

# 令和5年度港湾技術報告会開く

9月29日 イノホール&カンファレンスセンター  
会場+オンラインで360人が聴講



## 第1部 特別講演

### 「深海底油田開発技術と海洋ロボット研究の概略」

東海大学海洋学部海洋理工学科海洋理工学専攻 渡邊 啓介教授

## 第2部 活動報告(各社報告)

### 水中バックホウのICT施工について

あおみ建設株式会社  
技術事業本部技術開発部 副部長 吉原 到

### オール工場製作によるユニット式プレキャスト栈橋の開発 — PC-Unit 栈橋工法® —

五洋建設株式会社  
技術研究所 土木技術開発部 専門部長 池野 勝哉

### 革新的社会資本整備研究開発推進事業「浮遊ケーソンの動揺低減技術の研究開発」

実海域実験報告  
東亜建設工業株式会社  
技術研究開発センター 水圏技術グループ 主任研究員 倉原 義之介

### ケーソン式岸壁築造工事の省人化技術

東洋建設株式会社  
北陸支店 工務部 佐々木 元志

### 打撃振動試験(非破壊検査)による栈橋の使用性判断の一事例

みらい建設工業株式会社  
技術本部 技術部 課長 山本 隆信

### 自律水温制御パイプクーリングシステム

若築建設株式会社  
建設事業部門 技術部 部長 壺岐 直之



渡邊 啓介教授

## 働き方改革へ生産プロセス効率化

日本埋立浚渫協会は「令和5年度港湾技術報告会」を9月29日、東京都千代田区のイノホール&カンファレンスセンターで開きました。報告会には会員各社に加え、関連団体やコンサルタントなどに所属する方々が大勢集まり、オンライン聴講を含む360人が海洋土木に関する最新技術などの報告に熱心に耳を傾けました。

報告会は2008年に第1回が開かれました。以来、その時々テーマに沿って情報発信、情報共有を行う場として回を重ねることで、海洋土木技術の発展に貢献してきています。

開会に当たってあいさつした協会の村岡猛専務理事は、港湾技術を巡る現状として「最近では、DX、GXの推進によって生産性の向上や安全の確保、工事のカーボンニュートラル化に向けて積極的に取り組んでいます」と述べました。とりわけ協会や会員各社の活動において直面する課題として、2024年4月から労働時間の罰則付き上限規制が建設業にも適用となることに言及。これまでの働き方を改革していくために、生産プロセスを効率化するデジタル化、プレキャスト化、作業船の自動自律化などを各社の総力を挙げて進めている活動が紹介される今回の報告会が「皆様にとりまして実

り多いものとなることを祈念しております」としてその成果に期待を寄せました。

## 海底油田開発の技術を紹介

報告会の第1部では、東海大学海洋学部海洋理工学科海洋理工学専攻の渡邊啓介教授を講師としてお招きし、「深海底油田開発技術と海洋ロボット研究の概略」をテーマに特別講演していただきました。

約1時間に及んだ講演の前半では、学生時代から研究に取り組んできたという油田開発を巡る技術の内容や変遷についてお話いただきました。渡邊教授によると、1960年代から多くの実績が積み重ねられてきた海底油田は「現在では深いところで水深2,500mくらいまでの開発が行われている」とのこと。原油を採掘するために、物理探査・試掘を経て、井戸や海上に設けるプラットフォームなどを構築する手順とそのために必要な各種技術について解説していただきました。

陸上の原油精製工場と同等の機能を持つプラットフォームは油田の水深などに応じて「固定式プラットフォーム」「浮体式プラットフォーム」と、海底にある複数の油田の流れを一つのパイプにまとめて採掘する「サブシープロダクションシステム」に大別されます。このうち「浮体式プラットフォー



渡邊教授による特別講演



ム」には、最も原初的な浮体式構造物とされる「セミサブ(Semi-submersible)」のほか、「TLP(Tension Leg Platform)」「SPAR buoy」「FPSO(Floating Production Storage Offloading)」といった形式があり、それぞれの技術概要や特色が示され、係留方法に関する説明もありました。これら海上へのプラットフォームの構築や係留方法については、協会各社にも関心の高い洋上風力発電開発とも関連付けた技術的な説明もあり、聴講した参加者からもさらに詳しい説明を求める質問などが寄せられました。

### サンゴ礁の長期データ蓄積へ

講演の後半では、渡邊教授の研究室で学生と共に取り組んでいる海洋ロボット研究を紹介いただきました。この中で経済活動や地球温暖化などがサンゴの生育に影響を与えているとの問題意識から、サンゴ礁の長期的なデータの蓄積に取り組んでいるという説明がありました。従来はダイバーによる観測が行われていましたが、時間や費用面での制約もあることから、自動的にデータを取得するための研究に取り組んでいるとのこと。「沿岸海域観測データを全地球規模でネットワーク化

して記録を残せるようにしたい」とする渡邊教授からは、自動化された観測システムを提供することで、将来は観測データセンターを構築する世界展開を目指す考え方も示されました。

また、水中作業を行う海底鉱物資源開発システムについて、既存のロボットでは動ける地盤が非常に限られており、傾斜地での作業が行えないなどの課題もあります。それらを解決するため、海底の障害物を乗り越えていく8脚歩行システムの開発に取り組んでいることも紹介されました。海洋土木工事でも活用できそうな同システムにも聴講者から高い関心が寄せられ、開発に至った背景や今後の方向性などを質問する場面も見られました。

特別講演に続く第2部の協会活動報告では、海洋土木工事の生産性向上に役立つICT施工の活用やプレキャスト化など最新技術の開発や適用事例、実海域での実験などの報告が、あおみ建設、五洋建設、東亜建設工業、東洋建設、みらい建設工業、若築建設の6社の各担当者から行われました。第2部は約2時間に及びましたが、それぞれの報告に対する聴講者からの質問も多く寄せられ、海洋土木工事を巡る最新の技術や各社の取り組みについて情報を共有する意義深いプログラムとなりました。



第2部の協会活動報告

## 水中バックホウのICT 施工について

あおみ建設株式会社  
技術事業本部技術開発部 副部長

吉原 到



水中建設作業の生産性を向上させる水中バックホウと、実現場で水中バックホウガイダンスシステムを活用したICT施工について紹介します。

かねてより、捨石マウンドの均し作業の効率化や安全性の向上のために、水中バックホウによる機械化施工に取り組んできました。水中バックホウは潜水士が搭乗して操作するもので、電気で作動します。機械化によりその施工能力は7倍程度に向上しました。

さらに、近年ではICT技術を活用した水中バックホウガイダンスシステムを開発し、運用しています。このシステムは、水中バックホウの水中での平面位置と深さ、機体の姿勢や向きをリアルタイムに表示

し、目標とする均し高さとその許容範囲が示すとともに、ソナーで計測した現状の捨石の天端高さを重ねて表示します。潜水士はこの情報をもとに作業します。昨年、石垣島の防波堤工事を受注し、水中バックホウと水中バックホウガイダンスシステムを活用して、捨石マウンドの本均し施工を行いました。

陸上のバックホウガイダンスシステムと異なる点は、水中ではGNSSが使用できないので測位は水中音響測位技術を使用すること、潜水士の目の代わりとなる水中ソナーを活用すること、本均しは±5cmと非常に高精度な施工が求められるため、深さは潮位変動を自動で調整できる水圧計を使用することなどです。

システムの開発中に、港湾工事が行われる浅海域では、海面や海底などで音波が反射することでバックホウの測位が安定しないという課題に直面しました。そこで、筑波大学と共同で耐マルチパス水中音響測位技術を開発し、水中バックホウガイダンスシステムに組み込み、システムの信頼性を向上させました。

将来は、水中バックホウを船上から遠隔操縦し、水中の無人化施工を実現することで、さらなる生産性と安全性の向上を図っていきたいと考えています。

## オール工場製作によるユニット式プレキャスト橋の開発 — PC-Unit 橋工法® —

五洋建設株式会社  
技術研究所 土木技術開発部 専門部長  
池野 勝哉



先般、国土交通省より港湾工事におけるプレキャスト工法の適用性を検討するための新たな評価手法として、プレキャスト工法導入マニュアル(試行版)が発表されました。これにより、従来の「コスト」のみならず、「省人化・省力化」や「出来形・品質確保」、「工期短縮」、「維持管理」、「施工への影響」および「第三者への影響」など、設計段階から多面的で合理的な評価が可能となり、プレキャスト工法の導入促進が期待されます。そこで当社では、日本ピーエス・港湾空港技術研究所・東京工業大学との共同研究で、橋橋工事におけるプレキャスト施工のメリットを最大限享受できる工法として、すべてのプレキャスト部材を工場製作し、現地で組み立てるPC-Unit

橋工法®を開発しました。

本工法は、主として橋橋上部工を2種類のプレキャスト部材(杭頭部材、梁部材)の構成とし、陸上トレーラーで運搬可能なサイズおよび重量にユニット化します。これらはすべて工場製作するため、行き届いた出来形・品質管理により、緻密で高品質なコンクリート部材となります。これと並行して現地では鋼管杭の打設が行われ、付近の陸上ヤードに順次プレキャスト部材が搬入されます。橋橋上部工は各部材をPC鋼材による緊張力で圧着接合したプレストレストコンクリート構造として組み立てていくため、部材運搬時の軽量化やスリム化が可能となります。

橋橋上部工の軽量化は地震時の慣性力低減および杭本数の削減につながるため、トータルコストの抑制や材料由来のCO<sub>2</sub>排出量の削減が期待できます。また、本工法は従来の現場打ちRC工法による橋橋と比較して、現地作業員を約1/3に省人化し、最大50%の工期短縮効果があります。

当社では、PC-Unit 橋工法®を新しいプレキャスト工法のメニューの一つとして提供し、引き続き港湾工事のさらなる生産性向上に貢献したいと考えています。



## 「浮遊ケーソンの動揺低減技術の研究開発」実海域実験報告

東亜建設工業株式会社  
技術研究開発センター 水圏技術グループ 主任研究員  
倉原 義之介



近年、貨物船の大型化等に対応するための国際物流ターミナルの整備や、防災・減災を目的とした津波対策等の観点から、防波堤の延伸や新設が進められています。ケーソン式の防波堤や護岸を築造する際には、ケーソンを浮かべて施工場所まで船舶で曳航して据え付ける方法が主に採用されています。ただし、波浪条件によっては、この浮遊ケーソンが大きく動揺するため、据付出来形の精度やケーソン上の作業員の安全確保が懸念され、作業工程が制限を受けることで、船舶等の機材が拘束される課題がありました。

そこで、当社は、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所の革新的社会資本整備研究開発推進事業を活用し、「浮遊ケーソンの動揺低減技術の研究開発」に取り組んでいます。

この事業は、国土強靱化や生産性の向上等に資するインフラに関する革新的な産・学の研究開発を支援するもので、当社は第1回公募において採択され、東海国立大学機構名古屋大学と共同で研究開発を行ってきました。考案した浮遊ケーソンの動揺低減方法は、ケーソン上に減揺タンクと呼ぶ「水を薄く張った長方形の容器」を上下2段で格子状に複数配置して、減揺タンク内の自由水が波浪によるケーソンの傾きによって移動することで、揺れを抑える力が発生しケーソンの動揺を低減させるものです。

昨年夏に、国土交通省関東地方整備局の実海域実験場提供システムを活用し、茨城港常陸那珂港区の東防波堤に用いられる実物のケーソンを使用して実海域実験を実施しました。外洋からの波が直接作用する港口近くの実験海域に、減揺タンクを設置したケーソンを浮かべ、その動揺を測定し、今回の条件ではおよそ30%の動揺低減効果を確認することができました。

今後もケーソンの自動据付等のICT技術との連携によるケーソン据付のDXを推進し、防波堤整備等における生産性向上を通じてインフラ整備に貢献してまいります。

## ケーソン式岸壁築造工事の省人化技術

東洋建設株式会社株式会社  
北陸支店 工事部

佐々木 元志



港湾工事においてICT本体工は全国でモデル工事が実施されはじめ、令和7年度の本格運用開始にむけて現在も施工面と要領基準面について整備が進められています。国土交通省北陸地方整備局発注の敦賀港(鞠山南地区)岸壁(-14m)築造工事(その3)は北陸地方整備局で初めてICT本体工が試行された工事でした。ICTを活用し省人化・効率化を図りましたので内容をご紹介します。

本工事は鞠山南地区国際物流ターミナル整備事業の一環として岸壁を90m延伸するものであり、工事対象のケーソンは、前壁と側壁にスリットを有し、片側のみフーチングがある左右非対称のため重心が偏っており、ポンプ注水を用いて水平調整を高精度で行いながら据付を行う必要がありました。これら

課題に対応するため「函ナビ」を導入し施工にあたりました。

この「函ナビ」は各マスに設置した水位センサーからのデータとケーソン天端に設置した2軸傾斜計による情報を基に、各マスの水頭差およびケーソン全体の傾斜を自動で演算しケーソンの傾きを補正するよう注水ポンプを自動運転するシステムです。従来はケーソン上の作業員が各マスの水位を巻き尺で計測し、その結果からポンプの停止・稼働の操作を行っていましたが、システムの導入によりこれらの作業を行っていた約3名の人員を削減(約28%削減)することができました。

また既設防波堤上には2台の自動追尾トータルステーションを設置し、ケーソン上4隅に設置した360度全方位プリズムを自動追尾することで位置情報をモニターでリアルタイム表示し、誘導方向の情報共有を行いました。その結果、従来のトランシットや無線を使う方法は必要なくなり2時間もの作業時間の短縮を達成しました。

本工事で活用した技術は、スリットケーソンのような異形ケーソンの据付において活用が実証できたことから今後波浪による動揺予測や動揺制御のシステム開発等、他社技術を活用し改良が進むものと考えられます。

## 打撃振動試験(非破壊検査)による棧橋の使用性判断の一事例

みらい建設工業株式会社  
技術本部 技術部課長

山本 隆信



我が国は、激甚化する気象災害、切迫する巨大地震への対応が求められています。また、高度経済成長期に整備した、港湾施設の老朽化が今後急速に進行します。港湾は物流等の経済活動の拠点であり、また、災害時には物資の輸送拠点であります。このため、災害時や施設の変状時に、港湾施設の利用を継続できるかが重要であります。

本報告では、台風により被災した直杭式棧橋について、打撃振動試験(非破壊検査)により施設全体の固有振動数を判定指標として、早期に棧橋の使用性を判断した事例を報告しました。

打撃振動試験は、構造物を傷めないようにゴムで被覆された重錘を用いて、構造物に打撃による振動

を与えて、その時の振動を加速度計により計測します。計測した加速度データから、フーリエ解析を行い振幅スペクトルと位相差スペクトルを算定し、固有振動数を総合的に判断し決定します。両方のスペクトルで確認できるため、より正確な固有振動数の決定が可能です。また、計測方法も簡易で機動力のある方法です。

本事例では、直杭式棧橋の固有振動数のピークは1(Hz)周辺、10(Hz)周辺、40(Hz)周辺の3つのピークが確認できました。このうち、振幅スペクトルおよび位相スペクトルを総合的に考慮し、1(Hz)周辺の固有振動数を水平振動モードと判断しました。

設計時における、照査用震度を設定する際の構造全体のばね値を基に設定した、健全時の固有振動数との比較により水平剛性は保たれている事が確認できました。また、鉛直方向の振動状況から、杭頭部の結合が保たれていると判断しました。固有振動数はその場で確認が可能であり、現地調査時間は1スパンを2時間程度で実施できます。事前に判断基準(健全時の固有振動数など)を設定しておくことで、早急な使用性の判断が可能です。

今後は、固有振動数のデータを収集し、棧橋形式や変状状況による標準値の検討を行います。

## 自律水温制御パイプクーリングシステムによる橋梁下部工の温度ひび割れ防止

若築建設株式会社  
技術部 部長

壹岐 直之



土木工事で施工するコンクリート構造物は、部材寸法が比較的大きいため、マスコンクリートに該当し、温度ひび割れの発生が懸念されます。コンクリート標準示方書では、マスコンクリートとして取り扱うべき構造物の目安として、「広がりのあるスラブについては厚さ80~100cm以上、下端が拘束された壁では厚さ50cm以上」と記載され、さらに、マスコンクリートに該当する場合は「温度ひび割れの発生確率を照査し」、「発生確率が高い場合は対策を検討しなければならない」とされています。

温度ひび割れ対策には、低熱セメントの使用、保温養生の実施や、ひび割れ誘発目地の設置など、いくつかの方法がありますが、これら方法の中で、パイ

プクーリングが最も有効と考えています。この理由として、パイプクーリングは内部拘束/外部拘束のどちらに対しても高い効果が見込めること、対象部材の形状寸法に応じたパイプ配置にすることで最適な効果が得られること、対策の実施中でも冷却水温を調整できるため想定外の環境変化に対応できることが挙げられます。

若築建設では、パイプクーリングによる効果をさらに向上させるため『自律水温制御パイプクーリングシステム:WIT P-Cool3A』を開発しました。このシステムの特徴は、コンクリート内部の温度と外気温を常時計測し、計測結果に応じて冷却水の温度を自律的に制御する点です。さらに、現場外からネット経由で計測結果を閲覧でき、遠隔操作によって冷却水温や自律水温制御のルールを変更することもできます。このシステムを活用することで、22件の工事において、温度ひび割れの発生本数を0本に防止することができました。

今後も、このシステムを活用して温度ひび割れを確実に防止し、構造物の初期不良防止と、長寿命化を図っていきたくと考えています。