ケーソン据え付け自動・無人化技術の開発と運用

Development and operation of automatic and unmanned technology for caisson installation

東洋建設㈱ 土木技術部 正会員 ○渡瀬 陽信
東洋建設㈱ 土木技術部 正会員 和田 眞郷
東洋建設㈱ 土木技術部 加藤 直幸

１．目的

2017 年から国内の港湾工事において港湾 i-Construction が導入され，3 次元データを活用した施工の省力化・機械化が進められている．海上施工においては気象・海象の自然条件が複雑であることから作業員の経験や熟練度に依存した従来の工法が主流である．そこで本研究ではケーソン据付において注水，誘導，ウィンチ操作を自動化したケーソン据付システム（以下本システム）を開発し，現場運用を行った．本稿ではシステムの概要と運用状況について報告する．

２．システムの概要

本システムは，ケーソンの位置・制御情報とケーソンの注水状況を計測し，PC 画面上に表示する「ケーソンリアルタイム計測システム」と，それらの情報を元に注水作業とケーソンの引き寄せウィンチ操作を自動化する，「注水自動化，ウィンチ操作自動化システム」から構成されている．

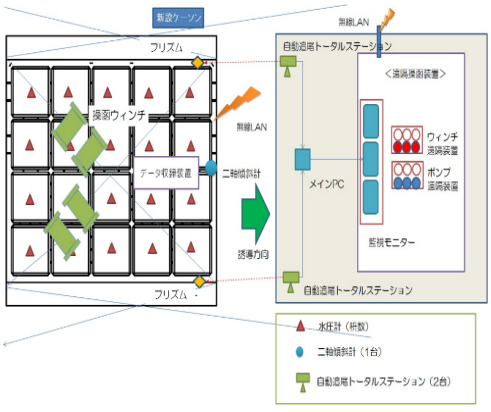
ケーソン位置計測は自動追尾型トータルステーション 2 台と二軸傾斜計により行われ，計測値から PC により 3 次元位置情報に演算処理される．また，注水計測は全てのケーソン隔室に設置した水位計により行われ，各マスの水位と，隔室間の水位差の情報に処理される．

これらケーソンの位置情報と隔室の水位情報を元に，注水自動化，ウィンチ操作自動化システムによって，ポンプの運転とウィンチ操作を自動処理する仕組みとした．自動化処理システムにより据付作業は作業指揮者の経験や熟練度に左右されることなく自動で行うことが可能となった．

３．システムの特徴

（１）ケーソンリアルタイム計測システム

図－１にシステム構成例を示す．既設ケーソン上に設置した自動追尾トータルステーション 2 台により，新設ケーソンに取り付けたプリズムを自動的に追尾しながら計測する．据付ケーソン上の 2 箇所の平面位置とケーソンの傾きを 2 軸傾斜計により計測することでケーソンの 3 次元位置を把握している．注水状況の計測には，ケーソンの隔室に歪みゲージ式の水位計を全マスに設置し，ケーソン上に設置した PC で情報を集約し，既設ケーソン上に無線 LAN を経由して監視モニターへ伝送する．



図－１ ケーソンリアルタイム計測システム

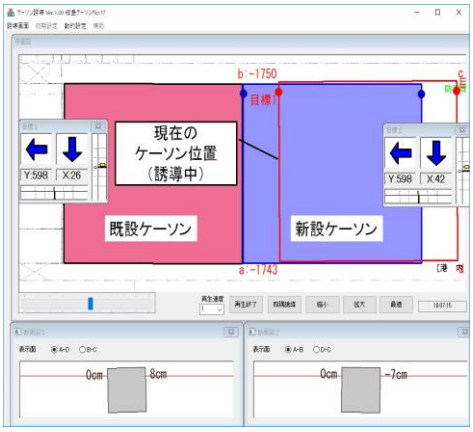
（２）注水自動化システム

注水自動化システムは水位差によるポンプの停止・再稼働とケーソンを水平に保持する２つの機能を搭載した．図－２に注水自動システム画面例を示す．ケーソン各マスの水位，隔壁での水位差，ケーソン全体の傾斜を数値化している．隔壁の強度から隣り合うマスの水位差は規格値以下で管理する必要があるため，隣り合うマスの水位差が管理値を超えるとポンプを停止させ，水位差が管理値以下となるとポンプが再稼働する．ケーソン水平保持機能は，２軸傾斜計の計測値からケーソンの傾斜が管理値を超えたときに，下がった側のポンプを停止し，上がっている側のマスに水を入れ水平を保持する仕組みとした．

図－２ 注水自動化システム

（3）ウィンチ操作自動化システム

ケーソンの位置情報からケーソン上に配置された 4 台のウィンチを制御するシステムを構築した．これらウィンチの巻き上げ，巻き下げの組み合わせによりケーソンの引き寄せ，回転の制御を行うものである．図－3 にウィンチ操作自動化システムの PC 画面例を示す．システムの画面に表示されている誘導量（矢印と数値）に合わせてウィンチ操作の指令を自動的に行う仕組みとしている．

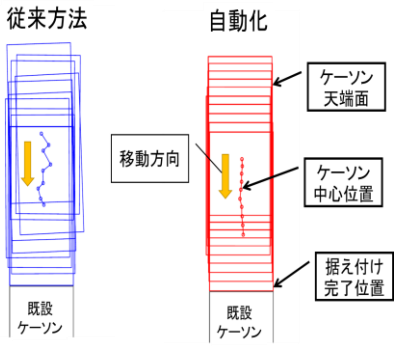


図－3　ウィンチ操作自動化システム

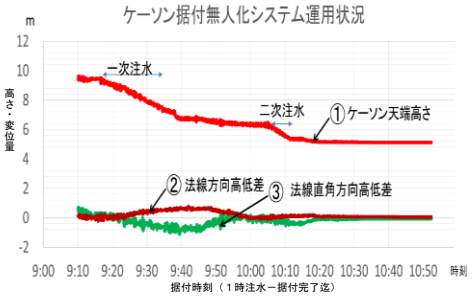
4．現場運用結果

平成 28 年度細島港（外港地区）防波堤（南沖）築造工事にて本システムを実施した．図－4 にケーソン据付時の軌跡比較を示す．

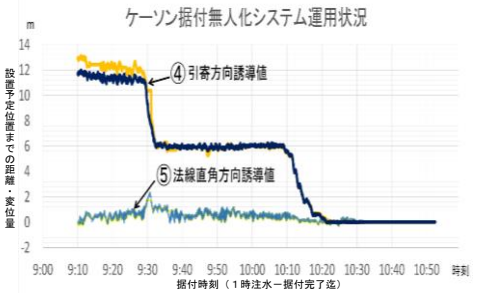
従来方法で据付した場合，ケーソンが回転・蛇行しており，据付までに時間を要する．自動化したことによってケーソンは回転・蛇行量が小さいまま据付完了位置まで移動していることが確認できる．次に据付中のケーソンの挙動を時刻歴で図－5，6 に示す．図－5 グラフ中の①は，ケーソン天端高さの推移を表している．また図－5 グラフの②は，ケーソンの法線方向の高低差を，③は法線直角方向の高低差をそれぞれ表している．一次注水完了時にはケーソンに傾きが生じているが，二次注水開始前までに注水管理機能が動作し傾斜が修正され着底前には水平な状態となった．ケーソンの引き寄せウィンチの自動化について，図－6 グラフ中の④は 2 台のプリズムの引き寄せ側の誘導値を示している．一次注水開始時に線が離れており，法線に対してケーソンに回転が生じている状態を表している．一次注水の間に線が揃っていることから，向きが法線と平行になったと言える．グラフの値が大きく変化する箇所は引き寄せが行われているときで，線が揃ったまま変化していることから，引き寄せ時にケーソンの向きが変化しなかったことが読み取れる．また，図－6 グラフ中の⑤は，法線に対する出入りの量を示している．計測中にあまり変化していないことから，ケーソンが法線に対してまっすぐ引き寄せられた状況であったことが分かる．



図－4　ケーソン据付軌跡の比較



図－5　据付時計測状況（天端・傾斜）



図－6　据付計測状況（誘導）

5．まとめ

ケーソン据え付け時の注水ポンプの停止・再稼働と引き寄せウィンチ操作を自動運転する技術を開発した．この技術を導入することにより，ケーソン据付時にケーソン上を無人化することが可能となり作業員の安全が確保された．また，本件でのウィンチ操作自動化システムは，新設ケーソンが既設ケーソンに接触するまで自動運転を実施したが沈設までの自動化を進め，経験や熟練度合いに左右されない据付技術へと発展させていく．

謝辞

本開発及び運用については国土交通省九州地方整備局のご協力を頂きました．謹んで感謝の意を表します．

参考文献

土木学会年次学術講演会講演概要集, Vo167, 2012, VI-278, 榎ほか, 防波堤ケーソン据付における無人化施工

キーワード　ケーソン据付，無人化，自動化，注水

連絡先:〒135-0064　東京都江東区青海二丁目 4 番 24 号　東洋建設㈱土木事業本部土木技術部　TEL　03-6361-5464