

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

〈CDIT座談会〉

どれだけ変われるのか、日本の高潮防災

磯部 雅彦 氏〔高知工科大学 学長〕

森 信人 氏〔京都大学 防災研究所 准教授〕

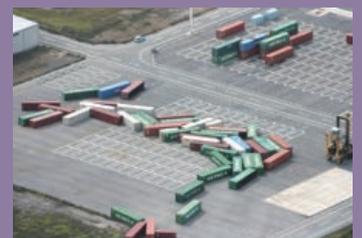
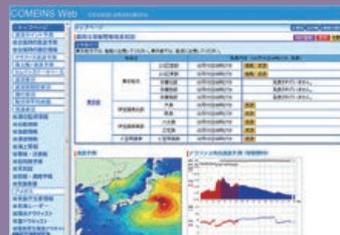
加藤 雅啓 氏〔国土交通省港湾局 海岸・防災課長〕

高山 知司 氏〔一般財団法人 沿岸技術研究センター 参与〕

高橋 重雄 (司会) 〔一般財団法人 沿岸技術研究センター 代表理事・理事長〕

〈特集〉

異常気象監視・予測技術による災害軽減



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.31	○座談会 P.5	○特集 P.20	○座談会 P.5
○座談会 P.5	○沿岸 レポート P.30	○座談会 P.5	○特集 P.18
○特別講演 P.26	○座談会 P.5	○CDIT News P.36	

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

どれだけ変われるのか、 日本の高潮防災

～異常気象監視・予測技術による災害軽減～

ゲスト

磯部 雅彦氏

高知工科大学 学長

森 信人氏

京都大学 防災研究所 准教授

加藤 雅啓氏

国土交通省 港湾局 海岸・防災課長

高山 知司氏

一般財団法人 沿岸技術研究センター 参与

(司会)

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

14

特集

異常気象監視・予測技術による災害軽減

14

高潮・高波災害から命を守る

村井 雅浩 気象庁予報部予報課 高野 洋雄 気象庁地球環境・海洋部海洋気象課

18

港湾における高潮被害の軽減に向けて

井出 正志 国土交通省港湾局 海岸・防災課 主査

20

COMEINS第四世代システムの紹介 ―うねり性波浪の精度向上―

山本 浩之 一般財団法人沿岸技術研究センター 波浪情報部 業務課長

24

COMEINS第四世代システムへの期待

小泉 勝彦 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所

26

特別講演 コースタル・テクノロジー 2017

高潮防災技術のこれまでとこれから

講演者 磯部 雅彦氏 高知工科大学 学長

30

沿岸レポート

30

第5回日韓沿岸技術研究ワークショップの報告

勝呂 和之 一般財団法人沿岸技術研究センター 主任研究員

31

濱口梧陵国際賞授賞式

岸 弘之 一般財団法人沿岸技術研究センター 研究主幹

32

民間技術の紹介

32

全素線二重防錆PC鋼より線【Ducst】

黒沢建設株式会社
株式会社ケーティービー

34

繊維補強カルシア改質土

五洋建設株式会社

36

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30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35周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、改めて感謝申し上げます。

今年2月には冬季オリンピック・パラリンピックが韓国の平昌で開かれ、日本人選手の活躍が期待されます。そして、東京オリンピック・パラリンピックの開幕まであと1000日を切り、今年はいメージキャラクターの決定が予定されています。訪日外国人旅行者数の政府目標は、東京オリンピック・パラリンピックが開催される平成32年に4000万人とされており、足元では、平成28年が過去最高の2400万人、まだ正式発表はありませんが平成29年は更に増加したことが確実です。また、クルーズ船で日本に入国した旅客数は、平成27年に約111.6万人と初めて100万人を突破し、平成28年は、前年比78.5%増の約199.2万人となりました。今後とも日本の観光資源に磨きをかけることが重要であり、玄関口となる港湾・空港においても更なるサービス水準の向上が必要です。外国人旅行者の皆様には日本での滞在を大いに楽しんでいただきたいと思います。

一方、昨年も大きな災害が発生しました。7月には九州北部豪雨により多くの方々が被災されました。土石流災害では過去最大級の流木発生量であり、港湾においては流れ込んだ大量の流木の撤去活動が行われました。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。

また再生可能エネルギーの導入に向けた取組が進められており、特に洋上風力発電は、陸上と比べ風車の大きさに関する制約が少なく、非常に大型の施設とすることが可能です。港湾はその適地として期待されておりますが、港湾での経済活動と両立させるためには、構造の安全性について、日本周辺に特有な台風や地震・津波に対する検討を進めることが必要です。そこで、当センターでは昨年7月に洋上風力研究室を立ち上げ、構造設計に関する調査研究に取り組んでまいります。

日本経済は堅調に推移し、回復基調が続いています。海外に不安定な要因がありますが、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、積極的に取り組み、全国の港湾、空港関係者のご要望に応じた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30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、新年のご挨拶とさせていただきます。



新年の挨拶

石井 啓一 国土交通大臣

平成30年という新しい年を迎え、謹んで新春の御挨拶を申し上げます。

昨年11月に第4次安倍内閣が発足し、引き続き、国土交通大臣の任に当たることとなりました。今年も国土交通行政に対する皆様の変わらぬ御理解と御協力を宜しくお願い申し上げます。

さて、昨年も九州北部豪雨や度重なる台風の上陸など、多くの自然災害が発生しました。これらの災害により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、被害にあわれた方々に心よりお見舞い申し上げます。被災地の方々が、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。

東日本大震災から今年の3月で7年が経過します。被災地では復興への確かな歩みが見られますが、今もなお多くの方々が避難生活を続けられております。今年は、「復興・創生期間」の3年目ですが、復興のステージが進むにつれて生じる新たな課題や多様なニーズにきめ細やかに対応しつつ、一刻も早く生活や生業が再建できるよう、引き続き、全力で取り組んでまいります。

我が国は、現在、人口減少・超高齢化社会を迎えておりますが、働き手の減少を上回る生産性の向上等によって潜在的な成長力を高め、新たな需要を掘り起こしていくことが求められています。国土交通省としては、一昨年を「生産性革命元年」と位置づけ、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、昨

年を生産性革命「前進の年」として、各プロジェクトの具体化を進めてまいりました。そして、今年も、生産性革命「深化の年」と位置付け、これまで実施してきた個々の取組を更に強化するとともに、生産性革命の基礎にある「小さなインプットでも、できるだけ大きなアウトプットを生み出す」という考え方を国土交通行政のあらゆる分野に浸透させていきます。

併せて、インフラシステムの海外展開や観光先進国実現に向けた施策を進めてまいります。昨年の訪日外国人旅行者数は、5年連続過去最高を達成し2,800万人台半ばに迫る勢いです。また、訪日外国人旅行消費額も、初めて4兆円を超える見通しです。本年も、「明日の日本を支える観光ビジョン」に掲げた2020年4,000万人等の目標達成に向けて、「できることは全て行う」方針のもと、常に先手を打って万全の対策を講じてまいります。

さらに、アベノミクスの成果が全国津々浦々に浸透するよう、地方創生の推進により地域の活力を高めるとともに、地域の特長を活かした、誰もが過ごしやすい魅力ある地域づくりを進める必要があります。地域の特性や状況に応じながら施策と組織を総動員して対応してまいります。

国民生活の安全・安心の確保や持続的な経済成長などの実現に向け、国土交通省の強みである現場力を活かして、諸課題に全力で取り組む所存です。国民の皆様の一層の御支援、御協力をお願いするとともに、本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心から祈念いたします。



どれだけ変われるのか、 日本の高潮防災

～異常気象監視・予測技術による災害軽減～



はじめに

高橋▷本日の座談会では「どれだけ変われるのか、日本の高潮防災～異常気象監視・予測技術による災害軽減～」というタイトルで、皆様からお話を伺って参りたいと思います。高知工科大学の磯部先生、京都大学防災研究所の森先生、国土交通省港湾局の加藤海岸・防災課長、そして当センター沿岸防災技術研究所所長の高山先生においでいただいております。よろしくお願いします。

皆さんご承知のとおり、地球温暖化による気候変動とそれによるリスクの増大が問題にされて久しくなります。特にここ数年、異常気象という言葉が日常的に耳にすることが多くなり、巨大台風や低気圧に伴う高潮・高波災害の甚大化が懸

念されています。

近年の大規模な沿岸災害としては2004年のスマトラ沖地震、2005年のハリケーンカトリーナ、そして2011年には東日本大震災がありました。このうち津波についてはスマトラ沖地震、東日本大震災による大災害の教訓から研究が進み、技術の進歩と共に防災対策も大きく変わってきていると思います。

しかし高潮・高波についてはハリケーンカトリーナの後、それほど大きく変わっていないように思われます。一方で、近年はさまざまな分野で技術が進歩しており、海象・気象の観測や予測技術についても急速な進展が予想されます。大災害が起きる前にそうした防災技術を駆使し、対策を講じておく必要があるのではないのでしょうか。

本日は「高潮防災はどこまで変われるのか？」と題しまし

て、台風や高潮・高波に対する防災技術、そして対策の現状と将来についてお話を伺ってまいりたいと思っております。まず、過去も振り返りながら我が国の高潮・高波対策の現状についてどのような認識をお持ちなのか、お話しして頂きたいと思えます。最初に磯部先生からお願いします。

高潮対策は非常に重要なテーマ

磯部▷わが国の高潮災害を振り返ってみますと、1953年(昭和28年)に13号台風が日本を縦断し、日本全土が被害を受けました。そして昭和34年の伊勢湾台風では、わが国にとって史上最大とも言える高潮被害が発生しました。

こうした大規模被害を教訓に、昭和31年に海岸法が施行になり海岸保全の取り組みが始まりました。これにより防御体制は大きく進みました。そして1960年代から1980年代ぐらいまでは比較的大きな台風が来なかったこともありますが、何と言っても防御体制が整ったことにより高潮の被害は殆ど起こりませんが、同時に高潮への関心が薄くなった時期でした。しかし90年代に入りますと、再び高潮の問題が出てくるようになりました。たとえば1991年(平成3年)の19号台風、これは東北地方でリンゴ栽培農家の被害が大きかったことからリンゴ台風とも言われましたが、上陸した九州地方では大きな高波被害がありました。また、1999(平成11年)の18号台風は不知火地方で高潮による死者が出るなど、再び高潮災害が注目されるようになりました。

一方、ちょうどそのころ80年代の終わりから90年代にかけてですが、地球温暖化問題がアメリカを中心にクローズアップされだしました。そしてこのことは日本でも深刻な問題だということで、私は高潮に対する日本の脆弱性を調べてみました。

その結果わかったことですが、高潮または津波の水位以下にある場所の資産額は、世界の中で日本がずば抜けて大き

く、2番目のオランダに比べても一桁違うと言っても良いぐらい膨大な被害額になることが分かりました。このことから台風の巨大化や、地球温暖化による海面上昇等を考えると、高潮対策は非常に重要な問題だと思っています。

高橋▷ありがとうございます。森先生お願いします。

高潮の研究には 多面的な観点が求められている

森▷私は学生のころから高波の研究に興味を持ち、局所的にどのような大きな波がどこで発生するのかといった研究を進めてきました。京大の防災研究所に移り10年経ちますが、海岸工学として高潮の研究も並行し行っています。高潮については10年前には、L1、L2と言われている概念がなくて、最大クラスシナリオと呼んでいたものを研究対象にし、大規模な自然災害が日本もしくはアジアでどう起きるのかについて研究してきました。

その流れの中で地球温暖化によって高潮がどこでどれぐらいの強さで起き、それが将来どう推移するかという研究をしています。最近のトレンドとしては海岸工学の分野だけでなく、気象学、気候学の人とも組んでお互いに意見交換し、新しい視野も取り入れて、これまでの海岸工学とは少し違う観点から高潮の研究をしています。

もう一つは高潮が都市域にどのような影響を及ぼすかの研究です。2011年の東日本大震災以来、日本にとって脆弱かつ資産が集中しているところ、特に3大湾はとても重要だと私も認識しています。高潮、高波が氾濫したときの建物の影響をしっかりと考えないといけません。浸水マップ等を作る際にもそうした視点で高潮のモデリングに取り組んでいます。高橋▷ありがとうございます。沿岸防災、とりわけ高潮防災に対する港湾局のこれまでの取り組みについて、加藤課長からお願いします。

市民の関心が高い海岸防災施設

加藤▷私は今から25年程前、港湾局の技術課に配属されていた時、港湾の技術基準を担当していましたが、ちょうどそのころ話題になったのが、IPCC(国連気候変動に関する政府間パネル)の地球温暖化による海面上昇問題です。その当時、第1次評価報告書において、将来の海面上昇予測値として35cm~65cmといった数字が出ていて、これに対して港湾はどう対応するべきか、という議論をしていた記憶があります。

その後、今から約10年前に海岸・防災課で、高潮対策、地震や津波対策に取り組みました。その当時と今と何が違うのかと考えてみますと、やはり台風がどんどん大きくなっ





ているような気がします。その一方で磯部先生が仰ったように、伊勢湾台風の時のように台風による大きな被害は出ていないのかなという感じもしています。大きな災害が発生していない背景には、これまでに整備した海岸保全施設が適切に機能している状況があると思っています。

とはいえ過去に整備した海岸堤防等の中には50年以上経た施設が4割もあって、老朽化の問題もますます重要な課題となっています。行政の立場としては、まずは海岸事業で守られていない部分を守っていかねばいけませんし、港湾の背後は産業や都市が集積している地域であるという特性も踏まえ、しっかり取り組んでいく必要があります。

また、以前に比べ、地域の方々から海岸事業など防御施設整備への要望の度合いが大変強くなってきています。このため海岸保全施設、陸閘や水門も含めた維持管理マニュアルの作成にも今取り組んでいるところです。また海岸保全施設の技術上の基準・同解説も今後改訂することにしており、関係する研究者の方々と議論をさせていただいています。海岸堤防等の整備や全国的な指針の策定を通じて地域の暮らしと安全を守っていくことに取り組んでいるところです。

高橋▷ありがとうございます。続きまして高山先生から港湾技術研究所時代の高潮対策、あるいは当センターの取組みなどについてご紹介ください。

高潮と高波の防災施設と被害

高山▷高潮の研究は、伊勢湾台風の後、港湾技術研究所の前身の研究所で鋭意実施されて、現在の高潮数値計算の原型となるものも作られており、また名古屋港の高潮防波堤などの防災施設の検討も行われています。しかしながら、私が大学を出て港湾技術研究所（港研）に入ったころ、港研に高潮・津波研究室はありましたが、高潮・津波の専門的な研究はあまりされていなかったように思います。一方、1983年（昭

和58年）の日本海中部地震、1993年（平成5年）の北海道南西沖地震など大規模な津波が発生して大きな被害を受け、津波の研究が進んできました。

ただ1970年代から1980年代の期間は磯部先生からお話があったように伊勢湾台風の後で3大湾の防潮堤や海岸堤防についてはかなり整備されてきたということのほか、台風の規模もそれほど大きくなくて私が港研にいる間は高潮災害はほとんど起きませんでした。

高潮災害が頻繁に起こるようになったのは港研を去って大学に行ってからで、最初に人的被害が起きて注目されたのが1999年の18号台風だったでしょうか。不知火で十数名の方が亡くなられ、周防灘では海岸護岸の破壊や浸水被害が発生しました。私はその当時外部から見でしたが、それ以降、港研もかなり高潮についての研究に取り組むようになり、高潮の数値計算や対策の検討が進められたと思います。

特に2004年（平成16年）には10個の台風が日本に上陸しました。その年の16号台風では高潮によって高松市が浸水し、18号台風では広島県廿日市埋立地の防潮堤が壊されました。そのときに、中国地方整備局の依頼で調査をしたのですが、あのかの台風はほとんど瀬戸内海に平行して走るような台風でした。台風がそのような進路をとると、瀬戸内海のどこかで満潮と高潮が重なってしまう箇所が出てきます。風が少し強くなるとすぐ高潮や波が大きくなり、構造物が壊され災害が大きくなる。つまり当初越波量はそんなに大きくなくても、構造物が壊れることによって被害が増大するわけです。ですから壊れないように、今で言う「ねばり強さ」を付加しなければいけないだろうと感じておりました。またこのことから今後、台風の動きがどう変わるかということに非常に興味を持ったわけです。

そして沿岸センターに来ましたが、沿岸センターでは高潮の簡易予測もやっています。台風の中心気圧がいくらで、風速がどれくらいだったらどれくらいの高潮になるかを経験的な手法で推定しています。将来的には、数値計算を用いた



高潮推算を取り入れて行きたいと思っております。

高橋▷ありがとうございました。ここからは「高度化する観測技術・予測技術」についてのお話に移りたいと思います。近年、さまざまな分野で技術が進歩しています。津波の場合は大規模災害を経て急速にいろいろなことが進展しました。例えば「海溝軸の近くの浅部の滑り」という、いままでなかった新しい津波発生メカニズムが解明されていますし、GPS波浪計による沖合観測が実際に使われるようになるなど、技術的にいろいろな進展があったと思います。

ただ冒頭にも言いましたが、台風や高潮に関する技術については伊勢湾台風のころとそう変わっていないのではないかと思います。世の中は大きく進んでいるので、実際は最新技術が導入されているのではないかと思います。そうした技術に関する話をお聞かせ願えればと思います。

まず森先生、お願いします。

巨大台風の発生頻度が増える傾向に

森▷津波の研究は日本がリードして取り組んできたと思いますが、台風、高潮は世界中でいろいろな技術開発が進んでいると思います。

短期予測と長期予測の二つがあると思いますが、我々は今、長期予測を一生懸命やっています。気象に関する研究、台風に関する研究、そして高潮に関する研究はどんどん高度化しています。一昨年(平成27年)の根室、釧路の高潮の浸水を踏まえると、爆弾低気圧等も含め思っていないところで、気象擾乱による高潮が起きることもあります。そこでわれわれが開発しているのは、日本全体を詳細なメッシュでネスティングせずに計算できるような動的なモデルです。どのような事象にも対応できるように、日本のどこでもその事象に応じて解像度を一気に上げて計算できるような動的なモデルを作っています。



これと並行して検討しているのは気候変動の影響で、これは10年前から取り組んできています。いまやっているのは台風と日本海の低気圧で、その特性が将来どう変化するかということです。ここ数年の研究でわかったのは、一つは台風の中心気圧は温暖化が進むにつれてどんどん下がって、強くなっていくだろうということです。これはほぼ間違いなくて、一体どれくらい下がるかという量的なところがエンジニアリングとして大事なので、そこに取り組んでいます。それと発生数が減ることは確かなようです。これらを踏まえて、気温が何度上がると何パーセント減るかという、将来の温度上昇量とハザードの変化の予測に取り組んでいます。1度あたり台風が何パーセント減るか、全球気温1度あたり中心気圧がどれくらい下がるかという量的な予測に取り組んでいます。

また高潮にとってもう一つ重要なのは台風経路の変化です。最近、南北方向に比べて東西方向の変化が大きそうだという研究結果が出ています。温暖化が進むと、当然暖かくなるので南北でも北に行きやすくなりますが、日本の周りではおそらく経路が数百キロ東に動くのではないかとこの予測が出ています。

特に一つご紹介したいのは、2年前に東大の大気海洋研究所と気象研究所、京大防災研究所でやった長期的な気候変動予測の成果です。一般的な波浪、高潮の評価や気候の計算は、20~50年ぐらいの評価をして100年確率などを出しますが、いまご紹介したプロジェクトでは5000年単位で気候計算をしました。

それも地球全体で、全球でやって5000年単位で過去どういうことが起きそうだったか、暖かい将来の気候でどういうことが起きそうかを直接計算しました。これはかなり画期的だと思いますが、その中でわかってきたのは、伊勢湾台風やキティ台風は100~300年に1回のイベントだったということです。こういう過去の評価が力学ベースでできるようになったのは、かなり大きな進歩だと思います。



このまま温暖化が進むと100年に1回だったものが30年に1回ぐらいになってしまう可能性があります。L2に相当するような再現年数が半分とか3分の1になるとというのは結構ショッキングな結果です。冒頭に述べましたように、そういう場合に避難で行くのかハードウェアで守っていくのかを真剣に考える時期になると思っています。

高潮・高波災害の危機が再び

高橋▷ありがとうございます。磯部先生、よろしく申し上げます。

磯部▷いま森先生からお話があったような研究が非常に進んできたのは、必要性があったからだと思います。海岸法が出来て、海岸保全施設が整い幸いにも大きな台風が来なかったので被害が少なく、その間に日本が経済成長できたのは大成功でした。

ところが大成功につながりすぎて、伊勢湾台風級の対策で安心してしまって、そこで思考停止し、研究の進化を止めてしまったのではないかという気がします。ただ森先生のお話のように、伊勢湾台風級が100~300年に1回という頻度だと判ってきたことからすると、伊勢湾台風級のものが来るとはリスク管理の面からすると相当覚悟しておかなければいけません。さらに言えば、それを超える可能性もあります。そのへんのところに今後どう対応していくかが大事です。

研究面の進化が停止していたと言いましたが、2000年代からは相当高潮の研究が増えています。2004年には10個の台風が上陸して、その中の23号では室戸沖でナウファスが沿岸観測をしています。そして史上最高の有義波高で14m近いものが観測されました。また、GPS波浪計では、最大波高26mが観測されました。現地で正確に測れるようになったことは大変な進歩です。



森先生からお話のあった短期のほうで言うと、リアルタイムでどれだけ高潮を追っていきけるか、そして直後の予測ができるかというところが勝負です。それは数値予測の手法の精度をどれだけ上げられるかということと、リアルタイムでどれだけデータが取れるかで、後者については相当進んできました。

足りないのは、日本の沿岸全体の高潮とか高波がリアルタイムでわかるようなモニタリングです。単体の技術はいろいろな意味で相当進んできていますので、それを量的に展開することによって質的に上げなければいけないというのが観測のほうの私の意見であり、感想です。

また中心気圧も重要ですが、コースをちょっと変えると高潮の高い位置はすぐ変わってしまいますから、住んでいる人からすると「コースが変わって別の場所がひどくなったので、ここは大丈夫でした」というのは、結局「予測が外れましたね」という話になってしまいます。ですからコースの精度を上げることが非常に重要な要素になってきます。これからは量的にも質的にも、もっと高度化しなければいけないと思っています。

森▷観測技術はやはり重要です。いままで日本に上陸しなかったような台風が上陸する可能性があると言われているのが重要ですが、現状ではそのデータがあまりないので、巨大で強い台風がどういう特性を持っているかを観測ベースでいろいろ拾っていかなければいけません。

特に海面抵抗係数は風速50m以上のところは非常にデータが少ないので、今はかなりラフな式ですが、ハザードとしてはそこが一番重要なのでその精度をどう上げていくかということです。

高橋▷ありがとうございます。高山先生、お願いします。

より精度の高い 台風の進路予測の研究を

高山▷先ほど森先生が「台風の経路が東側に動く」と言われましたが、いままである程度高潮が来ているところは、将来の気候変動によってこれだけ大きくなるということがわかるけれども、従来は高潮が来ることがほとんど考えられなかったような場所が問題だと思っています。たとえば昨年(平成28年)の10号台風です。あれは太平洋から仙台の少し北側に上陸して北海道に進行していったのですが、ある意味では東から西へ行っています。あのようなことはいままでなかったし、台風がもう少し南のほうを通っていたら仙台塩釜港でかなり高潮の被害が出ていた可能性があります。あの台風の時だけ起きた稀なものなのか、あるいは台風の発生が2~3度東に動くと、あのような台風の頻度が高くなるのか。北のほうでも太平洋側から台風が上陸してくる場合には



高潮も高波も同時に考えておかないといけなくなるのか、このような研究をきちんとやっていただければという希望を持っています。

われわれとしては、もう一つ問題があります。先ほど磯部先生も言われたように、ナウファスで波浪のリアルタイムのデータがかなり出てくるようになりました。それで防波堤の被災を調べてみると、沖では波高が比較的小さくても、沿岸に来て高くなり波力も大きくなって壊れるという被害が目立ち、特に太平洋沿岸の防波堤で被害が出ています。いままでの技術基準では、設計波として50年確率波を出しますが、そのときはうねりも風波も区別せず、一連の時化の中で一番大きな波高を取り出しそれに対応する周期を用いて導いています。でも最近、うねりによって防波堤や海岸構造物が被災することもあったので、基準を変えて、うねりの50年確率波も同時に出しましょうという動きになっています。つまり波形勾配が0.025よりも小さなものを取り出して、その50年確率波を出して、構造物を設計するときに影響の強い方を設計波にするという形に変えています。

そのときに問題になってくるのは、台風がどれぐらい沿岸に影響するかという、その範囲を決めなければいけないことです。うねり性の波を考えると、どの範囲まで太平洋沖の台風のコースを考慮しなければいけないのか。このことをこれからきちんとやっていかなければいけないし、新しい知見を入れていく必要があると考えています。やることはまだたくさんあると思っていますし、これからの大きな課題だと考えています。

高橋▷ありがとうございます。加藤課長お願いします。

加藤▷予測技術あるいは観測技術の精度向上が重要だというお話がありましたが、行政の立場からすると、これらの技術開発に対して我々が支援できれば一番いいと思っています。その中で海岸管理者や企業の方々、あるいは暮らしておられる市民の方々にどのように情報を提供できるかという観点が必要だと思っています。

台風のコースが事前にわかれば、2〜3日前から避難できます。ただ適切な予測ができなければ避難はできないし、潮位が急激に上昇してしまうと、非常に強い暴風雨の中で、逃げようと思っても逃げられなくなってしまいます。どうかたちで予測や観測結果を情報提供するのが一番いいのかは、われわれもまだ勉強が足りないと思っています。

いま気象庁が気象情報を提供されているので、一義的にはそれが行動を起こすスタートだと思いますが、この精度が上がることによって、危険性がどこまであるのかを的確に伝えていくことが非常に重要だと感じています。私どもとしても迅速に避難していただくためにどういう情報提供の仕方があるのか、また長期的には予測技術等々を通じて施設の設計等に反映できるものがあれば、それを考えていかなければいけないと思っています。

森▷一番重要なのは非常に大きな災害が起こりかねない場合に、避難につながるような予測をしっかりとすることだと思います。特に東京や大阪はゼロメートル地帯が大変広いので、そこで浸水の危機があると100万人単位の避難になります。先ほど高山先生が言われたように予報円などを踏まえて、これは本当に逃げないといけないという状況のときの予測を、これから10年ぐらいの間にしっかりと技術開発しなければいけないと思います。

この間ハリケーンイルマとマリアの調査で米国に行ったのですが、フロリダでは300万人以上が避難して、大渋滞で避難できなかったということでした。こうしたことを考えると、日本は避難に重点をおくのか、それとももっと防護レベルを上げて、絶対に浸水しないようにハードで守っていくのか、どちらを取るかをぜひ沿岸センターさんや国土交通省に考えていただきたいと思っています。

高橋▷ありがとうございます。森先生からすでに議論が出ていますが、高潮防災に向けた対策のあり方という観点で議論したいと思います。まず磯部先生からお願いします。





伊勢湾台風クラスを超えた備えが必要

磯部▷今日のお話の中で分かったのは、これまでは伊勢湾台風級を念頭に防災対策をやってきたけれども、その発生は稀な確率ではないということと、気候変動があった場合は、さらに頻度が高まる可能性があるということです。これはもっと高いレベルのハザードを想定しなくてはいけないという問題になってくると思います。

また台風の気圧変動が1000年確率で良いのかという問題、それからコースの問題です。平成28年の10号台風は、北に行ったというのもさることながら、一度南下してからまた北上しています。経路がよくわからない新しい台風の実態が出てきていますから、もう少し科学的に何が起こりそうなのかをはっきり予測できるようにしなければいけません。また、いままで巨大な台風をあまり経験していないので、高風速に対して海面の摩擦係数など、モデルに必要なパラメータを決定するためのデータの蓄積の問題もあります。そのへんを解決しながらハザードをきちんと評価することを、まず第1段階としてやらなければいけないと思っています。

ただ、伊勢湾台風級を超えた備えをしなくてはいけないのは分っていますが、超えたものを考えようとすると相当大変なことが起こると思います。東京を例にとると、江東デルタ地帯は完全に水没してしまいますし、中央区や下手をすると千代田区まで水没してしまうかもしれない。そうなったときに最低限でも人命を救うことができるのかという問題が、重い課題として入ってくると思います。

まず、それを解決しなければいけません。おそらく高くてしっかりした建物に逃げるといったシナリオが描けると思いますが、その後が問題です。数百万人が避難しているわけですから、食料をどうするのかということから始まって、ライフラインとしての電気、ガス、上下水道が使えなくなったときに生活できるのかという問題が起きてきます。首都圏が壊

滅的になると、それは日本が壊滅するという状況が出てくるので、放っておくわけにはいきません。そのためには水没を起こさないようなハード整備に戻らなければいけないのではないかと感じています。

「管理できるリスクに留める」ことが大事

高橋▷ありがとうございます。津波防災ではBCPも含め、ワーストケースを考えるということになっていますが、高潮についてもそうした考えに基づく全体のシナリオを作らないといけないですね。磯部先生が仰ったようなことが起こりますと本当に大変なことになります。

磯部▷一言で言うと、「管理できるリスクに留める」ということをしなければいけないと思います。

高橋▷森先生、いかがですか。

森▷磯部先生が言われたように、高潮の被害が起きそうなところは3大都市圏と瀬戸内海沿岸域で資産と人口が集中したところが多いのが、津波との違いです。ですから、そこをハンドルできるリスクに留めるのか、もしくは減災ではなくて初心に帰って防災で行くのか、完全に防御する方がいいのかは、社会とのコンセンサスをしっかり考えていったほうがいいと思います。

このほか磯部先生と一緒に今、わが国のレジリエンスに関わるワーキンググループを土木学会の下で進めています。道路や河川の方と、それぞれのL1、L2に相当するハザード、被害予測、対策費を出しましょうということになっていきます。そこで感じたことですが、地震と津波に対しては他のジャンルの土木技術者の皆さんも大変関心があるのですが、海岸関係以外の方々は高潮にはあまり関心が無いようでした。高潮のリスクが高いこと、特に東京、大阪、名古屋の被害額が膨大だということもあまり理解していただけてなかったようです。これも最近びっくりしたことの一つです。



ですから外のコミュニティに対して、いま高潮のハザードがどういふ現状で、それに対する投資とコスト、ベネフィットがどういふ関係になっていて、それが地震、津波とどれぐらいの相対的な比になっているかをもう少しPRすれば、もっと高潮災害、高波災害の対策等に注目が集まるのではないかと思います。

特に東京を考えると、堤防を1mかさ上げするだけで被害額が激減しますから、コストベネフィットがどうなるかを量的にしっかり出して、地震、津波と比較することが非常に重要だと思っています。

高橋▷加藤課長、今の磯部先生、森先生のお話も含めていかがですか。

適切な維持管理、 予防保全を推進（港湾局）

加藤▷高潮災害に対しては港湾局だけでできるわけではないので、海岸で言えば農林水産省、水産庁、国土交通省水管理・国土保全局とも連携して、着実に課題に取り組まなければいけないと思っています。その中で港湾について言えば、堤内地部分は水防法の中で対応を進めていますし、堤外地と言われる港湾等堤防の外に置かれている地域の高潮対策も検討している状況です。

10月（平成29年）には対策のガイドラインの中間取りまとめを行って公表したところですが、いずれにしても防災情報等に基づいた避難対策や、行動を開始するフェーズ別の高潮対応計画の考え方を整理して、それを広く周知徹底していかなければいけないと思っています。年度内には3大湾におけるフェーズ別高潮計画の策定とガイドラインの最終報告も行いたいと思っています。

併せて磯部先生も仰ったように、伊勢湾台風からもう五十年経って、そのころ整備された施設の老朽化が著しいという現実があります。それに対しても計画的に改良などを施し



ていかなければいけないと思っています。管理できるリスクに留めるという点で、適切な維持管理について、予防保全という観点でやっていかなければいけないと、あらためて考えたところです。また水門、陸閘等の機械的な設備についてもマニュアルを整備して、維持管理を適切にできるように、年度内に改訂したいと考えています。いずれにしても、今いろいろお話を伺って、やるべきことがまだまだ多いと感じたところです。

高潮時の高波の防御

高橋▷高山先生、いかがですか。

高山▷防潮堤のような構造物が壊れると、ものすごい災害が起きます。これは津波の場合も同じですが、高潮で考えておかなければいけないのは水位の異常な上昇、もう一つは高波です。

構造物を壊す可能性が一番高いのは波ですが、防波堤のような構造物を沖側に造って、波を抑えて異常な水位も下げるといふのは非常に難しいことです。だけど波を抑えることによって背後の防潮堤に作用する外力を抑える。そして壊れにくくする、ある面で高潮は防潮堤の天端でもたせる、そういうことを考える必要があると思います。

つまり高潮対策で沿岸に防潮堤をつくると、大きな波も作用するし水位も上昇するから碎波しない状態で当たる可能性もあります。波は防波堤を造れば低減させることは容易ですが、異常な水位上昇はなかなか低減できないので、いままで以上に背後のことも考えて防波堤を配置することが大事だと思います。

これまででは防波堤は港内を静穏にして船舶による物流を円滑にするための配置を考えていましたが、これからはそういうことと同時に沿岸部分の防護という面で、波を抑えるにはどうしたらいいかを考えることが大事で、防波堤の広域の効果を考えなければならぬと思うようになってきました。

高橋▷ありがとうございました。本日は高潮・高波に関する観測・予測技術、また高潮防災に向けた対策、などの視点でお話を伺って参りました。最後に磯部先生にまとめていただきたいと思っています。

「高潮による越流は許さない」 取り組みが必要

磯部▷高潮に対する伊勢湾台風級の備えは大成功したけれども、それでは不足することが事実として出てきていると思います。アメリカ、東南アジア、東アジアを含めて超強大と言っているサイクロン、ハリケーン、台風が発生しているこ

とからしても、伊勢湾台風を超えるものに対する備えが必要だというのは間違いないことです。

まずはハザードがどのぐらいなのか、研究する必要があります。特に気象と波浪、高潮を結合したモデルで、それぞれが非常に細かいメッシュで精度良く計算できるようになっていますが、まだ十分とは言えません。森先生からお話がありました風速50m以上の海面抵抗係数も十分判っていない状況です。それで「高潮を計算してください」と言うのは、本当は無理な話ですので、そういうことも含めて研究を進めなければいけません。

ただ加藤課長からお話があったように、一般市民に対して「研究成果が確実になるのを待っていてください」と言うわけにはいかなくて、現状の可能な範囲でいろいろな情報提供をしなければいけません。高潮の浸水域は、まだ公表には至っていないと思いますが、浸水計算は入りの段階にすぎず、被害想定は全然やっていないわけですね。巨大地震や津波は被害想定をやっていますが、同じように高潮についてもまず被害想定をやってみなければいけません。被害想定をやってみると、当然対策をどうするかという問題が出てくると思います。3大湾を対象に被害想定をすると、対策の打ちようがないという数字が出てくると思います。そのときにはハード対策で対処することになるわけですが、その場合に重要なことはマネジメントできる、管理できるリスクの範囲に抑えることを考えなければいけません。

技術開発について言えば、例えば海岸堤防でいうと13号

台風とか伊勢湾台風を教訓に三面張りとし、高潮による越波に対しては強いことが証明されて、それでこれまでやってきました。ところが3・11の津波の越流に対しては裏のりが薄いままではだめだということが判りました。また津波は数分の越流に耐えればいいのですが、高潮では時間単位での越流に耐えられるかという問題もあり、粘り強いという概念も相当違ってくるような気がしています。そういうことを含めてハードの研究開発をやらなければいけないと思います。それを含めて管理できるリスクに抑えるということですが、「高潮による越流は許さない」というところまでやらないと、リスクを管理できる範囲に抑えるのは難しいだろうと思っています。高潮について、まさにここ数年でいろいろ経験をしたことを生かせるように、研究開発とか行政での事業を進めなければいけない時期に入ってきたというのが私の印象であり、これをまとめとさせていただきたいと思います。

高橋▷津波の甚大な被害を経験に、津波防災の考え方は変わりました。高潮も同じだと思います。高潮防災も大災害が起きてからやっていたのでは間に合わないというのは、磯部先生が仰った通りです。日本の高潮防災をより実効性のあるものに変えていくためには、防災技術の更なる発展、防災対策の革新、そして関係者間の更なる連携強化が不可欠だと思います。当センターにおいても、沿岸防災は事業の大きな柱の一つであり、防災・減災に関する調査研究等更なる充実に関心も取り組んで参りたいと思います。本日はありがとうございました。





高潮・高波災害から命を守る

村井 雅浩 気象庁予報部予報課

高野 洋雄 気象庁地球環境・海洋部海洋気象課

高潮は、海面が異常に上昇する現象である。台風や発達した低気圧などに伴い、気圧が下がり海面が吸い上げられる効果と強風により海水が海岸に吹き寄せられる効果により発生する。台風や発達した低気圧の接近に伴って短時間のうちに急激に潮位が上昇し、海水が海岸堤防等を超えると氾濫が発生し、家屋等があれば一気に浸水・流失する。波浪が加わると堤防が決壊するなどさらに危険が増加する。

気象庁では、こうした高潮・高波災害に対して、高潮・波浪警報等で警戒を呼びかけている。台風が接近すると、暴風等で避難場所へ移動することが困難となるので、暴風警報にも留意し、風が強まる前の安全に行動できるうちに避難することが大切である。

高潮が発生する原因

高潮は次の3つのことが主な原因となって発生する。

・吸い上げ効果

台風や低気圧の中心では気圧が周辺より低いいため、中心付近の空気が海水を吸い上げるように作用する。また、気圧の高い周辺の空気は海水を押し下げる。これらの結果、海面が上昇する。一般的に気圧が1ヘクトパスカル (hPa) 下がると、潮位は約1センチメートル上昇する (図1のAの部分)。例えば、それまで1000ヘクトパスカルだったところへ中心気圧950ヘクトパスカルの台風が来れば、台風の中心付近の海面は約50センチメートル高くなり、そのまわりでも気圧に応じて海面は高くなる。

・吹き寄せ効果

台風や低気圧に伴う強い風が沖から海岸に向かって吹くと、海水は海岸に吹き寄せられ、海岸付近の海面が上昇する (図1のBの部分)。この効果による潮位の上昇は風速の2乗に比例し、風速が2倍になれば海面上昇は4倍になる。また遠浅の海や、風が吹いてくる方向に開いた湾の場合、地形が海面上昇を助長させるように働き、特に潮位が高くなる。

・波浪効果による潮位上昇 (Wave Setup)

波浪が沿岸に到達すると、その形が不安定となり前方に飛び出すようにくずれる (砕波) が、砕波が生じた場所より岸側の海域では潮位上昇が発生する。

高潮に関する防災気象情報を活用した避難行動

高潮によって命に危険が及ぶ (避難行動が必要となる) タイミングとエリアの考え方については「避難勧告等に関するガイドライン」(平成29年1月、内閣府)において具体的に示されている。以下では、このガイドラインに基づき、高潮に関する気象警報等が発表された際にとるべき行動の例について説明する。

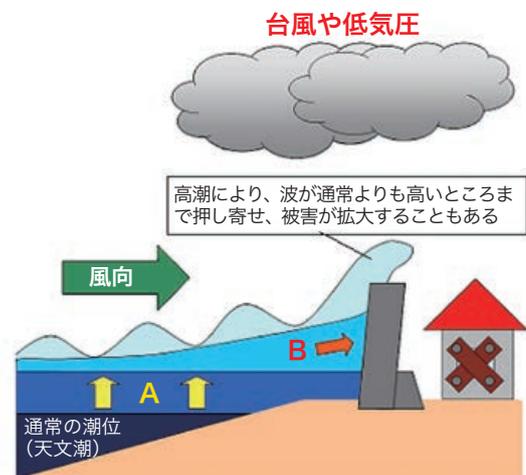


図1 高潮が発生するメカニズム

避難勧告等の対象とする高潮

「避難勧告等に関するガイドライン」では、次の2つのケースを高潮により命に危険が及ぶケースとして分類している。

・潮位が海岸堤防等の高さを大きく越えるなどにより、広い範囲で深い浸水が想定される場合。特にゼロメートル地帯 (標高が満潮時の平均海面よりも低い土地) は、高潮により被災



すると、台風等が去った跡も長期間にわたり浸水するおそれ
が想定される。

・潮位が堤防を越えなくとも、高潮と重なり合った波浪が海岸
堤防を越えたり、堤防の決壊等により流入した氾濫水等が、
家屋等を直撃する場合。

高潮の危険範囲

図2に高潮時における避難勧告等の発令対象区域を示す。高
潮で命に危険が及ぶ範囲は、高潮の高さによって大きく異な
る。まず、自治体のハザードマップなどで潮位（標高）に応じ
た浸水想定区域など危険な箇所をあらかじめ確認しておくこと
が重要である。その上で、高潮から命を守るためには、警報・
注意報等に記載されている予想最高潮位（高潮の高さ）に応じ
た浸水想定区域の外へ速やかに避難することが基本となる。

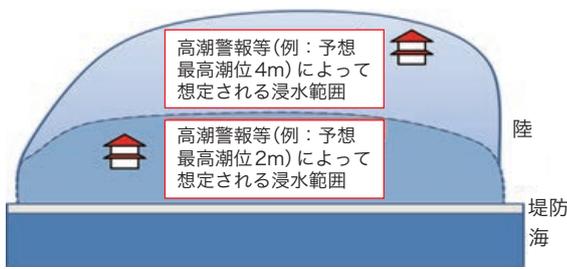


図2 高潮時における避難勧告等の発令対象区域(避難勧告等
に関するガイドライン(平成29年1月 内閣府)より)

避難行動をとるタイミング

図3は高潮に関する防災気象情報を活用した避難行動の例を
示す。高潮注意報は「高潮警報に切り替える可能性が高い」と
明記し発表されることがある。そのような場合には、予想最高
潮位（高潮の高さ）を確認し、居住場所からの立退き避難が必

要かどうかを判断することが重要となる。

図4に情報が発表されるタイミングと利用方法を示す。高潮
災害が起こるような台風等の接近時には、潮位の上昇よりも先
に暴風が吹き始め、屋外への立退き避難が困難となる。このた
め、高潮警報の発表を待つことなく、暴風警報が発表されたと
きに、高潮から命を守るために必要な避難行動を開始すること
が重要である。

なお、暴風警報は、暴風が吹き始めてからではなく、暴風が
吹き始める3～6時間前に、暴風が予想される期間を明示して
発表される。また、夜間は避難しづらくなるため、夕方には、
高潮注意報に夜間～翌日早朝までに「高潮警報に切り替える可
能性が高い」と明記し発表される。そのような場合には、予想
最高潮位（高潮の高さ）を確認した上で、夕方うちに避難行
動をとる必要がある。

「危険度を色分けした時系列」の提供

気象庁では、気象警報・注意報の内容について、どの程度の
危険度の現象がどのくらい先の時間帯に予想されるかを分かり
やすく伝えられるよう、危険度を色分けして表示する改善を
行った（平成29年5月）。この表示は、気象庁ホームページ等
で確認することができる。

図5に危険度を色分けした時系列の例を示す。具体的には、
警報級、注意報級の現象が予想される時間帯をそれぞれ赤色、
黄色で表示するなど、危険度とその切迫度が一目で分かる色分
け表示を行い、雨量、風速、波高、潮位などの予想値も時間帯
ごとに明示している。また、警報に切り替える可能性が高い注
意報についても、通常の注意報と視覚的に区別できる表示（黄
色の背景に赤い斜線）にしている。これにより、気象警報・注
意報で発表する危険度や切迫度が視覚的に分かり、自らの地域
に迫る危険の詳細を素早く把握できる。

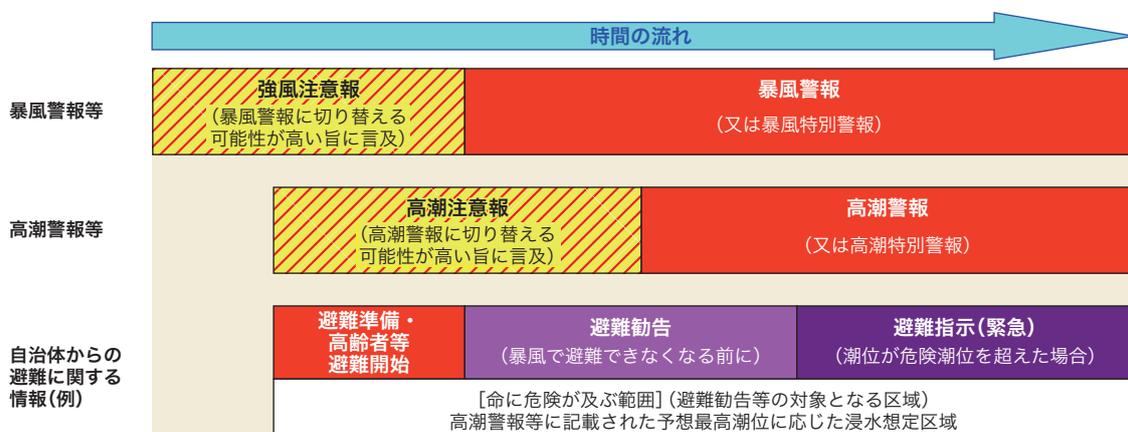


図3 高潮に関する防災気象情報を活用した避難行動

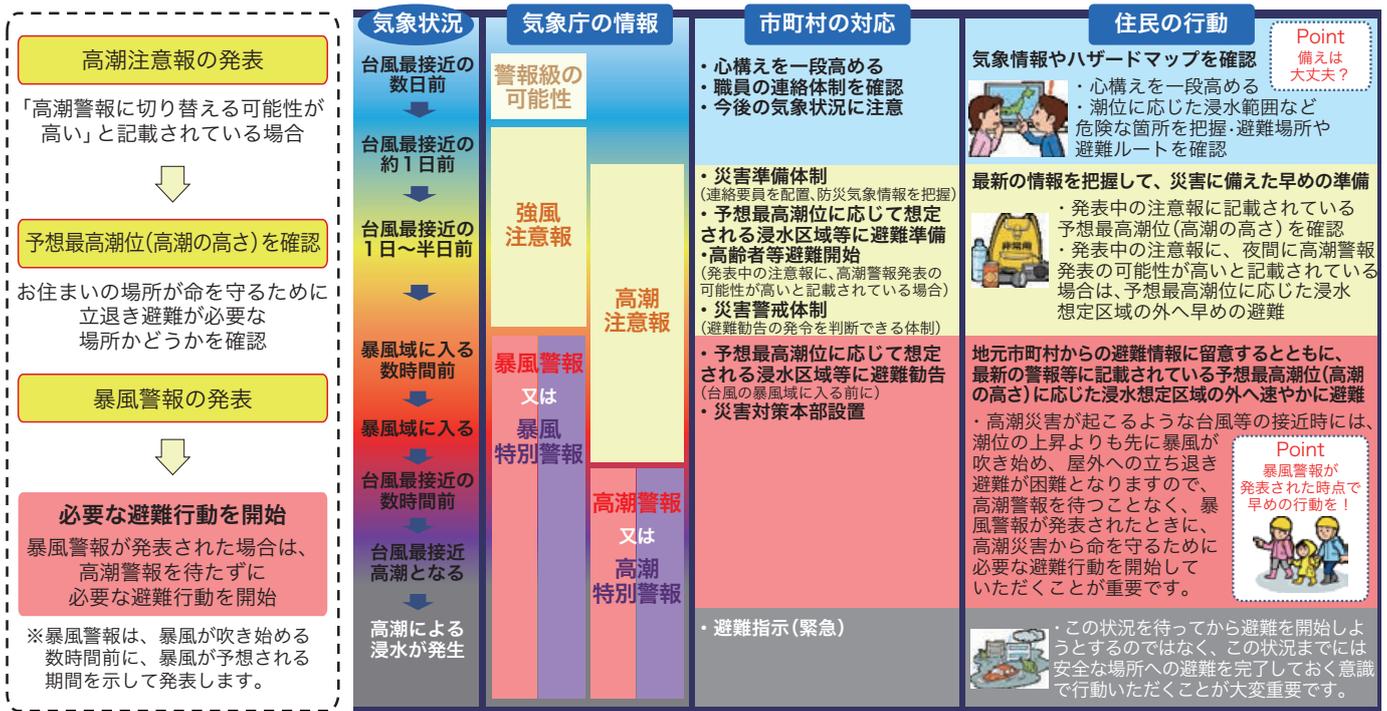


図4 情報が発表されるタイミングと利用方法(台風接近の場合)

根室市		今後の推移 (■警報級 ■注意報級)									備考・関連する現象	
		7日			8日							
発表中の警報・注意報等の種別		21-24	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24		
大雨	1時間最大雨量(ミリ)	10	10	30	30	50	50	50	30			
	(浸水害)										浸水注意	
暴風	風向風速(矢印・メートル)	陸上	15	18	20	22	22	25	18	15	15	以後も注意報級
		海上	20	22	25	28	28	30	22	20	20	以後も注意報級
波浪	波高(メートル)	5	5	8	8	8	9	8	7	7	以後も警報級	
高潮	潮位(メートル)	0.7	0.7	0.8	1.0	1.8	2.0	1.8	1.2	1.2	以後も警報級 ピークは8日15時頃	
雷											突風、ひょう	
濃霧											視程200メートル以下	

図5 危険度を色分けした時系列の例

高潮警報等の「予想最高潮位」の活用例

平成27年10月8日、北海道の東海上を台風第23号及び台風から変わった低気圧が北上したことに伴い、北海道根室市では、避難勧告を発令中の沿岸地域のうち、特に危険な高潮警報の予想最高潮位に相当する標高2メートル程度の低地を対象とした避難指示が発令された。根室市では、過去の高潮災害の経験を踏まえ、气象台と連携して、特に危険度が高まっていると判断される区域の住民に対して早めの避難行動を呼びかけるな

ど適切な対応がとられ、高潮による人的被害は無かった。

気象庁の任務は、災害の予防、交通安全の確保、産業の興隆等に寄与するため、台風・集中豪雨等の気象、地震・津波、火山、さらに気候変動などに関する自然現象の観測・予報等の気象業務を健全に発達させることにある。雨の降り方が局地化・集中化・激甚化することが危惧される中、自然災害による被害の軽減のため、引き続き着実な観測や適時・適切な情報の提供に取り組んでいきたい。



気象庁の新しい波浪情報

気象庁は、詳細かつ多様なニーズに応えるべく、波浪情報の高度化を進めている。以下に、この2年間に提供が開始されたものを紹介する。

突然の大波の発生しやすい海域情報

単純な一方からの高波以外にも、複数の波が存在したり、波と逆向きの海流によって波が変形したりすると、海面の変化が複雑になる。このような海域では、船の動揺が激しくなり航行や海上作業に支障をきたすほか、時には突然の大波が発生して危険となる。

このため、平成29年3月7日より、突然の大波の発生しやすい海域の情報を波浪予想図に新たに追加した。対象となる船の大きさなどを考慮して、外洋波浪予想図(FWPN)には複数の波のある海域、沿岸波浪予想図(FWJP)には流れの影響で変形した波の海域、を示している。これらの波浪図は、気象模写通報(JMH)で直接船舶に提供されるほか、気象庁ホームページでも掲載している*。気象庁ホームページからは、多くの情報がより分かりやすいカラー版の図も取得できる。

波浪アンサンブルシステムの運用

航海の航路選定、港湾工事や作業船の手配、あるいは週末のマリンレジャーを計画するときなどには、数日先までの波浪の見通しが必要になる。一方、予測時間が長くなると、誤差も大きくなるため、その信頼性が低くなってしまふ。このため、週間波浪予測では、複数事例の予報結果を統計的に処理し信頼度を付加すること(アンサンブル予報)が有効である。

気象庁は平成28年6月より、波浪アンサンブルシステムの運用を開始した。この波浪アンサンブルでは、140kmと低解像度ながら、27事例の予測結果を統計的に処理して、信頼度が評価できる予測値を作成している。

波浪アンサンブルの予測例

として、奄美沖と釧路沖の統計結果を図6に示す。奄美沖では、波が総じて3m未満と低いが、後半ではばらつき(箱の長さ)が大きくなり、場合によっては(台風による)高波の可能性もあって注意が必要なこと、釧路沖では、はじめは高波が予想されるが、そのあとは波が低くなり、ばらつきも小さいので、安定して波が低いと予想され、作業に好都合な状況となりそうということなどが判断できる。

波浪モデルへの浅海効果導入

波は、水深が浅いところへ伝わると、海底地形の影響を受けて変形する(浅海効果)。日本の沿岸は全般的に水深が深く、浅海効果が顕著な範囲は限定的であるが、沿岸部など浅い海域の予測精度の向上を図るためには、波浪モデルへの浅海効果の導入が不可欠である。このため平成29年5月に、気象庁で運用している二つのモデル(地球のほぼ全海域を55kmの解像度で予測する全球波浪モデルと、日本近海・沿岸海域を5kmという高解像度で予測する沿岸波浪モデル)に浅海効果を導入した。両モデルは、数年先に高解像化も計画されており、浅海域の更なる予測精度向上に寄与すると期待している。

気象庁は、平成30年6月にスーパーコンピュータシステムの更新を予定しており、これらの波浪モデルの更なる高度化を進め、より有効な波浪情報の提供を推進していく所存である。

*<http://www.data.jma.go.jp/gmd/waveinf/chart/awjp.html>
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/waveinf/chart/fwpn.html>

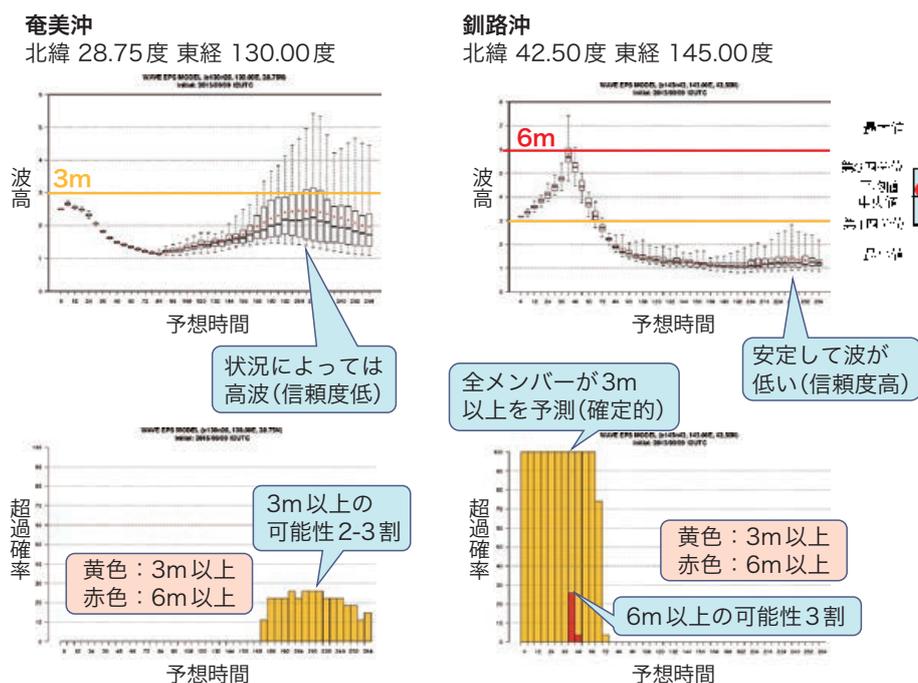


図6 波浪アンサンブルの利用例



港湾における 高潮被害の軽減に向けて

井出 正志 国土交通省港湾局 海岸・防災課 主査

1. はじめに

我が国の港湾においては、海岸保全施設より海側のいわゆる堤外地に物流機能が集中し、それと関連の深い様々な企業が立地しています。特に我が国の経済活動の中核である三大湾においては、図1に示すように、臨港地区の約8割以上が堤外地であることから、高潮被害により、我が国全体の産業活動が大きく停滞する可能性があります。

このため、港湾局では、平成29年1月に「港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策検討委員会」（委員長：岡安章夫 東京海洋大学学術研究院教授）を設置し、港湾における高潮対策を推進するため、ガイドラインの策定に向けた検討を行っています。本稿ではその背景および概要を説明します。

2. 高潮による港湾への影響

平成21年10月に台風第18号が知多半島付近に上陸し、三河港神野地区では高潮による浸水が発生し、写真1のとおり136本のコンテナが大きく移動しました。これにより、コンテナ物流に影響が発生したことはもちろんのこと、コンテナの移動によりターミナル周辺のフェンスも被害を受けました。その後、コンテナの移動によるフェンスの被害を防ぐような対策が実施されています。

さらに、平成25年にフィリピンのレイテ島を襲った台風

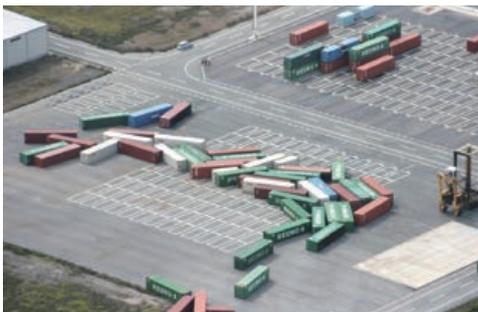


写真1 三河港におけるコンテナの散乱状況

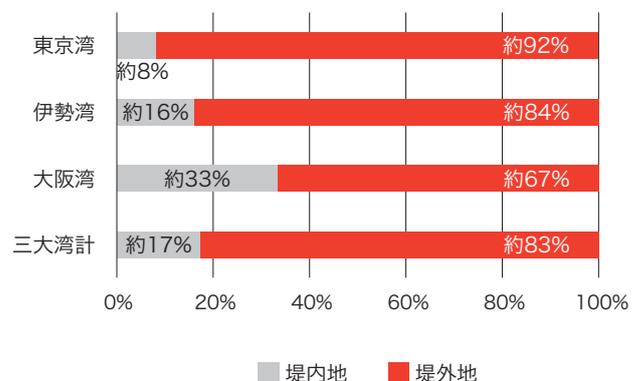


図1 三大湾の臨港地区における堤外地比率

Haiyanでは、タクロバン港において港湾事務所の浸水や停泊していた船舶がエプロンに打ち上げられるなどの被害が生じ、エスタンシア港において接岸していたバージからの油の流出、コンテナの漂流、漁船の衝突による岸壁の損壊、埋立護岸の吸い出しによる広範囲での陥没など甚大な被害が生じました。また、リパタ港においては、港湾運営事務所や旅客ターミナルビルが高潮により被災し建物の一部が損壊するなどの被害が生じています。

また、居住者は少ないものの、立地する企業等に多くの就労者がおり、また、水際線を活用した多様な利用も進み、多くの訪問者や利用者が存在することから、人的被害を確実に防ぐ必要があります。

3. 港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策 (中間とりまとめ)

上記被害を防止するため、検討委員会において、港湾の堤外地等における高潮対策の検討のためのガイドラインの策定を進めており、平成29年10月に中間報告として公表しました。この中間報告においては、想定する高潮の規模や防護目標等の基本的な考え方を整理するとともに、気象庁等による防災情



報に基づき、避難や対策の行動を整理したフェーズ別高潮対応計画等の新たな対策が提案されています。

(1) 堤外地における高潮対策の基本的な考え方

① 検討の対象とする高潮の規模と検討ケース

堤外地は堤内地に比べ高潮による浸水被害のリスクが高いことに加え、台風等による高潮発生時には高波や暴風も伴うことから、それらの事象についても検討する必要があります。また、堤外地は、規模の小さい高潮でも浸水する可能性があることから、最大規模の高潮のみならず、堤外地のみが被災する規模の高潮についても検討の対象とすることとしました。

② 高潮対策の防護目標

高潮の規模を考慮しつつ、「堤外地の人命を守る」ことに加えて、社会・経済活動への影響を最小化するため「堤外地の資産の被害を軽減する」ことの2つの防護目標を設定し、対策の検討を行うこととしました。特に、港湾物流を通じた経済活動への影響を最小限にするためには、荷役機械や物流倉庫等といった港湾の施設の被害軽減の観点が重要となります。

(2) 関係機関との連携

港湾の高潮対策の検討するためには、港湾管理者のみならず、関係する国土交通省地方整備局や気象台、自治体の防災部局との連携が不可欠です。さらに、多くの民間企業が立地していることから、企業間の連携も高潮に対する防災力を向上する大きなポイントとなります。

平成21年に高潮の被害を受けた三河港については、豊橋市の約半数の工業出荷額を占める明海地区において、明海地区工業団地BCPが策定されており、個別企業での対応が困難な場合において、情報共有体制、緊急搬送体制や避難体制が構築されています。

(3) フェーズ別高潮対応計画

高潮は、突発的に発生する地震や津波とは異なり、気象情報等により避難や準備の時間を確保できるため、タイムラインの考え方を取り入れて適切に事前の防災行動を取れば、被害を軽減できる可能性があります。

このため、表1に示すとおり、高潮への対応においては、各種の防災情報を活用した高潮の規模の判断と適切な段階(フェーズ)を想定し、それに応じた具体的な防災行動を整理した「フェーズ別高潮対応計画」を各主体で作成することとしています。なお、各フェーズにおける防災行動の開始や完了については、気象庁が発表する高潮、暴風、波浪に関する気象情報等

表1 フェーズ別高潮対応計画のイメージ

防災情報	フェーズ	基本的な防災行動		
		人	移動困難な資産	移動可能な資産
・台風情報 ・警報級の可能性	①	情報収集	準備	
強風注意報 (危険度を色分けした時系列により「注意報級・警報級の時間帯」等の確認)	②	関係者への情報提供	固縛開始	車両、移動式クレーン等の安全な場所への移動準備
高潮注意報 (危険度を色分けした時系列により「注意報級・警報級の時間帯」、「予測潮位」等の確認)	③	避難準備	固縛中 夜間に警報級が予想されている場合には、防災行動を繰り上げ	移動中
暴風・高潮警報 or 暴風・高潮特別警報	④	避難を開始し、暴風が吹き始めるまでに従業員等の避難を完了	暴風が吹き始めるまでに固縛を完了	暴風が吹き始めるまでに安全な場所への移動を完了

(台風情報、気象注意報・警報、特別警報等)や港長が発出する勧告等の防災情報を活用し、整理することとしています。

本中間とりまとめにおいて、フェーズ別高潮対応計画の考え方が整理できたことから、平成29年度中を目的に三大湾において本計画の策定を行うこととしました。

(4) エリア減災計画

物流機能や企業が集積し、高潮による被害が大きい地域などについては、フェーズ別高潮対応計画だけでは不十分な場合もあることから、関係行政機関や民間企業による避難誘導計画等の共有やハード対策等の検討が必要となります。

このため、港湾の堤外地等の一定のエリアにおいて、港湾管理者・海岸管理者、市町村等の防災部局、国直轄事務所、関連民間企業、地方気象台等が連携し、地域で必要なソフト・ハード対策などを含む「エリア減災計画」を策定し、対策を講じていくこととしています。

(5) 防災情報共有体制の構築

フェーズ別高潮対応計画を万一の場合に確実に遂行するためには、市町村等の防災部局や各施設管理者、港湾管理者・海岸管理者をはじめとする関係者間において情報共有できる体制を構築しておくことが重要となります。フェーズ別高潮対応計画を実効性のあるものとするため、地方整備局等において、防災情報の共有体制の構築を図るとともに、関係者への講習会・説明会等に取り組むこととしています。

5. おわりに

平成29年10月に中間とりまとめを公表し、今後、三大湾におけるフェーズ別高潮対応計画の策定を通じて、平成29年度中のガイドラインの策定を目指しており、我が国の港湾で、関係者の連携による高潮対策が推進されるよう取り組んで参ります。



COMEINS第四世代システムの紹介

—うねり性波浪の精度向上—

山本 浩之

一般財団法人沿岸技術研究センター 波浪情報部 業務課長

1. はじめに

沿岸技術研究センターでは従来からCOMEINSの波浪予測計算はWAMベースのモデルを利用してきたが、これに替わって平成29年10月からWAVEWATCH IIIによる予測システムの運用を開始した。また、波浪予測モデルの変更に併せて、トップページやコンテンツの改修も行っており、今回の新しいシステムの総称をCOMEINS第四世代と呼ぶことにした。COMEINS第四世代の概要を図1に示し、以下ではCOMEINS第四世代システムについて紹介する。

2. 波浪予測モデルへのWAVEWATCH IIIの導入

これまでCOMEINSで運用されてきた波浪予測モデルは、1988年に開発されその後バージョンアップされていったWAM (Cycle4)をベースに改良を加えたモデルである。WAMモデルは、開発当時は最先端のものであったが、近年はヨーロッパ中期予報センターが行っているWAMモデルの改良成果が公開されていない状況にある。また、COMEINSによる波浪予測値の予測精度についても、台風や発達した低気圧に伴う「うねり性波浪」の波高を低く予測する傾向があることなど、モデル改善の必要性が高まっていた。

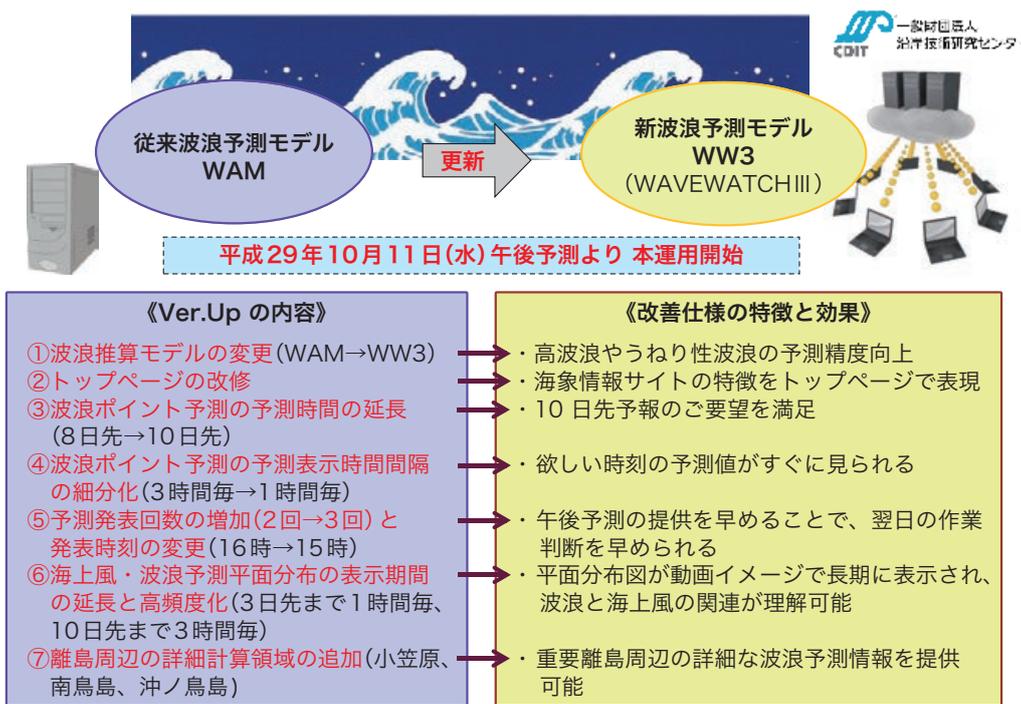


図1 COMEINS第四世代の概要説明



この改善の具体化のために、平成27年度から沿岸技術研究センターでは、大学や港湾空港技術研究所の学識経験者や港湾局、気象庁の実務経験者から構成される「WAVEWATCH III 波浪予測モデル導入検討に係る研究会」を立ち上げた。その第1段階として、新たな波浪予測モデルとして注目されている WAVEWATCH III (以下「WW3」と呼ぶ)について、予測値(常時波浪、異常時波浪)の特性をWAMの予測値と実測値を用いて比較検証することによって明らかにし、COMEINSの波浪予測モデルとしてWW3を導入すべきかどうか検討を行い、WW3を導入することが適切であると判断された。第2段階として導入する場合の予測計算仕様や浅海域計算の方法を検討して1年間の試験運用を行った後、それを経て検討されたWW3のパラメータ設定条件で本運用を行うことで研究会としての了承が得られた。

3. 波浪予測モデルWW3とは

3.1 WW3の特徴

WW3は、WAMと同じく第三世代波浪推算モデル(スペクトル法のうち、エネルギー平衡方程式のエネルギー入出力項の一つである成分波間の非線形相互作用を直接的に取り入れたモデ

ルの総称)に分類される、以下のようなモデルである。

- ・NOAA (アメリカ大気海洋局)で開発され、現在も開発が継続されている。
- ・外洋波浪を主な対象としているが、surf breakingや bottom frictionなども考慮しており、浅海域も計算可能である。
- ・2方向でネスティングが可能である。
- ・プログラムが公開されており、ソースコード改変が容易である。
- ・うねりの減衰を考慮しており、観測結果と整合する

3.2 WW3の波浪予測の精度

WW3とWAMの異常時波浪の波浪推算の結果を比較した例を図2に示す。この事例では、WW3はWAMに比べて、波高ピーク時の再現性や周期の再現性が高くなっている。またここでは図を省略するが、WW3とWAMの常時波浪の推算結果を比較したところ、WW3はWAMよりも波高と周期の出現頻度の再現性が高いこともわかった。鈴木ら(2016)でも報告されているように、海上風に客観解析値を利用した波浪推算では、WW3はWAMに比べて同等かそれ以上の計算精度がある。今後さらに

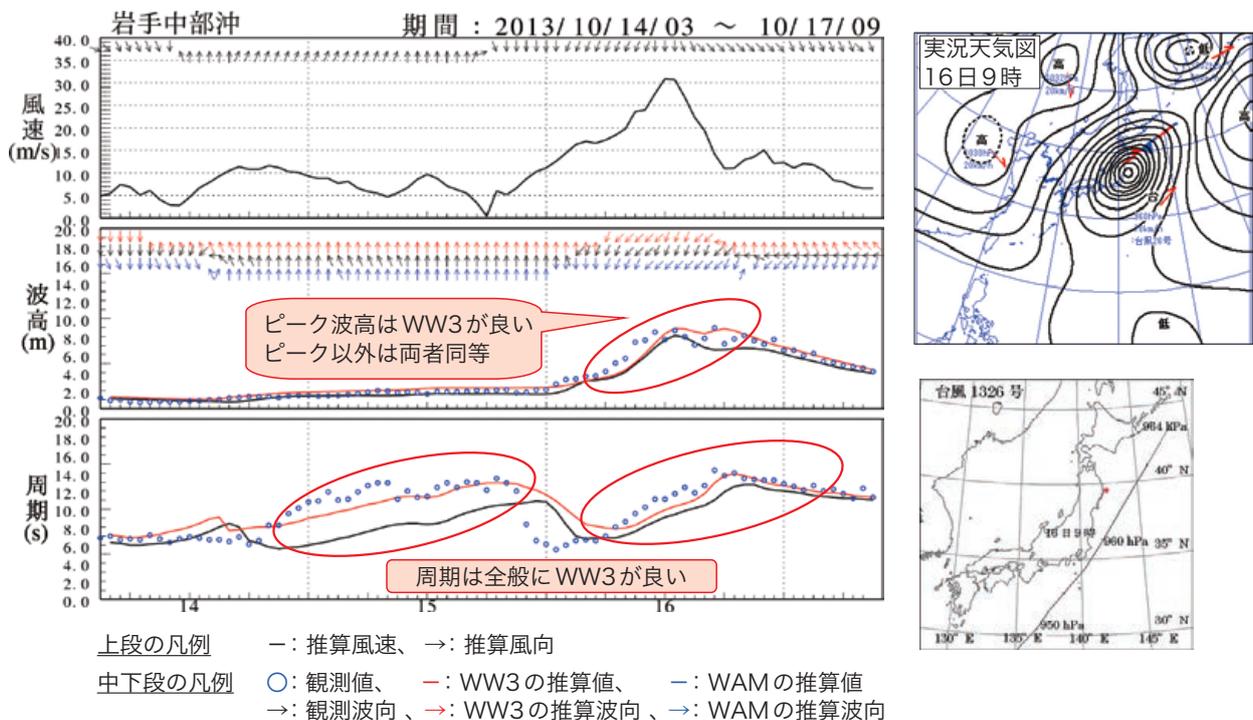


図2 WW3とWAMの推算結果の比較(異常時波浪)

COMEINS運用での実績を積みながらパラメータ等の最適化を進め、波浪予測モデルとして更に精度向上させていきたいと考えている。

4. COMEINSのシステム改修

今回のCOMEINS第四世代へのバージョンアップでは、波浪予測モデルにWW3を導入したことに加えて、トップページや各コンテンツの改良などシステム改修も行ったので、ここではそれについて紹介する。

なお従来から、COMEINSのサービスは、PCを対象としたWebによる情報配信をベースとしているが、これ以外に携帯端末向けのWebやメール配信サービスも行っており、これらのサービスについてもCOMEINS第四世代へ引き継がれている。

4.1 トップページの改修

COMEINSとは、Coastal Oceanographic and

Meteorological Information System の略称(COMEINS)から来ている商標登録名であり、言うまでもなく沿岸気象海象情報を配信するサービスである。これまでCOMEINSのトップページは、レーダ画像や衛星画像を載せており、気象情報を前面に出したトップページであったが、図3に示すように今回の改修では、これらに替えて波浪予測分布図やナウファス地点波浪予測など、COMEINSの特徴であるコンテンツをトップ画面に載せるように変更した。こうすることで、COMEINSのサービスが、利用者の方々にとって更に身近なものに感じて頂ければ幸いである。また、トップページの改修は単にCOMEINSのイメージ向上が目的ではなく、港湾管理者等の方々が沿岸での防災・減災に果たす役割を支援できるように監視画面の機能をトップページに持たせることも狙ったものである。

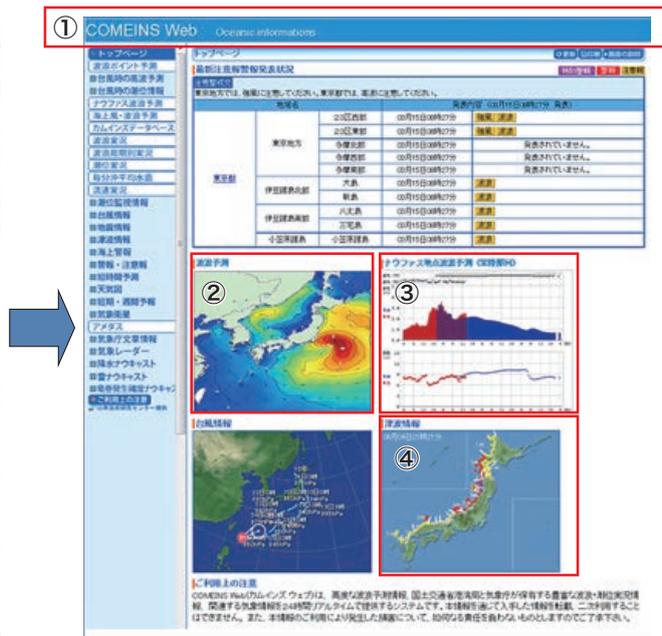
4.2 コンテンツの改修

今回のシステム改修では、各コンテンツについても幾つか改修を行っている。日頃ご利用頂いているCOMEINS利用者の

- ①バナーの変更 (Weather information→Oceanic information)
- ②「気象レーダ情報」→「波浪予測分布図」に変更
- ③「気象衛星」→「ナウファス地点波浪予測」(最寄り地点)に変更
- ④「地震情報」があれば表示し「津波情報」が発表されれば置き換える



COMEINSトップページ(従来)



COMEINSトップページ(29年10月11日以降)

図3 トップ画面の新旧比較



方々からの改善のご要望にもできるだけ応えられるように行ったものであり、図4で示すようにここではその中から幾つか紹介する。

予報発表回数の増加

従来、COMEINSの波浪予測情報の発表は10時と16時の1日2回であったが、特に16時発表については、翌日の海上作業や工事予定を前日夕方に確認する上で重要な情報であり、発表時刻がもう少し早くなれないかという要望を利用者から頂いていた。今回、16時発表を1時間早めて15時発表とし、さらに17時発表の予報を新たに行うことで予報発表回数を1日3回に増やした。

海上風・波浪予測分布の表示期間の延長と高頻度化

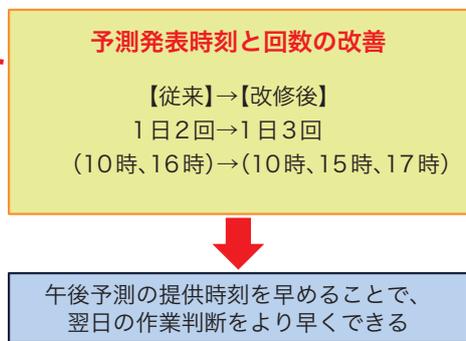
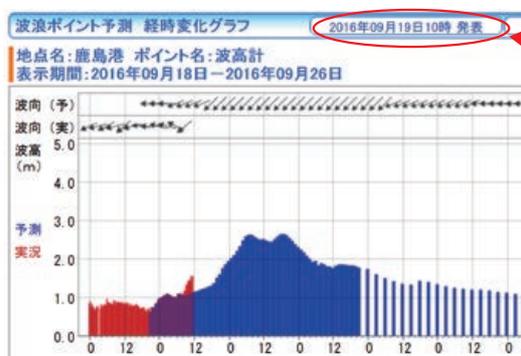
これまで海上風・波浪予測分布は3日先まで6時間毎の表示であったが、10日先まで表示できるようにした。これによりポイント予報で発表される、例えば波浪の1週間先の状況を気象擾乱の移動に伴う天気変化と関連させてイメージできるように

なった。また、表示の時間間隔を3日先までは1時間毎、それ以降は3時間毎と短くしたので、動画に近いイメージで海上風波浪予測分布を閲覧できる。

4.3 今後のCOMEINSの改修

近年、COMEINSでは波浪推算モデルを用いた従来型の波浪予測情報に加えて、台風時に気象庁の発表する台風進路予報に基づき、複数の進路別の波浪予測と潮位情報の提供を行うなど、沿岸の防災・減災に役立つ情報提供にも力を入れてきた。地球温暖化の影響で気象が極端化し台風も強大化すると言われており、今後ますます沿岸の防災情報に対するニーズは高まることが予想される。今後のCOMEINSの情報内容については、これらのニーズに応えられるように、台風時の潮位情報にこれまでの経験式による手法に替えてシミュレーション技術を導入することによる精度向上やうねり性波浪の情報提供について検討するなど、高潮・高波災害に対する防災情報提供をさらに充実させていきたいと考えている。

予報発表回数の増加(2回→3回)と発表時刻の変更(16時→15時)



海上風・波浪予測平面分布の表示期間の延長と高頻度化(3日先まで1時間毎、10日先まで3時間毎)

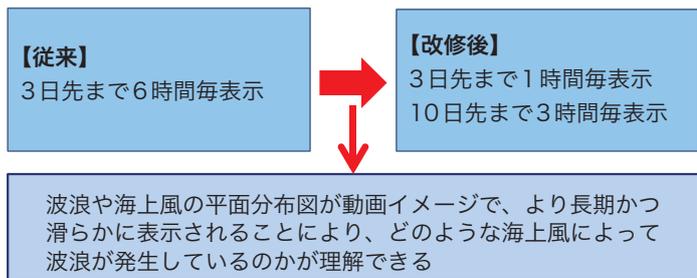
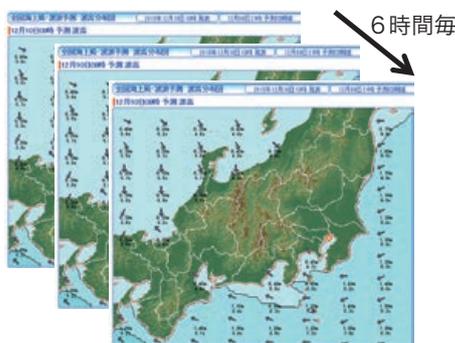


図4 コンテンツの改修例



COMEINS 第四世代システムへの期待

小泉 勝彦 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所

1. はじめに

長周期成分を含んだ波浪の推算や予測に関して、早くから着目してきたのが(旧運輸省)第三港湾建設局です。波浪推算・予測の第一世代といわれるスペクトル法が実用化され始めた時代から、第二世代を飛ばして第三世代に至るまで、長周期成分を含んだ波浪の推算と予測の精度を上げることが、近畿や四国の太平洋沿岸での港湾整備における長年の(今でも続く)課題の一つでした。このたび、WAVEWATCH IIIを用いて第四世代COMEINSの運用が開始されました。そこで、少し昔の話も振り返りながら、COMEINSの第四世代システムへの期待を述べてみたいと思います。

2. 第一世代の活用

(旧運輸省)第三港湾建設局は、比較的早い時期から(今で言う第一世代の)スペクトル法の波浪推算に着目していました。1967年に当時の神戸商船大学の井上篤次郎教授が海上での風波スペクトルの発達に関する数値モデルを発表¹⁾されてから5年後の1972年には、井上モデルを用いた太平洋～四国沿岸～大阪湾を対象とした波浪推算プログラムを開発し、それを用いた大阪湾の波浪推算を行っています。これは、1973年の磯崎・宇治モデル²⁾の発表よりも1年早いものでした。1977年から気象庁では、MRIモデル(気象庁気象研究所モデル:当時は「磯崎・宇治モデル」とも呼ばれていました。)を用いた波浪予測が開始されます。スペクトル法を用いた波浪予測が実用化されたのです。同時期に、港湾技術研究所でも磯崎・宇治モデルを原型としたプログラムによる試算³⁾が行われています。

一方、翌1978年から、高知県に新規事業の波が押し寄せます。その頃に事業着手した事業の一覧を表1に示します。1978年から83年は新規事業の採択間隔が1～2年という、今ではとても考えられないほどの新規事業ラッシュでした。

これらの事業は、いずれも大規模な防波堤の整備を含むもの

でした。このことから、当時の第三港湾建設局では、スペクトル法の波浪推算の本格的な導入を考えます。しかし、1980年時点で、MRIモデルの波浪推算プログラムは港湾建設局が使用できる形では供給されていませんでした。第三港湾建設局では、室津港の整備計画を検討するに当たって、太平洋沿岸での長周期成分を含んだ従来よりも精度の高い波浪推算を実施することが急務でした。そこで、1972年に開発した井上モデルの波浪推算プログラムを改良して、波浪推算調査を行いました。その結果の一部は、小野川ら⁴⁾の論文にまとめられています。この波浪推算調査は、沿岸の波浪については当時主流であった有義波法と井上モデルの比較、沖合いの波浪については磯崎・宇治モデルとの比較を行うなど、たいへんに労力のかかったものとなっています。

四国地方の波浪推算における次の転機は、1989年でした。表1の宿毛湾港の整備に当たって、うねりを考慮しなければならないこと、2方向波浪系の表現に優れていること、等からスペクトル法による推算が用いられました。そこで、井上モデルとMRIモデルの比較を行いました。その結果、図1のとおり実測値の再現性に優れたMRIモデルが採用されています。

ここで示したとおり、第一世代の活用には、自主開発からMRI(気象庁気象研究所)モデルとの比較など、相当な労力を費やし、詳細な検討を行っています。当時の(旧運輸省)第三

表1 1978年からの高知県の港湾関係新規事業(直轄)

西暦	和暦	港湾	備考
1978	昭和53年	上川口港	避難港
1980	昭和55年	室津港	避難港
1982	昭和57年	高知港	高知新港
1983	昭和58年	須崎港	湾口地区防波堤
1989	平成元年	宿毛湾港	池島地区

港湾建設局がスペクトル法にかけた期待のほどがわかるといえます。

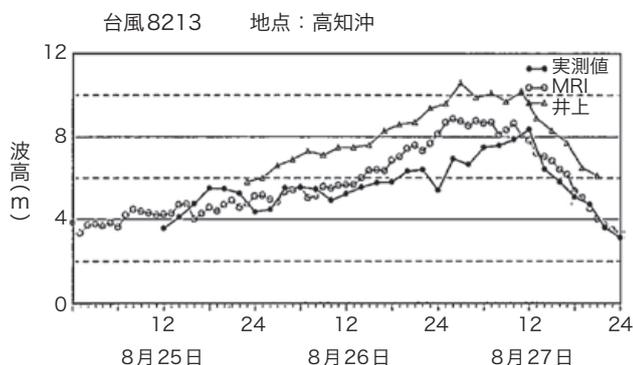


図1 井上モデルとMRIモデルの比較(1989年当時)

3. 第三世代の課題

四国における第三世代波浪推算(WAM)の登場は、2003年(平成15年度)の土佐湾波浪推算調査です。この調査は、高知港、須崎港、室津港の波浪推算を実施し、設計沖波を算出するものでした。この時点では、橋本らの検討⁵⁾で、「一般的にWAMの方が観測値に近い値を示す」と言うことがわかっていました。このため、他の手法と比較することなくWAMが使用されています。ただ、橋本ら⁵⁾は「うねり成分と風波成分に分離して検討した結果、WAM・MRI両モデルともうねり成分を過小にあたえることがわかった」ことを指摘しています。

高知港三里地区(高知新港)では、需要の高まりに応じて、防波堤の完成を待たずに一部のバースの供用を開始しました。しかしながら、港内に侵入する長周期波による荷役障害等が発生する事態となりました。防波堤の整備を進める一方、荷役障害等に対するソフト的な対策として、高知港長周期予測システム⁶⁾が構築され、運用を開始しました。高知港長周期予測システムは、有義波高(m)と有義波周期(秒)の積が長周期波高(cm)に比例すると仮定した式を用いて⁶⁾います。

高知港の防波堤整備等に伴って、これまで荷役障害が発生していた岸壁では荷役障害は減少しました。しかし、新たに供用開始した岸壁で、荷役障害等が発生するようになりました。そこで、港内で観測した波高をもとに高知港長周期波予測システムの改良⁷⁾を行いました。その過程で、「港外の有義波周期の予測精度は、港外有義波高の予測精度と比較して低く、長周期波高の予測精度を向上させるためには、港外の有義波周期の予測精度を向上させることが有用である」ことがわかりました。

それ以来、関係者は、WAVEWATCH IIIのような周期の推算精度が高い波浪予測手法の導入を心待ちにしていました。

4. おわりに：第四世代(WW III)への期待

上で述べたように、第四世代COMEINSへのWAVEWATCH IIIの導入によって、高知港長周期予測システムの精度が向上することが期待されています。

WAVEWATCH IIIには、防波堤等の設計波浪の精度向上の期待もかかります。過去に遡って、気象擾乱を解析することで設計波浪の周期の設定精度が向上します。そして、より適切な防波堤等の設計が行われることになるでしょう。

また、防波堤が被災を受けた際には、被災時波高と周期の推定にも力を発揮するでしょう。台風などの高波の襲来時、実質的に私たちに出来ることはほとんどありません。リアルタイムNOWPHASの画面を見ながら、自分たちが整備した防波堤の無事を祈ることしか出来ません。不幸にして被災を受けた場合は、「被災施設が受けた波浪がどのようなものであったのか？」をすぐさま検討しなければなりません。必ずしも、直近に波浪観測地点があるとは限りません。波浪観測が行われていても、波浪の観測記録が確定されるまでには幾らかの期間が必要なことも多くあります。このような場合は、精度の高い波浪推算を実施することが有効だと考えられます。

これらのことから、第四世代COMEINSへのWAVEWATCH IIIの導入には、期待するところが極めて大きく、運用開始されたことを本当に嬉しく思います。

【参考文献】

- 1) Inoue, T : On the growth of the spectrum of a wind generated sea according to a modified Miles-Phillips mechanism and its application to wave forecasting, Geophy. Science Lab., TR-67-5, NEWYORK Univ., 1967.
- 2) Isozaki, I. and T. Uji : Numerical prediction of ocean waves, Papers in Meteorol. And Geophys. , Vol.24, No2, pp.207-231, 1983.
- 3) 高橋智晴, 広瀬宗一, 佐々木徹也 : 沿岸波浪推算法についての考察—矩形モデル風域による試算—, 第24回海岸工学講演会論文集, pp.117-121, 1997.
- 4) 小野川繁澄, 布施谷寛, 佐藤孝夫, 井上篤次郎 : スペクトル法による四国沿岸及び大阪湾内での波浪推算について, 第29回海岸工学講演会論文集, pp.6-10, 1982.
- 5) 橋本典明, 川口浩二, 真期俊行, 永井紀彦 : 第3世代波浪推算法(WAM)の推算精度に関する検討, 港湾技術研究所報告, Vol.38, No.4, pp.3-47, 1999.
- 6) 三村正樹, 石本真憲, 菊地洋二, 宇都宮好博 : 「高知港長周期波予測システム」の構築について, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, NO.2, 1161-165, 2011.
- 7) 小泉勝彦, 山下学, 大村厚夫, 窪田和彦 : 港内波浪の観測結果に基づく高知港長周期波予測システムの改良, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.73, NO.2, 1791-796, 2017.

特別講演

高潮防災技術のこれまでとこれから

ご講演者：高知工科大学 学長 磯部雅彦氏

講演日：2017年11月16日（木）

於：イイノホール&カンファレンスセンター RoomB

(本稿は、コースタル・テクノロジー2017の特別講演を抜粋し、編集した内容となっています。)

●高潮の特徴と津波との違い

これまでに高潮のどんな災害を受けて、どのような防災の対策を行ってきたのか、そしてこれからはどんな対策が必要なのか、ということについてお話をさせていただきます。

最初に高潮災害ですが、高潮も海の波の一種であるということで、では普通の波との違いは何かというと、基本的には時間の長さの違いです。普通の波浪が10秒前後であるのに対して、津波は10分から数十分、高潮は1時間以上です。

高潮の特徴というのは、日本の場合は台風とともにやってきますから、2、3日あるいは2週間ほど前から来そうだと予測はできるわけです。しかし、来た時には暴風雨になっているので、外で対策を取ることはできなくなります。

津波と違うのは、周期が長いので、いちど浸水するとかなり長い間海水が陸上に入ってきて、水平になるぐらいに浸水してしまう可能性が高いということです。津波はある程度水が入っても10分あるいは長くても30分程度で水が引きますが、高潮の場合は違います。

●高潮被害の状況

高潮災害の過去を振り返ってみますと、昭和34年の伊勢湾台風が記録にも記憶にも残るものです。海岸堤防が甚大な被害を受けて、陸上も大きな被害を受け船も陸に打ちあげられました。その2年後には第二室戸台風がやってきて、これは河川から高潮が遡上して、河川堤防から陸上に浸水しました。そのほかには昭和54年の20号台風で、ギャラティック号という6000tクラスの船が富士海岸に打ち上げられました。この船の喫水は6、7mありますが、それが浮き上がったということはその高さの波だけではなく、ウェイクセットアップが起こって、通常の高潮に加えて波の上昇があり、さらにこの海岸に長周期波が起こってその波の峰が船を打ち上げたのではないかと考えられます。

高潮といった時には、普通は水位が上がる部分と同時に高波も同時にやってきます。それによって、被害が大きくなります。波というのも非常に大きなファクターと言えます。

海外に目を転じると、バングラデッシュの例では1991年にサイクロンがやってきて、偏差が4m以上あり、これによって約13万人が亡くなり、船が河川の堤防に打ち上げられました。

画期をなす高潮ということでどんなものがあるかということ、東京湾で記録上過去最大だったのが、大正6年の台風で高潮が2.1mでした。日本全体を通してみると、上陸時の中心気圧が最も低いのが昭和9年の室戸台風です。911hPaでした。その後昭和28年の13号台風で、これは伊勢湾から日本列島を縦断して被害をもたらしました。これは昭和31年の海岸法の制定に結び付いた台風で、日本にとっては大きな曲がり角になった台風でした。

その後の伊勢湾台風が、高潮偏差が3.4mと最も大きな台風でした。その時は3.9mと最高で、死者と行方不明者をあわせて5000人以上の被害をもたらし、これも画期をなす台風でした。昭和45年には土佐湾に台風10号が上陸し、潮位は2.4mでこれはウェイクセットアップを取り入れて初めて説明がつくものでした。

その後は1999(平成11)年の18号台風では八代湾で大きな被害をもたらし、2004(平成16)年の台風16号では瀬戸内海での被害もあります。これらは高潮ということで画期をなす台風と言えます。

海外では2つの大きなものを取り上げましょう。東パキスタン、今のバングラデッシュでベンガル湾が遠浅でしかも三角形の形をしているので高潮の偏差は非常に大きく、気圧は日本と比べてもたいしたことがなくても被害が大きくなり、1970年のときは50万人の方が亡くなったと言われていました。91年の場合も、13万9000人が亡くなったと言われていました。

最近では台風の規模も大きくなり、2005年のハリケーンカトリナ、07年バングラデッシュではサイクロンシドル、その

後ミャンマーではナルギス、アメリカのサンディ、フィリピンのハイヤンなど、非常に大きな被害が起っています。



図1 高潮災害



図2 高潮災害(バングラデッシュ、1991)

●日本の高潮対策

戦後急速に日本では高潮対策が進んできました。データが1960(昭和35)年からですが、その4年前の昭和31年に海岸法が制定され、そこから組織的に海岸保全が進みました。そのために、60年代から70年代にかけて、護岸や海岸堤防の総延長が急激に伸びました。2500~6000kmの長さで増えていま

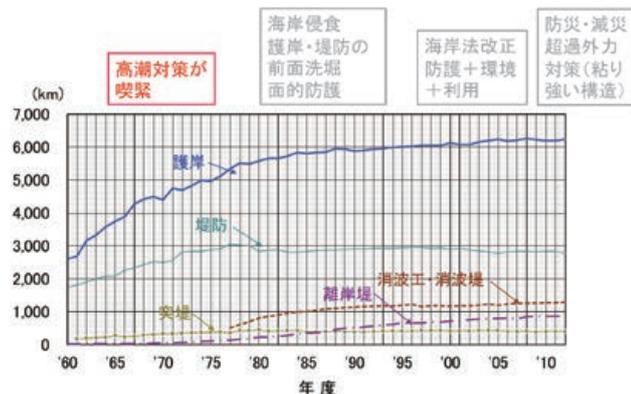


図3 各海岸保全施設の整備の進展

す。それだけ伸びたということは高潮対策が喫緊のことだったということです。

その後は長さは伸びていませんが、離岸堤とか消波工や消波堤の長さが伸びていて、これはおそらく堤防護岸をつくって高潮を防げたけれども、その前にある砂浜が侵食され堤防護岸にも波が直接あたるようになり、それを防護しないといけなくなったという理由であり、海岸侵食も深刻になってきたということでしょう。

1999年に海岸法の改正があり、環境に対する配慮も行われるようになりました。最近では2011年の3.11の東日本大震災を受けて、粘り強い構造というのが大きなテーマになってきました。

その中で、特にこの時期の高潮対策ですが、アウトカムとして表したのが図4です。1945年から2015年まで、1年の中で最も気圧の低かった台風をプロットしたのが緑のものです。ブルーはそれによって高潮偏差がどれぐらいかを示しています。また、それによって亡くなられた方や行方不明の方を示しています。1950年代、60年代ではほとんど毎年気圧の低い台風が発生して大きな被害を及ぼしています。その後、第二室戸台風や65年の23号台風では気圧は低いものの伊勢湾台風などと比べると被害は少なくなっています。60年代後半から80年代にかけてはあまり大きな台風は来ていません。

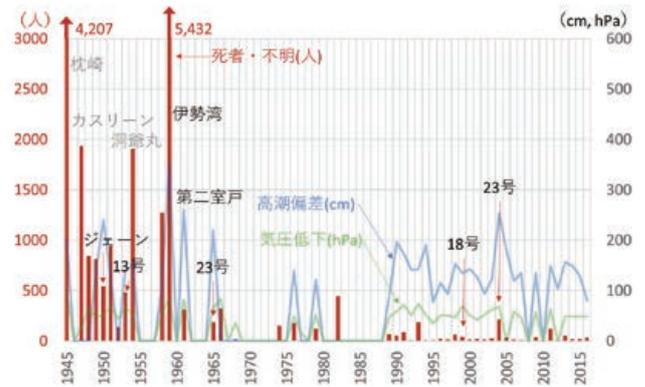


図4 主な台風の死者・不明数と気圧低下・高潮偏差の経年変化

90年代に入って気圧も低く、高潮偏差も大きいハザードとしては大きなものが生じるようになってきています。ところが、被害の大きさで言えば以前と比べてまったく少なくなっています。これは、堤防や護岸の整備が進んだことによって被害が激減したと言っていると思います。

港湾施設などの経済的な被害額で見ると、データとしては昭和36年の第二室戸台風からになります。こちら、第二室戸以降は被害額としても少なくなっています。ただし、平成

入ってからは、死者は減りましたが、被害額では時々大きな被害を及ぼすような台風が生じています。これは、沿岸域に資産が集中するようになったからですが、被害が大きくなったケースが出てきています。

●高潮の仕組み

次に高潮の仕組みについて説明しますと、「気圧低下による吸い上げ」と「風による吹き寄せ」が大きな現象です。図5を見ていただくとわかると思います。気圧が下がる分に比例して水位が上がるとするのが「気圧低下による吸い上げ」です。1hPa下がれば水位が1センチほどあがります。また、風によって海面に摩擦が働いて、沖から岸に向かってこすりつけるような力になり、それに釣り合うように水位が上がります。さらに、風が吹き続けると岸に達した圧力が海底に潜り込んでそれが沖に向かい、その摩擦が海底で働きます。そしてまたそれが陸向きに働きます。海面と海底の2つの圧力に釣り合うように水位が上がります。

それを計算式にもしました。簡単に言うと、水深が浅いほど水位上昇が高くなります。先ほどご説明しましたが、バン格拉デッシュのベンガル湾の典型的なところでは、沖合100キロ行っても水深が10mなので、高潮が大きくなりやすいということです。結論的には、気圧の低下に比例して吸い上げも吹き寄せも拡大してくるということになります。したがって、台風の高潮の低下量と高潮偏差が比例すると考えておけばいいということです。

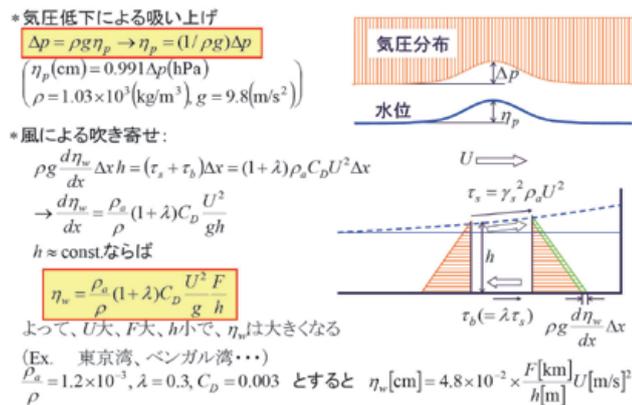
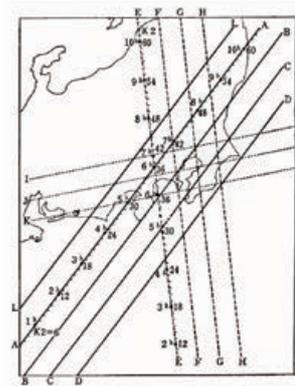


図5 高潮発生メカニズム

●高潮防災システム

では、実際にどのような防災システムができていくかということです。図6は、実際に伊勢湾台風を素材にして、同じ規模の台風が来た時に東京湾ではどのような影響があるかを数値計算したものです。コースによってその地域の高さが違っていま



経路	最大計算偏差 (cm)		
	千葉	築地	横浜
A	267	178	86
B	244	131	78
C	179	89	62
D	99	59	48
E	199	208	109
F	217	166	111
G	197	131	92
H	146	88	61
I	247	161	72
J	179	147	83
K	82	125	78

図6 高潮の数値シミュレーション



図7 東京の高潮防災施設

す。Eコースの場合は築地あたりが208cmと一番高くなります。Aコースでは千葉で最大267cmの高潮が起きるという計算です。この数値を300cmとして実際の高潮対策が行われています。この計算はコンピュータが出始めたころの数値ですが、なかなかすぐれています。

このデータから、図7の青い線のように堤防の高さを揃えたり、河川堤防も合わせようということや水門をつくらせています。そのほかにも排水機場をつくらせたり、内部護岸で水が水路から溢れださないようにしています。以上のように、東京湾では高潮対策のシステムができています。海外では、順応と避難ということで、住居を高床式にしたりサイクロンシェルターなどがつくられています。

●今後の高潮防災

それでは、今後はどのようなことが残っているのかを話します。整備を開始した60年代、70年代からすでに50年が経とうとしています。つまり、維持管理の問題です。日本には海岸保全施設は有効延長にして約1万キロあります。その寿命が100年だったとすると、それを維持するとした場合は、年間に100キロメートルは更新していかなければいけない。その

経費をかなり安く見積もって、1メートルを200万円で作るとすると2000億円、この金額は海岸保全で最も多かった予算の時と同じですが、それを使ってやっと保全ができるということで、維持管理は大きなテーマと言えます。

加えて、水防法が3年前に改正になって、想定できる最大規模の高潮に対して、高潮浸水想定区域を指定し、洪水予報を伝達し、避難経路や避難場所を発表するということになりました。これに対応するのが大きな課題になってくると思います。この考え方は、東日本大震災を契機にして津波に対してレベル1、レベル2が出てきましたが、高潮についても従来のものからレベル2にも考えていこうということになりました。したがって、津波から始まって高潮、内水氾濫、河川洪水についても同じ規定で防災をやっていくことに、法律上も変わってきたということです。

その中で、高潮の最大クラスを決めたのが図8です。三大湾にやってきた高潮をプロットしてつくったものです。1000年に1度ということで考えた台風が910hPaとなっています。

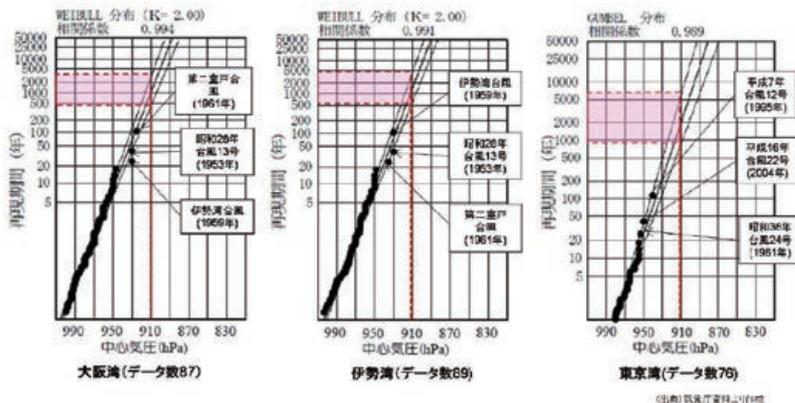


図8 三大湾における室戸台風相当の台風の確率年

そうした中で難しい問題も色々あります。高潮偏差が増大することによって打ち上げ高も増大することになり、それをハードで補うのは難しいということがあります。また、高潮は台風半径の規模にはあまり影響は受けませんが、移動速度によっては高潮の偏差は相当違ってきます。

ただし、大きな問題として残りそうなのが、高風速での海面抵抗係数の低下です。先ほど、吹き寄せは風速の2乗に比例すると言いましたが、比例係数には摩擦係数が入ってきます。しかも、摩擦係数は風速によって大きくなります。東京湾における910hPaの台風が来たとき想定したときのシミュレーション(図9)では、江東デルタ地帯は完全に水没することになります。その結果として、避難そのものも難しいのと、避難したとしてもそのあとの生活や食料をどうするかといった大きな問題も出てきます。

したがって、減災のことを考えると、粘り強い構造物の開発がさらに必要で、それによって浸水量を減らすことができます。もう一つは、高潮は高潮偏差プラス打ち上げ高ということで天端高は決まっていますが、高潮の偏差分だけは堤防の天端高で防げるようにすることを同時に考えなければいけないということです。

最後に申し上げたいのは、沿岸域の防災を考えると高潮以外にも津波や気象変動などいろいろあります。これらは個別のことではなく、すべて一緒に重なってくる話です。つまり、全体として統合化しながら、合理的な防災に取り組んでいく時期に来ているのではないかと考えています。

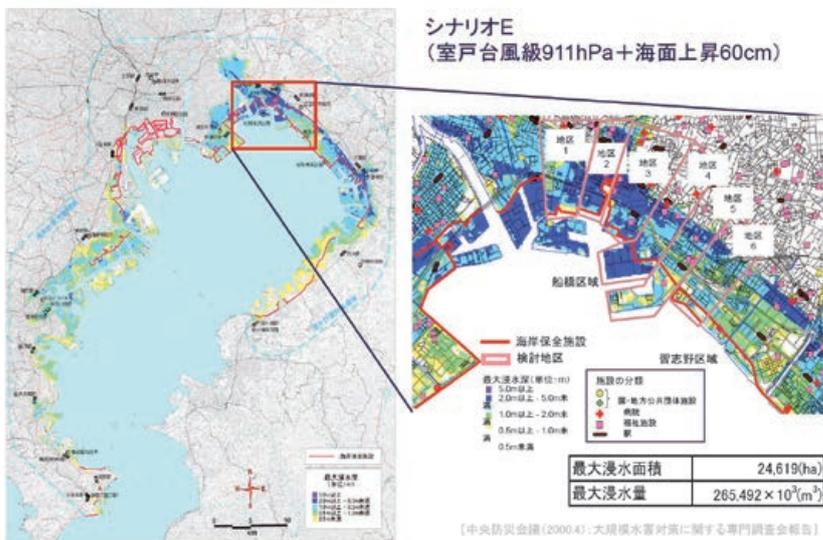


図9 東京湾における高潮浸水シミュレーション

図10 統合的な沿岸域防災システムの構築

- 背景
 - 東日本大震災→津波防災地域づくり法(浸水予測、避難、土地利用)、L1・L2津波
 - 水防法改正(H.27.5):最大規模の洪水・内水・高潮に係る浸水想定区域の公表
 - 気候変動の影響への適応計画(H.27.11閣議決定)
 - 統合化が必要・可能
- 当面の課題
 - 海岸保全施設の維持・更新・新設
 - 避難計画(津波・高潮別)、減災対策、道路啓開、排水計画
- 沿岸域防災システムの構築
 - (気候変動、L2津波・高潮)がハザードの増大要素として取り込む→統合確率現象としてとらえる、危険度を定量的に評価する)
 - ハザードレベルに応じ、地域ごとに最適な防護・順応・撤退の組合わせ
 - (粘り強いソフト・ハード対策)
 - (誘導策:災害危険地域からの移転)
 - (安全な居住・生産地区の開発・吸引、保険・課徴金制度、土地利用計画・制限)



国際

沿岸レポート

第5回日韓沿岸技術研究 ワークショップの報告

一般財団法人沿岸技術研究センター
主任研究員 勝呂 和之

1. はじめに

韓国海洋科学技術院 (KIOST)、国立研究開発法人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) は、年1回の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5回目となる今年は、韓国の釜山に移転したKIOSTの研究施設で開催される予定でありましたが、移転の準備が進まず急遽、ホテルの会議室での開催となりました。日本からは総勢12名が訪れました。12月20日から22日までの3日間、ワークショップの他、釜山港湾公社 (BPA)、釜山新港 (Busan New Port) の視察を行いました。

2. ワークショップ

ワークショップは Crown Harbor Hotel の会議室において開催され、日本の訪問団を除いても30~40名程は聴講していたようでした。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編の講演がありました。例えば、2) Coastal Management のセッションでは、気候変動に対する汀線変動予測とリスク評価に関する発表、また、4) Technical Development のセッションでは、流起式可動防波堤の開発について、課題は多いものの、実現に向けた一つ一つの取り組みに関する発表等がありました。一日を通じて、参加者は大変関心を持って聴講していた様子で、用意された質疑応答の時間が不足するくらい活発な討議が行われました。

テーマごとの個別の講演の他にも、沿岸技術研究センターの高橋理事長が特別講演の依頼を受け、Lessons Learnt From 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Disaster (写真1) として、粘り強い、強靱な沿岸域をキーワードに2011の東



写真1
CDIT高橋理事長による
特別講演



写真2 講演者および関係者一同

日本大震災の事例等を盛り込んだ講演を行いました。皆さん熱心に聴き入っており、特に韓国の研究者からは多くの質問がありました。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れ、和やかな雰囲気が終わることが出来ました(写真2)。

3. 釜山新港の視察

期間中、KIOST 名誉研究委員 ^{アンボド}安熙道博士のご案内で、釜山の代表的な港湾施設として、釜山新港(写真3)の視察を行いました。その中で特に印象深かったのは、大量のコンテナを毎日荷さばきしている、世界で4位の大きさを誇るというターミナルでした。その他にもいくつか視察させて頂きましたが、参加者は皆それぞれに関心を持って見学されていたようでした。



写真3 釜山新港

4. おわりに

安博士はじめKIOSTの職員の方々には、準備を含めて期間中大変お世話になりました。お陰様で有意義なワークショップになったことはもちろんですが、沿岸域の研究開発に携わる日韓の技術者交流が友好的かつ着実に進められていることを改めて実感した訪韓となりました。厚く御礼申し上げます。また、PARIの下迫特別研究官並びにWAVE 鬼頭理事長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

濱口梧陵国際賞授賞式



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2016年に創設いたしました。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。

第2回目となる今回の受賞者は、津波の発生、伝播及び沿岸域への影響の究明に大いに貢献した Philip Li-Fan Liu シンガポール国立大学副学長兼特別教授／コーネル大学名誉教授、コロンビア、エクアドル及びペルーの津波被害の軽減計画の策定に貢献した Julio Kuroiwa ペルー国立工科大学名誉教授／ペルー国際災害危機軽減会社理事兼本部長、及び「世界津波の日」高校生サミット in 黒潮を主催するとともに、官民一体でハード・ソフト両面からきめ細やかな対策に取り組み、住民の防災意識の向上に大きく貢献した黒潮町(高知県幡多郡)の2名1団体です。

授賞式は、11月1日(水)に海運クラブにて開催され、秋元国土交通副大臣、林自民党幹事長代理より来賓のご祝辞、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)による受賞者の紹介と受賞理由のご紹介の後、秋元国土交通副大臣から受賞者の皆様に表彰楯が贈呈されました。

授賞式とそれに引き続き行われた記念講演会、レセプションには、二階自民党幹事長をはじめ国会議員の皆様、在日チリ共和国大使館臨時代理大使、濱口梧陵氏ゆかり地の和歌山県副知事、広川町長、濱口家のご子孫の濱口道雄様の他、多くのご来賓にご臨席いただきました。レセプションでは組織委員会(委員長 栗山善昭港湾空港技術研究所長)より、稲むらの火の館及び濱口道雄様に感謝状を贈呈いたしました。



Liu教授



Kuroiwa教授



黒潮町(大西町長)



授賞式



稲むらの火の館(西岡広川町長)



濱口道雄様

全素線二重防錆PC鋼より線 【Ducst】

黒沢建設株式会社 株式会社ケーティービー

プレストレストコンクリート用緊張材であるPC鋼より線の各素線に亜鉛めっきおよびエポキシ樹脂塗装を施した二重防食PC鋼材で、地中での控え索などの取り替えが困難な腐食環境下での活用が期待される。

Ducst (ダクスト) の概要

近年、コンクリートにプレストレスを与えるための緊張材には、取り扱いやすさなど施工の面からPC鋼より線が多く用いられている。PC鋼より線は、心線の周囲に複数の側線をより合わせた構造で構成されており、同じ太さのPC鋼棒や単線のPC鋼線に比べ柔軟性に富み、より合わせた側線間の螺旋状溝部がコンクリート付着強度に寄与するといった特徴を有している。

PC鋼より線の腐食に対しては、従来はコンクリートのかぶりやPC鋼より線が配置されるシーす内のPCグラウトによる保護が主体である。一方、矢板の控え材などが使用される状況では、コンクリートのかぶりが一般的に期待できない。地中のような取替えの困難な環境下においてPC鋼材を腐食から防ぐには、エポキシ樹脂塗装鉄筋と同様にPC鋼より線そのものを保護することが有効な手段の一つであるといえる。

PC鋼より線の防錆方法には、亜鉛めっきとエポキシ樹脂塗装がある。亜鉛めっきは柔軟性に優れた材料であり、PC鋼より線の特徴である可とう性を保持し、定着性能の安定性も有していることから、ヨーロッパなどでは橋梁用の外ケーブルに亜鉛めっきPC鋼より線を多用している。しかし、亜鉛めっきは腐食要因に対して消耗性材料であり、環境やめっき厚さによって耐用年数が左右されるため、塩害環境における防錆処理として十分とは言い難い。

そこで、Ducst(ダクスト)はPC鋼より線の全素線に亜鉛めっきを施し、さらにその各素線の外周に静電粉体塗装によってエポキシ樹脂塗膜を形成した(図1)。素線ごとに防錆層が形成されることによって、PC鋼より線のより溝の形状を保持したまま素線同士の接触が生じない。そのため、素線が全長にわたり完全に防錆され、フレTTINGによる擦過摩擦を防ぎ、疲労強度の低下を抑制することも期待できる。

Ducstは、亜鉛めっき層の外周にエポキシ樹脂塗装を施し、亜鉛めっきの弱点である消耗性を補うことで、より長期にわたり最小限のメンテナンスで供用できるようにすることを趣旨として

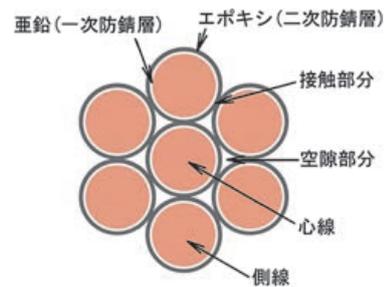
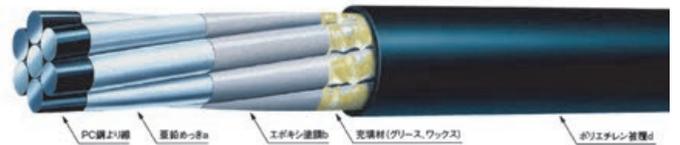


図1 Ducstの断面



(1)Ducst



(2)Ducstアンボンド

図2 製品の外観

表1 Ducstの仕様

呼び名		12.7mm	15.2mm
標準外径 [mm]		13.9	16.4
亜鉛めっき	付着量 [g/m ²]	270	270
	厚さ [μm]	35	35
エポキシ樹脂塗膜	塗膜厚さ [μm]	200	200
	許容差 [μm]	±80	±80

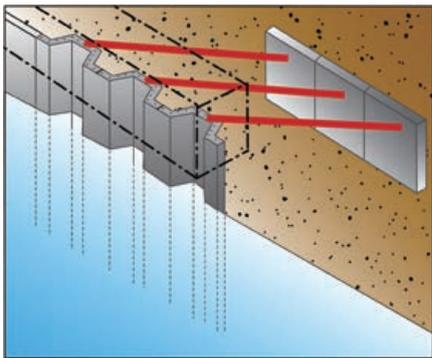
開発した。Ducstの二重防錆層は亜鉛めっきとエポキシ樹脂塗膜が均一に形成されているため、元々PC鋼より線が有している柔軟性や、定着具の適用性などの性能を保持しつつ、高い防食性を付与した二重防食PC鋼より線である(図2の(1))。また、コンクリートのかぶりのない地中などでは、図2の(2)に示すようにポリエチレン樹脂で被覆したDucstアンボンドを用いる。標準仕様を表1に示す。

このように防食性能の高い本技術は、一般的なPC構造物の内ケーブルに用いられる緊張材とは異なり、矢板の控え索や係船岸の補強アンカーなど、コンクリートのかぶりによる保護がなく地中などの維持管理や取り替えの困難な状況での使用方法を想定している(図3)。

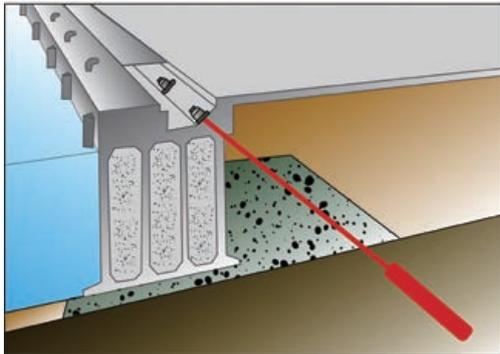
Ducstの特徴

・防錆性

亜鉛めっき層の上に形成した塗膜は、塩化物や薬品等に対して



(1) 矢板の控え索



(2) 係船岸の補強アンカー

図3 想定される主な用途例

遮蔽性を有している。また、緊張時のPC鋼材の伸びに追随する可とう性や、容易に塗膜が損傷しない一定の耐衝撃性も有している。

・従来品との同等性（機械的性質）

亜鉛めっきとエポキシ樹脂塗膜の防錆層を有するDucstは、従来のPC鋼より線と同様にJIS規格に定められている引張強度とリラクゼーション値を満足しており、めっき・塗装する前と変わらない柔軟性を保持している。また、塗膜が素線間の擦過を防ぐことでフレット疲労を抑制し、従来と同等以上の疲労強度を有している。

・被覆層の耐久性

外気にさらされる環境や、地中にて使用する場合に施すポリエチレン被覆層は、さまざまな腐食要因に対し安定的で、長期にわたり耐久性を保持している。

性能確認試験

・防錆性の確認

塩水噴霧試験（図4）、乾湿繰返し試験、耐薬品性試験、塩化物イオン透過性試験を行い、塗膜の遮蔽性と塗膜傷部における亜鉛めっき層の防食性を確認した。180度までの曲げ加工試験を行い、PC鋼より線の伸びへ追随するための塗膜の可とう性を確認した（図5）。また、耐おもり落下性試験を行い、塗膜の耐衝撃性を確認した。亜鉛めっき層は、ブラストによる表面処理の度合いを変化させても影響がないことを塩水噴霧試験によって確認した。



図4 塩水噴霧試験（3600時間後）
上：健全部，下：塗膜傷あり



図5 曲げ加工試験

表2 引張疲労試験結果

呼び名	12.7mm	15.2mm
上限荷重 0.45Pu [kN]	82.5	117.3
下限荷重 0.32Pu [kN]	58.3	83.4
振幅荷重 0.13Pu [kN]	24.2	33.9
繰返し数 [回]	2 000 000	2 000 000
破断状況	破断せず	破断せず

・機械的性質の確認

引張試験およびリラクゼーション試験を行い、PC鋼より線のJIS規格値と同等であることを確認した。片持ち方式によるDucst先端のたわみ量を測定することにより、従来と同等の柔軟性を確認した。

また、比較的過酷な条件の引張疲労試験（応力振幅245N/mm²、繰返し回数200万回）を行い、従来のPC鋼より線は40万回に達する前に素線が破断したが、Ducstは200万回まで素線は破断せず、その後の引張試験にてJIS規格値を満足しており、疲労強度が同等以上であることを確認した（表2）。

・ポリエチレン被覆の耐久性の確認

Ducstを保護するポリエチレン被覆と充てん材（グリース）の各種物性を確認し、ポリエチレン被覆の耐薬品性および耐油性を確認した。また、定ひずみ環境応力き裂試験を行い、ポリエチレン被覆の耐久性を確認した。

実績

Ducstは、沿岸部のほか、法面のグラウンドアンカーや建築物の転倒防止のための鉛直アンカーへの使用実績が数多くある。

繊維補強 カルシア改質土

五洋建設株式会社

繊維補強カルシア改質土は、浚渫土とカルシア改質材と短繊維を混合した材料である。強度と変形追随性、遮水性をもった材料として、遮水材や潜堤材、吸出し防止材等としての活用が期待される。

繊維補強カルシア改質土の概要

浚渫土とカルシア改質材（転炉系製鋼スラグを成分管理・粒度調整した材料）を混合したカルシア改質土は、強度発現、濁り発生抑制、アルカリ抑制等の特徴がある。航路や泊地の浚渫工事で発生する浚渫土と鉄鋼の生産過程において副産物として発生する転炉系製鋼スラグを有効活用する技術として、埋込材や浅場・干潟の基盤材、藻場造成材、深掘跡の埋戻し材等に幅広く使用されている。また、沿岸技術研究センターから「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（平成29年2月）」が発行されている。

これに対し、繊維補強カルシア改質土は、カルシア改質土に短繊維を混合した材料である（図1）。短繊維を添加することにより、カルシア改質土と比較して強度が増加するとともに、残留強度が増加して靱性が高い材料となる（図2）。こうした特性や透水係数が小さい材料である点を活かし、底面遮水材や遮水シートの先端部、潜堤材、吸出し防止材、矢板前面の置換材等、従来のカルシア改質土とは異なる場所への適用が可能である（図3）。

繊維補強カルシア改質土では、カルシア改質材添加量10～40vol%、短繊維添加量0.1～1.0vol%で目的や用途に応じて配合を決定するが、標準的な混合割合は、浚渫土70vol%、カルシア改質材30vol%、短繊維0.3vol%である。なお、カルシア改質材の容積混合率は、カルシア改質土容積（浚渫土の容積+カル



図1 カルシア改質土と繊維補強カルシア改質土

シア改質材の容積) に対する容積率であり、短繊維はカルシア改質土に対する外割り混合体積比である。

浚渫土は、主にシルト・粘土分の多い泥土を使用するが、細粒含有率50%程度まで対応可能であることを確認している。カルシア改質材については、粒度等の物理的性質や成分等の化学的性質がカルシア改質土で使用されるものと同じものを用いる。

短繊維は、ポリエステルやポリプロピレン、ビニロン等の素材の、直径10μm～30μm、長さ5～25mmのものを使用する。繊維長はカルシア改質材の最大粒径の1/2～2倍程度であるが、目的や用途、配合試験によって使用する材料を選定する。

こうした材料を使用し、適切な配合条件を設定することにより、一軸圧縮強さ100kN/m²以上や透水係数1×10⁻⁸m/s以下を確保することが可能である。

カルシア改質土

繊維補強カルシア改質土



脆性破壊



強度・靱性
増加
クラック
発生抑制

一軸圧縮試験供試体例
(ひずみ8%)

一軸圧縮試験供試体例
(ひずみ8%)

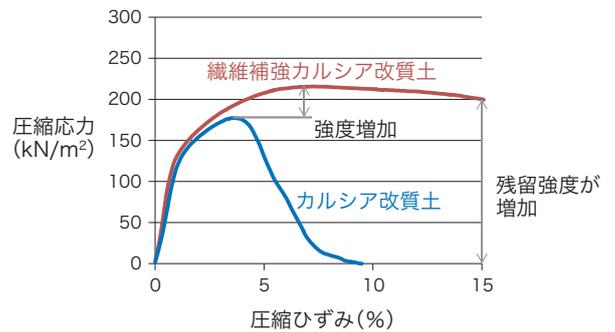


図2 繊維補強カルシア改質土の供試体と応力-ひずみ曲線イメージ

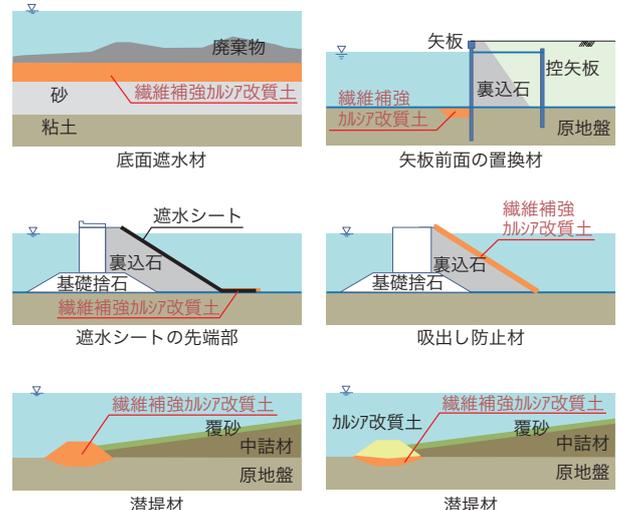


図3 繊維補強カルシア改質土の主な用途

材料特性

浚渫土とカルシア改質材、短繊維を混合して繊維補強カルシア改質土を作成して実施した一軸圧縮試験・透水試験・溶出試験の例を以下に、各試験に使用した材料を表1に示す。なお、短繊維は全ての試験においてポリエステル製のものを使用した。

表1 実験材料

項目	浚渫土		カルシア改質材	短繊維	
	含水比 (%)	液性限界 (%)	最大粒径 (mm)	直径 (μm)	長さ (mm)
一軸圧縮試験	126.5	84.3	4.75	12.5	10
透水試験			25	14.8	20
溶出試験			4.75	12.5	10

・一軸圧縮試験

カルシア改質材の添加量を30vol%とし、短繊維の添加量を0～1vol%の範囲で変えて実施した配合試験の例を図4、図5に示す。なお、図で短繊維添加量ゼロのケース $f=0\text{vol}\%$ がカルシア改質土である。

繊維補強カルシア改質土は、材令とともに一軸圧縮強さが増加すること、繊維の添加量が増えるで一軸圧縮強さが増大することが確認できる(図4)。同様の効果は、カルシア改質材が10vol%、20vol%、40vol%の場合においても確認されている。

図5の繊維補強カルシア改質土の応力-ひずみ曲線の測定例では、短繊維の添加量が増えることによりピーク強度が増加すること、残留強度が大きくなることが確認できる。なお、比較のために別途実施したセメント固化処理土に短繊維を添加したケースでは繊維補強カルシア改質土と異なり、短繊維添加によるピーク強度の増加や残留強度の増加は僅かであった。

・透水試験

浚渫土(透水係数 $3.7 \times 10^{-8} \text{m/s}$) にカルシア改質材の添加率を20vol%、30vol%、40vol%に、短繊維の添加率を0vol%、

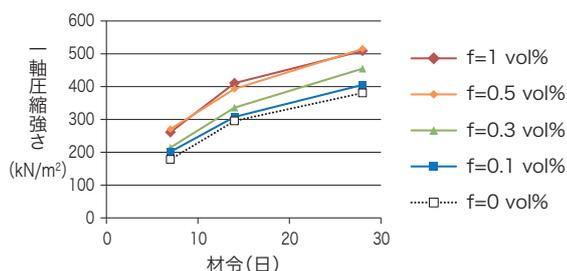


図4 一軸圧縮試験結果

0.3vol%として実施した変水位透水試験では、カルシア改質材の添加量が増えると透水係数が小さくなること、カルシア改質材20vol%以上の配合で透水係数 $1 \times 10^{-9} \text{m/s}$ 以下の値が得られることを確認した(図6)。

・溶出試験

浚渫土・カルシア改質土および繊維補強カルシア改質土の溶出試験、人工海水(pH8.2)を溶媒にしたpH試験(鉄連法)を実施した。

繊維補強カルシア改質土(カルシア改質材添加量30vol%、短繊維添加量0.3vol%)について、浚渫土やカルシア改質土と同様に水底土砂基準以下であること、pH9.0以下であることが確認され、短繊維添加による影響は認められなかった。

施工関連

・施工方法

繊維補強カルシア改質土の施工では、カルシア改質土と同様に、バックホウやミキサを使用して、浚渫土・カルシア改質材および短繊維を混合した後、グラブやトレミー打設等により海中に投入することを想定している。

・施工性確認実験

バッチ式の2軸のパドルミキサを使用し、浚渫土(含水比127%・148%、液性限界84.3%)とカルシア改質材(最大粒径25mm、添加量30vol%)、短繊維(ポリエステル製、直径14.8 μm ×長さ20mm、添加量0.3vol%)を混合して繊維補強カルシア改質土を作成した。コンクリートポンプを使用して、カルシア改質材を圧送し、トレミー管を用いて水槽内に水中打設を行った(写真1、写真2)。

短繊維が加わることにより、カルシア改質土よりも流動性が小さくなり、打設勾配がやや大きくなったが、実際の施工と同様の機器を使用した実験により、繊維補強カルシア改質土の混合・圧送・打設が可能であることが確認された。

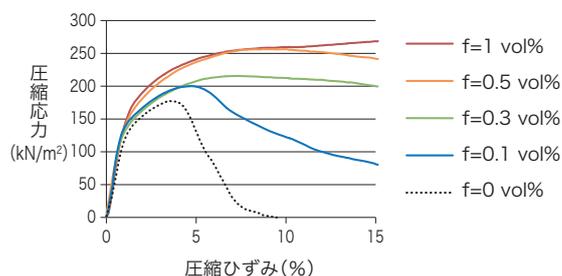


図5 圧縮ひずみと圧縮応力の関係

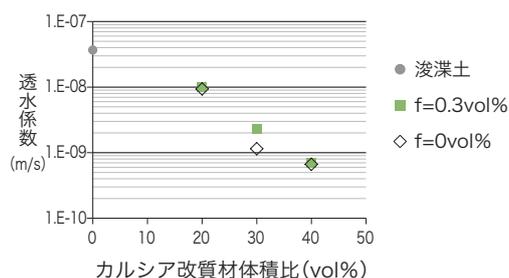


図6 透水試験結果



写真1 施工性確認実験状況



写真2 水中打設状況(勾配1:3)

BOOKS 01

「TSUNAMI」英語版の改訂について

沿岸技術研究センターにおいては、2004年に発生したインド洋大津波を契機に、津波に関する我が国の知見を広く発信することを目的として、津波から生き延びるための知識等をまとめた「TSUNAMI—津波から生き延びるために」を2008年に出版しました。

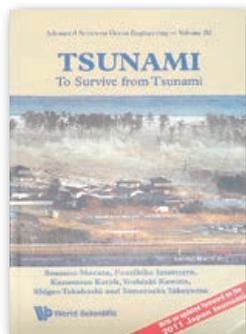
その後、2009年にインドネシア語版、2010年に英語版等の出版事業にも取り組み、海外における我が国の津波に関する知識と対応策の普及に努めてまいりました。

それ以降においても、2011年に発生した東日本大震災を含め、大きな津波災害が起きていることから、これらの津波災害の経験や教訓を大幅に追記・充実させ、改訂版「TSUNAMI—津波から生き延びるために」を2016年に出版しました。

今般、同改訂版の英語版を出版することとなりました。通常の日本の書店では販売されていないので、購入をご希望の方は、外国語本を取り扱っている書店、或いは、お手数ですが直接下記出版社にお申し込み下さい。

出版社：World Scientific <http://www.worldscientific.com>

出版時期：2018年3月頃



改訂前の英語版表紙

NEWS 02

コースタル・テクノロジー 2017の開催

平成29年11月16日[10:00~17:20]、イイノホール&カンファレンスセンターにおいて、コースタル・テクノロジー2017を開催しました。平成28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、高知工科大学の磯部雅彦学長をお招きし、「高潮防災技術のこれまでとこれから」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。

発表論文につきましては、当センターホームページ(URL <http://www.cdit.or.jp/>)「機関誌CDIT」をご覧ください。



講演される磯部教授



会場の様子

NEWS 01

平成29年度 第1回CDITセミナーの開催

平成29年11月10日(水)事務所の会議室にて、CDITセミナーを開催しました。

セミナーには、海外分野に興味のある方を中心にご参加いただき、活発な質疑応答が行われ盛会のうちに終了しました。

講師：CDIT 上席客員研究員 渥美 千尋 氏

テーマ：「ASEANと日本 ～特に海洋・港湾及び防災分野の協力～」



NEWS 03

「港湾の施設の技術上の基準との適合性を確認する業務」に係る手数料の改定について

平成30年4月1日以降に申請が行われる確認業務の手数料については、改定後の手数料が適用されます。詳細につきましては、当センターホームページ(URL <http://www.cdit.or.jp/>)に掲載しますのでご確認下さい。



NEWS 04

平成30年度
「海洋・港湾構造物 設計士 資格認定試験」の予定

- 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、当センターホームページ(URL <http://www.cdit.or.jp/>)上に掲載します。



NEWS 05

民間技術評価事業・評価証授与式の開催

平成29年11月29日(木)、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29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授与しました。

●新規(2件)



五洋建設株式会社
繊維補強カルシア改質土

●更新(3件)



りんかい日産建設株式会社
管中混合固化処理工法「トルネードミキシング工法」



黒沢建設株式会社 株式会社ケーティービー殿
全素線二重防錆PC鋼より線「Ducst」



JFE スチール殿 東亜建設工業株式会社殿
新日鐵住金株式会社殿
鉄鋼スラグ水和固化体製人工石
1) フロンティアストーン 2) フロンティアロック

●部分変更(1件)



株式会社クボタ
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手



黒沢建設株式会社 株式会社ケーティービー殿
KTB 荷重分散型本設アンカー

上記の2件の新規技術につきましては、本文の32～35ページで内容を紹介しております。

第19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っております。

第19回の表彰式は平成29年7月27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	建設機械の自動化による次世代の建設生産システム	鹿島建設(株)
優秀賞	国土交通大臣	供用中の栈橋を効率的に耐震補強する工法	あおみ建設(株)
		平成の国宝姫路城大天守保存修理	鹿島建設(株)
		ネットワーク対応型無人化施工システム	(株)熊谷組
入賞	選考委員会委員長	総合洪水解析システム(IFAS)	(国研)土木研究所
		シャフト式遠隔操縦水中作業機	大成建設(株)
		橋梁の耐震性能を向上させる皿バネ式摩擦型ダンパー	(株)大林組
		カルシア改質土による大規模埋立技術	新日鐵住金(株) 五洋建設(株)
創意開発技術賞	国土交通大臣	水路の敷段差を不要とした無動力自動開閉ゲート	旭イノボックス(株)
		コーティングと化学処理を融合した防滑技術	(株)ニーズインターナショナル
		繰り返し注入型地山補強土工法	ライト工業(株)
		アプリ「減災教室」	岐阜大学教授 高木朗義 (一社) Do it Yourself

海洋・港湾構造物維持管理士会(MEMPHIS会)第13、14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講演会および現場視察が平成29年度9月21・22日に第13回(大阪)、平成29年度12月4・5日に14回(下関)として開催されました。各講演会には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14回講演会(下関)のプログラム

- 13:15~13:30 開会挨拶
海洋・港湾構造物維持管理士会
- 13:30~14:10 講演
「下関港の現状について」
国土交通省九州地方整備局 下関港湾事務所長
櫻井 義夫 様
- 14:10~14:50 講演
「関門橋および関門トンネルの維持管理について」
西日本高速道路株式会社 本社 技術本部 技術環境部長
福永 靖雄 様
- 14:50~15:00 (休憩)
- 15:00~15:40 講演
「港湾施設の維持管理支援システム CASPort の紹介」
一般財団法人港湾空港総合技術センター
建設マネジメント研究所 ライフサイクルマネジメント
戦略室長 兵頭 武志 様
- 15:40~16:20 講演
「塩害劣化した栈橋PC杭および上部工の補修事例の紹介」
東亜建設工業(株) 土木事業本部 エンジニアリング事業部
シビルリニューアル事業室長 川島 仁 様
- 16:20~17:05 講演
「構造物の維持管理へのSIFT特徴量を用いた画像解析の適用の試み」
関西大学 社会安全学部 教授 一井 康二 様
- 17:05~17:15 閉会挨拶
一般財団法人沿岸技術研究センター

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】

平成30年を迎えました。「平成」が残すところ1年あまりの期限付きであることに当然ながらこれまで経験がなく、何となく戸惑いを感じるのには私だけでしょうか。今号では、災害のたびに異常気象という言葉が頻りに使われる、昨今の沿岸部の減災・防災をテーマとして編集させて頂きました。残す平成の時代、災害が少なく穏やかに過ごせることを願いたいと思います。(Y)

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/>
2018年1月発行