

海洋開発を支援するインフラ技術の進展と研究課題

松本 さゆり

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
インフラDX研究開発領域 ビッグデータ研究グループ

1. はじめに

海洋開発を支援するインフラ技術開発の究極の目的は、それら作業のDX化であろう。BIM/CIMを活用した設計・施工・維持管理のデジタルツイン構想、ICT施工、ICT維持管理やそれらの施工履歴の蓄積によるビッグデータ化など、多岐にわたる展開が想定される。

本稿では、海洋開発を支援するインフラ技術のうち、特にビッグデータ化、あるいは施工や維持管理のICT化に向けたデータ収録方法に焦点を当てた新たな取組として、マルチビームデータクラウドの開発、潜水作業へのICT技術の導入(以降、ICT潜水)について紹介する。

2. マルチビームデータクラウドの開発

マルチビームソナーは測深を効率的に行うソナーであり、令

和2年より浚渫工の出来形検査で使用されるようになった¹⁾。その後、ブロック据付工等での試行工事や適用工種拡大のための検討が進行中であり、マルチビームソナーの使用は増加する方向である¹⁾。それに伴い、取得データを解析して図化する内業(以降、後処理)もまた増加しており、後処理の負荷へのケアが望まれていた。そこで、令和2年度よりマルチビームソナーで取得したデータの解析・図化の処理の作業を高速かつ省力化するためのマルチビームデータクラウド(以降、AIMS; Acoustic IMaging & Surveying cloud)の開発に着手したので、その開発概要と進捗について述べる。

図1に示すようにAIMSは船上処理システム、クラウド後処理システムおよびクラウドリアルタイム処理システムの3つの部分から構成されている。

①船上処理システム； 船舶に搭載したマルチビームソナーで取得したデータを、無線通信を利用して逐次クラウド上の

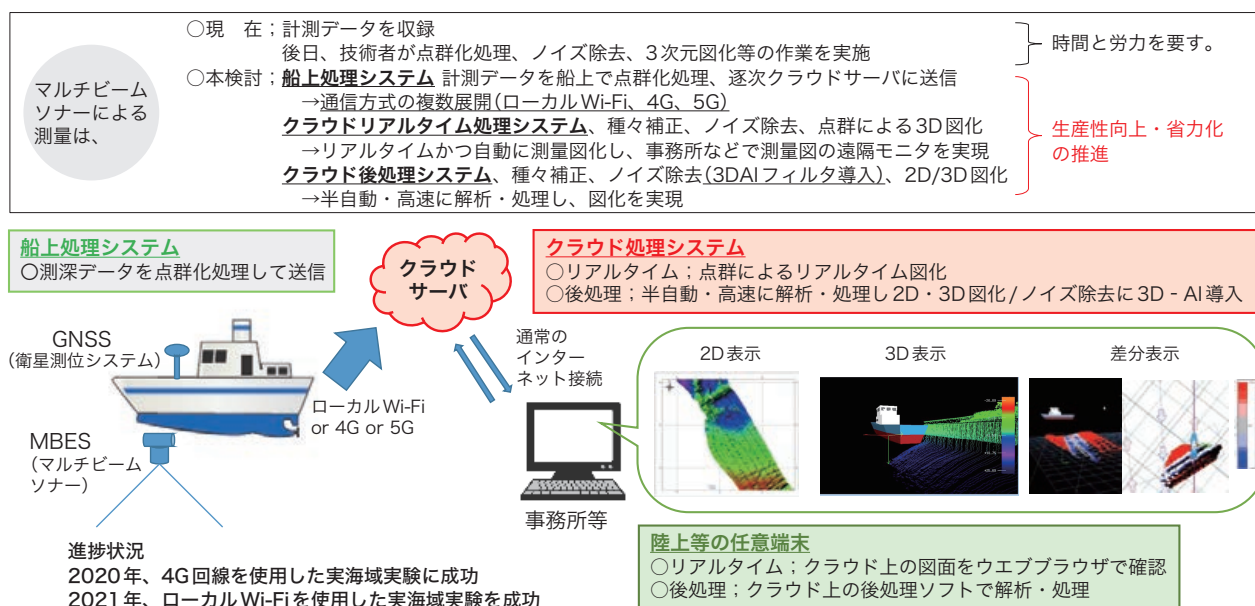


図1 マルチビームデータクラウド(以降、AIMS; Acoustic IMaging & Surveying cloud)の開発概要

AIMSにアップロードする。

AIMSでの処理は、以下の2つ方法が用意されている。

②クラウド後処理システム；従前の後処理を高速に半自動で行う機能であり、手動ノイズ処理は極めて少量となる機能である。計測と同時にAIMSに収録されたデータを、後処理システムに読み込むと、事前に登録した然るべき手順に従って解析、ノイズ処理、描画まで自動で行う。

③クラウドリアルタイム処理システム；船上のマルチビームソナーでデータ取得してから、即時的に水中を可視化する機能であり、閲覧のみであればインターネットブラウザを使用して、事務所のPCやスマートフォンなどの任意端末から見ることができる。

次に、上記のAIMSを使用した計測事例を紹介する。図2は、マルチビームソナーで測量を実施中に、船上処理システムとクラウドリアルタイム処理システムを使用した事例である。陸上のPCからインターネットブラウザを介してクラウドリアルタイム処理システムにアクセスし、点群データをリアルタイムに

描画中のスクリーンショットである。いずれも水深のカラーコンタ表示となっており、左は俯瞰図、右は上面図に航跡を示したものであり背景に海図を示している。船上で音響等データを取得してから描画までの遅延時間は、無線通信の通信方式に依存し、4G方式の場合は1~2秒、ローカルWi-Fi方式を使用した場合は2~3秒であることを実験的に確認済である。従来の検査や施工では存在しない可視化方法であるが、被災後調査や日々の進捗管理など、野外で即時的に水中状況を視認したい場合には、大変有効である。また、図3はPCからインターネットブラウザを介してAIMSクラウド後処理システムにアクセスし、後処理中のスクリーンショットである。手続きは事前に書き込まれており（画面左側）ファイルを指定すれば、自動で解析・処理するようになっている。AIMSを利用すれば、浚渫工の1日の平均的な施工範囲である370m²の解析・図化は概ね1時間程度で得ることができる。

今後の技術開発としては主に以下2点を重点的に行い、令和4年度末の完成を目指している。

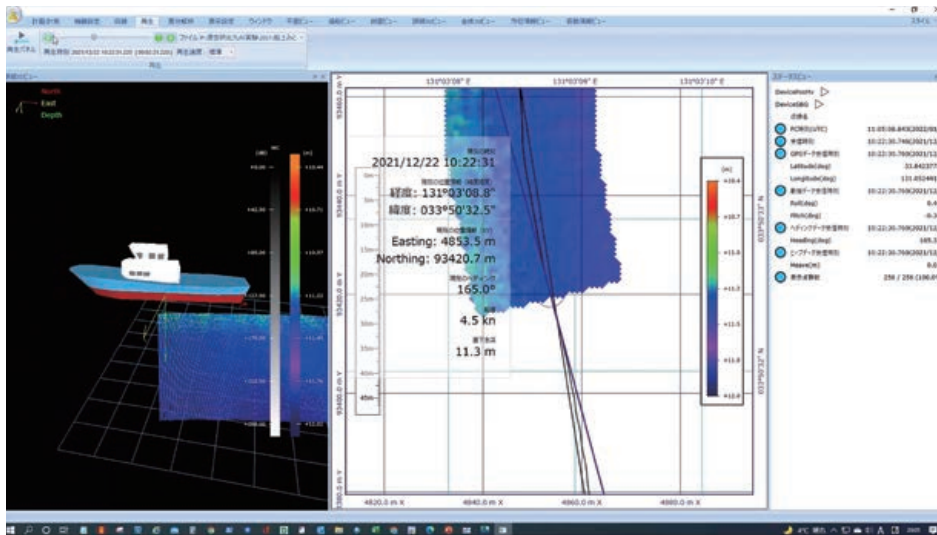


図2 船上処理システムとクラウドリアルタイム処理システムによる、リアルタイム描画中のスクリーンショット。左は俯瞰図、右は上面図、いずれも水深のカラーコンタ表示

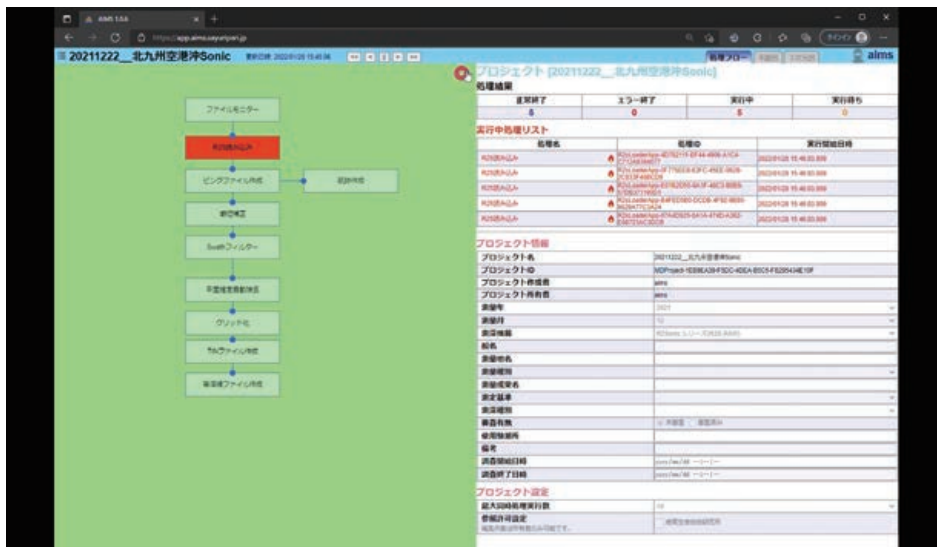


図3 AIMSクラウド後処理システム、後処理中のスクリーンショット。手続きは事前に書き込まれており、解析・処理するファイルを指定すれば自動で図を得る

- ・後処理システム上のノイズ除去；マルチビームソナーの後処理の内、最も時間を要するノイズ除去を代替する3D-AIノイズ除去フィルタを開発中であり、既にICT施工の測量として実働されている浚渫工に焦点を絞って検討する方針である。
- ・無線通信方式の拡張；今後の5G方式の普及を見込んで、拡張できるよう機能を付加する。5G方式は大容量データ通信が可能であるから、データ欠損や通信速度の改善が望める。

3. 潜水作業へのICT技術の導入 (ICT潜水)

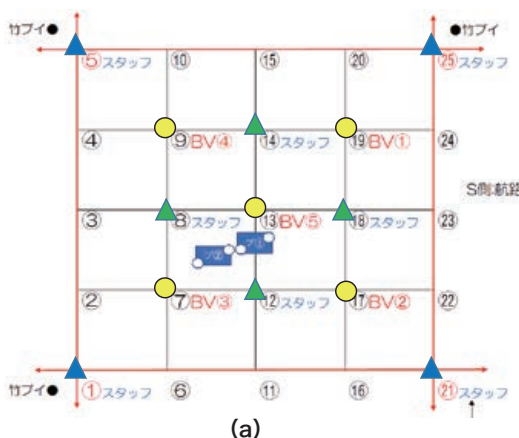
令和4年2月、i-Construction推進委員会において、潜水作業について効率化だけでなく、安全性の向上に注力し、潜水作業のICT化が進められることとなった¹⁾。弊所としては、令和2年9月より国土交通省九州地方整備局、一般社団法人日本潜水協会技術安全委員会ならびに同九州支部との4者間で「港湾工事等における潜水作業のICT技術導入の取組に関する連携協定」を締結し、潜水作業の更なる安全性や生産性の向上の他、港湾構造物の品質の確保、潜水作業の担い手育成支援に取り組んでいる²⁾⁻⁴⁾。特に、基礎工天端面の測量について、潜水士作業を伴う海底設置型音響ソナーで計測する方法の検討については、令和2年度初旬から一般社団法人日本潜水協会との共同研究、一般社団法人海洋調査協会との共同研究による合同プロジェクトとして助走期間を経て進めたもの⁵⁾の一部を抜粋と後続の検討を合わせて紹介する。

さて、基礎工天端面の均し作業とその出来形検査について、振り返る。天端面の出来形は、基準高さ±5cmと規定されており、測量箇所は天端面上の丁張に沿って例えば10mの格子点上で行う。計測装置に決まりはないものの、任意点上の測位を実現する潜水作業を伴う水中スタッフまたは水中水準測量装置が使われることが多く、最近は後者が主流のようである。一方、前出のマルチビームソナーは海底の面的な計測を可能とするた

め、当該工種への代替も検討されたが、その計測誤差は水深値±10cmが限界であり、基礎工天端面の測量への適用は見送られている。マルチビームソナーの計測誤差は船体動揺のうち動的喫水が未評価なことに起因するが、いまだ計測できる方法が存在しない。現状をまとめると、基礎工天端面の出来形計測は、計測装置の制約から潜水士により1点ずつ計測されており、非常に粗い離散的データの取得に時間を要しており、今後に向けた取組として、作業効率の改善と施工のDX化に向けた面データの取得の双方向から、新たな計測方法を探ることとした。

そこで、基礎工捨石均し(手均し)後の天端面の測量を、海底設置型の音響ソナーによる測量の適用を考えた。この方法を用いれば、船舶の動的喫水からは逃れられるし、10mの格子点のような離散点ではなく海底の面的測量を実現できる。当初、音響機器としてマルチビームソナーを横向きに設置し、回転させることを考えたが、マルチビームソナーの耐水圧、三脚やパン・チルト装置(旋回装置)、それらの制御ソフトなど、試験準備だけで高額となる。そのため、類似のソナーであり全てオプション機能として備える唯一の機器であるBlueViewを採用した。なお、同機器を底面に設置して得た点群データとレーザーによる比較事例では概ね一致としているが、数値での比較や評価はなされていない⁶⁾⁻⁷⁾。また、広範囲のデータ取得への展開、従前方式による測量値との比較、基礎工均し後の天端面では未検証など、測量として使用するためのバックデータが十分でなく、これらについて検討を行っているところである。

計測場所はケーソン打継場のマウンドであり、計測時のレイアウトを図4(a)に示す。7.5m格子に丁張をし、格子点上の赤で示した数字はスタッフ測量により位置を、各格子点上は水中水準測量装置で高さを、黄色○にはBlueView、緑△には評定ブイを設置した。BlueViewはパン・チルト装置と共に架台に搭載し(図4(b))、海底面上のBV①に設置した後、BlueViewを



(a)



(b)

図4 BlueViewを使用した基礎工天端面測量調査 (a)計測場所のレイアウト (b)BlueViewと架台

水平方向に±180度回転させて半径10m程度の範囲について測量を行った。図4(a)中に示した他のBV計測点へは潜水士船のウインチを使用して移動した。BlueViewの1計測点当たりには要する時間は概ね20分、計測場所の段取替えは約15分であり、幅10m×長さ30mのマウンドは概ね半日程度で計測可能であった。1計測点あたりの速報的な図化作業は概ね10分程度であり、段取替え中に実施することで、即時的に確認ができる。

図5はBV③とBV⑤におけるBlueViewの点群データにつき、簡易なノイズ処理をしたのちに、評定点を重ね合わせるタイポイント法を用いて合成した例であり、2つ以上の計測点から得た海底地形は滑らかにつながることができた。表1はBV点上の測量値について、水中水準測量装置の真値として比較しているが、BlueViewの計測値の誤差はBV④を除いて、最大3cm以内である。なお、BV計測範囲の辺縁部は斜め入射に起因する質の悪いデータが含まれており、BV④はその影響を受けている可能性が高い。データの質については要検討である。

本方法が実現すれば、潜水士による手均し作業が終了した後、同一装備に海底地形計測の可能なソナー他の機材と作業日を1日追加するのみで面的な測量データを取得できるから、ICT施工用の測量データの取得とそれに係る作業の効率化への有効な手立てとなりうる。

さらに、本稿では触れていないが、前出のICT潜水にかかる

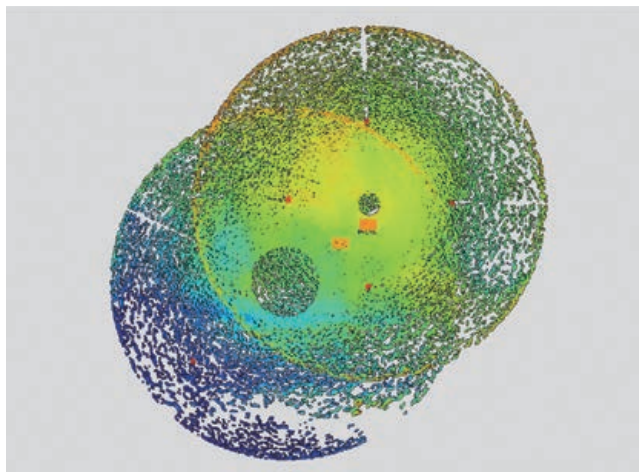


図5 計測事例、BV③とBV⑤を結合したもの

表1 BV③とBV⑤の点上の測量値比較、真値を水中水準測量装置とした場合

計測点	水中水準測量装置	BlueView	差分
BV①	-8.36	-8.37	-0.01
BV②	-8.05	-8.04	0.01
BV③	-8.27	-8.24	0.03
BV④	-8.22	-8.28	-0.06
BV⑤	-8.33	-8.33	0.00

連携協定の枠組み内で、潜水業務に必要な装備品の見直し、緊急浮上システムなどICT潜水に関わる検討に携わっており、今後の成果に期待されたい。

4. おわりに

施工や維持管理のICT化に向けたデータ収録方法に焦点を当てた新たな取組として、マルチビームデータクラウド(AIMS)は、マルチビームソナーでデータ収録と同時にデータをクラウドにアップロードし、クラウド上のAIMSでリアルタイムに可視化する機能と、事後にクラウド上の後処理システムを使用して後処理を半自動かつ高速に行う機能について紹介し、実験的に取得した事例と今後の展開について述べた。また、潜水作業へのICT技術(ICT潜水)についてはその取組について紹介し、ひとつの研究事例として海底設置型ソナーによる測量法の検討につき一部を紹介した。

これらの課題は、いずれも研究開発段階であり、絶対的な成果よりはアウトラインを分かりやすく示すことを優先したため、内容に未解決部分が含まれていることはご容赦願いたい。また、これらの課題については、行政、業界団体の要望から研究に発展した経緯があり、海洋開発を支援するインフラ技術のうち、特にビッグデータ化あるいは施工や維持管理のICT化のための収録方法に一石を投じるものと確信している。

謝辞

本稿で紹介したAIMSの技術開発は、港湾局技術企画課ならびに九州地方整備局からの支援を受けている。ICT潜水については、海洋調査協会、日本潜水協会との共同研究の成果の一部を引用し、実験場所として関東地方整備局の実海域実験利用制度を活用させていただいた。また、国土交通省九州地方整備局、一般社団法人日本潜水協会技術安全委員会ならびに同九州支部との連携協定では、貴重な意見交換をいただいた。ここに謝意を表する。

参考資料

- 1) 国土交通省港湾局公共事業調査室、技術企画課、「第4回港湾におけるi-Construction推進委員会」資料、<https://www.mlit.go.jp/common/001446207.pdf> (2022.2)
- 2) 九州日報、2021年1月5日、1面
- 3) 長山達哉、「九州地方整備局における港湾工事へのICT導入と潜水分野への発展に向けた取組について」、『潜水』、Vol.86、16-20 (2021)。
- 4) 日刊工業新聞全国版、2021年7月29日、11面
- 5) 大野敦生、「水中3Dスキャナを活用した水中可視化技術の実証試験」、『横浜港湾空港技術調査事務所、第6回技術交流会講演資料 (2017)』。
- 6) 古殿太郎ら、「水中3Dスキャナを活用した水中可視化技術によるインフラ維持管理・点検技術」、『建設機械施工』、Vol.70、63-68 (2018)。
- 7) 大野敦生、「ICT潜水に向けた海洋調査技術の導入」、『海洋調査協会』、No.147、31-34 (2022)。