

[sí:dít]

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

特集

波と沿岸防災 ~その課題と展望~

〈巻頭座談会〉

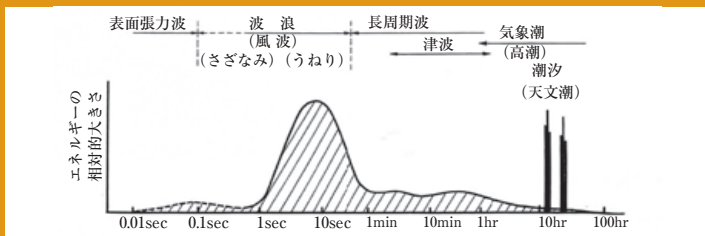
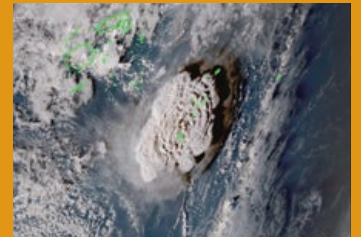
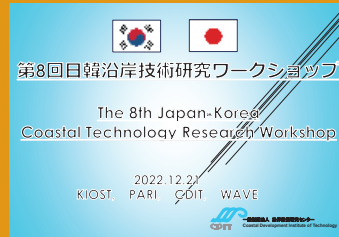
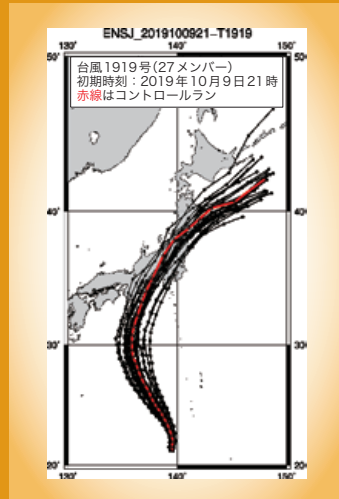
森 信人 氏〔京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門 教授〕

神谷 昌文 氏〔国土交通省港湾局 海岸・防災課長〕

平山 克也 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 波浪研究グループ長〕

橋本 典明 氏〔一般財団法人沿岸技術研究センター 参与 九州大学名誉教授〕

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〕



Vol.59

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。

○沿岸 レポート p.33	○座談会 P.12	○特集 p.22	○コースタル テクノロジー P.36
○コースタル テクノロジー P.24	○特集 p.17		○特集 p.18
○技調探訪 p.31	○民間技術の 紹介 p.28	○沿岸 レポート p.32	○特集 p.20
○特集 P.14	○座談会 P.7		

3 特集

波と沿岸防災

～その課題と展望～

4 〈巻頭座談会〉

波と沿岸防災 ～波浪研究のいま～

- 森 信人氏 京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門 教授
 神谷 昌文氏 国土交通省港湾局 海岸・防災課長
 平山 克也氏 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 波浪研究グループ長
 橋本 典明氏 一般財団法人 沿岸技術研究センター 参与 九州大学名誉教授
 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

14 波の種類・特性と沿岸への影響・入門編

下迫 健一郎 一般財団法人 沿岸技術研究センター 審議役

16 海岸工学の誕生と発展

高橋 重雄 一般財団法人 沿岸技術研究センター 上席客員研究員

20 津波警報など津波防災への最近の取組

相澤 幸治 気象庁 地震火山部 管理課 課長補佐

22 波浪・高潮監視・予測技術による沿岸防災への最近の取組み

鈴木 善光 一般財団法人 沿岸技術研究センター 波浪情報部 調査役

24 コースタル・テクノロジー 2022 特別講演

海底火山噴火による我が国への影響
～軽石漂流シミュレーションの取り組みなど～

講演者 宮澤 泰正氏 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門
アプリケーションラボ ラボ所長代理

28 民間技術の紹介

PC-Unit 棧橋工法®
(PC圧着構造を用いた組立式プレキャスト棧橋)

五洋建設株式会社・株式会社日本ビーエス
[共同研究] 港湾空港技術研究所・東京工業大学

29 きになる用語解説

陸地・海域における高さとの深さの基準

30 技調探訪

[VOL.4] 名古屋港湾空港技術調査事務所

32 沿岸レポート

32 第8回日韓沿岸技術研究ワークショップ

水口 幸司 一般財団法人 沿岸技術研究センター 研究主幹

33 濱口梧陵国際賞授賞式

水口 幸司 一般財団法人 沿岸技術研究センター 研究主幹

34 CDIT出版物&プログラム

36 CDIT News

波と沿岸防災

～その課題と展望～

四面を海に囲まれた我が国において、「海」は国民の生活や産業に豊かな恵みを届けると同時に自然災害の脅威ももたらしています。沿岸における「海」からの災害は「波」によって引き起こされますが、その「波」には、風波による高波だけではなく津波、高潮、長周期波など様々な種類や捉え方があり、それらの特性に応じた効果的な対策を講じる必要があります。沿岸防災においては、そういった「波」にどのように対処していくのが常に求められてきました。

特集では、我が国の沿岸域に自然災害をもたらす津波や高潮、長周期波などの「波」に焦点をあて、その種類・特性を概観しつつ、「波」を切り口に今現在取り組まれている実効的な波への対策や研究等とその進捗状況・課題について一般の人にも分かりやすく紹介・解説します。

高波は強風によって起こる危険な波¹⁾

「高波」は、主に低気圧の発達による強い風が原因で発生する高い波で、周期が15～20秒程度になるものもあり、気象庁では波浪注意報・警報の対象になる程度の高い波と定義しています。これに対して、「津波」や「高潮」は、周期が数十分から数時間と非常に長く、沿岸で砕けることなく陸地の奥深くまではい上がる性質を持つため、沿岸域が大規模に浸水することが多いです。

津波の発生メカニズムと沿岸への影響(図1)²⁾

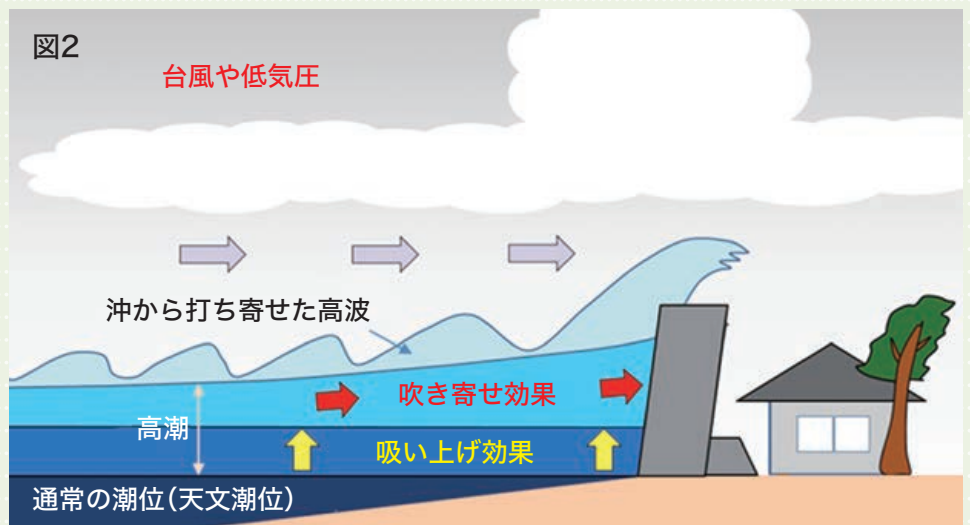
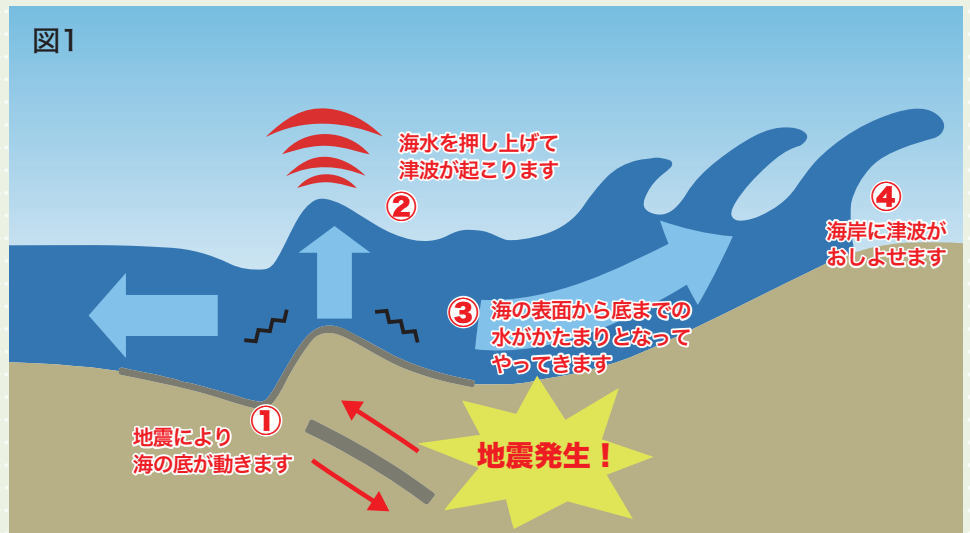
津波は、①地震により海底が隆起・沈降し⇒②海面が上昇・下降して⇒③海の底から表面までの海水が波を形づくり、⇒④大きな海水の塊となって沿岸に押し寄せるものです。

津波の高さは海岸付近の地形によって大きく変化します。岬の先端やV字型の湾の奥などの特殊な地形の場所では、波が集中して増幅するので、特に注意が必要です。

高潮の発生メカニズムと沿岸への影響(図2)³⁾

高潮は、台風や強い低気圧が通過するとき、①大気圧の低下に伴い、海水面が吸い上げられるとともに、②湾口から湾奥に向けた強風により、海水が吹き寄せられることにより、波というよりむしろ潮の満ち引きのように、湾内の潮位が全体的に上昇する現象です。

高潮が、満潮や高波と重なると、潮位がいっそう上昇し、普段は波が来ないようなところまで波が押し寄せることがあります。



1) 参考：総合情報誌「地域防災」No.33(2020年8月)、【論説】津波・高潮と沿岸防災(高知工科大学システム工学群 教授 佐藤 慎司)
 2) 気象庁HP <https://www.data.jma.go.jp/egev/data/tsunami/generation.html>, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/faq/faq26.html> を元に作成
 3) 出典：気象庁HP <https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/knowledge/tide/takashio.html>

波と沿岸防災 ～波浪研究のいま～



森 信人

京都大学防災研究所
気象・水象災害研究部門
教授



神谷 昌文

国土交通省港湾局
海岸・防災課長



平山 克也

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
波浪研究グループ長



橋本 典明

一般財団法人
沿岸技術研究センター
参与
九州大学名誉教授



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)▷本日は海岸工学の第一線でご活躍されている森先生、橋本先生、平山グループ長の3人の研究者の方々、そして国土交通省で沿岸防災をご担当されている神谷課長にお集まりいただきました。お忙しい中、ありがとうございます。

本日の座談会のテーマは、波と沿岸防災です。四面を海に囲まれた我が国において、海は国民の生活や産業に豊かな恵みを届けると同時に、自然災害の脅威をもたらしています。沿岸における海からの災害は波によって引き起こされますが、その波には風波による高波だけではなく、津波、高潮、長周期波などさまざまな種類や捉え方があり、それらの特性に応じた効果的な対策を講じる必要があります。沿岸防災ではそういった波にどのように対処していくのかというのが常に求められてきました。

本座談会では、今回は特に「波」に焦点を当てまして、その特性を踏まえた実効的な防災対策、あるいはそのための調査研究を実施するという観点から、改めてそれぞれのお立場における波と沿岸防災に関しての問題意識ですとか、取り組みの状況を共有していただくとともに、今後の展望に向けて皆様でご議論をしていただければと思います。

まず、波の特性と沿岸防災に関わる問題認識とかその解決に向けた取り組みについて伺いたいと思いますが、森先生いかがでしょう。

1

波の発生原因として重要なのは 台風と冬の低気圧

森▷いくつかコメントしたいと思います。まず波浪については、日本の場合、台風と冬の低気圧が発生原因として非常に重要だということが挙げられます。特に台風は、太平洋沿岸だけではなく最近北の方に行くものもありますので、やはり台風と高波という組み合わせが非常に大事だと思っています。

その中で研究サイドとして注目しているトピックが二つあります。一つは、物理的な機構として、特に強い台風の目の周りでのどの程度の高波が起きて、どういう特性があるかというのはまだわからないことが多いということです。観測データが圧倒的に不足していて、最も強い気圧低下が起きて風速が上がる中心周りのデータが無いために、波浪モデル開発が進まないということです。特に2018年以降、2

～3年続けて強い台風が日本に上陸したり接近したりしていますが、その中で波浪に関する被害がかなり顕著になっています。

解決方法として、外洋については風速30から40メートル毎秒より高いところで海面が風からどれくらいエネルギーを受けて発達するかというのが非常に重要なので、我々は気象庁ともリンクして、ここ3年間、漂流ブイを流し、できるだけ台風の近くでのデータを取るという取り組みをしています。現在約20基が太平洋にあります。これくらいのブイのボリュームがあると年に数個は台風の中心のデータが取れるようになってきて、モデル開発に使いたいと思っています。

二つ目は沿岸部の波の特性と防災です。特に2018年の台風21号(Jebi)と2019年の台風15号(Faxai)と19号(Hagibis)が大阪と東京の港湾エリアにかなり大きなダメージを与えたことは皆さんの記憶にも新しいと思います。この中で私が改めて認識したのは、内湾で急激に発達する風波の推定及びモデリングの知見というものがまだまだ不足していて、難しいということです。人工海岸、非常に鋭角な形の埋立地、沖防波堤があったりして、その周りでスペクトルモデルを使って解析すると、モデリング上かなり難しいところがあります。さらに、内湾で急激に発達する高波、そこから越波、越流量にどうもっていくかということまで、ワンクッション、ツークッションあるので、それをどういうふうに対応すればよいかを考え、取り組んでいるところです。

2 更新される既往最高潮位や既往最大有義波高

神谷▷森先生に、非常に貴重なご意見を頂いたと思います。国土交通省としても、平成30年台風第21号、令和元年房総半島台風・東日本台風及び令和4年台風第14号では、既往最高潮位や既往最大有義波高¹⁾を更新するなど、近年台風の強大化が顕著となっており、これにどう対応していくかが大きな課題になっています。

一つの要因としては、やはり気候変動があるのではないかと捉えています。本日の座談会のメンバーでもあります森先生、橋本先生、平山グループ長にも委員として参画いただいている「港湾における気候変動適応策の実装に向けた技術検討委員会(委員長:磯部雅彦高知工科大学学長)」において、今まさに実装に向けご議論いただいているとこ

ろです。政府全体としても、パリ協定²⁾やIPCC³⁾の特別報告書を受けまして、令和3年の10月に気候変動適応計画⁴⁾を策定し、2050年のカーボンニュートラル⁵⁾に向けて、緩和策と適応策を車の両輪とした対応をいかに進めていくのかが大きな課題となっています。

特に港湾においては、多様な産業活動や国民生活を支える重要な物流産業の基盤であり、また生活の基盤ですので、この対応の方向性、どう取り組んでいくのかが、これからの港湾政策の重要な課題だと考えています。現在、交通政策審議会港湾分科会の防災部会⁶⁾の中でも、気候変動等を考慮した臨海部の強靱化のあり方についてご議論いただいているところです。

3 内湾で発達する波の予測は今後の研究課題

平山▷森先生のお話にもあったように、最近、沿岸域での高潮・高波災害が顕著になってきています。まだわからないことも多い中で一つわかったことですが、内湾でも波は結構発達するという点に関して、そういった計算技術がまだ十分ではないということを我々は思い知らされ、再認識させられました。また、港湾の浸水被害を考えた時に、その状況をきちんと計算して説明することが、実はまだできていません。高潮の計算はできて、それに越波が重なって浸水が起こるところまでを考慮した計算がなされていないために、港湾施設の設計もこれまで必ずしも十分ではなかった面があるのではないかと再認識し、そういったことへの対応がまだまだ研究課題として残されていることがわかりました。

4 進化している波浪予測技術

宮崎▷ありがとうございます。今回のテーマ「波」、その現象や作用原理についての研究の動向や研究の目指す方向、重点的に取り組んだ方がいいと思われる分野としてはどういったことが挙げられるでしょうか。

橋本▷波浪の研究は非常に幅広く、森先生、平山さん、私はそれぞれ研究のテーマやアプローチが異なっています。波浪が沿岸に及ぼす影響を評価するためには、沖合での波浪の出現特性、さらに沿岸域や港内での波浪変形や構造物に及ぼす影響など様々な研究を実施する必要があります。

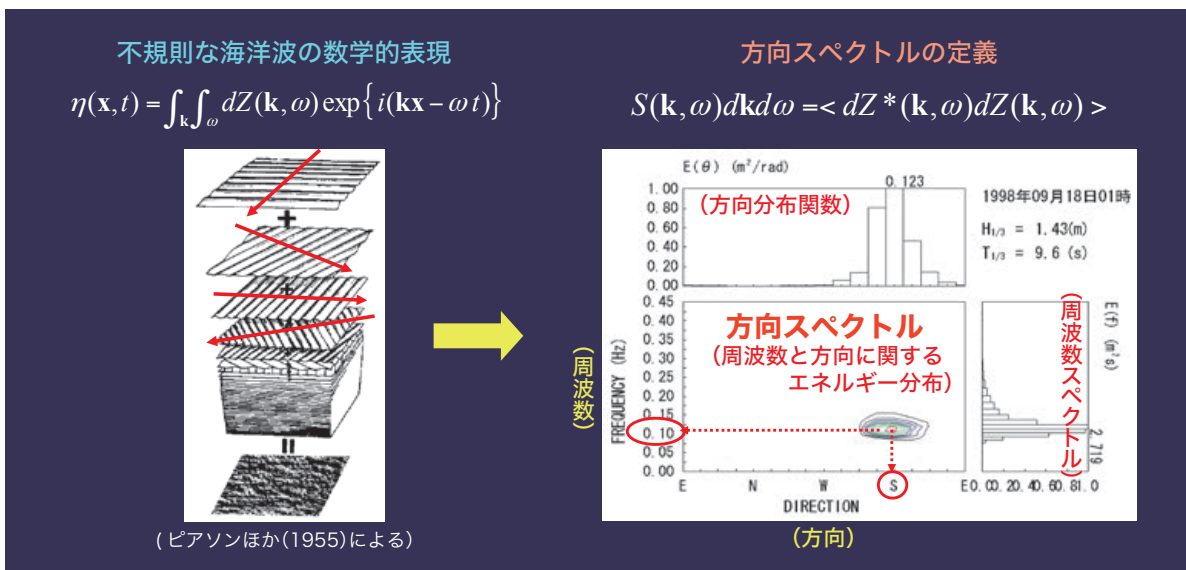
私は波浪観測と解析法の開発や波浪推算法の研究をしてきました。

波浪を扱う場合、水面の変動そのものを対象とする研究や、有義波高、有義波周期、波向といった波浪諸元を対象としてそれらの出現特性を調べる研究があります。さらに、波浪のエネルギーが周波数と方向に対してどのように分布しているかを示す方向スペクトル⁷⁾を対象とした研究もあります。有義波高、有義波周期などの波浪諸元に比べて、方向スペクトルはいまだに一般の技術者にはなかなか理解していただけないところもありますが、私自身は波浪の観測・解析・予測に関わる分野で方向スペクトルをベースにして長年研究してきました。この分野にも課題が残っています。例えば、我が国では方向スペクトルをベースとする第3世代波浪モデル⁸⁾が1990年代後半頃から利用されるようになり、波浪推算の精度は以前に比べて格段に向上しました。しかし、うねりの推算にはまだ改良すべき課題があり、さらに研究を進める必要があります。この課題を解決しようとする、観測データ、特に方向スペクトル情報が必要です。実はこの課題に限らず方向スペクトルの利活用に関する研究はこれからの取り組むべき課題だと思っています。例えば、方向スペクトル情報があれば港内静穏度解析などのより合理的な検討や、長周期波の出現特性のより高度な検討が可能になります。また、港内の係留船舶の動揺対策や荷役等の港湾実務などの日常的な港湾の管理・運営にも有用で高度な波浪情報の提供が可能になると思います。

5 波浪推算技術の進歩と設計体系

平山▷私は沿岸域の波の変形をテーマに長年研究を続けてきました。特に港湾空港技術研究所が所有している大型の平面水槽と波形の伝播変形を解く波動方程式を使って研究をしています。最近では、先ほどお話のあった東京湾や大阪湾で浸水被害が生じた高波による越波の再現に取り組んでいます。例えば大阪湾では、既往最大クラスの高潮が観測されたものの、幸いにも潮位が防潮堤を完全に越えてしまうことはほぼなかったのですが、それに伴う高波が越波することで港湾などの堤外地で浸水が生まれました。そういった現象の理解を深めるために平面水槽で模型実験をしたり、その再現計算を実施したりということを行っています。

その中で一つわかったことを挙げますと、例えば護岸設計で指標としている許容越波流量というものがありますが、これは岸壁設計ではそのまま通用しません。というのは、護岸の場合にはパラペット（波返し工）を越えた水はそこからすぐに海には戻らず、ある程度陸側に溜まるので、平均的な越波流量を想定できれば、護岸背後がどれくらい浸水するかがわかります。しかし、岸壁の場合にはパラペットがないので、越波した水の一部は波が引くタイミングでそのまま海に戻ってしまいます。ですから、例えば越波が継続するなかで浸水する状況が平衡状態にある場合には、時間平均越波流量としては結果的にゼロになるために、それ



不規則な海洋波と方向スペクトル
—方向スペクトル(周波数と方向に関する波浪のエネルギー分布)を等高線で表したもの—



大型水槽における岸壁上の浸水実験

を基準に許容値を決めることができません。そこで、越波が生じる場所の浸水深に何かしら基準を設けて、岸壁の高さの設計ができないかという検討を始めたところです。

こういった波の変形を考える際に、まず基本になるのが沖波の条件です。まさに今のお話にありました方向スペクトルなども含みますが、特に港湾施設の設計では設計沖波が必要となります。この設計沖波は本来、波が変形する前の沖合の地点で与えられる必要があるため、物理的にいうと波長に比べ水深が十分深いところで設定することになります。ですが、実際の港湾の近傍でそんなに急に深くなる場所はそう多くはないので、なかなか理想通りにはいきません。ただ、それでも今までなんとかやってこられたのは、波浪推算の実用化の歩みによるところが大きいと思われます。波浪推算の技術は近年急速に進歩していますが、それでもごく最近までは海底地形を考えない深海モデルを用いた波浪推算が主流でした。この場合には、港湾の近傍でもモデル上は水深が十分深いとみなされるので、推算した結果をそのまま沖波とみなすことができました。一方、最近では擾乱時の波浪推算に海底地形による波の変形まで考慮できる浅海モデルが適用されるようになり、沿岸域での波浪推算の精度が上がってきています。

そうになると、観測値をはじめとした波浪の現象の再現という面では非常に良いのですが、港湾の近傍では変形がすでに始まった波が推算されるので、それをそのまま沖波として設定できないという問題があります。そういった場所では、港湾施設の設計沖波をどうやって決めるかという検討が非常に難しくなります。そこで、従来の深海モデルでなんとか決めてきた沖波は、本来の定義による沖波ではないという意味で、疑似沖波という言い方をしたり、浅海で推算された変形後の沖波は、もうこれは沖波とは言えないので、準沖波と呼んだりというように、新たな用語を定義

しながら、波浪推算の技術が進歩する中で従来の設計体系にどのようにすり合わせていくかという検討を併せて進めているところです。

6 気候変動には「変化」と「変動」がある

森▷橋本先生がおっしゃいましたが、波浪研究というのは裾野が広くて、私はどちらかというと、大量に計算してデータを使って気候学的に解析し、現象を理解するというをやってきました。気候変動には2種類ありまして、温暖化によってゆっくり変化していく、トレンドが変わる「変化」と、もう一つはinternal variability (内部変動性)、今年と来年とか、毎年現象が変わるという「変動」というものに分けられると思います。気候の変化・変動と波浪がどういうふうにリンクしているかを調べた中で、最近思っていることが一つあります。今の設計波は50年確率波⁹⁾がメインだと思いますが、それを不規則なシグナルの中からいかに極値統計¹⁰⁾等を使って推定するかということを実務上やられているかと思います。

一方で気候の自然変動をよく見ていると、不規則けれども構造というのがあって、特にENSO (エルニーニョ・南方振動)系¹¹⁾とかアリューシャン低気圧¹²⁾と日本の東北の波浪などは意外にリンクしています。自然科学的には、不規則性の中にも構造が見られるので、そういうものが日本沿岸の波浪にどういうふうに繋がっていて、ひいては沿岸部の防災対策等にどうリンクしていくかということに非常に興味があります。

ちょっと話がずれつつありますが、やはり気候変動の影響をどういうふうに科学的に取り入れて、それが実務にどう生かされるかに興味を持っています。気候の変化だけではなくて変動も重要なので、両方を加味してどういうふうに日本の沿岸の防災対策につなげていくかというのは、今日皆さんからご意見をお聞きできればと思います。

7 「変化」と「変動」の重ね合わせを考える

橋本▷森先生の話に関連しますが、例えば台風の発生数には約30年の周期があることを示すデータがあります。また、気候変動の研究成果の一つとして、温暖化とは別に地球には約10数年周期で寒暖の変動があり、21世紀初め頃

から数年前までは気温上昇の停滞期、ハイエイタス¹³⁾があったことがわかっています。一方で、我々が極値統計で確率波を検討する際には、ある統計的な法則に則って50年に一回の頻度で発生する波高を推定するわけです。ところが、これまでの観測データをよく調べてみると、その事象を発生させる母集団の特性が実際には不変ではないわけです。今後は、変わりゆく地球環境の中で波浪の出現特性の変化や変動をどのようにきちんと設計体系の中に入れて行くのかを考えなければなりません。本当に難しい問題だと思います。我々の研究対象は、これまでに起こってきた事象だけではなく、将来の変化や変動も含めて考えていかなければならないということで、森先生と同じ意見です。

8 気候変動対策をどう実装していくか

神谷▷ 皆さんから非常に大事なご指摘をいただきました。気候変動もそれ以外の事象についてのご指摘もそうなんですけれども、新しい知見や研究、技術について、社会に対してどう実装していくかということが非常に大きな課題だと考えています。例えば、気候変動にともなう波浪の増大等に対して防波堤や防潮堤の構造をどうするかというような設計上の問題、海面上昇等によって物流エリアや産業エリアにおける浸水域等がどのように変わっていくのかというような利用上の影響、これらに対してどのような取り組みを進めるべきかというのが大きな点として出てくると思います。これらは、産業・物流・生活機能が集積する臨海部において特に大きな影響を与えるため、今後の政策を考える上で、しっかりと現実的な検討を深めていかなければいけないと認識しています。

9 設計体系の見直しをどう進めるか

森▷ 波浪にかかわる研究について、少し細かい話ですが一つコメントさせていただきます。先ほど平山さんからもありましたように、現在の設計体系は沖波を出してそれを何らかの公式で越波量なり波圧にもっていくという仕組みになっていると思います。この体系は私が知る限り、合田良實¹⁴⁾先生の世代で色々苦労されてまとめられたものです。

一方で、ここ15年20年でですけども、数値計算モデルが非常に発達してきました。橋本先生が言われたような方

向スペクトルの発展を解くモデルがあって、そこではどの周期でどの角度から波がくるかという細かい情報も得られますし、さらに平山さんたちのモデルのように、一つ一つの波の形の伝播を解いて、細かい変形、場合によっては越波流量まで計算できるようなモデルもあります。しかしそれらがいま一つ設計体系の中に活かされていないと感じていまして、そのあたりをそろそろ大幅にアップデートできる時期にあるのではないかと個人的に思っています。

平山▷ 森先生のご指摘されたとおり、波の変形に関する現在の設計体系は、(換算)沖波に対して整理された実験結果に基づく図表等の使い方も含めて、構築されています。一方、近年では数値計算モデルが非常に発達してきていますが、これまではどちらかというと、図表の適用範囲外となる条件では計算結果で対応しましょうとか、現在の設計体系に合わせる形での使われ方が多かったように思います。ですが、守備範囲の異なる数値計算モデルの連携が進む中で、これまでの設計体系に必ずしも縛られなくてもいいところもだんだんと出てきているのかもしれない。橋本先生からもご指摘があった通り、方向スペクトルという情報が今の設計では十分に活かしきれていないということもありますので、それを加味した時にどういった設計ができるのかということ、確かに考える時期にきているなと感じているところではあります。

一方で、我々の研究所は現場に近いというのも一つ大きな強みなのですが、やはり急激に変えすぎると現場は混乱してしまうということもあります。実際、現場ではこれまでの方法で設計されて機能している施設がたくさんありますので、そういったものとの整合を図りつつ、現場の理解を得ながら、より精緻なものに設計体系も含めて変えていくことを徐々に進めていく必要があると思っています。また、その繋ぎが非常に大事だとも思っています。今まさにその繋ぎをやる時期でもあるし、繋いだあとどこにもっていくかということを考える時期でもあるのかなと感じています。

10 波高、周期、方向だけではわからない現象

橋本▷ ナウファス (NOWPHAS)¹⁵⁾の波浪観測年報が港空研資料として出版されていた初期の頃は観測地点数が少なかったため各地点の気象擾乱の上位ケースの周波数スペクトル⁷⁾がその印刷物に掲載されていました。ところが

段々と地点数が増えてきて、印刷物に掲載することが困難になりました。現在閲覧可能な80年代初め頃の年報に掲載されている周波数スペクトルを見ると、長周期波がある擾乱時には発生しているのに、別の擾乱時には発生していないなど多様であることがわかります。有義波高や有義波周期だけでは擾乱時にいったい何が起きているのかは十分に把握できません。私は長周期波が含まれる擾乱時に、例えば越波災害などが激化しているのではないかと考えています。

森先生は以前、フリークウェーブ、一発大波¹⁶⁾の研究をされていましたが、フリークウェーブは方向集中度が高い方向スペクトルの発生時に波浪の非線形性により振幅の増幅率が增大して発生することを示されています。同様に沿岸域の長周期成分の増幅も波浪の非線形性に伴って発生しますが、方向スペクトルの集中度に依存して増幅率が大きく変化します。今のNOWPHASでは有義波高や有義波周期のような波浪諸元だけではなく、方向スペクトルも計算可能です。また、第3世代波浪モデルの推算では有義波高や有義波周期ではなく、実際には方向スペクトルを計算しています。方向スペクトルを港湾構造物の設計体系に今すぐ導入するのは困難かと思いますが、多様な波浪の特性をしっかりと理解してさらに技術を深化させて行くためには、方向スペクトル情報を利活用できる準備をして行く必要があろうと思っています。

11 方向スペクトルでリアルに再現

宮崎▷有義波高、有義波周期や波向といったパラメータではなく方向スペクトルを用いて解析すると予測の精度や再現性が高まるというお話を頂いたと思うのですが、目指すべき精度のオーダーはどのくらいのものなのでしょうか。

橋本▷方向スペクトルの必要性を研究者でない方々にお話しするのは、いつも難しく感じています。港湾施設の設計と利用に分けて説明すると、設計では50年に1度の発生確率の波浪条件を設定します。これは現実には起こっている事象ではなく想定です。そのような想定に方向スペクトルの情報を直接に活かせる段階に技術は進んでいません。でも被災時に、なぜ越波がこのような起こり方をしたのかとか、あるいは港内静穏度を考えた時に、なぜこのような荒れ方をしたのかなどの問題を検討する際には、想定ではなくリアルな現象を把握しなければなりません。このような



場合には、有義波高、有義波周期だけでは不十分で、方向スペクトルの方が現象そのものを理解しやすい。ですから必要な精度のオーダーということではなく、実際に発生した事象の理解という意味で、方向スペクトルは有用な情報だと言えると思います。

宮崎▷今の段階では設計のためというより、そういう現象を分析して説明するためには方向スペクトルがわかるのが一番良いということですね。

橋本▷そういうことです。そのようなことを理解してもらうためのハードルは非常に高く、現場の人と議論すると、「いや、そこまでは要らないよ」というふうに言われてしまうこともあります。

12 設計体系の中での方向スペクトル

平山▷橋本先生のご意見はまさにそのとおりだなと思って伺っていました。現象の再現をする上では、実は方向スペクトルを入れないとやはり合わないですね。NOWT-PARI¹⁷⁾という波の変形計算プログラムを開発して運用してきていますけれども、開発した当初の頃は実験場で起こすような綺麗な、といっても複雑ですけども、関数に従う多方向の波を造波して計算していました。でも、実現象を再現するためには、やはり様々な情報を含む方向スペクトルをそのまま入れないと合わないということで、今は波浪推算で得られる色々な形をした方向スペクトルを計算モデルにそのまま入力して、そこから波形を作って越波を再現する形に変わってきています。

一方で、設計波を算定する際になかなかそれができないのは、極値統計解析で想定された50年に1度発生する波の波高、周期、波向に対して、さらにどういう方向スペク

トルを想定するのかといったところが、まだまだ知見がないというか、なかなかやりきれない部分ですね。その中でも、最低限、方向集中度というか、海域や波向によってうねり性が強いのかそれとも風波成分が多いのか、ということくらいまでは反映できるように検討してみようということで、今、少し始めたところです。本来であれば、例えば二方向波浪みたいなものもあるのかもしれませんが、方向スペクトルの形状にまで踏み込んだ設計はまだハードルが高く、しかし、そういった検討も将来的には必要だなと思っています。

それでも、何らかの設計沖波を仮定する方法は現在の数値計算技術を完全に活かしたことにはならないので、そういう意味では波の発生・発達から一貫通貫で構造の設計まで、それも何万回も計算をして確率的にどうなるというような検討がもしかしたら今後出てくるかもしれません。ただそこまで一気にには行けないので、一旦は沖波という形で値を決めて、それに対して設計するというやり方から徐々に移行していくというような感じかと思います。

なお余談ですが、現在の設計体系の中で方向スペクトルの重要性が最も顕著に現れるのは、波の回折だと思えます。港内静穏度を考える際に、波の一方方向性しか考えないと港内に全然波が回って行かないという状況が算定され、多方向性を考えた場合とは結果がかなり異なってしまいます。すなわち、岸壁前面での波の状況をかなり過小評価してしまう可能性があります。ですから、我々が色々な研修等でお話をしている時は、地方整備局や港湾管理者の職員の方々に、方向集中度のパラメータをしっかりと設定して回折計算をしてくださいとお願いしています。

13 技術的根拠に基づいた取り組みが重要

神谷▷設計につきましても色々考えなければならないことがあると、あらためて感じたところです。お話がありました方向スペクトルのようなモデルの話もありますし、DX¹⁸⁾も進展しています。気候変動も含めてどのような体系で設計をしていくのがこれからの対策として有効なのかということも考えるべき課題だと思っています。

加えて、今、沿岸センターでは港湾工事のための波浪予測を行っていると思うんですけども、それを災害時においても使えないかといったことも、中長期的には重要な課題だと感じています。いずれにせよ、気候変動等による影

響は、公共セクターだけではなくて、臨海部全体にあまねく影響するようなものです。やはりきちんと技術的根拠に基づいた臨海部全体での政策的な取り組みがこれまで以上に重要になってきます。そういうことを考えた場合に、技術的な知見を持っている機関の役割というのは、より重要になってくると思っているところです。

14 日本と世界をどう繋ぐか

森▷気候変動の研究をここ15年くらいやっていますが、15年以上前はピュアな科学だったのが、今はかなり工学及び実務に近づいてきているというのが私の印象です。技術的知見を体系化してオールジャパンで考えていかなければならない段階にきており、神谷課長が言われたことはまさにその通りだなと思っています。

特に波浪について重要なのは、海面上昇と高潮と波浪はセットで考える必要があり、それをどういうふう to 気候変動の中の変化予想として入れていくかというのがこれからの一番近い所の課題ではないかと思っています。一方で波浪、特にうねりは太平洋全体から来ますし、台風は気候モデルがどういうふう to 予測するかにかかっています。ですので、日本だけを見ているのではなくて、世界のコミュニティがどういう予測を出している、日本のモデルはどのような予測で、その中で、例えば波浪の将来変化をどういうふうに取り入れていくかなど、結構広い視点からローカルまで落とし込む必要があるので、そこは非常にチャレンジングな課題だと思っています。特に今WMO（世界気象機関）¹⁹⁾でも波浪の将来予測などを取りまとめつつありますので、日本と世界をどういうふう to 繋ぐかというのが一つポイントかなと思います。

15 CDITには研究と実務の橋渡しを期待

森▷もう一つは気候科学は文部科学省とか環境省がこれまでリードしてきていますが、基本は研究にフォーカスしています。これらの科学的成果をどのように実務に結びつけていくか、繋げていくかというのはもうまさに沿岸センター、国交省の皆さんの役割です。そういう科学的知見を工学的あるいは社会科学的なところにどういうふう to 落とし込むかというのは、これから非常に重要ですし、頑張っ

ていただきたいと思います。

沿岸センターに期待することは、長期的には、新しい設計に向かって技術をリードしてほしいということが一つあります。短期的には、様々な観測データ、モデルで予測等も行われていますので、それらをどういうふうにとまとめて、実務にもそして外部にも使いやすいデータ及び考え方として展開していくかということに非常に期待しています。最近よく使う言葉で、ビッグデータ²⁰⁾、DX、デジタルツイン²¹⁾というのがあります。まさにこの波浪の予測、観測、モデル化というのはそれにマッチしますので、国交省と民間をつなぎながら沿岸センターには日本をリードして行っていただきたいと思っています。

16 新たな技術体系の確立に向けて

橋本▷ 合田先生を中心として体系化された我が国の港湾施設的设计体系が世界で高く評価されている理由の一つは、方向スペクトルの概念が初めから取り入れられていたからだと思っています。当時の港湾技術者にとっては、方向スペクトルの概念をいきなり取り入れることはまだ難しいということもあり、有義波高、有義波周期、波向を介して間接的に方向スペクトルの特性が導入されています。その当時にはまだ精度の良い方向スペクトル情報がない段階での体系化で、その点でも極めて先進的かつ優れたものだと思います。

一方で、近年、港湾・海岸の諸施設に想定外の被災事例が発生しているように思います。特に周期の長いうねり性波浪やそれに伴う大きな越波を主因とする被災が発生しています。これらは施設的设计段階での波浪条件の設定の際には必ずしも想定されていなかったことかと思っています。今後これらの被災に対応できる新たな技術を検討して、設計などの実務に取り入れて行くためには、災害を発生させた特異な海象を従来の波高・周期・波向の波浪諸元のみで検討するには限界があることから、波浪の本質的な構造を表す方向スペクトルに立ち返って検討することが必要かつ合理的かと思っています。現在では以前に比べて計算機やソフトウェアも著しく進化しました。そろそろ新しい技術体系への転換に向けた試みが始まって良いのではないかと思っています。また、森先生が言われたビックデータやデジタルツインの時代では、有義波高や有義波周期のような波浪情報からさらに進めて、リアルな波浪特性を評価でき

る方向スペクトルを利活用できるように変えていかなければならないと思っています。

17 既往データの再解析とデータベース化

橋本▷ 先ほども述べましたように、高精度で信頼性の高い方向スペクトル情報が利用可能になれば、様々な調査・研究において沿岸波浪の出現特性がより適切に検討可能になると思います。ついでながら、現在、港湾局等で実施している気候変動適応策に関する検討においても、方向スペクトル情報はこれまでの波高・周期・波向を用いた検討よりも高感度に波浪の出現特性の変化を把握することが可能です。特にうねりや波向の変化については従来の波高・周期・波向を用いた検討では精度良く変化を捉えることは困難であり、方向スペクトルの利用が合理的だと思います。

まずは既往データの方向スペクトルの再解析とデータベース化が必要です。そして、方向スペクトル情報を利活用できる環境の整備が必要です。そのためには、港湾に関わる様々な調査・研究や設計・施工および維持・管理等のあらゆる場面において方向スペクトル情報の利用を前提とした議論を沿岸センターが中心となり国、研究所、大学、民間企業など様々な分野の方々に加わっていただいで進められないかなと思っています。

長年に渡りNOWPHASで観測されてきた膨大なデータを用いて高精度な方向スペクトルを解析し、データベース化し、利活用できれば、NOWPHASの世界的な評価もさらに一段と高まるものと思っています。

18 日本と世界の波浪研究

宮崎▷ 森先生から日本と世界をどう繋ぐかというご指摘、そして橋本先生からは日本の設計体系が海外でも高く評価されているというお話をいただきました。世界で海岸工学のご研究をされている方もたくさんいらっしゃいますし、各国や地域によって求められるテーマも違ってくるのかもしれないませんが、日本の海岸工学は世界の中でどういう位置付けにあるのでしょうか。世界をリードしているのでしょうか。

橋本▷ すごく答えにくい質問です(笑)。研究レベルは研究テーマや研究者によってそれぞれですから。波浪の研究は、

今、日本では海岸工学分野の人が数多くいて、理学系の人
は数少なくなっています。ところが欧米の波浪研究は、工
学系の人よりもむしろ物理や数学など理学系の人たちも数
多く頑張っています。実は森先生や私も参加している波浪
予報モデルの国際ワークショップには欧米の理学系の方々
が数多く参加されています。皆さん優秀な上に個人が単
独で頑張るといよりも、チームでモデル開発を進めるの
が非常に上手ですね。そういう意味で波浪予報モデルの分
野は欧米が先行してしまい、日本が後からそれを導入して
改良を進めている状況です。ちなみに世界初の第3世代波
浪モデルは一昨年ノーベル賞を受賞したHasselmann²²⁾が
進めたプロジェクトで開発されたものです。一方で、港湾・
海岸分野の様々な技術については、港空研などは現場の情
報を持っていますから、欧米の研究者がかなわない分野も
あり、昔から高い評価を得ています。

宮崎▷本日は波をテーマに大変貴重なお話をいただきました。
CDITとしては、データをきちんと揃えて、誰にでも
使えるような形にしていけないといけないということだと
か、また新しい設計の考え方を広めていくような役割、そ
れから技術的な知見を工学的な現場につなぐ橋渡しの役
割を持っているというご指摘もいただきました。全くその
通りだと思っています。今日いただいたご意見等も踏まえ
まして、今後も調査研究活動に取り組んで参りたいと思
います。引き続きのご指導をお願いしまして、本日の座談
会はクローズとさせていただきます。どうもありが
とうございました。



《用語説明》

1. 【有義波高】

ある地点で連続する波を1つずつ観測したとき、波高の高い
方から順に全体の1/3の個数の波(例えば100個の波が観測
された場合、高い方から33個の波)を選び、これらの波高
および周期を平均したものをそれぞれ有義波高、有義波周期
と呼び、その波高と周期を持つ仮想的な波を有義波と呼ぶ。

2. 【パリ協定】

「京都議定書」の後継となる国際協定で、フランス・パリで
開催された第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)
において2015年12月に採択された、2020年以降の気候変
動問題に関する国際的な枠組み。

3. 【IPCC】

気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel
on Climate Change)の略称。世界気象機関(WMO)及び
国連環境計画(UNEP)により1988年に設立された政府間
組織で、各国政府の気候変動に関する政策に科学的な基礎
を与えることを目的とする。

4. 【気候変動適応計画】

気候変動適応(気候変動の影響による被害の防止・軽減そ
他生活の安定、社会・経済の健全な発展又は自然環境の保全
を図ること)に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図る
ため、気候変動適応法第7条に基づき政府が策定する計画。

5. 【2050年のカーボンニュートラル】

2020年10月、政府は2050年までに温室効果ガスの排出を
全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すこ
とを宣言した。

6. 【交通政策審議会港湾分科会の防災部会】

2011年、港湾における津波対策のあり方に関する調査審議
等を目的として、交通政策審議会令第7条に基づき港湾分
科会の下に設置された部会。

7. 【周波数スペクトル・方向スペクトル】

海面を伝わる不規則な波浪は、周期(周波数)と伝播方向(波
向)の異なる無数の成分波が重なり合って合成されたもの
として表現できる。各成分波のエネルギーが周波数に対してど
のように分布しているかを示したものを周波数スペクトル、
各成分波のエネルギーが周波数及び波向きに対してどのよ
うに分布しているかを示したものを方向スペクトルという。

8. 【第3世代波浪モデル】

風波の発達及び減衰の物理過程として、風によるエネル
ギーの入力、非線型相互作用によるエネルギー輸送、砕波
等に伴うエネルギーの消散の3つがある。このうち、非線
型相互作用によるエネルギー輸送は、始めのうちは寄与が
小さいとされ、考慮されず(第1世代波浪モデル)、その後

重要性が認識されても膨大な計算を要するために、簡単なパラメータで便宜的に表現されていた(第2世代波浪モデル)。しかし、計算機能力の向上と効率的な計算方法の登場により、非線型相互作用によるエネルギー輸送を計算することが可能になった。この種の波浪モデルを第3世代波浪モデルと呼ぶ。

9. 【50年確率波】

施設の供用期間50年間の中で、平均的に1回発生すると予想される波高の高い波浪のこと。過去に発生した波高の高い波浪データを元に統計解析により求められる。一方、波浪データが十分に観測されている場合には、実測値を用いた設定が可能である。

10. 【極値統計】

気象要素などの年最大値データを用いて、これまでに経験した現象やそれらを超える規模の現象がどのくらいの頻度(再現期間)で発生するかを合理的に推定しようとする統計。極値統計では、これまで外れ値と考えて母集団とは別のものとして扱って来た現象を、母集団の一部として扱うようになる可能性があることから、異常気象や極端気象を扱う場合に利用されている。

11. 【ENSO (エルニーニョ・南方振動) 系】

El Niño-Southern Oscillationの略。大気ではインドネシア付近と南太平洋東部で海面の気圧がシーソーのように連動して変化し、海洋では赤道太平洋の海面水温や海流などが変動する、各々の相が数か月から数十か月の持続期間を持つ地球規模での自然現象の総称。大気に着目した場合には「南方振動」、海洋に着目した場合には「エルニーニョ現象」(もしくは、単に「エルニーニョ」と呼ぶ)。

12. 【アリューシャン低気圧】

冬季のベーリング海からアリューシャン列島付近にほぼ定常的に発生し、大きく発達する低気圧。シベリア高気圧との間に西高東低型の気圧配置を形成し、北太平洋の広い範囲に北西季節風を吹かせ、黒潮などの海流や日本沿岸の水位にも影響を与える。

13. 【ハイエイタス】

hiatus: 地球温暖化による気温上昇が一時的に停滞する現象。

14. 【合田良寛】

ごうだ よしみ (1935-2012): 「合田式」として有名な波圧算定公式の確立など数々の偉大な業績を残した海岸工学・港湾工学の世界的権威。元港湾技術研究所(現港湾空港技術研究所)長、横浜国立大名誉教授。

15. 【ナウファス (NOWPHAS)】

Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS (全国港湾海洋波浪情報網)。日本沿岸の波

の情報を各地に設置された観測機器からリアルタイムで情報を収集し、国土交通省、内閣府、港湾空港技術研究所が協力して管理・運営している日本沿岸における定常観測網。ナウファスで観測された波浪情報は「リアルタイムナウファス」というWebサイトを通じてリアルタイムに情報発信される。

16. 【フリークウェーブ、一発大波】

通常、不規則な海洋の波の中には有義波高よりも高い波が含まれ、10波に1波は有義波高の1.3倍、100波に1波は1.6倍、1000波に1波は2倍に達すると言われる。この経験則を拡張すれば、数千あるいは数万波に1波は有義波高の数倍となることが考えられる。これを一発大波(いっばつおおなみ)または“フリークウェーブ”(Freak Wave)と呼ぶ。

17. 【NOWT-PARI】

多様化する港湾設計の実務に対応するために開発された、波の非線形性と分散性を考慮できるブシネスク方程式と各種の境界処理法を用いて、現実の港内外で生じるさまざまな波浪変形を同時に、かつ高精度に算定できる計算モデル(ブシネスクモデル)のこと。

18. 【DX】

Digital Transformation (デジタルトランスフォーメーション)の略称。データとデジタル技術を効果的に活用し提供ができるよう、ビジネスや組織の活動・内容・仕組みを戦略的、構造的に再構築していくこと。

19. 【WMO (世界気象機関)】

World Meteorological Organization: 世界の気象業務の調整・標準化・改善や各国間の気象情報の効果的な交換を奨励することにより人類の活動に資するため、世界気象機関条約に基づき、1950年に設立された国連の専門機関の一つ。

20. 【ビッグデータ】

一般的なデータ管理・処理ソフトウェアで扱うことが困難なほど巨大で複雑なデータの集合。単に量が多いだけでなく、様々な種類・形式が含まれる非構造化データ・非定型的データであり、さらに、日々膨大に生成・記録される時系列性・リアルタイム性のあるものを指すことが多い。

21. 【デジタルツイン】

現実世界の物体や環境から収集したデータを使い、仮想空間上に全く同じ環境をあたかも双子のように再現する技術のこと。

22. 【Hasselmann】

Klaus Ferdinand Hasselmann (クラウス・フェルディナンド・ハッセルマン、1931-) : ドイツの海洋・気象学者。2021年12月、地球温暖化などの予測手法、「気候モデル」の確立でノーベル物理学賞を受賞。

波の種類・特性と沿岸への影響・入門編



下迫 健一郎

一般財団法人 沿岸技術研究センター
審議役

1. はじめに

海には様々な波が存在します。波とは、分かりやすくいうと海面の上下運動のことです。図1に示すように、上がった水面がいったん下がって、また上がるまでの時間を周期、一番高い水位と一番低い水位の差を波高といいます。また、1つの波の長さを波長といいます。波の周期はその発生原因によって異なり、短いものから長いものまで様々で、沿岸に与える影響もそれぞれ違いがあります。本稿では、こうした様々な波の基本的な特徴についてご紹介します。

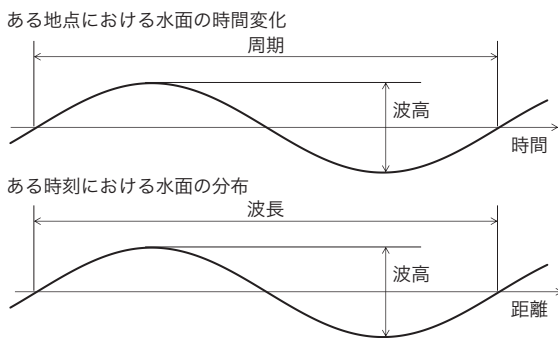


図1 波高、周期および波長の定義

2. 周期による波の分類とその特性

私たちが普通に海岸で見かける波は、海の上を吹く風によって発生します。そのうち、風によって直接起こされる波を風波かざなみ

と呼び、周期は概ね数秒から15秒程度です。十分に発達した風波では、波高が10m以上になることもあります。

一方、風波が伝わって行って、風が吹いていない場所に到達したものをうねりと呼びます。うねりは比較的周期が長く、最長で20秒程度になります。一般に風波とうねりをあわせて波浪と呼んでいます。夏から秋にかけて、太平洋側の海岸には台風が近づく前に「土用波」と呼ばれるうねりが来ることがあり、晴天で風のない日でも大きな波が発生します。

周期が30秒程度以上の波は長周期波と呼ばれます。風波やうねりの波高は不規則に変化しますが、大きな波が1波だけではなく、数波連なって来る傾向があることが知られており、この性質を波群性といいます。30~300秒程度の長周期波は、風波やうねりの波群の変化などに起因して生じます。こうした長周期波は波高があまり大きくないため、見た目には分かりにくいのですが、船をつないでいるロープが切れるなどの被害が発生することがあります。

一方、周期が10分以上の長周期波は、湾や港の固有周期に共振して起こる副振動と呼ばれるものが多く、副振動は沖合での気圧の急変によって発生する、水深に比べて波長の長い波(海洋長波)が増幅しながら伝わり、湾内や港内でさらに増幅されることで発生します。こうした長周期波はその被害に度々見舞われる長崎湾では「あびき」とも呼ばれ、長崎湾で1979年に観測された過去最大のあびきは周期が約35分で、最大の全振幅(波高)が278cmを記録しました。

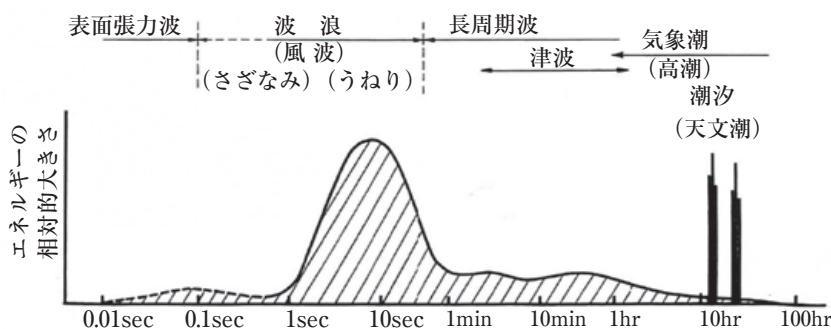


図2 周期による海面変動の分類の例

海底地震や火山の爆発など急激な海底変動によって発生するのが津波で、周期は数分から数十分程度です。津波は沖のほうではあまり目立たない波ですが、水深が浅くなるにしたがって大きくなり、岸に這い上がって多くの人命を奪うこともある恐ろしい波です。

高潮は、台風のような強風を伴う低気圧による海面の異常な上昇で、気圧低下による吸上げと強風による吹寄せの2つの要因によって発生します。その周期は、日本沿岸では数時間から十数時間程度です。大気圧が1hPa低下すると海面は約1cm上昇します。また、吹寄せによる海水面の上昇は、風速が速いほど、湾の長さが長く水深が浅いほど大きくなります。

そのほか、海面の水位(潮位)は約半日の周期で上下に変化します。これを潮汐と呼び、太陽と月の運動によって起こります。天体の運動は規則的なので、潮汐による水位変動はほかの海面運動とは違って正確に予報することができます。

3. 波の伝播と変形

3.1 波の速さ

波の進む速さは水深と周期によって決まり、水深が大きいほど、周期が長いほど早く進みます。波の波形が伝わる速さを波速というのに対して、波のエネルギーが伝わる速さを群速度といいます。通常の波浪の場合、群速度は波速よりも遅いため、波の先頭では振幅が徐々に小さくなっていきます。これに対して、津波の場合は群速度と波速が同じになるので、伝播する間に波の先頭で振幅が小さくなることはありません。

3.2 波の変形

波は伝播の途中で屈折、浅水変形、砕波、回折、反射など、様々な変形をします。

・屈折

3.1で述べたとおり、水深が浅くなると波の伝播速度が遅くなります。そのため、波の進む方向は等深線に対して直角に近づきます。こうした変形を屈折といい、沖では様々な方向に進んでいる波が、海岸線に近づくと波の峰が海岸線にほぼ平行になるのはそのためです。

・浅水変形

波のエネルギーが伝わる断面積は水深に比例するので、水深が浅くなるとエネルギーの密度が高くなり、波高が大きくなります。こうした変化を浅水変形といいます。

・砕波

波高が水深や波長に比べてある程度大きくなると、波は砕けます。これを砕波といいます。通常の波浪は海岸に近づくと砕波して波高が小さくなりますが、津波や高潮は砕けることなく海岸に押し寄せて陸上までは上がります。

・回折

島や岬、防波堤など波の進行を妨げるものがあると、波はそれらの背後に回り込みます。これを回折といい、周期の長い波ほど回折の影響は大きくなります。

・反射

波の進行を妨げるものにぶつかると、波は向きを変えて別の方向に進みます。これを反射といいます。反射した波の波高と元の波の波高の比を反射率といい、通常の波浪の場合、直立の壁がむき出しの防波堤では0.7~1.0程度ですが、緩やかな砂浜海岸では0.05~0.1程度と非常に小さくなります。

4. 沿岸への影響

4.1 海岸地形の変化

台風などによる高波が来ると、砂浜海岸では海岸線が大きく後退することがあります。通常はしばらくすると海岸線は元に戻りますが、河川からの土砂供給が少ないと、海岸線は元に戻らず徐々に後退していきます。このような現象を海岸侵食といいます。対策としては、コンクリートブロックによる離岸堤などを設置して、砂の堆積を促進する方法などがあります。

4.2 港内における長周期波の影響

防波堤は外から来る波を遮り、港を静穏に保つ重要な施設です。しかし、長周期波の場合は通常の波浪に比べて回折の影響が大きいため、船舶が出入りするための港の入り口から港内に侵入したり、防波堤下部の捨石マウンドから透過したりして、港内の静穏度に影響を与えます。対策としては、防波堤を延ばして港内への長周期波の侵入を少なくする方法や、港内の水際線の消波性能を向上させて反射による波高の増大を防ぐ方法などがあります。

4.3 津波や高潮による被害

3.2で述べたとおり、通常の波浪は沿岸に到達すると砕波によって小さくなるため、それ自体では大きな被害が生じることはありません。しかし、高潮と高波が重なった場合や、津波が来襲した場合には、沿岸域に大きな浸水被害をもたらすことがあります。津波や高潮に対する対策としては、海岸堤防などの構造物によるハード対策で浸水を防ぐ方法がありますが、構造物による対策には限界があるため、被害を最小化するためには早期避難などのソフト対策も重要です。

5. 最後に

海の波の種類や基本的な特徴について紹介しました。温暖化による海面の上昇や台風の強大化により、波による沿岸への影響の増大が懸念され、今後はこれらに対する適切な対応が不可欠になると思われます。

海岸工学の誕生と発展



高橋 重雄

一般財団法人 沿岸技術研究センター
 上席客員研究員

1. まえがき

図1は、「史上最大の作戦」といわれる第二次大戦のノルマンディ上陸作戦をテーマとした絵画で、フランスのノルマンディの海岸に造られた仮設港が描かれています。筆者はこれをロンドンの英国立海事博物館で見つけたとき、研究所や大学の諸先輩から「海岸工学はノルマンディ上陸作戦から始まった」と聞いていたことを思い出しました。



図1 ノルマンディ上陸作戦とフェニックスケーソン
 (Stephen Bone作 英国立海洋博物館蔵)

本報告は、海岸工学の発展について概要を述べるものであり、これまで筆者が諸先輩から聞いていたことなどをとりまとめたものです。ただし、多くの諸先輩が言われるように、海岸工学は第二次大戦から急速に発展していると思いますが、海の工学は港を造る技術として古くから進歩しています。特に、産業革命における海の工学を含む科学技術の発展は顕著であり、明治維新を経て、わが国にも伝わっています。

海岸工学は、そうした技術を基礎として、第二次大戦を契機に誕生し、戦後にわが国にも紹介されています。米国や欧州のみならず、わが国における第二次大戦後の海岸工学の発展は著

しく、成熟した段階に達していると思います。さらに21世紀にはいって、新たな進展を迎えているのではないのでしょうか。

2. 産業革命と防波堤の建設

紀元前の昔から防波堤はあり、試行錯誤ではありましたが、技術の進展が認められます。特に、18世紀以後の産業革命とともに世界中に港が造られ、大規模な防波堤が多数建設されると、その技術は、代表的な海の工学の一つとして急速に進歩しています。

例えば、フランスのCherbourg港の防波堤の建設は1781年から始まっており、最初の設計では、底面径50mのコーン形(円錐台)の石柵堤でしたが、捨石堤に変更され、被災と修復を繰り返して、捨石マウンドの上に直立壁をもつ混成堤(捨石マウンドと直立壁の混成という意味)が造られています(図2)。

このように産業革命以降、防波堤を中心に海の技術は蓄積され、第二次大戦を経て、戦後の海岸工学へと続いています。ちなみに、後述するハドソンの捨石の安定重量式は、1938年のスペインのイリバレンの公式を基礎とするものです。イリバレンは、若い頃から防波堤など港の建設に従事しています。

なお、波の基礎理論(微小振幅波理論)はイギリスの天文学者、G.B.Airyによって1845年に提案されており、この時代の数学や物理学など基礎科学の発展も海岸工学の誕生に大きく寄与していることは当然です。

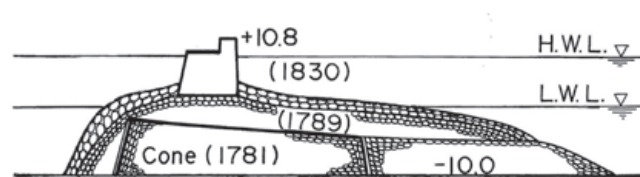


図2 Cherbourg防波堤の建設

3. 明治維新と防波堤の建設

日本では明治維新の後、近代的な港の建設がいわゆるお雇い外国人によって始まっています。例えばイギリス陸軍の工兵少将H.S.Palmerは、横浜水道を建設したことで有名ですが、1888年からの横浜港の防波堤の建設にも貢献しています(図3)。

こうした当時の西欧の混成堤の技術を発展させる形で、廣井勇らが小樽港の防波堤などを建設しています(図4)。スリランカのコロンボ港にも、小樽港の混成堤に似た混成堤が造られていることは興味深いことです。廣井は、1919年に砕波の波圧公式(廣井式)を提案しており、合田式が提案されるまでは実務に使われていました。また、廣井は千葉の太東崎の海岸で、波エネルギー変換装置の研究もしており、強大な波力の利用まで考えています。廣井は、橋梁の本を書くなど土木技術者として幅広い活躍をしており、日本の土木技術者の先達、海岸工学の先達といってよいと思います。



図3 今も活躍している横浜港の北水堤

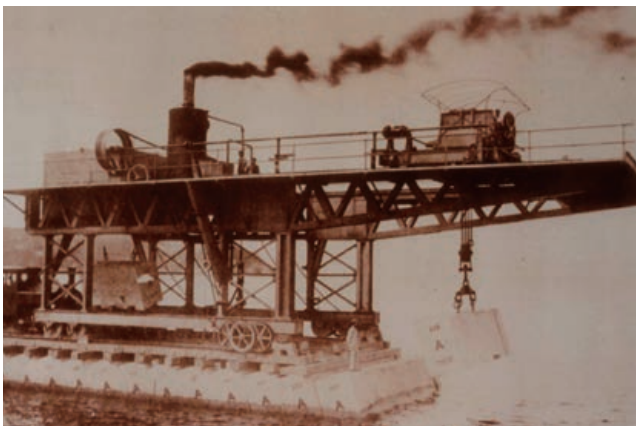


図4 小樽港防波堤の建設

4. ノルマンディ上陸作戦と海岸工学の誕生

前掲図1のノルマンディの海岸には、船のようなものが並んでいますが、これはフェニックスケーションと呼ばれる長大ケーソンで、上陸作戦用物資のための仮設港を造る仮設防波堤です。仮設港の建設はもちろん、この海岸への上陸作戦のために、多くの研究者や技術者が動員され、様々な技術開発が行われています。

例えば、捨石の安定重量の設計公式で有名なハドソン(図5)は、若いときにフェニックスケーションの水理模型実験にも従事しています。彼の所属したWES(Waterways Experiment Station)は、アメリカの陸軍工兵隊(US Army Corps of Engineers)の研究所であり、陸軍が港湾や海岸の整備を担当するアメリカにあって、日本の港湾空港技術研究所のような役割を担うところです。陸軍工兵隊には、1933年に設立された海岸侵食局BEB(Beach Erosion Board)もあり、そうした調査・研究機関の人材や研究施設、そして実験技術などが第二次大戦を契機に発展しています。ちなみに、BEBは、1963年にCERC(Coastal Engineering Research Center)となり、1996年には、WESと統合し、CHL(Coastal and Hydraulics Laboratory)となっています。

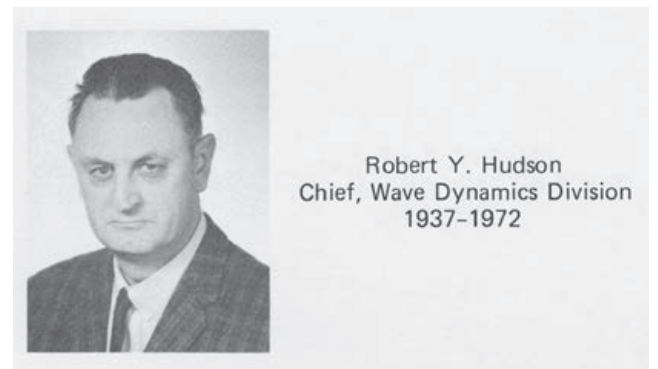


図5 Robert Y. Hudson
(A History of the Waterways Experiment Station, 1979)

また、SMB法と呼ばれる波浪予測技術の基礎が、米国カリフォルニア大学海洋研究所のスベドラップとムンクによって、まさにこうした上陸作戦のために開発されています。また、屈折・回折・砕波などの波の変形の基礎技術も開発されました。

このように、海岸工学は、第二次大戦で軍事技術として格段に進歩しました。この軍事技術は、第二次大戦後、Civil Engineeringとして一般に開放されています。そうした知見の発表の場として、カリフォルニア大学のオブライアンとジョン

ソンは1950年にロングビーチで、海岸工学講演会を開催しました。これが現在にも続く、国際海岸工学会議の第一回目となっています。以下は、第一回目の論文集の構成と各編の重要なKeywordsを示すもので、「海岸工学の計画及び設計に関する科学技術の現状」を報告するものです。

第1編 波運動の基本原則

波の発生、波の理論、波の変形、屈折・回折、海浜流

第2編 設計の基礎資料

波の記録、波の予報、風波・うねり、気象図、沿岸地形

第3編 海岸土砂

地質学、河川土砂、砂浜、水理模型実験、浚渫

第4編 海岸構造物の設計と施工

港湾の位置、防潮壁、突堤、防砂堤、防波堤、模型実験

第5編 海岸計画の沿革

ロサンゼルス港、サンタモニカ湾、
ニュージャージー海岸

5. 伊勢湾台風と日本の海岸工学

日本の海岸工学は、米国の国際海岸工学会議の論文集を翻訳することから始まったと思われます。海岸工学Ⅰ及びⅡ(J.W.Jhonson編/土木学会海岸工学委員会訳、丸善、1955年)はその第一巻から第三巻までを翻訳したものです(図6)。



図6 海岸工学Ⅰ及びⅡ

ただし、日本の海岸工学発展の契機となったのは1953年の台風13号や1959年の伊勢湾台風による高潮・高波災害でした。日本の海岸工学は、1950年代の高潮・高波災害から始まったともいえます。

伊勢湾台風は、9月26日に潮岬に929hPaで上陸し、伊勢湾奥を中心に大災害をもたらしました。特に高潮偏差は3.45m、最高潮位は平均海面上3.89mに達し、5,098人におよぼる犠牲者の原因となりました。わが国の高潮防災は、この伊勢湾台風が基準となり、このクラスの台風が各湾を襲ったときの高潮を対象にしてきました。こうした高潮推算は、当時の計算機で行われていますが、的確な高潮偏差を計算していることに驚かされます。

6. 海岸工学の72年間の発展

1950年から72年たちます。日本はもちろん米国や欧州の多くの技術者・研究者のご努力下、海岸工学の発展は目を見張るものがあります。ここで開発された多くの技術について述べることは、その概要であっても困難です。しかしながら、ノルマンディ上陸作戦のために使われた技術を現在の技術と比べてみれば、格段の違いがわかるでしょう。例えば、現在では波浪の予測は、沿岸センターのCOMINSのように波浪スペクトルを数値計算(WAMやWWIII)で求めることができます。また、浅海域への波の伝播や仮設防波堤に作用する波力、係留船の動揺などは、設計公式等で算定でき、多方向不規則波を用いた水理模型実験でより的確に把握でき、種々のレベルの数値計算でも求めることができます。

7. 日本における主要な技術開発

海岸工学の発展に対する日本の貢献は顕著です。ここでは、例として日本の技術開発について3つを紹介したいと思います。

(1) 現地観測

海岸工学の発展には、現地のデータが大きく寄与してきました。日本でも多くの現地観測や現場実験が行われていますが、とりわけNOWPHASによる長年の波浪観測は、現地の波の理解と予測技術の発展にとって重要でした。また、栈橋による観測により、現地の海浜変形が非常にダイナミックであることを再認識しています。

(2) 不規則波に基づく耐波設計体系

合田良實は、1985年に著書Random Seas and Design of Maritime Structuresを発表し、耐波設計体系を規則波から不規則波に変えています。結果として、波の伝播や変形だけでなく、耐波構造物の設計をも大きく変えるとともに、多方向不規則波による実験など実験をも変えるものとなり、世界の海岸工学を変えるものでした。

(3) 数値計算

波の伝播や構造物への波の作用を計算する数値計算の発展は、わが国でも目覚ましいものがあります。とりわけ、緩勾配方程式による波の伝播、さらには非線形なブジネスク法の進展が顕著です。また、流体力学の基本方程式であるナビエ・ストークス方程式による数値流体力学 (CFD) に基づく数値波動水路・水槽も実用のレベルとなっています。沿岸センターでは、研究会を設けて集中的な開発を行っています。

8. 最近の課題

海岸工学にかかわる残された問題は少なくなく、新しい課題も多いのですが、ここでは、主要なものについて述べます。

(1) 耐波構造物の設計上の諸問題

杭に作用する衝撃砕波力や、栈橋上部工への衝撃揚圧力など、水面と構造物の衝突は空気を巻き込む複雑な現象であり、その衝撃力の算定には問題が残っています。数値波動水路でも、砕波や衝撃力の計算では、十分に安定した結果を得るには至っていません。なお、大きな衝撃力の発生の危険性を把握して、それを避ける設計とすることは重要であり、ほぼ可能となっています。

また、防波堤などの消波工や被覆石の沈下も問題です。これは、消波工や被覆石の下にあるマウンド石や海底地盤の洗堀や散乱に起因することが多いのですが、適切な対策が取られていないことも多いと思われます。

さらに近年、防波堤を設けず外洋に直接護岸を建設する、防波護岸が増加しています。防波護岸では、捨石マウンドやケーソン目地から波力が直接的に作用するため、吸出しなどによる陥没事故が少なくなく、圧抜き工など、適切な対策が必要です。

なお、長周期波とそれに対する係留問題も重要であり、その原因の特定と定量的な把握、的確な対策が課題です。

(2) 地球温暖化

人類の喫緊の課題として、地球温暖化があり、その解決には、海岸工学の責任も少なくないと思われます。緩和策としては、洋上風力発電の推進等があり、日本でも、ようやく進展し始めています。

適応策としては、海面上昇に対する対応や、台風の強大化への対応があげられます。海面上昇については、海岸侵食の進行も大きな問題です。海岸侵食は、これまで難しい海岸工学の課題の一つでしたが、その対策は一応、可能となっています。しかしながら、海面上昇による世界的な海岸侵食の進行には、

さらに的確な対策が必要となっています。

また高潮・高波の増大による浸水災害への対応が不可欠であり、とりわけ災害の予測、見える化によって、市民の理解を得ることが重要です。特に、適切な避難や早期復旧への備えなど、強大な台風に対する防災能力の向上を図る必要があります。

(3) DX/AI

近年の情報技術の発展により、DX (デジタルトランスフォーメーション)、すなわち、デジタル技術の進展が社会を変えていくと考えられています。特に、AI (人工知能) は、設計を変えていくと思われます。海岸工学の分野でも、変革は不可避と思われ、すでに、一部でAIの適用は始まっています。例えば、護岸の越波流量を求めるために、これまでの実験結果を教師データにして、AIで算定することも可能です。こうしたDX/AIによって、海岸工学にも大きな変革が期待されます。

9. あとがき

本報告では海岸工学の発展、特に、波に関する概要を示しましたが、海岸工学は、沿岸域の工学として幅広いテーマを持つようになっています。例えば、市民による海岸の利用については、親水性というKeywordで景観や安全性の向上について研究が進められています。また、沿岸域の水環境や生態系、生物多様性に関する研究も、海岸工学の重要なテーマとなっています。最近では、沿岸域におけるCO₂の削減 (ブルーカーボン) の研究も進んでおり、海岸工学の一部というよりは新たな学問領域と言えるかもしれません。本報告で述べてきたように、海岸工学は時代の要請を受けて誕生・拡大し、その時代の最先端の技術を利用して成長してきており、今後も発展すると期待されています。

なお、防波堤の歴史については、伊藤喜行 (1969) : 防波堤構造論史、港湾技術研究所資料No.69、海岸工学の歴史については、合田良實 (2012) : 海岸工学、技報堂出版を参照してください。

津波警報など津波防災への最近の取組



相澤 幸治

気象庁地震火山部
管理課課長補佐

1. はじめに

令和4年1月15日にトンガ諸島のフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山で大規模な噴火が発生し、日本でも、気圧変化とその直後からの潮位変化が観測された。この潮位変化は、津波の到達予想時刻より数時間早く観測されるなど、地震による津波とは異なる性質を有していた。気象庁では、国内各地で観測された大きな潮位変化に最大限の警戒を呼びかけるため、津波警報・注意報の枠組みを用いることが適切であると判断し、津波警報等を発表した。一方、この対応では、潮位変化が観測された時点ではそのメカニズム等が明らかではなかったため、津波警報等の発表までに時間を要したことや、火山噴火の発生から津波警報等の発表までの間の情報発信が不十分だったことなどの課題があった。

本稿では、フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の噴火による潮位変化を踏まえた、火山噴火等による潮位変化に関する情報発信の運用改善について紹介する。

2. フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の噴火と発生した潮位変化

令和4年1月15日13時頃(日本時間)に、トンガ諸島のフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山で大規模な噴火が発生した。気象衛星ひまわりの観測では、噴煙高度は、約16,000メートル(52,000フィート)まで達した(図1)。この大規模噴火の後、1月15日13時25分頃からフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山近傍のヌクアロファ(トンガ)等で、火山噴火に伴うとみられる潮位変化が観測された。日本で潮位変化が生じる可能性が予想されたことから、同日18時00分に「遠地地震に関する情報」を活用して「日本への津波の有無を調査中」と発表した。その後、日本への伝播経路上の海外の潮位観測点では大きな変化は観測されなかったことから、同日19時03分に津波予報(若

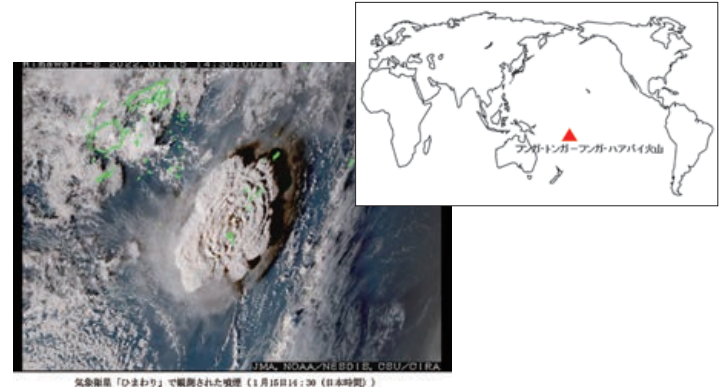


図1 気象衛星ひまわりで観測されたフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の噴煙

干の海面変動)を発表した。しかし、その後、日本国内の潮位観測点で、通常の地震による津波から予想される到達時刻よりも2時間以上も早く潮位変化が観測され始め、これらの潮位変化が大きくなる傾向が見られた。このため、翌16日00時15分に津波警報・津波注意報を発表し、潮位変化へ注意警戒を呼びかけた。この潮位変化により、宮城県、三重県、徳島県及び高知県における船の転覆・沈没等30隻の他、漁具や養殖施設、水産物被害等が確認されている(国土交通省、水産庁調べ)。

3. 情報の改善に向けた検討と対応

この一連の対応における課題を踏まえ、気象庁では、緊急的な措置として、国内の潮位観測点で観測された潮位変化に応じて、津波警報や津波注意報を発表することに加え、2月以降海外で大規模な噴火があった場合には、遠地地震に関する情報を活用して潮位変化の可能性を早めにお知らせすることとした。

また、令和4年2月から3月にかけて、津波・火山・海洋の専門家を交えた「津波予測技術に関する勉強会(座長:佐竹健治 東京大学地震研究所教授)」を開催し潮位変化のメカニズム等を分析した。その結果、

- ・今般の潮位変化は、大規模噴火に伴う気圧波の伝播等によって生じた。

- ・このうち、最も伝播速度が速い気圧波は約300m/sの速度で伝わったラム波（大気と海面との境界に捕捉されて伝わる大気境界波）であり、これに伴う潮位変化が日本では最初に発生したと考えられる。
- ・その後、伝播速度が約200m/sの大気重力波も伝わった可能性があるものの、それがどの程度潮位変化に寄与したかの定量的な評価は現時点では困難である。

この定量的な検討を受けて、令和4年4月より、最も速い気圧波（ラム波）の到達時刻を、潮位変化が発生する可能性がある最も早い時刻として情報提供する改善を行った。

さらに、令和4年5月から6月にかけて、津波・火山・防災情報の専門家やメディア、関係省庁からなる「火山噴火等による潮位変化に関する情報のあり方検討会（座長：佐竹健治 東京大学地震研究所教授）」を開催し、火山噴火により発生した気圧波や山体崩壊等の火山現象に起因する潮位変化に関する情報のあり方を検討した（図2）。

検討会の報告書の内容を踏まえ、火山噴火により発生した気圧波に起因する潮位変化に対しての情報提供の流れについて、以下のとおり更に改善した。

- ・噴煙高度約15,000m以上の大規模噴火が観測された場合に、当面、「遠地地震に関する情報」を活用し、潮位変化を「津波」と呼称した上で、その発生可能性について情報発表する。
- ・気象衛星ひまわりによる解析で、明瞭で広範囲に伝播する気圧波が観測された場合、「津波発生の可能性が高まった」という内容を含む情報を発表する。
- ・国内での潮位の観測値が津波警報や津波注意報の基準を超えたタイミングで、津波警報・注意報を発表することを基本とする。ただし、明瞭な気圧変化を観測し、それに整合するタイミングで明瞭な潮位変化を観測した場合等、その時点で得られている津波の要因となる観測結果と矛盾しない明瞭な潮位変化を観測した場合には津波注意報を発表し、観測値が基準を超えたタイミングで津波警報を発表する。

- ・気圧波（ラム波）の到達予想時刻を超えた時刻に情報を発表する場合は、津波の観測結果を情報の内容に含める。その際、潮位変化が観測されていない場合は、引き続き注意を継続するよう呼びかける。

- ・気圧波（ラム波より遅い内部重力波）によって生じる潮位変化が観測されなければ、津波の心配はないと言える（地形変化等による潮位変化の可能性は別途考慮する）。

検討会では、山体崩壊等の火山現象により発生する潮位変化に対する情報発表シナリオ及び防災上の留意事項等についても整理された。このような発生頻度が低い稀な現象であっても防災対応につなげるためには、

- ・予測困難で突発的に発生することがある旨を周知する
- ・典型的な情報発表シナリオやとるべき行動について解説・情報提供する

といった平時の普及啓発のほか、現象発生時には、観測結果をもとに津波警報・注意報を発表するとともに、現象の説明や典型的な情報発表シナリオを示すなどした記者会見等での丁寧な解説が重要であるとされている。

このため、平時からの周知として「地震や火山現象等に伴い発生する津波」のページを気象庁HPに公開した。また、中長期的には、「遠地地震に関する情報」の名称変更、潮位変化の可能性のある噴火の絞り込み、沖合の津波観測点の活用等についても技術開発や検討を進めていく。

4. おわりに

フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の噴火に伴って発生した潮位変化のような現象は、約150年で2~3回程度と発生頻度は低い。しかし、ひとたび発生すれば、沿岸で人的被害等が生じる可能性がある。気象庁では、今般の経験を踏まえ、火山現象に伴う津波という稀な現象であっても被害が最小限に食い止められるよう、必要な情報を適切に発表するとともに、平時から津波に関する丁寧な解説を行っていくこととしている。

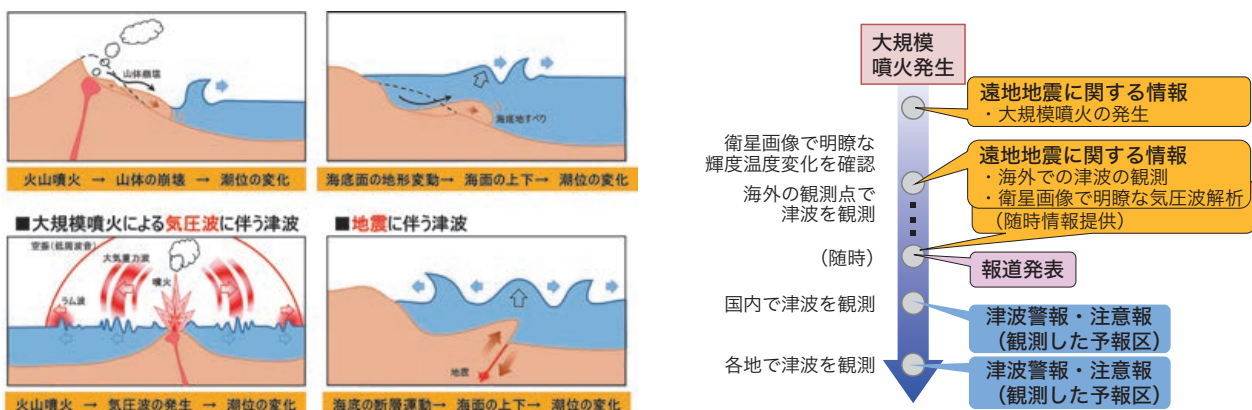


図2 火山噴火等で発生する潮位変化の概略と気圧波に起因する潮位変化への情報発表シナリオ

波浪・高潮監視・予測技術による 沿岸防災への最近の取組み



鈴木 善光

一般財団法人 沿岸技術研究センター
波浪情報部 調査役

1. はじめに

近年、2018年台風第21号（関西国際空港の滑走路の浸水）や2019年台風第15号（横浜港で岸壁からの越波浸水）、同年台風第19号（東京湾沿岸での越波浸水や広域的な大雨による洪水）などに代表されるように、台風による高波や高潮等に起因する災害が毎年のように発生し、地球温暖化による台風の強大化の見通しもあり、沿岸域の住民に不安を与えている。

このような強大な台風による高波や高潮の予測は、台風進路の僅かな違いによって大きく変わることがあるため、これまでのような一つの予測ではなく、あり得る複数経路の台風進路によって幅のある予測を行い、最悪の状況を見逃さないようにすることで、逃げ遅れの無い防災対策に繋げることができる。

近年、台風の進路・強度予測には、数値予測に予測誤差が含まれていることを前提としたアンサンブル予測を利用することが一般的になっており、台風による高波・高潮予測の新たな分野を展開している。

沿岸技術研究センターでは、このアンサンブル予測を従来の台風時高波・高潮予測システムに取り込むことによって改良し、幅のある（見逃しリスクのない）予測情報を作成しお客様に提供することを検討している。

本稿ではこのアンサンブル予測を用いた新たな台風時高波・高潮予測システムを紹介するものである。

2. 台風時高波・高潮予測システムの改良

2.1 アンサンブル予測とは

気象予報には誤差がつきものであり、誤差の広がり事前に把握するため「アンサンブル予測」という数値予報情報を利用する。この情報は、ある初期時刻に少しずつ異なる初期値を与えて多数の気象シミュレーションを行い、台風や温帯低気圧などの気象現象の発生や変化を確率的に捉えるものである。

例えば図1は2019年台風第19号が日本の南方洋上にいた時点での、その後の進路をアンサンブル予測によって予想したものである。この時点では台風進路は最も西寄りには紀伊半島、東寄りには房総半島方面に向かう可能性があり、太平洋沿岸の広範囲に高波や高潮の襲来リスクがあることを示している。

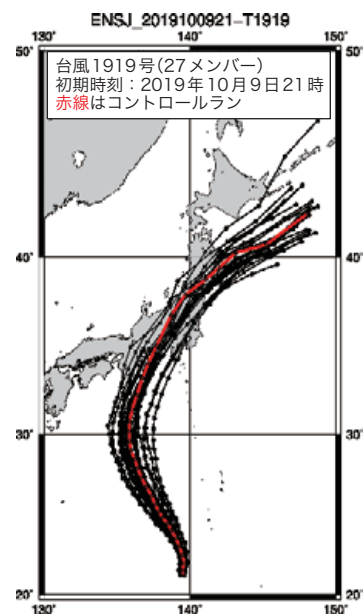


図1 アンサンブル予測の例(台風1919号)
(注：アンサンブル予測の各ケースを「メンバー」と呼ぶ)

2.2 台風時高波予測システムの改良

現在のカムインズで運用されている台風時高波予測では、波浪推算手法として速報性に優れた有義波法を用いている。この手法は比較的狭い内湾域であれば予測精度はよいが、外洋に面した港湾や多くのうねりが進入する港湾では予測精度が不十分であり、予測手法の高度化による一層の予測精度向上が望まれている。

この予測精度向上策としては、当センターで平成30年度から参画しているSIP「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」プログラムで開発された、アンサンブル予測を入力データとしたWAVEWATCH III波浪推算モデルによる数値シミュレー

ション手法に切り替えるものである。この手法の切り替えにより、個々のアンサンブルメンバー毎に日本全国の沿岸域の時々刻々の面的な予測値を得ることができ、同時に予測精度の向上を見込むことができる。

図2に示すとおり台風時高波予測システムの入力風は気象庁配信の週間アンサンブル¹⁾及びメソアンサンブル²⁾予報値を用いる。

- 1)地球全体を対象としたモデルによる予報。予測時間は約1週間。
- 2)日本及びその近海を対象としたモデル(メソモデル)による予報。予測時間は約1日半。

高波予測では、台風予報(進路、強度)の不確実性に起因する予測波高の不確実性を把握するために、台風接近の5日前頃より週間アンサンブル予報データを対象に全メンバーの波浪予測計算(最小格子間隔約2.5km)を1日4回(6時間毎:台風アンサンブル予報データを含む)行う。さらに台風接近の2日前頃よりメソアンサンブルを対象として、週間アンサンブルと同様の計算回数、予測時間間隔で予測計算を行う。

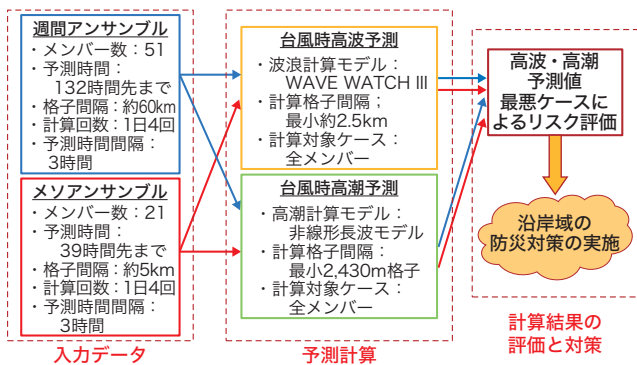


図2 新しい台風時高波・高潮予測システムの概要

図3に台風2214号が西日本に襲来した時の神戸港(ナウファス)における波浪予測結果について、襲来5日前、3日前、1日前の台風経路、時系列図、波高階級別頻度を示す。

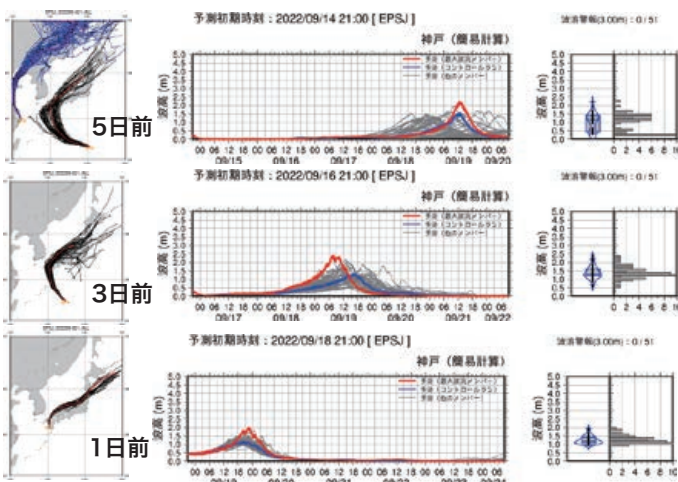


図3 新しい高波予測システムによる波浪予測結果

図3によれば、台風の進行につれて台風進路のメンバー間の振れ幅が小さくとなると共に、波高の予測値の振れ幅も徐々に小さくなっていることがわかる。

2.3 台風時高潮予測システムの改良

台風時高波予測システムの改良に併せて高潮予測システムの改良も行う。従来のシステムは経験的な高潮実験式を用いる方法で、過去の高潮発生時の気象条件と高潮偏差の観測データを集めて重相関解析を行い、気圧による吸い上げ効果と風による吹き寄せ効果を考慮した実験式の係数を求めている。

この手法は簡便なものであるが速報性に優れており、三大湾のように、北に向かうにつれて湾の幅が次第に狭くなるような地形では概ね良好な精度があるが、外洋域や瀬戸内海のような東西に広がった多島海では精度が不十分で、台風経路の誤差に伴って生じる最悪ケースを捉えられないという課題がある。

新しい高潮予測システムは、入力データとして、週間及びメソアンサンブル予報値(風、気圧)を用い、非線形長波モデルによる数値シミュレーションによって台風襲来時の最高潮位を精度よく予測できるようにするものである。図4に台風2214号襲来時の周防灘の苅田港における高潮の予測値の4.5日前、3日前、1日前の時系列図等を示すが、台風の進行につれて潮位の予測値の振れ幅が徐々に小さくなる様子が見られる。

3. 予測手法の改良がもたらす沿岸防災への貢献

今回のアンサンブル予報値を用いて改良した高波・高潮予測システムは、日本沿岸のどの地域に対しても適用することができる。地球温暖化の進行による台風の強大化が懸念される中、特に三大湾等の台風による高波、高潮に対する防御機能のさらなる充実が必要となるが、本システムが災害リスクの事前監視や災害の軽減に貢献できることを期待するものである。

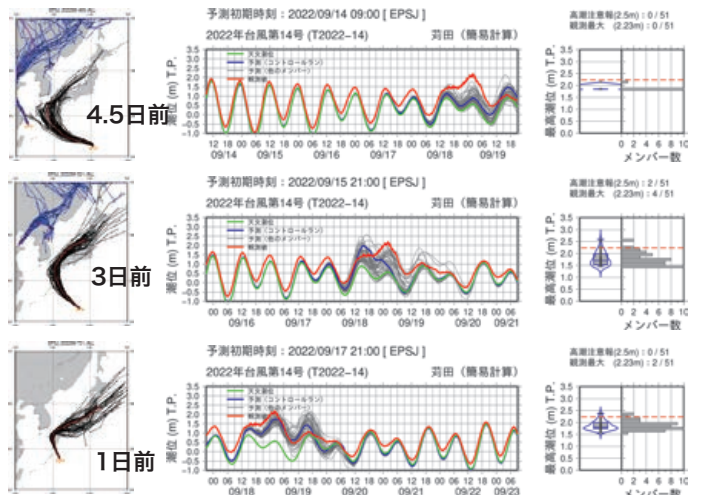


図4 新しい高潮予測システムによる潮位予測結果

海底火山噴火による我が国への影響 ～軽石漂流シミュレーションの取り組みなど～



ご講演者：海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ ラボ所長代理 **宮澤 泰正 氏**

講演日：2022年11月30日（水） 於：星陵会館

（本稿は、コースタル・テクノロジー2022の特別講演を抜粋し、編集した内容となっています。）

●海洋研究開発機構（JAMSTEC）

今日は、突然軽石が発生して、特に沖縄を中心とした港湾ではかなり甚大な影響を及ぼし、その後本土にも漂流してきたという事例を中心に、そもそも海底火山とはどんなものかということも含めて、ご紹介したいと思います。

最初に、海洋研究開発機構（JAMSTEC）はどういう研究所かということ、海と地球の研究所です。海洋・地球・生命の統合的理解を目的として、主に理学的な視点で研究を進めるとともに、「しんかい6500」をはじめとする様々な観測機器の開発を、民間会社さんのご協力も頂きながら進めています。最近はこの理解を元に様々な予測あるいは付加価値情報を創成する、私が属している付加価値情報創生部門はそのために作られた部門ですけれども、社会との共創によって未来を創造していくという新しいスローガンで、社会貢献ということも最近の大きなテーマになっています。

創立50年になり、予算としては国から頂いている交付金を中心に、500億円が基準になっています。今後は社会との共創という新しい視点も加わりましたので、新しい研究の発展・拡大をしていきたいという状況であります。研究員の構成ですけれども大体900名余りの職員がおりまして、研究者が308名、技術関係の職員もかなりおりまして、技術と研究開発、そしてそれをバックアップする厚みのあるマネジメント、そういった研究組織構成になっております。

体制としては基本的には横須賀本部が中心としてあり、青森のむつ研究所、高知コア研究所、沖縄の国際海洋環境情報センター、これは2000年の九州・沖縄サミットの跡地を活用するという形で作られたものですが、国策に応じて全国拠点を作って活動しています。研究開発は大きく6つの部門に分かれています。地球環境部門は基本的には地球環境を観測して、そのメカニズムを研究し予測する。海洋機能利用部門は、生物機能、あるいは海底資源の開発という広い意味での海洋機能を

利用していくという部門です。あとは、大きな海域の地震とか、今回の火山活動といったことを研究していく部門があります。

私の属している付加価値情報創生部門は、基礎的な研究をもとに予測情報を作り出したり、さらにその予測情報を社会応用、穀物収量の予測とか、病気の流行の予測といった社会応用に繋げていく形で付加価値情報を創生するという部門です。地球シミュレーターという大きな計算機を抱えている部門でもあります。

●軽石の漂流状況

2021年10月末から11月にかけて沖縄地方を中心に急に軽石がやってきて、港全体を塞ぐという事態にいたり、にわかには本土、三大湾といったところへの影響も含めて、非常に関心を集めました。そこで私が所属するグループの美山主任研究員が、軽石のシミュレーションをして新聞等で発表したところ、非常に反響があり、彼が発表をした回数は、様々なテレビ等のメディアを含めて10月、11月で60回以上になりました。その元になったシミュレーション技術を開発してきたのが、私が所属するグループということで今回お招きいただきました。元々、図1の写真にありますように、8月13日に日本のはるか南の福徳岡ノ場という海底火山で非常に大きな爆発があって、そこで軽石が生成されたということで、その最初から含めてシミュレーションしたというような経緯がございます。

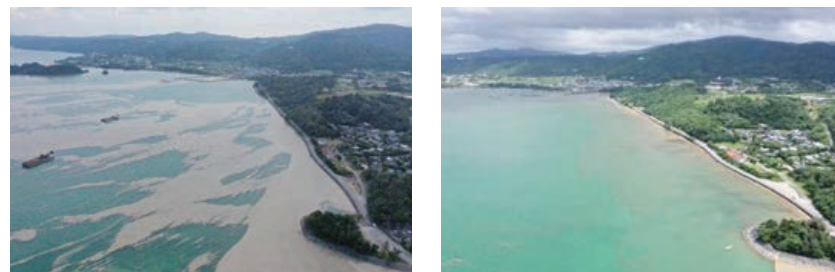
軽石漂流の状況ですが、2021年の10月末くらいから沖縄を中心とする島に漂着しはじめて、特に沖縄本島には甚大な被



図1 【第三管区海上保安本部撮影 2021/08/13 15:00】



図2 港湾への軽石漂着の状況(2022年11月25日現在)【国土交通省港湾局提供】



令和4年1月8日撮影

令和4年6月5日撮影

図3 運天港(羽地内海の状況)【国土交通省港湾局提供】

害を与えている状況がまず見られました。そこで私たちは10月位に予測シミュレーションを公開して、11月中には黒潮を通じて日本南岸にも到達するのではないかとという予測を発表させていただきましたが、実際にそのように到達している様子が国土交通省さんの調査からもわかると思います。ただ不思議なのは、清水港あたりに到着するのは若干ずれている。かなり内湾の方になると直接黒潮によって流れてそのまま到着するのではなくて、複雑な海流の流れによってやや時間をかけて到達したということになっています。そこがなかなか不思議なところなんですけれども、いずれにしても沖縄の運天港を中心とするところでは非常に甚大な状況になり、港湾局さんでも種々対応をされていたということを知っています(図2)。

実際の運天港における軽石除去の状況を示したのが図3です。年が明けてもこのように非常に軽石がたくさん集まっている状況だったんですけれども、非常にご尽力をいただきまして半年後には綺麗になってきました。ただ、回収した大変な量の軽石をどう処理していくかということでは、港湾局さんでも非常に頭を痛めているということで、関係自治体と沖縄県との協力で、埋め立てに使う方向で対策を講じられているというふうに伺っています。



図4 軽石の埋立処分状況(中城湾)【国土交通省港湾局提供】

埋め立ての状況を示したのが図4です。スタビライザーによる混合試験状況、これは混ぜるということでしょうか。軽石だけではなくて何らかの埋め立てに適した土を作って、そして埋め立てしていくことを始められている状況です。2023年の2月にこの工事が完了する予定です。港湾技術によって回収した軽石を活用して港湾の整備に使われているという例なのかなと思います。これを受けて防災基本計画も修正されたと同っています。

沿岸生物への影響では、軽石は養殖にも非常に大きな影響を与えていると同っています。沖縄の辺土名港というところでは、港の防波堤の中を軽石が埋め尽くす事態になっていました。ここではグルクンというサバの近縁種が軽石を吸い込んで大量死してしまったという事象もおこったそうです。軽石は世界各地で火山が噴火して海流に沿って移動していくわけですが、今回の事態では発生した火山の周辺から生物が運ばれたということではなくて、主に沖縄で付着して移動した事例が多く報告されているようです。

●海底火山とは

そもそも軽石をつくった海底火山とはどんなものかということ振り返ってみたいと思います。火山というのはマグマです

ね。溶けた地殻が噴出するところですけども、基本的にはプレート境界と呼ばれるところに火山が集中しているということが分かっています。この太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界にちょうど福徳岡ノ場という火山があって、そこで噴火したということです。プレート運動が地震とか様々な地殻変動を引き起こすわけですけども、ちょうどこの福徳岡ノ場というのは、太平洋プレートがフィリピン海プレートに沈み込むところの上で、そこでマグマの変動が起きて吹き出すという基本的な典型的な火山だそうです。我が国はプレートの境界に位置する地勢ですから、非常に火山、地震、災害が起りやすいということです。

噴火のパターンが軽石の生成に大きく関係しているということですけども、軽石になる場合は、爆発的な噴火によって、火山ガスが石の中に残った、発泡した状態で急に冷却されることで生成されます。そのガスで発砲したところが隙間になるので、大きく見えても隙間がいっぱいなので浮力が発生する。ですから海流とか波とか風に流されて日本にも来ることになるそうです。だんだん分解すると浮力を失って沈んでいくわけですけども、爆発した当初は非常に浮力があるので浮かんだまま流れているそうです。

2021年に起こった福徳岡ノ場の噴火は16kmにも及ぶ噴煙を伴う爆発的な噴火で、戦後最大級ということです。火山の爆発レベルでは10年から100年に1回程度と呼ばれるレベル4で、非常に大きな噴火であったと言われています。福徳岡ノ場というのは日本のはるか南方にある海底火山です。元々大きな噴火を起こした大きな噴火口の一部です。この南の方に南硫黄島がありますが、福徳岡ノ場自体は海底火山で陸からは見えないそうです。

図5は宇宙からの監視ということで、JAXAさんが海上保安庁さんなども協力しながら、陸上も含めて全ての火山に関して、火山活動が起きた時に衛星写真がすぐ見られるようにする



図5 宇宙からの監視

火山活動・林野火災速報システム(研究中) <https://kazan.jaxa.jp/>

とか、速報システムというのを作っています。今は研究用ということですけども、ゆくゆくは速報対策にこういったシステム、既に公開中ですけども、使われていくことになるのではないかと考えています。

福徳岡ノ場というのは過去にも何回も噴火が起きていて事例があるんですけども、軽石が来た事例は86年1月に報告されています。この時は4ヶ月かけて来たんですね。量も今回ほど多くはなくて、大きな被害はありませんでした。今回は2ヶ月で来たのですが、これは起きた時期によるものです。夏の場合は風向きがどちらかというと南西向きですので、軽石をそちら向きに運ぶような方向に風が吹くわけです。しかし冬に起きると北西季節風が吹きますので、むしろ軽石が西側に来ないようにすることで4ヶ月かけてゆっくり来た。86年に軽石の被害がそれほどなかったというのは時期にもよるのかなと思っています。

●爆発的な噴火になった原因

なぜ爆発的な噴火になったかということも、JAMSTECで研究を進めています。軽石を分析したところ、この深いマントルで生成された岩石が一部混じっているということもJAMSTECの研究者がを見つけました。図6のピンク色のところがマントルですけども、このマントルとプレートが沈み込んでいくときに、海水も一緒に沈み込みます。そうすると不思議なことに、水が混ざってマントルのところに入ると、非常に加熱されるとい作用があるんですね。水が入ると加熱されてマントルが溶けるというのは非常に不思議な現象なんですけれども、そこで非常に深いところでマントルが溶けまして、その溶けた塊が上昇して元々あったマグマだまりを加熱することで、爆発的な噴火に立ち至ったということを解明しています。ですから非常に深いところでのプレート運動というのが今回の原因になったということかと思います。こういったことが起こるのは100年

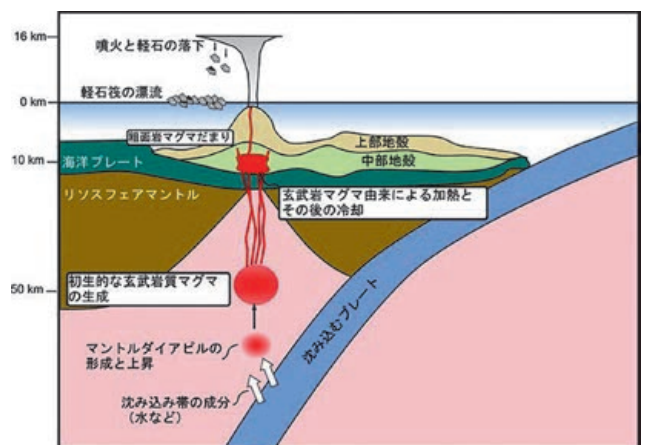


図6 なぜ「爆発的な噴火」になったのか

(海洋研究開発機構報道発表 2022年2月10日)

に1回といった頻度で、かなり稀な、極端な現象であったと言えらると思います。

●宇宙から見た軽石

JAXAさんの資料を使いながら、今回の軽石が宇宙からどのように見られたかというお話をしたいと思ひます。図7は8月17日に人工衛星の映像から見た軽石の分布ですね。なぜ人工衛星から軽石が見えるかと言うと、「しきさい」というJAXAさんが打ち上げた衛星は、太陽の光が反射した様子を捉えるんですね。ここで示しているのが噴火直後で、軽石の塊ですね。軽石が筏のようになるので、「軽石筏=Pumice raft」という学術用語にもなっているんですけども、まさに非常に大きな軽石筏になって流れていく様子が分かると思ひます。図7の右下は山手線と比較した絵ですけども、非常に大きな塊になって流れているのが分かると思ひます。

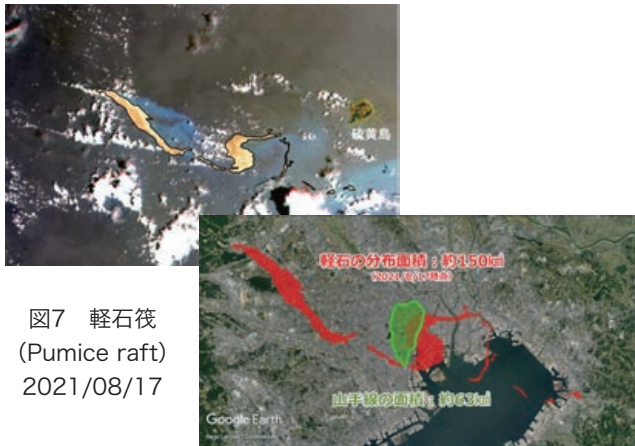


図7 軽石筏 (Pumice raft) 2021/08/17

(<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2021/12/21/6647/index.html>)

軽石漂流がどんなプロセスで移動していくかということも調べてみました。基本的には、軽石は海に浮かびますので、海の上に浮かんでいる部分は風の影響を受ける。海の下に沈んでいる部分は波と海流の影響を受ける。大きなパターンは海流が決めているということが分かりました。ですから今回起きたような非常に大規模な軽石の移動というのは基本的には海流が決めている、いつ行くかというようなことは風が決めている。ただ台風のような極端な現象が起きると大きくルートが変わることが分かりました。全体のパターンは海流が決めるけれども風も大事だということが現状の観測結果から見てわかる結果になっています。

●沿岸環境監視予測システムと海洋デジタルツイン

最近、より港湾と近いスケールまで海流の予測を細かくしていますので、そういったものを活用して沿岸環境監視予測システムといったものになるのではないかということをお話した

海流予測研究開発

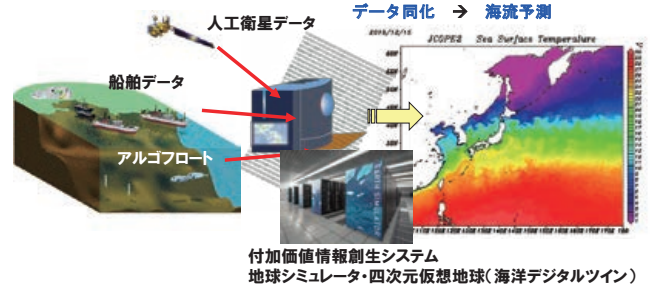


図8 沿岸環境監視予測システムの確立に向けて

いと思ひます (図8)。

私達は地球シミュレーターというスーパーコンピューターで人工衛星のデータや船舶、そしてArgoフロートのデータを海流のモデルを計算するプログラムに入力して、定期的に計算しています。今海がどうなっているかを推定して流れを予測する、まさに空の天気予報と同じようなことを海の流れに対して行っているということです。データを入れて現実的な海流の状況を再現することをデータ同化というのですが、データ同化と予測を常に繰り返しながら海況の推定を進めています。

私たちは元々人工衛星のデータを使って海流を推定するということを出発点としてきたわけですけども、ここ数年はJAXAさんと協力して海流予測の情報をリアルタイムに提供することを進めています。

私達が今、一つ大きな目標として掲げているのは海洋デジタルツインです (図9)。これはG7の会議でも大きなテーマで、来年の広島サミットでもテーマになってくると思うのですが、あらゆる海洋観測データ、シミュレーションデータへのアクセスと、統合解析、これを一つの大きなデータベースというシステムの中に入れて、統一的に解析していくということです。JAMSTECは外洋から出発したわけですけども、今はだんだん沿岸へのスケールに迫ってきましたので、今日ご紹介いただいたような様々な沿岸のブイとか、そういったものを統合して、より港湾に近いスケールでも様々なデータ解析が出来るようなフレームワークを作っていきたいと思ひています。どうもご清聴ありがとうございました。



図9 海洋デジタルツインへ

PC-Unit 棧橋工法®

(PC 圧着構造を用いた組立式プレキャスト棧橋)

五洋建設株式会社・株式会社日本ピーエス
[共同研究] 港湾空港技術研究所・東京工業大学

PC-Unit 棧橋工法®は、全ての部材をプレキャスト化し工場で作ることにより、省人化・工期短縮・品質および安全性向上を図る組立式プレキャストPC 棧橋工法である。また、PC 構造の採用により、耐久性の向上や環境負荷低減に寄与する。

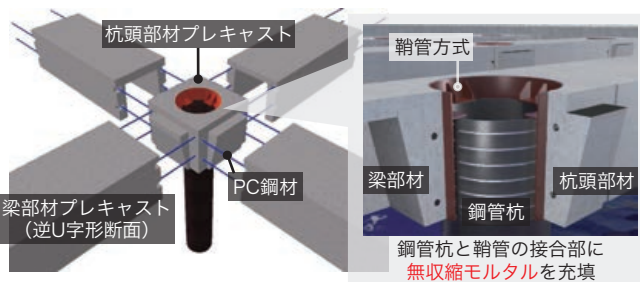
開発の経緯

近年、現場施工の省人化・省力化を目的として、プレキャスト（以下、PCa という）部材の活用が推進されている。とりわけ、棧橋上部工の海上作業では、潮位や波浪などの外的要因を受けるため、工程の遵守や品質・安全性確保を図る必要がある。また、2050年までのカーボンニュートラルの実現に向け、CO₂ 排出量の削減が社会的な使命となっている。

そこで、棧橋を構築する際の生産性向上およびCO₂ 排出量を削減し、前述した課題を解決することを目的として、「PC-Unit 棧橋工法®」を開発した。

技術の概要

本工法は、全ての部材を工場製作および陸上運搬可能な大きさにPCa 化し、現場搬入後にプレストレスにより部材相互を圧着接合することで、棧橋上部工を構築する工法である。施工方法には、小型の起重機船や陸上のクレーンを用いて、部材を単独で架設す



PCa部材のイメージ



施工イメージ

る「単独架設タイプ」と、隣接するヤードや台船上で予め組立てた後、一括で架設する「プレ連結架設タイプ」があり、現場条件に応じた施工方法を選択できる。

技術の特長

●施工上の特長

全ての部材を工場で作ることにより、海上での大掛かりな型枠支保工の組立解体が不要となり、海上作業を省力化できる。これにより、従来の現場打ちRC 工法と比較して、工期を約40%~50%短縮し、現場作業員数を約1/3~1/2.5に省人化できる。また、不安定な海上作業により生じる災害リスクが低減できる。

●品質上の特長

作業環境の良好な工場での製作および品質管理により、潮位や波浪などによる品質低下リスクを低減し、安定した品質を確保できる。

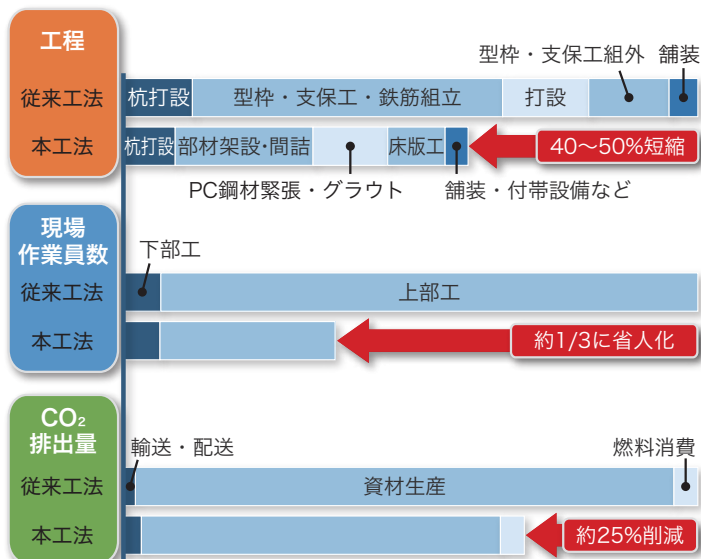
PC 構造の採用によってひび割れを制御でき、低水セメント比の高強度コンクリートを用いて工場でPCa 部材を製作することで、緻密なコンクリート部材が実現でき、耐塩害性が向上する。

●環境上の特長

PC 構造および高強度コンクリートの採用により、部材断面のスリム化・長スパン化が可能となる。その結果、部材製作時の使用材料の削減、杭本数の削減につながり、CO₂ 排出量の削減が期待できる。さらに、現地作業で生じる型枠材などの廃棄物を削減でき、環境負荷低減を実現できる。

技術の利用用途

本工法は、鋼管杭上に格子梁を形成する棧橋上部工の新設およびリニューアル工事に適用できる。新設工事の場合は、長スパン化による杭本数の削減が可能である。既設杭を活用したリニューアル工事の場合は、部材断面のスリム化により上部工自重が軽減できるため、既設の杭を活用した棧橋上部工の再構築が可能である。



従来工法(現場打ちRC工法)と本工法の比較

標高・海拔と平均海面 (MSL)

日本の陸地の高さ「標高」は、「東京湾平均海面 (TP : Tokyo Peil)」を基準 (標高0m) として測られています。現実の海面は風や月、太陽の動きによって常に変動して一定していませんが、長い年月連続的に観測 (験潮) し、その平均をとることで潮汐や波がなく海流もない仮想的な静水面「平均海面 (MSL : Mean Sea Level)」の一定の高さが得られます。

一方、「海拔」は、測量する地点の近隣の「平均海面」を基準 (海拔0m) として測ったものです。「標高」と「海拔」はどちらも「平均海面」を基準として測られる高さであり、その違いは基準となる海面が東京湾か近隣の海かということになります。

このため、「標高」は、離島などの一部の地域を除いて、基本的に山など土地の高さを表すときに用いられ、「海拔」は津波などの沿岸防災対策や航空機の高度表示など「近隣の海面からの高さ」が重要となる場合に主に用いられます (図1)。

【平均海面と標高】

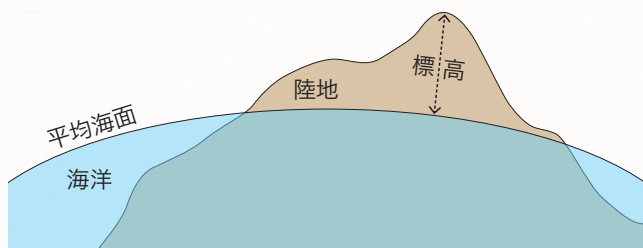


図1 陸地の高さの基準

(出典：国土地理院HP <https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/suijun-base.html> を参考に作成)

水深と最低水面 (CDL)

陸の地図には「標高」や「海拔」が高さに関する情報として記されていますが、海の地図である「海図」においては、船舶航行の安全上、特に船舶の座礁を防ぐために海域の深さ「水深」の情報が不可欠となります。「水深」は、海域ごとに定められている干潮時にもうこれ以上海面が下がらないであろうと想定されるおよその海水面「最低水面 (CDL : Chart Datum Level)」を基準として測られます。

「海図」における陸地や陸地に設置された物標の高さは、現地の「平均水面 (平均海面)」を基準として測られており、「海拔」で表現されていますが、航行海域上の橋や架空線の低い箇所の高さについては、船舶の衝突を防ぐために、海域ごとに定められている満潮時にもうこれ以上海面が上がらないであろうとされるおよその海水面「最高水面」を基準として測られています (図2)。

いろいろな基準面 (DL)

海図に記載されている「水深」の基準面である CDL は、「基本水準面」として単に DL (Datum Level) と呼ばれることがありますが、気象庁が設置する検潮所ごとに設定される「潮位」を観測するための基準面も DL (Datum Line) と呼ばれています。この基準面は、通常、潮位の観測値が負にならないように設定されるため、CDL と同じかそれより低い位置にあります。これは「観測基準面」であることから ODL (Observation Datum Line) とも呼ばれます。

なお、港湾の管理及び工事施工に関わる高さ (深さ) の基準である「港湾管理用基準面」(DL) は、港湾法に基づき CDL と同じ「最低水面」とされています。こちらは「工用基準面」であることから WDL (Working Datum Level) とも呼ばれます。

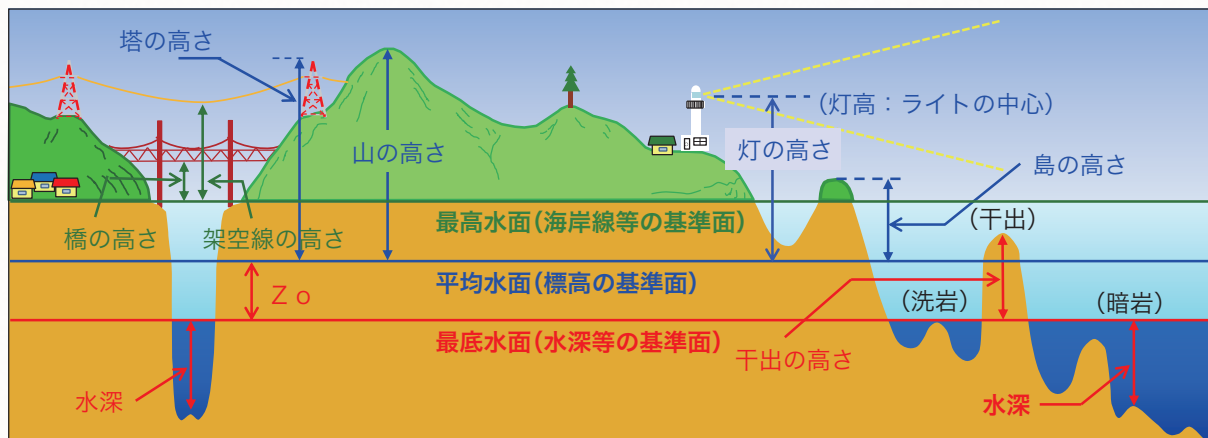


図2 海図における深さと高さの基準面

(出典：第九管区海上保安本部海洋情報部HP <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/osirase/osirase/20120322.pdf>)

国土交通省中部地方整備局

名古屋港湾空港技術調査事務所

【連絡先】 〒457-0833 名古屋市南区東又兵衛町1丁目57-3
TEL: 052-612-9981 FAX: 052-612-9477

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4回は、名古屋技調の近藤所長にお話を伺いました。

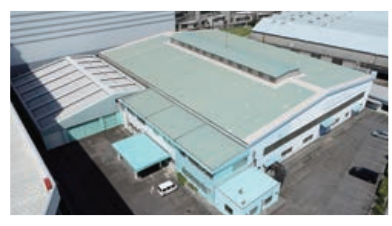


【お話】
名古屋港湾空港
技術調査事務所
所長
近藤 達男さん

Q1 名古屋港湾空港技術調査事務所（以下「名古屋技調」）とは？

名古屋技調は、昭和37年に伊勢湾港湾建設部の設計室として発足しました。昭和49年には伊勢湾水理模型実験場が完成、平成13年1月の省庁再編により技術調査事務所として再編されて現在に至ります。当事務所では、中部地域における港湾や海岸の施設設計をはじめ、先進技術の

活用による災害対応の強化や、伊勢湾における環境調査など多岐にわたる業務を実施しています。



名古屋技調外観

Q2 名古屋技調の特色は？

実験施設として、環境水槽、平面水槽、長水路水槽の3つの実験水槽があり、伊勢湾を2000分の1で再現し潮汐を発生することができる環境水槽では、陸域（河川）から流入



名古屋港新土砂処分場護岸の平面水槽実験の様子

する汚濁物質の拡散実験や、埋立てなど地形の変化による流況の確認などに使用してきました。また、見学者用コンテンツとして疑似津波を発生させて津波伝播の様子を見てもらうことにより市民の防災意識の向上に活用しています。平面水槽と長水路水槽は年1件程度の実験を実施し、最近では名古屋港新土砂処分場護岸の天端高とブロック重量について平面実験による検討を実施しコスト削減を追求しました。

Q3 職場の雰囲気は？

職員13名（非常勤職員含むと17名）と少人数ですが、実験施設の運用を含め多様な業務を行っています。少人数ゆえ風通しがよく意思決定も早い職場です。

Q4 名古屋技調の近年の実績・成果は？

今年度より着工した中部国際空港沖の名古屋港新土砂処分場埋立護岸に関し、漁業や環境への影響に配慮し前面に浅場を設けた石積み緩傾斜式護岸について一部区間の設計を完了したところですが、大型の構造物であることから、残りの区間の設計について、近年の石材価格の高騰を踏まえ、コスト削減を考慮した断面の可能性について検討しています。また、今年度供用を開始した名古屋港飛島ふ頭東岸壁

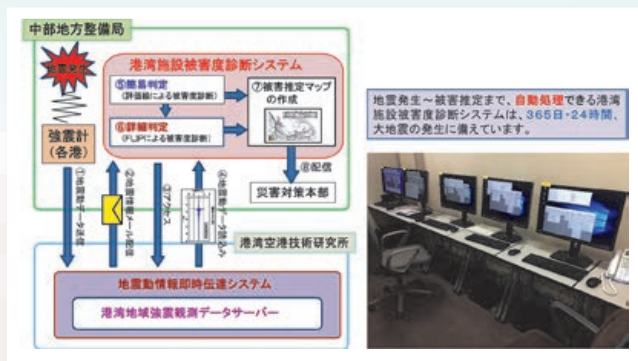


名古屋港新土砂処分場（白線が計画範囲）

橋式）に増深改良、清水港日の出ふ頭岸壁では、既設岸壁の鋼管杭を深梁工法により固定し耐震補強をするなどしています。

防災の分野では、大規模地震発生直後に供用可能な岸壁の迅速な判断を支援するため、強震観測情報を活用した港湾施設被害度診断システムを平成29年から運用しています。これにより、地震発生後、管内主要岸壁の供用可否を全自動で短時間に判定することが可能な体制となっています。このシステムの構築に当たっては貴センターに長年ご尽力いただきました。さらに、令和2年度より、甚大化する台風等自然災害の影響に鑑み、台風来襲時に防波堤等第一線港湾構造物がどの程度被災するか予測するシステムの開発について、貴センターのご協力のもと実施したところですが、さらに台風時の港内主要岸壁や堤内地の浸水深を把握することを想定したシステムのアップデートについて検討を進める予定であり、これらを踏まえた同システムの本格運用について、弊所として今後検討・対応していく予定です。

また広域な駿河湾における流況観測と津波等観測の可能性についても、貴センターのご協力のもと令和元年より御前崎に13.5MHz帯海洋レーダ観測局舎を設置し流況観測を実施しています。今後もさらなる観測データの精度向上を図っていきたいと考えています。



港湾施設被害度診断システム

は三重県津沖にモニタリングポストを追加し合計5か所となり、より広範囲の水質環境の把握が可能となりました。これらの観測データは伊勢湾内の水質環境を再現・予測するために開発された伊勢湾シミュレーターの予測精度向上にも使用されています。港空研と共同で開発してきた伊勢湾シミュレーターは、新土砂処分場整備や名古屋港港湾計画の環境アセスや漁業影響調査などにも活用されており、有識者の間でも信頼性の高い数値解析モデルであると認知されています。今後も伊勢湾の水環境の実態解明と伊勢湾再生へ向けた取り組みを実施していきます。

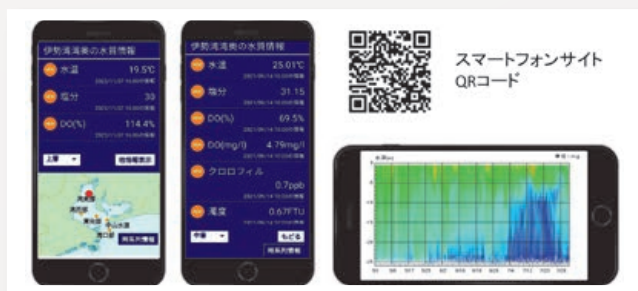
また、災害対応力の強化としてドローン操縦者の養成に取り組んでいます。実験棟の広い空間を生かし、これまでに50名以上の操縦者を養成しています。昨年7月に熱海市で発生した土砂災害においては、港湾ドローン調査班として計9名のドローン操縦者を派遣し、被災地の状況把握や復旧計画立案のための情報収集を実施しました。また、昨年11月の沖縄県での軽石観測調査においてもドローン操縦者を派遣しました。



ドローン操縦訓練の様子

Q5 名古屋技調の現在の取り組み、今後の抱負は？

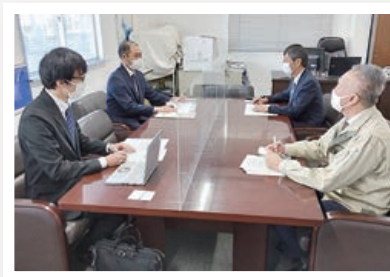
伊勢湾に設置したモニタリングポストにより水質及び気象・海象データを24時間連続観測し、伊勢湾環境データベース上に公開中で、スマートフォンでも手軽に確認できるため漁業者の方々からも好評をいただいています。今年度



伊勢湾環境データベース(スマホ版)

Q6 当センターへのご意見等ございましたら

貴センターの知見や各地整との多様な業務経験を生かし、DXや脱炭素など新たな技術動向の提供や中部の特色に適した技術開発アイデアの提案、情報共有をしていただくことを期待しています。



ありがとう
ございました。

第8回日韓沿岸技術研究 ワークショップ



一般財団法人 沿岸技術研究センター
研究主幹 水口 幸司

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）および一般財団法人沿岸技術研究センター（CDIT）の4者は、沿岸技術研究における相互交流を図るための日韓沿岸技術研究ワークショップを毎年開催しており、今回で8回目を迎えます。新型コロナウイルス感染症の影響で、令和2年度及び3年度は開催されませんでした。本年度は12月21日（水）に3年ぶりにウェブにて開催しました。

ワークショップでは、PARIの河合弘泰所長、KIOSTの李胤浩副院長からの開会挨拶の後、日韓合わせて7件の研究発表（別表）が行われ、CDITの宮崎祥一理事長の開会挨拶で幕を閉じました。100名近くご参加いただいた日韓の港湾関係者は、各発表に大変関心を持って聴講されていた様子で、予定時間を超過するほどの活発な質疑応答も行われました。また、休憩時間には、急遽日韓お互いに自己紹介・挨拶を行う時間が設けられるなど、モニター越しではありましたが、3年ぶりの再会を喜んでいました。

次回第9回については、KIOSTの安熙道顧問から開催方針の

説明があり、来年度韓国にて開催されることとなりました。来年度はKIOSTの前身であるKORDI（韓国海洋研究院）設立50周年、CDIT設立40周年の年でもありますので、対面での開催に向けて、更に盛り上がっていくものと期待しております。

おわりに、今回ご参加いただいた日韓の関係者、発表者の皆様に厚く御礼を申し上げます。



KIOST 李胤浩副院長（左：開会挨拶） 安熙道顧問（右）



PARI 河合弘泰所長（開会挨拶）



CDIT 宮崎理事長（右側中央：閉会挨拶）

研究発表 プログラム

	テーマ	発表者
①	日中韓の統合指標を用いた港湾の環境等級の評価	PARI 海洋汚染防除研究グループ長 井上徹教
②	沿岸域での魚類相調査における環境DNAの適用性について	WAVE 主任研究員 渡辺健太郎
③	デジタル沿岸管理シミュレーションと海洋スマートシティプラットフォームの開発	KIOST 責任研究員 林鶴洙
④	洋上風力発電施設の基礎の洗掘防止工に関する研究	CDIT 研究主幹 福永勇介
⑤	港湾の防災・利用上の検討に活用できるビジネスモデルの拡張機能の紹介	PARI 波浪研究グループ長 平山克也
⑥	沿岸災害管理のためのデジタルツイン構築の方向	KIOST 前任研究員 金大善
⑦	高潮に関する防災・減災の取り組み	CDIT 主任研究員 原信彦

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 水口 幸司

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国土交通大臣が表彰するものです。なお、当該取り組みは、当センターも含む関係18団体からなる組織委員会によって運営されております。

今般、2022年の受賞者が次の1名・2団体に決定し、11月8日（火）に、斉藤鉄夫国土交通大臣（上記写真）、林幹雄自民党国土強靱化本部長代行のご臨席の下、海運クラブにて授賞式が開催されました。

【受賞者・受賞団体】

○佐竹健治教授 東京大学地震研究所所長

・津波波形、歴史資料、津波堆積物の分布などと、断層運動による津波シミュレーションの結果を比較・照合することで、過去の地震・津波の規模や発生間隔の長い巨大地震のサイクルを解析する方法を創出・発展させた。その分析結果は最大級の地震・津波の想定や、ハザードマップの作成、災害に強いまちづくりに向けた施設の設計や対策強化などに活用されている。

○パプアニューギニア大学自然科学部災害リスク軽減センター（パプアニューギニア）

・パプアニューギニアと太平洋地域の災害に対する意識と備えを向上させるために設立されて20年を迎え、国内及び国際レベルで数多くの教育、研究、意識向上活動で成果を上げ、地域社会の持続的成果を目指して努力を続ける、不可欠な存在であることは明らかである。

○オレゴン州立大学工学部OHヒンズデル波浪水理実験場（アメリカ）

・1972年に設立された、海洋・海岸の物理過程について水槽実験で応用と基礎の両方の研究を行う最先端のセンターである。共同利用施設として2002年以来、米国国立科学財団が私撰する共同プロジェクトで米国内外の研究者に利用の機会を提供してきた。

（※）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



佐竹 健治 教授



ジョセフ エスピ 博士
（災害リスク軽減センター センター長）



ペドロ ロモナコ 博士
（ヒンズデル波浪水理実験場 場長）



授賞式

CDIT出版物&プログラム

New Release ● 新刊 ● 新発売情報

NEW

58. 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル (2022年版)

本マニュアルは、港湾鋼構造物の設計、施工及び維持管理に従事する者に、防食全般及び補修対策工について技術的な情報を提供するものとして1986年に発刊し、その後の技術基準類の改訂や技術の進歩に対応して1997年、2009年に改訂されたものに、最新の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、維持管理ガイドライン類及び維持管理マニュアルの改訂を反映させるとともに、国際基準に配慮することを方針として改訂したものです。

L058 R4.9発行 A4/520p 12,000円 (税込)



NEW

CDIT出版物電子版(pdfファイル)の販売

CDITでは、各種技術マニュアル等を紙の出版物として販売しておりますが、在庫切れとなった出版物については販売が出来ておりませんでした。この度、皆様のニーズにお応えするため、在庫切れのものについても電子版(pdfファイル)として販売を開始しました。購入希望の方は、右記連絡先にメールにて

お申し込み下さい。なお、今後はホームページから申込が出来るように現在システムを整備中です。

また、絶版書籍についても、一部電子版での販売が可能な場合がありますので、下記連絡先にメールにてお問い合わせください。

連絡先：Bookshop2006@cdit.or.jp

(CDIT出版物担当)

【在庫切れ出版物】(令和5年1月現在)

10. 沈埋トンネル技術マニュアル (改訂版)



L010 H14.8発行
A4/793p
7,333円 (税込)

45. 港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル



L045 H27.9発行
A4/728p
5,093円 (税込)

40. ゴム防舷材の維持管理ガイドライン (改訂版)



L040 H25.3発行
A4/427p
3,143円 (税込)

46. 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



L046 H28.7発行
A4/556p
6,111円 (税込)

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)
L057	57. ジャケット工法技術マニュアル(改訂版)	R3.10	A4/292p	8,800円
L056	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	R3.6	A4/332p	18,000円
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、沿岸波浪計一	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 ーコンパクショングラウチング工法ー(2013年版)	H25.4	A4/230p	8,800円
L039	39. CADMAS ー SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発	H22.12	A4/235p	10,476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	A4/147p	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 ー津波・高潮ハザードマップの作成と活用ー	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

(令和4年12月23日現在)

NEWS 01

コースタル・テクノロジー2022の開催 ~YouTube動画配信中~ (2022.11.30)

令和4年11月30日、星陵会館において、コースタル・テクノロジー2022を開催しました。令和3年度に当センターで実施した調査・研究等に関する10件の報告をはじめ、特別講演として、国立研究開発法人海洋研究開発機構の宮澤泰正氏をお招きし、「海底火山噴火による我が国への影響～軽石漂流シミュレーションの取り組みなど～」についてご講演いただきました（同講演の概要についてはP.24参照）。

当日の発表映像はYouTubeで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。



来賓挨拶：加藤雅啓 国土交通省大臣官房技術総括審議官

〈プログラム〉

開会挨拶		理事長	宮崎祥一
来賓挨拶		国土交通省大臣官房技術総括審議官	加藤雅啓
研究発表	SEP 船接岸時の港湾施設への影響推定について	調査部研究員	安田弘希
	東京ゲートブリッジの鋼床版ひずみ計測を活用した点検の効率化の考察	調査部主任研究員	高橋健
	横浜港南本牧地区におけるケーソン目地透過波低減法のモニタリング結果について	調査部研究員	若林信孝
	敦賀港における自動係留装置導入の検討事例と他港での適用性についての考察	調査部研究員	小川秀成
	徳島海陽沖GPS波浪計の新係留方式による係留設備の基本設計	調査部研究員	海田翔平
	新型海象観測計の実証試験について	調査部主任研究員	星加泰央
	情報プラットフォームの機能高度化	調査部主任研究員	脇平興一
	カルシア改質土地盤の盛立施工管理手法の提案	調査部主任研究員	藤村立行
	高波浪の発生確率を考慮した埋没量の予測	調査部研究員	山田凱登
	港湾鋼構造物防食・補修マニュアルの改訂のポイント	調査部研究員	諏訪弘明
活動報告	国際沿岸技術研究所・確認審査書の活動（R3年度）	参与・国際沿岸技術研究所長	横田弘
	沿岸防災技術研究所の活動について（R3年度）	波浪情報部業務課長	山本浩之
	洋上風力研究室の活動について	洋上風力研究室研究主幹	福永勇介
特別講演	海底火山噴火による我が国への影響～軽石漂流シミュレーションの取り組みなど～	国立研究開発法人海洋研究開発機構 付加価値情報創成部門 アプリケーションラボ ラボ所長代理	宮澤泰正
開会挨拶		専務理事	春日井康夫

NEWS 02

CDIT 出版物電子版 (pdfファイル) の販売 (2023.1～)

CDITでは、各種技術マニュアル等を紙の出版物として販売しておりますが、在庫切れとなった出版物については販売が来ておりませんでした。この度、皆様のニーズにお応えするため、在庫切れのものについても電子版 (pdfファイル) として販売を開始しました。（詳細はP.34「出版物 & プログラム」参照）

【在庫切れ出版物】（令和5年1月現在）

L010	沈埋トンネル技術マニュアル（改訂版）
L040	ゴム防舷材の維持管理ガイドライン（改訂版）
L045	港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術マニュアル
L046	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

NEWS 03

2023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 (2023.4~2023.12)

2023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：2023年10月5日 (木) (予定)

開催場所：東京23区内の予定

申込受付期間：2023年7月中旬~9月上旬

【維持管理士】基礎講座講習会 (オンデマンド配信)

講習期間：2023年9月中旬~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：2023年7月下旬~9月下旬

【維持管理士】資格認定試験

開催日程：2023年11月12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：2023年8月中旬~9月中旬

【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：2023年7月2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：2023年4月中旬~5月中旬

【設計士】面接試験

開催時期：2023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：2023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。

NEWS 04

民間技術評価事業・評価証授与式を開催 (2023.1.10)

令和4年度上半期分(6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。)

各技術の詳しい内容はCDITホームページ「民間技術の紹介」をご覧ください。

●新規技術 (1件) (詳細をP.28「民間技術の紹介」に掲載)

五洋建設株式会社殿、株式会社日本ピーエス殿

「PC圧着構造を用いた組立式プレキャスト栈橋—PC-Unit 栈橋工法[®]—」



五洋建設株式会社殿



株式会社日本ピーエス殿

●部分変更技術（2件）

黒沢建設株式会社殿、株式会社ケーティービー殿、
「KTB 荷重分散型本設アンカー工法
—岸壁・護岸の安定化工法—」



黒沢建設株式会社殿（中央）、
株式会社ケーティービー殿（右から2番目）

日本製鉄株式会社殿、JFEスチール株式会社殿、
東亜建設工業株式会社殿、

「鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材
1) フロンティアストーン 2) フロンティアロック」



日本製鉄株式会社殿



JFEスチール株式会社殿
東亜建設工業株式会社殿（当日欠席のため、写真なし）

●更新技術（3件）

りんかい日産建設株式会社殿
「管中混合固化処理工法「トルネードミキシング工法」」



りんかい日産建設株式会社殿

五洋建設株式会社殿

「繊維補強カルシア改質土」



五洋建設株式会社殿

黒沢建設株式会社殿、株式会社ケーティービー殿

「Ducst—全素線二重防錆PC鋼より線—」



黒沢建設株式会社殿（中央）、
株式会社ケーティービー殿（右から2番目）



NEWS 05

「2022年濱口梧陵国際賞」授賞式 (2022.11.8)

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「2022年濱口梧陵国際賞」の授賞式が開催されました。(詳細はP.33「沿岸レポート」参照)



NEWS 06

第8回日韓沿岸技術研究ワークショップの開催 (2022.12.21)

令和4年12月21日、韓国海洋科学技術院、国立研究開発法人港湾空港技術研究所、一般財団法人みなと総合研究財団及び一般財団法人沿岸技術研究センターは第8回日韓沿岸技術研究ワークショップをウェブ会議方式で開催しました。コロナ禍の影響で令和2、3年度は見送られていましたが、3年ぶりとなる同ワークショップには100名近くの参加者があり、日韓合わせて7件の研究発表が行われ、技術交流が図られました。(詳細はP.32「沿岸レポート」参照)



NEWS 09

消費税インボイス制度の開始 (2023.10.1~)

消費税のインボイス制度(適格請求書等保存方式)が令和5年10月1日から開始されます。開始日から「適格請求書発行事業者(インボイス発行事業者)」となるための原則的な登録申請期限は令和5年3月末となっておりますので、仕入税額控除を受けられる課税事業者(主に課税売上高が1,000万円以上)の方はご注意ください。

また、免税事業者(主に課税売上高が1,000万円未満)の方も課税事業者との取引や仕事が多い場合などにはインボイス発行事業者の申請を検討されてはいかがでしょうか。



NEWS 07

2022年度 海洋・港湾構造物資格認定試験の 合格者発表(2023.2)

2022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32名(受験者129名)、海洋・港湾構造物設計士資格認定試験の合格者7名(受験者49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 08

今年CDITは設立40周年を迎えます (2023.9.27)

沿岸技術研究センターは、1983(昭和58)年9月27日に設立され、今年(2023年)で40周年を迎えます。40周年を記念して、秋ごろ特別講演会の開催、記念誌の発行などの記念事業を行う予定です。詳しくは、後日CDITホームページ等でお知らせいたします。

国税庁 令和5年10月から
消費税インボイス制度が始まります。

消費税
インボイス
制度

登録を予定されている事業者の方へ

登録申請はお早めに!

※制度開始時にインボイス発行事業者となるためには、原則として、令和5年3月31日までに登録申請を行う必要があります。

登録申請手続は、
かんたん・便利♪

e-Tax
をご利用ください!!

- [e-Taxソフト(WEB版)]、をご利用いただく、質問に回答していくことで申請が可能です。
- e-Taxで申請した場合、電子データで登録通知の受領が可能です。
- 個人事業者の方はスマートフォンからでもe-Taxで申請できます。
※e-Taxのご利用には事前にマイナンバーカードの取得が必要です。

説明会を開催中

制度について詳しくお知りになりたい方は、国税庁ホームページ(<https://www.nta.go.jp/>)の「インボイス制度特設サイト」をご覧ください。

特設サイトへ

説明会ページへ

特設サイトでは

1 制度の解説動画

2 AIを活用したチャットボット

3 軽減・インボイスコールセンター

などをご案内しております

税務署での説明会やオンラインでの説明会をご案内しております。

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】

数学を習い始めた頃、大好きなSF・アニメの世界には「神の如く物事の見込みができるコンピューター」が存在しており、「遠い未来には実現するのかも」なんて考えていました。今回の特集を編集して、コンピューターが幾何級数的に進化を続ける現代ではなく、まだ計算機が手動だった時代から、近似式などの技を駆使して「波」という事象の「神」予測を成し遂げてきた先人の方々のお仕事に、広報面からではありませんが、関わらせて頂いたことに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

東北支部

〒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

関西支部

〒650-0032 兵庫県神戸市中央区伊藤町110-2 神戸ポートビル旧居留地3F
(旧 伊藤町YANAGIDAビル)
TEL. 078-954-6081 FAX. 078-954-6082

九州支部

〒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:dit]

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/>
2023年2月発行 第59巻