

# 港湾工事における基礎材投入施工支援システムの開発

東亜建設工業株式会社

○ 宮本 憲都

## 1. はじめに

港湾の水域施設や係留施設を外洋の厳しい気象・海象条件から防御する防波堤や、岸壁及び物揚場などの係留施設は、港湾施設の中でもっとも基本的なものである。これらの構造物は、本体にケーソン（一般的には鉄筋コンクリート製の中空の函体）を用いたものが多い。ケーソンは通常、海底地盤の上にあらかじめ 10～500kg/個程度の捨石（以下、基礎材）で築造された基礎マウンド上に据付けられる（図-1）。

この基礎マウンドは、

- ① 基礎地盤の不陸を補正して構造物の安定を図る。
- ② 構造物の荷重を分散して均等に地盤に伝える。
- ③ 構造物に作用する波力をマウンド内部と基礎地盤の間の摩擦力で吸収する。
- ④ 波や潮流による構造物底面における地盤の洗堀を防止する。

などの目的で築造されるものである。築造の手順は、基礎材の投入を行ったあと、潜水士や特殊機械により均し作業を行い（図-2）、台形状にマウンドを形成する。

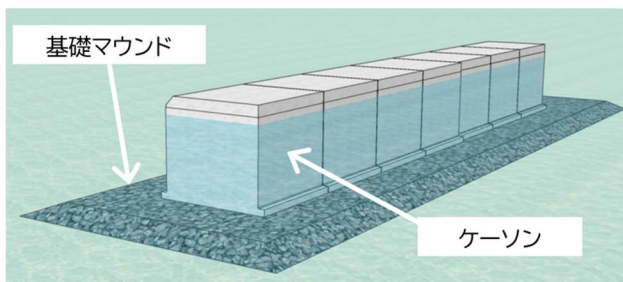


図-1 ケーソンおよび基礎マウンド



図-2 重錘を用いた基礎マウンド均し

基礎材の投入は、グラブバケット付旋回式クレーンを装備し船倉に基礎材を積み込み、現場まで運搬した後、投入を行う「ガット船」（図-3）と呼ばれる作業船を用いている。従来、基礎材を投入する位置は、目印旗を事前に設置し、投入管理者の指示のもと投入を行っており（図-4）、目印旗の設置・撤去には手間がかかるだけでなく、投入位置の指示については投入管理者の勘と経験に頼る部分があり、課題であった。また、基礎材の投入精度は、基礎マウンドの均し作業に影響を及ぼすことから、より正確に投入することが求められていた。更に使用するガット船は、固定することは難しく日々入れ替わることになるため、大掛かりな装置の取付けができないと言う課題もあった。

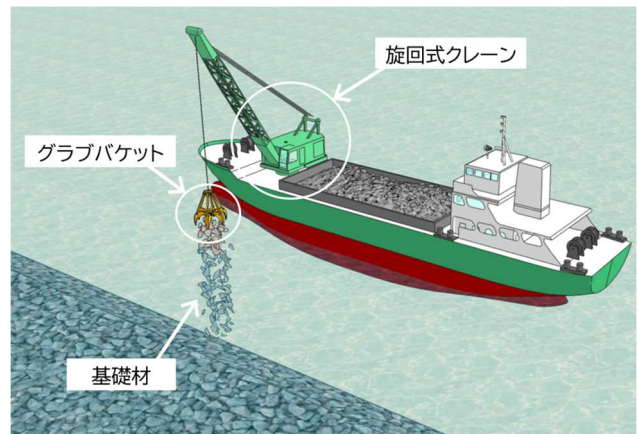


図-3 ガット船

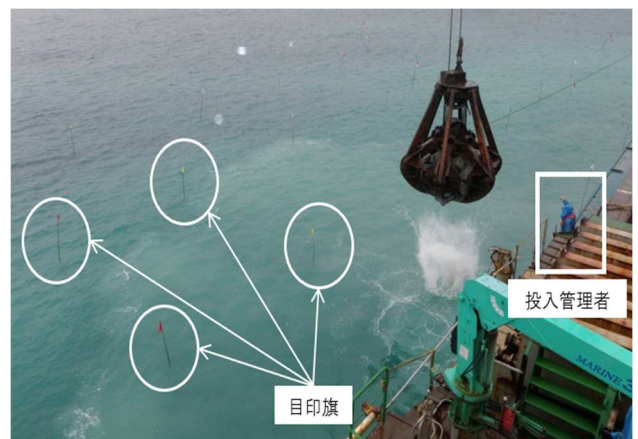


図-4 目印旗を使用した基礎材投入状況

これらの課題を解決するために、クレーンのブーム先端に GNSS アンテナ・受信機・バッテリー・無線通信機が一体となった小型の GNSS ユニット (以下、GNSS ユニット) をマグネットで取り付け、基礎材の投入位置を把握できるシステムを開発した。本システムは、カメラで撮影したグラブバケットの開閉を AI による画像認識技術を用いて検知し、投入履歴として自動で記録する機能を有しており、基礎材投入の更なる効率化が図れるようになった。

本稿では、本システムの概要及び導入効果について述べる。

## 2. 基礎材投入施工支援システムについて

### 2.1 開発概要

一般的にグラブバケットの位置を求めるため、クレーンのブームトップに GNSS アンテナを取付けることが考えられるが、GNSS アンテナとオペレーター室等に設置した機器の数 10m 間を配線する必要があり、その作業に 2 時間ほど要し、入れ替わりが多い (使用する船舶の固定化が難しい) ガット船においては施工サイクルへの影響が大きく、課題であった。また、投入するガット船が入れ替わった場合、どこまで投入しているのか分からないという課題もあった。そこで、納入された基礎材の検収作業 (図-5) に要する 30 分以内にシステム機材設置作業を完了することを目標とし、投入位置及び履歴を画面上に表示することで、投入途中でガット船が入れ替わった場合においても、投入作業の進捗が一目で分かり、効率的かつ精度の高い投入を可能とするシステムの開発を目指した。



図-5 検収作業状況

### 2.2 システム構成

本システムを構成する主要機器は、GNSS ユニット、無線通信距離を延長するための無線中継 BOX、投入位置や進捗等を記憶・表示する PC である。

GNSS ユニットは振動に耐えることができるネオジウム磁石を使用した専用の架台 (図-6) を使用することで、短時間でブーム先端への設置が可能となっている。無線中継 BOX はオペレーター室やブリッジに置かれたシステム PC と見通しのある場所に設置し、GNSS ユニットで取得した位置情報は、内蔵の無線通信機から発信され、無線中継 BOX を介してシステム PC へ伝送される。図-7 に機器配置イメージを示す。

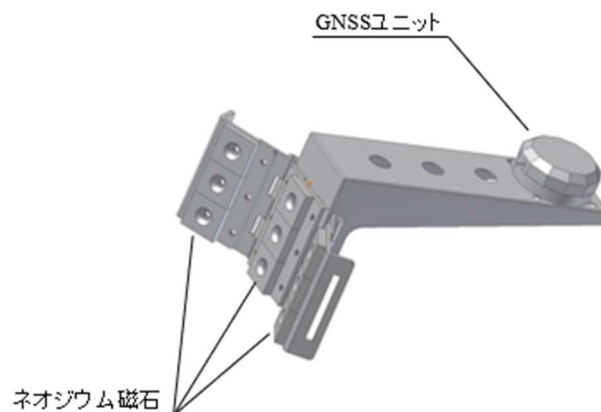


図-6 GNSS ユニット設置架台

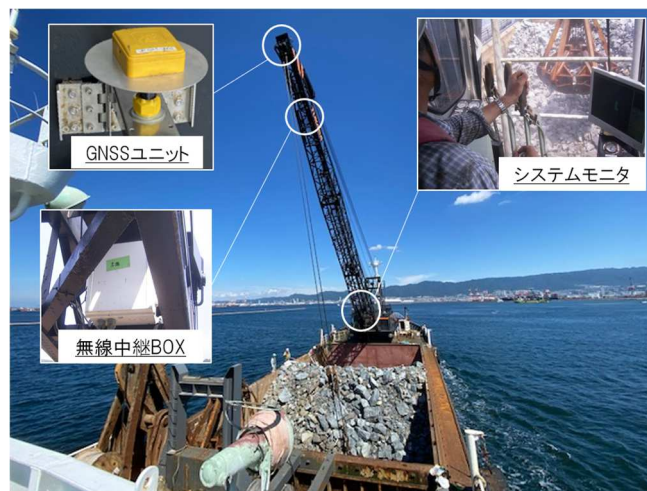


図-7 機器配置イメージ

### 2.3 投入位置管理

本システムの投入管理画面には、グラブバケットの現在位置と日毎の投入履歴が色分けされた状態で表示される。また、海底の 3 次元測量データを取り込み、設計値の差 (不足高さ) をカラーコンタで表示可能である。カラーコンタと投入履歴を比較することで、設計値までの必要投入量 (回数) を判断する目安となり、正確かつ効率的な投入が可能となる。更に、投入履歴から堆積形状を簡易的に予測する堆積形状予測機能も有している。図-8 に投入管理画面、図-9 に堆積形状予測画面を示す。

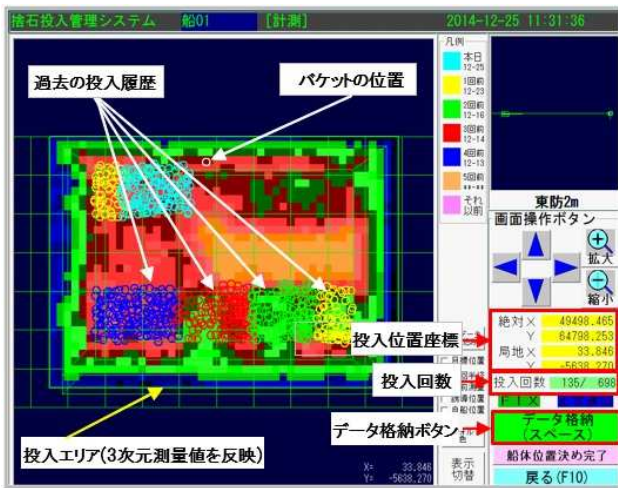


図-8 投入管理画面

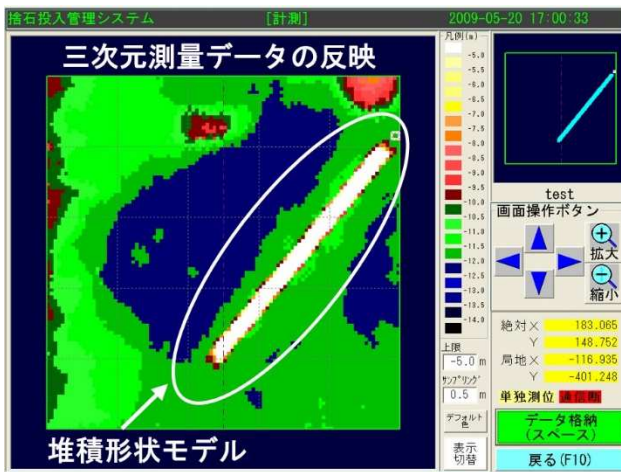


図-9 堆積形状予測画面

## 2.4 施工フロー

一般的な施工フローでは、目印旗の設置作業(数時間程度)が必要であり、また、荒天等により目印旗が流出した場合、再設置が必要となる。本システムを使用した場合、投入管理者および現場職員は施工エリア、投入位置および投入履歴をモニター画面で確認し、ガット船を誘導完了後即座に投入が可能であるため効率的である。図-10 に一般的な施工フローと本システムを使用した場合の施工フロー、図-11 に目印旗なしでの投入状況を示す。

## 2.5 システム機材設置・撤去時間

本システムは開発してから多くの現場で使用しているが、機材設置時間は2人で20分程度であり、基礎材の検収作業中に行っている。また、機材撤去は10分以内で行うことができ、ガット船の係留解除作業中に行っており、これにより施工サイクルに影響を与えず、円滑にシステムを運用できている。

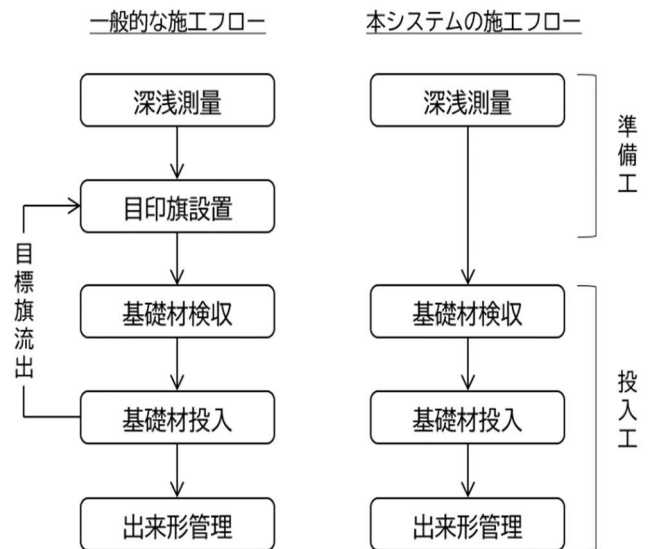


図-10 施工フロー



図-11 目印旗なしでの投入状況

## 2.6 AI グラブバケット開閉検知機能

本システムの開発当初は、現場職員や投入管理者が投入時にシステム PC のキー操作を行うことにより、投入位置の記録を行っていたが、キー操作を忘れて記録できないことがあった。そこで、AI 画像認識技術によってバケットの開閉検知を行い、自動で投入履歴を記録可能とした。AI でグラブバケットを認識させるための教師データには、数種類のバケットと様々な時間帯および天候での映像を用いているので、現在 95%以上の検知が可能である。実用上問題はないが、今後更なる強化学習で検知率を向上させる予定である。

なお、AI での取得したカメラ映像上でグラブバケットの開閉検知を行う範囲を設定可能であり、船倉での開閉は検知せず、投入範囲での開閉のみ検知を行うようになっている。

使用する機材は、従来システムにカメラと AI エ

ンジンを搭載した PC を投入作業が見通せる位置に設置するのみで、全てのシステム機材の設置を30分以内で終わることができる。「基礎材投入施工支援システム」にこの機能を付加することにより、基礎材の投入位置や投入回数の記憶、施工履歴の作成が自動化され、現場施工の更なる生産性向上を図ることができた。図-12に人工知能 AI による投入(開閉)検知状況、図-13に機器配置イメージを示す。

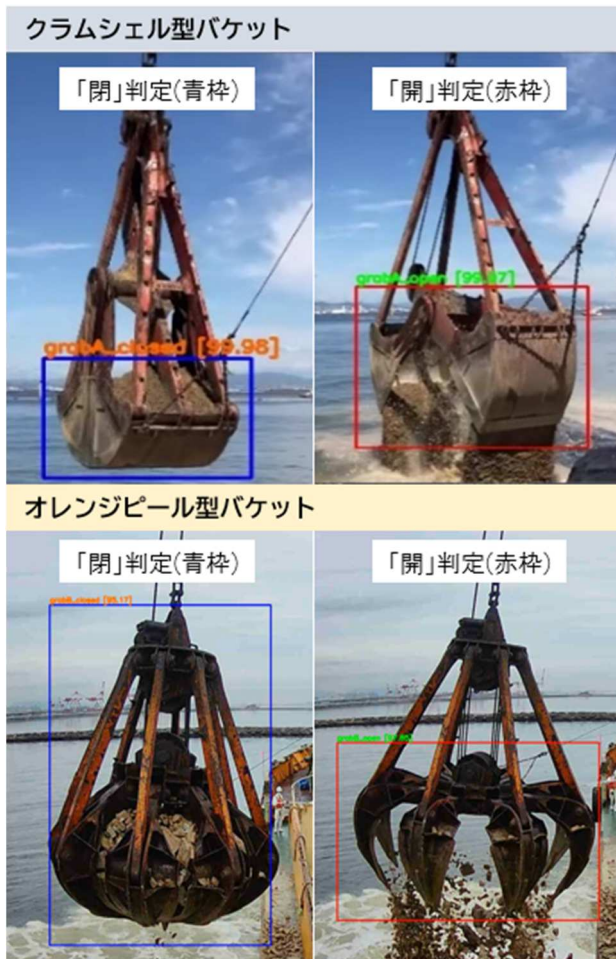


図-12 人工知能 AI による投入(開閉)検知状況

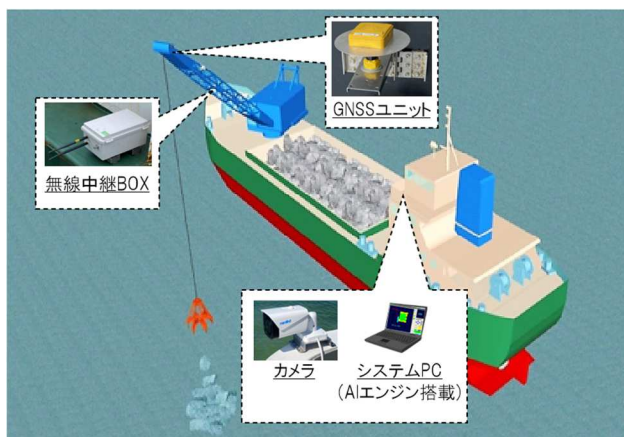


図-13 機器配置イメージ(AI 機能追加版)

### 3. まとめ

本システムの特長を以下に示す。

- 準備作業(目印旗の設置)が不要となり、作業が効率化される。
- 基礎材の投入位置および履歴が表示されるため、効率的かつ高精度に投入することができる。
- 高精度な投入を行うことにより、基礎材の均し作業においても効率化が図れる。
- 基礎材を検収している間にシステム機材の設置ができ、ガット船の係留解除中に撤去が可能であり、施工サイクルに影響しない。
- AI 画像認識技術によるバケットの開閉検知により自動で基礎材の投入位置を記録できる。

### 4. おわりに

当社は 2013 年に基礎材投入施工支援システムを開発し、数多くの現場に導入し、そこでの要望を踏まえ様々な改良を加えてきた。今回、AI 画像認識技術によるグラブバケット開閉検知機能を付加することにより更なる生産性向上を図ることができた。今後も様々な現場へ導入を重ね、現場の生産性向上に寄与すると共に、AI 検知精度向上、クラウド化による工事関係者間のリアルタイムなデータ共有および拡張現実(AR)を活用した投入エリア 3 次元表示などの機能拡充を行い、更なる効率化・省力化がされるシステム構築にも取り組んでいきたいと考えている。