

8. バックホウ浚渫工事の水中可視化システムの開発

マシンガイダンス+マルチビームソナーのリアルタイム河床可視化技術

鹿島建設株式会社 ○ 新開 貴行
サイテックジャパン株式会社 杉山 修武
株式会社ハイドロシステム開発 橘田 隆史

1. はじめに

大河津分水路は、新潟県を流れる信濃川の洪水対策を目的に作られた人工河川であるが、近年のゲリラ豪雨や台風による流下能力不足に対する抜本対策となる河道拡幅（山地部掘削）に伴い改築が必要となった。当工事は、その改修事業のうち、増水時の洗堀防止と河口付近の減勢を目的とした床固めの改築工事である。

当工事では、バックホウ浚渫船による河川の掘削を行っているが、河床形状をリアルタイムに把握することが困難であり、作業船によるマルチビーム深淺測量または潜水士の目視やビデオ撮影により河床形状を確認し、その結果を基に追加施工や仕上げ掘削を実施している。本報文では、バックホウ浚渫船に搭載されたマシンガイダンス機能と新たに設置したマルチビームソナーの測量結果を連携させ、掘削中の河床形状がリアルタイムに把握できるシステムの開発について報告する。



写真-1 大河津分水路全景

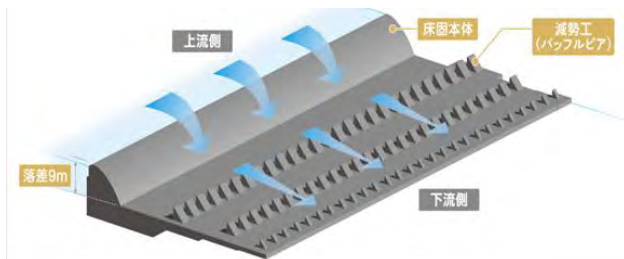


図-1 床固め完成図

2. 開発の目的

バックホウ浚渫船による掘削工事は、事前に実施する起工測量や進捗に合わせて実施する測量の結果や岩盤の地質調査結果などの数少ない情報を基に施工するため、オペレータの経験と技量に頼

るところが大きい。しかし、現場で作業する技能者の高齢化や建設業のハードな労働環境のイメージから若手離れが進み、人手不足が深刻化している。現在では、ICT・IoTを駆使した技術力向上により人を選ばない施工の実現が求められており、水中施工の技術開発分野では水中可視化技術の開発が多く取り組まれている。

そこで、バックホウ浚渫船のブームに取り付けた傾斜計とGNSSを組み合わせたマシンガイダンス機能と、新たに設置したマルチビームソナーで入手した点群データをリアルタイムに連携させて画面に表示することにより、河床形状、掘り残しや土砂がバケットからこぼれた状況などを任意のタイミングで確認できるシステムを開発して、河床の可視化を目指した。



写真-2 バックホウ浚渫船の掘削状況

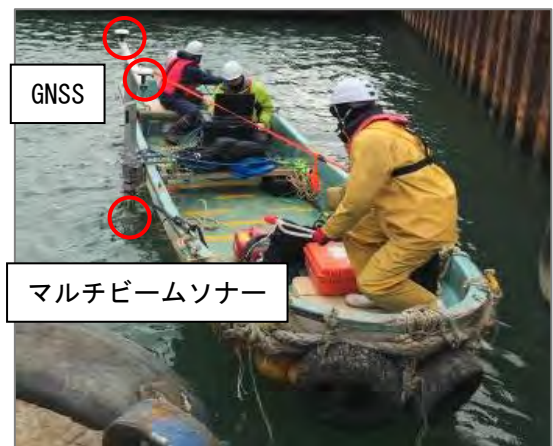


写真-3 作業船による深淺測量状況

3. 技術の概要

3.1 機器構成

本システムの機器構成を図-2に示す。本システムは、バックホウに取り付けたマシンガイダンスと船首に取り付けたマルチビームソナーに大別される。マシンガイダンスの構成は、バックホウブームと本体に取り付けた傾斜計とGNSSからなり、バケットの刃先位置を把握する。掘削作業時でも障害の少ない船首に取り付けたマルチビームソナーの計測結果とマシンガイダンスによるバケット刃先位置情報を高性能PCによって統合して操縦席のモニタに表示される。これにより河床形状を確認しながら、バケット操作を行うことが可能となった。マルチビームソナーによる計測結果は、高性能PC内のクラウドアプリ（Box）を介して関係者全員で共有を行う。

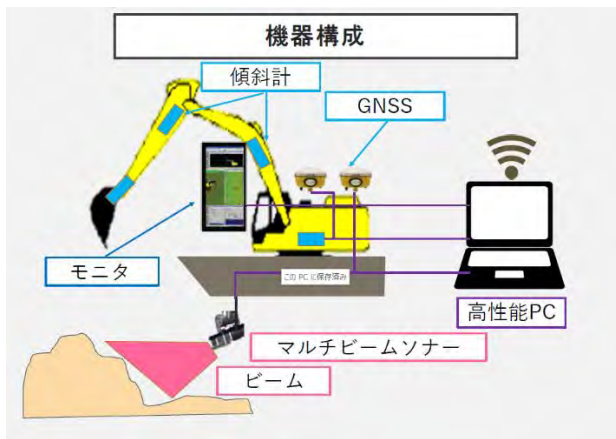


図-2 システムの機器構成

3.2 システム活用フロー

システム活用フローを図-3に示す。

- ①掘削対象範囲の設計図を作成する
- ②バックホウ浚渫船にマシンガイダンス/マルチビームソナーを取り付ける
- ③掘削対象範囲に、バックホウ浚渫船を移動させる
- ④測量を行う（事前測量）
- ⑤測量結果を基に、バックホウ浚渫船で掘削作業を行う
- ⑥掘削作業後にマルチビームソナー測量を行い、進捗を確認する
※従来施工では、作業船による深淺測量を実施する
- ⑦測量結果を基に、バックホウ浚渫船で掘削修正作業を行う
※⑥と⑦の作業を繰り返す
- ⑧施工完了時に、出来形確認の測量を行う
- ⑨土量計算ソフトで出来形評価を行う

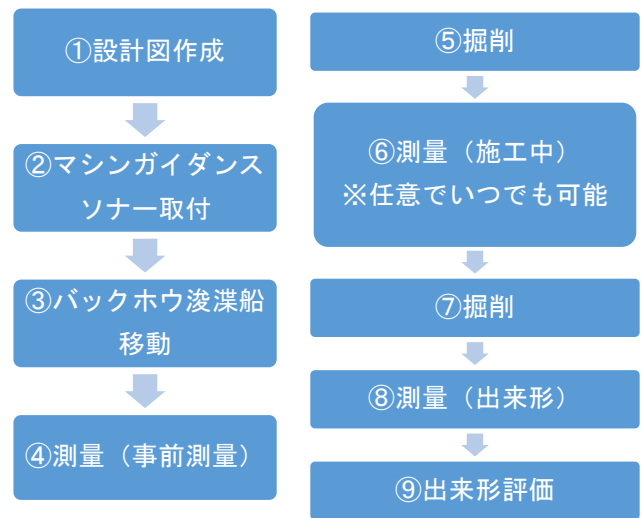


図-3 システム活用フロー

4. 施工実績

マルチビームソナーを搭載したバックホウ浚渫船による施工実績を以下に述べる。

4.1 掘削作業の生産性向上

- ①バックホウ浚渫船に搭載したマルチビームソナーによる測量を実施することにより、即座に河床の形状を更新できるため、掘削作業の進捗をリアルタイムに確認することが可能となった。掘削後の河床形状変化を図-4に示す。⇒測量などによるバックホウ浚渫船の待機時間の削減につながった。



図-4 マルチビームソナー照射後の河床形状

②バケット刃先位置と河床形状を一つのモニターで表示する。

⇒バケット刃先位置と最新の河床形状をリアルタイムに一つのモニターで表示することで、実際には見ることが出来ない、水中の平面や断面情報を一度に確認することが可能となり、オペレータの経験や技量に頼らない水中掘削を実現することができた。

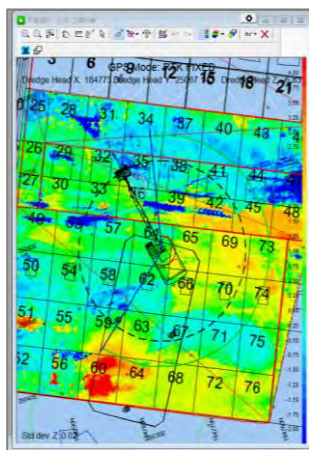
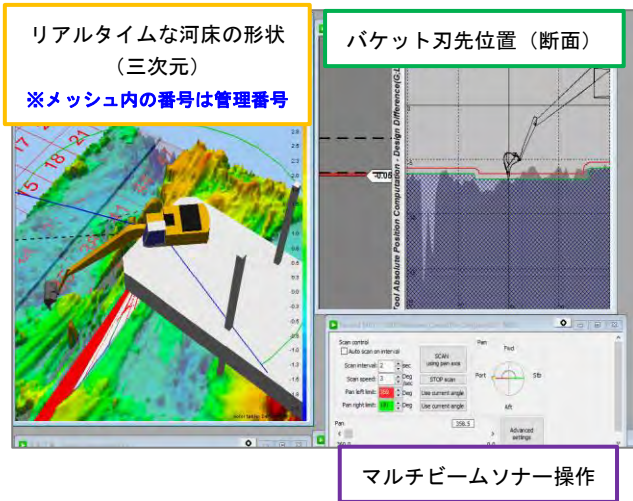


図-5 モニタの表示状況 (一つの画面で表示が可能)

以下にモニター画面 (図-5 参照) の各表示画面の説明を行う。

① リアルタイムな河床の形状 (三次元)

マルチビームソナーで得られた測量結果が、即座に三次元の河床形状として表示される。

高さによって色分けされるので、直感的な高さの把握が可能。

② バケット刃先位置 (断面)

バケット刃先位置と河床形状の詳細を確認するとき、拡大された断面として表示する。

③ リアルタイムな河床の形状 (二次元)

マルチビームソナーで得られた測量結果が、即座に二次元の河床形状として表示される。

上記項目 1 の三次元と同様に、高さによって

色分けする。

④ マルチビームソナー操作

マルチビームソナーの測量開始・停止を行う。

4.2 作業日数の削減に関する効果

従来は、掘削作業開始前と完了後の 2 回、作業船による深浅測量を実施していた。今回開発したシステムにより、作業船による深浅測量回数が 0 回となり、合計で 4 日間の短縮となった。また、測量後の再掘削が不要となり、再掘削にかかる日数を 0 日にすることで、1 日間短縮することができた。表-1 に作業内容と削減効果を示す。

① 測量に関わる作業日数の削減効果

・深浅測量日数 2 日×2 回 = 4 日

(1 回の深浅測量に掛かる日数

測量 1 日+データ整理 1 日=計 2 日)

短縮日数 計 4 日

② 掘削作業に関わる作業日数の削減効果

・測量後の再掘削 1 日

短縮日数 計 1 日

合計で 5 日間の削減効果となった。

表-1 不要となった作業内容と削減効果

	不要になった作業内容						
	マルチビームソナー測量	測量	データ整理	掘削作業	測量	データ整理	
短縮日数	1	1		1	1	1	
						再掘削	
							4日
							1日
							計 5日

※今回試行した期間 (エリア) での短縮効果

4.3 作業人員の削減に関する効果

作業中の深浅測量が不要になったので、2 回分の深浅測量の作業人員である 8 人を削減することができた。

① 作業人員の削減効果

・計測会社による深浅測量の作業人員
2 回/月=8 人

測量: 2 人/回

データ整理 2 人/回 計 4 人/回

・本システムの活用 0 回/月 = 0 人
削減人数 8 人

4.4 安全性の向上に関する効果

従来は、掘削の進捗を確認するため、写真-4に示すように船舶先端でのレッド測量（おもしを船上からたらず測量）を行っていたが、この作業が不要となり作業員落水の危険がなくなった。

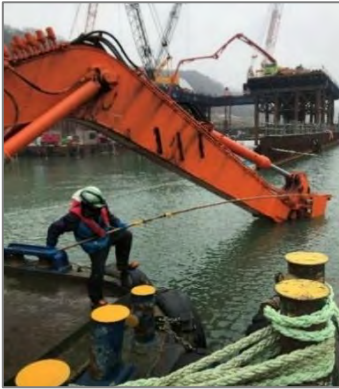


写真-4 レッド測量（従来の方法）

4.5 品質の確保・向上に関する効果

当工事では、鋼殻ケーソンを設置する所定の深さまでバックホウ浚渫船による掘削を実施した。鋼殻ケーソンは、本堤部の基礎となる大事な構造物となるため、設置精度に直接関係する掘削作業は、高い精度が要求される。浚渫船に搭載したマルチビームソナーによる測量は、図-6、図-7に示すようにリアルタイムで河床形状が把握できるため、精度の高い掘削作業が可能となった。

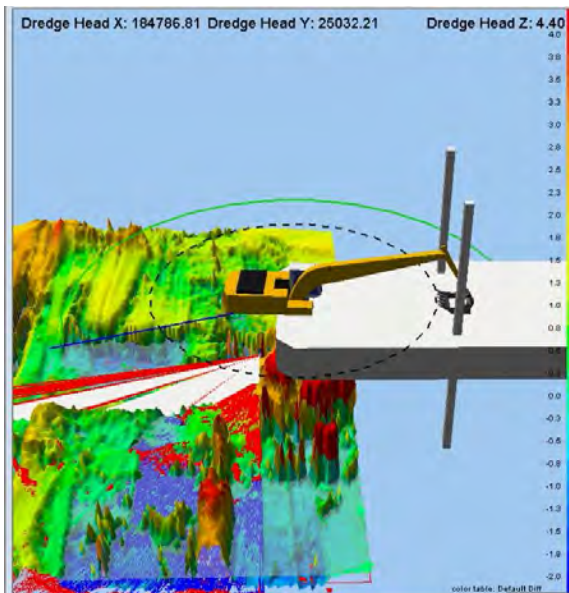


図-6 バックホウ浚渫船に搭載された
マルチビームソナーによる測量

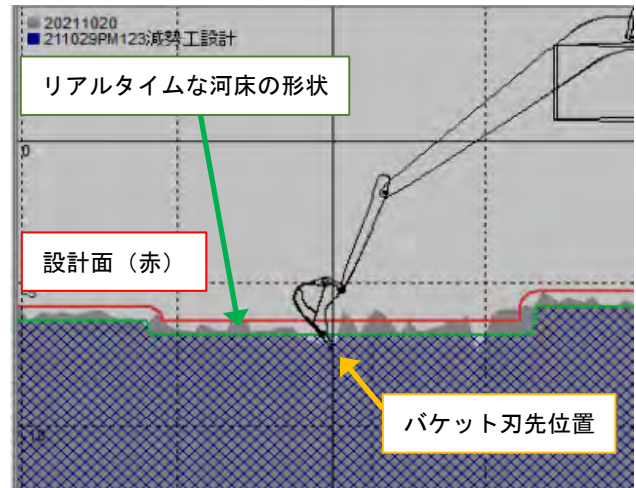


図-7 作業中のモニタ表示

4.6 精度について

マルチビームソナーをバックホウ浚渫船に搭載した測量は前例がないため、精度の確認を実施した。図-10、図-11は、マルチビームソナーの精度確認結果の抜粋を示す。精度確認方法は、通常行われている作業船による深淺測量と、バックホウ浚渫船に搭載したマルチビームソナーによる測量の結果を比較してその差異を考察した。

精度検証は、バックホウ浚渫船による掘削前と掘削後の各1回、そして場所が違う2つの掘削エリアの計4回実施した。測量結果の差は10cm以内が95%以上であり、バックホウ浚渫船に搭載したマルチビームソナーの精度は、通常行う作業船での深淺測量と同等の精度であると言える。



図-8 掘削前の測量

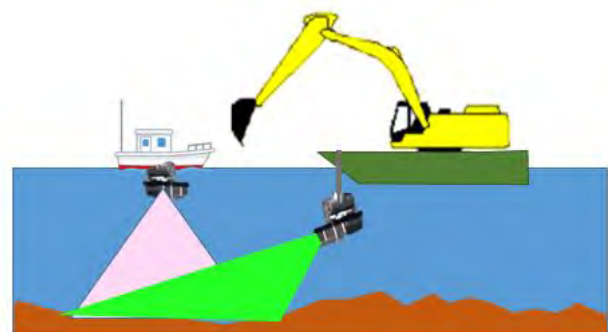


図-9 掘削後の測量

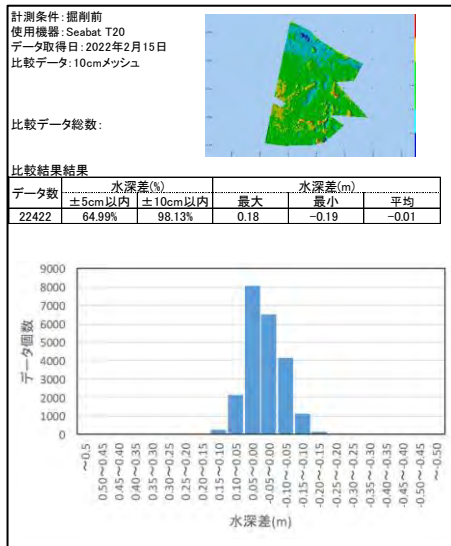


図-10 作業船による深淺測量

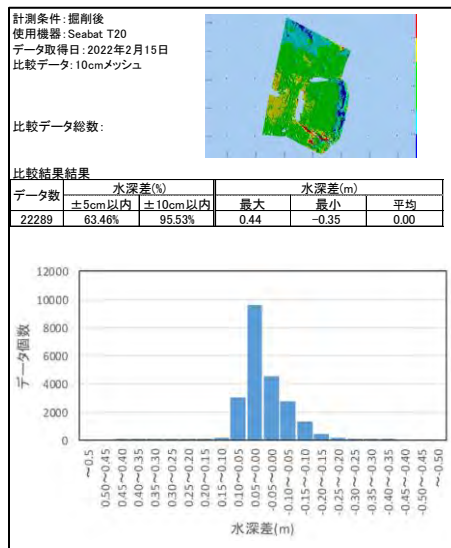


図-11 バックホウ浚渫船搭載のマルチビームソナーの測量結果

- ② 今まではバックホウのオペレータしか把握できなかった河床形状を、作業に関わる者全員がPC画面で共有できる。また、河床の形状を可視化することにより、オペレータの経験や技量に頼らず画面を見ながら的確な操作を行うことができた。また、集団の知恵で多面的に掘削作業や工程の検討が可能となり、高度な施工管理を実施できた。
- ③ ソナー測量結果は、世界測地系による.ascの点群データで出力ができるため、土量計算ソフトなどのソフトを活用し、土量計算や出来形判定を行うこともできる。



図-13 取得した点群データ

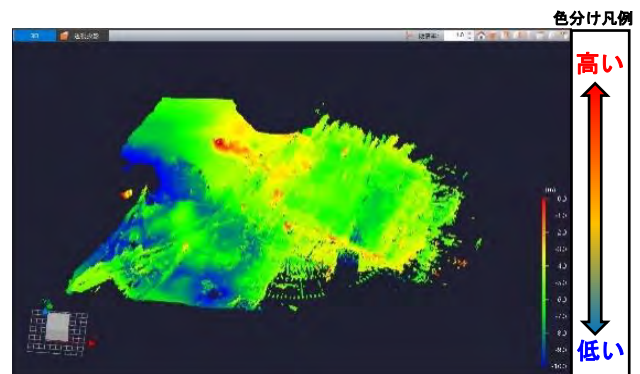


図-14 土量計算ソフトでの表示
(高さによる色分け)

4.7 施工管理の効率化・高度化に関する効果

- ① バックホウ浚渫船に搭載したマルチビームソナーによる測量後の結果は、即座に標高による色分けがされ直感的に高さを把握できる。バックホウオペレータへ適切な掘削指示が可能となり、施工管理の効率化に寄与する。

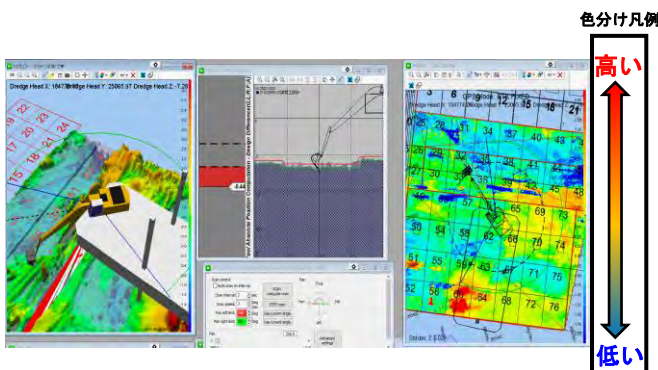


図-12 高さにより色分けされた河床の形状

4.8 環境負荷低減効果

従来施工に比べて化石燃料の消費が約 1.4 t 程度削減することができた。

$$1 \text{ 日} \times 8 \text{ h} \times 71 \text{ L} \times 2.62 \text{ kg-CO}_2/\text{L}$$

$$= \blacktriangle 1,488.16 \text{ kg-CO}_2$$

(短縮時間 1日, 作業時間 8h,
一時間あたりの燃料消費量 71L/h,
CO₂ 排出係数 2.58kg-co₂/L)

4.9 課題について

① マルチビームソナーの調達費用

マルチビームソナーは特殊な機材であるため、現在流通しているどのメーカーの製品も高額であり、今回使用した機器も月額費用が高額であった。費用を削減するため、使用期間を必要最低限としてマルチビームソナーのリース料の削減に取り組む必要があった。今後、機器の流通が増加して販売コストやリース料の低下を期待する。

今回の開発では、使用するマルチビームソナーは限定されたが、安価なマルチビームソナーの開発を進める必要があると考える。



写真-5 バックホウ浚渫船に取り付けたマルチビームソナー

マルチビームソナーは、簡単に取外し可能な構造としており、修理対応や一時的な取外しに対応している。



写真-6 マルチビームソナー取外し状況

② 操作技術の習得

開発したシステムの操作は、習熟訓練が必要である。掘削担当者は、1～2日間の使用方法などの講習を受けて使用方法を習得した。しかし、講習では初歩的な操作技術しか習得していないので、システムトラブルが発生した時の原因解明と復旧は専門会社に対応してもらった必要がある。今後は、遠隔による操作指導やサポートを受けることができる機能が重要と考えている。



写真-7 専門会社による点検状況

5. まとめ

従来の水中掘削作業は、オペレータの経験や技量に頼るところが大きいが、今回開発した水中可視化技術は、マシンガイダンス機能とマルチビームソナーの測量結果を連携させたシステムを構築したので、河床形状を任意のタイミングで把握し、多面的で詳細な施工管理の実現が可能となり、生産性向上を達成することができた。しかし、マルチビームソナーは高価な機材であり導入費用が高額となった。今後のマルチビームソナーの流通量が増加し、リース費用が低減することを期待する。

本システムが、河川などの濁りや水流による河床地形変化が確認できない水中での掘削工事や浚渫工事などで活用され、さらに海上や湖畔など水中作業全般で生産性向上や出来形向上に繋がるように今後も開発を継続したい。