



表紙写真

読者の皆様に機関誌「CDIT」の発信する情報を、よりダイレクトにお伝えするために、毎号ご紹介する記事内容より写真等を一部抜粋・掲載しております。記事内容ともども毎号新しくなる表紙写真にもご注目ください。

○沿岸 レポート p.44	○技調探訪 p.39	○座談会 P.11	○第23回 国土技術開発賞 p.33
○第23回 国土技術開発賞 p.35	○第23回 国土技術開発賞 p.36	○座談会 P.6	○特集 p.16
○特集 p.26	○技調探訪 p.40	○特集 p.28	○座談会 P.10
○民間技術の 紹介 p.31	○座談会 P.11	○座談会 P.5	

3

特集

## 沿岸技術の進展と今後の課題 ～コースタルテクノロジーの現況～

4

〈巻頭座談会〉

沿岸技術の進展と今後の課題

- 岩波 光保氏 東京工業大学 環境・社会理工学院 教授  
 高野 誠紀氏 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 所長  
 柴木 秀之氏 一般社団法人 港湾技術コンサルタンツ協会 会長  
 野口 哲史氏 一般社団法人 日本埋立浚渫協会 技術委員長  
 宮崎 祥一(司会) 一般財団法人沿岸技術研究センター 理事長

12

港湾の技術開発にかかる行動計画について

国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室

14

高潮・高波災害の軽減のための技術開発の進展

河合 弘泰 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 特別研究主幹

18

港湾施設のLCMをめぐる技術の進展と研究課題

横田 弘 一般財団法人沿岸技術研究センター 参与

22

建設・産業副産物の地盤材料としての有効活用をめぐる技術

菊池 喜昭 東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授

27

海洋開発を支援するインフラ技術の進展と研究課題

松本 さゆり 国立研究開発法人 海上・港湾・航空研究所 港湾空港技術研究所  
 インフラDX研究領域 ビッグデータ研究グループ長

31

民間技術の紹介

浚渫土を原料とするリサイクル実用化技術(脱水固化石材)

りんかい日産建設株式会社・伊藤忠TC建機株式会社・ラサテック株式会社

32

第23回 国土技術開発賞

32

〔優秀賞〕 吸水性泥土改質材と改質土の活用技術について

山内 裕元 ジャイワット株式会社  
 和栗 成樹 五洋建設株式会社

34

〔入賞〕 カルシア改質土の土運船混合管理システム

和田 眞郷 東洋建設株式会社

36

〔創意開発技術賞〕 ICT活用による消波ブロック据付作業の効率化  
 モデルによる数量算出から据付シミュレーション

堀田 佳孝 株式会社森川組

38

技調探訪

38

〔VOL.1〕 新潟港湾空港技術調査事務所

40

〔VOL.2〕 横浜港湾空港技術調査事務所

42

CDIT出版物&プログラム

44

沿岸レポート

濱口梧陵国際賞授賞式

玉石 宗生 一般財団法人沿岸技術研究センター 研究主幹

45

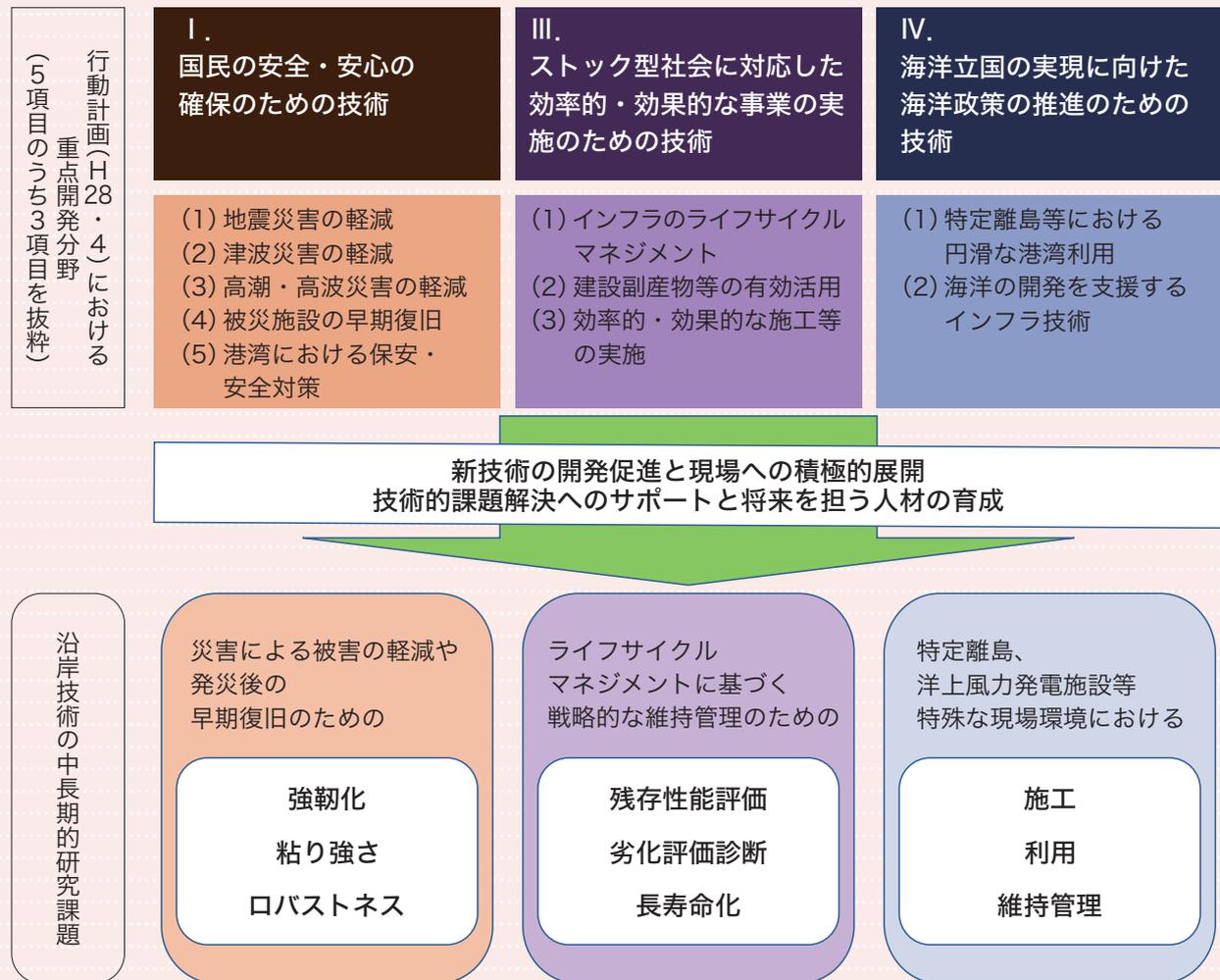
CDIT News

# 沿岸技術の進展と 今後の課題

～コースタルテクノロジーの現況～

平成28年4月に国土交通省港湾局が「港湾の技術開発にかかる行動計画（7カ年計画）」を策定し、港湾分野において重点的に取り組むべき技術開発の中期的な方向性が示されてからおよそ6年が経過しようとしています。この間に港湾工事におけるICT活用技術など実用化の段階に進展した技術もあれば、粘り強さや劣化の評価技術など、まだまだ調査・研究段階にある技術もあります。

本特集では、沿岸技術分野について、巻頭座談会で有識者等のメンバーにより技術の進展状況、中長期的に取り組むべき研究課題、今後の期待等への議論を深めるとともに、続く特集記事で上記「行動計画」に示された技術の開発に取り組んできた方々から各分野における現況や今後の動向等を解説・紹介していただきます。



行動計画における重点技術開発分野と沿岸技術の中長期的研究課題

## 沿岸技術の進展と今後の課題



岩波 光保

東京工業大学  
環境・社会理工学院  
教授



高野 誠紀

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  
所長



柴木 秀之

一般社団法人  
港湾技術コンサルタンツ  
協会 会長



野口 哲史

一般社団法人  
日本埋立浚渫協会  
技術委員長



宮崎 祥一(司会)

一般財団法人  
沿岸技術研究センター  
理事長

**司会(宮崎)**▷本日は沿岸技術研究センター機関紙CDITの座談会のためにお時間をいただき、大変ありがとうございます。

国土交通省港湾局は平成28年4月、「港湾の技術開発にかかる行動計画」(以下「行動計画」)(7カ年計画)を策定し、国民の安全・安心の確保のための技術、ストック型社会に対応した効率的・効果的な事業の実施のための技術、海洋立国実現に向けた海洋政策推進のための技術など港湾分野で重点的に取り組むべき5つの技術開発分野の中長期的な方向を示しました。

行動計画ができておおよそ6年が経過しようとしていますが、この間、港湾工事におけるICTの活用技術など試験運用、本格運用の段階に至っている技術もあれば、粘り強さや劣化の評価技術など、まだまだ調査研究の途上にあるものもあります。

当センターは、一般財団法人国土技術研究センターと共同で国土技術開発賞というものを運営しています。これは技術開発者の研究開発の意欲高揚や建設技術水準の向上を図ることを目的として、すぐれた新技術に対して国土交通大臣表彰をしているものです。毎年やっていますが、そこで最優秀賞をはじめ受賞した技術は、すべて現場の声やニーズから生まれてきたものでした。

本座談会では今申し上げた背景のもと、港湾も含む沿岸技術分野において既に現場で普及している技術や普及が見込まれる技術開発の状況を踏まえつつ、メカニズムの解明や事例の検証など、まだ実用化までにやらなければいけないことがある技術にどのようなものがあるか。それから、今後積極的に取り組んでいべき課題や技術開発のあり方について展望していきたいと思えます。

### 1 港空研が立てる四つの研究開発課題

**高野**▷技術開発の行動計画との関わりを、自己紹介を兼ねてお話しします。遡ると平成13年度当時は港湾局技術課に在籍し、港湾局初の技術開発五箇年計画(平成8~12年度)を受け継ぐ形で「新世紀を拓く港湾の技術ビジョン」(平成13年5月)を作りました。

それをしっかり進めていくためにはビジョンだけではなくて体制作りもしなければいけないという議論がありました。そのため技術ビジョンを受ける形で「港湾の技術開発にかかる行動計画」(第1期(平成13~17年度))を作成し、その中でワーキングを併用しながら、技術開発、研究をしていくという体制にしました。それが現在に繋がっているのは非常に感慨深いです。

私ども港空研は、現在この行動計画のもとで技術開発、研究を進めています。第1期中長期計画は、行動計画と同じ期間(2016~2022年度)、港空研としての7カ年計画を立てています。

この中長期計画では四つの研究開発課題を立てています。一つは沿岸域における災害の軽減と復旧で、これは地震、津波、高潮・高波が対象です。二つ目は、産業と国民の生活を支えるストックの形成です。これには、国際競争力とインフラの有効活用という観点が含まれています。三つ目は海洋権益の保全と海洋の利活用、四つ目は海域環境の形成と活用です。この柱のもとで、地震、津波、あるいはインフラのライフサイクルマネジメント、沿岸生態系の保全活用といった九つのテーマを立てて研究を進めています。

テーマごとにテーマリーダーを置いて、それぞれのテーマの中で実施する個々の研究の進捗管理をしながら、テーマ全体をマネジメントしています。テーマごとの研究管理としては、事前評価、中間評価、事後評価の3段階の評価を実施しながら、研究成果から新たに展開、あるいはステップアップしていくなど着実に研究を進めています。



模型に遠心力を加え実物スケールでの動きを再現できる遠心模型実験装置

## 2 洋上風力のための基地港湾という新しい概念

**野口**▷日本埋立浚渫協会では毎年、国土交通省へいろいろな技術的要望や提案を行っています。生産性の向上と働き方改革、担い手確保というテーマで行っています。最近のテーマは、ICTによる生産性の向上と、BIM/CIM<sup>1</sup>クラウドを使ってどうやって技術基盤を整えていくかということです。また、去年からカーボンニュートラルへの貢献を港湾としてやっていくためにはどういう要素技術の可能性が

あるかといったことを議論して取りまとめています。

もう一つ、技術委員会の下に洋上風力部会という部会があって、私はこの立場で港湾局が主催されている「基地港湾のあり方に関する検討会」にも委員として参加しています。港湾の世界に再生エネルギー源の主力として事業化される洋上風力発電施設整備のための基地港湾という新しい概念が入ってきました。基地港湾はいかにあるべきかを提言させていただいています。今日はそういうことに触れられればと思います。

## 3 コンサルタントとしての役割

**柴木**▷港湾技術コンサルタンツ協会の活動を少しご紹介します。基本的には、会員である民間コンサルタントがボランティア的に参加している組織です。その中に技術調査委員会というものを設置して、テーマごとに専門委員会を設置しています。特に港湾局の「i-construction推進委員会」に参加し、情報を収集して、会員の皆様に新しい技術課題、成果等を紹介する役割を担っています。

コンサルタント業務は計画、調査、解析、設計、維持管理とかなり幅広い分野にわたり、多分野の技術的な課題、業務契約上の課題を要望という形で取りまとめて、港湾局、地方整備局、国総研、港空研などにお話し、共に課題解決のための方策を考える活動をしています。

技術開発において、コンサルタントは資金、人材確保を含めてそれほど力のある組織ではありませんし、できあがったものは公共調達的面からなかなか自社で独占して業務を受ける形になりません。単独での技術開発そのものは非常にハードルが高いと認識しています。

したがって我々コンサルタントは、委託業務の中で出てくる技術開発のニーズを把握し、それを大学や国総研、港空研などに伝える役割が一番重要ではないかと思います。また、最近は担い手が少なくなっているため、大学や国総研、港空研など社外の研究機関に研究員や研修員を派遣し、技術開発を人材面で支援することも非常に重要な役割であると考えています。

## 4 今後重要となる異分野連携・多業種連携

**岩波**▷大学の同僚の教員の話などを聞いていると、インフラの維持管理や長寿命化が今後は非常に大きな課題になるだろうということです。一方で、それをやるとしても、現

象としての劣化や性能低下のメカニズムは、まだ十分に解明されているとは言いがたいと思います。このへんの基礎研究が大事だということは、われわれの中でも議論しているところです。それをちゃんと捕捉できなければ対応できないので、モニタリング、センシングといったところも、皆さんの関心が高いのかなと思います。

大学にいと、土木以外の他の分野の教員と一緒に仕事をすることもあります。電気、機械、情報といった人たちと話すと、彼らはいろいろな技術は持っているけれども、それを実装する、現場で適用するフィールドを持っていない。「ぜひ土木の人たちと一緒に仕事をやらせてもらって、自分たちの技術をどんどん現場に出していきたい」というニーズを非常に感じています。その意味で、異分野連携というか多業種連携は、今まで以上に大事になると思います。

## 5 三つの技術開発分野

**司会**▷ここからは当センターとしても重点を置いている三つの技術開発分野あるいは開発要素ごとに取組や進展の状況、今後どうあるべきか等のご意見をいただけたらと思います。

技術開発分野の一つ目は、「安心・安全の確保のための技術」です。災害による被害の軽減や発災後の早期復旧のために必要な技術、レジリエンス、粘り強さとか、最近ではロバストネス<sup>2)</sup>という言葉も聞くようになりました。

二つ目は、「ストック型社会に対応した効率的・効果的事業の実施のための技術」です。ライフサイクルマネジメントに基づく、戦略的な維持管理のために必要な構造物の点検診断技術や残存性能の評価、劣化評価診断、長寿命化、新材料、改良・更新などに係る技術です。

三つ目は、「海洋立国の実現に向けた海洋政策推進のための技術」です。特定離島、たとえば南鳥島や沖ノ鳥島等、特殊な現場環境における施工、維持管理、そしてそこを利用するにあたって、たとえば静穏域をどうやって創出するか、係留システムをどうするかといった技術などです。

## 6 データベースを持つことが国際競争力

**野口**▷一つ目の安心・安全確保について、特に「粘り強さ」は東北の大震災の時から強く出てきた言葉だと認識しています。津波で一気に破壊しない防波堤の構造、背後の法面の裏込めを強化することについていろいろな断面の研究を国総研、港空研で進められています。成果のイメージはわ



東日本大震災により被災した防波堤(釜石港湾口防波堤)

かるのですが、その粘り強さの評価が難しい。どこかでこれを定量化し、数値で評価できる基礎研究が出てくると一気にここの技術開発が進んで、評価がされ、技術競争が始まる気がします。

二つ目のライフサイクルマネジメントについては、施工業者としての立場上、いろいろな場面でこの課題に直面します。維持管理、保守の問題は①劣化状況を把握する、②劣化度を評価する、③構造物の残存耐力を解析、判断する、④最後に補修、更新を行うという三つないしは四つの段階があると認識しています。

これを今は段階ごとに別々の人がやっています。一人の人がやる必要はないと思いますが、一つの概念で計測、評価、残存耐力解析、補修を見通すような仕組みがあれば、この分野の技術開発のテーマとしては非常におもしろく、取り組みがいがあると思います。一連の過程が一つの概念で通っていることが技術開発の発火点になる気がします。

三つ目の特殊な現場環境という話ですが、洋上風力工事



風車のブレードを撤去している自己昇降式起重機船(SEP)(北九州港響灘)

ではこれに関することが出てきます。最近では着床式の洋上風力だけではなく、浮体式の洋上風力について、計画、設計、施工、維持管理がどうあるべきかという議論が非常に盛んになってきました。沿岸域だけではなく、沖合においては、日本は静穏度すなわち作業の稼働率が欧州に比べてかなり低い。風、波が強い状況でどうやって効率的に仕事を進めるかは洋上風力施設の建設においては大きな課題です。

港湾の世界では、気象、海象、稼働率のデータは非常に充実しています。次に必要なのは作ったものがどのぐらいの確率で故障するか、落雷で破損するかが非常に大きな問題で、こういうデータを皆さんが共通で持てるとヨーロッパで発達した洋上風力を日本独自のものとして進化させていけると考えています。ですから、建設や維持管理について利用しやすいデータベースを持つことが国際競争力にもなると感じています。そういう面での技術開発が進めばいいなと日頃考えています。

## 7 海面上昇へ対応できる技術基準を

**柴木**▷港湾コンサルタントの立場としては、一つ目の安心・安全確保の技術、二つ目のストック型社会、特に維持管理の技術は中核的な技術と認識しています。この二つについてお話しします。

粘り強い化に関しては、第一線の防潮堤や防波堤は震災の経験等も踏まえて設計では実例が多数出ています。ただ、今、一番気がかりなのは地球温暖化への対応です。海面の上昇、平均潮位の上昇が0.7m程度と想定されていて、これが港湾施設、構造物にも適用されるとなると、はたしてどんな浸水対策、インフラ整備を行っていくか。全ての構造物を0.7m以上嵩上げするのは不可能です。現実的な何らかの案を出さないといけません。令和元年9月の横浜港金沢地区の台風被害では、一時的に土嚢を並べ、浸水を防いだと聞いています。非常に効果的だったと思います。このような一時的な対策を一つのルールとして位置付けていくといいと思います。

技術基準の面では、具体的に、越波量の算定図、防波堤の伝達波の算定図は長らく改訂されていません。ところが海面の上昇を考慮した条件になると、越流と越波が同時に発生する、いわゆる越波・越流量の合計値を求める必要があります。当然、護岸を通過する流量は相当変わってきます。このような新しい条件に則した簡易な算定図を、技術

基準の改訂の中に取り込んでもらえたらいいと思います。

ロボストネス化も単に構造物だけで考えてはいけません。本年1月15日のトンガ沖の海底火山噴火に伴う津波は、規模が大きくなかったにもかかわらず小型船や養殖いかだが相当漂流しました。港湾ごとに漂流対策をしないと、港湾機能の早期復旧にとって相当大きな障害になるのではないかと。

また、ただ単に構造物で港湾・背後地を守るだけではなく、背後も含めて地域一体で守る仕組みが必要です。東日本大震災の際、仙台湾南部海岸背後の仙台東部有料道路が浸水域を低減するのに機能したことが知られています。たとえば臨港道路をいざという時に防護施設として使える仕組みにするのは有効ではないかと。

二つ目の維持管理の技術については、体系的ではないという印象を持っています。構造物の劣化度が連続的な数値になっていない。離散化されていて客観性に劣り、測定する個人差が相当出てくる。これからの目指す方向は、ドローンなどの最新機器を使って劣化度をできるだけ自動判定して、連続的な数値情報にして評価する体系的な仕組みとすることです。

地方港湾には耐用年数を超過した施設が多数あります。これをどうやって解決するかと言うと、できるだけ密に測定する。しかも、生物の付着物を自動的に撤去して、可能な限り密な維持管理の情報を収集する。そこが非常に重要ではないかと思っています。



無人航空機(UAV)による防波堤の測量結果を3次元データ化したもの

## 8 技術開発ニーズへのさらなる取り組み

**高野**▷一つ目の安心・安全確保という点、粘り強さという考え方は基準にも盛り込んでいますが、なかなか定量化できていないというお話がありました。



粘り強い構造物については、平成30年から設計手法WGを設置して昨年度まで活動してきました。その中で基準には定量的なもの、もう少し具体的なことを盛り込んでいくべきではないかという問題意識もありました。ただ、基準に盛り込むとなると実績などをいろいろ積み上げたデータを基に導入していく必要があるので、引き続きの課題として、次の改訂までには、エビデンスなどをそろえたいと思います。粘り強さを少しおもしろい視点で見るとグリーンインフラです。たとえば津波に対しての松林、あるいはマングローブといったしなやかな構造が能力を発揮する部分に着目し、グリーンインフラを活用した粘り強さも研究しています。

地震に限りませんが、現象の解明は依然として重要な課題だと思います。これまでも大災害のたびに想定を超えた現象、事象についての研究がその都度進んできました。そういった観点で、最大級の地震の波形の予測、被害予測、津波時の漂流物の挙動推定シミュレーションを構築して研究を進めています。

また、災害後の復旧や早期供用のためには事前、事後、両方の対応が必要です。あらかじめ施設が持つ性能、強靱性をいろいろな外力の想定で複数ケース計算しておきます。そして被災後には変位を速やかに測定することにより、あらかじめ計算しておいたさまざまなケースの予測と照らして、使用可否を早期に判断することが可能となる、そういった研究も進めています。

二つ目のライフサイクルマネジメントについては、まだまだツールがそろっていないのが現状だと思います。残存耐力評価や劣化予測の技術は研究を進めています。施設の構造や劣化状況は一様ではありません。個々の対応となるとケース・バイ・ケースというのが実情だと思います。こちらについても現場で改良や補修の事例が出てきている

ので、手探りのところもありますが残存性能評価についてWGの中で取りまとめをしました。実績が増えていくと標準的な考え方もできるかと思います。

計測の技術、点検診断技術が現場では求められています。港空研ではROV<sup>3)</sup>を活用した栈橋下での点検技術を実用化していますし、そこで得られた画像などの膨大なデータを結合して展開図などに整理し、帳票化する一連の作業支援システムも作って現場に提供しています。今後さらに自動化、自律航行も考えています。

海洋開発については、遠隔管理や遠隔監視の技術が必要だと思います。洋上風力とも共通すると思いますが、遠隔でさまざまなデータが集まる仕組みを作ることにより、そこからまた新しいこともわかる。維持管理のコストが低減できるなどのプラス効果もあると思うので、研究を進めていく分野だと考えています。

## 9 壊す、壊れる技術と地域の安全率が必要

**岩波**▷安全・安心では、皆さんご指摘のとおりだと改めて認識しました。日本の耐震技術、津波技術は世界最高で、一つひとつの施設のシミュレーションはかなりの精度でできている。それを踏まえて、壊さない設計はできると思いますが、粘り強さ、強靱化、ロバストネスを考えようと思うと、壊す設計、どこがどのようにいつ壊れるというところまで追わないといけない。そこまでの技術はまだ確立されていないのではないかと。今後は壊す、壊れるシミュレーションもしっかりできることが必要かと思います。

壊れてしまうものを設計するということは、それを誰かがバックアップしなければ本当に壊滅的になってしまいます。今までは施設ごとに考えていましたが、地区ごと、港湾ごとに防災機能が発揮できているのか、ロバストネスがあるのか。空間のスケールを広げてものを考える必要があるのではないかと思います。今までの単なる施設安全率ではなくて、地域の安全率みたいな新たな指標を持ち出して議論することが、今後は必要ではないかと感じています。

事前防災については、データがしっかりそろっていないと事前の策も打てないし、事が起きた時、被災の調査に行った時にデータがないと何も判断できないこととなります。既存のインフラのデータをしっかり残すことがまずは大事で、残すだけでなく、すぐに使える状態にしておく。3.11の時もそうでしたが、いざという時になかなかデータが出てこないことが結構あります。そこを改めて港湾・海

岸管理者、あるいは国にしっかりやってもらう必要があると思います。

事後の対策では、何か性能が足りなければ補強する、改良、更新することになります。改良、更新の技術自体は各社いろいろ提案されています。足りないのは、残存性能とか、もとの部分がどれだけ健全かということをしかり評価できていないところだと思います。

既存のものの評価は技術としては十分ではない。もちろん、簡単ではありませんが、既存構造物の性能評価は強靱化のためにも必要ですし、ストック型の維持管理のためにも必要です。

二つ目の維持管理は、性能評価がしっかりできていない。だから、点検でどういうデータを取ればいいのかかわからず多くのデータを取ってしまっただけで大変になっている。あるいは、どういうふうに性能を評価すればいいのかかわからず間違っただけの補強をしてしまっている。基本となるのは性能評価のところだと思うので、ここをしかりと技術開発しなければなりません。

新設の場合はまっさらなところから作るの比較的絵を描きやすいですが、維持管理はものがあって、既に使っている人がいる中でやらなければいけない。最初は事例をしかり集めて分析していくことが必要だと思います。

三つ目の海洋立国、海洋開発ですが、特定離島や洋上風力は無人化、機械化、作業の自律化、あるいは遠隔操作、監視が今まで以上に必要になると思います。その要素技術、パーツの技術は土木に限らず他の分野にもいっぱいある。それを使えるようにするということが今は足りていない気がします。

もしかしたら、そこは技術というよりは、関連するデータ、測量基準座標といったものが遠隔化、自動化に即したのものになっているのが少しクエスチョンなのかもしれません。今後、こういったことを進めるのであれば、環境として何が足りていないのかを再度検証する必要があるかと思っています。それと、技術開発したものをしかり使っていくための仕組みの整備は、港湾・海岸管理者や国がやるべきことだと思います。

## 10 コロナ禍における現場情報の収集

**高野**▷現場の情報は非常に重要で、それがなければ私ども研究所としても成り立たないと思っています。研究所とは言いながら現場と常に直結、連携していく組織ですので、

本来であれば現場に足を運んで情報を得る、議論をすることが必要だと思います。

従来は現場から技術相談を受けて、たとえば委員会や検討会に参加した際に、検討会の後で別の情報交換・情報収集もできることがあります。昨今はコロナの関係でなかなか現地にも行けない状況がある。会議はウェブで出来ても、他の情報を得る機会が少し減っている気がします。組織として地方整備局としかり連携していく必要があると思っています。具体的に言えば、ウェブ会議を使える環境をうまく活用し、各地方整備局の幹部と研究所の幹部同士で技術対話を実施しています。

そういった中で、現に進行しているプロジェクトの課題、進捗状況などや、新たな課題について前広な議論をさせていただけます。カーボンニュートラルやDXなど一層推進しなければならぬ新たな課題の情報に接する中で、早め早めに研究に取り組むようにしています。

各地方整備局からの研究受託もあるので、そこでの意見交換や情報収集など様々な場面を最大限に生かして、アンテナを高くしていくことが研究者としては重要なスタンスかと思っています。

**司会**▷コロナ禍で往来、対面の機会が減った中、ウェブを生かして、普段集まれないような人が集まって技術対話をするというご提案と行政や現場との連携のためには、まずコミュニケーションが重要であるというご指摘をいただきました。先ほど、土木以外の分野の教員の方々が技術を実装するフィールドを持っていないというご指摘をされた大学のお立場からはいかがでしょう。

## 11 橋渡し役が重要となる異分野融合

**岩波**▷異分野融合をどのように進めるかは何十年も言われていることかと思っています。必要なのは、通訳みたいな人の存在だろうと思っています。現場のニーズや新技術のシーズは世の中にいっぱいある。そこを繋ぐ通訳の人が今は十分足りていないのかなという気がします。もちろん今までも港空研や国総研が通訳の機能を発揮していたと思いますが、新技術は土木分野だけではなく本当に広い分野に眠っている。それを活用しないと今の事業も推進できない、あるいは効率的にできない。さらにアンテナを広くする、あるいは翻訳の言葉の種類を増やすことが求められていると思います。そういったところで大学はお役に立てることがあるのではないかと思います。研究所と一緒に技術の発掘

とマッチングをやれば良いと感じています。

あとは技術を導入する環境です。今は法律や制度、仕組みが、新しい技術を入れにくいものになってしまっている可能性もある。「新技術があるのだからそういう仕組みに変えてしまおう」というところも考えていく必要があるのではないのでしょうか。

**高野**▷技術開発の体制という点では、どの業界でも人材確保が難しい状況だと思います。行政だけではなく、いろいろな業界と、設計・施工の分野、大学も含めて協力体制を築き、一緒に技術開発、研究を行うことを常に考えていく必要があると思います。

そのためには、ワーキンググループという形で集まりを繋いでいくのも一つのやり方だと思います。

**司会**▷私ども沿岸技術研究センターの立場からも大学、国総研、港空研、他機関、民間企業との連携や協力を深めて、当センターが持つ行政・現場と研究との橋渡し機能をさらに強化できないか、そのために何か定型化できるものはないかということを考えていきたいと思っています。

最後になりますが、今までお話いただいたことを強調していただいても別の切り口でも結構ですので、今後の沿岸技術への期待ということでお話いただけますでしょうか。

## 12 技術開発における数値の重要性

**野口**▷私どもが普段、港湾局や地方整備局と議論させて頂いていることの中で、数値があると非常にいいなということがあります。一つは生産性の向上です。生産性の向上についてはこの3年間ものすごく議論してきましたが、議論の基となるその定義については実は決まっていません。私どもも工事の完成高を現地の施工従事者の人数で割ったものかなと何となく思っているというのが本音です。「生産性はこういうことだ」と何か一つ、アバウトでもいいので集約していけたらというのがまず一点目です。

もう一つは去年から考え始めたことですが、脱炭素技術の開発のためには、必要コスト当たりの二酸化炭素発生量抑制量という指標が今後は必要になると思います。二酸化炭素を減らす経済性に着目できると効率的にその技術開発に集中できる気がしています。期待も込めてこの指標を打出していければ良いと考えます。

**柴木**▷先ほど来、設計、維持管理で既存ストックのデータ化の議論がありました。港湾関連データ連携基盤<sup>4)</sup>がシステムとして動き出して活用される時期が近づいてきていま

す。老朽化した施設を更新していくときに、その更新情報をどうデータ連携基盤の中に取り込んでいくか。そこを明確にしておかないと、のちのちの利活用でうまく回転していかないのではないかと。更新するためのシステムは非常に重要だと思います。

## 13 ソフトウェアや技術開発成果のオープン化

**柴木**▷これは技術全般に言えますが、ぜひ国総研、港空研等も含めて、ソフトウェアや技術開発成果全般をオープン化していただきたい。ソースそのものをオープン化した上で、技術競争では同じソースを使った上でアウトプットの品質を向上させることを目指したい。多数の研究者、技術者が関与すると、必然的にニーズが把握できたりアイデアが集約されたりして課題解決にも役立つのではないかと思います。ソフトウェアそのものが高度化していくサイクルができます。それを港空研と国総研にやっていただくと、既存、新設に関わらず構造物に関連する基礎のデータや、その解析手法もすべてオープン化した技術から引き出せます。技術開発の進展のために非常に有効なツールになるのではないかと思います。

**野口**▷一例ですが港湾局で、たとえば横浜港の新本牧埠頭整備事業では設計図をCIMクラウドで設計段階から作って、それを施工業者に渡して品質出来型管理データの集約を義務化している。このようなツールはある程度オープンにして全国に統一形式で展開していただくと、これを使った技術開発を競争しようという機運が醸成され、技術のステップが一段アップすると思います。施工の自動・自律化はこのような基盤の上に進めるべきだと考えます。



CIMを使ったサンドコンパクション(SCP)船による地盤改良工事  
(横浜港新本牧)

**高野**▷港空研ではいろいろソフトを開発していて、昔は販売していたソフトもありますが、最近では、津波予測や波浪予測などのプログラムをオープン化しており、ホームページからもダウンロードできるようにしています。やはり今はオープン化していかに使ってもらうのか、自分で抱え込むのではなく外部の方からも手を入れてもらって改良していくことを進めています。

## 14 明るい未来を見せる技術開発

**高野**▷私どもは現在、中長期計画の7カ年の6年目で、計画期間における達成状況や課題について評価を行い、それを次の中長期計画に繋げていく節目にさしかかっています。情報、状況をしっかり把握・管理して、自分たちがなすべきことを再認識していきたいと思っています。

**岩波**▷現場ニーズに立脚した担い手確保、人材確保、育成は、これから5年10年すると相当大変になるかと思います。20年30年たったら、この業界で技術開発をしている人がどれだけいるかと思うと恐ろしい感じがします。学生も含めてこれからの担う若い人に、沿岸技術開発という仕事が非常におもしろそうだ、楽しそうだ、明るい未来がありそうだと見せるような技術開発や研究をやっていったらいいと思います。

洋上風力発電施設や、少し先かもしれませんが深海底の開発、深海都市といったものも絵として見せる。100年後にはこんな技術が必要だから、今から少しずつやっついこうよみたいなことを若い人に見せられると、この分野に関心を持ってくれる人も増えてくるのかなと期待しています。



コンクリートの新たな可能性を探る実験をする学生

**司会**▷どうもありがとうございます。わが国は現在、大きな変革の時代を迎えています。気候変動や自然災害の頻発化、激甚化に加えて、産業や建設分野で、技術革新も含め



ていろいろな変革や社会のニーズが押し寄せてきていると思います。政府においても、あらゆる施策を総動員してのデジタル化、脱炭素化が本格化しています。

また、土木に限らない分野でいろいろなテクノロジーが進展していて、その可能性も今後のインフラ整備に影響を与えていくと思います。

そういった変化や社会的ニーズ、現場のニーズを的確に捉えて、新たな沿岸技術を開発していくことは大変重要であり、私どもインフラ整備や技術開発に携わる者の役割は重大だと思っています。

当センターも今日いただいたご意見を踏まえ、沿岸技術の発展に積極的に取り組んでまいりたいと思います。今日はどうもありがとうございました。

### 《用語説明》

#### 1. 【BIM/CIM = Building / Construction Information Modeling・Management】

計画、調査、設計段階からコンピュータ上に建造物の3次元モデルを構築することにより、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報を一元化・共有し、活用するシステム。

#### 2. 【ロバストネス = robustness】

応力や環境の変化といった、外的な影響から受ける変化を阻止する内的な仕組み、あるいは性質。抵抗性。

#### 3. 【ROV = Remotely operated vehicle】

遠隔操作型の無人潜水機。

#### 4. 【港湾関連データ連携基盤】

民間事業者間の港湾物流手続（物流分野）、港湾管理者の行政手続や統計（管理分野）、港湾の計画から維持管理までのインフラ情報（インフラ分野）、3つの分野を電子化し、データ連携により一体的に取扱うデータプラットフォーム。通称サイバーポート。

# 港湾の技術開発にかかる 行動計画について

国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室

## はじめに

四方を海に囲まれ、臨海部に人口と財産が集積する我が国において、港湾は国民生活の質の向上や産業活動の発展に大きな役割を果たしており、海上輸送と陸上輸送との結節点であるとともに、災害からの復旧や復興においても不可欠となる社会資本です。

国土交通省港湾局では、平成13年に「新世紀を拓く港湾の技術ビジョン」を策定するとともに、より具体的かつ中期的な技術開発の目標を示す「港湾の技術開発に係る行動計画」を定期的に策定し、港湾に係る技術開発を進めてきました。

本計画は、港湾局とその関係機関（整備局、国総研、港空研等）自らが実施する技術開発の方針であり、政策課題や行政・現場のニーズを踏まえつつ、政策的かつ緊急的に実施する必要のある重点研究項目について、中長期的観点で技術開発の目標を設定するものです。

## 現行計画（H28d～R4d）の概要

現行の計画は、「港湾の開発、利用及び保全並びに開発保全航路の開発に関する基本方針」や国土交通省全体での本格的なi-Constructionへの転換や新技術の活用により生産性を高める「生産性革命」の取組を踏まえて、平成28年4月に策定されました。

現行の計画では、下記に示す5つの重点技術開発分野とその具体的な取り組み、またその取り組みを進めるにあたっての方針を示しています。

## 現行計画に基づく取り組み事例

現行の計画に基づき、地方整備局、国総研、港空研において、各分野に関する様々な研究開発が進められており、その一部を紹介します。

### 「港湾の開発、利用及び保全並びに開発保全航路の開発に関する基本方針」の重点施策

産業の国際競争力と国民生活を支える物流体系の構築	国民の安全・安心の確保への貢献	良好な港湾環境の形成
新たな海洋立国の実現に向けた海洋政策の推進	ストック型社会に対応した効率的・効果的な事業の実施	活力ある美しい港湾空間の創造と適正な管理

### 行動計画の重点技術開発分野

I. 国民の安全・安心の確保のための技術	II. 産業の国際競争力と国民生活を支えるための技術	III. ストック型社会に対応した効率的・効果的な事業の実施のための技術	IV. 海洋立国の実現に向けた海洋政策の推進のための技術	V. 良好な港湾環境の形成及び活力ある美しい港湾空間の創造と適正な管理のための技術
(1) 地震災害の軽減 (2) 津波災害の軽減 (3) 高潮・高波災害の軽減 (4) 被災施設の早期復旧 (5) 港湾における保安・安全対策	(1) 国際コンテナ戦略港湾等の機能強化 (2) 効率的な国際物流体系の構築 (3) 需要予測や政策評価のための技術 (4) 物流の将来動向を見据えた新技術	(1) インフラのライフサイクルマネジメント (2) 建設副産物等の有効活用 (3) 効率的・効果的な施工等の実施	(1) 特定離島等における円滑な港湾利用 (2) 海洋の開発を支援するインフラ技術	(1) 沿岸環境の形成と活用 (2) 海域地形の保全 (3) 海上流出油等への対応

## 1. 国民の安全・安心の確保のための技術

地震災害の軽減や復旧に関して、地点特性を考慮した精度の高い地震動予測技術の開発、耐震性能診断技術の開発、被災後、迅速に施設供用の可否を判断するための技術の開発、応急復旧に適した構造の開発などを進めました。

また、津波災害の軽減や復旧に関して、複合観測情報を用いた津波予測技術のまとめ、三次元漂流物モデルの開発、防波堤堤頭部の洗掘対策の実験を実施しました。

さらに、高潮・高波災害の軽減や復旧に関して、台風1915号の波浪の解析、岸壁の越波・浸水の再現計算、超強風下の海面抵抗係数の検討、粒子法モデルに用いる不規則造波モデルの構築、波浪を考慮した高潮浸水計算、護岸に働く衝撃砕波力と越波、被災時の応急対策としての土嚢の効果に関する実験等を実施しました。

## 2. 産業の国際競争力と国民生活を支えるための技術

国際コンテナ戦略港湾等の機能強化に関して、コンテナターミナルシステムへのAI、ICT等新手法導入効果の評価手法の提案のため、増置場が垂直配置の場合のCOMPAS等ICTの導入効果を数値シミュレーションで評価しました。

また、超大型コンテナ船の就航などにより想定される海上輸送構造の今後の変化に対して、的確に国際コンテナ戦略港湾施策の更なる展開を図れるよう、将来の世界のコンテナ航路ネットワーク変化や我が国へのコンテナ船の寄港変化を定量的に予測できるコンテナ航路網予測手法を開発しました。

## 3. ストック型社会に対応した効率的・効果的な事業の実施のための技術

インフラのライフサイクルマネジメントに関して、施設の長寿命化に向けて、海水等による長期暴露試験の継続的な実施によりコンクリート、鋼材（その防食方法も含む）、木材等の長期耐久性の評価を行うとともに、海洋コンクリート構造物の補修・補強技術の体系化についても検討を行いました。また、栈橋上部工点検のためのROV等の開発と点検帳票作成支援機能の実装などに取り組みました。

## 4. 海洋立国の実現に向けた海洋政策の推進のための技術

海洋の開発を支援するインフラ技術に関して、海洋工事の情報化施工を目指した水中版マシンガイダンスを水中バックホウに実装し実工事で試験的に使用するとともに、遠隔操作化に向けた改良として、プロファイルソナーを用いた外界計測機能の追加や、均し作業に特化した専用アタッチメントの開発を実施し、仮置きマウンドでの遠隔操作試験などに取り組みました。

## 5. 良好な港湾環境の形成および活力ある美しい港湾空間と適正な管理のための技術

沿岸生態系の保全や活用に関して、全球における炭素循環・生態系モデルおよび波浪・地形モデルの開発と検証、全球推計のための地形・生態系データの収集とGIS解析および大型海藻場の炭素動態に関する現地調査、現地実験と数値モデル解析、干潟水槽・メソコスム水槽におけるeDNAに関する実験などに取り組みました。

## 次期計画（R5d～R9d）の策定方針

現行の港湾の技術開発にかかる行動計画については、前述のとおり令和4年度までを目標期間と定めているため、今後見直しを行う予定としております。それに先立ち、国土交通省技術基本計画の改定作業が進んでおります。

国土交通省では、科学技術・イノベーション基本計画、社会資本整備重点計画、交通政策基本計画等の関連計画を踏まえ、持続可能な社会の実現のため、国土交通行政における事業・施策の効果・効率をより一層向上させ、国土交通技術が国内外において広く社会に貢献することを目的に、技術政策の基本方針や技術研究開発の推進等の重要な取組を定める国土交通省技術基本計画を定めています。本計画については、今年度が第4期計画（H29d～R3d）の最終年であり、今年度末に次期第5期計画（R4d～R8d）の策定に向けて、我が国の現状、世界情勢、国土交通行政上の諸課題を踏まえ、事業・施策との関連も含め、技術研究開発を進める上での必要な視点や目指す方向性について議論が行われているところです。

国土交通省全体の技術政策の方向性案としては、「強靱性の確保」、「持続可能性の確保」及び「グローバル社会での経済成長の実現」を実現していくため、下記6つの重点分野の技術開発に戦略的に取り組むとしております。

1. 防災・減災が主流となる社会の実現
2. 持続可能なインフラメンテナンス
3. 持続可能で暮らしやすい地域社会の実現
4. 経済の好循環を支える基盤整備
5. デジタル・トランスフォーメーション
6. 脱炭素化・インフラ空間の多面的な利活用による生活の質の向上

港湾局においても、次期港湾の技術開発にかかる行動計画（R5d～R9d）について、上記の国土交通省技術基本計画やPORT2030等各種関連計画や港湾を取り巻く社会課題等を踏まえて、関係機関や業界と議論を行いながら実効性の高い計画を策定したいと考えております。

# 高潮・高波災害の軽減のための 技術開発の進展



## 河合 弘泰

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 特別研究主幹

### 1. はじめに

日本では、1959年の伊勢湾台風による高潮災害をきっかけに、満潮に伊勢湾台風級の高潮偏差が重なった潮位あるいは既往最高潮位を防護目標に掲げ、各地の海岸に堤防や護岸を築いてきた。そのおかげで数百人の死者を伴う大災害はなくなったが、1999年に八代海や周防灘、2004年に瀬戸内海などの沿岸で想定を超える高潮による災害は続いた。一方、アメリカでは2005年にニューオリンズのゼロメートル地帯、2012年にはニューヨークの地下街が浸水し、フィリピンでは2013年に中心気圧が895hPaの台風が直撃した。「このような台風が日本に来るかも知れない、災害を最小限にしたい」という思いは、本誌2017年1月号の記事<sup>1)</sup>にも綴られている。

あれから5年が経つが、その間にも実に様々なことが起きた。2018年には神戸港の埠頭や関西空港、2019年には横浜市の工業団地が、高潮や越波により浸水した。国土交通省の委員会は、「高潮浸水想定区域図作成の手引き」を更新し、「港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策ガイドライン」、「港湾等に襲撃する想定を超えた高潮・高波・暴風対策検討委員会最終とりまとめ」、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方」など方針を打ち出した。2018年の「港湾の技術上の基準・同解説」の改訂では、「うねり性波浪」を考慮した確率沖波の記述が加わった。全国の地方整備局等は、近年の波浪を踏まえた設計沖波の再点検を実施した。さらに、気候変動に関する政府間パネルIPCCは海洋・雪氷圏特別報告書や第6次報告書の一部を公開し、気候変動に対する信憑性は高まり、適応策は待たなしの状況になった。

本稿では、このような情勢の下で当研究所が取り組んできた研究のいくつかを紹介したい。また、当研究所の技術情報誌<sup>2), 3)</sup>も併せてご覧いただきたい。

### 2. 高潮・高波のメカニズムや出現特性の解明

#### (1) 50年の伝統を有する波浪観測データの定常解析

当研究所は長年にわたり、国土交通省の全国港湾海洋波浪情報網NOWPHASで取得したデータの統計解析を担当してきた。その年報は港湾空港技術研究所資料として発刊し、最新の2019年版には60地点(水深4~55m)の沿岸波浪計と18地点(水深87~407m)のGPS波浪計を掲載している。沿岸波浪計は最も早い地点で1970年から始まり、既に50年、防波堤の設計供用年数に匹敵する歴史を有している。GPS波浪計も2008年から始まった。

表1は、2019年までに各機器、各海域で観測した最大の有義波である。太平洋はもちろん日本海でも10mを軽く超え、歴史の長い沿岸波浪計でも2010年代が並ぶ結果となった。この表の他、神戸でも2018年の台風21号で4.72m、第二海堡でも2019年の台風15号で3.27mを記録し、それぞれの地点で既往最大値を更新した。

表1 既往最大の有義波高

機器	海域	地点	波高, 周期	観測年
沿岸波浪計	太平洋	潮岬	14.90m, 14.9s	2018
	日本海	秋田	12.22m, 14.5s	2012
	内湾	鹿児島	5.25m, 7.0s	2015
GPS波浪計	太平洋	静岡御前崎沖	15.84m, 15.4s	2014
	日本海	山形県沖	12.40m, 14.1s	2012

また、波浪の方向スペクトルの解析法も、短時間の演算で安定した解が得られるように改良し、これまで苦手としてきた「うねり性波浪」への適用性を高める取り組みもした。

#### (2) 標準形だけではない波浪スペクトルの解析

NOWPHASの現行の定常解析では、周波数・方向スペクト

ルのピークにあたる波向を主波向と定義してきた。ところが、実際のスペクトルは、標準形(ブレットシュナイダー・光易型の周波数スペクトル、光易型の方向関数)とよばれる一山のシンプルでスマートな形状とは限らない。近傍の台風や低気圧で生じた風波に加え、遠方から伝播するうねりが、それも一方向からだけとは限らず、混在していて、複雑な形状になっているときもある。

そこで、当研究所では、このようなスペクトルをキレイく求め、風向や波齢も手がかりにして複数の成分に分離(パーティション)する方法を開発した。また、観測値や推算値を用いて各成分の出現特性を調べた。図1は、ある地点において複数の成分に分離した例であり、各成分の波高(ゼロアップクロスによるものではなく、エネルギーの積分値から求めたもの) $H_{m0}$ 、ピーク周期 $T_{peak}$ 、ピーク波向 $\theta_{peak}$ の経時変化を示したものである。PT1~PT3の3成分に分離される時もあったが、ほとんどがPT1とPT2の2成分であった。同様な解析を日本沿岸の数地点で実施し、「日本海の北部では風波、太平洋ではうねりによる一山のスペクトルの現れる日が多く、日本海より太平洋の方がやや、二山やそれ以上のスペクトルが現われやすい」ことを定量的に示した。このような解析結果を波浪観測台帳でどう位置付け、設計の実務に応用するかが、今後の知恵の絞りどころである。

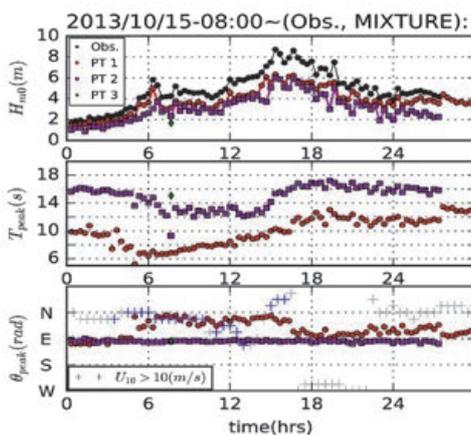


図1 波浪を複数の成分に分離した例

### (3) 特殊な海域や現象を究める波浪推算

WAMなど第三世代の波浪推算モデルが設計の実務に広まって20年ほどが経つ。風のデータが天気図ベースから気象GPVに変わり、MM5、WRFなど局地気象モデルの発展も相まって、波浪推算の精度は格段に高くなった。

当研究所では、全国を約800m間隔の格子で、第三世代波浪推算モデルのWAMとWW3による2013~2015年の波浪推算値をもとに、両モデルの精度に有意な差がないことを確認

して、WW3による推算システムを構築した。これらのモデルが出力した有義波がGPS波浪計の観測とよく一致することも確認した。

しかしながら、既往モデルでは十分に再現できない海域や現象も残っている。その一つが、富山湾の寄り回り波である。ここでは、海底地形がリアス海岸のように鋭く起伏し、日本海から来た波浪がそこで入射波向や周期に敏感に複雑な屈折を見せるのである。既往モデルは、各周波数・波向のエネルギーの場所や時間による変化を計算するもので、個々の波の山や谷など波形までは考慮しないことから、位相平均モデルと呼ばれている。ところが、その海底地形の上では、ある波の山に、その近くを進んでいた山が向きを変えて、どこかで交差することも起きる。このような波の重なり合いがその場所の波高を大きく左右する。この現象は、位相の情報を持たない既往モデルで、単に波向の分割数を増やすだけでは再現できない。そこで、当研究所では、このような位相干渉を考慮できるモデルを試し、寄り回り波の再現にめどをつけた。

もう一つは東京湾である。横浜港沖に太平洋からうねりが到達し得ることは認識されていたが、実務でよく使う解像度が2km程度の計算ではそれを十分に再現できない。そこで、その解像度を約250mまで上げて海底地形をきめ細かく表現し、かつ海上風も高解像度の気象GPVを使うことで、このうねりの再現性を高めることができた。図2は、太平洋からのうねりの進入の道筋を示したもので、横浜港の数か所に到達している。

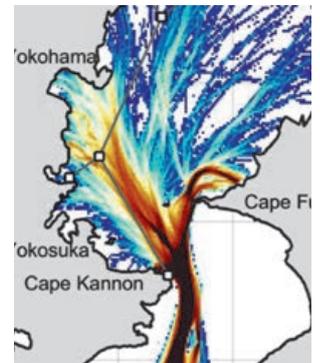


図2 東京湾に進入するうねりの波向線の解析

### (4) オプションの充実を図る港内静穏度計算

当研究所がブシネスク方程式に基づく波浪変形計算モデルNOWT-PARIを開発して20年ほどが経つ。今ではすっかり港内静穏度計算の実務でおなじみのモデルになった。それは、沖合から来た波浪が港内をどう伝わるかを調べるもので、屈折、回折、反射、浅水変形、砕波などの現象を表現できる。ところが、現実の港に立って注意深く観察すると、船舶が航行すれば航跡波が立ち、たとえ防波堤が沖合からの波浪を完璧に防いだとしても、そこから岸壁までの水面が長ければ、そこで別の波(港内発生波)が起きる、ということに気がつく。また、物騒な話だが、地震や津波、高波によって防波堤が変形すれば、そ

の際間からも波浪が漏れて来て、緊急物資を積んだ船舶の荷役に影響が出るかも知れない。そこで、当研究所では、これらの現象も扱えるようにモデルの改良に取り組んだ。

航跡波については、ラジコン模型を水槽に走らせて航跡波を計測して分析を行った。そして、船がかき分ける横方向の流量や船型の違いを考慮して波源を与え、そこからの伝播や防波堤での反射を計算できるように、モデルを改良した。図3は、積貨重量トン数DWTが1,000トンの貨物船が出港する時の航跡波を計算した例であり、船舶の後方だけでなく前方にも波が発生し、それが港内に広く伝播する様子をうかがえる。

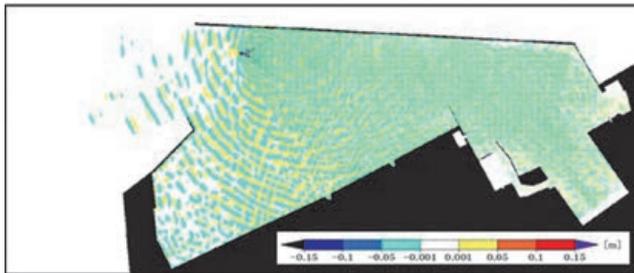


図3 港内における航跡波の伝播

港内発生波については、ブシネスク方程式に圧力項を加え、初期条件としてシーズ（微小な波）を与え、そこからの発達の再現に挑戦した。しかし、波が全くない状態から発達するプロセスは、スペクトル法の波浪推算モデルでも難しい問題である。

防波堤の変形については、その状態をイメージした、矩形と台形の断面を持つ潜堤を考え、その上を通過する波浪の再現に取り組んだ。ブシネスク方程式は「海底地形の変化が緩やか」という前提で導出されたものであり、階段のように水深が不連続な場所や、連続していても急な勾配では、計算が分散しやすい。これを境界処理法によって解決した。図4は、防波堤の先端部で未消波の2か所が変形して潜堤になったときに、港内の周期がどうなるかを、沖合からの周期に対する比として示している。潜堤によって波が分裂して周期が短くなる現象が表現されている。

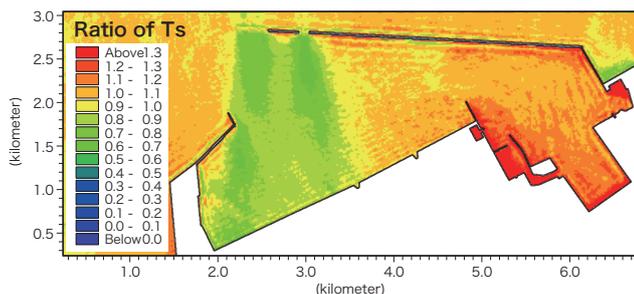


図4 変形した防波堤をもつ港内の周期の分布

さらに、2018年に神戸港の埠頭が高潮だけでなく波浪によっても浸水したことを踏まえ、岸壁の越波と埠頭の浸水も扱えるモデルへの改良にも取り組んでいる。護岸の越波は、基本的に陸から海への一方方向の水の動きを考え、その体積から浸水深を割り出せば良い。ところが、岸壁は、越波したその場から海に流れ出し、浸水が広がれば他の低いところからも流れ落ちる、という一筋縄でいかないところがある。図5は、高潮と高波の経時変化を考慮して埠頭の浸水を計算した例で、潮位のピーク時には越流と越波によって浸水が拡大し、波高のピーク時には越波による海水の流入とそれ以外の場所での流出が同時に生じる、という複雑な現象が再現されている。

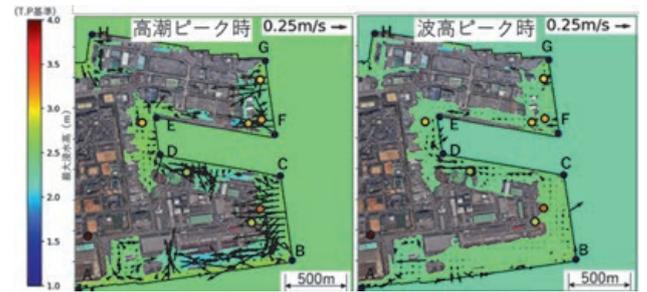


図5 高潮と高波による岸壁上の浸水深の分布

#### (5) 海洋モデルによる高潮の計算

「最大クラスの台風や低気圧の条件を適切に設定し、それに対する高潮を精度良く計算すること」は、近年の高潮研究のトレンドの一つである。過去の台風は、気象庁のベストトラック解析（中心の位置、気圧、最大風速などのリスト）が通り所の一つである。高潮推算モデルは、設計の実務では今も単層の非線形長波方程式に基づくものがよく使われているが、POM、FV-COMなど海洋モデルも広まりつつあり、当研究所もROMSを導入したところである。

まず、台風の条件については、当研究所でも、1951年以降の台風（温帯低気圧化後を含む）のパラメタを吟味した。その結果、北海道周辺の高緯度では、台風の既往最低より低い中心気圧で温帯低気圧が来襲していた。エマニュエルの理論に基づいて台風の発達限界となる中心気圧を計算し、悪条件がそろえば既往最低を下回る可能性も見えた。そして、台風の規模の指標である最大風速半径は、伊勢湾台風が75kmとされているが、2019年に東京湾を襲った15号は30km未満、19号は200km近いなど、台風によってまちまちであり、全体としては中心気圧が低いほど短くなる傾向があった。

ROMSを用いた高潮推算では、その台風15号の高潮の再現に取り組んだ。気象GPVはコンパクトな台風の中心付近の構造を十分に表現しておらず、風速のピークが低くなり、高潮の

推算値も小さくなった。さらなる精度の向上には、密度層の効果の考慮が必要なことも判明した。その一方で、最大クラスの台風による高潮浸水想定図の作成と同じ要領で、台風のコースを東西に平行移動させ、進行速度を伊勢湾台風の73km/hより遅くする計算もした。図6は外洋に面した地点の計算例であるが、台風の進行速度を波浪の群速度に近づけることで、波高が大きくなり、地形性の砕波で生じる海面上昇量（ウェーブ・セットアップ）も大きくなって、潮位偏差全体としては進行速度を抑えた方が大きくなった。

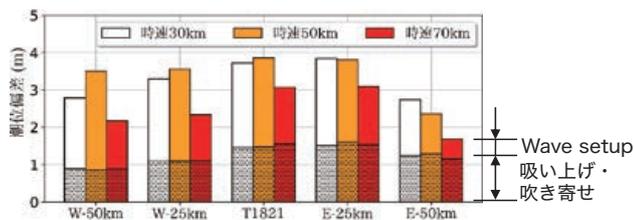


図6 風のコースと進行速度による高潮の変化とそれに含まれるウェーブ・セットアップ

### 3. 高潮・高波の災害を軽減する構造物の開発

#### (1) 設計を超える潮位で構造物に作用する波力

全国から防波堤、護岸など耐波構造物の被災の事例を収集し、その原因を分析すると、高潮で潮位が高くなったところに波浪が作用して倒壊に至ったケースは少なくない。

そこで、当研究所では、水路に護岸の模型を設置し、設計潮位より高い潮位を設定して波浪を入射させ、マウンドを透過して堤体の背後に作用する波力、マウンドからの堤内への浸水、堤体の天端を超える越波・越流量を計測した。そして、越波・越流量の簡易な推定法を提案した。ここでは、図7に示すように、風波、孤立波、越波越流時の風波がパラペットに作用する波力を砕波の状態（越流下での砕波、Bagnold型、Wagner型）に着目して整理し、鉄筋コンクリートの破壊状況から鉄筋の必要強度を明らかにした。

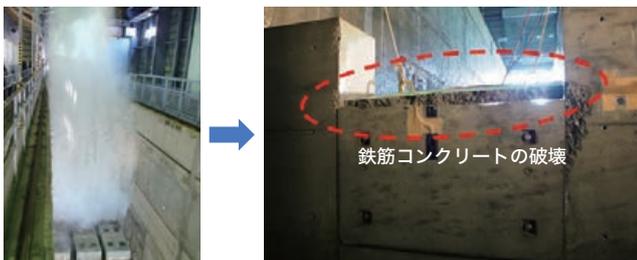


図7 パラペットに作用する波力の実験

#### (2) UAVと水路と数値計算を駆使した災害の分析

2018年の台風21号の高潮や波浪は、神戸港などの埠頭を

浸水させた。2019年の台風15号の波浪も、横浜港金沢地区の護岸を倒壊させ、背後の工業団地を浸水させるなど、多くの災害をもたらした。

そこで、当研究所は、陸上からの踏査に加え、UAVを飛ばして上空からもコンテナの散乱などの状況を把握した。また、護岸のパラペットが倒壊するプロセスを模型実験やCADMAS-SURFによる数値計算で再現を試みた。その結果、図8に示すように、護岸の前方にパラペットがある場合に比べて後方にある場合、越波流量は減っても衝撃的な波力の作用によって倒壊しやすいことが、改めて分かった。

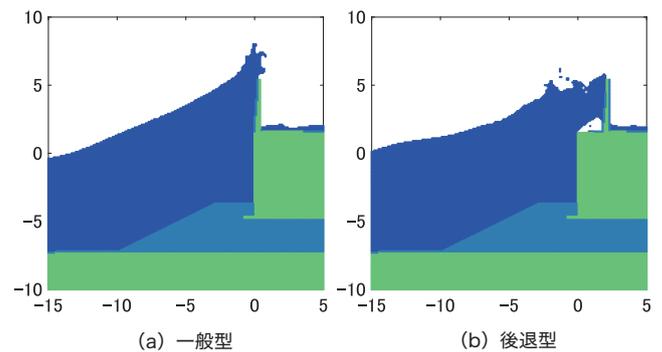


図8 パラペットに作用する波力の計算

さらに、災害後の応急対策として用いられる、土のうなど仮設工の越波に対する安定性の実験も行い、安定性の評価方法を提案した。

### 4. おわり

当研究所は、先に述べたように、沖合の波浪の観測や推算から、港内の波浪変形計算、最大クラスの台風の条件や高潮の推算、構造物に作用する波力まで幅広く、また、観測や現地調査、模型実験、数値計算という様々な手法を駆使して、研究を実施してきた。その成果は、学会での発表はもとより、本省・地方整備局の技術支援の後ろ盾にもなってきた。今後も、それぞれのパーツに磨きをかける一方で、想定を超える暴風・高潮・波浪に対する防災・減災技術、そして気候変動適応策に資する技術として、しっかり束ねていく必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 下迫健一郎、高潮・高波災害の軽減のための技術開発の動向と展望、一般社団法人沿岸技術研究センター機関誌CDIT、2017年1月号、pp.14-15
- 2) 技術情報誌「PARI」Vol.34、2019年1月号  
<https://www.pari.go.jp/event/publicity/pari/pari34.html>
- 3) 技術情報誌「PARI」Vol.43、2021年4月号  
<https://www.pari.go.jp/event/publicity/pari/pari43.html>

# 港湾施設のLCMをめぐる技術の進展と研究課題



横田 弘

一般財団法人沿岸技術研究センター 参与

## 1. はじめに

港湾施設は、長期間にわたり供用され、その供用期間中に様々な外的作用によって劣化や損傷が生じ、保有していた性能が失われていく。また、たとえ変状が顕在化しなくても、施設の設置目的が変化することや、必要な機能あるいは性能（要求性能）が当初設計から見直されることもある。したがって、設計において時間経過に伴う性能の変化を考慮した照査を行い、必要な性能を発揮するために施工を確実にし、そして、供用中に、要求性能等の変化にも対応して、その港湾施設が果たすべき目的や保有すべき性能が要求水準を満たすように、適切な維持管理を行うことが不可欠となる。港湾施設の供用期間（ライフサイクル）にわたり常に最善解を求めていくための枠組みがライフサイクルマネジメント（LCM）である。

港湾施設の一般的なLCMは、図1に示すような流れで行われる。LCMは、計画段階（ここで言う計画段階は構造計画段階を意味し、基本設計を含む概念である）で想定した性能確保の考え方をシナリオとして明記し、これを設計、施工および維持管理に継承し、それぞれの段階で必要に応じて適切にシナリオを修正しつつ対応を進めていく。このシナリオは、計画的な修繕等の性能確保の戦略を示した港湾施設の維持管理計画に類するものと考えられる。シナリオは予測や種々の仮定に基づいて作成されているものであるため、当然適宜適切な見直しが必要である。そのためにも、定期的に行う点検診断を起点とする一連の維持管理の作業は、必要不可欠なものとなる。

LCMの黎明期には、主に維持管理に着目したマネジメントに注力して研究・技術開発が行われてきた<sup>1)</sup>。LCMに基づいた維持管理に求められる技術は、港湾施設の現況を把握するた

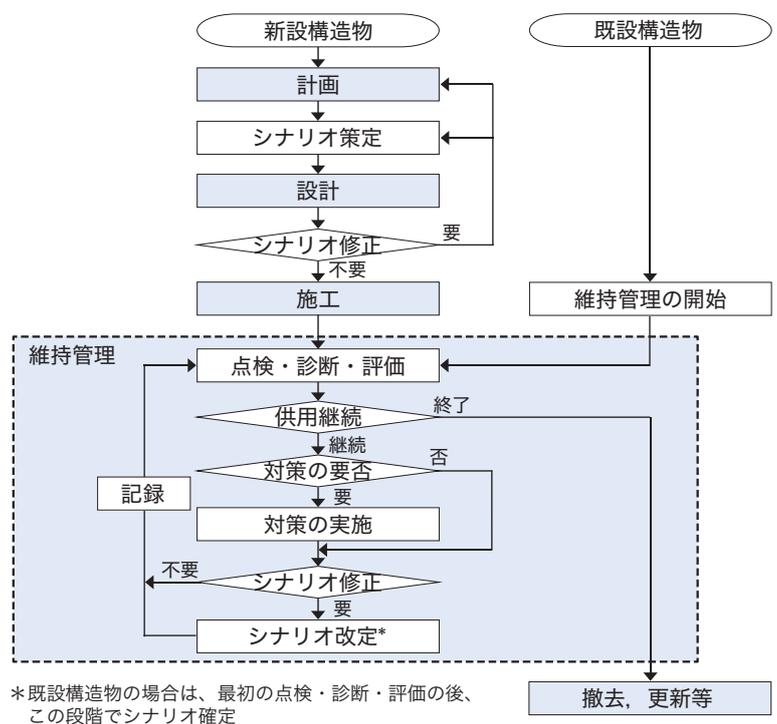


図1 一般的なLCMの流れ

めの点検診断技術、その結果から判断される構造物や部材が保有する性能の評価と将来予測のための技術、そして必要に応じて実施する修繕等の対策のための技術である。

ICTの飛躍的な進歩に伴って点検診断技術の高度化が様々な方々の努力により図られ、その一部は通常の点検診断業務において実装されている。一方、既存港湾施設の性能評価、予測、修繕等の対策技術はまだ開発途上にあると言える。本稿では、LCMのより着実な実施の観点から技術開発の現状と今後の動向について考えてみる。

## 2. 点検診断のための技術

国土交通省港湾局は、利用者の参考となるように、開発者が

ら提出された仕様等を取りまとめ、2021年3月に港湾の施設の新しい点検技術カタログ(案)<sup>2)</sup>を公表している。そこには、表1に示す8技術が掲載されており、今後も適宜追加や見直しが行われていく。

港湾施設に発生している変状を発見するための定期的な点検診断は、その後の保有性能評価や修繕等の対策の要否判定、対策の設計等に大きく関わるため、点検診断技術の高度化はLCMに基づく維持管理の推進のために極めて重要な要素技術である。しかし、港湾施設は、一般に大規模であること、アクセス困難な部位・部材が多く詳細な調査や測定が実施しにくい環境にあることなどにより、必ずしも客観的で信頼性の高い点検診断が行われているとは言いがたい。そのため、海洋環境下でも適用可能で、作業効率が高く、信頼性のあるデータが取得できる点検診断技術が開発されてきている。表1に紹介した技術は、大水深や狭隘な海中部で点検する、水中部の施設の状態を高精度・高密度な点群データとして計測する、空中から広範囲に施設の状態を把握することなどを可能とするものや、多くの点検データの整理・解析を行って点検記録簿を作成するもの、タブレットやスマートフォンを活用した現場作業の効率化を目指すものである。このような技術の活用により、施設の外観目視点検をより効率的に行えるようになりつつある。これらの技術を活用して、予防保全に基づく港湾施設の維持管理の流れが形成されてきつつあると言える。

表1 国土交通省/港湾の施設の新しい点検技術 カタログ(案)に掲載されている技術<sup>2)</sup>

#### 機械点検技術

- ・水中ドローンを使用した海洋構造物の点検
- ・水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム
- ・自律型無人潜水機AUVを使用した外郭施設(防波堤・護岸)の水中部可視化技術
- ・パノラマカメラを用いた構造物調査点検システム
- ・i-Boat(無線LANポート)を用いた港湾構造物の点検・診断システム
- ・AIや三次元点群モデルを活用した、港湾施設の定期点検支援技術

#### システム技術

- ・港湾施設の維持管理支援システム(CASPort)
- ・スマートフォンによる港湾施設の維持管理システム

### 3. 現状分析から見えてくる今後必要となる技術

港湾施設では、2013年6月に港湾法が、技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示が2014年3月に改正され、5年または3年以内ごとに定期点検診断を実施すべきことが規定された。その結果、2020年度末にはおおむねすべての施設で一巡目の定期点検診断が行われている。

港湾施設のみならずほぼすべての我が国のインフラの健康度をAからEの5段階で評価したインフラ健康診断書が土木学会から公表されている<sup>3)</sup>。最新の2020年版では、港湾施設は係留施設も外郭施設も「C→」との評価である。ここで、「C」は「要注意(少なくとも数施設の劣化が進行し、早めの補修が必要な状況)」の状態であり、「→」は「現状の管理体制が続けば、現状の健康状態が継続すると考えられる状況」である。これは、定期点検診断の実施およびその結果を用いた維持管理計画の作成についての取組みは向上したものの、修繕等の措置が必要な施設が多く存在している状態にあることを意味する。したがって、今後は問題のある施設への修繕等の対策を行うことが必要であり、それを効率的かつ効果的に行うための研究・技術開発が強く求められていると言える。港湾施設の置かれた環境と変状の程度に応じて求める効果を所要の期間維持できるような材料・施工法等のハード面の技術だけでなく、的確な修繕が行えるようなソフト面の技術開発や制度の構築も求められている。加えて、単に修繕を行うのではなく、性能向上や延命化といった改良の実施や更新の実施までも視野に入れた取組みが必要であると言える。

### 4. 港湾施設の改良

設計供用期間内に施設の全体あるいは一部を引き続き活用した既存港湾施設の改良が行われることがあり、このような改良は今後ますます増えてくると予想できる。改良には、用途変更、要求性能の見直し、当初の設計供用期間を超えた供用期間の延長があり、2018年版港湾技術基準において記述が充実された項目である<sup>4)</sup>。用途変更は、既存港湾施設の設置目的や基本的な機能などのように施設の用途を変更させるもので、防波堤から岸壁、岸壁から護岸への変更等、施設の設置目的または用途の変更を行うものである。要求性能の変更は、用途は同じで要求性能を見直し、あるいは要求性能のレベルを上げるもので、設計波の見直し、設計地震動の見直し、近年懸念の高まっている地球温暖化による海面上昇への対応等が該当する。供用期間の延長は、港湾施設が設計供用期間に達した時点あるいは設計供用期間に至らないまでもその途中で、新たな設計供用期間

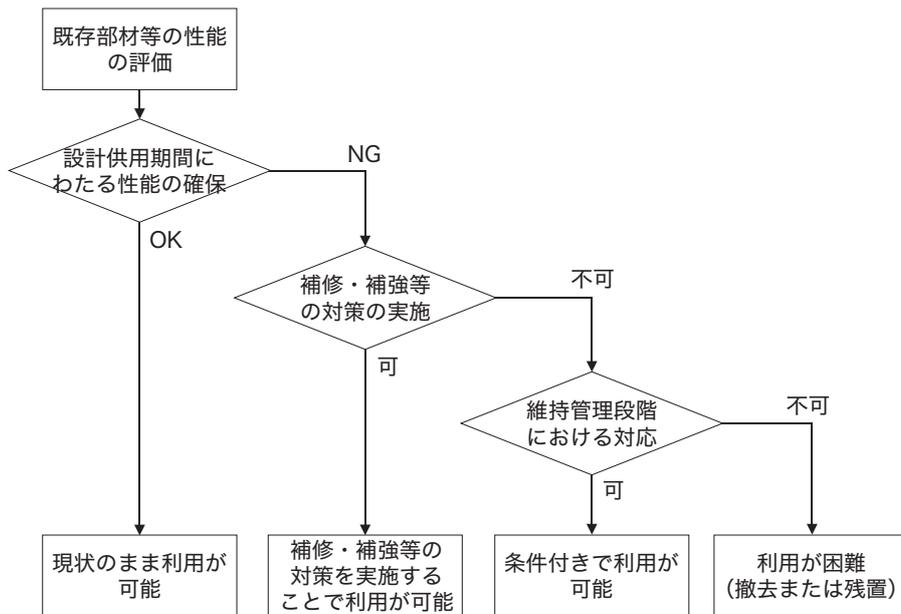


図2 利用可否等の判断フロー<sup>4)</sup>

を設定して供用期間を延長すること等が該当する。

いずれの場合でも、既存港湾施設がその時点保有している性能の評価が必要となる。そして、今後の設計供用期間中の性能の低下を予測し、今後の設計供用期間にわたって期待する性能が確保されるかを適切に予測した上で、図2<sup>4)</sup>を参考に利用可否等の判断を行う。性能が確保される場合は既存部材等を現状のまま利用可能であるが、確保されない場合は既存部材等に対して必要な補修・補強等の対策を実施する。しかしながら、既存港湾施設において、前述のように、水中部や土中部の部材等の点検診断の実施が困難なことが多く直接的な性能評価は困難であることが多いので、このような場合には工学的判断に頼った性能評価を行わざるを得ない。今後はこういった直接的な性能評価ができない箇所でもより精度の高い性能評価が行えるようなハードあるいはソフト的な技術の開発が求められる。そのような場合も含めて、将来の不確定な作用に対して性能が低下するリスクを評価する必要があり、リスクアセスメントの技術の高度化も必要となってくると考えられる。

## 5. LCMの本格的な展開のために必要な技術

LCMをより効果的に行う際に必要となる技術について述べる(図3)。施設の設計段階では、設計供用期間中の性能予測が重要である。施設の耐用期間は、変状等の物理的要因のみならず、社会的要因や経済的要因によっても定まる。物理的要因は環境作用による材料の劣化や物理作用による損傷に対するもので、設計供用期間中のこれらに対する予測における高精度化が

必須である。材料劣化に対しては、コンクリートの塩害や鋼の腐食については、設計においてある程度の予測が可能となっているが、ばらつきの考慮に対して確率的なアプローチが必要である。一方、凍害やASRなど、予測モデルが確立されていない劣化現象もあるので、これらへの対応も必要である。物理作用による損傷については、設計で想定する作用の大きさとの関係の中で、構造ロバスト性(Robustness)を定量化できるような手法の開発が必要である。

施工段階では、設計段階で想定されていないような状態が生じないように、確実な作業が行われる必要がある。供用早期に見られる不具合のほとんどは、

設計ミスか施工の不具合によるものである。したがって、BIM/CIM等をベースとした施工管理のシステムの構築と、その施工データを維持管理に確実に引き継ぐための仕組みが求められる。BIM/CIMもその一つとして有用であると言える。設計-施工-維持管理の情報・データを共有し、蓄積された情報やデータを基にした維持管理が行えるようになれば、より戦略的なインフラの維持管理が達成でき、LCMの展開に有効である。

供用中では、定期的な点検診断により施設の状態が確認され、合わせてその時点での保有性能が定量的に把握できるよう技術が必要である。保有性能評価においては設計で用いた照査式を用いる方法や数値解析による方法などが考えられる。どちらの方法にせよ、評価方法に見合うような精度のデータを所定の量入手する必要があり、性能評価の手法に応じた点検診断の方法が選択できるような多様なメニューを用意する必要がある。つまり、点検診断において得られるデータの質と量に応じて適切に採用できるような性能評価技術および予測技術が求められる。現在、AIを活用した性能評価およびこのための点検診断技術の開発も進められており、より確実な進展が期待できる。点検診断のための新たな技術開発も進められている一方で、点検診断の結果から施設の評価(総合評価)をどう行うのか、また修繕等の対策の必要性をどう判定するのか、効果的に修繕するにはどうすればいいのかについてはまだ十分な対応ができていない。

このようなことから、施設の供用中においては、供用期間を通して考えられる全ての作用下において必要な性能を確保する

こと、供用期間に想定される被害と損傷・破壊に対する安全性と信頼性を確保すること、予期できない事象によって深刻な損傷や信用的な破壊が生じないようなロバスト性を確保することのための研究・技術開発に期待したい。

廃止段階では、施設の解体または施設全体または部材のリユース、材料のリサイクルの可能性を検討し、廃棄物の量を減らすなどの環境負荷低減を検討する。本来ならばインフラの計画・設計段階において廃棄のシナリオを検討しておくべきであるが、現段階ではそこまでには至っていない。リユースやリサイクルを念頭に入れた設計や施工の方法についても技術開発が求められる。

上記のように、LCMは施設のライフサイクルに亘り設置目的、用途、必要な機能、性能をどのように確保していくかの戦略を示すものである。当然その際には、複数の選択肢の中から適切なものを選択していく必要がある。その際、従来のコストのみならず、サステナビリティの視点からの評価指標を設定して、複数の代替案から最適案を選定する。現在検討しているLCMでは、社会的、環境的、経済的な側面から考えられるサステナビリティの指標を用いることが有望である。これらのサステナビリティ指標については文献<sup>5)</sup>に委ねるが、SDGsが注目されている現在において、港湾施設自体のサステナビリティをどのように達成するか技術も必要ではないかと考えている。

これらをまとめると、LCMをめぐる展望として、まずは以下の研究・技術開発に注目したい。

・修繕等の対策の効率化、省力化、合理化に資する技術

- ・既存施設の用途転換、更新など有効活用に資するための施設の改良技術
- ・BIM/CIM等のツールを活用したLCMのためのデータ・情報共有システムの構築
- ・既存施設の保有性能評価と将来の性能低下予測手法
- ・サステナビリティ達成のためのLCMシナリオ評価技術と港湾施設群においてサステナビリティ指標を元にした最適なLCMのための優先順位の決め方

## 6. まとめ

本稿では、港湾施設のLCMをより確実なものとするために必要な研究・技術開発について私見を述べた。LCMは、設計における性能照査と維持管理における性能評価を含んでいるが、両者は似ているようで大きく異なるものである。港湾施設の研究・技術開発は、これまで新設の施設に対する設計技術の視点から行われてきたと言っても過言ではないが、今後は供用中の維持管理における性能照査の視点も求められる。これらを早期に研究・技術開発して、現場にて実装することが必要である。

一方、LCMはあくまでも施設のマネジメントを支援するための枠組みである。施設の構造詳細、施工品質、置かれた環境、使われ方は多種多様であり、現れる不具合には空間的かつ時間的に大きなばらつきがある。そのような中で、どういう設計、施工、点検診断を行えばいいのか、どのような修繕をすればいいのかを技術者は探る必要がある。高度化された技術がこれからも多く生み出されていくと思われるが、技術のユーザである技術者もこれに合わせて高度化されていかねばならない。

### 【参考文献】

- 1) 岩波光保：港湾施設のライフサイクルマネジメントをめぐる技術開発の動向と展望, CDIT, 47, pp.16-18, 2017.
- 2) 港湾の施設の新しい点検技術カタログ(案), 国土交通省港湾局, 2021.
- 3) 土木学会：インフラ健康診断書, 2020 ([https://committees.jsce.or.jp/reportcard/system/files/2020インフラ健康診断書\\_1.pdf](https://committees.jsce.or.jp/reportcard/system/files/2020インフラ健康診断書_1.pdf)).
- 4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, p.52, 2018.
- 5) 横田弘：インフラのライフサイクルマネジメントとサステナビリティ, 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 34, 2021 (<https://www.hokkaido-nds.org/pdf/vol.34/34kouen1.pdf>).

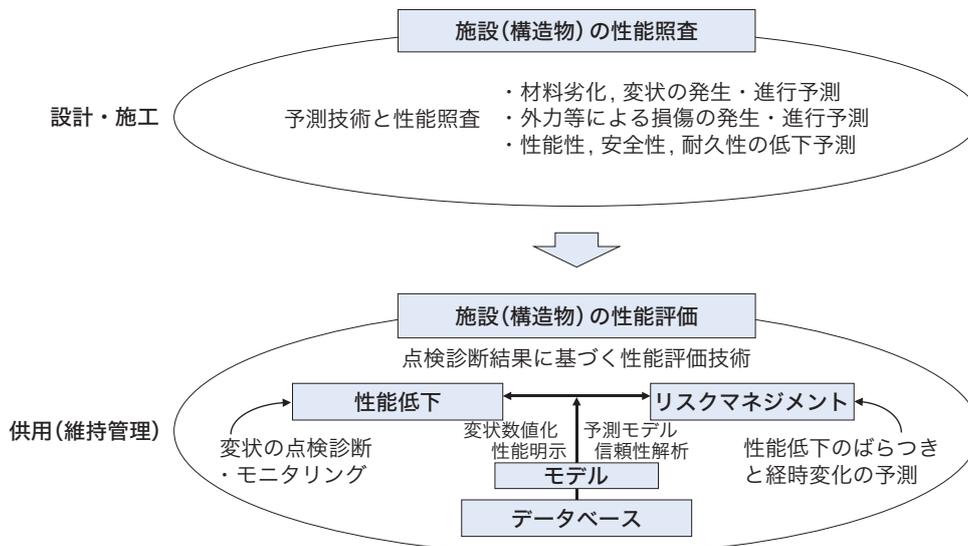


図3 設計での性能照査と維持管理での性能評価

# 建設・産業副産物の 地盤材料としての有効活用をめぐる技術



菊池 喜昭

東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授

## 1. はじめに

著者は5年前にCDIT No.47<sup>1)</sup>で、「建設副産物等の有効活用をめぐる技術開発の動向と展望」を執筆した。本稿では、改めて、副産物を地盤材料として有効活用するときを考えるポイントを紹介してみたい。副産物の有効活用に関する背景や狙いについて、一部前稿と重複するところがあるが、読者の便のため、重複を恐れずに書いていきたい。

25年ほど前に建設副産物や産業副産物を有効活用しようという機運が起きた理由は、簡単に言うと、①天然資源の枯渇の危険性と地球規模での自然保護、②廃棄物処分場のひっ迫、③臨海部で大量に産出する副産物等の積極的利用の促進、④港湾施設の老朽化対策に必要な新たな性質を持つ地盤材料の開発の必要性が主たるものであったと思う。その後、阪神淡路大震災、東日本大震災などを契機に、⑤災害廃棄物の有効利用が視野に入ってきていると思われる。

①については、港湾工事はおおむね大規模工事で、大量の地盤材料を使用しているということで、良質の石や砂が枯渇していることからくるものである。②は廃棄物の最終処分場の残余が少ないことから、廃棄物の最終処分量を削減する必要が出ており、そのために分別収集が進んでいるが、分別した材料を有効に利用することでさらに最終処分を減らそうというものである。③は、海外から資源を調達するわが国では、沿岸域に様々な工場が立地しており、そこから産出する産業副産物をできるだけ有効活用しようというもので、従来、製鉄工場から出てくる鉄鋼スラグと石炭火力発電所から出てくる石炭灰が主たる対象であった。④は①から③までのやや受け身的内容とは少し異なり、積極的に材料の性質を改善することで新たな地盤材料を生み出していこうというものである。これは、従来の地盤材料だけでは老朽化した岸壁の改良や更新を行うのに十分ではないとの判断から行われているものである。この視点はさら

に、浚渫粘土のように、従来まず埋立地に放り込んで、埋め立てて完了後地盤改良すればよいという対応を改め、埋め立てると同時に良好地盤として機能するような、浚渫土の積極的利用の道を開くというふうに変化した。⑤は特に東日本大震災の後に注目されてきている。東日本大震災では、災害廃棄物の大規模な分別が行われ、できる限り多くの廃棄物を再利用しようとしてきている。その一つの表れが、公益社団法人地盤工学会が独立行政法人国立環境研究所から委託した、「災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン」<sup>2)</sup>の策定である。このガイドラインの趣旨は、災害廃棄物の処理の結果得られた復興資材を地盤材料としての特性と環境安全性に配慮しながら積極的に有効利用しようとするものであり、安定型の廃棄物についてはかなりの部分が地盤材料としても使えるとしたものである。その際、最後に残ったのが、篩い下残渣で、これについては、一般には地盤材料としても取り扱いが難しいものという範疇に置かれた。

## 2. 人工地盤材料に求められる性質

港湾等工事で用いられる、建設副産物等を加工して作られる人工地盤材料にはどのような性質が求められているのだろうか。

人工地盤材料が持つべき基本的な性質は、大量に産出すること、材料品質のばらつきが少ないことがあげられる。すでに述べたように、港湾工事では一度に大量の地盤材料を必要とするので、大量調達ができないものでは使い勝手が悪いということになる。また、材料の品質のばらつきが天然材料と同程度以下でないと安心して使えないということになる。そのうえで、従来の地盤材料の代替として用いるのであれば、使用する箇所に応じて、表1に示すような天然材料に対して要求している性質に等しいか、それを上回る性質を持っていることが要求される。

ところで、人工地盤材料については、図1のような方法で改

表1 用途と地盤材料に求められる性質

利用用途	求められる性質
地盤改良材（ドレーン材）	透水性が良いこと 目詰まりが生じないように粒度が良いこと
地盤改良材 （サンドコンパクションパイル材）	粘性土地盤の場合：締まりやすく、十分な強度が期待でき、 ケーシングからの排出が容易なもの
本体内中詰材	固まらないこと 重いこと 膨張しないこと
裏込材	せん断抵抗が大きいこと、また単位体積重量が小さいこと
裏埋材	（裏込材と同様）
盛土材	締め固めやすいこと 施工が容易で、せん断強度が大きく、圧縮性が小さいこと
覆土材	（盛土材と同様）
埋立材	軽いこと 圧縮しにくいこと

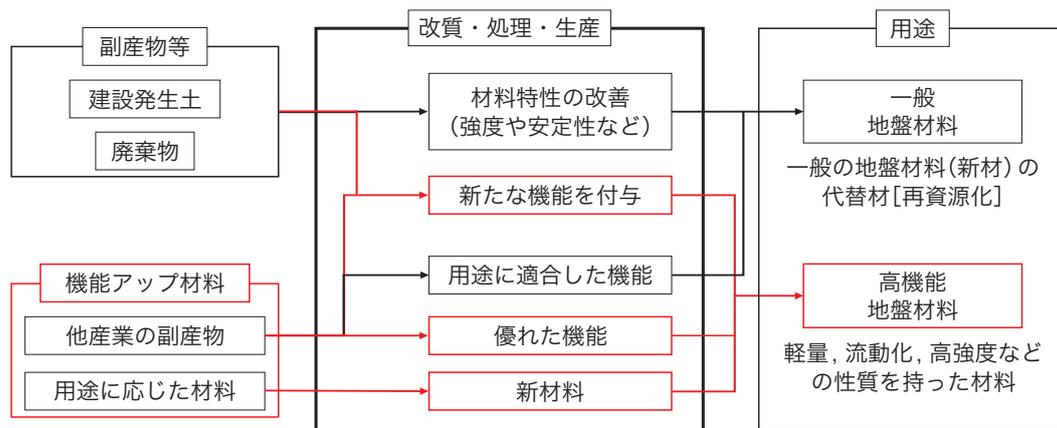


図1 人工地盤材料の創造

質をし、よりよいものに変えていこうとする考え方が以前からある。図1中に赤で書かれたところがポイントであるが、従来の地盤材料では見られないような高機能を持つ地盤材料を人工的に作る事が可能であるし、また、そういったものを作り出す努力が必要であると思われる。図中にあるような、機能アップとか、新たな機能とか、高性能とは具体的には何かということであるが、例えば、より軽い材料、せん断強度の大きな材料、より韌性に富む材料、透水性の高い材料など、様々なものが考えられ、要求は時とところによって変わるので、具体的にこれというのは言いにくい。

### 3. これまでに行われてきた技術的検討

#### 3.1 2種類以上の材料を混合

何かと何かを混ぜることで、悪い品質を抑え、良い品質に改善するという事はよく行われている。例えば、土にセメントを混ぜるなどはその典型例である。ほかには、気泡を混ぜるとか、発泡ビーズを混ぜる、ゴムチップを混ぜるなどされてきている。地盤材料の場合、混ぜるときに注意しなくてはいけないことは、そもそも混ぜるのは手間のかかることであるので、で

きるだけ簡単に混ぜないと材料価格があがってしまうことにある。混ぜるときに手間がかかることの例としては、SGM軽量土があげられよう。SGM軽量土は多くの方がご存知の通り、粘性土を主体として浚渫土に水を加えて液体状にしたものに、気泡あるいは、発泡ビーズとセメントを混合するものである。特に気泡の場合には、混合、圧送、水中投入時に、消泡や分離ということが問題になり、非常に丁寧な混合攪拌作業が必要となっている。これに対して、管中混合処理土は、SGM軽量土と同じように、浚渫粘土にセメントを混合するものであるが、粘性土の含水比をうまくコントロールすることで圧送パイプの中で圧送中に半ば自動的に混合するものである。

また、あまり一般化されていないが、浚渫粘土にゴムチップを混ぜた材料も提案されている<sup>3)</sup>。このときのゴムの大きさは、SGM軽量土の発泡ビーズの寸法を参考にして決めたもので、径が2mm程度のものを利用している。この数字は前例があったことによるものであるが、こうすることで混ざりやすく、分離しにくくすることができた。

水中投入時の分離も混合材料を利用するときの課題である。事前混合処理土は、もともと砂とセメントを混合する工法であ

るが、ベルトコンベアーの上でこれらを混合し、投入する直前に、のりを吹き付けてセメントと砂の分離を抑えている。

### 3.2 軽量化

軽くすることの一番の効果は、埋め立てた時などに基礎地盤に作用する上載荷重を低下させ、圧密沈下を抑制することにある。擁壁などに作用する土圧も低減できそうであるが、通常は単純に軽量化しただけでは土圧低減の効果は小さい。それは、地震時の土圧低減には上載荷重の低下があまり寄与しないことによる。

軽くするにはそもそも軽い材料を用いればよいので、その典型的な例は気泡あるいは発泡スチロールを用いることである。発泡スチロールの密度は、 $30\text{kg/m}^3$ 程度である。粘性土の場合、水を加えることは軽くすることの第1歩である。SGM軽量土では液性限界の1.5~2.0倍の含水比になるように水を加えており、これだけで材料は軽くなる。ただし、もちろん、水を加えただけでは水と土が分離するので、セメントを添加してその状態のまま固めるということが良く行われている。その結果、セメント処理土の多くは、密度が小さくてせん断強度が大きな材料となっている。セメント処理粘性土の弱点は、ある圧力レベル以上の圧力が作用するとセメントで固めた部分が壊れだし、大きく体積収縮することである。また、気泡などを多く含ませた場合には、等方的に圧力がかかっただけで気泡がつぶれてしまい、体積収縮するとともにせん断強度も失うということもある。

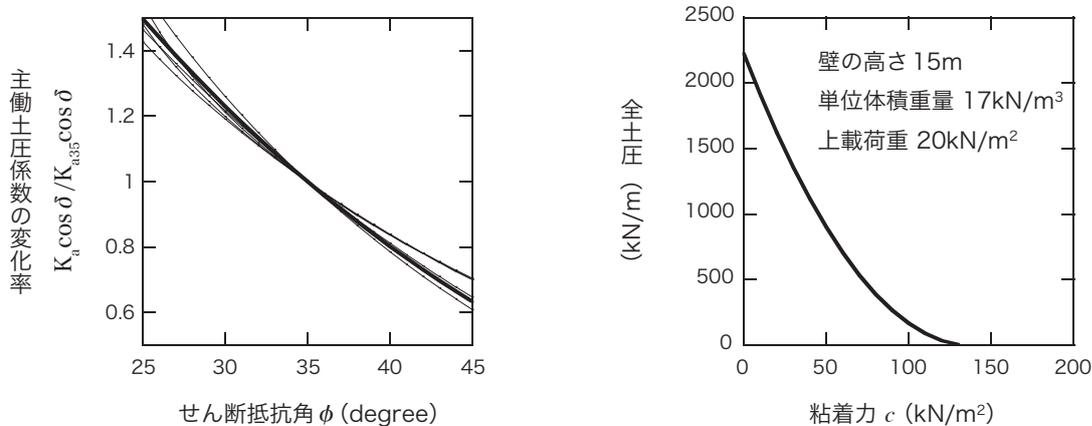
このほか、軽くするには様々な軽量材が用いられており、シラスなど火山灰由来の材料も軽量化材として利用されている。

なお、カウンターウェイトやケーソンなどの中詰め材とする

ときは重くすることも有利になるが、この場合には、土粒子密度の大きなものを用いることが良く使われている。実際には単に土粒子密度が大きいというだけでは単位体積重量を増すことにはつながらないので、単位体積重量を大きくするという事に注意が必要である。

### 3.3 高せん断強度化

せん断強度を高めることは構造物に作用する主動土圧の低下に寄与する。土のせん断強さはモールクーロンの破壊基準にみられるように、 $\tau = c + \sigma \tan \phi$ で表される。ここに $\tau$ :せん断強度、 $c$ :粘着力、 $\sigma$ :考えている面に作用する直応力、 $\phi$ :せん断抵抗角である。構造物に作用する土圧を低下させるには、図2に示すように、せん断抵抗角を大きくするよりも、粘着力を大きくする方が効果的である。図2によれば、せん断抵抗角を5度変えると主動土圧係数は2割程度変化するが、そこまでであるのに対し、粘着力が大きくなれば擁壁に作用する全主動土圧を0にすることができる。図3に示すような断面で、固化改良体がそれだけで十分な安定性を保てていれば、ケーソンが前面に動いたときに、ケーソンの背後の土が崩れて、ケーソンがもとに戻れないということは起きなくなる。ではどの程度の粘着力があればよいかというと、よほど大きな構造物でない限り $c$ が $150\text{kN/m}^2$ もあれば十分であろう。 $c=150\text{kN/m}^2$ はおおざっぱに言ってコンクリートの圧縮強さの100分の1以下である。固化処理土の場合、 $\phi=0$ を仮定して、 $c=150\text{kN/m}^2$ を確保しようとするならば、必要な一軸圧縮強さ $q_u$ は $300\text{kN/m}^2$ となる。これに固化処理土でよく使われてきた安全率3を考慮すると設計段階での一軸圧縮強さを $900\text{kN/m}^2$ 見ておけば、自立する裏込めを作ることができ、



(a) せん断抵抗角の変化に伴う主動土圧係数の変化

(b) 粘着力の変化に伴う擁壁の全土圧の変化

図2 土のせん断強さをあげることによる擁壁に作用する主動土圧の変化への影響



れば、最終的には大きなせん断抵抗を発揮することが考えられるが、せん断剛性が著しく低いため、そのままでは使いづらい。ゴムチップを固化処理粘土と混ぜるとせん断剛性が低いという問題が解消し、さらに、韌性が増すというメリットが出ること<sup>3)</sup>が明らかとなっているので、木屑と固化する材料を混合することで面白い性質を引き出すことができるのではないかと考え、製鋼スラグと木屑を混ぜる実験をしてきた<sup>5)</sup>。その結果の一例が図5である。ここでの条件であれば、繊維状の木屑を5~20%程度混合すると、圧縮強さが製鋼スラグ単味の場合より大きくなる上、破壊ひずみが大きくなるという特徴を示した。木屑は腐食するのではないかと懸念があるが、これまでに実験してきた範囲では、pHが高いことと、嫌気状態を作れることが幸いして、腐朽の問題はあまり大きくならないかもしれないという感触を得ている。

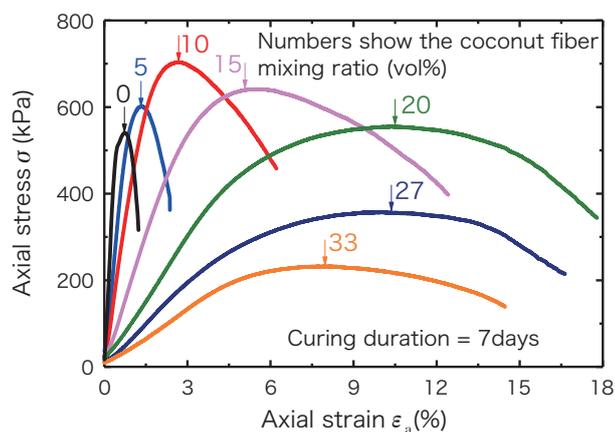


図5 木屑(ココヤシ繊維)と製鋼スラグを混合した時の一軸圧縮試験における応力ひずみ関係(養生7日)

## 4. まとめ

我が国のリサイクル材料活用技術は、これまで、再利用できずに困っているものを加工して使えるものにするというスタンスのものが多かったと思う。これが、アメリカでは、今は捨ててしまっているけど、うまく使うとメリットが大きいからリサイクルするという発想が多いということがかつてアメリカの研究者に聞いたことがある。つまり、日本ではマイナスをできるだけ少なくという思想であるが、アメリカの状況は、マイナスのものは捨ててプラスのものをさらに大きなプラスへという感じであろうか。アメリカでやっているような研究は日本では別にリサイクルの研究とは言わないと思う。結局、日本の方がより厳しい条件で必要に迫られて技術開発していることになる。結局はこういった厳しい環境にさらされることで技術は進歩するのであり、技術者としてはありがたい環境が与えられているようである。

近年では、カーボンニュートルの観点や海底火山噴火に伴う軽石処分などが副産物の有効利用の課題と関連して来ているなど、今後とも新たな技術の開発が期待されている。

### 【参考文献】

- 1) 菊池喜昭：建設副産物等の有効活用をめぐる技術開発の動向と展望，一般財団法人 沿岸技術研究センター機関紙，No.47，pp. 19-21，2017.
- 2) 公益社団法人地盤工学会：災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン，公益社団法人地盤工学会，96 p.，2014.
- 3) 例えば、菊池 喜昭，永留 健，御手洗 義夫：ゴムチップ混合固化処理土の破壊メカニズムとせん断時の透水性の変化，地盤工学ジャーナル，1巻2号，pp.19-32，2006.
- 4) [https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_fr5\\_000054.html](https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000054.html)
- 5) Tomotaka Yoshikawa, Yoshiaki Kikuchi, Shohei Noda, Yuka Kakahara, Akihiro Oshino : ICE Virtual Library, Environmental Geotechnics, pp. 1-9, 2021. DOI:10.1680/jenge.19.00233

# 海洋開発を支援するインフラ技術の進展と研究課題

松本 さゆり

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  
インフラDX研究開発領域 ビッグデータ研究グループ

## 1. はじめに

海洋開発を支援するインフラ技術開発の究極の目的は、それら作業のDX化であろう。BIM/CIMを活用した設計・施工・維持管理のデジタルツイン構想、ICT施工、ICT維持管理やそれらの施工履歴の蓄積によるビッグデータ化など、多岐にわたる展開が想定される。

本稿では、海洋開発を支援するインフラ技術のうち、特にビッグデータ化、あるいは施工や維持管理のICT化に向けたデータ収録方法に焦点を当てた新たな取組として、マルチビームデータクラウドの開発、潜水作業へのICT技術の導入(以降、ICT潜水)について紹介する。

## 2. マルチビームデータクラウドの開発

マルチビームソナーは測深を効率的に行うソナーであり、令

和2年より浚渫工の出来形検査で使用されるようになった<sup>1)</sup>。その後、ブロック据付工等での試行工事や適用工種拡大のための検討が進行中であり、マルチビームソナーの使用は増加する方向である<sup>1)</sup>。それに伴い、取得データを解析して図化する内業(以降、後処理)もまた増加しており、後処理の負荷へのケアが望まれていた。そこで、令和2年度よりマルチビームソナーで取得したデータの解析・図化の処理の作業を高速かつ省力化するためのマルチビームデータクラウド(以降、AIMS; Acoustic IMaging & Surveying cloud)の開発に着手したので、その開発概要と進捗について述べる。

図1に示すようにAIMSは船上処理システム、クラウド後処理システムおよびクラウドリアルタイム処理システムの3つの部分から構成されている。

①船上処理システム; 船舶に搭載したマルチビームソナーで取得したデータを、無線通信を利用して逐次クラウド上の

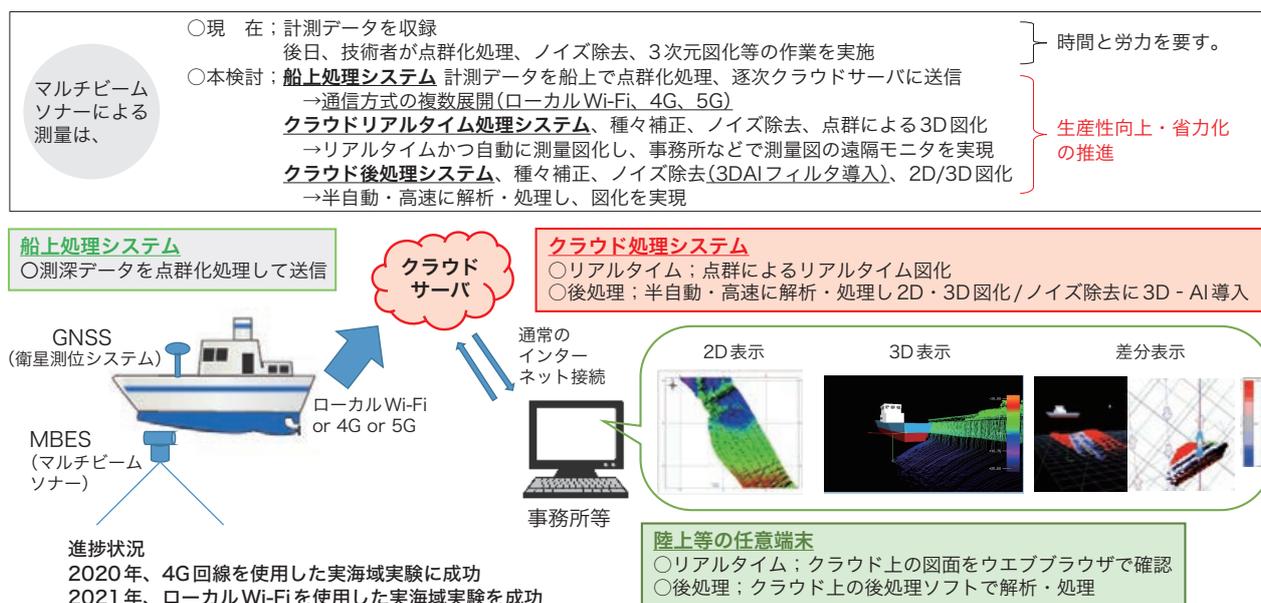


図1 マルチビームデータクラウド(以降、AIMS; Acoustic IMaging & Surveying cloud)の開発概要

AIMSにアップロードする。

AIMSでの処理は、以下の2つ方法が用意されている。

- ②クラウド後処理システム；従前の後処理を高速に半自動で行う機能であり、手動ノイズ処理は極めて少量となる機能である。計測と同時にAIMSに収録されたデータを、後処理システムに読み込むと、事前に登録した然るべき手順に従って解析、ノイズ処理、描画まで自動で行う。
- ③クラウドリアルタイム処理システム；船上のマルチビームソナーでデータ取得してから、即時的に水中を可視化する機能であり、閲覧のみであればインターネットブラウザを使用して、事務所のPCやスマートフォンなどの任意端末から見ることができる。

次に、上記のAIMSを使用した計測事例を紹介する。図2は、マルチビームソナーで測量を実施中に、船上処理システムとクラウドリアルタイム処理システムを使用した事例である。陸上のPCからインターネットブラウザを介してクラウドリアルタイム処理システムにアクセスし、点群データをリアルタイムに

描画中のスクリーンショットである。いずれも水深のカラーコンタ表示となっており、左は俯瞰図、右は上面図に航跡を示したものであり背景に海図を示している。船上で音響等データを取得してから描画までの遅延時間は、無線通信の通信方式に依存し、4G方式の場合は1~2秒、ローカルWi-Fi方式を使用した場合は2~3秒であることを実験的に確認済である。従来の検査や施工では存在しない可視化方法であるが、被災後調査や日々の進捗管理など、野外で即時的に水中状況を視認したい場合には、大変有効である。また、図3はPCからインターネットブラウザを介してAIMSクラウド後処理システムにアクセスし、後処理中のスクリーンショットである。手続きは事前に書き込まれており(画面左側)ファイルを指定すれば、自動で解析・処理するようになっている。AIMSを利用すれば、浚渫工の1日の平均的な施工範囲である370m<sup>2</sup>の解析・図化は概ね1時間程度で得ることができる。

今後の技術開発としては主に以下2点を重点的に行い、令和4年度末の完成を目指している。

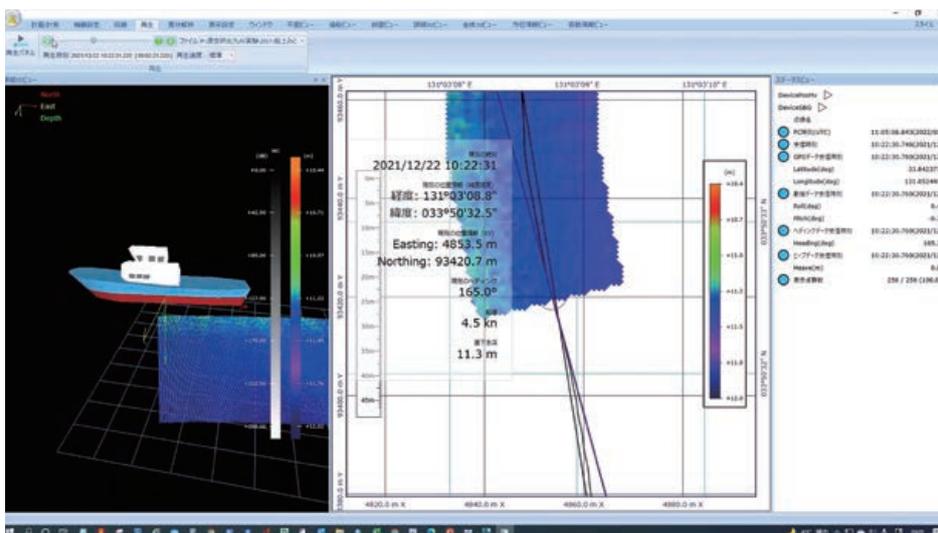


図2 船上処理システムとクラウドリアルタイム処理システムによる、リアルタイム描画中のスクリーンショット。左は俯瞰図、右は上面図、いずれも水深のカラーコンタ表示



図3 AIMSクラウド後処理システム、後処理中のスクリーンショット。手続きは事前に書き込まれており、解析・処理するファイルを指定すれば自動で図を得る

- ・後処理システム上のノイズ除去；マルチビームソナーの後処理の内、最も時間を要するノイズ除去を代替する3D-AIノイズ除去フィルタを開発中であり、既にICT施工の測量として実働されている浚渫工に焦点を絞って検討する方針である。
- ・無線通信方式の拡張；今後の5G方式の普及を見込んで、拡張できるよう機能を付加する。5G方式は大容量データ通信が可能であるから、データ欠損や通信速度の改善が望める。

### 3. 潜水作業へのICT技術の導入 (ICT潜水)

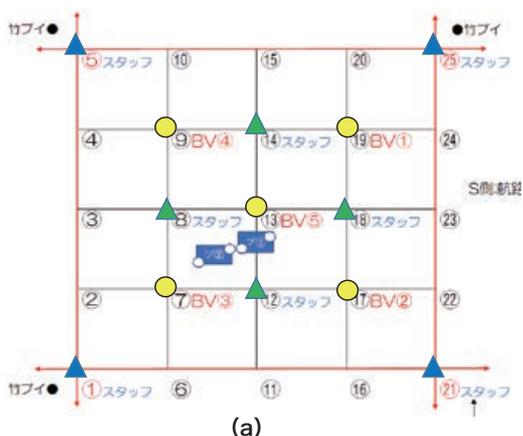
令和4年2月、i-Construction推進委員会において、潜水作業について効率化だけでなく、安全性の向上に注力し、潜水作業のICT化が進められることとなった<sup>1)</sup>。弊所としては、令和2年9月より国土交通省九州地方整備局、一般社団法人日本潜水協会技術安全委員会ならびに同九州支部との4者間で「港湾工事等における潜水作業のICT技術導入の取組に関する連携協定」を締結し、潜水作業の更なる安全性や生産性の向上の他、港湾構造物の品質の確保、潜水作業の担い手育成支援に取り組んでいる<sup>2)~4)</sup>。特に、基礎工天端面の測量について、潜水士作業を伴う海底設置型音響ソナーで計測する方法の検討については、令和2年度初旬から一般社団法人日本潜水協会との共同研究、一般社団法人海洋調査協会との共同研究による合同プロジェクトとして助走期間を経て進めたもの<sup>5)</sup>の一部を抜粋と後続の検討を合わせて紹介する。

さて、基礎工天端面の均し作業とその出来形検査について、振り返る。天端面の出来形は、基準高さ±5cmと規定されており、測量箇所は天端面上の丁張に沿って例えば10mの格子点上で行う。計測装置に決まりはないものの、任意点上の測位を実現する潜水作業を伴う水中スタッフまたは水中水準測量装置が使われることが多く、最近は後者が主流のようである。一方、前出のマルチビームソナーは海底の面的な計測を可能とするた

め、当該工種への代替も検討されたが、その計測誤差は水深値±10cmが限界であり、基礎工天端面の測量への適用は見送られている。マルチビームソナーの計測誤差は船体動揺のうち動的喫水が未評価なことに起因するが、いまだ計測できる方法が存在しない。現状をまとめると、基礎工天端面の出来形計測は、計測装置の制約から潜水士により1点ずつ計測されており、非常に粗い離散的データの取得に時間を要しており、今後に向けた取組として、作業効率の改善と施工のDX化に向けた面データの取得の双方向から、新たな計測方法を探ることとした。

そこで、基礎工捨石均し(手均し)後の天端面の測量を、海底設置型の音響ソナーによる測量の適用を考えた。この方法を用いれば、船舶の動的喫水からは逃れられるし、10mの格子点のような離散点ではなく海底の面的測量を実現できる。当初、音響機器としてマルチビームソナーを横向きに設置し、回転させることを考えたが、マルチビームソナーの耐水圧、三脚やパン・チルト装置(旋回装置)、それらの制御ソフトなど、試験準備だけで高額となる。そのため、類似のソナーであり全てオプション機能として備える唯一の機器であるBlueViewを採用した。なお、同機器を底面に設置して得た点群データとレーザーによる比較事例では概ね一致としているが、数値での比較や評価はなされていない<sup>6)~7)</sup>。また、広範囲のデータ取得への展開、従前方式による測量値との比較、基礎工均し後の天端面では未検証など、測量として使用するためのバックデータが十分でなく、これらについて検討を行っているところである。

計測場所はケーソン打継場のマウンドであり、計測時のレイアウトを図4(a)に示す。7.5m格子に丁張をし、格子点上の赤で示した数字はスタッフ測量により位置を、各格子点上は水中水準測量装置で高さを、黄色○にはBlueView、緑△には評定ブイを設置した。BlueViewはパン・チルト装置と共に架台に搭載し(図4(b))、海底面上のBV①に設置した後、BlueViewを



(a)



(b)

図4 BlueViewを使用した基礎工天端面測量調査 (a)計測場所のレイアウト (b)BlueViewと架台

水平方向に±180度回転させて半径10m程度の範囲について測量を行った。図4(a)中に示した他のBV計測点へは潜水士船のウインチを使用して移動した。BlueViewの1計測点当たりには要する時間は概ね20分、計測場所の段取替えは約15分であり、幅10m×長さ30mのマウンドは概ね半日程度で計測可能であった。1計測点あたりの速報的な図化作業は概ね10分程度であり、段取替え中に実施することで、即時的に確認ができる。

図5はBV③とBV⑤におけるBlueViewの点群データにつき、簡易なノイズ処理をしたのちに、評定点を重ね合わせるタイポイント法を用いて合成した例であり、2つ以上の計測点から得た海底地形は滑らかにつながることができた。表1はBV点上の測量値について、水中水準測量装置の真値として比較しているが、BlueViewの計測値の誤差はBV④を除いて、最大3cm以内である。なお、BV計測範囲の辺縁部は斜め入射に起因する質の悪いデータが含まれており、BV④はその影響を受けている可能性が高い。データの質については要検討である。

本方法が実現すれば、潜水士による手均し作業が終了した後、同一装備に海底地形計測の可能なソナー他の機材と作業日を1日追加するのみで面的な測量データを取得できるから、ICT施工用の測量データの取得とそれに係る作業の効率化への有効な手立てとなりうる。

さらに、本稿では触れていないが、前出のICT潜水にかかる

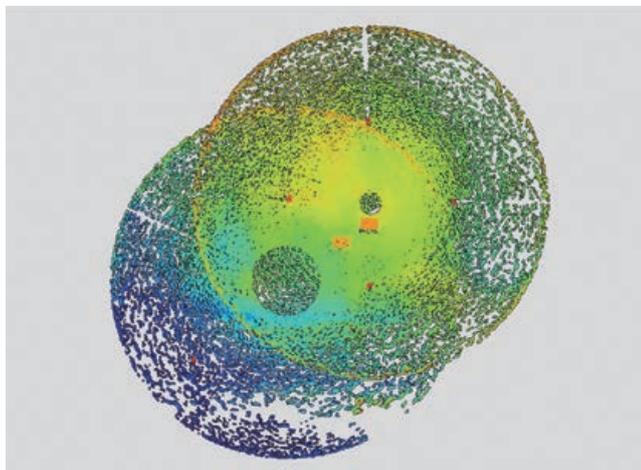


図5 計測事例、BV③とBV⑤を結合したものの

表1 BV③とBV⑤の点上の測量値比較、真値を水中水準測量装置とした場合

計測点	水中水準測量装置	BlueView	差分
BV①	-8.36	-8.37	-0.01
BV②	-8.05	-8.04	0.01
BV③	-8.27	-8.24	0.03
BV④	-8.22	-8.28	-0.06
BV⑤	-8.33	-8.33	0.00

連携協定の枠組み内で、潜水業務に必要な装備品の見直し、緊急浮上システムなどICT潜水に関わる検討に携わっており、今後の成果に期待されたい。

## 4. おわりに

施工や維持管理のICT化に向けたデータ収録方法に焦点を当てた新たな取組として、マルチビームデータクラウド(AIMS)は、マルチビームソナーでデータ収録と同時にデータをクラウドにアップロードし、クラウド上のAIMSでリアルタイムに可視化する機能と、事後にクラウド上の後処理システムを使用して後処理を半自動かつ高速に行う機能について紹介し、実験的に取得した事例と今後の展開について述べた。また、潜水作業へのICT技術(ICT潜水)についてはその取組について紹介し、ひとつの研究事例として海底設置型ソナーによる測量法の検討につき一部を紹介した。

これらの課題は、いずれも研究開発段階であり、絶対的な成果よりはアウトラインを分かりやすく示すことを優先したため、内容に未解決部分が含まれていることはご容赦願いたい。また、これらの課題については、行政、業界団体の要望から研究に発展した経緯があり、海洋開発を支援するインフラ技術のうち、特にビッグデータ化あるいは施工や維持管理のICT化のための収録方法に一石を投じるものと確信している。

## 謝辞

本稿で紹介したAIMSの技術開発は、港湾局技術企画課ならびに九州地方整備局からの支援を受けている。ICT潜水については、海洋調査協会、日本潜水協会との共同研究の成果の一部を引用し、実験場所として関東地方整備局の実海域実験利用制度を活用させていただいた。また、国土交通省九州地方整備局、一般社団法人日本潜水協会技術安全委員会ならびに同九州支部との連携協定では、貴重な意見交換をいただいた。ここに謝意を表する。

## 参考資料

- 1) 国土交通省港湾局公共事業調査室、技術企画課、「第4回港湾におけるi-Construction推進委員会」資料、<https://www.mlit.go.jp/common/001446207.pdf> (2022.2)
- 2) 九州日報、2021年1月5日、1面
- 3) 長山達哉、「九州地方整備局における港湾工事へのICT導入と潜水分野への発展に向けた取組について」、『潜水』、Vol.86、16-20 (2021)。
- 4) 日刊工業新聞全国版、2021年7月29日、11面
- 5) 大野敦生、「水中3Dスキャナを活用した水中可視化技術の実証試験」、『横浜港湾空港技術調査事務所、第6回技術交流会講演資料 (2017)』。
- 6) 古殿太郎ら、「水中3Dスキャナを活用した水中可視化技術によるインフラ維持管理・点検技術」、『建設機械施工』、Vol.70、63-68 (2018)。
- 7) 大野敦生、「ICT潜水に向けた海洋調査技術の導入」、『海洋調査協会』、No.147、31-34 (2022)。

# 浚渫土を原料とする リサイクル実用化技術 (脱水固化石材)

りんかい日産建設(株)・  
伊藤忠TC建機(株)・ラサテック(株)

浚渫土(高含水比粘性土)にセメントを添加した後、高圧フィルタープレス機にて、最大過圧力4MPaで脱水固化することにより、脱水固化石材(人工石材)を製造する。浚渫土の有効利用や土砂処分場の延命化に資する。

## 開発の経緯

大都市周辺の港湾施設の大水深化や維持浚渫で発生する浚渫土の処理が問題になっている。大都市周辺の浚渫土は高含水比の軟弱粘性土が多く、建設用材として利用することが難しく、隣接する土砂処分場で処理することが一般的である。しかし、近年、新しい土砂処分場の建設は環境問題や漁業補償などの問題より困難な状況を迎えつつあることから、既存土砂処分場の延命化や浚渫土砂の有効利用が求められるようになっている。

本技術は、平成23年度より浚渫土の有効利用を目的に、浚渫土(高含水比粘性土)を原料とする脱水固化石材(人工石材)の開発に取り組み、平成25年度に開発した技術である。

## 技術の概要

本技術の概要は、浚渫土(高含水比粘性土)にセメントを添加

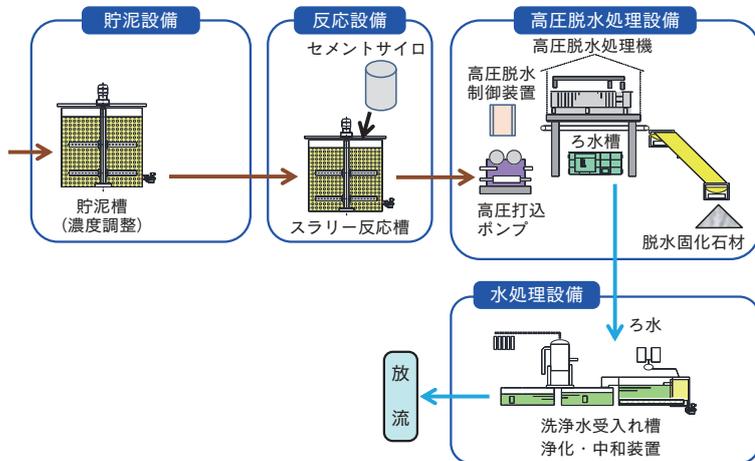


図1 脱水固化石材の製造模式図

した後、特殊ろ板を有する高圧フィルタープレス機にて、最大過圧力4MPaで脱水固化することにより、脱水固化石材(人工石材)を製造するものである。

## 技術の特徴

- ・浚渫土(高含水比粘性土)を材料とするリサイクル実用化技術として、脱水固化石材(人工石材)を製造するものである。脱水固化石材は、原泥(含水比200%)1m<sup>3</sup>から脱水固化石材が0.75m<sup>3</sup>製造できる。
- ・セメント添加率40%/ds(ds:乾土重量)の場合、脱水固化石材の一軸圧縮強さはJIS規格の準硬石(9.8MN/m<sup>2</sup>)以上である。
- ・脱水固化石材の形状は、JIS規格の割ぐり石の形状に対応している(JIS規格で石材の厚さ:長辺=1:2以内)。なお、180mm×180mm×90mm程度を最大の形状寸法として製造可能である。

## 技術の利用用途

発注者の要求品質を満足する箇所での石材としての利用を原則とする。適用可能と考えられる利用用途を以下に示す。

- ・港湾施設の仮設の護岸・中仕切堤等における石材(裏込石、腹付け石、置換材等)
- ・仮設道路の路床材
- ・サンドコンパクションパイルの砂との混合使用

## 技術の効果

浚渫土の処理が問題になっている中で、浚渫土を処分するのではなく、浚渫土を原料とする土木材料として有効利用できる。また、減容化効果により土砂処分場の延命化にも寄与する。



図2 高圧フィルタープレス機と特殊ろ板



図3 脱水固化石材製造と脱水固化石材(70mm×70mm×35mmの例)



# 吸水性泥土改質材と改質土の活用技術について

※第23回国土技術開発賞(授賞式2021.9.28)の受賞技術全11件のうち、港湾関連技術をピックアップしました。

ジャイワット株式会社 山内 裕元  
五洋建設株式会社 和栗 成樹

## 1. はじめに

高含水状態の浚渫土や建設汚泥のような泥土を処理する場合、天日干しやセメント・石灰等による固化処理が用いられてきた。しかし時間やコスト、あるいはアルカリ化等の課題があり、軟弱な建設発生土の有効利用は進んでいない。一方でこうした発生土を有効利用できるのであれば、“積極的に利用したい”というニーズが高まっている。そこで、不良土を安価に現地で良質土に改質する改質材を開発するとともに、地盤構造物に汎用的に利用できる改質土の活用技術も併せて開発した。

## 2. 開発技術の概要

本技術は、ペーパースラッジ焼却灰(PS灰)を基材とした吸水性改質材を用いて泥土を改質する技術である。吸水性泥土改質材「ワトル」(写真1)は、



写真1 吸水性泥土改質材「ワトル」

吸水性の高いPS灰に改質効果を向上させるための補助剤(カルシウム成分、硫酸成分、アルミ成分等)を添加している。PS灰の吸水による物理的改質と補助材による水和反応の化学的改質により、高含水泥土を効率的に改質することができる(写真2)。すなわち、混合



写真2 改質状況

直後の吸水効果による物理的改質とその後のエトリンガイト等の水和物生成による化学的改質の2つの効果により、泥土中の余剰水を拘束することで良質土に改質することに特徴をもつ技術である。

## 3. 開発技術の特徴

### (1) 泥土改質材「ワトル」の改質原理

PS灰の有する多孔質により、軟弱泥土の余剰水分を速やかに吸水し、見かけの含水比を低下させる。さらに、時間経過に伴い水和反応が進行して改質土が程よく固化する。ただし、セメントのように「カチカチ」に固結はしないので、このタイミングで解きほぐすことで改質土は顆粒状になり、曝気作用により乾燥が促進される(図1)。この解きほぐしによる顆粒化の処理を、「ほぐし造粒」と命名した。

### (2) 改質土の粒度と締固め特性

ワトルで改質されたほぐし造粒土は、適度な粒度と含水比

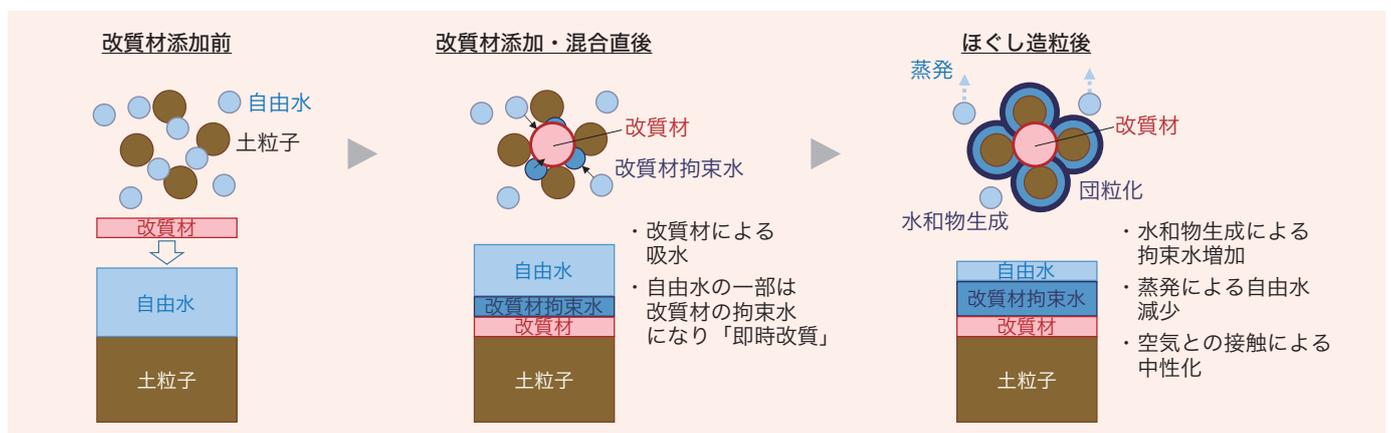


図1 ワトルの改質原理

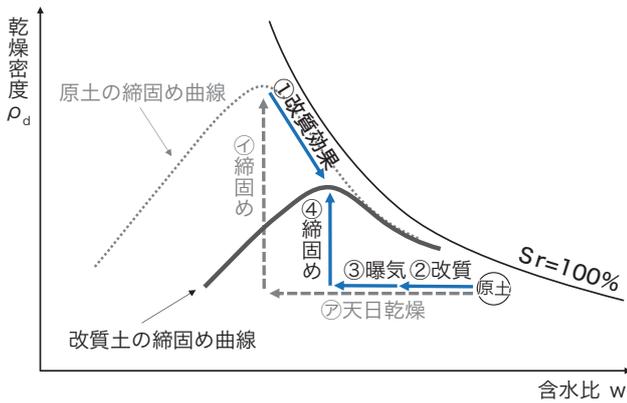


図2 改質土の締固め特性

に調整され、締固めに効く良質土として利用できる。図2は土の締固め曲線を模式的に示している。原土の締固め曲線に対して、自然含水比が最適含水比よりもかなり大きく、そのままの状態では締固めができない(図中の○原土の状態)。ワトル改質土の締固め曲線は、原土よりも最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ は小さくなり、最適含水比 $w_{opt}$ は大きくなる(図中の①改質効果)。高含水の原土を最適な状態で締固めるためには、まず天日乾燥等で含水比を最適含水比付近にまで下げ(図中の⑦の工程)、その上で締固める(図中の④の工程)というのが従来の方法である。しかし、⑦の乾燥作業は非常に手間暇がかかる。高含水粘性土は塊状(塑性状)を呈するため、乾きにくいからである。一方、高含水土にワトルを添加すると乾燥状態にあるワトルの添加分だけ固形分が増加するため含水比が低下する(図中の②の効果)。さらに余剰水分を吸水・拘束することで土が改質され、この改質土をほぐし造粒することで土粒子表面の水分の乾燥が促進される(図中の③の曝気効果)。しかも、改質土の最適含水比は原土よりも高くなっているため、原土のように大きな労力と長い養生期間を要しない。また、改質土は自然土と同じように最適含水比において最大乾燥密度を示す締固め特性を示すため、従来の含水比と乾燥密度による締固め管理(施工管理)がそのまま適用できる。

### (3) 吸水率を考慮した配合設計手法

ワトルを土に添加すると自由水の一部がワトルに取り込まれ、拘束水としての挙動を示す。一方JIS A 1203による含水比測定では、乾燥炉で $110 \pm 5^\circ\text{C}$ の温度に調整して水分を蒸発させて含水比を測定するので、拘束水は自由水とともに蒸発(消失)してしまう。したがって、拘束水分を補正しないと含水比に対応する土の挙動が実態と合わないことになる。そこで拘束水分を水分としてではなく固体分として含水比の補正(補正含水比 $w^*$ )を行う。別途実施したワトルの吸水量を測定する試験で得られた吸水率より改質土の補正含水比を求め、原土との締固め特性を比較した結果、補正した最適含水比 $w^*_{opt}$ が概ね一致することが判明した。この結果を利用すると改質材の吸水率が既知であれば未改質試料の締固め試験を行うだけで必要

な添加量を設定することができる。すなわち、ワトルの添加量は、対象泥土(原土)の締固め特性とワトルの吸水特性を事前に把握することで配合試験をしなくても設定が可能であり、改質土の締固め特性も事前に推定することができ、配合設計の簡略化につながる。さらに、改質土で締固めた土は、同じ条件下で締固めた原土よりも強度が増加することを併せて確認した。

### (4) 環境負荷の低減効果

改質材はアルカリ性であり、改質直後の改質土もアルカリ性を呈するが、ほぐし造粒によって空気に触れやすくなることで空気中の二酸化炭素と反応して中性化が促進される。また、土壌中の有害重金属等の溶出を低減する効果も認められている。

## 4. 開発技術の適用事例とその効果

港湾浚渫土での適用事例を写真3に示す。写真3は浚渫土を土運船内にてワトルで改質している状況を示したものである。所定の養生時間(通常は1~3日程度)を経て泥土は塑性状から半固体状に変質する。本事例では、改質土は陸域に埋立処分された。現時点では、改質された浚渫土の陸上での利用は限定的であるが、陸上の盛土材や築堤材としての利用が期待されている。また、陸上の建設工事で発生する泥土を改質して、港湾区域に埋立処分する事例も増えている。ワトル改質土は比較的短時間でpHが中性域に達するうえ、魚類への影響がないことが魚毒性試験で確認されており、海域での環境親和性が評価されていることが採用の背景にある。



写真3 港湾浚渫土の改質事例

## 5. おわりに

本技術の肝は、セメント系固化材のようにカチカチに固まらない土の改質方法にある。「ワトル」を開発した当初は、利用いただいた現場から「固まらないじゃないか!」という批判をたびたびいただいた。こうした現場の声が逆転の発想につながり、カチカチに固めるのではなく、自然界にある良質土と同じように締固めることで強靱な地盤構造物を構築する改質技術の開発につながった。本技術が、沿岸開発のひとつのツールとして普及されることを祈念する次第である。



# カルシア改質土の土運船混合管理システム

※第23回国土技術開発賞（授賞式2021.9.28）の受賞技術全11件のうち、港湾関連技術をピックアップしました。

東洋建設株式会社 和田 眞郷

## 1.はじめに

コンテナ船やクルーズ船の大型化は近年の国際的な動向であり、これらに対応するため航路や泊地の整備が積極的に実施されている。しかし、航路や泊地の整備においては、土砂処分用地がなく、またこれらの新規造成が困難な場合が多い。そのため、浚渫土砂をカルシア改質土に改良し、浅場造成や防波堤などの強靱化のための盛土材適用など有効利用されている。カルシア改質土は、鉄鋼スラグのうち転炉系製鋼スラグを成分管理、粒度調整したカルシア改質材と航路浚渫や泊地浚渫で発生した土砂（以下；浚渫土砂と呼ぶ）を混合したもので、高含水比でシルト・粘土などの細粒分を多く含む浚渫土砂とカルシウムなどの水和固化成分を含むカルシア改質材を混合することにより、浚渫土砂の含水比低減や粒度改善、水中投入時における濁り低減、材齢時間とともに増加する強度発現性、赤潮や青潮に対する底質浄化機能など、さまざまな効能を有した土砂に改善される。カルシア改質土工法は、カルシア改質土研究会（当社他7社）が所有する特許工法である。

## 2.システムの概要

カルシア改質土の混合方法として、連続式ミキサー混合工法、管中混合工法、バックホウ混合工法、落下混合工法等があげられ、「カルシア改質土の土運船混合管理システム」は、そのうちのバックホウ混合工法に着目したものである。当工法は、土運船泥倉内に投入された浚渫土にカルシア改質材を投入し、バックホウにて均一になるまで攪拌混合する工法で、これまでバックホウによる混合攪拌や攪拌時間は、作業指示者やオペレーターの判断で行われており、未改良部分の発生や混合不足等が生じる可能性があり、改質土のばらつきや攪拌時間が長くなる等の課題があった。

本システムは、短時間で土運船の土砂を均一に混ぜることを目的として、図1に示すようにバックホウに「マシンガイダンスシステム（GNSS2ヶ所、チルトセンサをアーム2ヶ所）」を装備してICT化し、泥倉内を複数のブロックに分割し、バケット刃先の位置と混合残時間の履歴をモニター上にブロック毎に色別表示して泥倉内全体を均質に混合できるシステムである。例えば泥倉全体を60分混合する場合、泥倉を20ブロックに

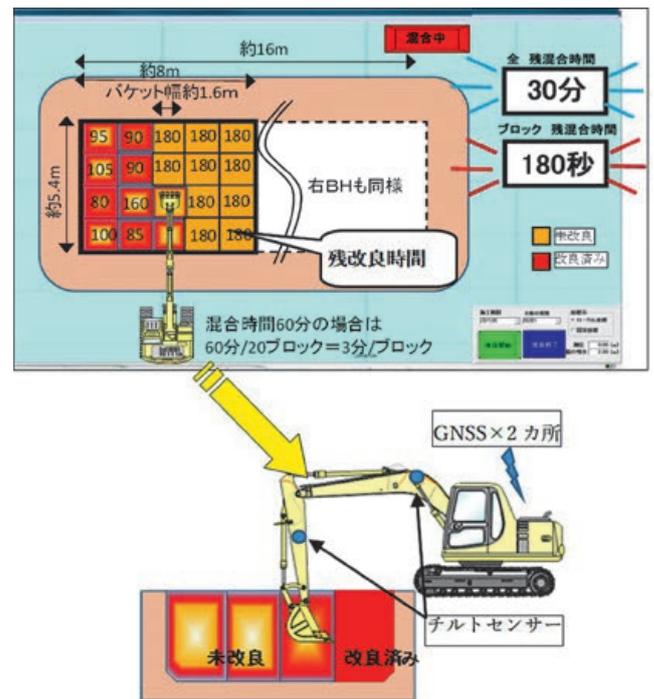


図1 カルシア改質土の土運船混合管理システム概要図

分割した場合、60分/20ブロック=180秒/ブロックで管理する。オペレーターはモニター上でバケット位置を確認しながら、未混合の黄色から混合済みの赤に変わるまで「可視化」によって混合状況を把握でき、オペレーターの技量やヒューマンエラーによる未改良部分や混合不足等が生じず、混合時間や改良部と未改良部を確実に管理でき、施工の効率化が期待できる。また混合時間短縮、混合品質一様化をより確実にするため、一連の施工手順の見直しを行い、カルシア混合前の浚渫土の解泥や、カルシア投入について、段階的投入・事前混合などのプロセスを追加した。

## 3.適用事例

当システムを函館港若松地区-10m泊地浚渫工事に適用した。当工事は、函館港若松地区の泊地を浚渫し、浚渫土を積み込んだ土運船にカルシア改質材を投入後、バックホウにより攪拌・混合を行い、西防波堤背後の盛土を施工するものである。カルシア改質土の設計基準強度は、25kN/m<sup>2</sup>（室内配合強度66kN/m<sup>2</sup>）と設定され、当初の浚渫土に対するカルシア改質

材の容積混合率は20%と予定されていた。室内配合試験の結果から、浚渫土の含水比が1.1 $\omega$ L ( $\omega$ L:液性限界)を超過する場合は目標室内強度を満足しなかったため容積混合率は30%が必要となった。容積混合率30%の場合、コストが高くなること、改質土容量が増加し浚渫土の処分量が減少すること、発現強度には十分な余裕があることなどから、種々の条件で行った室内配合試験結果から浚渫土の含水比に応じて容積混合率を低減させることでコスト縮減、浚渫土の処分量の確保を図ることとした。容積混合率を低減させつつ要求品質を満足させるため、一様で確実なカルシア改質土の混合が必要であった。

バックホウ混合工法における当システム導入前の試験施工において、土運船内にカルシア改質材を投入後、混合時間毎(30、60、90、120分)に土運船内6箇所から試料を採取して湿潤密度を計測し、カルシア改良土の密度のばらつきが収束する混合時間を調査した。図2は、試験施工における混合時間と湿潤密度の関係を示したもので、湿潤密度データのばらつきは、混合時間の経過とともに小さくなり、混合時間90分でばらつきの収束を確認し、施工における混合時間を90分に設定した。

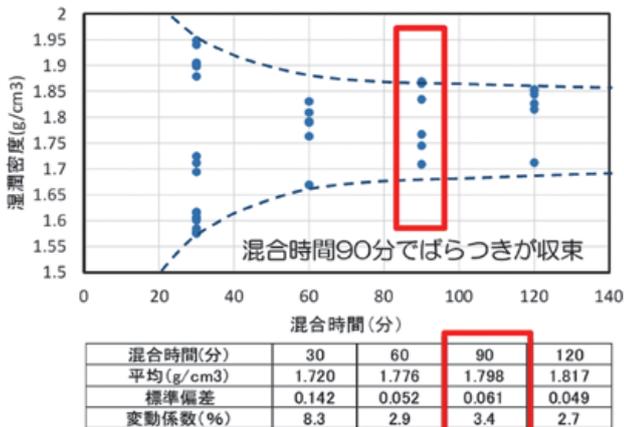


図2 改良時間と湿潤密度の関係(システム適用前)

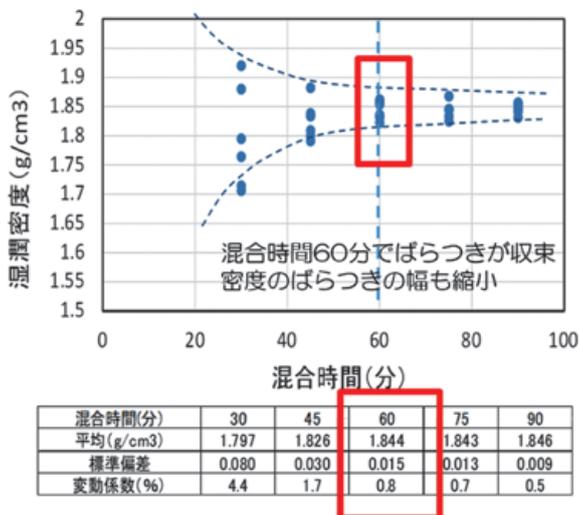


図3 改良時間と湿潤密度の関係(システム適用後)

当システムを導入後、同様にカルシア改質土の湿潤密度の混合時間毎(30、45、60、75、90分)の変化を計測したところ、図3に示す混合時間と湿潤密度の関係が得られ、湿潤密度のばらつきはシステム適用前と比べて小さく、混合時間も30分短い60分でばらつきが収束する結果であり、土運船混合管理システムの有効性を確認し、施工効率の向上が図れた。さらに湿潤密度のばらつきも低減できることから、含水比に応じたカルシア改質材の容積混合率を含水比に応じて変化させても改良品質を高いレベルで維持することができることを確認した。写真1に土運船混合状況およびシステム運用状況を示す。

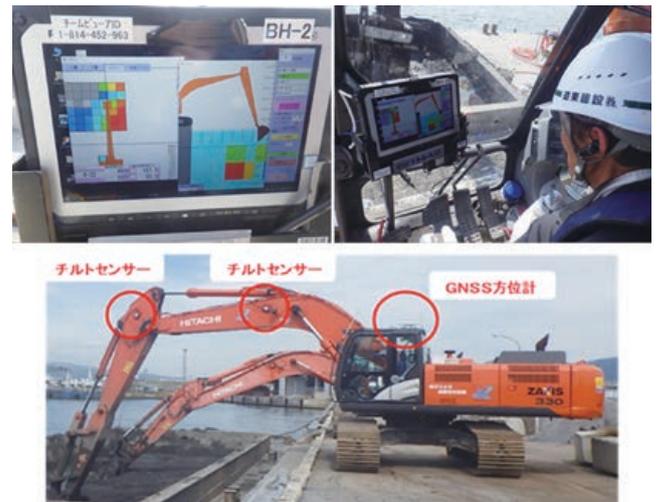


写真1 土運船混合状況およびシステム運用状況

カルシア改質土の品質管理として、混合完了後土運船毎に湿潤密度及びフロー値を測定し基準値内であることを確認した。また、1日1回供試体を採取し標準養生(20°C)を行い実施した一軸圧縮試験( $\sigma$ 7、 $\sigma$ 14、 $\sigma$ 28)による強度確認では、全89件体を実施し78件体が室内配合強度を上回り、11件体(12.4%)が不良であった。当初室内配合強度には25%の不良率が考慮されていたことから、設定値内であったと評価でき、当システムの導入で混合品質も良好であることを確認した。本施工では、目標強度を満足する最も経済的な容積混合率での施工が要求事項であったが、結果として、不良率が25%までの設定内で12.4%の不良で収まり、非常に経済的な容積混合率にて施工を行い、浚渫土の処分量も確保できた。

#### 4. おわりに

「カルシア改質土の土運船混合管理システム」の導入により、オペレータの熟度によらず安定した品質のカルシア改良土を製造することができるようになった。熟練技術者の高齢化に対応したICT技術による熟練技術の継承に役立ち、生産性向上の一助となればと思っている。

最後に本システムの開発および施工に関係された多くの方々に謝意を表します。



# ICT活用による消波ブロック据付作業の効率化 モデルによる数量算出から据付シミュレーション

※第23回国土技術開発賞（授賞式2021.9.28）の受賞技術全11件のうち、港湾関連技術をピックアップしました。

株式会社森川組 堀田 佳孝

## 1. はじめに

現在、人口の減少や少子高齢化による人手不足に伴う建設現場の生産性の低下が懸念されていることを背景に、国土交通省主導の基、「i-Construction」を推進し、建設現場における生産性の向上を目指している。

当社においても、i-Construction推進への積極的な取り組みの一環としてICT業務の内製化を図る中、本稿では、3次元測量や3次元データ等のICT技術を活用した消波ブロックの据付作業の効率化について紹介する。

## 2. 技術概要

### 1) 技術開発の背景及び契機

従来、消波ブロックの据付作業は、起重機船オペレーター等の作業員が、現場で消波ブロックの収まる位置や向きを試行錯誤しながら据え付けており、非効率な面があった。また、既設消波ブロックの破損・沈下状況を把握するために消波ブロックの上を人の手で計測する必要があり危険な作業を伴うものであった。加えて本技術実施現場においては、新設消波ブロックの海上運搬距離が24km（片道150分）と時間を要することから、気象・海象等の不測の事態も想定されるため、限られた作業時間の中で、効率的な施工管理を行いICT技術の活用による生産性の向上が必要であった。

### 2) 技術の内容

本技術は、消波ブロックの破損・沈下状況をドローンによる空中写真測量を行い無人化することで安全性の向上を図り、予め3Dモデルにより消波ブロックの据付シミュレーションを行うことで数量を算出するとともに、消波ブロック据付完成形状の3Dモデルを関係者とのコミュニケーションツールとして利用することを目的としたものである。

本技術は、始めに現況の既設消波ブロックの据付状況を把握するためドローンによる空中写真測量を行う。取得した空中写真により点群データの生成、解析を行い、シミュレーションに不必要な海や周辺の建物等を除去する処理を行う。次に、ドローンによる空中写真測量では写真に写らないため死角になってしまうブロック相互間の空隙部分（データ欠損箇所）を補うため、点群に合わせて既設消波ブロックモデルをはめ込む。こ

れらの作業により、より現況に近い既設消波ブロックの据付状況を把握し3次元化する（図1）。



図1 点群と消波ブロックモデル

ドローンで計測した消波ブロックの点群と消波ブロックの3Dモデルを重ね合わせ、ドローンで計測しきれない部分を補完している状態。消波ブロックモデルの表面に薄くうつつている点々が点群

既設消波ブロックモデル上でブロックが破損・沈下している箇所へブロックの位置や向き、干渉に注意しながら、新設消波ブロックモデルを順次据え付ける（図2）。これに設計面を被せて比較することにより新設消波ブロックの据付シミュレーションを行う（図3）。

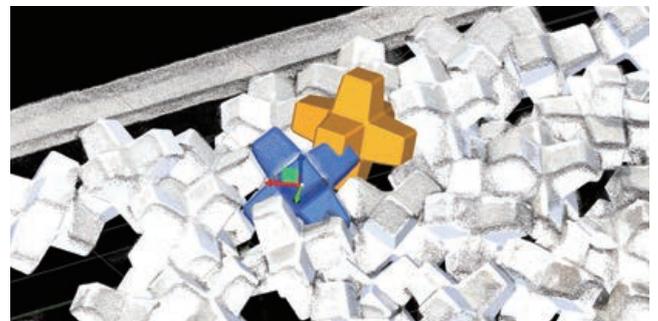


図2 消波ブロックシミュレーション状況

既設消波ブロックモデルにオレンジ色の新設ブロックモデルでシミュレーションしている状況。選択して青くなっている既設消波ブロックモデルとオレンジ色の新設消波ブロックモデルが干渉している状態

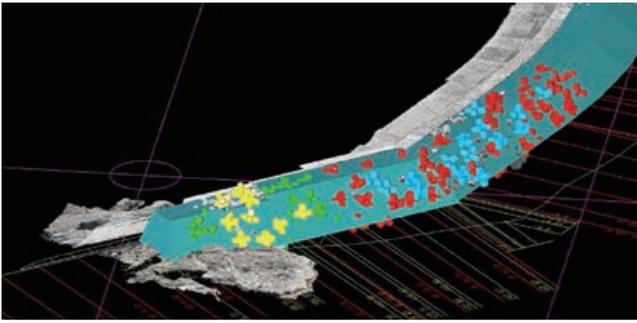


図3 消波ブロックモデルと設計面

既設消波ブロックの破損・沈下部に新設ブロックモデルを据付け、設計面を被せ比較している状況

消波ブロックモデルの重心が設計面よりはみ出していれば新設消波ブロックから除外し、消波ブロックモデルの重心が設計面よりはみ出していなければ据付可能と認定した。

このシミュレーションを繰り返し行い、新設消波ブロックの据付個数を確定した(表1)。

表1 消波ブロック数量の変更内容

消波ブロック形式	当初数量	変更数量	増減
40t	23個	22個	1個減
50t	67個	79個	12個増

シミュレーションが完了した既設・新設消波ブロックモデル(図4)はそのまま現場の消波ブロック据付完成形状となるため、起重機船オペレーターと情報共有する。現場において既設・新設消波ブロックモデル(完成形状)を参考に、想定据付箇所に消波ブロックを位置・向きに留意しながら消波ブロックの据付作業を行う。

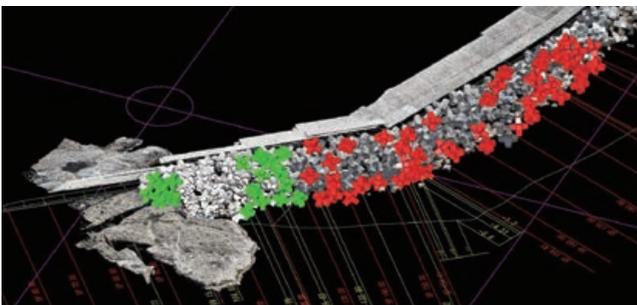


図4 既設・新設消波ブロックモデル(完成形状)  
数量確定後の完成形状消波ブロックモデル

### 3) 技術の効果

①従来の消波ブロックの起工測量(破損・沈下状況の確認)は消波ブロックの上を人の手で計測していたが、本技術ではド

ローンを用いることにより、消波ブロックの上に人が立ち入ることなく、安全な場所より測量し現況を把握することで安全性が向上した。また、ドローン空中写真測量により、地上型レーザースキャナー等では計測のできない部分(消波ブロックの海側)の計測が可能となるとともに、3Dモデル活用により、ブロック相互間の空隙部分(データ欠損箇所)を補完することで正確、かつ効率的に現況の既設消波ブロックの据付状況を把握した。

②従来の消波ブロック据付作業は、現場で熟練技能者が経験により、ブロックの位置や向きを見定め、かみ合わせの良い位置に試行錯誤しながら据え付けていたが、本技術の据付シミュレーションを行った完成形状の3Dモデルを参考に据え付けることで、技術的難易度が軽減した。

③従来の方法では1隻(本技術実施現場では消波ブロック16個)の据付作業が2~3時間要していたが、本技術を実施したことにより、据付作業時間が約1.5時間短縮された。また、出港~据付作業~帰港の行程での作業時間を比較すると約15%生産性が向上した。

本技術実施現場では消波ブロックの据付作業を行う漁港内に起重機船が進入できず、作業終了後には片道150分をかけ、必ず隣の港に帰港する必要があった。そのため、急な気象・海象の変化などで起重機船にブロックを積んだ状態で荒れた海を航行するような不安定で危険な航行を出港~据付作業~帰港の行程で作業時間を短縮することにより回避し、危険なリスクが低減した。

④従来の等間隔、断面変化点の据付面積からの平均断面法の数量算出と比較して、薄い断面箇所に消波ブロックを据え付ける等の事象が起きないため、より実態に近い据付個数の算出が可能となった。

### 3. 今後の課題

今回、災害時に取得したマルチビームによる水中部の点群データを提供いただき同様の検証を行ったが、海藻や点群データの精度等によりブロックの詳細な形状を判断できず断念したが、今後は、水上部から水中部も含めた連続した3Dモデルを作成し、同様のシミュレーションができるシステムの構築が必要であると考ええる。

本技術を開発、実施するにあたり、ICT技術の内製化、ICT技術に伴う設備(ドローン等の計測機器やソフトウェア、高性能PC等)が整っていたため迅速に対応できたが、ドローン測量は、非常に天候に左右されることやシミュレーションには時間を要することから工程に遅延を与えかねないため、設備やそれらを使用・解析する人材の確保、臨機の対応が必要不可欠であると考ええる。また、取得した3次元データをどう活用するかなど、ソフトや測量機器の使い手側のさらなる工夫も求められると考える。

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

**【連絡先】** 〒951-8011 新潟市中央区入船町4丁目3778番地  
広報担当/TEL. 025-222-6115 (代表)

全国の港湾空港技術調査事務所(以下「技調」)を訪ね歩くシリーズ企画「技調探訪」。第1回は、新潟技調の増門所長にお話を伺いました。



**【お話】**  
新潟港湾空港技術調査事務所 所長  
増門 孝一

### Q1 新潟港湾空港技術調査事務所(以下「新潟技調」)とは？

平成13年の省庁再編の時点で、新潟調査設計事務所と新潟機械整備事務所が統合し、新潟技調として発足しました。

業務としては、日本海側の港湾・空港・海岸の整備における設計業務や施工現場で生じるトラブルや不具合等の設計に関する課題に直面した際、その解決を図るべく技術支援を行っています。また、大型浚渫兼油回収船「白山」や各港事務所で所有する港湾業務艇の計画修理を行うなど北陸の港湾・空港・海岸の技術センターとして位置づけられています。

### Q2 新潟技調の特色は？

日本海側の北陸地方は、特に冬季の気候条件が厳しいです。そのため、港湾施設の設計では、これら地域の特徴を考慮した設計を行っています。

当事務所では、水理模型実験場を所有しており多方向不規則波造波装置を備えた平面水槽や断面水路において各種実験を行い、実験結果を基に管内港湾の施設整備(配置)等の提案も行っています。

国内で3隻(北陸・中部・九州で各1隻)しかない油回収機能を備えた大型浚渫兼油回収船「白山」の計画的な修理を発注・監督しています。

### Q3 職場の雰囲気は？

24名体制という比較的小規模な組織だからこそ、所長以下、その他職員の間でのコミュニケーションが良く取れ、業務における技術的な事以外でもお互い言いたいことを言い合える風通しの良い職場になっていると思います。業務においては、所長等の幹部も自ら積極的に打合せに参加し、新潟技調一体となり業務に取り組む体制となっています。その体制の背景として、省庁再編の前から、所長以下で集まり、コミュニケーションを良くとっていました。その良い風習が受け継がれているように思います。



新潟港湾空港技術調査事務所



水理模型実験場の外観



平面実験



断面実験 海底勾配立会状況

#### Q4 新潟技調の近年の実績・成果は？

昨年の8月12日に青森県の八戸港沖でパナマ船籍の貨物船が座礁した事故において、大量の油が流出しました。その対応として、すぐに白山が現地に向い、到着した翌日8月13日から8月23日まで油回収作業を実施しました。その油で汚れた船体の大掛かりな清掃を新潟技調で実施しました。

令和2年度の修理において海上に浮遊する高粘度な油も回収可能な油回収装置を白山に搭載しました。

1月21日（金）、第5回インフラメンテナンス大賞の表彰式に参加しました。受賞した案件は、沿岸技術研究センター・日本埋立浚渫協会・港湾空港技術研究所（以下：港空研）・新潟技調の4者連名で受賞したもので、内容としては、リプレイサブル棧橋の現場での適用性について評価を受けたものです。



八戸港沖での油回収作業中の大型浚渫兼油回収船「白山」  
(総トン数4,185トン、全長93.9m×幅17m×喫水5.4m)



リプレイサブル棧橋

#### Q5 新潟技調の現在の取り組み、今後の抱負は？

来年度、次世代高規格ユニットロードターミナルの形成の一環として、敦賀港にて自動係留装置の実証試験を行います。これは日本国内で初めての試みです。自動係留装置とは、従来の係留索による係船方法に変わり、真空吸着板をアームの遠隔操作により船の側面に設置させ、船を係留するものです。自動係留装置の導入に向け、令和2～3年度に、船体動揺シミュレーションの解析結果や実証試験計画の妥当性等について、委員会では有識者の意見を頂戴してきました。

このほか、全国的に設計波の見直しが行われており、その見直した設計波において、これから現状の港湾施設（防波堤・岸壁・堤防等）が耐えうる施設なのかを照査し、必要に応じて補強等の対策を計画・立案していきます。

新潟技調としてさらなる技術開発を行うとともに、日々の業務と並行して、論文を積極的に投稿するなど各個人のスキルを上げていきたいと思えます。また、現在は設計外注となっているため、コンサルから受領した成果に対して、多方面の角度から精査出来るよう、港空研等の有識者の知恵を借りながら、勉強を継続していきたいと考えています（増門所長が港空研に3年間在籍していたことから、現在でも直接港空研の研究者へ相談することはよくあります）。

#### Q6 当センターへのご意見等ございましたら

今後とも新潟技調の業務に対して、貴センターに在籍する有識者の方々のお知恵を貸していただき、北陸港湾の発展にご助力いただきたいと思います。

第5回インフラメンテナンス大賞で特別賞を受賞できたことについて、貴センターにもご協力していただき非常に感謝しています。

ありがとう  
ございました。

※本記事はWeb会議でインタビューした内容を  
一問一答形式で再編集したものです。

国土交通省関東地方整備局

## 横浜港湾空港技術調査事務所

**【連絡先】** 〒221-0053 横浜市神奈川区橋本町2-1-4  
TEL : 045-461-3892 FAX : 045-461-3887  
E-mail : info-y83ab@mlit.go.jp

全国の港湾空港技術調査事務所（以下「技調」）を訪ね歩くシリーズ企画「技調探訪」。第2回は、横浜技調の高橋所長にお話を伺いました。



**【お話】**  
横浜港湾空港技術調査事務所 所長  
高橋 康弘

### Q1 横浜港湾空港技術調査事務所(以下「横浜技調」とは？

当事務所は、関東地方整備局港湾空港部で管轄する関東エリアにおける港湾・空港及び海岸整備に関する調査・設計・技術開発・環境整備などを積極的に進め、多様化するニーズに対応し、事業を円滑かつ効率的に推進するための港湾空港部門における総合技術センターとしての役割を果たしています。

主な業務としては、港湾・空港・海岸整備に関する各種の調査、設計及び設計業務を支援する水理模型実験、事業を効率的に進めるための多様な技術開発、並びに環境保全と環境整備を図るための調査や技術の開発、東京湾域の水質調査などを行っています。

### Q2 横浜技調の特色は？

横浜技調は、①海上コンテナ貨物取扱量全国第2位、②クルーズ客船寄港回数全国第2位（2020

年速報値）、③横浜港貿易額全国第3位の横浜港の港湾区域に所在しています。

横浜技調は、旧運輸省の横浜機械整備事務所（大正10年設置）と横浜調査設計事務所（昭和34年）を前身とした歴史ある事務所です。また所在地も発足当時から変わっておらず、埋立護岸の一部は当時の大正時代の石積み護岸が残っています。

横浜技調は水理実験施設を保有しています。具体的には、平面水槽、長水路、二次元水路の水理実験施設を所有しており、設計で表現できなかった不確実な波について実験で可視及び外力値を確認しています。

一方、水理実験施設を活用し、災害時の情報収集に役立つUAVの操作訓練も実施しています。

また横浜技調には、地震に強い港湾施設と海の生物が共存できる構造を再現し、その結果を実験的に実証しながら、護岸の補修や補強に活かして行くことを目的とした人工干潟の「潮彩の渚」があります。さらに「潮彩の渚」は定期的に小学生に解放し、環境学習の場としても利用しています。



潮彩の渚  
(環境学習)

水理実験場  
(水理模型実験)



### Q3 職場の雰囲気は？

技調の職員数は24名と少ないです。しかし職員が少ない利点もあり、所長から係員まで風通しがよい事務所と考えています。例えば、業務における判断事項については、ただちに所長から係員まで集まり即断即決でき、スピード感をもってことにあたっています。

また、「潮彩の渚」で環境学習を行う際は、職員総出で準備、活動及び片付けを行っています。これにより、結果として職員同士のコミュニケーションがはかられていると思っています。

### Q4 横浜技調の近年の実績・成果は？

貴センターには、高波・高潮といった災害の対策に関して、ソフト面とハード面について検討して頂いています。

ソフト面では、平成31年度に発注し、貴センターが受注した「港湾・空港施設の設計等に関する技術支援業務」において、台風1915号及び台風1919号をはじめとする近年の災害を踏まえ、東京湾内で発生しうる最大クラスの高波を想定した設計手法等を検討するため、関東地方整備局において「東京湾における高波対策検討委員会」を設置し、今後の護岸の構造検討にあたっての留意事項のとりまとめを行いました。

令和元年房総半島台風(1915号)及び令和元年東日本台風(1919号)は、波浪推算を行った結果、波浪の方向スペクトルに大きな差異が見られました。このスペクトル特性の相違が護岸等の被災状況の差の原因の一つになったと示唆されました。

特に、台風1915号では、横浜港に異なる方向から波浪が来襲し、合成波となり非常に大きい波となったため、浸水被害が発生したと推測、そして、このような特異な波浪の取り扱いについて整理が必要であると提起して、今後の高波への設計、港湾BCP及び地域防災計画等への見直しのきっかけとなりました。

また、ハード面では、例えば、南本牧の埋立護岸のケーソン目地部に以前から設置された「ケーソン目地透過波低減法(ネットバッファ工法)」に関して、令和3年度に発注し、貴センターが受注し

た「港湾・空港施設の設計等に関する技術支援業務」において、目地部の透過波減衰効果のモニタリングを実施し、効果を確認して頂いています。昨今の気候変動とみられる台風の高波浪で、また埋立護岸背後の防砂目地版や防砂シートの老朽化に伴って、ケーソン目地から埋立材が流出し、エプロン部が陥没する事案が発生しています。ネットバッファ工法は、エプロンの陥没の原因であるケーソン目地部からの埋立材流出を防ぐために、ケーソン目地部にネットを詰め込み、港外からの高波浪を減衰させる工法です。

貴センターでは、高波・高潮といった災害に対するソフト及びハードの面でいろいろと検討して頂いています。

### Q5 横浜技調の現在の取り組み、今後の抱負は？

横浜技調では、環境と防災について、特に取り組んでいます。

環境では、海藻類は、CO<sub>2</sub>吸収速度も速く、藻場などの生態系を生物共生型港湾構造物に付加することにより、カーボンニュートラルポート形成にも寄与しますので、「あかもく」や「あまも」といった海藻を横浜港の港内に移植し藻場の形成技術を今年度から試みています。

防災では、貴センターに受注していただいている案件ですが、防災情報プラットフォームをクラウドサーバ上に構築しています。首都直下型地震は今後30年の間に70%以上の可能性で発生すると予測されています。不測の事態において、関係者の速やかな情報共有は、支援物資・復興にも寄与しますので、システムの改良を進めていきたいと考えています。

### Q6 当センターへのご意見等ございましたら

インフラを整備する私達にとって、地球温暖化の影響による施設の影響、将来発生するであろう大規模な地震、施設の老朽化といった課題があります。一方、将来技術者不足も踏まえ、建設システムの生産性の向上が必要で、そのためにもDXの取り組みも必要です。貴センターとは引き続き連携しながら、技術の向上を図っていき

ありがとうございます。  
ございました。

# CDIT出版物&プログラム

New Release ● 新刊 ● 新発売情報

NEW

## 57. ジャケット工法技術マニュアル (改訂版)

2000年1月の発刊以降、国内のジャケット式構造物の設計の手引きとして広く利用されてきたジャケット工法技術マニュアルの改訂版を刊行しました。

本マニュアルは、ジャケット構造の一般的な設計に関する記述だけでなく、耐震強化施設としての設計照査手法、製作・施工にかかわる注意点・留意点についても詳述、また、具体的な内容の補足・事例を資料編に納め、設計実務者にとって理解しやすいマニュアルとなっています。

L057 R3.10発行 A4/292p 8,800円 (税込)



NEW

## 56. 根入れ式鋼板セル工法および鋼矢板セル工法の技術マニュアル

近年の船舶の大型化や大規模地震対策に伴う港湾施設の大水深化や耐震強化に対して今後もその需要が見込まれる根入れ式鋼板セル工法。一方で、当該構造の開発当初には想定されなかった大規模施設に適用されることが多くなっています。

本マニュアルは、当該構造を大規模施設に適用する場合の留意事項など、詳細設計を実施する際の参考資料として、設計法において共通する内容も多い鋼矢板セル工法についても併せて整備しました。

L056 R3.6発行 A4/332p 18,000円 (税込)



NEW

## 「地盤解析汎用プログラム (GeoFem) 2021年版」の販売開始

地盤解析汎用プログラム (GeoFem) は、運輸省港湾技術研究所 (現: 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) で開発された地盤解析汎用プログラムです。このたび、粘性土地盤における変位予測の精度向上のため、粘性土モデルの改良した「地盤解析汎用プログラム (GeoFem) 2021年版」を販売開始しました。

当該モデルは、地盤の静力学的挙動を統一的に表現した力学構成モデル (弾塑性モデル, 弾・粘塑性モデル) が組み込まれており、圧密現象を考慮した二次元及び三次元の地盤の変形とその安定を同時に精度よく解析することが可能なプログラムです。

その有効性は、超軟弱な羽田空港沖合展開埋地の地盤改良や掘削工事の解析・施工管理、500haを

超える関西国際空港の埋立造成地の沈下予測・解析など、我が国を代表するビッグプロジェクトの設計・施工で実証されています。

また、東日本大震災でのケーソン式防波堤の被災メカニズムを踏まえ、浸透流解析から支持力解析までを一貫して行えるように機能を追加しています。

・マニュアル及びプログラム

220,000円 (税込, 送料込)

・旧バージョンを購入済みの方はプログラムのみ

110,000円 (税込, 送料込)

くわしくはCDITホームページ: [HOME下段> プログラム普及など> GeoFem](https://www.cdit.or.jp/program/geo.html) をご覧ください。  
<https://www.cdit.or.jp/program/geo.html>

## 海洋・港湾土木技術者必携の書 販売中！

くわしくは [CDITホームページ](#)>書籍販売 をご覧ください。

### 沿岸技術ライブラリー (L)

書籍ID	書籍名	発行年月	版・頁	価格(税込)
L055	55. 浸透固化処理工法技術マニュアル改訂版	R2.7	A4/183p	6,600円
L054	54. 事前混合処理工法技術マニュアル(改訂版)	R1.12	A4/250p	6,600円
L053	53. 根入れを有するケーソン工法の技術マニュアル	R1.3	A4/273p	6,600円
L052	52. 港湾構造物設計事例集(平成30年改訂版)	H30.12	A4/970p	33,000円
L051	51. ゴム防舷材の設計法と試験法に関するガイドライン	H30.9	A4/121p	3,300円
L050	50. 港湾コンクリート構造物補修マニュアル	H30.7	A4/144p	11,000円
L049	49. 港湾の施設の維持管理技術マニュアル(改訂版)	H30.7	A4/338p	11,000円
L048	48. 港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル(改訂版)	H30.12	A4/315p	6,600円
L047	47. 港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル	H29.2	A4/247p	6,111円
L044	44. 港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル	H27.2	A4/85p	6,111円
L042	42. 波を観る 一波浪、津波、高潮、GPS海洋ブイ、沿岸波浪計—	H25.3	A5/318p	3,300円
L041	41. 液状化対策としての静的圧入締固め工法技術マニュアル —コンパクトグラウチング工法—(2013年版)	H25.4	A4/230p	8,800円
L039	39. CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発	H22.12	A4/235p	10,476円
L037	37. PC 栈橋技術マニュアル(2010年版)【僅少】	H22.9	A4/276p	8,382円
L035	35. 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル(2009年版)	H21.11	A4/500p	12,571円
L032	32. 管中混合固化処理工法技術マニュアル(改訂版)	H20.7	A4/188p	6,286円
L031	31. 港湾・空港における軽量混合処理土工法技術マニュアル(改訂版)	H20.7	A4/371p	7,333円
L030	30. CADMAS-SURF 実務計算事例集	H20.5	A4/364p	10,476円
L028	28. 鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル(改訂版)	H20.2	A4/216p	6,286円
L027	27. 港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル	H19.12	A4/120p	5,238円
L021	21. 港内長周期波影響評価マニュアル	H16.8	A4/109p	5,238円
L020	20. 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアル	H16.2	A4/146P	6,286円
L017	17. サクション基礎構造物技術マニュアル	H15.3	A4/269p	6,286円
L015	15. FGC 深層混合処理工法技術マニュアル	H14.12	A4/158p	5,238円
L013	13. 潮位を測る(潮位観測の手引き)	H14.3	A4/188p	3,143円
L009	09. 港湾用PC矢板技術マニュアル	H12.9	A4/85p	4,191円

### その他マニュアル・指針・手引きなど (M)

書籍ID	書籍名	発行年月	版・頁	価格(税込)
M023	津波漂流物対策施設設計ガイドライン	H26.3	A4/156p	8,800円
M019	港湾コンクリート構造物 維持管理 実務ハンドブック	H21.9	A5/147p	2,095円
M015	津波・高潮防災ステーション技術資料	H17.12	A4/245p	5,238円
M014	津波や高潮の被害に遭わないために 一津波・高潮ハザードマップの作成と活用—	H17.6	A4/114p	2,200円
M012	津波・高潮ハザードマップマニュアル	H16.4	A4/225p	2,200円
M009	人工島物語	H13.9	A4/70p	1,048円
M008	THE DEEP MIXING METHOD	H13.4	B5/136p	5,238円
M007	波を測る	H13.3	A5/212p	3,143円
M004	鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の設計と高流動コンクリートの施工	H8.11	A4/558p	15,714円
M003	HANEDA DESIGN WORKS	H7.7	A4/92p	9,219円
M002	車止め設計マニュアル	H6.4	A4/68p	5,238円

## 濱口梧陵国際賞授賞式



一般財団法人沿岸技術研究センター  
研究主幹 玉石 宗生

わが国の津波防災の日である11月5日が、2015年の国連総会において「世界津波の日」に制定されたことを受け、2016年に創設された「濱口梧陵国際賞」は、津波防災をはじめとする沿岸防災技術分野で顕著な功績を挙げた国内外の個人又は団体を表彰するものです。今般、2021年の受賞者が次の2名・1団体に決定し、11月29日（月）に、齊藤鉄夫国土交通大臣（上記写真）、二階俊博自民党国土強靱化本部長のご臨席の下、海運クラブにて授賞式が開催されました。



松富英夫 名誉教授



Gerassimos A. Papadopoulos 会長



太平洋津波博物館

（出典：太平洋津波博物館ウェブサイト <http://tsunami.org>）

- 松富英夫 秋田大学名誉教授／中央大学研究開発機構客員教授
  - ・長年に渡り、津波の挙動に関する研究を行ってきた。1995年からは国際測地学地球物理学連合IUGGの津波委員会の委員として活躍し、津波の発生メカニズムや被害軽減について国際的に貢献した。氾濫流速や漂流物衝突力の推定式を提案し、この式は「松富の式」として広く知られている。
- Gerassimos A. Papadopoulos 国際自然災害防止・軽減学会会長
  - ・ヨーロッパ地中海地域の津波分野において主要な科学者の1人。津波リスクの啓蒙に貢献した。ユネスコ政府間海洋学委員会／北東大西洋・地中海津波早期警報システムの共同創設者であり、2017年から2020年までは議長を務め、そこでヨーロッパ地中海地域津波警報システムを適切に管理した。
- 太平洋津波博物館（アメリカ）

- ・1994年にハワイに設立された、世界で最も歴史ある津波博物館の一つである。1946年のアリューシャン地震、1960年のチリ地震で発生した津波によるハワイの惨状を次世代に伝承することを目的に設立された。学校用の津波の履修科目を作り、津波の科学研究を奨励し、メディアが命にかかわる情報を正確に報道するための教本も配布した。

（※）濱口梧陵氏は、江戸時代末期（1854）の安政南海地震で自らの資産を投げ打ち村人の命を津波から守った人物



授賞式

NEWS 01

「地盤解析汎用プログラム (GeoFem) 2021年版」  
の販売開始 (2021.12.22)

旧運輸省港湾技術研究所 (現 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) で開発された「地盤解析汎用プログラム GeoFem」は、港湾地域における軟弱粘性土地盤の圧密変形予測の実績が豊富であり、東京国際空港沖合展開事業など大規模プロジェクトにも利用されてきました。今般、水平変位の計算値が実測値より過大になるという課題を解決した2021年版の販売を開始しました。(詳細をP.42「CDIT出版物 & プログラム」に掲載)



伊藤忠TC建機株式会社殿

NEWS 02

民間技術評価事業・評価証授与式を開催  
(2021.12.2)

令和3年度上半期分として申請のあった5件の技術に対して、「港湾関連民間技術の確認審査・評価委員会」(委員長:善功 九州大学名誉教授) で審査・評価を行い、その結果を踏まえて、以下のとおり当センターにて評価証を交付しました。(写真は撮影時のみマスクを外しています。) 各技術の詳細な内容はCDITホームページ「民間技術の紹介」をご覧ください。



ラサテック株式会社殿

●新規 (1件) (詳細をP.31「民間技術の紹介」に掲載)

りんかい日産建設株式会社殿、伊藤忠TC建機株式会社殿、  
ラサテック株式会社殿  
「浚渫土を原料とするリサイクル実用化技術(脱水固化石材)」



りんかい日産建設株式会社殿

●部分変更 (1件)

株式会社エスイー殿  
「岸壁・護岸耐震補強アンカー工法(摩擦圧縮型・ナット定着グラウンドアンカーを用いた岸壁・護岸の耐震補強工法)」



株式会社エスイー殿

●更新 (3件)

五洋建設株式会社

「UCIS (ケーソン無人化据付システム)」



五洋建設株式会社

東亜建設工業株式会社

「ワイドグラブバケット (WGB) 浚渫工法」



東亜建設工業株式会社

株式会社大林組

「ポリビニルブチラル樹脂を用いた被覆鉄筋『PVB-S被覆鉄筋』」



株式会社大林組

NEWS 03

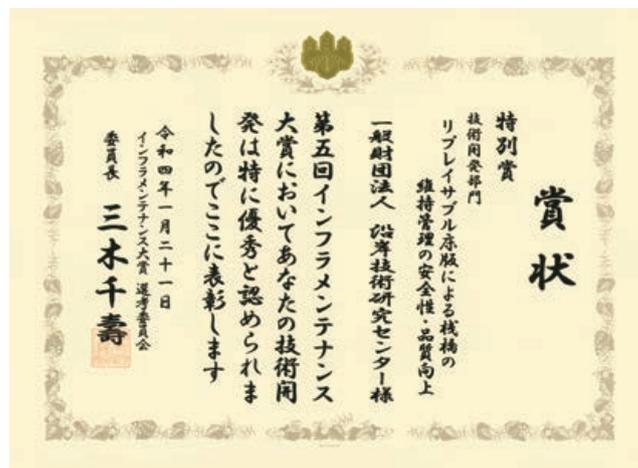
コースタル・テクノロジー2021の  
動画配信を開始 (2021.11.26~)

当センターで実施した調査・研究等の成果を論文としてとりまとめ「コースタル・テクノロジー2021」にて発表・報告 (YouTubeでの動画配信) しています。詳しくはCDITホームページをご覧ください。

NEWS 04

第5回インフラメンテナンス大賞・  
国土交通省特別賞を共同受賞 (2022.1.21)

当センターは「リプレイサブル床版による栈橋の維持管理の安全性・品質向上」によって第5回インフラメンテナンス大賞・国土交通省特別賞を共同受賞しました。(代表団体：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、共同受賞者：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、(一社) 日本埋立浚渫協会、(一財) 沿岸技術研究センター)



(※)インフラメンテナンス大賞は、日本国内における社会資本のメンテナンスに係る優れた取組や技術開発を表彰し、好事例として広く紹介するもので、第5回目となる今回は、有識者による選考委員会(委員長：三木千壽 東京都市大学学長)の審査を経て、総務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省、防衛省及び国土交通省の各省大臣賞等の計33件が受賞しました。国土交通省では、大臣賞3件、特別賞3件、優秀賞9件の15件。うち港湾関係は本件1件です。



## NEWS 05

### 2021年度構造物資格認定試験の合格者発表 (2022.2)

2021年度の海洋・港湾構造物維持管理士資格認定試験の合格者27名(受験者102名)、海洋・港湾構造物設計士資格認定試験の合格者12名(受験者48名)を発表しました。詳しくはCDITホームページ「技術者資格認定 維持管理士・設計士」をご覧ください。



## NEWS 07

### 2022年度 海洋・港湾構造物 資格認定試験、関連研修会・講習会の予定 (2022.7~2022.12)

2022年度の資格試験等について、下記のとおり予定しています。実施の詳細や募集の案内につきましては、CDITホームページに随時掲載しますのでご確認ください。

#### 【維持管理士】資格更新(CPD単位不足者向け)研修会 (基本オンライン方式)

開催日程：2022年10月6日(木) 予定  
開催場所：東京23区内の予定  
申込受付期間：2022年7月中旬~8月中旬

#### 【維持管理士】基礎講座講習会(オンデマンド配信)

講習期間：2022年9月上旬~11月上旬  
受講対象者：特に受講資格は必要ありません。  
講習方法：8項目の講習内容毎に、パワーポイントを用いた説明をオンデマンド配信します。興味のある内容から、順次、視聴できます。  
申込受付期間：2022年7月中旬~8月中旬

#### 【維持管理士】資格認定試験

開催日程：2022年11月6日(日) (予定)  
開催場所：東京23区内、大阪市内、福岡市内、札幌市内の4会場(予定)  
試験日程：13:00より択一試験及び記述試験(予定)  
申込受付期間：2022年8月下旬~9月下旬



## NEWS 06

### 世界津波の日・「2021年濱口梧陵国際賞」授賞式 (2021.11.29)

わが国の津波防災の日である11月5日が国連総会で「世界津波の日」に制定されたのを機に創設された沿岸防災技術分野で顕著な功績を挙げた国内外の個人又は団体を表彰する「2021年濱口梧陵国際賞」の授賞式が開催されました。(詳細をP.44「沿岸リポート」に掲載)

#### 【設計士】資格認定試験 [設計士補試験及び設計士筆記試験]

開催日程：2022年7月3日(日) (予定)  
開催場所：東京23区内、大阪市内、福岡市内の3会場(予定)  
申込受付期間：2022年4月中旬~5月中旬

#### 【設計士】面接試験

開催時期：2022年12月上旬~中旬の日曜日(1日のみ)  
開催場所：東京23区内の予定  
受験資格：設計士補試験及び設計士筆記試験合格者(両試験の合格年度は同一年度の必要はありません)  
申込受付期間：2022年9月中旬~10月中旬  
その他：面接項目の一つとして、事前に「技術課題」が設定されます。詳細については、CDITホームページにてご案内します。

沿岸技術研究センターは、今後の誌面づくりに反映させるため、皆様のご意見で感想をお待ちしております。詳細は沿岸技術研究センターHPをご覧ください。

URL:<http://www.cdit.or.jp/>

#### 【編集後記】

今回の特集は「沿岸技術」。そのまま当センターの仕事ですので、編集作業も無難にサクサク進むかと思いきや、出てくる話が濃いわ深いわ分量多いわで、目標頁数にまとめるのが大変困難な状況に。とはいえ、関係者の皆様、年度未進行のお忙しい中、取材へのご協力本当にありがとうございました。また、今号から始めた新企画「技調探訪」。当方の不手際等にかかわらず親切にご対応いただきました新潟技調及び横浜技調の皆様にも深く感謝申し上げます。(Y)

#### 本 部

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 新橋エス・ワイビル5F  
TEL. 03-6257-3701 FAX. 03-6257-3706

#### 関西支部

〒651-0084 兵庫県神戸市中央区磯辺通3-2-11 三宮ファーストビル605  
TEL. 078-230-6566 FAX. 078-230-6577

#### 東北事務所

〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町2-9-8 日宝本町ビル702  
TEL. 022-796-1331 FAX. 022-796-1341

#### 九州事務所

〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-4-17 第6岡部ビル7F  
TEL. 092-292-5057 FAX. 092-292-5067

[ sí:dít ]

# CDIT

Coastal Development Institute of Technology

発行 一般財団法人 沿岸技術研究センター  
〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 新橋エス・ワイビル 5F  
TEL. 03-6257-3701 FAX. 03-6257-3706  
URL <http://www.cdit.or.jp/>  
2022年3月発行 第57巻