

2. 海上地盤改良工事における施工の自動化および 3D 施工管理システムの導入事例報告

東亜建設工業株式会社

○ 那須野 陽平

1. はじめに

名古屋港金城ふ頭では、我が国の基幹産業である自動車関連産業の国際競争力を維持・強化することを目的とし、施設利用の再編に合わせて水深12mの国際物流ターミナルの整備を進めている(図-1)り。平成29年度から整備が開始された新規岸壁は、災害発生後の緊急物資輸送を担う耐震強化岸壁にも位置付けられており、その性能を確保するため、地盤改良(CDM改良)を伴うハイブリッドケーソン式構造が採用された。



図-1 金城ふ頭地区における整備位置図

当該工事で採用された地盤改良工法である深層混合処理工法(以下、CDM工法)は、軟弱土そのものを現位置で硬化材とともに攪拌混合・固化させ、軟弱地盤を堅固な地盤に改良する工法で、港湾では防波堤、岸壁、護岸などの基礎地盤で適用されている。港湾では、専用の作業船(深層混合処理船=CDM船)による施工が行われており、1サイクル当たりの改良面積(5.47m²)で水面下52mまで改良することができ、陸上の地盤改良工事で用いられる施工機械(改良面積=1.5m²,適用深度=45m)の3倍以上の施工能力を有する。

本稿では、i-Constructionの推進に向けた取り組みとして、東亜建設工業(株)が保有する深層混合処理船「黄鶴」(写真-1,表-1)による海上地盤改良工事で実施した

- ① 施工の自動化による省人化,品質安定化および担い手育成・早期自立の実現
- ② リアルタイム3D施工管理システム導入による施工の見える化と受発注者間の情報共有
- ③ 帳票・BIM/CIMモデルの自動作成による業務効率化

について報告する。



写真-1 深層混合処理船「黄鶴」

表-1 「黄鶴」船体諸元

船体主要寸法	長さ [m]	70.0
	幅 [m]	32.0
	深さ [m]	4.5
	喫水 [m]	2.65
処 理 機	改良面積 [m ²]	5.47
	改良深さ(水面下) [m]	52.0
	処理能力 [m ³ /h]	90以上
	処理機位置	船首
	処理機重量 [t]	275
	トルク [kgm]	7,500
	排水トン数 [t]	5,700
	檣高さ [m]	61.0

2. 工事概要

本工事は、名古屋港金城ふ頭において輸送の効率化、大型船への対応、大規模地震発生時の物流機能の維持に対応するために行う、ふ頭再編改良事業による耐震強化岸壁整備に伴う海上地盤改良工である。工事概要と工事内容及び数量は、以下のとおりである（表-2、3）。

表-2 工事概要

工事名	令和元年度名古屋港金城ふ頭岸壁（-12m）地盤改良工事
発注者	国土交通省中部地方整備局
受注者	東亜・大本特定建設工事共同企業体
工期	令和元年9月13日 ～ 令和2年3月27日
施工場所	愛知県名古屋市港区金城ふ頭地先

表-3 工事内容及び数量（実施）

工事名称	規格	数量	単位	参考数量
海上地盤改良工 固化工				4軸φ1,400
深層混合処理杭 1工区（壁式）	長杭	323	本	改良土量 35,932m ³
	短杭	152	本	改良土量 4,221m ³
深層混合処理杭 2工区（壁式）	長杭	19	本	改良土量 1,988m ³

3. 施工上の課題と解決のための取り組み内容

3.1 施工の自動化

近年、建設業就業者の高齢化と若年入職者の減少による、次世代への技術継承が課題となっている。港湾工事で使用する作業船においても、熟練技術者が減少しているという事実を鑑み、少人数でも施工が行える環境の構築が必要であった。ここでは、深層混合処理船を対象とした「セメントスラリーの製造」、「処理機の引抜速度（改良速度）や翼回転数の調整」、「施工データの記録」、「作業負荷に応じて運転する発電機台数の増減」など、オペレータのノウハウをプログラム化し、これらの作業を自動化すると共に、省人化や品質の安定化、担い手の育成と早期自立を実現した。具体的な取り組み内容は、以下のとおりである。

- ① 支持層に着底すると、改良深度（改良長）に合わせてセメントスラリー（硬化材）の製造量を自動で計算し、製造・注入。

- ② 処理機の引抜速度や翼回転数の調整、施工データの記録を施工フローに従い、自動で実施（図-2）。
- ③ 地盤の拘束力の違いによる作業負荷に応じて、運転する発電機台数を自動で増減できる発電機自動発停機能を開発・導入（図-3）。
- ④ 船内機器の作動状況や作業状況を一元管理するため、WEBカメラを32台設置（写真-2）。



図-2 施工状況監視モニター表示例



図-3 発電機自動発停装置表示例



写真-2 Webカメラによる設備監視画面モニター

3.2 ネットワーク化されたリアルタイム 3D 施工管理システムの導入^{2), 3)}

港湾工事におけるCDM 工法は、作業船位置誘導システム、スラリープラント制御機器、施工管理機器や計器類をオペレータが監視しながら運用しているが、遠隔地で工事関係者が施工状況・進捗などの情報をリアルタイムに共有したいというニーズがあった。そこで、水中及び海底地盤中といった不可視部分の見える化に焦点を当てた「リアルタイム3D施工管理システム」(図-4)を開発し、以下に示す項目の実現を図った。

- ① 設計データを基に作成した改良体(杭)の3Dモデルに、作業船から得られる施工情報(施工時間や打設管理データなど)を取込み、不可視部分をリアルタイムに3D描画して可視化した。
- ② これらの情報を、ネットワークを介して複数拠点(発注者、現場事務所、本支店等)で同時に閲覧可能とした(図-5)。

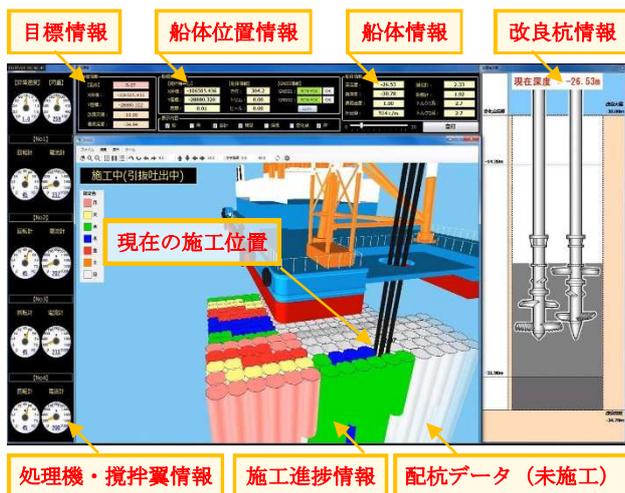


図-4 リアルタイム3D施工管理システム画面例

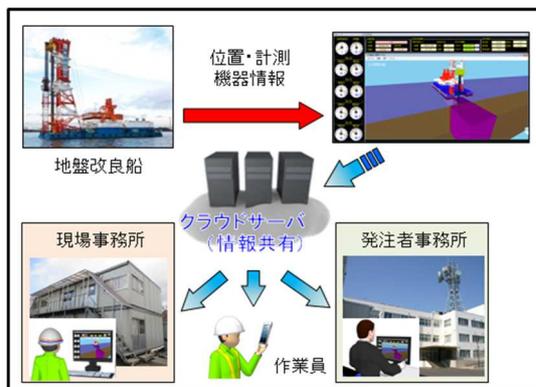


図-5 見える化による施工管理情報の共有イメージ

3.3 帳票やBIM/CIMモデル自動出力機能の導入²⁾

これまで、出来形管理帳票を作成するためには、

打設日報と施工データから転記する方法を採用していたが、転記ミスなどのヒューマンエラーが発生する可能性もあり、作業効率や確実性の面で課題があった。そこで、書類作成等の業務の効率化を目指し、以下に示す項目の実現を図った。

- ① BIM/CIMモデルで、各々の改良杭の打設位置、杭出来形、スラリー量、着底時トルク・荷重などの施工データを、属性情報として確認・活用できるようにした(図-6)。
- ② 出来形管理帳票や、改良体のBIM/CIMモデルの自動出力機能を開発・導入した(図-7)。

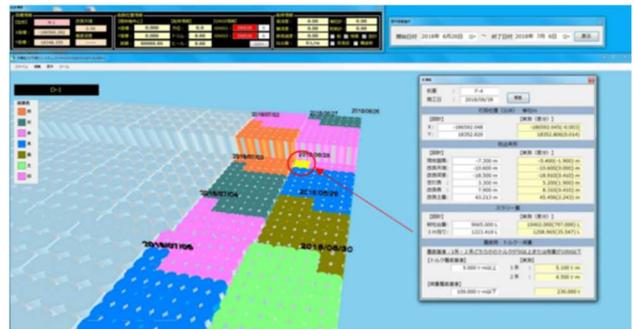


図-6 属性情報の表示イメージ

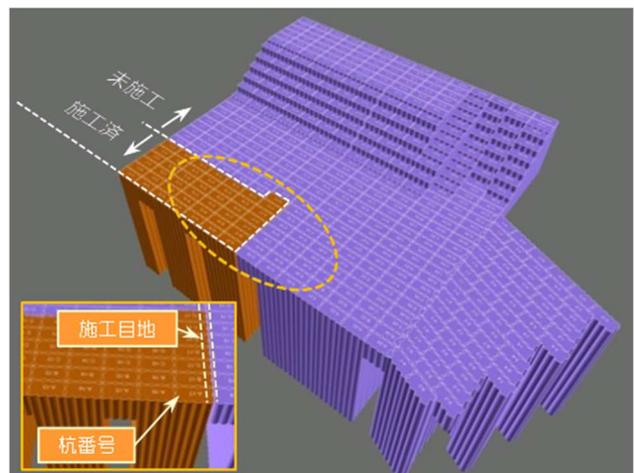


図-7 BIM/CIMモデルイメージ

4. 本取り組みの成果

4.1 施工の自動化

1982年に建造したCDM船「デコム7号」では、他社に先駆けて60%程度の施工の自動化を行ってきたが、2010年に建造した「黄鶴」では、オペレータのノウハウをプログラミングしたことにより、セメントスラリーの製造及び改良作業の完全自動化を実現。これにより、以下の成果が得られた。

- ① オペレータのノウハウをプログラミング化し、施工の自動化を進めたことにより、3名体制から2名体制にできた(33%の省人化)。

- ② 操作にオペレータが介在しないため、品質のばらつきが無くなり、品質の安定化を実現した。
- ③ 施工の自動化に伴い、オペレータは運転操作に気を取られることなく、施工のポイントを習得できるため、技能習熟期間が従来5年以上必要だったものが、2年程に短縮した。
- ④ WEBカメラによる操作室からの一元管理により、監視業務省力化、安全性向上、トラブル等の早急対応に繋がった。
- ⑤ 発電機自動発停機能の開発・導入により、機関部員の作業負担軽減とエネルギーの効率化（5～15%）を実現した。

作業船の乗組員は、陸上の一般作業員とは異なり、特殊な施工機械のオペレートを行う必要がある。また、海の法律の知識や海域ごとの海象・気象情報、海底形状など、多くの知見が必要なため、誰もがすぐになれるものではない。施工の自動化は、省人化や習熟期間の短縮など、担い手不足対策として、今後ますます必要となる技術である。

4.2 ネットワーク化されたリアルタイム 3D 施工管理システムの導入

ネットワーク化されたリアルタイム 3D 施工支援システムは、ICT 活用工事の工種拡大に先駆けた取り組みとして、港湾の地盤改良工において業界で初めて開発・導入した。本システムの導入により、以下の成果が得られた。

- ① 水中や海底地盤中の不可視部分の状況をリアルタイムに3次元で確認可能になった。
- ② 複数拠点での同時閲覧により、受発注者間の連携が強化され、施工の確実性が向上すると共に、打ち合わせ回数の削減や移動時間の削減につながるなど、省力化を図ることができた。
- ③ トラブル発生時、複数拠点において状況把握が可能となり、復旧体制を早期に整えることができる。

この取り組みは、現場の施工状況や材料の立会確認に適用することで、遠隔臨場が可能となり、大幅な監督・検査の省力化が図れ、広く波及するものと考えている。

4.3 帳票やBIM/CIMモデルの自動出力機能の導入

帳票や BIM/CIM モデルの自動出力機能の導入により、以下の成果が得られた。

- ① 帳票作成時のデータ転記ミスがなくなった。
- ② 施工管理や書類作成等の時間を約 80%削減することができた。

帳票や BIM/CIM モデルの自動出力機能は、ネットワーク化されたリアルタイム 3D 施工支援システムを含め、今後、海上地盤改良工の ICT 活用工事における電子納品データとして、直接活用できるようになるものと考えている。

5. おわりに

現在、インフラ分野の DX の推進が図られている中、当該工事を通じて実施したこれらの取り組みは先進性に富み、作業船による他の地盤改良工法や浚渫工事にも応用が可能である。施工の自動化は、省人化や習熟期間の短縮など、担い手不足対策として必要不可欠な取り組みである。また、「作業船 3D 施工管理システム」の活用は、海上地盤改良工事において水中および海底地盤中といった不可視部分における地盤改良状況の確認に加え、現場事務所や発注者事務所などの遠隔地においても施工の進捗確認が可能で、遠隔臨場のための有効なツールにもなりうる。熟練技術者が減少して人手不足が深刻化していく中、本技術の導入により、管理精度や作業効率の向上が図れるため、生産性向上に寄与できる。

本取り組みを通じて得られた成果に基づき、更なる生産性向上を推進するため、以下の取り組みを進めている。

- ① 攪拌翼等に付着した泥の洗浄作業の AI による自動化により翼洗浄要員の削減
- ② スラリープラント洗浄作業の自動化
- ③ 属性情報を付与した BIM/CIM モデルの活用による、後続工事での施工検討や維持管理等での活用
- ④ 作業日報や完成書類の自動作成機能の付加

施工の自動化や効率化を図る取り組みは、CDM 船のみにとどまらず、その他の作業船においても推進していくことが望ましい。少人数でも安全な施工が実現できるよう、港湾工事全体の生産性向上を目指し、今後も更なる技術開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：名古屋ふ頭再編改良事業、
<https://www.mlit.go.jp/common/001082489.pdf>
- 2) 若松宏知・那須野陽平・田中孝行・藤山映：海上地盤改良工事におけるBIM/CIMを活用した取組事例の紹介、土木建設技術発表会 2019.
- 3) 久米由起・東方真次：CDM船の施工生産性の評価と今後の開発の方向性、令和元年度 中部地方整備局管内事業研究発表会、2019.