムが主に組み合わせて使用される。

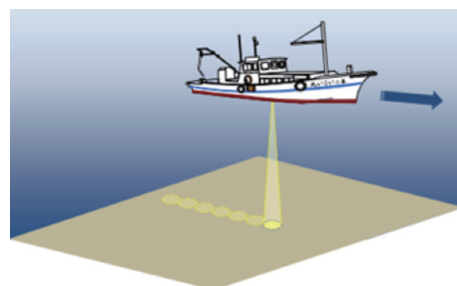


図1 シングルビーム方式測深イメージ

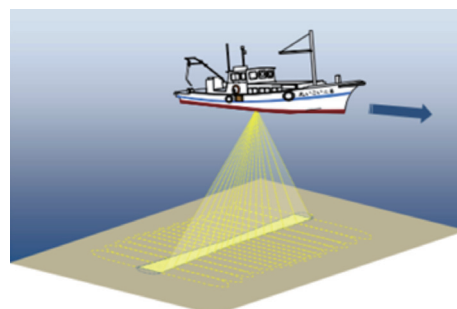


図2 マルチビーム方式測深イメージ

現状の国内測深機

現状の国内測深機として、シングルビームリモコンボート測深機『RC-S3』と当社マルチビーム測深機『CARPHIN』を紹介する。

(1) シングルビームリモコンボート測深機『RC-S3』

コデンでは国内唯一のシングルビームリモコンボート測深機『RC-S3』を製造・販売している。

リモコンボートを浮かべるだけで簡単に0.5m～80mの測量ができ、浚渫現場では出来高把握や、マルチビーム測深機を搭載した有人測量船が入れない浅い河川での補備測量などに使用されている。

外観を写真1に示す。



写真1 『RC-S3』 外観

(2) マルチビーム深浅測量システム『CARPHIN』

OKIシーテックではマルチビーム測深機『OST4500』を、ビーシステムでは専用制御ソフトウェア及びデータ解析ソフトウェアを製造・販売、これらを総合したマルチビーム深浅測量システムが『CARPHIN』である。

① マルチビーム測深機『OST4500』

OKIシーテックはマルチビーム測深機を国内で唯一開発・製造している会社である。このマルチビーム測深機の開発技術は、OKIによりソナー技術の一環として培われてきたものであり、OKIが1986年に製造した国内初のマルチビーム測深機は大型船に搭載されている。

2010年に開発・製造したマルチビーム測深機『OST4500』の外観を図3に、運用風景を図4に示す。



図3 OST4500 外観



図4 OST4500 運用風景

② 専用制御ソフトウェア

『OST4500』専用制御ソフトウェアはビーシステムで開発され、『OST4500』を制御して測深データを取得、図3に示すようにノートPCの画面上に地図を表示し測深済みの箇所を色つき表示するデータ取得機能をもつ。この機能により運用者は、図4に示すように本画面を見ながら操船することで効率的な測深作業を行うことができる。

図5にデータ取得画面例を示す。

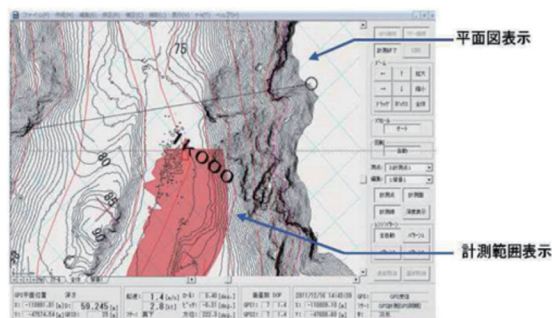


図5 データ取得画面例

また、本ソフトウェアは取得した測深データや動揺計データなどを使用して、各種データ解析用ソフトウェアによる事後解析が可能な形式であるグローバル座標での3次元点群データを生成する機能ももっている。

(3) データ解析用ソフトウェア

測量した3次元点群データを使用し、さまざまな解析を処理できるデータ解析用ソフトウェアもビーシステムで開発された。

必要に応じて3次元点群データの不要な点を削除するためのフィルター処理を実施した後に、三角メッシュ(TIN)・四角メッシュを生成し、標高データ比較や過去データ比較、堆砂量や貯水量などを計算できる。

図6にデータ解析画面例を示す。

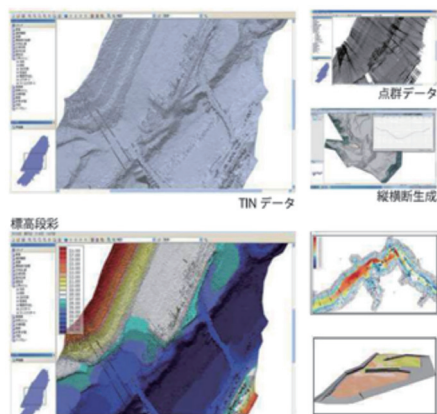


図6 データ解析画面例

可搬ボート型マルチビーム測深機『CARPHIN V』

これまで述べてきたとおり、国内での測深機の開発実績のあるマルチビーム測深機のOKIシーテック、測量系ソフトウェアのビーシステム、リモコンボートのコデン、これら3社の技術を集結して協同開発で取り組み、海外製品と同等以上の性能を確保しつつ世界最小最軽量を実現したのが、可搬ボート型マルチビーム測深機『CARPHIN V』である。以下『CARPHIN V』の特長を述べる。

(1) 可搬性：小型軽量船体で1人での測量を実現

『CARPHIN V』は国内3社の共同開発であるメリットを活かし、必要な機能・性能を確保しつつも無駄なスペースを極力排除することで、小型・軽量（質量は約30kg）を実現している。渓谷のようなダム湖上流の河川や整地されていない浚渫工事現場へも、大人1人で運搬できる。

図7にイメージを示す。

『CARPHIN V』のソーナー部容積は、従来の『OST4500』の容積と比べ6分の1以下（1986年製造の国内初マルチビーム測深機の100分の1以下）となっている。

またソーナー部質量も7kg程度であり、『OST4500』の質量と比べ6分の1以下となっている。

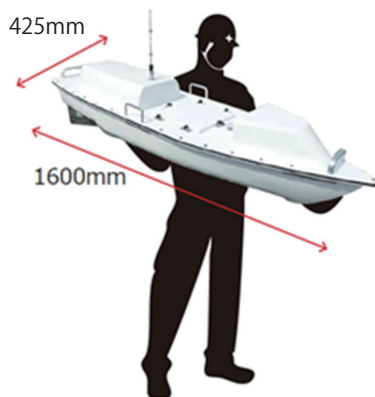


図7 CARPHIN V のイメージ

『CARPHIN V』小型・軽量化を実現できた理由を以下に示す。

- ①浅い場所での使用に特化し、測深範囲（水深）を最大80mにした。すなわち、水中での音は距離の2乗に比例して減衰するため、測深距離が短くなれば必要な音の大きさは小さくなり、音を出すためのパワーも小さくて済む。浅い場所といっても、国内ダムのほとんどの水深は80m以下であり、浚渫工事現場などにも十分に使用できる。
- ②専用設計したソーナー部が専用設計のボート部の内部に組み込まれているため、ソーナー部をボート底面に取り付ける金具や、ソーナー部の水密構造が不要となりボート全体としての軽量化を実現している。
- ③小型動揺計の採用や信号処理デバイスの性能向上、昨今の技術進歩も本製品の小型化に寄与している。ボート底面にあるソーナー部の外観を写真2に示す。



写真2 CARPHIN V ソーナー部外観

(2) 測深性能：3社の技術を更に発展させ、向上を実現

リモコンボート部はシングルビームからマルチビームに変わったことで質量が増加しているが、強力な電動モーターを搭載することにより最大船速（4.5kt）を維持している。これらの電力増加に伴い連続航行時間は短くなるが、従来どおりのバッテリー交換が容易な構造により、運用に大きな影響はない。

ソーナー部は『OST4500』に比べビーム数が2.7倍に増加し、より細かい水平方向の分解能となっている。また測深回数を10倍に増加させたことにより船の進行方向の分解能も増加している。またビームモードは従来の等角度モードに加えて等間隔モードが追加され、使用目的・状況に応じて選択できる。

さらに、スワス幅（音波を放射する範囲）も拡大され、より広い範囲での測量作業ができる。

なお、『CARPHIN V』のソーナー部性能は動揺計やGNSSも含めてi-Constructionに対応している。

ソフトウェアはソーナー部のビーム数・測深回数増加に伴う膨大な処理データに対応している。

また従来はデータ取得時に計測範囲を色つき表示するだけであったが、新機能ではリアルタイムに水底地形を表示できる。

『CARPHIN V』の仕様を表1に示す。

表1 CARPHIN V 仕様

リモコンボート部		
全長	1600mm	
全幅	425mm	
高さ	300mm(突起部除く)	
質量	約30kg(バッテリー-除く)	
最大船速	4.5kt	
モーター	直流ブラシレスモーター × 2	
連続航行時間	120分(静水、自律航行時)	
ソーナー部		
周波数	400kHz帯	600kHz帯
測深範囲(水深)	0.5m～80m	0.5m～31m
分解能	1cm	
ビーム幅 (副極抑制モード)	1.1° × 1.1° (1.5° × 1.5°)	0.7° × 0.7° (1.0° × 1.0°)
ビーム数	最大256(等角度/等間隔)	
スワス幅	最大150° (可変)	最大80° (可変)

(3) 運用: 誰もが測量できる簡便さを実現

『CARPHIN V』はマルチビーム方式の測量に必要な機器 (GNSS・動揺計・測深機) が全てリモコンボートの中に搭載されているので、必要な機器を測量船に機装 (ぎそう) する必要がなく、キャリブレーションも不要であるので作業時間の短縮ができる。

また「自律航行・自動回帰機能」を搭載し、ボートコントローラーで陸上から操船することもできるが、あらかじめボートが航行する経路や目的地をセットしてリモコンボートを浮かべるだけで、誰でも簡単に正確な測量ができる。

(4) 安全性: 陸上からの操作により人的被害リスク低減

リモコンボートなので人的被害がなく安全である。浅海や河川浅所部では砕波帯による横転や岩礁衝突などの危険性を常に伴うが、人的被害の心配はない。

(5) 保守: 国内メーカーによるメンテナンス体制

国内三社の実績ある技術を基に開発した製品で、装置使用方法などの問い合わせや保守・整備などの対応も万全である。

最後に

今回、深淺測量を実施するユーザーの利便性を考慮し、可搬ボート型マルチビーム測深機として開発したが、ユーザーによっては従来同様のボート搭載型を望む声も聞こ

えている。今後、今回開発したソーナー部を用いて小型・軽量・高機能・高性能を実現した、従来機種『CARPHIN』の後継機種の開発を進める。◆◆

● 筆者紹介

植松圭一: Keiichi Uematsu. 株式会社オキシーテック 技術一部

高橋一成: Kazushige Takahashi. 株式会社オキシーテック 技術一部

TIPS【基本用語解説】

動揺計

船舶などの運動挙動などを計測する装置。

GNSS (Global Navigation Satellite System)

GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星(QZSS)などの衛星測位システムの総称。

補備測量

取得した測量データに誤りや不足などがある場合に、これを補完する測量。

3次元点群データ

直交座標で表現される点の集合。

三角メッシュ

表面形状を三角形の集合で表現したもの。

四角メッシュ

表面形状を四角形の集合で表現したもの。

TIN (Triangulated Irregular Network)

三角メッシュの一種であるが、地理情報システム (GIS) で利用するために定められたデジタルデータ構造。

i-Construction

国土交通省が推進する「ICTの全面的な活用 (ICT土工)」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、もって魅力ある建設現場を目指す取組み。

機装

船体に測深機や動揺計、GNSSを据え付け、深淺測量ができるようにすること。

キャリブレーション

機装した測深機や動揺計、GNSSの傾きやズレなどを測定し、測深結果の補正値を求めること。