

石材投入施工管理システム

— 準天頂衛星「みちびき」による施工精度の向上 —

東洋建設株式会社 土木事業本部 総合技術研究所 鳴尾研究所 酒井 大樹
土木事業本部 機械部 鈴木 匠

近年、沖合海域の大水深下における事業として、水産資源の回復・増大を図ったマウンド礁築造工事が進められている。大水深下では潜水作業ができないため、施工方法は全開式土運船(以下「バージ」)による直接投入となる。そこで、大水深下においてマウンド礁の高精度施工を目的に、投入計画から施工支援、出来形管理までの一連の管理項目に ICT を活用した独自開発のトータル施工管理システムを開発した。さらに昨年度には、バージの位置誘導と出来形計測時の位置管理に準天頂衛星「みちびき」を導入し、システムの高精度化を図った。

1. はじめに

水深 50m ~ 150m の大水深におけるマウンド礁築造工事では、潜水作業ができないため、浅水深で行われている潜水土による石材の均し作業ができない。そのため、写真-1 に示すようにバージによる直接投入のみで出来形管理基準を満足する精度で仕上げなければならない。大水深でのマウンド礁の施工方法は、バージを押し船 1 隻と引き船 2 隻で投入位置に誘導して石材を投入するが(図-1)、この施工方法でマウンド礁を造成するための課題として、投入した石材の海底における堆積形状予測、精度の高い投入計画の作成、石材を投入する際のバージの位置誘導、高精度の出来形形状の計測が挙げられた。これらの一連の作業を効率的に実施するために ICT を活用したトータル施工管理システムの構築に取り組み、改良を重ねてきたが、さらに、昨年度にはバージの位置誘導および出来形計測時の位置管理に準天頂衛星「みちびき」を導入することで従来の石材投入施工管理システムの高精度化を図った。



写真-1 石材投入状況

2. 開発方針

システムの開発にあたり、大水深といった条件下で高精度にマウンド礁を造成するために重要と考えられる開発方針を次の5項目設定した。

- ① バージの船倉寸法、投入する石材のサイズおよび数量、現地の施工水深を入力条件として事前に堆積形状が推定できる。
- ② 複数回の投入予測が可能で、最終計画形状と推定形状が、平面図、断面図で確認できる。
- ③ 推定堆積形状と実績形状との差が生じた際に、堆積形状予測の見直しができる。
- ④ 投入時の潮流の影響を踏まえて石材が所定位置に堆積するよう、現地でバージの投入位置を補正して設定できる。
- ⑤ GPS の補正情報が届かない沖合の海上において、投入位置の正確な位置情報を入手できる。

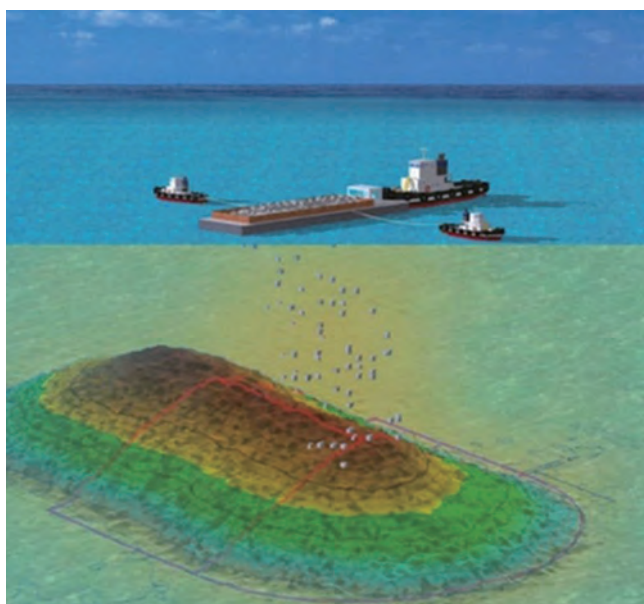


図-1 石材投入のイメージ図

これら5項目は、様々な水深における施工条件でも対応できるように開発を進めた。

3. 施工手順と石材投入施工管理システム

マウンド礁築造工事における石材投入工の施工手順は、図-2に示す通りである。まずは(a)投入位置の設定で、施工現場に入る前の準備としてバージから海中に直接投入する位置を設定しておく。次に、石材をバージに積み込み施工場所まで運搬する(b)。施工現場に到着すると観測船による(c)流況観測を実施し、投入直前の現場海域の流況を把握する。流況観測の結果から潮流の影響を考慮して投入位置を補正し、(d)投入位置決めを行う。そして、バージを投入位置へ誘導し(e)石材投入を行う。石材投入毎に深淺測量を実施し、投入前後の計測結果の差分から(f)堆積形状の計測を行い把握する。

このような施工手順を支援する管理システムとして、図-2の右側に示す4つの機能を構築した。

- ① 堆積形状の推定：バージから直接投入された石材の海底での堆積形状を推定する。
- ② 投入計画の立案：マウンド礁を所定の形状に造成するために投入位置を決定し、投入計画を立案する。
- ③ 堆積位置の推定：潮流の影響による堆積位置の推定機能。
- ④ 推定堆積形状の見直し：石材投入前後の計測結果から堆積形状の実績を比較し、推定堆積形状の見直しを行う。

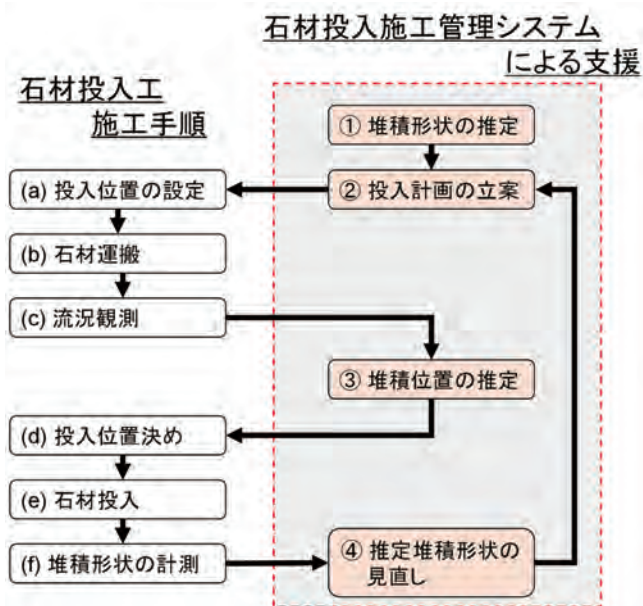


図-2 施工手順および石材投入施工管理システムの全体フロー

4. 管理システム

4-1. 石材の海底での堆積形状予測

捨石等の堆積形状予測には、個別要素法を用いた三次元固液混相流モデル(大阪市立大学と東洋建設による共同研究により開発)による数値シミュレーション手法を採用している(図-3)。本モデルは石材一つひとつを個々の粒子で再現しており、海中に投入した石材同士が衝突しながら海底に堆積するところまでのシミュレーションが可能である。また、実施工ではバージが左右に開きながら積載された石材が海中に投入されるが、本モデルはその点も忠実に再現している。解析の入力条件として、船倉の寸法と船倉の開口幅、石材の大きさ、水深を設定することが可能で、海底まで落下したときの堆積形状を現場に合わせた条件で解析することができる。

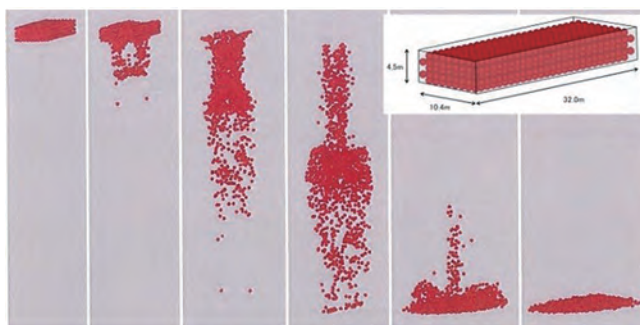


図-3 個別要素法による石材投入シミュレーション

4-2. 投入計画の立案

バージによる石材の直接投入のみでのマウンド礁築造方法は、投入毎に投入位置をずらしながら堆積形状を層状に積み上げ、台形状にマウンドを築造している。この手法による投入計画を効率的に作成するために投入計画作成支援システムを構築した(図-4)。はじめに、個別要素法の解析によって得られた堆積予測形状をモデルとして登録する。投入毎にモデルの投入位置を設定することが可能で、モデルとして登録した堆積予測形状を重ね合わせていくことで出来形形状を予測し、計画平面および断面と比較することで投入位置を決定するものである。

図-5は、投入計画作成支援システムを使用した1投入分の投入計画と施工実績の比較である。図の上段は施工実績、下段は投入計画を示している。左列は投入前、中列は投入後、右列は投入前後の差分をとった堆積形状である。それぞれを比較すると投入計画が投入結果を精度よく再現できていることが確認できる。

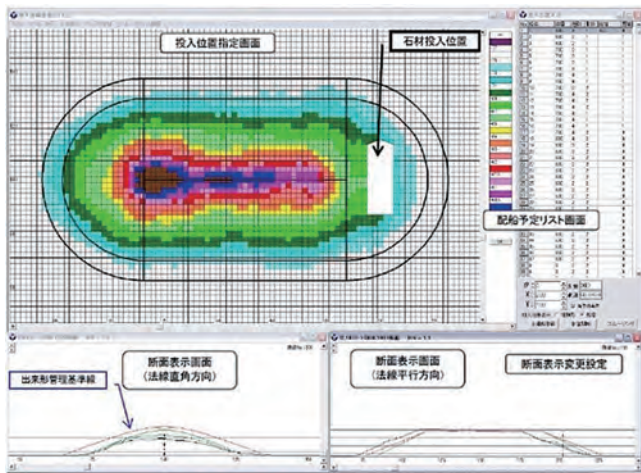


図-4 投入計画作成支援システム

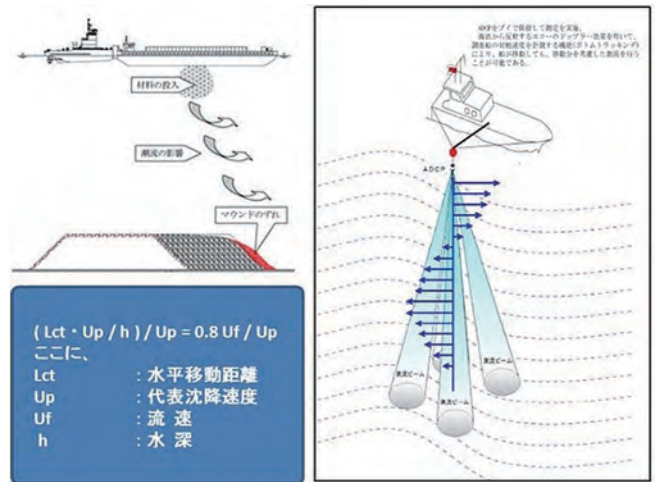


図-6 潮流補正システム

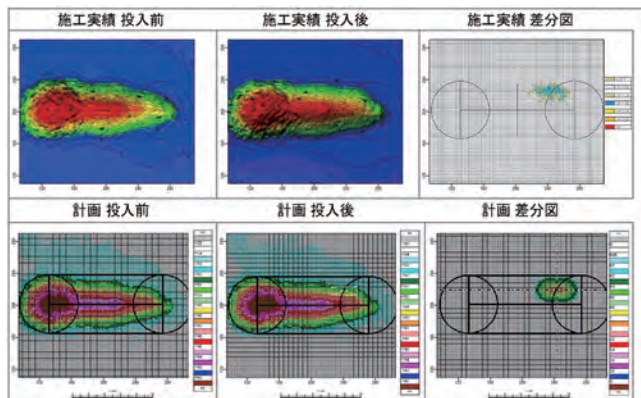


図-5 投入計画と施工実績の比較

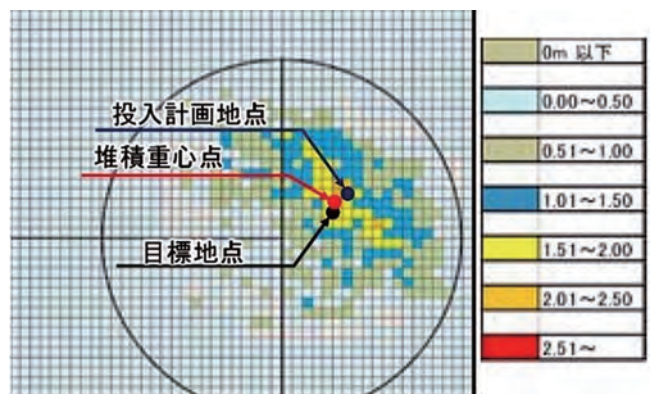


図-7 潮流補正を施した投入結果

4-3. 潮流による石材の投入補正

図-6は潮流補正システムの概要である。バージによる石材の直接投入の直前に観測船を用いて超音波ドップラー流速計(以降「ADCP」)による潮流計測を実施する。ADCPは海面から海底まで鉛直方向に5m毎の流向・流速を計測することが可能である。計測した流向・流速、投入する石材の沈降速度を考慮して計算することで、潮流の影響による投入位置と着底位置のずれを予測し、投入位置を補正する。

図-7は、堆積目標位置である「目標地点」に投入するための潮流の補正を行い、「投入計画地点」から投入した結果である。実堆積位置である「堆積重心点」が、「目標地点」の近くに位置することから、潮流の影響を適切に補正して投入が出来ていることが分かる。

4-4. 出来形の確認

出来形確認にはナローマルチビーム測深機を使用して海底地形の計測を行い、石材投入前後の計測結果の差分から石材の堆積状況と出来形を把握した。また昨年度より、計測時の位置管理に「みちびき」を導入することで計測精度をさらに向上させた本施工管理システ

ムでは、逐次出来形計測結果と計画に用いる堆積予測形状を比較し、堆積予測形状の見直しを図っている。そうすることで、投入実績が増えるに従って堆積予測形状の精度は向上し、見直しを図った堆積予測形状を再度投入計画にフィードバックさせている。

5. 「みちびき」対応受信機による施工精度の向上

5-1. 導入背景

近年造成されるマウンド礁は比較的小規模なケースもあり、比例して高さや底面積も小さくなる。しかし、法面の勾配は変わらないため、法尻の水平許容値が小さくなっている。そのため、投入時のバージ誘導を高精度化する必要性が生じ、従来誘導に使用していたDGNSS(誤差約1m)を、より高精度な測位方式へと変更する必要があった。

近海域で一般に使用される高精度GNSS測位として、RTK測位(精度2cm~5cm程度)が用いられる。しかし沖合においては、RTK測位に必要な補正データが届かないためマウンド礁築造における石材投入には利用できない。そこで、みちびき衛星を用いたセンチメートル級測位補強サービス(以下「CLAS」)に着目した。

5-2. CLAS 測位概要

CLAS 測位方式は、みちびき衛星より直接補正データを受信し、高精度測位(精度±10cm)を実現するものであり(図-8)、以下の特徴を有する。

- ① 基地局の設置が不要
- ② 補正データ取得用の通信設備が不要

これらから、沖合での施工に適すると判断し、施工への導入を試みた。受信機の諸元は表-1のとおりである。

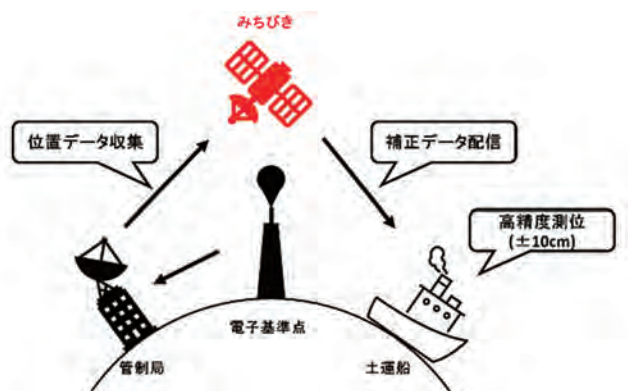


図-8 CLAS測位の概要図

メーカー	マゼランシステムジャパン(株)
型式	MJ-3021-GM4-QZS-EVK
補足衛星	GPS,QZSS(みちびき),GLONASS Galileo,Beidou
サイズ	W130*B90*H42mm
重量	340g

表-1 受信機諸元

5-3. 定点における測位精度確認

CLAS 測位の導入に際し、陸上の定点において精度確認として他測位方式との比較を実施した。その結果、施工で要求される測位精度(±10cm)を満足することを確認した(表-2)。CLAS 測位では、従来の DGNS と比べて X 方向の測位誤差を約 25%、Y 方向では約 22%に小さくでき、大幅な精度向上を確認できた。また、RTK 測位と比べると精度は低い結果となったが、前述したように、沖合での適用性を比較すると CLAS 測位の方が優位であると考えられる。図-9 は、陸上の定点において各測位方式による計測を 1 時間行った結果で、面的な測位誤差を示したものである。この結果から、従来の DGNS より CLAS 測位のほうが面的な測位誤差のバラツキが小さいことがわかる。

5-4. 実施工への導入

実施工においては、受信機アンテナをバージの船首と船尾に艀装し(図-10)、船位および船首角の情報を取得し誘導を行った。

測位モード	測位誤差 (std)	
	X [cm]	Y [cm]
CLAS	6.01	2.83
DGNS	24.22	13.55
RTK	0.77	0.85

表-2 各測位手法の精度

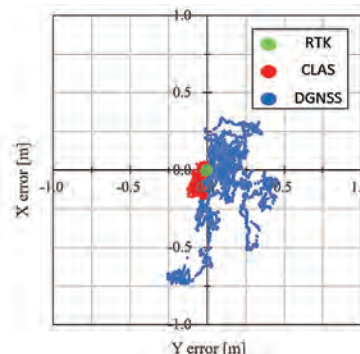


図-9 各測位方式における面的な測位誤差

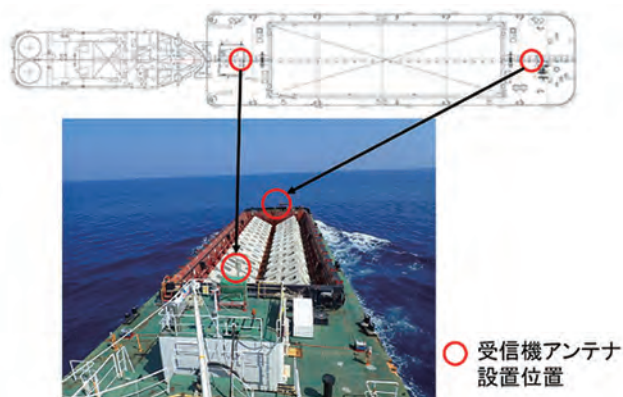


図-10 バージにおける受信機アンテナの設置位置

みちびき衛星の補正情報を利用した CLAS 測位では、陸上から約 30km 沖合における投入作業においても通信が途切れることなく、高精度なバージの誘導を実現できた。投入後の出来形確認においては、事前シミュレーションによる計画形状に非常に近い結果が示され、CLAS 方式によるバージの位置誘導が、高精度なマウンド礁築造に有効であることが確認された。

6. おわりに

2007年に本システムを導入してから2012年頃までシステムを更新し、その後も出来形精度の向上のためにシステムのアップデートを繰り返してきた。また、近年では2018年11月から運用が開始された準天頂衛星「みちびき」を導入することにより更なる出来形精度の向上を遂げている。本システムによる施工実績では、水深75m、100m、150mといった大水深でも良好な成績を収めている。

今後、海上施工では ICT 施工による高効率、高精度化へのニーズが一段と増すことが考えられる。本システムにおいても更なる発展に期待して頂きたい。