

ケーソン無人化据付システムの運用とその評価

草刈成直・加藤直幸・竹内克昌

近年、建設工事において、陸上工事では施工の省力化・安全性の向上・コスト削減の観点から無人化・自動化システム開発が進んでいる。しかし、海上工事においては気象・海象の自然条件が複雑であることから、いまだに作業員の経験や熟練度による労働力に依存した従来の工法が主流となっている。そこで、ケーソン据付において、注水、誘導、ウィンチ操作を無線化することで遠隔操作が可能な無人化ケーソン据付システムを開発し現場導入を実施した。本稿では本システムを紹介するとともに、そのシステムの運用と評価について報告する。

キーワード：防波堤築造，ケーソン，無線化，無人化，システム

1. はじめに

防波堤に用いられるケーソンは、鉄筋コンクリート製の中空構造の函（はこ）であり、内部は隔壁により区切られた隔室によって構成されている。陸上（もしくはFD上）で製作したケーソンを、浮上・曳航し、あらかじめ築造された基礎捨石マウンド上に据え付ける。所定の据付位置まで曳航するとケーソン上に設置してある操函ウィンチを用いて正確な位置決めを行い、注（排）水ポンプを用いて隔室内にバランスよく注水することで水平性を保ちながらケーソンの据付作業を行う。

ケーソン式防波堤の築造工事においては、厳しい気象・海象条件のもとで施工を行ってきた。特に茨城県鹿島港や鹿児島県志布志港に代表されるような外洋に面した施工では、通常の波浪に加え長周期のうねりによる影響が大きく、そのうねりの状況によって施工は難しさを増す。長周期のうねりや風浪・波浪により、操函ワイヤーの破断によるはねられ事故や、ケーソン動揺による作業員の海中転落が懸念される。それらの事故を未然に防ぐためにはウィンチやワイヤーの周辺での作業の回避や、動揺するケーソン上での作業を極力減らすことが最優先課題である。また、従来ケーソンの据付作業は、熟練作業員の経験と習熟度に依存している部分が大きいため、施工を行う作業員により据付の精度、施工時間にばらつきが生じる。また熟練作業員の高齢化と減少が進む中、ケーソン据付作業を省力化・単純化することによる施工効率の向上が望まれている。

そこでケーソン据付工事において、これらの問題点を解決するため次にあげる2項目を開発目的とした。

- ①作業員の安全確保のため、ケーソン上を無人化できるシステム。
- ②誰でも同じような据付作業を行うことができるように、作業を単純化できるシステム。

本稿では本システムを紹介するとともに、そのシステムの運用と評価について報告する。

2. ケーソン据付管理システム概要

ケーソンの据付の施工フローを図-1に示す。前

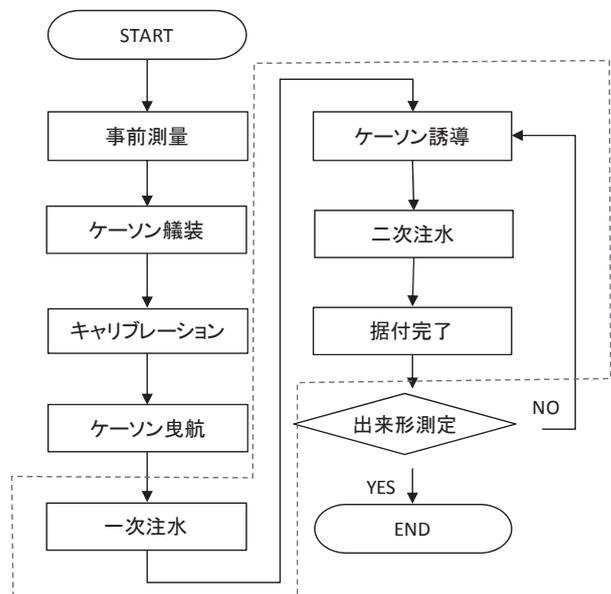


図-1 施工フロー図

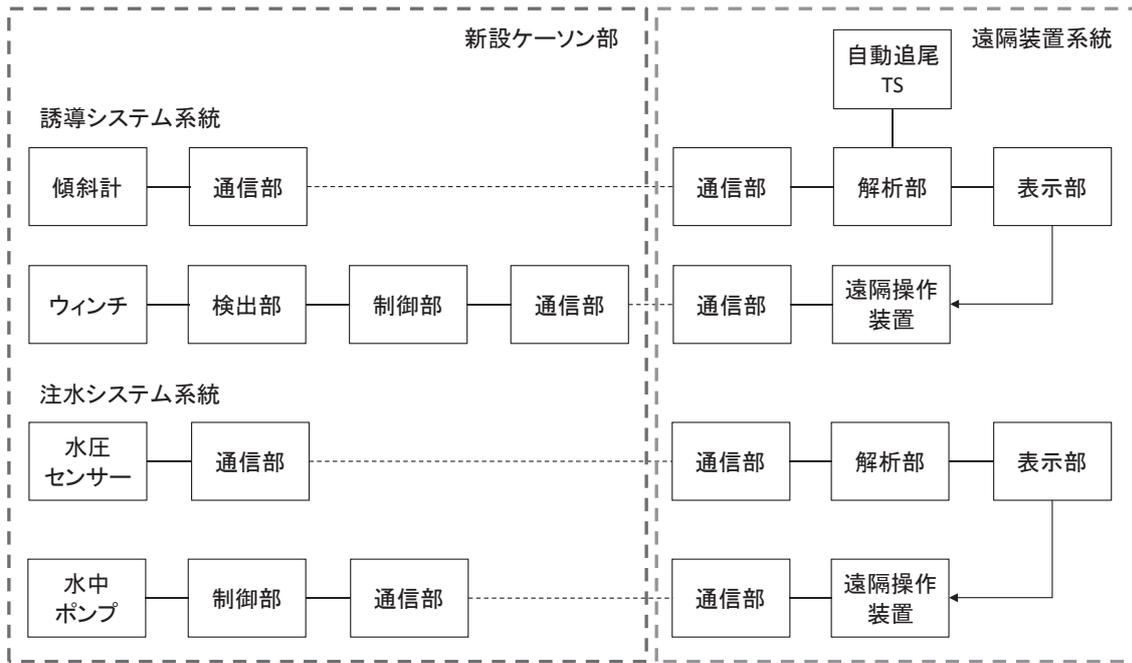


図-2 システムブロック図

述したようにケーソン据付作業において、ケーソン上での作業を極力減らすことが安全性の向上につながることから、図-1の点線で示した範囲において、ケーソン上を無人化し、注水計測、操函作業を遠隔で行うシステムを構築した。またケーソンの据付を行う際、誘導者とウィンチ者の呼吸が合わないと目標位置に正確に据え付けることができない。特に長周期波などのうねりや風浪・波浪によるケーソンの動揺は瞬時に把握する必要がある。開発当初はGPSで計測したが、よりリアルタイム性を追求した結果、自動追尾トータルステーションと傾斜計を組み合わせたシステムで構成した。

図-2に本システムのブロック図を示す。本システムは3つのサブシステムによって構成されている。まずケーソンの注水状況を確認する注水管理システム、続いてケーソンの誘導状況を確認する誘導管理システム、そしてそれらの情報をもとにケーソンの操函を行う遠隔操函システムで構成されている。3つのサブシステムについて以下に紹介する。

(1) ケーソン注（排）水システム

ケーソン注（排）水システムの画面図を図-3に示す。ケーソン隔室に水圧センサーを設置し、注水時における隔室内の水位計測を行う。そのデータをもとに隔室の水位、隔室間の水位差をモニタリングすることができる。また水位差を管理することで水位差によって生じる隔壁部の圧力を低減させることができる。

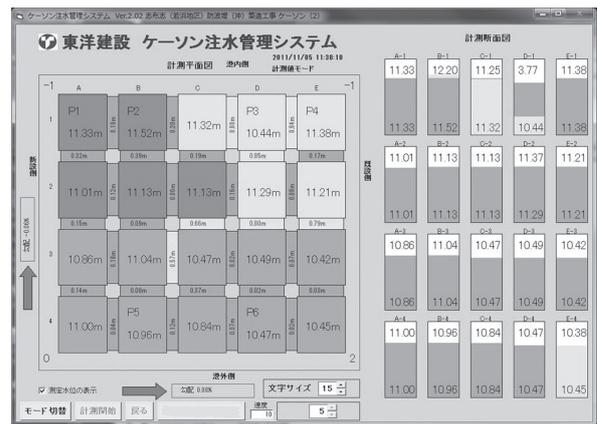


図-3 注水管理システム画面

(2) ケーソン誘導管理システム

ケーソン誘導管理システムの画面図を図-4に示す。自動追尾型トータルステーション2台と二軸傾斜計で構成している。これらの機器でケーソンの位置、ヨーイング・ローリング・ピッチングの三次元形状の

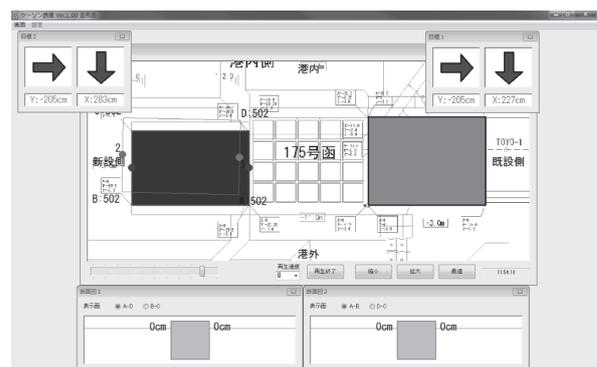


図-4 誘導管理システム画面

計測を行い、ケーソンを三次元誘導することができる。また自動追尾型トータルステーションを用いることで、GPSより精度・反応速度の速い計測が可能となる。

(3) 遠隔操函システム

注（排）水と誘導の情報は無線LANを介して管理室にデータ伝送される。またケーソンの状態等を映したネットワークカメラの映像情報も伝送される。これらの情報をもとに注排水ポンプ、操函ウィンチを無線にて操作し注（排）水管理、誘導据付の制御を行う。

3. システムの安全対策

本システムは、据付ケーソン上を無人化することで作業員の安全確保を図っているが、これまでの作業で作業員がケーソン上にて確認していた項目を遠隔にて同様に監視する構築を有している。つまり何らかの誤作動・誤操作による障害が発生した場合に、常に安全側に制御できる機構を組み込み、以下の対策を施している。

(1) ネットワークカメラの設置

各操函ウィンチや滑車、函体部にネットワークカメラを設置し、ウィンチの巻き状況・ワイヤー張り具合・滑車の動き等を常時監視する。カメラにより撮影された映像はハードディスク内に保存し、挙動の検証に用いる。

(2) ウィンチの過負荷検出装置（自動繰り出し機構付）

ケーソン据付中には、航行船舶による航跡波や太平

洋側沿岸特有の長周期波などによる予測の難しい動揺などにより、操函ウィンチに規定以上の負荷がかかることがある。そのような場合に備え、ワイヤーに一定以上の荷重がかかるとワイヤーを自動で繰り出す機構をウィンチに組み込んだ。これにより操函ワイヤー破断やウィンチの負荷による損傷を防止する。そしてケーソンへの無理な応力がかかるのを防止することができる。

(3) フェイルセーフ対策

注水ポンプ、操函ウィンチを遠隔で操作するため、何らかの影響で無線LANの通信不能やポンプ、ウィンチのサーマルトリップによる異常が発生した場合には、ポンプ、ウィンチを自動停止する設計としている。またその情報を回転灯で外部に視覚で知らせ、遠隔操作場所においてもその状態を把握する。

(4) 無線通信装置の二重化

通信システムの一部に何らかの障害が生じた場合に備え、無線通信装置を2系統装備しており、障害が生じた場合には瞬時にバックアップラインに切り替わる二重化を施している。

4. ケーソン無人化据付システムの導入

本システムを導入してケーソン据付を無人化施工した工事を示す。平成24年4月に志布志港（若浜地区）防波堤（沖）築造工事にて運用した。志布志港は国際バルク戦略港湾（穀物）に指定されており、港の重要性は高く、今後さらなる整備が求められている港湾である。志布志港は九州の南端に位置し、その独特の地

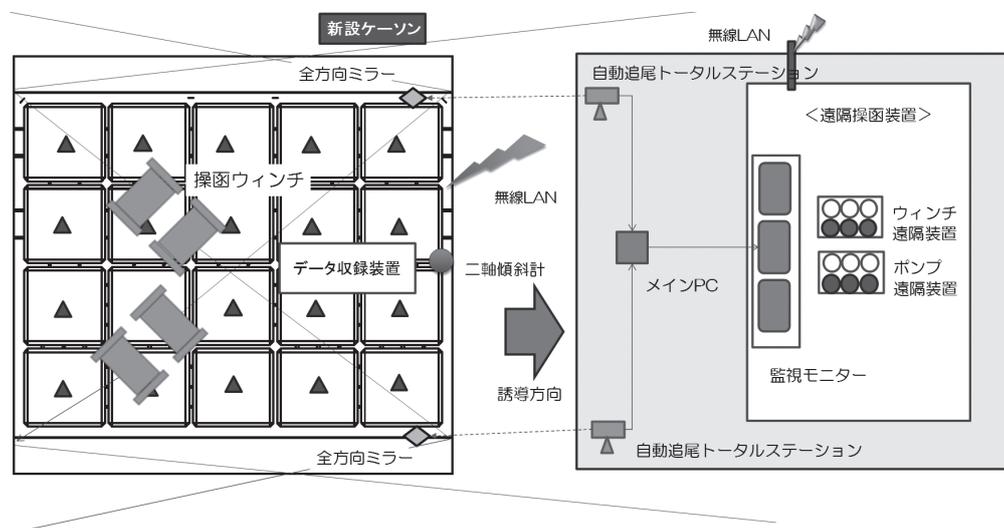


図-5 システム構成図

表-1 気象・海象条件

天気	晴
風速	8 m/s
風向	北東 (陸風)
波高	0.8m

形と太平洋に面した場所であることから、長周期のうねりと独特の波浪が発生する海域であり、ケーソン据付時の動揺が問題となる。施工を行った際の気象・海象条件を表-1に示す。また本工事に導入したシステムの構成を図-5に示す。

5. 運用と評価

志布志港(若浜地区)防波堤(沖)築造工事にて行った施工状況を写真-1に示す。今回導入したケーソン無人化据付システムの運用と評価について以下に示す。



写真-1 施工状況

- ①注水前は、風によりケーソンの揺れが確認されたが、注水を進めていくうちにケーソンは安定した。その際、注水管理システムの利用で、隔壁部に水位差による負荷を与えることなく、注水管理することができた。またケーソンの傾斜状態を把握できるため、水平調整が容易に行えた。
- ②ケーソン位置誘導は、誘導管理システムを用いることで、ケーソンを3次元計測で誘導することができ、高精度で据付が行えた。また位置計測もリアルタイムに測量でき、かつ出来形測量とシステムによる誘導結果にほとんど差はなかった(実測値とシステム値の差±1.5cm以内)。

- ③一次注水からケーソン据付完了まで遠隔操函システムを用いることで、ケーソン上に作業員が立ち入ることなく据付を行うことができた。

6. おわりに

据付時にケーソン上を無人化することで、ワイヤーなどによるはねられ事故を未然に防止することができ、危険作業を回避することができた。またケーソン上を無人化し、作業人員を減らしながら高精度の据付を行えたことで、これまでの施工方法と同様の精度で施工が可能なが確認された。本稿ではケーソン上にウィンチを設置し、そのウィンチを用いて据付を行うアンカーワイヤー方式によるケーソン据付について報告したが、起重機船を用いたケーソン据付を行う際にも、誘導システムを用い、遠隔にてケーソンの状態を把握し、3次元で可視化することで精度良い据付を行ったことを紹介したい。

本システムは、ケーソン据付を行うための情報を可視化し、その情報をもとに遠隔で操作するシステムであるが、波浪による動揺予測などまだ人の目、感覚にたよる部分があるのは否めない。そのため、より人の感覚に近づけるためにも、動揺を予測する手法の開発やその動揺を低減できる手法の開発を進めていき、施工の省力化・安全性の向上・コスト削減に寄与できるシステムの開発が必要と考える。

JICMA

【筆者紹介】

草刈 成直 (くさかり まさなお)
東洋建設㈱
土木事業本部 土木技術部
係長



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



竹内 克昌 (たけうち かつまさ)
東洋建設㈱
土木事業本部 機械部
機械課長

