

安全対策 特集

ケーソン無人化据付けシステムの開発

真鍋 匠

ケーソン無人化据付けシステムは、曳航据付け型のケーソン据付け時において、従来人間がケーソン上に搭乗して行っていた据付け作業を、遠隔から無線 LAN を用いてワンマンオペレーションにより据付けることを可能とするシステムである。本報文では、ケーソン無人化据付けシステムが有する機能を述べるとともに、導入事例について紹介する。

キーワード：ケーソン据付け，無人化，遠隔監視，遠隔操作，無線 LAN

1. はじめに

現在、立入り禁止区域における災害復旧工事等でラジコン施工機械を使用した無人化施工が行われている。一般に、無人化施工は人間が作業を行うには危険とされる地域において適用されている。五洋建設株式会社（以下、当社）においても昨今の技術革新が著しい無線 LAN に着目し、無人化施工への適用を提案して、平成 14 年 10 月に建設技術審査証明証を取得した。

無線 LAN を用いた五洋式無人化土工システムは、従来の長距離伝送やデータの多重化などに関する課題を解決するシステムとして構築されてきた。

この度、これまで当社において培ってきた無人化施工技術を、従来作業員により行われてきたケーソン据

付け施工に応用し、据付け作業の無人化を実現した。港湾における防波堤築造工事では、大型ケーソンを据付ける際に、浮上させたケーソン上に 10 人程度の作業員が搭乗し、各隔室の水位監視、および注排水ポンプや引寄せウィンチを操作することによりケーソンの据付けを行っている。

しかし、据付けケーソン上には、ケーソン位置決めのワイヤや注排水ポンプ等の装置が輻輳して設置されており、作業性が悪いことに加え、波の影響等でワ

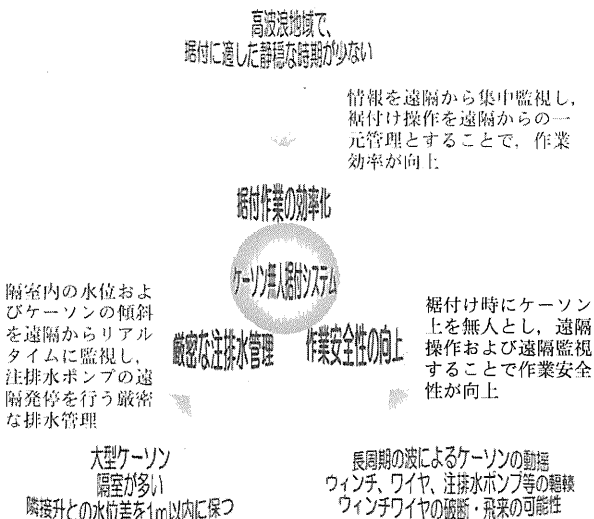


図-1 システム開発の背景

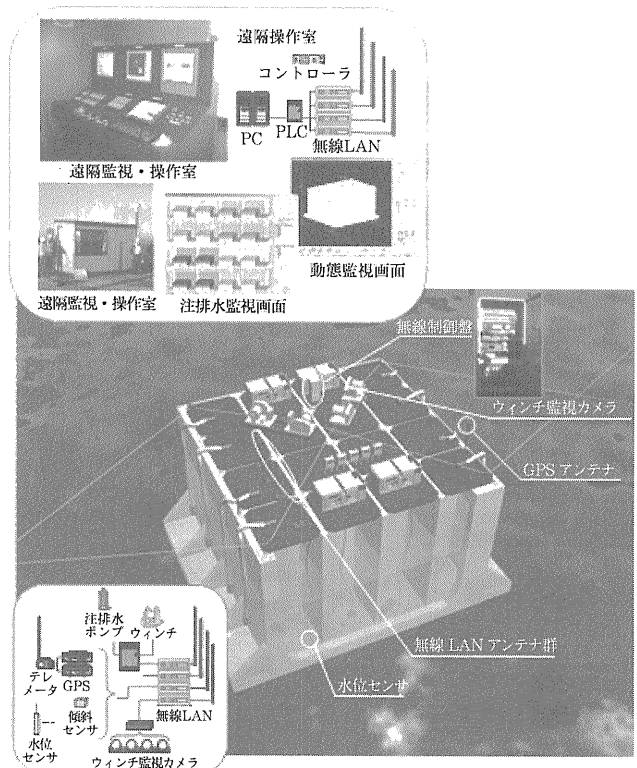


図-2 システム概念図

イヤに過度のテンションが加わることにより、ワイヤが破断して飛来し、ケーソン上で作業中の人間に接触する危険性がある。

また、ケーソンの隔室への注排水時において、ケーソンを水平に保ち据付けのために、従来では作業員が各隔室の水位を適宜計測しながら注排水ポンプの操作を行っており、精度や効率の面で課題があった。

今回、特にケーソン据付け作業の要素を抽出し新規にシステム化することで、遠隔からワンマンオペレーションで据付けを行うことが可能となった。

ケーソン無人化据付けシステムの開発の背景を図-1に、概念図を図-2に示す。

2. システムの概要

(1) 概要

ケーソン無人化据付けシステムは、ケーソンの動態監視、ウインチ操作、および注排水監視・操作等の作

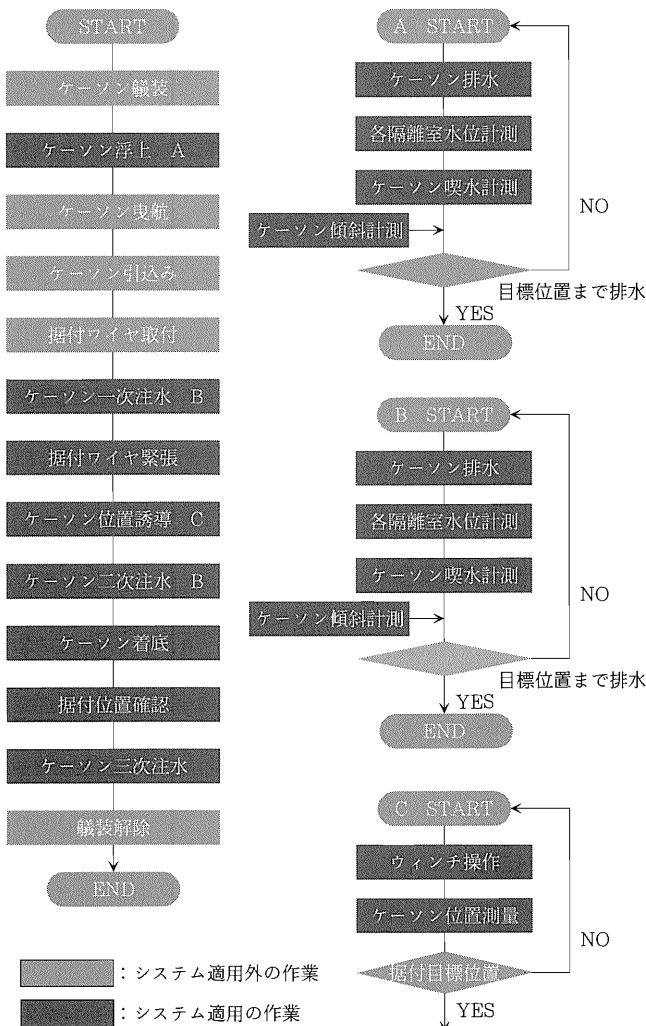


図-3 ケーソン据付け作業フロー

業をシステム化し、無線 LAN を用いて遠隔から一元的に集中監視・操作することにより作業効率と安全性の向上を図るものである。図-3 にケーソン据付けの作業フローを示す。

(2) 特長

本システムの特長として下記の事項が挙げられる。

- ① ケーソンの動態（位置、方位、傾斜）、各隔室の注排水状況の計測、引寄せウインチと注排水ポンプの操作等を遠隔から一元管理が可能
- ② 各種センサデータと5台のテレビカメラモニタにより現地の臨場感を損なわず遠隔操作を行うことが可能
- ③ 最大 500 m から確実な遠隔監視・操作を行うことが可能
- ④ 従来ケーソン上にて作業員が行っていた据付け作業を、遠隔監視・操作盤でのワンマンオペレーションが可能

3. システム構成

ケーソン無人化据付けシステムは4つの基幹技術により構成されている。図-4 に本システムの基幹技術を示す。

- ① ケーソンの動態、各隔室の水位、およびウインチや注排水ポンプの動作状況をデータや映像等で遠隔から監視する技術
- ② ウインチや注排水ポンプの発停を遠隔で行う遠隔操作技術

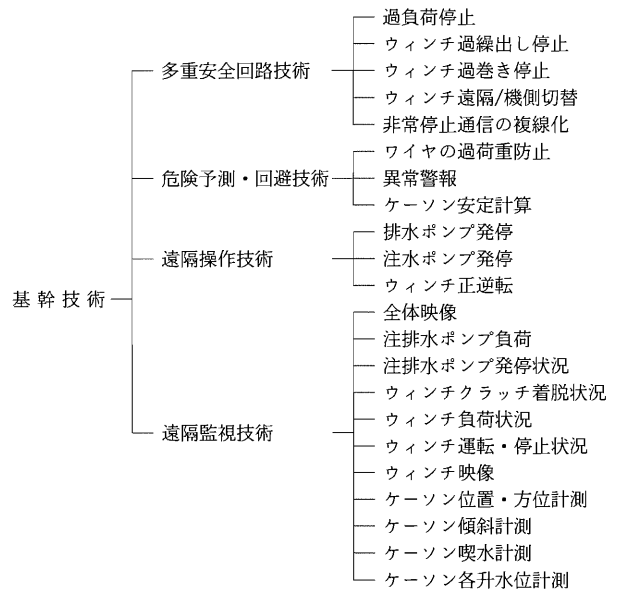


図-4 システム基幹技術

③ 非常停止通信の複線化やウィンチ操作に関する多重安全回路技術

④ ウィンチのトルクリミッタやシステムの異常警報等の危険予測・回避技術

ケーソン据付けは、波によるケーソンの動揺のタイミングを見計らいケーソンへの注水やウィンチ操作を行うことから、熟練者の手腕に委ねられることが多い作業である。また、海象状況や使用する機械の能力、ケーソンの形状によっても、操作加減は変わってくる。

安全対策や対費用効果も含めて検討した結果、システムによる据付け作業は自動ではなく、遠隔からのワンマンオペレーションとした。本システムのモデルを図-5に示す。ケーソン上に搭載した機器類からの情報をもとに、オペレータが判断を下し操作を実行するものとしている。

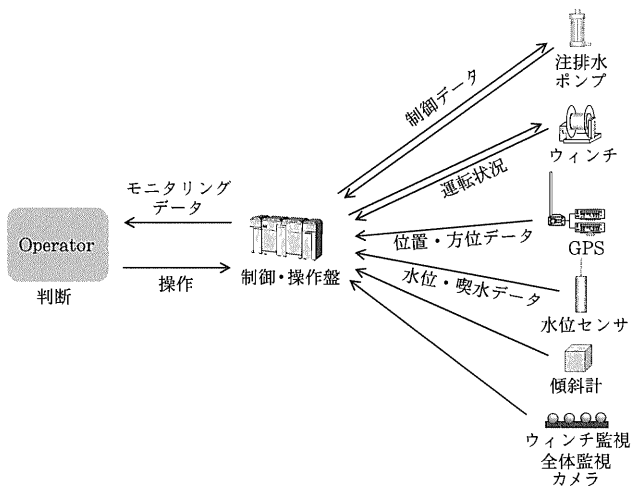


図-5 システムのモデル

ケーソン上には、ケーソンの位置および方位を計測するRTK-GPS受信機、ケーソンの傾きを計測する傾斜計、各隔室の水位を計測する水位計、ケーソンの喫水を計測する喫水計、引寄せウィンチ、注排水ポンプ、監視カメラ、および無線制御盤を搭載している。

また、遠隔操作室には、ケーソン上の装置を遠隔から監視・操作する操作盤を設置している。ケーソン据付け作業中は常に制御盤と遠隔監視・操作盤間で無線LANにより、センサデータ、映像、および制御信号の送受信を行っている。

オペレータは、これらの状況が表示されるモニタを注視し、ケーソンの動態や各隔室の水位を正確に把握し、従来不可能であった複数のウィンチと十数台の注排水ポンプを効率よく遠隔からワンマンオペレーションすることが可能となっている。写真-1に遠隔監視・操作盤を、写真-2に無線制御盤を示す。

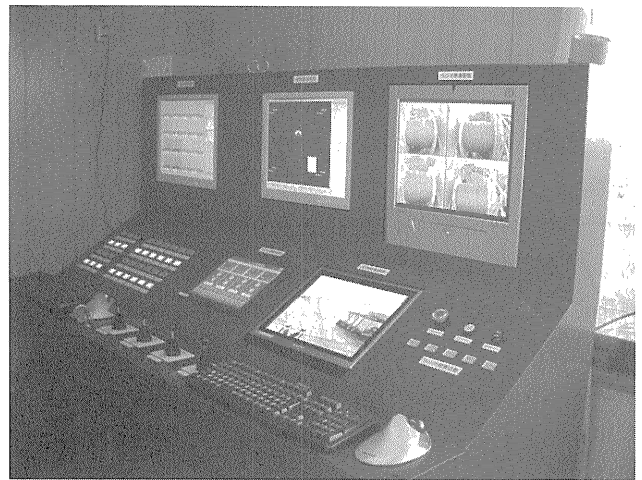


写真-1 遠隔監視・操作盤

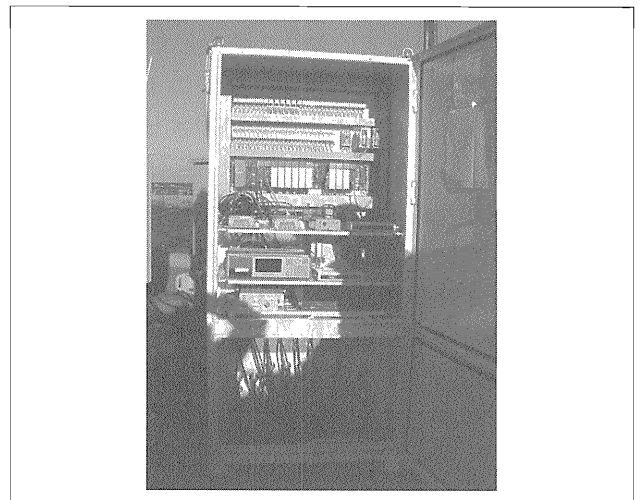


写真-2 無線制御盤（ケーソン上）

4. 安全対策技術

本システムの導入により、ケーソン上は無人的となるため据付け作業の安全性向上を図ることが可能となるが、据付け作業の無人化により生じる危険も予想される。

危険要素として特に、

- ① ケーソンの安定保持
- ② 無線LANの通信不良
- ③ ワイヤ破断によるワイヤ繰出し、または巻込み
- ④ 遠隔、および機側での重複操作

等が考えられ、これらを解決する手段として前述の多重安全回路技術、および危険予測・回避技術を導入している。

海上における無人化施工では、予想外の外因がケーソンに影響を及ぼした場合、もしくはシステムの動作

が完全でなかった場合、大きな事故に繋がる可能性もあり、これらの機構は必須と考える。

ケーソンへの注排水時において、各隔室へ同量の注排水を行うにつれて重心と浮心がずれる上部斜面堤等のケーソンでは、遠隔から水位やケーソンの傾斜の計測データだけを頼りに注排水操作を行うことは困難である。そこで本システムではケーソンの各隔室の水位に応じた目標値をあらかじめシミュレートし、その結果を設定しておくことで、適時目標水位を表示し、ケーソンの安定を保ちながら注排水操作ができるものとなっている。

ウィンチの遠隔操作において、操作レバー傾倒時にはウィンチ作動信号を連続で送信するものとし、あえて自己保持回路を採用していない。このため、無線 LAN が通信途絶に陥ったとしても、遠隔操作をする者が意図しないウィンチの動作を防止している。また、非常停止通信は複線化し、無線 LAN の 1 系統がリンクダウンしても他の系統から緊急停止させることが可能である。

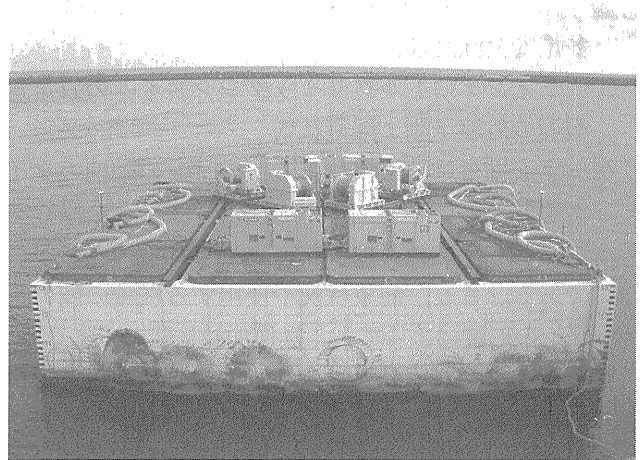
ケーソン据付け中にウィンチのワイヤが破断した場合を想定し、ワイヤの過巻き、繰出し過ぎを検知しウィンチ動作を停止する機能を設けている。ただし、ウィンチには任意に設定した荷重以上の力がワイヤに働いた場合、自動的にワイヤをリリースするトルクリミッタを設けており、ワイヤが破断する可能性は極めて低いと考える。

他に遠隔操作機能を有するシステムにおいては当然であるが、機側操作との切替えを機側に配することで重複操作を防止している。また、ウィンチや注排水ポンプの負荷状態の監視を遠隔から可能にするとともに、過負荷の状態に陥った場合は警報で通知するようになっている。

5. 導入例

宮崎港防波堤築造工事の実海域において、作業機械と人員を従来通り配置する一方、発注者の承諾を得て試験的に本システムを適用した。導入状況を写真—3、写真—4、写真—5 に示す。据付けたケーソンは、サイズが $20\text{ m}(D) \times 25\text{ m}(W) \times 13\text{ m}(H)$ 、隔室数 $16(4 \times 4)$ 、重量が $3,530\text{ t}$ であった。

従来方法により、アンカブロックにウィンチワイヤをワイヤリング後、本システムを使用して、遠隔から注水するとともにウィンチを操作してケーソン据付けを行った。当初、遠隔操作に起因する臨場感の欠如等により、作業効率の低下が予想されたが、本システ



写真—3 ケーソン上の機装状況



写真—4 無線 LAN アンテナ群



写真—5 遠隔監視・操作室

ムが遠隔監視項目を十分に備えていることと、気象・海象に恵まれたこともあり、従来方法と同様に据付けに要した時間は約 1 時間であった。また、据付け位置は目標から 5 cm 以内であった。遠隔監視、および操作は最大 500 m 離れた地点から行えることを確認した。

6. 今後の適用

本システムの特徴は既述の通りであるが、それらを踏まえ、以下の状況で更にパフォーマンスを発揮できると考えている。

(1) 大型ケーソン据付け

据付けに要する機械類が大型化、および増加する大型のケーソン据付けにおいて、ワンマンオペレーションが可能な本システムを導入することにより、据付け作業を一元管理する効果が表れると思われる。

(2) 上部斜面堤等の異形ケーソン据付け

ケーソンの隔室内への注水に伴い、ケーソンの重心位置が移動するようなケーソンにおいては、本システムにより各隔室の水位とケーソンの傾斜を監視しながら、あらかじめ各注水段階に応じて設定した目標水位に向けて注水作業が行えるため、安全かつ効率よく作

業を行うことができる。

7. 終わりに

建設産業を取巻く環境の変化から、施工技術においても作業効率やコスト面で即戦力となりうる技術の開発が、より一層求められるようになってきている。また、熟練者の減少や作業員の高齢化に伴い、安全に施工を遂げるための仕組みも必要である。

今回、ケーソン据付け作業のシステム化を試みたが、これら課題の解決の一助になればと思っている。

JCMA

【筆者紹介】

真鍋 匠 (まなべ たくみ)
五洋建設株式会社
土木本部
機械部
主任



建設機械技術者必携 建設機械施工ハンドブック (改訂版)

建設機械による土木施工現場における監理技術者、専任の主任技術者、オペレータ、世話役、監督等の現場技術者、建設機械メーカ、輸入商社、リース・レンタル業、サービス業などの建設機械の技術者や、大学、高等専門学校、工業高等学校において建設機械と建設施工を勉強する学生などを対象として本書は書かれています。

今回、最近の技術動向、排気ガス対策、安全衛生管理体制、建設副産物、適正な施工体制等について最新の技術と内容をより充実させ、機械化施工における環境の保全、効率的な工事の施工が図られることを念頭に改訂編纂し出版しました。

建設機械技術者にとって必携の書でありますのでご案内申し上げます。

■掲載内容 (三分冊)

- ・基礎知識編 (土木工学一般, 建設機械一般, 安全対策・環境保全, 関係法規)
- ・掘削・運搬・基礎工事機械編 (トラクタ系機械, ショベル系機械, 運搬機械, 基礎工事機械)
- ・整地・締固め・舗装機械編 (モータグレーダ, 締固め機械, 舗装機械)

■体 裁: A4判 全約910頁

■価 格: 会 員 10,000円 (消費税込) 送料 600円
非会員 11,550円 (消費税込) 送料 600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501, Fax. 03(3432)0289