

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

特集

海岸災害への備え

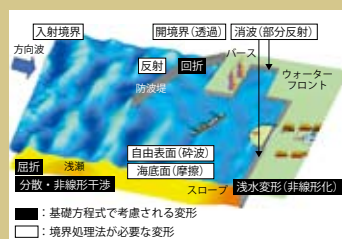
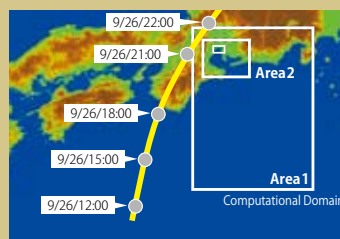
〈CDIT鼎談〉

港湾分野の維持管理と技術の継承

～港湾施設の機能維持の重要性と有資格者の役割～

日下部 治 氏〔東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻教授〕

横田 弘 氏〔北海道大学大学院工学研究科環境創生工学専攻教授〕



Vol.29



3

特集

海岸災害への備え

4 寄稿

海岸災害への準備態勢の強化

磯部 雅彦

〔東京大学大学院新領域創成科学研究科教授〕

8 特別レポート1

伊勢湾台風級大型台風による 伊勢湾湾奥部の 高潮・氾濫について

川崎 浩司

〔名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻准教授〕

10 特別レポート2

高潮被害と避難行動予測

石橋 健一〔名古屋産業大学環境情報ビジネス学部
／大学院環境マネジメント研究科准教授〕

藤岡 正樹

〔東京工業大学都市地震工学センター研究員〕

12 特別レポート3

大型台風の襲来に対する 伊勢湾沿岸域防災対策のあり方 ー伊勢湾台風50年沿岸防災シンポジウム開催報告ー

服部 千佳志

〔中部地方整備局港湾空港部港湾空港防災・危機管理課補佐〕

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。記事内容とともども毎号変化する表紙写真にもご注目ください。

○沿岸レポート7 (P33)

○特集特別
レポート1
(P8)

○鼎談
横田 弘氏
(P15)

○沿岸
レポート3
(P25)

○鼎談
日下部 治氏
(P14)

○沿岸
レポート1
(P20)

○特集寄稿
(P5)

○沿岸レポート2 (P23)

○沿岸
レポート5
(P28)

14

CDIT鼎談 沿岸の未来を見据えて

港湾分野の維持管理と技術の継承

～港湾施設の機能維持の重要性と有資格者の役割～

ゲスト 日下部 治氏〔東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻教授〕

横田 弘氏〔北海道大学大学院工学研究科環境創生工学専攻教授〕

20

沿岸レポート1 ●技術

沈埋トンネルの最終継手を省略する キーエレメント工法

段塚 隆雄〔五洋建設株式会社土木部門土木本部土木設計部〕

22

沿岸レポート2 ●技術

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材

〔フロンティアストーン®, フロンティアロック®)・ブロック

新日本製鐵株式会社、JFEスチール株式会社、東亜建設工業株式会社

高野 良広〔新日本製鐵株式会社技術開発本部環境・プロセス研究開発センター土木建築技術部〕

24

沿岸レポート3 ●技術

沿岸域における高精度波浪変形計算モデル “NOWT-PARI”

〔独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部海洋研究領域波浪研究チーム〕

平山 克也〔チームリーダー〕 平石 哲也〔部長〕

26

沿岸レポート4 ●技術

専用バケットを用いたホタテ貝中間育成施設の アンカーブロック撤去工法

吉田 稔〔株式会社西村組執行役員工務部長〕

川合 邦広〔株式会社西村組工務課長〕

28

沿岸レポート5 ●技術

多様な構造形式に対応した「沿岸構造物の チャート式耐震診断システム」の開発

平澤 充成〔国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所長〕

井合 進〔京都大学教授〕 一井 康二〔広島大学准教授〕

菅野 高弘〔独立行政法人港湾空港技術研究所地震防災研究領域長〕

山本 修司〔財団法人沿岸技術研究センター理事〕

30

沿岸レポート6 ●技術

超高強度繊維補強コンクリート(UFC)を用いた GSE橋梁の建設 ー東京国際空港国際線地区GSE橋梁ー

武者 浩透〔大成建設株式会社技術センター土木技術開発部次長〕

一戸 秀久〔関東地方整備局東京空港整備事務所第六建設管理官室長〕

32

沿岸レポート7 ●国際

ヨーロッパ地域における国際会議への報告

川崎 栄久〔財団法人沿岸技術研究センター調査部研究員〕

34

沿岸レポート8 ●国際

インドネシア語版書籍「TSUNAMI」の 周知啓発活動

川村 竜児〔財団法人沿岸技術研究センター企画部主任研究員〕

36

ONE POINT LECTURE 『錆との戦い』Q&A

沿岸虫めがね

監修 岩波 光保

〔独立行政法人港湾空港技術研究所構造研究チーム〕

38

CDITニュース

海岸災害への備え

1959年9月26日に潮岬に上陸して紀伊半島を縦断、日本海に抜けた後に東北地方に再上陸し、我が国に大きな被害をもたらした伊勢湾台風。死者・行方不明者が5,000人を超えるこの超大型の台風の発生から50年、その教訓を活かすとの観点から「海岸災害への備え」と題する特集を組んだ。台風をはじめ地震、津波といった様々な自然災害による被害を軽減するためには、国民の一人ひとりが高い関心をもって常に万全の準備を整えておくことが不可欠である。

✦ 寄稿

海岸災害への準備態勢の強化

磯部 雅彦〔東京大学大学院新領域創成科学研究科教授〕

✦ 特別レポート 1

伊勢湾台風級大型台風による伊勢湾湾奥部の高潮・氾濫について

川崎 浩司〔名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻准教授〕

✦ 特別レポート 2

高潮被害と避難行動予測

石橋 健一〔名古屋産業大学環境情報ビジネス学部／大学院環境マネジメント研究科准教授〕

藤岡 正樹〔東京工業大学都市地震工学センター研究員〕

✦ 特別レポート 3

大型台風の襲来に対する伊勢湾沿岸域防災対策のあり方

— 伊勢湾台風50年沿岸防災シンポジウム開催報告 —

服部 千佳志〔中部地方整備局港湾空港部港湾空港防災・危機管理課補佐〕



海岸災害への 準備態勢の強化

磯部 雅彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

1 はじめに

日本は高潮や津波などの海岸災害を被ってきた。災害対策として堤防や護岸などの海岸構造物が著しい速度で建設されてきたが、その事業が近い将来に完成するわけではない。また、極めて希な現象が起こったり、地球温暖化の影響が加わることによって、将来起こる外力レベルは想定を超えるものである可能性もある。したがって、防災基盤施設整備の進捗の各段階に応じて、海岸災害を最小化するための総合防災計画の策定が必要である。

本稿は、総合防災計画に含めるべき①海岸構造物の建設と技術革新、②ハザードマップとリアルタイム・モニタリングによる避難態勢、③海岸構造物の長期的管理と地球温暖化への適応という3つの要素を踏まえ、海岸災害軽減に向けた総合的視点を提供するものである。

2 構造物による防災

防波堤、護岸、堤防、水門といった海岸構造物は、陸域の浸水を防ぐことによって生命と財産の両方を守ることができる。我が国の海岸構造物の例として、岩手県陸前高田の津波堤防（写真1）、静岡県沼津市の津波水門（写真2）等がある。一般的に用いられる津波堤防については海岸側の安全に留意する必要がある。また、津波水門については限られた地形にのみ効果的であり、さらに海岸構造物に共通して、設計条件を超えた異常現象に対し陸域への浸水を防ぎきれないという弱点がある。

図1は、1945年以降に発生した高潮の最大潮位を5年間隔で示したものである。1955年から1959年までの5年間に3・5mという突出した値があるが、これは、1959年の伊勢湾台風の際の潮位で観測史上最大である。その後、伊勢湾台風を超える高潮は発生していないものの、想定外の異常現象に対して海岸構造物による防御のみでは被災を免れ得ない。

ここで、我が国の海岸線の年次変化を見てみると、図2に示すとおり、近年、海岸線の総延長は微増の傾向にあり、2005年の時点で3万5千kmを超え、このうち、構造物によって保全すべき海岸線の延長は約1万5千kmにわたる。しかしながら、そのうち堤防等が存在するのは1万km弱であり、残る5千kmについて堤防等を新設する必要がある。また、既設の構造物の老朽化が進んでいることから、既設の構造物の補修・改良が不可欠な状況にある。堤防等の構造物の建設はもちろんのこと、その補修・改良・更新には莫大な予算が必要とされる。海岸構造物の耐用年数を仮に50年とすれば、現状の約1万kmの海岸保全施設を維持するだけでも、1年間平均して2百kmの手入れが必要であり、更新（再建設）であれば1mあたり5百万円として年間1兆円、補修でも1mあたり百万円として年間2千億円を要する。現状の海岸保全事業費は年間約1千3百億円しかない。全額を維持に回しても不足する。海岸構造物による防災対策は、長い期間と大きな予算を必要とすることから、持続的に取り組んでいかなければならない課題である。同時に構造物による防災対策は、想定外の異常現象に対する

効果が十分でなく、また、近い将来に完了するものではないが故に、これと組み合わせたソフト面での有効な対策が必要となる。

3 ハザードマップとリアルタイム・モニタリングによる避難態勢

海岸構造物の設計条件を超える異常現象に対しては、避難態勢の充実が決定的な役割を果たすことになる。表1は、津波及び高潮に対する対応策の特徴についてまとめたものである。左欄縦方向に対応策の種類を示し、上欄横方向に示した各視点に対してそれぞれの対応策の有効性を「◎」、「○」及び「△」の3段階で評価した。例えば、前述した護岸、堤防といった構造物については、人命や財産の防御との視点からは非常に効果的であり、ほぼ政府や専門家のみの関与によって実現するが、異常な外力に対する効果、実施（建設）に係る時間や費用との視点からは評価は低くなる。

一方、避難の欄にあるとおり、避難態勢の充実は、想定内の異常現象に対する人命や財産の保護の視点では構造物による対応策には及ばず、また幅広い人々の参加を必要とするが、現状での想定外の異常現象に対する対策としてすぐにでも取りかかれるという大きな利点がある。この表は、左欄に掲げた各対応策が、それぞれ利点と欠点を有しており、ハード面とソフト面とで利点・欠点が逆になる傾向にあることが把握できる。すなわち、ハード・ソフトの対策がそれぞれの欠点を補完し合う関係にあり、まさに、総合防災計画という観点からは、これら両面からの対応策が必要だと言える。

図1 5年間隔での最大の異常潮位の変化

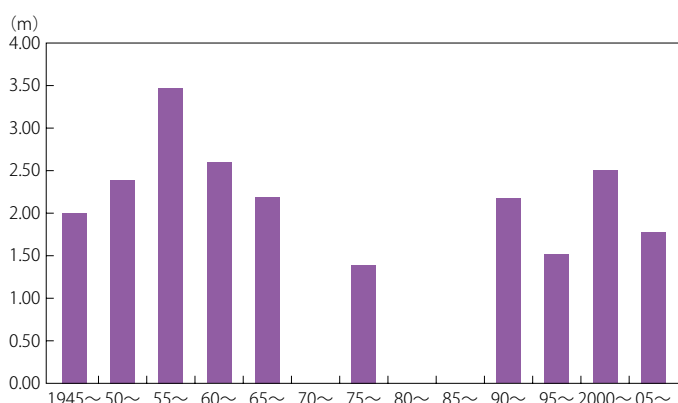


写真1 津波堤防(岩手県陸前高田)



図2 日本の海岸線の年次変化

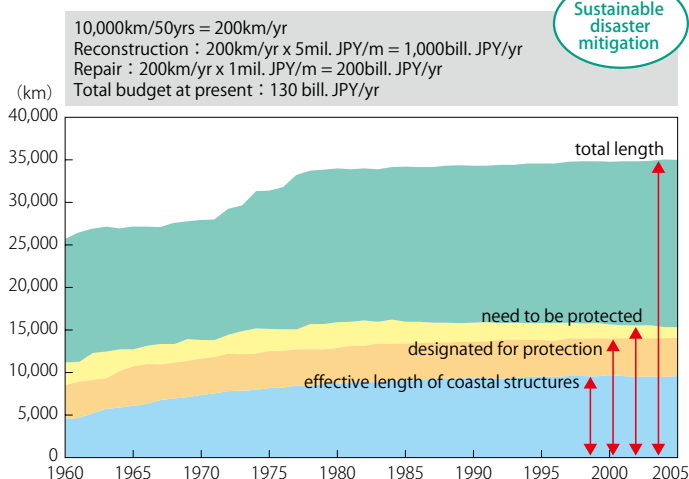


写真2 津波水門(静岡県沼津市)



表1 津波及び高潮に対する対応策の特徴

Countermeasures		Protection target				Actor				Behavior for excess external force	Necessary time for implementation	Cost
		Life			Asset	Resident	Visitor	Government	Specialist			
		Resident	Aged, Handicapped	Visitor								
Hard ↕ Soft	Seawall, dike	◎	◎	○	◎	△	△	◎	○	△	△	△
	Land use plan (set back)	◎	◎	○	◎	○	△	◎	○	△	△	△
	Construction regulation	◎	◎	○	○	○	△	◎	○	△	△	△
	Evacuation	○	△	△	△	◎	◎	◎	◎	○	◎	○
	Capacity building	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○	○

◎：有効性「大」 ○：有効性「中」 △：有効性「小」

図3 地球温暖化の影響

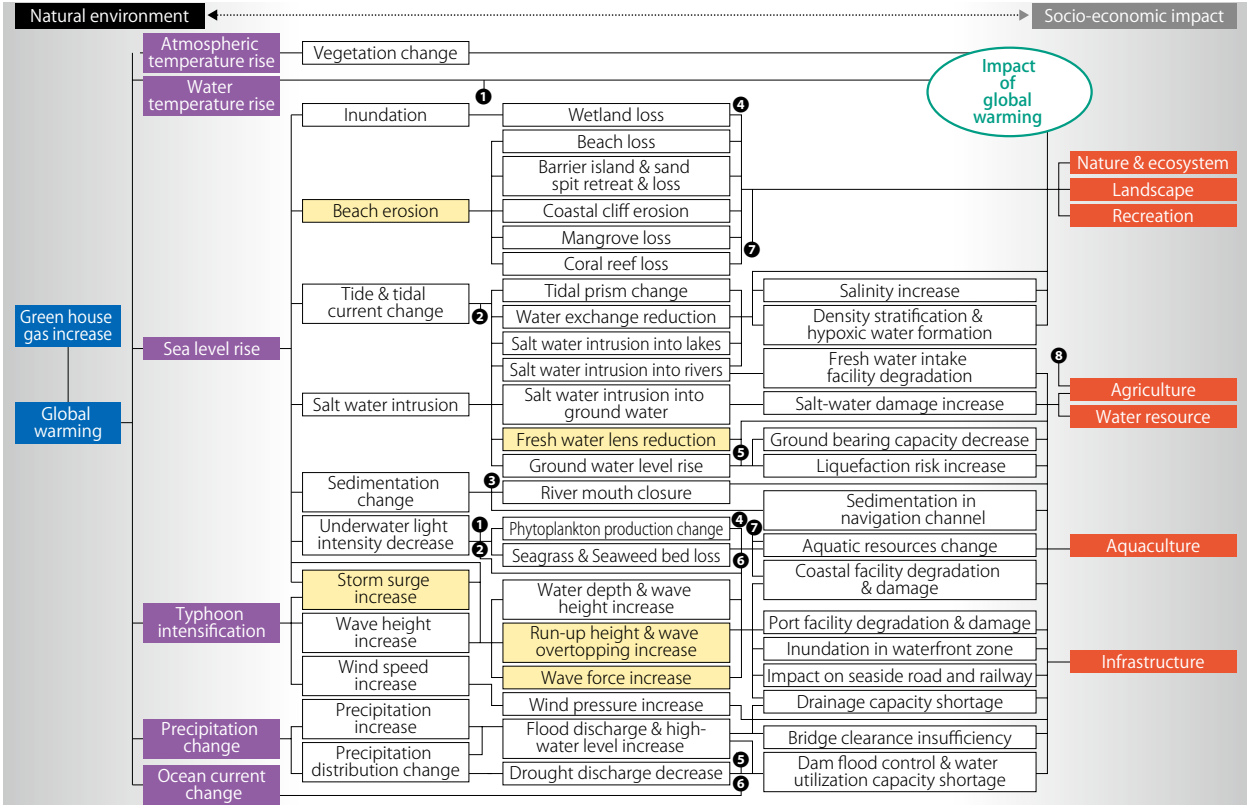


図3は、地球温暖化がもたらす自然環境の変化が、社会経済にどのような影響を与えるかをまとめたものである。温室効果ガスの増加による地球温暖化現象は、大きく分けると図3の左側に示したように、大気温度の上昇、水温の上昇、海面の上昇、台風の増大、降水量の変化、

長期的な災害軽減計画においては、防災に対する資源配分の制約の中でも、地球温暖化を考慮する必要がある。ここでは、地球温暖化がもたらす自然環境の変化と、それによる社会経済への影響について概説するとともに、とりわけ海岸構造物に焦点をあてて地球温暖化を考慮した対応策の重要性について述べる。

4 地球温暖化の影響

避難態勢の充実のための有用なツールとしては、ハザードマップの策定とリアルタイム・モニタリングがその大きなものとして挙げられる。ハザードマップについては、既に多くの地域がその策定・実施に取り組んでおり、今後さらに多くの地域における取り組みの加速が期待される。一方、リアルタイム・モニタリングと警報システムについても最近著しく進歩してきており、避難のための時間的余裕を増やすことにつながっている。ただし、当然のことながら、これらのツールは存在することだけでは減災につながる。これらは、実際に災害に遭遇する可能性のある地域住民が高い意識をもって活用して初めてその効果を発揮するものであり、したがって地域住民の果たすべき役割は極めて大きい。

図5は、東京湾にある既設護岸を例にとつて天端高の設計の考え方を図示したものである。高潮の偏差、波の遡上高及び余裕高を勘案して天端高が決められる。しかしながら、既設の構造物については、地球温暖化による海面上昇の影響が加味されていないため、今後はそれを加味した施設の設計が求められることとなる。新

ここで、海面上昇による波の遡上高の増加について図説する。地球温暖化による海面上昇では、海面上昇に加えて波の遡上高の増加を考慮しなければならない。図4の右表は一例を示したものであるが、海面が65cm上昇すると仮定すると波の遡上高は、海面上昇が起らない場合と比較して2・14mも増加する計算になる。地球温暖化は、海岸構造物の高さに対し、海面の上昇分に加え、それに伴う波の遡上高の上昇によってより大きな影響を及ぼす。

海流の変化をもたらす。これらの現象のそれぞれが自然環境に対してさらにどのような影響を与えるのかを分岐・結合していき、最終的に自然・生態系、景観、レクリエーション、農業、水資源、養殖、社会基盤施設のいずれに影響を与えるかを系統的に示している。

地球温暖化の影響のうち、防災・減災と特に関連の深い海面上昇と台風の強大化からインフラへの影響へとつながる2つの系統を見てみよう。海面上昇は海岸侵食を起こし、砂浜、湿地等を消失させる。これらは、海岸施設の沈下や損傷につながる。台風の強大化は風速、波高、高潮の増大をもたらす、それによって波の遡上高、越波、波力が増大することとなる。これらは、海岸施設のほか港湾施設の損傷につながる。

規施設の建設にせよ、既存施設の改良にせよ、地球温暖化の影響を考慮した設計が不可欠である。

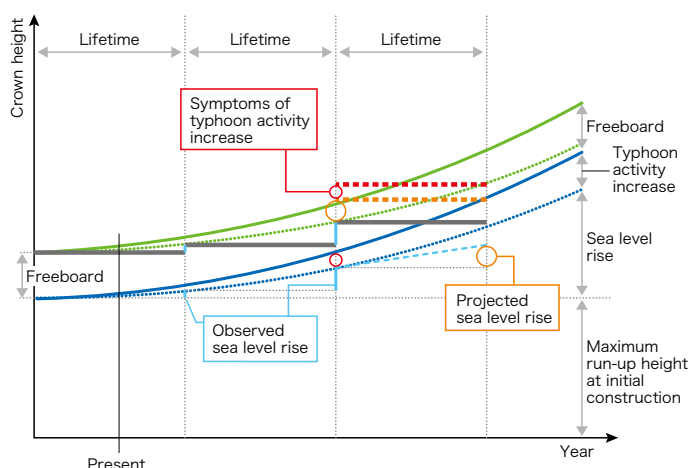
ただし、地球温暖化による海面上昇等の影響は、短期間に急速に発現するものではなく、徐々に進行していくものである。海岸構造物の設計時において、海面上昇等の影響に関して、施設の供用期間を超えた過大な条件を予め付することは不適切であるとともに、前述の2で述べた海岸構造物の建設、改良、補修に要する莫大な予算に鑑みれば非現実的である。図6に示すように、施設の供用期間に応じた海面上昇等を想定し、当該期間の終了時までに必要な改良・補修を行うものの、原則的には更新時に温暖化の影響を取り入れながら、温暖化に対応するという、柔軟かつ無駄のない対応が求められる。

5 海岸災害への対応策

ここまでは、①海岸構造物の建設と技術革新、②ハザードマップとリアルタイム・モニタリングによる避難態勢、③海岸構造物の長期的管理と地球温暖化への適応という3つの要素を踏まえた海岸災害軽減に向けた総合的視点について述べてきた。これらは、図7のように図示することができる。

図の左から右に行くに連れてより多くの時間を必要とする対応策、右上から左下に行くに連れて予期せぬ災害レベルに対する柔軟性と地域住民の参画をより必要とする対応策、左下から右上に行くに連れて財産の保護と仕事と日常生活の継続のためにより必要となる対応策を示す

図6 地球温暖化に適応した海岸構造物の設計



こととすると、右上に「海岸構造物」、右下に「撤退（後背地の縮減）」、左下に「避難」、左上に「適応」という対応策の視点を表す円が描かれる。ここに対応策の視点に必要な要素を配置していくと、「海岸構造物」には「維持・管理」や「地震への抵抗力」、「撤退」には「地球温暖化の影響」、「避難」には「早期かつ信頼性のある警報」、「地域住民の役割」、「早期避難」が描かれる。

3に前述したとおり、海岸災害を軽減するためには、ハード・ソフトの両面からの対応策が必要となる。これらの対応策の効果を高め、そして、海岸災害への準備態勢を強化するには、図7に示した様々な要素を踏まえた総合的な視点から防災計画を策定することが重要である。

図7 海岸災害への対応策

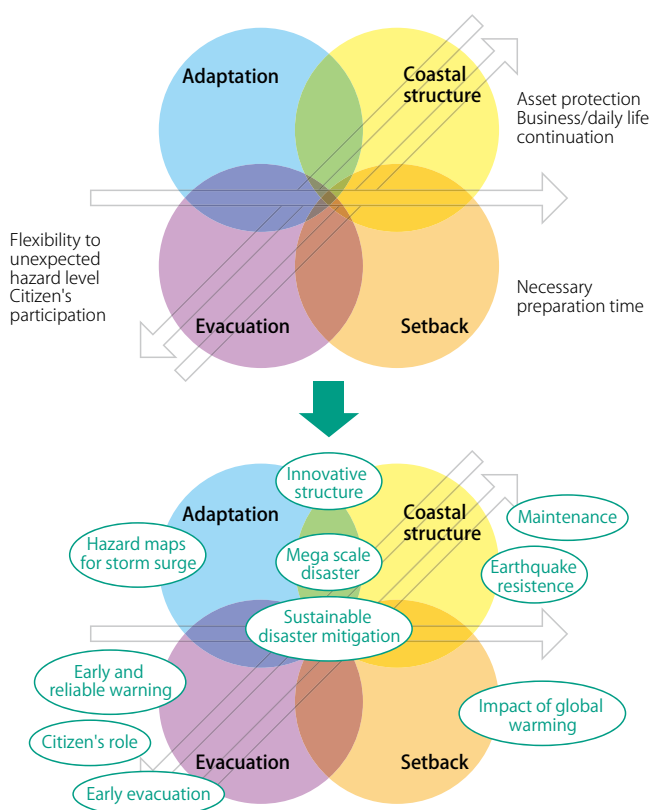


図4 海面上昇に伴う波の遡上高の増大

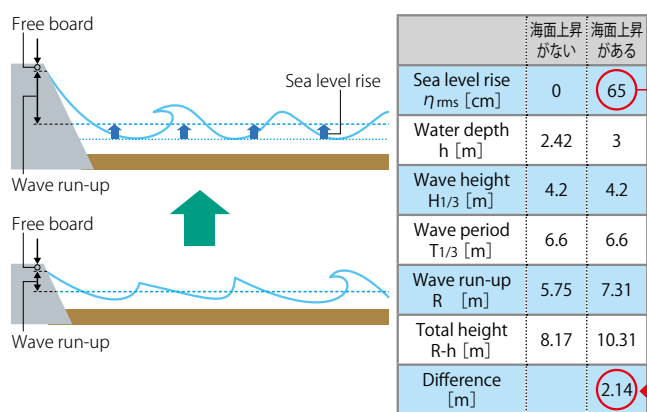
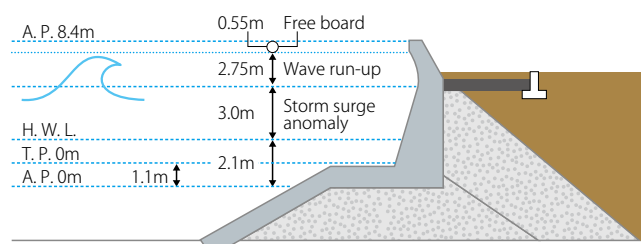


図5 護岸の天端高の設計



◎はじめに

我が国で最も甚大な高潮被害は、周知のとおり、1959年9月26日に伊勢湾周辺を襲った台風5915号（伊勢湾台風）による被害である。伊勢湾台風は、潮岬に上陸した際の最低気圧が約930 hPa、伊良湖岬での最大風速が約45 m/s、風速25 m/s以上の暴風域が約700 kmに達する超大型で非常に強い勢力であった。そして、名古屋港での高潮偏差は観測史上最大の3・55 mに達した。伊勢湾台風による犠牲者数は明治以降最大の5098名にのぼり、犠牲者のうち約80%は海拔0 m以下のゼロメートル地帯を含む湾奥部に位置する愛知・三重の2県に集中していた。

ここでは、伊勢湾台風級の大型台風が現在の伊勢湾を来襲したときの湾奥部、特に名古屋港周辺を対象に高潮・氾濫計算を行い、名古屋港周辺における防護機能や将来リスクについて検討する。

◎高潮・氾濫計算の概要

one-wayネスティング手法を導入した単層流動モデルと台風モデルに基づく高潮・氾濫モデルを用いて、伊勢湾台風と同じ規模・経路を有する大型台風が現在の名古屋港周辺を襲った場合の高潮・氾濫計算を行った。台風経路と計算領域を図1に示す。高潮の計算領域は、紀伊半島から伊豆半島までを含むArea1、伊勢湾全

特別レポート 1

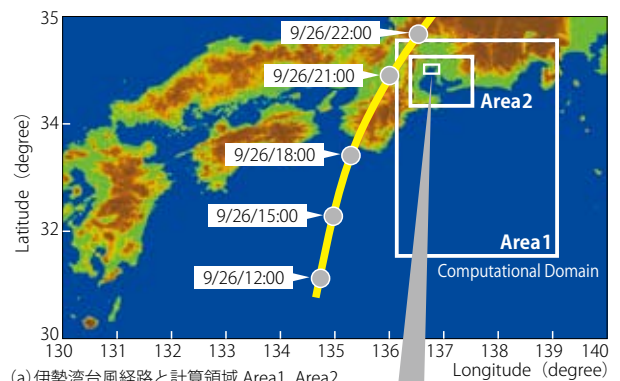
伊勢湾台風
50年の教訓



伊勢湾台風級大型台風による 伊勢湾湾奥部の高潮・氾濫について

川崎 浩司 [名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻准教授]

図1 計算領域



(a) 伊勢湾台風経路と計算領域 Area1、Area2



(b) 計算領域 Area3

Elevation (m) -1 -0.1 0.8 1.7 2.6 3.5 4.4 5.3 6.2 7.1 8



(c) 計算領域 Area4

域を含むArea2、湾奥部のArea3、氾濫計算対象である名古屋港周辺のArea4である。また、既設防護施設の岸壁高さ、ガーデンふ頭の高潮防潮扉および防潮壁の高さをT.P.+4.5 mに設定した。計算開始時刻は、伊勢湾台風来襲時と同様に、1959年9月26日12時とし、翌27日3時までの15時間計算を行った。なお、伊勢湾台風時の潮位はT.P.+0.37 mであったが、ここでは、より危険度の高い台風期平均満潮位T.P.+0.97 m、朔望平均満潮位T.P.+1.20 mに対しても計算を行った。

◎伊勢湾湾奥部における高潮と氾濫

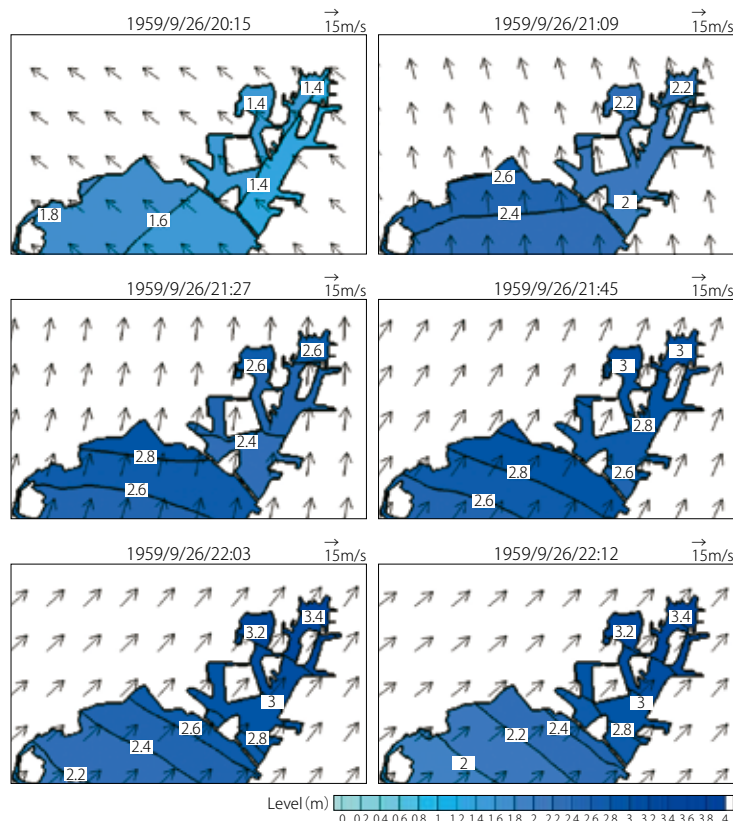
図2は、伊勢湾北部から名古屋港周辺を含むArea3における高潮偏差の時間変化

を示したものである。なお、潮位は伊勢湾台風時潮位T.P.+0.37 mとした。同図より、台風の接近とともに名古屋港周辺の潮位が変化し、風向に向かった海水の吹き寄せと低気圧による吸い上げの効果により、潮位が急激に上昇する様子が認められる。

図3に、台風期平均満潮位T.P.+0.97 m



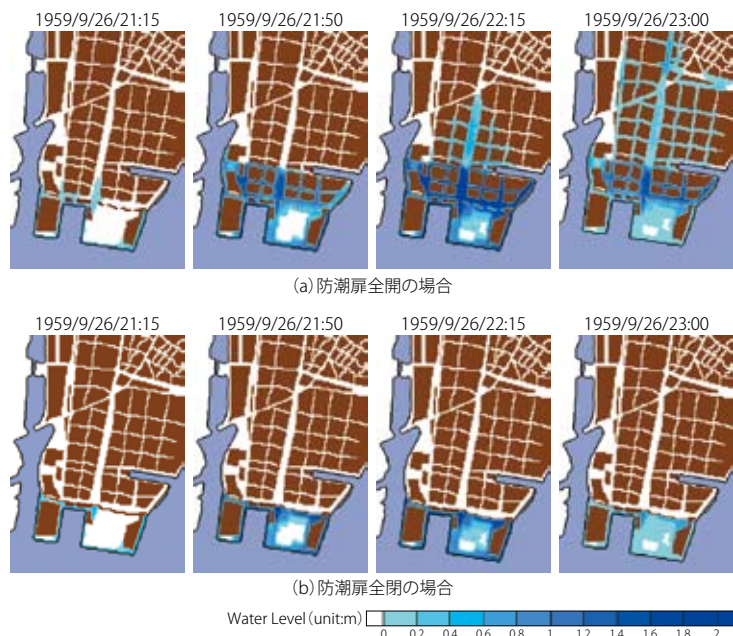
図2 湾奥部における潮位偏差の時間変化



時に伊勢湾台風が来襲した場合の名古屋港周辺における高潮氾濫状況を示す。ここで、図3 (a)・(b) は、それぞれ高潮防潮壁に計7か所設置された防潮扉をすべて開けた全開の状態 (a) とすべて閉じた全閉の状態 (b) である。防潮扉が全開の場合、26日21時過ぎにガーデンふ頭で浸水が発生し始め、氾濫水が防護ラインを越え、内陸部へ浸水していることがわかる。そして、高潮による氾濫は高潮偏差が最大となる時刻以降も顕著に続き、氾濫水は地下鉄名城線名古屋港駅出入口周辺を越え、国道154号線に沿って北上している。一方、防潮扉が全閉している場合、21時過ぎ

には埠頭先端で浸水が発生し、護岸から防護ラインにかけて氾濫水が陸上に遡上し浸水領域が広がっている。しかし、防潮壁および防潮扉の存在により氾濫水がせき止められ、防護ライン背後の内陸部への氾濫水の浸入は防がれている。このことから、伊勢湾台風時潮位 T.P.+0.97m、朔望平均満潮位 T.P.+0.97m、の各条件下における高潮氾

図3 台風期平均満潮位において伊勢湾台風が来襲した場合の名古屋港周辺の高潮氾濫状況



氾濫計算の結果を比較し、天文潮位が及ぼす高潮・氾濫への影響について検討した結果、朔望平均満潮位時には名古屋港内陸部への氾濫がありうることを示唆された。

◎おわりに

伊勢湾台風による高潮は、甚大な人的・物的被害をもたらすとともに、我が国の災害対策基本法制定の契機になるなど、多くの教訓を残し、今日の防災・減災対策の原点となった。しかし、将来、高潮災害に対するリスクを検討する際、顕在化しつつある地球温暖化や異常気象の影響も考慮する

必要がある。地球温暖化は、海面上昇を引き起こし、沿岸域のゼロメートル地帯の浸水危険度を高めるだけでなく、海水温の上昇と高水温海域の拡大によって台風の強大化を招き、想定以上の台風やそれに伴う高潮が発生する可能性がある。さらには、大規模地震災害後の大型台風の来襲、あるいは高潮災害後の地震・津波の発生といった複合的な災害も今後検討することも重要である。したがって、将来予測可能な一手段である数値計算の更なる発展はもちろんのこと、大規模災害に及ぼす気象・海象・地象の影響やその物理過程を詳細に解析・究明することが必須であらう。

◎はじめに

これまでの防災対策は、防潮堤などのハードウェアの設置に代表される、物的な対策が主であった。これは一定の効果と、「その中にいれば概ね安心である」という十分な安心感をもたらした。一方、「万が一そのハードが機能しなかったら？」という可能性の下で論じられてきたのが、複合的な災害である。一般的に、複合的な災害は非常に低い発生確率であるため考慮されない場合が多い反面、いったん発生すると壊滅的な被害の発生が予想される。

一般に、港湾地区で重要視されるのは、高潮・津波などの災害であり、多くの港湾で既に防潮堤・堤防敷設などの対応がなされている。しかしながら、スマトラ沖津波で我々が映像として目にした光景は、絶対的な自然の猛威と、なすすべのない避難者（被災者）であった。仮に、この災害を日本の港湾に重ね合わせた時、完全に安全な避難が行われるとは断言できない。まして、複合的な災害の発生により、防潮堤や堤防が本来の機能を発揮できなかった場合は、台風や高潮でも大惨事につながることは容易に想像できる。

われわれは避難に着目している。避難とは「難」を「避ける」行動であるが、本稿では単にその行動が万能である事を証明するものではない。現代社会は様々なハードウェアに守られ、しかも依存している。このような社会状況下において、最適な「難」の「避け方」は何かについてシミュレーションモデルを用いて、考察したものである。

◎エージェントモデル

エージェント (Agent) はラテン語の「率先する」を語源としており、翻訳としては「代理人」と訳されることが多い。最近になって多分野で Agent という概念や用語が

特別レポート 2

伊勢湾台風
50年の教訓

高潮被害と避難行動予測

石橋 健一〔名古屋産業大学環境情報ビジネス学部／大学院環境マネジメント研究科准教授〕
藤岡 正樹〔東京工業大学都市地震工学センター研究員〕

利用されるようになった。自然科学・社会科学の分野では対象社会を構成する個々の構成員をエージェントとして定義し、その相互作用で全体の動的な社会の形成を記述しようという試みである。エージェントの概念は自然界を対象とした昆虫・動物の生態予測から人間社会を対象とした分野まで適応範囲は幅広い。

エージェントモデルによる避難行動のモデル化の基本的な考えは、コンピュータ上に避難者の役割を果たす仮の実体を作り上げ、その動きを「エージェント」という概念で表現したものである。

本稿では避難を行うエージェントを避難エージェントと呼ぶ。エージェントの究極の目的は、避難者と同じ行動ルールに従い、同じ行動を再現することであるが、現在の研究では、ロジック能力・計算能力の観点から、人間の能力を完全に模倣することはできない。そこで、避難者の行動を模倣／モデル化し、機能を与えて、人間のようにふるまうことを目的として、避難エージェントの設計を行う。

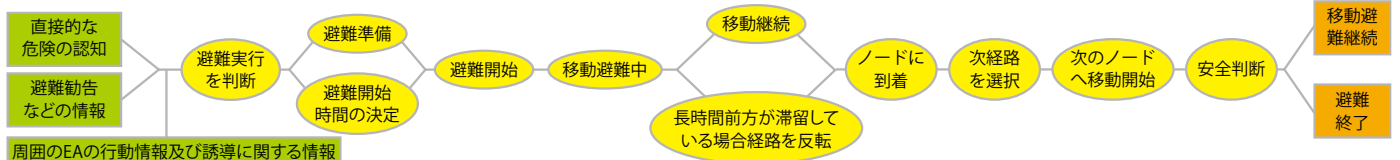
本避難エージェントは、最もプリミティブな3要素、①情報の送受信、②思考、③移動行動、を持つとした。避難エージェントは、情報を収集し、その情報が何を意味しているかを解析する。そして、次にとる行動を決定し、実際の行動へ移行する。非常に単純なモデルであるが、この試行を繰り返すことで、避難行動が記述できることとなる。図1に避難エージェントの設計概念を、図2に避難エージェントの行動プロセスを示す。

次に、図3に避難エージェントの能力定義を示す。本稿では避難者の知的能力の個人差を考慮し避難エージェントが自らの意思で行動判断する「独立意思決定係数」、および、自らの行動を合理的に判断する「総合判断能力」を持っているものとする。「独立意思決定係数」が高い避難エージェ

図1 避難エージェントの設計概念



図2 避難エージェント行動プロセス



注) 本稿における避難行動モデルは※1のモデルに従う。

図6 同心円型閉塞と避難方向 図4 ランダム閉塞型と避難方向

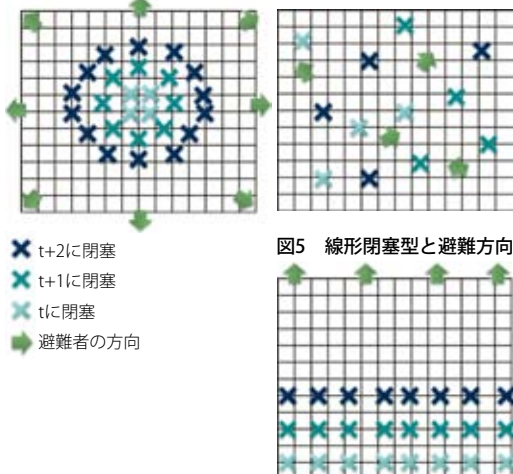


図8 ケース1における120秒後および600秒後のシミュレーション画面遷移



図7 シミュレーション対象領域



表1 シミュレーションのケース

	with	without
越流による道路浸水	ケース1	ケース0

(避難者数は両ケースとも1万人)

ントは周囲に位置する避難エージェントの行動、誘導情報等の影響を受ける度合いが低く、自らの意思を基に行動を決定する。「独立意思決定係数」が低い避難エージェントは意思決定を周囲の避難エージェントの行動にゆだね、追従する傾向が高い。「総合判断能力」の高い避難エージェントは、自らの行動の安全性を総合的に判断する能力が高く、最も安全な手法で経路を選択する可能性が高くなる。一方「総合判断能力」の低い避難エージェントはランダムに行動を選択する傾向が高く危険な行動を行う可能性が高くなる。

◎高潮と避難行動予測

さて、高潮が発生すると堤防からの越流が始まり、低位な場所から冠水し道路閉塞が発生することとなる。そのパターンを分けると、①ランダム閉塞型、②線形閉塞型、③同心円閉塞型、になると考えられる(図4～図6)。また、それぞれにおいて、避難者が危険箇所から遠ざかるように行動すると、避難者の避難方向は矢印の方向になる。高潮による道路閉塞が発生した場合の避難行動予測を試算した結果を示す。図7

が試算対象領域(名古屋港)である。表1にシミュレーションのケースを示す。

今回のシミュレーションでは、道路浸水の有無の比較によって、歩行による避難行動を評価するために、表1に示す2つのケースを想定した。道路浸水を考慮したケース1では、道路浸水のシミュレーション結果のデータを用い、一刻と道路が遮断されてゆく状況を入力データとして扱った。また、浸水深が30cmを超えると歩行が困難になると想定し、その箇所を道路遮断箇所を設定した。つまり、浸水の状態によって動的に道路遮断が行われる中で、避難行動のシミュレーションを行った。ま

た、避難所は避難できる高所が、幹線道路とその両サイドにほぼ均等間隔であるものと仮定した(実際とは異なる)。

図8にケース1における120秒後および600秒後のシミュレーション画面遷移を示す。

シミュレーション開始後の120秒後には浸水が始まり、すでに一部の道路が冠水し、度道路の閉塞が始まっている。一部の避難できる高所(避難場所)には周辺住民が避難を開始している。このケースでは、家での待機を想定していないので、600秒後にはすべての避難者が、道路ネットワーク上に移動し避難を開始していることが分かる。また、600秒後では多くの道路冠水とそれに伴うノード閉塞、バス閉塞が確認される。また、一部であるがノード上での混雑が確認できる。ノード上での混雑は、避難所の容量がなくなり避難者が立ち止まったり、行き来することで避難所周辺に発生すると考えられる。

そこで、シミュレーション結果による危険に直面するエージェントを危険化エージェントとして定義し、時間経過によってその推移を表したものが図9である。

ケース0の閉塞しない場合、危険が到来しないため、危険化したエージェントは確認されなかった。危険化は、一定時間以上停止し身動きが取れなくなるエージェントを計測している。よって、閉塞しない場合でも、群衆に巻きこまれるなどして身動きが取れない場合も計測されるが、今回のケース0では、大きな群衆滞留が確認されることもなく、2400秒後まで危険化エージェントは確認されなかった。一方、ケース1の閉塞した場合は危険化したエージェント数が確認された。完全な線形型閉塞であれば、発生しにくいと考えられるが、今回のシミュレーションでは、線形上の閉塞個所に、ある程度の時間差があったため、危険化するエージェントが増えた

考えられる。

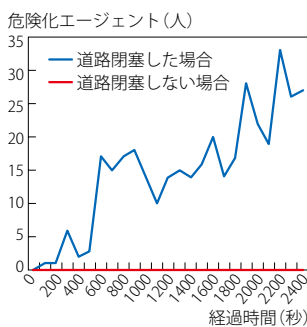
本シミュレーションによって得られた知見は、①道路閉塞で行く道がふさがれると、人は通行可能なネットワーク上で安全な方向へ向かってゆくと、②道路が閉塞すると、袋小路となり避難者は危険化すること、③浸水のスピードが速い所では避難は逆効果であること、の3点である。

◎おわりに

高潮による浸水からの避難行動を、エージェントシミュレーションを用いて再現した結果、①浸水スピードや浸水パターンごとに有効な避難方法があること、②避難誘導には情報(避難方法)提供方法が肝要であること、③素早い避難には絶対的危険を早く認識させる必要があること、④道路ネットワークが一気に閉塞するのは危険であること、の3点が明らかになった。ただし、これらの成果は、あくまでもエージェントの機能を任意に与えている数値実験にとどまっており、今後の調査研究活動により、実際の避難行動の再現ができるようモデルの精緻化を図っていく必要がある。

その一方で、エージェントシミュレーションを用いることによって、避難行動の再現を可能にしたことは、災害時の行動予測という点から大きな進歩といえるであろう。さらには、災害時の緊急対応行動計画策定支援も視座に入れることが可能になったといえる。

図9 経過時間ごとの危険化エージェント数推移



◎はじめに

中部地方整備局では伊勢湾台風50年の取組みとして、昨年度「伊勢湾高潮災害提言方策検討委員会」を立上げ2年計画で伊勢湾内重要港湾を対象に高潮防護ライン外側埋立地の高潮被害低減方策を検討するために伊勢湾台風級モデルによる高潮シミュレーションを実施してきました。今年度その検討結果の中間報告として「大型台風の襲来に対する伊勢湾沿岸域防災対策のあり方」をテーマとした沿岸防災シンポジウムを主催し、平成21年9月16日（水）名古屋港湾会館で開催しました。

シンポジウムでは、伊勢湾台風50年を迎えて、伊勢湾沿岸域における現在の防災レベルを検討し、地球温暖化などによる将来の大型台風発生に対して、最新技術の活用などによる今後の防災・減災対策のあり方を考えるために、二つの基調講演とパネルディスカッションを行いました。シンポジウムには、愛知県、三重県沿岸域の企業関係者、市民、行政関係者等約400名の参加がありました。

◎基調講演

基調講演Ⅰでは、大和田道雄愛知教育大学特別教授より、気象学の見地から、近年の地球温暖化に起因する地球規模の気候変化により我が国近海の海面水温上昇が発生しており、近海での大型台風発生確率が高まり、伊勢湾台風級やそれを上回る台風の発生と上陸が現実的に考えられることが説明されました（写真1）。

特別レポート 3

伊勢湾台風50年の教訓



大型台風の襲来に対する伊勢湾沿岸域防災対策のあり方

—伊勢湾台風50年沿岸防災シンポジウム開催報告—

服部 千佳志 [中部地方整備局港湾空港部港湾空港防災・危機管理課補佐]

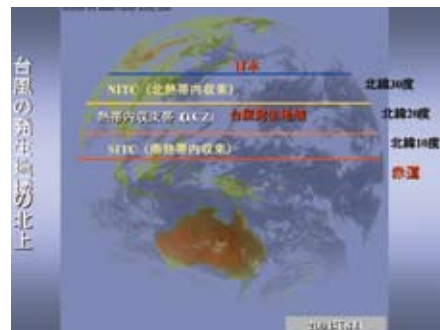
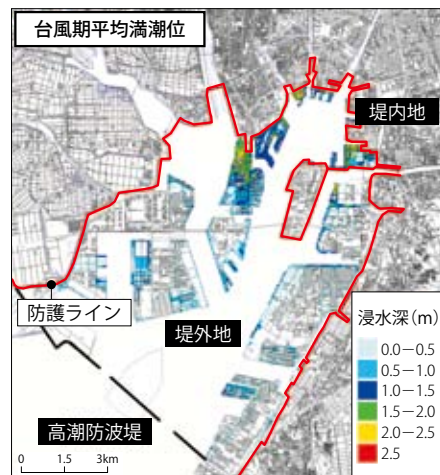


写真1 台風発生位置北上（講演より）

図1 名古屋港高潮浸水予測



基調講演Ⅱでは、春日井康夫港湾空港部長より、昨年度からの伊勢湾高潮災害低減方策検討委員会で行った高潮浸水シミュレーション報告として、①伊勢湾台風級の来襲時の名古屋港における高潮防護ライン外の埋立地の高潮浸水状況を明らかにし、地区によっては2m程度の浸水に見舞われる可能性があること（図1）、②住民・就労者の生命と莫大な資産を守るための減災策として、臨海部立地企業のヒアリング結果と国内・世界の事例から、嵩上げ、ゲート整備などの事例を挙げ現実的な対応の必要性が説明されました。

また、将来的なリスクとして超伊勢湾台風級の来襲ケース、伊勢湾台風級でIPCC予測による59cm海面上昇ケース及び東海・東南海地震による地盤沈下の影響を考慮したケースについての浸水予測計算結果を示しました。

◎パネルディスカッション

パネルディスカッションは、伊藤達雄教

授（名古屋産業大学名誉学長）をコーディネーターとし、パネリストとして二人の基調講演者に加え、松尾年巳名港海運株式会社専務（港湾利用者）、久野時男飛島村長（自治体）、水谷法美名古屋大学大学院教授（学識者）計6名で行われました（写真2～4）。

松尾専務からは、名古屋港の自動車貨物の高潮浸水対策として常時数千台保管されている金城ふ頭ターミナル8万8千㎡の嵩上げなど具体的な提案がなされ、減災対策としてハザードマップ作成などへの民間企業参加により地域一体的な危機意識と結束が生まれることが述べられました。

久野村長からは、住民の生命を第一に考えること、そのため、堤内側ゼロメートル地帯と堤外側埋立地の防災を一体的に考える必要性が述べられました。

大和田教授からは、海面温度上昇は日本列島が1000km南へシフトした状態に匹敵している。降雨強度増加により河川増水、堤内地滞水の急激な増大も考えられ、高潮による潮位上昇と内水増大の両面



写真2 パネルディスカッションの様子



写真3 松尾専務(左)、
久野村長(中)、
春日井港湾
空港部部長(右)



写真4 大和田教授(左)、
水谷教授(右)



写真6 ご意見を述べる参加者



写真5 伊藤教授

図2 三河港神野地区



写真8 境界フェンス際に移動・集積したコンテナ
(中部地方整備局撮影)

からの検討が必要になることが指摘された。
水谷教授からは、伊勢湾台風の再来や将来リスクへの堤外地の効果的な減災対策として護岸ラインに高潮等の外力により作動するようなゲートを設置する提案と、今後の名古屋港の我が国経済における位置を考えると、浸水域を出来るだけ無くしていくことがこの地域の評価を高め、国際競争力の維持・強化につながる事が指摘された。

◎おわりに

シンポジウムから4週間後、講演とパネルディスカッションで議論された高潮防護ライン外の埋立地における浸水域被害が現実のものとなりました。
平成21年10月8日未明から早朝にかけて東海地方に襲った大型台風18号(メーロー)は三河湾を直撃するかたちとなり、中心気圧955hPaによる海面上昇と中心付近の最大風速40m/sと西からの暴風による

伊勢湾内のほとんどの重要港湾で扱っていることから、高潮浸水に対する効果的な対策を真剣に議論していくべき、今日中部地方整備局が公開した名古屋港高潮浸水状況など貴重な資料を活かし今後高潮対策委員会ですらに議論をすすめる良い方策を提案していきたい、と述べられました(写真5)。
また、会場からのご意見として、このような高潮浸水図を市民に公開したことに對する評価をいただきました(写真6)。

吹き寄せにより、湾奥部に位置する三河港では2・60mの高潮偏差を生じ最大潮位+4・40mを記録、天端高+4・0mの三河港神野西ふ頭7号、8号岸壁は0・7・0・9mの浸水を受け計136個のコンテナがヤード内を流動、散乱する災害が発生しました(図2・3、写真7・8)。
50年前の伊勢湾台風(929hPa、暴風半径約500km)と比べれば規模(955hPa、暴風半径約200km)の小さな台風18号ですが、地形、潮位、来襲コースなど条件が合えば相当の高潮をもたらすこと、伊勢湾内の名古屋港、四日市港などでも同様の被害が生ずる可能性が高いことが事実で示されました。

今後こうした現実の被害に対応するため、伊勢湾高潮災害低減方策検討委員会では、台風18号による三河港高潮災害メカニズムの究明も含めた一層の議論をおこない、災害に強くより安全で使いやすい港湾空間の実現のための方策提言を行っていきます。

図3 台風18号経路



資料) 気象庁



写真7 高潮により散乱したコンテナ
(中部地方整備局撮影)



大きな転換点をむかえている インフラ整備の考え方

村田▽本日の鼎談では、昨今大きなテーマになっております港湾分野での維持管理やインフラの総合的なマネジメントの方向性などについてお話を伺いたいと思います。最近は今までも増しているいろいろなところで維持管理の必要性が言われるようになってきましたが、ここで感じますのは従来の維持管理のイメージとは違い、インフラ整備の考え方そのものが大きな転換期にさしかかっているのではないかとということです。

港湾分野について国土技術政策総合研究所の資料によりますと、毎年仮に2%ずつ公共投資が削減されると、20年後の2030年には費用の約8割を更新を含む維持管理に割かなければなりません。道路、河川も同じような状況です。そうしますと、我が国の社会資本の整備方式がいよいよ立ち行かなくなるのではないかと、大きなパラダイムシフトの時期に来ているのではないかと思います。

そんなこともあつて港湾分野では昨年、先生方のご指導もいただきながら、沿岸セクターにおいて海洋・港湾構造物維持管理士の資格制度をつくり、試験や講習会を実施しています。

まず日下部先生に、維持管理の必要性が声高に言われるようになってきた社会背景や、その中での維持管理の役割、現状と課題などについてお話をいただければと思います。

日下部▽社会資本整備を考えるとときに大変重要だと思っていることは、人口が増加する時期と人口が停滞、減少する時期の社会資本整備は全然違うということです。戦後、日本は4000万人くらい人口が増える時期を経験してきましたが、そのときは造る時代でした。それが2005年から2006年に人口がピークを打って減少期に入りますと、技術的な課題はメンテナンスや長寿命化になってきます。

開発経済学の分野では「人口ボーナス」

という考え方がありますが、出生率が下がり相対的に産業に従事する年齢層が人口比で増えると、全体の労働力が増え社会に貯蓄ができます。それを使って、社会資本整備がどんどん進みます。しかし更に進んで少子高齢化になると、当然ながら社会福祉などに財政投資をしなければならなくなり、社会資本整備にまわすお金が減少します。こういう全体の流れから考えると、人口の減少期には、社会資本整備は「どうやって維持管理をして長寿命化させるか」がテーマになります。

維持管理の歴史について申しますと、鉄道が最初だと思います。鉄道は明治初期から昭和初期くらいにほとんど主な施設ができました。そういった面で、鉄道のメンテナンスはかなり前から行われています。一方、港湾整備はある意味で戦後の政策として設定された産業構造の結果です。素材産



日下部 治氏

東京工業大学大学院理工学研究科
土木工学専攻教授

港湾分野の 維持管理と技術の継承

～港湾施設の機能維持の重要性と有資格者の役割～



業は輸入に依存しますから、1970年から1980年くらいまで集中的に港湾への投資がなされました。港湾整備は人口の増加と戦後の日本の産業政策の選択肢としてなされてきた気がします。

維持管理の重要性は1980年代前に「荒廃するアメリカ」と言われたように、維持管理をしなければ何万キロの高速道路や橋梁の何十パーセントが使えないという帰結になるのは過去の経験でわかっていました。それと、これは大変重要だと思うのですが、島国である日本において港湾が道路のメンテナンスと違うところは、必ず国際整合性や国際競争力の要求がついて回ることです。そうすると単なるメンテナンスだけではなく、ほかの要求から施設・性能のアップグレードが求められ、その両面をど



横田 弘氏

北海道大学大学院工学研究科
環境創生工学専攻教授

う対応させていくのが大きな課題だと思います。すべての施設のアップグレードはできないので、そこそ大胆な選択と集中をせざるをえない時代になってくるのではないか。そんな認識をしています。

村田▽横田先生には、港湾・海洋分野の維持管理の現状と課題についての基本的なお考え、認識を教えてくださいたいと思います。特に道路、河川など他の分野のインフラと違って、港湾インフラは維持管理にあまり力を入れてこなかったという気がします。これから維持管理計画を立てることになっていきますが、策定者は港湾管理者ではなくて設置者です。これは非常に意味があると思います、そのあたりも含めてお話しただけですしょうか。

横田▽仰るとおり、港湾はこれまであまり熱心に維持管理がされてきませんでした。いろいろな理由があると思いますが、一番大きいのは第三者への影響があまりないと

いうことだと思います。道路や鉄道はコンクリート片が落ちてけがをするなど、不具合があるとすぐ一般の方々に支障が出ますので、非常に神経質にメンテナンスをしなければいけません。しかし港湾はだれでも立ち入れる施設ではないので、ついつい手薄になりがちではなかったかと思います。

もう一つは港湾法で、国が造った施設でも管理は地方公共団体等の港湾管理者に委託しているというのが大きいと思います。道路や鉄道は自らが造った施設は自ら管理をしています。そうすると計画、建設、管理に至るまで一貫していろいろなことができますが、港湾は造った人と管理をする人が違います。

造るほうはできるだけ安いものを造ろうと思っているし、受け取る側はできるだけ管理が少なく、可能な限りメンテナンスフリーに近いものを受け取りたい。そのギャップが現実には結構大きくて、本来維

戦後、我が国の経済成長とともに整備されてきた港湾施設は、平成38年には、建設後50年以上経過する施設の割合が約42%になり、「高齢化」が懸念されている。港湾施設の維持・更新を図り、長期にわたって有効活用していくためには、従来のように、損傷等が発生した後に対処するのではなく、致命的損傷が発現する前に速やかに措置し、施設の延命化を図る「予防保全的管理」が必要である。

これを長期的・計画的に実施するに際し、港湾施設の設置環境や構造の特徴、施工法等に習熟するとともに、損傷、劣化等についての点検診断や維持工事等に高い知識を有する技術者の確保、育成が極めて重要になっている。

今回の鼎談では、港湾施設の安全と安心の視点も含め、港湾維持管理分野の人材育成と技術の継承、新たな資格制度の意義とその活用などについて語っていただいた。



村田 進

財団法人沿岸技術研究センター理事長

持管理を前提に初期整備がされたにもかかわらず、それが管理者にうまく伝わらなかったのではないのでしょうか。それが、今回は設置者が維持管理計画をつくるということですので、うまく解消できるのではと期待しているところです。

将来の維持管理を考えて構造物を設計することは非常に大事です。予防保全の考え方できちんと維持管理をするといっても、最初からそれなりのものが提供されていないとできません。造るものと維持管理のレベルを最初に合わせていくことが、これからの施設には非常に重要になってくると思います。

国際標準化と「海洋・港湾 構造物維持管理士」資格制度

村田▽最近いろいろな技術基準について、国際整合性が大事になってきましたが、国際標準化の問題は、今後わが国が維持管理の分野で世界に展開したり、あるいはわが国の市場を開放していくときに重要な問題になりそうです。だれが技術基準をつくるのか、日本のノウハウを技術基準にどのように反映するのか。どういう問題点があった、どこを改善しなければならないのでしょうか。維持管理分野のスタンダード的なものが今後必要になってくるのでしょうか。
日下部▽メンテナン斯的ものがどういふふうに国際標準化されるかは、なかなか難しいと思います。メンテナンスにはそれだ



けの技術者が要するということが、社会資本の性能を決めるのはその社会です。社会がどんどん変化して新しいものを造っていく時代にある国々と今のような日本では、メンテナンスのレベルが違うと思います。

そういう意味で国際標準化には多少時間がかかると思います。維持管理のコンセプトとしては性能規定化の中に一部含まれていると思います。今日本が持っている技術力はこれから10年、20年、海外で大変有用なカたちになるかと思いますが、それがすぐ標準化につながるかというところでもないかと考えています。でも、多くの国々は人口減少期を迎えつつありますので、日本の維持管理の考え方は極めて重要だという認識を持っていると思います。資格制度でも、将来の海外への展開も視野に入れてお考えになればいいと思っています。

村田▽当沿岸センターでは、資格試験制度の策定を進めてきました。その結果、第1回の昨年は600名くらいの方に受験していただき、その中から厳しい審査を経て

100名余の方が合格されました。また技術者の育成が大事だということで、講習会の仕組みもつくっていただき、だんだんテイクオフしつつあるかと思っています。

維持管理を効率的、効果的に進めるうえで、この資格は大きな役割を果たすことになると思っています。他の分野の維持管理の資格制度の実態や、これからどういう方向が望ましいのでしょうか。

日下部▽資格制度をつくることは社会システムの中で効率化を促進し、社会を安定化させる機能があると思います。ただそこには信頼関係がないといけない。社会から信頼されるためには、何が大事かということです。

資格そのものに対する要求は港湾の維持管理ということになっていますが、資格制度全体をどうやって安定化させていくかが大事だと思っています。その一つの要因として、適切な質と量が必要です。資格保有者数が過大だと職業として成立せず、制度がうまくいかない。過小だといろいろな問題が出てくる。社会が要求する量が一体どのくらいあり、それをどのくらいの年数で更新しながらいくのか、ということが重要であると思います。

横田▽日下部先生が仰るように、必要と需要があつて資格制度が生まれてくると思います。社会基盤施設の劣化が問題になったところに、多方面でそういう資格が考えられていったのではないかと思います。たとえば、コンクリートの分野ではコンクリー

ト診断士という資格があり、これまで約7000人くらいが資格者登録をされています。また鋼構造の分野では、土木鋼構造診断士という資格が平成17年度にできています。

村田▽そういう既存の技術資格で港湾の維持管理を担うのでは不十分ですか。

横田▽港湾の施設は非常に複雑ですので、コンクリート、鋼などの基礎の知識は重要ですが、コンクリート診断士を持っているからといって港湾の維持管理ができるかどうかわかりません。コンクリートの知識だけで栈橋上部工の点検診断はほぼできると思いますが、重力式の岸壁が変状した場合などには、たぶんコンクリート分野の専門技術だけではできないでしょう。地盤のことも知っていないといけないかもしれません。

村田▽話は少し変わりますが、昨年と今年の維持管理士試験の受験者の構成を見ていて気が付いたのですが、実は今年は自治体からの受験者が非常に多いのです。

日下部・横田▽いい話ですね。

村田▽受けている地方自治体の数もものすごく増えています。去年は主たる担い手に関心を寄せないのはなぜかと思っていたのですが（笑）。必要性がだいぶ浸透してきたのかなと、思っています。

横田▽港湾維持管理のベースとなっている「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」は「とにかくお金がかからないように」を大命題にし、港湾管理者を念頭において仕組みをつくりました。「ぜひやってくださ



い」と非常に高度なものを求めても、「お金がありません、できません」と言われたらだめです。とにかくお金をかけずに自らの手で行えることをベースにして一般点検のシステムを作りました。ですから、港湾管理者さんにもぜひ受けていただきたいと思います。

予算減少下でも求められる 国際競争力

村田▽冒頭に述べましたが、港湾の分野だけを見ても20年後には予算の8割が維持管理に回されて新規投資は2割しかできなくなります。一方で、第2パナマ運河の拡張が完成しますと、これまでより大きな船が航行でき、大型船への対応をしないと日本は国際海上物流において取り残されていく可能性があります。バルク貨物についても、石炭、鉱石、木材、穀物などの受入施設は、高度成長期に民間が中心になって造ったもので、いまは相当老朽化し将来

対応ができていない部分もある。国際競争力を維持するという意味で、これらをどうやって再生していくかが非常に大事だと思います。

財源が限られる中で、新規投資をしなくてはいいけません。また維持管理の効率を上げていかなければいけない。こうした課題にはどのように対応していくべきでしょうか。

日下部▽平均的に年何パーセント減少させて行くという話は決して良い策にはなりません。それは、荒廃するアメリカと同じ轍を踏むと思います。いろいろな議論があるにしても、大胆な選択と集中をせざるを得ない。よく例に出されるのは、六千何百あると言われている限界集落です。あと何十年かたてば必ず消滅するといわれているところに新たな投資をするのが良いことかどうかとなると、国の政策としてはどこかを選ばざるを得ない。特に港湾は国際競争力に負けたら国全体がだめになりますから、政策がそういう方向へ向かわざるを得ないと思います。

ただ、どこが最優先なのかという理論をちゃんと証明、説明しなければいけません。日本の人口はどんどん減っていきませんが、東京はまだまだ人が集中する。そうすると、もう平均的議論は無理です。いろいろな批判があるにしても、選択と集中しか道はないのではないかと思います。

村田▽維持管理の中でも優先順位がつけられるし、新規投資と維持管理、更新、廃棄

等、全体をどのように組み合わせるやうにいくのか。どういう順番でいつやるのが適切かについて議論していかなくてはいいですね。

日下部▽それが一番難しい問題だと思います。

横田▽私も同じ意見です。これまで船が大きくなるスピードが速かったので、30年もたたないうちに更新している岸壁の例が結構多かったのです。本来、設計供用年数は50年とされていますが、早いものでは10年くらいです。すでに施設の能力が足りなくなつて造り変えられているので、あまり劣化が問題になりませんでした。

今後も船はどんどん大きくなっていくでしょうが、かといって日本にある千いくつの港にある全部の岸壁をこれに対応させることはとてもできません。選択投資をして、それに対応する岸壁を造る一方で、その他の港では現有施設を維持し、これでもよくやれる物流体系を考えざるを得なくなると思います。



港湾は、道路と違って点の施設です。道路は線ですからあるネットワーク、ルートが完成しなければいけません。港湾は点の施設なので選択はしやすいのではないかと思います。どんどん二極化していくことになると思います。

日下部▽選択と集中という意味では、港湾だけではだめですね。港湾と接続する道路部分や空港がどうなるかなど、日本全体のシステムを合わせて考えていかないといいない。選択と集中は個々の構造物、施設ごとにはできないと思います。

村田▽ネットワーク全体という観点から言いますと、この問題は国内だけではなく海外、グローバルネットワーク全体として、機能と効率性が確保されるという点で見ていくことが必要になりますね。

公共事業費を平均して 毎年減らしていくことの問題点

村田▽最近、公共事業不要論や公共事業の進め方に対する不透明な部分が社会的問題になっています。国民の皆さんは必要な公共事業全部をやめるとまでは仰いませんが、本当にそのあたりの選択ができていくのか。そういう観点から、いろいろなことが議論されていると思います。

日下部▽いろいろな方が日本の公共投資にかかわる費用の多さを言いますが、そのだいたいの中身は総額の国際比較です。サードピスの比較ではありません。GDPの何



パーセントという議論であつて、たとえばヨーロッパと同じサービスを日本の国土の中で実施するとどれくらいコストがかかるかというベースの議論ではないのです。

たとえば、青函トンネルとユーロトンネルはだいたい同じくらいの距離ですが、ユーロトンネルは単一の地層だけを走っています。断層がありません。ところが青函トンネルはいろいろな層が重なり、断層もたくさんありましたので、当然コストは違います。必要とされる整備期間も技術力も違います。

同じような事例で、パリ・リヨンのTGVの工事と新潟・東京の新幹線の比較があります。新潟と東京はトンネルと橋、高架橋が99%、フランスは1%です。社会で同じサービスを与えたときに、地域によってコストが違うことを考えず、総額で国際比較をしている。そこが大きな誤りです。そ

の議論がないままに、今のように平均的に年何パーセント下げていくのは、大きな問題です。

また港湾関係は地震や津波、台風や高波がありますが、耐震にしても台風にしても外力レベルも全然違います。海外とコストが違うのは当たり前です。そこを納得して、社会資本整備の中にどれだけ必要かという議論をぜひしていただきたいと思います。

もう一つ、地震があつたとき復旧にどれくらいコストと時間がかかるかという議論があります。想定されている東京港北部地震の推定被害に対して東大の地震研で計算した例によると、新潟中越地震の復旧事例をベースにすると、東京は150万人くらいの技術者と労働者がいないと1年間で復旧できません。その経済的デメリットを考えると、災害に対する技術力と人材はどうしても確保しておかなければいけないのに、もうぎりぎりの線を下まわりつつある気がします。

技術の伝承を進めないと日本は災害に対応できなくなる

村田▽そういう意味でも技術力と人材の確保が一層重要になります。特に高齢化してくると技術の継承がさらに問題になります。一方では環境問題や維持管理への対応など、新しい需要が出てきています。

日下部▽技術の伝承は大変難しいと思います。伝統芸能やいわゆる職人が代々あるも

のを引き継いでいくことと、科学技術の伝承は少し違います。歌舞伎や能の伝統芸能や職人さんののは、ある意味で静的な伝承です。ところが科学技術の伝承はものすごくダイナミックなので、単に前の人と同じことができればいいのではなく、新しい技術を吸収しながらやらなければいけない。これが難しいと思います。社会全体が新しい技術に対する評価や、もう一度再構成して残す技術を選択しなければいけない。そういった部分と新しい技術を生み出す部分をやらないと、技術の伝承はできません。

維持管理といかに延命化させるか、変状の将来予測などというのはおそらくこれからです。そうすると、それを展開させる新しい技術を生み出す人、整理する人、実際にやる人という役割を体系化しながら、役割分担しながらやらないと、技術の伝承はなかなかうまくいかないと思います。

村田▽そのためには、港湾分野の維持管理士制度を今後どのように拡充していくか。あるいは、制度に加えてどんなことをやる必要があるのかということが課題となりま

日下部▽それと重要なことですが、維持管理というコンセプトを大学教育の中にどう取り込むかです。力学をベースにしたデザインのコンプットやどうやってつくるかを伝統的に教えてきたので、メンテナンスの仕方についての教育はまだまだ体系化されていません。大学教育の中にどうやって維持管理を入れ込むか。大学人のかなり責任

のある役割だと思っています。

村田▽機械や生産技術の分野では維持管理が昔から重要視されて教えられていると思いますが、土木の世界は先生が今言われたようにメジャーな分野ではなかったですからね。

横田▽大学の教育では、学生に夢を与えられなければならないと思います。新規プロジェクトは夢があるから教えやすいけれども、維持管理にも夢をもたせられるような視点が必要でしょう。

村田▽これからは維持管理がほとんどを占める時代です。新規投資よりも維持管理です。そうなつたら、海洋・港湾構造物維持管理士の資格を持つていないと港湾の仕事に携われなくなるよと言っています。需要からいって、そういう方向にシステム全体を変えていかなくてはならない。維持管理やそこに含まれる新しい分野を育成していく中で、新しい技術と産業ができる期待も持てるのではないかと思います。「維持管理の産業」までいけると相当なものだと思います。

横田▽これからの維持管理は「予防保全」がキーワードであり、港湾の維持管理も予防保全を軸に進めて欲しいと言っています。予防保全ということ、これは細やかな対応をするということで、これは大手の企業ではなく、地元の家が活躍できる場であると言えます。予防保全は、地域の建設関連産業の活性化、地域の活性化にもつながっていくと期待しています。



技術の国際連携が不可欠

村田▽技術の国際連携が不可欠で益々国際的視野が必要になってきています。例えば、今大きな問題となっている環境でみると、CO₂排出量に関し、鳩山首相は1990年比で25%削減すると言っています。港湾でもこうした環境問題に対する関心は高く、現在わが国で試験的に進んでいるのは船舶のアイドリングストップです。船は止まっているときでも電灯や冷蔵庫やいろいろな電気を使っていますが、いままで重油燃料を使っていました。しかし国際標準に合わせるためには駄目だということで、国際港湾協会やIMOなどで議論が進められており、陸上から電力を供給する陸電供給に変えつつあります。このシステムを整備していない港は、何年か先には使われなくなるかもしれないのです。世界中の港湾で議論されているのは港の低炭素化や低炭素化につながる船の開発、港に立地している工場の自然再生エネルギー、太陽光発電、あるいは洋上風力による港のオペレーションの電力供給などです。

米国での9・11同時テロ多発事件後に改正されたSOLAS条約では、アメリカのイニシアティブで世界中の港で安全性を全部チェックすることになり、コンテナ埠頭などの場合、周囲をフェンスで囲むようにしました。条約を守らない港は国際港として世界から弾き出されるといのが現実です。今後、環境問題は国際整合性の観点

から、港の機能なりサービス水準をかなり縛っていくのではないかと思います。維持管理も環境問題もそうですが、積極的に対処していかない港湾はグローバルネットワークからはじき出され、新しい産業も生まれないことになるのではないかと思います。

データの共有化と連携が重要

日下部▽維持管理について少し言いますと、鉄道分野の維持管理基準は平成19年1月に改訂されて、私もその一部をやらせていただきましたが、その構成は港湾関係のマニュアルとほとんど同じです。健全度のレベルは基本的に4段階あるいは5段階になっています。

そのあたりが現在、われわれが目視や簡易な手法でできる性能のレベル分けの精度だと思っています。細かくすればいいわけではなくて、粗くしてもよくない。そのあたりの適切な数と、それを判定できるシステムをどうやって作りあげていくかが、これからの大事なポイントだろうと思います。

いろいろなレベルがあつたときに、なるべく目視と簡単な検査で精度よく判断していく。チェックリストは一度できて固定化してしまうとうまくいかないで、どうやって健全度を反映するか。チェックリストから出てきた健全度と、モニタリングによる実際の数値を照査しながらどのように誤差を小さくしていくかが、これからの重

要な作業になると思います。

横田▽栈橋の上部工などは、もともと5段階の劣化度評価だったのを4段階に変えましたが、港湾管理者が5段階ではやりにくいのではないかと考え、4段階くらいなら少しトレーニングをしたり、講習会に出たりすれば、そんなに難しくなくてできて、実効性があると思いました。ただ、それで性能がすべて表せるかというところがそんなことはありません。外観上に出てきた不具合だけを

チェックするので、そこから施設の性能評価にどう結びつけていくかの仕組みを作っていくかなければいけません。しばらくは、研究所や大学で知見を積み重ねていくことになると思います。

日下部▽データの蓄積の重要性は、港湾も鉄道も両方で指摘されています。それは管理者独自のもののほか、社会資本全部に対するデータとして使えるか。各管理者が集まってデータを共有し合うことで、どういうメリットがあるか。これだけいろいろな分野で進められているので、是非データの共有化をやっていただきたいと思います。そういう意味でセンターにはぜひリーダー

シップを取っていただきたいと思っています。
村田▽維持管理制度はこれから益々需要が増え、整備全体の主たる部分としての役割を果たしていかなくてはならない状況にあると思っています。この制度が生かされてわが国の港湾の維持管理に一層寄与できるよう努力して参りたいと思います。本日はありがとうございます。



図1 最終継手概念

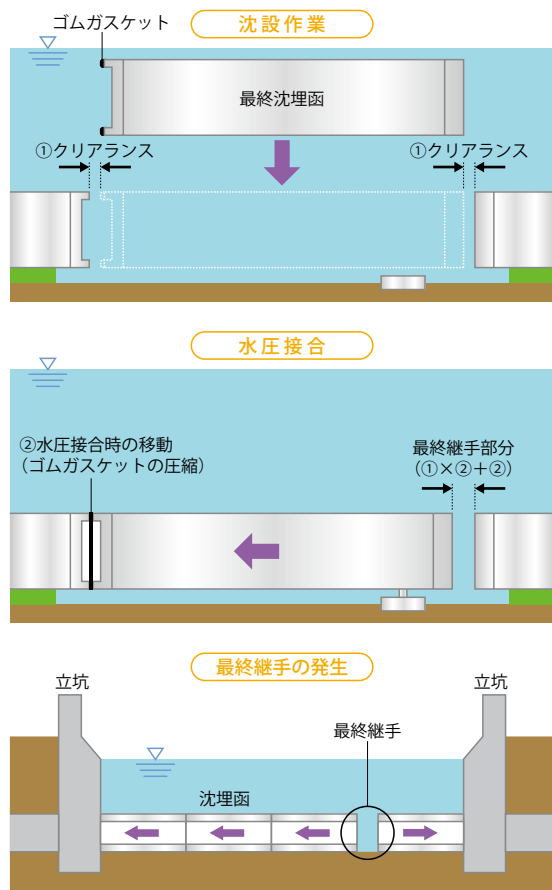


図2 キーエレメント工法概念



沈埋トンネルの 最終継手を省略 するキーエレメント 工法

段塚 隆雄

五洋建設株式会社土木部門土木本部土木設計部

1 はじめに

沈埋トンネル工法は、ドライドックなどで製作した沈埋函を、水に浮かべて曳航し、あらかじめ掘削した水底のトレンチ内に沈設して、埋め戻しを行う手順でトンネルを完成させる工法である。国内では、主に臨海部で道路や鉄道用の大規模なトンネルとして建設されている。特に、大型船舶が航行する航路などで陸上部に十分なアクセスが取れないところ、または空港近隣で空域制限があるところでの施工例が多い。これらは、橋梁の建設が難しい地点である。

沈埋トンネル工法の施工に関する特徴として、水圧接合方式による沈埋函相互の接合が挙げられる。これは、トンネル軸方向に作用する静水圧を利用して、沈埋函端部に取り付けたゴムガスケットを圧縮することにより、止水し連結する方法である。

一般に、沈埋トンネルで最後の沈埋函を接合すると、沈設作業に必要なクリアランスと水圧接合時の函体移動で、連結部分と反対側に最終継手と呼ばれる間隙部分が残る(図1)。従来、この最終継手部の施工は工程や工費、施工の安全性などの課題が多かった。近年は、これらの課題を解決すべくいくつかの工法が開発されている。この中でキーエレメント工法は、最終継手を省略する最新の工法である。本稿では、キーエレメント工法の技術概要を紹介する。

2 従来の最終継手工法

従来の最終継手工法としては、次のものが挙げられる。

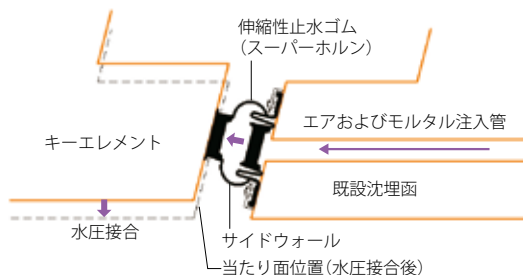


写真1 キーエレメント (大阪港夢咲トンネル)

図4 最終沈埋函据付システム (沈設誘導画面)



図3 伸縮性止水ゴム



4 伸縮性止水ゴム

従来のVブロック工法の接合には、一般の沈

これらより、従来工法に比べ、施工の安全性を向上するとともに、海上工事期間を含む工期短縮を可能としている。また、Vブロック工法で必要とした大型起重機船は不要であるため、空域制限がある地点での施工が可能である。

3 キーエレメント工法

キーエレメント工法は、従来の技術であるVブロック工法の接合原理を応用し、キーエレメントと称するくさび形の最終沈埋函を自重と水圧を利用して既設函に密着させることによって、沈埋トンネルを貫通する工法である(図2)。本工法の特徴は、次のとおりである。

- ① 従来の最終継手工の省略
- ② 通常の沈埋函と同じ沈設設備の使用
- ③ 潜水作業の省力化
- ④ 水圧接合を利用した完全な止水
- ⑤ トンネル延長誤差への柔軟な対応

5 最終沈埋函据付システム

キーエレメントの沈設・接合時に重要となる管理項目は、次のとおりである。

① 両側既設函との相対位置の把握

埋函と同様、ジナ型ゴムガスケットが使用されている。このゴムガスケットは使用実績が多く、信頼性は高いが、トンネル延長、当たり面の不陸などの施工誤差を吸収する能力は $\pm 20 \sim 30 \text{ mm}$ 程度である。Vブロックの延長は約10mであり、約100mのキーエレメントに应用するためには、これまでに施工誤差を吸収できる新たなゴムガスケットが求められた。これに対し、 $\pm 60 \text{ mm}$ 伸縮機能を持つゴムガスケットが開発され、両継手に用いて $\pm 120 \text{ mm}$ のトンネル延長誤差に対応することで、キーエレメント工法が成立した。このゴムガスケットを伸縮性止水ゴム(スーパーホルン)といい、キーエレメント工法の核となる要素技術である(図3)。

伸縮性止水ゴムは、中空構造で内部にエアおよびモルタルを注入することによって伸長する。キーエレメント沈設時のクリアランスを確保するため、既設函へはサイドウォールを折り畳んだ状態で設置する。

実際の施工では、内部に注入するエアの圧力が最深部の水圧以上になると伸縮性止水ゴムが全周にわたって膨張し、キーエレメントと密着する。モルタル注入後に完全な一次止水を完了させるため、伸縮性止水ゴムの圧縮特性から、上床部における内部の空気圧と外水圧の差(差圧)を170kPaと設定している。

② 伸縮性止水ゴム内部の圧力管理

③ 両側の継手間を同時に行う水圧接合

一般の沈埋函の沈設・接合で使用する施工管理システムは、片側端部の相対位置を把握するものであるため、キーエレメント工法で使用するには不十分であった。したがって、各施工段階における計測データを集中管理する最終沈埋函据付システムを開発・導入している(図4)。

6 おわりに

海上工事では、浮力や水圧という自然の力をうまく利用した合理的な施工方法が数多くあり、沈埋トンネル工法はその代表的なものである。キーエレメント工法でも水圧を利用して継手の完全な止水を実現し、従来必要であった最終継手工を省略可能とした。キーエレメント工法の施工実績として、大阪港夢咲トンネル(平成19年8月沈設)と那覇港臨港道路空港線(平成21年5月沈設)の2件がある(写真1)。現在、北九州の新若戸道路(平成22年沈設予定)で計画されている。

なお、本工法は、第11回国土技術開発賞最優秀賞(平成21年度)を受賞した。

1 鉄鋼スラグ水和固化体の技術概要

鉄鋼スラグ水和固化体は、高炉スラグ微粉末と製鋼スラグを水と練り混ぜ、製鋼スラグのアルカリ分で高炉スラグ微粉末を刺激して水和固化させた、セメントレス化も可能な硬化体です。

鉄鋼スラグ水和固化体は、図1のように、コンクリートと同様な設備で製造され、人工石材やブロック等に加工作され、表1に示す港湾・空港工事などに用いられる天然石代替と無筋コンクリート代替として用いることができます。なお人工石材は、フロンティアストーン®、フロンティアロック®として（財）沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術確認審査・評価証を取得しています。

2 技術の特徴

鉄鋼スラグ水和固化体には、大きく以下の特徴があります。

(1) 副産物のみで製造できる固化体

鉄鋼スラグ水和固化体は、鉄鋼スラグやフライアッシュなどの副産物を主原料としますが、これらを用いて、図2のようにコンクリート並みの強度を発現します。

(2) 環境に優しい固化体

図3は室内試験において海水のpH変化を示したのですが、製鋼スラグをそのまま浸した場合に比べ、鉄鋼スラグ水和固化体はpHの上昇がほとんどありません。また、原料の製鋼スラグには、鉄分などのミネラル成分を含むため、写

真1のように生物付着が非常によく、環境に優しい材料と言えます。

(3) 密度や粒度を造り込める固化体

鉄鋼スラグ水和固化体は、原料に用いる製鋼スラグの種類、固化体の配合や破碎方法を調整できるため、密度や粒度の造り込みができます。これによって、液状化しない埋立地盤や軽量裏込め材、耐波浪性のブロックなど、ニーズの異なるさまざまな用途への製品化が可能となっています。

3 既往の材料との比較

鉄鋼スラグ水和固化体を、代替材料となる天然石材やコンクリートと比較すると、以下のようない特徴があります。

まず一つ目の特徴は、天然骨材の使用量をゼロにできることです。図4は、コンクリートと鉄鋼スラグ水和固化体の1㎡中の材料構成を示したのですが、鉄鋼スラグ水和固化体は、骨材に副産物である製鋼スラグを用いるため、天然骨材を使用しません。これまで行った全ての工事で、天然骨材の使用量ゼロの配合を採用し、約60万トンの天然骨材の使用量を削減しています。

二番目の特徴は、コンクリートと比較してCO₂排出量を大幅に削減できる点です。図5は、鉄鋼スラグ水和固化体とコンクリートのCO₂排出量を比較したのですが、鉄鋼スラグ水和固化体は、材料として、製造時にCO₂を多く排出するセメントをほとんど使用しませ

図1 鉄鋼スラグ水和固化体の製造法

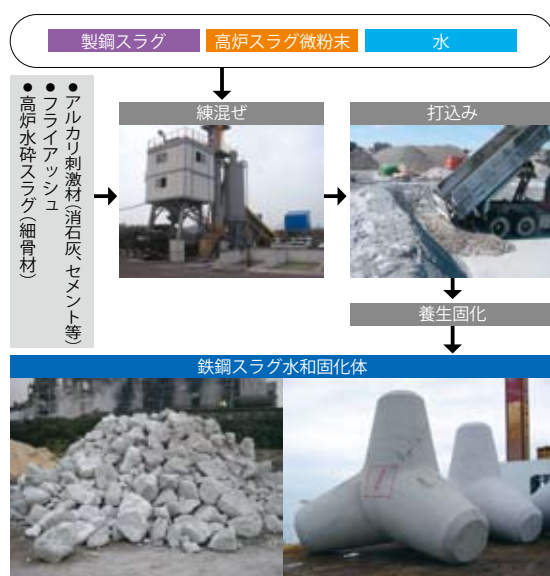


表1 鉄鋼スラグ水和固化体の用途

代替分野	用途例
天然石代替（人工石材）	非液状化埋立材、裏込め石、傾斜護岸材、被覆石、漁礁
無筋コンクリート代替	異型ブロック、漁礁ブロック、藻場ブロック等のブロック類、およびケーソン上部工

沿岸リポート 2

技術



鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（フロンティアストーン®、フロンティアロック®）・ブロック

新日本製鐵株式会社、JFEスチール株式会社、東亜建設工業株式会社

高野 良広

新日本製鐵株式会社技術開発本部環境・プロセス研究開発センター土木建築技術部

なので、コンクリートに対し60～76%のCO₂削減効果があり、低炭素社会に大きく貢献できます。

三つ目の特徴は、生物付着性が高いことです。図6は、海中での海藻類の付着量をコンクリートと比較したのですが、鉄鋼スラグ水和固化体は、付着する海藻の種類、量とも非常に大きいことが分かります。

四つ目の特徴は、実際に使用される天然石やコンクリートの代替材として、品質が同等以上であるということです。人工石材であるフロンティアストーン®やフロンティアロック®は、準硬石相当の品質を有するとして、認証されています。また、コンクリート代替としての品質は、物性的に同等というだけでなく、コンクリートよりも密度が大きいという点が特徴であり、例えば、港湾用ブロック等に用いた場合には、1.2～1.8倍の波浪安定性を付与できます。

これらのことから鉄鋼スラグ水和固化体は、天然資源保護とCO₂削減、海域環境改善を可能とする石材やコンクリートの代替材と位置付けられます。

4 適用例と効果

鉄鋼スラグ水和固化体は、これまで港湾工事用材料として、多くの適用実績を有していますが、最も大量に用いられた羽田D滑走路築造工事を例に、適用の概要と効果を説明します。

当該工事では、フロンティアストーン®を図7に示す、中仕切堤と揚土材の一部に用いています。直接的効果としては、まず岩ずりとの併

用で、材料の安定調達による円滑な工事推進に寄与できたという点が上げられます。また、品質管理した製品として供給したことで、天然資源に比べて品質の安定した埋立材料が供給できたと考えます。すなわち、透水係数を大きくして液状化しない材料にしたこと、密度を小さくして下部の圧密層への増加荷重が少ない材料にしたこと、スレーキング率や二次圧縮係数を小さくして、沈下の少ない材料にしたことなどが、効果として上げられます。

一方、間接的な効果としては、天然資源（石材）の消費を抑制して環境保全へ寄与したということ、副産物である鉄鋼スラグをリサイクル材料として有効活用したということが上げられます。なお、当該工事では適用されていませんが、海中で使用する場合には、良好な生物付着性により、海域環境の修復も期待できると考えられます。

以上のように、鉄鋼スラグ水和固化体は、コストパフォーマンスに優れた環境対応技術と考えています。

図6 生物付着性の比較(対コンクリート)

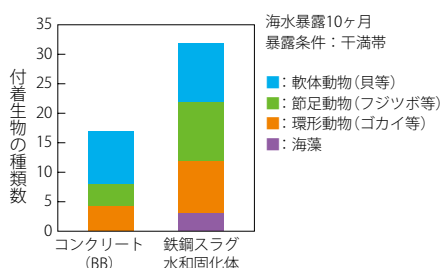


写真2 羽田D滑走路築造工事全景(国土交通省HPより)



写真3 鉄鋼スラグ水和固化体(フロンティアストーン®)による埋立

図7 羽田D滑走路築造工事における鉄鋼スラグ水和固化体(フロンティアストーン®)の適用部位



図4 構成材料と単位量の比較(対コンクリート)

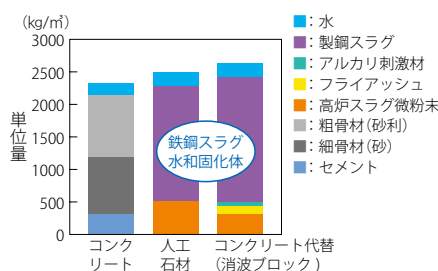


図2 鉄鋼スラグ水和固化体の強度発現

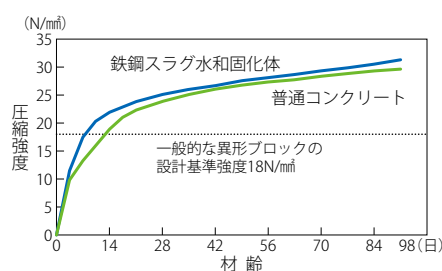


図5 CO₂排出量の比較(対コンクリート)

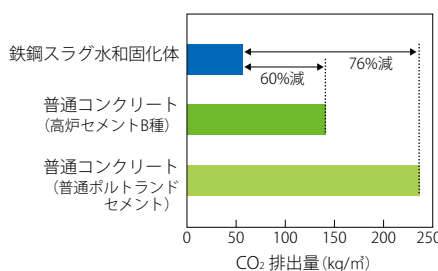


図3 鉄鋼スラグ水和固化体のpH上昇

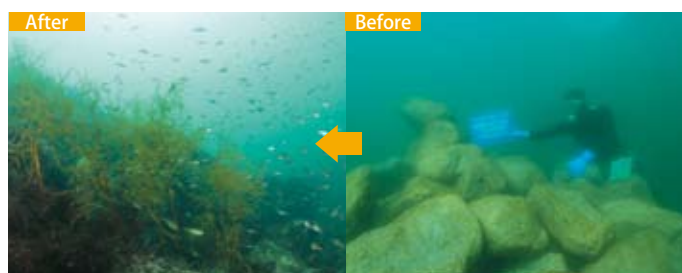
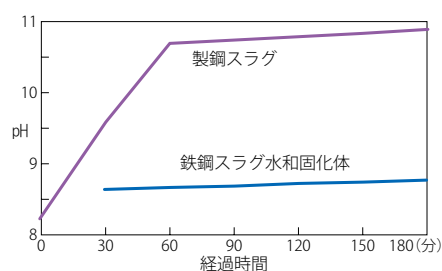


写真1 鉄鋼スラグ水和固化体生物付着状況
左：投入1年4ヵ月後 右：投入直後



沿岸域における高精度 波浪変形計算モデル “NOWT-PARI”

独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部
海洋研究領域波浪研究チーム

チームリーダー 平山 克也

部長 平石 哲也

1 開発の背景

港湾計画の策定や事業効果の評価などを行う際には、現実の港湾や海岸、及びその周辺での波浪の伝播・変形を精度よく算定し、波浪外力を正しく評価することが非常に重要です。大規模な平面水槽で実際の地形と波を再現する水理模型実験は非常に有用な方法ですが、この実施には多くの費用と時間を要します。一方、ある限られた波の変形現象を対象とした数値計算手法は個別に提案され、その一部は港湾設計の実務に広く供されています。しかし、様々な波浪

変形が複合的に生じる実際の港湾において、これらの算定結果を正しく評価するためには、豊富な知識と経験が必要とされていました。

そこで、本技術開発では、従来の計算手法の適用限界を補い複合的な波浪変形問題の解明に大きく寄与するために、現実の複雑な港湾・海岸とその周辺で生じる主要な波浪変形を包括的に算定できる、新たな高精度波浪変形計算法を開発し、その有用性について詳細な検討を実施しています。

2 技術の特徴

この技術は、防波堤や離岸堤による波の回折・反射と同時に、港内外の海底地形による屈折・浅水変形を考慮できる、従来にない高精度波浪変形計算モデルです。このうち、基本プログラム“NOWT-PARI Ver4.6”では、近似精度や拡張性に優れたブシネスク方程式を基礎式として、沿岸域の地形や構造物と海との境界で起こる主要な波浪変形現象をそれぞれモデル化しました（図1）。一方、これに並行して開発を進めている“NOWT-PARI Ver5.x”シリーズでは、水理模型実験等による精度検証を通じて、消波ブロックによる波浪減衰メカニズムをモデル化した透水層モデル、河川の跳水利論と1方程式乱流モデルを応用した碎波モデル、及びダムの越流公式を応用した遡上・越波モデル、等の様々な計算法を開発・導入し、実務計算への適用性を飛躍的に高めました。

特に、透水層モデルでは、来襲波の周期に

よって異なる消波構造物の反射率を高々10%程度の誤差範囲で再現でき（図2）、さらに、消波構造物の法面形状をより詳細に考慮できる改良版では、これらの計算精度をさらに向上できることを確認しました。また、碎波・遡上モデルでは、碎波による波浪減衰を客観的に評価し、斜面地形上のバー・トラフや潜堤周辺（図3）、あるいはリーフ地形上（図4）の波高分布を、非常に精度よく算定できることを確認しています。一方、越波モデルで算定される越波量の再現精度はこれらに比べるとやや劣りますが、不規則な波形による一波毎の越波量及びその発生時刻は比較的良好に再現できています（図5）。

3 社会的な効果

より効率的・効果的な社会資本整備が求められる中、港湾・海岸施設の設計や岸壁の荷役稼働率の算定において主要な外力条件となる波浪をより高精度に算定することは、性能設計法の導入とも相まって、建設コストの縮減に寄与することが期待されています。特に、消波構造物やリーフ・岩礁帯による港内波浪の減衰効果を正しく見積もることができれば、より適切な港湾整備事業の実施が可能となります。また同時に、防波堤・護岸による越波等を広範囲に算定することにより、海岸防災や親水域の利用といった観点でも有益な情報を提供できるものと期待しています。具体的には、那覇港、宮崎港などの港内静穏度対策や、久慈港、高知県栗生

図4 リーフ上の波浪変形

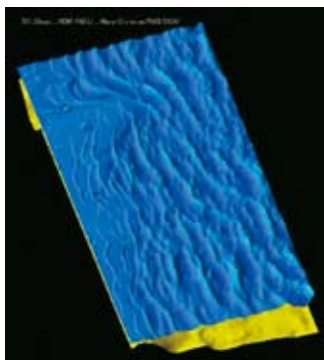


図2 透水層モデルによる反射率の再現結果

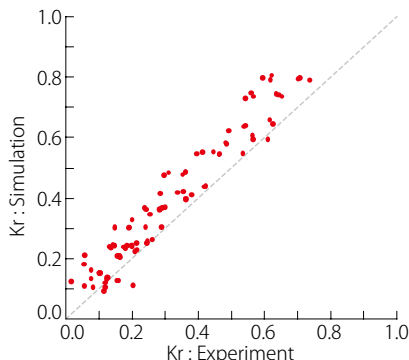


図1 高精度波浪変形計算モデル“NOWT-PARI”のイメージ(波形伝播)

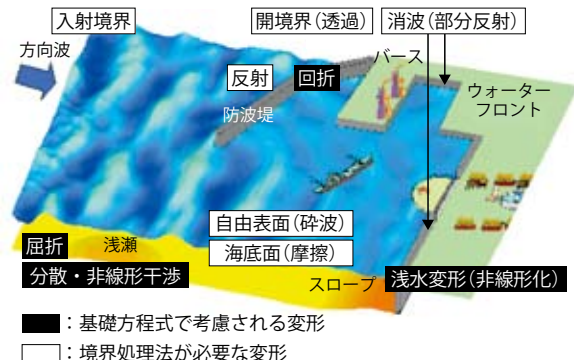


図5 護岸前面の水位変動、及び短時間越波量の累積変化

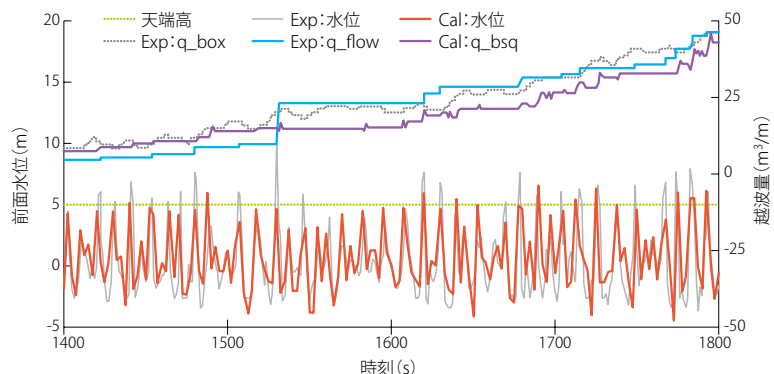
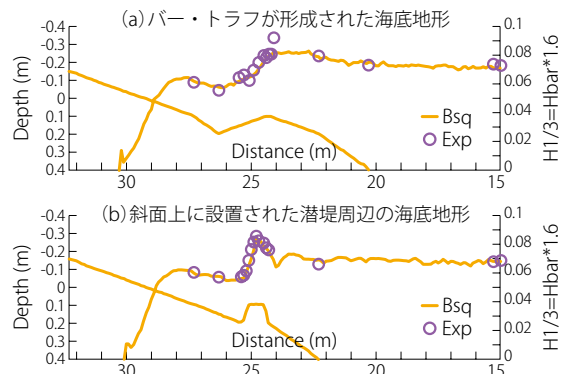


図3 海底地形による碎波・遡上変形の違い



海岸などで発生した越波災害の検証、等の活用実績を有しています。

4 開発の経緯

平成14年度以降には、大学・民間企業等から毎回50名以上の研究者・技術者の自主的な参加を得て、「ビジネススクモデルによる波浪変形計算に関する勉強会」を毎年1回のペースで開催しています。本勉強会では、基本プログラム「NOWT-PARI Ver4.6」を参加者に配布し、各自の研究や実務に適用して得られた成果や問題は、更なるモデルの改良や開発に役立てるとともに、適宜実施されるヴァージョンアップを通じて参加者にフィードバックしています。このように、本勉強会の活動は、我が国の波浪変形計算技術の向上に大きく貢献しています。

一方、数年後に汎用的に実務へ適用されることを目標としていた発展版「NOWT-PARI Ver5.x」シリーズについては、受託研究等への活用や学会への研究論文の発表等を通じて、実務への適用性や計算精度の向上に努めています。例えば、平成17年度に実施した越波モデルの開発では、当初、越流公式を応用した遡上モデルを拡張することで、比較的容易に実現できるだろうとの思惑がありました。しかし実際には、ビジネススクモデルでは越波直前に波形が極端に非線形化する（尖る）現象を表現できないために、計算された越波量は実験結果よりも1オーダー程度小さくなってしまいました。そこで、質量（水量）の保存性を確保しつつ護岸天端高と直前の水面高さの関係を補正することに

より、実験結果と同様な越波が生じるよう計算上の工夫を施しました。

5 今後の展開

港内で実際に観測される水面波形や波のスペクトルをさらに精度よく再現するためには、風波とうねりが重畳した2山型スペクトルや2方向波浪など、様々な形状の沖波スペクトルを直接入力する必要があります。そこで、任意形状スペクトルによる造波に加え、方向スペクトルの空間分布を考慮しつつ任意水深上での造波を実現して、エネルギー平衡方程式法と結合したハイブリッド波浪変形計算法の開発を目指しています。これにより、沖合のGPS波浪計による波浪観測技術やWAM等による沿岸波浪推算システムとの結合が可能となり、沖合から沿岸域に至る波浪場を連続的かつ高精度に算定することが期待されます。

一方、碎波等による3次元流体力学運動や、越波飛沫等を含む構造物周りの詳細な波浪変形の解析には、技術、実績ともに近年着実に向上している3次元流体直接解析法が優れていることから、互いの技術の欠点を補い長所を活用できる双方向接続手法の開発に向けた検討を実施しています。さらに、ハード・ソフトの両面から急速な進歩を遂げている並列計算技術等を導入して、計算時間の大幅な短縮を図るとともに、計算に必要な海底地形、境界条件などの入力データを簡易に作成するツールを整備して、実務計算における利便性をさらに向上させていきたいと考えています。

この度は栄えある国土技術開発賞地域貢献賞をいただきました、誠にありがとうございます。工法の概要について説明させていただきます。

1 開発の背景

北海道のオホーツク海沿岸では、ホタテ貝の管理型漁業が営まれています。ホタテ貝の養殖漁業は種苗生産と稚貝の育成を行い、一定サイズとなったホタテ貝を放流して3年後に漁獲します。この中間育成施設は水深50m～60mの海域に設置されており、これらを固定するために600m間隔でアンカーブロック（重さ約14t～20t、L3・0m×B3・0m×H0・7～1・0m）が配置されています（図1参照）。

中間育成が行われるようになってから数十年経過していますが、近年、異常に発達した低気圧の影響でホタテ貝が大量に打ち上げられることがありました。比較的浅い海域へ放流していた地域では被害が深刻で、このような被災を低減するには放流海域を水深50m以深の海域にすることが必要となりました。その海域とは、前述の通り中間育成施設が設置されているので、アンカーブロックを撤去しなくてはなりません。

しかし、これまで、アンカーブロックの状態を確かめるために潜水士によって数個撤去したことはありますが、大々的に撤去したことはありませんでした。潜水士による撤去では、水深50mまで潜水する作業が一日に一度しか行えず、毎日連続して行くと潜水士の体に負担が掛かりすぎる方法です。そして何より、水深50m程度まで潜水すると「窒素酔い」により潜水士

沿岸レポート 4

技術



専用バケットを用いたホタテ貝中間育成施設のアンカーブロック撤去工法

技術開発者：

吉田 稔

株式会社西村組執行役員工務部長

川合 邦広

株式会社西村組工務課長

2 開発の際に苦労した点

撤去工法の開発にあたり、まずアンカーブロックに取り付けられている吊環などは劣化しているため、これに玉掛しても吊り上げられないこと、それと、位置が分からないことが問題

の意識レベルが低下し、潜水中の事故が懸念される危険な作業となります。このような中、劣化した施設の更新までに要する期間を短くし、時化による被災を避けるためには事業の迅速性が必要とされており、より短期間に撤去できる方法が必要となりました。

図1 ホタテ貝中間育成施設の概要

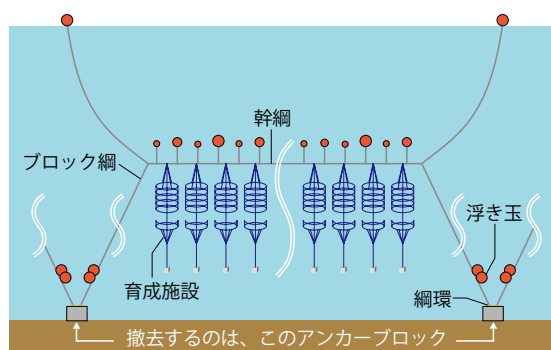
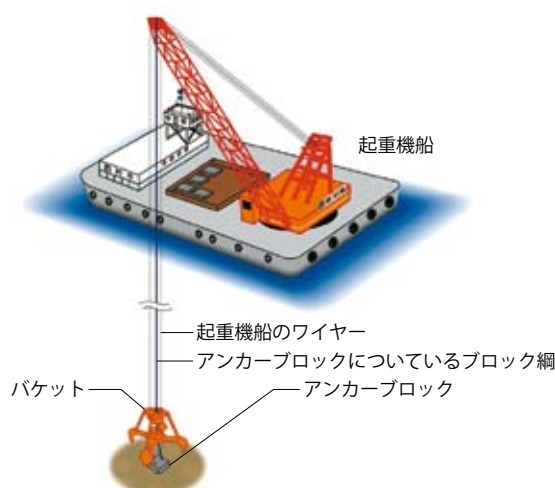


図2 本工法の概念図



となりました。前者の問題点を受け、形状の検討は別途必要でしたがオレンジピールのようなバケットで撤去することを考えました。

次に、位置情報に関して唯一の手がかりであるアンカーブロックに付いているロープ（以下、ブロック綱と呼びます）をたどってアンカーブロックに到達する工法を検討しました。アンカーブロックの正確な位置を把握できなくとも、アンカー船のような船体の小さい船のウインチでブロック綱を巻き取れば、おおよそアンカーブロックの真上に来るはずですが（このようなブロック綱の状態を「立ち切り」と呼びます）。その位置で起重機船をセットし、アンカーブロックに付いているブロック綱を緊張させてガイドとすれば、ガイド環を取り付けたバケットは、いずれブロック綱が結びつけられているアンカーブロックに到達し、アンカーブロックを掴めるだろうと考えました。

しかし、ブロック綱には海底から10m程度のところに直径39cm程度の浮き玉が2個取り付けられているため、これらを通すことができるようにすると『ガイド環』は大きくなってしまう、海中でバケットを偏心させてしまう原因となりました。そこで、「ガイド環を取り付ける」という発想から、「バケットに穴を開ける」という発想へ切り替えました。ワイヤーシープの配列を検討した結果、上下のフレームともに中心部に穴を設けることができ、着底時のバケットの中心とアンカーブロックの中心のずれも最小限に抑えることができました。

◎バケットを製作し、いよいよ実証実験へ！

バケットの設計が決まったところで、実際に

バケットを製作して撤去を試みました。上記の手順に従い、バケットを海中へ。着底後、バケットを閉じ、引き上げてみるとバケットの中にはブロックがない！

今振り返ってみると、緊張させた度合いなどにも問題があったのですが、ものの見事に失敗してしまいました。そこで、この実験をきっかけに撮影方向を360度可動できる水中カメラを取り付けるようにしました。これにより、ブロック綱の方向を見てアンカーブロックへバケットを誘導でき、また、掴んでいるかも把握できるようになり、刻々と変化する海象に対応できる撤去工法を確立することができました。

今回の撤去工法の開発では、理論的な展開よりも、自社船による海上施工を通し、これまで培ってきた経験が大きく活かした結果と考えています。見えない海中でどのような状況となるか、そしてどのようなトラブルにつながるかを推測するなど、さまざまな角度からリスクを想定できたことが開発に成功したポイントと思われる。

3 技術の特徴

本工法の概要を簡単にまとめますと、水深が50m程度の海域で、正確な位置が不明で吊環も劣化してしまったアンカーブロック（14t、20t）を撤去するものです。潮流の少ない時にブロック綱を立ち切りにしてアンカーブロックの位置をある程度の精度で特定し、そのGPS座標を目標に起重機船をセットして専用バケットにより撤去作業にあたります。中心部に穴を

設けた専用バケットは、ブロック綱をたどってアンカーブロックに到達し、掴みます（図2参照）。

水中カメラによる視覚化も成功の大きな要因ですが、ブロック綱をガイドとして利用したこと、さらにバケットの中心部に穴を設けたことが本工法の特徴といえます。

4 社会的な効果

オホーツク海に面している市町村は、直接魚介類を漁獲する漁業者や、それらを二次製品に加工する水産加工会社などの水産業関連を中心とした地域です。漁獲される魚種の中でもホタテ貝はサケと並んで漁獲量の多い魚種で、その中間育成を行うことで資源量をコントロールし、安定した収益につながっています。今回開発した工法により、これまでホタテ貝の中間育成の難点だった維持管理などの問題点を克服できましたので、水産業界に対し、大きく貢献できたと考えています。

5 今後の展開など

今回は地元からのニーズをバケットによる撤去という形で具現化できました。今後、気候変動の影響や社会情勢の変化で、どのような課題やニーズが生じるかわかりませんが、技術開発を通じて地域に貢献できれば幸いです。最後に、このような掲載の機会をいただきました（財）沿岸技術研究センター様に、深く感謝の意を表します。



写真3 撤去完了



写真2 バケットの全景



写真1 すきま腐食により劣化した綱環



写真1 1995(平成7年)兵庫県南部地震による被災護岸

我が国は今、大規模地震の発生と地震による大津波の来襲が懸念される状況にある。地震調査研究推進本部が公表した「海溝型地震の長期評価の概要」によると、例えば近畿地域の関係では、今後30年の間に南海トラフ地震(海溝型地震)が発生する確率は、マグニチュード8・1前後の東南海地震が60〜70%程度、マグニチュード8・4前後の南海地震が50%程度と予測されている。写真1は1995年の兵庫県南部地震による護岸施設の被災状況であるが、大規模地震に伴い大津波が発生する場合、兵庫県南部地

1 はじめに

多様な構造形式に対応した「沿岸構造物のチャート式耐震診断システム」の開発

成進 康二
澤合 井野
平井 菅山

国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所長
京都大学教授
広島大学准教授
独立行政法人港湾空港技術研究所地震防災研究領域長
財団法人沿岸技術研究センター理事



2 開発コンセプト

チャート式耐震診断システムの開発にあつ

震とは比較にならないほど広範囲の地域で甚大な被害が発生することが危惧されている。津波に関しては、海岸保全施設等の沿岸構造物が津波の越流防止機能を保持しているか否かにより、背後地への浸水による被害状況が大きく異なる。このため想定される津波の対応策を検討していく上では、護岸・堤防等の沿岸構造物が地震により、どの程度変位するか、特に沈下量を把握しておくことが重要となる。一方、我が国の海岸堤防の延長は約1万kmと広範囲に及ぶとともに、構造形式についてもケーソンを基礎の上に置いた直立型の護岸や矢板を地盤に打ち込んだ護岸など様々な形式が採用されている。このような多様な形式を有する施設の地震時沈下量の算定には施設毎に高度な二次元有効応力解析等を行う必要があるが、その解析には多大な費用と時間が必要となる。このため、実際に長大な延長にわたって、様々な構造形式の沿岸構造物の耐震診断を行うことは容易ではない。これが沿岸構造物の耐震強化を進める上でのボトルネックになっており、全国の海岸堤防の約6割で未だ耐震性調査が行われていないことの大きな要因になっていると考えられる。

以上のような背景から、多様な構造形式の沿岸構造物に対する耐震性評価を可能とし、地震後の津波の来襲に対して脆弱な施設を「簡単に」、「早く」抽出することを目的とする「沿岸構造物のチャート式耐震診断システム」の開発を行った。

3 システムの概要

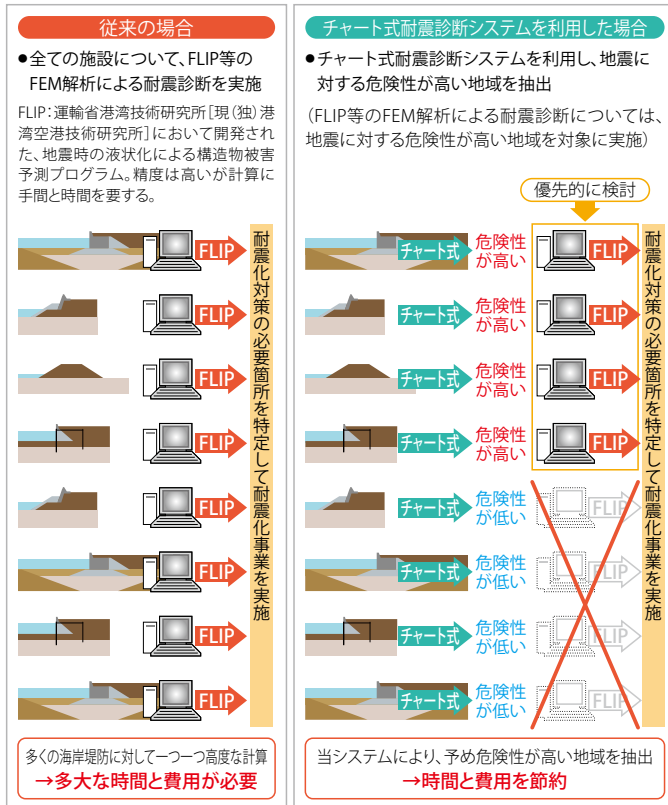
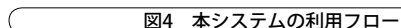
本システムの技術的な特徴を図2に示す。本システムによる施設の変位量(水平変位量及び沈下量)の計算概念を極簡潔に述べれば、施設情報等による施設断面パターンと入力した地震動レベルとを照合させて変位量を求めるものである。しかしながら沿岸構造物の形状や地盤、地震動等の条件はそれぞれ異なる。このため本システムの開発にあたって、まずは全国の港湾管理者の協力を得て現況施設の諸元等に関する調査を行い、沿岸構造物の形状や地盤条件等の標準ケースの設定を行った。その上で地震時の施設の変位量に影響すると考えられるパラメータ(地盤の等価N値、護岸高・勾配等の施設形状、基盤最大加速度等)に関して、標準ケース

では、次の3本柱を開発コンセプトとした。

- ① スクリーニングのための診断手法とすること。
- ② 種々の構造形式の沿岸構造物を網羅すること。
- ③ 技術者であれば利用可能なシステムとすること。

特に柱①は、本システムの開発目的そのものであり、簡単に、早く沿岸構造物の耐震診断を行うためには、二次元有効応力解析による詳細検討件数を効率的に絞り込むことが重要となる。このため図1に示すような脆弱な施設を確実に抽出する、安全側のスクリーニング機能を有するシステムを開発することとした。これにより迅速性とあわせて検討のコストダウンが期待できる。

図1 チャート式耐震診断システムによるスクリーニングイメージ



海溝型 (海南海波) 300gal 入力

残留変位「水平」(m)

適用範囲内 (green line)
適用範囲外 (purple line)

残留変位「鉛直」(m)

FLIPによるパラメトリックスタディの結果 (black squares)

等価N値

を加味して設定した複数ケースについて二次元有効応力解析プログラムFLUP^{※2}によるパラメトリックスタディを行い、標準ケースに対する変位量の差を補正する補正係数をパラメータ毎に求めた。つまり本システムでは、対象とする施設条件等に最も類似した標準ケースをデータベースから抽出し、パラメータの差異の影響について補正係数を掛け合わせることで修正し、多様な条件に対する変位量を計算している。図3は本システムの対象構造形式である直立型

今回開発したチャート式耐震診断システムは、すでに大阪府や兵庫県をはじめ全国の自治体や港湾管理者等にご利用いただいており、耐震調査費のコストや調査日数の削減に効果を発揮するなど、目的とした成果をあげつつある。また、より広くご利用いただけるよう、今後とも随時機会をとらえながら本システムの説明もさせていただく予定である。さらには、堤体高や矢板の根入れ長などの適用範囲を拡大し、海岸保全施設より相対的に大規模な構造を有する岸壁等へも利用しやすいシステムとしていくことも検討している。

4
おわりに

（重力式護岸）、傾斜型（護岸・堤防式）および矢板式（控え・自立式）のうち重力式護岸について、補正係数の一例を示したものである。図は等価N値と変位量の関係を表しているが、各点がFLIPによるパラメトリックスタディの結果である。その結果から安全側を考慮した慎重な工学的判断を行い、実線で示す補正係数を設定している。

図4は本システムの利用フローである。

1 はじめに

東京国際空港GSE橋梁（写真1）は、東京国際空港再拡張事業における国際線地区エプロン等整備等事業で建設したGSE通行のための橋梁である。GSEとはGround Support Equipmentの略称で、空港の地上業務や航空機への支援業務に使用される機材のことをいう。本橋はエプロン等整備等事業区域内において、北側エプロンと南側エプロンを繋ぐため空港連絡道路の上空に架設した（図1）。

架設地点の多くの制約条件をクリアするため、本橋には超高強度繊維補強コンクリート（Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete（以下、UFC））を用いた桁が採用されている。このUFCは超高強度に加え、従来のコンクリートの数十倍もの耐久性を持つ材料であり、近年、橋梁を始めとして様々な構造物に適用されている。本橋では、UFC桁の採用により、橋桁の低桁高化と大幅な軽量化、高耐久化を実現しており、平成20年度の土木学会田中賞（作品部門）を受賞している。

2 GSE橋梁の概要と制約条件

以下にGSE橋梁の諸元を、また図2に構造概要図（側面図）を、図3に断面図を示す。

- 構造形式／単径間3室PC箱桁橋（UFC桁橋、内ケーブル方式）
- 床版／場所打ちコンクリート（ $f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ ）
- 主桁／UFCプレキャスト桁

（ $f_{yk}=180\text{N/mm}^2$ ）

- 橋長／48・0m（支間長46・0m）
 - 有効幅員／15・0m
 - 桁高／2・2m
 - 架設工法／プレキャストブロック工法
- 本橋の計画に際しては、以下のような制約条件があった（図4）。

- ① 空港連絡道路上に架橋されるため、中間橋脚を設けずスパン46mの単純桁構造とする。
 - ② 航空機を牽引するトローリングトラクター（総重量50tの荷重）に耐え得る橋とする。
 - ③ トローリングトラクターの走行のため、アプローチ部の勾配は3%以下とする。
 - ④ 盛土部が軟弱地盤であるため、盛土量を抑える。
 - ⑤ 橋桁下端と空港連絡道路とのクリアランスを確保する。
 - ⑥ 下部工の近傍には航空機燃料油送管が埋設されているため、上部工重量を軽減し、下部工への負荷を低減して近接施工の影響を抑える。
- これらの制約条件により、本橋は大型荷重に耐え得る構造であり、桁高を低く抑えると共に軽量化を実現する必要があった。そのためGSE橋梁では、橋桁部にUFCを採用した（図3）。

3 UFC材料

UFCの材料構成（写真2）はセメントを主成分とする粉体と鋼繊維であり、粗骨材は使用しない。水セメント比 w/c は約22%である



写真1 GSE橋梁全景

図1 GSE橋梁／位置図



沿岸リポート6

技術



超高強度繊維補強 コンクリート(UFC)を 用いたGSE橋梁の建設 —東京国際空港国際線地区GSE橋梁—

武者 浩透 大成建設株式会社技術センター土木技術開発部次長

一戸 秀久 関東地方整備局東京空港整備事務所第六建設管理官室長

が、シリカフューム等の反応性粉体も配合されているため、水結合材比 w/B では約14%と、通常のコンクリートの1/4程度の水しか配合されていない。そのため圧縮強度（設計基準強度）が 180 N/mm^2 と超高強度である。また、シリカフューム等の非常に細かい粒子を配合しているため緻密な硬化体となり、極めて優れた耐久性をも兼ね備えている。UFCには、単位体積当たり 157 kg/m^3 と多量の鋼繊維（直径 0.2 mm 、長さ 15 mm ）が配合され（写真2上）、靱性が確保されているため、UFC部材には鉄筋を用いない（写真3）のが通例である。

4 UFC適用の効果

UFCの高强度で高耐久な特性と、PC鋼材によるプレストレスを効率的に活用した構造を開発することにより、部材の薄肉化と大幅な軽量化が可能となった。

以下に、GSE橋梁におけるUFC桁の採用による効果を示す。

（1）桁高を約80%に抑制

UFCの有する高强度・高靱性の効果により、端部の桁高を 1.86 m （桁高スパン比は $1/25$ ）と従来のPC橋に比べて約80%の桁高に抑制した。これにより、アプローチ部の延長が従来のPC橋に比べて片側約 15 m 短縮され、アプローチ部の盛土量を削減することができた。

（2）上部工の重量を約40%削減

部材厚をウェブで 15 cm 、下床版で 22 cm と従来のPC橋に比べて約半分の厚さとして

いるため、床版を含めた橋の自重は従来の約60%を実現、下部工の規模が縮小し近接する埋設管への影響を緩和した。

（3）高耐久な橋桁の実現

UFCの設計耐用年数は100年（土木学会UFC指針（案））で優れた耐久性を有しており、ライフサイクルコストに優れた桁を実現した。

なお、本橋の建設に際して開発された床版と主桁の接合構造や主桁同士の接続構造などについては、検証のための様々な載荷実験を実施して、その構造安全性の確認を行っている。

5 おわりに

GSE橋梁はUFC桁の採用により、桁高低減と大幅な自重削減を同時に可能とし、高耐久な橋梁として平成20年10月に完成している。今回紹介したGSE橋梁は、世界最大のUFC道路橋であり、これまで培ってきた多くのUFC技術がこの橋に盛り込まれており、UFCの適用技術で世界をリードしている日本の技術力の象徴となる橋である。今後、これらの技術がUFCの発展ならびにコンクリート技術の発展の一助となれば幸いである。

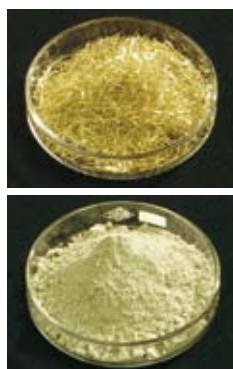


写真2 UFC材料
上：UFC用鋼繊維
下：UFCプレミックス粉体

図3 GSE橋梁／断面図

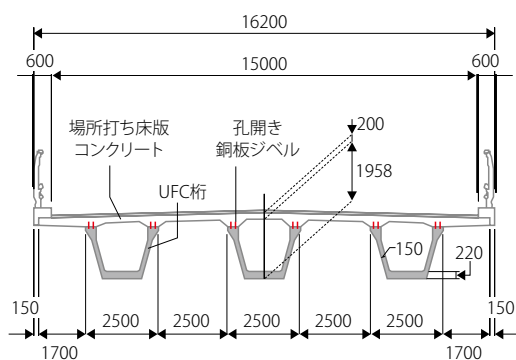


図2 GSE橋梁／構造概要図（側面図）

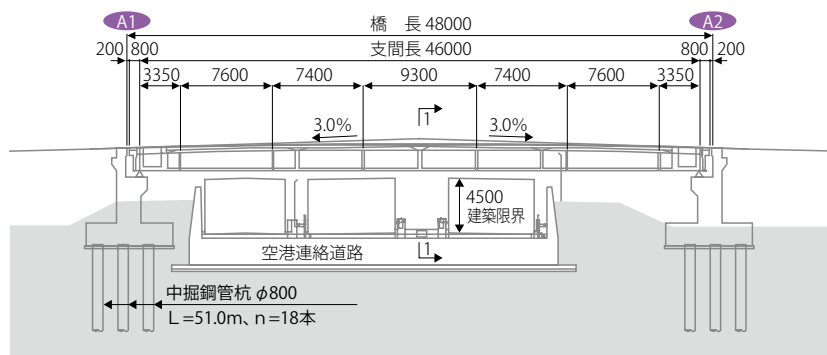


図4 GSE橋梁計画上の制約条件

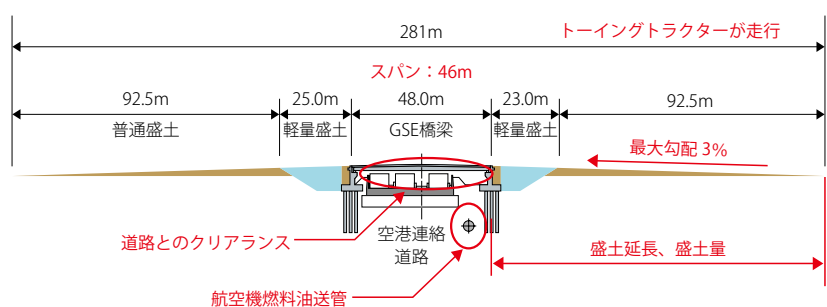


写真3 鉄筋を使用していないUFCプレキャスト桁

図1 会議開催箇所



写真1 ITU-R 正面玄関



写真2 ITU-R WP5B諮問委員会の様子



ヨーロッパ地域における国際会議への報告

川崎 栄久

財団法人沿岸技術研究センター調査部研究員

1 はじめに

平成21年5月20日から29日までの10日間、ヨーロッパ地域で開催された2つの国際会議に出席する機会を得た。スイス・ジュネーブでの国際電気通信連合（ITU-R）―無線部門会議（WP5B）第3回会合（ITU-R WP5B-3）と、イタリア・ジェノバで開催された第26回国際港湾協会・世界港湾会議である（図1参照）。

ITU-Rは電気通信にかかわる国際的な組織である。世界の190カ国が加盟しており、有限な資源である電波の周波数を利用目的別に割り当てる組織である。私たちの身近なところでは携帯電話や地上デジタルテレビなど（電波利用サービス）がある決まった周波数で運用されているが、これらの機器から発せられる電波が混信しない様な決まりを作っているのもITU-Rである。ITU-Rでは世界無線通信会議（WRC）が4年に1度開催されて、電波の周波数が割り当てられることになるが、無線部門会議（WP5B）はWRCの前に、約5回開催される。（財）沿岸技術研究センターは、以前より国土交通省からの受託業務により海洋短波レーダーの実用化に向けた検討を行っている。海洋環境整備（海上浮遊ゴミの回収等）に使用されているレーダーは、実験局であり国際的には正式な免許を与えられていない。しかし国際的に免許を取得できれば今後、更に港湾整備に重要な役割を果たすことになる。

国際港湾協会は、港湾関係者の交流や港湾の

発展、貿易の増進等を目的として運営されており、その会員は世界216の港湾管理者等と140の港湾関係の団体から成り立っている大きな組織である。2年に1度開催される世界港湾会議（総会）は、前述の目的を達成するための研究発表や情報交換を行う場である。当センタの高山参与が、総会の開催期間中に行われた港湾計画の専門委員会において、津波災害の軽減について発表した。

以下、両会議の概要を紹介する。

2 国際電気通信連合―無線部門会議（ITU-R WP5B-3 回会合）

5月21日から23日までの3日間、WP5B第3回会合へ出席した（写真1）。会合は図2に示す階層から成り立っており、海洋短波レーダーの議題は、副諮問委員会である「WP5B1」から諮問委員会「WP5B」の順に審議されていく（図2参照）。会議の状況を写真2に示す。提出された議題には、日本で使われている海洋短波レーダーが電波の割り当てを受けるために検討された内容が含まれており、審議に際し各国との質疑応答が行われた。日本からの議題は了承されて、WRCにおける正式な免許取得に向けて一歩前進した。

3 国際港湾協会 第26回世界港湾会議（総会）

5月25日から29日までの5日間にわたり総会

図3 ジェノバ港沿岸図



写真8 旧港地区のマリーナと観光施設



写真9 コンテナターミナルの巨大な荷役機械



写真7 作業部会でのモーゼ計画の発表

図2 ITU-R 会議の位置づけ

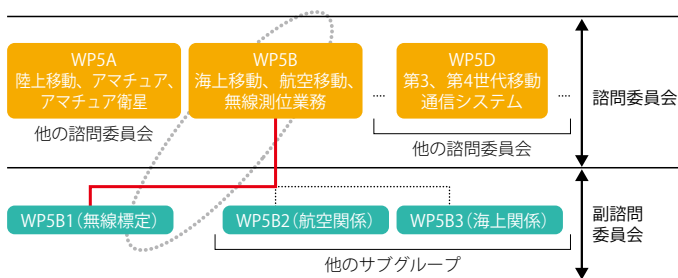


写真5 『津波—津波から生き延びるために—』(回覧では英語版を使用)



写真3 高山参与による"Mitigation of Tsunami Disasters"の発表



写真6 作業部会の様子



写真4 専門委員会の様子

が開催された。初日の専門委員会において、高山参与がプレゼンテーションを行った(写真3・4)。その内容は1900年代からの津波による被災と被害の軽減についてであった。プレゼンテーションに併せて、沿岸センターから準備した5冊の書籍『津波—津波から生き延びるために—』英語版の試作品を聴講者に回覧した。津波に関する熱心な質疑応答が繰り返され、各国の防災意識の高さを感じた。セッション終了後に回覧用の英語版試作品(写真5)が全て持ち帰られるというハプニングが発生したものの、プレゼンテーションは大盛況だった。

2・4日目には作業部会が開催され、「港湾運営とその戦略」、「保安・保全・環境保全」、「未来の港湾—技術革新とコミュニケーション—」等についての公演が行われた(写真6)。気候変動への対策を目的とするモーゼ計画が紹介された。ヴェネツィアでは近年、海面上昇と地下水の汲み上げによる市街地の浸水が深刻となっており、モーゼ計画は、これらを防ぐための海岸侵食に対する養浜や、浚渫で発生した土砂の湿地への再利用、高潮に対する可動式防波堤等、沿岸域の整備を指すものである。可動式防波堤の整備(写真7)は2003年から実施されており、2014年完成予定でその事業費は427億2千万ユーロ(日本円換算約5兆6千億円)である。

最終日のポートツアーでは、ジェノバ港周辺の港湾施設を視察した。ジェノバ港は旧港地区、コンテナターミナル、製鉄工場、空港等の地域から成り立っている(図3)。以前の旧港

地区はさびれた場所であったが、1992年にジェノバ出身の大航海家コロンブスのアメリカ大陸発見500周年を記念する行事として、マリーナや観光客の親しみやすい地区への再開発が行われた(写真8)。設計者は、世界的に有名なジェノバ出身の建築家レンゾ・ピアノ(関西国際空港ターミナルビル的设计者)である。またジェノバ港はイタリアの最重要港湾であり、そのコンテナ取扱量約160万TEUは、イタリア国内のコンテナ取扱量の多くを占めている(写真9)。

4 おわりに

今回のジュネーブにおける会議では、電波を利用するために、各国に対して日本の考えを積極的に提案していく必要性があると感じた。普段、私たちが何気なく使っている携帯電話などの電波も我が国の地道な努力の上に国際的に使用が認められている。今後、海洋短波レーダーが国際的な免許を取得するためにも、さらに調査・検討を進めていくことの大切さを再認識した。

ジェノバの会議においては、津波に対する各国の港湾関係者の関心が大変高いことから、津波やその対応策に関するわが国の豊富な知見や経験を今後とも積極的に情報発信していく必要があると感じた。

1 はじめに

津波に関する我が国の知見を広く世界に情報発信するという重要な役割を担うとの認識の下、当センターは、平成20年11月、津波に関する被害、現象、予警報及び被害軽減策等の技術的知見を紹介する書籍『TSUNAMI―津波から生き延びるために』を出版した。また、平成19年度から平成20年度前期にわたる日本財団の助成事業において翻訳を行うなど、外国語版の『TSUNAMI』の出版に向けて作業を進めてきたところ、本年6月、『TSUNAMI』のインドネシア語版を現地インドネシアにおいて出版した。

当センターが、前述した世界への情報発信との重要な役割を果たすためには、一般の書籍販売のみではなく、書籍の販売やその内容について周知することで関係者の書籍への関心を高めることが肝要である。このため、当センターは、現在、インドネシア語版『TSUNAMI』の周知啓発活動を鋭意展開しているところである。ここでは、本年7月及び8月にインドネシアにおいて実施した周知啓発活動について紹介する。

2 ジャカルタにおける出版セレモニー

インドネシアでは、新刊書籍の出版から約1ヶ月までの間を目途に当該書籍を紹介するイベントを開催して販売促進することが有効な手法であり、書籍の売れ行きに少なからず好影響を及ぼすとの情報を得たことから、インドネシアの政府及び出版会社の協力の下、去る7月17

日(金)、ジャカルタにおいて出版セレモニーを開催した。

当日は、インドネシア研究技術省のクスマヤント・カディマン大臣、国民福祉省のアセツ・カルシディ博士、海洋漁業省のスバンドノ・ディポサプトノ博士、技術評価応用庁のM.エヴリイ博士、ジャーナリストのブディマン氏を始め、インドネシア政府、研究所、大学、民間企業及び報道機関の関係者約60名が出席した。

クスマヤント大臣及び当センターの村田理事長の冒頭挨拶に続いて行われた記念品の交換では、それぞれに津波に関する書籍が贈られた(写真1)。その後、エヴリイ博士の司会の下、アセツ博士、スバンドノ博士及びブディマン氏によるプレゼンテーションと活発な質疑応答が行われ、出版セレモニーは成功裏に終了した。

出版セレモニーの様子は、研究技術省のホームページに紹介されたほか、地元インドネシアの新聞や雑誌に取り上げられており(図1)、関係者の関心向上に少なからず寄与していると考えられる。

3 パダンにおける講習会

ジャカルタにおける出版セレモニーに続き、8月11日(火)、インドネシアの西スマトラ州の州都であるパダンにおいて津波防災に関する講習会を開催した(写真2)。この講習会は、防災活動に熱心に取り組んでいる地元のNGO等に対し、インドネシア語版『TSUNAMI』を活用した津波防災ワークショップ等の実施を

沿岸リポート 8

国際



インドネシア語版書籍「TSUNAMI」の周知啓発活動

川村 竜児

財団法人沿岸技術研究センター企画部主任研究員



写真1 記念品交換の様相(ジャカルタ出版セレモニー)。左:クスマヤント・カディマン大臣、右:村田理事長

図1 インドネシアの雑誌記事



働きかけることにより、津波及びその対応策の知識、理解度の向上を図ることを主な目的として、日本財団の助成金を得て実施したものである。

インドネシア海洋漁業省、アングラス大学及び NGO・KOGAMI (Tsunami Alert Community) の懇切な支援・協力を得て実施した講習会には、政府、大学、NGOのほか、インドネシア国営テレビを含む報道機関の関係者約60名が参加した。冒頭にご挨拶いただいたアングラス大学のフェブリン教授からは、「西スマトラへの津波の来襲は止まっている状態であるが、80万人に及ぶ住民に警告していく必要がある。津波に関する知識の普及はすぐにでもできることであり、その意味でインドネシア語版『TSUNAMI』の出版に感謝する。」との話があった。

その後、日本、インドネシアの双方から参加していただいた講師の皆様によるプレゼンテーションが行われた。今村文彦教授（東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター）からは、近年の津波、津波の性質、津波警報システム、津波避難等幅広い内容についてお話いただいた。アブドゥル・ムハリ氏（インドネシア海洋漁業省）及びブディマン氏（ジャーナリスト）には、インドネシア語版『TSUNAMI』の要点とその概要について説明していただき、また、高山知司所長（当センター沿岸防災技術研究所）から、書籍『TSUNAMI』出版の意義や日本の新たな技術「直立浮上式防波堤」等について紹介された。さらに、黒崎ひろみ助教（名古屋大学災害対策室）には、地震・津波防災への関心の向上の観点から取り組まれている

る防災ダンスを披露していただいた。

講習会の最後に行われた質疑応答では、日本や当センターへの支援を望む内容が多かったが、参加した方々の津波への高い関心とその対応策の実施に対する意欲が感じられた。

4 NGO・KOGAMI訪問

8月10日（月）、3で紹介した講習会の開催を支援、協力してくれた NGO・KOGAMI を訪問し、その活動の概要について話を聞く機会を得た（写真3）。

KOGAMI は、地震・津波から生き延びる術、災害に対する備え等の教育事業を実施することを目的として設立された組織であり、パダンにおいて熱心な防災活動を行っている。津波からの避難訓練、地域住民を対象としたワークショップの開催等様々な事業を企画・実施しており、訪問時には、パトラ・リナ・デウィ事務局長から、地域の子供達が参加する「Student Competition」と称する競演会について説明していただいた。この取組みは、防災をテーマとする図画、工作、音楽等を通じて防災への関心を高めるもので、一所懸命に頑張っている子供達の写真が非常に印象的であった。

5 おわりに

2004年のインド洋大津波で甚大な被害を受けたインドネシアでは、「防災のための国家行動計画」が2007年に策定されるとともに、同年4月には「防災法」が制定されている。



写真2 パダンにおける講習会の模様



写真3 NGO・KOGAMI訪問の模様

行動計画には、教育と訓練の項目があり、教育カリキュラムへの災害リスク軽減知識の組み入れ、災害準備プログラムの実行といった内容が盛り込まれている。

書籍『TSUNAMI』は、津波のメカニズム、津波への対処方法や対策について詳述されており、この書籍の教材としての活用が、インドネシアにおける防災に関する取り組みの一助となり、また、地域住民の津波に関する関心・知識の向上に少なからず寄与することを期待して止まない。

最後に、前述した出版セレモニー及び講習会の実施に際し、多大なる支援、協力をいただいた日本、インドネシア双方の関係者の皆様に、この場を借りて感謝の意を表したい。

Q.1

金属の錆を防ぐことはできるのですか？

金属の錆の原理は、金属が電解質中にイオン化していく反応です。つまり、金属の電気化学反応が錆の原因となっています。

では、なぜ電気化学反応が起こるのでしょうか。例えば、鉄の表面は一見均一に見えますが、顕微鏡で見ると結晶方位や酸化皮膜、あるいは化学成分や組織、さらには付着物などが局部的に異なっています。つまり、表面は均一ではないのです。

こうした不均一性によって、局部的に電位の高低差が生じます。この電位差によって電流が流れ、そこに電池が形成されます。これを局部電池あるいは腐食電池といいます。鉄の表面に電解質が接触している場合には、鉄の中を流れる電流は電位の高い方から低い方へと流れ、逆に電解質の中では電位の低い方から高い方へ電流が流れ、電位の低い部分で鉄のイオン化が発生することになります。その結果、電位の低い部分が腐食して錆が発生することになるわけです。

特に、海の近くや海中では「塩害」といわれるように、海水中の塩分が電解質となるため、通常の状況

より電気化学反応が顕著になり、鉄がイオン化しやすく、錆の進行も速くなります。



上：塩害による栈橋上部工コンクリートの鉄筋腐食
下：鋼管杭の塗装劣化と鋼材腐食（写真提供：岩波光保氏）



鉄鋼材料は土木・建築だけではなく、家電や自動車など生活に密着したもので幅広く使われています。そんななかで、防食つまり「錆」を防ぐことは永遠のテーマといっているでしょう。金属には、「錆」という宿命があるからです。しかし、そうはいつでも「錆」を防がないと、大きな支障をきたすことになります。今回は錆を防ぐメカニズムについて迫ります。

Q.2

錆を防ぐことはどのような効果がありますか？

個人ユースの家電などを錆から守ることは、製品を長持ちさせたりする効果があることは当たり前のことですが、社会的に錆のことを考えると、防食というのは大変重要なことがわかります。

戦後の日本は高度経済成長時代から、大規模なインフラ整備や産業基盤の整備を行ってきました。そのときに使用されたのが鉄鋼製品です。しかし、そのころから30数年を経て、時代は循環型社会の構築や地球温暖化などへの対応が必要とされるようにな

り、インフラ等の施設は効率的な維持とメンテナンス、さらには長寿命化が求められるようになりました。

あるいは日々の生活で使う消費財においても、家電リサイクル法などによって3R（リデュース、リユース、リサイクル）への関心が高まっています。そうした状況を受けて、防食は地球環境問題にも関係するということで、新たな脚光を浴びているといえます。

用途	社会基盤／産業基盤			耐久消費財	生活用品
	←橋梁、海洋構造物→	←プラント、エネルギー施設→		←自動車、家電→	←飲料缶など→
	←建築（構造部材、内装・外装材）→				
耐用年数	100年～	50／60年～	20／30年～	10／15年～	数年～
市場課題／技術進歩	脱塩化ビニル銅板			3R (Reduce, Reuse, Recycle) 環境負荷物質低減・使用禁止	
	高耐食性スーパーダイマ			自転車燃料タンク用 Pb フリー表面処理（アルミめっき、 Sn-Zn めっき、GI+Ni めっき）	ラミネート銅板
	高耐久性クリア塗装ステンレス鋼				
	チタンクラッド・ライニング	石油タンク用ダイマジンク		家電用クロメートフリー 表面処理（EG, GI）	
	高耐食ステンレス・ ライニング鋼管	煙突用耐食厚板			
	防食性能／耐食鋼材	S-TEN 1 鋼管			
	橋梁用海浜耐候性鋼	設備・機械用高耐食 ステンレス鋼 YUS270		防錆性能／表面処理	
	建築屋根用チタン				

図1 用途別耐用年数と防食素材 資料) 新日鉄技報第377号より

「鉄」の新時代

錆びない金属として、包丁や電磁調理器など、いまでもいろいろなところで使われているステンレス。

ステンレスとは、まさに「Stain=錆 Less=無し」ですが、本当の意味でステンレスが「錆びない」というのはありえないことは、「Q&A」でも説明したとおりです。20世紀初頭、クロム合金が発明されたことで、鉄鋼生産に大きな革命をもたらしました。12%のクロムを含む鉄は、酸腐食に耐えることが発見されました。これがステンレスです。

ところで、ステンレスは普通の鉄に比べてはるかに酸化されにくい（電位が高いという）のですが、他の鋼や異種金属と接続すると電食を起こします。流しに空き缶などを置いておくとすぐに錆びるのは、このせいです。

そして、「鉄」はさらに進化したつづきがあります。99・9998%以上の純度を誇る鉄が新たな時代を切り開こうとしているのです。この鉄の不純物は鉄原子100万個に対して1個程度しか入っていません。

しかも、その鉄の性格は「錆びない」「塩酸に溶けない」しかも「やわらかい」というのです。

錆びない理由は、表面に普通とは違う、鉄と酸素の極めて薄い被膜をつくるためといわれています。これに、ステンレスと同じようにクロムを混ぜると、高強度で耐腐食性の高い合金になります。これは、衝撃によって瞬時に硬くなる性質があるため、自動車のシャーシにも使われ始めているようです。また、ロケットの新たな構造素材にもなると考えられます。

「鉄」は地球誕生から存在する古い素材ですが、新しい素材としてさらに用途が開拓されつつあります。

Q.3

港湾・空港の鋼構造物で錆を防ぐ工法にはどのようなものがありますか？

防食の工法には大きく分けて2種類あります。1つは金属の表面を塗装や被覆によって覆うものです。これは、もっとも一般的な方法といえるでしょう。

環境中の腐食の要因となる反応物質と、金属表面を遮断する防錆剤などで塗装したり、メッキすることによって金属表面を処理することで、腐食の要因から遮断します。これはつまり、環境遮断の方法といえます。

もう1つは電気防食といわれるものです。水中・土中など、水溶液環境に接している金属製構造物の電極電位を操作して腐食を防止する方法です。海水中や土壌中の鋼材は局部電池を形成して腐食が進行するため、それが陰極になるように電流を通して防食を図ります。具体的には、アルミニウム合金などを直接鋼材に取り付けることで、構造物本体の鋼材のイオン化を、アルミニウムの陽極に肩代わりさせるものです。この場合は、アルミニウムが徐々に溶けていくた

めに、完全に消失する前に新たな陽極を取り付ける必要があります。

ところで、港湾・空港施設においては、陸上部だけではなく、海上部、飛沫部、干満部、海中部、海底土底部など、複雑な腐食環境があるため、さまざまな防食工法を取り入れて使用しています。海中部や海底土中などには電気防食が、飛沫部や干満部には被覆防食が適用されることが多くあります。

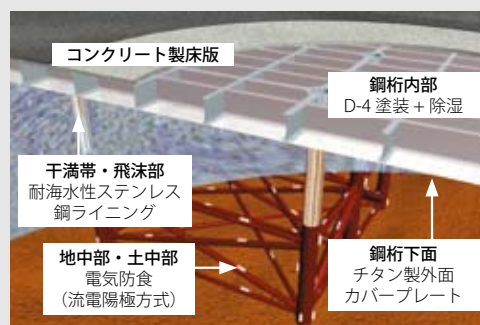


図2 羽田空港のD滑走路模式図と防食対策

Q.4

港湾・空港施設ではどのような防食技術を活用していますか？

前述したように、港湾・空港施設は大変複雑な環境の中に位置しています。ここでは、羽田空港D滑走路で活用されている新しい防食技術を含めて紹介します。

D滑走路は多摩川河口域の環境を守るために、川の流れにあわせて栈橋部をつくり、その部分はジャケットという構造物でできています。ジャケットは、図2のように海底から海上までの複雑な環境に設置されます。そこで、各環境に合わせた防食工法が施されています。それをまとめたものが表1です。

ここで被覆防食に使われている鋼材は、塩害を

意識し、一般のステンレス鋼と比べてクロムやモリブデンを多く含んだ耐海水性ステンレス鋼であり、この薄板で干満部・飛沫部のジャケットを被覆しています。

また、鋼桁内部については、外気との気温の差によって結露が生じます。鋼材表面の塗装とともに、除湿機や循環ファン、送気ダクトなどからなる除湿システムによって、常に50%以下の湿度が保たれています。ある意味では、ユニークな防食工法といえるかもしれません。

地球環境を考慮した防食技術は、これからも進化していくことでしょう。

腐食環境区分	対象構造部位	防食工法	備考	選定理由
海上 大気部	内部空間	D-4塗装+除湿管理	除湿管理できない箇所はD-4塗装のみ	鋼橋の桁内塗装仕様として実績の多いD-4塗装に除湿管理を併用し、内部塗装の劣化の進行を極力防ぐ工法とした（D-4塗装のみの仕様は橋梁で実績多数）。
	カバープレート	[外面]チタン [内面]ポリエステル樹脂焼付塗装		外面は海上での長期耐久性が期待できるチタンとした。 内面はD-4塗装と同等以上の耐久性が期待できる仕様とした。
	カバープレート非設置部	C-4塗装	形状複雑部波浪影響部	海上での長期耐久性が期待できるC-4塗装とした。
飛沫部 干満部	レグ・ブレース	耐海水性ステンレス鋼被覆	形状複雑部はC-4塗装あるいは超厚膜工ポキシ樹脂被覆	海洋環境で超長期の耐久性が期待できる耐海水性ステンレス鋼被覆とした。 形状複雑部は海上での長期耐久性が期待できる仕様とした。
	レグ・ブレース	耐海水性ステンレス鋼被覆	形状複雑部は超厚膜工ポキシ樹脂被覆	最も厳しい腐食環境であり、漂流物の衝突が懸念され、かつ補修が困難であることから、超長期の耐久性が期待でき、耐衝撃性に優れた耐海水性ステンレス鋼による被覆工法とした。
	レグ・ブレース	電気防食（流電陽極方式）	最初の更新は構造物設置から35年後で計画	実績が豊富で維持管理も容易な流電陽極方式による電気防食工法とした。
海中部 土中部	鋼管杭			

表1 羽田空港のD滑走路に適用されている防食工法

資料) 羽田空港再拡張事業 ―D滑走路栈橋部のジャケット式鋼構造物の防食―より

沿岸部
「鉄」と「錆」を知る



NEWS 02

平成20年度下期 港湾関連民間技術の確認審査・評価事業の概要

(財) 沿岸技術研究センターでは、民間業者の方々が開発された技術（港湾、航路、海岸等の開発、利用に資する技術）を評価する「港湾関連民間技術の確認審査・評価事業」を行っています。この事業は、申請いただいた技術をそれぞれの分野の専門家で構成される委員会にて客観的・中立的な立場から内容を確認し、評価させていただくものです。当センターでは、こうした第三者機関の審査・評価過程を経ることにより、開発された技術の内容と開発過程で行われた性能試験結果に関する客観性が高まり、具体的な事業に適用しやすい環境が整うことを期待しています。

民間技術開発の重要性が高まるなか、この事業が、新しい様々な港湾関連技術の活用・普及と開発が進むための一助となることを祈念するものであります。

本事業は、今回で第14回の審査が終了いたしました。今後とも各社からのご応募をお待ち申し上げる次第です。

○評価技術について

平成20年度下期の港湾関連民間技術の確認審査・評価事業において評価した技術は、新規技術および更新技術が各1件です。

●新規技術

岸壁・護岸耐震補強アンカー工法（摩擦圧縮型・ナット定着グラウンドアンカーを用いた岸壁・護岸の耐震補強工法）

評価依頼者：株式会社エスイー

●更新技術

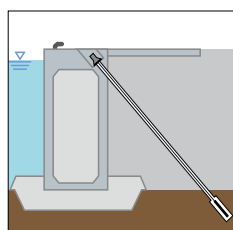
鋼管杭・鋼管矢板の機械式継手（ラクニカンジョイント）

評価更新依頼者：新日本製鐵株式会社・株式会社クボタ

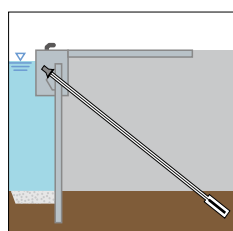
以下に、「岸壁・護岸耐震補強アンカー工法（摩擦圧縮型・ナット定着グラウンドアンカーを用いた岸壁・護岸の耐震補強工法）」を紹介します。

【技術の概要】

グラウンドアンカーは、地中に造成するアンカー一体と構造物とを引張材で連結して、構造物にプレストレスを与える工法で、港湾施設では岸壁や護岸の補強・補修に用いられます。他の補強工法と比べて施工に必要な面積が小さく、既存施設の操業に対する影響を抑えることができます。また、工期が短いため、施設を供用しながら施工することができます。本技術の特徴として、地震動などの影響によりアンカーの緊張力が増減した場合であっても、アンカー頭部のナットを回転することにより、初期の緊張力に復元可能であることが挙げられます。



重力式岸壁の補強例



鋼矢板岸壁の補強例

NEWS 01

推薦図書

『TSUNAMI 津波から生き延びるために』インドネシア語版／

Menyelamatkan Diri dari TSUNAMI :

昨年11月に出版した書籍のインドネシア語版です。津波に対して先進的に取り組んできた我が国の知見を広く世界に情報発信するため、日本財団の助成を受けインドネシア語に翻訳致しました。日本では販売しておりませんので、購入をご希望の方は、お手数ですが直接下記出版社にお申し込みください。

出版社：PT. SARANA KOMUNIKASI
UTAMA

所在地：Jl. Drupada 3 No.2 Bogor, West
Java Indonesia

メールアドレス：sku_buku@yahoo.com

価格：約500円

（書籍の価格のほか、インドネシアから日本までの送料が必要になります）

詳しくは、沿岸センターホームページをご覧ください。



『TSUNAMI 津波から生き延びるために』
インドネシア語版



■「港湾コンクリート構造物維持管理実務ハンドブック」発行のお知らせ

我が国の港湾構造物は、戦後の経済成長とともに整備が進められ、この半世紀で相当程度のストックが蓄積されてきました。今後は、厳しい経済状況の中でこれらのストックを要請される機能を保持しつつ供用して行く必要があります。そのためには適切な維持管理計画のもと点検を実施し、必要に応じて補修・補強を実施し、既存施設を効率的に活用することが重要になります。

また、平成19年4月に「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」が改正され、維持管理に関する事項が明記されました。さらに、平成19年10月に「港湾の施設の維持管理技術マニュアル（沿岸技術ライブラリー No.26）」が国土交通省および独立行政法人港湾空港技術研究所をはじめとする関係者により作成され、当センターより発行されました。

本ハンドブックは、「港湾の施設の維持管理技術マニュアル（沿岸技術ライブラリー No.26）」の内容との整合性に配慮し、港湾構造物の多くを占め、かつ重要な役割を果たしているコンクリート構造物について、維持管理に関する技術や情報をまとめています。内容は、点検診断の要点、補修・補強の工法やその要点、維持管理を実施するための手続きを含み、維持管理に関する知識の向上とともに実務に役立つものになっています。本書は、港湾の施設のみならず、ひろく海洋も含んだコンクリート構造物の維持管理に携わっておられる方にとって、有効にご活用いただけるものと考えております。



当センターは、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。詳細は当センター HPをご覧ください。

URL:<http://www.cdit.or.jp/>



C 沿岸技術研究センター 創立記念特別講演会

去る9月28日、恒例となりました当センターの創立記念特別講演会が開催されました。本年は、関西大学環境都市工学部・河田恵昭教授より「これからの大規模災害はどのように豹変するのか」と題して、これからの大規模災害についてご講演頂きました。詳細については、次号にてご紹介致します。



河田恵昭教授による講演



C 講演会・ハリケーン・ カトリーナのその後

去る10月13日、当センターのカウンターパートであり沿岸防災に造詣が深く、ハリケーン・カトリーナ災害調査委員長を務められたノースカロライナ州立大学教授・Billy L. Edge氏をお招きし、「米国における最近のハリケーン災害と減災対策の改善」と題してご講演を頂きました。臨海地域に多くの人口・資産が集積する我が国にとって、多くを学ぶ講演会でした。詳細については、次号にてご紹介致します。



Billy L. Edge教授による講演



C 韓国海洋研究院との研究交流協定 調印式およびワークショップの開催

去る10月7日、韓国海洋研究院 (KORDI) において、村田沿岸技術研究センター理事長とKang, Jung-Keuk (姜 正極) KORDI研究院長との間で、両機関の研究交流に関する協定書の調印式が執り行われました。

翌日8日は釜山において、第1回CDIT-KORDI Joint Workshopが開催され、沿岸防災や海洋開発、港湾整備等の研究結果について、CDITから7題、KORDIから5題の報告がなされました。今後はKORDIとの技術情報の交換を一層密にしながら、我が国の沿岸域の様々な課題に取り組んで参ります。



当センター村田理事長(左)と姜 正極氏(右)



参加者全員で記念撮影

【編集後記】

今号の特集は「海岸災害への備え」でした。陸上災害ではありますが、今夏も梅雨末期の集中豪雨によって多くの尊い命が奪われました。また、台風による大雨後の地震発生によって交通の要である東名高速道路が、お盆の帰省時期に不通となりました。高潮等による海岸災害を考える上で、発生確率が非常に低いと考えられている台風の来襲と地震の同時発生は「起こり得る」ことを認識させられた出来事でした。(M.K)



Coastal Development Institute of Technology

発行 財団法人 沿岸技術研究センター
〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16 住友半蔵門ビル6F
TEL. 03-3234-5861 FAX. 03-3234-5877
URL <http://www.cdit.or.jp/>
2009年11月1日発行