

ICTを活用した防波堤のブロック据付け における施工実績と考察について

青山 万丈¹

¹清水港湾事務所 保全課（〒424-0922 静岡県静岡市清水区日の出町7番2号）

東日本大震災を契機に、設計津波高さを超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できることを目的とした、基礎マウンド補強のための被覆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。被覆ブロック設置のための潜水作業はこれまでクレーン操縦者と潜水士の熟練した技術により施工が行われている。一方、省力化や安全確保の観点からICTの活用が求められている。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、水中ドローン

1. はじめに

東日本大震災では、津波により多くの港湾施設が倒壊する等の被害を受けた。日本の港湾施設は、海外と比べ厳しい設計基準で設計されていると言われている中で、このような大きな被害を受けたことは衝撃であった。近年、設計対象の津波高さだけでなく、設計津波高さを超える最大クラスの津波に関しても対策が必要だという認識が新たになった。

そこで、国土交通省港湾局では東日本大震災後、地震津波による防波堤の倒壊を回避するための防波堤の改良（粘り強い化）を進めている。

また国土交通省では、建設現場における生産性を向上を図り、労働力不足への対応や魅力ある建設現場の創出等を目指して、i-Constructionの取り組みを推進している。

これらの背景を踏まえ、清水港におけるi-Constructionの取り組みの一つである、ICTブロック据付工活用の取り組み実績について検証した。

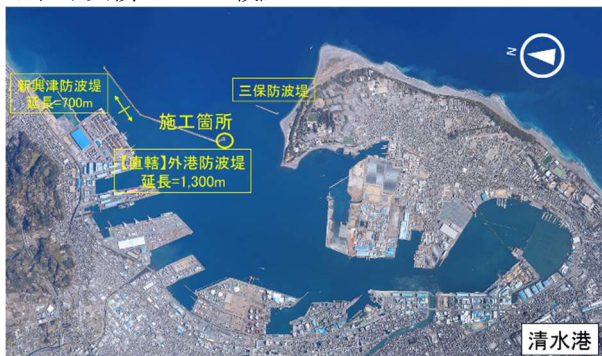


図-1 清水港全景

2. 清水港外港防波堤改良事業の概要

静岡県は広範囲で太平洋に面する海岸線を有しており、中でも清水港は静岡県中西部に位置する国際拠点港湾である。主に国際海上コンテナ物流を担っており、幹線輸送の拠点となっている。近年では、農産物輸出や国際クルーズの拠点としての機能強化、地域産業を支える重要インフラと共に災害時の輸送拠点としても期待されている。

しかし、広範囲で海岸線を有しているために、東日本大震災等の過去の巨大地震の履歴からも津波の被害を強く受ける懸念がある。幹線輸送の拠点である清水港は被災直後から復旧完了に至るまで、一定の輸送機能を確保させる必要があり、背後の岸壁等の港湾施設や物流機能を守るべく、防波堤の粘り強い化を進めている。

清水港の外港防波堤における粘り強い化は図-2のとおり、越流水の着水位置を防波堤から離すことで防波堤背後の洗堀を防止（上部工の嵩上げ）、越流水による基礎マウンドと海底地盤の洗堀を防止（被覆ブロックの据付）を行うことで、堤体が滑動するのを抑制する対策断面となっている。これにより、変形しつつも完全に倒壊しない構造とすることで、できるだけ長い時間、津波の防波堤背後への流入量を抑制し、背後地への津波到達時間を遅らせ守ること及び津波被災後の港湾活動への支障を軽減する。

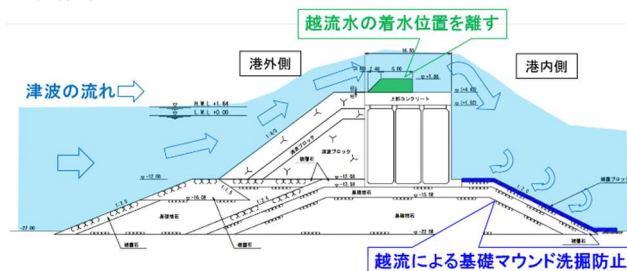


図-2 粘り強い構造の防波堤（清水港：外港防波堤）

3. ブロック据付工事におけるICT導入の概要

令和4年度清水港外港防波堤（改良）被覆工事における主要な工事内容は以下のとおり。

- ・被覆ブロック据付(4t型) 141個

施工範囲は図-3のとおりである。

また、本工事における被覆ブロックの寸法は図-4のとおりで、設計図書より141個の被覆ブロックを被覆石の上に据え付ける。

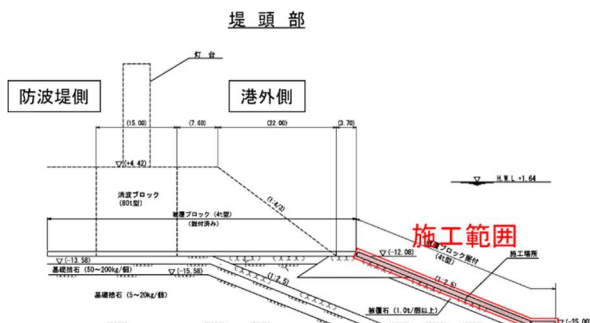


図-3 施工範囲



図-4 被覆ブロックの寸法

本工事の工事施工フローは図-5のとおりで、ICT施工の活用内容と導入コストについては表1に示す。

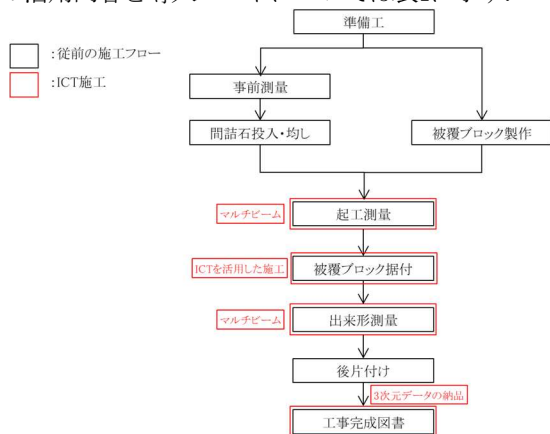


図-5 ICT活用工事施工フロー

表-1 ICT活用内容と導入コスト

項目	内容	金額
マルチビーム測量	起工測量及び出来形測量において、マルチビームにより測量を行い、3次元施工管理データを工事完成図書として納品する。	約3,400千円
ICTを活用した施工	水中位置検出装置及び水中ドローンを用いて、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。	約7,600千円

(1) マルチビーム測量の導入

本工事の測深図を図-6に示す。マルチビーム測量は、海底地形を面的に詳細な測深するものであり、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。

従来、水中の出来形の確認は、潜水士がスチールテープを用いて測定するところ、今回は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、延長等の出来形の計測を行った。そのため、潜水士を必要とせず、今般の潜水士等の技術者の高齢化による担い手不足への対策、潜水作業での危険を回避することができた。

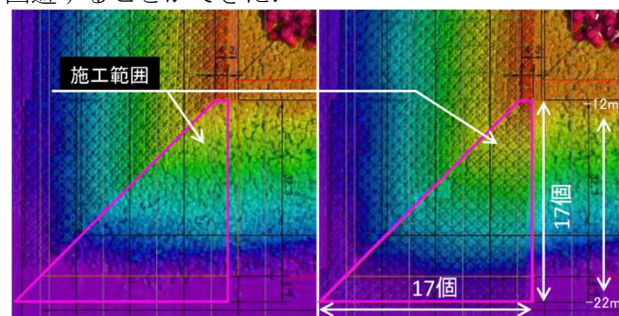


図-6 マルチビームを使用した測深
(左: 起工測量 右: 出来形測量)

(2) 水中位置検出装置の活用と水中ドローンとの併用

据付時、被覆ブロックに取り付けることで位置をリアルタイムで把握することができる水中位置検出装置（トランスポンダー）を、被覆ブロックと潜水士に取り付けた。それにより、起重機船のクレーン操縦者が被覆ブロックだけでなく、潜水士の位置もリアルタイムで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、被覆ブロックに潜水士が近づくと半径7m以内で注意表示、半径5m以内で警告表示が誘導者のパソコン画面に表示されるシステムも合わせて導入した。トランシーバーにて潜水士に知らせることで危険度が減し、安全な施工環境が確保されることを確認した。

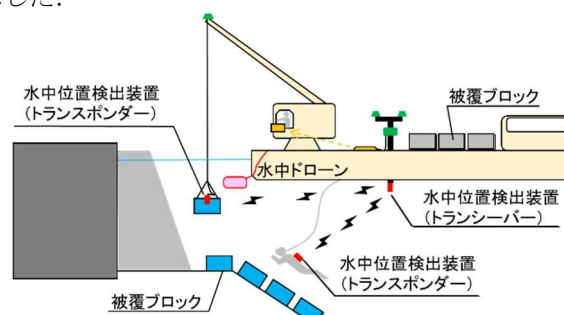


図-7 トランスポンダー概念図



図-9 クレーン操縦者のモニター画面

さらに、水中ドローンによる据付確認を導入し、クレーン操縦者が実際の水中映像を見て様子を把握することが可能になった。目視確認ができることによってより安全で正確な施工が可能になった。しかし、水中ドローンは未だ広く普及されていないのが現状である。理由として、位置計測に工夫や技術が必要なこと、通信方法が限られることが挙げられる。空中のドローンはGNSSや目視確認が用いられ分かりやすいが、水中では電波が減衰するところや潮流やうねりの影響で海中が濁りで見えないところでは使用が難しい等の課題がある。そこで本工事では、ドローン映像を有線で取り込む手法を採用し、従来のトランスポンダーによるリアルタイムの位置データとの併用により、確実にクレーン操縦者に転送することとした。



図-10 水中ドローンで撮影した水中施工状況

4. ICT技術導入による効果検証

今回の工事におけるICT活用の効果を知るために従来の施工と比較し施工効率向上の検証を行った。

(1) マルチビーム測量による測量作業の効率化

起工測量・出来形測量において従来の測量とICT測量について比較したものを表-2に示す。

表-2 従来の測量とICT測量の比較

内 容	従来の測量	ICTを活用した測量 (マルチビーム測量)	ICT活用の効果検証
起工測量・出来形測量	測量作業 潜水士船 8人日 出来形測量 4人日	測量作業員 起工測量 6人日 出来形測量 6人日	潜水作業が不要となる (延べ2人日削減)
	データ解析 起工測量 2人日 (1人×2日) 出来形測量 1人日 (1人×1日)	起工測量 6人日 (3人×2日) 出来形測量 6人日 (3人×2日)	作業員・作業日数は増加する
	データ整理 起工測量 2人日 (1人×2日) 出来形測量 1人日 (1人×1日)	起工測量 8人日 (4人×2日) 出来形測量 8人日 (4人×2日)	作業員・作業日数は増加する

現地の測量（外作業）においては、マルチビーム測量で潜水作業が不要となった。今般の潜水士の高齢化や担い手不足の対策及び工事の安全性向上に寄与する。このことから潜水作業の削減効果は大きいと考えられる。

データの整理（内作業）においては、測量により膨大なデータ取得しそれを処理する必要があるため、データの解析・整理には作業員数及び作業時間が増加することになった。ただ、その解析により得られる3次元図面では、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及び距離

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) 水中位置検出装置及び水中ドローンによる据付作業の効率化

被覆ブロック据付について従来施工とICT施工を比較したものを表-3に示す。

表-3 従来の据付とICTを活用した据付の比較

内 容	従来の据付	ICTを活用した据付	ICT活用の効果検証
被覆ブロック据付	作業時間 潜水士の誘導による据付 約10分/ブロック1個	クレーン操作者がシステム画面等を確認しながら据付 約10分/ブロック4個	・4個同時据付が可能(時間大幅短縮) ・円滑なブロックの誘導が可能(時間削減) ・装置取付に時間を要する(時間増加) 作業船でのシステムの積装・撤去に1日要する
	作業員数 起重機船 玉掛 4人/日 潜水士船 3人/日	起重機船 玉掛 4人/日 システム操作 2人/日 潜水士船 3人/日	ICTシステム操作要員2人/日の増員
	安全対策 クレーン操作者が潜水士と無線で交信しながら作業。 ※目視不可	クレーン操作者がブロックと潜水士の位置をリアルタイムに可視化して作業。 水中ドローン使用。	ブロックと潜水士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。 水中ドローンにより水中を目視可能。

今回の被覆ブロック据付では、発注時の想定と比べて3分の2程度の工期で終えた。これは1回の被覆ブロック投入で4個同時に吊って投入が出来たことによる。4個同時据付は熟練の操縦者であればICT技術を使用せずとも可能な技術であるが、今般の担い手不足の業界の中で、経験の浅い操縦者が担当する場合も考えられる。そういった時にICTを活用することで、安全かつ確実に作業能力を上げることができると考えられる。つまり、水中位置検出装置及び水中ドローンを使用することで、装置を取り付ける時間やデータの解析などに時間を要してしまうが、どの操縦者でも4個同時の迅速なブロックの据付が可能となり、据付時間の大幅な短縮が見込まれる。

また、作業員数はICTシステムを取り扱える操作員2名を配置し、作業員は増えたが、その分潜水士の負担が減り、クレーン操縦者がリアルタイムの位置情報を得ることで安全で確実な作業が可能となった。

これらの検証から、工事の生産性及び安全性の向上の観点から大きな効果であるといえる。

5. まとめ

本工事におけるICT活用の結果について、表-4にまとめる。

表-4 ICT活用の結果

内 容	本工事におけるICT活用の効果検証
マルチビーム測量 (コスト:3,400千円)	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。 【安全対策・担い手不足の解消】 ・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。
	データ整理・解析 ・データ容量が大きくなるため解析に時間を要してしまう。
	その他 ・施工範囲全体を網羅的に把握できたため、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。
被覆ブロック据付 (コスト:7,600千円)	据付作業 ・据付作業にかかる作業員数に大きな違いはない。 【生産性向上】 ・据付作業にかかる作業時間が大幅に短縮。
	その他 【安全対策】 ・ブロックと潜水士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。

今回の被覆ブロック据付工におけるICT活用工事を通じて、導入にかかるコストや作業員数等はかかる

ものの、被覆ブロック据付時間の大幅な短縮や測量作業時の潜水作業の削減、出来形確認が容易に行えることなど、一定の生産性及び安全性の向上につながることを確認した。しかし、濁りや魚群などのノイズ除去を行うデータ解析における人員増や、ICTシステムの取り付けにかかる作業員・作業時間の増などの課題も残った。

ICTを活用した工事は各分野で実施されており、今回取り組んだ被覆ブロックの据付工においても、今後同様のモデル工事の取り組み実績を増やし、それらの成果を踏まえ各種運用などの基準類が改善されていく。そして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繋がると考えられ、さらなる生産性及び安全性の向上が図られていくものと考えている。

また、マルチビームのデータ解析については、AIを使用して半自動的に測深データを作業用PCに取り込み解析を行う方法も開発されている。このような研究が進めばICT導入における課題を解消できると考えている。

そして、今後ICTシステムの取り付けの簡略化や解析の自動化が進めばさらなる省力化が期待でき、その結果、導入コストを抑えながら生産性を向上させることも可能になると考える。引き続き、建設現場の生産性向上・魅力向上に向け、ICT施工の推進に取り組んで参りたい。

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。