

2020 年度港湾技術報告会を開催 「生産性向上」テーマに事例紹介

日本埋立浚渫協会は2020年度の「港湾技術報告会」を、9月25日に東京都千代田区のホテルルポール麹町で開催しました。報告会は、港湾建設技術に関する最新動向の紹介や会員各社の研究活動の成果報告などを通じて技術力の向上を図ることを目的に毎年度開いています。例年は200人ほどの参加者が会場に集まりますが、今回は新型コロナウイルスの感染拡大防止に配慮して会場の参加者を40人ほどに絞った上で、ウェブ配信を行って多くの人に報告を視聴してもらいました。

冒頭、当協会の福田功副会長・専務理事は「建設業界の当面の課題は週休2日の確保を柱とする働き方改革と生産性の向上であり、これに絞っているいろいろな取り組みが行われている。働き方改革については新・担い手3法を踏まえて国土交通省がスキームを構築し、大きな山が動きだした。生産性向上についてはICTの導入やプレキャスト化の動きが進んでおり、そこに焦点を当てて最新の技術にチャレンジすることを期待している」とあいさつしました。

その後、会員企業の担当者が生産性向上に関する取り組み6件と工事の事例3件の報告を行い、参加者と質疑を交わしました。



ウェブ配信も行われた港湾技術報告会

地盤改良工事における 「見える化」の試み ～ Gi-CIM ～

五洋建設株式会社
土木部門 土木本部 土木設計部

堤 彩人



2023年度までに小規模を除くすべての公共工事でBIM/CIMを原則化する方針が発表され、施工現場においてもBIM/CIM活用の環境整備が急務となっています。このような背景から、五洋建設では、様々なBIM/CIM関連技術の開発に取り組んでいますが、今回は地盤改良工事の施工支援をターゲットに開発したシステムGi-CIM(Ground Improvement Construction Information Modeling)について紹介します。

地盤改良工事は、地中が施工対象となるため、埋設物損傷リスク、改良地盤の不均質性リスク等の「見えない」ことに起因する多数のリスクを内包しています。いずれのリスクも地中を「見える化」することで回避で

きますので、情報可視化技術であるBIM/CIMは、地盤改良工事と親和性が高く、工事の安全性と品質の向上に資する技術になり得る、と考えたことがGi-CIM着想の原点です。Gi-CIMは、①様々な地盤改良工種に適用可能、②属性情報に加え3D形状もExcelでモデル化可能、③施工情報に基づき地盤改良出来形の位置と大きさを忠実にモデル化可能、④事後調査の情報も3Dモデルに統合可能、という施工管理に有用な4つの特徴を有しています。

これまでに、浸透固化処理工、サンドコンパクションパイル工、深層混合処理工等、合計10件の工事にGi-CIMを適用してきました。いずれの工事においても専門の技術者に頼ることなく、日常業務の一環としてBIM/CIMによる施工管理を実現しています。また、市街地における地盤改良工事では、削孔シミュレーションを実施することで削孔ラインの埋設物損傷リスクを施工前に評価し、3Dモデルを用いた削孔ラインの修正や作業員へのリスク周知を行うことで、安全性の向上にも貢献しています。

今後も施工管理の高度化に資する機能を実装すべく、Gi-CIMの高度化に取り組んでいく計画です。

港湾構造物の据付誘導システム (函ナビ-VR)

東洋建設株式会社
土木事業本部 土木技術部

加藤 直幸



三次元データを活用して水中部の不可視部分を可視化し、VR空間上で施工管理できるシステムとして、新たな港湾構造物誘導システム(函ナビ-VR)を開発し、現場に導入しました。このシス

テムは、ケーソン据付時に目標位置まで誘導する機能から始まり、注水状況を可視化し注水ポンプの自動運転をさせる自動注水システム化、引き寄せウインチ操作の自動化による据付・着底の自動化と改良を重ねてきました。

函ナビ-VRでは、施工区域のVR空間を構築し、対象構造物等をこのVR空間に表示させて施工を管理するものです。海底地形はナローマルチビーム測量、周辺構造物や陸地の形状はドローンによる写真測量や

レーザスキャナ測量で得た点群データで、対象となる構造物は三次元図形としてVR空間に取り込みます。据付時には自動追尾型トータルステーションで構造物の三次元位置、姿勢を計測し、リアルタイムにその位置、姿勢をVR空間に表示させながら、あらゆる視点から確認・監視しながら施工を進めます。

このシステムを、岩手県大船渡漁港に国内初の実用機として採用されたフラップゲート式水門の設置工事に適用しました。フラップゲートは、先行して打設された4本の設置ガイド杭と水中部の基礎杭54本をフラップゲート底部に設置された鞘管に収めることで設置するもので、1,600t吊の全旋回起重機船により吊り上げられた函体をガイド杭に差し込み下ろしていきます。基礎杭をフラップゲート底版の鞘管に差し込む時点で、全ての杭と鞘管の位置関係をVR空間で確認しながら、杭と鞘管が接触しないように吊り状況を調整し、接触の危険がないことを確認してから降下させ、無事に函体を着底させることができました。

今後は、各種作業船の施工管理システム等と函ナビ-VRを統合し、大規模な港湾事業において全ての作業の一元的な可視化を図り、作業船や作業員の安全管理や進捗管理を行うシステムへ発展させる予定です。

航行支援システム『ARナビ』

東亜建設工業株式会社
土木事業本部 機電部 電気グループ

岡山 健次



港湾工事では、工事を円滑かつ安全に施工するため、工事用船舶の運航状況や一般船舶の動静を把握することが重要です。当社が2003年に開発した船舶運航監視システム「COS-NET」は、位置情報発信端末、AIS(自動船舶識別装置)、船舶レーダー等

等を利用し、工事船舶や一般航行船舶の動静情報を監視するシステムであり、これまで、関西空港や羽田空港などの多数の船舶が就役する大規模工事に導入されてきた実績があります。近年では港湾工事における安全対策として数多く採用されており、施工上必要不可欠なツールとなっています。昨年、更に船舶航行時の安全性向上のため、拡張現実(Augmented Reality: AR)の技術を応用して船舶航行(車両運行)時のカメ

ラ画像に航路や進行方向、危険区域、AIS情報等を仮想的に表示する「ARナビ」を開発しました。

ARナビは船舶および車両の操船者(運転手)に対して、高性能カメラで撮影した映像上に航行(運行)経路や危険エリアを拡張現実(AR)として表示し、視覚情報と音声情報で分かり易くナビゲーションするシステムです。これにより進入禁止エリアへの接近、進入や航行経路の間違いを早期に認識できるため、安全性の向上が期待されます。「ARナビ」の最大の特徴は標識のない海上の映像に航路や進路・危険箇所等を表示することで見える化を図り、視覚的に分かり易いシステムとなっていることです。また、海上工事だけではなく、陸上工事や安全な道路が限られた災害復旧工事にも展開可能であり、ダンプトラック等に「ARナビ」を搭載することによって、日々変化する現場の通行ルールを運転手に分かり易く提供することができます。ARナビの導入効果が高い現場として「一般船舶の往来が多い海域の現場」、「航行距離が長く、注意箇所が多い現場」、「工事の進捗に伴い日々通路等が変化する現場」等が挙げられます。

今後、港湾工事を中心に様々な現場に本システムを導入し、検証を重ねていくことで、機能拡張を図っていく予定です。

無線式多点温度計測システムによる高圧噴射攪拌工法の造成出来形の見える化

若築建設株式会社
技術研究所 土質・地盤改良グループ

水野 健太



岸壁や護岸の耐震補強対策として、高圧噴射攪拌工法を採用するケースが多く、造成出来形を施工の初期段階で確認し、本施工へ移行することが求められます。造成出来形、すなわち改良径の確認はセメント固化処理土

が硬化した後に、オールコアボーリングで確認する方法が一般的ですが、その間は施工を一時中断することが課題でした。そこで、造成出来形の見える化手段として、「無線式多点温度計測システム」を開発しました。本システムの特徴を列挙します。

- ①高圧噴射攪拌工法の造成径確認で実績の多い熱検知センサー(熱電対)を使用。
- ②深度方向に最大10点程度の測点を設置可能な測定管方式を採用。
- ③データ集積装置のチャンネル数は64個であり、測定管1本あたりの測点が10点であれば、6本を同時

にモニタリングすることが可能。

- ④計測データの伝送は無線化し、遠隔操作による計測制御・モニタリングが可能。
- ⑤全ての計測機器は耐環境仕様とし、堅牢性の高い測定管を独自開発。

熱検知センサーによる高圧噴射攪拌工法の出来形確認においては、ジェット噴流の到達とセメント硬化時の水和反応熱をそれぞれ確実に検知する運用ノウハウが重要となります。そこで、以下に示す3ステージ計測と呼ぶ運用方法を実践しています。

- ・ステージ1(初期値計測)：地中温度は一般的に15℃前後とされていますが、地下水や既設改良の影響もあるため、初期値を把握することが重要となる。
- ・ステージ2(造成中計測)：造成中の瞬時温度変化をモニタリングします。ジェット噴流の到達は初期値とセメントミルク液温の差が大きいほど、検知しやすい傾向があります。
- ・ステージ3(造成後計測)：セメント硬化時の水和反応によって、地中温度は造成直後から上昇し、概ね24時間でピークに達します。

本システムを現場運用した結果、損傷した熱電対は全82測点中1測点(試験杭5か所、測定管10本)のみで、ほぼ全ての測定箇所連続モニタリングが可能であり、システムの堅牢性が証明されました。試験施工翌日には所定の改良径で造成されていると判断することができ、施工の中断期間を設けず本施工へ移行することができました。

グラブ浚渫船のICT施工を支援する「3D 浚渫管理システム」

あおみ建設株式会社
土木本部 技術開発部

吉原 到



平成28年度より国土交通省にてICT施工の取り組みが開始され、翌年度には初のICT浚渫工が発注されました。当社ではICTによる浚渫工事に対応するため「3D 浚渫管理システム」を開発し、平成

30年度に、当該対象工事において実用化しました。

浚渫工事におけるICT施工の要求事項としては、①起工測量をマルチビーム測深システムによる測量を行うこと、②3次元設計データを作成し、そのデータから3次元数量計算を行うこと、③ICTを活用して施工すること、④施工後はマルチビーム水深測量し3次元出来形管理を行うこと、⑤3次元施工管理データを工事完成図書として納品すること、などがあります。

現在のグラブ浚渫船は、いくつかの浚渫を支援する

システムが搭載されているものの、扱う地盤データは2次元で、起工測量データを取り込む機能のないものがほとんどでした。

そこで、従来の浚渫システムにない①浚渫箇所の現況深度を3Dで表示する機能、②起工測量により得られた3次元データを取り込める機能、③グラブ浚渫船のバケットの位置をリアルタイムに可視化する機能、④浚渫作業の進捗に応じて、起工測量で取得した地盤高さから浚渫した地盤高さに置き換わる機能、を有するシステムを開発しました。

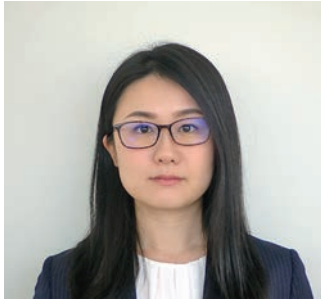
さらに、業務の効率化を図る⑤土量計算する機能、⑥進捗図を作成する機能、⑦システムを事務所などで遠隔監視できる機能を追加しました。

「3D 浚渫管理システム」を導入することで、掘り残しの防止による作業の効率化、進捗図作成や土量計算にかかる職員の作業時間の削減など、浚渫工事の生産性向上を図ることができました。また、通信機能を活用し、現場事務所からも現場の施工状況をリアルタイムに確認することで、工程・出来形・一時退避等の施工管理の確実性が向上しました。今後もさらに改善を図り、施工の効率化と確実性及び労働生産性の向上を図っていきます。

水中可視化と3Dモデルの導入による消波ブロック据付の生産性向上について

株式会社本間組
土木事業本部 技術部 技術開発研究室

鈴木 敦子



消波ブロック据付作業では、ブロックの据付姿勢の調整に時間がかかることや気象海象等の条件により据付作業の可否が影響されることから、現場では限られた工程で効率の良い施工が求められます。

従来の施工では、クレーンオペレータが水中部の状況を視覚的に把握できず、安全面や施工状況を確認する上で課題となっています。このような背景から、水中部の把握と据付作業の効率化が重要であると考え、自動追尾型リアルタイム3Dソナー(Coda Octopus社製)と水中用吊荷方向制御装置アクアジャスターを併用した消波ブロックの据付方法を検討しました。

自動追尾型リアルタイム3Dソナーを適用することで、施工中の水中の状況をリアルタイムに可視化し、さらに3Dソナー画像に設計3Dモデルを重ねて表示

することで出来形を確認しながらの据付を可能としました。当システムは吊荷を自動追尾する機能と吊荷及び潜水士の位置にマーカーを表示する機能を備え、視認性と安全性を向上させた仕様となっています。

また、アクアジャスターは遠隔操作で消波ブロックを自在に回転・停止させ、据付姿勢の調整時間の短縮が図られます。

これらのシステムを山形県酒田港の防波堤築造工事において適用し、大雨の影響で濁りが発生して潜水作業が行えない状況でも、潜水作業を伴わずに水中部の消波ブロック据付作業が実施できました。

システムの活用効果として、①3Dソナーはリアルタイムに水中の状況を視覚的に把握可能で、濁りに影響されることなく水中部でも気中部と同様に施工できること、②設計3Dモデルを重ねて表示し、出来形と対比しながら据付作業を進められること、③アクアジャスターの使用によりブロックの噛み合わせ調整時間が短縮されることが挙げられます。

今回、水中可視化技術が生産性向上につながることを実証できました。今後は現場での当技術の活用事例を積み重ね、そこで明らかになった課題を社内で共有しながら、さらなる生産性の向上、施工の効率化に繋げていきたいと考えています。

東京港海の森トンネル工事報告

五洋建設株式会社
土木本部

羽田 宏



東京港海の森トンネルは、東京港の中央防波堤地区と臨海副都心を接続する往復4車線の海底トンネルです。2016年4月に本格着工して、わずか4年2カ月後の2020年6月20日に開通しました。本

トンネルの海底部は沈埋函7函から成る沈埋トンネルであり、私が担当した工事は最終沈埋函(キーエレメント)を含む3函の製作・築造工とそれに付随する、設備工、電気室棟の建築工でした。4工区に分けて発注された沈埋トンネル区間の「最終ランナー」になります。

工事の特徴として二つの項目を紹介します。第一はキーエレメントと呼ばれる6号函(最終函)の沈設です。この工法は、最終函を両端面が傾斜した盃型の形状にして、5号函と7号函の間に挿入して接合させま

す。誤差を吸収するために伸縮性の継手を用いますが、その吸収能力は限りがあり、約130mの沈埋函7函を函面どおりに施工すると、製作と沈設の誤差により、接合できなくなります。これを解決するために、各工区の沈埋函の製作・据付の出来形を速やかに情報共有して、測量とシミュレーションを繰り返しました。その結果、6号函を製作途中で約200mm延長することで、2019年7月に無事に沈設接合してトンネル部が貫通しました。

第二は工期短縮とその要因についてです。同規模の沈埋トンネルの建設期間が8～10年に対して、その半分である4年で完成しています。まずは大ロットで発注されたため、工区間の調整が比較的容易になりました。次に、発注者・受注者に加えて設計コンサルタントも同席する建設協議会が組織され、設計成果の優先順位を明確にするとともに、工区・工種間の調整を密に行いました。その結果、トンネル貫通後の輻輳を解消するため、昼夜作業の分離を行い、約1年間で延べ約9,000人が夜勤して工程を遵守しました。そのほかにも沈埋函の長大化による据付函数の削減、造船ドック利用による鋼殻製作等々の工期短縮策はありましたが、一番の要因は三者が一体となって、オリンピックまでに絶対開通させるという「情熱」だったと思います。

DPS 搭載自航船を用いた GPS 波浪計撤去・設置工事

東洋建設株式会社
土木事業本部 機械部

鈴木 匠



GPS 波浪計とは、港湾の整備に必要な沖合の波浪情報を取得することを主目的に整備されたブイです。数百 m の鋼製チェーンとアンカーで沖合に設置されており、沖合で起きた地震による津波も観測可能

であり、防災にも活用されています。この波浪計は、平成 20 年頃から全国約 20 箇所に整備されましたが、耐用年数が 10 年程度であり、更新の時期を迎えています。

今回紹介する工事は、宮城県の金華山沖合に設置されている既設 GPS 波浪計(ブイ重量 52t、チェーン長 328m、アンカー重量 23t)を撤去し、新規波浪計(ブイ重量 42t、チェーン長 352m、アンカー重量 23t)を製作、設置するものです。

本工事は太平洋に面した大水深の施工海域、かつ冬季における施工でしたので、大きく二つの課題があり

ました。

一つ目は、現場施工時間の制約です。安全上、現場海域での作業を日出～日没で実施するように求められていましたが、冬季であり日出から日没までの時間が約 10 時間程度と短いことが課題でした。

二つ目は、工期による制約です。現場海域は外洋に面しており、現地での作業が可能な波高 50～60cm 程度の日は、月に数回しかありません。施工できるタイミングが少ない中、工期は 2 か月程度と短く、施工する船舶には高い機動性が求められました。

これら二つの課題に鑑み、機動性の高い自航式であり、かつアンカーレス作業が可能となる DPS 機能を搭載した弊社の多目的船「AUGUST EXPLORER」を使用することを決定しました。

また、更なる施工時間の短縮を図る為、施工方法の見直しも行いました。以前までは一台のウィンチでチェーンを撤去・設置していましたが、AUGUST EXPLORER の広い甲板を活用して 2 台のウィンチを設置、施工サイクルの縮減を図りました。

この結果、撤去で 6.5 時間、新設では 4 時間で施工を終え、両工種とも日出から日没までの間で施工を完了することができました。また、機動性を活かし、低波高のタイミングを狙い施工することで、工期内で施工を完了することもできました。

トンガ王国 国内輸送船用埠頭改善計画報告

東亜建設工業株式会社
国際事業本部

町田 敬二



南太平洋州に属する小さな島々で構成しているトンガ王国で、国内輸送船用埠頭が完成しました。トンガ国内には、国内輸送船用埠頭がなく、他の埠頭を使用していました

が、港内での渋滞等を引き起こし始めたために、無償工事資金協力事業として成立した埠頭新築工事です。ご紹介する内容は、離島のため資機材の調達に難しい国・地域での施工上の工夫と地域環境にあった構造をもつターミナルビルディングです。

施工計画の検討時に、トンガ王国の近隣諸国の市場調査を行った結果、使用する浚渫船やクレーン台船等が近隣諸国になく、日本等から調達した場合、多額の輸送費が発生する問題が判明しました。検討の結果、

施工上の工夫を行った代表的な 2 点を紹介します。①船舶を利用せずに仮設築堤を用いて陸上よりバックホウで浚渫を行う方法、②浚渫用仮設築堤を利用して、施工箇所の排水により、陸上クレーンで鋼矢板打設する方法です。現地の作業員は、港湾工事に不慣れなために、施工開始時は作業効率がよくありませんでした。しかし、当社の指導の下、現地作業員もノウハウを習得して作業効率が良くなり、最終的には工期短縮することができました。無償工事のもう一つの目的である「日本技術の現地への伝承」ができたと自負しています。

「太平洋州一美しいフェリーターミナル」と完成時にトンガ国王から受け賜ったターミナルビルディングは、電気・水不足を解消するために自然換気構造や太陽光パネル設備となっています。また、トンガ王国と日本は戦前より深く長い関係があります。これからも今までの関係以上に深まることを祈念して、ターミナル中庭にトンガにあるサンゴ岩やサンゴ砂を用いて枯山水でトンガ諸島を表現しました。

最後に、工事中、その他にもいろいろな困難・課題がありましたが、日本・トンガ両国の工事関係者がお互いに協力し合い、工事を無事竣工出来ました。関係者の皆様にお礼を申し上げます。