

ケーソン自動制御据付システムの開発による 海上工事の ICT 取組

和田 眞 郷・加藤 直 幸・山口 陽 介

防波堤築造工事において、ケーソン据付け作業を自動制御で行う『函ナビ-Auto』（以下「本システム」）を開発した。本システムは、ウインチによるケーソンの引付けと着底のポンプの操作を自動制御で行うシステムである。従来の据付け作業は、ウインチの引付け操作と水平を保ちながら着底させるポンプの操作は作業員の手で行っていた。海上に浮かんだケーソン上に設置されたウインチや注水ポンプの操作中は、ウインチワイヤーの破断によるはねられや海中転落の危険がある。本システムを使用することで、ケーソンの据付け作業を自動で行うことができるとともに、ウインチ・ポンプの操作を行う人員削減による省力化や安全性向上を実現できる。

キーワード：防波堤，ケーソン，自動化，省力化，安全性向上

1. はじめに

ケーソン式防波堤は石材を海底に投入・成形して造られたマウンドの上に、ケーソンと呼ばれるコンクリートの函を設置した港湾施設である。

ケーソンの据付けは、写真-1に示すようにケーソンの中を空の状態にして海上に浮かべ所定の位置付近に曳航し、ケーソンを据付け位置まで移動させ、ケーソン内に注水して着底させる。

据付け中のケーソンは海に浮いた状態で、波浪により絶えず動いていることから非常に大きな慣性力が働くため、ケーソンを据付ける位置へ移動し位置を保持するには高度な技術が必要となる。

ケーソン据付けは、計測、移動、着底の作業を同時に行うため、これらの作業をケーソン上で多くの作業員が行っていた。ケーソン上はワイヤーの破断や海中転落の恐れがある危険な作業である。これらの作業を全て自動化することで省力化、安全化を図るシステムを開発した。



写真-1 ケーソン据付け状況

本報告ではこのケーソン自動制御据付システムの詳細および適用事例について述べる。

2. システム概要

本システムはケーソンの位置・姿勢及び水位の自動計測とそれらの情報をもとに、ケーソンの位置を調整するウインチ操作及びケーソン函内に注水するポンプの操作を自動制御するものであり、以下に詳細を説明する。

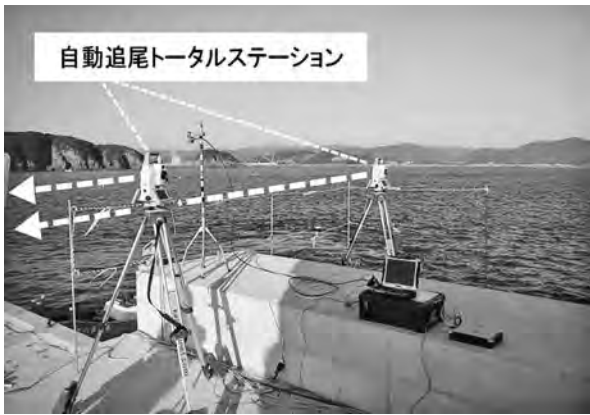
(1) ケーソンの位置・姿勢の自動計測方法

(a) 平面位置・傾斜の計測

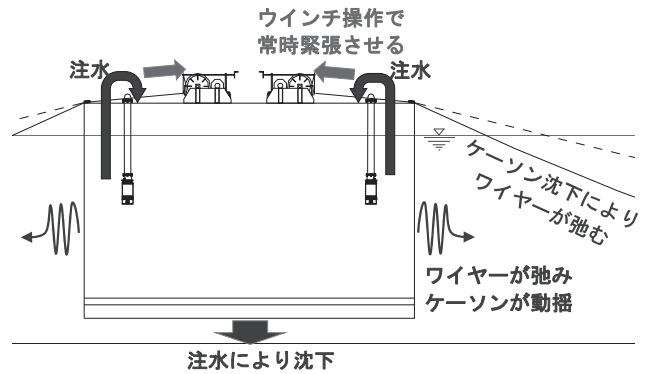
ケーソンを据付け位置へ移動させ水平を保持しながら着底させるために、ケーソンの位置と姿勢を計測する。計測は、写真-2, 3に示すように既設防波堤上に設置した2台の自動追尾トータルステーション（以下「自動追尾 TS」）で、据付けケーソン上に取り付けたプリズムを自動的に追尾しながら平面位置を計測し、据付けケーソン上に設置した二軸傾斜計で傾きを計測する。これらの計測結果をモニター上で可視化する。

(b) ケーソン函内の水位計測

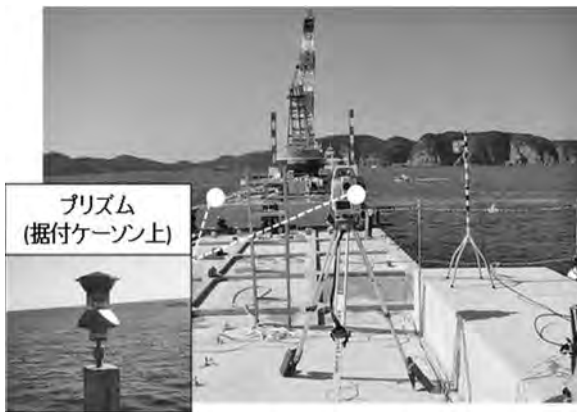
ケーソンの内部はコンクリートの壁でマス状に区切られており、海水をポンプでケーソン函内に注水しケーソンを着底させる。ポンプで海水を注水する時に、各マスに水位差が生じることでケーソンに傾きが



写真一2 自動追尾 TS 計測状況



図一 沈下時ウインチ操作



写真一3 ケーソン上のプリズム

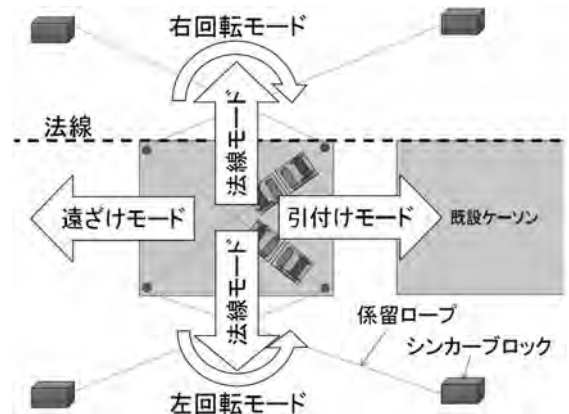
生じることがあるため、ケーソンの各マスに水位計を設置し、各マスの水位をモニターで可視化する。

(2) ウインチ操作の自動化

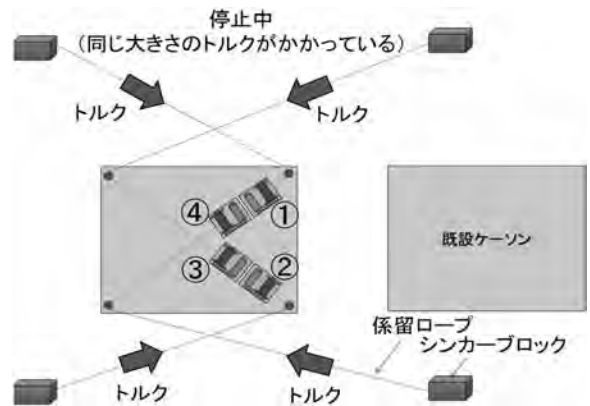
従来のケーソンの位置調整は、予めケーソン上に設置した4台のウインチのワイヤーを海底に沈設したシンカーブロックに接続し、それぞれのウインチの巻上げ、巻下げによって行っていた。ケーソンを据付け位置へ移動させた後ケーソンに注水する。ケーソンに注水を行い着底させるときには、図一1に示すように、沈下に伴いワイヤーが緩みケーソンが移動したり動揺したりすることがあるので、各々のウインチを巻上げてワイヤー張力を目視で調整する必要があった。

本システムでは、ケーソンの据付け位置と据付け場所の位置関係から移動方向と移動量を計算し、図一2に示すケーソンの移動モード（法線調整、引付け・遠ざけ、回転）を決定する。ウインチは移動モードごとに予め登録した動作を実行し、ケーソンを据付け位置まで移動させる。

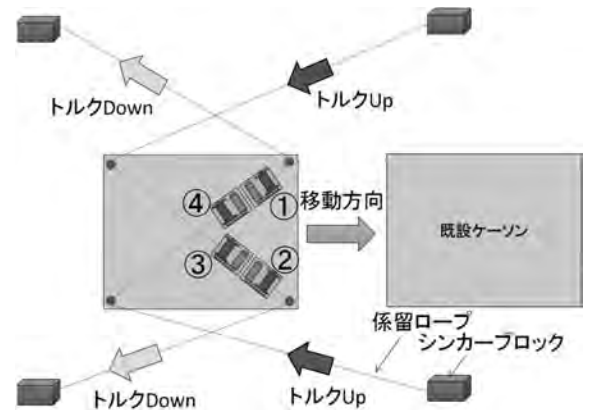
本システムで使用するウインチはトルク制御型で、従来使用したものとは異なる。ケーソンの位置調整は4つのウインチトルクの強弱で行う。例えば既設防波



図二 ケーソンの移動モード



図三 ケーソン停止状態



図四 ケーソン引付け状態

堤へ引付けるときの手順は以下のとおりである。まず移動開始時は図-3に示すように①から④の全てのウインチに最大トルクを設定しておく。次に、引付け指令を受けると図-4の①と②のウインチのトルク値を徐々に下げていく。4台のウインチはトルクのバランスが変化することで①②は巻下げ、③④は巻上げの動作が始まる。4台のウインチが同時に動作することでケーソンが引付け方向に移動する。ワイヤーには常に張力がかかっている状態のため、移動中に大きな慣性力は発生せず動揺量を小さくすることができる。また、据付け位置へ移動した後のケーソン注水時の沈下で緩んだ時にもワイヤーを自動的に巻上げることができ、ワイヤー張力が緩むことがなくなることでケーソン着底時の動揺が低減される。

(3) ポンプ操作の自動化

ケーソン函内への注水中は複数のポンプを同時に稼働させて注水を行うが、ポンプの注水量のバラつきにより各マスの水位がアンバランスとなり傾斜が発生する。着底時にケーソンが傾いていると、図-5のように据付けの土台となるマウンドとケーソン本体の角が損傷する恐れがあるため、ケーソンを水平姿勢の状態に着底するよう傾斜管理を行う必要がある。従来は作業員が各マスの水位を巻尺で計測し、その結果からケーソン上でポンプの稼働・停止を行っていた。

ポンプの自動制御では、図-6に示すように傾斜計で計測したケーソンの傾きが管理値を超えたとき、水平になるよう稼働指示を出す。沈み込んだ側のポンプを停止させ、浮き上がっている側のポンプの注水を継続稼働させる。ケーソンが水平に戻ると停止させていたポンプの注水を再開させ、注水を継続する仕組みである。

位置計測結果は図-7に示すように据付け位置の平面図と移動中のケーソンの位置をモニターに表示させ、自動制御の状態として、ケーソンの据付け予定位

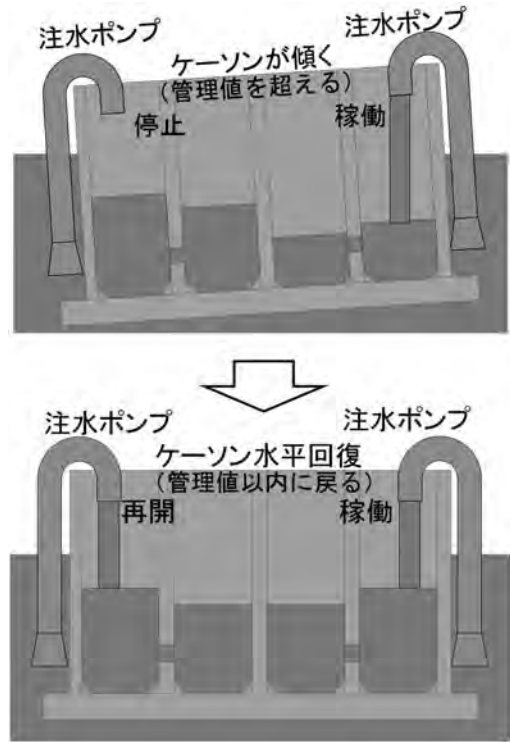


図-6 傾斜自動制御概要図

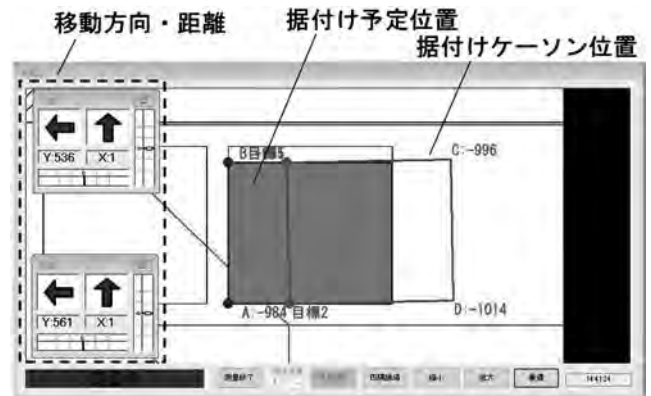


図-7 位置誘導管理画面

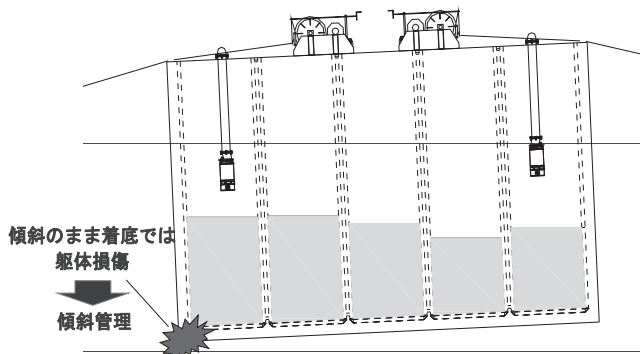


図-5 傾斜がケーソンに及ぼす影響

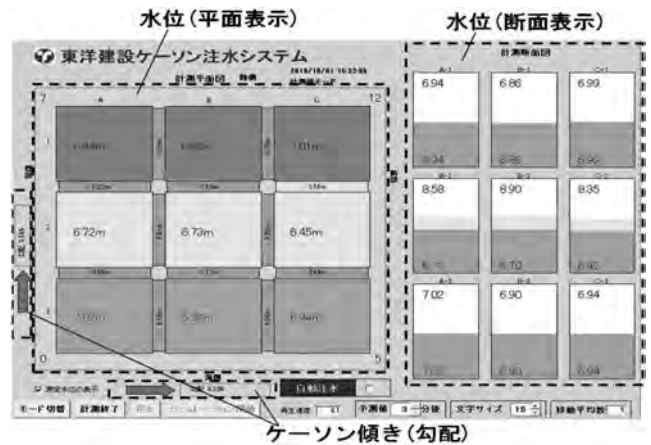


図-8 函内水位管理画面

置と現在のケーソンの位置との距離と、移動指令内容を表示させた。さらに、注水中のケーソンの各マスの水位とケーソンの傾きを図-8に示すようにモニター上に表示させた。ウインチトルク値とポンプの稼働状態は別モニターに表示し、全ての計測情報と制御の状態を一元的に管理できるようにした。

また、これらの表示内容とケーソン移動指示や注水指示はタブレット端末から遠隔監視及び操作ができるようにした。

3. システム導入による実績・効果

(1) 施工の実績

九州地方の2つ防波堤築造工事にて本システムを使用したケーソン据付け作業を実施した。据付け対象ケーソンの緒元及び据付け日の気象・海象条件を表-1に示す。

機材設置完了後のケーソン上は無人の状態とした。自動制御は写真-4に示すような既設防波堤上に設置した管理室より行った。

表-1 ケーソン緒元、気象条件

現場1 据付ケーソン緒元		据付時の気象条件	
寸法	L30.0m×W19.5m×H22.0m	天気	晴
質量	8,900t	風速	3m/s
函数	2函	風向	北西(陸風)
		波高	0.4m

現場2 据付ケーソン緒元		据付時の気象条件	
寸法	L20.0m×W19.8m×H18.5m	天気	晴
質量	3,120t	風速	4m/s
函数	2函	風向	北西(陸風)
		波高	0.2m



写真-4 自動制御管理室

(2) 従来作業との比較

(a) ウインチ操作

従来のウインチ操作では、作業員が4台のウインチを1台ずつ巻上げ・巻下げ操作を行っていた。そのため、ケーソンは図-9に示すように回転や蛇行をしながら据付け箇所まで移動していた。

本システムを使用することで、4台のウインチを同時に動作させることができるため、ケーソンは図-10に示すように回転や蛇行が少なく据付け場所までほぼ最短距離を通過して移動させることができた。

ケーソンの移動操作中や注水中においては、ウインチトルク制御によりワイヤーを緩ませることなく常に張力を負荷した状態を保つことで、波浪によるケーソンの動揺を抑制して移動させることができた。

据付け位置手前から据付け位置までの移動にかかった時間は表-2に示すように従来の作業方法で行った場合とおおよそ同じであった。

(b) ポンプ操作

従来は作業員がポンプの操作や傾斜・水位の計測を行い、常に水平となるように管理していた。技術者はケーソンが傾斜していると判断した場合に作業員にポンプの停止・運転指示を出していた。

本システムを導入することで、傾きを定量的に計測

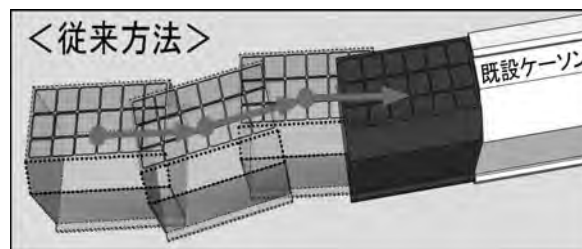


図-9 作業員のウインチ操作によるケーソンの軌跡

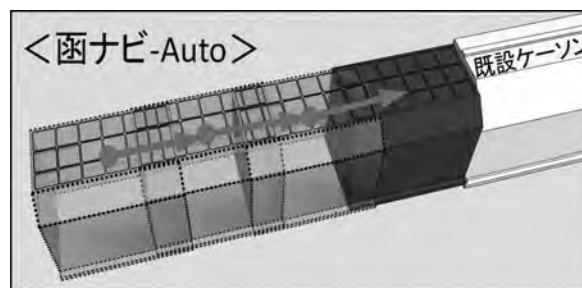


図-10 自動制御のウインチ操作によるケーソンの軌跡

表-2 移動時間(例:現場1)

移動時間	
熟練技術者実施	14分
函ナビAuto	12分

することができるようになった。マスの水位は、各マスに設置した水位計でリアルタイムに計測できるようになり、きめ細かな水位調整ができるようになった。

ポンプの操作では、二軸傾斜計から得られた計測値と水位情報からポンプの停止・運転を自動で制御しながらケーソンは水平を保ったまま着底させることができた。

これらの結果から、従来作業員による判断で行っていた作業を、定量的な計測に基づきウインチやポンプの操作を自動で行うことで、高度な技術を必要とする据付け作業を経験の浅い技術者でも行うことができる。

(3) 安全性の向上と省力化

本システムを使用することで、据付け作業を行っていた作業員の作業負担が低減し、省力化を図ることができた。



写真-5 従来方法による据付け状況

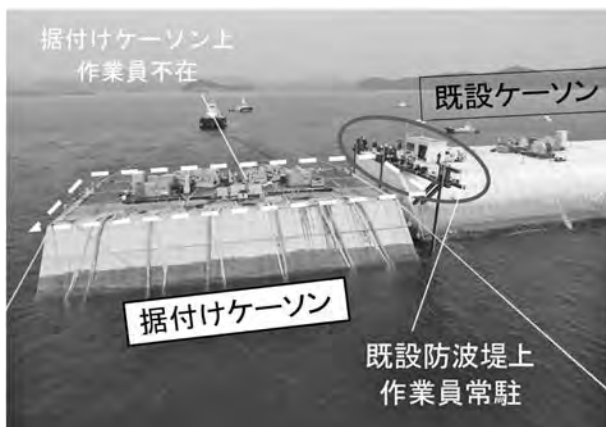


写真-6 自動制御による据付け状況

また、写真-5、6に示すように危険箇所の多い新設ケーソン上が無人化され、ウインチワイヤー破断によるはねられや動揺による海中転落のリスクが大幅に低減し、安全性が向上した。

4. おわりに

本システムを実施工で使用した結果、経験の浅い技術者でも熟練技術者と同様の据付け作業を行える可能性を確認した。各操作は全て自動制御となっているため、据付けケーソン上の無人化も実現できており、安全性の向上も図られる。

ケーソンの据付けは地域により様々であり、本稿で紹介した施工事例である据付けケーソン上にウインチを載せて行う方法は、主に九州地方で行われている。東北・関東地方では、起重機船の側舷や船首に係留して据付けることが多く、近畿地方では大型起重機船のクレーンでケーソンを吊り下げて据付ける方法が採用されることが多い。今後は他地方で行われている様々な据付け方法に対応できるよう改良をしていく。

JICMA

[筆者紹介]

和田 真郷 (わだ まさと)
東洋建設(株)
土木事業本部 土木技術部
部長



加藤 直幸 (かとう なおゆき)
東洋建設(株)
土木事業本部 土木技術部
部長



山口 陽介 (やまぐち ようすけ)
東洋建設(株)
土木事業本部 土木技術部
係長

