

御前崎港の防波堤改良工事における ICT技術の導入と評価について

鈴木 恒平¹

¹清水港湾事務所 第二建設管理官室（〒437-1623静岡県御前崎市港6170番地）

東日本大震災を契機に津波による防波堤の倒壊を防ぐため、根固ブロックを設置する補強工事が全国の港湾で進められている。従来、海中へのブロックの据付作業は、海中の潜水士と海上のクレーン操作者が無線連絡により、据付位置への誘導・据付を行っている。しかし、クレーン操作者から潜水士やブロックを視認できないために作業に時間を要するとともに危険を伴う作業となっている。本稿では、潜水士とブロックに水中位置検出装置を取り付け、潜水士とブロックの位置をリアルタイムに確認するICTを活用した施工による作業の効率化と安全性の向上について報告する。

キーワード：ICT、ブロック据付、マルチビーム測量

1. はじめに

国土交通省では、各種建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を実現するi-Constructionの取組を積極的に進めている。港湾工事の分野においても測量から設計、施工、検査に至る一連の建設プロセスにおいて、ICTを活用した情報の3次元化を進めるための検討が進められている。

このような情勢の中、昨年度、海上で各種ブロックを据付する工事でICT技術が導入され、御前崎港においても第1線防波堤の根固ブロック据付工事において、ブロック据付箇所の測深作業効率化のためのマルチビーム測量と、据付作業の効率化と安全性向上のための水中位置検出システムを導入した工事を実施した。これらのICT技術の導入による施工の効率化と安全性向上の効果について検証した。



図-1 御前崎港全景

2. 御前崎港防波堤改良事業の概要

御前崎港は、静岡県の中部に位置し国際コンテナ物流や完成自動車の輸出等を担う重要港湾であるが、南海トラフ巨大地震等の発生に伴う大きな津波が襲来することが想定されている。

そこで御前崎港では、防波堤が粘り強くその効果を発揮できる様、防波堤の改良事業を進めている。防波堤の「粘り強い構造」とは、東日本大震災での防波堤の被災事例を踏まえて、「発生頻度の高い津波（御前崎港においては、東海・東南海・南海地震の3連動地震によって引き起こされる津波）」を超える津波に対して、防波堤が変形しつつも倒壊しない（＝粘り強く持ちこたえる）構造とすることである。これにより、津波の防波堤背後への流入量を抑制し、背後地への津波の到達時間を遅らせるなど防波堤の背後を守ること及びその後の港湾活動への支障を軽減するためのものである。（図-2）

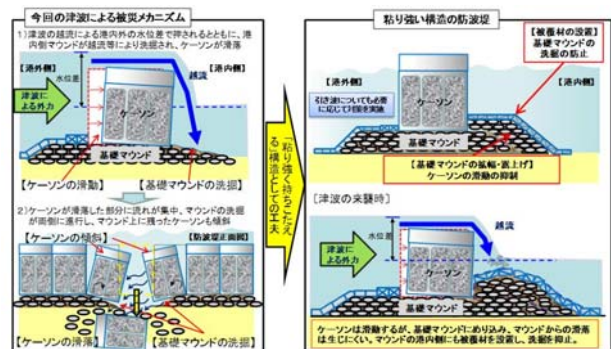


図-2 粘り強い構造の防波堤

御前崎港で取り組む「粘り強い構造」への改良は、気象・海象条件の厳しい港の第1戦防波堤である防波堤（東）で施工しており、その目的は、津波の越流による防波堤基礎の洗掘によって防波堤自体が倒壊することを防止するために港内側の基礎マウンド部に越流に対する補強として根固ブロックを設置するものである。この改良により防波堤の倒壊を防ぎ被災後にも港内静穏度を確保するものである。

今回の工事の主要な内容は以下のとおり。（図-3）

- ・根固ブロック製作・据付（8.4t/個・10t/個） 228個
- ・洗掘防止マット製作・据付、間詰石投入・均し

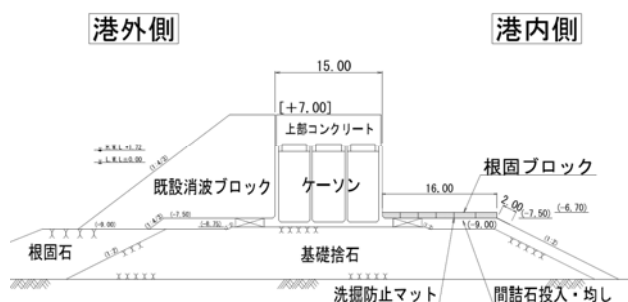


図-3 断面図

3. ブロック据付工事におけるICT導入の概要

本工事におけるICTの活用内容及び工事施工フローは表-1及び図-4のとおりである。

表-1 ICT活用内容

項目	内容
3次元起工測量	起工測量において、マルチビームにより測量を行う。
ICTを活用した施工	据付用ブロックの位置と目標据付位置をリアルタイムに可視化する技術を用いて、オペレーター誘導または、クレーンを自動制御する技術を用いて、施工を行う。
3次元出来形測量	マルチビームを用いて測量を行い、出来形管理を行う。
3次元データの納品	3次元施工管理データを、工事完成図書として納品する。

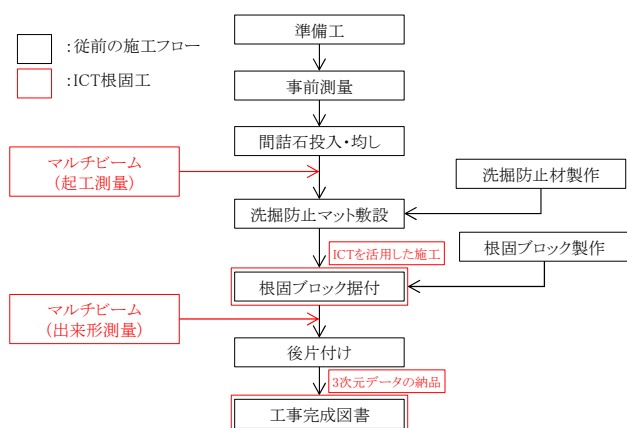


図-4 ICT活用工事施工フロー

(1) マルチビーム測深の導入

a) 実施内容

根固ブロック据付前の起工測量と据付後の出来形測量をマルチビームにより行った。マルチビーム測量は、指向性が高く感度の良い音響ビームを測量船から海底面へ

扇状に照射し、船の進行とともに多数点の水深値を面的に計測するシステムである。従来の音響測深機であるシングルビームが送受波器直下の水深情報を線的に測深し

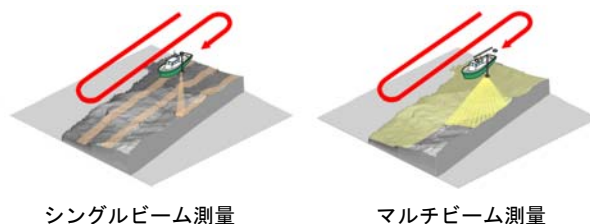


図-5 マルチビーム測量概念図

ているのに対し、マルチビームは面的に詳細な海底地形を測深するものである。（図-5）

そのため、水中の構造物の出来形が精度よく確認できる上、測深データを基に視覚的にも確認が容易となる3次元図面の作成も可能となる。

今回、マルチビームから得られたデータから3次元平面図・断面図を作成し、視覚的にも確認が可能となるその図面から延長等の出来形の計測を行った。

従来、根固ブロックの据付出来形の確認は、潜水士がスチールテープ等を用いて、表-2に示す項目について測定した数値データを確認している。

表-2 出来形管理基準 根固ブロック据付

管理項目	測定方法	測定密度	測定単位	許容範囲
天端幅	スチールテープ等により測定	据付完了後天端面（最上部）	1cm	ブロック間隔数×10cm以下
延長	スチールテープ等により測定	据付完了後天端面（最上部）	1cm	ブロック間隔数×10cm以下

本工事では、従来の潜水士による出来形の計測を行った上で、マルチビーム測量で得られた出来形と比較しその精度等についても確認を行った。

b) 活用結果

マルチビームによる出来形測量結果を図-6、図-7に示す。図-6は、各ビームから得られた点群を図化したものである。図-7は、それぞれの点を線で結んで作成した3次元モデルである。出来形の計測はこの3次元モデルから作成した2次元の縦・断面図により図面上で計測を行った。

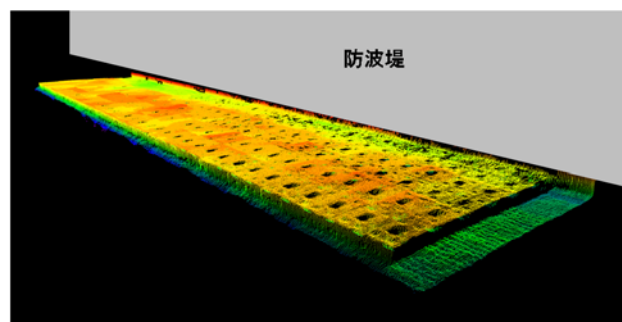


図-6 測量結果（取得した点群データ）

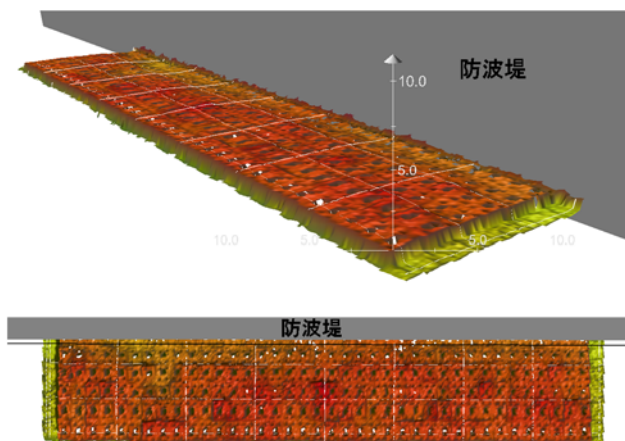


図-7 測量結果（3次元俯瞰図・平面図）

マルチビームによる測量を実施することにより、根固ブロックの出来形を面的に把握することが可能であった。

しかし、マルチビーム測量より計測した延長は、潜水土によるスチールテープで計測した延長（縦断方向の設計延長76.0m）に比べ30cm程度短い結果となった。横断、縦断ともに全体的に同様の傾向であった。ただし、出来形としての延長は満足するものであった。

結果に差異が生じた原因は、マルチビームで得られたデータを3次元モデル化する際のデータ密度の設定（密度が低いとブロック端部の形状が不明確になる）によるものと想定される。（図-8）

さらなる精度向上を目指すのであれば現場条件に応じたデータ密度の設定が必要と考えられる。

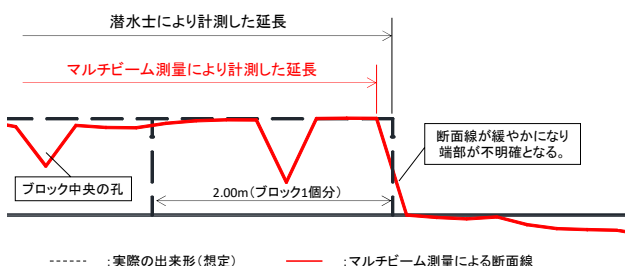


図-8 マルチビーム測量によるブロック端部の断面線

(2) 水中位置検出システムの導入

a) 実施内容

据付時に根固ブロックの位置をリアルタイムで把握するため、ブロックに水中位置検出装置（トランスポンダー）を取り付け（図-9）、起重機船に取り付けた水中位置検出装置（トランスシーバー）でブロックの位置を把握するシステムを採用し施工を行った。システムの概念図を図-10に示す。

ブロックの座標データと3次元起工測量で得られた据付目標位置の座標データをあわせることにより、起重機船のクレーン操作者がブロックの据付目標位置と据付予定のブロックの位置をリアルタイムにモニタ上で確認し据付位置までの誘導することができる。



図-9 根固ブロック

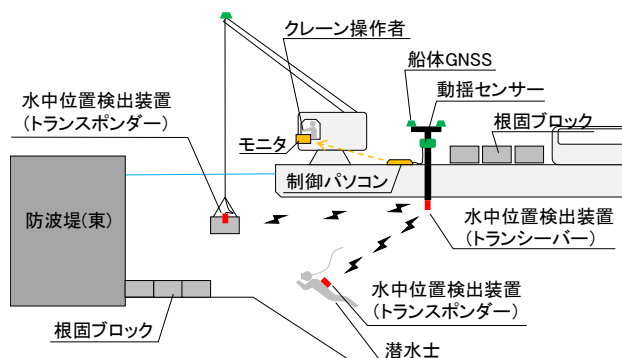


図-10 ブロック据付システム概念図

ただし、水中位置検出装置の精度は、誤差が±1m程度生じてしまうことから据付精度の確保には、さらなる改善の必要性があることが確認された。

b) 活用結果

従来、根固ブロックの据付は潜水土が起重機船のクレーン操作者に無線連絡により指示し誘導を行っているが、クレーン操作者から潜水土が目視できず、潜水土とブロックの衝突を避けるため慎重な作業が要求されていた。本工事では、ブロックに取り付けた水中位置検出装置（トランスポンダー）と同じものを潜水土にも装備することにより潜水土の位置もリアルタイムで把握することが可能となり、潜水土とブロックの位置をモニタ上で同時に把握することができ安全かつ円滑にブロックの誘導を行うことができた。

また、ブロックと潜水土が接近するとモニタ上に警報が表示されるシステムとしている。潜水土とブロックが、7m以内及び5m以内に接近するとそれぞれ注意・警報としてモニタ上に表示されるシステムも併せて導入した。据付作業中のモニタ画面を図-11に示す。

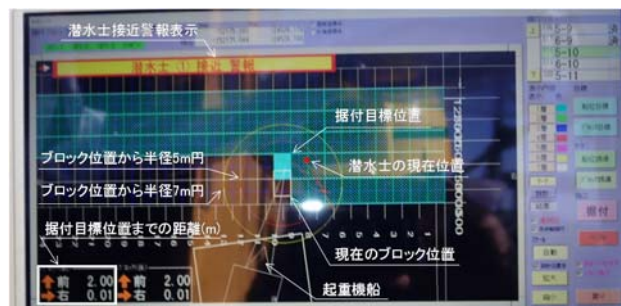


図-11 据付作業中のモニタ画面

これまでも、潜水土の位置をリアルタイムに把握し安全な施工を行う取り組みりがされているが、本工事ではブロックと潜水土の両方の位置をリアルタイムに把握することが可能であるため、より一層の安全確保を図ることができた。

4. ICT技術導入による施工効率の向上の検証

本工事におけるICT活用の効果を表-3に示す。

表-3 本工事におけるICT活用の効果

内 容		本工事におけるICT活用の効果
起工測量・出来形測量 マルチビーム測量	測量作業	・測量作業にかかる作業員数及び作業時間に大きな違いはない。 ・潜水作業が不要となり、測量作業員のみで行うことが可能。
	データ解析・整理	・データ解析・整理にかかる人員数に大きな違いはない。 ・マルチビーム測量により取得した膨大なデータを処理するため、パソコンによる演算処理に時間を要する。ただし、今後マルチビーム測量が一般化されれば時間の短縮は可能であると考えられる。
	その他	・施工範囲全体を網羅的に把握できるため、出来形の確認が容易に行うことができ検査時にも有効である。
根固ブロック据付	据付作業	・据付作業にかかる作業員数及び作業時間に大きな違いはない。
	その他	[安全対策] ・ブロックと潜水土の位置関係をリアルタイムに確認出来ることにて、より安全な作業が可能。

(1) マルチビーム測深による測量作業の効率化

測量作業において、潜水土での作業自体を削減することが可能となった。静岡県内においても潜水土は高齢化や担い手不足によりその確保が特に困難な状況となりつつある。また、潜水作業の削減は工事の安全性向上にも寄与する。これらのことから潜水作業の削減効果は大きいと考えられる。

データの解析・整理においては、マルチビーム測量により得られる膨大なデータを処理する必要があるためこれらの演算処理に通常の測量より時間を要した。しかし、その大半はパソコンによる処理時間であるため、作業員の拘束時間に大きな違いはなかった。さらに、本工事ではデータの処理方法について協議・検討を行いながら実施したが、今後マルチビーム測量が一般化され、基準類が整備されていけば時間の短縮も可能であると考えられる。

また、マルチビームは面的に測深するため、施工範囲全体を網羅的に把握することができ、任意の測線で縦断面図の作成・距離の測定が可能である。そのため、出来形の確認を容易に行うことができ検査時にも有効であると考えられる。

(2) 水中位置検出システムによる据付作業の効率化

水中位置検出装置の誤差が±1m程度生じてしまうことと水中での玉掛け作業が必要なことから、潜水作業が不可欠であった。そのため、ICTを活用した本工事においても従来の施工と同様の作業員数を要することとなり、

作業員の削減等の効果を得ることはできなかった。作業時間についても従来の施工との大きな違いは確認出来なかった。今後、水中位置検出装置の精度向上が期待されるところである。

しかし、クレーン操作者がモニタで位置の確認ができることにより、円滑なブロックの誘導が可能であったことから、今後生産性の向上につながっていくものと考えられる。

また、安全面ではブロックと潜水土の位置関係をクレーン操作者が確認することができるようになり、安全確保につながったことから安全面での効果は十分確認出来た。

5. まとめ

今回の根固ブロック据付におけるICT活用工事を通じて、ブロック据付工においてICTを活用することにより、測量作業時の潜水作業の削減や出来形確認が容易に行えるなど一定の生産性向上につながることが確認された。

ICT活用した工事は各分野で実施されており、河道しゅんせつ工事では、約4割の作業時間の削減効果が報告されている²⁾。今回取り組んだブロック据付工においても、今後、同様のモデル工事の取り組みの実績を増やし、それらの成果を踏まえ各種運用などの基準類が整備されICT施工が一般化することにより、作業時間の短縮や作業員の削減等により生産性の向上が図られていくものと考えている。

本工事における取り組みは全国的にも昨年度から始められたものである。被覆・根固工のブロック据付においてICT施工を実施しているのは全国で昨年度6件あるが、その中で地元企業が施工したものは本工事が唯一である。

今後も気象、海象条件の厳しい御前崎港において防波堤の粘り強い構造への改良事業が継続的に実施されることから、引き続きICT施工の推進に取り組んでまいりたい。

謝辞：本論文の作成にあたり、施工業者の青木建設株式会社ならびに各種助言を頂きました関係者の皆様に心から感謝の意を表し本報告を終わります。

参考文献

- 1) 社団法人 日本埋立浚渫協会 安全環境対策部会 水中位置測定装置開発WG:潜水作業の安全性を向上させる「水中位置測定装置」、マリンボイス21, Vol.268, 2010.
- 2) 野田 綾：全国に先駆けて着手した「ICT河道しゅんせつ」による生産性向上の取り組み、平成30年度中部地方整備局管内事業研究発表会, 2018