世界に貢献する港湾空港技術

PARI

VOL.40

JULY 2020

Airport

Technology

Port

2 __ Front Line - 特集 -

**港湾・空港施設の維持管理
サステナブルな社会への
貢献を目指して**

6 __ Focus On 研究活動の最前線へ

納豆菌を利用した次世代自己治癒コンクリートの開発
微生物にコンクリートの“治療”を任せ
鋼材の腐食も抑える仕組みづくり

初期高温履歴を受けたコンクリートの劣化挙動の検討
海水作用下でのＤＥＦ膨張に関するデータを収集
将来懸念される劣化リスクと向き合う

8 __ Close Up 現場からの報告

伏木富山港
リプレイサブル桟橋実証試験

10 __ Front People 研究者の広場 挑戦する研究者たち

海洋コンクリート構造物の
サステナブルな未来を考える

14 __ CROSS LINE 国際交流レポート

ベトナムで開催された維持管理セミナーで
福手勤センター長が講演を行いました

15 __ TOPICS

就任のご挨拶

北海道大学大学院 工学研究院
土木工学部門 社会基盤マネジメント分野
特任教授　**横田 弘** さん

港湾空港技術研究所
構造研究領域
山路 徹 領域長
（材料研究グループ長併任）
（LCM支援センター センター長）

港湾空港技術研究所
構造研究領域 構造研究グループ
加藤絵万 グループ長
（LCM支援センター 副センター長）

港湾空港技術研究所
伊豆 太 特別研究主幹
（地盤・構造研究担当）

港湾・空港施設の維持管理

サステナブルな社会への貢献を目指して

ライフサイクルマネジメント（LCM）支援センターを擁し、

長年、港湾・空港施設の維持管理技術の研究に取り組んできた港空研。

いまこの分野で重視されるのが、サステナビリティ（持続可能性）という概念です。

センター設立の立役者でもある北海道大学大学院の横田弘特任教授を交えて、

港湾・空港施設に求められるサステナビリティを考える座談会。

新型コロナウイルス感染拡大にともなう緊急事態宣言を受け、

Web 会議システムを用いた異例のスタイルで行われました。

ＬＣＭ支援センターの前身となるＬＣＭ研究センターが設立されたのは、２００５年４月。津波防災研究センター（現在の国際沿岸防災センター）などに続く、港空研で３つ目の研究センターでした。

黎明期をリードし 笹子トンネル事故が転機に

加藤　当時、なぜ維持管理の部署を立ち上げることになったんですか？　私も創立当時からメンバーでしたけど、その経緯はよくわかっていなくて。

横田　ライフサイクルマネジメントに関する研究自体は、港湾技術研究所の時代から、構造や材料、設計技術などの分野で行っていたんですよ。当時はいま私が考えているよりも、ライフサイクルマネジメントの指す範囲が少し狭いのですが、要は、港湾や空港の施設を、供用を開始してから終えるまでの間、どうやって維持管理し、補修・補強をすればよいのかと。そういうことに、もう少し学究的・実践的にきちんと取り組んでいかなければいけないというようなことが話題になってきて、当時の理事長に、一つの組織をつくったらどうかと勧められたんです。地方整備局や港湾管理者からの相談を受けることも多かったので、こういう窓口をつくっておくと、然るべき研究室につなぎやすいだろうという意図もありました。点検やデータ収集の方法、それに基づく寿命予測手法、とるべき対策。いつ、どのような工法で行えば最適に維持管理できるか、つまりコストを最小に抑えられるか……。センターを核にして研究所内はもちろん、国総研とも分担して研究し、かつ、行政部局や民間企業などともコラボしつつ、日本あるいは世界のリーダーシップをとっていこうということが設立の趣旨だったと思います。

加藤　横田先生が在籍されていた２００８年度までが、国内外に向けての活動が活発だった時期。その後しばらくはセンターとして目立った動きがなくて、次の転機は、やっぱり２０１２年の笹子トンネル天井板崩落事故ですよね。あれを機に組織改編を行い、名称もＬＣＭ支援センターに改めた。それ以降、社会インフラの維持管理についてはたくさん動きがありました。２０１３年の港湾法改正から定期点検が義務化され、ガイドラインの類はいまに至るまで改訂に改訂を重ねているという状況です。

維持管理計画策定の ハードルを下げる新たな取り組み

山路　国交省の委員会で、維持管理計画の見直しについて何か検討していましたよね？

加藤　「港湾の施設の点検診断ガイドライン」と「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン」の一部改訂ですね。笹子トンネルの事故の後、インフラの維持管理計画の策定率を１００％にするということになったのですが、港湾ではまだ達成できていなかったんです。規模が小さい施設ではフルスペックの取り組みはなかなか難しい。それなら簡易版をつくったらどうかという話になって。みなさん維持管理計画としてまとめていないだけで、例えば使用前点検とか安全管理のための点検とかは必ず行っているわけですよ。だから、そういうものも定期点検とみなそうと。定期点検をすると決めていること自体、いうなれば維持管理計画じゃないですか。いまやっていることを組み込んでの簡単な計画書でもいいということを、ガイドラインに事例集を追加することによって示したわけです。

山路　確かに現状では、完璧なものを策定しなければいけないと思って、「それはムリ……」となっているケースもあるんでしょうね。

加藤　改訂したガイドラインの公開が今年３月で、直後にみなさんコロナ自粛に入ってしまったので、反響がわからなくて。国が行う維持管理研修でも紹介する予定だったのですが、それもなくなってしまいました。

山路　終息したら、各地に個別に行って説明したりしてもいいのかもしれませんね。

伊豆　地方整備局などの会議の場を活用させてもらうのも手ですね。ただ、あまりＰＲしすぎると、簡単なものに流れやすいかな（笑）。

山路　話は逸れるかもしれませんけど、コロナ禍を機に仕事のやり方も変えていかなければいけなくなるでしょうね。

伊豆　現場を見ないと、きちんとした維持管理の支援は難しいのですが、こういうＷｅｂ会議みたいなものを使って港湾管理者の生の声を聴いたりとかできるようになれば……。思わぬ波及効果があるかもしれないですね。

山路　移動の障壁がなくなるから、声を聴くのはやりやすくなりますね。

加藤　移動にお金がかからなくなる分を、もっとよい点検をするといったほうに回してくれればいいな（笑）。

伊豆　地方の港湾管理者は、お金がなくて確実な維持管理ができないっていうのが多いと思う。そのあたりに行政当局でも問題意識をもっていて、それが今回の見直しにつながったのでしょうね。一案として、簡易版でもいいからまずはどんどん維持管理計画書をつくって、状況をみながら少しずつ追加変更するといった方法がよいのかもしれない。

維持管理計画の更新まで 国がフォローしていく体制を

加藤　維持管理計画書が簡単なものだろうが難しいものだろうが、結局、点検したり補修したりした結果を反映して計画を細かく見直していくのが本来のマネジメントじゃないですか。実際、それが

きちんとされているのかは疑問です。今回、ガイドラインの付録に維持管理計画書の更新の考え方を入れましたが、誰が見てくれるんだろうか……。

伊豆　本来は計画のフォローアップというか、国レベルでチェックするとか、そういう関わりが必要なのかもしれませんね。空港施設の場合は航空局が適宜検査を行って、管理状況をチェックしたりしています。港湾は数が多く施設も多いから、どこまでできるかというところはありますけど。

加藤　国有の港湾施設は管理委託しているので、施設保有者が維持管理に興味を示さない場合もあります（苦笑）。

伊豆　日々の仕事が忙しくて、なかなか手が回らないというのも実情でしょう。

山路　ただ、これから定年が延長になったりすると、維持管理に関われる人は案外増えたりして。経験ある人がそういう分野をやるのはありだと思う。造った人が管理に関わったり。

伊豆　造った後、維持管理をもっと重視していくように意識を変えていかなければいけないでしょうね。時間はかかるでしょうけど。

加藤　壊したくてもお金がなくて壊せない古い施設が多いのも問題かと。

伊豆　今後は、ライフサイクルマネジメントだけでなく、アセットマネジメント（資産管理）という方向になっていくとは思います。一方で、単純に施設を廃止するための予算確保については、国の制度上難しい。本当は港湾計画のときにそういうのも含めて、優先順位の付け方なんかも考えていけばいいんでしょうね。そろそろ研究を進めていかないといけない時期なんじゃないかという感じがしています。

サステナビリティの視点から維持管理を評価する

加藤　こういう話全体が、サステナビリティに関係するんですよね。

横田　そう。あらゆることがサステナビリティですよ。

加藤　サステナビリティの評価指標として、環境的側面、経済的側面、社会的側面から考えられていますよね。何かのプロジェクトに対して適切な指標を組み合わせて評価する、というふうに。

横田　港湾も空港も、これまで考えていたのはほとんどが安全性とコスト。でも将来を見据えると、他にも考えるべきことはあるだろうと。環境的側面については、建設時の二酸化炭素排出量や資源消費量を少しずつ考えるようになってきましたが、その構造物を造って維持するのにどれくらいエネルギーが必要なのか、どれくらい環境影響があるのかとか。壊したらどれくらい廃棄物が出るのかとか、そんなことも本当は考えないといけない。経済的側面としては、ライフサイクルコストだけでなく便益もきちんと算定し、施設の純現在価値を評価することが、今後の指標になってほしいですね。一番難しいのが社会的側面。耐力などの安全性や、リスクを評価するということが一番わかりやすいのですが、それ以外にも多くの切り口があります。その施設の使い勝手や歴史的・文化的価値、さらには雇用創出において果たす役割とか、利用者の満足度とか。人口が減って偏在することに対して、港湾や空港がどんな働きをするのかといったようなことまで、社会のサステナビリティには関係するんです。たくさんある中からその施設にとって重要なものを考えて意思決定をしていく。概念ですから難しいですよね。サステナビリティというと、気候変動のことだけ考える方が多いけど、それは一面からの捉え方にすぎません。

「社会との適合性」が将来の構造物の要求性能に

加藤　サステナビリティ設計にも、照査みたいな話は出てきますよね。

横田　出てきます。そのためには目標値あるいは限界値を決めないといけない。この施設に対して、社会性の評価ではどの指標を選び、その上限値や下限値を設定できれば、計算をしてそれを満たしているか否かがわかる。これが照査ですね。経済性も、ライフサイクルコストがいくら以下になるようにするとか純現在価値をこれ以上に保つとか、そんなのが決まると照査できるでしょう。環境性は、例えば、いずれ二酸化炭素の排出量抑制の数値目標が示されれば、ライフサイクルにおいてどれくらいの排出量が減るか計算でき、照査できる。ここで重要なのは、どうしてもサステナビリティを満たせないなら施設の計画あるいは要求性能を変更する、ということ。これまでの設計では、どこかがおかしいからといって要求性能を変えることはまずなかったですよね。要求性能まで遡ってできないものは無理してやらない。サステナビリティの観点で社会が必要とし、要求に適合する施設を、計画し建設し維持するというようなスタンスが求められます。

加藤　よくよく考えてみると、いまでも部分的にはやっていることですね。

横田　そうです。やっています。それに

加えて、これまであまり考えていなかったようなことも指標として設定し照査する、ということです。

伊豆　サステナビリティ設計といっても、計画から施工まで、全体を通して考えるようなかたちですね。

横田　もちろん。これが一つのライフサイクルマネジメントですよ。ライフサイクルでサステナビリティをマネジメントする。

伊豆　解体まで、ということですね。

横田　計画設計の段階から解体を考えるのは難しいと思いますが、本当はそうならないといけないでしょうね。

山路　洋上風力発電はそういうことを考えていますかね。設計供用年数が30年とか短いですから。

横田　更新するときどうするかということを考えて計画していますよね。

伊豆　羽田空港のD滑走路は100年設計でいろいろ維持管理計画をつくっていますが、20年、30年と経つうちに社会情勢が変わる。そこで社会情勢をみて、随時変更などを取り入れていくと、まさしく〝持続可能性〟みたいな感じになるんでしょうね。

横田　そのときどきの社会との適合性を考えて、見直しは当然必要。現在は要求性能というと港湾の場合は供用性、使用性、修復性、安全性といったところですが、近い将来には「社会に受け入れられる」こと、つまり社会すなわちユーザーの要求との適合性こそが要求性能になるでしょう。そういうふうに設計基準を変えていかないといけないんじゃないかと思っています。

山路　社会というのは地域？　地域ごとに、それぞれの事情に合わせてということでしょうか。

横田　全体をコントロールしながら地域も、ということでしょうね。公平性も考えないといけない。

加藤　社会への適合性、難しいですよね。

横田　今後じっくりこれについての合意形成をやっていかないと。

港湾技術者を増やし、育てて社会をリードする研究を

加藤　2018年度までSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）で「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」に取り組んでいたとき、大学を地域の拠点にして、メンテナンスの教育をしたり情報交換をしたりしていましたよね。

横田　いまもやっていますよ。インフラメンテナンス国民会議の地域フォーラムなど。北海道では3大学を拠点にして。

加藤　港湾って、わかる人が少ないから、なかなかそういう拠点がつくれないじゃないですか。道路分野は盛り上がっていて、羨ましいなと思うんですけど（笑）。

伊豆　空港でもメンテナンスブロック会議を、技術指導いただけるような学識者や地方の空港管理者をメンバーに入れてやっています。とりあえず一回、そういう組織をつくってみるというのは一つの手かもしれませんよ。課題を考えるにもよい機会になるでしょう。

加藤　とにかく技術者も含めて関わる人が少ないですよね、とくに港湾は施設数のわりに。技術者の数自体、足りているのかどうかもわからない。私、たまに大学に講義に呼ばれると、聴いている学生のうち一人でも港湾の仲間になってくれないかなと思って、必ず最後にパワポを見せることにしています。港の位置と全国のおいしいものマップ（笑）。あと、授業で時間があるとき、かっこいい橋の写真を見せて「これ全部、港湾の施設だから！」って。

伊豆　サステナビリティという意味では、担い手を確保するのは大事ですから（笑）。そういう活動は必要ですよね。

加藤　桟橋上部工点検用ROVなど、点検ロボットの活用についても、学生さんは興味があるみたいですよ。そういえば、港湾施設の点検技術のカタログをまとめるという話がありますが、補修や予防保全の技術についても取りまとめが必要ですよね。

山路　例えば10年もったとかいう耐用年数の実績があればいいですね。去年、追跡調査をやろうとしてできなかったんですが、表面被覆材による予防保全の効果については、横浜港で15～16年、けっこう健全な状態で残っているみたいなんです。こういう長期の実績をみて、採用してくれるところがあればなと。話は少し変わりますが、昔はけっこう、新しい材料とかチャレンジできましたよね。

横田　昔はたくさんプロジェクトがあったから新しいことにも挑戦できたけど、巨大プロジェクトが少なくなってきたのでなかなかやりにくいのでは。

伊豆　さらに、最近はプロジェクトが決まってから実施までの期間が短くて、技術開発している時間がないということもありますね。研究所としても課題になっています。プロジェクトを先取りして、どういう技術が必要か考えていけないかと。

山路　今後はサステナビリティを総合的に考えながら、ですかね。

加藤　まずは港空研として、そういう評価をしてみるのもおもしろいですね。

横田　世界の維持管理をリードしていくような研究を、ぜひいろいろやっていただきたい。期待しています。

納豆菌を利用した次世代自己治癒コンクリートの開発

微生物にコンクリートの〝治療〟を任せ 鋼材の腐食も抑える仕組みづくり

近年注目されている自己治癒コンクリートの、その先へ！
微生物の力を借りてひび割れを修復するだけでなく、
中の鉄筋の腐食まで抑制しようという、新技術の開発が進められています。
研究開発に取り組む構造研究領域 材料研究グループの
西田孝弘 主任研究官に取材しました。

構造研究領域
材料研究グループ
西田孝弘 主任研究官

ひび割れが〝勝手に〟治る自己治癒コンクリート

縁の下の力持ちとして船の係留や荷役を支え、防波の役割を担い、いざというときの防災にも役立つ港湾・海岸のコンクリート構造物。四方を海に囲まれた日本では、その延長は必然的に長いものとなりがちです。海水による腐食など厳しい環境の中ですが、現在の建設技術をもってすれば、整備することは可能。ただ、その維持管理となると、気の遠くなるような作業が続くことに。

「そこで近年、注目を集めているのが自己治癒コンクリート。人の折れた骨が自然にくっつくように、コンクリート自身がひび割れを〝勝手に〟治してくれるというものです」と、西田孝弘主任研究官。

自己治癒コンクリートは、無機系・有機系・バクテリア系の3つに大別できるといいます。もともとコンクリートの主成分はカルシウム。微細なひび割れであれば、自己治癒する能力をもっているのだとか。

「その能力を高めたのが無機系自己治癒材です。2つ目の有機系自己治癒材は、ガラスや分解性プラスチックなどでできたカプセルに有機系材料を封入し、ひび割れが生じた際にカプセルが破けて中の薬剤が広がることで、ひび割れを埋めるというもの。水と反応すると膨潤・硬化するものが主流です。3つ目のバクテリア系自己治癒材は、バクテリアとエサの入った粒をコンクリートに練り混ぜ、ひび割れが生じたのち、そこから侵入する海水や雨水でバクテリアを活性化させて、バクテリアが排出する炭酸カルシウムによって修復するもの。これは、オランダのデルフト工科大学で開発されました。これら3つの自己治癒材のうち、無機系とバクテリア系は既に市販されるまでになっていて、今後の利用拡大が期待されています」

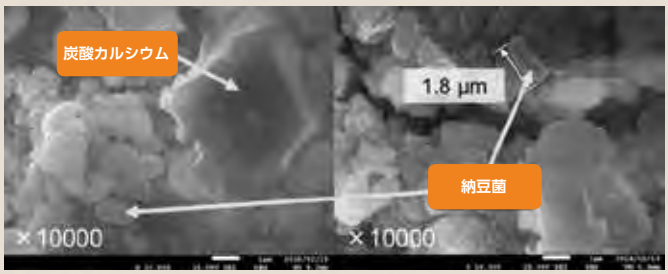
納豆菌の性質に着目！鉄筋の腐食も抑える新技術を

このような状況の中、港空研では、愛媛大学および安藤ハザマと共同で、ひび割れを治癒させるだけでなく、コンクリートに埋設された鉄筋の腐食をも〝勝手に〟抑制するという、新たな技術を開発中。

「鉄の腐食とは、酸素と水を消費しながら鉄が溶けていく現象です。こういった化学反応は、そこに必要な物質がなくなれば進まない。つまりコンクリート内部の酸素をなくせば、鉄筋の腐食は遅くなります。例えば、東京湾第三海堡のコンクリート構造物の遺構は海の中にありますが、海中深くには酸素が供給されないので、内部の鉄筋はピカピカのきれいな状態だということがわかっています。われわれはこのような現象に着目し、コンクリート内部の酸素を減らすことができる材料の探索から研究をスタートさせたんです」

行き着いたのは、コンクリート内部で呼吸して酸素を消費し、二酸化炭素を出すことで、炭酸カルシウムによってひび割れをふさぐ、好気性微生物という存在。

「なかでも納豆菌は、比較的アルカリ性が強い環境でも生物代謝（呼吸）を行うことがわかったので、その活用について検討しています。現在、JST（国立研究開発法人科学技術振興機構）のA-STEP機能検証フェーズに採択されたプロジェクトで、納豆菌を混ぜ込んだコンクリートを海洋環境に暴露し、その結果を検証中（※1）。維持管理が広範囲にわたる海岸保全施設や、効率的に製造できるプレキャスト（※2）製品への将来的な適用を目指し、研究を進めているところです」



コンクリート内部での納豆菌の様子と炭酸カルシウムの析出

※1 課題名「生物代謝を利用した高機能コンクリートの開発」
※2 事前に形成されたコンクリート部材を建設現場でつなぎ合わせる工法のこと。

初期高温履歴を受けたコンクリートの劣化挙動の検討

海水作用下での DEF膨張に関するデータを収集 将来懸念される劣化リスクと向き合う

コンクリートの劣化の原因の一つである「遅延エトリンガイト生成（DEF）」。その生成条件を考えると、今後、プレキャスト化の推進とともに日本でも劣化の発生する可能性が懸念されます。データを収集し検討を進める、構造研究領域 材料研究グループの与那嶺一秀 研究官に取材しました。

社会構造の変化で高まるDEFによる劣化リスク

エトリンガイトとは、多くの水を取り込んで体積膨張する水和物。コンクリートの硬化後にこの水和物が生成することを、遅延エトリンガイト生成（以下DEF）といいます。これによりペースト（セメントと水を練り混ぜたもの）が膨張すると、ペーストの中や、ペーストと骨材の界面にひび割れが発生。つまり劣化の原因に。

「DEFによる劣化の特徴は、内外から拘束を全く受けない状態での膨張率が2％近くに及ぶことなんです。これは、コンクリートにおける劣化の代表格であるアルカリ骨材反応（※1）のそれを大きく上回ります」と、与那嶺一秀研究官。

DEFが起こる条件は、以下の3つ。

① 硬化時に（一般的に）70℃以上の高温状態を経る。
② 酸化アルミニウムと三酸化硫黄がセメントに多く含まれる。
③ 硬化後に多量の給水を受ける。

これまで国内で確認されたDEFによる劣化事例は、コンクリート工業製品に数例あるのみ。しかし今後の社会構造の変化にともない、実構造物に対しても注意する必要が出てくる可能性があるのだとか。

「その一つに、施工性の向上を目的としたプレキャスト化の推進があります。プレキャスト製品の需要が高まるほど、よりスピーディな製品出荷が求められることに。その結果として、脱型を早めるべく、コンクリートの養生温度を上げて化学反応を促進し、初期強度の早期発現を促すことになります。ですが、温度を高くすると、DEFのリスクが増加してしまうんですよ」

その上、港湾での施工となると、常に海水に曝されることに。コンクリート内部に塩化物イオンが侵入すると、最終的にセメント水和物の一部がエトリンガイトに変わってしまい、これによってDEFによる膨張率が増加する可能性も。実際に、淡水と塩化ナトリウム水溶液に、DEFによる劣化が生じる条件を満たす試験体を浸漬させた実験では、塩化ナトリウム水溶液に浸した場合のほうが膨張率が増えたという結果が報告されています。

地道な試験を重ねることでデータを集めて検討を

わが国のDEFへの対策としては、日本コンクリート工学会刊行「マスコンクリート（※2）ひび割れ制御指針」の中の温度管理についての記載などが挙げられます。ただし、これらは、海水が供給される環境を想定して作成されたものではありません。

「最終的には、海水のDEFに対する影響を明らかにして、港湾工事における対策の必要性について検討することになると思います。ところが、DEFによる劣化事例がほとんどないわが国では、海水が作用したときのDEFの膨張挙動に対するデータが非常に不足しているんですよ。そこで、必要なデータを取ろうということに。それが、われわれがいま行っている検討の趣旨です。具体的な試験は『養生温度』『酸化アルミニウムおよび三酸化硫黄の量』『給水の種類』という3つのパラメータを振り、膨張率を測定するという地道なもの。そのなかでの膨張率の上限値と、そのための条件について、鋭意検討を進めています」

構造研究領域
材料研究グループ
与那嶺一秀 研究官

DEFにより劣化した試験体（白い部分はクラックからカルシウム成分が溶出したところ＝ひび割れ箇所）

※1 コンクリートに含まれるアルカリ性の水溶液が骨材の特定成分と反応し、異常膨張やそれに伴うひび割れなどを引き起こすこと。
※2 大きな体積を持つ大塊状のコンクリート。内部の水和熱が外部に放出されにくく温度が上昇しやすい。

伏木富山港 リプレイサブル桟橋実証試験

港湾構造物の維持管理、なかでも桟橋構造の維持管理において問題となるのは、海洋環境下での作業性と耐久性の確保、ライフサイクルコストの削減などですが、これらの厳しい条件をできるだけ削減できる工法の共同研究開発が、港湾空港技術研究所（港空研）と日本埋立浚渫協会とで2004年10月～2008年3月まで行われました。

研究は終了していましたが、2016年に開催された「港湾技術パイロット事業委員会（委員長 菊池喜昭 東京理科大学教授）」において生産性向上などに効果があると評価され、実現化のための重要なプロセスであるパイロット事業が伏木富山港新湊地区で行われました。研究開発に携わった港空研 構造研究グループの加藤絵万グループ長と、パイロット事業の現場を担当した国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所の大井栄二郎調査課長にお話を伺いました。

維持管理の省力化に向けた設計

従来桟橋上部工の維持管理では、裏面の目視調査が不可欠です。海側から暗くて視界の悪い桟橋の下に、点検者が小型ボートに乗って入り調査する、あるいは潜水士が入り調査を行っています。さらに、大規模補修などを行う際にも、海象条件による作業時間の制約、足場の設置、潜水士による作業等避けることはできません。そのうえ現場の施設の利用制限や停止など、さまざまな調整が必要とされます。

2007年4月に「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」が改正され、点検診断や維持補修の実施などの維持管理段階だけでなく、設計や施工の時点から維持管理に配慮した施設整備が望まれるようになりました。

このような背景からこの工法が実現すれば、「プレキャスト（※）コンクリート（PCa）部材を利用することによって、工期の短縮やコンクリートの品質の向上が期待できます。また、点検時に床版を取り外すことで、点検を容易に行うことができますし、仮に床版や梁の修復工事を実施する際にも工事範囲を限定して行うことで、岸壁の利用を妨げることなく工事を進めることが可能になると思うんです」と加藤構造研究グループ長。それにより点検や補修の作業性の向上のみならず、荷役作業の停止に伴う経済的損失を抑えることにもつながると期待されているそう。実現化のための重要なプロセスであるパイロット事業が、伏木富山港新湊地区で行われました。

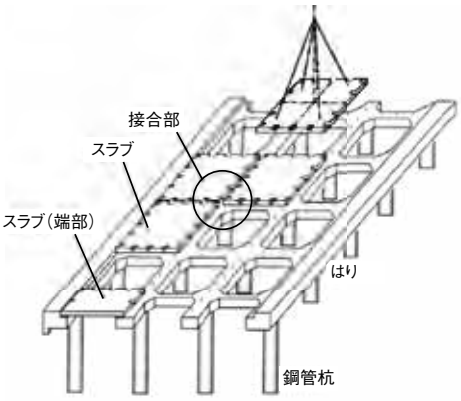
このアイデアは、前段でも述べましたが港空研と日本埋立浚渫協会が共同で開発したもので、パイロット事業は北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所が実施している伏木富山港新湊地区の岸壁-12mの延伸事業の一部を使って行われました。

2017年度に策定された現地実証試験計画

従来の桟橋下での目視調査

従来の潜水士による目視調査

港湾空港技術研究所
構造研究領域 構造研究グループ
加藤絵万 グループ長



リプレイサブル桟橋上部工のイメージ

※ 事前に形成されたコンクリート部材を建設現場でつなぎ合わせる工法のこと。

床版設置状況

床版撤去状況

床版と梁の接合部（タイプA 舗装埋設型）

床版と梁の接合部（タイプB 箱型座金）

に基づき、2018年8月から2019年10月にかけて、リプレイサブル桟橋の現地適用性等を確認するための実証試験が行われました。

「今回の実証試験では、リプレイサブル桟橋の『耐久性』、『施工性』、『経済性』の観点から従来型の桟橋との比較などを行い、本構造の実用性と今後の課題について取りまとめました」

その概要について、国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 大井栄二郎調査課長に要点をお話しいただきました。

1 耐久性について

床版の設計は通常通り四辺単純支持版として設計していますが、動的載荷試験、静的載荷試験を行った結果、リプレイサブル床版のひずみ特性は通常の方法により固定したPCa床版と同等であり、四辺単純支持版としての挙動を示すことが確認されました。これにより、床版と梁を剛結していないリプレイサブル床版の構造も従来の構造と同様に、構造体として成立することを確認しました。床版を梁などに固定する座金を止めるアンカーボルトについては、ゴム支承等の圧縮の影響と思われる〝ゆるみ〟が確認されました。対策を今後検討する必要があると考えられますが、動的載荷試験でのひずみについては想定内のものであり、想定外の応力は発生していないと考えています。さらに、座金部分の腐食については、試験期間が短時間であるため、今後引き続き調査を継続する必要があると思います。

国土交通省 北陸地方整備局
新潟港湾空港技術調査事務所
大井栄二郎 調査課長

2 施工性について

実証試験工事を通じ策定した出来型管理基準（案）については、工事を実施した建設会社の担当者にヒアリングした結果、その妥当性を確認することができました。床版の据え付け、撤去、交換も問題なく実施でき、その他施工にあたっては、それぞれの構造部位によって多くの参考となる注意点が指摘されているので、今後実施工事の施工マニュアル等を作成する場合には大いに参考となると考えています。

3 経済性について

リプレイサブル桟橋と通常の桟橋の床版設置時、床版撤去時、桟橋の点検時の工事歩掛、点検歩掛を試算して経済性に対する評価を行いました。例えば床版設置や撤去については、リプレイサブル床版は、座金取り付け作業や取り外し作業が加わるため、通常のPCa床版架設に対して作業能力が3割～4割低下しました。点検に対しては、リプレイサブル床版を取り外して開口部ができることにより、照度向上、潜水移動距離の短縮、点検作業の一部陸上化などが図られ、全体的に効率は向上します。

「以上のような評価になります。若干調査を継続したり、再考の部分もありますが今後さまざまな港湾での活用が進めばいいと思います」

以上今回の現場からの報告は、港空研が国土交通省や建設業界の皆様と協働して、研究開発の成果を現実社会に反映した事例を紹介させていただきました。

海洋コンクリート構造物のサステナブルな未来を考える

コンクリート工学を専門とする大学教授と港湾コンクリート構造物の施工技術および材料の開発に関わる企業技術者に参加を願い、Web会議システムを用いて“座談会”を開催。港湾コンクリート構造物の目指すべきサステナビリティについて、生産性向上と環境負荷低減の2つの側面から、意見を交わしていただきました。

東京理科大学
理工学部 土木工学科
教授 **加藤佳孝**さん

五洋建設株式会社
技術研究所 土木技術開発部
地盤グループ 耐震構造チーム
担当部長 **池野勝哉**さん

太平洋セメント株式会社
中央研究所
第2研究部長 **梶尾 聡**さん

東亜建設工業株式会社
技術研究開発センター
新材料・リニューアル技術グループ
リーダー **網野貴彦**さん

港湾空港技術研究所
構造研究領域
山路 徹 領域長
（材料研究グループ長併任）
（LCM支援センター センター長）

港湾空港技術研究所
構造研究領域 構造研究グループ
川端雄一郎 主任研究官
（LCM支援センター 主任研究官）

あらゆる適切な行為はサステナブルへとつながる

加藤　サステナビリティは、いまでこそSDGs（持続可能な開発目標）といったようなことで一般にも広まりつつありますが、それでもまだ新しい概念。でも決して真新しいことをやっているわけではなく〝正しいことを正しく進める〟ということで、それを広く理解してもらうことが、すごく大切なのかなと思っています。で、ことインフラに関してはそのときに、可能な限り広い範囲で問題を意識し、解決策を考えていくということを意識すべき。構造物を造るということはどちらかといえばローカルな問題で、具体的にはそこにフォーカスして考えなければいけないんだけど、背景ではいろんな問題が世界につながっている。そこを意識して行動していくということが重要で、それさえ踏まえていれば、どの行動もサステナビリティにつながっていくというふうに解釈しています。なので、個人的には、サステナビリティというもののハードルをなるべく下げられるような表現なり説明なり、提案なりをしていくことが大事なのかな、と。あともう一つ、そうやっていろいろな要素を考える以上〝唯一絶対の正解〟なんてありえないということ。大事なのは、ある構造物を造ったとか、あるプロジェクトを遂行したとかというとき、それがどういう考えのもと行われたかを、後から第三者が客観的に評価できるということなんですよ。なので、なるべく定量的に、そうでなければ定性的に、思考のプロセスをしっかり残すことが必要になる。よく具体的かつ詳細なマニュアルをつくることを望まれたりもしますが、それはあまりマッチしないでしょうね。基本のコンセプトは共有化しつつも、具体的にはローカルに対応していくというのが、本来のサステナビリティを考えた行為なのかなと思うんです。

施工技術の開発で目指すインフラ整備・管理の効率化

山路　概念について伺ったところで、ではここから具体的な話に。まず施工側の立場からはいかがでしょうか。

池野　当社（五洋建設）では、4、5年前からCIM（※1）などICT（情報通信技術）関連に力を入れています。国内港湾で初めてCIMを導入したのは4年前、福島県の相馬港。鋼管杭打設の支持層管理や、上部工の配筋や機器類との干渉チェックに役立てました。最近では、UAV（ドローンなどの無人機）を使って気中部分から水中の見えない部分までシームレスに出来形を管理するといったことにも取り組んでいます。あと、桟橋工事のプレキャスト（※2）施工にも力を入れていて。プレキャストというと、工場で製作したものを現場に持ち込んで組み立てるのが一般的ですが、まず着手したのは現地でプレキャスト部材を造る「サイトプレキャスト」です。公共工事で採用いただけるよう、現場打ちで設計された桟橋上部工のアウトラインを変えることなくプレキャスト化する技術を考えたら、この選択しかなかった。プレキャスト自体はそんなに難しいことではないのですが、上部工でいえば、杭頭部分の接合とプレキャストの部材同士の接合の二つが、維持管理レベルを考慮する上でも技術的な課題になってくると思います。これまではこういったサイトプレキャストの開発を進めてきましたが、今後はさらなる生産性向上のため、設計段階からのプレキャスト化が進んでくることに期待したい。それを見据えて、工場で製作して陸上運搬し、現場で組み立てることができるような技術も開発中です。設計段階からプレキャストを意識できれば部材の軽量化・スリム化も可能になるので、桟橋の下部工も合理化されますし、桟橋全体の事業費のコストダウンが可能になってくるでしょう。また、桟橋の維持管理に関する省力化技術として、従来の専門家による目視調査というやり方を少し変えようと、無線LANボート（i-Boat）での調査・診断技術を開発しています。陸上からコントローラで操作しながら桟橋下面の画像をたくさん撮影し、それを3D化して、自動で劣化診断をしてくれるというようなシステムで、人が入って調査するより効率がよく、生産性を格段に上げることが可能に。また、こういった劣化度の調査結果から、桟橋の耐力を評価することも可能になってきています。どの桟橋をどのエリアから補修すべきか、維持管理のゾーニングに使える技術ということで提案しているところです。

網野　経済社会への持続性という点からいうと、やはり建設業界で一般にいわれているように、担い手不足は大きな課題。海上での作業にはやはり特殊な技能が必要で、とくに港湾構造物を造る上ではそういった作業が多いんです。この海上作業をいかに効率的に行うかというところが一つのポイントに。そこには当然、プレキャスト化やロボットを使うというような取り組みも入ってきます。五洋建設さんとは違う話題ということで、政府主導のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の中で当社（東亜建設工業）も力を入れてきた内容についてご紹介させていただくと、一つはセンサモニタリング。センサをあらかじめ構造物に埋め込み、その情報を集めることで、構造物の点検診断などを高度化・効率化していこうというものです。通常はダイバーの目視に頼っているところをもう少し客観的に評価できるような技術に発展させるべく、そういったシステムを用意しました。ただ、これを普及させていくにはいろいろな課題が……。やはりセンサで何がわかるのか、それによってどんな効果があるのかといった説明的なところが不十分なんですね。そのあたりをクリアし、見えないところをセンサで〝見える化〟するという概念を構造物にうまく活用していくことで、効率化につなげたいと考えています。もう一つ、プレキャストの話も。将来的には、例えばJIS（日本産業規格）製品のように第三者機関が認めた品質の標準化品のプレキャストを、設計段階からうまく活用していくほうがいいんじゃないかと思っていて。これまでのように複雑な形状でいろいろなバリエーションがあることが、設計の自由度を高めるという意味ではよかったのかもしれませんが、海上作業のロボット化や自動施工というものを考えていく上では、設計段階からそういった仕組みがあったほうがいいかなと。業界全体の話にもなるので、産学官あわせて共同体制を今後考えていく、一つのベクトルになるといいなと思っているところです。

※1 Construction Information Modeling/Management の略。
　3次元モデルを中心に関係者間で情報を共有することで、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図るもの。
※2 事前に形成されたコンクリート部材を建設現場でつなぎ合わせる工法のこと。

生産性向上に寄与する材料の開発を

梶尾　私のほうからは、コンクリートの材料という側面からの技術紹介をさせていただきます。先ほどから話題になっているプレキャストの普及に関しては、型枠を造ると高額になるのと、使わない型枠の置き場の問題もあったりで、なかなか汎用的ではなかったんですね。当社（太平洋セメント）では、3Dプリンタの技術が進み、設計するソフトの部分も進化してきたので普及してきていますが、ではその材料をどうするかということで、「材料押出し方式」と「結合剤噴射方式」という2つの方式用の材料を開発しました。ただ、材料をどこで製造し、どうやってデリバリーして……というところがまだ実用的に十分に進んでいない。今後、サステナビリティというところでは、現場製造というようなことも考えていかないと。そのための3D技術については、これからついてくるかなと思っています。あと、ほかに取り組んでいるのは超高強度コンクリート技術。羽田空港拡張化工事で使われたりしたことで、近年、UFC（超高強度繊維補強コンクリート）はだいぶ普及してきました。当社では、耐摩耗性をさらに高めるにはもっと強度を上げる必要があるということで、PFC（無孔性コンクリート）という緻密な組織を有する材料を開発。世界最高強度に挑戦しようとしています。ただ、やはりわれわれはプロダクトアウトで、材料をつくってからどう使おうかと考えているところもあり、なかなか使用が進まないのが課題。あと、ポリマーセメントコンクリートのような排水の問題から生コン工場で練るのが難しい高耐久な材料も、現場で練って施工するようなことも始めているのですが、こういう特殊で高価な材料は、日本ではまだなかなか使ってもらえないんですよね。当社の取り組みとしてはもう一つ、コンクリートの品質予測というところで、AI（人工知能）のディープラーニング（深層学習）を用いて、画像認識システムでスランプ（生コンクリートの軟らかさの程度）を予測するという技術にも着手しています。品質の安定性という面から、工事現場の無人化といったところに貢献できればと考えています。

二律背反する省力化と技術継承両立の鍵はVRに？

加藤　先ほど担い手不足という話が出ましたが、気になっているのは、全産業に占める建設業の労働災害の割合の高さ。とくに港湾は危険な工事が多いと思うのですが、いまお話しいただいたような技術開発を進めていくことで、この割合は減っていくんでしょうか。

池野　当然、プレキャストが進んでいけば、安全性は格段に上がると思います。コンクリートを海上で打つことも大変ですが、桟橋なら、後で型枠支保工（※3）を外しに行くのが一番怖い。そういう意味では、部材を現地で組み立てるだけというのは大きいです。われわれの反省すべきところは、プレキャストにすると安全性も品質も上がると説明しながら、それを定量的に示せていないんですよね。説明を受ける側からすれば納得しにくい。今後の課題かなと思っています。

網野　波浪の激しい厳しい場所でのニーズが広がっているなか、安全を担保していくためには、やはりできるだけ自動化とか、船上でなくても操作できるとか、そういう技術をうまく使っていかないといけないでしょうね。

梶尾　ただ、技術が進んで省力化されるほど、熟練する人がいなくなってしまうのは問題かなと。アクロバティックな作業が必要な現場でも、3Dとかロボット化が進めば工事はできるでしょうけど、何かあったときに対応できる人間は絶対に必要ですよね。建設業界って、実は技術の継承が一番重要だと私は思っているのですが……。

加藤　いまはVRとか、本当にリアリティのあるものがバーチャルで再現できるようになってきているじゃないですか。もはや現場に行かずとも体験できるっていう世の中に、もうすぐなるような気がするんですよ。現場に行くことは大事だけど、そこにこだわっていたら若い人は来ない。先端技術をフル活用しつつ、僕らのマインドを変える必要がある。本当に安全で、でも知りたいことは知ることができて、技術も習得でき、想像力も備わって……というところにシフトしていかないといけないと思うんですけど、そういうのだとやっぱり難しいですか？

川端　港空研で行う維持管理の研修でも、船外機で桟橋の下に入って撮った画像をVRで見てもらうということを試行的に実施したことがあります。実際に桟橋の下に入ったことがない人でもイメージできるようにという取り組み。確かに現場に行かなくても仮想体験は可能。それによって、少しずつノウハウを蓄積できる可能性はあるかなと感じますね。

加藤　現場では人が入れない構造物の中が見られるのも、VRのメリット。例えば型枠など、適切な打ち方をした場合と不適切な打ち方をした場合をシミュレーションして、中からの視点で観察することだってできるでしょう。いまよりもっと深く想像力をかきたてられる学習も可能だと思うんですよ。もし企業がタッグを組んでそういう教育ツールをつくってくれたら、大学でも積極的に使いますね。

環境負荷低減のためのさまざまな取り組み

梶尾　あまり知られていないことですが、セメント工場って、いろいろな廃棄物や副産物を受け入れているんですよ。現在、業界全体で使用している廃棄物・副産物は、年間2800万tほど。セメント1t製造するのに476kg使うんです。そのまま入れているわけではなく、例えば燃えるものを燃料代替にしたり、汚泥を代替成分として原料利用したり。そういったところで環境への対応は、かなり行っています。ただ、そのリサイクルには、普通にセメントを製造するよりエネルギーが必要で、そうすると今度はCO_2の問題が出てきてしまう。環境負荷低減とCO_2の問題というのは、かなり業界としては厳しいですが、取り組んでいこうということになっています。それから、コンクリート舗装について。コンクリートにすると耐久性が上がり、ライフサイクルコストで考えればアスファルト舗装よりかなり低減できることはわかっていたのですが、最近カナダで行われた実験で、コンクリートは硬いため大型車のタイヤの転がり抵抗が小さく、燃費がよくなるという結果も。さらに、コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べ白いので、照明コス

※3 建設現場でコンクリートの打設に用いる型枠を支持するための仮設の設備。

トも削減できる。ともにCO_2削減にもつながります。現在は適材適所ということで進めているコンクリート舗装ですが、実は他の効果もいろいろあるんです。

川端　われわれが維持管理をしていく上で、最重要課題はやはりコスト。基本的にライフサイクルコストを下げる戦略がとられることになるわけですが、必ずしもそれがベストとは限りません。例えば、ライフサイクルコストを計算すると、取り替えるのが一番安いという結果になることも多々ある。でも取り替えには、その間そこのバースの経済活動を止めてしまうという側面もあるし、造り直すことで逆に環境負荷が大きくなる可能性もありますよね。そういった観点から、ならばどういう維持管理戦略を考えたら最適になるのかを検討しています。特にサステナビリティという大きな枠で考えたとき、非貨幣価値とか数値化できない指標というのもたくさんあって難しい。数値化しやすいものから試しているところです。もう一つ、大きな流れが生まれつつあるグリーンインフラの話も。グレーインフラ、つまり人工構造物と、自然の機能を活用したグリーンインフラは、どちらかというと対立項と見られがちですが、ハイブリッド化させようというのが最近の動向です。それによってトータルでの環境負荷を下げるとか、別の便益を生み出すとか、いろいろな考え方がある。ただ、それをどういうふうに評価するかというのが、まだきちんと定まっていないというのが現状ですね。

山路　気候変動、あるいは環境負荷低減の問題に関して、施工者側からはいかがですか？

網野　やはり憂慮しているのは最近の台風の激甚化。とくに護岸は、海面上昇や津波などに対しても、嵩上げ工事といったニーズがある。作業自体は単純でも、新たな外力が来ればまた壊れるだろうし、どこをどうグレードアップさせていけば追いつけるのかというのは、けっこう大きな課題なんです。既存コンクリートの上に新たなコンクリートを打ち継ぐ際、倒壊を防ぐために、設計の中で目荒らし（※4）をしておいたほうがいいと施工的にはいわれていますが、耐力的に評価できていない。当社では、目荒らしやアンカー筋（※5）の効果をもっと定量評価して耐力を考えていこうということで新たな工法の提案をしています。今後設計外力がどうなるか難しいのですが、こういった外力に抵抗する技術を考えていくことは、われわれ施工会社の使命だと感じています。

池野　環境負荷低減については、リサイクル材料の推進というような形で貢献しているのかなと思っています。従来やっている浚渫粘土の有効利用もそう。最近でいえば浚渫粘土と鉄鋼スラグを合わせたカルシア改質材などは、ゴミ同士を合わせることで新しい材料に生まれ変わっていますし、赤潮や青潮の発生を抑制できるという新たな効果も発揮しています。また、洋上風力を施工者側として推進していくことも、環境負荷低減への貢献ということになるでしょう。その中では、かつて経験したことのない大きな杭を深いところで打っていかなければならず、これまであまり気にしていなかった水中での騒音や振動が漁業に与える影響といった、新たな課題にも直面しているという状況です。

正解なき〝正道〟を行く！ サステナビリティは情報開示の覚悟から

加藤　評価指標を決めることも難しいけど、仮に決めたとして、それをどう検証し、技術として採用されるのかとなると、本当に難しいですよね。さらに、環境などあらゆる側面を考えると、実証実験に基づいて技術が採用されたとしても、できたものをどう検証するのかといった問題も残る。

梶尾　建築の分野ではかなり前から、環境に配慮しているということでのランク付け（CASBEE：建築環境総合性能評価システム）などが行われていますが、土木ではまだまだ。例えばライフサイクルコストとかLCCO$_2$（ライフサイクルCO_2排出量）とか、そのあたりの評価が進んでくると、もう少しそちらの方面も進展があるかなと期待しています。実際、土木分野のライフサイクルコストというのは、本当に難しいですね。

山路　それでも昔に比べれば、ライフサイクルコストという考え方は普及しつつありますよね。

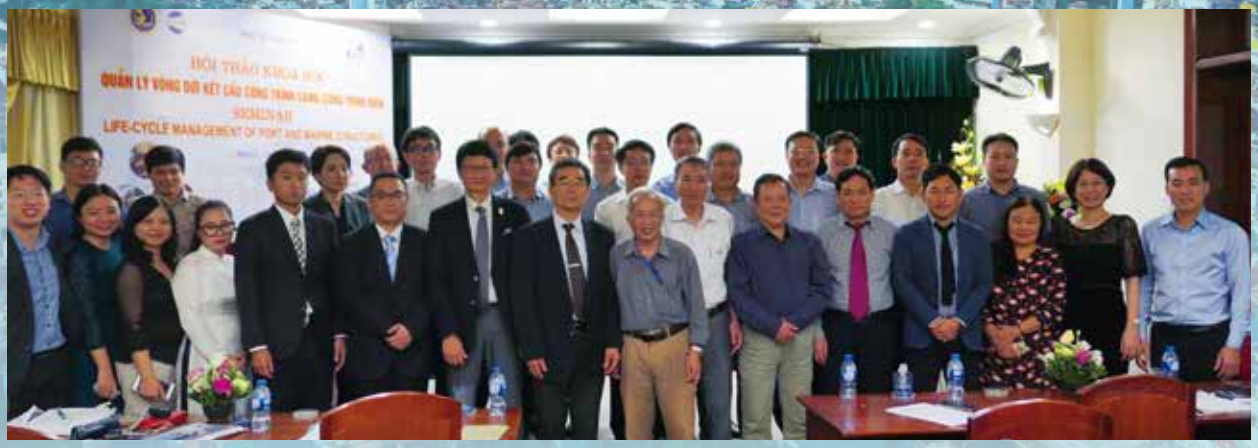
加藤　ただ、それをどう担保するかという問題が。みんなで合意し、採用して、長い目で見て担保できたということを確認しながら前に進む、みたいなことが必要。そういう、長い目で見た評価方法も考えていかないといけませんね。

山路　設計時に何らかの方法で評価しておいて、造ったあとも追跡調査なりをして、ちゃんとできているかを検証する。それを、全部まとめてできるようにしないと……ということですね。ただ、土木分野では評価方法もまだ検討中だし、仮にあったとしても公共工事では、積算基準のような確固たるものがないので、いまの時点では評価の根拠が曖昧ということになりがち。ローカルな問題に対応した自由なやり方が認められるような方向に、これから変わっていくことに期待したいですね。

加藤　従来どおりのやり方が公共工事のあるべき姿なのか、それとも、いろいろな新しい要素も考慮して、正解はわからないが可能な限りよいことをしているというふうに説明して市民に納得してもらうスタンスにするか。どちらかだと思いますよ。それはもう国が決めること。仮にサステナビリティの方向に行くと大号令をかけてくれたら、そちらに向かって舵を切るまでです。従来のようなきっちりした基準ではなく、その代わり、これまで以上にプロセスをすべて開示し、コストについても後年には全部公開するというふうに。その覚悟をもって、市民・国民の信頼を得ればいい。そういう方向に行くしかないと思っています。

※4 コンクリートの表面に凹凸を設けて粗く仕上げる作業のこと。
※5 コンクリート躯体などに固定のために埋め込む鉄筋。

ベトナムで開催された維持管理セミナーで福手勤センター長が講演を行いました



2019年11月13日、ベトナムで港湾構造物の維持管理に関するセミナーが開催されました。

2017年度よりベトナムの維持管理基準の策定に関連して、日本とベトナムの研究機関が共同で研究を進めていますが、今回のセミナーはこの活動の一環として、港湾構造物の維持管理に関する技術交流など維持管理に関わる専門家を交えた意見交換を行うために開催されたものです。日本からは、港空研のライフサイクルマネジメント支援センター 福手勤センター長（東洋大学教授）、加藤絵万上席研究官ら6名、海洋・港湾構造物維持管理士会（MEMPHIS会）から内藤英晴会長ら4名が参加。ベトナム側は港湾施設の設計や維持管理に関する専門家（大学教授等の研究者など）40名程度が参加しました。

福手センター長

講演会では福手センター長ら5名が講演を行い、福手センター長は「港湾施設の耐久性向上とライフサイクルマネジメントの重要性」と題し、日本の港湾施設の維持管理の現状とライフサイクルマネジメントの重要性についてスピーチしました。各講演にはそれぞれ多くの質問が寄せられ、なかでもコンクリート構造物の電気防食に関する講演はベトナム側の参加者にとって新しい情報だったために大きな注目を集めていました。

内藤会長

近藤理事

今回のセミナーを通じて、ベトナムの技術者たちに維持管理の重要性を広く認識してもらえただけでなく、日本の技術者もベトナムでの維持管理の課題を知ることができました。また、今年度、ベトナムでは日本の維持管理システムを参考とした維持管理基準が策定される予定ですが、今後も引き続き、さまざまな課題を共同して研究することを確認できました。

小城技術委員（左）、長田氏（右）

セミナー参加者（役職は当時）

港湾空港技術研究所

＜ライフサイクルマネジメント支援センター＞

福手勤センター長（東洋大学教授）、加藤絵万上席研究官、川端雄一郎主任研究官、野上周嗣主任研究官、田中豊研究官

＜材料研究グループ＞田土弘人依頼研修員

海洋・港湾構造物維持管理士会

内藤英晴会長、近藤良理事、小城守技術委員、長田佑平

講演会内容（敬称略）

福手勤「港湾施設の耐久性向上とライフサイクルマネジメントの重要性」
内藤英晴「海洋・港湾構造物維持管理士会（MEMPHIS 会）の紹介」
近藤良「コンクリート構造物の断面修復について」
小城守、長田佑平「コンクリート構造物の電気防食について」

就任のご挨拶

港湾空港技術研究所長
稲田 雅裕

４月１日付で港湾空港技術研究所長を拝命しました。長崎県出身で前職は九州地方整備局副局長です。四半世紀前、運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所で羽田空港沖合展開事業の調査設計を担務していた折りには、地盤や構造の問題の相談でそれこそ隔週ベースで久里浜に通い、様々なご指導を仰ぎましたが、勤務するのは今回が初めてです。

私は、貴重な国民の税金を使って直轄事業として実施する港湾空港整備については、施設を適切に国民に提供することはもとより、技術の進歩･発展といった付加価値をも生み出すのが国の使命だとかねてより考えています。羽田空港沖合展開事業でも、舗装や地盤改良の新技術、新工法が沢山生み出され、まさに港研と港湾建設局のタイアップが奏功した良き事例だったと思います。技術課題は現場に有りです。私共の研究所は、直轄組織の一員として、地方整備局とのコラボレーションに一層積極的に取り組んでいきたいと考えています。国土技術政策総合研究所との連携も従前以上に強化し、整備局に対して積極的な解決方策を提言、研究所はその現場データから有用な研究成果を出し、同現場も新たなイノベーションを起こした優良プロジェクトとして世間に認知されるという、素晴らしき正のスパイラルが出来ることが理想です。栗山前所長をはじめ歴代の所長が脈々と敷かれた路線、すなわち現場課題の解決と世界水準の高度な研究成果という二兎を追う研究所として機能できるよう、全力を尽くす所存です。どうぞよろしくお願い申し上げます。

国立研究開発法人
海上・港湾・航空技術研究所
理事長
栗山 善昭

４月より海上・港湾・航空技術研究所（通称、うみそら研）の理事長として三鷹で勤務しております。就任して直ぐに緊急事態宣言が発令され、うみそら研もテレワークが基本となったため、海上技術安全研究所（海技研）や電子航法研究所(電子研)の職員とはなかなか話ができていません。したがいまして、海技研や電子研の気質のようなものは、まだ、把握できているわけではありませんが、現時点で、三研究所で大きく異なると感じているのは、研究成果を活用してもらう相手です。海技研の場合、相手のほとんどが造船会社や舶用機器メーカーなどの民間企業となります。一方、電子研の場合は、そのほとんどが国になります。港空研は、７割が国、３割が民間といったところでしょうか。

理事長に就任したときの挨拶でも述べましたが、三研究所には、各研究所の関係者の期待に応えるために、それぞれの研究の深化を図ってもらいたいと考えています。一方で、うみそら研としてシナジー効果も出していかなければいけません。研究所をまたぐ共著論文など目に見える直接的な成果だけではなく、他の研究所のちょっとしたノウハウを自分たちの業務に活用するなどの間接的なシナジー効果も狙っていきたいと考えており、研究や管理業務の進め方などのざっくばらんな情報交換を行いたいと考えています。PARIをお読みの皆様には、港空研のみならずうみそら研の発展のために、今後もいろいろとご助言等をいただければと思っておりますので、引き続きよろしくお願いいたします。

PARI 世界に貢献する港湾空港技術
VOL.40 JULY 2020

もっとよく知ろう 港湾空港 海や空の豆知識

研究者が解説します！

コンクリートは海水に曝されても大丈夫？

構造研究領域
材料研究グループ
与那嶺一秀
研究官

コンクリートはセメント・水・砂・砂利の計4種類の材料で出来ています。セメントは水に触れると化学反応を起こして、硬化します。しかし、セメントと水のみでは、その化学反応で体積が減少し、ひび割れが発生してしまいます。そのため砂と砂利を入れて、コンクリート全体の体積が縮まないようにしています。

さまざまな施設などに使われているコンクリートですが、港湾のように海水に直接曝される環境だと、劣化してしまうことはないのでしょうか？

写真1は、26年間という長い間、干満帯（潮の満ち引きで、海中に入ったり出たりする環境）で海水に曝されていた試験体です。切断して観察しましたが、ひび割れなどの異常は確認されませんでした。また、コンクリートの強度も低下していませんでした。このように、一般的にコンクリートは、海水に曝される環境に長期間置かれていたとしても、ほとんど劣化しない丈夫な材料なのです。

写真1

干満帯に 26 年間暴露された試験体
（上部は切断面）

ただし、絶対に劣化が発生しない、というわけではありません。写真2のように、角の部分からひび割れが入り、ボロボロとなった事例があります。私たちはこの現象を“海水劣化”と呼んでいます。海水劣化は、“日射を受ける飛沫帯（常に大気中にありますが、波のしぶきが当たる環境）に置かれたコンクリートにごく稀に生じる”という特徴があります。また、“実際の港湾施設ではほとんど発見されていない”という特徴もあります。このように事例が少ないことから、今の段階では、日射と海水がどのようにして海水劣化を生じさせるのかというメカニズムが明らかになっていないのです。私たちはこれを解明するために研究を続けています。

写真2

海水劣化の事例（試験体）

また、他にもアルカリ骨材反応という砂や砂利に原因のある劣化や、本誌P7の「Focus On」でもお話ししている、DEFというセメントペースト（セメント＋水）の部分に原因のある劣化もあります。

どの劣化も、不明な点がまだ多く残されており、研究は続きそうです。

企画・発行　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　Port and Airport Research Institute（PARI）
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1　TEL:046-844-5040　FAX:046-844-5072　URL:http://www.pari.go.jp
編集・制作　（株）ホライゾン

本誌の定期送付・送付中止・送付先変更のご依頼、ご意見・ご感想などはこちらまで

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
Port and Airport Research Institute（PARI）

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1　TEL：046（844）5040　FAX：046（844）5072　URL：http://www.pari.go.jp

VEGETABLE OIL INK
グリーン購入法に基づいた
用紙を使用しています。