

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

〈CDIT座談会〉

極端化する気象、その沿岸部への影響と適応策

～気候変動に伴う気象・海象の変化による沿岸部への影響の現状と将来予測、その監視と適応策のあり方～

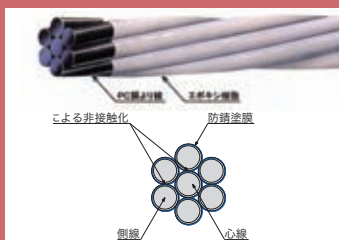
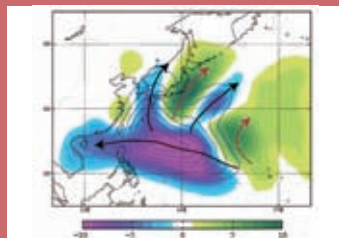
佐々木 淳 氏〔東京大学大学院教授(新領域創成科学研究科環境学研究系社会文化環境学専攻長)〕

眞田 仁 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(沿岸防災技術研究所長) 京都大学名誉教授〕

〈特集〉

極端化する気象、その沿岸部への影響と適応策



Vol.45

表紙写真

読者の皆様に機関誌「CDIT」の発信する情報を、よりダイレクトにお伝えするために、毎号ご紹介する記事内容より写真等の一部抜粋・掲載しております。記事内容ともども毎号新しくなる表紙写真にもご注目ください。

○座談会 P.5	○特集 P.21	○座談会 P.3	○沿岸 レポート P.40
○民間技術 の紹介 P.38	○特別講演 P.37	○特集 P.24	○座談会 P.5
○特集 P.30	○座談会 P.5	○沿岸 レポート P.41	
		○CDIT News P.42	

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

極端化する気象、その沿岸部への影響と適応策

～気候変動に伴う気象・海象の変化による沿岸部への影響の現状と将来予測、その監視と適応策のあり方～

ゲスト

佐々木 淳氏

東京大学大学院 教授

(新領域創成科学研究科 環境学研究系 社会文化環境学専攻長)

眞田 仁氏

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

(沿岸防災技術研究所長) 京都大学名誉教授

12

特集

極端化する気象、その沿岸部への影響と適応策

12

気象の極端化に伴う自然災害の激甚化と適応策

磯部 雅彦 高知工科大学 学長

16

沿岸部における気候変動の影響及び適応の方向性

山形 創一 国土交通省 港湾局 海岸・防災課 広域連携推進官

20

気候変動の沿岸災害への影響

森 信人 京都大学 防災研究所 准教授

24

気象庁による沿岸・海洋の観測と防災気象情報

気象庁 予報部/地球環境・海洋部

28

COMEINSによる気象・海象の監視・予報

(波浪情報部発足から20年)

一般財団法人 沿岸技術研究センター 波浪情報部

32

最大クラスの高潮を想定することの必要性

高山 知司 一般財団法人 沿岸技術研究センター 参与 (沿岸防災技術研究所長) 京都大学名誉教授

36

特別講演 コースタル・テクノロジー 2015

気候変動と適応策 ～我ら共通の未来は描けるか?～

三村 信男 茨城大学 学長

38

民間技術の紹介

全素線塗装型PC鋼より線【SCストランド】

黒沢建設株式会社/株式会社ケーティービー

40

沿岸レポート

第14回 国際沿岸防災ワークショップの報告

川原 修 一般財団法人 沿岸技術研究センター 主任研究員

41

第3回 日韓沿岸技術研究ワークショップ (The 3rd KIOST-PARI-CDIT-WAVE Joint Workshop)

田中 真史 一般財団法人 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

42

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28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年の設立以来、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まいりました。今年は創立33年を迎えることとなりますが、関係各界の皆様方の暖かいご支援、ご協力に改めて感謝を申し上げます。

さて昨年は、9月に発生した関東・東北豪雨により、茨城県常総市において鬼怒川の堤防が決壊するなどの大規模な洪水が発生し、また、鹿児島県の口之永良部島の噴火や箱根において群発地震が発生するなど、引き続き大規模な自然災害に見舞われた年でした。我が国は、毎年大規模な自然災害の襲来を受けていますが、特に近年は、地震や火山活動が活発化する一方、台風などによる降雨や暴風・突風が激しさを増しており、従来の常識をはるかに超えた規模の災害が世界的な規模で発生しています。東日本大震災の発生からもうすぐ5年を迎えますが、南海トラフ地震の発生が予想されるなど、引き続き自然災害に対する防災・減災の重要性が指摘されています。そのような中で沿岸技術研究センターが取り組む、沿岸域及び海洋の開発、利用、保全及び防災に関する技術の重要性がこれまで以上に増大してきており、その責務も重大なものとなってきていると考えております。東日本大震災の被災地の方々を含め、被災を受けられた皆様には改めてお見舞いを申し上げ、また一日も早い復興が果たされますことを心より祈念申し上げます。

一方、景気の動向は、雇用の改善や賃金の上昇など明るい兆しが見えてきました。昨年10月にはTPPの交渉が大筋合意に達し、域内における輸出入の拡大などの経済

効果に期待が高まっております。また、昨年は、ノーベル生理学・医学賞を大村智・北里大学特別栄誉教授が、物理学賞を梶田隆章東京大学宇宙線研究所所長が受賞され、ラグビーのワールドカップで日本代表が華々しい活躍を見せるなど、多くの明るい話題もありました。今年はリオデジャネイロでオリンピック・パラリンピックが開催されますが、その次の2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催に向けても準備が本格的に開始されています。

昨年12月には、国連気候変動枠組み条約第21回締約国会議(COP21)において、2020年以降の地球温暖化対策の新枠組み「パリ協定」を採択し、条約加盟国のすべてが参加するという歴史的な合意を行いました。パリ協定においては、世界の気温上昇を産業革命前から2度未満に抑えることを目標とし、国際社会全体で温暖化対策に取り組むこととしており、我が国においても脱炭素社会の構築に向けて、再生可能エネルギーの導入など様々な施策に取り組む必要があります。地球温暖化に伴う沿岸防災体制の強化と併せて、沿岸技術研究センターとしても積極的に取り組んでいく課題と考えております。本年も、沿岸技術研究センターは「官・学・民」の技術力を結集し、沿岸域及び海洋に関する技術の益々の進展に大いに力を発揮し、併せて国際社会にも貢献していくべく努力を重ねてまいります。

最後に、平成28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、今後も当センターへの変わらぬご支援、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。



新年のはじまりに当たって

石井 啓一 国土交通大臣

平成28年の新春を迎え、謹んでご挨拶を申し上げます。

昨年10月に第3次安倍改造内閣が発足し、国土交通大臣を拝命しました。今年も国土交通行政に対する皆様の変わらぬご理解とご協力をお願い申し上げます。

さて、昨年も、9月の関東・東北豪雨など、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、被害に遭われた方々に心よりお見舞い申し上げます。被災地の皆様が、1日も早く元の暮らしを取り戻して頂けるよう、引き続き総力を挙げて取り組んでまいります。

東日本大震災の被災地では復興への確かな歩みが見られますが、今なお多くの方々が避難生活を続けておられます。今年3月には震災から5年が経過し、4月からは、「復興・創生期間」という新しいステージが始まります。復興の一段の加速化を図り、「実感できる復興」へとしっかりと取り組んでまいります。

大きな自然災害を始め、様々な事件があった昨年でしたが、「一陽来復」を願い、今年1年が丙申（ひのえさる）に相応しい、様々な事柄が前進していく年になるよう、国土交通行政を前に進めていきたいと考えています。

まずは、観光です。昨年、訪日外国人旅行者数が1900万人台に達し、2000万人という目標達成が十分視野に入ってきました。政府を挙げて、次の時代に向けた新たな目標の設定に関する議論も始まりました。その達成に向け、官民総力戦で、受入環境の整備など観光立国の実現に向けた取組を推進してまいります。

また、我が国は人口減少時代を迎えましたが、社会のあらゆる生産性を向上させることで、経済成長を実現していくことができると思います。

そのため、まず、これまでの社会資本整備の進め方を大きく転換し、「賢く投資・賢く使う」インフラマネジメント戦略へ転換してまいります。わずかな投資で過去の投

資効果が開花する「ストック効果開花プロジェクト」への重点投資や、社会資本整備のあらゆるプロセスにICT等を導入して生産性を高める「i-Construction」などを進めます。また、建設産業やトラック事業など、今後中長期的に人手不足が懸念される産業界においても生産性が向上する様々な施策を講じます。私は、今年を「生産性革命元年」とし、国土交通省の総力を挙げて、生産性革命に向けた取組を進めたいと考えます。

さらに、一億総活躍社会の実現も大きな課題です。国土交通省としては、三世帯同居・近居への支援、高齢者向け住宅の整備加速などに取り組んでまいります。

我が国の国際競争力の強化や成長戦略の実現を通じて、経済成長を促進していく必要があります。

東京、大阪など日本の経済を牽引する大都市においては、世界に引けを取らないビジネス環境・居住環境の整備により、国際競争力を大きく高めてまいります。

三大都市圏環状道路、新幹線・都市鉄道、国際コンテナ・バルク戦略港湾、大都市拠点空港など、国際競争力強化に必要な人流・物流を支える交通ネットワークの整備や機能強化を着実に進めてまいります。

国際コンテナ戦略港湾については、京浜港において今年度内の港湾運営会社の設立に向けた検討が進められているなど、「集貨」「創貨」「競争力強化」を三本柱とするハード・ソフト一体となった施策を講じてまいります。

今年、国土交通省は発足から15年を迎えて、これまでの実績を糧とし、新しい時代への挑戦をスタートします。このため、私は、国土交通省の強みである現場力をしっかり活かして、その先頭に立って諸課題に取り組んでまいります。

新しい年が皆様方にとりまして希望に満ちた、大いなる発展の年になりますことを祈念いたします。



極端化する気象、その 沿岸部への影響と適応策

～気候変動に伴う気象・海象の変化による沿岸部への
影響の現状と将来予測、その監視と適応策のあり方～

気候変動とそれに伴う気象・海象の極端化が沿岸部に大きな影響を及ぼしつつある。
本座談会ではその影響や将来予測、さらには適応策について語っていただいた。



佐々木 淳氏

東京大学大学院教授
(新領域創成科学研究科
環境学研究系
社会文化環境学専攻長)



眞田 仁氏

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
(沿岸防災技術研究所長)
京都大学名誉教授



川島 毅(司会)

一般財団法人
沿岸技術研究センター
理事長

はじめに

川島▷今日は海岸工学・環境水工学がご専門の佐々木淳東京大学大学院教授、国土交通省港湾局の眞田仁海岸・防災課長をお迎えし、また当センター沿岸防災技術研究所長を務めていただいている高山知司京都大学名誉教授も交え、「極端化する気象、その沿岸部への影響と適応策」をテーマにお話をお聞きして参りたいと思っています。

さて地球温暖化の問題は国際連合の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)において議論され、世界各国の専門家の協力により、数年(5～6年)ごとに評価報告書が取りまとめられ、公表されています。2014年の第5次評価報告書では、気候システムの温暖化は疑う余地がないこと、その支配的な要

因は人間活動である可能性が高いこと、気候変動はすべての大陸、海洋にわたり、自然及び人間に影響を与えていること等の認識が示されています。

わが国では、これまでも国連の動きを踏まえて国を挙げて地球温暖化に取り組んでおります。国交省では第4次評価報告書を踏まえて、地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方を取りまとめるとともに、第5次評価報告書を踏まえて国交省気候変動適応計画が取りまとめられて、政府全体の気候変動の影響への適応計画に反映したところです。

初めに地球温暖化に起因する気候変動、気象の極端化についてどのように認識しておけばよいのか、今回IPCCの取りまとめた認識のポイントはどのようなことか、また、特にわが国周辺ではどのような気象・海象の変化が見られるのかという全体像について佐々木先生からお願いします。

地球温暖化に起因する気候変動、 気象の極端化についての認識

佐々木▷パリ協定が採択されましたが、これが非常に良いのは途上国を巻き込んでいることです。京都議定書のときは途上国が除外されていました。今回のパリ協定ではアメリカ、ロシアも含めて、すべての国でやっていこうということが共有できたのが非常に良いと思います。特に5年ごとに温室効果ガスの削減目標を国連に出して対策を進めていくことが義務づけられましたので、どう進んでいるかというレビューをしつつ、評価しながら進めるという非常に良い枠組みになったと思います。この中で世界の平均気温上昇を2℃未満に抑えることを前提にして、1.5℃に抑えるようにしようという流れになったのは、特にツバルなど島嶼国での非常に厳しい状況を反映して、少しでも気候変動による海面上昇の脅威を下げようという圧力からだと思います。

そこで、IPCCの第5次評価報告書をベースに、その中での取りまとめの認識、あるいは気象・海象の変化についてご紹介したいと思います。

基本的に環境への影響に関しては、2007年に出された第4次評価報告書から大きな変更点はなく、概ね第4次評価報告書と同様の結果ですが、その間のいろいろな科学的知見の蓄積によって、より確信を持って言えるようになってきたということと、出てくる数値が少し変化しています。

まず大きいところでは、過去100年及び最近の気候変動については、気候システムの温暖化は疑う余地はないと言っています。それから人間の影響が、20世紀半ば以降観測された温暖化の支配的な要因であった可能性がきわめて高く、95%以上だと言っています。第4次のときは90%以上だったので、このあたりの確信度が上がっています。

それから気候変動の予測シナリオをつくるときには、二酸化炭素の排出量、緩和策、経済社会情勢等を考えなければ2100年の予測はできませんが、このシナリオの考え方が第4次と第5次では変わっています。第4次評価では社会経済想定の違いのみで温暖化を考えていましたが、第5次では、温暖化対策を考慮しないベースラインシナリオと2100年時点の目標設定に基づく緩和策を考慮したシナリオに分けて考えられています。

また、前回はなかった新しい知見が人為起源の二酸化炭素の累積総排出量です。工業化以前からの累積的な排出量に着目し、世界の平均気温の応答が、累積的な二酸化炭素の総排出量で決まっているのではないかというデータが出てきたことです。

それによれば2100年に2℃未満に抑えるには820ギガトンカーボンが上限だということが、導かれます。2011年までに



515ギガトン出しているの、残りの余裕は300ギガトンぐらいしかありません。現在は1年あたり約10ギガトンカーボン出していますので、30年で余裕が無くなるという非常に厳しい状況です。ですから、当然ながら緩和策を考えない対応は無理だということになります。

次に気象あるいは海象の変化について少しご紹介します。過去の気温変化は世界平均で、100年で0.85℃上昇しています。日本はもう少し高く100年で1.15℃上がっていると書かれています。

次に海面水温ですが、これは過去100年で、世界平均の海面水温が0.51℃上がっていると書かれています。日本近海はこれよりも高く100年で1.08℃ですから、海面水温上昇のスピードが速いと言えます。

今回のIPCCの報告書は、海面水温に関して詳細な記述あるいはデータがあります。特に水面から700mぐらいまでの海水温が、ここ10～20年で顕著に上がっているということが、グラフで示されています。これは当然熱膨張を引き起こすので、それによる海面上昇が考えられます。

われわれとしては海面上昇が非常に気になります。一番大きい影響は、いまお話しした蓄熱です。それから氷河やグリーンランドの氷床が解ける影響があります。グリーンランドの氷床が全部解けると、海面水位が7m上がるそうです。その次に南極大陸氷床が全部解けると海面水位が60m上がります。これは何万年というオーダーの話だと思いますが、そういうポテンシャルを持っています。

当然どのシナリオを取るかによって変わってきますが、氷河、グリーンランドと南極大陸の氷床が解けるとか、諸々の影響を加味した海面上昇は、一番海面が上昇する可能性のあるRCP8.5のシナリオでは、2081～2100年の平均的な値として0.64mです。

海面上昇への影響は熱膨張が一番効いていて、約42%が熱膨張です。氷河の影響が25%、グリーンランド氷床が20%、

南極氷床が5%です。

気候変動による気象・海象の変化と対応

川島▷ありがとうございました。いろいろな面で影響が表れていますが、全体について具体的な数値も含めてお話しただいたので、イメージがはっきりしました。

高山先生は台風やハリケーン、高潮、高波などについて研究しておられます。その観点から、気候変動による気象・海象の変化に関するお考えをお聞かせ下さい。

高山▷発生頻度は少なくなるけれども台風が巨大化することが言われています。しかし気象庁が1951年から今日まで日本に上陸した台風の上陸寸前の中心気圧を調べたものを見ると、上位10個のうち4個が1950年代です。それから1960年代が3個ぐらいです。1970年代が1個、最近は、1990年代に2個ありましたが、そのほかは入っていません。

ですから、最近台風が大きくなったと言われているが、統計的な資料から見ると、我が国に来襲する非常に大きいものが増えているということではないようです。

農林水産省と国土交通省がまとめた「高潮浸水想定区域図作成の手引き」の中でも、稀にしか起きないような非常に大きな台風に対して温暖化の影響がどうなるかは不明確だから、どう大きくなるかということは考えないほうがいいだろうと言っています。確実に影響してくることになれば、将来それを取り入れて対応することになりますが、現時点では稀にしか起きない大きな台風への気候変動の影響は不明確ですので、いまのところは過去のものを使いましょうということで、わが国に来襲した一番大きな台風である室戸台風を中心にして考えられています。

もう一つの大きな問題は、温暖化による海面上昇で砂浜が侵食されるということです。これはすぐ起きるものでもないし、対応が難しいということもあります。海面上昇を抑えることはできないし、海面上昇は日本全体に広がるので、局所的な対応ではどうにもならないという大きな問題があるという感じがしています。

川島▷ありがとうございました。高山先生から、気候変動の問題は実務に取り入れるまでは至っていないというお話がありました。ここで防災行政を担っている眞田課長のご意見を伺いたいと思います。

国の取り組み状況

眞田▷私からは政府、国交省、港湾局がどのようなことを認識して、どう対応しているかということをまず説明したいと

思います。IPCCの第5次評価報告書が出ましたが、政府全体としては、平成25年3月に地球温暖化対策推進本部で当面の地球温暖化に対する方針を出しています。そして今後避けることのできない地球温暖化の影響への適切な対応、いわゆる適応策を計画的に進めるということが本部で決定されています。

当時は平成27年の夏ごろを目途として、政府の適応計画を策定するという方針になっていました。これを受けて主管の環境省を中心に各省でいろいろな検討が行われました。港湾局の関係では交通政策審議会、海岸の関係では社会資本整備審議会でいろいろな議論が始まりました。平成26年3月には省として環境行動計画を定めて、国土交通省としての適応計画を策定することになりました。

そして最終的に、平成27年11月26日に国土交通省の環境政策推進本部において省としての適応計画をまとめたところです。そして翌27日に政府として初の気候変動の影響への適応計画が閣議決定されました。

閣議決定の概要について申し上げますと、年平均気温は100年あたり1.14℃上昇し、日降水量100mm以上の日数が増加しているという現状認識で、将来予測としては今世紀末の段階で、厳しい温暖化対策を取った場合は気温の上昇が1.1℃、温室効果ガスの排出量が非常に大きい場合は4.4℃となっています。10年間の基本的方向は、できるところから適応策をやっていくということですが、まずはモニタリングが大事だというのは、各省で共通していると思います。いますぐ急に熱帯のようになるわけでもないの、まずはきちんとモニタリングをしていくことが大事です。これが今の政府の考え方です。

気象・海象の変化による沿岸部への影響、予測

川島▷ありがとうございました。ここまでは地球温暖化全体的話、それと実務、政府の取り組みについてお話しいただきました。次に気象・海象の変化による沿岸部への影響、予測ということでお話を伺いたいと思います。

まず佐々木先生から、どういう影響が起こっているのか、今後どういう影響が予想されるのか伺いたいと思います。

佐々木▷まず、どういう気象・海象条件の変化が特に沿岸域に影響を与えるかという、当然ながら海面水位の上昇です。それから高山先生から、台風の最大値に関しては昔とそれほど変わっていない可能性があるというお話がありましたが、最大ではなくても大きめの台風が増加する可能性は、IPCCを見る限りあり得ると言えるかもしれません。

それに伴う風速の増大、あるいは波浪が強大化していく可能性があります。同様に台風による高潮偏差の増大です。河

川の洪水が重なることもあるでしょうし、津波と台風が重なるという複合災害的なものを含めて、極端に高い潮位が発生する可能性が高まるということは言えると思います。

港湾で見てみると、極端に高い潮位の発生による浸水被害が増大する可能性があります。従来は防護されてきたと認識されている堤内地に関しても、既往最大規模の台風プラス海面上昇で、たとえば0.8mという海面上昇を仮定すると、大きな浸水被害が想定され得るという状況です。堤外地はもとも浸水を想定していますが、コンテナの流失や施設の被害は、当然これまでよりも大きくなる可能性があると思います。

防波堤や堤防という海岸保全施設への影響としては、設計条件を超える波高や高潮偏差による被害が増大するのではないかと思います。現在でも、そういうことがときどき起こっています。頻度が本当に上がっているのかどうか、私もよくわかりませんが、将来的には上がっていく可能性があります。

それから建設業の方々と話をすると、防波堤建設時のケーソン設置作業ができる日が非常に減っているそうです。これが温暖化の影響かどうかは、現時点ではわかりませんが、将来的にそういうことが顕在化してくれば、より深刻になると思います。

それから高山先生もおっしゃっていましたが、砂浜や干潟への影響です。これは海岸全般について言えます。海岸侵食は、単に海面上昇分だけ海岸線が後退するのではなく平衡断面地形を形成するためにさらに砂が必要となり、これを陸側の砂で補うためさらに汀線が後退します。こういうメカニズムを考えて、いろいろ計算された結果を参照すると、たとえば海面上昇60cmで日本全国の砂浜の80%以上が消失するという状況です。

また沿岸域の環境への影響ですが、たとえば海水に二酸化炭素が溶けると海水の酸性化が起きて、これが生態系などに非常に影響を与えるということがIPCCでも指摘されています。

わが国でいうと、特に沖縄などの珊瑚の消失の可能性が指摘されています。私もびっくりしたのですが、今回のIPCCの報告書では、2030～2040年には日本の沿岸から珊瑚が消滅するのではないかと予想されています。

それからアマモ場の支配要因は水温がかなり効いていて、水温が高いとだめなんですね。そうすると水温上昇によって藻場が衰退していくということも起こり得るでしょうし、藻場が衰退すると底質の安定性が弱くなってくるので侵食が進みやすくなります。

このように温度変化、あるいは地球全体での海流なども含めた変動による生態系の変化、漁業資源の面での変化についても指摘されています。

地球温暖化による港湾構造物への影響

川島▷ありがとうございました。生態系も含めて、港湾、沿岸への影響をお話いただきました。では高山先生から、近年の海象による沿岸部への影響などをお話したいと思っています。

高山▷港湾構造物としての防潮堤や防波堤の安定性に、地球温暖化がどう影響するかということについてお話したいと思います。地球温暖化によってまずは海面が上昇します。海面が上昇すると水深が深くなり、その分だけ構造物に浮力が作用することになって、構造物の抵抗力が減ります。高潮も海面上昇と似たような感じで、高潮が大きくなると、その分構造物に浮力がかかってきます。それから作用する波力の中心位置が高くなって、構造物そのものが転倒しやすくなります。

海面上昇や高潮は、外力として直接構造物に大きな力を与えて壊すのではなくて、抵抗力を弱めるのですが、台風の規模が大きくなって風が強くなると波浪も大きくなってきて、構造物に大きな力が加わります。

また防潮堤は、波があまり越えることがないように天端高が決められていますが、海面の上昇、また高潮が大きくなることで相対的に天端高が下り、越波量が増えてきます。そうすると背面が浸水し、越波した波によって背後が洗掘されて防潮堤のような構造物が壊れます。また構造物に作用する力が上のほうにかかるので、転倒しやすくなってきます。

先ほど佐々木先生から、最近ケーソンの設置作業がしにくくなっているというお話がありましたが、それは私達も聞いています。特に太平洋岸では、なかなかケーソンが設置できなくなってきたとされています。これは、うねり性の波が入ってくる頻度が高くなってきているからだろうと思います。



す。わが国から離れたところで発生している台風の規模が大きくなって、日本沿岸にうねりがかなり頻繁にやって来ることによるものだと感じています。

温暖化の影響は、われわれが構造物の設計に使っている外力あるいは水深のような条件を大きく変えることになります。われわれが想像できないような、大きな浸水が起きることにもなります。特に防潮堤が壊れてしまうと、高潮がそのまま陸上に浸水して被害が大きくなるので、こういう面を何とかしなければいけないと考えています。

川島▷ありがとうございます。佐々木先生、高山先生から、気候変動の影響のお話を伺いました。国交省では気候変動の沿岸部への影響をどう認識されているのでしょうか。具体的な影響はいかがでしょうか。また沿岸防災などの観点から、これまでの取り組みについてもお聞かせください。

気象・海象のモニタリングをしていくことが一番大切

眞田▷平成27年は1～12月のすべての月に台風が発生してニュースになりましたが、基本的の上陸数などについて目だった変化が起きているわけではないと思います。ただ西暦2000年ぐらいから、高潮浸水被害が発生した台風がずいぶん多くなっています。かつての伊勢湾台風や室戸台風のような大水害にはなっていませんが、局地的にはそれなりに大きな被害が出ています。

私どもとしては、長期的に潮位の観測を行うことが非常に重要で、これからも続けていかなければいけないと思っています。まずはきちんと気象・海象のモニタリングをしていくこと、そして市民への情報提供も大事なことだと思っています。

これまでの取り組みで、観測以外にハード的に着手したものは基本的にはありませんが、気候変動を抜きにしても、まだ高潮、侵食対策ができていない海岸、港湾が多くあります。防潮堤、防波堤の整備がまだまだ遅れているところがありますので、それを確実に、早く実施したうえで将来の気候変動にどう対処するかということになると思います。現場の感覚からいくと、まずは既往の施策の推進が非常に重要です。また港湾局としては、命を守るのは当然のことながら港湾の背後には物流・産業空間がありますので、社会経済の壊滅的な被害をどう回避するかが非常に重要なことだと思っています。強化した台風等による高潮をハードで完全に防御することはなかなかできませんので、被害を最小限に抑えるためのBCPの策定や、タイムラインを考慮して事前に情報提供を行うことによりコンビナートの操業を早めに停止してもらう、あるいは臨海部堤外地では高潮が来る前に従業員や来訪者に避難してもらう等のソフト対策が重要になります。

気候変動に対する沿岸部における適応策

川島▷ありがとうございました。気候変動に対する沿岸部における適応策のほうに話を進めたいと思います。佐々木先生が検討された適応策の目標と方向性についてお聞かせ願いたいと思います。

佐々木▷まず適応策の目標と取り組みの方向を簡単に申し上げます。適応策の目標としては、堤外地あるいは堤内地における高潮などの極端に高い潮位の発生などによって起こる災害リスクの増大を抑制すること、港湾活動そのものをしっかりと維持していくこと、の2点を大きな目標ととらえています。

大きな取り組みの方向としては、後背地の重要度に応じた防護水準を設定することです。特に気候変動でいうと、高潮や高波が一番問題になるとは思いますが、日本全国の海岸堤防などの天端高の支配要因は、津波が23%、高潮が75%ですから、多くのところでは高潮が支配要因になっています。その意味では対象延長が非常に長いので、津波対策のようにはいかない可能性があると思います。

ただ一方で、本当に必要とする天端高がそれぞれの地域でどの程度足りないのかを精査してみると、津波ほど厳しくないところも多々ありますので、まずは気候変動なども含めた将来予測のうえで、それに対して現状の天端高がどう位置づけられ、評価されるかということを、しっかり認識しておく必要があるだろうと思います。

それから防波堤、堤防などの老朽化が非常に問題になっています。あるいは耐震化についても不十分なところが多く、これも喫緊の課題になっています。これらの改良、更新のタイミングで、どう考えるかということも大事だと思います。

例えば天端高に関しては、必ずしも高くするというのではないけれども、将来高くしなくてはいけない状況になったときに比較的小さなコストでできるように、例えばあらかじめマウンドをしっかりとつくっておくことが重要ではないかという話があります。

また短期的にはハード対策だけではどうにもならないところがあるので、中長期的な戦略が必要ですが、そのときにはどうしても優先順位を考えなくてはいけないし、3大湾をはじめとして、コストベネフィットをしっかりと考えてやらざるを得ない局面が来ると思います。そこをどういう考え方でやっていくかというのは、今後しっかり検討する必要があると思います。

もう一つは東日本大震災でも困ったのですが、建設業が衰退して、なかなか工事ができないということが起きています。今後少子高齢化になると、ますますその傾向が強まります。特に地方を護るということからすると、「建設業は地域のお医者さん」というイメージで、いまの時点では問題がなくて

も、ちゃんと維持できるような体制をそれぞれの地方でしっかりと確保していくということへの配慮が必要です。

国の立場からの取り組みと課題

川島▷ありがとうございました。佐々木先生から担い手確保の課題も含めてお話いただきました。今度は国の立場で、眞田課長から沿岸分野における取り組み、今後の課題についてお話したいと思っています。

眞田▷基本的には佐々木先生からお話いただいたことに尽きます。気象・海象のモニタリング、海岸保全施設の選択的な整備、もしくは将来を見越した手戻りにならないような戦略的な整備があってもいいのではないかと思います。また担い手の話は、気候変動とともに老朽化対策においても大きな課題です。

われわれがどんなことを検討しているかもう少し細かい話をしますと、たとえばコンテナターミナルのクレーンの逸走です。台風が近づくことは完全に予見できます。最近は低気圧が急に発達することもあるので、これは予見しにくいのですが、クレーンの逸走については、マニュアルを徹底することで相当防げるのではないかと思います。

また基本的に防災関係の構造物は非生産的施設なので、企業としても投資しにくい部分です。でも企業が被災すると「やっぱり必要だった」という話になるので、後顧の憂いがないように、国土交通省では、税制改正の要望を行うとともに法律改正をして無利子貸付制度を創設するなどの施策を進めています。企業に重い腰を上げてもらうにはどうしたらよいか、これからも施策を深化させていきたいと思っています。

川島▷ありがとうございました。沿岸部の適応策ということでお話を伺いました。当センターは港湾・海岸施設の技術的な検討を主要業務の一つとしていますが、施設への外力や構造の見直し、あるいは設計外力を超えた作用を受けた場合の粘り強い構造の開発などについて高山先生からお話を伺いたいと思います。

高山▷佐々木先生や眞田課長が言われたように、高潮と津波は違うんですね。津波の場合はいつ起きるかわからない。突然起きて避難しなければならない。でも高潮の場合は台風の進路も予測できるし、規模もだいたい予測できて、いつ、どういうものが起きるかわかっているの、情報さえ流せば避難できると思います。台風が近づいてきたら、どの地域でどのぐらいの浸水が起きるのかという情報をきちんと伝えて避難する体制を取ることが一番重要だという感じがします。

港湾の構造物についていうと、高潮から守るために、その地域における既往最大のもので設計して構造物をつくってきたわけですが、今後はそれを超えるものが来る可能性があります。

ます。やはり津波の場合と同じようにレベル1として構造物の設計対象にするものと、最大クラスの高潮というレベル2の2段階で考える必要があるのではないかと思います。

防波堤は港内を静穏にして荷役を容易にするための施設です。防波堤そのものが高潮を防御しているわけではないし、それを目的とするものではありません。だから高潮が来たときは、高潮防波堤は別にして、普通の防波堤では水位がそのまま上昇していくでしょうが、波を抑える構造物なので、水位は上がっても港内に波が入るのを低減させるという面で浸水を抑える機能はあると思っています。

でも高潮によって水位が上昇すると同時に作用する波も大きくなって、防波堤本体が直接被災しなくても防波堤を被覆している消波ブロックが被災する可能性がある。消波ブロックが飛散すると、局所的に衝撃的な波力が作用する。その結果、防波堤本体が被災して、港内に大きな波が進入してきて、浸水被害が急激に拡大する、こういうことが判ってきました。

つまり防波堤そのものは波を防ぐ構造物であって、高潮を防ぐ構造物ではないけれども、それがあつた状況において被災すると港内の被害を格段に拡大してしまうため、そのようなことが起きないように何らかの対策が必要だと思います。

特に大阪湾や伊勢湾、東京湾の3大湾の沿岸では、地下空間が高度に使われています。その地下空間は地下鉄などでみんなつながっているの、全体的に波が超えることがなくても、局所的に超えた水が地下空間に入っていく可能性が大きく、その面では港湾あるいは埋め立て地の地形で局所的に越波がどう変わるか、その技術的な検討が非常に重要になります。この点がいまの技術で十分な検討が行われていないと思っています。

気候変動適応策に必要とされる技術的な取り組み

川島▷先ほど、佐々木先生から、モニタリングをしっかりやるというお話がありましたが、現場としては具体的にどのようなのでしょうか。

高山▷私自身はレベル1の高潮に対応して造っておけば、レベル2の高潮が来たときも、構造物が壊滅的に壊れない限り、災害が極端に大きくなることはないのではないかと思います。

通常はレベル2の高潮が来たときに外力が大きくなるので、これで壊れることによって浸水量が急激に大きくなって被害が増大すると思います。でも、構造物がある程度天端を保って、機能が維持できていれば、浸水がないとまでは言えなくても、かなりのところまで抑えられるのではないかと感じています。だから最大クラスの高潮に対応した天端高にして越流を抑えることはしなくてもいいのではないかとこの感覚は持っています。



眞田▷3大湾の港湾海岸の防潮堤は基本的にコンクリート構造の胸壁で造っていますから、地震は別として相当な波力が働かない限り倒れることは無いと思います。あとは越波と越流です。そういう意味では、若干高さが足らなくて背後が浸水することはあっても、壊滅的な背後への被害はないと思います。

もう一つは、防潮ラインではどうしても水門や陸閘を造らざるを得ないのですが、ああいうものをどうしていくかという問題です。耐用年数の問題もありますが、造り替えるのは大変です。真剣に気候変動適応策をすれば、こうした技術的な取り組みも欠かせません。既存のトレンドの中でやろうとすると、どこかで無理が来るような感じがします。

高山▷私自身は、いまの高潮対策も3大湾では伊勢湾台風を契機にそれぞれ既往最大のものを使っているの、その構造物さえ壊れないように造られていれば、それより大きなものが来ても壊滅的な被害になることはないと思っています。ただ、例えば前面で波を抑えている防波堤が被災して港内に直接波が入ると、当然背後の防潮堤は、そのような波が来ないことを前提に設計されているので壊れてしまいます。だから「護っているものが壊れたら、どのような被害が起きるか」を、きちんと予測しておくことが一番大事だと思います。

川島▷ありがとうございました。温暖化の適応策ということでお話いただきましたが、緩和策も含めて、われわれが今後取り組むべき課題や方向性について、佐々木先生からコメントをお願いします。

港湾のグリーン化、ブルーカーボン

佐々木▷私自身は比較的環境寄りの仕事が多いので、そのあたりも踏まえてお話しします。まず大きな話として、電力のエネルギー生産の効率化や再生エネルギーの導入促進ということがあります。すでに港湾局でも取り組まれている港湾のグリーン化です。

船舶からの温室効果ガスの排出削減とか、港で風力発電などの自然エネルギーを導入して、それで電力を賄うということは、すでに実行されつつあると思います。当然これはコストがかかるので、本当にやったほうがいいのかどうかを見ながらやっていく必要はありますが、検討はどんどんしていくべきだと思います。

もう一つ、よく話題になるのがブルーカーボンです。これも港湾局でいろいろ検討されていますが、たとえば藻場とかマングローブは炭素を貯蔵する機能があります。

従来、港や湾域は二酸化炭素を出す方向だと考えられていたのですが、必ずしもそうではなくて、港湾の中での植物の吸収効果が勝る場合もあります。そうだとすると、沿岸域をそういう方向にしていくと、環境的にも良い方向に向かいます。だから効果は微々たるものだとしても、そういう方向に持っていくのは環境再生などにも資すると思います。

環境再生も含めて海面上昇への対応を中長期的に考えると、わかりやすい話はマングローブです。マングローブは静穏域をつくって、土壌が堆積して、だんだん地盤が上がっていくという効果があります。それが海面上昇のスピードに勝れば、国土を持続的に維持できる可能性があると思います。高潮や高波に対しても、ある程度の減災効果が期待できます。そもそもマングローブの再生自体、国土を守るとか、漁業資源に結びつくという目的がありますが、一方で二酸化炭素を吸収して緩和効果があるということで、本来の目的とは別のところでも効果があります。これはコベネフィットと呼ばれ、一石二鳥の効果があるという考え方です。沿岸域にはそういうものがいろいろあり、環境、利用、減災とうまく組み合わせることで、様々なコベネフィットの考え方が生かせるのではないかと思います。

川島▷沿岸センターにおいても沿岸防災は大事な課題です。また維持管理、海岸、港湾施設の技術的な検討、経済面、安全面の研究、波浪情報の提供等、総力を挙げて取り組みたいと思います。佐々木先生からあった環境再生の話は、WAVEさん等と協力して頑張っていかなければいけないと思います。本日は大変ありがとうございました。





気象の極端化に伴う 自然災害の激甚化と適応策

磯部 雅彦 高知工科大学 学長

気候システムの温暖化が自然および人間社会に大きな影響を与えている。本稿では、特に沿岸域に対する影響と適応策について紹介いただいた。

IPCC第5次評価報告書

2013年から2014年にかけて、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は第5次評価報告書を取りまとめ、公表した。それによれば、気候システムの温暖化は疑う余地がなく、人間による影響が近年の地球温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高く、自然および人間社会に影響を与えているとされている。

地球温暖化が沿岸域に与える影響は大きい。その影響の伝播経路の中で最も重要なものの一つが海面上昇である。地球温暖化により氷河や氷床などの陸上の水分が融解して海に出れば海面上昇が起こる。また、海水の温度上昇による体積の膨張ももう一つの主要な原因である。海水の熱膨張率は20℃において2/10,000程度であり、この数値は小さく感じるが、1年という時間スケールでの海洋の表層混合層の厚さ約100mに対しては、1℃の上昇で2cmの海面上昇が起こることになる。仮に、100年という時間スケールで2℃の温度上昇が500mまで伝わったとすれば20cmとなり、かなりの大きさである。これに陸上の氷の融解分を含めて考えれば、IPCCの予測値が直感的にも受け入れやすい。IPCCでは、温室効果ガスの様々な排出シナリオに対して予測値を提示しているが、気温上昇は0.3～4.8℃、海面上昇は26～82cmとなっている。

沿岸域における地球温暖化への適応策

地球温暖化は集中豪雨や台風の強大化をもたらすと考えられている。気温の上昇は蒸発散を増加させ、陸域を乾燥しやすくして干ばつの可能性を高めると共に、大気中に蒸発した水分は地形に応じて降水となり豪雨をもたらす可能性が高い。また、海水温の上昇は海水の蒸発に伴う気化熱としての台風のエネルギーを増大させ、強大化を招く可能性がある。こうした気象の極端現象の激化については、本特集でも森がその研究の最前線

を紹介している。

近年の気象の極端現象を見ると、2005年米国のハリケーン・カトリーナ、2007年バングラデッシュのサイクロン・シドル、2008年ミャンマーのサイクロン・ナルギス、2013年フィリピンの台風ハイランなど、多くの強い台風が起こっている。日本においても、戦後から1950年代に続いた強い台風の頻繁な来襲の後、1960年代から1980年代には比較的静穏な時代があり、その後史上最高波高が測定された2004年の台風23号を始めとして、1990年代から再び強大な台風の来襲が頻繁になっている。また、2011年のタイの洪水や、2015年の台風18号による鬼怒川洪水などの洪水も激化している。これらは地球温暖化の進行と整合するものであり、因果関係には議論の余地があるものの、気象の極端現象の激化に備える必要に迫られている。

台風の強大化は、高潮や高波を通じて沿岸域に特に大きな影響を与える。まず、高潮の要因の一つである、気圧の低下による海水面の上昇(吸い上げ)は、台風中心の気圧の低下量(気圧深度)に比例し、1hPaあたり約1cmである。次に、沖から風が吹く場合には、海面の摩擦力によって岸に向かって海水面の勾配ができ、それによって沿岸の海水面が上昇する(吹き寄せ)。台風域内の風速は、中心から周辺に向かう気圧の勾配(気圧傾度)に、コリオリ力と遠心力がつりあうように決まるのが基本であり(傾度風)、その他摩擦力などによって変化する。傾度風を与える式から、台風で考えられる広い範囲の条件に対して、傾度風は台風中心での気圧の低下量(気圧深度)の平方根にほぼ比例することがわかる。したがって、摩擦を考慮した海上風もほぼこれに比例する。さらに、海面の摩擦力は海上風の自乗にほぼ比例することから、気圧深度にほぼ比例することになり、吸い上げと同様の比例関係となる。したがって、高潮による海水面の上昇量(高潮偏差)は台風の気圧深度にほぼ比例すると言える。比例定数は外海、内湾など地形によって大きく異なるが、



東京湾奥では3ないし4 (cm/hPa)程度であり、10hPa低下すると、30、40cmの高潮偏差の増加を見込まなければならない。

高波についても、SMB法に基づく簡便な推算式に基づいて考察すると、有義波高は気圧深度と台風の規模(代表半径)のそれぞれの平方根に比例することがわかり、気圧深度の増加率に比べて有義波高の増加率は緩やかである。しかし、波のエネルギーは波高の自乗に比例することから、気圧深度にほぼ比例することになり、さらにエネルギー輸送速度(パワー)は、波の周期がやや長くなる(気圧深度の1/6乗に比例)ことから、それよりもやや大きな割合で増加する。

なお、砂浜など地形条件によっては重要になる、砕波による汀線での水位上昇(ウェーブ・セット・アップ)は、有義波高にほぼ比例することから、気圧深度の増加に対してはその平方根程度に緩やかに増加することになる。

以上を概括すれば、台風の気圧深度の増大に対して、高潮偏差はほぼ比例して増大し、高波は平方根にほぼ比例して増大すると見ることができる。つまり、たとえば、台風の気圧深度の10%の増加に対して、高潮偏差は約10%増大し、波高は約5%増加する。

地球温暖化の沿岸域への影響

地球温暖化にともなう海面上昇や台風の強大化が懸念され、これらが起これば沿岸域の諸現象全般に大きな影響を及ぼすことは間違いない。そして、特別な事象に対しては、影響が大幅に増幅されることになるので、特に注意が必要である¹⁾。

その一例が海岸護岸・堤防への打ち上げ高の増大である。図1の下側のように、海岸護岸のような海岸保全施設の天端高は、設計潮位(高潮時の潮位)に打ち上げ高を加え、若干の余裕高を考慮して決定される。ここで、台風の条件が同じで設計波高が同じであったとしても、上側のように海面上昇によって堤脚水深が増大したとする。堤脚部が砕波帯にある場合には、入射波浪は沖側で砕波し、堤脚部の波高はそこの水深によってほぼ決まるから、堤脚水深が増大した分だけ、堤前波高も増大する。その結果波の打ち上げ高も増大することになるが、条件によ

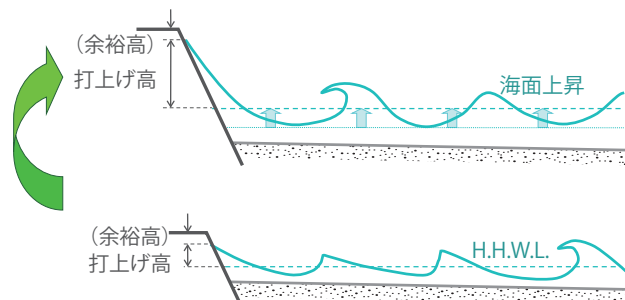


図1 海面上昇による打ち上げ高の増大

て(特に法面勾配が鉛直と水平の中間の、たとえば5割勾配などの場合)この増大分は、海面上昇による水深の増大分の2倍以上にも増幅され、海面上昇分を加えれば3倍以上にもなる。

表1は、これを具体的に例示したものである。最下段は60cmの海面上昇に、10%の台風の強大化(気圧深度の増加)を加え、約5%の設計波高の増大を含めたものである。このように、たとえ60cmの海面上昇であっても、それだけで1.83mの天端の高上げを必要とすることになるし、10%でも台風の強大化が加わると2.36mの高上げが必要になる。このように、地球温暖化は、その影響の伝播過程で増幅される場合があり、適応策を考える場合には十分注意が必要である。

続く例として、越波量の増大が挙げられる。図2のように、護岸や堤防の天端高は、越波量が背後の利用に支障をきたさないように決定されるので、少しの海面上昇でも、許容越波量をはるかに超える越波量を生じさせる危険性がある。表2は、表1と同じ地球温暖化の仮定に対して、越波量の変化を試算したものである。当然、越波量は数倍から1オーダー以上増加する。この場合、海面上昇の影響が非常に大きいことも当然ながら、最下段に示すように設計波高の増大が越波量を激増させる。これは、背後地の歩行を妨げたり、道路・鉄道交通を遮断してし

表1 温暖化にともなう高潮時の打ち上げ高の上昇(例示)

海面上昇 (cm)	堤脚水深 (m)	有義波高 (m)	有義波 周期(s)	波の打ち 上げ高 (m)	堤脚地盤 高からの 打ち上げ 高(m)	現状との 差(m)
0	2.42	4.2	6.6	5.75	8.17	
30	2.69	4.2	6.6	6.40	9.09	0.92
60	2.96	4.2	6.6	7.04	10.00	1.83
60	3.16	4.4	6.7	7.37	10.53	2.36

表2 温暖化にともなう高潮時の越波量の増加(例示)

海面上昇 (cm)	堤脚水深 (m)	相対天端高 (m)	有義波高 (m)	越波量 (m ³ /m hr)
0	2.42	7.58	4.2	0.2
30	2.69	7.31	4.2	0.8
60	2.96	7.04	4.2	2.2
60	3.16	6.84	4.4	9.1

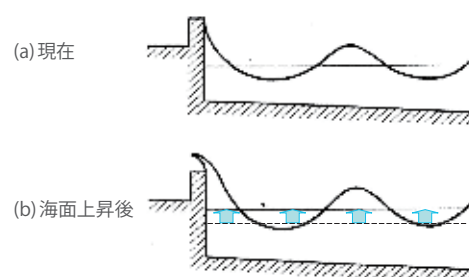


図2 海面上昇による越波量の増大

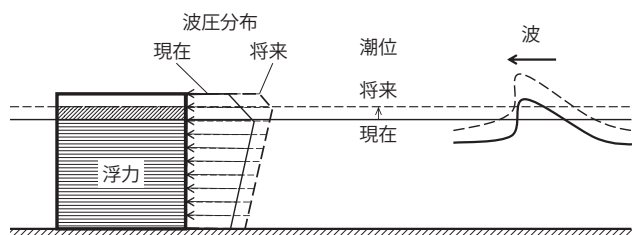


図3 海面上昇による防波堤の滑動安定性の低下

まうことになり、港湾機能のボトルネックとなり得る。

さらに防波堤などの外郭施設に対する影響も深刻である。図3を見ればわかるとおり、海面上昇によって水深が増せば、一方で浮力が増大し正味の自重が減少して、摩擦抵抗力が減少する。他方で、水深が増したことによって波圧分布が変化するが、特に防波堤が碎波帯内に設置されている場合には、堤前波高が増大するために波力が増大する。その結果として、防波堤の活動安定性などが低下することになる。

砂浜の消失も深刻な影響の一つである。図4のように、まず初めの太矢印のように、海面上昇により汀線位置が点Aから点Bまで陸側に移動するのは当然である。しかし、このままでは新たな汀線を基準とした縦断地形が、現状の汀線を基準とした縦断地形と違ってしまふので、波と底質粒径によって決まる平衡地形の条件を満たさなくなる。そこで、砂の総量を一定として平衡地形になるためには、さらに岸側の砂が侵食され、沖

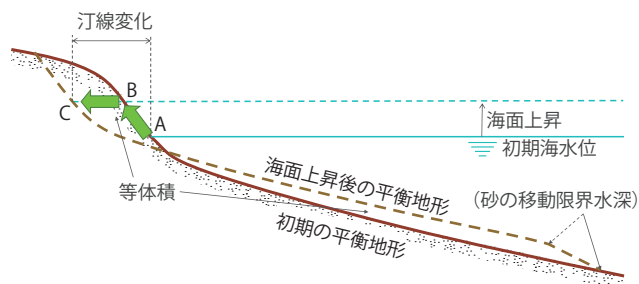


図4 海面上昇による海岸侵食

側に堆積するようになる。これで、海面上昇に対応した平衡状態が得られるが、この結果として汀線は点Aから点Cまで大幅に後退することになる。三村ら²⁾によれば、海面上昇量30cm、65cmおよび1mのそれぞれに対して失われる砂浜は全体の57%、82%および90%であり、深刻さが理解できる。

以上を含む様々な地球温暖化の影響を伝播図として取りまとめたものが図5である。地球温暖化は徐々に起こるものであるが、その影響は広範囲の地域に及ぶために、短期間には適応策を実施しきれないので、十分計画的に適応策を講ずる準備をする必要がある。

沿岸域における地球温暖化への適応策

地球温暖化とその影響には、長期間に徐々に進行する、不確実性が残る、影響が多地域・多項目にわたる、などの特徴がある。その中で適切に適応策を策定し、実行しなければならないので、

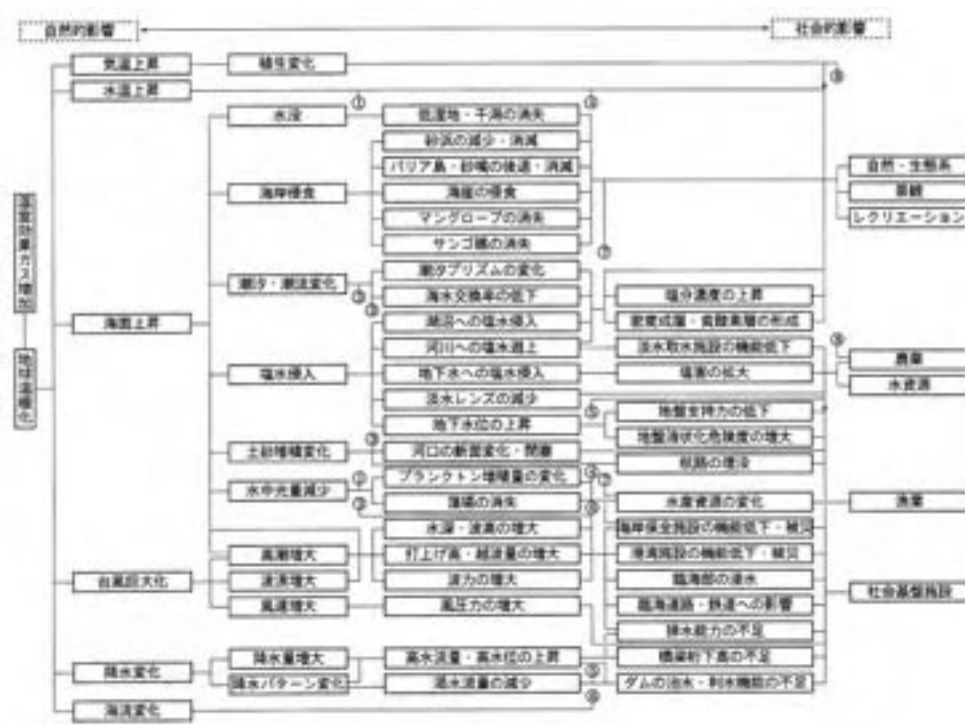


図5 地球温暖化の沿岸域への影響伝播図



時間的手順が特に重要である。具体的には、モニタリングによる事実把握、リスク管理の手法の導入、予防的・多目的な措置の実施、段階的な実施などが挙げられる。

モニタリングの重要性は言うまでもない。特に、平均海面の変化に関しては、日本付近はプレート運動にともなう地盤高(陸地の高さ)が変動していることを考慮した上で、海面水位の相対的变化を評価しなければならない。この点で、過去のデータの解釈についてもまだ精緻化する余地があると思われるし、今後に向けて海水位の変化と地盤高の変化とが分離できるように、潮位観測地点の水準点の管理を精度良くしなければならない。また、台風などの極端現象については、地球温暖化によるものかが判断しにくい。海水温や気象現象など周辺の原因と共に解析を進めることが、理解を進めることにつながるであろう。シミュレーションによる地球温暖化の将来予測の精度は今後も向上すると期待されるが、不確定要素が残ることは否めない。モニタリングを重視し、海象や気象の観測施設の整備が急速に進んでいるが、さらなる拡大と、その成果の解析に注目すべきである。

予測には最後まで不確定要素が残ることを考えれば、地球温暖化の影響をリスクと捉え、それを管理するという発想が現実的であろう。まず、地球温暖化とその影響における可能性を網羅し、その中で最低限避けるべきリスクを抽出し、維持すべき安全や生活・産業、環境の水準を決めておかなければならない。防災に関しては、ハザードマップの作成を含めて、減災の概念も含めてリスク管理を行う必要がある。東日本大震災の津波災害を受けて提言され、実行されてきたレベル1、2の津波に対するハード、ソフトを連携した防災・減災システムは、地球温暖化への適応に対しても援用可能な概念である。

その中で特別な問題として、護岸・堤防の天端高不足は、日本の経済と生活を支える東京湾・大阪湾・伊勢湾の三大湾においては許容できない問題となる。このように影響が大きく優先

度の高いものについては、予防的に対処すべきである。

もとより沿岸域における問題は地球温暖化に限らない。防災、環境、利用にわたる広範な視点が必要である。地球温暖化の問題についても、これらの従来の活動と並行して対処しなければならない。港湾施設や海岸保全施設の整備において、同時に海面上昇を考慮するなど、主流化と呼ばれる動きを進めることにより、統合的に沿岸域を管理することができるようになる。

適応策は手を加えて現状の水準を維持する、地球温暖化後の環境に合わせて利用方法や行動様式を変える、現状の利用や行動を止める、の3種類に大別される。これらは防災で言えば、それぞれ防護、順応、撤退に対応する。これらを適切に使い分けことが、地球温暖化への適応を含めて、持続可能な沿岸域の管理につながる。

上に紹介したように、地球温暖化の影響には大きなものがあり、戦略的、効率的に適応策を実施する必要がある。図6は、適応策を段階的に実施するための模式図である。現在ある施設でもある程度の設計上の余裕を持っている場合が多く、それを利用して、施設の更新時に新たな知見に基づいて、地球温暖化を考慮した施設の更新を行うことにより、持続可能な適応を目指すものである。これにより、今すぐすべての施設に追加的措置を実施することなく、地球温暖化の予測誤差によって不必要な措置を行って後悔することなく、確実な部分については不足なく対応するようにしようとするものである。

これらは、モニタリングや予測、多目的・多機能の新技术の開発、リスク管理など、多くの要素を総合した沿岸域の管理を通じて実現されるものである。

参考文献：

- 1) Isobe, M. (2013) : Impact of global warming on coastal structures in shallow water, *Ocean Eng.*, 71, 51-57.
- 2) 三村信男ら (1994) : 砂浜に対する海面上昇の影響評価(2)、*海岸工学論文集*, 41, 1161-1165.

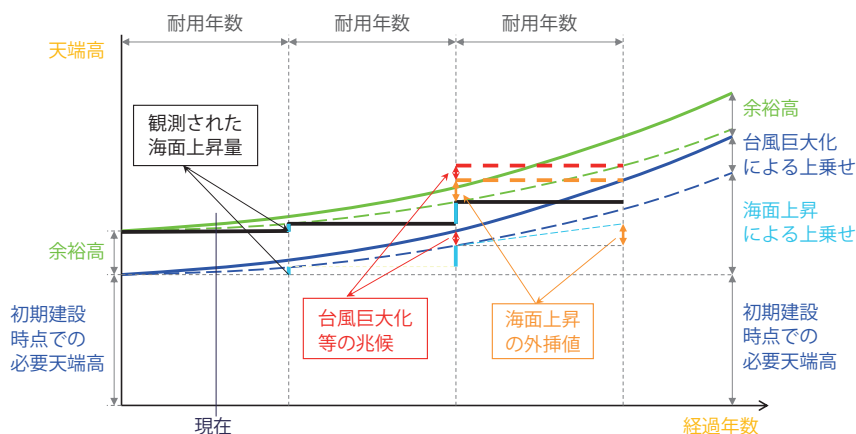


図6 地球温暖化に対する漸近的適応策



沿岸部における気候変動の影響 及び適応の方向性

山形 創一 国土交通省 港湾局 海岸・防災課 広域連携推進官

沿岸部における気候変動の影響について、国土交通省の立場からの適応策の検討と実施、さらには適応計画についての取り組みをご報告いただいた。

1. はじめに

国土交通省では、気候変動に関する政府間パネル(以下、「IPCC」という。)第4次評価報告書を踏まえた防災・保全部会での議論等を踏まえ、地球温暖化に起因する気候変動等に伴う沿岸域における海象条件の変化や災害リスクの増大等についての基本的認識を整理し、平成20年から平成21年にかけて、社会資本整備審議会で「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)」及び交通政策審議会で「地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方」(答申)(以下、「答申」という。)を取りまとめた。

一方で、IPCCにおいては、第4次評価報告書(平成19年公表)のシナリオで課題とされた政策主導的な排出削減対策を考慮したRCPシナリオをもとに検討を行い、平成26年に第5次評価報告書としてまとめている。

さらに、平成25年度から政府の適応計画策定に向けた検討が中央環境審議会で開始される中、国土交通省等においても、平成26年度に「沿岸部における気候変動の影響及び適応の方向性検討委員会」(以下、「委員会」という。)を設置し、答申における適応策の進捗状況及びIPCC第5次評価報告書における変更点への対応について検討を行うとともに、同委員会の検討結果を踏まえ、平成27年11月に閣議決定された政府の適応計画に港湾・海岸の施策を位置づけた。ここでは、委員会における検討結果と政府の適応計画の港湾関係の取組を主に紹介する。

2. 政府及び国土交通省の適応計画の策定

(1) 適応計画策定の経緯

IPCCの第5次評価報告書においては、歴史を通じて人々や社会は、成功の程度にばらつきはあるものの、気候、気候の変動性及び極端現象に順応し対処してきたことが指摘されている。一方、同

報告書においては1950年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年間にわたり前例のないものであること、また、すでに気候変動は自然及び人間社会に影響を与えており、今後、温暖化の程度が増大すると、深刻で広範囲にわたる不可逆的な影響が生じる可能性が高まることが指摘されている。さらに、気候変動を抑制する場合には、温室効果ガスの排出を大幅かつ持続的に削減する必要があることが示されると同時に、将来、温室効果ガスの排出量を抑制したとしても、世界の平均気温は上昇し、21世紀末に向けて気候変動の影響のリスクが高くなると予測されている。

このため、気候変動の影響に対処するため、温室効果ガスの排出の抑制等により気候に対する人為的影響を抑制する「緩和」だけではなく、中長期的に避けられない影響に対して、自然や人間のあり方を調整して影響を軽減する「適応」を進めることが求められている(図1参照)。

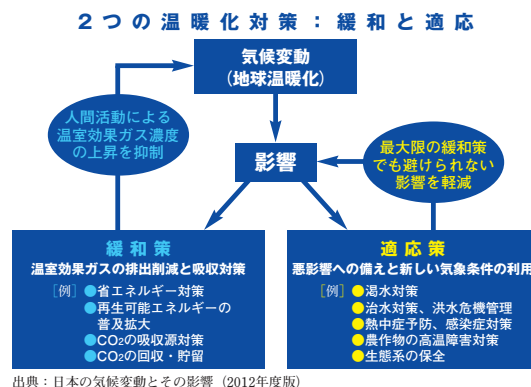


図1 2つの温暖化対策：緩和と適応

(2) 政府及び国土交通省の適応計画の策定

気候変動による様々な影響に対し、政府全体として、全体で整合のとれた取組を計画的かつ総合的に推進するため、目指すべき社会の姿等の基本的な方針、基本的な進め方、分分野施策の基本的方向、基盤的・国際的施策を定めた、政府として初の「気候変動の影響への適応計画」が平成27年11月に閣議決定された。

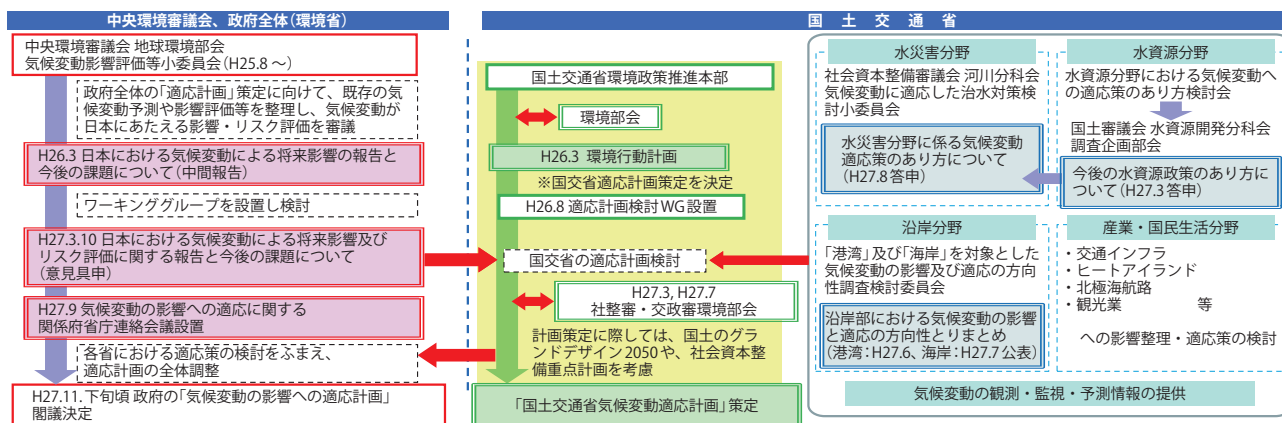


図2 政府及び国土交通省の適応計画と沿岸分野における検討の関係

また、国土交通省においても、国土の保全をはじめ多様な分野を所管し、安全・安心な国土・地域づくりにおいて大きな役割を担うことから、国土交通省が実施する適応策をまとめた「国土交通省気候変動適応計画」を同時に公表した。

政府及び国土交通省の適応計画と沿岸分野における検討の関係は図2のとおりである。

(3) 適応計画における沿岸部の施策の位置づけ

政府の適応計画において沿岸部における施策は、「高潮・高波等」に関する適応策として位置づけられるとともに、港湾における施策については「インフラ・ライフライン等」（国土交通省の適応計画では「交通インフラ」）にも位置づけられている。

3. 沿岸部における気候変動の影響に関する基本的認識

(1) 気候変動に伴う影響に関する基本的認識

委員会では、IPCC第5次評価報告書、気候変動の適応策に関する近年の動向等を検討した。その結果、沿岸部においては、特に、気候変動に伴う「強い台風の増加等による高潮偏差・波浪の増大」及び「中長期的な海面水位の上昇」の発生が懸念されるとの認識を持ち、適応策の検討を行う必要があるとの結論を得た。

①強い台風の増加等による高潮偏差・波浪の増大

IPCC第5次評価報告書では、世界平均気温の上昇や海水温の上昇など、台風の発達・勢力維持、経路等に影響を及ぼす要因の発生が予想されている。強い台風の増加や台風が移動する経路の変化は、高潮偏差及び波浪の増大に影響することから、港湾及び海岸への影響を検討する必要がある。

②中長期的な海面水位の上昇

気象庁の気候変動監視レポート2013によれば、我が国沿岸の海面水位は現在の観測体制が確立した1960年代以降上昇傾向にあるものの、IPCC第5次評価報告書中の全球平均の海面水位に見

られるような100年規模で一貫した上昇傾向は見られない。

しかしながら、IPCC第5次評価報告書では、世界平均海面水位の上昇(RCP8.5シナリオで最大0.82m)が予想されており、また、気温や海水温が上昇した場合、陸氷の融解や海水の膨張によって海面水位が上昇することはメカニズムとして明らかであるとともに、海面水位の上昇が顕在化した場合、沿岸部に甚大な影響が生じると想定されることから、我が国沿岸の海面水位の変動をモニタリングしつつ、海面水位上昇量の最大値も考慮に入れて、港湾及び海岸への影響を検討する必要がある。

(2) IPCC第4次報告と第5次報告との主な相違点

第5次評価報告書では、今世紀末までの世界平均気温の変化予測は、1986年～2005年平均を基準として21世紀末で0.3℃～4.8℃上昇すると予測されており、シナリオの違いを考慮すれば、1980年～1999年を基準として21世紀末で1.1℃～6.4℃上昇すると予測された第4次評価報告と類似した結果となっている。また、第4次評価報告書で示されなかった海水温の変化予測が示され、21世紀末までの海面から水深100mまでの海水温の変化は約0.6℃～約2.0℃上昇すると予測されている。さらに、21世紀末までの海面水位の変化は、陸氷からの影響が考慮された結果、第4次評価報告書の最大値0.59mに対して、第5次評価報告書では最大0.82mと予測されている。

4. 沿岸部における気候変動の影響

(1) 気候変動に伴う沿岸部への主な影響要因

IPCC第5次評価報告書によれば、気候変動により「気温・海水温の上昇」、「海面水位の上昇」が予測され、前述のとおり、沿岸部へは、それぞれ「強い台風の増加等」（すなわち「風速の増加」、「高潮偏差の増大」、「波浪の強化」）及び「潮位の上昇」として影響要因が現れることが懸念される。

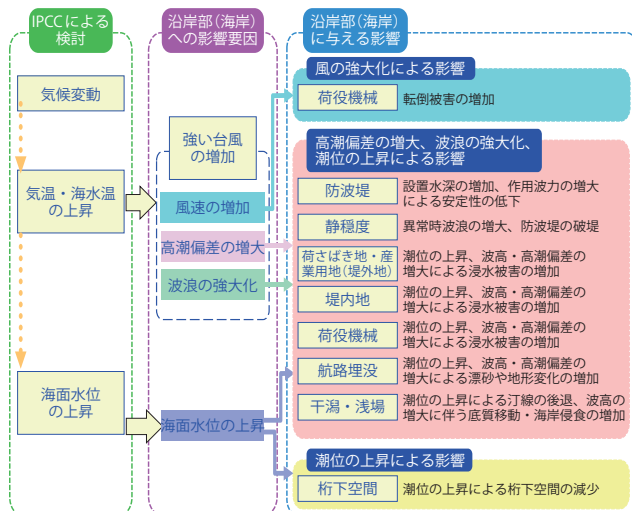
(2) 沿岸部に与える影響

気候変動に伴う沿岸部への影響要因が沿岸部に与える影響を、港湾及び海岸についてそれぞれ図3のとおり整理した。

港湾においては、防波堤・堤防、静穏度、荷捌き地・産業用地(堤外地)、堤内地、航路・泊地、干潟・浅場、桁下空間において、様々な影響が考えられ、高潮等による浸水被害の拡大や海面水位の上昇に伴う荷役効率の低下等による臨海部産業や物流機能の低下が懸念される。

海岸においては、港湾と同様に堤防・護岸、背後地への影響が懸念されるほか、海浜への影響が懸念される。

(港湾)



(海岸)

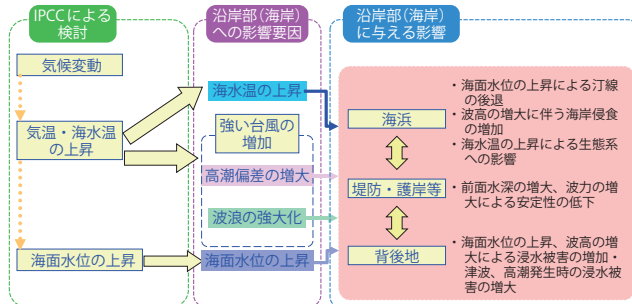


図3 気候変動に伴う沿岸部への影響要因とその影響(上: 港湾、下: 海岸)

5. 沿岸部における基本的な施策

(1) 港湾

(適応策の基本的考え方)

「地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方」(平成21年3月、交通政策審議会答申)を踏まえるとともに、堤外地及びその背後地の社会経済活動や土地利用を勘案しつつ、軽減すべきリスクの優先度に応じ、下記のようなハード・ソフトの適応策を最適な組み合わせで戦略的かつ順応的に推進することで、

「堤外地・堤内地における高潮等のリスク増大の抑制」、及び「港湾活動の維持」を図る。また、各種制度・計画に気候変動への適応策を組み込み、様々な政策や取組との連携による適応策の効果的な実施(適応策の主流化)を促す。

(港湾に関する共通事項(モニタリング、影響評価、情報提供等))

気象・海象のモニタリングを実施し、高潮・高波浸水予測等のシミュレーションを行って気候変動の影響を定期的に評価し、関係機関に情報提供する。強い台風の増加に伴う高潮偏差の増大・波浪の強大化、海面水位の上昇による災害リスクの高まりをハザードマップ等により港湾の利用者等に周知するとともに、海面水位の上昇に伴う荷役効率の低下等の影響を評価する。堤外地の企業等や背後地の住民の避難に関する計画の作成、訓練の実施等を促進する。加えて堤外地においては、避難と陸間の操作規則(海岸管理者が策定)との整合をはかり、利用者等の円滑な避難活動を支援する。

(防波堤等外郭施設及び港湾機能への影響に対する適応策)

モニタリングの結果等を踏まえた外力の見直しが必要となる場合、それに対応した構造の見直しにより、係留施設や防波堤の所要の機能を維持する。防波堤、防潮堤等の被災に伴い、人命、財産または社会経済活動に重大な影響を及ぼすおそれのある場合に備え、設計外力を超える規模の外力に対しても減災効果を発揮できるよう、粘り強い構造に係る整備等を推進する。気候変動の影響で航路・泊地の埋没の可能性が懸念される場合、防砂堤等を設置するなどの埋没対策を実施する。災害発生後も港湾の重要機能を維持するため、港湾の事業継続計画(港湾BCP)の策定に関係者が協働して取り組むとともに、適宜見直ししながら拡充を目指す。

(堤外地(埠頭・荷さばき地、産業用地等)への影響に対する適応策)

海岸保全施設や港湾施設の機能を把握・評価し、リスクの高い箇所の検討等に資する情報を整備する。気候変動による漸進的な外力増加に対して大幅な追加コストを要しない段階的な適応を行えるよう、最適な更新等を行う考え方を検討する。避難判断に資するために、観測潮位や波浪に係る情報を地域と共有する。また、企業等による自衛防災投資の促進などを図るため、災害リスクに関するきめ細かな情報提供について検討する。将来の海面水位の上昇が有意に認められる場合には、埋立地造成の際に、岸壁等の水際線の利用や一連の物流動線との整合性を考慮しつつ、強い台風の増加に伴う高潮偏差の増大・波浪の強大化をあらかじめ考慮した地盤高を確保し、浸水リスクを軽減することに努める。気候変動による風況の変化に備え、クレーン等逸走対策を推進する。

(背後地(堤内地)への影響に対する適応策)

海岸保全施設や港湾施設の機能を把握・評価し、リスクの高い箇所の検討等に資する情報を整備する。気候変動による漸進的



な外力増加に対して大幅な追加コストを要しない段階的な適応を行えるよう、最適な更新等を行う考え方を検討する。民有施設(胸壁、上屋、倉庫、緑地帯等)を避難や海水侵入防止・軽減のための施設として活用を図るための検討を行う。中長期的には、臨海部における土地利用の再編等の機会を捉えた防護ラインの再構築とともに、高潮等の災害リスクの低い土地利用への転換を進める。

(桁下空間への影響に対する適応策)

将来の海面水位の上昇が有意に認められる場合には、海面水位の上昇量を適切に把握するとともに、通行禁止区間・時間を明示し、橋梁・水門等と船舶等との衝突防止を図るとともに、クリアランスに課題の生じるおそれのある橋梁の沖側に係留施設を配置するなど、港湾機能の再配置を図る。

(2) 海岸

(適応策の基本的考え方)

海象のモニタリングを行いながら気候変動による影響の兆候を的確に捉え、背後地の社会経済活動及び土地利用の中長期的な動向を勘案して、下記のハード・ソフトの施策を最適な組み合わせで戦略的かつ順応的に進めることで、高潮等の災害リスク増大の抑制及び海岸における国土の保全を図る。

(災害リスクの評価と災害リスクに応じた対策)

気候変動も一因となって引き起こすと考えられる強い台風の増加等による高潮偏差の増大及び波浪の強大化に対応していくため、背後地の利用状況や海岸保全施設の整備状況を踏まえ、一連の防護ラインの中で災害リスクの高い箇所を把握し、災害リスクを明らかにするとともに、災害リスクに応じたハード・ソフト施策の最適な組み合わせによる対策を進める。

(防護水準を超えた超過外力への対応)

高潮により超過外力が作用した場合の海岸保全施設の安定性の低下などへの影響等に関する調査研究を進め、背後地の状況等を考慮しつつ粘り強い構造の堤防等の整備を推進するとともに、高潮等に対する適切な避難のための迅速な情報伝達等ソフト面の対策も併せて講ずる。

(増大する外力に対する施策の戦略的展開)

気候変動の影響による海面水位の上昇が認められる場合、あらかじめ将来の海面水位上昇への対応を考慮した整備や施設更新を行うなど、順応的な対策を行う。また、気候変動による漸進的な外力の増加に対して、あらかじめ将来の嵩上げ荷重を考慮した構造物の基礎を整備することで順応的な嵩上げを可能にする等、適応に関する技術開発等について検討を進める。

(進行する海岸侵食への対応の強化)

沿岸漂砂による土砂の収支が適切となるよう構造物の工夫等

を含む取組を進めるとともに、気候変動によって増大する可能性のある冲向き漂砂に対応した取組も必要に応じて実施する。

また、河川の上流から海岸までの流砂系における総合的な土砂管理対策とも連携する等、関係機関との連携の下に広域的・総合的な対策を推進する。

(他分野の施策や関係者との連携等)

各種制度・計画に気候変動への適応策を組み込み、様々な政策や取組との連携による適応策の効果的な実施(適応策の主流化)を促す。具体的には、避難・土地利用計画や他の防災・減災対策など海岸の背後地域を担う関係行政分野、民間企業及び国民等との連携を図りつつ、災害からの海岸の防護、海岸環境の整備と保全及び公衆の海岸の適正な利用の調和のとれた、総合的で効率的、効果的な施策の展開に努める。また、海外における適応策の先進事例の把握に努め、我が国においても適用可能な施策の導入も検討していく。

(3) 調査研究・技術開発等の推進

超過外力が作用する場合の施設への影響を踏まえた、堤防等の技術開発を進めるとともに、海岸侵食対策にかかる新技術の開発を推進する。また、沿岸域における生態系による減災機能の定量評価手法開発など、沿岸分野の適応に関する調査研究を推進する。予測技術については、港湾において局地気象モデルを取り入れた高精度な高潮・高波モデルを構築する。

また、港湾域、内湾域における水温変化に伴う底層環境変化の検討や、底層貧酸素化や赤潮、青潮の発生リスクの将来予測に関する検討を行う。

(4) 国際的施策

開発途上国の技術者を対象とした気候変動の影響・対策に関する研修を実施する。気候変動に伴う海岸侵食については、サンゴ礁・マングローブ林など地域の生態系を活用した海岸保全の提案等を実施する。

6. おわりに

適応計画は、気候変動の影響による被害を最小化あるいは回避し、迅速に回復できる、安全・安心で持続可能な社会の構築を目指すものである。気候変動及びその影響の観測・監視を継続して行い、最新の科学的知見を把握するとともに、気候変動及びその影響の評価を定期的の実施し、当該影響評価の結果を踏まえて適応策の検討・実施を行うことにより、適時的確に適応を進めていくことが重要である。適応計画に位置づけられた沿岸部における適応策を適切に実行していくよう、着実に取組を進めて参りたい。



気候変動の沿岸災害への影響

森 信人

京都大学 防災研究所 准教授

気候変動について、本稿では海面上昇、台風、高潮・高波など、具体的な事例に基づいて、今後の沿岸災害への影響の観点からまとめていただいた。

地球温暖化と沿岸災害

温室効果ガスによる気候の長期変化(気候変化・気候変動)の影響は、気温上昇や海面上昇だけでなく様々な影響を与えることが予測されている。将来の温かい気候条件は、海洋の海面温度を上昇させ、大気中の水蒸気量を増やし、熱帯低気圧の強度や発生頻度にも影響を与えることが疑われている。我が国の沿岸部における気候変動の影響の中で、特に台風特性の将来変化は、日本周辺海域の高波や高潮の特性に顕著な影響を与えることが予見されている(例えば、森ら、2015)。

以下では、2013年にまとめられたIPCC第5次評価報告書(AR5)で議論されていることを中心に、沿岸災害に関連する海面上昇、台風、波浪および高潮の将来変化について概説するとともに、現在、日本で行われつつある幾つかの影響評価研究について概説する。

海面上昇

地球温暖化の沿岸域に対する影響の中で、海面上昇は最も注目される項目であり、また長く研究されている影響評価項目でもある。2007年のIPCC第4次評価報告書(AR4)においては、全球平均の海面上昇量¹⁾は0.26~0.59mと評価されていたが、AR5ではRCP4.5シナリオ(気温上昇量²⁾が1.1~2.6℃)で0.33~0.63m、RCP8.5シナリオ(同じく2.6~4.8℃)で0.45~0.82mとまとめられた。この差はAR5では氷床の評価が加わったため、AR4と同程度の昇温シナリオでも海面上昇量は大きく評価されたためである。

過去に観測された日本近海における海面水温の上昇率(+1.08℃/100年)は世界全体で平均した海面水温の上昇率(+0.51℃/100年)よりも大きな値であることから、日本周辺での海面上昇量は全球平均より大きくなることが予想される。特に現在想定されている範囲の海面上昇については、特に海水の熱膨張の影響を大きく受けるため、太平洋沿岸では黒潮、日本海沿岸では対馬海流等の暖流の将来変化が重要となる。しかし、全球海洋モデルでは、これらの領域スケールの海流を解像できていないため、日本スケールでの海面上昇量の将来変化についての定量的な評価は進んでないが、今後数年で日本スケールの定量的な将来予測が期待される。一方、影響評価・適応策側からの取り組みとしては、AR5では、海面上昇によって、海域毎にどの程度の堤防高さの余裕があるかが調べられており(図1)、1.0m弱の海面の将来変化は、全世界の沿岸域へ大きな影響をあたえることが示されている。

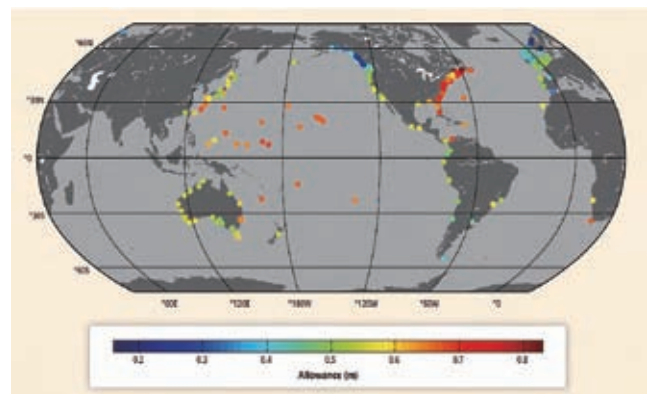


図1：2081-2100年における平均的な海面上昇を考慮した場合に必要な堤防高さの増加量予測(RCP4.5シナリオ)
出典) WG2-AR5 Chapter 5, Figure 5-2

1) 産業革命以降から2100年までの平均海面の変化量

2) 1986 ~ 2005年世界平均地上気温に対する2081 ~ 2100年の平均気温の上昇量



台風の将来変化

過去から現在に至るまでの台風の長期変化の傾向は、観測データの不足から、全球規模で熱帯低気圧の活動度が過去から現在まで長期的に強まる傾向にあるかどうかは未だに確信度は低いと評価されている。しかしながら、一部の海域、特に北大西洋に限っては、1970年代以降で見ると強い熱帯低気圧の頻度と強度が増大していることはほぼ確実であると評価されている。残念ながら、観測値の不足により北西太平洋を含む他の海域での熱帯低気圧の長期的な変化傾向は未だよく理解できていないのが現状である。

一方、数値モデルによる21世紀末の将来変化については、ここ十年で理解が急速に進んでいる。全球での熱帯低気圧の発生頻度は減少もしくは変化なしという可能性が高いものの、熱帯低気圧の強さは全球平均的には強まる可能性が高いと評価されている。さらにWGIIでは、熱帯低気圧の将来変化が生じた場合の災害リスクの増大が指摘されている。しかし、現時点では想定された将来(例えば中心気圧が10%増加する等)に対する影響評価に留まり、シナリオ毎の検討をする研究段階には至っていない。

日本では、気象研究所の大気全球気候モデル(AGCM)による将来予測結果にもとづく台風の将来変化は、北西太平洋で13～21%の発生数減少が予想されているが(森ら、2012)、予測平均とほぼ同じかそれ以上の標準偏差が存在するため、将来変化予測の不確実性も大きい。日本や東アジアといった領域スケールでの台風上陸個数等の台風特性の将来変化は予測の不確実性が大きく、その定量的な評価が難しい。AR4では、「どちらかと言えば(>50%)人間活動により強い熱帯低気圧については数が増加する傾向がある」との記述があり、AR5 WGIの政策決定者向け要約では、「熱帯低気圧の長期的(100年程度)な変化の確実性は低いと」まとめられており、台風発生の将来変化の定量的な評価は研究途中である。

台風の発生位置の将来変化は、予測の不確実性を無視すると、北西太平洋では、代表的な経路が東北東方向に数百キロ移動するという結果が得られている。さらに台風消滅位置の変化がさらに大きく、消滅位置の移動量は発生位置と比べて約2倍である。つまり、中緯度に位置する日本周辺では、台風経路の将来変化が顕著に出やすい。図2に示すのは、現在気候における台風の通過頻度割合とその将来変化である。現在気候における代表的な経路は、発生域から西に向かう経路と中緯度に向かう2経路で表されるが、将来変化に関しては、低緯度を通る経路の減少が顕著である。また、中緯度では、通過個数の増加と減少

の両者が見られ、これには台風経路の東向きシフトが大きく影響を与えている。さらに、中心気圧については経度方向に顕著な将来変化傾向が見られ、日本周辺での将来的な強い台風の増加が示唆されているが、定量的な中心気圧変化の予測は今後の課題となっている。一方で、2013年にフィリピンを襲った台風30号(Haiyan)のような900hPaを切る強い台風による被害が報告されており、不確実性が大きいものの、温暖化により全球平均では将来の発生数が減るものの、強度が増加する傾向が見られるとの個別の研究結果が報告されつつある。

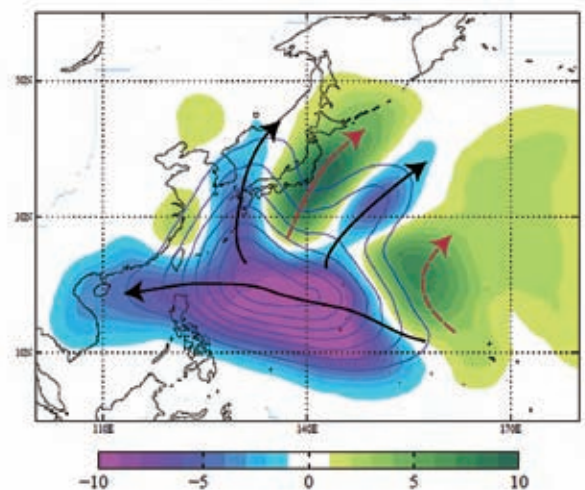


図2：台風の通過頻度割合。コンターは現在気候の台風通過頻度(10～40%)。カラーは将来変化率[%]；代表的な経路の概略図を付記している(黒矢印；現在気候、赤破線矢印；将来気候で増加する経路)。(志村ら、2014)

高潮・高波の将来変化

高潮や高波の将来変化については、AR5ではWG1第13章とWG2第5章に分けてまとめられている。WG1では、高潮と高波の将来変化について、Sea Level Extremeとして海面上昇とともに議論がなされている。Sea Level Extremeとしては、21世紀末における増大は「可能性が非常に高い」(very likely)とされており、近未来における変化も「可能性が高い」(likely)とまとめられている。ただし、特定領域の高潮の増加については予測の確信度は低い。波浪については、北半球中緯度における平均波高の減少、南半球中高緯度における増加が中程度の確信度で予測されている(図3)。

AR5では平均波高の将来変化についてのみ評価されているが、高波等の将来変化についても研究が進みつつある。例えば気象研究所のAGCMとスペクトル型波浪モデルを持った波浪の将来変化予測の結果(図4)では、年最大波高の南半球の高緯度および北太平洋の中央部における波高の増大(～1m)、中緯度および北大西洋の広い範囲での波高の減少(～-1m)が予測

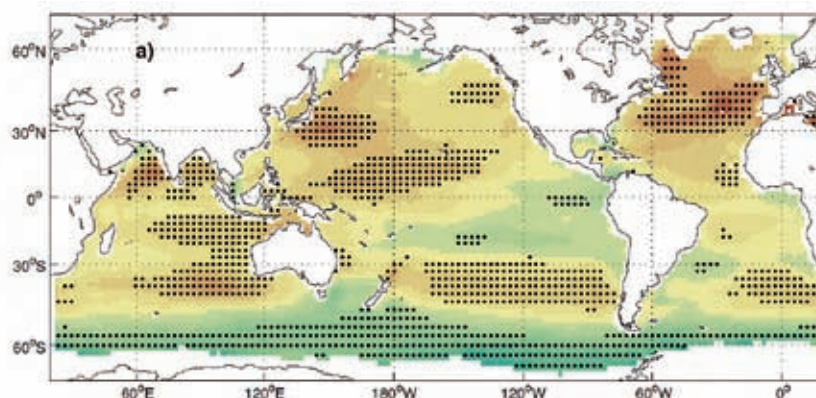


図3：平均波高の将来変化(●複数モデルの将来変化の符号が一致した海域)
出典) WG1-AR5 Chapter 13, Figure 13.26を一部抽出

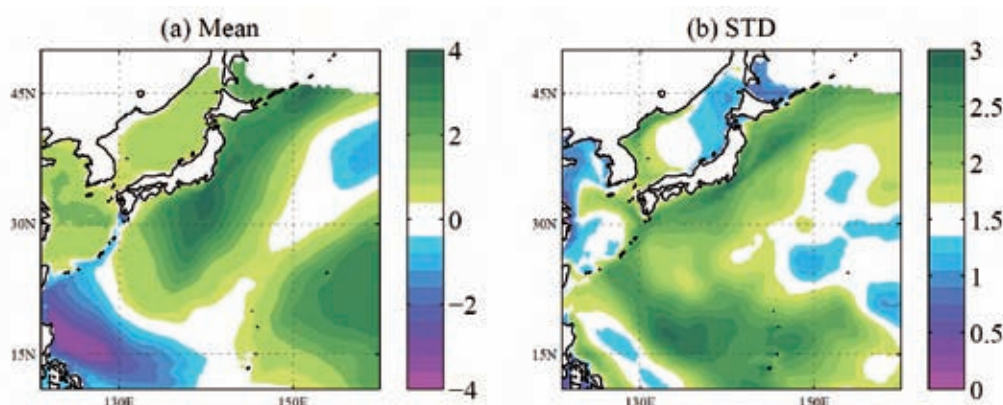


図4：10年最大波高の将来変化のアンサンブル予測結果。(a) 平均値、(b) 標準偏差(単位m) (志村ら, 2014)

されている。一方、10年再現確率波高の将来変化は、太平洋側での顕著な増加という特徴を持つ。この10年再現確率波高の変化は、先に述べた台風経路の東へのシフトが最も大きな影響を与えている。日本沿岸における高波の将来変化は、台風発生個数の減少や台風強度の増加とともに、先に示した経路の変化による複合的なものによることがわかってきた。

高潮は湾に対してある決まった経路を持つ台風に対して際立って大きな偏差を生じさせる現象であるため、台風の来襲頻度に対してその発生頻度が極端に低く、影響評価として難しい対象となっている。このためWG1第13章でも、極端な高潮の将来変化については、異なる全球気候モデル間の将来予測結果のバラつきが大きく、日本周辺等の領域スケールの将来変化の確信度は低いことが明記されている。一般に行われる20～30年程度の期間の変化を対象とした全球気候変動予測計算では、将来だけでなく現在を再現した気候計算においても工学的に重要な大きな高潮偏差のイベントの評価は難しい。このため、高

潮の影響評価研究では、GCMからの直接評価よりも、過去の顕著な高潮イベント(例えば伊勢湾台風)が強くなったと想定した仮想イベント数値実験や確率台風モデルを用いた評価が多く用いられる。例えば、オーストラリアの影響評価の結果では、熱帯低気圧の10%の強化は再現期間100年³⁾の高潮偏差を増加させることが示されている。

日本については、AR5以降、再現期間を含めた極端な高潮・高波の将来変化予測結果についての研究成果が得られつつある。東京湾、大阪湾、伊勢湾の3大湾については、長期評価と考えられる最大クラスの高潮偏差の評価が行われている。例えば図5に示すのは、確率台風モデル⁴⁾で計算された25,000年分の経路より得られた、伊勢湾での最大クラスの高潮を引き起こす台風経路の例である。統計的に実際の過去よりも大幅にサンプル数を増やすことにより、特定の湾における最大クラスの高潮の生起頻度やその最大偏差が推定できる。伊勢湾の例では、気候変動の影響なしでも名古屋港での最大高潮偏差は4m強⁵⁾と

3) 100年に1回起こる期待値

4) 過去の台風統計資料をもとに、確率的に台風を発生・伝播させるモデル

5) 伊勢湾台風の最大潮位偏差は3.4m

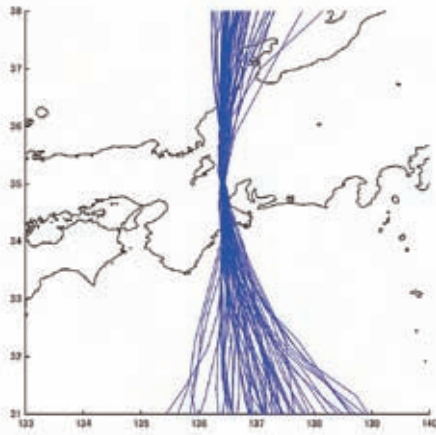


図5：確率台風モデルで計算された25,000年分の経路より得られた伊勢湾に最大クラスの高潮を引き起こす台風経路の例(渋谷ら、2015)

見込まれ、これに気候変動を考慮すると今世紀末の最大クラスの高潮偏差は約5mとなることが推定されている。このような最大クラスの高潮をもたらす台風の再現期間は約400～500年と推定されている。このような確率的な評価に加えて、領域気候モデルを用いて伊勢湾台風が将来気候条件でどの程度変化するかという数値シミュレーション(擬似温暖化実験)も進みつつある。極稀に生じる巨大な高潮の将来変化については、1つの手法に頼らない複合的な影響評価が重要であり、数年以内に我が国を対象とした研究成果がまとめられることが期待される。

おわりに

以上、海面上昇、台風と高波の将来変化について概説を行った。日本の沿岸災害については、台風によってもたらされる場合が殆どであり、これらの極端な気象・海象現象がどの程度将来変化するかを予測することは重要である。しかしながらIPCC第5次評価報告書(AR5)においては、台風については定量的な将来変化の合意が得られておらず、シナリオの影響を含む日本などの領域スケールにおける評価はこれからというのが現状である。しかし現在予想されている海水温上昇、海面上昇や波浪の将来変化は、沿岸環境や海浜変形に大きな影響を与えることが予想され、現在様々な視点からの沿岸域に対する温暖化影響評価・適応策についての研究を総合的に進めることが重要である。また、これらの将来変化は、全球と日本周辺で量や符号が異なる場合が多く、領域スケールの影響評価が重要である。

我が国の温暖化対応政策については、2015年11月に国土交通省により気候変動適応計画がまとめられ、「気候変動がもたらす災害リスクを最小化するための港湾施策」が推進されつつある。研究面では、文部科学省により、気候変動リスク情報創生プログラムや気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-

CAT)といった研究プロジェクトが進められており、極端気象の影響評価に有用な高解像度な気候将来変化予測が行われつつあり、数年以内には、沿岸災害の過去評価と将来変化の両者について政策に利用可能なレベルに達することが期待される。

最後に、2015年11月にCOP21でまとまったパリ協定では、世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して1.5度という非常に厳しい目標が掲げられた。これはRCP2.6シナリオ以下とする温暖化ガス排出量を目標とするものである。AR5で示された二酸化炭素の累積総排出量と世界平均地上気温の応答が比例関係するという結果をもとにすると、二酸化炭素の累積総排出量を600GtC以下にする必要があり、緩和策の重要性が浮上してきた。沿岸海域による二酸化炭素の吸収といったブルーカーボン研究についても、今後重要性を増すことが期待される。

参考文献

- IPCC WG1 (2013) Long-term Climate Change : Projections, Commitments and Irreversibility, Chapter 12, Cambridge University Press, UK.
- IPCC WG1 (2013) Sea Level Change, Chapter 13, Cambridge University Press, UK.
- Mori, N. and T. Takemi (2015) Impact assessment of coastal hazards due to future changes of tropical cyclones in the North Pacific Ocean, Weather and Climate Extremes, doi : 10.1016/j.wace.2015.09.002
- 森 信人・村上裕之・志村智也・中條壮大・安田誠宏・間瀬 肇 (2012) マルチモデルアンサンブルによる気候変動に伴う熱帯低気圧特性の将来変化予測、土木学会論文集B2 (海岸工学)、Vol.68、No.2、pp.1251-1255.
- 森 信人・中北英一・竹見哲也・立川康人 (2015) 気候変動にともなう風水害の将来変化予測の現状について、環境情報科学「特集：気候変動-未来選択に向けて」、44巻1号、pp.12-17
- 森 信人 (2015) 気候変動に伴う台風や高波の将来変化について、雑誌「港湾」、第92巻9月号、特別号：沿岸部における気候変動の影響と適応、pp.24-25.
- 志村智也・森 信人・安田誠宏・間瀬 肇 (2014) MRI-AGCM3.2H アンサンブル実験にもとづく気候変動による極大波浪の将来変化予測、土木学会論文集B2 (海岸工学)、Vol.70、No.2、pp.1266-1270.
- 渋谷容子・中條壮大・森 信人・金 洙列・間瀬 肇 (2015) 気候変動に伴う最大クラス台風経路と高潮偏差、および再現期間の推定-伊勢湾における検討-、土木学会論文集B2 (海岸工学)、Vol.71、No.2、pp.1513-1517.



気象庁による沿岸・海洋の観測と 防災気象情報

気象庁 予報部／地球環境・海洋部

気象や地震・津波・火山などに関する監視・予測業務について幅広く行っている気象庁。本稿では、海洋観測や沿岸防災に関する業務についてご報告いただいた。

1. はじめに

気象庁は、気象の監視・予測、地震・津波・火山の監視・予測に加え、二酸化炭素などの温室効果ガスの観測や気候・地球温暖化の監視・予測、海流や海水の監視・予測、船による海洋観測、日本沿岸部における潮汐・波浪の監視・予測など、地球環境や海洋に関する業務も幅広く行っている。ここでは、沿岸における潮汐・波浪観測や防災気象情報を中心に、気象庁が行っている海洋観測・沿岸防災業務について紹介したい。

2. 気象庁による沿岸・海洋観測

2.1 潮汐観測

(1) 潮位・津波の監視・観測

気象庁では、全国100地点に検潮所や津波観測施設を設置し、潮位・津波の観測を24時間不断で実施している。これらの観測データに加え、国土交通省港湾局、国土地理院、海上保安庁及び自治体等による観測データもリアルタイムで収集しており、高潮の監視業務での利用や、気象庁ホームページ等で一般



図2-1-2 検潮所の外観

に公開しているほか、津波を観測した場合には津波観測に関する情報を提供している。

気象庁が設置している観測機器は、検潮所内に設置した検潮儀または屋外設置の津波観測計で、いずれも電波を水面に向けて発射し、反射して戻ってくるまでの時間を計測することによって潮位を観測している。

また、これらの機器の設置高を超える非常に高い津波が襲来した場合でも津波の観測が継続できるよう、水圧により海面の高さを測定する巨大津波計も88地点に設置している。これらの施設では、防水対策を施すとともに、72時間対応できるバッテリーや衛星通信装置もあわせて整備しており、大地震発生時の停電や通信途絶時にも観測データを継続して取得できる仕様としている。

(2) 気候変動監視のための長期海面水位変動観測

全国の検潮所のうち、稚内ほか12地点においては、より高精度の潮位観測が可能な検潮儀を設置し、地球温暖化等による海面水位の変動を検出するための観測を実施している。この13地点は、海面水位を長期に監視する国際プロジェクトであるGLOSS（全球海面水位観測システム）に登録され、地球規模の海面水位上昇監視の一役を担っている。

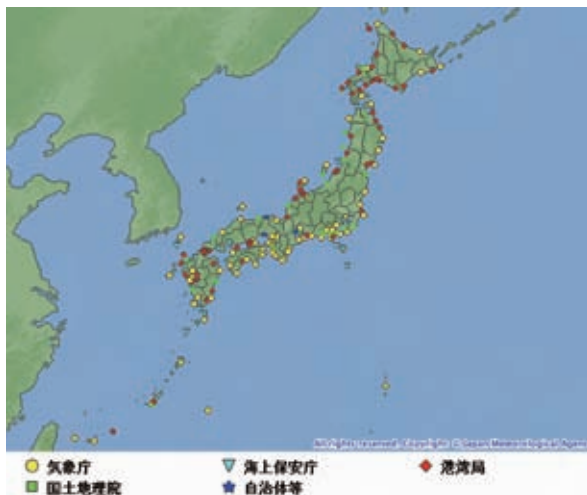


図2-1-1 潮位の観測点(気象庁HP：<http://www.jma.go.jp/jp/choi/>)



2.2 波浪観測

(1) 沿岸波浪計

気象庁では、全国6地点(上ノ国、唐桑、石廊崎、経ヶ岬、生月島、屋久島)にレーダー式沿岸波浪計を設置し、沖合約500m付近の波高、周期の観測を行っている。観測データは、気象庁が行っている日本近海の波浪解析や予測等で活用するとともに、気象庁ホームページでも公開している。

(2) 漂流ブイ

気象庁では、太平洋北部・南部、日本海、東シナ海の4つの海域において、漂流式の波浪ブイを用いて日本付近の波高・気圧・水温の観測を実施している。この漂流ブイは内蔵バッテリーにより約3か月観測を行うことができるため、少なくとも1基のブイが常時稼働しているよう、それぞれの海域で約3か月ごとに1基のブイを投入している。通常は3時間に1回、位置情報も含めてデータを取得しているが、リモート指示によるほか、台風接近などにより波高2m以上を観測した場合には自動的に毎時観測モードに切り替わり、1時間ごとのデータを取得できる。



図2-2-1 波浪の観測点(赤丸は漂流ブイの位置を示す。気象庁HPより)

2.3 海洋観測

(1) 海洋気象観測船による観測

気象庁は、凌風丸(1380トン)と啓風丸(1483トン)の2隻の海洋気象観測船により、海上における気象や海洋の観測を行っている。

海上気象観測では、風、気温、気圧などの自動観測、航海士による天気、波高などの目視観測のほか、GPSゾンデ(気球)による高層観測も実施している。

海洋観測では、海水の流向・流速、表層水温の観測に加え、採水器を36本備えたCTDと呼ばれる装置を用いて、水深約6000mまでの水温、塩分を観測するほか、さまざまな深さで採水した海水を分析し、二酸化炭素濃度や水素イオン濃度(pH)

などの測定を行っている。特に東経137度及び東経165度に沿った南北のライン上では長期間(それぞれ約50年及び約20年)にわたる観測データを蓄積しており、北西太平洋域における海洋環境の変化の把握に貢献している。

(2) 中層フロート

中層フロートは、長さ約1mの筒状の観測機器で、自動で浮き沈みを繰り返し水深約2000mまでの塩分、海水温などを観測、5～10日に1度海面まで浮上し、データを送信する。観測頻度により異なるが、2～3年程度の寿命をもつ。このフロートは、WMO(世界気象機関)やUNESCO/IOC(国連教育科学文化機関・政府間海洋学委員会)などの国際協力のもとで、全世界で3000台以上が展開されており、全世界の海洋の状況をリアルタイムで監視するうえで非常に重要な役割を果たしている。

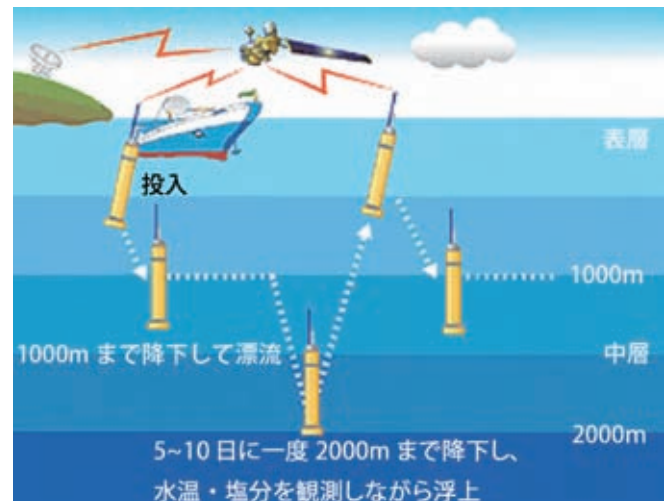


図2-3-1 中層フロートによる海洋観測

2.4 海洋監視のための解析・予測技術

(1) データ同化による海洋監視

日本の沿岸域では、黒潮の蛇行や暖水渦の接近などにより潮位の上昇を引き起こすことがあるため、日本周辺域での海洋の状況の監視は、沿岸域での防災対応においても重要である。

気象庁では、データ同化手法と呼ばれる解析手法を用いて、北西太平洋や日本近海における海面水温や海面水位などの解析を毎日実施している。この手法は、中層フロートや衛星による観測データなど、場所や時刻が区々な観測データを有効に活用することができるため、精度の良い解析を行うことができる。こうした解析の結果は、海洋の現況や今後の見通しなども含めた海洋の情報を総合的に提供している「海洋の健康診断表」のページでご覧いただける(<http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index.html>)。

なお、平成27年7月に運用を開始した「ひまわり8号」は、従

来の衛星に比べてより高頻度・高分解能の観測を行うことができるため、日本周辺域の海面水温のより詳細で正確な解析が可能となると考えられる。

(2) 新たな取り組み

気象庁では、前述のデータ同化手法とメッシュの細かい数値モデルを用いて、日本周辺の海流や水位変化が潮位に及ぼす影響も考慮した潮位の予測を行う技術を開発中である。これにより、高潮の予測精度向上や、これまで予測できていなかった急潮や異常潮位などの予測が可能となり、沿岸域での防災力向上に寄与できることが期待される。この手法はより多くの計算機資源を必要とするため、運用開始は気象庁の次期スーパーコンピュータ整備後の平成30年度以降となる見込みである。

3. 沿岸の防災気象情報

3.1 防災気象情報の種類と発表

気象庁は、発生のおそれがある気象災害の重大さや可能性に応じて特別警報・警報・注意報(以下、「警報等」という。)を発表している。また、災害に結びつくような激しい現象の発生する1日～数日前から気象情報を発表し、警報等の対象となる現象の経過、予想、防災上の留意点などを解説している。海岸線からおおむね20海里(約37km)以内の水域を、「沿岸の海域」と呼んでおり、海岸線を持つ区域の警報等や気象情報、天気予報については、「沿岸の海域」を含めた領域を対象に行っている。

警報等には、以下(表3-1-1 参照)の種類がある。

表3-1-1 警報等の種類

警報等の種類		内容
特別警報	暴風、波浪、高潮、暴風雪、大雨、大雪	重大な災害の起こるおそれ著しく大きい場合に発表
警報	暴風、波浪、高潮、暴風雪、大雨、洪水、大雪	重大な災害の起こるおそれがある場合に発表
注意報	強風、波浪、高潮、風雪、大雨、洪水、大雪、雷、融雪、濃霧、乾燥、霜、なだれ、低温、着氷、着雪	災害の起こるおそれがある場合に発表

警報等は、災害対策基本法において基礎的な地方公共団体と位置付けられている市町村をひとつの区域として発表している。発表する警報等は、単に、警報等の種類を伝えるだけでなく、予想される気象状況や警戒すべき事項などとともに、注意・警戒の必要な現象の開始・終了の時間帯、ピークの時間帯、波高や潮位、風速、雨量などの予想最大値を箇条書きで簡潔に記述している。また、注意報から警報に切り替える可能性が高いときには、前もって注意報の中で「○○(いつ)までに××警報に切り替える可能性がある」と明示している。(図3-1-1参照)

図3-1-1 気象警報等の発表例

警報・注意報は、あらかじめ、過去に発生した災害とそのときの風速や潮位、雨量等の関係を調べた上で基準を定め、防災機関の応急対応や地域住民の安全確保行動等に要する時間を確保できるよう、基準を超える現象が発生する概ね3～6時間前(短時間の強い雨に伴う大雨警報・注意報及び洪水警報・注意報については概ね2～3時間前)に発表するよう努めている。また、夜間・早朝に警報発表の可能性がある場合には、夕方に注意報を発表し、警報を発表する可能性のある時間帯をその注意報の発表文中に、例えば「明け方までに警報に切り替える可能性がある」などと明示している。

なお、こうした猶予時間(リードタイム)は、現象の予想が難しく確保できない場合もある。

暴風・波浪・高潮及び暴風雪の特別警報は、「伊勢湾台風」級(中心気圧930hPa以下又は最大風速50m/s以上、ただし、沖縄地方、奄美地方及び小笠原諸島については、中心気圧910hPa以下又は最大風速60m/s以上)の台風や同程度の低気圧により、これまで経験したことのない現象となることが予想される場合に、最大級の警戒を呼びかけるものである。今後、猛烈な暴風等により安全確保行動が困難となることが想定されることから、現象が予想される、概ね24時間前に気象情報等により特別警報発表の可能性を伝え、概ね12時間前に特別警報を発表するよう努めている。

ただし、大雨や大雪の特別警報については、すでに重大な災害が発生している可能性もあり、暴風等の特別警報のような猶予時間(リードタイム)はないとの認識が必要である。現象が激しくなってからの行動は難しく大変危険な場合がある。安全確保は、警報等や気象情報を活かし、早めの対応が極めて重要である。

なお、日本の沿岸から300海里(およそ560km)以内については、海域を12に分けた区域ごとに、地方海上予報(天気、風向・風速、波の高さ等)、地方海上警報(強風・濃霧・着氷等)等を発表している。また、地方海上予報・警報の内容の詳細なイメージを解説する分布予想を図形式にした地方海上分布予報を発表している。



3.2 潮位・波浪の観測・予測

気象庁では、高潮・副振動・異常潮位及び高波等による沿岸の施設等への被害の防止・軽減のため、全国各地で潮位(潮汐)と波浪の観測を行っている。潮位の観測は検潮所や津波観測点の観測装置、波浪の観測は沿岸波浪計、ブイ、観測船を使用して行っている。また、他機関の観測データも活用してきめ細かい実況の監視に努めている。一方、スーパーコンピュータを用いた高潮モデルや波浪モデルにより、それぞれ潮位や波浪の予測値を計算している。これらの資料と実況監視データを用いて、各地の気象台では、高潮・波浪の警報等や、気象情報、潮位情報を発表し、沿岸域での浸水等の被害や船舶の海難事故に対する注意・警戒を呼びかけている。

3.3 防災気象情報の伝達

気象庁では、防災気象情報をテレビ・ラジオ等の報道機関や気象庁ホームページなどを通じて住民へ提供している他、都道府県や消防庁を通じて市町村等防災機関に伝達している。市町村からは、地域の実情に応じて防災行政無線や広報車の巡回、ケーブルテレビなどを用いて防災気象情報が周知されている。また、最近では携帯電話やスマートフォンなどの各種アプリケーションを用いて、一人ひとりがその地域で必要な防災気象情報を手軽に手に入れることが出来るようになっている。気象庁は、防災気象情報を防災機関や住民に効果的に伝達することにより、地域における防災力の強化や気象災害に伴う被害の防止・軽減を図っている。

3.4 防災気象情報の発表例

平成27年10月、北海道では、台風第23号及び台風から変わった温帯低気圧の影響により、8日を中心に暴風、高潮、大雨となり、海は猛烈にしかけた。北海道東部の根室市では、8日朝から昼過ぎまで北よりの風が非常に強く、最大風速は24.2メートル(最大瞬間風速38.0メートル)、根室港における最高潮位は、8日13時38

分に標高1.67m(瞬間値)となった。また、7日夜遅くから9日にかけての総降水量が130ミリを超えた。

地元の気象台(釧路地方気象台)は、6日から担当区域を対象とする気象情報を発表し、大荒れの天気に対する早めの対策を呼びかけた。例えば、過去に発生した事例を示したり(図3-4-1 参照)、潮位変化がわかるよう図で示すなど、少しでも想定される現象のイメージが伝わるよう工夫して発表した。警報等は、現象が激しくなる前に、猶予時間(リードタイム)をとって、順次発表(図3-1-1、図3-4-2 参照)した。

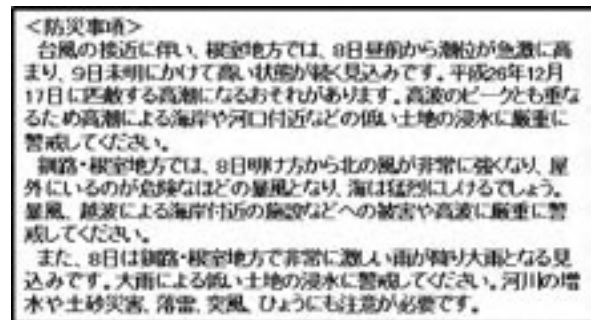


図3-4-1 7日夕方に発表した気象情報(一部)

4. おわりに

気象庁では、気象に限らず海洋についても観測から解析、予測、情報作成までを一体的に行うことにより、波浪や高潮、さらには津波といった災害をもたらす現象についての情報を的確に発表し、防災官庁としての機能を的確に果たしている。今後、より極端な気象現象が起こることが危惧される中、自然災害による被害軽減のため、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。

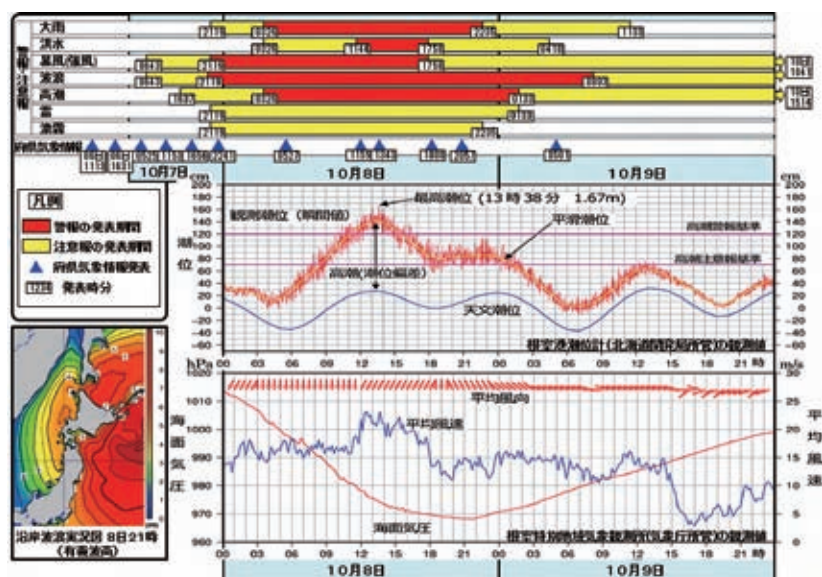


図3-4-2 根室市に係る現象経過と警報等発表状況



COMEINSによる気象・海象の 監視・予報 (波浪情報部発足から20年)

一般財団法人沿岸技術研究センター 波浪情報部

沿岸技術研究センターにおける波浪予測情報提供等の業務と「沿岸気象海象情報配信システム (COMEINS) の変遷、今後の計画について、その概要を紹介する。

1. 波浪情報部発足から20年

昭和56年運輸省の運輸技術審議会は、答申「1980年代における海洋調査の推進方策について」において「沿岸波浪観測情報網等から得られる膨大な量の沿岸波浪データの集積を行い、工学的、統計的利用のための解析及び提供を行う沿岸波浪センター（仮称）を整備する。」と提唱した。

これを受け、運輸省港湾局と気象庁は、両機関が所有する波浪観測データのほか、気象庁が所有する予報データを利用した独自の波浪予測情報等も提供することができる望ましい体制の検討を行い、財団法人沿岸開発技術研究センター（現在の一般財団法人沿岸技術研究センター（以下、「CDIT」という。））に波浪情報部が平成7年4月に設置された。同部は、平成9年気象庁の予報業務許可を取得し、波浪予報業務を開始し、平成27年には発足20周年を迎えた。

CDITは、沿岸気象海象情報配信システム（以下、「COMEINS」又は「カムインズ」という。）により、波浪の実況や予測、潮位や潮流の実況、気象庁が発表する津波や高潮等に関する警報・注意報等の情報を提供している。

「COMEINS」とは、Coastal Oceanographic and Meteorological Information Systemの略称で、「カムインズ」と共に商標登録している。

平成9年に運用を開始したCOMEINSは、現在までに平成16年と平成24年の2回、システムの大規模な更新を行い、新しいICT技術の導入や気象海象予測技術の改善、操作性の向上等の改良を行ってきた。また、平成19年にはCOMEINS携帯版の運用も開始し、平成27年には携帯版を更新した。このようなシステムの開発・更新の経緯については2節で、COMEINSのメインメニューである波浪予測手法の変遷を3節で述べ、極端気象への対応を考慮した今後の改善計画を4節で述べる。

2. システム開発・更新の経緯

2.1 初代システム

初代システムは平成7年から平成9年にかけて設計・構築が進められ、個々の客先に情報を受信、表示するための専用の端末を設置し、そこにCDITのサーバからNTTの専用回線で情報を配信する方式が採られた。情報が表示される端末は1つの事務所に付き1～2台のみで、情報を閲覧する場合はそこまで見に行かなければならなかった。端末には気象警報などの不定期に発表される情報を受信すると、必要に応じてアラームや赤色回転灯で知らせる機能が備えられていた。受信端末が不具合を



図1 初代COMEINSの専用端末（表示画面はトップメニュー）



図2 第二世代COMEINSのトップメニュー

起こしたり、端末に組み込まれている表示や通信に関するソフトを更新する必要が生じた場合等には、多くの場合は現地に行かなくてもCDITから遠隔操作で対処することができたが、それでも1台1台の端末に個別に対処しなければならなかったため、端末の数が増えると、このような保守管理の作業の負担が重くなっていった。

初代システムの専用端末を図1に示す。

2.2 第二世代システム

第二世代システムは、データ通信方式を専用回線方式からインターネットとWebブラウザを使用する方式に転換し、平成16年に運用を開始した。このシステムでは、利用者が専用端末まで行かずに自席のパソコンで情報を閲覧することが可能になった。客先に情報を受信・表示するための専用の機器を設置したり回線を開設したりする必要がなくなったため、申し込みを受けてから情報提供を開始できるまでの期間が大幅に短縮され、初期費用も引き下げられ、港湾工事の現場の事務所等に対しても容易に情報の提供を行えるようになった。

また、携帯電話も電子メールの送受信やWebの閲覧をできる機能を持ったものが急速に普及したことを受けて、気象警報などが発表されたことを知らせる電子メールを利用者が所持する携帯電話に配信することができるシステムとした。更に、平成19年には「COMEINS携帯版」と称する携帯電話向けのWebサイトの運用も開始した。これにより、外出先でも携帯電話で情報を閲覧することができるようになった。

第二世代COMEINSのトップメニューを図2に示す。

2.3 第三世代システム

第三世代システムは平成24年に運用を開始した。インターネットとブラウザを使用する点は第二世代と変わらないが、様々な点で当時のICT技術の進歩に沿った変更と改善が行われた。以下に、主要な変更点等を列挙する。

(1) 入力するデータ形式の変更への対応

気象庁から配信される防災気象情報は、従来は人間が読んでわかるような漢字かなまじりのテキストデータであっ

た。しかし、計算機処理に適したXML (Extensible Markup Language)形式のデータが社会の標準になりつつある中、防災気象情報も順次、この形式に切り替えられてきたのを受け、第三世代システムはXML形式の情報にも対応したものとした。

(2) 気象情報の多様化

第二世代システムの構築後、気象庁から発表される台風の進路予報が3日先から5日先まで延伸され、また警報・注意報は都道府県を数ブロックに分割した区域ごとに発表されていたのが市町村単位に細分化された。また、雷ナウキャストや竜巻ナウキャストといった新しい情報も発表されるようになった。第三世代システムではこれらの情報も提供できるようにした。

(3) 操作性の向上

第二世代システムは、ユーザーの表示コマンドがあってから表示画面を作る動的処理が多く表示レスポンスが遅いという欠点があったため、予め表示する可能性の高い情報を用意してお

く静的処理に変更し、利用者側のパソコンで描画を高速に実行するように改善した。

(4) 管理機能の強化

仮想マシンサーバー上でシステムを構築することにより、セキュリティの強化とシステムの安定性を確保した。さらに、情報の更新状況を自動監視する機能を加えた。

第三世代COMEINSのトップメニューを図3に示す。

2.4 携帯版新システム

COMEINS携帯版については、平成27年12月に、利用者からこれまで挙げられていたメール通報の新メニュー追加や内容の充実、スマートフォン表示対応等の機能向上策を実施し、操作性や利便性の向上を図った。

これにより現場担当者が台風接近時や地震発生時、火山噴火や局地的な大雨発生時、竜巻注意情報が発表された時など、これらの情報をより早く認知し、迅速な危機管理業務を遂行する



図3 第三世代COMEINSのトップメニュー



表 波浪予測手法の発展(外洋)

	短期予報(3日先まで)		中期予報(3日～8日先まで)		システム
	海上風予測	波浪予測	海上風予測	波浪予測	
平成7～15年	気象庁沿岸波浪モデル	気象庁沿岸波浪モデル + 局地波浪モデル	気象庁気圧GPV + 傾度風モデル	第一世代モデル	初代(専用線)
平成16～21年			気象庁GSM 全球域	第三世代モデル	第二世代
平成21年 ～現在	気象庁MSM + GSM日本域	第三世代モデル (WAM拡張)	気象庁GSM 日本域	第三世代モデル (WAM拡張)	第三世代

のに資するようになった。

3. 波浪予測手法の変遷

COMEINSのメインメニューである波浪予測について、予測手法の変遷を表に示した。COMEINSは日々の波浪予測を実施するとともに、予測した結果の検証を行っており、検証結果をフィードバックさせて予測手法の改良を継続して実施し、精度をさらに高めている。

平成7年からの開発初期には、日本近海の予報には気象庁の沿岸波浪モデルの風と波の予測結果で局地波浪計算(浅海変形、屈折、回折、反射)を行い、計算結果に波浪観測地点の観測値による補正を施していた。週間予報には気圧予測を用いた傾度風を第一世代波浪予測モデル¹⁾に適用していた。

平成10年からは内湾の予想に気象庁のRSM(領域モデル)の風を第二世代波浪予測モデル¹⁾に適用して、予測を開始した。

平成13年からは内湾の予想に、波浪予測モデルとして第三世代波浪予測モデル¹⁾(WAM²⁾相当モデル)を採用した。

平成16年からは日本近海の週間予報として気象庁のGSM(全球モデル)の風を第三世代波浪予測システム(WAMモデル)に適用して予測を開始した。

平成21年度からは日本近海と内湾に対して気象庁のGSM、MSM(メソモデル)の風を第三世代波浪予測システム(WAMモデル)に適用して予測を開始した。さらに波浪観測値(リアルタイムナウファス)を用いたデータ同化手法により波浪予測値を面的に補正する日本で初めての予測手法も取り入れた。週間

予報ではGSMの風をWAMモデルに適用する予測を開始した。

4. COMEINSの今後の改良計画

現在COMEINSで運用されている波浪予測モデルは、1988年に欧州で開発されその後バージョンアップされていったWAMを、さらに浅海域にも適用できるように改良を加えたモデルである。COMEINSによる波浪予測値については、年々の改良の成果によって精度が向上してきている。

一方で、地球温暖化の影響もあり最近の気象は極端化しているといわれている。近年急速に発達する低気圧により港湾構造物の設計波を超える波が来襲したり、周期の長いうねり性異常波浪が襲来したりして、港湾構造物が被災する事例がみられる。富山湾の「寄り回り波」の波高がCOMEINSでは予測再現性が不十分であることなど、モデル改善の必要性も高まっている。

また、COMEINSでは、台風時には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や天文潮を考慮した潮位情報の提供を行っている。これらの情報の算出方法のさらなる改善も求められている。

さらに、携帯版COMEINSの極端気象に関する表示メニューやメール通報メニューを充実させることにより、屋外作業に従事している人たちに、極端気象の発生や予測情報をいち早く知らせ、臨機応変な行動がとれるよう支援することも必要である。

今後一層極端気象への防災対策に貢献できるような情報の提供に努めてまいりたい。

1) 波浪の数値モデルはエネルギー平衡方程式が基本となっている。この式を線形的又は簡便的に解く方法が開発され、それぞれ第一世代、第二世代と呼ばれる。さらに波のスペクトルを構成する成分波間の非線形相互作用を定式化して考慮できる波浪モデルが開発され、これは第三世代と呼ばれる。

2) 世界的に広く使用されてきた数値波浪予測モデル(Wave prediction Model)



最大クラスの高潮を 想定することの必要性

高山 知司

一般財団法人 沿岸技術研究センター 参与（沿岸防災技術研究所長）
京都大学 名誉教授

東日本大震災における津波の経験を踏まえて、高潮の発生のメカニズムと今後の高潮対策において最大クラスの高潮を想定することの必要性について語っていただいた。

1. はじめに

2011年3月11日に東日本大震災が発生し、20,000人近くの市民が犠牲になった。このとき、 $M=9.0$ の地震によって巨大な津波が発生し、多くの防潮堤や防波堤、特に津波防波堤まで破壊されて、未曾有の大災害になった。このような巨大津波は1,000年に1回の確率だと言われている。このような規模の津波については明瞭な痕跡もないために、想定もされていなかった。記録が明瞭な津波を対象にした対策で十分だと考えられ、津波が防潮堤や防波堤を乗り越えるようなことが起こるとは想定していなかった。想定以上の津波が広領域に来襲したらどのような結果になるかは検討すらされなかった。

東日本大震災では、津波の規模が非常に大きかったために、越流した津波で防潮堤や防波堤の背後が洗掘され、倒壊したり、水圧差による浸透流で堤体の安定性が低下したりする新たな現象が報告された。しかしながら、まれにしか起きない大規模な津波を完全に防御することは投資効果の面からも不可能に近く、避難といったソフト対策で対応することとなった。従来から取り扱ってきたような発生頻度が比較的高い津波（レベル1津波）は構造物で完全に防御する防災対応とし、東日本大震災の時の津波のような最大クラスの津波（レベル2津波）については、避難によって人命を救うとともに、災害の急激な増大を防ぐために防災施設が崩壊しないように粘り強さを付加する減災対策をすることになった。

このように津波についてはレベル1とレベル2の2つの規模の津波を想定して対応することになったが、もう一つの主要な自然災害である高潮については避難の検討が十分に行われていない。この要因としては、高潮に対する科学知識と技術の蓄積によって高潮の発生日時と規模が比較的に正確に予測できるため

に、予め安全な時刻に避難警報を出すことができるからである。避難はできても規模の大きな高潮が来襲した場合、高潮防災施設が崩壊して、人命は失われなくても、家屋等が浸水で流出したり強風や高波で倒壊したりする。高潮で重要なことは、高潮には高波を伴うことである。

このような高潮の特徴を考えながら、高潮に対しても津波同様にレベル2の高潮を考えることの必要性について検討してみる。

2. 高潮の特徴

高潮は、台風のような巨大な移動性低気圧によって発生する異常な海面上昇である。そして、その典型的な時間波形は図1に示すような形状になる。高潮の本体が到達する前に前駆波と呼ばれる周期が長く、比較的小さな波が到達することが知られている。その後、台風本体が近づくと水位は急激に増大し、台風が通り過ぎると、水位は急速に低下し、湾や海域に特有な固有周期による小さな振動が続き、収束する。このように、

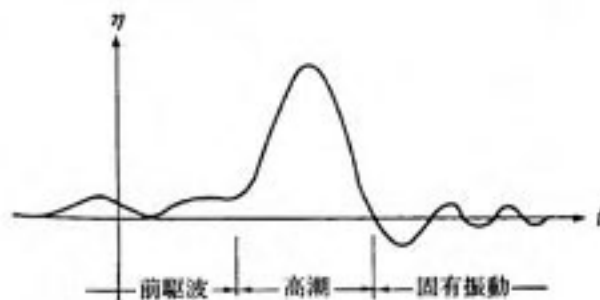


図1 典型的な高潮の波形



高潮は津波と異なって、何波も来襲するような現象ではなく、1波だけと考えることができる。

高潮本体の異常な水位上昇の原因としては、台風による強風に起因する吹き寄せ効果と気圧低下による海面の吸い上げ効果がある。図2に示すように、海面上を強風が吹くと海面には風速の二乗に比例する剪断力が作用し、この剪断力に釣り合うために海面は風の吹く方向に持ち上げられるように傾く。この傾きは風速の二乗に比例し、水深に反比例する。そのために、水深が浅いほど吹き寄せ効果は大きくなる。その結果、水深の浅い海域が大きく広がっている海域ほど高潮は大きくなる。わが国では、大阪湾や伊勢湾、東京湾といった内湾で大きな高潮になる。また、吸い上げ効果は、図3に示すように、台風が近づくと気圧が下がるために、下がった分だけ海面が上昇することで起きる。気圧が1hPa下がると海面は約1cm上昇する。台風の中心気圧が940hPaとすると、台風中心では約70cm海面は上昇する。

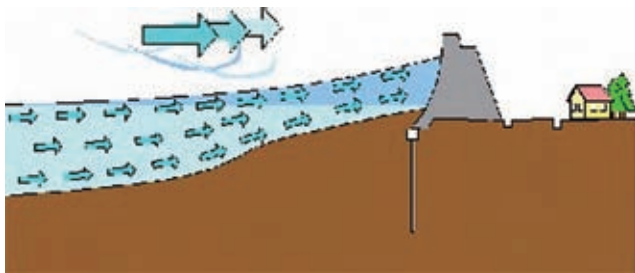


図2 風による吹き寄せの効果

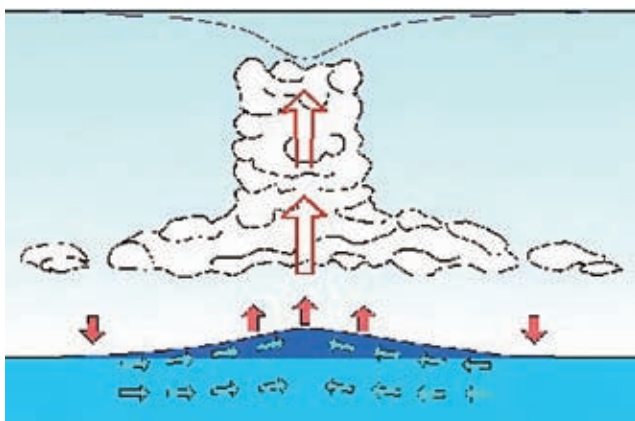


図3 気圧低下による吸い上げの効果

高潮のもう一つの特徴は、高潮は高波浪を伴うことである。風速が大きければ大きいほど、吹き寄せによって高潮は大きくなるが、同時に波浪も大きくなる。そのために、高潮が大きいほど、波浪も大きい。波浪は波高に対応した水深で砕波して波

高を急激に低減させるが、高潮によって水深が深くなれば砕波し難くなり波高が大きくなる。また、波浪が砕波することで平均水位の上昇(ウエーブセットアップ)が起こり、それが高潮と重なって非常に大きな水位上昇になる。台風7010号による土佐湾における高潮を計算によって再現しようとしたが、高潮現象だけでは説明ができず、ウエーブセットアップの効果を導入することによって再現が可能となった事例もある¹⁾。

3. 構造物の安定性に与える高潮の影響

高潮は、非常にゆっくりした海面上昇であるために、高潮本体によって構造物が被災することはない。しかしながら、既に述べたように高潮は高波浪を伴い、波浪は周期が比較的に短いために、構造物に与える動的な効果が大きく、その結果、大きな波力を作用させる。防潮堤の天端は高潮と波浪の効果を考慮して設定しているので、高潮が防潮堤の天端を直接超えることはないが、防潮堤が波浪によって破壊されると、高潮が直接浸入するようになって、大きな浸水災害を起こす。図4は台風0418号による広島港での防潮堤の被災状況を示している。



図4 台風0418による広島港の護岸被災

防潮堤の被災の多くは、転倒被災で、次のような原因によって起きている。高潮による海水位の上昇に伴い、越波量が増大し、背後の地盤が洗掘されて、支持力が低下するとともに、海水位の増大が波力の作用位置を押し上げ、防潮堤を転倒させ易くすることである。さらに、砕波が作用している状態では海水位の上昇によって作用波高が大きくなり、波力も増大する。このように、高潮は防潮堤被災の直接の要因ではないが、被災原因に密接に絡んでいる。

高潮防潮堤を除いて一般の防波堤は高潮を低減させる効果は

ほとんどないが、防波堤は波浪を遮蔽して港内を静穏にすることを目的に建設されるために、高潮に伴う高波浪を低減させる効果は非常に大きい。高潮が防潮堤を越えて浸入しない限り、港内において大きな被災は起きない。しかしながら、防波堤が被災すると、防波堤の波浪低減効果が急激に失われ、港内波浪が大きくなって港内防潮堤が被災する可能性が増大する。

高潮は、防潮堤の場合と同様に防波堤の被災に直接の要因ではないが、高潮によって海面が上昇すると、上昇量に対応した浮力が作用するために、防波堤の滑動抵抗力(摩擦抵抗力)が減少する。さらに、防潮堤の被災の場合と同様に高潮による海面の上昇は砕波が作用する状況では作用波高が大きくなり、波力も増大して、防波堤が被災する可能性が高くなる。

伊勢湾台風を想定台風として、志布志港の防波堤の被災の可能性について検討した結果について述べておく。想定台風は志布志港と同じ緯度での伊勢湾台風の中心気圧を持つとし、また、志布志港に最も大きな高潮を発生させる経路を通るとした。推算の結果、防波堤前面の水深が高潮によって1.5m増大し、有義波高及び最高波高は約2.5m増大した。消波工で被覆された防波堤は消波工が被災しなければ、安定状態にあったが、消波工が被災し、消波工の天端が下がって部分被覆になると、衝撃的な波力が作用して防波堤が被災する可能性があることが判明した²⁾。現実的にはこのような被災も生じる。

以上述べたように、高潮による海面の上昇は、防波堤を被災させ、被災箇所から進入してくる波によって港内の防潮堤には大きな波が作用し、防潮堤が被災し、港内が大きく浸水されて、被害が急激に増大する可能性が高くなる。

4. 最大クラスの高潮の想定

既に述べたように、高潮とそれに伴って来襲する波浪によっては、防波堤が被災する可能性がある。防波堤が被災すると、被災箇所から進入してくる波によって港内の防潮堤も被災する可能性も高くなる。防潮堤が被災すると、高潮によって上昇した海水が直接浸入して大災害が発生する。高潮とそれに伴う高波浪によって防波堤が被災するようになると、災害の規模は急激に増大する。このような大災害の発生は極力抑えておくことが重要である。

国土交通省の水管理・国土保全局と港湾局、農林水産省の農村振興局と水産庁漁港漁場整備部は平成27年7月に「高潮浸水想定区域図作成の手引き」を発表している³⁾。そこでは、最大規模の台風を想定し、対象海岸において最大の潮位偏差が生じるようなコースを朔望平均満潮位時に通過させて、最大の高潮を

発生させ、それによって生じる最大の浸水深を示すようにしたものである。想定する台風は既往最大規模の台風である室戸台風(1934年 上陸時911.6hPa)を基本にし、対象海岸における緯度を考慮して台風中心気圧を設定している。まれに起きる巨大台風に対する気候変動の影響については研究途上にあり、不確実性を伴うために現段階においては見込まないことにしている。また、最大風速半径と移動速度については伊勢湾台風を基本にしている。

室戸台風については、気象庁の統計開始前であったために、中心気圧や最大風速半径、移動速度等の台風諸元について十分なデータがない。過去の台風の中心気圧を調べてみると、わが国近海においては、緯度が低いほど台風の中心気圧は小さくなる。図5は各台風の緯度に対する中心気圧の変化を示している。この図を基にして赤の点線で示したように室戸台風の中心気圧が緯度によって変化するとしている。最大風速半径が大きいほど広い範囲に高潮の影響が及び、また、移動速度が速いほど風速が大きくなり、高潮も大きくなる。そこで、既往の大規模台風について調べた結果、伊勢湾台風が最大風速半径も移動速度も最大であったことから、これらの値については伊勢湾台風から設定している。

以上のように最大クラスの高潮(レベル2高潮)については、室戸台風を基本にして、上記の「高潮浸水想定区域図作成の手引き」で示された方法によって推算された高潮とするのがよいと考えられる。そして、従来から高潮対策として防潮堤の設計に用いられている高潮をレベル1高潮とするのが矛盾ない。

防潮堤や高潮防波堤のような高潮対策施設については、朔望平均満潮時におけるレベル1高潮による最大潮位偏差時の水位とその時に来襲している波浪に対して適切に天端高を設定するとともに、その強度については使用性を担保するように設計する。一般の防波堤については基本的には高潮制御構造物ではないので、朔望平均満潮位に対して50年確率波を作用させて使用性を担保するように設計する。

最大クラスの高潮であるレベル2高潮に対しては、高潮対策施設が崩壊して高潮防御機能が喪失すると、高潮被害が急激に増大するために、粘り強さを付加して、変形しても高潮防御機能が完全に失われないようにすることが重要である。また、一般の防波堤についても、レベル2高潮と波浪の作用で被災すると、既に述べたように被災箇所から波浪が進入し、港内の防潮堤を崩壊させる可能性があり、また、越波量が増大し、防潮堤の背後地域を大きく浸水させ、被害を拡大する。一般の防波堤は高潮を制御する効果は期待されていないが、被災によって高潮

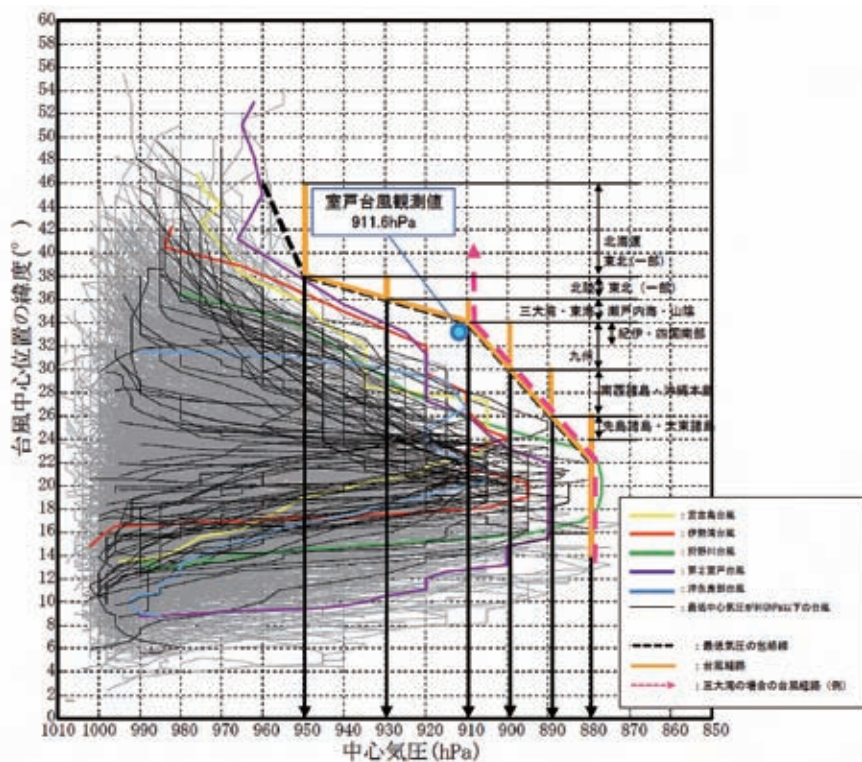


図5 緯度による台風中心気圧の変化

被害を大きく拡大することがあってはならない。そこで、一般の防波堤であっても、レベル2高潮時に被災し、浸水被害が拡大するのを防がなくてはならない。つまり、レベル2高潮時における防波堤の安定性を検討し、被災する可能性があれば、被災しないように粘り強さを付加することが重要となる。

5. おわりに

津波の場合と同様に、高潮についても避難といったソフト対策で対応する最大クラスの高潮(レベル2高潮)と従来通り高潮対策施設の設計に用いる既往最大の高潮(レベル1高潮)に分けて対応することが検討されるようになった。しかしながら、レベル1高潮に対して設計した高潮対策施設もレベル2高潮時に被災すると、被害は急激に拡大するために高潮防護機能を喪失しないような対策が重要となる。また、一般の防波堤は高潮防護施設ではないのでレベル1高潮で設計する必要はないが、レベル2高潮時に被災すると港内に波浪が容易に進入し、港内の浸水被害が急激に増大する。これを避けるために、防波堤の補強も必要になる。

最大クラスの高潮が発生しても施設の機能喪失による被害の

拡大を避ける必要があることを示した。しかしながら、施設の補強対策には費用もかさむために、費用対効果の検討が必要になる。実際に費用対効果の算定が今後の課題になるう。

参考文献

- 1) 柴木秀之・加藤史訓・山田浩次(2001): 密度成層とWave Setupを考慮した土佐湾異常高潮の推算, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.286-290
- 2) 山本 隆信・高山 知司・光行 忠司・松岡 英雄(2014): 大規模台風の高潮・高波に起因する志布志港内の存置物流出と防波堤被害の検討、沿岸技術研究センター論文集、No.14、2014
- 3) 農林水産省農村振興局整備部防災課・水産庁漁港漁場整備部防災漁村課・国土交通省水管理・国土保全局河川環境課・海岸室・港湾局海岸・防災課: 高潮浸水想定区域図作成の手引き、2015

特別講演

気候変動と適応策 ～我ら共通の未来は描けるか？～

ご講演者：茨城大学学長 三村信男 氏

昨今、地球温暖化が世界の未来に警告を与えている。温暖化による気候変動は今後どのようなものか、さらにそれに対してどのように対応すればいいのか。本稿では、平成27年11月26日に行われた三村信男学長による「コースタル・テクノロジー 2015 特別講演」を抜粋してまとめさせていただいた。

1. IPCCとはどういう組織か？

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)は日本語に訳すと「気候変動に関する政府間パネル」となります。この中で「政府間」というのが重要なポイントであり、これは政府がメンバーになっているということです。2014年には5回目の報告書を発表しましたが、IPCCの報告書はその時々での国際的な気候交渉をサポートする役割をしています。

IPCCの目的は温暖化防止条約や、それに基づいて開かれるCOPでの政府間の交渉、国の政策立案などをサポートすることです(図1)。そのために、温暖化問題では各国の大学や研究機関で毎年多くの論文が発表されますが、科学的な将来予測や経済対策を客観的に評価します。

IPCCには3つの作業部会がありますが、私は第2作業部会での評価に1989年から2015年まで関わってきました。第2作業部会の第5次報告書は約2000ページで30章あります。執筆者は70か国から選ばれた308人です。私の担当は第2作業部会の第15章の適応策でした。

この報告書で重要なことは、最後の段階でその内容を参加国が承認することです。これによって、COPの交渉などでは、「温暖化はどうして起こるのか」というような基本の議論はしなくてよく、純粋に交渉だけに徹することができるために、政府間交渉がやりやすいということです。報告書をすべての政府が承認するのは大変ですが、議論を尽くして合意をしていきます。

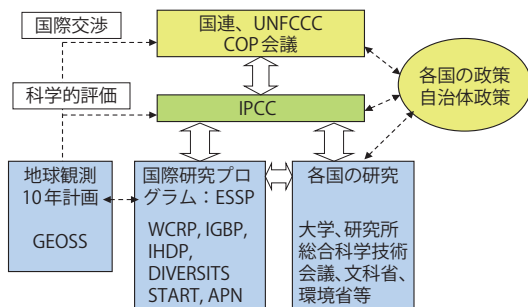


図1 気候変動に関するIPCCの役割

2. 気候変動の現状と将来予測 ～第1作業部会報告～

ここでは、過去の温暖化の進行についてまとめられています。1850年以降の記録に基づくと、20世紀に入って温暖化が進んでいて、後半になるとさらに加速し、過去150年間では年間平均気温が0.85℃上がっています。海面の上昇も同調して+19cm、それらをもたらしたCO₂濃度は+42%、今年は400PPMを超えと言われています。排出量は15倍で、これは化石燃料の使用に原因があります(図2)。

人為的な影響による気温上昇と地球自身が持っている自然の変動の関係を見ると、過去においては10万年サイクルで氷期・間氷期がくり返しています。もっと短いサイクルでも自然の変動は生じています。自然の変動が主なのか、あるいは人間による影響が主なのかという議論ではなく、私自身は両方の要因が当然重なっていると思っています。

将来の予測シナリオが用意されていて、今世紀の終わりにはCO₂の濃度が412PPMから、最高936PPMになるというものです。それぞれ、気温の上昇は1.6から4.3℃となっていますが、世界で言われている2℃目標が大変厳しい目標であることが分かります。なにも規制をしないと4℃以上も上昇するということです。

気温においては北極圏や大陸内部では上昇が大きく、特に北極圏では今世紀末までに10℃以上も上がるところもあり、降雨につ

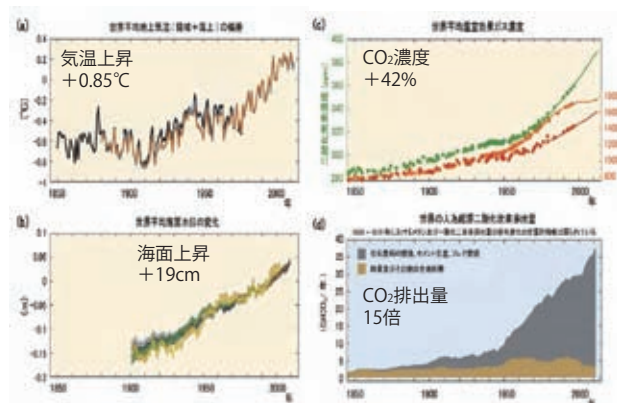


図2 過去の温暖化の進行 (IPCC Synthesis Report SPM, 2014の和訳)

いては北極圏や赤道近辺が多くなるとされています。逆に地中海や中央アジアにかけてはより乾燥していくとされています。

関心の高い海面上昇ですが、温度上昇を今後2℃に押さえたとしても40cmの上昇が予想されます。北極海の水氷面積については、20世紀までは安定していましたが、2050年には北極海に氷がなくなると予測する人もいます。海洋の温暖化も明らかで、1971年から2010年までに蓄積した熱の90%以上が海洋に蓄積されている。これは新しい指摘です。気候変動を抑制するには温室効果ガスの排出抑制が必要ということです。

3. 気候変動の影響と適応策 ～第2作業部会報告～

第2作業部会報告の重要な点は、温暖化の影響が世界のあらゆる場所で検知されるようになってきているということです。

事例をあげると、シベリアでは永久凍土が溶けて建物が崩れ始めたりパイプラインが沈下しています。北極圏では海氷も少なくなっています。しかし、それを利用して北極海航路が開通されたり、ここには自然資源がたくさんあるのでどのように開発するかといった経済開発の最前線になるのではないかとこともあります。温暖化というのは自然環境の問題だけではなく、社会経済的に大きな影響を持つ問題でもあるわけです。

南太平洋の島国ツバルですが、国土が23km²で人口は1万人強です。ここは全体をサンゴがつくった地形で、海上に出ている陸地はほんの1、2m

です。このあたりの南太平洋の島はどこも浸食で悩まされています。こういうところには、自然の防波堤にな



るサンゴ礁のような自然システムと人工的な補助をどう組み合わせるかが、海岸保全の鍵だと思います。

自然災害の激化については日本でもここ数年間で、過去には経験したことのないような豪雨や土砂災害に見舞われています。

4. 温暖化対策と世界の未来

気候変動には2つの対策があります。それは、緩和策と適応策です。将来においては、日本は人口減少や公共投資の伸びが十分確保できないと見込まれています。そうすると、災害外力が大きくなる一方、社会がそれに対応できなくなるので、被害が大きくなります。したがって、気候変動対策というのは外力が大きくなるのを抑える対策(緩和策)と社会の対応力を上げる対策(適応策)が重要になります。それがCO₂排出対策であり、人間の側の

適応能力、つまりレジリエンスを上げるという2つの対策です。

人間社会と自然環境が適応できる範囲に温暖化気候を抑制することが大切です。以前から、温暖化対策は緩和策と適応策の両方をしなければいけないと言われていましたが、何をどこまですればいいかということはいまいでした。ですから、適応の限界を超えない範囲に緩和策を打つ必要があるということを示したわけです。

では、その範囲はどこまでかということ、1870年以降のCO₂の累積排出量は1兆9000億tぐらいです。これを国際目標の気温上昇2℃におさえようすると、総量で約3兆t以下にとどめ、濃度を480PPMぐらいに抑えなければいけません(図3)。現在世界から毎年450億トンぐらい出ていますから、このままあと20年出し続けると+2℃のレベルを超えます。

そのための経路として、2050年には排出量を40%から70%減にしなければいけないという指摘がありますが、今世紀末にはゼロエミッションかマイナスエミッションにしなければいけないことになります。そのキーワードになるのが「脱炭素」「経済成長とCO₂排出の分離」「CO₂の値付け」です。

では、各国がどのような努力をしているかというと、アメリカやロシア、ヨーロッパは先ほどの3つのキーワードをそれなりに遂行していますが、インドや中国は脱炭素については経済成長ということもあり達成していません。日本はどうかというと、3.11以降は対策に苦労しているといえます。

以上の話をまとめると、表1のようになります。ご静聴ありがとうございました。

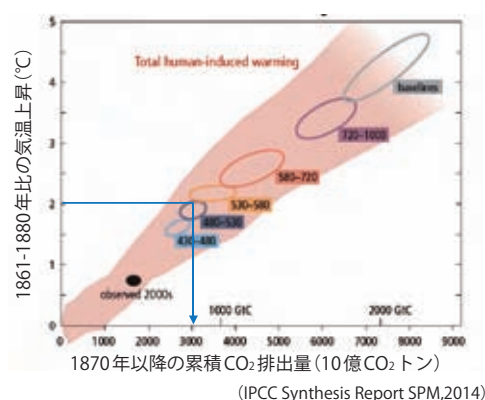


図3 累積CO₂排出量と気温上昇

表1

1. 最近の気象は極端化している。それには、温暖化の影響も含まれている。
2. 日本にも影響は出ている。夏の猛暑、高潮、土砂災害、農業影響など。今後、防災対策や適応策を強化すべき。
3. 社会が適応できる範囲に温暖化を抑える必要がある。CO₂対策と適応策の組み合わせが重要。
4. 世界の視線は、「気候変動への緩和策・適応策を他の目標と組み合わせて持続可能な未来を築くポスト炭素社会時代」に向かっている。

全素線塗装型PC鋼より線 【SCストランド】

**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鋼より線の各素線をエポキシ樹脂で塗装した防食PC鋼材で、港湾PC構造物の高耐久化に活用が期待されている。

SCストランドの概要

コンクリートにプレストレスを与えるためのPC鋼材には、単線であるPC鋼棒やPC鋼線、より線としてPC鋼より線がある。

近年、取り扱いやすさなど施工性の面から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いる。PC鋼棒やPC鋼線のような単線と比較すると、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する従来の対策は、コンクリートのかぶりやPC鋼より線が配置されるシース内のPCグラウトによる保護が主体であるが、塩害の厳しい港湾環境で確実に鋼材の腐食を防ぐには、かぶりだけでなくエポキシ樹脂塗装鉄筋のようにPC鋼より線を塗装することが有効な手段の一つであるといえる。

そこで、SCストランドはPC鋼より線の素線1本ごとに単独でエポキシ樹脂塗膜を形成する方法（全素線塗装型）により塗装を施した（図1）。

SCストランドの断面を図2に示す。全素線塗装型は、PC鋼より線の素線それぞれの外周面に塗膜が形成されているため、PC鋼より線のより溝形状を保持したまま素線同士の接触部分がない。したがって、全ての素線が全長にわたり完全に防錆され、フレットングによる擦過摩擦の発生を防ぎ疲労強度の低下を抑制できることが期待できる。

全素線塗装型は0.2mm程度の塗膜が均一に形成されているため、PC鋼より線の特徴である柔軟性をはじめ、コンクリートとの付着や定着具の適用性などの性能を保持しつつ防食性を付与した防食PC鋼より線である。

塗膜があることで、プレテンション方式のPC部材では外部要因である飛来塩分の侵入により鋼材表面の塩化物イオンが腐食発生限界濃度に達することを防ぎ、ポストテンション方式のPC部材では、シース内に有害な残留空気が生じた場合に対して予防保全的な役割を果たすことができる。いずれにおいても、港湾PC構造物には多重防食の適用が有効であり、本技術はその防食層の一つ

を担うことができる。

このように本技術は、栈橋、防波堤、沈埋トンネルや岸壁など、港湾においてPC鋼より線が使用されるプレストレストコンクリート構造物全般への適用を想定し（図3）、港湾の腐食環境に対して耐久性が高く、PC鋼より線としての強度特性、柔軟性および定着性能を保持しつつ、プレストレストコンクリートへの適用性がある全素線塗装型PC鋼より線である。

製品は、JIS G 3536のSWPR7Bにある呼び径12.7mmならびに15.2mmのPC鋼より線の各素線に、エポキシ樹脂にて塗膜厚さ0.2mm程度の静電粉体塗装を施した仕様である（表1）。



図1 SCストランドの外観

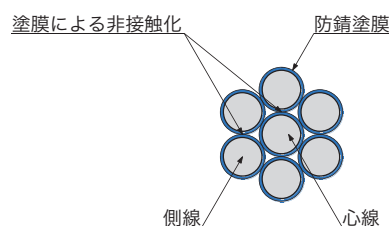
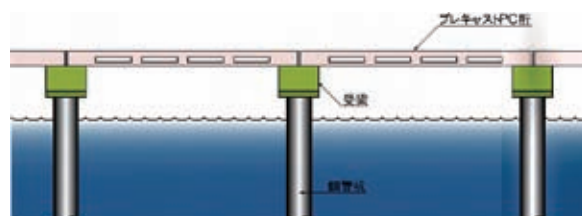
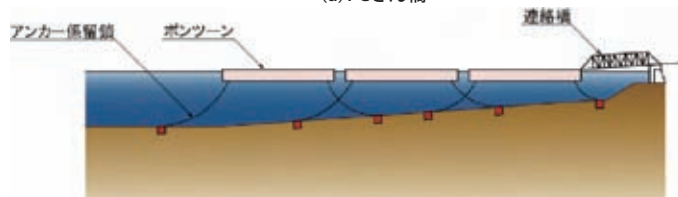


図2 SCストランドの断面



(a) PCさん橋



(b) 浮きさん橋

図3 想定される用途例

表1 SCストランドの仕様

呼び名		12.7mm	15.2mm
PC鋼より線	JIS 記号		JIS G 3536:2014 SWPR7B
	単位質量	[g/m]	774 1 101
防錆塗膜	外径	[mm]	13.9 16.4
	単位質量	[g/m]	800 1 131
	塗膜厚さ	[mm]	0.2 0.2
	塗膜質量	[g/m]	26 30
	塗膜の種類		エポキシ樹脂

SCストランドの特徴

・塗膜の防錆性

エポキシ樹脂にて塗装された塗膜は、塩化物および薬品等に対して遮蔽性を有している。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

JISに定められている引張強度とリラクセーション値を満足しており、塗装する前と変わらない柔軟性を保持している。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、従来のPC鋼より線と同等以上の疲労強度を有している。

・港湾PC構造物への適用性

SCストランドとコンクリートとの付着による定着長さはPC鋼より線呼び径の65倍で従来と同じ設計が可能であり、その部材は従来と同等の曲げ耐力を有しているため、プレテンション方式のPC構造物に適用が可能である。

従来のPC鋼より線用の定着具とSCストランドを組み合わせた定着効率は土木学会に定められた値を満足しており、専用の定着具を必要としない。場所打ちコンクリートを想定した取扱いにおいても塗膜が健全であり、ポストテンション方式のPC構造物に適用が可能である。

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(図5)、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6)。また、耐おもり落下性試験および塗膜硬度試験を行い、塗膜の耐衝撃性を確認した。

・機械的性質の確認

引張試験およびリラクセ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240N/mm²、繰返し回数400万回)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、SCストランドは400万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)。

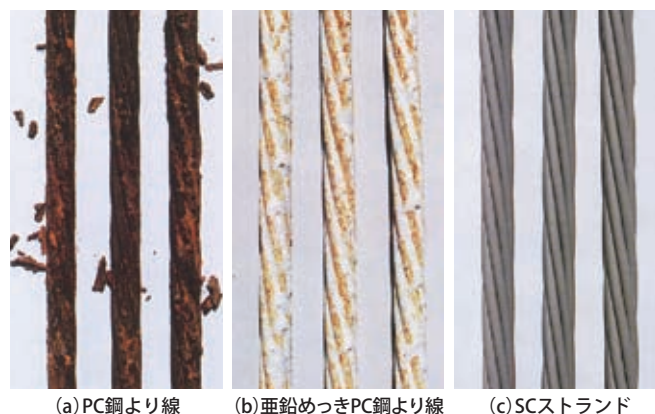


図4 塩水噴霧試験(500時間)



左：SCストランド
右：PC鋼より線
図5 乾湿繰返し試験



図6 曲げ加工試験

・適用性の確認

定着長試験を行い、コンクリートとの定着長さが道路橋示方書にあるPC鋼より線呼び径の65倍であることを確認し、プレテンション桁の曲げ試験を行うことによって、ひび割れ荷重や曲げ耐力が従来と同等であることを確認したため、プレテンション方式への適用性が確認された。

従来のPC鋼より線用定着具として用いられているKTB工法と組み合わせた定着性能確認試験を行い、定着効率が土木学会の定める値を満足していることを確認し、場所打ちコンクリートにおける取り扱いを想定した施工状況を再現し、その状況下において塗膜が健全であることを確認することによって、ポストテンション方式への適用性が確認された。

実績

SCストランドは、港湾におけるさん橋(横浜港大さん橋)や橋脚部(黎明みなと大橋)への使用実績があるほか、土木ならびに建築におけるPC構造物全般に多くの使用実績がある。

表2 引張疲労試験結果

供試体	SCストランド			PC鋼より線		
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
上限荷重0.45Pu [kN]	117.7	117.7	117.7	117.7	117.7	117.7
下限荷重0.32Pu [kN]	84.3	84.3	84.3	84.3	84.3	84.3
振幅荷重0.13Pu [kN]	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
最終繰返し数[回]	4 000 000	4 000 000	4 000 000	392 770	339 280	334 200
破断状況	破断せず	破断せず	破断せず	定着部にて破断	定着部にて破断	定着部にて破断



国際
沿岸リポート

第14回国際沿岸防災 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 川原 修

当センターは、国立研究開発法人港湾空港技術研究所及び国土交通省港湾局と共同で国際沿岸防災ワークショップを毎年1回程度、国内外で開催しております。本ワークショップは、世界各地における沿岸域の災害を低減するため、知識の共有と国際協力の推進を目的として実施しているものであり、今回で14回目となります。

平成27年7月27日東京品川のコクヨホールで開催された「第14回国際沿岸ワークショップセッションプログラム(高潮・高波)―ハリケーンカトリナから10年―」では、近年の地球の気候変動に伴う海面上昇や台風の巨大化によって沿岸域における高潮・高波災害のリスクが高まっていることを背景に、ハリケーンカトリナ後10年の節目の年でもあるため、災害からの復旧・復興、高潮に関する最近の研究、各国における高潮および海面上昇への対応などについて議論しました。

ワークショップでは最初に、主催者を代表して高橋重雄(国研)港湾空港技術研究所理事長および大脇崇国土交通省港湾局長が挨拶されました。その後、下迫健一郎港空研特別研究官による総合司会のもと、基調講演にはいり、磯部雅彦高知工科大学学長による「将来の高潮対策に対する包括的防災対策」と題した講演が行われました。続いて午前1つ、午後2つのセッションがあり、全9名の講演を踏まえ、セッション終了後には「今後の高潮防災について」のテーマでパネルディスカッションが行われました。ここでは、コーディネーターを高山知司沿岸技術研究センター沿岸防災技術研究所長、京都大学名誉教授が務め、磯部学長と各セッションから2名ずつがパネラーとなり、活発な議論が行われました。最後に川島毅沿岸技術研究

センター理事長の挨拶をもって盛会裏に終了しました。

3件のセッション内容は以下のとおり。

○セッション1「災害からの復旧・復興」

司会：平山克也 港空研チームリーダー

・ Mr.David J.Leach アメリカ陸軍工兵隊 (USACE) プログラムディレクター

【USACEによるサンディプログラム：対応、復旧および地域復興】

・ Dr.Eric C.Cruz フィリピン大学教授

【マニラ湾に来襲した高潮の追算：ロキサス・ブルバード護岸越波に対する地域減災戦略に向けて】

・ 鈴木高二郎 港空研チームリーダー

【高潮による海岸構造物の被災メカニズム】

○セッション2「高潮に関する最近の研究と対策」

司会：下迫健一郎 港空研特別研究官

・ Dr.Jeffrey A.Melby USACE工学研究所グループ長

【熱帯低気圧に曝された海岸線における海岸ハザード】

・ 森信人 京都大学准教授

【最近の高潮高波災害と気象変動の影響】

・ 藤木峻 港空研研究官

【台風ハイヤン〈2013〉による高潮のシミュレーションと現地調査】

○セッション3「各国における沿岸災害対策」

司会：鈴木高二郎 港空研チームリーダー

・ Mr.Roselle E.Henn USACE副ディレクター

【北大西洋海岸における包括研究：増加するリスクに対応する復興策の適用】

・ 小堺正啓 東京都水防対策担当課長

【東京港における高潮・津波対策】

・ 三村悟 国際協力機構地球環境部次長

【太平洋島諸国における減災】



会場の様子



パネルディスカッションの様子



国際

沿岸レポート

第3回 日韓沿岸技術研究 ワークショップ (The 3rd KIOST-PARI-CDIT-WAVE Joint Workshop)

一般財団法人沿岸技術研究センター
調査部 研究員 田中 真史

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3回となる今年は、韓国の安山にあるKIOSTの研究施設で開催され、日本からは総勢13名が訪れました。10月5日から7日までの3日間、ワークショップの他、京仁運河(Ara-Waterway)、始華(Sihwa)潮力発電所および仁川(Incheon)新港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KIOSTの研究施設内の講堂において開催され、日本の訪問団を除いても60～70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、無人水中建設ロボットの開発について、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、沿岸防災技術研究所の高山所長が特別講演の依頼を受け、For Resilient Structures against Tsunami -Lessons Learnt from the Great Earthquake Disaster in 2011- (津波に対して粘り強い構造のために ～2011年東日本大震災の教訓～)と題して講演しました(写真1)。津波の観測結果、津波伝播計算、被災状況とメカニズム、設計の



写真1 沿岸防災技術研究所の高山所長による特別講演

考え方および関連の研究例等、内容は広範に亘り、かつ最新の知見が取り込まれたものでした。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。

3. 仁川周辺の水域施設の視察

期間中、KIOST名誉研究委員 安熙道(アン・ヒド)博士のご案内で、仁川周辺の代表的な水域施設として、京仁運河(写真2)、始華潮力発電所および仁川新港の視察を行いました。その中で特に印象深かったのは、始華潮力発電所でした。この潮力発電事業は、当初、発電は計画されておらず干拓地および農・工業用水を確保するための淡水化事業だったそうです。ところが、閉め切り後に急激な水質悪化が確認されたようで、KIOSTの前身であるKORDI (韓国海洋研究院)の提案により、この閉め切り堤が潮力発電と海水循環を担う施設として維持されました。まさに「ピンチをチャンスに」ですが、これを大規模なプロジェクトにおいて実践したところに驚きました。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2 京仁運河視察の様子

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の下泊特別研究官並びにWAVEの細川理事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。

NEWS 01

平成28年度 海洋・港湾構造物設計士資格認定試験

●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)

NEWS 02

東北事務所の開設について

平成27年9月1日 仙台市に東北事務所を開設しました。

最寄り駅は地下鉄「広瀬通駅」ですが、JR仙台駅と国土交通省東北地方整備局の中間に位置します。お近くにお越しの際は、ぜひお立ち寄りください。(※恐縮ですが、お立寄の際は、ご一報下さるようお願い致します。)

●住所 〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町2-9-8

日宝本町ビル702 TEL. 022-796-1331 FAX. 022-796-1341

最寄駅：地下鉄「広瀬通駅」徒歩3分

BOOKS 01

港湾・空港工事における
非鉄スラグ利用技術マニュアル

港湾・空港工事においては、建設資材として大量の天然資源が消費されていますが、循環型社会の構築が大きな課題となっていることから、天然資源の消費を抑制することが望まれています。本マニュアルは、「非鉄スラグの港湾・空港工用材料活用技術研究委員会」において検討された2011年度～2014年度の成果及び、東北地方整備局と日本鉱業協会における共同研究(2011年度～2012年度)の成果を引き継いだものとなっており、非鉄スラグを安全に使用できる方法を明記し、設計時の取扱い方法と設計事例を記載しております。定価は4,630円(税別)です。

本マニュアルの発刊を契機に、港湾・空港工事において非鉄スラグの利用が拡大することを期待しております。



NEWS 03

「港湾・空港工事における非鉄スラグ利用技術
マニュアル」講習会

平成27年10月27日(火)東京にて、当センター主催による講習会が開催されました。講習会には合計約70名の方が参加され、大盛況のうちに終了いたしました。



講習会の様子

プログラム

時 間	題 目	講 師
13:15～13:20	開会挨拶	(一財) 五洋館研究センター 業務執行理事 山本 健司
13:20～13:30	非鉄スラグ利用技術の現状と課題(マニュアル概要)	東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授 菊池 喜朗
13:30～14:20	地盤材料への利用技術について 「非鉄スラグ骨材を使用した盛り切り防波堤の設計等」	(一財) 日本港湾協会 林 健太郎
14:20～15:00	建設材料の臨場安全品質及び検査方法について	国立東北港湾法人 国立港湾研究所 主任研究員 野倉 定史
15:00～15:15	《休 憩》	
15:15～15:45	非鉄スラグについて	日本鉱業協会 兼務 一之
15:45～16:15	コンクリート工への利用技術について 「非鉄スラグ骨材を使用した重層コンクリート等」	国立研究開発法人 港湾空港技術研究所 構造研究部長 山崎 徹
16:15～16:45	舗装工への利用技術について 「フェロニッケルスラグ骨材を利用した長寿命化舗装」	長崎県立大学 工学部 環境社会基盤工学専攻 教授 高橋 郁
16:45～17:00	質疑応答	
17:00	閉 会	

NEWS 04

コースタル・テクノロジー 2015を開催

平成27年11月26日(木)[10:00～17:15]、発明会館において、コースタル・テクノロジー2015を開催いたしました。平成26年度に当センターが実施した調査・研究等に関する11テーマの報告をはじめ、特別講演として、茨城大学の三村信男学長をお招きし、「気候変動と適応策～我ら共通の未来は描けるか?～」についてご講演いただきました。当日は、技術者・研究者・行政関係者など多数の参加があり、大盛況のうちに幕を閉じました。



講演される三村学長



会場の様子



NEWS 05

民間技術評価事業・評価証授与式を挙行

平成27年11月17日(火)、沿岸技術研究センターにおいて、民間技術評価事業 評価証授与式を取り行いました。

今回は、平成27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、右の2件について評価証を交付しました。

右記の新規技術につきましては、本文の38～39ページで内容を紹介しております。

新規



黒沢建設(株)殿・(株)ケーティービー殿
SCストランド
(一全素線塗装型PC鋼より線)

更新



五洋建設(株)殿・錦城護謄(株)殿
真空圧密ドレーン工法
「キャップ付ドレーンを用いた圧密排水工法」



NEWS 06

海洋・港湾構造物維持管理士会(MEMPHIS会)
第9、10回講演会・現場見学会

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27年9月1日・2日に第9回(高松)、平成27年12月2日・3日に第10回(沖縄)として開催されました。講演会には100名以上の方が参加され、大盛況のうちに終了しました。



13:00～13:20	開会挨拶 海洋・港湾構造物維持管理士会
13:20～14:05	「火力発電所 揚炭機橋上部工補修における乾式吹付工および電気防食工の適用(施工)について」 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部 加藤 隆士 様
14:05～14:50	「海洋・港湾構造物維持管理士会が行う業務の紹介 鋼構造物補修編」 海洋・港湾構造物維持管理士会 会員 古川 元一 様 会員 岩瀬 雄次郎 様
14:50～15:00	休憩
15:00～15:45	「那覇港における港湾整備と維持管理の概要」 沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所 所長 坂 克人 様
15:45～16:30	「長期暴露試験および実構造物調査に基づく港湾構造物の耐久性に関する検討」 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所 構造研究領域長 山路 徹 様
16:30～16:40	休憩
16:40～17:40	「インフラ維持管理における鋼構造物の強みと沖縄での戦略的な防食技術開発」 琉球大学 工学部建設環境工学科 准教授 下里 哲弘 様
17:40～17:45	閉会挨拶 (一財)沿岸技術研究センター



NEWS 07

第17回国土技術開発賞の表彰式について

国土技術開発賞は、建設分野におけるハードな技術のみならず、ソフトな技術も含めた広範な新技術を対象として表彰するもので、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、(一財)国土技術研究センターとともに行っております。第17回表彰式は、平成27年7月30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	過給式流動燃焼システム	国立研究開発法人 土木研究所
		高耐久海水練りコンクリート	(株)大林組
優秀賞	国土交通大臣	セグメントを用いたシールドトンネルの地中拡幅工法	首都高速道路(株) (株)安藤・間
		プレキャスト・ブロック化したハイブリッド防潮堤	JFEエンジニアリング(株)
		丸太打設による液状化対策と地球温暖化緩和策	飛鳥建設(株)
入賞	選考委員会 委員長	高炉スラグを用いた超耐久性コンクリート	ランデス(株)
		高効率化・低コスト化・高精度化を実現する流量算出法	東京理科大学教授 二瓶泰雄 パンフィックコンサルタンツ(株)
		ETC電子マニフェストシステム	阪神高速道路(株) 阪神高速技術(株)
		密閉型矩形シールド工法	清水建設(株) カバヤシステムマシナリー(株)
		ルーフと揺動カットによる新形式都市アンダーパス工法	鹿島建設(株)
地域貢献技術賞	国土交通大臣	永久型砕工法	(株)南組
		大型土のう作成補助器具	(株)YSP テック

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】

地球温暖化とそれに伴う気候変動の抑止なり対応なりはご承知のとおり壮大なテーマであります。今回は、特に沿岸部への影響とその適応策を中心に考えてみましたが、その観測、研究、適応の検討などの取り組みが実に様々な部門・方面により行われていることを認識致しました。願わくば本年の気象が穏やかでありますように……。今年も宜しく願い申し上げます。(K)



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/>
2016年1月発行