

ケーソン据付工事における生産性向上技術の現場適用報告

(株) 本間組 非会員 ○ 安藤 恭平
本間 義信

1. はじめに

我が国の総人口は、2010年の1億2806万人をピークに減少が始まり、近年横ばい傾向が見られるが2035年には1億1522万人まで減少すると予測されている¹⁾。少子高齢化社会を迎え、建設業に従事する労働力も減少する中、生産性向上は喫緊の課題である。

建設現場の生産性向上に向けたi-Constructionの取り組みの3本柱の一つに「ICT（情報通信技術）の全面的な活用」が挙げられており、直轄工事においてICT活用工事が導入されている。港湾工事では、平成28年度に浚渫工から導入が始まり、基礎工、地盤改良工、本体工（ケーソン据付）にも適用拡大されている。

ICT本体工（ケーソン据付）では、「GNSS またはトータルステーション、傾斜計、水位計等により据付中ケーソンの位置・姿勢・注排水状況を計測し、目標据付位置と据付用の現在位置（XYZ）を同時に表示して姿勢等を監視しながら、注排水ポンプ操作の自動制御を含むシステムで据付（施工）を行う」ことと「上記のシステムから得られる情報による出来形管理」が要求²⁾されており、施工業者各社が独自の施工管理システムを開発し、施工している。

以下に、自社開発した「3D函体据付システム」及び「函体自動注排水システム」について、システムの概要、施工事例とその使用効果を報告する。

2. 従来のケーソン据付工法

防波堤本体や岸壁本体などに用いるコンクリート製のケーソンは、フローティングドックなどで製作したのち、水上に浮上させ、曳船で現場海域まで曳航し、据付を行う。据付時はケーソン上に注水用の水中ポンプ、動力用の発電機、位置調整用のワイヤーなどを配置し、ワイヤーを用いて所定の位置に誘導後、水中ポンプでケーソン隔室内に海水を注水して、ケーソンを沈降させ据付ける（写真-1）。

ケーソン据付は、風や波浪を受け動揺しているケーソンを水平に保ちながら限られた施工時間の中で安全にかつ効率的に据付けることが求められている。

ケーソン据付時、作業員は据付ケーソン上を頻繁に移動しながら注水量の監視や測量作業を実施する必要がある。しかしながら、据付ケーソン上には位置調整用のワイヤーや金車、注水ポンプのホース、動力用の配線などが多数設置されているため、躓きや転倒、海中転落、挟まれ災害のリスクが存在する。

また、据付時の施工管理として、ケーソン注水時は隔室内の水位をスタッフなどで計測、目視確認しながら、複数台の注水ポンプをケーソン上の操作基盤で手動操作し、隣接する隔室同士の水位差が発生しないように調整する。位置誘導においては、トランシットによる法線誘導とレベルによる高さ確認を実施するが、作業指揮者が測量結果を把握しながら、各機械の操作者に指示を行うことから、連絡指示系統が複雑で情報が錯綜することによる誤操作や作業効率が低下する恐れがある。

また、同一の気象海象条件であっても、測量結果伝達のタイムラグや作業指揮者の経験度合いで、目標据付位置にケーソンを沈降させるタイミングの判断に時間を要することで位置調整に係る作業時間が増加する。ケーソンは風や波浪を受け動揺しているため、位置調整、据付のタイミングは作業指揮者の経験に依存するところが大きいことが現状である。



写真-1 ケーソン据付状況

3. システムの概要

各システムの仕様、特徴等、概要について以下に記す。

(1) 3D函体据付システム

従来の据付時の位置誘導測量には、ケーソン上を頻りに移動することでの躓き・転倒災害やケーソン端部への接近による海中転落災害などの危険性があること、かつ連絡指示系統が複雑で情報が錯綜することによる誤操作や作業効率の低下や据付精度が作業指揮者の経験値に依存するところが大きいことが課題であった。

本技術は、前述の課題を解決するため、ケーソンの据付精度の確保と施工性、安全性の向上を図ることを目的に開発した。

自動追尾式トータルステーションを用いて、ケーソン上に配置されたターゲット（360°プリズム）を視準し、計測結果からケーソンの現在位置を演算し、その演算値と目標据付位置との差分（誘導値）と方向を定量的にシステム画面上に表示することで作業指揮者への操作支援が可能となる（写真-2）。また、ケーソンと既設防波堤との離隔やケーソンの傾斜、高さなどの姿勢情報をモニタに3D描画でき、かつ、水中カメラにより水中部の据付状況をリアルタイムで視覚的に把握できるため、作業指揮者の経験に依存することなく、安全かつ効率的に精度よく据付可能となる函体据付システムである（図-1）。

また、自動追尾式トータルステーションなどのICT機器の計測結果から、据付施工時のケーソン位置情報履歴（3次元座標）や傾斜等の姿勢情報をリアルタイムに取得でき、その記録データから出来形の帳票出力を可能としたことで、従来のトランシットやレベルによる出来形計測が不要となり、施工管理に係る手間とコストの低減が期待できる（図-2）。

(2) 函体自動注排水システム

ケーソン据付時は水中ポンプにて注水しながら沈設していくが、隣接する隔室同士の水位差が大きくなると隔壁に損傷を与える可能性があり、水位差が1m以内となるように注水する必要がある。注水時は、複



写真-2 使用機器

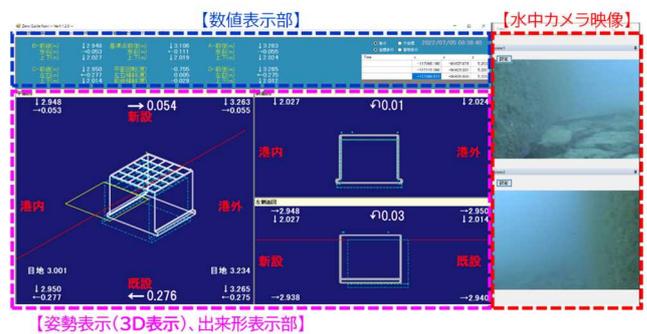


図-1 3D函体据付システム画面例

	従来計測手法	ICT機器『HONMA函体据付システム』	ICT機器を用いた出来形管理手法『3D函体据付システム』
準備	測量機器	測量機器 (自動追尾TS×3台)	測量機器 (自動追尾TS×3台)
据付け	位置誘導	位置誘導	位置誘導
据付完了	出来形計測	二重管理	出来形計測
	立会		帳票出力(自動)
内業	帳票作成		内業不要

図-2 従来方法との比較（フロー図）



写真-3 使用機器

数台の同規格のポンプをケーソン内に設置し注水を行うが、同規格のポンプを使用しているにもかかわらず、機器によって性能差があり、隔室間で水位差が発生することがある。従来の水位差調整方法の多くは、水位が高い隔室の注水ポンプを停止させ、水位差が解消されたのちに再稼働させているため、全体として注水時間が増大していた。

本技術は、ケーソン上に設けた傾斜計、超音波式水位計によりケーソンの姿勢・注排水状況を計測しながら、隔室同士の水位差が規定値を超えないように注排水ポンプ及び補助注水ポンプを自動制御し、水平状態を保ったまま据付を行うシステムである（写真-3）（図-3）。水位差調整に独自の補助注水ポンプを増設し、計測機器から得られた水位情報、ケーソンの姿勢情報に基づき、水位が低い隔室へ自動的に補助注水ポンプにより加水させることで、注水ポンプを停止させることなく水位差が解消できるため、注水時間の短縮が図れる（図-4、5）。

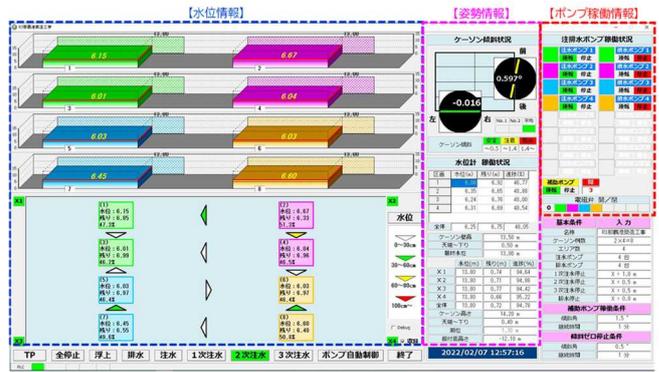


図-3 函体自動注排水システム画面例

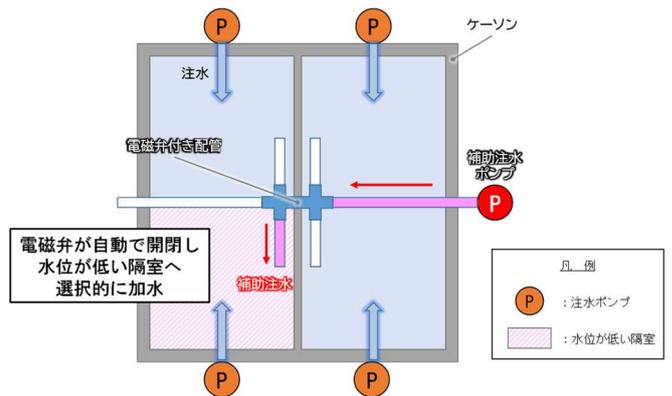


図-4 補助注水ポンプによる加水方法

4. 現場適用事例

本システムを活用したケーソン据付施工事例を以下に紹介する（写真-4）。

【工事概要】

工事名：酒田港北港地区防波堤(北)(第二)築造工事
 発注者：国土交通省 東北地方整備局
 ケーソン寸法：(L)25.0m×(B)23.9m×(H)20.0m

本工事は、国土交通省が推進する i-Construction に基づき、ICTの全面的活用を図るため、起工測量、設計図書の照査、施工及び工事完成図や施工管理の記録及び関係書類について3次元データを活用するICT活用工事（発注者指定型）として発注され、基礎工、被覆・根固工のブロック据付、本体工（ケーソン式）がICT活用の対象工種であった。

本工事のケーソンは大型であり、隔室数は25室と多く、直高が高いため水位計測に時間を要すること、また従来の計測手法による法線誘導、据付高さ計測の測定位置は、ケーソン端部に位置しており、海中転落の危険性があった。また既設防波堤側には位置調整用

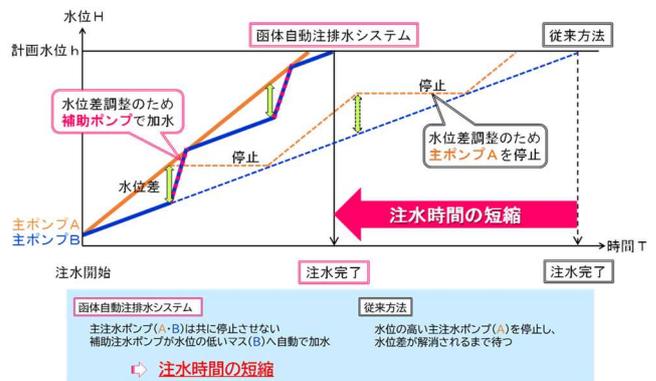


図-5 注水時間の短縮概念図



写真-4 ケーソン据付状況

のウインチワイヤーがあり、計測作業者とワイヤーとの接触災害が懸念された。

ケーソン据付工事における本システムの使用効果について、以下にまとめる。

(1) ケーソン据付の安全性向上

水位計測や法線誘導等の測量作業に伴うケーソン上の移動回数や出来形計測に伴うケーソンの端部への接近、位置制御用ウインチワイヤーの近傍に立ち入る回数が大幅に減らすことができ、躓き・転倒、海中転落やワイヤーとの接触・挟まれ災害のリスクが低減できた(写真-5)。

(2) 据付精度の確保及び省人化・効率化

水位計測や出来形計測を自動かつリアルタイムに実施可能とすることで、省人化・効率化となった。また、従来のトランシットによる計測結果とシステム上の出来形計測結果を比較すると、誤差は1~2mm程度であり、従来方法での計測が不要とできる可能性も示すことができた(図-6)。また、据付ケーソンの現在位置と目標据付位置との差分(誘導値)と方向を定量的に表示したシステム画面をケーソン上や既設防波堤上など複数個所で同時に確認することができるため、従来の無線による指示・伝達のみには比べ情報共有・意思疎通が容易になり、誤操作の防止、的確な誘導指示が可能となった。



写真-5 システムを活用した誘導状況

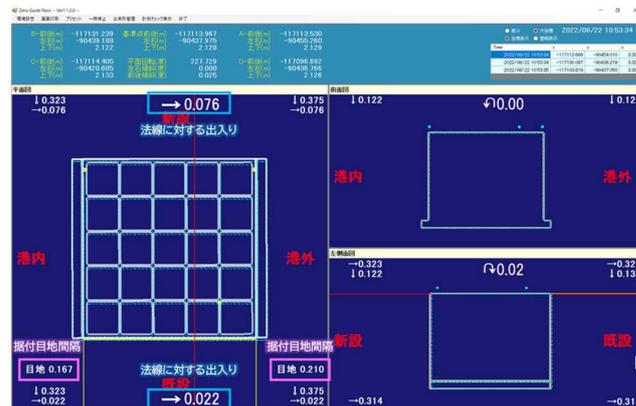


図-6 システムを活用した出来形管理

5. まとめ

本報では、実際の現場で使用した「3D函体据付システム」及び「函体自動注排水システム」のシステム概要、および使用効果について記した。

3D函体据付システムは、据付中のケーソンの位置、姿勢がリアルタイムに可視化でき、従来の計測が不要となるため省人化、効率化となり、生産性向上に寄与できると考える。また、現状は従来の計測手法と併用している段階だが、今後出来形管理要領の整備が進み、工事への適用が拡大することでさらなる生産性向上が期待できる。

函体自動注排水システムは、従来の水位計測が不要となり、水位調整のためのポンプ操作を自動化することができるため、安全性の向上、省人化、効率化が可能になる技術である。特に今回の事例のような大型ケーソンにおいては、隔室数も多く水位計測に係る時間が増大するため、特に適用効果が大きかったと考える。

システムを活用したことで、本工事では従来方法よりも約1時間ケーソン据付に要する時間を短縮でき、現場施工の効率化に繋がった。今後もこれらの実績を踏まえ、建設現場での更なる生産性向上に向けてICT活用の取り組みを継続していきたい。

参考文献

- 1) 内閣府：令和4年度版高齢社会白書（概要版）
- 2) 国土交通省：第5回 港湾におけるi-Construction推進委員会資料