

室津港における ICTを用いた防波堤着手工事

高知港湾・空港整備事務所 保全課

松岡 駿

高知港湾・空港整備事務所 前任建設管理官

芝 清久

高知港湾・空港整備事務所 保全課

矢野 開洋

高知県東南端部に位置する室津港では、室戸沖を航行する船舶の台風時等における一時避難場となる水域を確保するとともに、背後地である室戸市街の津波被害を軽減するための防波堤整備を進めている。令和3年度、これまで整備されてきた防波堤(I)に続き、新たに防波堤(II)の整備に着手した。本稿では、海象条件が厳しく、目標となる構造物の無い厳しい施工条件において、AR機能付きケーソン据付支援システムや遠隔臨場などの技術を活用した、3,000 t級ケーソンの据付工事を報告する。

キーワード 避難港、ICT、AR、自動追尾TS、防波堤、ケーソン据付、静穏度確保、遠隔臨場

1. はじめに

(1) 室津港について

室津港は高知県東南端の室戸岬に位置し、高知と京阪神との海運上の要衝にあたるとともに、沿岸一帯は風波が荒く航行の難所であるため、古くから避難港として重要な役割を果たしてきた。また、昭和55年度からは、室戸岬沖を航行する船舶の増加や大型化に対応すべく、周辺で唯一の避泊水域を拡充するため、直轄事業にて大規模な避難港整備事業に着手している。

避難港とは、暴風等の荒天時に小型貨物船等が避難停泊するための静穏性が保たれた水域を有する港湾である。我が国の沿岸域航行の安全性を確保するため、整備が進められており、全国36港が指定されている。

(2) 現在の整備状況

昭和55年度より整備を行ってきた防波堤(I)は平成30年度末に718mの延伸が完了している。さらには、早期な静穏水域の確保及び、背後地である室戸市街の津波被害の軽減を目指し、令和3年度より新たに防波堤(II)の整備に着手している。

全長890mを計画している防波堤(II)について、効率的な整備手順の検討結果より、作業ヤードから海上へ約600mの位置(図-1)へのケーソン(約3,000t)単独据付を行った。

本稿では、海象条件が厳しく、目標となる構造物の無い厳しい施工条件において、AR機能付きケーソン据付支援システムや遠隔臨場などの技術を活用した、3,000 t級ケーソンの据付工事を報告する。



図-1 室津港防波堤施工位置

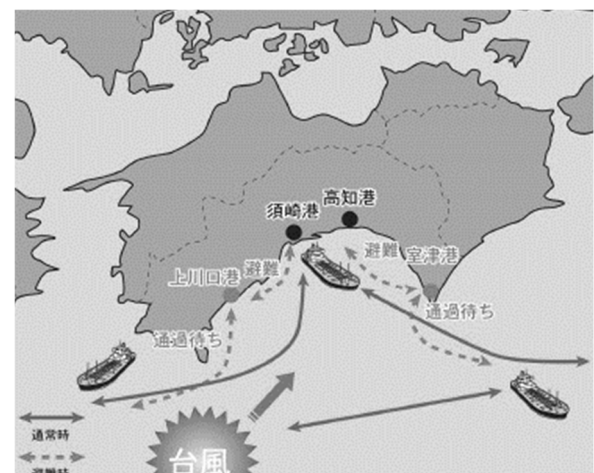


図-2 避難港のイメージ

2. 現地条件と施工方法

(1) 現地条件および課題

高知県東部の太平洋に向かって突き出た室戸岬周辺は、太平洋を流れる黒潮により、南洋で発生した台風が高い勢力を保ち襲来することが多く、台風銀座とも呼ばれてきた。また、前線や低気圧が付近を通過する頻度も高いため年間を通じて風雨が厳しく、海上は高波浪域といった気象・海象特性を持ち、四国管内でも海象条件の厳しい港である($H_{max} = 14m$)。昭和36年の第2室戸台風時には最大瞬間風速84.5m/sを観測した記録も残っている。

上記海象条件とともに、防波堤(II)の初号函となるケーソンを既設建造物のない場所への単独据付という施工条件が本施工の特徴的な条件である。このような厳しい条件下において、どのようにして安全かつ目標建造物の品質及び出来形確保を行うかが課題となった。



写真-1 台風時の防波堤越波状況

また、室津港近辺には事務所及び職員の常駐出張所が無く、監督職員と現場の距離が約100km離れており、頻繁な現地確認等が困難といった問題点も併せ持つ。

(2) 施工方法

防波堤築造(ケーソン据付)工事の主な工種は、基礎工、本体工(ケーソン式)、被覆・根固工、上部工、消波工である。標準的な施工手順及び施工時期を図-3に示す。

太平洋に面する室津港ではこれらの作業を台風期(7-9月)後に着手し、台風期前に完了させることが一般的である。

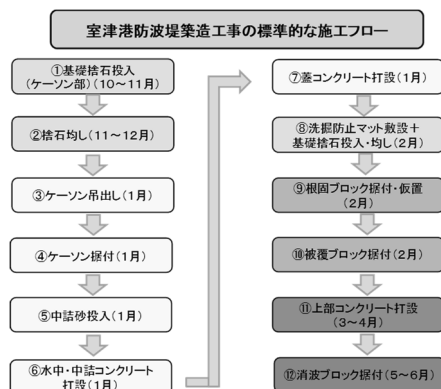


図-3 防波堤築造工事の施工フロー

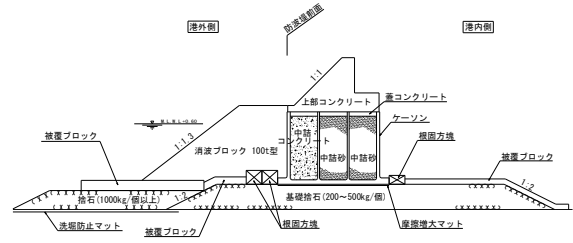


図-4 防波堤(II)標準断面図

3. ケーソン据付について

(1) ケーソン据付作業の主な流れ

本作業は、国内で僅か数隻のみしか保有していない高さ約110mにもなる国内最大級の大型起重機船(3,700t吊)を用いて、重量約3,000tのケーソン据付を行うものである。ケーソン据付作業の主な施工の流れ及び作業時間を表-1に示す。

表-1 据付サイクルタイム

作業内容	作業時間	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ケーソン玉掛	6:45~7:30		■									
ケーソン玉掛吊上げ	7:30~9:00			■								
ケーソン吊曳航	9:00~9:30				■							
据付場所係留	9:30~10:30					■						
ケーソン注水	10:30~11:30						■					
ケーソン据付	11:30~13:00							■				
ケーソン玉掛解除	13:00~13:30								■			
据付場所係留解除	13:30~14:30									■		
ケーソン足場撤去	14:30~16:30										■	
中詰砂投入	16:30~											■

陸上仮置きされたケーソンを吊上げ、据付位置まで曳航を行う。その後、ケーソン内部への注水を行うと同時に、徐々にクレーン荷重を緩め、据付位置の微調整を行いながら着底を行うという流れである。

ケーソン据付作業を行う1-2月の室津港では正午以降徐々に西よりの風が強まる傾向があることから、気象の穏やかな早朝より陸上のケーソン吊上げを開始し、13時頃までのケーソン据付完了を目標とした。

(2) AR機能付きケーソン据付支援システム

本作業は長周期波(うねり)や潮流の影響を受ける中で、据付かつ、初号函の据付であることなどから、想定以上の作業時間がかかることが懸念された。よって、据付(着底)作業はもちろん、ケーソン注水など一連作業の効率化による、作業時間短縮が求められた。

上記の課題を解決し、安全及び据付制度の確保を行うため、据付位置を可視化し迅速かつ静穏なタイミングで据付を行うことが可能となるAR(拡張現実)機能付きケーソン据付支援システムを用いたケーソン据付作業を行うこととした。

AR 機能付きケーソン据付システムの構成と活用方法は以下のとおりである。

- ・大型起重機船ブームに設置した AR カメラ
- ・注水管理装置
- ・傾斜計
- ・防波堤 (I) に設置した自動追尾トータルステーション (以下、自動追尾 TS)

はじめに、ケーソン吊上げ後、曳航時より大型起重機船ブームに設置されたカメラ映像上へケーソン外観枠を AR 表示し、土木工事におけるマシンガイダンスと同様なシステムにより、ケーソンの据付位置への誘導を行う。その後、注水管理装置によって各壁室の水位を制御しつつ、傾斜計を基に水平状態を保持する。最終位置誘導は自動追尾 TS を用いた誘導に切换え、ミリメートル単位の計測値を基に据付位置の微調整を行いケーソンの着底を行う。

これらの機能を用いることで、据付位置管理、正確な注水管理、ケーソンの三次元位置管理といった、従来個別管理を行っていた項目を連携管理することで、より精密な位置誘導を行い、迅速かつ正確なケーソンの据付を試みた。

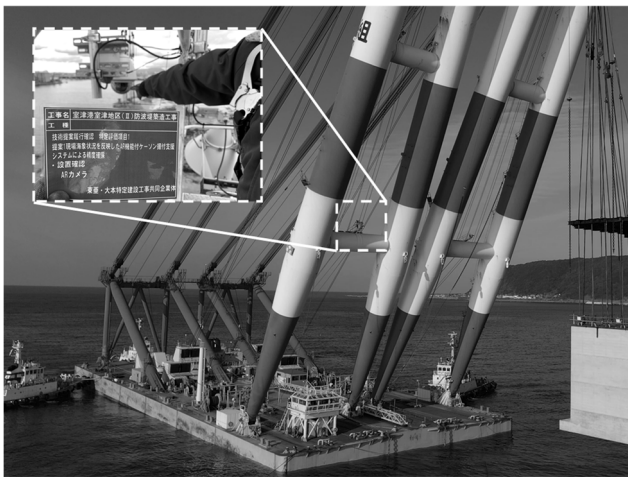


図-5 大型起重機船に設置した AR カメラ

(3) ケーソン据付時の状況

ケーソン据付作業は穏やかな天候のなか開始されたが、ケーソン吊上げ後の係留解除時、起重機船の右舷アンカーが暗礁に絡まるトラブルが発生し、作業時間に約 1 時間の遅延が発生した。この遅延により、ケーソン注水開始頃、西よりの風が吹き始め、最終的に平均風速 10m/s に迫る中でのケーソン据付・着底を行うこととなった。

(作業中止基準：風速 10m/s 以上)

風や潮流の影響を受け、据付作業は難航することや場合によっては中止も想定される状況となった。しかし、起重機船オペレーター室内に映し出された AR カメラ及び自動追尾 TS の情報等を確認することにより、潮流等

の影響を受けるなか、スムーズにケーソン着底は行われた。

結果、安全及び精度確保のためにも迅速に作業を終える必要がある作業を、AR 機能付きケーソン据付支援システムを活用することにより、悪条件下においても必要最低限の時間で作業を完了し、幅 25m×奥行 18m×高さ 11.5m、重量約 3,000t の大型ケーソンを、法線方向約 9cm(許容範囲規定なし)、法線に対する出入り約 18cm(許容範囲±30cm)という僅かな誤差での単独据付を達成した。



写真-2 AR カメラと自動追尾 TS を確認するオペレーター

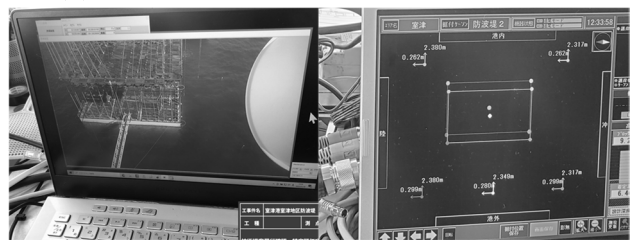


写真-3 AR カメラと自動追尾 TS 等モニタ

4. その他作業における ICT 活用

本工事は、ICT の全面的活用を図るため起工測量や施工管理等に 3 次元データを活用する ICT 活用工事 (発注者指定型) とし、ケーソン据付作業以外においても以下の ICT を活用した施工を行った。

- ・3次元起工測量
- ・ICT 基礎捨石工
- ・ICT ブロック据付工

このような ICT 技術の活用により、基礎工においては正確かつ容易な数量算出や、投入位置の可視化による安全かつ正確な捨石投入といった効果が確認された。さらには、ブロック据付工では、潜水作業の負担を減らすことにより、事故等のリスクが高い潜水土作業の負担を大きく軽減することにも繋がった。本工事は、海象条件が厳しい下での作業であることから、より正確かつ迅速な作業が求められる現場状況では、従来の施工方法と比較しても、より一層 ICT 活用による業務改善効果を確認することができたと考えられる。



写真-4 水中可視化システムの使用状況(ブロック据付)

5. 遠隔臨場システムの活用

本工事は、現場(室戸市)と監督職員の常駐所(高知市)の距離が約 100km と遠方であることから、ウェアラブルカメラ等を活用し、施工状況検査や材料検査、立会について遠隔臨場を行う試行工事(発注者指定型)とした。

今回は、別件工事においても使用実績のある遠隔臨場システムGレポートというシステムを使用した。受発注者(発注補助含む)が当システムのインストールされたタブレット端末等を使用することにより、事前の設定等の必要なく、簡易に両者をカメラ接続することが可能となった。

使用頻度については、施工状況検査や立会、安全確認はもちろんのこと、監督職員との簡易な WEB 会議ツールとしても応用することにより、令和 3 年 11 月の現地着手から令和 4 年 5 月末時点において約 35 回遠隔臨場システムを使用している。

今回使用したGレポートは、海上においても通信環境良好かつ、映し出される映像も高画質であり、WEB 接続特有のストレス無く、遠隔地に対しての安全確認頻度の増加や、移動時間の削減等、さらには材料検査等における作業船への乗船手間の削減など受発注者双方の大幅な業務の効率化を図ることができた。

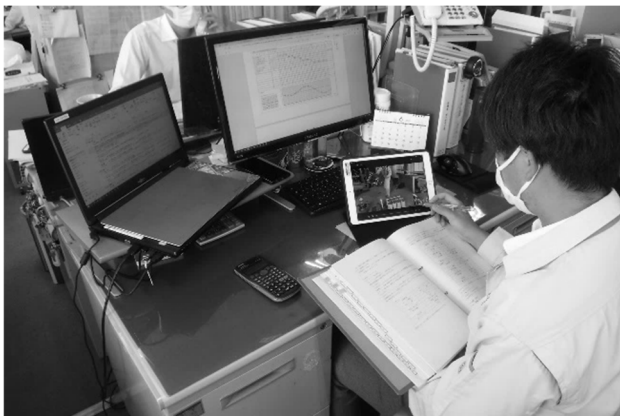


写真-5 遠隔臨場システムによる立会状況

6. まとめ

本工事では、高波浪域での目標となる既設構造物の無いケーソン単独据付において、ICT 等の最新技術を用いることによる作業効率向上や据付精度確保、安全性の向上を図った。結果としては、AR 機能付きケーソン据付支援システムの活用により、トラブルも発生し悪条件となった状況下においても迅速かつ正確なケーソン据付が可能とした。これら ICT を活用した迅速かつ正確な作業は、当日作業の安全性確保だけでなく、迅速に次工種の中詰砂や中詰コンクリートへ取り掛かることが可能となり、高波浪域における単独函ケーソンの安定性確保にも繋がった。

これまで、港湾工事における ICT 活用事例及び効果は既に全国から多くの事例が既になされている。しかし、今回の様な厳しい条件下における活用事例は、少なく有益かつ貴重な事例だと考える。

過去、室津港におけるケーソン据付工事では、海象条件が厳しいことなどにより、水中仮置マウンドへ一時仮置きした後、据付を行った事例もある。単独据付という特に厳しい施工条件となった本工事では、水中仮置による施工も検討された。検討の結果、ICT 技術等を活用することにより、通常連続据付と同様のサイクルタイムで施工が可能であることが確認できた。これにより事業促進や事業費削減にも繋がったと考えられる。

海象条件が厳しい下での ICT 技術等の活用は、従来の施工方法と比較して、施工性や安全性等に関する効果がより大きいものであることが確認できた。これは ICT 技術の有用性をより一層証明する結果となったのではないだろうか。

室津港は今後、今回据付を行ったケーソンを延伸していくことになるが、今回の事例を参考の一つとして、ICT や遠隔臨場などの技術を進歩させ、港湾工事の安全かつ効率的な施工の実現に業界全体で努めることが重要となる。



写真-6 ケーソン据付作業状況