

令和3年度港湾技術報告会を開催

完全 Web 方式で実施、340 人が聴講

特別講演

「カーボンニュートラルに向けた電動化と水素エネルギー社会」
横浜国立大学大学院工学研究院 先端科学高等研究院
先進化学エネルギー研究センター (ACERC) グリーン水素研究ラボ
ラボ長 光島 重徳 教授



活動報告

〈ICT・DX〉

東洋建設株式会社	土木事業本部土木技術部部長	加藤 直幸
五洋建設株式会社	技術研究所地盤グループ耐震構造チーム課長	宇野 州彦
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副参事	那須野 陽平
若築建設株式会社	建設事業部門技術部技術研究所課長	吉住 雄二

〈カーボンニュートラル〉

東亜建設工業株式会社	土木事業本部機電部機械グループ担当課長	杉山 晃一
------------	---------------------	-------

〈国際事業〉

東洋建設株式会社	国際支店工事事部モンバサ作業所工事課長	堤 隆亮
----------	---------------------	------

日本埋立浚渫協会は「令和3年度港湾技術報告会」を9月21日に完全 Web 方式で開催しました。新型コロナウイルス感染症対策として、昨年度はホテルの会議室から講演内容を配信する形で港湾技術報告会を開催しましたが、本年度は講演者がそれぞれの場所からリモートで講演し、登録いただいた参加者が視聴する形での開催を試みましたが、例年を上回る340人の参加が得られ、講演や発表の後にはチャットを活用した質疑応答が活発に行われるなど、有意義な報告会となりました。

開会に当たり、当協会の福田功副会長兼専務理事があいさつし、「カーボンニュートラル、ICT(情報通信技術)、DX(デジタルトランスフォーメーション)と一番ホットなテーマでの講演や発表が行われる本年度の港湾技術報告会には、光栄なこといつもの倍近い参加申請がありました。協会の5月の定時総会で清水琢三会長が述べられたように、港湾政策としてカーボ

ンニュートラルに舵を切る動きは、我々にとって事業範囲を広げ、新規分野を切り開く好機となります。洋上風力発電に代表される海洋エネルギーの活用を推し進め、水素製造につなげるといった港湾のカーボンニュートラルが、港湾建設の発展につながることを祈念したい」と期待感を示しました。

今回は第1部として、横浜国立大学大学院工学研究院の光島重徳教授を講師に迎え、「カーボンニュートラルに向けた電動化と水素エネルギー社会」をテーマに講演していただきました。一般社団法人水素エネルギー協会の副会長を務める光島教授は、カーボンニュートラルの背景を詳しく解説し、再生可能エネルギー(再エネ)化・電化の考え方を整理した上で、電化の選択肢としての蓄電池と燃料電池の特徴をエネファームや燃料電池自動車を例に分かりやすく講演していただきました。

光島教授は、日本の二酸化炭素(CO₂)排出量を80%

削減する場合であっても「電力の CO₂ フリー化だけでは不十分」と指摘し、再エネの大幅導入と非電力分野の再エネ化が必須であると述べました。また、太陽光や風力といった変動性の再エネを大規模導入するためには、時間的・空間的な需給不一致対策として、蓄電設備や地域間送電によるバランスに加え、水素製造などのエネルギー変換によるバランス(ガスパイプラインの利用など)が求められ、「インバランス(不均衡)対策としての水電解技術は必須である」と強調しました。

さらに、再エネ過剰地(供給地)とエネルギー需要地には、それぞれに最適なエネルギーシステムがあり、「蓄電池、水素・燃料電池システムそれぞれの特性を理解して、エネルギーシステムの要素として利用していくことが大事」だとの考えを示しました。

講演の中で光島教授は、欧州のエネルギーシステムが電力・石油・ガスともに網の目状のグリッドを形成しているのに対し、日本の場合は東西に分割された櫛型の電力網と LNG の拠点からのパイプラインによって形成され、そうしたエネルギーシステムを船舶輸送が支えていると説明。「再エネ基盤のエネルギーシステムを考えても、再エネ消費地だけでなく再エネ生産地がないと成立しない。(我が国では)海洋を通じて面白いことができればいいと妄想しています」と締めくくりました。

休憩を挟んで第 2 部の活動報告では、会員企業が取り組んでいる最新事例の紹介として、それぞれの担当者から ICT・DX で 4 題、カーボンニュートラルと国際事業で各 1 題の報告が行われました。

ICT・DX では、東洋建設土木事業本部土木技術部長の加藤直幸氏が「海上施工を自動化する上で何が必要か」と題し、繰り返し作業が多い海上クレーンの自動化に焦点を当てて研究成果を報告。荷ぶれの制御における単独操作と熟練オペレーターによる操作の違いを分析したデータを踏まえ、海上施工の自動化に当たっては地域の施工環境や船の特性、会社ごとの施工機械の使い方などを自動化運転に反映させる必要があることを例示しました。

五洋建設技術研究所地盤グループ耐震構造チーム課長の宇野州彦氏は、「AI を用いた栈橋残存耐力の評価方法」について開発の背景と活用成果を発表しました。栈橋の劣化度と耐力に関する構造実験によって劣化度に応じた部材の耐力を把握し、実栈橋の劣化度判定結

果から AI モデルを構築。この AI モデルを活用することで地震動レベルに応じて栈橋の損傷の程度と範囲などが予測可能であることを実証し、予防保全型の維持管理への寄与が期待されるとしました。

東亜建設工業土木事業本部機電部電気グループ副参事的那須野陽平氏は「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」について報告。同社が保有する深層混合処理(CDM)船「黄鶴」での i-Construction 推進に向けた取り組み事例を発表しました。「黄鶴」ではオペレーター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で、省力化・省人化、品質の安定化、安全性向上に加え、技能習熟期間の短縮やエネルギーの効率化までも実現。さらに、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により、不可視部分の状況確認や遠隔地からの進捗確認も可能なことを紹介しました。

若築建設建設事業部門技術部技術研究所課長の吉住雄二氏は「AI を用いたクレーンカメラ人物検知システム『SCAI ウォッチャー』」の開発成果を発表しました。クレーンのブームトップに設置されたクレーンカメラの高度利用を目的に、AI を使った画像認識技術で人物や物体を特定し、モニタ上での枠付けや警告音の発生を行うシステムの開発と現場への適用の過程を詳しく紹介、今後の展開にも言及しました。

続いて、東亜建設工業土木事業本部機電部機械グループ担当課長の杉山晃一氏が「揚錨船の電気推進化」を題材に、カーボンニュートラルの動向を報告。バッテリーで運航する電気推進船の導入事例を挙げた上で、アンカーの打ち換えに用いる揚錨船の電動化について考察した検討成果を発表しました。必要電力量を把握するため、計測データの収集を継続するとともに、最適なモーター出力や充電設備の検討を進める計画で、水素の利活用も視野に入れ、次世代燃料船の実用化に向けた取り組みを進める考えを明示しました。

国際事業報告は、東洋建設国際支店工事部モンバサ作業所工事課長の堤隆亮氏が「モンバサ港コンテナターミナルⅡ期工事」について行いました。東アフリカ最大の商業港、ケニア共和国のモンバサ港で進められているコンテナターミナル築造Ⅱ期工事での栈橋上部工のプレキャストコンクリート(PCa)施工やコンテナターミナルヤードの地盤改良の技術面での特徴が紹介されました。

海上施工を自動化する上で何が 必要か

東洋建設株式会社
土木事業本部土木技術部部长

加藤 直幸



港湾工事において、ICT施工の標準化が進み、建設機械の遠隔操作や自動化運転を実現することで、生産性・安全性・働きやすさの向上が求められています。

港湾工事における施工機械の自動化については、1990年代から取り組みが行われており、これまでにドラグサクシオン船や深層混合処理船、電動クレーンのグラブ浚渫船などで自動化運転が実現されてきました。

港湾工事への自動化導入で大きな効果が期待されているクレーン操作の自動化では、海上クレーン特有の課題として、クレーンで吊り上げられている物体が旋回時に横へ揺れたり、旋回停止時に回転する現象が発生するため、これらを上手く制御する必要があります。

また、海上のクレーン船は、船やクレーンの大きさ、グラブバケットのサイズはそれぞれ個別の仕様で製作

されていることから、自動化運転の運転データは船毎に作成しなければなりません。

自動化運転では熟練オペレータの運転を再現することが当面の目標となります。熟練のオペレータは、海象・気象・機械の特性に合わせた運転を経験で覚えているため、熟練オペレータの運転記録を保存しておき、自動化運転のお手本とすることが目標達成の近道です。熟練オペレータがその会社に残っている間に操作記録を保存し、自動化の準備を始めるべきだと思います。

当社で熟練オペレータの運転記録を解析したところ、クレーンの上下操作と旋回操作を上手く組み合わせ、船の揺れと吊り荷の揺れを同調させ、旋回時の横揺れと回転を上手く組み合わせることでスムーズな運転を実現していることが分かりました。

海上施工機械の自動化では、このような熟練オペレータの操作を再現出来なければ作業効率が低下してしまいます。

このように海上施工機械の自動化においては、次の3つの要素を実現する必要があります。

- ・施工環境の反映
地域の施工環境に合わせる
- ・船の特性の反映
作業船の形状寸法・出力・船体剛性といった船の特性を活かす
- ・会社毎の使い方の反映
その所有会社の特徴(故障最小限や施工能力最大限)に応える

AIを用いた棧橋残存耐力の評価手法

五洋建設株式会社
技術研究所地盤グループ耐震構造チーム課長
宇野 州彦



高度経済成長期に建設された港湾施設は老朽化が進行しており、効率的な維持管理手法の確立が喫緊の課題となっています。棧橋の補修補強は一般に点検結果に基づいて実施されますが、施設管理

者は棧橋に地震力等が作用した際における棧橋の損傷状態の予測を含む「残存耐力」が分からないため、合理的な維持管理計画の立案が難しい状況にあります。しかしながら、残存耐力を評価するためには高度な数値解析を行う必要があることから、簡易に評価できる技術が求められていました。そこで、五洋建設では一般定期点検診断によって得られる劣化度判定結果から、AI（人工知能）技術により簡易に棧橋の残存耐力を評価する手法を新たに開発いたしました。

本評価手法に用いるAIモデルは、当社の耐震工学や構造解析分野における知見を基に学習や検証を行い構築されたものとなっています。その結果、構築したAIモデルは、地震動レベルに応じてひび割れや降伏、終局状態といった具体的な損傷の程度とその損傷範囲、さらに棧橋上部工に占める損傷面積率を、これまで当社で開発した汎用構造解析プログラムと比較して、8割以上の正解率で合致する高い精度により、予測を行うことが可能です。

さらに当社では、残存耐力評価手法に加え、損傷結果を踏まえた立入禁止範囲の明示や、劣化進行の確率モデルと併用した将来の残存耐力予測といった機能を付加したシステムを構築しています。本システムにより、点検時の劣化状況を踏まえて将来の残存耐力を予測し、さらにそれに伴い立入禁止が予測される範囲を把握できるため、棧橋の供用継続が可能な期間を算定することが可能です。施設管理者にとっては将来の残存耐力予測を見据えて計画的に補修補強及び更新といった意思決定がしやすくなるため、本システムは予防保全型の維持管理計画策定に寄与するものと考えています。

今後は、耐力評価予測のさらなる精度向上や適用可能な棧橋形式の拡大等に取り組んでいく予定です。

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

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副参事
那須野 陽平



東亜建設工業が保有する作業船「黄鶴」は、平成22年に建造された最新の深層混合処理(CDM)船で、軟弱土そのものを現位置で硬化材とともに攪拌・混合することにより、軟弱地盤を堅固な地盤に

改良することができます。「黄鶴」では以前から、国土交通省が推進するi-Constructionの推進に向けた取り組みを行っています。

① 施工の自動化

近年、作業船において、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おり、少人数でも施工が行える環境の構築が必要でした。「黄鶴」では、セメントスラリーの製造、処理機の引抜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ました。

② リアルタイム 3D 施工管理システムの開発と導入

現場から離れた工事関係者と、施工状況や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を受け、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(CDMバージョン)」を開発し、現場で運用を開始しました。ネットワークを介し、複数拠点で同時に閲覧できるため、受発注者間で情報共有が図られ、打ち合わせ回数や移動時間の削減や、トラブルが発生した際の早期対応も可能となります。

③ 帳票や BIM / CIM モデルの自動出力機能

従来、帳票は、数種類の施工データを基に作成していましたが、転記ミスが発生する可能性があり、作業効率や確実性の面で課題がありました。本機能の導入により、データの転記ミスを防止すると共に、施工管理や書類作成時間を約80%削減しました。

今後は、CDM船以外の作業船への適用を進めると共に、港湾工事全体の生産性向上を目指し、更なる機能拡充を図っていく予定です。

AIを用いたクレーンカメラ人物検知システム 「SCAI ウォッチャー」

若築建設株式会社
建設事業部門 技術部技術研究所課長
吉住 雄二



クレーンカメラはブームトップに設置された位置から地面を見下ろすことになり、モニタ上に映る人物像は極めて小さいものであり、オペレータが運転に集中していれば見落としてしまう危険性

もあります。クレーンカメラを高度に利用するため、カメラで捉えた画像に対しAIを用いた画像認識技術で人物や物体を特定し、モニタ上での枠付け、警告音の発生などで注意喚起を行うシステムを開発しました。

開発に当たっては、現場稼働中のクレーンカメラに録画ユニットを取り付け、現地の画像データを収集しました。そのデータを共同開発者である「エコモット株式会社」が保有・展開する人体検出装置を用いて機械学習しました。クレーンカメラのような直上からの

俯瞰画像では頭、手足と言った人間の特徴が捉えにくいと考えられるため、ディープラーニングによるAI学習を行うものとなりました。

ディープラーニングにより得られた識別は、ヘルメットの有無や作業服の色といった特定条件を認識するパターンマッチングタイプのシステムに比べ、外的要因の影響を受けにくく汎用性が高いのが特徴です。この学習結果を用いてクレーンカメラ画像をリアルタイムに解析する「人物検知画像認識アルゴリズム」を構築しました。

画像解析処理はクラウド等のネットワーク通信を利用せず現地のクレーンに設置するエッジAIデバイス上でリアルタイムに行われます。また、システム上で警告表示を出す検知閾値の変更が出来、気象条件などに合わせた対応が可能です。さらに、現場導入にあたっては、導入初期に動画を保存し必要に応じて特有の条件を追加学習することで、より現場に即した認識を得られることとなります。

エッジAIデバイスにはアナログ・デジタル両方の入出力端子を持っており、すでに現場で稼働中のクレーンカメラの映像を取り込むことで現場・重機を問わず稼働しているクレーンの安全性をAIによって大幅に向上させることが可能です。

揚錨船の電気推進化

東亜建設工業株式会社
土木事業本部機電部機械グループ担当課長
杉山 晃一



現在、地球温暖化防止に向け温室効果ガスを削減することが世界共通の課題となっています。東亜建設工業としては、海上工事に於いて、稼働時の作業船から排出されるCO₂削減は必須事項であると考えており、作業船の脱炭素化に向けた検討を始めています。

先ず主作業船をリチウムイオン電池で稼働させることが出来るか検討を行いました。リチウムイオン電池はエネルギー密度が化石燃料に比べて非常に小さいことから、たくさんの電池及び充電器が必要になり、

船内に収納するスペースの問題や充電時間、コストも掛かることから、現段階では難しいと判断しました。そこで、一部の船種において電気推進化が実用化されつつあることから揚錨船の電気推進化ならびにウインチ類へのリチウムイオン電池による電源供給を検討することにしました。

この検討を行うにあたり、先ずは揚錨作業時に必要とされる電力量を把握するために、消費電力を計測したり、必要とされる推進力の試算を行って概略設計は完了しています。

今後は、最適なモーター選定や必要なバッテリーの台数を決定するなど詳細設計を進めるとともに、主作業船に太陽光電池パネルや風力発電機を搭載することで、揚錨作業終了後にカーボンフリーな設備から電池を充電させる計画を行っていきます。また、次世代燃料として期待されている水素及びアンモニアを活用した技術も視野に入れ、地球環境に配慮した作業船の電動化を実現させていきたいと思っております。

国際事業

モンバサ港コンテナターミナル II期工事

東洋建設株式会社
国際支店工事部モンバサ作業所工事課長
堤 隆亮



モンバサ港は、ケニア共和国南東部に位置する東アフリカ最大の商業港であり、近隣内陸国を結ぶ玄関口として重要な役割を果たしています。同港のコンテナ取扱量は、近年の経済発展を背景に急増しており、2025年には200万TEUを越える需要が見込まれています。このことから、港湾能力の一層の強化を目的に、弊社が2016年に完工したフェーズI事業に続き、フェーズII事業(ODA有償資金協力)として新しいコンテナターミナルの建設を行っています。

海外、特にケニアのような開発途上国において、棧橋上部工を施工する場合、熟練工の確保が難しいため、施工方法の簡素化および安全の確保が重要となりま

す。そこで、場所打ちで計画されていた棧橋上部工の大部分をプレキャスト(Pca)化しました。Pca化にあたり、施工性を考えてPca部材を台座部、梁部、床版部に分割し、各施工段階で発生する応力を基に、鉄筋量を検討しました。海上における型枠支保工の作業を省力化でき、作業床も確保されることで安全性が向上、またPca梁やPca床版の製作と据付作業を並行してすすめることで、厳しい条件下においても工程の短縮を図ることができています。

本工事のコンテナヤードの沈下管理は、全体工期が厳しいことから、載荷盛土撤去後の残留沈下をある程度許容した設計となっております。沈下管理に影響の大きい土質情報は、既存土質データを補完するように施工エリア全域に三成分コーン貫入試験を実施し、埋立てする地盤の粘土層厚を面的に把握することに努めました。その土質情報と沈下傾向を基に、一次元FEM解析モデルを用いて、残留沈下量を考慮した盛土の撤去高さを決定しました。また埋立・載荷盛土工の進展に伴い、隣接するフェーズI事業エリアの連込み沈下が懸念されましたが、事前に二次元FEM解析により大きな影響を与えないことを確認して施工を進めております。

コロナ禍ではありますが、2022年5月末の竣工へ向け、無事故無災害にて努めてまいります。