

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

〈CDIT座談会〉

これからの港湾分野における技術開発

安全性、効率性を高めるための港湾技術開発の今後の方向性

横田 弘 氏〔北海道大学 大学院 工学研究院 教授〕

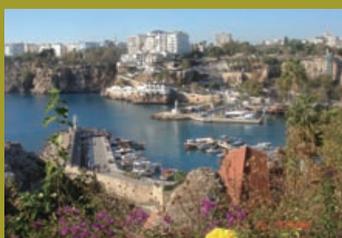
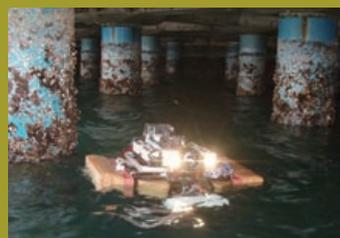
西尾 保之 氏〔国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室長〕

栗山 善昭 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長〕

野口 哲史 氏〔一般社団法人 日本埋立浚渫協会 技術委員会 委員長〕

〈特集〉

これからの港湾分野における技術開発



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の一部抜粋・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。

○座談会 P.5	○特集 P.14	○座談会 P.5	○沿岸 レポート P.36
○座談会 P.5	○座談会 P.5	○特集 P.22	○座談会 P.5
○沿岸 レポート P.34	○特別講演 P.24	○CDIT News P.37	

3

新春所感

金 和明 一般財団法人 沿岸技術研究センター 評議員会長
石井 啓一 国土交通大臣

5

CDIT座談会

これからの港湾分野における技術開発

安全性、効率性を高めるための港湾技術開発の今後の方向性

ゲスト

横田 弘氏

北海道大学 大学院 工学研究院 教授

西尾 保之氏

国土交通省港湾局 技術企画課 技術監理室長

栗山 善昭氏

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長

野口 哲史氏

一般社団法人日本埋立浚渫協会技術委員会委員長

12

特集

これからの港湾分野における技術開発

12

港湾の技術開発にかかる行動計画（平成28年策定）の概要について

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動向と展望

下迫 健一郎 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

16

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

岩波 光保 東京工業大学 環境・社会理工学院 教授

19

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

菊池 喜昭 東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授

22

海洋開発を支援するインフラ技術開発の動向と展望

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 新技術研究開発領域 計測システム研究グループ長

24

特別講演 コースタル・テクノロジー 2016
台風の強度・構造の解析の現状と課題

北畠 尚子 気象大学校 教授

26

民間技術の紹介

26

ガンパイル工法（硬質地盤・岩盤へ鋼杭を直接打設する技術）

ガンパイル工法研究会（株式会社大林組、東亜建設工業株式会社、JFEスチール株式会社、株式会社ガンケン）

28

SQS被覆システム（超速硬化ポリウレタン樹脂吹付被覆システム）

みらい建設工業株式会社、株式会社ダイフレックス

30

ポリビニルブチラル樹脂および珪砂を用いた被覆鉄筋
〈サンドグリップバー（PVB-S被覆鉄筋）〉

株式会社大林組

32

沿岸レポート

32

第4回 日韓沿岸技術研究ワークショップ

土田 真二 一般財団法人沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員

33

濱口梧陵国際賞の創設と授賞式・記念講演会の報告

岸 弘之 一般財団法人沿岸技術研究センター 研究主幹

34

国際海岸工学会議（トルコ）

高橋 重雄 一般財団法人沿岸技術研究センター 代表理事・理事長

36

フィジー国における港湾施設維持管理事情

山本 修司 一般財団法人沿岸技術研究センター 参与

37

CDIT News

新春所感



新年のごあいさつ

釜和明 一般財団法人 沿岸技術研究センター 評議員会長

平成29年の新春を迎え、謹んでお慶びを申し上げます。

一般財団法人沿岸技術研究センターは、昭和58年の設立から、沿岸域や海洋の開発、利用、保全及び防災に関する数多くの調査、研究を行うとともに、技術の普及・啓発等に積極的に取り組んで参りました。今年で34年を迎えることとなりますが、これもひとえに関係各界の皆様方の暖かいご支援、ご協力の賜であり、改めて感謝を申し上げます。

さて昨年は、リオデジャネイロオリンピックで日本人選手が大活躍し、史上最多となる41個のメダルを獲得したことや、大隅良典東京工業大学栄誉教授がノーベル生理学・医学賞を受賞、これで日本人のノーベル賞受賞が3年連続となるなど、明るい出来事が数多くありました。一方、4月には熊本地震、10月には鳥取県中部を震源とする地震、さらに11月には福島県沖を震源とする地震・津波が発生、また、8月には観測史上初めて東北地方太平洋側から上陸した台風10号を含め4つの台風が立て続けに日本に上陸するなど、大規模な自然災害に見舞われた年となりました。被災された皆様には心よりお見舞い申し上げますとともに、1日も早い復旧・復興を祈念申し上げます。東日本大震災の発生から6年目を迎えますが、近い将来にも南海トラフ巨大地震などの発生が予想されており、それらに対する事前の防災・減災対策が急がれています。東日本大震災での経験を生かし、

当センターではこれまでも増して、沿岸域の保全及び防災に関する技術開発や技術支援に重点的、積極的に取り組んで参りたいと思います。

また、昨年は欧州で英国のEU離脱が決まり、米国で新大統領が選出されるなど、国際社会において大きな動きがありました。それに伴い、これまで各国で進められてきた協定の変更や方針転換の動きが予測され、日本の経済・産業・社会にも少なからぬ影響があるものと思われます。今のところ日本経済は緩やかな回復基調が続いていますが、より安定的な成長軌道に乗せるため、国土交通省においては、社会全体の生産性向上につながるストック効果の高い社会資本の整備・活用や新市場の開拓を加速する取り組みが進められています。当センターにおいても「官・学・民」の技術力を結集し、沿岸域及び海洋に関する技術の進展に大いに力を発揮して、全国の港湾、空港関係者のご要望に応じ皆様へ質の高いサービスを提供し、ひいては、我が国の成長力の強化と国際社会の発展に貢献すべく努力を重ねて参りたいと考えています。

最後に、平成29年が皆様にとりまして実り多き年になりますこと、また、皆様の益々のご健勝とご多幸を心から祈念いたしますとともに、重ねまして当センターへの変わらぬご支援とご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。新年のごあいさつとさせていただきます。



新年のはじまりに当たって

石井 啓一 国土交通大臣

平成29年の新春を迎え、謹んでご挨拶を申し上げます。今年も国土交通行政に対する皆様の変わらぬご理解とご協力をお願い申し上げます。

さて、昨年は、4月の熊本地震、8月から9月にかけての北海道や東北への度重なる台風の上陸など、大きな自然災害が発生しました。犠牲となられた方々に対して謹んで哀悼の意を表しますとともに、被災された方々に心よりお見舞い申し上げます。被災地の皆様が、1日も早く元の暮らしを取り戻していただけるよう、引き続き総力を挙げて取り組んでまいります。

東日本大震災から3月で6年が経過し、被災地では復興への確かな歩みが見られますが、今なお多くの方々が避難生活を続けておられます。本年は「復興・創生期間」の2年目に当たります。基幹インフラの復旧・復興や、住まいの確保などに引き続き取り組みながら、被災地の自立につなげ、被災地が地方創生のモデルとなるような復興の実現に未来志向でしっかりと取り組んでまいります。

我が国の人口は2008年の約1億2,800万人をピークに減少が始まっています。少子化は深刻で、高齢化も極めて速いペースで進んでいます。当面、生産年齢人口が減少していくことは、もはや動かしがたい事実です。しかしながら、働き手の減少を上回る生産性の向上により、潜在的な成長力を高め、新たな需要を掘り起していくことによって、経済成長を続けていくことは十分可能です。現在、政府はGDP600兆円の実現を目指していますが、ビッグデータやICTといった新技術の活用や既存インフラの徹底活用などの取組を通じて生産性向上を図り、この目標達成に貢献していきたいと思っています。こうした観点から、昨年を「生産性革命元年」と位置付

け、生産性向上に向けた先進的な取組として20の「生産性革命プロジェクト」を選定してまいりました。今後は、できるだけスピーディーにこれらのプロジェクトの具体化を進め、本年を生産性革命「前進の年」にしたいと考えています。あわせて、生産性向上の意識を国土交通省の様々な施策分野に浸透させてまいりたいと思っています。

社会資本整備には、移動時間の短縮等を通じて生産性を高めて民間投資を促進する効果、災害リスク等を低減させる効果、国民生活の質を向上させる効果といった「ストック効果」があります。厳しい財政制約の下、こうした社会資本本来の効果を最大限発揮させることが重要です。このため、異なる分野の事業を一体的に実施したり、既存施設に小さな投資を行うことでその施設の機能を大きく高める取組など「賢く投資」する取組や、ビッグデータや新技術の活用によって利用効率を向上させるなど「賢く使う」取組を全力で推進してまいります。

昨年の訪日外国人旅行者数は、年間2,400万人前後となり、過去最高となったほか、訪日外国人旅行消費額は4兆円も視野に入る勢いで増加し、引き続き好調に推移しました。昨年3月に策定した「明日の日本を支える観光ビジョン」に基づき、「観光は真に我が国の成長戦略と地方創生の柱である」との認識の下、「2020年訪日外国人旅行者数4000万人・訪日外国人旅行消費額8兆円」などの新たな目標の達成に向け、「観光先進国の実現」に取り組んでまいります。

国土交通省はこれらの取組を通じ、持続的な経済成長や豊かな国民生活の実現を目指してまいります。新しい年が皆様方にとりまして希望に満ちた、大いなる発展の年になりますことを祈念いたします。



これからの港湾分野における技術開発

安全性、効率性を高めるための港湾技術開発の今後の方向性

平成28年に国土交通省港湾局によって「港湾の技術開発にかかる行動計画(7か年計画)」が策定された。これは港湾関係者にとっての技術開発の指針となるが、これを踏まえて、今回はこれからの港湾分野における技術開発について議論いただいた。



横田弘氏

北海道大学大学院
工学研究院教授

西尾保之氏

国土交通省
港湾局技術企画課
技術監理室長

栗山善昭氏

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長

野口哲史氏

一般社団法人
日本埋立浚渫協会
技術委員会委員長

高橋重雄(司会)

(一財)沿岸技術
研究センター
代表理事・理事長

はじめに

高橋▷国土交通省港湾局では平成28年4月、「港湾の技術開発にかかる行動計画(7か年計画)」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を示されました。これは国の研究開発機関に限らず、港湾関係者にとっての技術開発の指針となるものです。本日は横田弘・北海道大学大学院工学研究院教授、西尾保之・国土交通省港湾局技術企画課技術監理室長、栗山善昭・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長、ならびに野口哲史・一般社団法人日本埋立浚渫協会技術委員会委員長をお迎えし、「これからの港湾分野における技術開発」のテーマでお話を伺って参りたいと思います。

まず、それぞれのお立場で技術開発にかかわる現在の取り組み内容を紹介していただきたいと思います。はじめに西尾

室長にこれまでの技術開発の経緯や今回の行動計画の方向などについてお話していただきたいと思います。

港湾の技術開発にかかる行動計画 (7か年)

西尾▷港湾の技術政策の歴史を振り返りますと、技術開発テーマはその時々ニーズに対応し、時代とともに変化してきました。

我が国経済の高度成長期においては、船舶の大型化と共に貨物量が増加し、係留施設の絶対量の不足が顕在化しました。このため港湾の沖合展開を積極的に進め、防波堤、あるいは軟弱地盤上における構造物の建設、そしてそれらを急速施工するための技術開発が行われてきました。

その後平成の時代に入り大きく港湾政策を変えたのが、平成6年に発表された「環境と共生する港湾をめざしたエコポート」政策です。これによって環境創造技術の開発にも力

点が置かれるようになりました。また阪神淡路大震災、東日本大震災による港湾の甚大な被害を踏まえ耐震構造、防災・減災技術の高度化が重要なテーマになり、今に至っています。

またこの間、港湾の国際競争力強化が大きな課題になり、平成13年にスーパー中枢港湾政策、更に平成21年には国際コンテナ戦略港湾政策を打ち出し、船舶の大型化や物流機能の強化に資する大水深で高規格なターミナルの整備技術、また情報化技術も進められてきました。

さらに平成24年の笹子トンネルの天井板落下事故を契機に、インフラの老朽化対策が大きな問題になり、長寿命化、点検・診断技術も技術開発の大きなテーマになっています。そして人口減少が進む中で、わが国の持続的な経済成長を実現させるためには労働力の減少を上回る生産性の向上が求められています。国土交通省では平成28年を『生産性革命元年』と位置づけて、本格的なi-Constructionへの転換、また新技術の活用により生産性を高める「生産性革命」への取り組みをスタートさせたところです。

高橋▷ありがとうございます。そうした政策に対応し、技術開発において重要な役割を担っているのが港湾空港技術研究所だと思いますが、国の政策への貢献という視点で、これまでの経緯も含めどのような方針を持って取り組んでおられるのか、栗山所長からお話ししていただければと思います。

港空研のさまざまな技術開発の取り組み

栗山▷まず一つは港湾の建設技術です。沖合展開に伴い大水深下で構造物を造らなければいけないということで、昭和50年代から平成の初めにかけて大水深に対応した構造物を提案してきました。さらに長周期波が港内の静穏度に大きな影響を及ぼすということで、長周期波対策をどうするかという課題に力を入れてきました。

防災、減災関連としての地震、津波、高潮について、港湾技術研究所が設立された当時から研究を行ってきていますが、大きな被害、被災が生じるたびにそれまで明らかにならなかった問題点が浮き彫りになり、それに対応する技術開発が行われてきたという印象があります。特に平成23年の東日本大震災以降は、構造物を超える波に対する安全な構造物の開発に力を入れてきました。

地震については阪神淡路大震災で岸壁が大きく被災したことで、その後地震の研究も非常に進んできました。地震動の正確な推定はいまだに大きな課題になっており、港空研が力を入れて取り組んでいる項目の一つです。

環境問題に関しては公害問題に端を発して昭和40年代半ばから研究がスタートしました。最近のテーマは地球環境問題でのブルーカーボンです。これは沿岸域で吸収されるCO₂のことで、港空研が世界に先駆けて確認しました。

維持管理に関しては、これまで40年近く曝露試験を行うなど研究に取り組んできましたが、近年はライフサイクルマネジメントの高度化に向けて点検、診断、対策という三つの項目について、いろいろな研究を進めているところです。

ロボットに関しては、昭和50年代に水中調査・作業用のロボットを開発しておりましたが、最近では生産性向上とi-Constructionへの貢献を目指して、音響レンズ、無人水中バックホー、半没水型ROVによる栈橋点検技術などの開発を行っています。

施工を担う埋立浚渫協会の技術サービス

高橋▷ありがとうございます。技術開発は企業でもいろいろな努力が続けられているわけですが、日本埋立浚渫協会ではどういう取り組みをされておられますか。

野口▷埋立浚渫協会は海洋土木を主力とした会社の集合体ですので、第一にいま室長や所長が仰った各課題に対して、主に施工面からの要素技術を業界として提供していく、あるいは施工管理基準の統一を図ることが主要な役割だと思っています。ただ単に要素技術だけではなくてトータルとしての技術サービスの提供を考えていかなければいけないこと、また、そういう要求が強くなってきたことを実感しています。

中でも2回の大震災を経て技術基準、施工管理技術のレベルは格段に上がってきたように思います。かつては空港とか大水深防波堤、臨港道路、沈埋トンネルなどの大きな事業がたくさんあり、協会はそれらの事業に対する提言活動が主力でしたが、総合評価の時代になりますと、大規模な事業への技術の提言というよりは、総合評価に対応するための施工管理技術に特化するようになりました。これは技術競争という意味では重要な一面がありますが、技術自体が小粒になったことは否めません。

そこで一昨年度あたりから原点に立ち返り、計画、設計、施工から維持更新までトータルとしての技術提供ができる団体、協会であろうという立場から、港湾局で港湾技術パイロツ



ト事業という仕組みを持っておられるので、設計、計画段階から技術提供あるいは技術サービスが出来るような仕組みを整えていただき、我々も積極的に提言していきたくと思っています。

高橋▷ありがとうございます。技術開発は大学や研究機関などとの連携が重要です。大学あるいは産官学全体を見られて、最近の港湾分野に関する研究開発の主な取り組みや方向性について、横田先生、お願いします。

大学の役割と新しい研究の重要性

横田▷冒頭に西尾室長が「それぞれ時々刻々のニーズがある」と言われましたが、まさにニーズがないと技術開発は進みません。何もないところでいきなり技術開発というのは、なかなか厳しいと思います。そういう面では技術開発は、産官学の役割を上手に分担して取り組んでいくべきものだと思いますが、土木分野、特に港湾はどうしても官主導という側面が強いので、産はその方向に向く傾向があるのではないかと思います。学も若干それに引きずられているところがあるように感じています。

ただ、新しいことを要請されても即座に対応出来ないと思いますので、やはりある程度継続的に新しい技術開発にも目を向ける心構えを持っていなければいけないと思います。そしてそうした役割を大学が担当しなければいけないと思います。官や産が行えるような華々しい技術開発はできませんが、そのベースとなるような技術の開発は担えると思います。

例えば長寿命化のための技術ですと、維持管理技術に取り組むのは重要ですが、もともと耐久的に造られていない構造物を維持管理だけで長寿命化しようというのは無理な話です。そのためには最初から耐久性を考慮した構造物にしておくべきですが、維持管理との組み合わせでそれをどう実現すればいいのかといったようなことです。

それから次の10~20年を考えると、今後はサステナビリティがますます重要になると思います。サステナビリティ



ティは持続可能性と訳され、その中で経済的側面が強調され、ライフサイクルコストやB/Cの計算とかが行われてきます。しかし環境的側面や社会的側面に対しても経済的側面と同じように評価していかなければいけません。いまはそのための手法もきちんとできていませんので、これからの時代に備えいろいろなやり方を考えていこうと思っています。

高橋▷ありがとうございました。技術は社会背景の変化によって変わってきたこと、特に災害によって最近は大きく変わってきていることなどのお話をいただきました。

次に行動計画の柱と重点開発分野をお話を進めたいと思います。ここでは行動計画の具体的な内容の概要をご紹介いただくとともに、行動計画における重点テーマ、期待されるイノベーションなどについて議論したいと思っています。最初に行動計画について、西尾室長からご説明下さい。

五つの重点的技術開発分野

西尾▷「港湾の技術開発にかかる行動計画」は、重点技術開発分野として五つの柱を立てています。

一つ目が国民の安全・安心の確保のための技術です。東日本大震災等を踏まえて、地震、津波、高潮・高波等の被害の軽減、そして特に最近では、被災した施設の早期復旧に関する技術開発も求められています。また現場では被災直後に港湾施設の使用の可否判断も求められますので、それをサポートする簡易な判定手法やICTを活用したシステムの開発も期待されています。

二つ目が産業の国際競争力と国民生活を支えるための技術です。これは国際コンテナ戦略港湾という港湾局の重要な施策を支えるために、コンテナターミナルにおけるターミナル作業の高度化、港湾EDIシステムの開発、また海外展開、国際標準化等です。また昨今、海外のコンテナターミナルでは遠隔操作・自動化が急速に進んでおりますので、荷役関係の高度化も技術開発の一つの重要なテーマになってきています。

三つ目が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です。港湾施設のストック量は年々増加していますので、それらを適切に管理・維持していくことが重要です。特に最近ではICTとかロボット、センサー等を活用した効率的な点検・診断技術、施設の長寿命化を実現する新材料や新工法の開発、また既存施設の増深改良や耐震化のニーズも非常に増えています。

四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。いま港湾局では特定離島というこれまで取り組んだことがない環境での港湾工事を進めています。そういう特殊な環境における調査技術、施工技術の取り組みを柱の一つとしています。

五つ目が良好な港湾環境の形成および活力ある美しい港湾



空間の創造、適正な管理のための技術です。これは地球温暖化等の環境問題もありますし、省電力型荷役機械の開発や干潟・沿岸域の環境効果の定量化などです。

そしてこうした行動計画を進めるに当たっての方針として三つの方向を示しています。一つはICTを活用した新技術の現場への導入によって、港湾事業における生産性の向上を実現しようということです。いま国交省全体でi-Constructionを進めていますので、そういったものと併せて取り組みを進めていきます。

二つ目は港湾技術パイロット事業を実施し、技術を現場へ積極的に展開していこうというものです。この事業は平成28年度からスタートしたもので、昨年11月に2件を決定して公表したところ。埋立浚渫協会、港空研が共同研究されてきたリプレイサブル栈橋はそのうちの一つです。官民で研究していただき、現場に適用できるようになったものを新しい制度で具体化するという流れができたよい例だと考えております。

三つ目は現場における技術的課題解決へのサポートと将来を担う人材の育成です。こういう方針を基に、先程の五つの柱の技術開発を進めていこうと考えております。

「安心・安全の確保」についての技術開発

高橋▷ありがとうございます。ここからは、いまご紹介のありました技術開発分野、あるいは開発要素についてご意見をいただければと思います。

まずは行動計画の一つの柱である安全・安心の確保のための技術開発について、栗山所長からお話したいと思っています。

栗山▷安全・安心の確保のテーマのうち、まず地震については浅いところの地層の特性によって地震動がどう変化するかという研究をしています。もう一つは例えば東日本大震災においては、周期が1秒から数秒の非常に強い地震動がありました。現在、地震の震動の予測にあたっては数十kmの大き

さの固着域を仮定して地震動を推定しているようですが、港空研ではもう少し小さな数kmのスケールでの予測モデルを開発しています。

津波に関する技術では瓦礫対策です。津波が来ると引き波のときに瓦礫が沖に運ばれていきますが、その一部が港内の泊地や航路に堆積して、船舶の航行を妨げることとなります。もちろん津波のパターンによって堆積の仕方も違いますが、あらかじめどの辺に瓦礫が溜りやすいのかが分かれば、どの港にどのぐらい航路啓開用の船を用意すればよいかということも前もって検討できると思います。

高橋▷ありがとうございます。横田先生、いかがですか。

横田▷ロバストネスという考え方はいまの基準にも入っていますが、これをもっと積極的に入れたほうがよいのではないかと思います。想定外の作用が起きたときに一体どうあるべきか、ということを経験のときに考えておくのがロバストネスで、ユーロコード等でもロバストネスの概念を入れようとして、いま議論が進められていると聞いています。そういうアプローチも必要ではないかと思います。

高橋▷強靱化やレジリエンスという言葉が広く使われておりますが、強靱化というのは単に設計して壊れる、壊れないのではなく、ロバストネスも含めてレジリエンスを目指すということです。強靱化、粘り強い構造はそれを狙った話ですね。重要なご指摘だと思います。野口さん、その辺はどうですか。

野口▷東日本大震災では津波によって防波堤が損壊しました。防波堤が損壊したメカニズムは越波によって背後がえぐれたとか、いろいろな原因が整理されましたが、我々が期待していたのは「粘り強い構造とはこういうことだ」という指標です。粘り強さとは何かというのは、協会内部でも構造断面や建設技術についてずいぶん議論しました。しかし、もう少し掘り下げたいと思いながら5年経ってしまいました。いまは皆の目がそっちに行っていないですね。

高橋▷強靱化とか粘り強い構造、ロバストネスもそうですが、それは早期の復旧・復興、被害の軽減などにつながるキーワードです。だから技術基準の中にそういうキーワードを入れてもらって、制度として取り入れていくとよいですね。

栗山▷防波堤が滑動した原因は大きく三つぐらいありますが、そのうちの二つはマウンドが洗掘されることと、水圧が前面と背面で違うことによって動くということです。あのときはとにかく対策を急いでいて、腹づけは両方に効くことが期待できたので検討したところ、効果のあることが分かりました。

野口▷崩壊に到ったのは二つか三つの原因があって、こういうことに対応して対策を図るというのは、それはそれで大事ですが、私は粘り強さという概念を数値化しておくべきだと思っただけです。そうしておけば「あのときは構造物が損壊



したけれど、もし粘り強さという概念があったらここまで救えた」ということに対して、かなり敏感になっていたと思います。

高橋▷「耐震強化岸壁」という言葉があります。レベル2地震動に対して、震災後にも岸壁を利用できるように変位などを規定しています。まさに、復旧・復興を考えた、ロバストネスや粘り強さを具体的(定量的)に設計に取り入れる制度です。神戸震災後に定義された言葉で、その後の港湾における地震災害に対する強靱化の進展に大きく寄与しています。そうしたものが、津波や高潮についても必要ですね。例えば、「耐津波強化防波堤」や「耐高潮強化護岸」、「耐高潮強化護岸」などという新しい言葉が定義され、技術基準はもちろん、予算要求にも使われるように制度化されることが重要です。制度として要求され、定義が明確になれば、技術開発も進み、設計法も進展すると思います。技術開発の行動計画と技術的な制度は、深く結びついていると思っています。

野口▷地球温暖化と同じで達成するためのパラメーター、数値目標は一つか二つで、「これをここまで頑張らしましょう」という、その一つは港湾局に決めていただきたいと常々思っています。温暖化対策はこれで決まるというのであれば非常に分かりやすいですね。

高橋▷現状ではできないのは技術的にそこまで高まっていないからだと思います。特に、粘り強さの指標の一つの変形量を評価することが難しいことと思います。制度が確立され、ニーズが明確になれば、技術は進展するはずです。

LCMの取組の重要性と課題

高橋▷LCMは防災の面でも非常に重要だと思いますが、いかがでしょうか。

横田▷LCMの分野については三つぐらいテーマがあると思います。一つは防災に絡むのですが、既存構造物が一体どこまで耐力を保有しているのか、つまり既存構造物の残存性能評価です。これは現状では非常に難しいです。設計ではいろいろな仮定を設けてシミュレーション等を行って構造物の性能を予測していますが、既存構造物にどういう仮定ができるかについてはこれからです。

高橋▷でも何年ぐらいもったという実績はあるでしょうか？

横田▷経験はありますが、劣化して性能の低下している構造物が例えば何ガルぐらいの地震作用で壊れるかということ、残念ながら今は精度よく定量的には求められません。そこがきちんと定量化できると、「防災に対してどれぐらい余裕がある」といったようなことが、もう少し言えるようになると思います。

高橋▷劣化度がわからないからですね。

横田▷劣化度と構造性能がうまく結びつかないということで

す。それから二つ目は構造物の転用等にあたって構造物のライフエンドをどう決めるのかということだと思います。長寿命化で寿命を延ばすことばかりやっていますが限界が必ずありますので、どこかで捨てなければならない。その判断をどうするかです。一番考えられるのは廃棄と補修との経済性を比較して、どこかで逆転したら「そこだ」ということになるわけですが、経済性だけではないような気がします。

三つ目は内閣府主導のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の一つとして「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」という課題への取組みがなされていますが、この一環としてICTやロボットを使って点検・診断技術の開発が行われています。技術開発の方向性はよいですが、課題は高度な高価なロボット、ICTを使って維持管理できる港湾管理者がどれほどおられるのかということだと思います。そのような管理者を救うための点検・診断技術というのもきちんと考えていかねばいけないと思います。私は「目視で何がわかるのか」ということを、もったきちんやったほうがいいのではないかと常に言っています。できるだけお金をかけないで、既存の技術の中で、精度は必ずしも高くはないがある程度定量的に性能評価が行えるようにしていかなければいけない。LCMについてはそこが一番問題だと思っています。

高橋▷ありがとうございます。まさにそうした問題について、これから検討していかなければいけませんね。野口さん、何かありますか。

老朽化評価の診断をパイロット事業で

野口▷今の劣化評価診断方法ですと、構造物の劣化評価と残存耐力は全然結びつきません。劣化診断と健全性、残存耐力が結びついていないので、この問題は答えが出ないのですが、究極的に言うと初めから構造物の弱点となるところにセンサーを埋め込んで調査しないと解決しないかなと常々思っています。

次はそうした人材の不足という課題です。いまの劣化診断と本当に耐力を確認した例をパイロット事業で使っていて、この劣化診断のときにはこういう耐力になっているという統計値を港湾管理者さんに一覧表で見せ、そして判断できない場合は技術者を送り込んでサービスする。こういうことを例えば沿岸センターさんにやっていただいて、港湾管理者が効率良く判断出来るデータを整備するしかないのではないかと思います。

高橋▷基本的に我々が造った構造物は、いまどれだけの性能を持っているか明確ではないですね。設計波や設計地震に対して設計しても、「それより大きいものがきたり、30~50年経ったらどうなるか分かりません」という設計をしているわけです。防災や維持管理にしても、それがあ程度予測でき

るようにしなければいけません。地道ですがそれをやらないと世の中の要求に対応できないですね。そこは我々の技術開発のポイントです。いま言われたとおりだと思います。

野口▷この問題を解決できるのは港湾局だけだと思うので(笑)、ぜひパイロット事業を使って「改修したいものはとりあえず点検し、耐力はこうやって確認する」という方法論を作っていたらば相当いろいろ見えてくるのではないかと思います。

西尾▷例えば栈橋だったら、撤去して新しいものをつくらうとするときに試験をすればよいということですね。

野口▷はい。横方向の外力をかけて変位を測るだけでも、いろいろなことが分かりますから。

西尾▷パイロット事業という、造るときに新しい技術を入れようということですが、普通の更新工事でも壊してしまう前に試験としてやってみるということはあるかもしれませんね。

横田▷構造物の弱点は設計している人じゃないと分からないので、港湾局でやっている「維持管理計画は施設の設置者が作成する」というのはまさにそこだと思います。

高橋▷設計時に維持管理も考えなければいけないという世の中になっているのに、維持管理を考えるシステムになっていない。設計者の頭の中には維持管理はなくて耐震設計しかない。それは制度が要求していないからですが、それをやっている、いつまで経っても「維持管理は必要だね。大切だね」と言っているだけです。次は施工の話に移りたいと思います。野口さん、お願いします。

ICTを標準化技術に

野口▷いま話題になっている生産性向上ですが、ICTとしては、ナローマルチ、水中ソナー、航行安全、車両監視など沢山あります。これらは各会員企業が技術提案で一生懸命争っている技術ですが、我々は今回そうした見方を全部変え、「これらを技術競争に使うのはやめよう」と言っています。こうした基礎的な部分を技術競争で争うのではなくて、これらはぜひ港湾局に標準化技術として積算に取り込んでいただき、これを土台とした、さらに上の技術で競争できるようにして欲しい、とお願いしているところです。

例えば水中ソナー技術は潜水や水中支援、機械式捨石均しシステムなど、海洋工事のほとんど全ての基礎になるものです。要するに水中にあるものを、超音波を使ってデジタル画像として捉える技術なので、これがベースにないとICT化は進みません。これをベースにしていろいろな技術がつくられているわけですから、この部分はオープンな技術にして標準化していただければ、一気にICT化が進むと思っています。

西尾▷全国的に広めるためには本省である程度基準を入れ

ていかなければいけません。昨年の6月から「港湾におけるICT導入検討委員会」を立ち上げて、まず浚渫分野を先行的に進めています。もちろんたくさんメニューがありますから、それについてもこれから取り組んでいくことになると思っています。

海洋立国実現のための技術

高橋▷次は建設副産物の有効利用についてお話いただきたいと思います。例えば浚渫土は永遠に出続ける難しい問題だと思いますが、素晴らしい技術で減容化できるとか、有効利用できるというのはどうですか。

栗山▷砂とシルトでは全然用途が違ってきます。シルトは埋め立てに使うためにもいろいろ工夫しなければいけません。砂は工夫しなくても、至るところで海岸浸食が起こっているし、使い道はあります。ただ問題はコストです。遠いところまで運んでしまうと高くなって、近場のもっと安い砂を買ったほうがよいということになってしまいます。シルトは難しいけど、スラグとかいろいろなもの混ぜることで結構活用先はあるはずですね。

野口▷スラグと結びつくとシルト粘土はある程度固まって、非常に活用範囲が広いことが分かってきたので、固めて人工石にして捨石の代わりに使う方法もあるし、土堰堤とか防波堤の一部にするという方法もあります。

高橋▷海洋立国の関係ではいかがですか。

栗山▷一つは遠隔離島の港湾建設です。この場合は船を泊めることが非常に難しい。遠隔離島は珊瑚の上でできている島が多いので急勾配で、少し沖に行くと水深が30m、50mになってしまい、なかなか消波のための構造物が造れません。波が大きいところに船を着けなければいけないので、課題が多く、まだ検討の余地が残っています。また遠隔離島は本土に比べて自然条件が非常に厳しいので材料の劣化も相当進むでしょうから、その研究も始めています。これは必ずしも遠隔離島でやる必要はなくて、クウェートで共同研究を進めて





いますし、琉球大学とも研究協力協定を結んでいます。

高橋▷洋上風力はすでに現実にヨーロッパで行われており、日本でも始まっていますので、これは確実に進むと思います。技術課題としては風力の機械のほうが大きいですが、基礎とか我々が関与できる場所も少なくないと思います。

野口▷洋上風力を日本に適用するときの問題はアセンブリの基地だと思いますね。ヨーロッパには二つか三つ大きな拠点がありますが、日本にはアセンブリの基地がないので、どこかに造る必要があります。また背後に洋上風車メーカーの工場を誘致できるだけの事業ニーズが成立するか、重要な要件がいくつかあります。

高橋▷栗山所長、環境分野はいかがですか。

栗山▷環境分野ではCO₂問題も含めて地球温暖化対策が重要になってきます。CO₂が沿岸域に蓄積されることは分かっていたので、これを量的に明らかにすることで貨幣価値に変換できると考えています。

もう一つは高潮です。高潮の規模が徐々に大きくなってきますと護岸の高さも徐々に足りなくなってきました。その対応としては、まず、爆弾低気圧による高潮も含めて予測の精度を高める必要があると思います。あとは事業としてどう取り組むのかということです。港湾だけの話ではなくて、日本全体として取り組みが求められていると思います。

新技術活用の展望と海外展開

高橋▷ここからは技術開発や新技術活用の展望についてお話を進めて参ります。最初に西尾室長から行動計画についてご説明いただきましたが、横田教授からは、「もう少し先を見て準備していくことも必要」というご指摘もありました。

横田▷これまでの流れの延長ではなくて、技術開発のやり方がブレークスルーするということでしょう。従来とは違う視点で考えていかなければいけないということではないでしょうか。

栗山▷港空研で数年前から意識しているのは、インフラの海外展開で何とかお手伝いできないかということです。埋立浚渫協会とも以前からお話しさせていただいています。いままでの日本国土の自然条件と違うところでの研究活動は、インフラの海外展開と関係するところとしない分野があるのですが、関係しない分野も含めて港空研で取り組み始めています。

野口▷国が中心になって海外の技術者と議論できる土俵、窓口を常に持っていただけると、民間としては非常に頑張りがいがあると思っています。バックボーンに日本の技術基準があるので能力はすでにあります。あとは土俵があれば活躍できると感じています。

横田▷仰るとおりだと思います。このまま行くと、たぶん日本もユーロコードに席卷されるのではないかとことを仰

る方もおられます。日本でもユーロコードで設計するという時代が来るんじゃないかという危惧があります。港湾局の重点施策に海外戦略をぜひ加えていただきたいと思います。

高橋▷基本的な所は、ISOなど世界標準を見据えたものにするべきです。例えば、ユーロコードなどと基本的に異なるものを作ると、なかなか勝てないと思います。

横田▷性能設計もいいと思いますが、簡便に行える設計照査の流れをつくっていただかないと、海外ではなかなか使いきれないですね。

西尾▷国交省でも日本企業の海外進出の後押しについては、アベノミクスの3本の矢の1本がインフラシステム輸出戦略で、その中でも基準類や制度を移転していきましょうという大きな流れがあり、具体的にはベトナムで技術基準の展開をやっています。日本の基準をそのまま移転しても外国では使ってもらえないので、カスタマイズして相手国が使いやすいものにします。地震のない国であればそんなに複雑にしないでいいし、材料も現地で適用できるものを入れるということを進めております。

また冒頭で議論がありましたが、ビッグプロジェクトや震災で技術開発がブレークスルーするということがあります。海外ではかなりビッグプロジェクトがありますので、そういうところに参画することによって技術レベルがアップするという意味合いもあると思っています。

日本の技術を世界に発信し普及させること

高橋▷「粘り強さ」という言葉は以前はなかったし、維持管理という言葉が今は本格的に使われるようになりました。こうしたことを考えますと、世の中が随分よい方向に変化してきたと思いますし、これは世界の先端を行っているかもしれないですね。そういう意味で、我々がいまやっている技術をうまくまとめて世界に発信し、普及させていくことが重要ではないかと思っています。最後に横田先生からまとめをお願いします。

横田▷それぞれ技術開発のターゲットとしているタイムスパンがあつて、近々の10年ぐらいのスパンであれば港湾局が策定した「港湾の技術開発にかかる行動計画概要」に網羅されていると思います。これを産官学で分担して情報交換しながら進めていくことが大事です。またその次のスパンでの目標となりますと、いろいろ視点を加えそれぞれの立場で将来の港湾の姿を、またそれが日本だけではなくて世界全体でどうなっているかを思い描き、想像力を働かせて取り組んで行くことになろうかと思っています。

高橋▷それぞれの立場における考えをうまく議論の場に寄せ、研究課題にすることで繋がっていくと思います。本日はありがとうございました。



港湾の技術開発にかかる行動計画 (平成28年策定)の概要について

国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室

1. 港湾の技術開発にかかる行動計画の策定背景

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、港湾は海上輸送と陸上輸送との結節点として物流や人流を支える交通基盤であるとともに、災害からの復旧や復興においても重要な役割を果たす社会資本である。今般の人口減少や少子高齢化、グローバル化の進展、南海トラフ巨大地震や首都直下地震等の巨大災害の切迫、高度経済成長期に建設された多くのインフラの急激な老朽化、地球環境問題など、我が国は多様かつ重大な課題に直面しており、これらの課題に対応していくため、より安全に、効率的に、高度に港湾を整備・利活用等していくための技術開発が求められている。

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、中期的な技術開発の目標を示す技術開発にかかる行動計画を定期的に策定し、港湾にかかる技術開発を進めてきた。

一方、我が国が人口減少時代を迎える中で持続的な経済成長

を実現するためには、労働者の減少を上回る生産性の向上が求められている。国土交通省では、平成28年を「生産性革命元年」と位置づけ、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」の取組を始めたところである。

このような状況を踏まえ、平成28年度から平成34年度までの7年間で取り組む「港湾の技術開発にかかる行動計画」(以下「行動計画」という。)を新たに策定した。新たな行動計画では、近年の社会情勢や港湾政策の動向を踏まえ、国等が推進する技術開発について重点技術開発分野を掲げ、その取組を進めるにあたっての方針を示している。

以下では、新たに策定した行動計画の具体的な取組内容や行動計画を進めるにあたっての方針について紹介する。

2. 行動計画の具体的な取組内容

本行動計画では、上記に掲げた社会的ニーズを踏まえ、平成28年度から平成34年度までの7年間に国等が主体的に関わるべき5つの重点技術開発分野を掲げている(図-1参照)。以下

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

図-1 行動計画における5つの重点技術開発分野とその具体的な取組



に、これらの概略について示す。

1) 国民の安全・安心の確保のための技術

南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害の発生リスクが高まっている中、国民の生命や財産を守るため、地震、津波、高潮・高波被害の軽減、被災した施設の早期復旧にかかる技術開発に取り組む。

2) 産業の国際競争力と国民生活を支えるための技術

我が国に寄港する基幹航路の維持・拡大を目的としたコンテナターミナルの効率化などによる国際コンテナ戦略港湾の機能強化や資源・エネルギー等の安定的かつ安価な輸入の実現に向けた海上輸送網の形成にかかる技術開発に取り組む。

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

施設の維持管理や更新、修繕において、限られた財源や人員での効率的かつ効果的な老朽化対策を実施するため、ICTやロボット・センサ技術を活用した点検診断・施工技術の開発や施設の長寿命化につながる新材料・新工法の開発、既存施設を増深改良・耐震補強する技術の開発、浚渫土や鉄鋼スラグなどの建設副産物の有効活用にかかる技術開発に取り組む。

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

特定離島等における円滑な港湾利用に向けた船舶係留システムの開発や通常の港湾工事とは異なる厳しい自然環境下での調査・点検・施工技術の開発に取り組む。

5) 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

海域環境の保全・再生・創出や地球温暖化などの環境問題に対応するため、干潟や沿岸域における環境効果の定量化や閉鎖性内湾域の水質環境改善、海浜の維持管理、航路・泊地の埋没対策にかかる技術開発、海上に流出した油への対応技術の開発に取り組む。

3. 行動計画を進めるに当たっての方針

1) 新技術の開発促進と現場への積極的展開

「生産性革命」の取組の一環として、港湾分野において、

建設産業の生産性向上や建設現場の安全性向上を目指すi-Constructionを推進する。海上や水中という特殊な現場環境において、施工や維持管理、海洋開発等にかかるICTを活用した新技術の現場への導入を積極的に行い、港湾事業全体のスマート化を目指す。

また、有用にもかかわらず活用されていない技術を現場へ積極的に導入するため、平成28年度から「港湾技術パイロット事業」を創設し、港湾事業におけるライフサイクルコストの低減や将来を見据えた生産性の向上等を図る。

さらに、事業の効率化や工事の品質確保を両立する技術開発を推進するため、公共工事における新技術活用システム（NETIS）や民間技術の評価制度、国等が民間と共同して研究を行う共同研究制度や共同技術開発制度等を通じ、国等の研究機関による研究のみならず、民間企業等の技術の高度化を促進する。

2) 技術的課題解決へのサポートと将来を担う人材の育成

地方整備局等が抱える技術的な課題の解決や技術力の向上、新技術の開発や技術の現場への導入等をサポートする体制を整える。また、人事交流を通じた優秀な技術者の育成や技術の伝承等による若手技術者の育成を図る。

3) 国際的な視野による技術開発の推進

海外諸国の技術的ニーズに応じた技術支援や技術基準の国際展開等を行い、インフラ輸出を通じた我が国の技術の国際的な普及を図り、戦略的な国際活動を推進する。

4) 定期的なフォローアップの実施

本行動計画の達成状況や課題等についてフォローアップを行い、その後の計画の推進に活かす。また、社会情勢の変化等に応じて計画の変更が必要な場合には、適切に見直しを行う。

4. おわりに

本稿では、平成28年度に策定された行動計画の具体的な取組内容やそれを進めるにあたっての方針について紹介した。今後、これまで蓄積された技術やノウハウを効果的に活かすとともに、時々の社会的ニーズや将来の港湾の姿を見据えた新技術を含めた技術開発を実施・促進し、港湾が抱える多様な課題を解決していきたいと考えている。



高潮・高波災害の軽減のための 技術開発の動向と展望

下迫 健一郎 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

1959年の伊勢湾台風では、高潮により5000名を超える犠牲者を含めて甚大な被害が発生した。その後、我が国では甚大な被害をもたらす台風や低気圧は発生していないが、高潮や高波による災害は全国各地で毎年のように発生している。また、世界的にみれば、アメリカでは2005年のハリケーンカトリーナ(図1)や2012年のハリケーンサンディ、フィリピンでは2013年の台風ハイヤンなど、大きな被害が頻発している。わが国においても、今後は地球温暖化の影響による海面上昇や台風の強大化により、高潮・高波被害の甚大化が懸念され、特に経済的な集積度の高い沿岸域では、きわめて甚大な被害が発生する恐れがある。ここでは、高潮・高波災害の軽減のための技術開発の動向と展望を述べる。



図1 ハリケーンカトリーナによる被害

2. 最大級の高潮・高波への対応

高潮や高波の研究は、米国などを中心に1940年代から行われており、港空研でも伊勢湾台風以降、重要な研究課題として鋭意進めてきた。現在では、数値計算によるそれらの予測や、防波堤や護岸の施設の設計法などもある程度確立されている。

ただし、これまでの想定を超える高潮や高波に対する備えは必ずしも十分ではなかった。2015年に水防法が改正され、背後に人口・資産が集積し、高潮により相当な被害が生ずる恐れのある海岸については、想定最大規模の高潮による浸水想定区域の指定や海岸の水位を周知することが都道府県に義務づけられ、現在、東京都、神奈川県などをはじめとして、全国で高潮浸水想定の見直しが行われている。

突然発生する地震に伴う津波と異なり、台風が遠くにある段階からある程度予測ができる高潮は、あらかじめ避難することが十分可能な災害である。したがって、最大級の高潮・高波に対しても、犠牲者をゼロとすることを含めて被害を軽減し、早期復旧復興を可能にすることを目標として、最大級の高潮や高波の予測精度の向上、リアルタイム予測技術、被害の予測と対策工法などの検討が必要である。

3. 高潮・高波の予測技術

東京湾や伊勢湾のような大都市を抱える閉鎖性内湾の高潮については、これまでに高潮予測モデルが構築され、巨大な台風が来襲した場合の高潮とそれによる浸水予測が可能となってきた。しかしながら、従来の予測モデルは1960年代に確立された計算法を基本としたものであり、台風の大きさと位置、中心からの距離をもとに気圧分布を仮定して計算する、きわめて簡単なモデルであった。そのため、複雑な風速場の下での高潮推算に関しては推定精度が十分ではなく、また、2014年に根室に被害をもたらした低気圧による高潮などには適用が困難であった。そこで、港空研では現在、高潮・高波の予測精度向上のためにより詳細な風場を取り入れ、台風以外の高潮にも適用できるよう、図2のように局地気象モデルWRF (Weather Research and Forecasting Model、米国大気研究センターと米国海洋大気庁予測センターで開発された数値気象モデル)



を用いた新しい海象・海洋環境予測モデルの開発を行っている。具体的には以下のとおりである。

- 1) 局地気象モデルと気象庁が提供しているGPV (Grid Point Value) 気象予報により、沿岸域の気象のリアルタイムおよび追算モデルを導入。
- 2) 上記気象モデルと組み合わせた高潮・高波の推算モデルを導入。
- 3) 高潮・波浪の推算結果をもとに波浪変形計算を行い、越波や浸水域を推定。

なお、図2に示すとおり、本モデルで得られる流動場を生態系モデルに適用し、環境予測への利用も可能である。

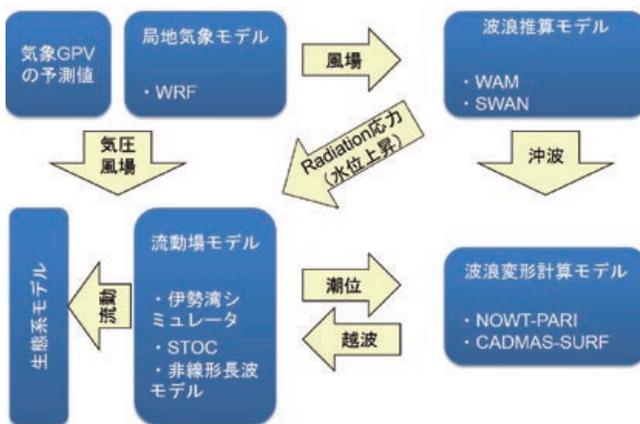


図2 新しい高潮・高波予測モデルの開発

高潮に対する適切な避難を可能にするためには、上述した新たな計算法を台風等来襲前の早い段階から高潮・高波予測に活用し、時間的猶予を稼ぐとともに、予測精度を向上させることが重要である。特に防潮水門のオペレーション等では観測データと同化させて予測値の信頼性を確保することが求められる。近年、東京湾のような内湾には潮位計の他に、HFレーダーのような流速を観測する観測システムなども設置されてきており、これらの面的データを駆使することも有効であると考えられる。

4. 構造物による高潮・高波対策

防波堤、護岸、防潮堤などの構造物の耐波設計は、基本的に再現期間50年あるいは100年程度の外力に対して安定となるよう設計が行われており、その設計法はほぼ確立されている。一方、設計の想定を超える最大級の高波・高潮に対しても、構造物が一気に破壊しないことで被害を軽減できる。そのためには、設計条件を上回る高潮や高波に対して、これらの同時生起性や相互作用（波による平均水位上昇、高潮による砕波波高の

増大等）を解明する必要がある。また、すでに耐津波設計において検討が進められているように、高潮と高波が重合して想定を超える外力が作用した場合でも容易に倒壊しないような構造物の粘り強い化が必要であり、設計を上回る外力に対する構造物の変形量予測が不可欠となる。現在、想定を超える高潮位・高波浪に対する構造物の挙動について、さまざまな水理模型実験や粒子法などを用いた数値シミュレーションを実施し、粘り強い構造物の設計手法の検討を行っている。

また、可動式構造物の開発も進んでいる。たとえば陸上における津波対策として、浸水時の浮力を利用して防潮堤開口部を自動的に閉鎖するフラップ式陸閘が、徳島県撫養港海岸（図3）などで実用化されており、これは高潮対策としても有効である。通常時は倒伏した状態にあるため通行の妨げにならないこと、浸水時には浮力によって自動的に起立するため動力や人力による操作が必要ないことなどのメリットがある。フラップゲート式構造物は、もともと高潮対策として防波堤の開口部に設置する可動式防波堤として開発が始まったものであり、すでに実海域実証試験も行われており、今後は海中における高潮・高波対策としての活用も期待される。



図3 フラップゲート式陸閘(徳島県撫養港海岸桑島瀬戸地区)

5. おわりに

東日本大震災で目の当たりにした津波と違い、大きな高潮災害となると50年以上前の伊勢湾台風まで遡ることになり、高潮の危険性については、必ずしも一般の人々に十分には伝わっていないのが現状である。高潮・高波の予測精度が向上し、浸水域が細かく計算できるようになれば、その結果を映像で示すことが可能となる。たとえば、これをスマートフォンのアプリなどのIT技術と組み合わせ、浸水範囲を地図上で示すことができれば、高潮対策に対する認識が一気に広がり、避難にも活用できるようになる。今後はこうした活用も念頭に入れて、研究・開発を進めていく必要がある。



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

岩波 光保 東京工業大学 環境・社会理工学院 教授

1. ライフサイクルマネジメントに基づく戦略的維持管理

予防保全に基づく港湾施設の戦略的な維持管理の推進のため、ライフサイクルマネジメント (LCM) の概念が提唱されている (図1)。LCMに基づく維持管理では、定期的な点検診断により劣化・損傷を効率的かつ早期に発見し、劣化・損傷が構造物の保有性能に及ぼす影響を定量的に評価し、さらに将来の性能低下を予測した上で、適時適切な対策を計画・実施していく。

このうち、施設に発生している劣化・損傷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対策の選定・実

施の成否に大きく関わるため、点検診断技術の高度化はLCMに基づく戦略的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、港湾施設の場合、詳細な調査や測定が実施しにくい環境にあるため、最も有力な点検診断手法は、施設外観の目視調査に限られているのが現状である。ただし、目視調査は、実施者の主観等によって結果が大きくばらつくなど、必ずしも定量的で信頼性の高いデータが取得されているとはいえない。LCMに基づく維持管理を実現するためには、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を開発し、普及していくことが強く求められている。そこで本稿では、最近の港湾施設の点検診断技術の開発動向と今後の展望について述べることにする。

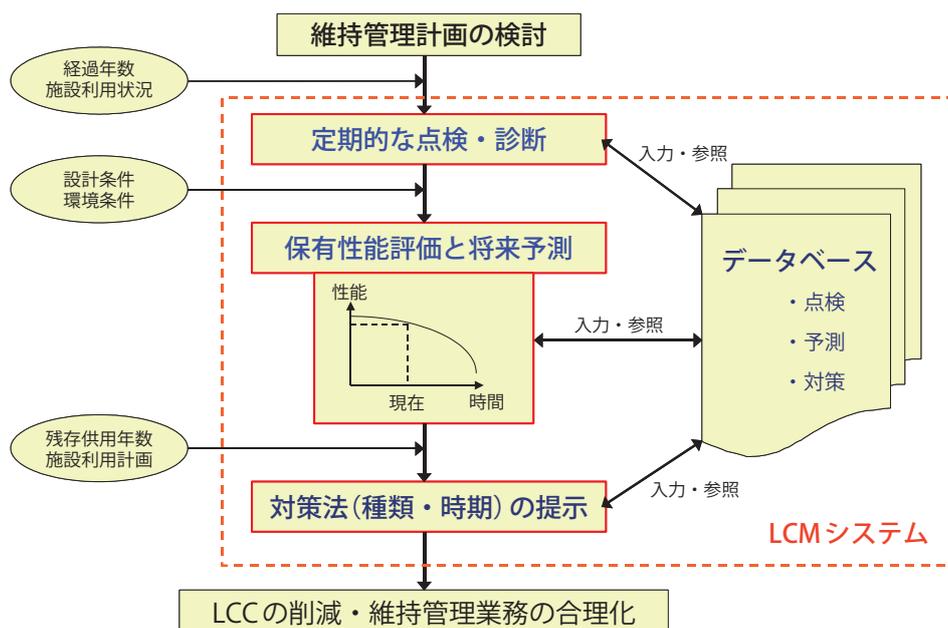


図1 ライフサイクルマネジメントシステム



2. 栈橋上部工点検用ROVの開発

港湾施設の中でも、著しい劣化・損傷が頻繁に認められる構造物として、栈橋上部工コンクリートが挙げられる。栈橋上部工コンクリートの定期点検診断は、小型ボートなどで栈橋下に入り込み、船上からコンクリート表面の劣化・損傷を目視調査することが一般的である。しかし、船上からの目視調査は、波浪や潮汐等の海象条件、船舶の係留や荷役作業等の施設の利用状況に大きな影響を受けてしまう。そこで、遠隔操作により無人で栈橋上部工コンクリートの外観を撮影し、劣化・損傷の発見・診断に資する画像データを取得するためのROV (Remotely Operated Vehicle) を用いた点検診断システムの開発が港湾空港技術研究所を中心に進められている¹⁾。ROVを用いた点検診断(図2)の利点として、次の点が挙げられる。

- ・気象・海象条件の影響を受けずに作業が可能であり、点検者の安全を確保できる。
- ・船舶の係留や荷役作業等の施設の利用状況に左右されずに作業を実施できる。
- ・撮影画像をリアルタイムに確認でき、それと同時に記録が可能である。

ここで、栈橋上からのROVの操作や点検診断結果の記録のためには、栈橋下にあるROVの位置情報が不可欠である。しかし、栈橋下ではGPSの信号を受信できないため、GPSによるROVの位置把握はできない。そこで、現在開発中のROVでは、音響測位機能とオプティカルフローによる簡易運動推定機



図2 ROVによる栈橋下面の点検診断状況

能を付加して、ROVの遠隔操作を支援すると同時に、撮影画像とROVの位置情報を自動的に関連付けるシステムを構築して、操作性と利便性の向上を目指している。これまでに実施された現地実証試験により、測位と地図表示に基づくROVの遠隔操作が可能であること、ROVを利用して栈橋上部工コンクリート下面の劣化・損傷を的確に撮影できることが確認されている。今後は、種々の条件下における現地実証試験を積み重ねていくことで、実際の運用を想定したROVの操作・運用アプリケーションの整備やROVを用いた点検診断マニュアルの作成が進められる予定である。

3. X線による鉄筋の残留応力推定技術の開発

一般に、港湾施設の定期点検診断は、外観の目視観察により行われるが、この場合、得られる情報が定性的で主観的であるため、構造物の残存性能を定量的かつ客観的に評価することは難しい。構造物の残存性能に基づいて適時適切な対策を計画・実行していくためには、例えば、構造物を構成している材料の残留応力に関する情報があると、性能評価やその後の対策検討を的確に進めることができる。そこで、X線を用いて、コンクリート中の鉄筋の残留応力を簡便に推定する技術の開発が進められている²⁾。

金属などの多結晶材料の結晶粒は、原子が規則的に配列した結晶格子で構成されている。その結晶粒に応力が作用すると結晶格子面の間隔が変化する。X線応力推定法は、この格子面間隔の変化を、散乱X線の回折現象に着目して測定しようとするものであり、金属分野ではほぼ確立された手法である(図3)。使用機器についても、小型化が図られ持ち運びが可能で、

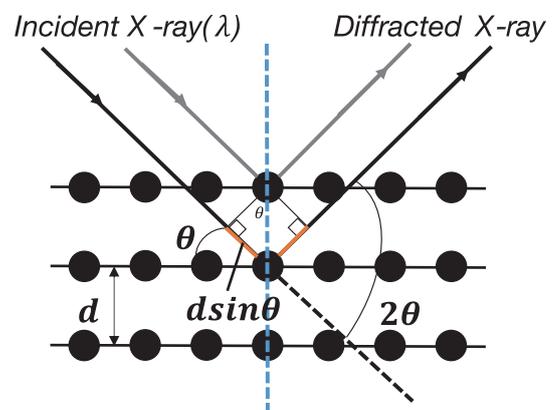


図3 X線回折の原理

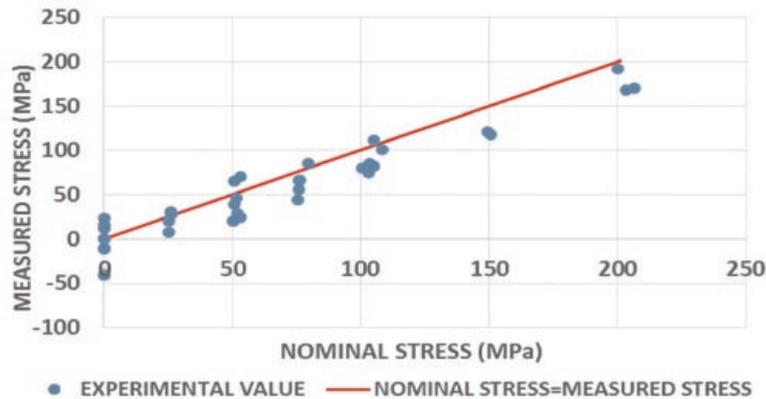


図4 鉄筋の応力推定結果

低出力型のものが市販され、周辺環境への安全性も確保されている。

図4に、引張応力を作用させた鉄筋 (SD345-D16) を対象にX線を照射して発生応力を推定した結果を示す。このように、実際に作用させた応力と推定された応力はほぼ一致しており、この手法を用いてコンクリート中の鉄筋の応力を推定できると考えられる。この技術を適用しようとした場合、コンクリートをはつりとして鉄筋を露出させる必要があるものの、鉄筋を破断させることなく鉄筋の残留応力を非破壊で推定することができる。構造物の詳細調査の段階での適用を想定している。今後は、推定精度の向上を目指して、鉄筋種別、鉄筋表面の処理方法、測定位置などが応力推定結果に及ぼす影響を調べるとともに、試験方法の標準化を目指していく必要がある。

4. 今後の展望

本稿では、港湾施設の維持管理の合理化に資する技術開発の事例として、目視調査の代替技術としてのROVを用いた点検診断技術、ならびに、目視調査の補完技術としてのX線を用いた残留応力推定技術を紹介した。港湾施設に限らず、社会インフラの合理的な維持管理の第一歩は定期点検の確実な実施である。現状では、定期点検は構造物外観の目視調査に頼らざるを得ないが、本稿で紹介したような代替技術や補完技術を適切に組み合わせて、目視調査を効率的かつ効果的に実施する必要がある。また、本稿では触れなかったが、構造物の不可視部分の状態をいかに評価するかも課題であり、これを可能とする調査技術の開発も待たれるところである。

港湾施設のLCMに基づく維持管理を実現させるためには、

本稿で取り上げた点検診断技術だけでなく、点検診断結果に基づく性能評価・予測技術、補修・補強・更新に係る工法・技術の開発も急がなければならない。さらには、開発された新技術は現場で活用されて初めて花開くものであるため、新技術が現場でスムーズに導入・普及していくための環境を整えておくことも重要である。そのためには、新技術が導入しやすい契約・発注制度の導入や関係者の意識改革などが不可欠である。

【参考文献】

- 1) 田中敏成, 加藤絵万, 野上周嗣, 平林丈嗣: 栈橋上部工点検用ROVの提案と現場実証試験によるその運用支援機能の検証、港湾空港技術研究所資料、No.1303、2015.3.
- 2) 黒川直哉, 田中樹由, 岩波光保: X線を使用した応力測定技術の既存構造物への適用、土木学会第71回年次学術講演会講演概要集、V-570、2016.9.



特集

これからの港湾分野における技術開発



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

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

建設等副産物の有効活用を目指したリサイクル材料の利用のための初めてのガイドラインができたのが平成13年3月であり、その後「リサイクル技術指針」の制定と改定がなされ、「ガイドライン」と「技術指針」を統合するものとして、平成27年12月に「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン」¹⁾が改訂された。この15年の間に、副産物等のリサイクルにかかわる環境は大きく変化し、リサイクルできる副産物の種類が増え、技術も格段に進歩してきた。ここでは、建設・産業副産物のリサイクルについて主として地盤材料としての活用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たい。

2. 建設副産物等の有効利用の歴史

港湾建設では、副産物の有効利用を促進しようとする非常に強い流れがあった。その理由として、港湾工事が大量の地盤材料を必要とするというものであるということによるものと思われる。関西国際空港の建設工事では大量の土砂が必要であり、そのために、大きな山を削ったという状況であった。このことに対する強い反省があり、また、大量の浚渫土砂の処理に苦慮していたということが背景にあったものと思われる。一方で、産業界からも、港湾エリア内で大量に発生する石炭灰や鉄鋼スラグを輸送費と大量使用の観点から港湾エリアで使いたいという要求があった。すでに昭和52年には港湾技術研究所で高炉水砕スラグの有効利用に関する研究を始めている。

また、平成の初期には、老朽化施設の補修工事が検討されており、その検討結果から、既存の地盤材料の性質とは異なる性質を持つ地盤材料が必要という結論が得られており、新材料の

開発の機運が高まっていた²⁾。このこともあって、この頃から、浚渫粘土、コンクリート塊、石炭灰、高炉水砕スラグの有効利用についての研究が港湾技術研究所で始められた。これらの材料が研究材料の中心となったのは、産量が多く、地盤材料としての利用が適している可能性が高いからであった。

その後、廃棄物処分場の逼迫、循環型社会形成推進基本法の制定などの外的要因もあり、多くの副産物が様々な工夫で利用されることになった。

表-1に、浚渫土を含めて、主たる建設・産業副産物の年間産出量の概略値を示した。これらの副産物の多くは、それなりに有効利用されているが、今後より適切な方法で利用されることが期待されている。この点は重要なことで、副産物の利用に関する技術はまだ若い技術であることから、これからますます成長させなければいけない技術であるといえる。この技術を発展させるためには、関係する技術者の想像力と知恵が重要であると考えている。

3. 地盤材料としての建設・産業副産物

建設・産業副産物を港湾工事に地盤材料として活用しようとする場合、大量に産出することと加工・運搬にあまり費用をかける必要がないことが重要である。

また、品質のばらつきが少ないことが重要である。副産物はそのものを産出することが目的で作られたものではないため、その品質管理に手間と費用がかけれないケースが多いと思われるが、積極的に副産物を利用しようとする際には、品質を安定させることが大変重要である。

地盤材料は利用用途によって要求される性質が異なる。表-2に地盤材料が用いられる用途について地盤材料に要求される物理的・力学的性質を示した。ここに示した要求される性質

表-1 主な建設・産業副産物の年間産出量

建設副産物	浚渫土砂	3000万トン	
	建設発生土	2億8000万トン	
	アスファルトコンクリート塊	2600万トン	
	コンクリート塊	3100万トン	
	建設発生木材	500万トン	
	建設汚泥(シールド, 場所打ち杭など)	660万トン	
産業副産物等	鉄鋼スラグ	高炉水砕スラグ	2500万トン (70%以上水砕化)
		高炉徐冷スラグ	
		製鋼スラグ	1370万トン
	非鉄金属スラグ	銅スラグ	300万トン
		フェロニッケルスラグ	300万トン
		亜鉛スラグ	19万トン
	石炭灰	フライアッシュ	1230万トン
		クリンカーアッシュ	80万トン
	カキ殻		15万トン
	ホタテ殻		50万トン
	エコスラグ(一般廃棄物・下水汚泥溶融固化物)		80万トン
	破碎瓦		2万4千トン

表-2 地盤材料に求められる性質

用途	要求される性質
サンドコンパクションパイル	砂状のもの。ダイレータンスーが大きい。固化する材料は時として使用できない。
ドレーン工法	透水性が高いこと
捨石マウンド	巨礫。摩耗、破碎しにくい。かみ合わせがよい。
裏込め	土圧低減のためには、高強度が要求される。粘着力があるとよい。自重が軽いこと。
裏埋め	自重が軽いと沈下が減少。圧縮しにくいこと。
中詰め	固まらないもの。単位体積重量が大きいもの。
カウンターウェイト	単位体積重量が大きいことが望ましい。海中で利用する場合には、粒径が大きいこと。

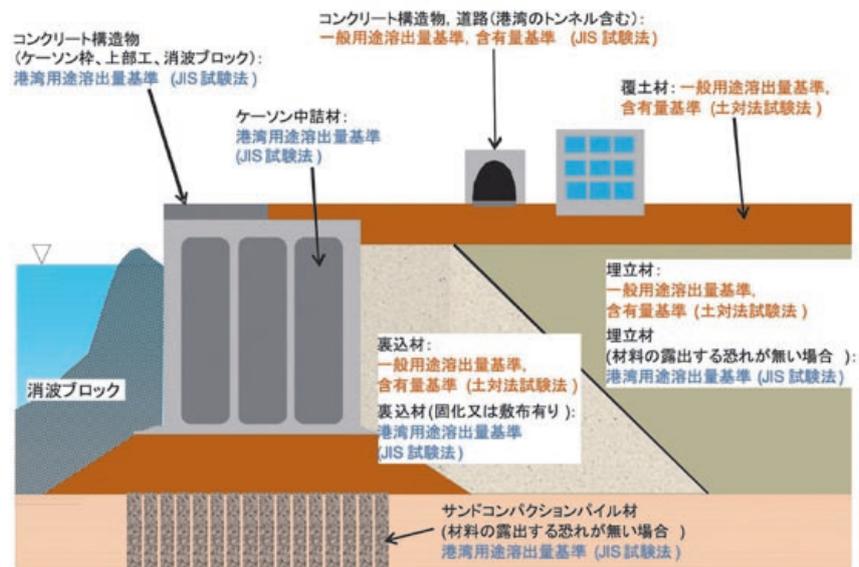


図-1 リサイクル材料の利用用途の違いによる環境安全品質と検査方法の違い(国立環境研究所 着倉宏史氏提供)



は、技術基準や共通仕様書には明記されておらず、技術者同士の共通認識にとどめられており、これらの性質のすべてを数字で縛ることは適切ではないものが多い。このため、副産物を利用して新たな地盤材料を作成しようとするとき、目標をどう定めてよいかあいまいとなっているところがある。

要求される性質の例として、裏込めに用いる場合を考えてみる。裏込め材は、土留め構造物に作用する土圧を低減することが目的である。土圧を低減するためには、 ϕ 材(例えば砂質土)では、主働土圧係数を低下させること、一方、c材(例えば粘性土。設計で $\phi=0$ とする材料)では、粘着力あるいはせん断強さを大きくすることが必要である。ところが、せん断抵抗角 ϕ を変化させたときの主働土圧係数の変化量は意外と小さいのに対し、c材のせん断強さが土圧低減に及ぼす効果は大きい³⁾。このため、これまでに、浚渫土を軽量混合処理土や管中混合処理土として利用する研究がすすめられた。これらは、いずれも $\phi=0$ の下で、せん断強さを大きくすることで土圧を低減することが目的とされたものがある。なお、軽量化による土圧低減効果は比較的少ないのが実状である³⁾。

一方、捨石マウンド材として人工材料を用いるのは現状ではかなり難しい。ケーソンからマウンドに作用する端し圧は最大で700kN/m²程度になり、このような荷重を繰り返し受けたときでも粒子破砕や摩耗が生じないことが材料に要求される条件となるが、コンクリートであっても天然石同等の性質にするのは難しい。

4. 環境問題

副産物から作られた人工地盤材料では、環境に対する影響が懸念される。例えば、浚渫土では、セメントを添加することになる。また、副産物の中には、有害な化学物質を含むことがある。さらに、近年では、建設発生土であっても、自然由来の汚染物質の存在が問題となっている。これまで、人工地盤材料の利用にあたっては、このような化学的影響については不明な点が多く、十分な議論がされてこなかったが、平成27年12月に改訂されたガイドライン¹⁾では、評価基準が明確化されている(図-1参照)。この分野については、今後とも調査研究が必要であると思われるが、ガイドラインに記載された内容の精神を汲むことによって対処可能である。

5. 耐久性

人工材料では常に耐久性が問題となる。しかも、多くの場

合、劣化メカニズムが不明なことが多く、促進試験が実施できない。軽量気泡混合処理土の場合、微細な気泡を含んでおり、その気泡がどのくらいの時間で水に置き換わるかが問題であった。利用が開始されてから10年たったところでの調査によって、ある条件を満たすと気泡の水への置換速度がかなり遅いことが分かった⁴⁾。当初のマニュアルで気泡の半分が水に置き換わってもよいというやや安全側に偏した仮定をしておいたことが問題を生じさせない結果となった。人工地盤材料を利用するには、今後とも劣化した場合にどのようなことが起こると考えられるかを事前にチェックしておき、モニタリング計画を策定することが必要となる。

6. 災害廃棄物の活用

東日本大震災では、津波堆積物を含む大量の災害廃棄物が産出された。これをどう処理し、どう活用するかは非常に大きな問題であったが、多くの廃棄物は分別処理をすることで有効利用が可能となった。ただし、最後に有機分と細粒分を含む材料の有効利用が困難という状況になった。一昨年度の鬼怒川決壊、昨年度の熊本震災でも多くのがれきが発生しており、これらを迅速に有効に利用することが重要課題であることが認識されている。このことから、今後は、これまでに得てきた副産物の有効利用の知見を基に、災害廃棄物の有効利用につながる研究が必須であると考えている。

7. おわりに

本文中でも触れたが、建設副産物等の有効活用技術はまだまだ若い技術であるため、今後大きく発展することが期待されている。各担当技術者が副産物の有効活用のために働かせる知恵が、よりよい社会を構築するための基本になるものと信じている。

【参考文献】

- 1) http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000054.html
- 2) 片岡真二高橋邦夫、横田弘、菊池喜昭、石原弘一、梶原修治(1994): 港湾構造物の改良・更新における技術課題の検討、港湾技研資料 No. 781, 98p.
- 3) 菊池喜昭(2012): 港湾における産業・建設副産物の再生利用に関する現状、リサイクルポート推進協議会資料.
- 4) 菊池喜昭(2012): 人工地盤材料の長期耐久性とその維持管理、地盤工学会誌第60巻第11号、総説, pp. 1-3.



海洋開発を支援する インフラ技術開発の動向と展望

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
新技術研究開発領域 計測システム研究グループ長

1. はじめに

海洋開発を支援するインフラ関連技術として、情報化施工、遠隔操作による建設ロボットの導入がある。例えば大水深、離島、栈橋下など、施工時期や時間が限定されたりする場所、あるいは環境や海象条件により人がアクセスしにくい場所に対して、大変有効である。

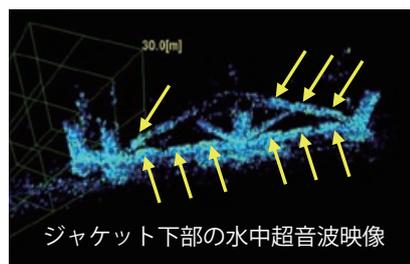
本稿では、情報化施工、遠隔操作による建設ロボットのうち、三次元音響ビデオカメラ、遠隔操作式建設ロボット及び航走体(ROV)の技術開発に焦点を当て、それらの動向と今後の展望について述べる。

2. 音響ビデオカメラの開発

港湾構造物は水面下に存在する部分が多い。施工中のモニター、施工後の検査、維持管理としての点検、被災後調査などが行われている。その多くの水中作業は潜水士に依存しており、大都市部辺縁の港湾内での濁りや作業による底泥の撒き上げによる濁りのある中でも作業は行われている。しかしながら、作業の効率化、安全性の確保のために、潜水士の目視に代替する技術あるいはサポートする水中視認技術の必要が望まれた。リアルタイムの音響可視化装置としては、1990年代後半のDIDSONが有名である。水中を動画像で視認可能となり大変画期的であったが、二次元表示であるため画像内の正確な位置情報や形状の取得は不得手であった。

そこで、港空研では、三次元音響ビデオカメラを含む、水中視認システムの開発を行ってきた。本映像装置の最大の特徴は、人間の視認感覚に近い三次元空間をリアルタイムに表示することであり、これは映像内の対象物の理解しやすさを高めている。取得した音響データを測量データとして提供することも可能である。4-DISS (2007-2011) の代表的な撮像例を図

1に示す。三次元音響ビデオカメラを船舶に搭載し、移動しながら撮影した場合(モザイク表示)である。他に、音響ビデオカメラを固定し、いわゆるモニターをする表示が可能である。4-DISSは所望の性能は満たしたが、水中部の小型・軽量化と高解像度化への要望が高く、港空研内でそれらの改善に向けた要素検討の成果を基に、2014年度よりSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)に着手した。水中部の小型・軽量化と近距離を高解像度で見える機能の充実化を図り、視程距離0.5~30m程度、最大視野角縦40度×横80度、解像度縦横共0.25度であり、耐水深は3000m、100m用の2種類という仕様である。特筆すべきはこれまで実現されていなかった、極至近距離を詳細に見るという仕様であり、例えばROVに搭載されたロボットアームの細かな作業をモニターするなど、新しい使用の展開が期待される。今後の予定としては、2016年度末には開発がほぼ終了し、海上実験を予定、2017年度はソフトウエ



ジャケット下部の水中超音波映像

図-1 音響ビデオカメラ 4-DISS(2007-2011)



ア開発と海上実験、2018年度以降は民間への技術移転の後、販売を予定している。

3. 港湾工事における遠隔操作施工技術について

河川の氾濫などの自然災害が多い我が国において、治水工事等の重要性から水中建設機械の開発が行われ、1968年には河川工事用の水中ブルドーザーが、1972年には水陸両用油圧ショベルが開発された。1990年台には、港湾工事の急速施工への対応と水中作業の安全性向上のため、海洋土木会社各社が完全水没型水中油圧ショベルを開発し、主に基礎マウンド均し作業で用いられてきた。これらの利点の一つとして、エンドエフェクタを変更すれば様々な作業に適応可能となる。たとえば、東京湾航路の安全確保のために実施された第三海堡撤去工事では、エンドエフェクタとしてウォーターエゼクタを搭載し、堆積土砂の除去作業に用いられた実績がある。他にも、地盤を破砕するためのブレードやカッターヘッドなど様々なエンドエフェクタアタッチメントが開発され、水中工事における様々な重作業に使用されている。

当所においては、この水中建機を対象とした遠隔操作施工に関する研究を実施しており、長崎県神ノ島における実海域試験では防波堤基礎マウンドの荒均し作業(±30cm)を無人遠隔操作で実現している。現在、この遠隔操作支援システムの地形表示機能(図2)を高度化し、水中施工に対応したマシンガイダンスについて、2018年度の実用化に向けて開発に取り組んでいる。将来的には水中工事の情報化を目標とし、1に述べた音響ビデオカメラを用いた外界計測と統合する計画である。

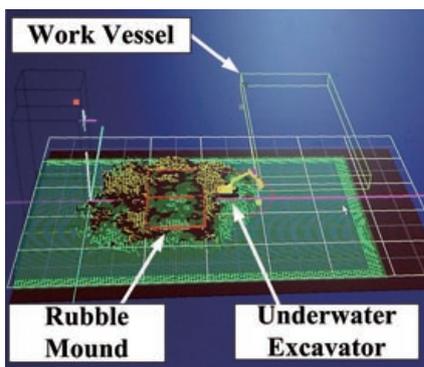


図-2 マウンド地形の呈示画面

4. ROVを用いた栈橋上部工下部の点検システムの構築

栈橋上部工の一般定期点検診断のうち梁や床版底面の点検は、潜水士や船外機船等が直接栈橋上部工の下に入り、潜水士や船

上の作業員の目視によって行われている。その実施には潮汐や波浪などの環境条件と施設の利用状況に制約を受けることから、限られた時間で効率的に行う方法の開発が求められていた。

このような現状を鑑み、筆者らは遠隔操作により水中部無人で栈橋上部工下面の変状を撮影し、その劣化度判定に資する画像データを安全かつ効率的に収集するROV (Remotely Operated Vehicle) 型点検装置とその操作・運用支援システムの研究開発に取り組んでいる。実証試験機を図3に示す。この装置は水面を泳ぎ(半没水型ROV)、搭載した二種類の上方撮影カメラによって無人で栈橋上部工下面を撮影し、その劣化度判定に資する画像データを収集するものである。

この一連の取り組みの中で、見通しの効かない栈橋下における点検装置の遠隔操作に対して、その位置情報の把握が有効であることを示してきた。このような場所では、GPSでの位置推定は可能ではあるものの、距離が長くなれば誤差が蓄積し、信頼度は低下する。そこで、新たな試みとして、実証試験機上に設置した2台のLRF (Laser Range Finder) の計測結果を合成して、栈橋下の杭の位置を推定する方法について検討し、室内実験において良好な結果を得た。本成果を搭載した栈橋上部工点検用ROVを用いて、本年度3月に海上実験を行う予定である。



図-3 栈橋上部工点検調査用ROV

5. おわりに

海洋開発を支援するインフラ関連技術の事例として、三次元音響ビデオカメラ、遠隔操作式建設ロボット及び航走体(ROV)に焦点を当て、それらの動向と今後の展望について述べた。これらは総じて、ICT (i-Construction) の重要な要素であり、技術が建設現場で活用されてゆくことで、省人化・担い手層の拡大、生産性の向上に直結すると期待している。

謝辞

SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「次世代海底資源調査」「港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発」の一部として実施したものです。

特別講演

台風の強度・構造の解析の現状と課題

ご講演者：気象大学校 北島尚子 教授

昨今、台風の被害が甚大になってきています。今後、地球温暖化による気象変動の影響でさらに強い台風が襲来する恐れがあるとの指摘もあります。今回の講演では、台風研究の第一人者である気象大学教授の北島尚子先生に、台風の解析とその新たな試みについてご講演をいただきました。本稿ではそのご講演をまとめさせていただきました。講演は平成28年11月24日に行われました。

1 台風とは

図1は「世界の熱帯低気圧 (1851-2006)」です。1851年という日本では江戸時代ですが、これはアメリカで作成したもので、南北戦争時代からの歴史的な資料をひも解いてつくっているようです。時代や海域によりデータや解析方法はまちまちですが、大まかには現状の分布と同じと考えて良いと思います。この図から北大西洋と北西太平洋が非常に多いのがわかります。北西太平洋の特徴は、まず年間20個以上と数が多く、しかも強くなるものが多いということです。さらに、強いままで割と高緯度まで進んでいきます。ちょうど日本がそこにあるというわけです。

台風の監視・警報発表機関としては、どこが警報を発表するか、WMO (世界気象機関) によって決められています (図2)。北西太平洋については日本の気象庁が責任を持っています。警報発表には進路の予報が重要ですが、近年は強度の予報も求め

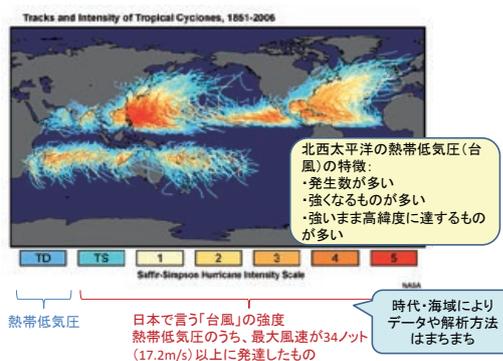
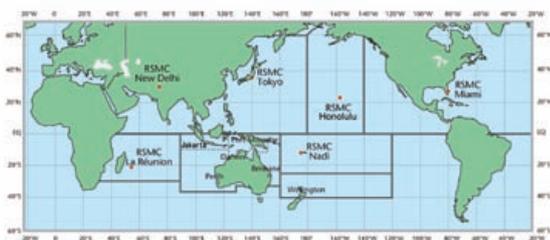


図1 世界の熱帯低気圧 (1851-2006年)



RSMC: 世界気象機関 (WMO) によって指定された地域特別気象センター (Regional Specialized Meteorological Centres)
北西太平洋はRSMC Tokyoである日本気象庁が責任を持っている。
各国気象機関 (例えば韓国・中国・フィリピン等) もそれぞれ自国の防災のための台風解析・警報発表を行っている

図2 台風 (熱帯低気圧) の監視・警報発表機関

られており、そのためには実況の強度の解析も精度良く行う必要があります。

台風の定義を示したのが図3です。昔と違って「弱い」という言葉が使えなくなったので説明しづらい部分がありますが、風速が17m/s以上のものを台風と言い、風速によって分類がされています。1951年から2015年までの台風発生数、日本への接近・上陸数の変動はあまりないと言っていいでしょう。また台風の24時間後の進路予報の誤差は、30年前と比較すると半分程度の100キロほどとなりました。ただ、人的被害は減っているのですが、経済損失が大きくなっているのが現代の台風災害の特徴です。

台風の典型的な構造としては、中央に「眼」があり、それを覆う「眼の壁雲」があり、その周辺には「レインバンド」という雨の帯があります (図4)。成熟期の台風では、眼の壁雲付近でもっとも風が強くなります。猛烈な風が吹くことがあります、暴風の範囲

強さの階級	(中心付近の) 最大風速	船舶・国外機関向けの英文情報	
		Category	Sustained winds
熱帯低気圧	<17m/s(34kt)	Tropical Depression	-33kt
台風	17m/s(34kt)以上、33m/s(64kt)未満	Tropical Storm	34-47kt
強い台風	33m/s(64kt)以上、44m/s(85kt)未満	Severe Tropical Storm	48-63kt
非常に強い台風	44m/s(85kt)以上、54m/s(105kt)未満	Typhoon	64kt-
猛烈な台風	54m/s(105kt)以上		

kt: ノット

大きさの階級	風速15m/s以上の半径
大型 (大きい)	500km-800km
超大型 (非常に大きい)	800km以上

図3 日本気象庁が発表する台風情報中の台風の分類

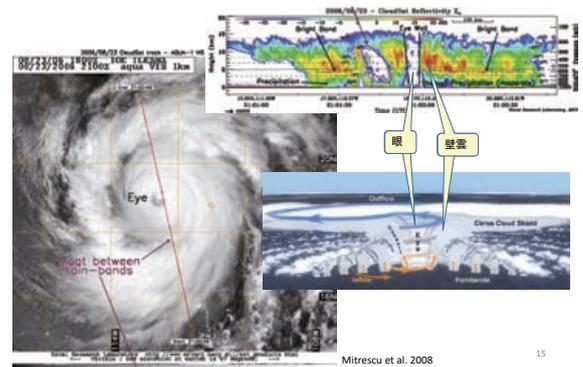


図4 極軌道衛星搭載レーダーによるハリケーンの断面

は比較的狭いということが言えます。これに対して、温帯低気圧化の過程にある台風および温帯低気圧化後は暴風の範囲が広がります。そこで、中心気圧・最大風速の値に加えて、どこで風が強いのかといった、台風の特徴を踏まえた対策が必要となります。

2 台風の強度・構造解析の現状

世界の気象機関で台風の強度推定によく使われているのが「ドボラック法」です(図5)。これは静止気象衛星観測による雲のパターンから推定する方法です。観測頻度が高く、常時利用できるのが特徴です。上層の雲の状態によって壁雲の様子が見えなかったりすることがあるので、誤差が大きくなることもあります。台風は多くの場合は海上にあり観測データが少ないので、どうしても衛星観測が中心になります。

ほかに、極軌道衛星のマイクロ波センサーによる観測もあります(図6)。マイクロ波放射計では上層雲に隠された雨雲の状態がわかります。マイクロ波探査計では上空の気温の観測と台風の中心気圧の推定が可能です。マイクロ波散乱計では海上の風速が推定できます。極軌道衛星は比較的低空を飛んでいるので、多様なセンサーで観測したデータを利用することができます。しかし一方で観測頻度が低いということもあります。つまり、うまく台風の上を飛んでくれないとデータが集積できないということです。それで、常時観測できる静止衛星と、詳細な観測のできる軌道衛星の観測をうまく組み合わせて使うことが重要です。



図5 海上にある台風の強度推定: 静止気象衛星観測による雲パターンから推定(ドボラック法)

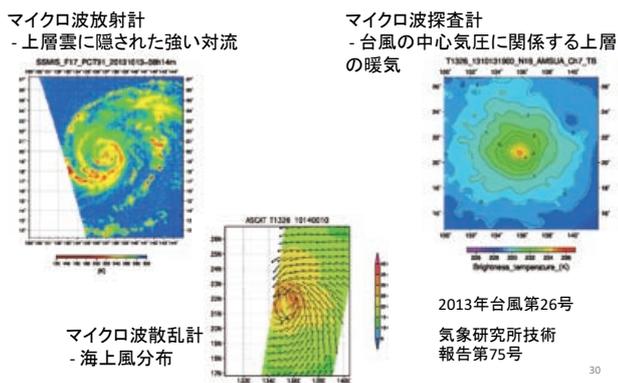


図6 極軌道衛星による観測 マイクロ波センサー: 雲を通して観測

3 台風の強度解析に関する新たな試み

新しい台風の強度・構造解析の試みとして、ドップラーレーダーで台風を解析しようという動きがあります(図7)。これは、雨や雪の粒子に電波を当てて、反射されて戻ってくる電波から降水強度や降水粒子の動きを観測する仕組みです。粒子から反射される電波は粒子の大きさや数、さらに粒子の状態によって強度が変化します。また、粒子の動きによって周波数が増えるので、それを用いて降水域に吹いている風の分布と台風の中心気圧が推定できます。

利点は台風の中心がレーダーサイトから150キロほどの範囲に入ると解析が可能になることであり、課題は、解析されるのが高度2キロの風の分布であり、地上風の速度は推定できないことです。今後の使い方には検討が必要ですが、これまでわからなかった情報が得られる可能性もあります。

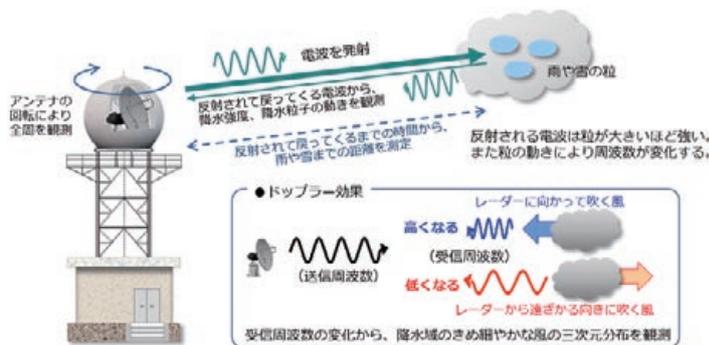
本日の話をまとめてみます。成熟期の台風では、眼の壁雲付近の狭い範囲で猛烈な風が吹くのにに対して、温帯低気圧化中の台風では広い範囲で強い風が吹きます。台風は発達ステージによって異なる特徴を持つので、それに対応した対策が必要となります。

海上にある台風の強度解析は、衛星を使った推定に大きく依存しているため、静止気象衛星と極軌道衛星をうまく組み合わせることで解析する必要があります。

さらに最近では陸上に展開しているドップラーレーダー網の観測を使った台風強度推定法の開発が行われており、それによって沿岸に接近する台風の強度解析の精度が向上することが期待されています。

地球温暖化によって、台風の発生数は少ないが強い台風が多くなることが何人かの研究者から示唆されています。しかし、台風の観測技術や解析技術の進歩も大きいので、過去の台風強度との比較には課題が多いことにも注意を払うべきだと考えています。

以上です。ご清聴いただきありがとうございました。(拍手)



<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/radar/kaisetsu.html>

図7 ドップラーレーダーによる観測

ガンパイル工法

硬質地盤・岩盤へ鋼杭を直接打設する技術

ガンパイル工法研究会

(株式会社大林組, 東亜建設工業株式会社, JFEスチール株式会社, 株式会社ガンケン)

杭の載荷試験などの実証試験に基づき硬質地盤・岩盤における杭の支持力特性を検証し, ガンパイル工法を本設杭として適用するための設計施工技術を開発した。

置換と杭の建込みの二工程での施工が必要となる。一方、ガンパイル工法は、鋼杭を穿孔棒として岩盤へ直接打設できることから従来工法に比べて工期の短縮が可能で、軟岩から硬岩までの幅広い岩盤に対する鋼杭の打込み工法としてこれまで300件以上の採用実績がある。長時間の運転に耐えられる特殊パイプロハンマーを用い、低圧水ジェットで岩砕粉を除去しながら先端補強した鋼杭を打設するのが本工法の特徴である(図1)。これまで本工法は、施工完了後の杭の押込み・引抜き抵抗力の評価法が確立されていないことから、多くは栈橋基礎や締切りなどの仮設構造物に用いられてきた。しかし、近年、本工法の本設杭への適用要望が数多く寄せられたことから、ガンパイル工法研究会では、杭と硬質地盤・岩盤に生じる空隙にグラウトを充填することにより岩盤根入れ部で周面抵抗力が期待できる工法を開発するなど、本設杭としての適用拡大に取り組んでいる。

ガンパイル工法の概要

港湾施設の本設構造物の基礎工事では、硬質地盤・岩盤へ鋼管杭や鋼管矢板などの鋼杭の打設が必要となる場合があるが、通常の杭打ち工法では打込みが困難となるため、岩盤の先行削孔・砂

ガンパイル工法の特長

ガンパイル工法の特長を図2に示す。

専用の特殊パイプロハンマー ガンパイラー



長時間運転可能な水冷式電動パイラーです

打撃力を確実に伝える 低圧岩砕粉洗浄水装置



4MPa x 40ℓ/分程度の低圧&少量の水を使用します

硬質岩盤への打設を可能にする 杭先端高強度特殊鋼



耐久性に優れた高強度鋼で杭先端を守ります

図1 ガンパイル工法の3つの技術

施工設備が簡単

専用のパイプロハンマーのみで岩盤へ杭を打設するため、一般的な岩盤杭打ち工法に比べ施工設備がシンプルです。

施工管理が容易

一般的な岩盤杭打ち工法のような先行削孔が不要なため、施工管理が容易です。また、杭の貫入状況から、直接岩盤線(支持層)の深度が確認でき、確実な打止め管理ができます。

多様な施工能力

軟岩や硬岩に対して、様々な鋼杭(H鋼杭、鋼矢板、鋼管杭、鋼管矢板)に対応します。

水質環境に優しい

施工時に使用する洗浄水は、低圧で使用量も少なく濁水を少なくできます。また、ダウンホールハンマー工法のような潤滑油の排出もなく水質環境に優しい施工ができます。

杭抵抗力の評価

(一財)沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術の確認審査評事業で岩盤層における杭の抵抗力の評価を頂きました。
鋼管杭、鋼管矢板では岩盤層でグラウト充填を行うことで引抜き抵抗力が期待できます。

工期・工費縮減

岩盤に直接鋼杭を打設できることから、従来工法に比べて、工期・工費の縮減ができます。

図2 ガンパイル工法の特長

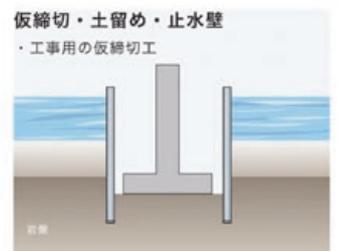


図3 主な用途

適用範囲

ガンパイル工法による本設杭としての適用範囲を表1に示す。杭と岩盤の空隙にグラウトを充填して周面抵抗力を期待する場合は、岩盤の一軸圧縮強度を 5MN/m^2 以上としている。ただし、強風化岩や亀裂の多い岩盤などグラウトの充填性が不明確な岩盤については別途検討を要する。

表1 適用範囲

項目	適用範囲
杭種	鋼管杭, 鋼管矢板
杭径	$\phi 318.5 \sim \phi 1500\text{mm}$
杭長	GL-45mまで
適用地盤	一軸圧縮強度 $q_u \leq 100\text{MN/m}^2$ の硬岩, 軟岩 (硬質粘性土を含む) ※グラウト充填する場合は 5MN/m^2 以上

主な用途

ガンパイル工法の主な用途を図3に示す。

施工方法

岩盤層で周面抵抗力を期待する場合は、図4に示す施工フローに従って杭外周と岩盤の空隙にグラウトを充填する。

従来工法との施工歩掛の比較例

従来工法との施工歩掛りの比較例を図5に示す。図5に示す条件下で34%の工期短縮が図れる。

施工バリエーション

ガンパイル工法は幅広い施工バリエーションに対応可能である(写真1)。

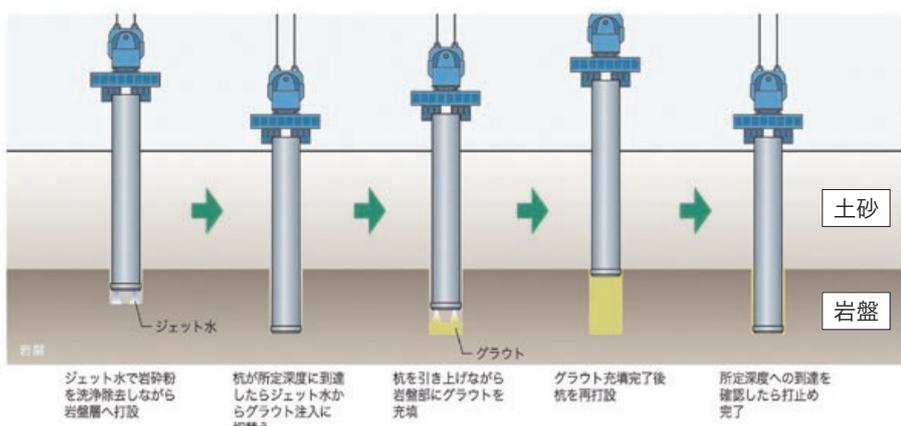
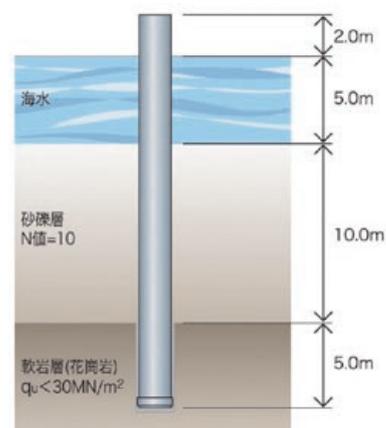


図4 グラウトを充填する場合の施工方法



【前提条件】

- ・支持層 軟岩層 ($q_u < 30\text{MN/m}^2$)
- ・鋼管杭 $\phi 800$, $t=14\text{mm}$, $L=22.0\text{m}$
- ・海上施工
- ・稼働時間 6.0時間/日
- ・専材工 (布設・撤去) は含まず

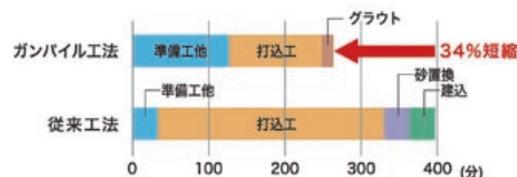


図5 施工歩掛比較例



写真1 施工バリエーション

SQS被覆システム

超速硬化ポリウレタン樹脂 吹付被覆システム

みらい建設工業株式会社 株式会社ダイフレックス

「SQS被覆システム」は、塩害・水密性（防水性）及びアルカリ骨材反応等の対策を目的とした表面被覆工法であり、港湾コンクリート構造物の劣化抑制に効果が期待される。

「SQS被覆システム」技術の概要

「SQS被覆システム」は、塩害・水密性（防水性）及びアルカリ骨材反応等の対策を目的とした表面被覆工法であり、新設および既設の構造物に適用できる。

「SQS被覆システム」で使用する被覆材は、20秒以内でゲル化し硬化するため、吹付け後の垂れを防止でき、数分で作業上の歩行が可能となる。また、被覆材の施工には自動監視された2液混合型機械化システムを使用することで、物性の品質を確保し、スプレー状で連続的に吹付け成膜する。このため、既設構造物における平面以外の立面、天井面のような複雑な部位でも垂れず、継目の無く、均質な塗膜が形成できる。



栈橋での施工状況

さらに、「SQS被覆システム」で使用する被覆材は、8mmの伸びにも追従し被覆材は破断しない。このため、コンクリート部材のひび割れに対して追従でき、被覆性能に優れる。必要に応じて、使用する顔料やトップコートにて希望する色に調合が可能であり、景観対策にも使用できる。

「SQS被覆システム」の適用場所

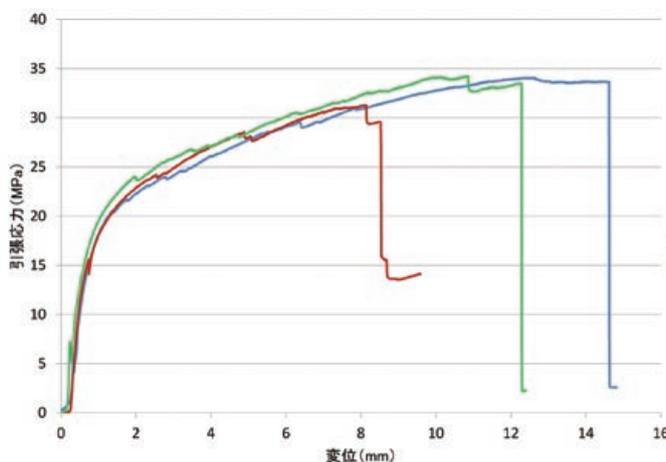
「SQS被覆システム」の用途は、港湾・空港施設等のコンクリート部材の塩害・水密性（防水性）及びアルカリ骨材反応等の対策である。

本工法（表面被覆工法全般）による、コンクリート構造物の劣化抑制効果は、表面の被覆を施した時点以降における、外界からの塩化物イオンや水分等の劣化因子の侵入を防止または抑制する効果によってもたらされる。このため、予防保全対策として適用される場合に、比較的に効果が高くなる。既設構造物内の鉄筋位置における塩化物イオン量が、将来的に腐食限界量に達する場合、事前に本工法を適用することにより、電気防食工法や大規模な断面補修を行わずに、施設を健全なまま保てる。よって、今後同時期に集中すると懸念されている、維持管理費用の平準化に寄与できる技術である。すでに、鉄筋腐食によるひび割れやコンクリートのはく離・はく落、塩化物イオンが多く侵入しているなどの劣化が顕著化している場合など、劣化機構、劣化過程によっては被覆工法単独では対応できない場合がある。

「SQS被覆システム」の性能

(1) 高いひび割れ追従性能

表面被覆材のひび割れ追従性試験にて、変位は最低値8mm（平均10.5mm）の結果となった。「表面保護工法設計施工指針（案）（土木学会コンクリートライブラリー119）」では、1.00mm以上を高追従と評価されている。このことから、高いひび割れ追従性能が確認できる。



ひび割れ追従性試験結果

(2) 長期耐久性

サンシャインカーボンアーク灯耐候性試験にて3,000時間の照射にて確認した結果、割れ・ひび割れ等の外観変化、光沢保持率、色差について基準を満たしている。「表面保護工法設計施工指針(案)(土木学会コンクリートライブラリー119)」では、照射2,000時間を高耐久と評価されていて、その1.5倍の照射時間でも問題無い事が確認された。このことから、長期耐久性が確認できる。

また、現時点において、北海道および宮崎県にける、施工後10年経過後の目視確認を行い、剥がれやひび割れが無いことが確認できた。



10年経過後の状況

(3) 早いゲル化硬化時間

A剤とB剤を混ぜ合わせ、混ぜ合わせできなくなるまでの時間をストップウォッチにて計測した。結果は平均で14秒以内であった。ゲル化硬化時間が非常に早いので、天井部や複雑な部位でも垂れが無く施工が可能である。この点は、室内試験や実施工



ゲル化硬化時間確認

にて確認されている。また、塗り重ね時間が比較的に短いため、次工程への時間短縮が可能である。

(4) 自動監視制御吹付システムによる施工管理

自動監視制御吹付システムにより、材料混合で一定時間管理基準値から外れる状態が続いた場合に、吹付けが自動で停止する。このため、不均質な塗膜の形成を事前に防止でき、品質確保や施工性の向上が図れる。また、ヒーティングシステムにて加熱加温して材料粘度を調整し、高出力のホースヒーターによって材料粘度を約100mPa・s以下に保温維持した材料を吹付けガンへ供給することが可能であり、材料を予備加温する必要がない点も施工性の向上に寄与している。なお、ホースは90m伸びるので、栈橋下面での施工などでは、上部にユニットを設置して施工が可能である。



自動監視制御吹付システム

施工実績

同工法は、港湾・海岸においては1997年から使用され始めて、2015年6月現在では77件の施工実績がある。

建設技術審査証明およびNETIS

「SQS被覆システム」は防水材料として、建設技術審査証明書の取得およびNETISに登録されている。

- ・建設技術審査証明書建設審証第0422号
- ・NETIS CB-980104-V

ポリビニルブチラル樹脂 および珪砂を用いた被覆鉄筋 〈サンドグリップバー(PVB-S被覆鉄筋)〉

株式会社大林組

エポキシ樹脂と同等の耐食性を有し、変形に対する追従性の高いPVB樹脂と、珪砂を用いることによって、防食性、付着性、施工性を併せ持った高性能な防食被覆鉄筋を開発した。

サンドグリップバーの概要

沿岸および港湾における鉄筋コンクリート構造物では、塩害による鋼材腐食を防止しなければならない。現在、塩害による鋼材腐食の防止対策として、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いることが一般的となっている。しかし、エポキシ樹脂塗装鉄筋は、施工時の衝撃や曲げ加工によって樹脂塗膜に欠損を生じる場合があること、コンクリートとの付着強度が低下することなどの課題があり、コンクリート打ち込み前に欠損部を補修しなければならない、重ね継手の長さを一般的な鉄筋の場合よりも長くしなければならないなどの制約を生じていた。ポリビニルブチラル樹脂および珪砂を用いた被覆鉄筋〈サンドグリップバー〉は、エポキシ樹脂よりも伸び率の高いポリビニルブチラル(PVB)樹脂で鉄筋を被覆し、さらにその周囲に珪砂を付着させることでコンクリートとの付着強度を高めた防食鉄筋である。サンドグリップバーを使用することで、施工に際する樹脂塗膜の欠損の発生頻度を低減でき、重ね継手の長さを延長する必要もない。サンドグリップバーの外観を写真1に示す。

サンドグリップバーの適用場所

サンドグリップバーは、鉄筋コンクリート構造物に用いる補強材として用いることができる。特に、サンドグリップバーは鋼材の腐食に対する抵抗性が大きいことから、塩害によるコンクリー

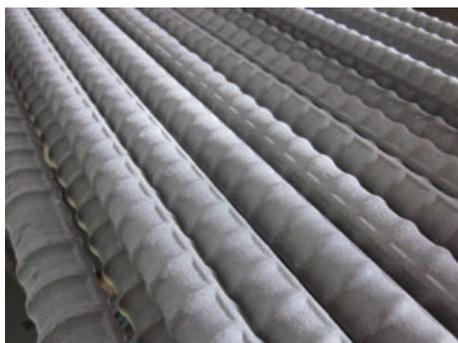


写真1 サンドグリップバーの外観

ト構造物の劣化に対する対策が必要となる沿岸構造物全般、港湾構造物全般、道路構造物等に適用することが有効となる。

サンドグリップバーの特徴・性能

サンドグリップバーの特徴は以下のとおりである。

- ✓鉄筋をPVB樹脂によって被覆しているため、エポキシ樹脂塗装鉄筋と同等の耐食性を有する。本技術は、土木学会のエポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格(JSCE-E 102-2003)においてエポキシ樹脂塗装鉄筋と同等の耐食性を有することが確認されている。本技術に用いるPVB樹脂塗料は、塗膜耐食性、塗膜耐薬品性および塗膜塩化物イオン透過性においても、土木学会規準によってエポキシ樹脂塗装鉄筋用塗料と同等の性能を有することが確認されている(試験方法はそれぞれJSCE-E 527-2003、JSCE-E 528-2003、JSCE-E 530-2003)。また、屋外暴露試験を実施した結果、17ヶ月の暴露後も鉄筋の腐食はなかった(写真2)。
- ✓PVB樹脂塗膜の周囲に付着させた珪砂の効果により、コンクリートとの付着強度が向上する。JSCE-E 516-2003「エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度試験方法」により引抜試験を行った結果を図1に示す。コンクリートとの最大付着応力度は、普通鉄筋の場合の1.1倍となった。すべり量が0.002D(D:鉄筋径)のときの付着応力度は、普通鉄筋の場合の2.8倍となり、すべり量が小さい範囲での高い付着性が確認された。また、鉄筋コンクリートはりを用いた曲げ載荷試験を行った結果(写真3)、曲げによるたわみ、ひび割れ性状および耐荷重において、普通鉄筋を用いた場合と同等であることが確認された(図2および図3)。



(a) 暴露試験



(b) 普通鉄筋(全面腐食)



(c) サンドグリップバー

写真2 屋外暴露試験(17か月間)

✓ PVB樹脂は伸び率が大きく、変形に対する追従性が高いため、施工時の衝撃や曲げ加工による損傷に対する抵抗性が高い。JSCE-E 514-2003「エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐衝撃性試験方法」およびJSCE-E 515-2003「エポキシ樹脂塗装鉄筋の曲げ試験方法」において、樹脂塗膜の欠損がないことが確認された(写真4)。

施工実績

某工場新設工事における電源設備基礎の建設において、本技術を試験的に適用した。施工に際して、下記の点に特に留意した。

- ✓ 鉄筋の切断面や樹脂塗膜の損傷部分は、専用の補修材によって補修した。
- ✓ 鉄筋の曲げ加工を行う際、ベンダーと鉄筋が接触する部分をゴムシートおよびゴムホースによって保護した。

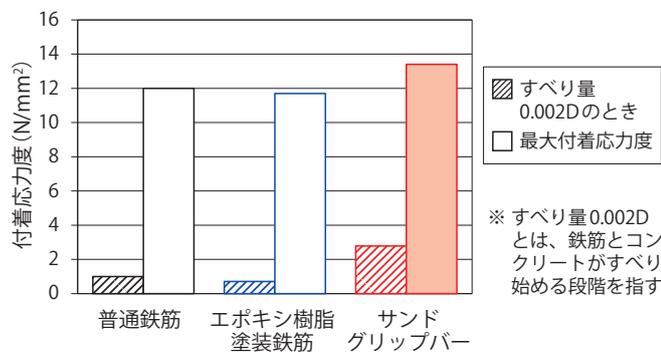


図1 コンクリートとの付着強度

✓ かぶり範囲に無垢の鋼材が存在しないよう、ビニル被覆結束線、プラスチック製スペーサーおよびPVB樹脂被覆セパレーター(写真5)を用いた。

その結果、鉄筋の曲げ加工に伴う樹脂塗膜の損傷は170箇所のうち6箇所(3.5%)で、エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格(20%まで許容)と比較して十分に発生率が低かった。また、鉄筋組立、コンクリート施工に際しても有害な塗膜の損傷等は確認されなかったことから、上記に留意することで普通鉄筋と同様の施工性を有することが確認された(写真6)。

なお、本技術は、株式会社大林組、株式会社川熱、朝日工業株式会社の共同開発によるものであり、平成28年「港湾関連民間技術の確認審査・評価事業」にてポリビニルブチラール樹脂を用いた被覆鉄筋『PVB-S被覆鉄筋』として審査・評価された。

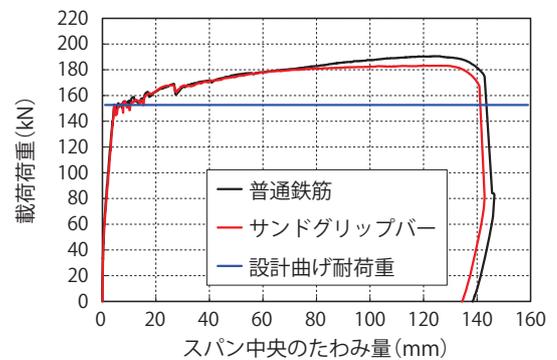


図2 荷重とたわみ量の関係

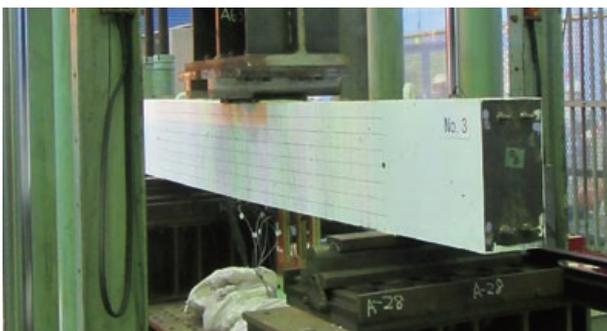


写真3 はりの曲げ荷重試験状況

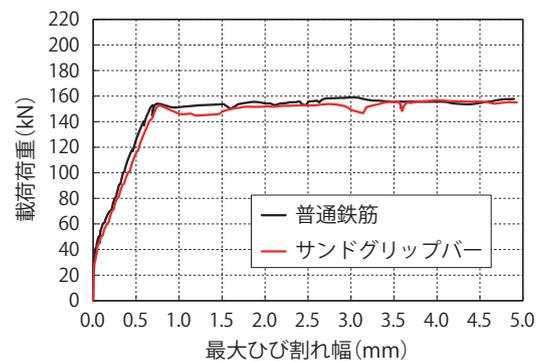


図3 荷重と最大ひび割れ幅の関係



写真4 曲げ試験後のサンドグリッパー



写真5 PVB樹脂被覆セパレーター



写真6 コンクリート打込み状況



国際

沿岸レポート

第4回 日韓沿岸技術研究 ワークショップ

(The 4th KIOST-PARI-CDIT-WAVE Joint Workshop)

一般財団法人沿岸技術研究センター
企画部 主任研究員 土田 真二

1. はじめに

韓国海洋科学技術院 (KIOST)、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 (PARI)、一般財団法人みなと総合研究財団 (WAVE) および当センター (CDIT) は、毎年、合同ワークショップを通じて、沿岸防災、沿岸域管理および沿岸環境等の分野において、技術交流を行っています。第4回となる今年は、日韓の沿岸関係研究者および技術者を東京に招いて開催しました。10月3日から5日までの3日間、ワークショップの他、神戸港周辺の視察およびPARIの施設見学を実施しました。

2. ワークショップ

ワークショップは当センターの隣にあるTKP新橋カンファレンスセンターの会議室において開催され、参加者は約70名となりました。テーマは、1) Coastal Disaster and Response、2) Coastal Management、3) Coastal Environment、4) Technical Developmentの4つに分類され、3編ずつ計12編の発表がありました。例えば、1) Coastal Disaster and Responseのセッションでは、新たに考案した形状の消波ブロックの安定性に関する模型実験の紹介、また、3) Coastal Environmentのセッションでは、潮流を利用した海底設置型の発電設備に関する研究について発表がありました。

テーマごとの個別の発表の他、基調講演としてPARIの栗山所長による「Morphological change in the nearshore zone due to climate change」、特別講演としてKIOSTの朴(パク)本部長による「Application of an Open-Cell Caisson to Harbor Structures for Enhancing their Stabilities」(写真1)が行われ、参加された皆さんが熱心に聴き入っていました。

閉会後には、講演者および関係者一同による記念撮影が行わ

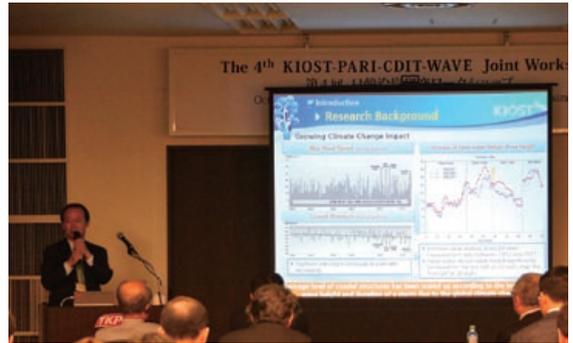


写真1 KIOSTの朴(パク)本部長による特別講演



写真2 講演者および関係者一同

れ、和やかな雰囲気で行われることが出来ました。(写真2)

3. 神戸港及び堺泉北港堺2区 基幹的広域防災拠点視察

10月5日当日は、台風18号の接近により強風となっていたため、予定していた海上からの神戸港周辺の視察を急遽取りやめ、陸上からの視察を行いました。まず、ポートアイランドにおいて、神戸市の担当者から港湾と街を一体的に整備した街づくりについて説明を受けました。次に、神戸市役所の展望台において、神戸港湾事務所の小野所長から神戸港の現況について説明を行いました。その後、堺泉北港に移動し、基幹的広域防災拠点の視察を行いました。急に雨が降るあいにくの天候でしたが、KIOSTの皆様は、熱心に話を聞かれ、神戸港の港湾を中心とした街づくりや最近韓国でも地震があったことから、日本の災害対応について非常に関心が高い印象を受けました。

4. おわりに

ご講演頂いた皆様、並びに視察においてご協力を頂いた神戸港湾事務所の小野所長、中川課長、大阪港湾・空港整備事務所の横山副所長、石田課長、近畿圏臨海防災センターの谷淵センター長に厚く御礼申し上げます。また、KIOSTの安博士並びにPARIの下迫特別研究主幹には、大変お世話になりました。ここに記し、謝意を表します。



国際

沿岸レポート

濱口梧陵国際賞の創設と授賞式・記念講演会の報告

一般財団法人沿岸技術研究センター
研究主幹 岸弘之

わが国の津波防災の日、11月5日が、2015年12月の国連総会において「世界津波の日」として制定されました。この機会を捉え、150年ほど前の江戸時代末期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濱口梧陵氏の名を冠した「濱口梧陵国際賞」を、国際津波・沿岸防災技術啓発事業組織委員会（港湾空港技術研究所、土木研究所、日本港湾協会、国際臨海開発研究センター、沿岸技術研究センター、みなと総合研究財団、港湾空港総合技術センター）が、国土交通省、内閣府政策統括官（防災担当）等の皆様からのご後援をいただき創設いたしました。本賞は、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。

栄えある第1回目の受賞者は、沿岸域における津波の挙動を正確に再現する数値シミュレーションを開発された首藤伸夫教

授（東北大学名誉教授／日本大学教授）、世界で活用されている早期津波検知・浸水予測システムの構築に貢献されたエディ・バーナード博士（前アメリカ海洋大気庁（NOAA）太平洋海洋環境所長／ワシントン大学客員教授）、チリにおいて津波警報の発令の迅速化に大きく貢献されたチリ共和国内務省国家緊急対策室（ONEMI）の2名、1団体でした。授賞式及び記念講演会は、10月31日（月）に東海大学校友会館にて開催され、石井国土交通大臣、二階自民党幹事長より来賓の祝辞、濱口梧陵国際賞選考委員会の河田恵昭委員長（京都大学名誉教授／関西大学教授／人と防災未来センター所長）による受賞者と受賞理由のご紹介の後、石井啓一国土交通大臣から受賞者の皆様に表彰楯が贈呈されました。

引き続き行われた記念講演会では、先ず初めに、河田選考委員会委員長から「世界津波の日制定と濱口梧陵国際賞創設の意義」と題して基調講演が行われ、避難誘導だけではなく、被災地の復旧、復興を成し遂げた濱口梧陵氏の偉業が紹介されました。その後、首藤教授からは「津波への対策」、エディ・バーナード博士からは「Tsunami Preparedness: Is Zero Casualties Possible? (津波対策: 死傷者ゼロは可能か?)」、チリ共和国内務省国家緊急対策室（ONEMI）のビクトル・オレジャーナ次官からは「The importance of collaboration between Chile and Japan (チリと日本の協力の重要性)」と題して、受賞者の方々からそれぞれ講演がありました。

授賞式・記念講演会のほか交流会を含め、国会議員の皆様、在日チリ共和国大使館の特命全権大使、濱口梧陵氏ゆかり地の和歌山県知事、広川町長、濱口家のご子孫の他、多くのご来賓にご臨席いただき、授賞式・記念講演会は約300人もの参加者で会場が満席となるほど盛況でした。



写真1 首藤伸夫教授



写真2 エディ・バーナード博士



写真3 チリ共和国内務省国家緊急対策室
(ビクトル・オレジャーナ次官)



国際

沿岸レポート

国際海岸工学会議 (トルコ)

一般財団法人沿岸技術研究センター
代表理事・理事長 高橋 重雄

1. はじめに

トルコのアンタルヤで開催された第35回の国際海岸工学会議 (ICCE ; International Conference on Coastal Engineering) に出席し、「津波減災」に関する招待講演 (Plenary Lecture) をさせて頂いたのでご報告します。

2. 国際海岸工学会議

国際海岸工学会議は、世界中の海岸・港湾・海洋の研究者が一堂に集まり、研究発表や議論をする場所です。第1回が1950年にカルフォルニアで米国内の会議として開催されており、ノルマンディーの上陸作戦の支援技術など第二次大戦中に発展した海の工学を海岸工学と名付け、そのさらなる発展を図るものでした。その後、ほぼ2年に一度開催され、世界のこの分野の発展とともに会議も発展してきています。

最近では、海の環境や利用、防災の幅広い分野について、300~400の論文が発表されています。特に、2011年の津波災害の後には、防災に関する発表が増えているようです。会議は世界各国で開催されるようになっており、1966年と1992年には日本でも開催されました。年度によって異なりますが、発表論文のうち約15~25%が日本からの論文であり、日本は米国やEUとともにこの分野をリードしています。日本の技術を世界に広めるためには、こうした国際学会での発表がその基礎となりますが、現在では、若い人を含めて多くの研究者・技術者が、積極的に発表しています。

3. 沿岸域の強靱化のための 三段階の津波レベルによる減災

私の招待講演の表題は Three Level Disaster Management

for Resilient Coastal Communitiesで、副題が Lessons Learnt from 2011 Tsunami Disaster です。

私どもは、東日本大震災の深い反省と多くの教訓を踏まえて、粘り強い沿岸域を創るためには、新しい災害対応の具体的なシステムが必要であると考えています。講演では、東日本大震災とその教訓をレビューするとともに、新たな津波リスクマネジメントを提案しています。すなわち、3つの津波レベルを設定し、それぞれのレベルに応じた災害のシナリオを書き、対策を考えることが重要であると述べています。講演では、「防災レベル」、「減災レベル」、「最大避難レベル」を提案しました。

東日本大震災では、特に最悪のケースを考えることが重要であることを学び、震災直後から日本では、「防災レベル」と「最悪レベル」を考えることが始まっています。ただし、現在日本各地で議論されている「最悪レベル」の津波は、次第に巨大なものとなっており、残念ながら結果的に、減災は忘れ去られ、避難しか考えなくなる傾向にあります。もちろん、避難が最も重要ですが、実際には、「防災レベル」と現状の「最悪レベル(最大避難レベル)」の間に、多くの津波の危険性があり、それらに対する減災を考えることも粘り強い沿岸域のためには不可欠です。ここでは、「最悪レベル(レベル2)」を「減災レベル(レベル2-1)」と「最大避難レベル(レベル2-2)」の二つに分けて明示的に設定することを、新たに提案しています。

表-1は、三つの津波レベルを示すもので、レベル2-1がその「減災レベル」です。早期の復旧・復興を可能にするためには、被害の低減を図り、復旧・復興の準備をしておく必要があります。一方、レベル2-2が「最大避難レベル」であり、避難を考えるための津波レベルであり、「津波死者ゼロ」を目指すための津

表-1 三段階の津波レベルと要求性能

対象津波		要求性能	
レベル1 津波	防災レベル	近代で最大級 (100年に1 回程度の再現 確率)	防災
レベル2-1 津波	減災レベル	歴史的な最大 級(1000年に 1回程度の再 現確率)	減災 —早期復旧
レベル2-2 津波	最大避難 レベル	究極的な最大 級(10000年 に1回程度の 再現確率)	津波死者ゼロ 的確な避難

波です。Resilient Coastal Communities (レジリエントな(強靱な、粘り強い)沿岸域)のためには、津波死者ゼロと早期復旧・復興の二つとも必要であり、そのために、対象とする二つの津波レベルを明確に定義し、具体的な対策を提案することが重要です。なお、表-1の各津波レベルの再現確率は当然地域の重要度によってかわります。実は、国土交通省港湾局では、「設計津波」という概念で、粘り強い防波堤の耐津波設計を考えています。すなわち、防災レベル(レベル1)の「設計津波」と「最大クラスの津波」の間に、「設計津波を越える規模の強さを有する津波」を考えて減災を目指しています。ただし、二つのレベルを考えることを明示するには至っていません。

現実の津波は、いろいろなレベルの津波が来襲します。総合的な津波対策を考えるには、複数のレベルの津波に対して被害シナリオを考え、対策を講じておくことが必要です。複数の災害シナリオは、市民の理解を得るためにも不可欠です。こうした考え方は、地震災害の分野では、1995年の神戸震災後に耐震設計に取り入れられています。しかしながら、津波や高潮災害の分野では、2004年のインド洋大津波や2005年のハリケーンカトリナのころに議論はされていましたが、日本でも、2011年の東日本大震災を経ないと具体的になりませんでした。世界でも、次の巨大災害が発生する前に、こうした考え方が広まることを期待してお話ししました(写真-1)。

4. テロと国際会議

今回の国際海岸工学会議は難産でした。この会議は、当初は2016年の7月にイスタンブールで開催の予定でした。一年前の2015年7月、シリアとの国境に近いトルコのスルチで、10月10日、首都アンカラで、そして2016年1月12日、イスタンブールで自爆テロが発生しました。1月以降、会議の中止を含めて議論がなされたようですが、結局、安全性も次第に確保され開催が確認されました。しかしながら、会議の前々日(7月16日)に、あのクーデター未遂事件が起きてしまいました。イスタンブール空港が閉鎖されたため、多くの海外からの参加者は行くことが出来ません。私自身は、成田空港で閉鎖を知り、引き返しています。

その後、会議は中止になるかと思っていましたが、組織委員会の委員長から延期との通知があり、そして9月末に「11月17-20日にアンタルヤで開催」とのメールが来たのです。中東工科大学のエルギン教授ほか組織委員会メンバーの熱意とねばり強さには本当に感動しました。

日本とトルコは、古くからの友好国であり、JICAを通じた技術協力等も行ってきており、私自身も友人が少なくありません。困難な時ほど支援すべきと思っています。私達には2011年9月に横浜で別の国際会議を開催した時、放射能の風評のために海外からの参加者が減少した無念さも記憶にあります。結局、アンタルヤは外務省の危険情報にも安全地帯となっており、私は、会議に参加しました。アンタルヤはトルコの南部、地中海に面した歴史ある海岸リゾート(写真-2)で、気候も治安も良く、快適で危険を感じることは全くありませんでした。参加者は半分以下になってしまいましたが、内容の濃い議論が出来、有意義な国際会議になったと思います。エルギン教授をはじめとするトルコの関係者の非常な熱意とご努力に、改めて敬意と感謝を表します。なお、次回は米国のバルチモアで2018年7月に、デラウェア大学の小林教授が責任者となって開催されます。



写真-1 ICCEでの講演(演壇の背景はアンタルヤのビーチの写真)



写真-2 アンタルヤ港(2000年以上の歴史がある地中海の天然の良港)



国際

沿岸レポート

フィジー国における 港湾施設維持管理事情

一般財団法人沿岸技術研究センター
参与 山本 修司

過日、フィジーの加藤寛（JICA 専門家）氏から、キリバス国のベシオ港の棧橋で、①ブロック間の凹凸のついた目地付近でコンクリートの欠落や大きなクラックが存在する。コンクリートが欠落した床版の穴から海面が見える。②防舷材の上部が破損し、固定ボルトが欠落しているものもある。その原因と対策について相談がありました。完成して2年しかたっていないのでコンクリートの劣化や鉄筋の腐食は考えにくい状況でした。このようなことが縁で、12/7～12/9にSuva港で開催されたInternational Workshop on Maritime Terminal Development and Maintenance in Island Nationsに参加しました。WS参加者は、フィジー、キリバス、バヌアツ、ナウルの港湾担当者、日本から、私の他に鹿児島県から中津川氏と森永氏でした。

私の担当は、①Design and maintenance of RC structures、②Design and Maintenance of rubber fender、③Design and maintenance of causeway でした。

①については、ASEAN-Japan Transport Partnershipの共同研究レポート¹⁾を、②については当センター発行のマニュアル“ゴム防舷材の維持管理ガイドライン”の英文要約版²⁾を、③については、数年前、港空研の鈴木チームリーダーが現地調査した報告書をテキスト³⁾として使用しました。中津川氏と森永氏は、離島における港湾経営と建設技術でした。

主なやりとりは、

- ①RC構造物の点検、診断、予測評価及び補修工法の選択に関するもっと簡単な手順があるといい（WS参加者）。⇒劣化環境を典型化し、それに対する塩化物イオンのコンクリートへの浸透計算やMarkovian-chain modelによる劣化予測計算を実施したうえで標準化することが考えられます。
- ②船舶の入港からJettyへの接岸までのアプローチは？（筆者）⇒接岸角度は45度以内に制限している（WS参加者）。入港、

回頭、接岸の計画があまり検討されていない感じがします。前述の棧橋の損傷は、接岸速度あるいは接岸角度が大きいの

- が原因かもしれません。
- ③日本の防舷材の取替基準は参考になる。ぜひ英語版を作成してほしい（WS参加者）。⇒Ministry of Infrastructure and Transportを通して日本国へ要請してください。対応します。
- ④SUVA港の棧橋（Fiji国の岸壁はほとんどJetty方式とのこと）劣化調査では、一部の施設で、杭頭部のコンクリートの脱落や床版の陥没が見られた（写真1）。



写真1 SUVA港棧橋

フィジー国の港湾管理は道路公社が行っていますが、港湾技術者はおろか土木技術者も少ないようで、英国の規格BS6349 Maritime Structuresについても知らないようでした。そのため、ディスカッションではあまり踏み込んだ議論が出来ませんでした（もともとフィジーの宗主国は英国なので、WS参加者はクイーンズイングリッシュですが、私の語学能力の不足で質問がよく理解できなかったことが大きな原因かもしれません）。

南太平洋諸国には、港湾施設が不足している島々がたくさんあります。日本の援助で協力できるといいですね。

参考資料

- 1) Port Technology Group ASEAN-Japan Transport Partnership; Guidelines on Strategic Maintenance for Port Structures
- 2) Bridgestone; Maintenance Guidelines for Marine Fender Systems
- 3) Disaster of Nippon Causeway and climate change（鈴木氏のレポートを英訳）

NEWS 01

平成29年度
「海洋・港湾構造物 設計士 資格認定試験」
に関するお知らせ

- 設計士補試験、設計士筆記試験
 申込受付期間：4月～5月頃
 試験日程：7月上旬頃
 試験場所：東京、大阪、福岡(3会場を予定)
- 設計士面接試験
 申込受付期間：9月中旬～10月中旬頃
 試験日程：12月上旬～中旬頃
 試験場所：東京(1会場を予定)

詳細については決まり次第、ホームページ上に掲載します。

NEWS 02

津波シミュレータ(T-STOC)講習会の開催

高潮及び津波による流体運動及び漂流物の挙動を計算するための数値計算モデル「高潮津波シミュレータ(STOC)」のうち、津波の部分(津波シミュレータT-STOC)が港湾空港技術研究所より公開されることにあわせ、「津波シミュレータ講習会」を7月27日に港空研と共同で開催しました。講習会には約100名の方が参加され、大盛況のうち終了いたしました。公開プログラムについては港湾空港技術研究所HPをご覧ください。

1	プログラムの公開にあたって津波シミュレータ(T-STOC)「ユーザーマニュアル」の解説等	港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域 津波高潮研究グループ 研究官 千田 優
2	開発の経緯、計算事例の紹介	名古屋大学 教授 富田 孝史



NEWS 03

沿岸技術研究センター創立記念日(9月27日)の休業化

当センターは、沿岸海域に関する技術の調査研究を主たる事業とする公益法人として運輸大臣(当時)の許可を得て昭和58年(1983年)9月27日に設立されました。以来毎年9月27日を創立記念日としつつも業務は通常どおり行って参りましたが、平成28年の創立記念日より、この日を休業日と定め、お休みを頂くことと致しましたので皆様のご理解をお願い申し上げます。なお、9月27日が土曜日又は日曜日と重なった場合は、次の月曜日を休業とさせていただきます。

NEWS 04

コースタル・テクノロジー2016の開催

平成28年11月24日(木)[10:00～17:30]、発明会館において、コースタル・テクノロジー2016を開催いたしました。平成27年度に当センターが実施した調査・研究等に関する13テーマの報告をはじめ、特別講演として、気象庁気象大学校の北島尚子教授をお招きし、「台風の強度・構造の解析の現状と課題」についてご講演いただきました。当日は、技術者・研究者・行政関係者など多数の参加があり、大盛況のうちに幕を閉じました。



講演される北島教授



会場の様子

第18回国土技術開発賞表彰式の開催

国土技術開発賞は、技術開発者に対する研究開発意欲の高揚並びに建設技術水準の向上を図ることを目的として、建設産業に係わる優れた新技術を表彰するもので、(一財)国土技術研究センターとともに行ってあります。また、今回より特別賞の名称を「地域貢献技術賞」から「創意開発技術賞」に変更しました。第18回の表彰式は、平成28年7月26日に行われ、以下の技術が受賞されました。

	表彰者	技術名	応募者
最優秀賞	国土交通大臣	常温硬化型 超高強度繊維補強コンクリート	(株)大林組
優秀賞	国土交通大臣	フラップゲート式陸閘の開発	日立造船(株)、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
		都市型小変位免震構法	大成建設(株)
入賞	選考委員会委員長	超低空頭場所打ち杭工法	鉄建建設(株) 東日本旅客鉄道(株)
		高炉スラグを用いた低炭素型セメントと利用技術の開発	(株)竹中工務店 鹿島建設(株)
		7MW浮体式洋上風車用浮体の実証技術開発	東京大学大学院教授 石原 孟 三菱重工業(株)
創意開発技術賞	国土交通大臣	吹付けモルタル・コンクリートのり面の補修・補強工法	日特建設(株)
		角形鋼管切梁	ジェコス(株)
		風雪の影響を低減する都市設計シミュレーションの開発	北海道大学大学院教授 瀬戸口剛
		PC構造物の現有応力を測定するスリット応力解放法の開発	(株)計測リサーチコンサルタント、(株)K&Tこんさるたん

海洋・港湾構造物維持管理士会(MEMPHIS会) 第11回講演会

海洋・港湾構造物維持管理士会主催、当センター共催による第11回講演会が平成28年10月12日に東京で開催されました。講演会には100名以上の方が参加され、大盛況のうちに終了しました。

第11回講演会(東京)プログラム

- 13:30~13:40 開会挨拶
海洋・港湾構造物維持管理士会 会長 内藤 英晴
- 13:40~14:10
「港湾施設・海岸保全施設の維持管理に関する最近の話題」
国土交通省 港湾局 技術企画課 港湾保全政策室長 佐藤 敬 様
- 14:10~14:35
「水中3Dスキャナーによる港湾施設等の点検技術」
いであ株式会社 大阪支社 井上 定雄 様
- 14:35~15:10
「UAV・音響計測技術を活用した維持管理現況調査の手法」
国際航業株式会社 技術本部 環境保全部 海洋エンジニアリンググループ 田邊 光一 様
- 15:10~15:25 (休憩)
- 15:25~16:00
「マルチチャープレーダー等特殊GPR装置を用いた空洞及び裏込沈下の調査」
川崎地質株式会社 首都圏事業本部 保全部 今井 利宗 様
- 16:00~16:25
「アルミプローブ法と電気防食特性線を用いた陽極寿命推定手法」
株式会社ナカボーテック 事業開発部 小林 浩之 様
- 16:25~16:50
「栈橋の荷重増に対する補強工法」
JFEエンジニアリング株式会社 鉄構インフラ事業部 技術部設計室 米島 幹雄 様
- 16:50~17:05 (休憩)
- 17:05~17:40
「栈橋上部工点検用ROV」、「非接触式超音波肉厚測定機」
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 田中 敏成 様、虻川 和紀 様
- 17:40~17:45 閉会挨拶
一般財団法人沿岸技術研究センター 業務執行理事 中野 則夫

港湾・海岸におけるフラップゲート式陸閘技術マニュアル

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、陸閘や水門の閉鎖に従事された多くの操作者の尊い命が失われました。このような悲劇を二度と起こさず、陸閘や水門を確実に閉鎖するため、陸閘の統廃合や常時閉鎖、自動化や遠隔操作化が進められています。

フラップゲート式陸閘は、津波・高潮時に浸水時の浮力を利用して扉体が旋回起立し、開口部を閉鎖する新しい形式の陸閘であり、人力操作や動力が不要である他、津波到達直前まで、開口部を避難路として使用できる等の特徴を有しています。本マニュアルは、フラップゲート式陸閘の設計・施工・維持管理等について示しており、定価は5,556円(税別)です。

本マニュアルの発刊を契機に、操作者の安全確保と地域の防災・減災に寄与することを期待しております。



民間技術評価事業・評価証授与式の開催

平成28年11月14日(月)、沿岸技術研究センターにおいて、民間技術評価事業 評価証授与式をとり行いました。

今回は、平成28年度上半期の表彰で、善功企 九州大学大学院特任教授を委員長とする「港湾関連民間技術の確認審査・評価委員会」にて審査・評価を行い、その結果を踏まえて、以下の6件について評価証を交付しました。

新規(3件)



(株)大林組殿・東亜建設工業(株)殿
JFEスチール(株)殿・(株)ガンケン殿
ガンパイル工法



みらい建設工業(株)殿・(株)ダイフレックス殿
SQS被覆システムー超速硬化ポリウレタン樹脂被覆システムー



(株)大林組殿
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」

上記の3件の新規技術につきましては、本文の26~31ページで内容を紹介しております。

部分変更(1件)



(株)クボタ殿
ラクニカンジョイント(ステップ型)
鋼管杭、鋼管矢板の機械式継ぎ手

更新(2件)



五洋建設(株)殿
UCIS(ケーソン無人化据付システム)

東亜建設工業(株)殿
ワイドグラブバケット(WGB)浚渫工法
授与式をご欠席

確認審査所からのお知らせ
登録確認機関の登録更新

当センターは、港湾法に基づく港湾の施設の技術上の基準への適合を確認する登録確認機関として国土交通大臣の登録を受けております(初回登録平成19年8月24日)。この登録は、法令上3年ごとの更新が必要と定められており、平成28年8月24日に3回目の登録更新を受けました。引き続き、適合確認業務を行って参ります。



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、皆様のご意見ご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】

年2回発行している機関誌CDITですが、これからも皆様の興味や関心を引くタイムリーな特集と、当センターの活動内容がよく分かる誌面作りを進めますので、本年もよろしくお願ひします。今回の特集は「これからの港湾分野における技術開発」です。港湾分野に限らず社会資本に関する技術開発は、私たちの生活の改善に資するものです。技術開発すべき課題はその時代の要請で変わります。当センターにおいても技術開発の取組みを進めて行くこととしています。(HK)

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/>
2017年1月発行