

海上工事における無人化・自動化施工技術

野 元 義 一

気象・海象条件が厳しく、波浪や潮位などの影響を受けやすい海上工事では、作業効率の向上と安全性の確保が重要であり、無人化施工や自動化施工技術の確立が望まれている。

本稿では、それらのニーズにこたえ開発した、水中ロボットを使用し無人で捨石マウンドの均し作業を行う「水中捨石均し機」、無人・遠隔操作によってケーソン据付作業を行う「ケーソン無人化据付システム」および自動で改良位置への移動と地盤改良を行う「深層混合処理船」の3つの施工技術について紹介する。
キーワード：自動化，無人化，捨石均し，ケーソン据付，遠隔監視，遠隔操作，地盤改良，深層混合処理

1. はじめに

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・自動化施工技術がすでに実用化されているが、海上工事においては、常に波浪が作用する環境の中での作業であり、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積極的には行われてこなかった。

しかしながら、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。

このため、海上工事においても作業効率を高め、施工品質を確保したうえでの安全で省力化を実現した技術の開発は急務であった。

そこで、水中捨石均し機、ケーソン無人化据付システム、深層混合処理船の無人化・自動化施工技術を開発、実用化した。以下に各技術について述べる。

2. 水中捨石均し機 (SEADOM)

水中捨石均し機（以下均し機）は、ケーソン等の港湾構造物を設置する基礎となる水中の捨石マウンド先端を平滑に均すことができる8脚歩行式の水の中ロボットである。

捨石マウンドの均し作業は人力による潜水作業が一

般的であるが、安全性の向上と作業の効率化のために機械化施工の実用化が望まれていた。均し機は、そのニーズに応え、遠隔操作による無人での水中均し作業を可能とした施工ロボットである。

当均し機においては、豊富な施工および管理実績をもとに、施工性や効率化を追求し、バージョンアップを行いながらSEADOM6号となり、平成23年10月までに、累計360,000 m²の水中捨石均し工事を施工している。

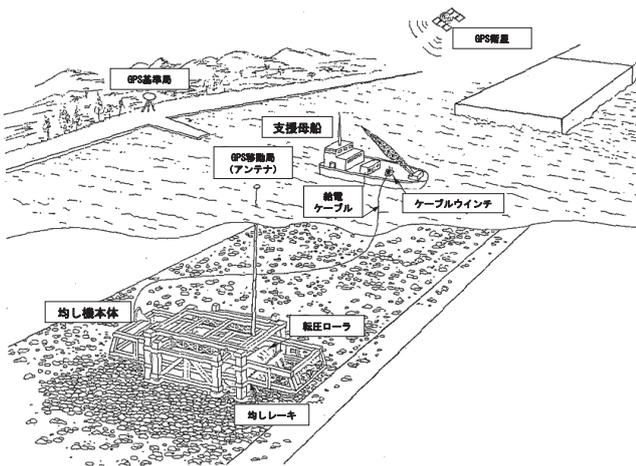
なお、SEADOMは、平成2年に基礎マウンド築造機械として技術評定（旧運輸省：第90102号）を取得している。

(1) 水中捨石均し作業および均し機本体の概要

均し機は、ガット船等で捨石を所定の区域へ投入した後に均し作業を行う8脚歩行式の水の中ロボットである。8脚は、各々4脚づつ本体脚および移動脚より構成され、支援母船上より均し作業に必要なすべての動作が遠隔操作される。

均し時は、水中の均し作業を行う「均し機本体」、揚重機能を有し、均し機を運転・操作する制御室を配置した「支援母船」および陸上に設置されるGPS基準局から構成される。均し機には、GPS移動局（RTK-GPS）を設置し、本体に搭載したジャイロと連動させることにより、高精度な平面位置および深度を管理している。均し作業は、均し機に装備したレーキで捨石を均した後、ローラで転圧を行う。

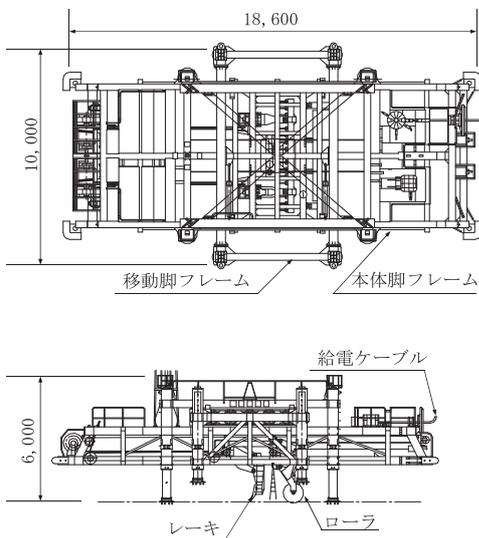
図-1に均し機による施工概念図、写真-1に均し機全景、図-2に均し機本体の概略一般配置図を示す。



図一 均し機による施工概念図



写真一 均し機全景



図二 均し機概略一般配置図

(2) 特長

均し機的主要な特長を以下に示す。

- ①標準均し面積で約 200 (m² / 日) といた大量急速施工が可能
- ②均し作業の操作がすべて海上から遠隔操作できるため安全性が向上 (人力による潜水均し作業が不要)
- ③大水深 (-35 m) における均し作業が可能

- ④レーキによる均し後、ローラによる転圧を行うことにより捨石の規格に応じた均しが可能
- ⑤ RTK-GPS を使用した高精度な位置出しが可能
- ⑥均し精度が± 5 cm と高い
- ⑦作動油に地球環境にやさしい生分解性タイプを使用

(3) 均し機を支える技術

海上の支援母船上より遠隔で操作し、均し機の性能を十分に発揮させるためには、自動歩行等の高度な技術が必要である。当システムを支える技術を以下に述べる。

(a) 自動歩行等高度な制御技術

均し機は、前後および左右への移動、およびレーキやローラの移動・伸縮等の動作用の各種油圧シリンダやウインチ位置や移動量を計測するための最新のセンサが搭載されている。これらの情報をすべて一元管理し、状況に応じて自動歩行や手動運転を実現するための高度な制御技術を搭載している。

また均し機は、高さ調整や水平調整機能等を装備しており、RTK-GPS やジャイロ等のデータを基にリアルタイム表示される画面を注視しながら、精度よく、かつ確実に均し作業を行うことができる。

(b) リアルタイムに捨石面高さを測定する技術

均し機は、転圧用ローラ近傍に左右1台ずつ計2台の超音波を利用した地形測定器を有している。この計測結果はリアルタイムに操作卓に直接表示される。そのためオペレータは、捨石均しの出来形状を把握しながら作業が可能のため、手戻りのない効率的な均し作業が可能となる。

(c) ワンマンコントロール可能な操作卓

遠隔操作を行う操作卓は、均し機の位置や状況を表示する画面や、すべての操作をワンマンコントロールできるボタンやスイッチを備えている。

オペレータは、均し機の状態が一見して判断できる画面を常に注視し、自動/手動運転が容易に行えるス



写真二 操作卓による均し機運転状況

タッチ等を操作することにより、状況に応じた運転を実現している。写真-2に操作卓による運転状況を示す。

(d) 高精度な位置出し技術

均し精度±5cm以内を実現するためには、高精度な平面位置(X,Y方向)とともに深度方向(Z方向)においても、センチメートル単位の位置出し方式が必要となる。均し機は、RTK-GPSとジャイロを組み合わせることにより、高精度な位置出しを可能としている。

3. ケーソン無人化据付システム (UCIS)

ケーソン無人化据付システムとは、ケーソン据付け時にケーソン上から作業員を排し、遠隔操作でケーソンを据付けるためのシステムである。

ケーソンとは、防波堤等の港湾構造物に用いられる大型のコンクリートの構造物である。

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るため、施工における作業効率の向上と、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。また、作業時にケーソン位置決め用ウインチへの巻き込まれやワイヤの破断・波浪による動揺時の海中への転落などに対する安全性の確保が必要とされる。

このため、ケーソン上を無人化し、遠隔から効率良くケーソンを据付けるシステムの開発が望まれていた。ケーソン無人化据付システムはそれらのニーズを実現したシステムである。

(1) システムの概要

ウインチ方式による沖合での大型ケーソン据付工事は、浮上させたケーソン上に複数台の位置決め用ウインチおよび沈設用ポンプを配置し、ウインチの操作によりケーソンを所定の位置に誘導、同時にポンプで隔室内に注水・沈設し、所定の位置に据付ける。従来据付作業には、ケーソン上に10人程度の作業員が搭乗し、各機器の操作およびケーソンの動態監視を行っていた。

ケーソン無人化据付システムは、ケーソン据付け時における作業をシステム化し、無線LANを用いて遠隔地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実現したシステムである。

本システムを使用することにより、ケーソンの位置、傾斜や各隔室の水位測定をリアルタイムに一元管理しながら据付作業を行えるため、作業の高効率化、高精度化を可能とし、ケーソン上から作業員を排することで作業の安全性も確保できる。

図-3にケーソン上の配置機器、操遠隔監視・操作盤を示す。

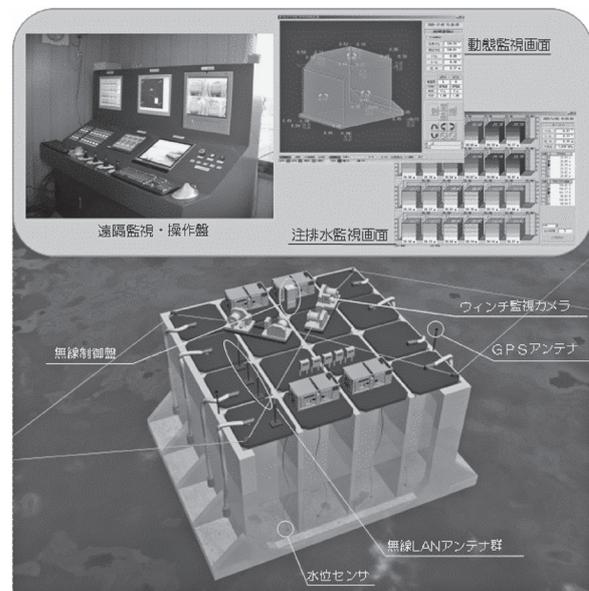


図-3 ケーソン上配置機器と遠隔監視・操作盤

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吃水計、引寄せウインチ、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地から監視・操作する操作盤を設置している。

(2) 特長

本システムの特長を以下に示す。

- ①従来と同等以上の作業効率で据付が可能
- ②据付ケーソン上に作業員を配置せず安全に据付が可能
- ③作業状況のリアルタイムな一元管理により高精度な据付が可能
- ④遠隔監視・操作盤により、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システムは以下の4つの基幹技術により構成されている。

特にケーソン上は無人的となるため、誤作動や異常時の安全対策を十分考慮したシステムとしている。

(a) 遠隔監視技術

ケーソンの位置、傾斜、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地から監視する技術

(b) 遠隔操作技術

ウィンチや注排水ポンプの操作を遠隔で行う遠隔操作技術

(c) 多重安全回路技術

非常停止通信を複線化し、無線 LAN の 1 系統がリンクダウンしても他系統の無線 LAN で緊急停止させる技術

また、ウィンチの遠隔操作には自己保持回路を採用せず、作動信号を連続で送信している。万一、無線 LAN が通信不通になった場合、ウィンチは停止する。

(d) 危険予測・回避技術

システムの異常警報等の危険予測・回避技術

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。

また、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いる。

(4) 施工事例

写真—3 に本システムによるケーソン据付状況、写真—4 に遠隔監視・操作状況を示す。写真—3 よりケーソン上が無人で据付作業が行われていることが確認できる。

現在、本システムを使用したケーソンの据付実績は 20 函以上であり、無事故無災害で作業を完了している。

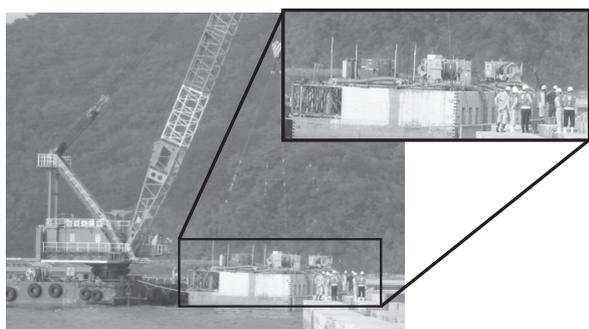
また、過去据付実績の作業効率の向上と作業の安全性から、本システムの有効性と安全性が確認できている。

4. 深層混合処理船の自動化

深層混合処理工法は、改良機を軟弱な地盤に貫入させ、セメント系安定固化剤と土砂が均質になるまで混ぜ合わせ、短時間で高強度の改良地盤を造る工法であり、大規模な港湾プロジェクトや既設港湾構造物の耐震補強で用いられている。ポコム 12 号は、2010 年に建造された最新鋭の深層混合処理船であり、自動操船システムや自動打設システムなどで数々の自動化を図っており、改良機の昇降や本船の移動、スラリープラントの



図—4 深層混合処理船 ポコム 12 号全景



写真—3 据付状況 (全体)



写真—5 操作室



写真—4 遠隔監視・操作状況

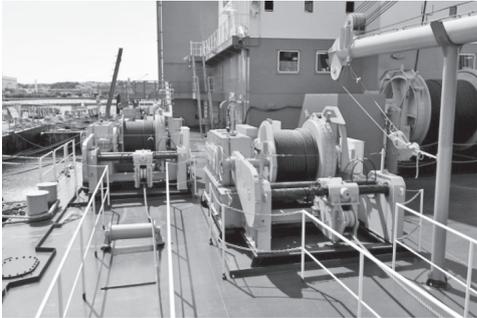


写真—6 機関監視室

運転等，集中コントロールによるワンマン運転が可能となっている。これにより，施工精度の向上や省力化が図られたとともに，乗組員に対する安全性も向上した。

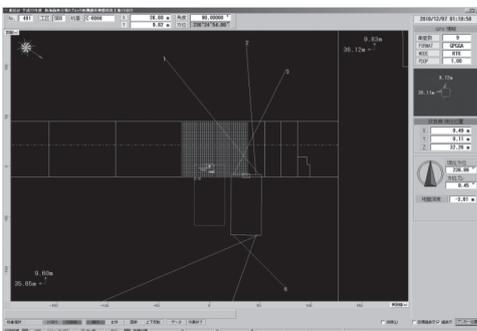
(1) 自動操船システム

推進機を持たない多くの作業船は，周囲にアンカーを打ち，ウィンチの操作で船体の位置決めを行う。



写真一七 操船ウィンチ

自動操船システムは，GPSの位置情報と6台の操船ウィンチが連動し，予め登録されている地盤改良の設計座標に自動で本船を誘導し，位置決めが出来るシステムである。半自動モードでは前後左右のレバーだけで本船の移動も可能であり，従来，6台のウィンチを別々に操作していた場合と比較して，ワイヤーの乱巻を心配することもなく，簡単にかつ安全に本船の移動が可能となっている。ワイヤーの乱巻を防止するには，繰り出される側のワイヤーを常に張っておく必要がある（以下，バックテンション），ハーフブレーキや油圧リリーフで行われることが一般的であるが，本船ではインバータ駆動の電動モータで常にバックテンションをコントロールして安全性を高めたとともに，ワイヤーが繰り出されるときエネルギーを電源回生することで環境面にも貢献している。



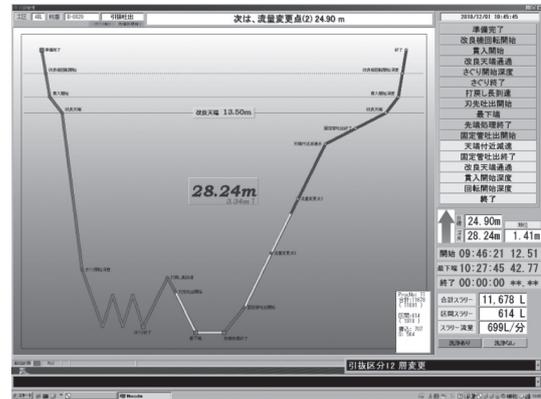
写真一八 船位管理画面

(2) 自動打設システム

自動打設システムは，改良機の貫入から引抜，回転

軸の速度変更，セメント系安定処理剤の吐出といった地盤改良における一連の動作を自動で行うものである。

潮位計，喫水計，傾斜計，改良機の荷重計などのデータを基に，トリムおよびヒールに対応した自動バラストシステム，自動調整型クランプなども連動し，ヒューマンエラーの防止と施工精度の向上に役立っている。



写真一九 打設管理画面

本船ではLANによりネットワーク化されており，打設管理画面や船位管理画面は，操作室以外の事務室，食堂，応接室，休憩室などでも大型ディスプレイで表示している。また無線LANは携帯型IP電話，Webカメラなどにも活用され，施工状況の把握や乗組員間の連絡に役立っている。

5. おわりに

建設工事において，作業の安全性の確保は最重要事項である。

また，海上工事における無人化・自動化の施工技術は，今後さらに必要とされてくると考えられる。これまでの開発・施工実績をもとに現在の技術を進歩させ，安全性や作業効率・品質をさらに向上させ続けたい。

現在，無人化・自動化施工技術が確立されていない工種に関しても開発を推し進め，海上工事全体の安全性と作業効率を高め，少しでも危険の少ない施工方法，作業環境を作り「災害ゼロから危険ゼロへ」を達成するための努力を続けていく所存である。

JCMA

【筆者紹介】

野元 義一 (のもと よしかず)
五洋建設株
土木部門 土木本部 船舶機械部
課長

