

可搬ボート型マルチビーム測深機「CARPHIN-V」による水中三次元計測

城下 奨・神谷 光顕・西川 貴史・加藤 卓也 (中日本航空株式会社)

1. はじめに

現在、河道や汀線の変化を把握する手法として河川横断測量（深淺測量）や汀線測量が主流であるが、三次元測量技術が著しい発展を遂げている昨今、i-constructionの普及とともに、効率的かつ広範囲に水面下の三次元地形データを取得可能なグリーンレーザ測深技術を活用した手法に変わりつつある。

一方で、グリーンレーザ測深により広範囲に点在する欠測箇所の補備測量や測量船が搬入できない箇所など、深淺測量における水面下の三次元地形データの効率的な取得が求められている。

本稿では、可搬ボート型マルチビーム測深機「CARPHIN-V（カーフィンブイ）」のシステム構成、実地検証、浅瀬部の三次元計測結果について紹介する。

2. 現状と課題

ナローマルチビーム測深（以下、「NMB」）で計測できない浅瀬部や通常の測量船（船外機船）が入ることができない浅瀬部においては、シングルビーム測深、ラジコンボートシングル測深、ミラー帽計測（先端測量技術105号掲載）、TS単点観測など、様々な方法で計測を実施しているが、浅瀬部の補備測量に対する時間・コスト・データ密度が大きな課題になっている。

3. システム構成

可搬ボート型マルチビーム測深機「CARPHIN-V」は、音響測深機および慣性GNSSジャイロ（測位・動揺・方位計測）で構成されている。

3.1 プラットホームおよび音響測深機

プラットホームは、シングルビーム搭載ラジコンボート（RC-S3）で実績のあるコデン社製のラジコンボート（図1）を採用した。

音響測深機は、2つの周波数を設けi-constructionにも対応した性能を有している（表1）。また、音響測深機（図2）を船体に埋め込むことで、ボートの性能を落とさない構造とするとともに、ボート底面への取付金具等が不要となり小型軽量化を実現した。



図1 CARPHIN-V

表1 CARPHIN-V諸元

プラットホーム	
寸法	L1.6m×W0.42m×H0.29m (32kg)
航行速度	最大4.5knot
航行時間	120分
自律航行	可
自動回帰	可
測位方法	GNSS
音響測深機	
周波数帯	400kHz / 600kHz
測深範囲	0.5m ~ 80m
測深分可能	1cm
ビーム幅	1.1°×1.1° / 0.7°×0.7°
スワ幅	最大150°（可変可能）
測深回数	最大50回/秒
吃水	12.5cm

3.2 慣性GNSSジャイロ

慣性GNSSジャイロは、小型軽量化を重視し、手のひらサイズのSBG社製Ellipse2-D (図2) を採用した。小型でありながら低ノイズジャイロ、高性能加速度センサを兼ね備えIMU、GNSSの複合的な解析により、船位、動揺、方位を高精度 (表2) に算出できる。



図2 音響測深機 (左) およびEllipse2-D (右)

表2 測位精度

項目	RTK	PPK
ロール、ピッチ	0.1°	0.05°
ヘディング	0.2°	0.1°
測位	0.02m	0.01m
GNSS捕捉外 (10秒)	1m	0.1m
ヒープ	5cm	5cm

4. 実地検証

庄内川 (愛知県) を検証フィールドとして、CARPHIN-Vの実地検証を行った。検証は、水深2m程度の浅瀬部をグリーンレーザ測深 (以下、「ALB」)、シングルビーム測深、TS端点観



図3 検証箇所 (庄内川: 愛知県)

測の3種類の手法を用いて計測したデータについて比較を行った。

4.1 ALBとの比較検証

ALBは、上空から図3の範囲を水陸一連の面的データを取得した。水中部においては、0.5mメッシュの同一座標位置における標高較差について比較検証した。

ALBとの比較検証結果は、ヒストグラム (図4) および較差表 (表3) に取りまとめた。

図4のヒストグラムにおいては、較差0cmを中心とした正規分布が確認できる。

また、表3の較差表においても標準偏差4cmと良好な結果が得られた。しかしながら、プラス

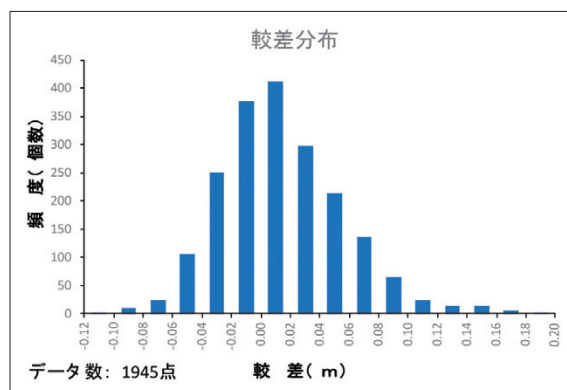


図4 ALBとの較差分布

表3 ALBとの較差表

項目	較差 (m)
平均値	0.01
標準偏差	0.04
+方向最大較差	0.19
-方向最大較差	-0.11
データ数	1945点

表4 ALBとCARPHIN-Vの特徴

項目	特徴
ALB	<ul style="list-style-type: none"> 計測手法: 光 (レーザ) 1日で広範囲に計測可能 測深が水質に左右される 雨天は計測不可能
CARPHIN-V	<ul style="list-style-type: none"> 計測手法: 音波 1日の計測範囲が限られる 測深が水質に左右されない 雨天でも計測可能

方向19cm、マイナス方向11cmとやや大きな較差も確認できる。これは、計測機器(表4)の違いによる要因が大きいものと推察する。特にALBは、高度が高い上空から計測することと、水質(透明度、濁度)や河床の底質等により、データの取得状況が左右される。

4.2 シングルビーム測深およびTS単点観測との比較検証

シングルビームおよびTS単点観測のデータは、メッシュデータへの加工が困難なため、同一点での標高比較が難しいことから、断面のみの比較とした。図5にCARPHIN-V(青)、ALB(橙)、シングルビーム測深(赤)、TS単点観測(緑)を断面を示す。いずれの点群データにおいても大きな差異が無く、整合性に問題ないことが確認できる。しかし一部では、上述のとおり20cm前後の誤差がある箇所も確認されたため、機材の特性や河床の状況により、計測手法を選定するなどの対応が必要である。

5. 計測事例

関東地方整備局管内の宮ヶ瀬ダムの副ダム(石小屋ダム)における計測事例を紹介する。副ダムへのアクセス(図6)は、公園内の通過が必要であり、通常の測量船(船外機船)では、利用客の多い公園内を規制するなど、搬入が大掛かりになってしまう。CARPHIN-Vを用いたことで、大型車両の搬入を無くし、公園内の利用客へも配慮した。また、測量船の搬入だけでなく、艀装やパッチテストも不要であり、計測作業も半日程度で完了した。しかしなが



図6 石小屋ダム搬入経路図

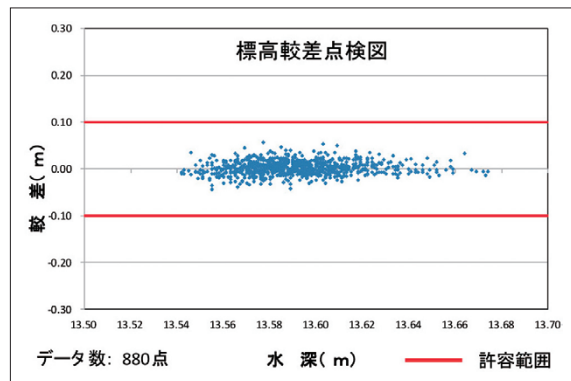


図7 標高較差点検図

ら、バッテリーの交換や水中音速度測定などの作業は必要である。

本計測においては、昨年度データとの比較および貯水容量・堆砂量計算の実施と高精度な地形データが必要であったため、1m四方に1点以上のデータを取得し、昨年度データと比較可能な1mメッシュデータを作成した。

本計測データについては、平成29年度成果(1mメッシュデータ)との不動箇所における標高較差を点検した。

点検箇所の水深は、13m~14mであり、許容範囲は、±10cmとした。

較差点検は、図7のとおり全ての点において

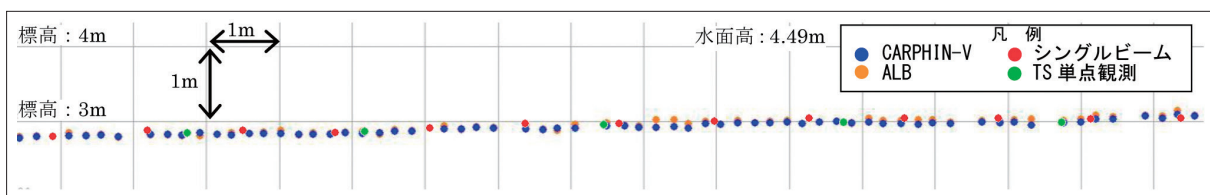


図5 断面図

表5 過年度との較差表

項目	較差 (m)
平均値	0.00
標準偏差	0.01
十方向最大較差	0.06
一方向最大較差	-0.04
データ数	880点

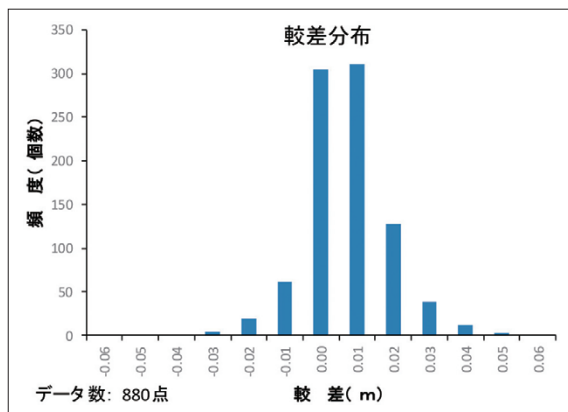


図8 較差分布図

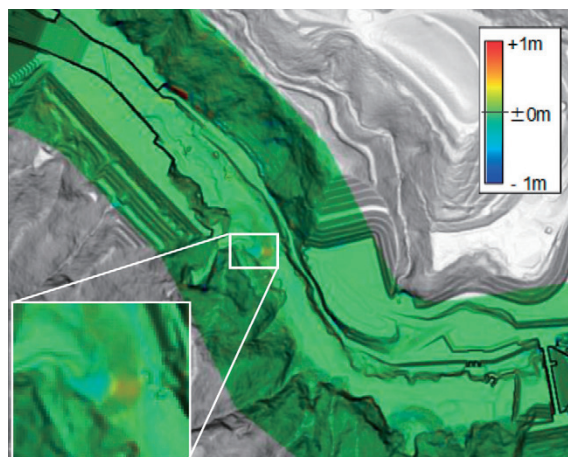


図9 標高差分図

許容範囲内であり、良好な結果であった。

※許容範囲は、河川定期縦横断測量業務実施要領・同解説の $\pm (10+h/100)$ cm h: 水深 cmを準用

また、図8のヒストグラムにおいても較差0cmを中心とした正規分布が確認でき、バラツキも少なく、表5のとおり標準偏差も1cmと良好な結果が得られた。

図9に計測範囲全体の標高差分図を示す。多

くが ± 0 cmの緑色を示しており、標高較差が少ないことが確認できる。ただし、1年前のデータとの比較であり、一部では出水による堆積や侵食が伺える。

6. まとめ

本検証および計測事例のとおり、各測量手法（ALB、NMB、シングルビーム測深、TS単点観測）と比較しても、遜色ないデータが取得できることが確認できた。

6.1 今後期待される効果

CARPHIN-Vを用いることにより、今後期待される効果として、以下の5点が考えられる。

- ALBの実施により、広範囲に点在して発生する可能性のある欠測箇所を効率的な面的補備測量の実施
- これまで人力で行われていた浅瀬部の三次元地形を自動航行により経済的かつ効率的に把握可能
- 水辺へのアプローチ（測量船の搬入路等）が無く、機材搬入が困難でマルチビーム測深ができなかった箇所での三次元地形の把握（天然ダム、土砂ダム、小規模なため池や沼）
- 安全面への配慮と作業環境の改善効果（流水環境下での人力作業の軽減、極寒での水部作業軽減）
- ICT浚渫工や環境調査など新規事業の創出

6.2 今後の課題

CARPHIN-Vの活用が有効的であることが確認できたが、今後の課題として、以下の4点が考えられる。

- GNSSの設置位置が低いことで、樹木等の遮蔽物による精度低下
- GNSSの遮蔽となる橋梁下等での高精度な計測

- 小型化と電源容量の関係からの計測時間の問題
- 流速が早い箇所での計測

今後も安全を最優先したうえで、課題を解消し、さらなる作業効率化を図るとともに、新たな発想により顧客ニーズにも柔軟に対応できるよう開発を進めていく予定である。

7. 謝辞

本論文の作成にあたっては、相模川水系広域ダム管理事務所（国土交通省）・庄内川河川事務所（国土交通省）・名古屋西土木事務所（愛知県）をはじめ多くの皆様から計測データおよびフィールドのご提供等、ご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

■参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川定期縦横断測量業務実施要領・同解説
- 2) 高橋弘（中日本航空株）：ダム貯水池末端部における極船域の3次元データの面的取得 ～大規模出水に備えたダム維持管理に向けて～ 日本測量調査技術協会、先端測量技術 第105号
- 3) 神谷光顕（中日本航空）：自動マルチビーム測深システムによる水中3次元データ取得 日本測量調査技術協会、先端測量技術 第106号

■執筆者

城下 奨（しろした すすむ）

中日本航空株式会社
調査測量事業本部

E-mail : s_shiroshita@nnk.co.jp



(共著者) 所属は筆頭執筆者に同じ

神谷 光顕（かみや みつあき）

西川 貴史（にしかわ たかし）

加藤 卓也（かとう たくや）