

世界に貢献する港湾空港技術

PARI

港湾空港技術研究所

VOL.62

JANUARY 2026

Airport

Technology

Port

2 __ Front Line - 特集 -

港湾における気候変動適応策の
実装に向けた取り組み

官民の港湾関係者の協働で
高潮・高波による浸水リスクに挑む

6 __ Focus On 研究活動の最前線へ

小型 GNSS（衛星測位システム）波浪観測ブイの開発
迅速な利用可否判断に貢献する
小型で安価、かつ高性能な波浪計を

アジョイント合成法（時間を遡って計算する方法）による津波高潮解析
観測点から即座に波源を“逆算”
画期的な計算手法の開発で、
より高精度な津波予測の実現へ

8 __ Close Up 現場からの報告

台風 19 号の教訓から官民協働で高潮・高波に備える
清水港における高潮・高波の減災対策

10 __ Front People 研究者の広場 挑戦する研究者たち

これからの港湾・海岸施設設計を
リードする新しい技術

14 __ CROSS LINE 国際交流レポート

国際洗掘侵食会議で国際的リーダーシップを発揮
— 佐々グループ長が中国 3 都市の招待・基調講演で、研究成果を発信 —

15 __ TOPICS

港空研 TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）が
令和 7 年防災功労者内閣総理大臣表彰を
受けました

「弱非線形ビジネスモデルにより
算定された重複波力の補正式の提案」が
土木学会「海洋開発優秀論文賞」を
受賞しました

今号の見どころはコチラ



スマートフォンでアクセス

港湾における気候変動適応策の実装に向けた取り組み

官民の港湾関係者の協働で 高潮・高波による浸水リスクに挑む

減災館
Disaster Mitigation Research Building

港湾空港技術研究所
沿岸水工研究領域
平山克也 領域長

名古屋大学
減災連携研究センター 副センター長
兼任 工学研究科土木工学専攻 教授
富田孝史さん

名古屋大学
減災連携研究センター 研究員
橋富彰吾さん

日本の沿岸では近年、高潮・高波による浸水被害が頻発。
さらに今後、地球温暖化に起因する台風の甚大化や海面上昇によって、
その頻度や程度が増大することが危惧されています。

2025年4月の港湾法の改正で、港湾施設の気候変動への適応を図るべく、
官民連携での「協働防護」を港湾計画に盛り込むことが可能に。

名古屋大学では先んじて、2019年から清水港を舞台にこうした取り組みを進め、
現在、内閣府 SIP（戦略的イノベーションプログラム）の中で
高潮・高波浸水リスク評価技術の開発と社会実装を目指しています。

同大の減災連携研究センターを訪ね、お話を伺いました。

現場と議論しながら進める 研究プロジェクト

近年、例えば2018年台風21号では神戸港・大阪港、2019年台風15号では横浜港、同年台風19号では清水港が、高潮・高波による浸水被害を受けています。今後さらに大きくなるであろう気候変動の影響に対し、長期的な視点で対策を講じようと、国交省港湾局は2021年より、オール港湾の有識者委員会を設置。検討を重ね、2024年3月、「港湾における気候変動適応策の実装方針」が取りまとめられました。富田さんと平山領域長も、この委員会のメンバーです。

平山「官民が連携・協働して港湾施設の気候変動への適応策の実装を図る『協働防護』というキーワードが、公に出たのはこのときです。一方で、名古屋大学では富田先生を中心に、以前から清水港のブレイヤー全員が一堂に会する形で、今後の対策を話し合っていたそうです」



2018年台風21号により漂流したコンテナ(神戸港六甲アイランド)



2019年台風15号により倒壊した護岸(横浜港本牧埠頭)

富田「2019年の台風19号の高潮・高波で清水港などが被災したとき、まず最初に、清水港湾や立地企業の方々には協力いただきながら協働で被災調査を行ったというのが、一番のきっかけになるかと。その調査結果をもとに議論するなかで、中部地方整備局の清水港湾事務所が主体となって、港湾管理者や立地企業にも参加いただき『清水港 防災・減災に関する地域検討会』というのが立ち上がった。それが2023年3月まで続いたという経緯があります」

その取り組みが契機となり、2023年度スタートの第3期SIPのプロジェクトの対象地域に。課題の1つ「スマート防災ネットワークの構築」のサブ課題「リスク情報による防災行動の促進」の一部として、清水港を研究サイトに「港湾における高潮・波浪浸水リスク評価技術の開発」というテーマで研究が進められています。

富田「高潮や高波を評価する技術自体はこれまでもありましたし、とくに港の中の波浪変形については、港空研が開発したNOWTIP

ARIを使って計算できることが港湾技術基準にも書かれていて、技術開発としては一応の成果が得られています。ただ、2018年、2019年の事例がそうであったように、実際の浸水被害というのは、高潮と高波が重畳することによって起こるんですよ。なので、高潮と高波をちゃんと重畳させて、それによって浸水リスクをどう評価するのかといったところが大事になってくる。さらには、港湾の堤外地、つまり防潮堤より海側に位置する物流等を担っているエリアは、基本的にはレベル1といわれる高潮(比較的発生頻度の高い高潮)に対してさえも守られていないところが多い。レベル1、あるいはそれより小さな中・小規模の高潮でも浸水してしまうリスクがあるのに、なかなかそこが評価できていない。これからの港湾の発展のためには、中・小規模の高潮による浸水評価は非常に重要なので、そのあたりもしっかりやろうと。それがこの研究の中身になっています」

これまで課題とされてきた 浸水ハザードを評価

堤外地に関しては、海岸保全施設を定めた海岸法の適用範囲外。普段の使いやすさに重きがおかれ、台風で壊れないよう防波堤に守られているものの、港の中の浸水対策はなにも等しかったといえます。

平山「そういったなか、2018年、2019年に災害が多発したこともあり、今後の気候変動の影響も考えると、やはり港を守らねばと。被災して船が着けない時期があると、それらの船は他の港に行ってしまうって、復旧してもなかなか帰ってきてくれないうんですよ。日本の経済活動を考えたとき、非常に影響が大きいので、あらためて対策を考えようということに。その備え方として、なかなか官だ

けでは難しいので、実際にそこで働く民間の力も借りて、一緒にやりましょうという流れになっているんだと思います。そういう成果を出すために、私も参加させていただいて、SIPの研究を進めています」

富田「先ほどお話ししましたように、この研究の目標は、いわゆる中・小規模の高潮・高波による浸水も含めてリスクを評価したいということ。もう少し厳密に言うと、浸水ハザードを評価したい。方法論としては、NOWTIPARIを用い、高潮によって平均的な潮位が上昇した上で、そこに波が載ってきて浸水するという現象を計算しようとしています」

まずはNOWTIPARIで高潮・高波による浸水がどれくらい評価できるのかを確かめるために、2019年台風19号による清水港の浸水の再現に取り組みしました。それについては、浸水の面的な拡がりだけでなく、浸水の深さについてもある程度精度よく計算できることがわかった。そういった意味ではNOWTIPARIを使って計算する妥当性が確認できたというわけです。そこで2024年度は、現在気候における台風の高潮・高波による浸水の評価を実施。今年度は、将来気候の台風を対象に、どういう浸水が起こるかを評価しているところです」

あわせて、高潮と高波が重畳する現象の再現期間も評価できるように。

富田「従来も高潮だけが高波だけの再現確率は推定できていたんですけど、このプロジェクトでは、高潮と高波の重畳、プラス天文潮位という3変量が合わさったときにどういう再現期間になるのかという、その確率計算の仕組みを開発しました。従来の方法で推定できる2019年台風19号時の高潮のみの再現期間は約170年、高波については約30年。で、そのときの高潮・高波の重畳と天文潮位という条件で再現期間を求めると、およそ200年ということがわかりました。再現

期間だけみると、伊勢湾台風と同じような規模だったということが推定できたんです」

これまで観測されている潮位偏差と高潮波浪のデータを使い、極値統計という手法を適用。これくらいの高潮なら、あるいはこれくらいの高波なら、再現期間はこのくらい、という数字が出せるのだとか。

富田「既往の高潮、波浪に対しては、これまでの観測データを使って推定できます。さらにd4PDF（気候温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース）という、将来気候に関するビッグデータが既にあり、その中には台風も入っている。そういった台風を使って将来の台風の状態を推定し、それによって高潮・高波がどう起こるかを計算することもできます。将来、気温上昇が起こった段階で、想定したシナリオの台風による高潮・高波の発生確率がどうなるか、そういうところを推定できるように、いま研究しているところです」

官民の区別なく 現場の意見を研究に反映

これまである程度やむなしと考えられていたふ頭の浸水が、今後もっと厳しい規模になるというのは、現場の誰しも想像するところ。富田「ただ、どれくらい厳しくなるかというのとはわからないので、コンピュータの力を借りて数値計算で示そうと。例えばそれが100年に1回であれば、従来のまま、荷物を避難させるという対策になるでしょうけど、10年あるいは5年に1回ともなると防潮堤を造ったほうがいいかもしれない、というような、いわゆる防災マネジメントができると思うんです。そこにつなげていきたい」

研究成果を現場に活かすために、このプロジェクトでは2023年の開始当初より「社

会実装アドバイザリーボード」を設置。

富田「リスク評価結果のユーザとなり得る港湾立地企業と、港湾管理者、国交省など行政に入ってもらって、ディスカッションしながら成果を出していこうという仕組みをつくっています。まさに『協働防護』の精神ですね」

平山「官民の区別なく、現場の方々の意見をきちんと研究に反映させるというところが、SIPによるこの研究の進め方の、これまでにない、しかも重要な特長です」

SIPが目指すゴールは社会実装。素晴らしい技術を開発すればいいという話ではなく、とくに第3期からは、それをいかに社会につなげられるかが重要な評価ポイントになっています。

富田「つまり、民間企業にも使ってもらえるものにしなければいけないということ。それが社会実装アドバイザリーボードを設けた一番の狙いです。さらに、今年6月に港湾局から出された、港湾管理者向けに取りまとめられた『協働防護計画作成ガイドライン』や、民間企業向けの『港湾立地企業における気候変動リスク評価手法ガイドライン』の改訂版への成果の反映も、社会実装に向けた重要なステップに。そのために別途設けている『技術アドバイザリーボード』で、国交省、国総研（国土技術政策総合研究所）、港空研の参加のもと、技術の標準化といったことも図りたいと考えています。今年1月には国交省の勉強会も設置。多くの関係者からアドバイスをいただきながら研究プロジェクトを進め、それによって、社会実装を目指していきたいと思っています」

災害を“見える化”して “ジブンゴト”に

内閣府令等の改正で、平均海面上昇や台風

の変化など気候変動が企業の財務に及ぼす影響を「サステナビリティ情報」として開示することが、2027年3月から順次、企業に義務化されます。これは、ESG投資（※）の拡大を後押しする仕組み。

富田「その気候変動のなかには高潮や高波による浸水も入ってくるわけなので、そういったものをしっかり評価できるような技術を各企業が持つ、あるいは各企業がそれを見られるような仕組みをつくらないと、そこに対応できなくなってしまう。そのための研究プロジェクトでもあります。日本の輸出入貨物量の99・6%、お金に換算しても約7割が港湾を経由している以上、やっぱり港の立地企業は萎んじゃだめなんですよ」

SIPのサブ課題「リスク情報による防災行動の促進」では、災害の「見える化」と「ジブンゴト化」がテーマ。

富田「そのグループに属していて、われわれも目指すところは同じ。どんな浸水がどのくらいの確率で起こるのかというところを、見える化。して、それに対してどうするかを企業自ら考えてもらう。それがジブンゴト化、だと思っています」

平山「そういう意味では、企業の皆さんにもかなり積極的に参加いただいていると思います。窓口を担当されている橋富さんから見てどうですか」

橋富「昨年8月の終わりから9月の初めにかけて、社会実装アドバイザリーボードに入っていた企業と団体の計5社1団体にに対してヒアリングを行いました。清水港の中でも立地によって被害の出方が違うので、被災経験の有無によって、防災対応には温度差も。事前の情報提供については、具体的な事例を望む声のほかに、浸水深や風速・風向といったハザードの情報や、浸水がどれくらいの時間続くのかといった情報が欲しいなど、結構いろいろ意見をいただいています。あと、

実際に被害のあった台風に基づいたケースナリオがわかりやすい、とも。ほかに、提供する情報の地理的な範囲についても要望がありました。そういう情報をいつまでに提供できればいいのかというところでは、結構シビアで、せめて前日には欲しいと。とくに過去の具体的な数値のデータと、既往台風のどれに似ているかといったことが求められているなという印象です」

平山「そういった情報は、ただ数字を羅列してもなかなかわからないので、イメージとして捉えやすくすることも大事だと思っています。そういうご意見を社会実装アドバイザ



※ 従来の財務的な要素に加えて、非財務的な要素である環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance）を考慮する投資のこと。

リーボードの中でもいただいたので、研究成果に反映させようとしています」

富田「いま、GIS（地理情報システム）上に浸水のエリアや浸水深、あるいは流速などを見えるような形で示すというものはつくって。それを社会実装アドバイザーボードのメンバーに見てもらって、評価は得ているところです。ただ一方で、アニメーションがあったほうが浸水過程が見えて、わかりやすいのではないかと要望も。それにどう応えていくかは、これからの議論になるでしょう」

「準リアルタイム」な 浸水予測を目指して

先述のように、NOWT-PARの精度・機能の確認に始まり、現在気候、次いで将来気候の台風による浸水の評価していくといったところまでが、このSIPのプロジェクトの3年間の研究。事業期間は5年なので、あと2年間あります。

富田「来年度、再来年度については、リアルタイム、即時的な浸水予測に向けて発展させていきたい。それには2つの方法があると思っています。まず1つはNOWT-PARの高速化。もう1つはこれまで蓄積したデータをうまく活用するという方法。後者については、これから議論して進めていこうと思っています」

平山「NOWT-PARの高速化に関しては港空研で取り組んでいるので、その成果をSIPのこの研究にも活かしていきたいですね。リアルタイム化への対応についても、高潮・高波による浸水状況を即座に示すことは計算量としても膨大なので難しい。一方で予測情報に対する計算結果を前日までに出すという、準リアルタイム、でも役に立つという



ことで、いま目指しているのはその準リアルタイムの部分です。あと、港湾立地企業に対しての、港湾管理者も含めての情報共有の仕方についても、並行して議論を進めているところですよ」

富田「港空研では内閣府BRIDGE施策の研究開発プロジェクトの中で、海洋利用研究領域の田村仁上席研究官が、被災状況把握の迅速化をテーマにいわゆる小型ドローンを使って波浪を計測する仕組みを開発されていて（本誌6ページ参照）。われわれがこれからやろうとしている準リアルタイムな予測の精度向上に、すごく役立つのではないかと考えています。将来的にはそういう連携もしていきたいですね」

その港の価値を引き上げる 仕組みづくりを

富田「今後の課題は2つあって。まず1つは、ハザードによる影響の評価が必要だということ。今回の取り組みでは、高潮・高波による浸水リスク、そのリスクはハザードだという話を先ほどさせていただきましたが、民間企業にとっては、ハザードがわかればいいというものではなく、実際に自分の企業にどれくらい損失が出るのかということが大事なんです。これについては既に国総研港

湾施設研究部の竹信正寛室長のところで、ストレストの手法を活用して港湾の浸水に対する脆弱性評価がなされているので、そちらと協力しながらハザードの影響評価にもつなげていきたい。あともう1つが、再現期間が数年、長くても10年という規模の災害をしつかり評価できるような技術にしていかなければいけないということです。いわゆる施設の設計やハザードマップでは50年、100年というレベルを見ていたんですけ

ど、民間企業が知りたいのはそこではないんです。これは、社会実装アドバイザーボードで議論するまで気づかなかったこと。求められる浸水ハザード評価と、その影響評価、プラス対策といったことを、三位一体で考えないといけないんだろうなと思っています」

社会実装アドバイザーボードの参加企業は、物流、エネルギー、製造業の3分野。分野ごとに、防災に対する考え方には違いがあるといえます。

富田「やはりエネルギーの企業の防災意識は高い。止めてはいけないというのがあるので、ちよつとやそつとでは浸水しないような対策もとられています。一方、物流などでは、荷物を逃がすといったソフト的な対策をしている企業も。そのあたりも考慮して、分野ごとに使えるような仕組みにしていけないといけないでしょうね。研究所と違って、大学は民間企業と直接やりとりしてということができるので、そこは面白いところかなと思います」

橋富「私としては、ちゃんと使ってもらえるものにするために、意見を取りまとめることが最重要任務かなと思っています」

富田「企業にはサステナビリティ情報の開示といった法的な縛りができますが、港湾管理者は、協働防護計画を立てることができ。なのであって、立てなければいけないわけではないので、その港の魅力を高めるためにいかに頑張っていくかについては、これから知恵を絞る必要があるでしょうね」

平山「より良い港にするために、高いモチベーションを持って港湾管理者も取り組んでいかなければいけないということですね」

富田「その港自体がどうかという評価になりますから、民間企業だけが頑張ってもダメ。港の価値がより上がっていくような仕組みが大事なんだと思います。そこに貢献できる技術にしていきたいですね」

小型GNSS（衛星測位システム）波浪観測ブイの開発

迅速な利用可否判断に貢献する
小型で安価、
かつ高性能な波浪計を

2024の能登半島地震津波で浮き彫りになった、
港湾における波浪観測データの著しい不足。
施設の被災状況把握・利用可否判断の迅速化には、
予期せぬ欠測や故障もカバーできる分散型の観測網が必要です。
現在進行中の内閣府 BRIDGE の研究開発プロジェクトでは、
「小型・低価な波浪計の迅速な現場投入」もテーマの一つに。
実装を目指して開発に取り組む、田村 仁 上席研究官に取材しました。

海洋利用研究領域
田村 仁 上席研究官



ソーラーパネル付きタイプの波浪計

か。とくに利用可否判断に関しては、他の研究グループとの連携も含め、事前の実証実験が肝になります。例えば、港湾事務所が持っている業務艇を使ってスターリンク（※3）等でデータ通信を行うチームがあるので、それに便乗して、沖合からセンサを投入してもらうとか。計測データは、船上の受信機から衛星通信を介して陸上へ。そういう形なら、たぶんうまくいくと思うんです。実証実験は来年度。関係各所との連携をどうするかが今後の課題だと思っています。」

既存の大型の波浪計をサポートできるシステムに

従来の計測器は非常に高額で、沿岸にくまなく配備するのは難しく、とくにGPS波浪計など大型のものは維持管理が大変です。

「これくらい小型になってくれば、そして低コストでつくれば、使い方にもよりますが、沿岸にたくさん配備できる。そうすれば、仮に1個壊れたとしても、周辺の状況が一切わからないという事態は防げるでしょう。ただ、それほど堅牢なものではないので、数日間とか、長期のタイプでも数年とか、そういう使い方にはなると思います。GPS波浪計の「補助輪」のようなシステムで、ナウファスをサポートできるようなシステムになればと考えています。」

現時点で一番課題となっているのは、技術的なことに関してよりも人手不足とか。

「開発もそうですが、例えば実証実験を行うためには現場を含むいろいろな方々に協力いただいている調整が必要で、その人手も足りないんですよ。この研究には期限がありますし、地震は次いつ来るかもわからない。できるだけ早くということ、腐心して調整を進めている感じですが、社会実装って、研究者はなかなか苦手な分野だと思われ、自分自身これまで取り組んだことがなかった。よい挑戦だと思って頑張っています。」

プロジェクトの一環として研究。ただし、小型波浪計の開発自体は、それ以前から検討を進めていたのだとか。

「IoTセンサ（※1）が非常に小型化してきているので、波浪研究者が計測器を自作するというのは10年ほど前からの流行りなんです。小型化した浮体に小型センサを載せて波浪計測する、いわゆる小型波浪ブイ開発のDIY化は、世界的な潮流といえます。」

実証実験に向けての検討が進む 緊急時に活躍する小型ブイ

例えばソーラーパネル付きのタイプなら、既存の工事用のブイや航路標識ブイなどに留め付けることを想定。ブイが浮体となって運動することで、簡易的に波が測れるというもので、事前の予防的な設置が考えられます。

国土省港湾局では1970年代より、全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）の構築を進め、2004年以降はGPS波浪計を全国の沿岸に18基整備。定常観測を実施しています。ただ、一般的な港湾で波浪計が設置されているところは少ないのが現状。能登半島地震の際は観測データが足りず、そのことが、被災状況の把握を難しくしたといえます。

「今後どこで地震・津波が起こるかわからないし、起こった際、すぐまた強い波浪や津波の第2波が来る可能性もあります。その計測のために、小型で安くて簡単に使えるセンサが欲しいということ、開発を進めた。それが、この研究の一つのきっかけですね。波浪がどれくらい状況かによって、港湾が利用できるか、緊急物資等を運ぶ船が停泊できるか否かが決まっています。利用可否判断に使用したいというのが、まず大きな目的です」と、田村仁上席研究官。内閣府BRIDGE施策の研究開発窓口

※1 IoT (Internet of Things) は、さまざまなモノに通信機能を持たせ、インターネットを経由してモノ同士が通信、データ収集などを行う仕組み。IoTセンサとは、ネットワークに接続して収集したデータを自動で送ることができるセンサのこと。

※2 Long Rangeの略。IoTデバイスのために設計された長距離伝送を可能にする低電力広域ネットワーク技術の一つ。

※3 低軌道周回衛星を活用した高速インターネットサービス。高速かつ低遅延のデータ通信を実現し、ネット未接続の地域や災害時にも利用できる。

アジョイント合成法(時間を遡って計算する方法)による津波高潮解析

観測点から即座に波源を“逆算”

画期的な計算手法の開発で、より高精度な津波予測の実現へ

沿岸水工研究領域
津波高潮研究グループ
高川智博 グループ長

とくに東日本大震災以降、津波情報は予測幅の最大値で出され、各自治体が判断する避難行動も、かなり“大事をとる”方向に。しかしこれは非効率で、空振りが続くことで信頼度が薄れる危険性も。予測幅を狭めて“当たる予測”に近づけることが肝要です。高解像度で波源推定を行い、対象領域の水位変動を瞬時に算定できる、画期的な高速計算手法を開発。さらに高潮への応用に取り組み、技術の普及を目指す、高川智博グループ長に取材しました。

現在、気象庁の津波予測の主流は、日本周辺をおよそ15km四方のメッシュ（格子）で区切り、各区画（パッチ）が急激に持ち上がったとき、その津波がどのように伝播するかを事前計算して蓄えたデータベースを使用する、というもの。「例えば東日本大震災のようなマグニチュード9クラスの地震なら、波源自体が300kmくらいあるのに15kmメッシュでも結構うまく再現できるのですが、マグニチュード8クラスではもう、粗すぎて予測精度が出ないんです。私が開発したアジョイント合成法なら、このメッシュを1kmくらいにできる。規模が少し小さい地震でも精度が出せる技術です」と、高川智博グループ長。

従来の津波シミュレーションが、想定した波源から津波を正方向に計算し、その結果を観測データと照らし合わせるのに対し、このアジョイント合成法というのは、観測データから遡って波源を推定する、数学的な逆向きの手法です。「地震の場合、相反原理がはたらい、地下構造の如何を問わず、正方向に伝播したときと逆向きに伝播させたときの波形は一緒ならばと思って、津波で計算してみたら、ちよつとずれたんですね。相反原理が成り立っていないかった。その理由を数学的に明らかにし、工夫することで、逆向きにしてもびつたり一致するような計算手法ができたんです」

従来の方法では、観測データを説明できるように波形計算しようとする、いろいろな断面モデルでシミュレーションするしかなく、計算量が膨大で、ものすごく時間がかかったといいます。逆向きに計算できれば、観測点を基準にして、そこどのような波源が作用したかを一度の計算でまとめて評価可能に。

「観測点は固定したまま、いろいろな波源パターンを一気に計算できる。すごく画期的なんです。例えば気象庁はいま、いろいろな断面を仮定して万単位のシミュレーションを行い、データベースをつくっていますが、私の方法な

ら、シミュレーションは観測点の数だけでいい。多く見積もっても1000回くらいシミュレーションすればデータベースができます」

能登半島地震津波を解析
初期波源を精度よく再現可能に

さらに、この手法を2024年の能登半島地震津波の解析に適用。

「もともとこの方法を使うと、津波の初期状態が低めに出てしまうという問題があったんです。観測データはノイズがあるので、細かい変動を鈍らせて推定するため、ピークが2、3割低くなってしまう。アジョイント合成法を使つてメッシュを細かくし、さらに与えるデータの重みを工夫することで、陸上の被害としっかり対応する波源を推定できる技術を開発しました」ということは、この方法を使つて見直すと、実は過去の津波が全部、もう少し大きかった可能性も。ハザードマップ等のベースとなつていた過去津波を振り返り、再検討するような場面の活用も考えられそうです。

「ピークが2割程度低くても、地震や津波のメカニズムを研究する人はそれほど気にならないと思います。でも、例えば5mの津波と6mの津波では建造物の設計が変わる。研究所にいて、実際に被害や対策を扱うわれわれは、その2割を頑張りたいという思いが強いんです。その精度が上げればいろいろな効率化でき、材料が削減できたり、避難行動を適性にしたりでできますから」

高潮解析への応用手法を開発
広く使われる技術を目指す

現在取り組んでいるのは高潮への応用。



アジョイント合成法による2024年能登半島地震津波の初期水位分布の推定結果

「台風のコースが少し違えば影響もかなり変わってくる。そういった部分を網羅的に計算するには、15kmメッシュのデータベースでは使い物にならないんです。1kmメッシュならば再現できると思うので、この手法は使えるんじゃないかと。ただ、津波の場合は発生から終りまで3分程度なので、その3分の分の波形を合成すれば、どんな津波が来るか予測できるのですが、台風の場合は、津波でいえば、ずっと発生している状態。それを全部足し合わせなければいけないので、意外と早く計算できないですね。ただ、台風が遠くにあるときはもう少し大雑把に足し合わせていいはずなので、そのあたりで工夫できないかと検討しているところです」

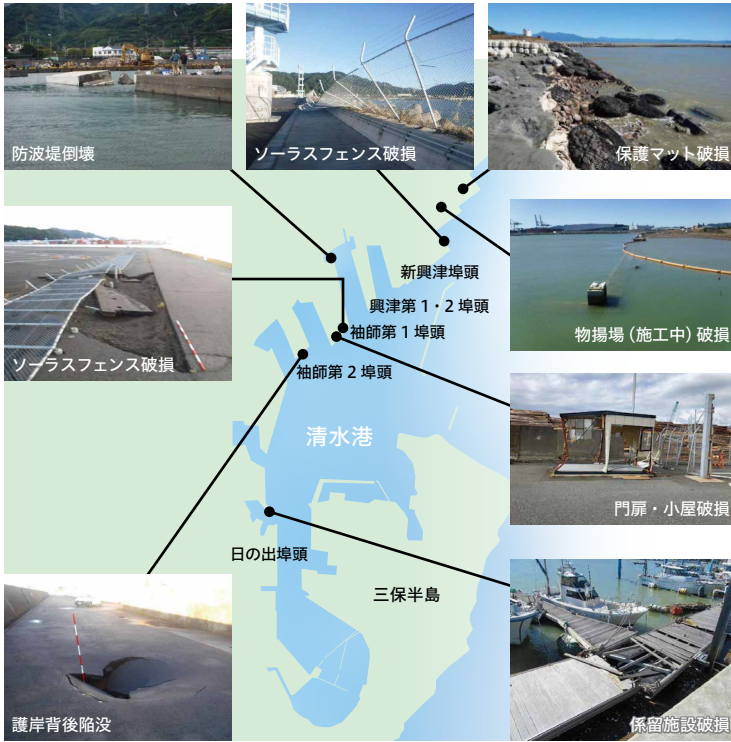
まずは、気象庁の津波予測で使われることを想定して開発した技術。

「それ以外にも、すごく有用な手法なので、広く使ってもらえるように、自分でも応用事例など増やしてアピールしていこうと思っています。私、この研究を中途半端なところで世に出すのが嫌で、学会発表や論文発表をしなかった時期があるんですよ。それを容認してくれた研究所には、すごく感謝しています」

台風 19 号の教訓から官民協働で高潮・高波に備える

清水港における 高潮・高波の減災対策

近年、日本の港湾では高潮・高波による浸水被害が多発しており、気候変動にともなう海面上昇や台風の強度の増加により、今後、さらに被害の頻度や規模の拡大が懸念されています。そんななか、2025年4月の港湾法改正により、官民連携での「協働防護」を港湾計画に盛り込めるように。清水港ではそれに先駆け、2019年の台風19号を契機に、清水港湾事務所が主体となり、港湾管理者や立地企業が参加し、官民一体で防災・減災を考える「地域検討会」を発足。現在は内閣府が進める第3期SIP（戦略的イノベーションプログラム）の一部として、名古屋大学が担当する「港湾における高潮・波浪浸水リスク評価技術の開発」に関する社会実装アドバイザーボードとして議論が続けられています（本誌2〜5頁参照）。今回は、本研究に参画する名古屋大学減災連携研究センターの富田孝史副センター長、港空研



台風 19 号による清水港のおもな被災状況

の平山克也沿岸水工研究領域長とともに清水港湾事務所を訪れ、当時の被災状況から現在までの活動状況、今後の展望について出水孝征所長にお話を伺いました。

2019年10月6日に南鳥島近海で発生した台風19号は、12日に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸しました。東海から関東にかけての広い範囲で記録的な大雨と暴風、高潮・高波をもたらし、甚大な被害が発生しました。

出水「台風19号が清水港に最高潮位（1.7m）と最大波（約8m）をもたらししたのは、12日18時の伊豆半島沖に到達した際とみられています。清水港の防波堤は、おもに南南東からの波に対して効果を発揮する構造ですが、この時は南東からの波が押し寄せ、防波効果が十分に機能せず被害が拡大しました。とくに袖師第1埠頭では、立ち入り制限用のソーラスフェンスや漁港区の防波堤も倒壊しました。また、興津地区の空コンテナが倒壊し、上屋のシャッターも損傷。さらに浸水で保管されていたバルブなどの貨物も被害を受けました」

富田「被災直後に、清水港湾事務所や清水港管理局（港湾管理者）、立地企業にも協力していただいて現地被災調査を行いました。浸水リスクが高い埠頭では、事前に荷物を移動するなどの対応をしていましたが、このときはこれまで浸水が発生しなかったような埠頭までもが浸水し、想定を超える被害となりました。浸水の高さは場所によって異なりますが、高いところで1mを超えていました。立地企業への調査により、浸水が発生した範囲をある程度把握することができたので、その情報をマップ化して浸水被害を可視化しました」

地域検討会を契機に 社会実装に向けて活動

浸水被害の状況は関係者間で共有され、調査結果をもとに議論する中で、清水港湾事務所が主体となり、港湾管理者や立地企業も参加す



港湾空港技術研究所
沿岸水工研究領域
平山克也 領域長

名古屋大学
減災連携研究センター 副センター長
兼任工学研究科土木工学専攻教授
富田孝史さん

国土交通省 中部地方整備局
清水港湾事務所
所長 出水孝征さん

る「清水港 防災・減災に関する地域検討会」が発足しました。この検討会は2023年3月まで、3年以上にわたり開催されました。

出水 「地域検討会では各種情報を共有し、被害防止・軽減のための対策などについて議論を行いました。事象の解明や他港の対策事例などを踏まえ、とくに被害が大きかった袖師第1埠頭では、短期対策として港湾物流関係の企業と静岡県、当事務所それぞれが担うハード対策の役割を確認し、現在まで被害の抑制に取り組んでいます」

地域検討会はその後、内閣府の第3期SIPプロジェクトの一部として名古屋大学が担当する「港湾における高潮・波浪浸水リスク評価技術の開発」に関する研究の開始に合わせて、社会実装アドバイザーボードとしての活動を始めました。清水港はその研究サイトになっています。

富田 「第3期SIPではとくに社会実装を重視して、制度の整備や社会的な受け入れ状況、人材育成なども含めて、実際の社会でどれだけ活用できるかが評価のポイントになっています。なので、技術開発するだけでなく、その技術を実際にどう使ってもらうかを一緒に議論する仕組みとして、民間企業や港湾管理者が参加するアドバイザーボードという仕組みを設けました。どの港湾を研究サイトにするかという話になったとき、台風19号の後に官民が一緒になって災害に強い港をつくらうという議論を既に始めていた清水港がまさにうってつけだったわけです」

出水 「清水港は古くから地域の経済・物流を支えてきたことから、港に関わる企業のみならずも協力して取り組む意識が強い港です。防災への関心も高く、物流企業の方々とはとりわけ高いと感じています」

富田 「議論を進める中で、気候変動の影響も考慮した浸水対策を自分たちで進めたいという意識が強まっています。何m高上げすべきかなど具体的な結論はまだ出ていませんが、高上

げが必要だという認識は十分に定着していて、それが実際の対策につながりつつある。例えば物流企業の場合、これまでは商品を避難させる対応をおもにできていましたが、この議論を通じて、企業自らあるいは行政と協力してハード対策を進める必要があるという意識が高まってきていると思います」

平山 「課題を人ごとではなく、ジブンゴト化」して、積極的に対応していこうというのがこの取り組みのテーマの一つですから、非常に期待できますね」

清水港は、南海トラフ地震による津波リスクもあります。津波は高潮・高波と作用の仕方が異なりますが、対策には共通する点もあるとい

富田 「静岡県の津波ハザードマップと高潮ハザードマップを比べると、清水港の背後地域の浸水範囲はほぼ同じです。南海トラフ地震による巨大津波と、最大クラスの高潮の浸水域がほとんど重なります。それは三保半島が自然の防波堤の役割を果たしているため、三保半島の外側では津波が非常に高くても、その内側ではかなり抑えられているからです。浸水域がほぼ同じということは、津波対策は高潮対策にもなり、その逆も同じ。背後地域にはまだ海岸保全施設がないところもありますが、現在整備が進められていますし、浸水に対する防御力はほとんど高まってきていると考えられますね」

出水 「津波と高潮・高波の大きな違いは港までの到達時間です。高潮は事前情報も得られるので準備できますが、南海トラフ地震の津波は清水港に約2分で到達するとされ、事前の対策はできません。共通点は、どちらもハード対策だけでは十分ではないということです。必要な整備に加え、官民が連携したソフト対策も進める必要があります。いずれにしても被災リスクを減らし、安定した港湾物流を維持できるよう、今後も関係機関と協力して取り組んでいきたいと考えています」

官民が連携した「協働防護」のモデルケースに

この研究も2025年で3年目を迎え、5年間の研究期間の折り返し地点を過ぎました。

出水 「先日、港空研で行われた台風19号時の越波浸水実験を見学した港湾物流企業の方からは、『自分の目で見たことでどんな現象が起きたのか理解しやすくなり、今後の対策もイメージしやすくなった』という声がありました」

平山 「浸水状況の時間変化がわかるとよいという意見や、前日までにわかれば対策に活かせるという意見をいただいています。いま港空研では、前日までに浸水過程を予測できる「準リアルタイム」計算を目指し、浸水計算プログラムNOWT-PARの高速化に取り組んでいます。現在は計算に1週間程度かかりますが、これを10倍速くするのが目標です」

出水 「みなさん非常に期待していると思います」
富田 「官民が連携した『協働防護』は複数の

企業が参加する必要性はなく、1社でもいいんです。行政と企業が協力して地域の防災力を高める仕組みが整ってきたことで、将来の被害を軽減しやすくなったといえます。今後は、ESG投資（※）を広げていくため、企業は、気候変動が自社の財務にどれだけ影響するかを公開することが義務になります。一方で、安全性を高めるための取り組みをしっかりと示すことで投資を呼び込みやすくなる。でも企業だけが対策していてもだめで、やはり港全体で防災力を高めていくことが大事なんです」

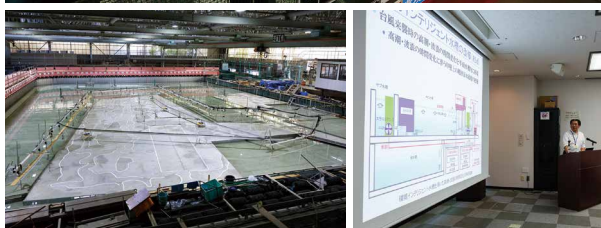
清水港で得られた研究成果は、今後、全国の港湾で「協働防護」を進める際のモデルケースとなることが期待されます。

出水 「例えば首都圏で大きな災害が起きたときに、清水港はサポートの役割を担う可能性があります。そうした事態のためにも、地域全体の防災力を高めたいですね」

平山 「現場の課題解決に向けて、われわれも研究者としてしっかりサポートしていきます。今後ともよろしく願います」



第7回社会実装アドバイザーボードの様子



越波浸水再現実験見学会の様子

港空研の環境インテリジェント水槽（短辺29m、長辺36m、深さ1.3mの平面造波水槽）に、清水港袖師第1・2埠頭と周辺海底地形を再現した約1/50スケールの模型を設置。そこに2019年台風19号襲来時の波浪・潮位条件を与えることで、当時の浸水状況を再現した。

※従来の財務要素に加えて、非財務的な要素である環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance）を考慮する投資のこと。

これからの 港湾・海岸施設設計を リードする新しい技術

東日本大震災による津波被害を契機に、2018年の港湾技術基準の改訂で「粘り強い設計」が導入された港湾・海岸施設。さらに2024年4月には、気候変動の影響を設計に織り込むという趣旨での部分改訂がなされています。

巨大地震はいつ起こっても不思議ではなく、津波のリスクは高まるばかり。

また、現在目標とされている気候変動シナリオは上振れする可能性も。この待ったなしの状況のなか、さまざまな課題にどう向き合っていくべきか、現在および将来の設計技術を担う、若手研究者たちの声を聞きました。



背景は、港空研が所有する実験施設「大規模波動地盤総合水路」。最大3.5mの風波と最大2.5mの津波を起こすことができる世界最大級の造波水路。



沿岸水工研究領域
平山克也 領域長



沿岸水工研究領域
波浪研究グループ
藤木 峻 グループ長



沿岸水工研究領域
耐波研究グループ
鶴田修己 グループ長



沿岸水工研究領域
津波高潮研究グループ
岩本匠夢 主任研究官



沿岸水工研究領域
波浪研究グループ
濱野有貴 主任研究官

模型実験と数値計算で 越波浸水現象を再現

平山 最初に、いまどんな研究をしているか、それぞれに話していただきましょうか。

藤木 われわれ波浪研究グループでは、沖合で発達した波が沿岸に伝播してきて、海底地形の影響を受けて変形する、その部分の波を対象に研究しています。波浪と一口に言っても、場所によって結構性質が変わるんです。沖の水深の深い場所では風を受けて波が起り、それが沿岸に寄ってきて海底地形の影響を受け変形し、最後に陸地に打ちあがるとか防波堤を乗り越えるといった大変形をする、そういう3つの段階があるんですけど、対象にしているのは、その真ん中の段階の波浪ですね。研究のアプローチとしては、水理模型実験と数値シミュレーションの両方。平面水槽の中に港湾施設の模型をつくって波と高潮を同時に作用させ、岸壁背後のふ頭がどういうふうに浸水するかを実験で確かめています。さらに、そのデータを数値シミュレーションの精度検証に用いることで、数値モデルの開発にフィードバックしています。この平面水槽、2023年に機能改修を行ってグレードアップしたんです。造波しながら水位を変化させられるようになった。実際の台風で起こるような波浪と高潮それぞれの時系列変化を、水槽実験の中で再現できるというところが、これまでとは違うところです。

平山 以前は高潮を再現できる実験施設がなかったのが、ビジネススクモデル（波浪変形計算プログラム）を用いて検討していたんです。いままさに、ずっとや

りたかった高潮・高波による岸壁の越波浸水現象の実験ができていくわけですね。

濱野 具体的には、その水槽の中に、モデル港として2019年台風19号で浸水被害を受けた清水港の模型をつくり、どのようにふ頭が浸水していくかという再現実験を行っています。もともと平山さんと一緒に、そういうことができるように計算プログラムの改良に取り組んでいたんですが、実験施設が改修されたことで、これまで計算してきたものの精度を確認できる段階になった。逆に実験結果をフィードバックすることで、さらに数値計算の精度を上げていきたいと思っています。

平山 設計技術としての進展は？

濱野 従来の設計では、越波流量算定図を使って越波流量を見積もり、それに対して護岸の高さをどうするか検討していました。そのためには、構造物での反射により生じる波を取り除いて進行波を出し、その進行波から屈折や回折を考慮した沖波である「換算沖波」を求める必要があった。この手順を岸壁上の越波浸水対策に応用して、換算沖波波高をもとに岸壁上に設置する壁の位置や必要高さを簡易的に見積もる方法を、平山さんと一緒に検討しました。この内容をまとめた論文は2023年に海岸工学論文賞を受賞しています。一方で進行波にするために反射波を取り除くというのが非常に難しい場合があったんです。いまは計算技術がすごく発達して、越波流量や波力を直接計算で出せるようになったので、計算で求めた越波流量や波力を、逆に合田の越波流量算定図（※1）や合田の波力式（※2）と組み合わせることによって、換算沖波波高を算出する手法を検討しました。その逆算手法の妥当性は、実験結果と計算結果を比較すること

で確認しています。

平山 数値計算の技術が進歩したこと、設計の仕方が少し変わった例としては「準沖波」の話もありますね。

藤木 設計外力として1つ沖波を決めるのですが、本来これは「水深の影響を受けていない波」という前提。ところが最近の波浪推算技術の発展で海底地形を考慮した波浪推算が当たり前になったため、港湾の沖の波をそのまま使った、既に海底地形の影響を含んでいる可能性があるんです。そうすると、もともと「水深の影響を受けていない波」の入力を前提として構築された設計手法とのギャップが出てきてしまう。そのギャップを解消するために提唱されたのが、準沖波という概念。海底地形を考慮した波浪推算結果は一旦、準沖波という形で理解して、抽出したポイントの水深が深いか浅いかによって、そのまま変形計算を始めていいのか、それとも沖の「水深の影響を受けていない波」を推定してから始めるべきなのか判定するというものです。

平山 この手順は港湾技術基準にも2024年4月に導入されているので、これからの設計では気候変動適応とあわせて、この準沖波を活用していくことになりそうです。手前味噌になりますが、東北地方を対象にこの準沖波と沖波の関係性について整理した論文は、2024年に日本港湾協会論文賞を受賞しました。

数値計算を駆使して 既存施設の改良を検討

鶴田 私が所属する耐波研究グループが対象にしているのは、さっき藤木さ

※1 1969年、当時の港湾技術研究所水工部波浪研究室長・合田良實氏により提案された、護岸の越波流量を波高・周期・余裕高から算定する設計用図表。

※2 1973年、同じく合田良實氏によって提案された、波の不規則性を考慮した波力式。合田式とも。



んの話に出た3つの段階のうちの一番岸側。波浪研究グループのほうで出していた計算結果などを使って、構造物がどれくらい波に対して耐えられるかというところを研究しています。波力とか越波とか、当然オーバーラップするところが出てきますが、棲み分けとしては、海面上昇という観点でいうと、こちらはいままでの手法があてはまらない施設に対してどういう改良ができるかといった、いわゆる「例外」への対応を検討する機会が増えていますね。数値シミュレーションを用いた設計というのはずっと期待され続けたことですが、いよいよ本当に、活用していかないと間に合わない段階に入ってきたと実感しています。水理模型実験を検討する前に、どんな数値計算で検討していかないと。国内あらゆるところの既存施設で、検証の準備を進めないとだめだよなっていうところまでできていると思う。グループとしては沿岸技術研究センターとともに2023年にCADMASSURF（数値波浪水路プログラム）の実務設計研究会（本誌54号 Front People 参照）を立ち上げて、どういふふうの実務に活用できるか検討を進めています。あと、CADMASSURFだけでなく、解析手法の異なる粒子法についてもPARISPHEREという数値計算ソフトウェアを目下開発中でして。そちらも今後、実際に実務でどう使っていくかというところに移っていくのかなという段階ですね。波浪研究グループとも連携しながら、研究所の人間だけでなくコンサルさんとかもほとんど設計できるような技術を目指しています。

平山 構造物を扱っているという点で、現場の問題を真っ先に正面から受け止めるのが、耐波研究グループなんですよね。

藤木 研究所の使命として、民間への技術の普及・指導ということがありますがね。CADMASSURFの普及というのは、まさにそれに則った活動だと思います。

高潮の再現計算にAIを活用する方法を模索

平山 波の変形や構造物への作用を検討するためには、先ほどの3つの段階で言えば大元となる一番沖側のところ、まずどういう波や高潮が発生して——というところが重要になってくる。津波高潮研究グループが、まさにそういった部分を研究しているわけですが。

岩本 高潮は湾全体で発生するものなので、構造物のスケールと比べて大きく、数時間あるいは1日など、波浪の周期と比べて長周期の現象になってくる。それを実験施設で検討するのは難しいということもあって、われわれのグループは数値シミュレーションを活用した高潮の計算に取り組んでいます。最近はやはり気候変動が高潮におよぼす影響が懸念されていて、d4PDFと呼ばれるいわゆるビッグデータを使って、例えば1000年に1回生じる高潮とか、そういうシミュレーションを行うのがトレンドになっていますね。こういった取り組みは国総研でも行われているんですけど、私のほうでは、d4PDFに現実の台風との誤差がどうしても含まれてしまつので、その誤差を補正する方

法を検討しています。

平山 気候変動適応策を具体的に進める上で、まさに第一線の研究ですね。

岩本 もう少し詳しく言うつと、d4PDFに含まれている誤差を補正する手法自体は既に提案されているのですが、私はそこにAIで、誤差の補正をしつつ、例えば台風が上陸したときに風の場合が変形する効果なども考慮することができないか、と思つて。AIを活用する方法を研究しているという段階です。

平山 d4PDFは、現在気候で6000年分、将来気候で5400年分ものデータを扱う。台風の発生個数を年間10個としても、それだけで10万セットくらいのデータを計算することになるんですよ。このAIを活用するやり方だと、数値計算をきちんと回すのに比べ、その補正を非常に効率的に高速化できるので、この膨大な数の台風を全部扱うことも非現実的な話ではなくなる可能性がある。そういう道を切り開きつつある、すごく期待の持てる研究だと思います。

実験で得られるデータの蓄積が強みに

濱野 この流れでいくと、今後さまざまな検討が数値計算に置き換わっていくというのは想像できます。いまの設計ではまた図表を使つたり、図表を検証データとして計算が合っているか確認するといったことが行われていますけど、計算精度もある程度担保された状態になったら、計算だけで設計していくようなことになるでしょう。そうなったとき、まだ実験が必要なのかな。

鶴田 絶対必要ですよ。

藤木 数値モデルの発展は目覚ましいし、一方で実験をやろうとするとお金も人手もかかる。それでも、実験の価値はまだ当分あると思っています。数値シミュレーションはあくまでも現実の模擬であつて、パラメータ次第で結果が変わるので、モデルだけの結果だと真値として信用されにくいところがあるんですよ。わかりやすい説明として実験はシミュレーションのベンチマークのために必要ですが、実験を1つやると1つの事実として扱うことができませんし、研究成果として見たときにも、やはり普遍性があつて長く残りやすいというのがあります。それだけではなく、実物から得られるものつて結構あると思つていて。技術者教育にもなるし、一般公開などでも実物を見せたほうが、断然興味を持ってもらえます。

鶴田 耐波研究グループの場合は、いまもう実験と数値計算は完全に一体化していますね。例えば急ぎの設計があるとき、まず数値計算を回してアタリをつける。どこにどれくらいの流速が発生するか、どこが危険になりそうかというポイントを先に出し、検討の注意点を、例えば委員会などで先に言っておくんです。それと並行して、時間のかかる実験を準備しておく。で、いざ実験をやつて、数値計算ではまだ再現できない部分、実際にブロックがどうなるかといったところを見るんですね。ここまでいったら、今度は数値計算で、残りの検討していない波の条件をデータと計算していきます。どちらが欠けても、おそらくいまの設計のスピード感では対応できないくらい、相互に補い合っている。こられて昔からよく言われていた理想の



形ですが、計算結果と実験結果の乖離があつて、なかなかうまくいっていないかつたんですよ。いまようやく、ほぼ同じような現象を再現できるようになつてきたので、目指す研究方法が実現できた。高精度なモデルがどんどん開発されてきたのもそうですが、計算を回し、ベンチマークとしての実験との比較を積み重ねてきたものが、ようやく花開き始めたというのが現在。

岩本 そういう状況で、港空研の強みだなと思つていて。最近A-1がすごく活発に利用されていますが、A-1って結局データがなければ何もできないんですよ。その肝心のデータが信用できるかということの検証のためにも、やはり実験施設を使った検討が望ましい。港空研には、これまでの長年の蓄積がありますからね。

平山 一方で、その実験施設をつくったり使ったりするために必要な技術というのが、業界全体でみたときにだいぶ失われてきつつあるように思ふんですよね。大学とかでも、使える状態にある実験施設を持つているところが徐々に減ってきている。

鶴田 小型試験水槽みたいな小さな水路って、大学とか建設会社とかいろいろなところに眠ってますよね。実は僕あれを活用したいなと思つていて。数値計算の精度が上がってきたからこそできる、数値計算と小さな実験水路との設計方法の融合みたいなことを考えたい。港空研には大規模な水槽があるので、大きなスケールで精度チェックもできますし、数値シミュレーションモデルも開発している側なので、連携とかの手引きもつくりやすいかなと思つているんです。

藤本 共同利用的なイメージですか？

鶴田 そう。小さな水路を大量に並べて、コンサルさんも大学の人も、みんな使えますよっていう。実験データとか設計の情報とかも、全部ここがハブになつていようなイメージです。ビッグデータの話が出ましたが、ここが実験に関するビッグデータの物理サーバーになつていく、そういうのもいいかなって。

平山 もしそうなれば、将来的に港空研は名実ともに、それこそ技術のメッカ。なんだか結構面白い話になりましたね（笑）。

組織の連携を活かして 津波災害リスクに挑む

平山 次に津波災害リスクへの対応について。発生した津波が実際どういったものだったのかを推定する技術というのはいまかなり発達してきて、その津波に対して構造物がどういう挙動をするかといったことも、だいぶわかるようになってきたわけですが。

岩本 われわれのグループでは、それはもっぱら高川智博グループ長が進めている研究です。津波の波源分布を高速かつ高精度に推定する手法として、アジジョイント法というものを開発（本誌7ページ参照）。数値シミュレーションをベースに、なるべく精度よく津波を再現する技術に取り組んでいます。あと最近、別途進めているのが地形データの収集。津波の浸水想定をする際の基礎データとして、詳細な地形データが都道府県ごとに整備されているのですが、まだ一般に公開されていないエリアがあつて。そういう場所では津波や高潮が発生

したとき即時に対応できるように、詳細な地形データを全都道府県から収集し、データベースとして整備しました。

鶴田 今回の能登半島地震の津波への対応では、速報的な状況把握のために、数値計算がかなり活躍したというのが所感としてあります。あまり見たことがない現象がいくつも発生していたので、まずその説明から始まったんですけど、今回、それぞれ分野の違う人の数値計算がどんどん連動していつて、そこに実験も加わり、震源地から構造物のところまでつながつて、すごい速さで一気に進めていけた。何か事象が発生したとき、こんな短期間で連携して一気に研究が進む事例って、海外とかでもあるんでしょうか。

平山 そういう事象に対してみんなが知識を結集させて、一つの成果を出すというのは、港空研としてはわりと昔からやってきた得意分野。今回はそれを、より高度な形でやれたと思います。港空研と国総研の連携の強み。久里浜の研究所の組織が機能した、ということですね。

鶴田 昔からの伝統でもありつつ、最先端を走っているなというのは感じました。

平山 能登の地震津波の対応を受けて、この経験を東南海地震津波に活かせるように考えないといけないわけですが、そういう観点では何かありますか？

藤本 利用可否判断については最近、中部地方整備局と組んで、港空研・国総研と現地をつないで訓練をしたと聞きまして。そういう研究所と地方整備局のつながりは、新たな形で模索してもいいのかなと思つています。

鶴田 能登に調査に行ったとき、ボディカメラを着けてWeb会議すればいい

のにつてずつと思つていたんです。久里浜とつないで、いろんなことを聞きながら見て回れたかった。あれは経験ないと難しいので、利用可否判断が十分できるくらいに成長するまでのタイムラグを、もう少し技術的なところでカバーできたらなと思います。

藤本 波に関しては、災害の前後で海底地形が大きく変わると、たぶん波浪状況もすごく変わつてしまうので、災害後にこの港内波浪がどうなっているか急いで知りたいというようなオーダーが、もしかしたらあるかもしれないですね。

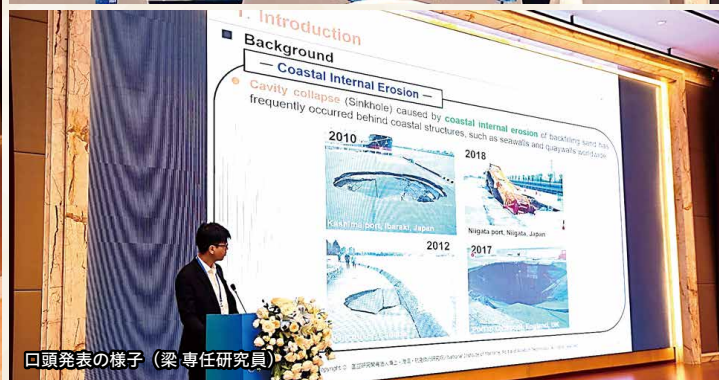
濱野 さっき鶴田さんが言つていた、今回の津波のときすごい速さで連動していった研究の流れの中に、われわれも含まれて対応していく可能性もあるということですよ。

平山 そのときになつて慌てなくて済むように、きちんと想定した上で、準備できるところから始めておくの必要かもしれません。

濱野 そういう意味でも、岩本さんが地形のデータセットを事前につくつているというのは、すごく重要なことだなと思います。

岩本 ただデータセットをつくつても、自分が持っているだけでは、案外使わないということにもなりかねない。それを外部に、少なくとも研究所の中で、うまく共同利用できるとなおいと思いますね。

平山 それぞれが得意な部分に取り組みつつ、みんなのことを考えて、自分何ができるかということで研究を進めていけば、全体でウィンウィンになれるのかなという気がします。今日のみなさんの話を聞いて、非常に心強い気持ちになりました。



CROSS LINE

国際交流レポート

国際洗掘侵食会議で国際的リーダーシップを発揮

－佐々グループ長が中国3都市の招待・基調講演で、研究成果を発信－

2025年11月4日～7日、中国・重慶で開催された第12回「国際洗掘侵食会議」に、動土質研究グループの佐々真志グループ長、工代健太主任研究官、梁順普専任研究員が参加しました。

国際洗掘侵食会議は、国際地盤工学会が主催し、地盤分野のみならず、河川・海岸・海洋など水分野の研究者も一堂に会する学際的な国際会議で、2年ごとに世界各地で開催されています。

本会議では、洗掘・侵食の物理・数値モデリング、モニタリング・計測、漂砂・土砂移動、岩盤侵食、内部侵食、河川・橋脚周りの洗掘・侵食、沿岸・海洋の洗掘・侵食、ジオハザードとリスク評価、洗掘・侵食対策と実践、気候変動と適応等に関する15のテーマが設定され、8つの基調講演が行われました。水と地盤の境界領域における世界各国の最新の研究・技術開発動向や新たな知見が共有され、活発な意見交換が行われました。

佐々グループ長は、本会議を運営する世界80か国1600名以上の研究者・技術者が参画する「国際地盤工学会技術委員会」の委員長として冒頭挨拶とオープニング基調講演を担当し、工代主任研究官、梁専任研究員とともに7つの論文を発表しました。また、本会議中に「国際地盤工学会技術委員会 TC213（洗掘と侵食に関する世界委員会）」を主催し、世界の洗掘・侵食研究・技術動向に関する「Interactive Technical Talk」の開催報告を行いました。加えて11月5日には、ラオスで開催中の「東・東南アジア地球科学計画調整委員会 第61回会議」に重慶の会場からオンラインで参加し、基調講演「海底ジオハザードと洋上風力の減災対策」を行いました。

佐々グループ長は、これに先立つ9月9日～17日に北京、重慶、成都の3都市でも講演を行いました。

北京では、2024年10月に国際学術会議と国連防災機関の共催プログラムである災害リスクに関する統合研究世界会議において、「地すべり津波と災害リスク軽減」セッションの共同議長を務め代表講演を行ったことを踏まえ、北京林業大学、北京師範大学、国家自然災害防止研究院、中国科学院地理科学・資源研究所からの依頼を受け、世界的な地すべり災害リスク軽減に向けた新たな取り組みに関する招待講演を行いました。

重慶では、重慶交通大学で開催された第12回国際洗掘侵食会議の準備会合に参画し、洗掘・侵食のメカニズムと対策の最新動向に関する招待特別講演を行いました。続く成都では、ユネスコ（国際連合教育科学文化機関）チェアプログラム（※）である「SIMR国際会議2025」において、複合的な地質・地盤災害リスクの理解と軽減における最新の進展に関する基調講演を行うとともに、2029年の「斜面防災世界フォーラム」招致に向けた打ち合わせも行いました。

これら一連の講演では、洗掘・侵食、地震・高波による液状化、地すべり、混濁流、津波等の国際防災・減災に関する世界をリードする最先端の知見を共有し、いずれも高い評価を受けました。国際的な防災・減災への理解を深めるとともに、今後の取り組みの普及・啓発に繋がったといえます。

※ 知の交流と共有を通じて、高等教育機関および研究機関の能力向上を目的とするプログラム。



国際地盤工学会技術委員会 Best Paper Award 授与挨拶



重慶交通大学 招待特別講演



重慶交通大学 研究施設視察



SIMR 国際会議 2025 基調講演

港空研 TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）が 令和7年防災功労者内閣総理大臣表彰を受けました



授賞式での集合写真



河合所長

港空研TEC-FORCEが、令和6年能登半島地震における活動により、令和7年防災功労者内閣総理大臣表彰を受けました。

防災功労者内閣総理大臣表彰は、『『防災の日』及び『防災週間』について』（昭和57年5月11日閣議了解）に基づき、災害時における人命救助や被害の拡大防止等の防災活動の実施、平時における防災思想の普及や防災体制の整備の面で貢献し、とくにその功績が顕著であると認められる団体・個人を対象として行われるものです。

港空研TEC-FORCEは、2024（令和6）年1月1日に発生した能登半島地震において、国土技術政策総合研究所と連携し、港湾施設の被災状況の現地調査を行うとともに、現地調査結果や当該施設の設計図書等に基づき、岸壁等の利用可否判断や応急復旧工法についての技術支援を行いました。これらにより、自衛隊・海上保安庁・民間の船舶等による緊急物資輸送など、港湾を活用した



港空研 TEC-FORCE の研究者

支援活動の迅速な実現に貢献したほか、検潮記録や波浪データの解析を行い、津波による防波堤等の被災メカニズムの解析を行うとともに復旧設計のための臨時地震観測を実施するなど、港湾施設の災害復旧のためデータ収集等を行い、早期復旧に尽力したことが認められました。

表彰式は9月17日に首相官邸にて行われ、河合弘泰所長が出席しました。

「弱非線形ブシネスクモデルにより算定された重複波力の補正式の提案」が 土木学会「海洋開発優秀論文賞」を受賞しました



平井氏（左）と平山領域長（右）

により、2025年度「海洋開発優秀論文賞」を受賞しました。

「海洋開発優秀論文賞」は、土木学会海洋開発委員会が海洋の開発保全に関する調査・研究の発展を目的として授与する賞で、土木学会の論文集「特集号（海洋開発）」に掲載された、海洋の開発保全の進歩向上に貢献するとくに優れた論文に対して贈られます。

近年、気候変動の影響にともなう平均海面上昇や台風の

平山克也沿岸水工研究領域長と前・波浪研究グループの平井翔太氏（現・（株）ニュージェット 技術本部 港湾・海岸グループ）が、「弱非線形ブシネスクモデルにより算定された重複波力の補正式の提案」に

強化化による高潮・高波被害増加に備え、港内岸壁の越波浸水対策として岸壁上に胸壁を設置することが検討されています。しかし、回折波や多重反射波が作用する港内施設では設計波の算定が容易ではないため、波圧の鉛直分布をブシネスクモデル（波浪変形計算プログラム）で直接算定したところ、モデルの弱非線形性（波形が尖る様子を十分に表せない計算特性）のために高波浪時に波圧の時間波形が双峰型となる現象が再現されず、ピーク時の波力を過大評価することが課題となっていました。本研究では、この現象を再現できる高精度モデルによる数値実験を合わせて行い、波の長さに対する水深や波の高さの比率に応じた波圧分布の補正式を提案しました。この結果、モデルの使いやすさを保ったまま数値実験や模型実験の結果をよく再現できるようになり、モデルの適用限界を克服することに成功しています。

これらの成果が、今後の構造物の設計や災害対策の精度向上に有効な技術であることが評価されました。



ブルーインフラとは?

研究者が解説します!

沿岸水工研究領域
耐波研究グループ
山縣史朗 主任研究官

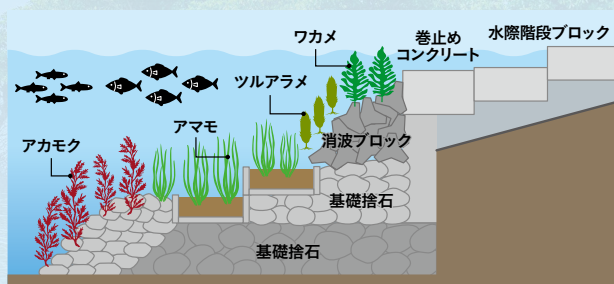


「ブルーインフラ」とは、藻場・干潟等及び生物共生型港湾構造物のことをいいます。

ブルーインフラと似た言葉に「ブルーカーボン」があります。これは海藻や海草、マングローブなど海の生態系による炭素の吸収・貯留のことをいいます。海の生態系には、光合成によって大気中の温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)を吸収し、体内に有機物として蓄える働きがあります。これによって大気中のCO₂の量を減らすことができ、近年、世界的な気温上昇や自然災害の増加などの原因となっている「地球温暖化」の進行を抑えることができます。このブルーカーボンと密接な関係にあるのが、今回のテーマであるブルーインフラです。

ブルーインフラには、海藻や海草といった海洋植物が繁茂する「藻場」や、カニや貝類など多様な生物が生息する「干潟」、さらに、波や津波から陸を守るためにつくられた護岸や防波堤などのコンクリート構造物と生態系を共存させた「生物共生型港湾構造物」があります¹⁾。

生物共生型港湾構造物は、沿岸防災のための耐波・耐津波性能だけでなく、例えば、海藻が生えるように表面に傷や凹凸をつけた消波ブロックなどを使用して生物が付着・生息できるように設計した構造物や、植物などの力を利用して設計した構造物のことです。下図にイメージを示します。



生物共生型港湾構造物のイメージ

出典:「命を育むみなのブルーインフラ拡大プロジェクト」～ブルーインフラの保全・再生・創出に関する主な取組事例集～別紙2(国土交通省 港湾局 海洋・環境課) p3「生物共生型港湾構造物・イメージ図」を基に作成
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001580986.pdf>

コンクリート構造物として波や津波に対する防災機能に加えて、ブルーカーボンの効果も同時に発揮します。

次に、下の写真にマングローブを利用した護岸の例を示します。マングローブには、CO₂の吸収だけでなく、波の力を減衰させる効果²⁾や、砂の堆積を促進する効果³⁾があることが確認されていて、沿岸災害に対する抵抗力の向上や海面上昇対策効果も期待できます。例えば、マングローブが生息できる日本の奄美・沖縄などの温暖な地域や、世界の亜熱帯・熱帯地域ではマングローブを利用したブルーインフラの活躍が大きく期待できます。



護岸の前にマングローブを植林した例(石垣島) ⁴⁾

港湾空港技術研究所では、以前よりブルーインフラ・ブルーカーボンの研究に取り組んでおり、最近ではインドネシアを対象に現地の研究機関とも連携しながら、マングローブを利用したブルーインフラの実装に向けたガイドライン作成のための研究を進めています。

参考文献

- 1) 国土交通省HP: https://www.mlit.go.jp/report/press/port06_hh_000265.html
- 2) 柳澤英明, 横木裕宗, 三村信男: マングローブ林による波浪減衰効果の実験・数値的検討, 海岸工学論文集, 第52巻, 2005
- 3) 鈴木樹, 鈴木高二郎: マングローブ林及び周辺地形を対象としたRTK-UAVによる写真測量, 土木学会論文集特集号(海洋開発) 80巻, 18号, 2024
- 4) 環境研究機関連絡会HP: [https://kankyorenrakukai.org/seminar_06/presentationppt/10\(PP\)kouwanken.pdf](https://kankyorenrakukai.org/seminar_06/presentationppt/10(PP)kouwanken.pdf)

本誌に関するご意見・ご感想などはこちらまで



国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所

Port and Airport Research Institute (PARI)

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

