

UCIS（ケーソン無人化据付システム）

—海上工事における無人化施工技術—

真 鍋 匠

UCIS（ケーソン無人化据付システム）は、曳航据付型のケーソン据付時において、従来人間がケーソン上に搭乗し行っていた据付作業を、遠隔から無線 LAN を用いてワンマンオペレーティングにより据付けることを可能とするシステムである。本稿では、ケーソン無人化据付システムが有する機能を述べるとともに、導入事例と効果について紹介する。

キーワード：ケーソン据付，無人化，遠隔監視，遠隔操作，無線 LAN

1. はじめに

1998 年以降、公共投資の削減と同じくして建設投資額は減少し、この動きに伴い建設業就労者数も年々減少している。ピーク時の 1997 年と比較すると、140 万人を超える大幅な減少となっている。また、建設業就業者は 50 歳代が最も多いが、団塊世代の大量退職が始まり、熟練者の減少や作業員の高齢化がさらに加速するものと考えられる。建設産業を取り巻くこのような環境においては、施工における作業効率を高め、施工品質を確保したうえでの省力化技術が強く求められている。

一方、建設業労働災害防止協会では、「災害ゼロから危険ゼロへ」のスローガンのもと、建設工事に内在する危険有害要因を事前に除去・低減することが推進されている。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となってきた。特に港湾等の海上工事は、常に波浪が作用する環境の中での作業であり、十分な準備と注意のもとで安全作業が行われているものの、危険性のポテンシャルは高いといえ、危険要因の除去・低減が課題となっている。

陸上工事では、危険な工事における安全性の確保と作業効率の向上を目的として、無人化施工技術がすでに実用化され、種々の工事に適用されているが、外洋での海上工事においては上述のように波浪が作業に大きく関わってくるといった特性があり、これにより施工時に作業員の経験や勘が必要とされているため、これまで無人化施工技術の開発は行われてこなかった。

混成式防波堤の築造工事におけるウィンチ方式によ

る大型ケーソン据付工事は、浮上させたケーソン上に引寄せウィンチを配置し海中に設置したシンカーブロックにワイヤリングした状態で、複数台の引寄せウィンチの操作によりケーソンを所定の位置に誘導するとともに、ケーソン隔室の水位を監視しながら複数台のポンプにより注水し、ケーソンの姿勢を保持しつつ所定の位置に据付ける。その際にケーソン上に 10 人程度の熟練した作業員が搭乗して作業を行う必要がある。このため、波浪条件の厳しい外洋での海上工事を行う場合にはケーソンに大きな動揺が生じ足元が不安定になることによるウィンチへの巻き込まれや海中への転落、ケーソンの動揺に伴い破断したワイヤによる打撃などに対する安全性の向上が必要である。また、今後の熟練者の減少に備えて作業の効率化が必要不可欠であった。

海象条件が時々刻々変化する環境にあるケーソン据付工事における無人化施工の場合、従来用いられているカメラ映像のみによる施工法では適切な遠隔操作は困難であると予想され、熟練者のノウハウを取り込んだ、遠隔からワンマンオペレーティングで据付けるシステムの開発が必要となった。

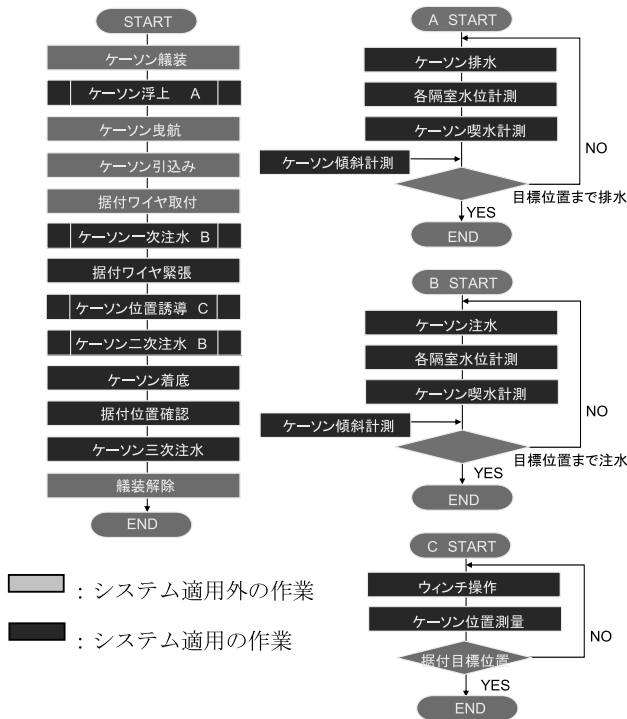
2. システムの概要

(1) 概要

UCIS は、ケーソンの動態監視、ウィンチ操作、および注排水監視・操作等の作業をシステム化し、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—1 に概念図を、図—2 にケーソン据付の作



図一 システム概念図



図二 ケーソン据付作業フロー

業フローを示す。

(2) 特長

本システムは開発時に以下を目標¹⁾と設定している。

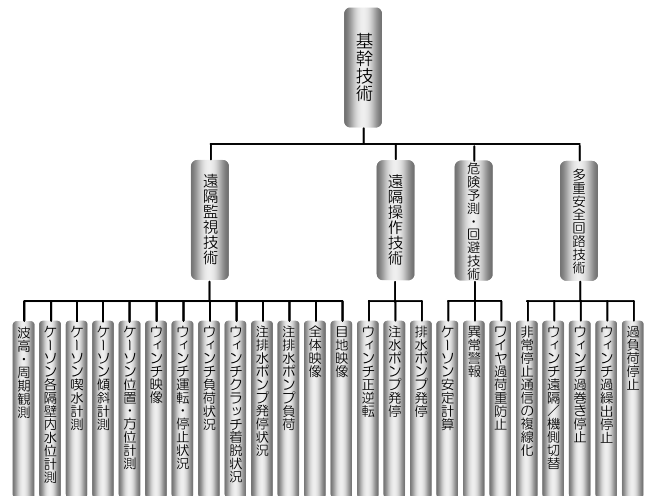
- ①据付ケーソン上に作業員を配置せずに安全に据付ができること。

- ②遠隔から一元管理により確実な据付ができること。
- ③従来と同等の精度で据付ができること。
- ④従来と同等以上の作業効率で据付ができること。

ケーソン据付は潮の干満の関係から作業のできる時間帯は限られてくる。このため、無人化施工でありながら作業効率を下げる訳にはいかず、開発当初から作業効率を下げるのではなく、逆に向上させることを目標の一つに掲げた。

3. システム構成

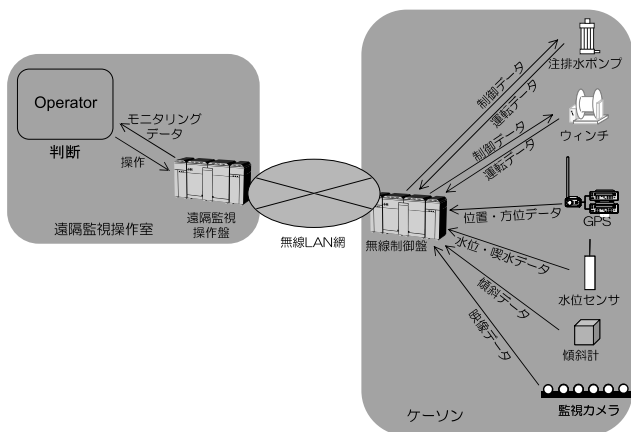
ケーソン無人化据付システムは4つの基幹技術により構成されている。図一3に本システムの基幹技術を示す。



図一3 システム基幹技術

- ①ケーソンの動態、各隔室の水位、およびウィ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ウィンチや注排水ポンプの発停を遠隔で行う遠隔操作技術
- 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。そこでシステムによる据付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



図一四 システムのモデル

モデルを図一四に示す。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。

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。

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作業の安全性向上を図ることが可能となるが、据付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、若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予めシミュレーションし、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、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

UCISを導入した施工実績のうち、最近の「名瀬港（立神地区）防波堤（沖）築造工事」におけるケーソン5函の据付けについて紹介する。工事概要を表一1、および表一2に、据付状況を図一5に示す。

本システムの導入による効果について、2(2)で述

表一1 工事概要

工事名称	名瀬港（立神地区）防波堤（沖）築造工事
発注者	国土交通省 九州地方整備局
施工場所	鹿児島県奄美市名瀬長浜町地先海面
工期	自 平成18年10月17日
	至 平成19年12月20日

べた特長に沿って検証した結果を紹介する。

(1) 技術開発の目標①（据付ケーソン上に作業員を配置せずに安全に据付ができること）

名瀬港（立神地区）防波堤（沖）築造工事における作業員の配置状況を表—3、および表—4に示す。

表—3、および表—4より、㊦据付準備は鳶工と普通作業員が行っていること、㊧据付時、世話役と特殊作業員は遠隔監視操作室内に、普通作業員は既設ケーソン上にいること、㊨据付ケーソン上は無人であることが分かる。このことから作業員の安全性に関わる危険要因の除去されたことが確認できる。また、(2)で

示すように、これらの工事においては安全性が低下したときに作動する設備が作動することなく安全に行われた。

(2) 技術開発の目標②（遠隔から一元管理により確実な据付ができること）

本システムでは表—5に示すシステム作動の安全性、および信頼性を向上させる設備を備えている。実工事での表—5に示す設備の作動例を表—6に示す。今回の施工においてはこれらの設備が作動することなくケーソンの据付が実施できた。工事実績より、UCISの適用によりケーソンの据付が遠隔から確実に

表—2 据付ケーソンの形状・寸法

形状寸法	L (m)	B (m)	H (m)	質量 (t)
1 函目～4 函目	16.5	11.6	19.5	3,207
5 函目	16.5	10.7	16.5	2,427

表—3 作業員の配置状況（1 函目～4 函目）

項目	世話役	鳶工	特殊作業員	普通作業員	計	
浮函	1	2	1	3	14	
据付	据付準備	0	2	0		1
	据付ケーソン上	0	0	0		0
	既設ケーソン上	0	0	0		2
遠隔監視操作室	1	0	1	0		
積算基準	0	3.2	4.8	8	16	



図—5 据付状況

表—4 作業員の配置状況（5 函目）

項目	世話役	鳶工	特殊作業員	普通作業員	計	
浮函	1	2	1	3	14	
据付	据付準備	0	2	0		1
	据付ケーソン上	0	0	0		0
	既設ケーソン上	0	0	0		2
遠隔監視操作室	1	0	1	0		
積算基準	0	2.8	4.2	7	14	

表—5 安全性、信頼性向上のための設備

機器名	予想しうる障害	故障による事態	安全性、信頼性を確保するための機能
ウィンチ	システムの誤作動によるワイヤ過巻き	ワイヤ破断によりケーソン漂流	ワイヤが設定値以上巻かれた場合、ウィンチを停止する。
	システムの誤作動によるワイヤ過繰出し	ケーソン漂流	ワイヤが設定値以上繰出された場合、ウィンチを停止する。
	ワイヤ破断	ケーソン漂流	設定値以上の荷重がかかった場合、ワイヤをリリースする。
注排水ポンプ	ごみ詰まり等により過負荷となり、注排水ポンプの焼損でポンプ停止	各隔室の水位コントロールが不能となり、ケーソンが傾斜	サーマルリレーと電流計を装備し、どちらかで過負荷を検出する。 過負荷を検出した場合、ポンプを停止する。
無線 LAN	通信不良	遠隔操作不能	ウィンチの遠隔操作はスプリングバック式のレバーを採用してレバー傾倒時は連続で操作信号を送信することとし、通信不良の際はウィンチが作動しない仕組みにしている。 非常停止通信を複線化している。

表一六 安全対策技術の作動例

項目	安全対策技術作動例				
	1 函目	2 函目	3 函目	4 函目	5 函目
過負荷停止	なし	なし	なし	なし	なし
ウィンチ過繰出し停止	なし	なし	なし	なし	なし
ウィンチ過巻き停止	なし	なし	なし	なし </td <td>なし</td>	なし
ウィンチ遠隔・機側切替	なし	なし	なし	なし	なし
非常停止通信	なし	なし	なし	なし	なし
ワイヤ過荷重	なし	なし	なし	なし	なし
異常警報	なし	なし	なし	なし	なし
ケーソン安定計算	なし	なし	なし	なし	なし

行えることが確認できた。

(3) 技術開発の目標③ (従来と同等の精度で据付ができること)

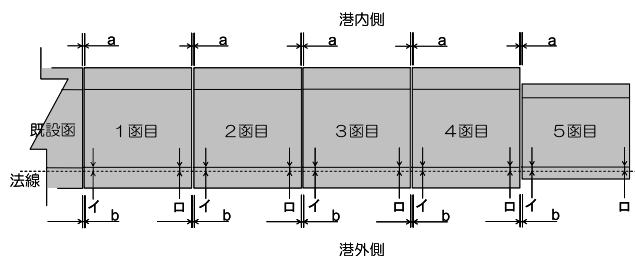
港湾工事共通仕様書 (社)日本港湾協会) では、表一七に示す出来形管理基準が規定されている。実工事における出来形を表一八および図一六に示す。出来形は許容値を満足し、従来と同等の精度で据付ができる

表一七 出来形管理基準

管理項目	測定密度	測定単位	許容範囲
法線に対する出入	据付完了後、 両端 2 箇所	1 cm	ケーソン質量
			2,000 t 未満 ± 20 cm
			2,000 t 以上 ± 30 cm
据付目地間隔	据付完了後、 天端 2 箇所	1 cm	ケーソン質量
			2,000 t 未満 20 cm 以下
			2,000 t 以上 30 cm 以下

表一八 据付出来形

項目	目標値	測定位置	既設函	1 函目	2 函目	3 函目	4 函目	5 函目
				法線に対する出入り (cm)	イ	—	+ 0.8 cm	- 0.5 cm
		ロ	—	- 1.2 cm	- 0.2 cm	+ 3.4 cm	- 2.5 cm	- 1.7 cm
据付目地間隔 (cm)	15 cm	a	16 cm	8 cm	10 cm	13 cm	10.2 cm	—
		b	16 cm	7 cm	11 cm	13.5 cm	9.5 cm	—



図一六 据付出来形

ことを確認した。

(4) 技術開発の目標④ (従来と同等以上の作業効率で据付ができること)

表一九にケーソン据付に要した作業時間を示す。全体の作業時間はほぼ半日であり、従来と同等の作業効率を得た。なお、据付作業のみについては、従来工法について比較すべきデータを持っていないため詳しい議論はできないが、いずれも 30 分~90 分という比較的短時間で作業が完了している。

表一九 ケーソン据付の作業時間

項目	時刻	4時	5	6	7	8	9	10	11	12	作業時間 (分)
		1 函目 (2007/3/2)	曳航		—						
	ワイヤ等セット			—							30
	無人化据付				—						60
	着底					—					5
	注水					—	—	—			90
2 函目 (2007/4/16)	曳航	—									60
	ワイヤ等セット		—								25
	無人化据付			—							30
	着底				—						3
	注水				—	—	—				90
3 函目 (2007/4/20)	曳航	—									50
	ワイヤ等セット		—								30
	無人化据付			—							90
	着底				—						5
	注水				—	—	—				90
4 函目 (2007/6/20)	曳航					—					50
	ワイヤ等セット						—				30
	無人化据付							—			80
	着底								—		5
	注水								—	—	90
5 函目 (2007/8/29)	曳航		—								60
	ワイヤ等セット			—							30
	無人化据付				—						60
	着底					—					3
	注水					—	—	—			90

表一三、および表一四にケーソン据付の作業人員について、実際の作業に要した人員と「港湾土木請負工事積算基準」(以下積算基準と呼ぶ)における人員数を示す。ケーソン据付における作業員数の UCIS と積算基準の値を比較すると、総作業員数では、1 函目から 4 函目のケーソン据付では積算基準より 2 人少なく、5 函目のケースでは同人数であった。UCIS を使用したケーソン据付においては、ケーソン質量に係わらず据付に要する作業員数はほぼ一定である。このことから、ケーソン質量が 2,000 t ~ 2,500 t 未満のケーソン据付を境として、ケーソン質量が増大するほど、UCIS を導入した際の作業効率は向上するといえる。平成 18 年に実施した細島港 (外港地区) 南沖防波堤築造工事のケーソン据付 (8,900 t 2 函) においては、据付に要する作業員数が積算では 36 人に対し、UCIS

を導入した実工事では20人の作業員で据付を行うことができています。

以上より、UCISは技術開発の目標①～④のすべてについて達成していることを確認した。

6. 終わりに

建設産業を取り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。UCISが、

これら課題の解決の一助になればと思っている。

JCMA

《参考文献》

- 1) 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 第06004号 UCIS 財団法人沿岸技術研究センター

【筆者紹介】

眞鍋 匠 (まなべ たくみ)
五洋建設㈱
土木本部機械部



「建設機械施工ハンドブック」改訂3版

近年、環境問題や構造物の品質確保をはじめとする様々な社会的問題、並びにIT技術の進展等を受けて、建設機械と施工法も研究開発・改良改善が重ねられています。また、騒音振動・排出ガス規制、地球温暖化対策など、建設機械施工に関連する政策も大きく変化しています。

今回の改訂では、このような最新の技術情報や関連施策情報を加え、建設機械及び施工技術に係わる幅広い内容を取りまとめました。

「基礎知識編」

1. 概要
2. 土木工学一般
3. 建設機械一般
4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令

「掘削・運搬・基礎工事機械編」

1. トラクタ系機械
2. ショベル系機械
3. 運搬機械
4. 基礎工事機械

「整地・締固め・舗装機械編」

1. モータグレーダ
2. 締固め機械
3. 舗装機械

- A4版/約900ページ
- 定価
- 非会員：6,300円(本体6,000円)
- 会員：5,300円(本体5,048円)
- 特別価格：4,800円(本体4,572円)

【但し特別価格は下記○の場合】

◎学校教材販売

〔学校等教育機関で20冊以上を一括購入申込みされる場合〕

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。
※送料は会員・非会員とも沖縄県以外700円、沖縄県1,050円

※なお送料について、複数又は他の発刊本と同時申込みの場合は別途とさせていただきます。

●発刊 平成18年2月

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 <http://www.jcmanet.or.jp>