

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

〈CDIT座談会〉

今後の技術基準改訂に向けた方向性

～新たな行政ニーズと技術基準～

日下部 治 氏〔国際圧入学会専務理事(東京工業大学名誉教授)〕

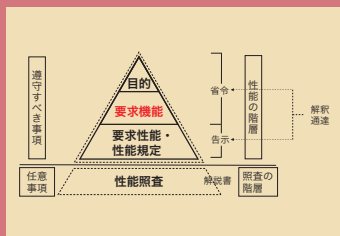
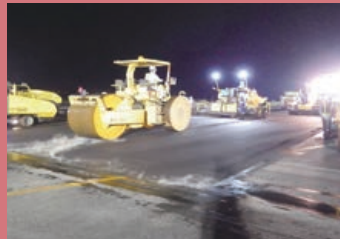
横田 弘 氏〔北海道大学大学院工学研究院特任教授〕

加藤 雅啓 氏〔国土交通省大臣官房技術参事官(港湾担当)〕

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

〈特集〉

今後の技術基準改訂に向けた方向性 ～新たな行政ニーズと技術基準～



Vol.55

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を一部抜粋・掲載しております。記事内容とともに毎号新しくなる表紙写真にもご注目ください。

○特集 P.30	○特集 P.41	○座談会 P.5	○座談会 P.5
○座談会 P.5	○沿岸 レポート P.47	○座談会 P.5	○座談会 P.5
○特集 P.17	○座談会 P.5	○沿岸 レポート P.49	○特集 P.45

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
赤羽 一嘉 国土交通大臣

5

CDIT座談会

今後の技術基準改訂に向けた方向性

～新たな行政ニーズと技術基準～
ゲスト

日下部 治氏

国際圧入学会専務理事（東京工業大学名誉教授）

横田 弘氏

北海道大学大学院工学研究院特任教授

加藤 雅啓氏

国土交通省大臣官房技術参事官（港湾担当）

（司会）

高橋 重雄

一般財団法人沿岸技術研究センター 代表理事・理事長

特集

13

今後の技術基準改訂に向けた方向性

～新たな行政ニーズと技術基準～

13

広義の設計のあり方を考える／VEの性能設計体系への連動

八尋 明彦 海洋・港湾構造物設計士会 副会長／日本工営（株）技師長・理事

20

技術基準の国際展開の方向性

横田 弘 北海道大学大学院工学研究院特任教授

22

港湾分野における性能設計の役割と次世代設計基準の方向性

宮田 正史 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室長

福永 勇介 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 主任研究官

菅原 法城 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室 研究官

28

港湾の技術基準の変遷について

国土交通省港湾局技術企画課技術監理室

32

新しい性能規定への期待（かつての設計現場の経験から）

大野 正人 一般財団法人港湾空港総合技術センター 専務理事

36

性能設計に基づく施工事例

～羽田D滑走路埋立部工事における性能設計と施工・維持管理～

梯 浩一郎 五洋建設株式会社

小倉 勝利 東洋建設株式会社

川端 利和 若築建設株式会社

大和屋 隆司 東亜建設工業株式会社

42

性能設計と維持管理

末岡 英二・北澤 壮介・吉田 倫夫 海洋・港湾構造物維持管理士会

47

沿岸レポート

47

洋上風力研究室の活動状況について

井瀬 肇 一般財団法人沿岸技術研究センター 洋上風力研究室

49

濱口梧陵国際賞授賞式

西園 勝秀 一般財団法人沿岸技術研究センター 研究主幹

50

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

令和3年の新春にあたり、謹んでご挨拶を申し上げます。

昨年は、新型コロナウイルスに世界中が大きく動かされた一年でした。厳しい環境は続きますが、一日も早く健やかな日常を取り戻すため、気を緩めることなく感染症拡大防止に取り組んでまいります。

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。昨年は、年一回の調査研究等の成果報告の場である「コースタルテクノロジー2020」をオンラインで開催し、延べ1000名を超える方々にご視聴いただき、当センターの活動を広く紹介することができました。これもひとえに関係各界の皆様方の温かいご支援、ご協力の賜であり、改めて感謝申し上げます。

また、新しい働き方を手探りする一年でもありました。センターでは、働きやすい職場環境を作りつつ、今まで以上の成果を出す工夫をして参りました。また、テレワークの積極的な導入により、移動時間を減らし議論の時間を増やすことで、質の高い調査研究が実施できたと自負しております。この大きな時代の流れを捉え、これからも社会のニーズに迅速かつ的確に対応してまいります。

近年、地球温暖化に起因する海水温の上昇によって、台風がその勢力を衰えさせず日本列島に上陸するケースが増えております。一昨年の台風15号・19号に続き、昨年7月には熊本県を中心に日本各地で集中豪雨が発生し、多くの人命や家屋が失われました。センターは、沿岸域の防災・減災の観点から、沿岸気象海象情報配信システム「カムインズ」を通じて、港湾関係者向けに、波浪の実況や予測情報、気象庁が発表する警報等の情報を提供しています。これは、日本で唯一10日先の波浪ポイント予測が可

能なシステムです。台風襲来時の高波予測の精度向上などデジタル化の一層の推進を図り、ユーザーの利便性向上に努めてまいります。

2050年までのカーボンニュートラルの実現に向けては、日本の沿岸域に特有な台風や地震・津波に対する洋上風力発電設備の安全性の確保を図ることが重要です。センターは、国土交通大臣の登録を受けた登録確認機関として、洋上風力発電設備が備える係留施設等について、港湾の施設の技術上の基準の適合性確認業務を行っております。こうした業務を通じて、再生可能エネルギーの導入を促進し脱炭素社会の実現に貢献してまいります。

我が国の経済活動や国民生活を支える質の高いインフラの建設・維持のためには、担い手となる技術者の育成が不可欠です。センターは「海洋・港湾構造物維持管理士」、「海洋・港湾構造物設計士」の資格制度の運用を通じて、港湾施設に関する高度な技術の継承と技術者の育成を図っております。厳格な試験運用、継続教育の実施等により、有資格者の技術力の維持・向上に努めてまいります。

こうした取り組みにあたっては、国の施策の方向性を過たず捉え、「官・学・民」の技術力を結集し、沿岸域や海洋の開発、利用、保全及び防災に関する技術開発や技術支援に重点的・積極的に取り組み、全国の港湾、空港関係者のご要望に応じた質の高いサービスを提供し、ひいては、我が国の成長力強化と国際社会の発展に貢献すべく努力を重ねて参りたいと考えています。

最後に、本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、当センターへの一層のご理解とご協力を賜りますようお願い申し上げ、新年のご挨拶とさせていただきます。



新年の挨拶

赤羽 一嘉 国土交通大臣

令和3年という新年を迎え、謹んで新春の御挨拶を申し上げます。

昨年9月に菅内閣が発足し、引き続き国土交通大臣の任に当たることとなりました。本年も国土交通行政に対する皆様の変わらぬ御理解と御協力を宜しくお願い申し上げます。

現在我が国は、昨年からの新型コロナウイルス感染拡大により社会経済や国民生活へ甚大な影響を受けており、国難とも言える状況に直面しております。加えて、毎年のように全国各地で発生する大規模な自然災害による深刻な被害の発生や、少子高齢化、人口減少による地方の過疎化の進行など多くの課題に直面しているところです。

これらの影響は、テレワーク、ワーケーションといった働き方の変化や2拠点居住、地方移住といった住まい方の変化をもたらし、ひいては、国民一人一人の人生の価値観そのものが大きく変わることも予想されます。事実、東京からの転出人口が、転入人口を上回る現象が5ヶ月連続で続いていることも、予兆の1つだと思われます。

このような大きな変化に対応し、国土交通省本来の使命である「国民の命と暮らしを守る」ための国土交通行政を遂行するため、これまでの「縦割り」や悪しき前例主義を打破し、規制緩和やデジタル革命などの推進により、ウィズ・コロナ時代の生活様式の変化に対応した「新たな日常」を実現し、日本の活力につなげていけるよう全力で取り組んでまいります。

今年は、東日本大震災から10年目の節目の年です。改めて震災で犠牲となられた方々に心から哀悼の意を表します。私自身、経済産業副大臣（兼東京電力福島第一原発の現地対策本部長）や国土交通大臣として、度々被災地を訪れ、被災地のニーズを把握し、被災地に寄り添った支援に努めてまいりました。この間、道路、鉄道、港湾等の基幹インフラの復旧・復興や災害公営住宅の整備などの完了を目指すとともに、観光についても、2020年東北6県の外国人宿泊者数150万人泊の目標を上回るなど、着実に取組を進めてきたところです。

一方で、知事や業界団体の皆様の声や被災地の実情をお聞きすると、今でも被災者の皆様が不自由な生活を強いられているなど、様々な課題が残っているものと痛感しております。特に、福島県では、人口減少、高齢化が進行するとともに、今なお多数の方々が避難生活を余儀なくされるなど、その復興・再生は道半ばです。国土交通省としては、

引き続き被災地の皆様に寄り添いながら、一刻も早く生活や生業が再建するよう、一つ一つの課題解決に向け、全力で取り組んでまいります。

ウィズ・コロナの状況下、感染防止と社会経済活動の両立が求められる中、港湾において感染またはその疑いが発生した場合でも、必要な機能を継続できるよう、感染症にも対応した港湾BCP（事業継続計画）の策定を支援するため、その指針となる港湾における感染症BCPガイドラインの作成を進めてまいります。

インフラ分野においては、公共工事の現場で非接触・リモート型の働き方への転換を図るなど、感染症リスクに対しても強靱な経済構造の構築を加速することが喫緊の課題となっており、このため、DX（デジタル・トランスフォーメーション）を推進し、データとデジタル技術を活用して、国民のニーズに基づき社会資本や公共サービスを変革するとともに、業務そのものや組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方の改革を進めてまいります。

港湾分野においては、良好な労働環境と世界最高水準の生産性の確保、国際競争力のさらなる向上のため、AI等を活用したターミナルオペレーションの最適化に関する実証や、港湾情報の電子化、データ連携を核としたサイバーポートの実現に向けた取組を進めてまいります。

我が国では、高度経済成長期以降に整備したインフラの老朽化が進んでいることから、国民の安全・安心や社会経済活動の基盤となるインフラの維持管理・更新を計画的に進めていくことが重要です。そのため、予防保全型のインフラメンテナンスへの転換や、新技術の開発・導入等を進めていくことが必要であり、これらの施策を盛り込み「国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）」を改定し、持続可能なインフラメンテナンスの実現を目指してまいります。

我が国への国際基幹航路の寄港回数を維持・増加し、企業の立地環境等を改善する観点から、国際コンテナ戦略港湾において、「集貨」「創貨」「競争力強化」の3本柱からなる国際コンテナ戦略港湾政策を引き続き推進してまいります。

本年も「現場主義」を徹底し、諸課題に全力で取り組んでいく所存です。国民の皆様の一層の御理解、御協力をお願いするとともに、本年が皆様方にとりまして希望に満ちた、大いなる発展の年になりますことを心から祈念いたします。



今後の技術基準改訂 に向けた方向性

～新たな行政ニーズと技術基準～



日下部 治

国際圧入学会専務理事
(東京工業大学名誉教授)



横田 弘

北海道大学大学院
工学研究院特任教授



加藤 雅啓

国土交通省
大臣官房技術参事官
(港湾担当)



高橋 重雄(司会)

一般財団法人
沿岸技術研究センター
代表理事・理事長

1. はじめに

司会(高橋)▷皆様、本日は沿岸技術研究センター機関誌CDITの座談会のためにお時間をいただき大変ありがとうございます。司会進行を務めさせていただきます高橋です。どうぞよろしくお願いいたします。

港湾の技術基準は構造物の健全性、安全性の確保を目的として、戦前の素朴な技術的知見の整理から始まり、技術の進展を取り入れながら、より高度で重厚なものへと発展してきました。高度経済成長期以降は数多くの施設を早急かつ経済的に建設するためのマニュアルとしての役割も果たしております。平成の時代においては、環境保全や防災力強化、国際化といったニーズを受け、新しい技術の開発や実装、施設設計、建設、運用の柔軟性が一層求められ、これらを効果的に促進するベースとしての技術基準の仕様規定型から性能規定型への転換が行われております。こ

う流れの中、平成30年度の港湾技術基準の改訂は性能設計体系の充実と老朽化施設の維持管理という時代のニーズに対応したものでした。設計基準の変遷を振り返り今後のニーズを見据え、技術基準の在り方について考えることは重要だと思います。

本日の座談会では、これからの技術基準はこれまでの延長線上に位置づけるのか、あるいは更なる大きな変革が求められるのか、また新たな行政ニーズに技術基準はどのように応えるべきか等、技術基準の改訂の方向性について議論したいと思います。

本日は、国際圧入学会専務理事の日下部治様、北海道大学大学院工学研究院特任教授の横田弘様、そして、国土交通省大臣官房技術参事官(港湾担当)の加藤雅啓様をお招きしております。よろしくお願いいたします。それでは最初に、皆様から自己紹介を兼ねて、特に港湾技術基準とのかかわりなどにつきまして、ご紹介いただきたいと思います。日下部先生からお願いします。

日下部▷性能設計導入の初期の段階では、地盤工学会、土

木学会等で議論に参画させていただきました。地盤工学会ではGeo-code21を作成・公表していますが、その前段階の仕事をさせていただきました。また、国土技術政策総合研究所（国総研）から土木学会へ研究委託された包括設計コード策定基礎調査委員会の委員長として、土木分野全体の性能設計をどう体系化するかという議論を行い、その成果として「包括設計コード（案）性能設計概念に基づいた構造物設計コード作成のための原則・指針と用語 第1」の取りまとめに参画しました。当時の建設省が策定し平成14年に発表した（発表時は国土交通省）「土木・建築にかかる設計の基本について」の策定議論の時には地盤工学分野の委員として議論に参加させていただきました。日本の諸機関のトップランナーとして性能設計を導入された港湾基準（平成19年版）では、合田良実先生の委員長の元で委員をさせていただきました。本日はよろしくお願いします。

司会▷ありがとうございます。横田先生お願いします。

横田▷私は港湾空港技術研究所から平成21年に北海道大学に移りましたが、研究所にいた時に技術基準の執筆を担当しました。平成19年基準では性能設計体系の中で維持管理はどうあるべきか、というところを担当させていただきました。技術基準以外ですと、土木学会のISO対応特別委員会の委員長として土木に関係する諸分野のISO制定に関する情報共有と発信、それからISO/TC71（コンクリート、鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート）での規格開発に携わってきました。

司会▷ありがとうございます。加藤参事官、お願いします。

加藤▷今から20数年前、技術基準を作る立場として関わったことがありました。当時、港湾局技術課技術基準第一係長として、技術基準の案を作っていくということを事務局として取り組んだことを記憶しています。また当時、技術基準だけではなくて、具体的にどのように検討を行えば、港湾構造物が出来るかということを考え、設計事例集を

作った記憶が残っています。そういった知見をまとめるに際して、新形式の防波堤や車止めのマニュアルなどを沿岸センターさんから提案していただくなど、事務局方として取り組んだことを記憶しています。そして数年後に横浜調査設計事務所に異動となり、そこでは実際に基準を使って、構造物の設計を担当させていただきました。その際に、現場の構造物の設計におきまして、行政側としてどういうものを技術基準として揃えられれば、設計者の技術支援につながるかなどを考えました。今回この座談会に出席させていただく機会をいただきありがとうございます。

2. 現在の港湾基準と 今後の改訂の方向性

司会▷ありがとうございます。それでは本日のテーマである港湾施設の技術基準についてのお話へと進めたいと思います。近年、我が国では約10年のサイクルで基準の改訂が行われています。現在の技術基準、並びに次の改訂に向けた見通しなどについて加藤参事官にお話しをお伺いしたいと思います。

加藤▷港湾の技術基準は昭和49年に初めて制定されまして、その後、平成11年、平成19年、平成30年に大きな改訂を行っています。平成30年の改訂のポイントとしては主に次の5点があります。

- ①調査、設計、施工、維持の建設生産プロセスの効率化等による生産性向上の推進
- ②既存施設の適切な維持管理や合理的な改良等による既存ストックの有効活用の促進
- ③耐津波に関する粘り強い構造の高度化による防災・減災対策の強化
- ④船舶の大型化への対応等による国際競争力の強化
- ⑤環境に関する新たな知見等による豊かな海域環境の保全、再生、創出

現在、港湾局では、防災・減災、国土強靱化や、AIターミナルの実現、i-Constructionの推進といったインフラ分野におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進、洋上風力発電の導入や、水素等の次世代エネルギーの利活用といったカーボンニュートラルポートといった概念を打ち出し、その推進に取り組んでいます。こういった新しい様々なニーズに対してどう対応していくか、現行の基準で十分なのか、十分でなければどういったことを更に付加していくべきなのか、そういったことも含めて今後の技術基準の改訂が求められていると思っています。

私どもとしても、そういったニーズが大きくなっていく中で、現行の技術基準を大事にしながら、新たなニーズを技術基準にどのようにして溶け込ませるのかという観点を



基準・同解説の背表紙

からも、関係者の皆様からいろいろ知見をいただきたいと思っていますところでは。

司会▷ありがとうございます。諸外国の技術基準はどうなっているのでしょうか。また日本の港湾基準の国際的な位置がどうなっているのでしょうか、課題などについて横田先生、お願いします。

横田▷港湾施設についての国際基準を語るのは難しいので、もう少し広く話をさせていただきます。設計の分野では国際規格ISO2394（構造物の信頼性に関する一般原則）があり、最近では平成27（2015）年に改訂されて現在に至っています。これは、Code of code writersの性格も持っており、各国・地域の構造物の設計等に関する基準類はこの精神に従うように書いて欲しいということを規定した規格だと理解しています。つまり、各国が設計基準を作成する際に構造種別を横断する「基本的な考え方」を示すバイブルとしての役割を持っています。限界状態設計の中でも信頼性設計法にかかる部分と部分係数法にかかる部分とがあるのですが、どちらかに統一しているわけではなくて、信頼性のレベルに応じてそれらを適切に使うべきであるという原則を規定しております。また、2015年の改訂ではリスク概念やリスクに基づく意思決定がかなり強く出てきています。そういう意味の中で最近話題になっているレジリエンス、ロバストネスにも言及しています。ちなみにどちらかというと建築物が主たる対象ですが、ISO2394をそのまま翻訳したJIS A 3305が2020年4月に制定されています。

コンクリート構造物の設計基準に関するISO19338では、構造物の詳細な設計法を規定しているというわけではなくて、設計は各国・地域の基準に任せるが、それらの基準において規定すべき事項を規定するという形態になっています。いわゆるアンブレラコードの性格も持っています。そこでは、限界状態設計法が取り入れられています。

また、コンクリート構造物の設計では、国際構造コンクリート連盟が制定しているFIBモデルコード、および欧州地域規格としてのユーロコードがあります。ユーロコードを単なる地域規格ではなく、アジアも含めて多くの国に展開してデファクトインターナショナルスタンダードを目指すという活動もされています。アメリカコンクリート学会が制定しているACI318も北米、南米地域に加えて、昔アメリカが宗主国をしていた国でも使われており、実質的なデファクトスタンダードとしての位置づけを持っていると思います。

結論は、使える規格にしないと国際的には使ってもらえない。長い歴史のあるFIBコードをベースとしたユーロコード、ACI、こういったものがメジャーとなっています。これらも設計技術の進歩に合わせて定期的に改訂がなされており、例えばユーロコードでは現在、既存構造物の性能評価

や気候変動にかかわる構造物の設計の考え方を中心に改訂していると聞いています。話題になっていることを取り入れ、出来るだけ広く使われるような戦略をもって規格を改訂しているのではないのでしょうか。

社会の変化と改訂

司会▷ありがとうございます。技術基準に係わる内外の状況について先進的なお話をいただきました。そもそも技術基準はどういった意義や目的で制定され、どのような役割を果たしてきたのでしょうか。日下部先生いかがでしょうか。

日下部▷日本の基準では、ほぼ10年毎のサイクルで行われる定期的な改訂と、臨時的な社会の変化に即応するための改訂が混在しています。基準の策定と改訂の要因は加藤さんのあげられた幾つかの項目を大枠で捉えると3つの項目になりそうです。

①技術革新に即した改訂。

②法令の改正に伴う改訂。土木技術に関する法改正は多くの場合は自然災害あるいは重大な事故の発生が契機ですが、国際的な整合性の要求からの法改正もあります。

③社会の成熟度、リスクへの受容性も含めて社会・国民の意識の変化、インフラへの期待感の変化に対応する改訂。2番目の法令の改正に従って技術基準が改訂される事例を我々は経験しています。阪神・淡路大震災の被災経験から、耐震設計にレベル1（L1）、レベル2（L2）という2段階設計の考えが導入され、東日本大震災では津波被災の経験から、津波設計にもレベル1、レベル2の2段階設計が取り入れられました。一方、笹子トンネルの天井板落下事故により道路法が改正され、構造物の維持管理が重要事項となりました。また船舶の大型化、基準が対象とする構造物の機能・利用の拡大、施設の社会的価値の捉え方の変化に伴う改訂は、3番目の項目に入ると思います。現在は、1番目と3番目の項目についての基準改訂の要求度が高いのではないのでしょうか。さらに技術基準と技術者資格は相互に関連していますので、今後の技術者の役割の変化も基準改訂の要因となるのではないかと考えています。

冒頭に高橋理事長からお話があったように技術基準は仕様規定から性能規定に変わりました。性能設計を考えたときの要素には2つあると思っています。1つ目は言葉としては性能明示型。性能マトリックスを介しての発注者（利用者）と設計者（技術者）のコミュニケーションツールの要素です。もう1つは、性能照査型という言葉で、強制的な基準項目と自由裁量に任せる項目を適切に組み合わせる要素です。性能設計にはこの2つの要素が必要です。

道路分野では、数年前に土工構造物に対して性能設計体系が導入され、橋梁・トンネル・土工構造物からなる道路という線状のインフラ全体の性能設計がようやく出来るよ

うになったという感じがします。次の技術基準の改訂では、性能設計の2つの要素を踏み出してまでの大きな設計思想の変更はないだろうと私は思っています。性能設計に準拠した技術基準の導入によって、利用者である国民がインフラの性能を理解しやすくなったということは、性能設計導入の大きな役割と成果ではないかと考えています。

性能設計の普及と充実

司会▷性能設計体系が技術基準に導入されましたが、これは基準の基本構造レベルでの転換と言えるものです。今はその普及や充実を目指していく段階にあるものと思われ、今後予想される多様なニーズへの対応において、その真価を発揮することが期待されます。性能設計の現状、課題についてご意見をお願いします。横田先生お願いします。

横田▷性能設計は専門家でない一般のユーザーにも分かりやすい言葉でこの構造物はどういう性能を持っているということを示すのですが、技術者や設計者はそれだけでは設計ができないので、設計指標に置き換え数値指標を使って本当にそれが満足されているかどうかということを照査していくということになります。言い換えれば、照査できないものやそれを客観的に示す方法がないものは、要求性能として設定しづらい。感覚的にこうあるべきだというものはあるけれど、それを客観的に示す方法がないものは性能として設定しても証明できませんので、性能の照査ができないということになっていると思います。本当にそれでよいのか、ということになりますが、そのために数値指標を使わないで照査が可能な性能設計体系が出来ないかなと思います。日下部先生がインフラへの期待感を言われたのはこれに関係するものと思いますが、例えば港湾があるおかげで人が住み続けられ雇用が創出できるとか、サステナビリティ社会の構築への貢献など、そのようなものも近い将来、要求性能の中に入れて照査が出来ればいいのではないかなと思います。今は極めて限定的に安全性とか使用性とかの性能を設定して照査をしていますけれど、本来はもっと自由にいろんな性能を設定して、それが照査できるというようなことがあっても良いのではないかなと思います。港湾施設もすべてが一律ではなくて、それらの性格をうまく表わせる形で設計もできるのではないかなと思います。

司会▷性能設計というと限界状態設計法とか信頼性設計法がすぐ浮かびますが、そういうものを性能設計というのではないのですか。

横田▷限界状態設計とか信頼性設計というのは1つの照査の体系であって、性能設計を言い換えるものではないはずです。要求性能を設定して、それを所定の期間保証できるということは何らかの方法を使って客観的に示すのが性能設計です。



司会▷行政ニーズへの対応においてそれを1つの性能として定量的に評価すれば性能設計。例えば環境だとか、維持管理だとかを評価するということですね。

横田▷そうですね。

司会▷そういうのに適応できるのが、性能設計体系だと。

横田▷そのようにとらえれば、もっと幅広い性能がいろいろあると思います。

技術基準と設計の自由度

加藤▷先ほど日下部先生に技術基準の改訂のきっかけをまとめていただきましたが、性能規定を導入することになったのは、平成16年に「規制改革・民間開放推進3カ年」が閣議決定され、基準の国際整合化や性能規定化の推進が基本方針として示されたことがきっかけになっています。

様々な行政ニーズに対して、それまでの基準が規制のようになっていて、基準によって縛られており自由なことができない、そのような受けとめられ方をしていたのかなというところがありました。平成19年の技術基準の改訂においては、設計手法が港湾構造物の形状や材質といった手段を規定する仕様規定から、構造物に求められる性能のみを規定し、設計結果に至るプロセスを規定しない性能規定に移行しました。これにより行政ニーズに即した設計が自由に出来る、一般の方にも性能を示すということで非常にわかりやすくなるということはあると思いますが、一方で、実際に構造物を設計する技術者にとりましては、自由度が高いが故に非常に難しい設計方法となっているのではないかと私自身は受け止めています。

また、信頼性設計は従来の一定の安全率を考慮する方法とは違い、確率論の中で進めていく部分もあり、そうすると設計を行う中で、肌感覚でわかることがかなり減っているのではないかと、という不安もございます。

そして、港湾の技術基準に性能規定を導入して13年が経過していますが、先日、海洋・港湾構造物設計士会から要望があり、現行の性能規定では、港湾管理者や民間企

業による創意工夫、技術開発が十分に促進されていないといった意見をいただきました。仕様規定から性能規定に移行したことで、強制から自由裁量に舵を切ったにも関わらず、自由度が必ずしも高まっていないという意見をいただいているという点については、私どもとしても、関係者の意見を伺いながら、現行の技術基準を一度検証しなければいけないと思っていますところ。

日下部▷行政が考えているようには自由裁量による設計が拡がらない現状があるという加藤さんのご指摘に関しては、それは基準では自由裁量が認められ、実験をやって決めても良いですよ、新しい解析手法を使ってもいいですよと書いてありますが、自由裁量で採用した手法で設計された構造物の性能照査を適切に評価する技術力も必要ですし、それに伴うリスクをどのように配分するかという議論も必要です。そのあたりの環境がまだ出来ていないことに起因している感じがします。

横田先生のおっしゃったリスクや確率設計の話に関しては、元々のISO2394に出てくる確率設計には多変数の重積分が必要となり、その解析上の困難さを回避する実務的な便法が提案されてきました。それが最近の計算機能力の向上で、モンテカルロシミュレーションが容易に出来るようになってきたので、解析上の困難さのハードルが随分下がっていると思います。反面、計算機の中の解析過程がブラックボックス化して、加藤さんが指摘された実際にモノを作っている人の肌感覚との乖離が心配だという側面もあります。

3. 新しい行政ニーズへの対応

司会▷ありがとうございます。ここからは新たな行政ニーズについてお話を進めたいと思います。既に防災、維持管理、サステナビリティなどをテーマとしたお話が出てきております。こうしたニーズにどのように対応していくのかについてご意見を伺います。

インフラの資産管理

日下部▷平成30年改訂の港湾基準では、維持管理分野が大きく取り入れられています。実務においては技術基準策定時に想定したよりも難しい問題が山積しているのではないかと思います。技術基準では、新設あるいは改修する場合を想定して、いわばゼロから構造物を設計するイメージで書かれることが多いと思います。しかし現在インフラのストックは膨大で、社会全体の大きな資産として存在して、現実の対応として現在供用中の施設を取り払って新しく造るというわけにもなかなかいかない。そうすると設計条件

も違うし施工プロセスも違うこととなって、現存する施設を供用しながら更新する大変難しい技術的な挑戦となります。ですので、平成30年改訂以後の維持管理、改修更新の実例や経験の蓄積を適切に新たな基準の中に反映することが重要であると思います。

最近、「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会提言（平成26年）」を読んだのですが、港湾分野でも蓄積された膨大な港湾インフラを重要な資産として捉え、長期的にどのように維持していくかとの視点から検討する価値はあると思います。

横田▷自然災害、維持管理、サステナビリティと3つの重要な話が出ています。まず自然災害ですが、外力、作用に対してどこまで壊せるかが設定できれば性能照査型設計なので設計できると思いますが、作用側がうまく設定できるかどうか。災害が最近激甚化しているということなので、今の段階では出来ても、設計供用期間を50年として30年後とか50年後はどうかというところに着目して、ロバストネスの評価が必要です。設計の時うまく想定できなかったことも、より大きい負荷がかかった時、構造物にどのような性能を持たしておくか、というようなところがうまく技術的に対応できるのであれば、そういうのは入れていくようになるのではないかなと思います。

老朽化施設の維持更新での最も大きな問題は、既設構造物の性能を現在の技術で精度よく評価できないことです。施設の性能がわからなければ、それを使い続けられるのか、どのくらい補修して性能をリカバーできるのかを評価することができません。既設構造物の性能をうまく表せるような技術が欲しいと考えています。

またサステナビリティについては、コスト一辺倒の話ではなくて社会的サステナビリティ、環境サステナビリティも重要で、日下部先生がおっしゃったように資産として考えるならコストだけでなく便益をきちんと評価する。その施設があることによって生まれている利益を評価していくことになろうかと思います。そういった指標が出来ればいいのかなと思います。

維持管理、自然災害、サステナビリティ、DX、ICT、カーボンニュートラル

加藤▷先生方からお話しのあった維持管理は行政にとっても重要な課題であり、引き続き検討しなければいけないテーマだと思っています。また冒頭申し上げましたが、港湾局では、防災・減災、国土強靱化対策、インフラ分野のDXの推進、カーボンニュートラルの推進を今後の施策の柱として掲げているところです。例えば、防災・減災、国土強靱化についていえば、大規模な地震や津波の発生時に、船舶の迅速な沖合退避を可能とするためにどのような港湾

構造物であれば良いのかなど、津波が発生した場合の船側から見たリスクや陸上施設への影響に対する軽減策を考えていかなければいけないと思います。

最近、高潮、高波、暴風による港湾構造物の甚大な被害が発生しています。また将来的には海面水位上昇など、気候変動による影響も懸念されているので、今後、こうした災害に対する港湾施設の整備が重要になってくるのかと思います。特に、海岸・防災課長として在籍していた平成29年から平成30年にかけて、台風が数多く来襲し、施設に対する高潮の被害が多く発生したため、台風のレベルに応じて施設の対応基準を考えられないか、という思いがありました。地震や津波と同様に、台風及び高潮についてもレベル1、レベル2を考慮し、それぞれの災害に対する施設の対応策をまとめておく必要があるのではないかと思います。

インフラ分野のDXの推進ですが、荷役機械の遠隔操作やコンテナのダメージチェックの効率化など、コンテナターミナルの生産性向上という分野にも取り組んでいます。また、ICTを活用した浚渫工事や、設計業務におけるBIM/CIMの導入など、港湾工事における新技術の活用促進を図り、港湾におけるi-Constructionを推進していくということも行っています。

カーボンニュートラルの推進ですが、洋上風力の導入促進を図るために必要な岸壁や荷さばき地などの港湾施設の整備をしなければなりません。藻場等の海洋生態系におけるCO₂の吸収量の定量的評価など、ブルーカーボンの生態系の活用可能性についても検討しています。さらに水素等の次世代エネルギーについて、その利活用を拠点となる港湾において、今後必要となる施設に関する検討も進めなければいけません。

このように挙げればきりがないくらい行政ニーズがあります。土木の分野ではない部分も多いのですが、まさにこれらのニーズに後手とならないよう必要な技術基準を作っていくことは非常に重要な課題です。

4. 今後の展望

司会▷ありがとうございます。時代の進歩に伴い、技術は大きく変わります。新しい技術への対応を含めて、技術基準の今後の展望について、お話を伺いたいと思います。

技術の進歩と基準

日下部▷冒頭に加藤さんが行政の目標をおっしゃってました。私もその通りと思います。2つコメントをさせていただきます。1つは防災に関して。シミュレーション技術は急

速に進展していて、例えば原子力や核融合、自動車設計まで、実験による検証なしですべてコンピュータシミュレーション結果で実設計を行う分野が広がっているのが現実です。土木の防災面に関して神戸大学の飯塚敦先生達は、港湾や鉄道、ビルも家も含めて神戸市全体を丸ごとモデル化して、防災力を高めるために様々なシナリオを想定して、災害リスクを評価して政策決定に繋げる研究をしておられます。現在のシミュレーション技術は、港湾施設に加えて道路網、鉄道網、災害時には人々の行動、それらを一体化してシミュレーションできる可能性を提示しているという視野は持っていた方が良くと思います。

もう1つ行政目的の中のi-Constructionの話。生産性の向上の背景の1つには労働力不足があります。そのため建設機械の無人化操作を進め、AI技術で制御しようと言われます。その方向性は正しいと思いますが、AIに学ばせる基礎データが不足しているのではないかとというのが私の危惧です。建設機械を操作している人たちの持っているノウハウをどのようにAIの中に取り込むかという努力が不足していないかという危惧です。ある建設機械のオペレーターから機械操作に関してアンケートを取ってみると、熟練者と非熟練者では機械操作の設定方法が異なるという傾向があります。熟練者は、長い施工経験の中から学んだノウハウを沢山有していますが、その熟練者が急減に少なくなっています。早期に行政が主導して熟練者の保有するノウハウを収集する努力が必要です。DXの範疇では、行政が一番ビッグデータを持っていると思いますので、そのデータ群をシミュレーション技術の活用に繋げる努力も行政ニーズのテーマとして必要だという気がします。

横田▷技術の進歩に応じて、というのは良くわかっているんですけども、10年に1回の頻度で技術基準を変えているのが技術の進歩のペースに合っているかということもあると思います。技術基準をどういう体系にしていこうということもあると思いますが、照査中心の技術基準ではなくて、





いわゆる基本設計というのか構造計画というのか、そのような真の意味での設計に対応できる技術の体系化があっても良いと思います。発注者（施設の保有者）と受注者（設計者や施工者）がもっと頭を使って港湾施設をどうすれば良いかというところをちゃんと考えていただけるような技術基準体系がいいんじゃないかと思っています。あまりにも基準の下解説のところばかりが皆さん気になっているような感じがするのですが、そうではなく、設計者はクリエイティブな行為、もっと上流側で考えるべきことがあるんじゃないでしょうか。

司会▷加藤参事官いかがでしょう。

技術と技術者、そして基準

加藤▷とても難しい問題ですね。日下部先生からお話いただきましたように、今後、少子高齢化により技術者が減少していく中で、熟練技術者のノウハウをどのように維持していくかという大きな課題があります。機械が全てを決めるわけではないので、あくまで人を支援する仕組みを作らなければいけない。そのためにどのように技術移転を図り、進めていくべきかを考えていかなければいけないと思っています。また、ビッグデータの活用という話もございましたが、ビッグデータが力となって様々な改善につなげていければと思っています。

また、横田先生の話にありました技術者の育て方になるのかも知れませんが、クリエイティブなことができる環境を整えるのは非常に重要だと思います。一方で、最近よく感じるのは、技術者に求められる責任が非常に大きくなっており、クリエイティブなことを行うのに躊躇しているように感じています。技術基準のもっと大きな核心部分を議論すれば良いけど、解説の部分にどうしても拘りを持ってしまう。それはリスク管理という観点からかもしれませんが、どうしてもそちらの方に主眼を置いてしまっているのかなと感じています。

悲観的な話だけではなく、今後の展望・挑戦ということで、私の方からは技術革新と国際展開という2つの話をさせていただきます。

1つは港湾における技術開発の取り組みです。現在、内閣府の予算を活用しつつ、港空研と民間事業者が協働して、栈橋式岸壁の補強工法の開発を行っています。また、港空研では、民間の革新的な研究開発に出資を行う制度も運用を始めており、岸壁の新たな増深工法の開発等を行っています。このように官側だけでなく民間の方々と一緒に進めているところです。

国際展開については、港湾局、国総研が中心になって、平成26年からベトナムにおける国家港湾技術基準の策定を

支援しています。技術基準を国内にとどめるのではなくて、日本の技術基準を参考にして海外の技術基準を策定することで、日本の企業が海外に進出しやすい環境を整備できるよう、着実に取り組みを拡げていきたいと考えているところです。

司会▷ありがとうございます。日下部先生、今後の展望について、さらに。

日下部▷DX推進やシミュレーション技術の進歩は、技術基準の中身を空洞化させてしまうのではないかという心配もあります。横田先生がおっしゃったように、技術基準の展開とそれを使いこなす技術者集団をどう作っていくかは一番難しい問題ではないかと思います。先ほど触れた神戸の都市丸ごとシミュレーションの例を見ると、土木技術者にしかできない仕事ではないだろうという面を感じます。技術基準とそれを使いこなす技術者像という従前考えていた当たり前の構図が、成り立たなくなってきたのかもしれない。

加藤さんがご紹介されたインフラ輸出あるいは国際貢献はわが国にとって重要な話です。（一財）国際臨海開発研究センター（OCDI）が日本の港湾技術を学んだ海外技術者を海外アルムナイ（alumni and alumnae）として組織化する努力を伺っています。次の改訂がどういう姿になるかわかりませんが、新たな技術革新を過度に取り入れると技術基準が空洞化するのではないか、インフラ輸出あるいは国際貢献の社会的要請から乖離していかないか心配しています。

5. まとめ

司会▷本質的なお話になっていると思いますけれど、そろそろお話しのとめに入らせていただきます。特に強調したいことをお聞きできればと思います。加藤参事官、お願いします。

加藤▷このような話を伺う機会をいただきましたことに感謝申し上げます。今、先生方から話のありました技術基準を運用する技術者自身が、今後どのように技術を身に付けていくのかという課題があると思っています。この点については正に行政側も同じで、我々はいわゆるインハウスエンジニアとして、従来、設計等を直轄で行っていましたが、整備局または技術調査事務所等の担当者が少なくなっており、現状は業務を外注している部分がございます。限定的な外注自身は今の時代やむをえないと思うのですが、それを正しく解釈できる人材がだいぶ減ってきたと感じています。昔から、技術者の技術力の維持として課題となっておりましたが、いよいよ本当に切実な課題になってきているということを我々も認識しています。

限られた人員でそれをどうするか、明確な解決策がある

わけではありませんが、やはりこれまでの技術ノウハウを蓄積していく必要があると考えています。それが正にDXであったりAIであったり、今の時代に相応しい新技術もうまく活用していかなければいけないと思います。ブラックボックス化したものにパラメータを入れて答えが出たから、それが答えです、とはならないように、我々として答えを見極められるようにするにはこれまでの研修、教育等も変えていかなければいけない部分もありますので、今回のこうした技術基準の話を通じて更に取り組みを深化しなければいけないと改めて感じた次第です。

司会▷ありがとうございます。横田先生、お願いします。

横田▷人の問題、体制の問題とありますが、もう少しブレイクダウンしていくと、私としては次の基準改訂のキーワードはサステナビリティではないかと思っています。サステナビリティは多様なものを含む非常に大きな概念で、地球温暖化とか気候変動、環境の問題だけを取り上げておられる方も多いのですが、もっと広い概念で全ての我々の社会を持続していくこと全てが関係します。サステナビリティ設計法としては、社会的な側面から港湾施設がどのくらい社会の持続性に貢献できるか、それから環境的な面に貢献できるか、人材的、経済的な面に貢献できるかといったことを考えていければいいのではないのでしょうか。

本日のお話で出た災害対応とかレジリエンス、あるいは資産価値であるとか、そういう問題全てをサステナビリティという枠組みの中できちんと体系化できていると思っています。コストだけではなくて、本当にその港湾施設が所定の時間、人々の期待に応えるためにはどうあるべきかということをきちんと考えられるような設計体系にすることが重要です。

日下部▷発注側の技術力の劣化の加藤さんご指摘は、日本

の行政改革の1つの負の側面であり私も全く同感です。設計士会の講習会で高潮防災に関して専門家のお話を伺うと、台風の時の越波量の推定さえシミュレーションはそう簡単ではないそうです。シミュレーション技術が進歩しているとはいえ、気象予測分野では我々が想像するほどまでには精度は上がっていないというのが専門家の評価であると感じました。最先端の技術革新の成果を、どのように技術基準の中に取り入れるかについては十分な注意が必要であると思います。

先ほど資産という言葉がございましたが、現在の港湾の施設を点群の情報として集中的に管理するということが大事だと思います。首都高では橋梁から舗装まですべての路線の構造物の点群情報を保有していて、施設の維持管理・更新に活用しています。港湾に関係する施設の点群情報を集中的に収集・管理・更新することは、意思決定に際し重要な基礎データとなるとと思います。国総研では、DXを研究するグループを作るとお考えになっているように聞いています。その部署で港湾施設の点群情報を収集・管理・更新して、国内の港湾施設の現状を定量的に瞬時に把握できるシステムがあれば、将来の港湾施設の計画・運用・管理に有効な武器となるのではないかと思います。

大学を離れてから10年以上経過しましたが、本日は、最前線で活躍されている皆様方のお話が聴けて勉強になりました。ありがとうございます。

司会▷本日は大変貴重なお話をいただき本当にありがとうございました。これまで本省や国総研のご努力によって技術基準は大変発展してきて、ある意味一段落していると思いますが、時代は大きく変わっています。今は大きな方針を立てる良いタイミングかも知れません。そういうきっかけになれば幸いです。ありがとうございました。





特集

今後の技術基準改訂に
に向けた方向性
～新たな行政ニーズと
技術基準～



広義の設計のあり方を考える ／VEの性能設計体系への連動

八尋 明彦

海洋・港湾構造物設計士会 副会長／日本工営（株）技師長・理事

1. 現行の性能設計体系への問題意識

筆者が性能設計体系に初めて関わったのは、(一財) 沿岸技術研究センター（以下、沿岸センター）に在籍中の2009年に現在の「海洋・港湾構造物設計士（以下、設計士）」資格制度の創設に携わった時であった。2007年に「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下、港湾の技術基準）が性能設計体系へ移行した2年後である。筆者は、水産庁漁港部建設課設計係長、運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所設計室長、同第二港湾建設局横浜調査設計事務所次長、関西国際空港（株）工務一部設計課長など8年近く設計分野を勤務した経験がある。それまでの仕様設計体系に慣れ親しんだ者としては、“性能設計体系とは？”の出発であったが、以下¹⁾のように理解して取り組んだ。

- ①性能設計体系の下では、設計結果が要求性能を満足しさえすれば、仕様は原則として自由である。
- ②港湾の施設が本来備えなければならない「性能」によって基準を定めることによって技術開発の促進、生産性の向上及び国際的な建設市場の獲得における優位性の確保などのメリットがある。
- ③その反面、設計結果が要求性能に適合していることを照査/認証する手続きが必要となる。

当時、港湾の技術基準の大改革であった性能設計体系という概念に戸惑いと大いなる期待を寄せ、さらにその体系を担ってもらう技術者の確保・育成を願いながら2010年に沿岸センター認定資格として設計士を創設した。現在10年の月日が経ち、2016年には国土交通省の登録資格ともなり、コンサルタントや施工会社等所属の有資格者147名で、うち130名が2012年に創設された有志による海洋・港湾構造物設計士会（会長：山本修司、以下、「設計士会」）会員である。

しかしながら、設計士会において会員の自己研鑽や技術レベルの向上に関わる活動のかたわら、以下のような問題意識が生じるようになった。

・上記①に対して「仕様」が港湾管理者や民間企業の裁量に委ねられたが、その裁量性が発揮できているか。

・上記②に対して新技術の導入、労働生産性の向上が進展しているのか、さらに途上国へのインフラ輸出面で優位性があるか。

他方、2009年から東京理科大学理工学部で「港湾工学」講座の講師をしているが、性能設計に関わる講義時にも、同様な問題意識が生じ、学生から上記の質問が来たらどのように答えようかと思っているが、幸いに今のところない。本論において、何故、このような状況なのか。現行の性能設計体系を改めて考えてみたい。

2. 今、港湾の施設に求められているもの

2-1 現代人がモノに求めているものは

現代人は、モノではなく、そのモノから生み出されるより洗練された価値を求めるようになってきている。良い例が2007年に米アップル社が開発した「スマートフォン」である。かつての携帯電話（通称「ガラケー」）より高価であるが、日夜手元に置いて必需品として使用している。これは、従来の携帯電話に比べて、使いやすさ、見た目の良さ、アプリなどの多機能さによる“商品価値”が格段に向上しているからだ。従って、今生じている企業のIT（情報技術）投資やAIなどによるイノベーションは、商品やサービスの付加価値や新たな社会的な価値を生み出すことを目指している。このような時代のなかで、2018年に公表された港湾の中長期政策「PORT2030」においても、以下の基本的理念²⁾に基づき、港湾が果たすべき役割、及び中長期政策の方向性の実現を図るために必要となる港湾の施設の社会価値の向上及び創造が示されている。

- ①「施設の提供型」から「ソリューション提供型」：単なる施設の提供から港湾での先導的な取り組みによる社会価値の提供
- ②「賢く」使う：既存インフラの社会価値の最大化
- ③港湾の「進化」：「Connected Port」による新たな付加価値の創出

2-2 我が国の港湾の価値とは

1950年に港湾法が制定され70年が過ぎようとしている。この間、戦後復興から始まって1960年代の全国総合開発計画に基づく拠点開発による港湾を核とした臨海工業地帯が全国各地で整備され、今や工業出荷額の4割を産出し、また貿易立国としてコンテナターミナルやバルクターミナル等の整備が進み、今や貿易量の99.6%が海上輸送されている。他方「環境と開発の両立」の概念の下で沿岸環境の保全・改善・創出が進められ、また1985年の長期港湾政策「21世紀への港湾」に基づいて全国各地に賑わい空間づくりが進められ、近年のクルーズ船バース、洋上風力発電の導入など、さらには、近年の気候変動や海溝型地震・津波の発生に備えて人口の5割が居住する港湾背後都市の防護機能が強化されようとしている。このように、我が国の港湾は、欧米諸国とは違って³⁾、図1に示すように多機能を備えた空間を有し、地域や国家経済、日常生活や沿岸防災に対して多大なる貢献と効果を及ぼしている。累積30兆円(1955年から2007年)に及ぶ港湾ストックは、今や地域と国家の社会価値となった。「PORT2030」の基本理念は、今後利用者や地域社会の要求に応じて、この価値をさらに高めたり、新たな価値を提供しようとするものである。

港湾空間：4つの機能と4つのKey

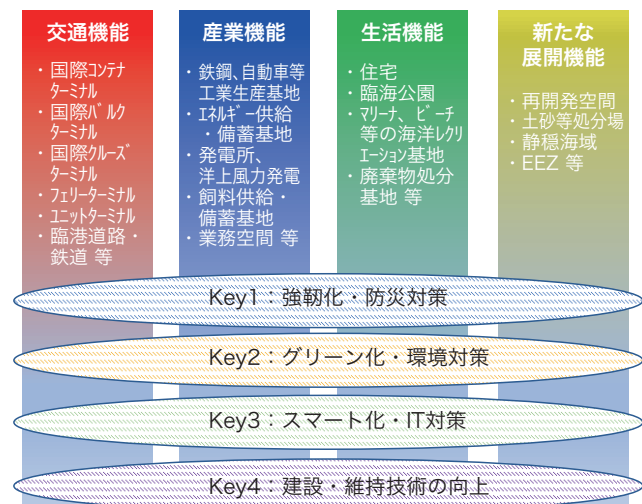


図1 我が国の港湾空間の4つの機能
資料：東京理科大学「港湾工学」テキスト

3. 現行の性能設計体系の現状

2018年改訂の性能設計体系⁴⁾は、2007年の港湾の技術基準が踏襲されて以下になっている。この体系下において、「PORT2030」において示された基本理念に沿って求められる港湾の施設の設計を行うとすると、どのように検討したら良いであろうか。

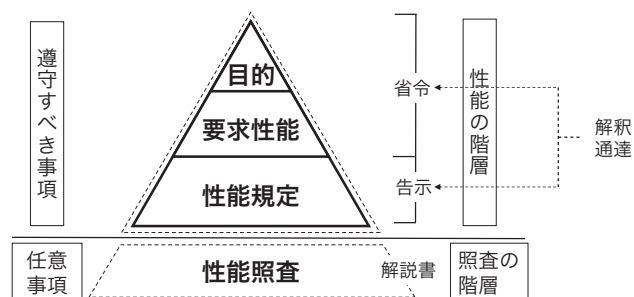


図2 性能設計体系の枠組み(港湾の技術基準(共通編)P13)

図2において、目的とは「当該施設を必要とする理由」、要求性能とは「目的を達成するために施設が保有しなければならない性能を、説明責任の観点から平易に表現したもの」、性能規定とは「要求性能が満たされるために必要な照査に関する規定を技術的観点で表現したもの」、性能照査とは「性能規定が満足されることを照査する行為のこと」と定義されている。このなかで、「要求性能」と「性能規定」の違いが設計者にとって判り辛い。「性能」とは、言葉の定義上、物事を成し遂げることのできる数値化された能力のことである。しかしながら、性能設計体系の枠組みでは、「要求性能」は「性能規定」の上位にあり、「PORT2030」で示された港湾の施設の価値を向上させたり、新たな価値を創造する重要な概念ではないか。

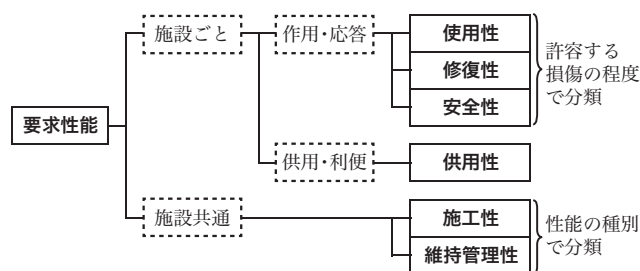


図3 要求性能の分類(港湾の技術基準(共通編)P20)

図3に示す要求性能のうち、施設の供用及び利便性の観点から施設が保有すべき性能としての「供用性」や、また施設の劣化損傷に対して補修・補強等を施すことにより、必要な所要の性能を継続的に確保することができる性能である「維持管理性」は、施設の価値向上の観点から重要である。さらに、これらの性能を照査するためには、裁量性が認められている様々な照査法が必要となり技術開発が促進されるはずである。他方、港湾の技術基準が性能設計体系化へ移行したきっかけが、阪神淡路大震災後のレベル2地震動に対する対応にあるためであろうか、図3の要求性能の構成上も使用性、修復性等の「損傷性」が最初に位置している。さらに、本来利用者が求める港湾の施設の機能である「供用性」や「維持管理性」が次に位置付けられ、「供用性」には何も分類がない。さらに、「維持管理性」が施設共通となっ



ているが、利用目的や頻度等によって施設ごとに異なるのではない。筆者が沿岸センターや現在の日本工営勤務において受託した設計業務の大半の流れは、要求性能に関する議論はほとんどなく（既に事前に議論されていれば別だが）、いきなり性能規定である施設の構造的な諸元（延長、幅、水深、天端高さ、築造限界等）、修復性等の損傷度合いの設定からスタートして、さらなる利便性の向上のための供用性や維持管理性はほとんど議論されない。

4. 「広義の設計」という言葉との出会い

2018年5月に港湾の技術基準が改訂されてから2年が経過した。設計士会では、次期改訂も視野に入れた港湾の技術基準に関して、同年12月に国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人海上・港湾・航空研究所港湾空港技術研究所、及び沿岸センターと4者の「研究連携・協力協定」を結び、その折に記念講演会を開催した。「設計士に期待すること」⁵⁾と題して、日下部治東京工業大学名誉教授・設計士会顧問に基調講演を行ってもらった。その締めくくりのメッセージが「狭義の設計から広義の設計へ」、「部分から全体へ」であった。昨今の“あてはめ計算”や“技術の細分化”を鋭く捉えられ、これからの設計士が、目指す方向性を示唆して頂いた。この時、このメッセージには、これまで現行の性能設計体系に対して抱いていた問題意識に伝えてくれる答えが込められているのではないかと考えた。しかしながら俄かに答えが見いだせないため、設計士会としては、4者協定に基づいて、その後4回にわたる研修会を開催した。第2回目はトヨタ自動車ご出身（現在設計士会顧問）の吉村達彦氏に「問題発見と未然防止/製造業（自動車産業）の視点から」⁶⁾と題して、第3回目は東京大学大学院経済学研究科の藤本隆宏教授に「設計論に立脚した広義のものづくり経営学」⁷⁾と題して、第4回目は京都大学の高山知司名誉教授に「沿岸防災設計とくに高潮・高波について」⁸⁾と題して講演して頂いた。講演を通じて“利用者視点の設計”の重要性を学んだ。さらに日下部顧問をコーディネーターとして、各回ごとに「性能設計のあり方」、「設計から施工へ」、「土質調査から見た設計」、「波浪調査から見た設計」と題してパネルディスカッションも行った。“設計情報に関わる上・下流側とのインターフェイス問題”を学んだ。その後、「広義の設計のあり方」を中間的にとりまとめるために、日下部顧問を座長とする座談会を2回開催した。

5. 現行の性能設計体系への提案

5-1 「広義の設計」とは

これまでの研修会や座談会を経て、今回「広義の設計」とは、

「港湾管理者もしくは国（以下、港湾管理者等）が港湾の施設を利用者や地域社会（以下、利用者等）に提供するにあたって、価値が最も高くなるように、利用者等の要求を機能本位で捉えて、その機能を最小の総費用（ライフサイクルコスト）で達成する手段を考えて実践していく体系的・組織的な活動」と定義してみた。この定義は、1954年に米国海軍造船局が設計段階で導入し、1988年には米国大統領府・行政管理予算庁が通達により連邦政府機関に適用を義務づけられた「価値工学（Value Engineering、以下、VE）」⁹⁾の定義そのものである。2018年12月の日下部顧問の講演以来、この定義をずっと考えてきたが、VEの基本思考である「①常に利用者の立場に立って考える。②果たすべき機能を追求し、機能本位に考える。③アイデアや工夫により、より良い方法を考え改善する。④メンバーの知識と技術を結集し、チーム活動で改善を行う。⑤機能とコストを徹底的に追求し価値向上を図る。」は、吉村顧問⁶⁾や藤本教授⁷⁾が講演された内容とも符号し、さらに「PORT2030」の基本理念に沿ったものであると確信した。

定義にある「体系的・組織的な活動」の主体は、港湾管理者等に所属する計画、調査・開発、設計、施工、運用・維持管理分野の担当者である。それを支援するのは、コンサルタント、施工会社、運用会社である。ここで「利用者」とは、港湾の経済効果分析¹⁹⁾で分類される産業として、港湾関連産業である船舶運航業、通船業、観光船業、水先案内業、綱取業、引船業、港湾運送業、倉庫業、荷役業等であり、また港湾依存産業である自動車、製鉄業、製造業、水産業、電気業、ガス業、港湾サービス業等である。「地域社会」とは、港湾所在の地方自治体である。「広義の設計」、つまりVEを実践することによって、以下に示すように「機能の向上・創出」によって利用者等に、併せて「総費用の低下」によって港湾管理者等に、伴にメリットが生まれる。

5-2 価値を高めるための思考法VE

以下、VE手法に沿って港湾の施設の設計を考えてみたい。まずはVEにおける価値は、次の式で定義される。

価値（V：Value）＝機能（F：Function）／総費用（C：Cost）

（1）機能とは

「機能」とは、港湾の施設やサービスの働き、効用、効果を言い、性能、信頼性、操作性、保守性、安全性、景観などである。VEにおいて「機能」を考える場合は、まずは利用者等にとって聞き込みをする必要がある。近年の海岸整備においては、住民との対話によるワークショップ型の設計が取り組まれているが、これまで余り取り組んでこなかった作業である。また現行の港湾施設やサービスをベースに利用者等が必要とする機能

は残し、逆に利用者等が必要としていない機能（過剰機能）を避け、現行の施設では盛り込まれていないが利用者等が求めている機能（不足機能）を加えて、洗練させていくことが重要である。

(2) 総費用（ライフサイクルコスト）とは

「総費用（ライフサイクルコスト）」とは、港湾の施設やサービスのライフサイクルのすべてにわたって発生する以下のコストをいう。

①港湾管理者等におけるコスト

対象の港湾の施設やサービスを開発・整備し、利用者等に提供して廃止されるまでに発生する次のコストの総額である。

- ・構想／企画／研究開発／設計にかかわるコスト
- ・部材／資材／外注調達コスト
- ・工事／設置
- ・環境対策、維持管理に関するコスト
- ・廃止や廃棄物処分に伴うコスト

②利用者等におけるコスト

- ・使用コスト（ランニングコスト）：運用コスト（オペレーターの人件費や教育費、エネルギー費、消耗品費など）、保全コスト（点検・保全要員の人件費や修理に要するコスト、予備設備費など）、故障や運転停止に伴う被害コストなど

(3) 価値とは

「価値」は「使用価値」で、“利用者等が期待する港湾の施設やサービスの機能を達成するための手段の適合性・有効性”を言い、「手段」をこの機能を達成するための“総費用（ライフサイクルコスト）”として、“価値＝機能／総費用”で捉える。

(4) 使用価値を高めるためには¹¹⁾

次の4つのケースが考えられる。この検討においては、港湾の施設の計画、調査・開発、設計、施工、維持管理・運用分野のメンバーが一堂に会し、メンバーの知識と技術を結集し、チーム活動で改善を行うことが必要である。藤本教授が、講演で言われた「円卓会議」である。

①機能維持と総費用低減による価値向上：Fは維持してCを低減する。

$$V(\uparrow) = F(\rightarrow) / C(\downarrow)$$

従来と同じ機能のものをより安いコストで提供する。例えば、近年のICT施工によるコスト低減がある。

②機能向上と総費用低減による価値向上：Fを向上させてCは低減する。

$$V(\uparrow) = F(\uparrow) / C(\downarrow)$$

より優れた機能をもつものをより安いコストで提供する。例えば、維持管理のコストダウンによってCを低減できれば、Fを向上させてもVを上げることができる。LCCの観点からの最低水

準問題が解決するのではない。また、途上国へのインフラ輸出において、我が国のより優れた機能を有するインフラを現地調達の人材、資材、機材を使ってコストダウンを図って整備すれば、相手国に価値の高いインフラを提供できるのではない。

③機能向上による価値向上：Fを向上させてCは維持する。

$$V(\uparrow) = F(\uparrow) / C(\rightarrow)$$

従来と同じコストでより機能の高いものを提供する。

④総費用の増加以上の機能向上：Cは少し上がるが、Fをそれ以上に向上させる。

$$V(\uparrow) = F(\uparrow\uparrow) / C(\uparrow)$$

コストは上がるが、いっそう優れた機能をもつものを提供する。代表は、「スマートフォン」である。これまでの防波機能に親水機能や生物共存型機能を付加した防波堤や防波護岸の整備もある。また途上国へのインフラ輸出においても、より機能の高いインフラを国内で開発すれば、多少のコストアップでも相手国に価値の高いインフラを提供できることになるのではない。

なお、上記の式からは「Fを低下させるが、それ以上にCを低減する」という価値向上のパターンも導き出せるが、機能の引き下げは別の港湾施設やサービスの開発と扱い、VEの範囲外である。

5-3 VEの性能設計体系への連動

上記の思考法VEにおいて使用価値を上げる4つの方法のうち、利用者等からの要求である「機能」を向上させる方法が最も多く3つある。従って、「機能」を向上させる手段を検討することが重要であることが明らかである。例えばVEにおいては、この機能を明確化するために「～を～する。」のように名詞＋動詞の形に定義する。例えば、扇風機の機能向上を図る場合には、①顧客が要求する働きとしての最上位機能：涼しさを提供する。（扇風機の目的）②それを達成する基本機能：風を作る。③基本機能を構成する補助機能：風の向きを変えられる。風量を増やすことができる。外観を美しくする。このようにVEは、機能本位で利用者等が求めている機能を追求していく技法である。従って、VEを港湾の技術基準における性能設計体系に連動させて、図4に示す枠組みとしてはどうであろうか。つまり、目的の直下位に「要求機能」を追加し、それを満たす「要求性能・性能規定」を下位に位置付ける。つまりVEによって検討された使用価値を向上させる「要求機能」を性能設計体系の枠組みに位置づけ、それに応じた要求性能を規定し、さらに、それを照査するための照査法と連動させる。そのことによって、技術開発や新技術の導入による照査法が検討されることになる。言い換えれば、利用者等を優先して施設を考えていくのであれば、利用者等は施設自体ではなく、その機能を求めているので、機能本位に考えるのは当然であ



る。このためにも、機能は上位概念として位置付けられる必要がある。この機能を確保するための技術開発であり新技術の導入であれば、技術者のやりがいにも繋がるのではないだろうか。

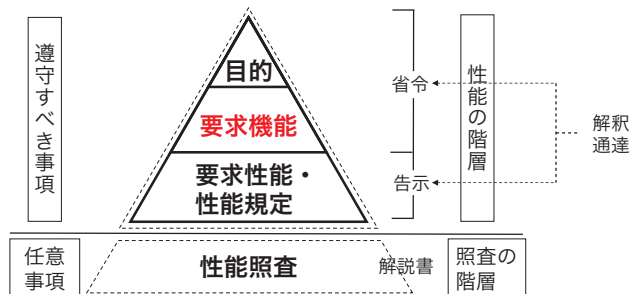


図4 新たな性能設計体系の枠組み

なお、要求機能については、「PORT2030」政策を踏まえて、既に2019年（2020年変更）に改訂された「港湾の開発、利用及び保全並びに開発保全航路の開発に関する基本方針」¹²⁾において、以下のような港湾の戦略的に果たすべき機能に関する事項が決定されている。

- 1) 我が国の産業と国民生活を支える海上輸送網の構築と物流空間の形成
 - ①グローバルバリューチェーンを支える国際海上輸送網の構築と物流機能の強化
 - ②資源・エネルギー・食糧の安定確保を支える国際海上輸送網の構築
 - ③将来にわたり国内物流を安定的に支える国内複合一貫輸送網の構築
 - ④我が国及び地域の基幹産業・地場産業を支える物流機能の強化と港湾空間の形成
- 2) 観光立国と社会の持続的発展を支える港湾機能の強化と港湾空間の利活用
 - ①観光を我が国の経済成長につなげるクルーズの振興
 - ②観光振興及び賑わい創出に資する港湾空間の利活用
 - ③海洋再生可能エネルギーの利用及び低炭素化に資する港湾空間の利活用の推進
- 3) 国民の安全・安心を支える港湾機能・海上輸送機能の確保
 - ①災害から国民の生命・財産を守り、社会経済活動を維持する港湾・輸送体系の構築
 - ②船舶航行及び港湾活動の安全性の確保

例えば、係留施設については「船舶に係留する」、「人を乗降させる」、「貨物を荷役する」の基本機能から、図5に示すように、新たな機能を付加することも考えられ、さらなる価値の向上を図ることができる。また、現在国土交通省港湾局¹³⁾で検討されている入船形式の船舶の安全・迅速な離岸・避泊方法や、沖合

避難が間に合わない場合、耐震強化岸壁等への安全な船舶停留方法など船舶側の視点からの検討が進められているが、如何に船舶側から要求される新たな機能を従来型の岸壁に付加できるかが論点となるであろう。さらに、先頃、同省海事局¹⁴⁾が“内航船員の働き方改革”のために調べた労働実態によれば、陸上労働者と比べて労働時間が長い傾向にあり、また、長期連続乗船といった厳しい就労環境下に置かれている。特に、荷役時間と労働時間の長さには相関関係がみられ、さらに、荷役の頻度が高い場合や、1回あたりの荷役時間が長い場合、労働時間が長時間に及ぶ事例がみられる。このような内航船員の立場に立った岸壁や背後ヤード、荷役システム等への自動化などの新たな機能の付加は考えられないであろうか。いずれにしても、このような視点で港湾の施設の設計を考えてきたことは少なかった。

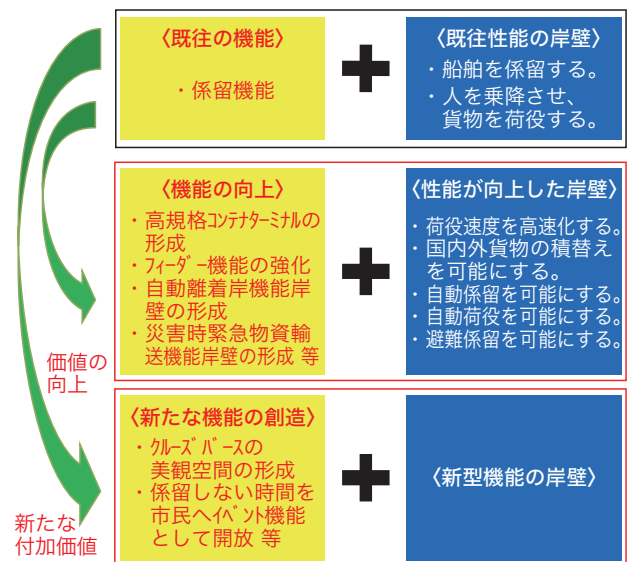


図5 港湾の戦略的に果たすべき機能を有する係留施設の開発(例)

5-4 VE検討の時期は

次に、VEによる使用価値を向上させる検討は、いつの段階で行った方がよいであろうか。企業の製品自体の高付加価値化は、これまでの加工・組立時だけでなく、その上流側である製品企画・設計の段階において市場ニーズや新しい技術領域の取り込み、設計やデザインの工夫による機能の高度化、どのような形状にすると作り易く、メンテナンスしやすいかなどを製品のライフサイクル全般にわたって最適化することによって生み出されると言われている。また図6は、仕様変更の自由度と品質・コストの確定度¹⁵⁾を示したものである。開発が進むに従って製造設備などが確定していくため、仕様変更の自由度は低下し、設計が完了した後の仕様変更の余地は極めて限定的なものとなる。その結果、仕様変更の自由度が高い設計段階で、製品の品質とコストの8割程度が決まると言われている。

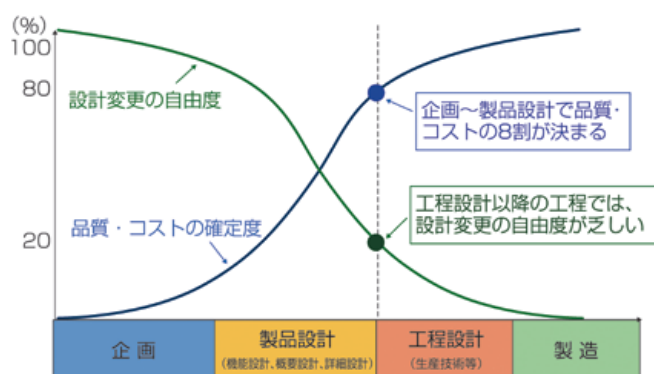


図6 仕様変更の自由度と品質・コストの確定度
資料：経済産業省作成 2020年版「ものづくり白書」

従って、できるだけ上流である港湾計画段階が良いが、例えば表1に示すように、新規事業採択時の事業評価段階において、港湾管理者等の計画、調査・開発、設計、施工、運用・維持管理担当者が一堂に会し、各メンバーの知識と技術を結集したチーム活動として、利用者等の使用価値の向上を目指すために、以下の過程¹⁰⁾の中で要求機能とライフサイクルコストを徹底的に追求しては如何であろうか。この検討においては、沿岸センター等の財団法人の役割が大きいのと思われる。

- ①利用者・地域社会の要求機能を把握、②要求機能の明確化、③要求機能の具体化（自然条件調査や技術開発計画の策定、概略設計の実施等）

6. 今後への願いと期待

以上、本論において、利用者等の視点重視の設計、つまり「PORT2030」で示された港湾の施設の付加価値を高め・提供するために、現行の性能設計体系に対して「要求機能」の概念を導入すること、またその「要求機能」を事業評価時等の上流段階においてVEによって検討することを提案した。

山本会長¹⁾によれば、性能設計体系の採用は①技術知識の希薄な一般市民と技術者とのコミュニケーションを増進しやすくする。②設計の自由度を増し、生産性を向上し、新技術等の導入のリードタイムを短縮する。③ISOに代表される国際規格との対応を可能にする。というメリットがあるされている。

昨年11月に設計士会は、国土交通省港湾局長宛にも上記の提案を行った。この際に現行の政令や告示の変更にも繋がるので、そこまでしなくても、その気になれば新たな港湾の施設の開発はできるのではないかという意見があった。これは、①で言われるように国内において公共事業を推進する上で重要であり、また③で言われているように途上国へのインフラ輸出のためにも重要である。特に港湾の技術基準の制定・解釈権を持つ国以外の港湾管理者や民間技術者には、重要な説明ツールである。

一方、上記②については、本論で再三述べたとおり現実にはメリットが発揮できていない。それは何故であろうか。現行の性能設計体系では、「要求性能」の定義通り「性能」、つまり生産者の立場で「数値化された能力」の観点から港湾の施設を捉えているからではないだろうか。今回の利用者等の視点重視の設計からすると、なかなか認識辛い用語でないだろうか。利用者等が求めるのは港湾の施設自体でなく、港湾の施設がもたらす「機能」であるからだ。さらに性能設計体系は一般市民への説明ツールであって、思考法を示したものではないのではないか。このため利用者等重視の設計という観点から、今回「要求機能」を性能設計体系に位置付け、それに至るまでの思考法を「価値＝機能/総費用」を追求するVEと連動させたのである。「機能」に目を向け、さらにその「機能」を満足するための解決策を、できれば設計士も一緒になって検討し、その解決策を実現するための様々な照査法も考えていきたいという願いを込めていると理解して頂ければと思う。利用者等重視の設計は、施設が出来れば直ぐにその効果が発現され、利用者等に喜ばれるものになり、技術者のやりがい、もっと言えば担い手の確保や育成にも大きな効果が期待できるのではないと思う。

上述したように、今回の提案は、国土交通省に向けている。つまり港湾の技術基準にない新たな機能の付加や創出、それに関わる性能の規定は、基準の制定・解釈権を持つ国が先導して頂く必要があるからだ。港湾管理者もそれを支援する民間企業も、法律上主導できない。筆者は、運輸省神戸調査設計事務所勤務時に和歌山マリーナシティにおいて我が国初めての親水性防波堤や護岸の設計¹⁶⁾に携わった。当時の設計担当者には、「市

表1 VE検討の時期（例）

	港湾計画段階	事業評価段階 ・利用者等の要求機能把握 ・要求機能の明確化・具体化 ・要求機能及び建設費等の費用対効果分析による概略設計 ・自然条件（土質、波浪等）調査計画、健全度調査計画 ・技術開発計画 等	調査・開発段階 ・自然条件（土質、波浪等）調査実施 ・健全度調査実施 ・技術開発 ・現地、室内実験 等	基本設計段階 ・要求機能実現のための最適案選定 ・性能規定 ・概略建設費 等	詳細設計段階 ・発注図面、数量 ・施工計画 ・予定価格算定 等	施工段階 ・施工設計 ・資材調達 ・施工 等	運用・維持管理段階 ・利用実態調査 ・維持管理 等
発注者：港湾管理者及び国	計画担当者 +運用会社G（支援）	計画、調査・開発、設計、施工、運用・維持管理担当者による合同会議+A（支援）	調査・開発担当者 +B（支援）	設計支援担当者 +B（支援）+C（支援）	設計担当者 +D（支援）	施工担当者 +E（支援）	運用・維持管理担当者+F（支援）
受注者	計画系コンサルタントA	財団法人+設計系コンサルタントB	調査・開発系コンサルタントC	設計系コンサルタントD	設計系コンサルタントE	施工会社F	運用会社G
所要時間	2～3年	1年	1～2年	1年	1年	3～5年	30～50年



民が防波堤を訪れて散策しながら、安全に快適に防波堤から前面の海や背後の港内の風景が眺められ、また市民が見て、親しみの持てる形状やデザインである防波堤」を作るという命題だけが与えられた。今考えてみると、これが「要求機能」であった。従来の防波堤設計を行い、さらに、当時土木では珍しいCGによる形状設計と視点場設計を大阪大学工学部建築学科の笹田剛史研究室と共同研究で行い、委員会によって避難施設、救護施設、荒天時入口封鎖などの安全対策の検討を行った。これが「照査法」である。当時は港湾の技術基準がなく大変な取り組みであったが、それでも技術者としては楽しくやりがいのある時間であった。ちなみに、当時のVE作業は設計会議の場であった。その後、高松港サンポート地区や下関港唐戸・あるかぽーと地区、さらに青森港、網走港などに全国的に展開し、現在では「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」における防波堤と護岸に「不特定かつ多数の者の利用に供する性能規定」として明記されている。

さらに、今回の提案は、同時に我々設計士にとっても、大きな意識改革を伴う。つまり、現在の設計士は、ほとんどが民間企業に属し受注者の立場である。設計士が、日下部顧問が示唆された「広義の設計」に自発的に取り組む姿勢は、目指すべき方向であるが、法律の壁が立ちはだかるのである。つまり、体系上目的から要求性能、性能規定まで法律事項であり、港湾管理者も民間企業も決して勝手に変えることができない領域である。港湾の施設は公共物であり、税金を投じて作られているため、法律の下に整備されるのは当然である。しかしながら、今後利用者等重視の設計が広がっていけば、設計環境¹⁷⁾は、これまでの“原因対応による作用設計”から、“結果追求による応答設計”に変わり、これまでより複雑で手間がかかり、さらに民間企業の出番が増えてくるのではないかと。今まで以上に民間企業は利用者等が求める機能を如何に性能に繋げていくかを発注者と一緒になって考えていく必要がある。さらに、そのことによって民間企業にも開放された照査法の提案が多く求められるようになるだろう。例えば菅首相は、今後の災害対策に対して、まずは自助、次に共助、最後に公助の順位であることを強調される。理にかなっていると思うが、併せて自助、共助が許容する値の設定とその値に抑える公助が必要となる。つまり、市民や企業に受け入れられる許容値(脅威と利用)を対話によって導き出し、その値を満足するように公助による利用、防護や避難・救護施設の照査法の提案が求められるのである。確かに、このことによって“正しく怖れる”という自助や共助精神が醸成され、過度な施設整備が不要となり海との共生を図った持続的な防護システムとなるだろう。今後は、民間企業や設計士に対しても、利

用者等の立場に立った、きめ細かな対応と適切な技術が求められることになるだろう。その覚悟と決意、さらなる挑戦が必要だ。

最後に、今回の提案の一つである「VE」の思考法は、利用者重視やチームで取り組む等、日本古来の“技術マインド”であるような気がする。藤本教授が言われる、日本企業が得意とする「擦り合わせ手法」である。また、2018年10月に広島で開催した設計士会第7回研修会において、三浦正幸広島大学名誉教授に講演して頂いた「世界遺産・海洋構造物“厳島神社”の工夫と維持管理に学ぶ」¹⁸⁾で示された、建造後850年余りを経ても、これまでに本社、拝殿、祓殿などの建物は、高潮・高波、地震などで壊れたことがなく、またその景観美や構造上の維持管理が尽くされている設計法は、まさにこの思考法によるものではないかと改めて思った。一方、欧米人は、自分たちにはない真逆な思考法、例えばISOなどを標準化することを得意とする。「VE」もこれだとすれば、現代の日本人技術者にとっては、古来技術思考法の温故知新であり、「VEの性能設計体系への連動」は、和魂洋才であろうか。

〈参考資料〉

- 1) 山本 修司：「性能設計体系への移行における課題と展望」、土木学会招待論文、2005
- 2) 国土交通省港湾局：港湾の中長期政策「PORT2030」、2018
- 3) 八尋 明彦：「日本型港湾開発」の特質について、「港湾」(社)日本港湾協会、1990
- 4) (公社)日本港湾協会：「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、2018
- 5) 日下部 治：「設計士に期待すること」、第8回海洋・港湾構造物設計士会研修会、講演資料、2019
- 6) 吉村 達彦：「問題発見と未然防止/製造業(自動車産業)の視点から」、第9回海洋・港湾構造物設計士会研修会、講演資料、2019
- 7) 藤本 隆宏：「設計論に立脚した広義のものづくり経営学」、第10回海洋・港湾構造物設計士会研修会、講演資料、2020
- 8) 高山 知司：「沿岸防災設計とくに高潮・高波について」、第11回海洋・港湾構造物設計士会研修会、講演資料、2020
- 9) 玉井 正寿：「VEと標準化 その考え方と実施例」、日本規格協会、1981
- 10) 黒川 篤：「設計という名の問題解決」、オーム社、1997
- 11) (社)土木学会：「VEの公共事業への適用性に関する研究業務報告書」、1996
- 12) 国土交通省港湾局：「港湾の開発、利用及び保全並びに開発保全航路の開発に関する基本方針」、2020
- 13) 国土交通省港湾局：「海・船の視点から見た港湾強化検討」、委員会資料、2020
- 14) 国土交通省海事局：「船員の働き方改革」、交通政策部会海事分科会船員部会資料、2019
- 15) 経済産業省：「ものづくり白書」、2020
- 16) 八尋 明彦：「親水機能を有する海域構造物の設計の体系化に関する研究」、九州大学学位論文、2008
- 17) 久保 司郎：「逆に考え、逆に解く」、オーム社、1997
- 18) 三浦 正幸：「世界遺産・海洋構造物“厳島神社”の工夫と維持管理に学ぶ」、第7回海洋・港湾構造物設計士会研修会、講演資料、2018
- 19) 中野 勉、稲村 肇：港湾経済効果の計測手法、港湾技術研究所報告第21巻第2号、1982
- 20) (社)日本建築学会 建築法制委員会：「建築基準法の性能規定化のあり方に関する提言」、2007
- 21) 剣持 三平：「建設業へのVEの適用に関する提案」、土木学会論文集F4、2012



技術基準の国際展開の方向性

横田 弘

北海道大学大学院工学研究院特任教授

わが国において港湾の施設を建設、改良、維持する場合には、港湾法の規定により港湾の施設の技術上の基準に従わなければならない。この技術上の基準は、省令、告示の「条文」および基準を運用する際の具体的な考え方を示した「解釈」から構成されている。2007年の改訂から技術上の基準ではいわゆる性能規定型の体系が採られており、条文および解釈で要求性能や考慮すべき作用の設定等の根幹的かつ遵守すべきことのみが規定されている。しかし、これだけで港湾の施設の建設、改良、維持を行うことは容易ではないため、参考となる技術情報や標準的と考えられる検討項目や検討手法の例も合わせて「解説」として掲載し、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」として世に出している。性能規定の体系では条文と解釈に基づいて作用（荷重等）およびそれに応じた要求性能を設定し、プロジェクトの制約条件を考慮して施設（構造物）形式、寸法諸元、材料強度等を仮定し、要求性能に応じた作用の設計値と構造応答の限界値を求め、受容され得るリスクを考慮してその

性能が確保されていることを技術者が自由に選定した手法をもって照査する。本稿では、この流れを考慮して、基準と解説を合わせて「技術基準」と総称し、その国際展開の方向性について私見を述べる。

図1は、規格のヒエラルキーとそれらの相互関係を示している。最上位に位置する国際規格（ISO）、次いで地域規格、国家規格、団体規格、社内規格と続く。周知のように、WTO/TBT協定と政府調達協定では「国際規格が存在する場合には協定批准国家はその強制基準、任意規格を問わず国際規格に従う」ことが求められている。また、ISOとCEN（欧州標準化委員会）は「重複した規格作りはしない」というウィーン協定を結んでおり、ENがISOと同等に扱われる素地がある。ただ、著者の知り得る限りにおいて、港湾の施設の設計に関する国際規格（基準）は存在しないため、技術基準は「規格の整合化」を行わねばならない切羽詰まった状況下にはないし、逆に技術基準を国際規格として積極的に展開していくことも可能である。

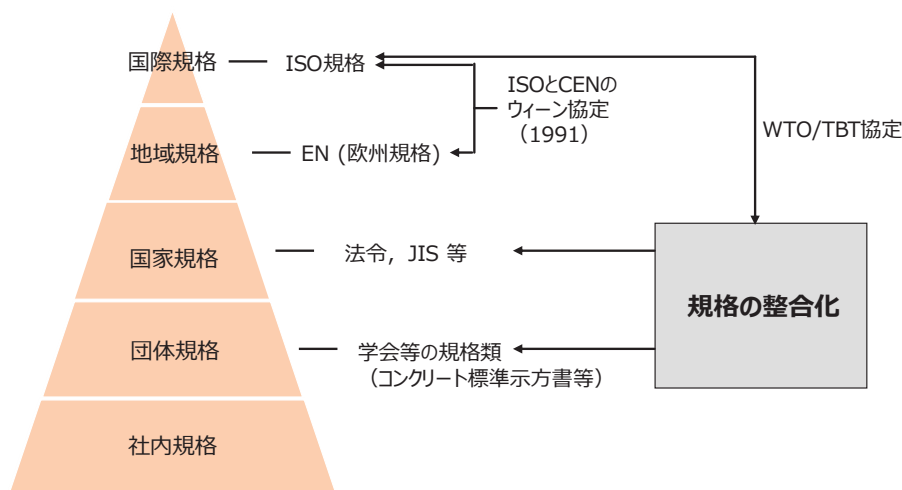


図1 規格のヒエラルキー



技術基準をはじめとしてわが国における建設分野の技術的な基準は、分野あるいは構造種別・材料ごとに、学術的知見と豊富な設計・施工の実績等に基づいて、事業主体ごとに独自に制定されている。港湾以外にも、「道路橋示方書」や「鉄道構造物設計標準」がその代表例としてあげられる。建築分野においても、建築基準法に基づき建物の種類や規模ごとにそれぞれ基準が制定されている。このような中、規格（基準）の整合化あるいは技術基準そのものの国際規格化のためには、事業主体ごとではなく統一したわが国が一枚岩となるべき明確な規格の体系を確立する必要がある。明確な規格体系とは、材料や構造の種類、施設に拘わらず根幹的に統一された包括的な規格の下に、各規格が有する性格を階層構造に位置づけて整備していくことである。例えば辻先生は設計分野に関して次の4つのレベルの規格体系を提案しておられる¹⁾。レベル1：構造物の基本的要求性能と構造物に用いる各種の資材・製品の基本的要求性能と品質について性能規定型の基幹となる設計方法を規定、レベル2：構造物の設計の基本を規定、レベル3：構造材料ごとの設計・施工・維持管理の各方法の具体的内容を規定、レベル4：施設や構造物の種類別に設計方法と施工方法また必要ならば独自の構造材料・製品の品質などについて上位レベルに整合させて規定。これに当てはめてみると、技術基準は、条文と解釈がレベル1、解説がレベル4に相当しており、海外から見るとわかりにくい体系になっているかもしれない。一方、わが国には、レベル2に相当するすべての基準類、規格類を包括する構造物の設計の基本が存在しない。2002年に国土交通省が「土木・建築にかかる設計の基本」を制定したが、これが唯一包括的設計規格に相当するものを目指したものと言える。しかし、JIS化などは行われず、存在自体の認知度が低下しているとともに、内容についてもやや陳腐化したままで国土交通省内での技術資料にとどまっており、現在はその地位にあるとはいえない。国際規格ではISO 2394（構造物の信頼性に関する一般原則）、欧州規格ではEN 1990（Eurocode 0, 構造設計の基本）がこの役割を担っている。ISO 2394をそのまま和訳したものとしてJIS A 3305「建築・土木構造物の信頼性に関する設計の一般原則」が2020年4月に制定されたが、内容は建築物に重きが置かれたものとなっている。

このような体系がなぜ必要かという点、技術基準がそれ自身にとどまらず、多くの基準や規格類を引用し参照しており、これらがファミリーとなって技術基準の体系を構成しているためである。例えば著者が専門とするコンクリート構造部材の設計を行おうとすると、材料の品質規格を規定しているJISや照査式を提供している土木学会コンクリート標準示方書等、ある

いは施工精度を規定する共通仕様書等を引用・参照する。これが、構造物の設計における規格体系の複雑さである。したがって、技術基準が国際規格としての地位を持とうとすると、付随している周辺の各種規格類もすべて国際規格としての性格を有し、統一した考え方で一本の筋が通っている必要がある。最近では多くのJISがISOとの整合性を持つようにされてきている。一方、レディーミクストコンクリートを規定するJIS A 5308は、類似の国際規格であるISO 22965と整合しておらず、我が国独自の規格としての位置付けである。港湾の基準におけるコンクリートの品質についてはJIS A 5308を念頭において記述されているが、コンクリートの品質管理の方法は設計変数のばらつきに影響を与える重要なものである。このように、関連するすべての基準類、規格類が共通した考えで制定されている必要がある。

次に国際化で重要なポイントは、使用の容易さである。相応のレベルにある技術者の誰もが間違いなく使用できるようになっていなければならない。欧州規格のユーロコードは、各国が自由に設定できる安全率等の設計パラメータとしてNDP（Nationally Determined Parameters）がある。NDPを導入したおかげで、欧州の設計法が統一されたという利点が大いなもの、あまりにも多くのNDPが設定されたために、非常に複雑になっているという弊害があると聞く。そのため、次のユーロコードの改定では、適用の容易性（Ease of use）を目指しているようである。これは、ユーロコードを欧州域外にも展開し、いずれ国際規格としての地位を築こうとする欧州の戦略があることによる。技術基準は汎用性の高い内容になっているが、高度な設計技術や照査技術を必要とする重要あるいは複雑な施設と、そうでない施設とで照査のレベルを書き分けていくことも、使用者の便を考えた国際展開のためには必要かもしれない。

公共調達の透明性の確保とともに国際調達における技術的障壁の撤廃が求められる今、技術基準の世界戦略はますます重要である。インフラの分野でも多様なISOの制定が進められており、それを意識した技術基準の改訂が求められるとともに、長期的に技術基準のISO規格化を視野に入れて世界各国と協調していくことが望まれる。そこでは技術基準が100%すべて採用されることにはならないと思われるが、性能規定の体系を旗印として世界で最も設計体系をリードしているわが国の技術基準が果たす役割は大きいと期待している。

〈参考文献〉

- 1) 辻幸和：ISO規格に対応する「設計の基本」のJIS規格化、コンクリート工学, Vol. 58, No. 2, 2020年12月, pp. 966-972.



港湾分野における性能設計の役割と次世代設計基準の方向性

宮田 正史
福永 勇介
菅原 法城

国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室長

国土技術政策総合研究所 港湾研究部 主任研究官

国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室 研究官

1. はじめに

本稿では、まず港湾分野における性能設計を主題として、その導入効果、基準類や新技術導入との関係性について考察する。次に、H30（2018）年の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾（設計基準とよぶ）の改訂作業を振り返り、これまでの改訂変遷におけるH30年改訂の位置づけを試みる。そのうえで、次期設計基準の改訂に向けた方向性を論じる。最後に、性能設計と設計基準に対するさらなる期待を述べたい。なお、本稿の内容は著者らの意見であり、著者らが所属する組織の見解を示すものではない。

2. 港湾分野における性能設計

「港湾の施設の技術上の基準」（技術基準）は、H19（2007）年に性能規定化され、それ以降発行された設計基準は性能規定型へと移行した。以下、性能設計の導入効果、および性能設計と基準類や新技術との関係性について考察する。なお、本稿では、性能設計を「実際に求められる性能を明示し、その性能の実現を中心に据えた設計やその体系」と捉えて、論を進める。

■性能設計の導入効果²⁾

性能設計を行うためには、設計者（施設の発注者や管理者等を含む広義の概念）が施設の目的、要求性能、性能規定や維持管理方針等を明確に設定することが鍵となる。しかしながら、性能規定化以前の設計実務ではそれらの事項が必ずしも明確に設定されていない場合もあった。性能設計の導入により、「施設の目的は何であり、その施設に対してどのような性能を求め、その性能を満たすための性能規定は具体的にどのような指標・許容値で規定し、どのような照査方法で確認すべきか。そしてどのように点検や維持管理を行い、地震等が発生した後にどのように復旧していくのか。」という、本質的に重要な内容

について十分に議論・整理してから設計を進めることの重要性が、あらためて強く認識されるようになったことが設計実務に及ぼした最大の効果であると考えている。

例えば、レベル2地震動に対応した耐震強化岸壁については、地震直後にどのような性能を求めるかを設定する必要があるとともに復旧に必要な施工計画・工程などの検討も必要となり、従前より綿密な検討が必要となる。また、従来、岸壁とコンテナクレーンは個別に耐震設計が行われていたが、性能設計の本来主旨に照らせば両者が一体となって初めて所要の耐震性能が確保されるため、現在では一体的な耐震解析が行われる。また、防波堤や防潮堤についても、設計条件を越える津波が作用した場合であっても、多重防護の考え方に基づき背後地域の減災をどう達成するか、そして個々の施設については容易に倒壊に至らないように「粘り強い構造」とするために、水理模型実験や数値解析を利用して構造断面を決定するなど、まさに性能設計導入の狙いを具現化した設計が行われている事例も多い。

■新技術導入の難しさ

一方で、当初の目論みどおり、性能規定化により設計者が自由な選択肢を持ち、設計者の創意工夫を活かした、より低コストで高品質な施設整備につながっているかという点については、期待された効果は得られていないという声をよく聞く。しかし、これは性能設計の導入有無に関わらず、様々な要因が複合的に影響した結果であると考えられる。高度経済成長期の直轄事業では、発注者自らが民間企業や研究所等と連携して技術開発を行い、その成果をそのまま事業に活用することも多かった。様々な新構造形式の防波堤が全国の港湾で試行されたことに代表される。しかしながら、現在は、コンプライアンス上の問題（特定の新技术・工法の採用にあたっての公平性・透明性等の確保）、予算決定から事業着手までの時間が極めて短いこと、直轄職員の職務範囲が拡がり、かつ設計の高度化と相まって



設計技術に詳しい職員も減少していることなど、当時と比較すると新技術導入のハードルは高い状況にあると考えられる。特に、事業着手までの時間が短いと、新技術を導入するための技術的な検討時間がないため、あえてリスクのある新技術の導入は避けることになる。また、実務的には、単年度で実施する基本設計の中で新技術導入を決める必要があるが、外注実施して行う基本設計では、既存のマニュアルや施工実績のある汎用化された技術をベースに検討することになるため、やはり革新的な新技術の導入は難しいと考えられる。このように、性能設計を導入しても新技術の導入が進まないということではなく、上述したような様々な要因が複合的に影響した構造的な問題であるのではないかと考える。

■性能設計・設計基準・新技術導入の関係性

図1に、著者らが考える「性能設計・新技術・基準類との関係性」の概念図を示す。性能設計を「実際に求められる性能を明示し、その性能の実現を中心に据えた設計やその体系」と捉えれば、設計基準の有無に関わらず、その設計理念は上位に位置する概念であろう。また、新技術や既存技術をどのように選択し、組合せて利用するかも、理想とする実現したい性能を考慮して決定すべきものと捉えれば、やはり性能設計のコンセプトは新技術を包含する上位概念と位置づけるのが妥当であろう。

さらに、性能設計を高いレベルで実現するためには、事業の進め方や入札契約方式も関係するであろう。土木インフラの整備の場合には、大規模プロジェクト等で発注者側が性能設計の枠組みを大いに活用し、自らが意識的に先導して新技術や新設計法の導入を目指すことは重要であろう³⁾。また、設計・施工一括発注方式などにおいても、基本設計から技術提案を受けて施設を整備するという方法も一定の割合で行い、常に新技術や新設計法が導入されやすい環境づくりも必要であろう⁴⁾。

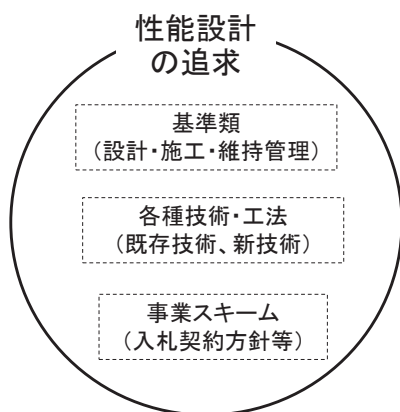


図1 性能設計・新技術・基準類との関係性

設計基準の整備は、公共インフラとして同程度の安全性レベルの施設を同じ手法で効率良く設計するには、非常に有効である。標準化により、設計手間を減らすことが出来るとともに、設計ミスも防止できる。しかしながら、設計基準は独り歩きすることが多いので気をつけなければならない。図に示すとおり、性能を追求した設計の中で、設計基準に記載されている設計法や標準的な構造形式が当該プロジェクトにとって適切であるのかを判断しなければならない。設計基準>性能設計、と主従が逆になることは避けなければならない。設計基準の細かい記載内容を全て遵守しなければならないとなると、それは思考停止状態であり、新しい展開は生まれない。常に「性能設計」に重心を置けば、このようなことには陥らない。性能設計の枠組みを最大限活用しながら、社会全体に性能設計のメリットを今まで以上に還元できるようにしていくことが今後の課題であろう。

3. H30設計基準の改訂骨子と位置づけ

図2に、H19年からH30年基準改訂までの主要な検討経緯や社会的ニーズの変遷を示す。改訂までの約10年間で様々な課題やニーズが発生していることが分かる。大きな視点で捉えると、H30基準改訂の骨子が見えてくる。

■防災・減災対策強化への対応

2011年東日本大震災を受け、津波に対する防災・減災対策の強化が重要テーマであった。このため、防波堤や防潮堤の耐津波設計に関わる基本理念や設計技術が拡充された。また、耐震強化施設で利用される鋼管部材の靱性(粘り強さ)を設計に反映する手法も盛り込まれた。また、東日本大震災時に復旧設計を行うための調査・試験の計画立案・実施に苦労した経験を踏まえ⁵⁾、港湾施設の復旧のための調査手法を時系列的(初期調査、緊急復旧調査、本格復旧調査)に整理した結果も盛り込まれた。

■維持管理時代に相応しい設計基準

2012年の笹子トンネル崩落事故を受けて、既存施設の点検強化や維持管理を考慮した設計の徹底も重要なテーマであった。また、港湾では、ふ頭の統廃合による再編や係留施設の増深などの改良事業が急増していたが、これまでの設計基準には改良設計に関する記載がなく、その対応も急務であった⁶⁾。さらには、改良設計を実施する際には、当該施設に係る各種の履歴データ(設計図書、施工管理時の各種データや竣工図書など)が必要となるが、それらの情報が逸散しており、改良設計時に苦労する事例も散見された。このため、調査・設計・施工・維持の連携強化や重要情報の保管・伝達的重要性もあらためて認

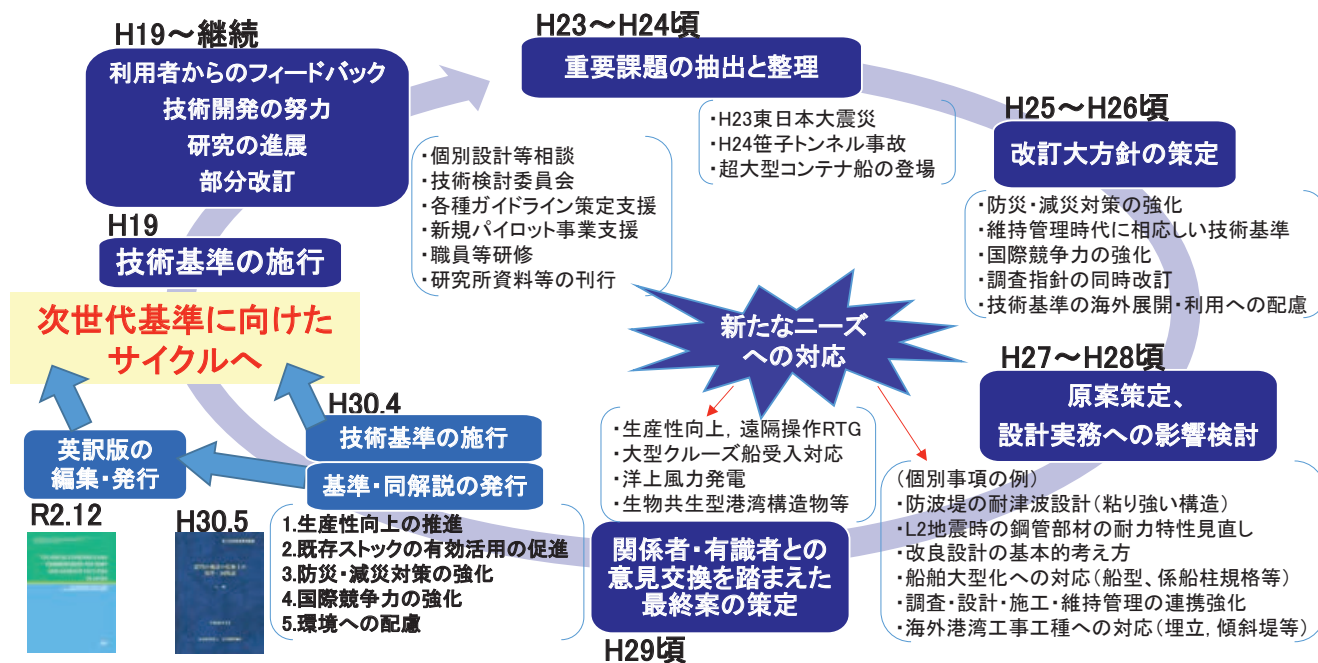


図2 H30設計基準改訂の検討経緯と社会的ニーズの変遷

識されていた⁷⁾。このため、H30基準改訂では「維持管理時代に相応しい設計基準」の変換点になるように、事業全体を通じた調査・設計・施工・維持の連携強化や後工程を考慮した業務の重要性（全体最適の視点）、改良設計の基本的な考え方などが新たに盛り込まれた。

■多様な基準ユーザーの利便性に配慮した設計基準

様々な基準利用者からのニーズへの対応も重要なテーマであり、H30基準で新たに盛り込まれた内容は多岐にわたる。国交省港湾関係の直轄職員からは、「港湾調査指針」（S46発行・S62改訂、港湾協会発行）への改訂要望があった。その背景は、設計前に実施する各種調査は極めて短期間で計画を立て実施しなければならないが、常時微動観測など調査方法も高度化し、多岐にわたるため、若手職員の勉強時間もなく技術伝承も難しいので、港湾施設に関する各種調査が俯瞰できる基礎的な技術資料を整備して欲しいというものであった。このため、参考技術資料として「観測・調査および試験」が追加された。国内の基準利用者（港湾管理者、コンサルタント、施工企業等）からは、H11基準に掲載されていたコンテナふ頭やマリーナなどの施設用途ごとに計画や設計上の留意点をまとめた解説を復活して欲しいとの要望が寄せられた。このため、H30基準では、H11基準に記載されていた内容を最新の情報に基づき更新するとともに、クルーズふ頭編をあらたに策定し、これらを

設計基準に盛り込んだ。また、海外プロジェクトでの利便性にも配慮し、傾斜堤と埋立造成に関する記載が拡充された。世界的に採用が多い防波堤構造は傾斜堤であり、新規港湾プロジェクトでは埋立造成が必須であることが多いため、これらに対応するためである。

■H30基準改訂の位置づけ

以上を踏まえると、H30基準改訂は、これまでの基準の枠組みを踏襲しつつも、大きな転換点として位置づけられるのではないかと考えられる。

- ・性能設計のさらなる深化に向けた新たな起点
- ・直轄基準から国内外の多様な基準ユーザーのための基準への転換点
- ・新規施設と既存施設を対象にした維持管理時代に相応しい基準への転換点
- ・計画・調査・設計・施工・維持管理の幅広い分野に対応できる基準への転換点

4. 次世代港湾設計基準の改訂方向性

本章では、今後の港湾設計基準の改訂に向けた大きな方向性について、著者らが考えていることを示す。なお、あえて高いハードルを課した目指すべき設計体系の方向性を提示しており、次期港湾基準での実現可能性の確認を経たものではないの

で、その点は留意して頂きたい。

■利用者ニーズ・生産性を考慮した設計体系

基準策定の良い点は、作業の効率化にある。ただし、注意を要するのは、基準を一旦定めると、その見直しは容易ではないことである。基準を策定した前提条件や適用範囲が現状にそぐわない場合や、基準が足かせとなり利便性や生産性が損なわれるような場合は、基準は速やかに変更する必要がある。例えば、既存岸壁の増深改良時に船舶との衝突防止のための岸壁築造限界の考え方次第で、改良工法や改良工費が大きく変わる場合もある。このような場合に、利用船舶やその接岸・係留運用条件（接岸角度、自動係留装置の導入、波浪・風速等の運用条件）ごとに照査を行い、最適化を図っていくことは性能設計の観点からは推奨される。その際、設計基準では、衝突防止の考え方や安全性レベルの目安、施設整備側と利用者側の責任分界点の明示などが記載されるべきである。港内静穏度や自動化ターミナル内での労働安全性への対応などについても類似した課題が内在する。

以上に示したように、施設利用者の利便性や生産性の向上ニーズに対応するための枠組みの明示やその照査技術を充実化していくことは、次世代基準の一つの方向性であろう。

■災害対応力の向上に配慮した設計体系

周知のとおり、我が国は自然災害が多い。港湾施設も、地震、波浪・高潮、津波等により幾多の被災を受けてきた。同じコストで整備するのであれば、被害を少なくし、かつ復旧しやすい構造であることが望まれる。例えば、ケーソン式防波堤であれば、設計条件を越えるような津波や波浪が来襲した場合でも、ケーソンが基礎マウンドから滑落・転倒しなければ、波高伝達率も一定程度に保たれ、かつケーソンを再利用した復旧も可能である。

また、地震直後の岸壁の利用を考えた場合、目視点検しかできなくとも岸壁の利用可否の判断をより早く・正確に行うこと

が求められる。例えば、矢板式岸壁であれば、岸壁の天端の変形は発生していないが、矢板本体が海中で大きく孕みだしている場合（図3の右図）は、船舶に損傷を与えてしまうため、水中での変状調査が必要となる。一方、矢板が前傾し、構造全体が海側に変形する破壊モード（図3の左図）に設計がコントロール、もしくはその破壊モードしか発生しないことが事前に確認されていれば、岸壁天端の変形量が限界値を超えなければ水中部の健全性も確保されているという迅速な判断ができる可能性がある。このように、崩壊の形態を予測あるいは制御できるような設計法の導入は、災害対応力の向上に直結するため、今後の次世代基準に向けて検討すべきテーマであろう。

しかしながら、災害対応力の向上のためには、個々の施設の性能照査だけでは限界がある。このことは、図4のような防波堤、岸壁、防潮堤の組み合わせを考えると直ぐにわかる。防波堤が完全に倒壊した場合には、岸壁および防潮堤に作用する波は厳しくなり、荷役への支障から港湾全体としての機能低下に直結するが、防波堤が変形しても倒壊せずに留まれば、機能低下の程度は緩和されるはずである。現在、港湾施設の設計は、施設ごとに設定された要求性能のみに基づいて行われているため、このような被害の連鎖やそれに伴う港湾機能の低下を考慮することができない。このため、次世代基準に向けては、様々な施設・設備から構成されている港湾をシステムと捉え、各種作用（地震、津波、台風等）に起因するシステムの機能低下程度をハード・ソフト一体として照査できる体系を導入するなど、実際の災害対応力（緊急物資輸送や通常荷役の機能維持と災害後の早期復旧）に直結するような枠組み構築も重要なテーマであると考えられる。

■サステナビリティを考慮した設計体系

既存の港湾施設の多くは高度経済成長期に集中的に整備されており、今後急速に老朽化が進展することが懸念されている。その一方で、財源は限られているため、新規施設の整備も、既存施設の延命化・改良・更新・統廃合も、次世代に何をどう遺し

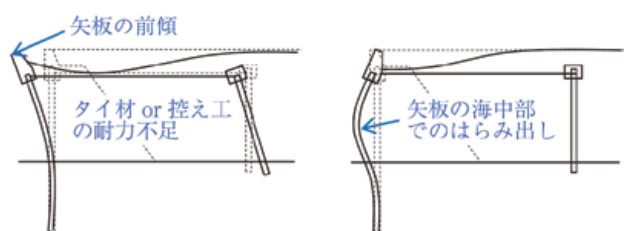


図3 矢板式岸壁の破壊形態の例

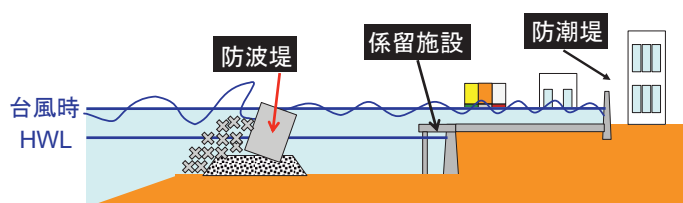


図4 台風時の防波堤・岸壁・防潮堤の被害連鎖のイメージ

ていくかが問われている。新規施設については、例えば、二酸化炭素の排出量を貨幣換算した上での設計断面比較に基づき工法を決定するなど、新たな社会的要請への対応の必要性が高くなるであろう。また、既存施設の改良では、気候変動への対応を全国一律に実施するのではなく、物流機能の維持にとって極めて重要となる港湾の防波堤を選択し、当該施設の設計外力を引き上げ、必要な対策を優先的に進めることができる設計体系も必要になる。ちなみに、国内の防波堤の設計波は50年確率波が標準であるが、海外港湾では100年確率波とする場合が多い。

以上のように、広く捉えれば、社会インフラの長期的な効用を最大限に高めるために、変化する社会要請に沿った合理的な断面決定を可能とするような、サステナビリティを考慮した設計体系の構築も、次世代基準に向けた一つの方向性であろう。

■数値解析や各種データを活用した全体最適を考慮した設計体系

近年、港湾施設の設計でも、有限要素法や差分法に代表される数値解析の利用が増加している。耐震強化岸壁を対象とした2次元地震応答解析に加えて、改良設計における新旧部材が組み合わさった複雑な断面を対象とした構造解析や、3次元流体解析による複雑な断面形状の護岸での波力や越波量の評価などが該当する。数値解析の利用自体について問題はないが、解析ツールがブラックボックス化し、ユーザーが解析結果の妥当性を直感的に判断することが難しいなどの課題がある。数値解析の品質確保および信頼性向上に向けた取組みとして、数値解析に対するV&V (Verification and Validation) の方法論の確立と標準・ガイドラインの策定が各国・各分野にて進められており、次世代基準では数値解析の利用ルールの明示が望まれる。

また、調査・設計・施工・維持管理の建設生産プロセスのさらなる効率化を図るために、BIM/CIMや各種のICT技術、規格化・標準化された部材、調査や施工段階で得られた計測・施工管理データなどを最大限活用できる標準的な設計プロセスの提示なども必要であろう。実現するのは容易ではないが、例えば、BIM/CIMによる構造計画と構造設計・数値解析とを連動させて、より合理的な構造断面を探索しながら、施工時の自動化・省人化や規格化・標準化された部材の活用効果を見極めつつ、設計・施工の建設プロセス全体としての生産性向上が見込める設計を探索するというのが、本来求められていることである。

■汎用性のあるレベル1信頼性設計法（部分係数法）への転換

国内外の多くの設計基準では、信頼性設計法が既に導入されている。港湾分野でも、H19基準からレベル1信頼性設計法

（部分係数法）が導入された。しかしながら、現場の設計者や関係する研究者から、当時の部分係数法に対する様々な意見が寄せられた。代表的な意見としては、「部分係数の解釈が難解で設定方法も煩雑であり、部分係数が細分化され過ぎており、計算ミスを起こしやすい（部分係数の簡素化ができないか）。」や「部分係数の適用条件（構造形式や諸元、荷重・材料条件等）についての制限が多く、その適用範囲も明確ではない。もっとタフに利用ができる部分係数とならないか。日本の部分係数を海外の港湾工事で利用する際に、その適用可否について判断ができない。」などが寄せられた。このため、H30基準で提示した部分係数のフォーマットは、荷重ソース及び抵抗要因ごとに荷重係数・抵抗係数を細かく設定できるようにしているものの、設計実務での利便性を優先して部分係数の数を極力減らしている⁸⁾。

これまでの経緯を踏まえつつも、次世代港湾設計基準では、国内外で汎用的に利用ができる部分係数の提示が必要であると考えている。現状残されている大きな課題としては、以下があげられる。

- ・全ての構造形式および照査項目に対して信頼性解析結果に基づくキャリブレーションされた部分係数が提示されておらず、従来の安全率法に相当する照査方法も混在している。地震作用に対応する部分係数も定められていない。
- ・全体安定性の照査に対する、荷重の組み合わせに関する考え方が提示されていない。
- ・全体構造と部材の安定性の照査において、両者の部分係数の一貫性がない。
- ・蓄積された各種データを活用し、柔軟に部分係数を更新するような体系になっていない（レベル1地震動に対する照査用震度の設定法については、過去の岸壁の被災・無被災事例データを用いた妥当性の検証がなされているが、そのような検証を継続的にを行い、必要に応じて設計法や係数をデータに基づき更新していくことが重要である⁹⁾）。

これらの課題は、H19基準から続いているものであり、今後の改善が望まれる。

5. おわりに

最後に、「性能設計」と「設計基準」に対するさらなる期待を述べたい。

本稿で繰り返し述べたとおり、性能設計の理念を中心に据えれば、従来見逃されていた照査内容の改善やマニュアルどおりの思考停止状態での設計作業からの脱却などが、継続的に図られることになる。また、実現したい性能を達成するために、新技

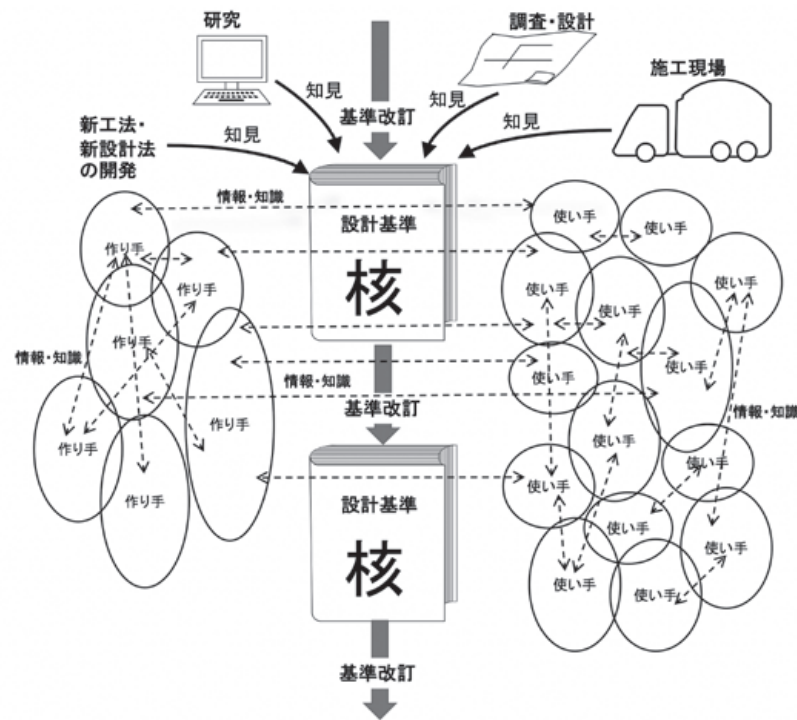


図5 技術伝承の土台(核)としての設計基準の役割(イメージ)¹⁰⁾

術の開発・導入への挑戦や、新技術導入を誘導するような入札契約制度への変革なども促されることになる。また、今後はこれまで以上に港湾での災害対応力の向上が求められるが、単体施設の性能照査だけではなく、港湾全体をシステムとして捉えて性能・機能を照査していくという方向性も、性能設計の範疇であろう。また、港湾全体システムの性能・機能レベルが、地震・津波ハザードの変化や気候変動による海面上昇や波浪等の極端化に対して、どのように応答するかを中長期的にモニタリング・予測し、それに対してどのような対策(ハード・ソフト)を段階的に講じていくかを検討することも、性能設計の目指すべき方向性であろう。まだまだ多くの課題が残されているが、今後も性能設計をさらに深化させていくことが社会的に期待されていると考えられる。

設計基準の策定とその継続的な改訂は、技術継承に大きな貢献をしていると考えられる(図5)。設計基準をきっかけとして、設計基準に記載されている文面だけではなく、その背景となる考え方や根拠なども含めて、何らかの知識や技術が技術者を介して伝達されるからである¹⁰⁾。設計基準という核となる書籍があり、それを継続的に改訂することで、組織や時代を超えて、様々な技術や技術者が自動的かつ有機的に繋がり、技術者間で重要な情報や知識が継続的にやり取りされる。ただし、近年は、技術継承を行うべき技術者の絶対数が減少し、かつ技術的な検討を行う時間の余裕がない事業も多く、技術継承は極めて難しい問題である。また、設計基準が対象とする施設、構造形式や設備は、年々、多種多様化し、その対象範囲は拡大す

る一方である。さらに、国内に加えて、設計基準の英訳版が海外のODA港湾プロジェクトでも利用されており、その使い手も多様化している。このような状況の中、港湾関係技術者の育成や技術者間の技術伝承に対して、設計基準を上手に活用していくことも重要な視点であろう。

【参考文献】

- 1) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，2018。
- 2) 宮田正史，中野敏彦：港湾分野における性能設計，2013年度日本建築学会大会(北海道)研究集会 建築学会構造部門(荷重)－パネルディスカッション「建築物の性能設計・再考～想定外事象も踏まえて～」。
- 3) 三木千壽，日下部治，依田照彦，池上正春：東京ゲートブリッジに適用された新技術とその波及効果(座談会)，土木学会誌，Vol.97，No.3，2012。
- 4) 宮田正史，宮本久士：羽田空港D滑走路整備がもたらしたものは何か？～設計・施工一括発注方式による土木技術の進化の可能性～，土木学会誌，Vol.97，No.5，2012。
- 5) 国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所：地震・津波被災調査実施要領，平成26年3月。(http://www.pa.thr.mlit.go.jp/sendagicho/pdf/hisaichosa-youkou.pdf)
- 6) 西岡悟史，井山繁，藤井敦，宮田正史，坂田憲治，高野向後：港湾分野における設計・施工・維持の連携強化方策に関する基礎的検討，国総研資料No.932，2016。
- 7) 高野向後，宮田正史，藤井敦，井山繁，加藤絵万，山路徹，岩波光保，横田弘：事例分析に基づく既存港湾施設の改良設計の現状と課題，土木学会論文集 B3(海洋開発)，73(2)，L426-L431，2017。
- 8) 竹信正寛，西岡悟史，佐藤健彦，宮田正史：荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究～永続状態におけるケーソン式岸壁の滑動および転倒照査を対象に～，国総研資料No.880，2015。
- 9) 福永勇介，竹信正寛，宮田正史，野津厚，小濱英司：重力式および矢板式岸壁を対象とした被災検証による照査用震度式の妥当性の評価，国総研資料No.920，2016。
- 10) 宮田正史，高橋康弘：港湾設計基準を通じた技術伝承(〈特集〉技術の継承と教育)，地盤工学会誌，65-3(710)，pp.16-17，2017。



港湾の技術基準の変遷について

国土交通省港湾局技術企画課技術監理室

1. はじめに

「港湾の施設の技術上の基準」(以下「技術基準」という。)は、港湾法56条の2の2に規定され、水域施設、外郭施設、係留施設その他の政令で定める港湾の施設(以下「技術基準対象施設」という。)は、技術基準に適合するように、建設し、改良し、又は維持しなければならないとされている。

技術基準の内容は、技術基準を定める省令及び関連告示で規定されている。省令が規定する内容は、施設を必要とする理由(目的)と施設が保有しなければならない性能(要求性能)であり、告示が規定する内容は、要求性能を具体的に記述した規定(性能規定)である。また、省令及び告示の解釈基準を通達で示し、施設が性能規定を満足していることを確認する行為(性能照査)を「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(以下「基準・同解説」という。)に参考資料として記載している。

技術基準の全面的な改訂は、社会情勢や技術開発等の動向を反映するため、概ね10年に1度のペースで行われており、直近では平成30年に技術基準を改訂している。

本稿では、これまでの我が国の港湾技術に関する基準類改訂の変遷を紹介する。なお、技術基準の変遷については、先に合田¹⁾、安間²⁾、広瀬³⁾、西園⁴⁾らが取りまとめたものがあり、ここで紹介する内容の大部分はこれらの文献から引用している。

2. これまでの港湾の技術基準について

(1) 港湾工事設計示方要覧(昭和25年)

「港湾工事設計示方要覧」は、明治以降我が国の港湾技術者が培ってきた経験則を集大成したもので、港湾の設計法をはじめて体系化したものである。

〈示方要覧の特徴〉

- ①バースの標準寸法が策定された。
- ②常時土圧はクーロン式による。地震時土圧は、常時の土圧に

地震のため増大した圧力を加える方式とした。

- ③地震力は、地盤の良否、構造物の重要性、地理的状况で水平震度0.05～0.3をとることとした。
- ④基礎杭の許容支持力は、載荷試験から得た限界支持力の半分以下とする。
- ⑤重力式構造物の壁体の滑動に対する摩擦係数を、コンクリートとコンクリートを0.5、コンクリートと捨石を0.6とした。
- ⑥重力式係船岸の滑動及び転倒に対する安全率を1.2以上と定めた。また、重力式防波堤については滑動1.2以上、転倒1.5以上とした。
- ⑦地盤の許容支持力は、土質ごとに概略の値が提示された。例えば、砂は、20～30t/㎡、硬い粘土は30～50t/㎡などである。
- ⑧波圧は重複波と碎波に分け、前者はサンフルー式、後者は広井式によることとした。ただし、混成堤は一般に碎波が作用するものとした。

(2) 港湾工事設計要覧(昭和34年)

第二次世界大戦後の我が国は、新潟海岸を初めとして各地で海岸決壊が大問題となり、また打ち続く台風による高潮災害の復旧工事に追われていた。そのため、昭和31年には「海岸法」が公布され、これに基づいて昭和33年に「海岸保全施設築造基準」が運輸省、建設省、農林省及び水産庁によって制定された。こうした動きに並行して、(社)日本港湾協会から「港湾工事設計要覧」として刊行された。

〈設計要覧の特徴〉

- ①波については海岸工学に関する研究成果が全面的に取り入れられ、SMB法による波浪推算、屈折・回折計算法等が記述された。
- ②重複波圧は部分碎波圧を考慮することが推奨され、碎波圧は広井式によるものの、ミニキン式その他が紹介された。ま



た、捨石重量算定のためのイリバーレン・ハドソン式が導入された。

- ③漂砂に対する考え方が調査法と合わせて提示された。
- ④設計震度に第1～第3の地区区分が導入された。
- ⑤軟弱地盤に対する対策、及び軟弱地盤処理工法についての考え方が記述された。
- ⑥斜面の安定については、円形滑りによって検討するものとし、永久構造物はその安全率を1.5以上、地震時1.2以上とした。
- ⑦矢板式係船岸、セル式係船岸の計算法を明確化した。

(3) 港湾構造物設計基準 (昭和42年)

昭和34年に「港湾工事設計要覧」が発刊された後、港湾の事業量は飛躍的に増大し、この間に港湾技術はさらに進歩し、また電子計算機も設計業務に積極的に導入され始めた。このため、運輸省港湾技術研究所が昭和37年4月に設立され、昭和38年には設計基準課が設けられたのを契機にして、わかりやすい設計の手引き書を作ろうという動きが起きた。

「港湾構造物設計基準」は、当初は運輸省内の部内資料として準備されたが、「示方要覧」や「設計要覧」の系譜を継ぐものとして(社)日本港湾協会を通じて一般に公開された。

〈設計基準の特徴〉

- ①「設計要覧」までの防波堤、係船岸、浚渫・埋立の三部構成を改め、現在と同じように、まず設計条件、材料等を述べた後、水域施設、外郭施設等、施設別に記述する方式を採用した。
- ②記述様式が枠囲みによる本文及び解説という基準・同解説風に改められた。
- ③航路・泊地等の水域施設の諸元の標準値が船長Lを単位として初めて提示された。
- ④「設計要覧」以降の内外の試験研究成果が大幅に取り込まれた。

(4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (昭和54年)

これまでの「示方要覧」、「設計要覧」、「設計基準」は、いずれも設計にあたって参考とすべき指針的な性格のものであって、行政的な裏付けはなされていなかった。そこで、港湾法を改正し、昭和49年に「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」(以下「基準省令」という。)を制定し、遵守規定として初めて位置づけた。もっとも、この当時の基準省令は16条からなる簡単なもので、具体的な個々の技術項目についてはあまり述べられていない。

一方、運輸省港湾局は基準省令の制定と合わせて、基準省令の肉付けと「設計基準」の改訂作業が進められ、基準本文に相当する部分が昭和53年10月に運輸省港湾局長通達として出された。また、この通達の解説書として「基準・同解説」が昭和54年4月に(社)日本港湾協会より刊行された。

この「基準・同解説」は設計の手引きではなく、法定基準の解説書としての性格を持つため、刊行物として先の「設計基準」と比べてページ数が大幅に縮小された。また、超大型石油タンカー用施設と海上貯油基地施設については、昭和55年に別冊として(社)日本港湾協会から刊行された。

〈基準・同解説 (昭和54年) の特徴〉

- ①波の取り扱いが不規則波の概念で統一され、波浪スペクトルが設計手法の中に導入された。
- ②直立壁に作用する重複波及び碎波の波力の算定法として、合田式を標準とした。
- ③泊地の静穏度が規定された。
- ④埠頭の安全確保及び利用増進の面から、照明施設や標識等の付帯施設について具体的に規定された。
- ⑤コンテナ埠頭とカーフェリー埠頭についての基準が設けられた。

(5) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂版 (平成元年)

「基準・同解説」の発行から10年が経過し、この間における社会経済情勢の変化の結果、港湾における快適性の一層の向上等の港湾空間に対する要請の高質化及び多様化が求められた。また、新たな技術的知見の蓄積等への対応などを踏まえて技術基準を改訂する必要が生じた。

そのため、昭和63年10月に基準本文としての港湾局長通達が改訂され、その解説書が平成元年2月に(社)日本港湾協会から刊行されることとなった。

〈基準・同解説 (平成元年) の特徴〉

- ①安全快適な港湾空間創出技術として、マリーナ、浮体式施設、港湾の施設の維持管理方法についての記述を加えた。
- ②砂質土の液状化について、予測判定法を大幅に充実した。
- ③偏心傾斜荷重に対する支持力の検討方法として、従来の荷重分散法と三建法または片山・内田法の組合せから、ビショッブ法の円形滑り法に変更した。
- ④地盤改良工法として、置換工法、バーチカルドレーン工法だけでなく、深層混合処理工法、サンドコンパクションパイル工法等の新たな工法を示した。これによって大型ケーソン防波堤などの安定解析の信頼度が向上した。
- ⑤杭基礎の支持力の算定式を載荷試験結果の蓄積の結果、先端

支持力係数を3/4に引き下げた。

- ⑥直立消波ケーソン堤、上部斜面堤、浮防波堤等の新形式防波堤の設計法を規定した。

(6) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂版(平成11年)

運輸省港湾局では、平成7年頃から時代の変化等に対応すべく港湾の技術基準の改正作業を進めていたところ、平成9年の運輸技術審議会答申第22号において、「技術的規則に関する国の関与のあり方」が示され、基準の自由度の向上、行政の透明性の確保等が提言された。これを踏まえ、従前の港湾局長通達の内容を広く民間事業者にも周知する必要があると判断し、その内容を改変・整理し「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」として平成11年4月に公布した。

これに合わせ、(社)日本港湾協会は、同年4月に「基準・同解説」の改訂版を刊行した。この改訂は、前の改訂以来の技術的知見の展開を取り入れるばかりでなく、ISOに代表されるような国際規格への対応が一つの焦点となった。また、平成7年兵庫県南部地震の経験を踏まえた耐震強化施設の設計の見直しも大きな変更点である。

〈基準・同解説(平成11年)の特徴〉

- ①性能(照査型)設計への流れの一つとして、耐震強化施設について、レベル1、レベル2の地震動を想定して設計する手法を導入した。
- ②信頼性設計手法の一つとして、ケーソン式防波堤の期待滑動量を用いた信頼性設計法を記述した。
- ③コンクリート部材設計に限界状態設計法を導入した。
- ④法的基準としての拘束力を明確化することによって、設計の自由度の向上を期待した。
- ⑤平成11年11月からの改正計量法の発効を目前に控え、SI単位系の記述に全面的に変更した。

(7) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂版(平成19年)

平成16年3月19日に「規制改革・民間開放推進3か年計画」が閣議決定され、基準認証等分野について、事業者の自己確認・自主保安を基本とした制度への移行、基準の国際整合化・性能規定化、重複検査の排除等の推進が基本方針として示された。これを受け国土交通省港湾局は、技術基準の全面的な性能規定化に舵を切った。

従前の技術基準は、標準化された材料と設計手法を用いる仕様規定型の基準を採用していたが、平成18年5月に港湾法が改正され、構造物に求められる性能のみを規定し、結果に至るプロセスを規定しない性能規定型の基準に全面的に変更され

た。これにより、構造物や立地する特性に応じた、安価で合理的な設計の創意工夫が可能となった。併せて、新しい設計が技術基準を満足しているか否かを確認する必要があることから、技術基準への適合性確認制度が創設された。

これを踏まえ(社)日本港湾協会は、「基準・同解説」を抜本的に改め、遵守規定である省令・告示を枠組みで示す一方、解説部分にあたる性能照査法を参考情報として記載した。換言すれば、平成11年版までの「基準・同解説」が仕様規定型の基準の解説書であったのに対し、平成19年版の「基準・同解説」は性能規定化された技術基準が設計者に正しく理解されるための附属資料(参考資料)という立場で記載されている。

〈基準・同解説(平成19年)の特徴〉

- ①性能照査法を、従来の安全率法から信頼性設計法に全面的に移行した。ただし、データ数の不足等の理由から信頼性設計法の究極の目標である破壊確率を用いた照査法の全面導入には至らず、部分係数を用いた簡易な手法にとどめた。
- ②技術基準の適合性確認制度のプロセスを記載した。
- ③従来の耐震設計法(地域別震度、地盤種別係数、重要度係数から設計震度を算出する方法)を廃止し、震源特性、伝播経路特性、サイト特性を踏まえて地震動を設定する現在の手法に抜本的に改めた。これにより、各港湾が位置する固有の地理的特性を踏まえた耐震設計が可能となった。

(8) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂版(平成30年)

前回的大幅改訂から11年が経過し、この間、わが国を取り巻く社会情勢は大きく変化した。

平成22年1月21日に御前崎港でコンテナクレーンの逸走事故が発生し、クレーンの逸走防止対策が全国的な課題として浮上した。平成23年3月11日に発生した東日本大震災で



港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年)



は、死者・行方不明者が1万8千人を超え、我々港湾技術者に、津波の脅威から人々の生命・財産を守るという重要な使命が課せられた。平成24年12月2日には笹子トンネル崩落事故が発生し、インフラ全体の老朽化対策が強く求められることとなった。

これらの課題や、災害の教訓への対応などの社会的情勢の変化や技術的知見の蓄積等を踏まえた改訂が随時行われてきた。例えば、東日本大震災の津波による防波堤倒壊被害などの教訓を踏まえて平成25年9月に「粘り強い」港湾構造物を技術基準省令、告示などに位置付けている。

また、この10年間で生産年齢人口は減少の一途をたどり、建設現場での労働者不足が深刻な課題としてクローズアップされるようになった。このため、国土交通省では平成28年に「生産性革命プロジェクト」を立ち上げ、平成29年を生産性革命「前進の年」、平成30年を「深化の年」と位置づけ、社会全体の生産性向上につながるストック効果の高い社会資本の整備・活用を強力に推進することとし、このような社会情勢に、如何に対応していくかについても技術基準の重要な役割となった。

このような社会的ニーズ等を踏まえ、平成30年版の「基準・同解説」は、生産性向上の推進や急速な社会インフラの老朽化への対応、東日本大震災などを教訓とした防災・減災対策の強化等を図ることとした。

〈基準・同解説（平成30年）の改訂のポイント〉

- ①調査・設計・施工・維持管理の建設生産プロセスの効率化等による生産性向上の推進
- ②既存施設の適切な維持管理や合理的な改良等による既存ストックの有効活用の促進
- ③耐津波設計における粘り強い構造の高度化等による防災・減災対策の強化
- ④船舶の大型化への対応等による国際競争力の強化
- ⑤環境に関する新たな知見等による豊かな海域環境の保全・再生・創出

3. おわりに

周囲を海に囲まれ、臨海部に人口、資産などが集積する我が国において、港湾は海上輸送と陸上輸送の結節点として物流や人流を支え、国民生活の向上や発展に大きな役割を果たしてきた。

港湾の技術基準は、昭和25年発刊の「港湾工事設計示方要覧」以来、港湾施設の整備を支え、各時代の要請に応えるよう定められてきたものであり、これまで概ね10年に1度のペースで大幅な改訂がなされてきた。直近の平成30年の改訂では、

生産性向上の推進、急速な社会インフラの老朽化への対応、東日本大震災などを教訓とした防災・減災対策の強化等に関連する項目の改訂を行っている。

現在、国土交通省港湾局では、「防災・減災、国土強靱化」の観点から、大規模地震・津波発生時における迅速な沖合待避を可能とする港湾施設のあり方など、津波発生時に想定される船側から見たリスクに対する軽減策の検討を行っている。また近年、台風被害が激甚化・頻発化するとともに、気候変動に起因する将来の災害リスクが懸念される中、ハード・ソフト一体となった防災・減災対策を推進している。

加えて、「ヒトを支援するAIターミナルの実現」に向けて、荷役機械の遠隔操作やコンテナのダメージチェックの効率化など、コンテナターミナルの生産性を向上させるための各種取り組みを進めている。

さらに、政府全体としてグリーン社会の実現を目指す中で、国土交通省港湾局では洋上風力発電の導入、ブルーカーボン生態系の活用可能性の検討、港湾を経由した次世代エネルギーの利活用といった「カーボンニュートラルの推進」に取り組んでいる。

今後、こうした施策を実現するにあたり、必要となる技術基準の改訂を検討していきたい。

〈参考文献〉

- 1) 合田良実：「技術基準を考える」③「港湾」、土木学会誌、1983年3月号
- 2) 安間清：「特集」技術基準の改正「港湾技術の変遷と技術基準」、港湾、1988年11月
- 3) 広瀬宗一：「特集「港湾の施設の技術上の基準」の改正の概要」「技術基準改正の歴史について」、港湾、1998年12月
- 4) 西園勝秀：「特集「港湾の施設の技術上の基準の改訂」「港湾技術の変遷と技術基準の主な改正点」、港湾、2018年2月



新しい性能規定への期待 (かつての設計現場の経験から)

大野 正人

一般財団法人港湾空港総合技術センター 専務理事

はじめに

このたび技術基準の改定によって性能規定の部分係数法の考え方が改定されました。これはあくまでも私の考えですが、今回の改定によって、かつて設計をした多くの実務者の経験やノウハウが再び活かせるようになったのではないのでしょうか。それぐらい前回の、性能設計を初めて取り入れ部分係数法を導入した時の改定は、実務者にとって難しく、かつ、導入に当たって丁寧な対応ができていなかったように思っていました。そして、これによって、かつての地域ごとに積み重ねてきた設計ノウハウの連続性が途絶えかけた状況だったのではないかと感じています。

今回の改定は、大きなチャンスであると考えています。なぜなら、部分係数や調整係数の考え方が分かりやすく単純化されたため、かつての安全率による設計の考え方がそのまま活かせるようになったからです。地域毎、港湾毎に異なる地質や地形、海象等の自然条件と、それぞれの地域の被災経験等を反映した知見とから得られたノウハウを、次の世代に引き継ぐためにも、このチャンスを生かして、安全率によって設計していた時代の蓄積の継承の仕組みを作り上げてほしいと思います。

このように思うようになった理由と、今回の改定を受けた運用の仕組みづくりへの期待について、紙面をお借りして説明を試みます。拙い部分は多々あると思いますが、お付き合い願えば幸いです。

1. 設計の実務経験から感じたこと

本題に入る前に私の港湾施設の設計の経験についてお話しします。最初の経験は、昭和58年秋から59年度にかけての運輸省第四港湾建設局の下関調査設計事務所時代であり、熊本港を担当し、N値ゼロが海底下-40mも続く地質条件下で-4.5m岸壁の設計を行いました。また、当時軟着堤の設計法確立のた

めの現地試験や、熊本港で実証実験が行われていた浮き防波堤を島原半島にある地方港湾口之津港へ移設するための安全性の確認なども行いました。

この時に感じたことは、一つには、設計の技術基準及び同解説をいくら読んでも設計はできないということです。設計断面を決めるためには、様々な細かい断面諸元を設定する必要がありますが、これらは技術基準には明確には書かれていません。また、比較設計断面は、栈橋の杭間隔や地盤改良率、ケーソンの天端高さなど、例えば1cm毎に細かく設定すれば、ある意味で無限に近く設定できますが、その中から設定すべきものを経験値や論理的考察をもとに絞り込む必要があります。これらは、いずれも実績や経験によるところが大きいと感じました。経験のない自分は、周りの先輩方に「なぜこうなっているのですか?」「どうしてこうしたのですか?」と質問を重ねました。

もう一つは、断面を設計することは大きな責任とプレッシャーを伴うものということです。特に、浮き防波堤の移設の際には、有義波高などの設計条件が与えられていましたが、その根拠を十分吟味する時間がないままに安全性の確認をせざるを得なかったため、不安で仕方ありませんでした。移設後に台風が長崎沖を通るたびに、思わず手を合わせて「流されないでほしい」「壊れないでほしい」と神頼みをしたことを思い出します。

2回目の設計経験は、平成2年夏から5年度にかけての第一港湾建設局(以下「一建」という。)新潟調査設計事務所(以下「新潟調設」という。)時代であり、この時は管内の港湾施設の設計の総括責任者でした。約3年間余り、秋田県から福井県までの日本海側の重要港湾の防波堤、岸壁等の設計を担当しました。防波堤や岸壁の設計について、ある程度の勘所が分かるようになり、技術者として自信がついたのがこの時期です。

当時から「防波堤の一建」と言われ、防波堤の技術は港湾局の中でも高く評価されていましたが、それを実感したのが、新



潟西港の防波堤の延伸部分の設計を行った時です。設計の参考とするために既存部分の防波堤の断面を見たとき、当初設計の後に被災し、断面を見直していたことが分かりました。当該防波堤の平面図と断面図を図1-1～3に示しますが、B-2区間は被災を受けて復旧した断面となっており、次のD区間の断面は前面が大きく洗堀を受けて深くなっているのが読み取れまし

た。延伸部の防波堤の設計の考え方を聞いた際にも、「被災の経験やノウハウを生かして被災を受けない考え方にたどり着いた」ということがよくわかりました。

そしてその当時感動したのが、合田良実氏の「耐波設計」という本に出合ったことです。防波堤の設計実務者のバイブルといってもよい本だと思っています。学生時代に合田式というの

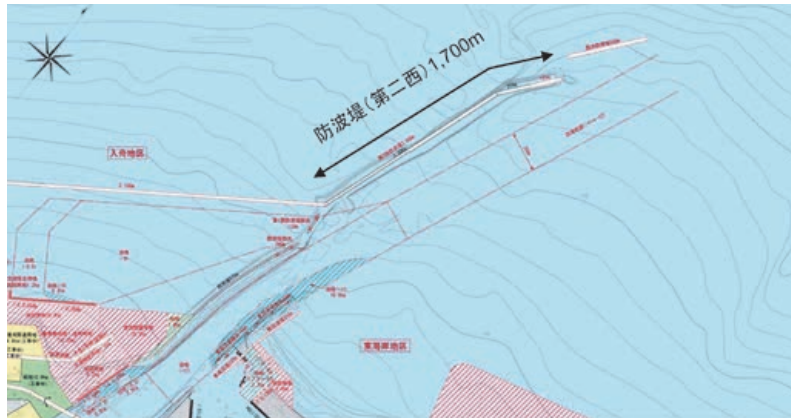


図1 位置図



図1-1 新潟西港 防波堤第二西 平面図・区間割

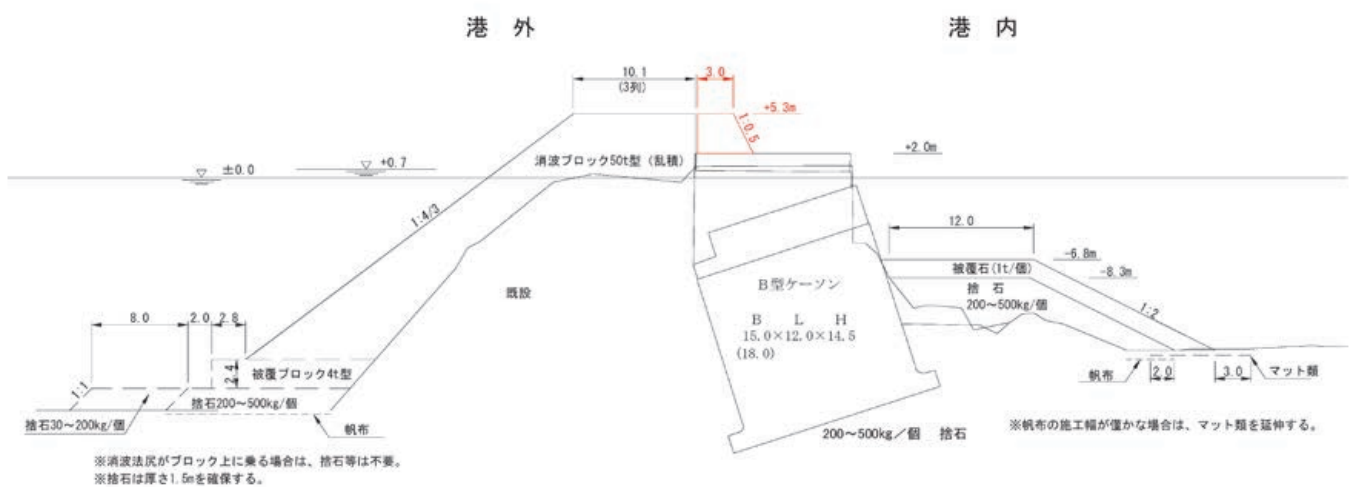
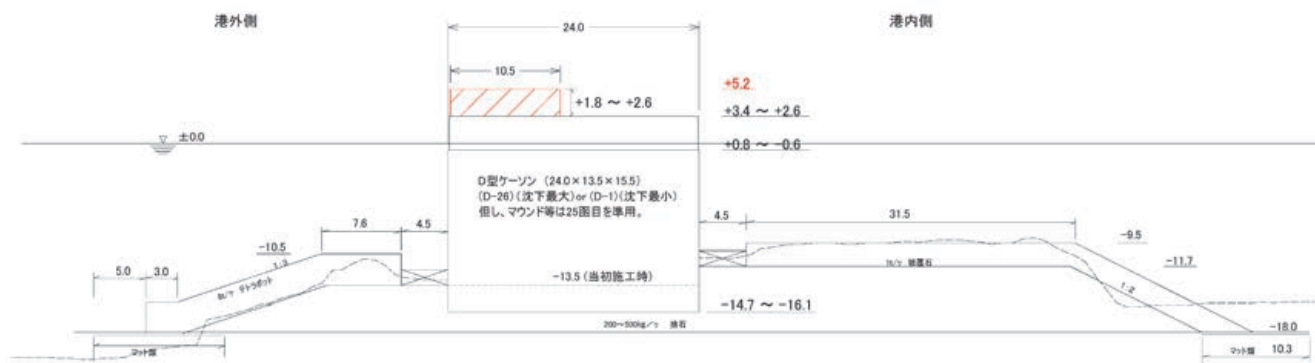


図1-2 B-2区間断面図



を授業で聞いたような記憶はありましたが、大学院では構造力学の研究室でしたので、正直言うともあまり触れる機会はありませんでした。この本に出合って、初めて波や波力というものを理解できたような気がします。そして、当時の新潟調設の技術スタッフは、皆この本を片手にして設計を行っており、波の特長や波力というものを理解していたと思います。後に聞いた話ですが、合田式を港湾局の防波堤の設計に取り入れる際には、設計実務者が実践に使えるように合田氏自ら丁寧に説明を行っていたそうです。これによってほぼ港湾局の調査設計事務所の設計実務者は、自分たちで設計に使うための波や波力を計算することができるようになっていたようです。まさに、理論だけでなく実践に役立つ仕組みを作り上げた点で、合田氏の功績の大きさを感じました。

ところで、当時、一建の幹部の中に、新潟調設の経験者が半分程度おり、多くの技術者が設計を経験していました。これは他の港湾建設局の設計技術者の育て方と大きく異なる特徴でした。つまり設計と積算と現場の3つを経験している技術者が多くいたのです。

2. 性能設計が導入されて変わったこと

ここから性能設計の部分係数法が導入された時の話に入りたいと思います。「港湾の施設の技術上の基準」に性能設計の部分係数法が初めて位置付けられたのは、平成19年でした。港湾局が基準化の検討をしている時期に、私は鉄道局にいたため時々耳に挟むだけでしたが、性能設計が導入されると「あの一建調設の防波堤の設計の考え方はどのように変わるのだろうか。混乱するのではないだろうか。」となんとなく心配していました。

そして、その心配を現実のこととして目の当たりにしたのが、北陸整備局の港湾空港部長として部分係数法導入後初めて

の設計案件を決める会議を開いた時でした。新潟西港の防波堤の新たな延伸部分の設計断面を決める場で、新潟技術調査事務所（新潟調設と新潟機械整備事務所とを統合した事務所）が部分係数法を取り入れて提案した断面は、従来の設計法で行った断面よりも防波堤の堤体幅が3~4mも短かったのです。既存の防波堤の先端から沖側に延伸することにより堤体幅が3mも短くなることに納得できない私は、幾つかの質問をしました。

「なぜ堤体幅が3mも短くなったのか。」と問うと「技術基準が性能設計に変わったからです。」という回答でした。「性能設計になったといっても新潟港において新しい技術的知見があったのか。たとえば外力が小さくなったとか、摩擦係数が違ったとか。また、求められる性能を抑えたのか。」と問うと「わかりませんが特に新潟を対象にした新しい実験や知見はないと思います。求める性能もそのままです。新しい基準に基づいてコンサルタントが計算したらこうなりました。」という回答。「どうしてこういう結果になるのか。」と問うと「設定されている部分係数で計算したらこうなりました。」という回答。さらに「部分係数の考え方では新潟や日本海の家象条件をどうとらえているのか」と問うと「部分係数は全国的な平均で決めたと聞いています。」という回答でした。そこで「新潟港の防波堤は過去に被災を繰り返し、ようやく被災しない設計の考え方が定着したが、堤体幅が3mも短くなるのに心配ではないのか。」と問うと「心配ですが、新しい基準で設計しただけです。」という回答でした。誰が設計したのかと資料を見てみたのですが、設計者のサインや印鑑がないので、「なぜ設計者のサインも印鑑もないのか。誰が設計したかわからないではないか。」と聞くと「手続きの簡素化で印鑑などは省略することになっています。」との回答でした。

このような問答をした結果として、最終的に「全国平均の部分係数では納得できない。日本海側の海象条件と太平洋側や



瀬戸内の海象条件は大きく異なる。できれば新潟港、最低でも日本海側の条件に合った地域係数のようなものを設定してほしい。」と指示をしました。

一連のやり取りの中で感じたことは、一つには、性能設計という仕組みを作ったために、設計実務者から設計を奪ったのではないかということです。専門的な知識について教を受けた一部のコンサルだけしか設計をできない仕組みはおかしいし、これによって今まで設計を担当していた実務者が、なぜこうなったのかを説明できなくなったり、間違いかどうかをチェックできなくなってしまう。性能設計という新しい仕組みを導入する際には、誰でも設計をやろうと思えばできるように事前に丁寧に説明し、周知する必要がありますが、性能設計の導入を急ぐあまりに十分な準備ができていなかったのではないかと思います。そして、港湾局が合田式を導入した際に、設計実務者が困らないような丁寧な対応をされた当時の方たちのご苦労をあらためて実感しました。

もう一つは、設計は論理的（ロジカル）なものではあるが、経験やノウハウを集約したものという側面もあるので、これらを継承できない設計の基準は、いくら理論的に優れているといっても、良い基準とは言えないのではないかと思います。当時も新潟調設の経験者が港湾空港部の幹部の中には多くいたのですが、その経験者のノウハウが活かない仕組みは、良い仕組みとは言えないと思いました。

こうしたことがあったので、機会があれば「技術基準の性能設計の部分係数法の部分は元に戻すか、もっとわかりやすくすべきだ。」と発言するようにしていました。

3. 新しい性能設計の考え方への期待

今回の技術基準の改定により性能設計の部分が大きく変わりました。その詳細は、他の方の説明に譲りたいと思いますが、個々の設計パラメータに乗じていた部分係数を廃止し、抵抗側と作用側に一括してまとめたことや、調整係数という概念を導入し、十分な実績がある設計においては、部分係数をすべて1として、実績に基づいた調整係数を設定して設計ができることなどが記述されています。この考え方では、調整係数は安全率の逆数となり、かつて行っていた安全率による設計の考え方をほとんどそのまま取り入れることができるようになりました。すなわち、過去の経験やノウハウを引き継ぐ仕組みができたと考えています。

設計とは、過去の物理的な理論や実験から得られた知見と併せて、過去の経験やノウハウ等を体系化して、考え方の道筋をつけたものを反映したものであると考えています。その上で、

設計者にとって最も重視すべきことは、設計したモノが、「安心して世に送り出せるモノになっているかどうか。」という点だと思っています。私が設計責任者だった時に感じたことは「嵐が来るたびに被災を心配して夜も眠れないというようなモノは設計したくない。」という思いです。特に自然は正直で、設計法が変わったからと言って自然外力が変わるものではありません。事業費が足りないからといって外力を小さく評価して経済的な断面を作っても、自然はそんなことを忖度してくれません。安心して寝れるように、技術基準を読み、過去の実績を調べ、経験者に聞き、そして必要であれば模型実験をする。こうした中で、技術者として自信をもって設計を世に送り出していけるようにすべきだと思います。

さらに言えば、安心して世に送り出せる仕組みを、組織的に作っていくことも大切だと思います。平成19年以前に設計をしていた方々の経験を引き継ぐにはもうあまり時間は無く、最後のチャンスかもしれません。新しい性能設計の基準が、過去の多くの経験やノウハウを引き継ぐことにより、安全でより良いモノを安心して社会に送り出すのに貢献できることを期待しています。

おわりに

北陸地方整備局時代の新潟西港の設計は、結局、日本海側の海象条件や設計・施工実績に応じた設計の考え方の検討を沿岸技術研究センター（CDIT）にお願いし、その結果を受けて断面を見直したことにより、堤体幅等は技術基準が変わる前の設計断面とほとんど変わらない形状になりました。また、その際には、設計を担当した者が分かるようになっていました。

さて、ここまで性能設計に関する私見を述べてきましたが、正直言って新潟調設で設計に携わって以降は、自分の手で設計をしたことがありません。実は性能設計なるものを取り入れた設計経験は無いのです。このため、随分的外れな指摘をしているかもしれないと思っています。ただし、前回の基準改定の際に設計現場で起こっていたことが繰り返されてはいけないとの思いで、今回の執筆を引き受けました。新しい性能設計の基準を受けて、是非、技術者が自らの手で、納得して安心して設計できるしくみを作っていただきたいと思います。そしてその仕組みは、多くの人が共有できるものになればよいと思っています。それが、港湾や海洋の開発にあたっての技術力の向上に役立つと思うからです。



性能設計に基づく施工事例

～羽田D滑走路埋立部工事における 性能設計と施工・維持管理～

梯 浩一郎
五洋建設株式会社

小倉 勝利
東洋建設株式会社

川端 利和
若築建設株式会社

大和屋 隆司
東亜建設工業株式会社

1. 事業概要

(1) 工事発注の経緯

羽田空港の再拡張は、航空需要の増加に伴う「首都圏第3空港」建設候補のひとつとして浮上し、2000年に本格的な議論が始まった。2001年には再拡張事業として、現空港の沖合に新たに長さ2,500m、幅60mのD滑走路を新設することになった。D滑走路の完成により、羽田空港の年間発着能力はそれまでの30万回から41万回に増加し、利便性の向上や多様な航空路線網が形成され、国際定期便の受け入れも可能になると期待された。

2002年になると、新滑走路の工法を検討する「羽田空港再拡張事業工法評価選定会議」が設置され、「栈橋工法」、「栈橋・埋立組合せ工法」、「浮体工法」の3工法の優劣が比較、検討された。技術的に大きく異なる3つの工法を評価した結果、いずれの工法も技術的に建設可能であることから、工法を事前に一つに絞り込むことはせず、維持管理を含む設計・施工一括方式によることが妥当であると判断された。

(2) 性能発注の背景

本工事発注に当たり、技術的に大きく異なる3工法が併存したことから、個別の仕様を規定することは困難であり、構造物として必要とされる要求性能を満足することを要件として発注された。

入札は2005年に行われ、「栈橋・埋立組合せ工法」を提案した「羽田再拡張D滑走路建設工事共同企業体」（鹿島・あおみ・大林・五洋・清水・新日鉄エンジ（現・日鉄エンジ）・JFEエンジ・大成・東亜・東洋・西松・前田・三菱重工・みらい・若築の15社JV）が落札し、同年3月末に正式契約、2007年に着工、2010年9月に竣工した。

本稿は、性能発注の仕組みとこれに対応した設計、施工およ

び維持管理への対応を、埋立工事部分に着目して報告するものである。

2. 性能発注と契約

2-1 性能規定、要求水準と本契約

(1) 要求水準書に示された基本性能

要求水準書においては、空港に求められる重要な基本性能として、以下の5つの重要な基本性能を定めている。これらの基本性能は、D滑走路の設計、施工、維持管理および環境影響に関して最優先される事項とされ、性能発注の仕様として「要求水準書」に盛り込まれた。

- ① 空港としての使用性
- ② 構造物の安全性
- ③ 工事の施工性
- ④ 構造物の維持管理性
- ⑤ 環境への影響抑制

また、要求水準書では、設計、施工および維持管理の内容の一貫性、すなわち、設計上想定した品質・性能が施工で確実に確保されるような施工計画の策定や、維持管理に係る点検・調査・補修への設計上の十分な配慮を求めている。さらに維持管理においては、設計供用期間100年間を対象とした計画が入札時の技術提案で求められた。

(2) 性能を満足するためのリスク分担

このような要求性能を満足することは受注者の裁量範囲によるところが従来と比較して大きく、その性能を満足していることの証明や説明は原則受注者の責任とされ、必要となる有識者からの意見聴取や実験、試験、資機材の調達、第三者との協議などについても受注者の範疇とされた。なお、入札公告にあたり設計条件については空港運用条件や施設配置や形状、自然条件等が提示されたものの、地盤データは必ずしも全施工区域を



表1 リスク分担表

大項目	小項目	対象事項（代表的事項）	リスク分担先	
			発注者	請負者
技術条件	工事一般	工事事務物の性能確保		○
		使用材料の品質		○
		羽田空港の運用		○
	詳細検討に伴う設計変更	設計の誤り、構造強化のための設計変更	■	→ ○
		新たな動植物の発見等	○	
	その他	航空法、港湾法等関係法令の遵守		○
		施工段階における技術提案		○
自然条件	作業用道路、作業ヤード	工事用道路、運搬距離、作業スペースの制約	■	→ ○
	地盤	地質及び地下条件の現場不一致	○	
	気象、海象	雨、雪、風、気温、波浪等	■	→ ○
	その他	河川・海域における水流、潮流、潮汐の影響	■	→ ○
社会条件	海中、海底障害物	地下埋設物等の海中、海底内の作業障害物		○
	騒音、振動	周辺住民に対する配慮		○
	水質汚濁	周辺水域環境に対する配慮		○
	作業用道路、海上交通	資材搬出入及び海上運搬路の確保		○
	作業ヤード	羽田空港外での作業スペースの確保		○
	価格変動	賃金水準又は物価水準の変動	○	
		急激なインフレーション	○	
		急激なデフレーション		○
	その他	電波障害対策		○
		環境対策、廃棄物処理、ガス、水道、電線移設		○
工事作業に伴う マネジメント特性	他工事調整	他工事との調整	■	→ ○
	住民、漁業関係者の対応	近隣住民の苦情対応、漁業関係者対応	■	→ ○
	関係機関対応	道路管理者、港湾管理者・海上保安庁、空港管理者等対応	■	→ ○
	安全管理、対策	夜間作業に伴う安全対策、航行安全対策		○
	その他	土取場の確保・変更	■	→ ○
その他	関係機関対応	公有水面埋立申請、海面占有許可申請、環境アセスメント、漁業影響補償等	○	
	不可抗力	提示条件を超える自然条件	○	
		テロ行為、住民運動	○	
	法律、基準等の改正	法令改正、設計基準の改正	○	
	その他	契約不履行、労働争議		○

注) ■印は従来の設計・施工分離発注の場合を示す。この大部分が受注者リスクへと移転された。
本表は、羽田D滑走路工事契約図書を基に筆者作成。

カバーしていなかったため、「表1 リスク分担表」に示すように実際の地盤条件が悪い場合には発注者負担とされた。

しかしながら表中、■印→○印に示したように従来の設計・施工分離発注よりも、かなりの分野が受注者側のリスク負担とされ、性能に係る自由裁量を与えられたものの、責任範囲も十分に広くされた。

2-2 中間検査、竣工検査と維持管理契約

設計・施工・維持管理の流れを図1に示す。本工事は、公示から供用開始までに4つのフェーズがあった。すなわち、基本設計と維持管理計画と価格提示で契約する「フェーズ1」、契約後にこれらを詳細検討し、着工可能な状態に具体化する

「フェーズ2」、施工を進め、これに対応して随時設計も修正する「フェーズ3」、発注者に目的物を引渡し、供用開始、維持管理に移る「フェーズ4」の4段階である。従来にない中間検査が設けられた。これは設計から施工への移行を、竣工検査は施工から維持管理への移行を検査、承認する手続きとして必要であった。

また自由度の高い設計は施工とともに変わる可能性があったので竣工検査に合格した時点で完了すること、維持管理計画は基本設計および実施設計と並行して行うこととされたことが本工事の特徴である。

なお、受注者が担当する維持管理は供用30年間の性能を担保するものではなく、維持管理計画書に基づき、忠実に点検・

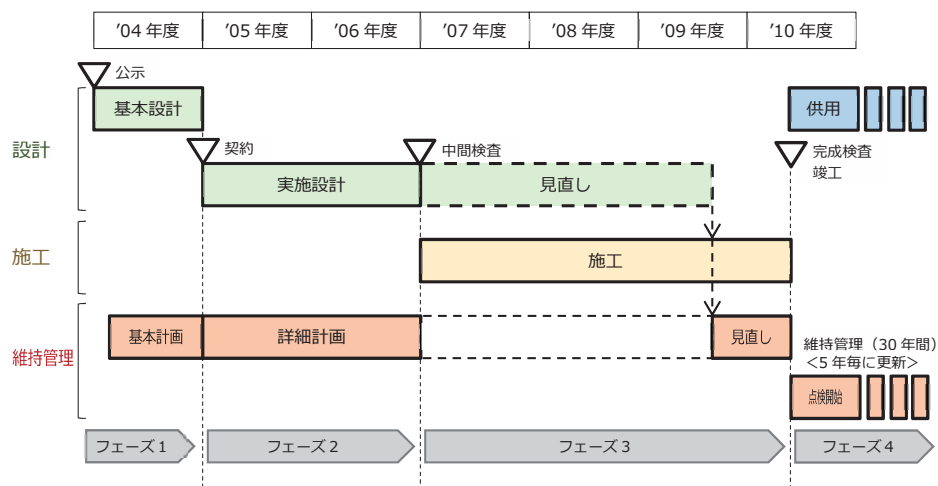


図1 基本設計から維持管理までの流れ

調査を行うことが義務付けられた。そのため、当初より想定される標準的な維持補修費用は契約に含まれるが、明らかに想定外と判断される事象に起因する補修費用等については当初契約に含まれず、変更の対象とされた。

3. 設計と施工管理

3-1 最適護岸断面の選定と圧密沈下

(1) 傾斜堤護岸の最適化

埋立部の原地盤はA.P.-12.0m～-20.0mと大水深であり、海底には軟弱な粘性土が厚く堆積している。このような条件下では軟弱な粘性土層を深層混合処理工法（CDM）や高置換型のサンドコンパクション（SCP）改良等により改良し、その上に重力式護岸（ケーソンなど）を構築する考えもあった。しかしながら、急速施工に対応するためのプレキャスト系の重力式護岸の採用は、かえって地盤改良費用を増大させることが懸念された。そこで、本工事では要求性能を満足できる範囲内に残留沈下量を抑えることができることを確認した上で、「図2 埋立部標準断面

面（イメージ）」に示すような地盤の圧密沈下等に対する追随性が高い捨石式傾斜堤護岸を採用することとした。地盤改良には当時あまり適用されていなかった低置換型（改良率30%）のサンドコンパクションパイル（SCP）改良を採用することで沈下による原地盤の強度増加に期待した安定確保策をとった。

大水深での傾斜護岸の安定性を向上させるためには、護岸前面側をなるべく重く、背面側をなるべく軽くする必要があった。そのため、護岸前面の軟弱な粘性土地盤を床掘りして、粘性土地盤よりも重量の重い砂質土系の材料に置き換えた。床掘りで発生した重量の軽い粘性土は、砂質土系の材料よりも軽量のセメント固化処理土として背面側に埋立て再利用した。これにより、軟弱層である②-C層を一部未改良で残したまま護岸全体の安定性が向上することが可能となったため、工期の大幅な短縮だけでなく工費の削減も実現した。

(2) 圧密沈下の影響

埋立部の圧密沈下量とその速度に影響を及ぼす主な要因に

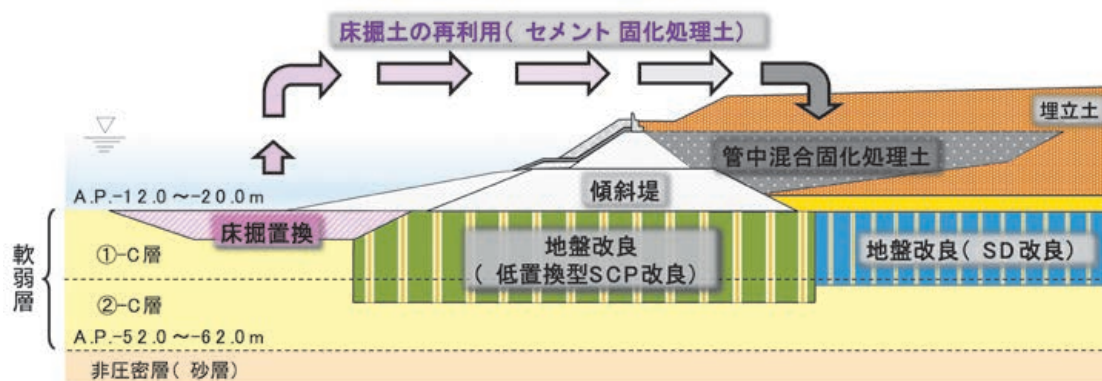


図2 埋立部標準断面(イメージ)

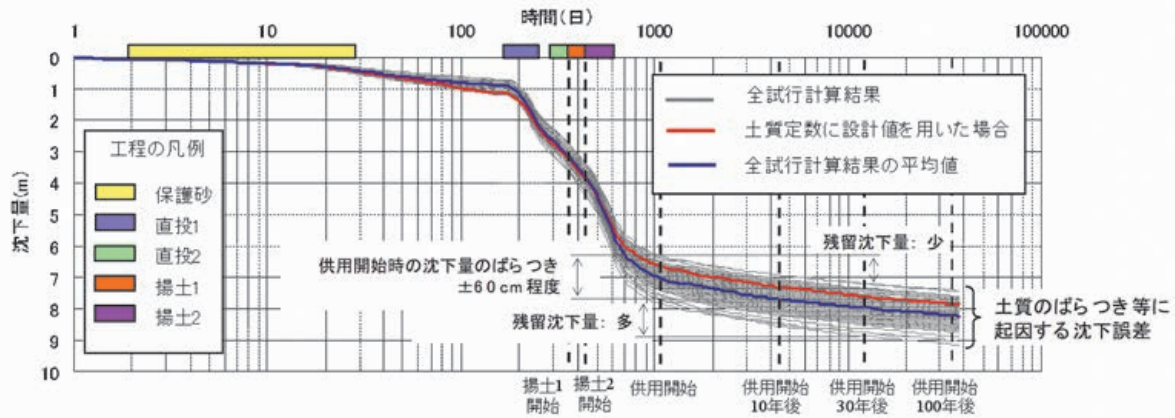


図3 沈下量試算結果の例(時間～沈下曲線)

は、土質のばらつき、サンドドレーンの仕様、サンドマット材・埋立材の仕様、長期圧密沈下量(二次圧密)、施工履歴などがある。これらの要因に対してはそれぞれのパラメータに対して感度分析を実施し、想定される沈下に対して問題がないことを確認しながら設計上の仕様を決定した。土質のばらつきを例に挙げると、「図3 沈下量試算結果の例(時間～沈下曲線)」に示すように沈下量に与える影響は全沈下量が7m～8m程度であるのに対し、供用開始時の沈下量が±60cm程度、供用開始からの30年間の残留沈下量で±20cm程度の影響があることを事前に確認した。また、施工履歴や埋立材の仕様などに起因する不同沈下についても予測し、供用開始10年後にはほぼ一定値に収束することや、滑走路横断方向よりも滑走路縦断方向に発生する不同沈下が顕著であることなども後述の三次元モデルにより事前に確認した。これらの事前検討により、最大の懸案事項であった埋立部と栈橋部との接続部に発生する段差についても、供用開始後の集中的な舗装オーバーレイで十分に対応できるものと判断した。この判断により維持管理コストの上限に目途が立った。

3-2 施工層厚の管理と沈下量の想定

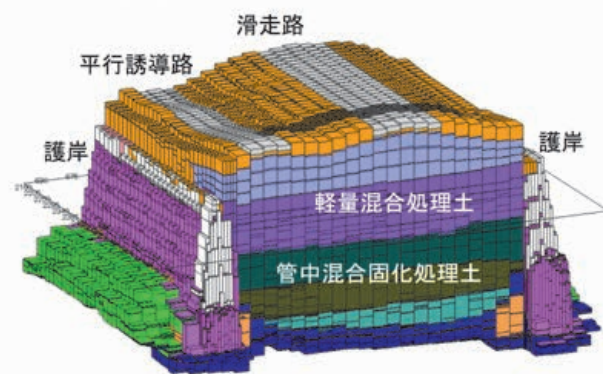
(1) 施工層厚の管理と投入可否判断

施工計画どおりに埋立部の総沈下量や不同沈下を想定の範囲に抑える必要があり、①一定層厚ずつ計画的に仕上げていくこと、②圧密による強度の増加を確認しながら進めることの2点が重要である。そのためには、面的に現地盤の沈下量を可視化する必要があるため、ナローマルチビームによる深浅測量や沈下板、層別沈下計、水圧式沈下計等の機器による沈下計測、コーン貫入試験等による地盤強度の確認を計画的に進めた。これらの情報を考慮した安定解析(円弧すべり等)により所定の安全率が確保されていることを確認した上で、次段階の投入可否を判断した。

(2) 三次元的な沈下管理

供用開始後の残留沈下量と不同沈下量の大小は、後々の維持管理に与える影響が大きく、これを施工中に予測しておく必要がある。まず、日々計測された情報を用いて算出した施工中の埋立層厚および沈下量を三次元コンターとして面的に可視化する

■鳥瞰図(接続部背面)



■断面図(埋立一般部)

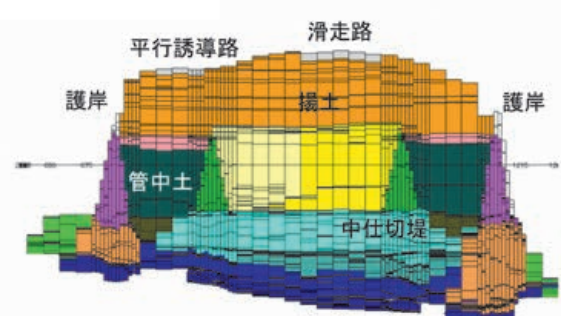


図4 埋立層厚履歴モデル

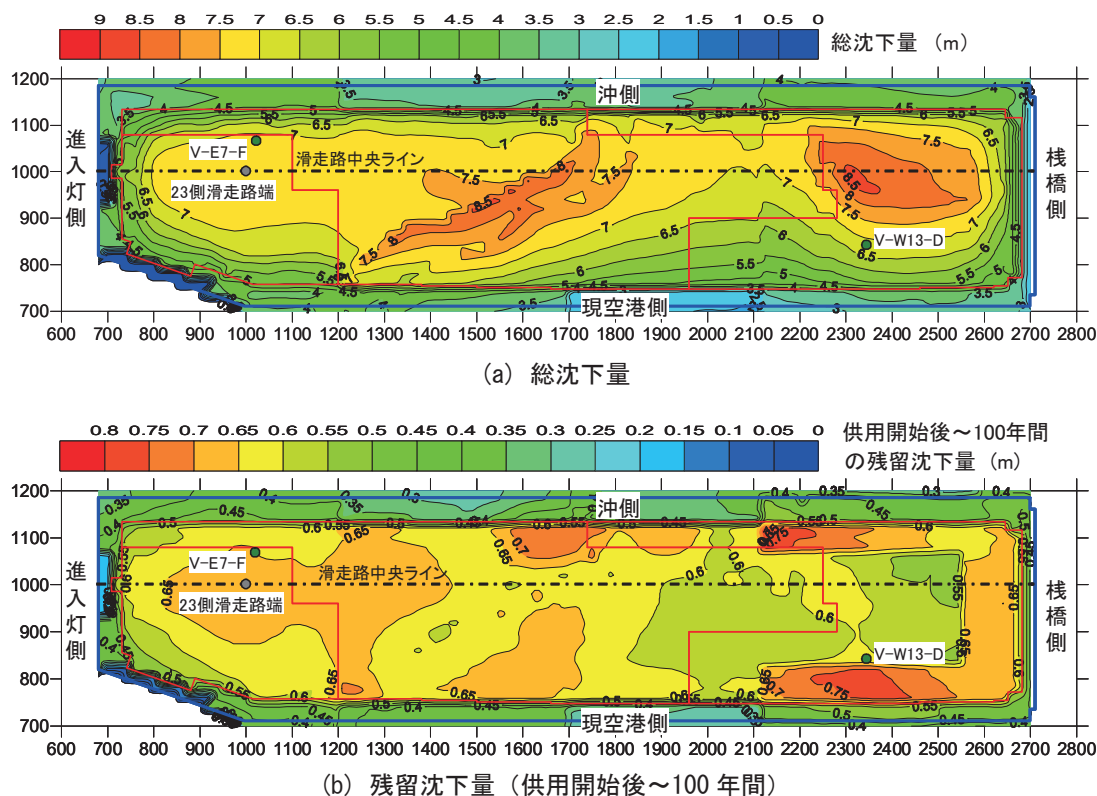


図5 沈下予測解析結果(例)

ることで、沈下傾向異常個所の早期発見につなげることができた。さらに、得られた施工層厚に材料特性や時間的パラメータを持たせることで、「図4 埋立層厚履歴モデル」に示すように三次元的な埋立層厚履歴をモデル化し、その情報を荷重条件として空港島全体の長期沈下予測解析を実施した。「沈下予測解析結果(例)」を図5に示す。これらの結果を基に残留沈下量や不同沈下量が想定範囲内であることを確認するとともに、予測した残留沈下を用いて滑走路島全体の最終天端高を設定した。また、予測沈下量に基づき供用期間中の舗装の補修時期や回数、範囲などを求め、維持管理計画に活用した。

4. 維持管理契約と予防保全

(1) 予防保全の考え方と維持管理計画

維持管理は致命的な破綻が起きる前に保全措置をとる、いわゆる予防保全を柱として立案した。その手順は、①維持管理対象のリスクを見積もり、予防保全の必要な区域と事後保全で構わない区域に分割する、②劣化指標を数値化する、③点検・調査結果をデータベース化し、劣化速度を予測し、必要な時期にあらかじめ補修するという3点で進めた。

埋立工事区域はそのほとんどが事後保全で対応できると考えたが、「図6 予防保全と事後保全のエリア」に示すように滑走路および誘導路の舗装と、進入灯橋梁、栈橋との接続部等につい

ては予防的な保全措置が必要であるとの判断であった。

(2) 長期モニタリングと補修

埋立工事区域においても供用開始後、沈下・目開きの補修、舗装ひび割れの補修などの維持補修項目が発生しており、受注者の責任でこれに対応している。沈下量等計測項目のいくつかは、現時点でも計測を継続しており、想定どおりに沈下が進んでいることを確認している。施工時の工事管理システムから引き継いだデータに加えて、その後の維持管理データを随時追加することで、供用後の維持管理および補修を実施している。供用開始後数年で埋立部に発生した接続部との段差も、予定どおりのタイミングで「写真1 維持補修(例)」に示すような切削・オーバーレイで実施した。

5. 性能発注と設計・施工の対応

(1) 性能発注の効果

本稿では、羽田D滑走路工事で実施された性能発注に対して、埋立工事としての対応を整理した。性能発注されたことで、①設計、施工、維持管理計画を並行して立案することによる工期短縮、②受注者の技術力を最大限引き出すことによるコストダウン、③施工から維持管理へのスムーズな移行を可能としたことなどがその効果として考えられる。また、この効果を確

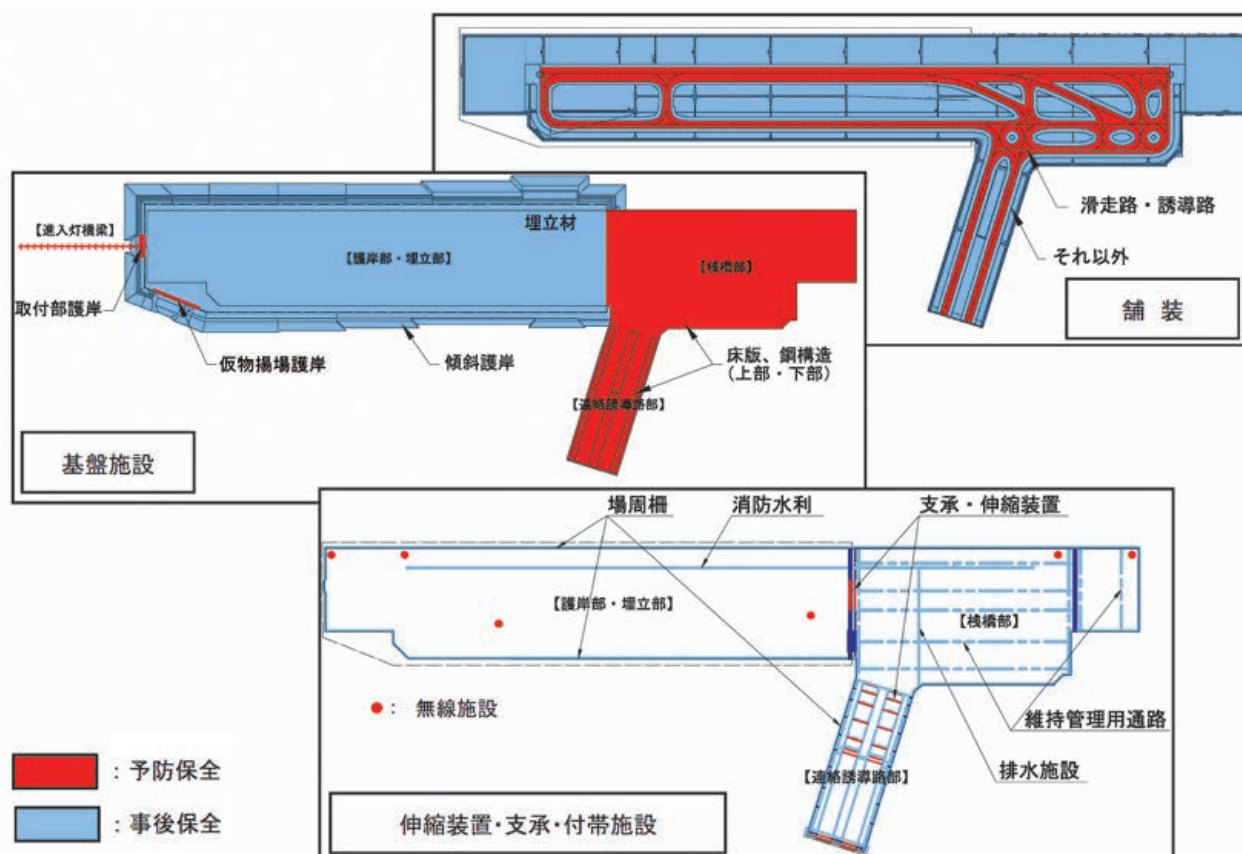


図6 予防保全と事後保全のエリア



写真1 維持補修(例)

実とするために、2-1章で示したような要求性能とリスク分担が適切に提示されたこと、2-2章で示したような中間、竣工検査の仕組みがあらかじめ用意されたこと、今回詳述しなかったが、受発注者双方がアクセスできる工事管理システムという情報共有データベースを構築したことが大きな効果を発揮した。

(2) 設計・施工の工夫

この結果、埋立部に従事した我々も数々の工夫を行った。大きな圧密沈下や固化処理の配合、埋立材の動的特性などについて室内試験による検証で安定性を確保したこと、施工中の沈下

を考慮して多数の計器計測を並行しながら施工したことで工期短縮に努めたこと、点検歩廊を設けるなど維持管理しやすい構造設計を心掛けたことで維持管理を容易にしたこと、などである。

発注段階で性能発注の目的・方針・検査の仕組みが予め準備され、契約後も情報共有、フィードバックの体制が1つの方針に基づき整理されたことが大きい。結果的に①空港としての使用性、②構造物の安定性、③工事の施工性、④構造物の維持管理性、⑤環境への影響抑制をもたらし、性能を満足させることができたと考える。



性能設計と維持管理

末岡 英二 北澤 壮介 吉田 倫夫 海洋・港湾構造物維持管理士会

港湾施設の維持管理は、ライフサイクルマネジメントの枠組みに基づいて計画的かつ合理的に実施することが必要とされている¹⁾。そのため、維持管理においては、計画と設計で想定した性能確保の考え方をシナリオとして、それを修正しながら供用期間にわたって構造物の性能確保を行うため、性能設計に基づく必要がある。本稿では、海洋・港湾構造物維持管理士会の活動を紹介するとともに、維持管理の変遷と性能設計、鋼構造物や鉄筋コンクリート構造物の維持管理に関わる性能設計およびこれらの課題について紹介する。

1. 海洋・港湾構造物維持管理士会の活動

海洋・港湾構造物維持管理士資格制度は、海域環境下にある構造物の維持管理を行うため、点検診断、維持管理の計画および施工についての高い知識と技術を有する技術者の確保、育成を目指して2008年度に創設された。2014年度には、国土交通省の登録民間資格として、港湾分野の維持管理の計画策定、設計および点検・診断について、海岸分野の点検・診断について登録されており、有資格者は約470名である。また、国土交通省策定の「港湾の施設の点検診断ガイドライン」において、専門技術者として当該資格が記載されている。

海洋・港湾構造物維持管理士会（MEMPHIS会）は、会員の海洋構造物および港湾構造物の維持管理に係る技術の研鑽・普

及・向上を図るとともに、当該業務に関わる技術者の資質の向上により社会に貢献することを目的として、2012年に設立された。本会会員は、当該資格の有無による正会員と準会員からなり、2020年現在で約700名であり、建設会社、調査・設計コンサルタント、防食専門家、国・地方自治体・港湾管理者などに所属する者で構成されている。本会の活動は、役員、技術委員、顧問、事務局が中心となって実施しており、賛助会員である43の企業・団体にご協力頂いている。

当会の活動は、毎年定期的に講演会・見学会を実施しており、これまで全国の港湾に関係する都市14か所において18回実施した。今年度は第19回の講演会をオンデマンド方式で配信し、200名を超える皆様に視聴して頂いた。講演会では、港湾の現状、計画および維持管理に関わるもの、最新の維持管理に関わる施工事例や技術、あるいは鉄道、道路など異分野の維持管理に関わるものも講演頂いている。講演会と見学会の様子を写真1、2に示す。

また、当会では、国土技術政策総合研究所や各地方整備局で実施している港湾施設の維持管理研修の講師として御協力させて頂いており、2016年～2020年の5年間で30の港で実施した。現場実習では「港湾の施設の点検診断ガイドライン」に沿った近接目視を中心として、鋼材の電気防食の電位計測も実施しており、各班に分かれて点検調査や劣化度判定を行っている。



写真1 維持管理講習会の様子(札幌)



写真2 見学会の様子(松山)



図1 維持管理講演会・見学会実施場所



図2 維持管理研修実施場所

講演会と維持管理研修の実施場所を図1、2に示す。維持管理士の資格者を増やしていくことも本会の目的であり、択一試験問題の解答例の作成や、賛助会員に限定した記述式問題に対する勉強会も実施している。

さらに、当会は沿岸技術研究センター、港湾空港技術研究所との連携、協力協定を締結し、お互いの連携、協力を図っている。その成果の一例として、維持管理関連のマニュアル作成への協力、「係留施設の変状連鎖と点検診断に関する一考察」と題する港空研資料の共同執筆、海外での国際セミナーへの参加なども実施しており、今後とも皆様と協力して、維持管理士の維持管理に関わる技術の研鑽に貢献していく所存である。

2. 維持管理の変遷と性能設計

港湾の施設はその主要部分が海中や干満帯、飛沫帯にあり、大水深、軟弱地盤という厳しい自然条件下にある施設も多く、高波、高潮、地震動などの強大な作用により変状が一気に発生するほか、鋼材の腐食やコンクリートの塩害劣化などの材料劣化、海底地盤の洗掘・堆積、施設の沈下や背後地盤の吸出しなどの経年的な変状が生じる。

このため、旧港湾技術研究所では設立直後の1960年代から

鋼材腐食やコンクリートの材料劣化に関する研究に着手され、港湾空港技術研究所となった現在に至るまで50年以上にわたって継続的に取り組まれている。1970～80年代には将来、施設の維持管理が大きな課題になることを見通して、港湾施設や海岸保全施設を対象として変状連鎖、変状点検手法、対策などの研究が進められたほか、港湾鋼構造物の膨大な全国調査により腐食プロフィールや集中腐食のメカニズムなどが明らかにされた。

1973年の港湾法の改正を受けて、1974年7月に「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」（以下、技術基準省令という）が制定された。この技術基準省令は全16条からなっており、外郭施設や係留施設に関しては、“十分に機能を発揮すること、安全かつ円滑に利用できること、波力、土圧、地震力などの外力に対して安全な構造であること”などが規定されているが、施設の維持管理に関する規定はとくに設けられていない。当時は維持管理を考慮した設計という概念が一般的にはなっておらず、鋼構造物は耐用年数を50年と考えて腐食しろや電気防食の設計を行ってはいいたが、コンクリート構造物は基本的にはメンテナンスフリーと考えられていた。

技術基準省令を本文とし解説を記述した「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下、基準・同解説という）が1979年に刊行されているが、1989年の改訂において総論に“港湾の施設の維持管理”の章が初めて設けられ、“点検、評価、対策などの総合的な維持管理”、“定期点検、異常時点検”、“一次点検、二次点検”、“維持管理情報の保管”といった現在の維持管理につながる記述がみられる。しかしながら、設計時における維持管理への配慮という視点は明確ではなかった。

その後、1999年4月に技術基準省令が一部改正され、「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」（以下、技術基準告示という）が初めて定められた。この技術基準告示では、外郭施設や係留施設などについて、“当該施設の構造の特性などを勘案して必要な機能が発揮できるように、適切な基準に基づいて維持管理を行うことを原則とする。”とされ、初めて法的拘束力をもって「維持管理」が位置づけられた。2007年3月の技術基準省令の全面的な改正によって港湾の施設の設計に性能設計の考え方が導入され、それに伴って施設の要求性能や設計供用期間という概念も導入された。要求性能とは施設に必要なとされる性能のことであり、設計供用期間とは施設の設計に当たって、当該施設の要求性能を満足し続けるものとして適切に設定される期間であり、通常は50年とされる場合が多い。技術基準省令には維持管理の原則が表1に示すとおり規定され、供用期間にわたって要求性能を満足するよう、維持管理計画などに基づいて性能が維持されなければならない、とされている。

る。その詳細は「技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示」(2007年)に示され、具体的には、基準・同解説(2018年版)に記載されているように、設計段階において部材ごとに維持管理レベル(表2参照)を定めるとともに、維持管理レベルが合理的に実現できるように設計がなされ、維持管理レベルに対応した点検診断や維持補修工事などを円滑に実施できるように設計時から配慮がなされていること、これらを記載した維持管理計画書(案)を設計段階で作成することなどが必要となった。

性能設計の導入により、施設の設計に当たって、要求性能の1つである構造的な応答に関する性能(使用性、修復性、安全性)を満足し続けることを確認するために、高耐久性材料・部材の導入検討や、供用期間中の材料劣化や維持補修などを考慮した性能照査が不可欠になったと言える。また、施設共通の要求性能として維持管理性、すなわち点検診断の容易性や劣化損傷に対して技術的・経済的に妥当な補修・補強などを施すことにより所要の性能を継続的に確保できる性能が求められている。

表1 技術基準省令における維持に関する規定の概要

第四条	供用期間にわたって要求性能を満足、維持管理計画等に基づき、適切に維持
2	自然状況、利用状況その他の諸条件、構造特性、材料特性等を勘案
3	定期及び臨時の点検及び診断、維持に係る総合的な評価、維持工事等の実施
4	維持に必要な事項の記録及び保存
5	利用の安全のための運用方法の明確化、危険防止対策

表2 維持管理レベル²⁾

分類	損傷劣化に対する考え方
維持管理レベルⅠ	高い水準の損傷劣化対策を行うことにより、供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に損傷劣化を留める。
維持管理レベルⅡ	損傷劣化が軽微な段階で、供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を予防する。
維持管理レベルⅢ	要求性能が満たされる範囲内で、損傷劣化に起因する性能低下をある程度許容し、供用期間中に1~2回程度の大規模な対策を行うことにより、損傷劣化に事後的に対処する。

3. 鋼構造物の腐食対策における性能設計

港湾の施設を構成する鋼部材、具体的には鋼管杭、鋼管矢板、鋼矢板などの鋼材は、高い強度、安定した品質、優れた施工性など特長を有する。一方で、鋼材は腐食するという性質がある

ため、鋼部材の性能を十分に発揮させるためには、腐食対策としての防食が必要となる。

(1) 鋼構造物の性能照査

基準・同解説では、“鋼構造物の性能照査にあたっては、性能の経時変化に対する検討において、設計供用期間中に構造部材の性能の低下が生じないことを基本とする。一般に、技術基準対象施設に用いられる鋼材は、厳しい腐食環境条件下に設置されるため、電気防食工法、被覆防食工法、またはその他の防食工法によって適切に防食を行う。このため、鋼部材の経時変化に対する検討は、鋼材の防食設計について行うことを基本とする”とされている。

(2) 鋼材の防食設計

鋼材の防食対策は、平均干潮面(M.L.W.L.)以下の部分においては電気防食工法、朔望平均干潮面(L.W.L.)以下1mより上の部分においては被覆防食工法によることを標準とする(図3参照)。この方法は、実績が多く、信頼性も確認されている。M.L.W.L.~L.W.L.-1mの間は、集中腐食が最も発生しやすい部位であるため、被覆防食と電気防食を併用し、集中腐食を防止できるように配慮されている。

電気防食は流電陽極方式と外部電源方式に分類できるが、港湾鋼構造物に対しては維持管理が容易であることから、一般にアルミニウム合金陽極を用いた流電陽極方式が適用される。

被覆防食は塗装、有機被覆、ペトロラタム被覆、無機被覆、金属被覆に分類されるが、港湾鋼構造物が新設か既設か、干満帯か海中部かといった防食対象部位の相違、腐食環境条件、施

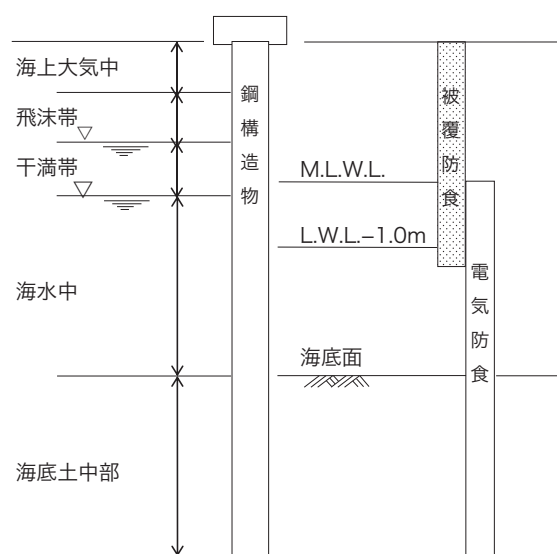


図3 港湾鋼構造物の腐食環境と適用防食法³⁾



工条件、耐用年数などに対して、各防食工法の特性を考慮し、信頼性の高い工法を選定する必要がある。

(3) 防食工の維持管理

防食工の防食性能を設計耐用年数の間発揮させるためには、供用期間中の防食工の維持管理が不可欠である。適切な頻度および必要な時点で防食工に関する点検診断を行い、その防食性能を評価するとともに、必要に応じて防食工の補修を行う必要がある。電気防食の場合、電位測定によって防食状態にあることを確認するとともに、陽極の消耗量調査によって残存耐用年数を算出し、陽極の取替・追加など、適切な時期に適切な対応を行うことも可能である。被覆防食の場合、目視調査を主体として、傷やはがれなどの変状が確認された場合には、詳細調査や補修など適切に対応する必要がある。

(4) 既設鋼構造物の改良

既設鋼構造物の性能照査は、主に目視調査と鋼材の肉厚測定を実施することで、現状で施設の要求性能を満足していることを確認するとともに、鋼材の腐食速度を用いて残存耐用年数を予測することができる。施設として今後も利用し続ける場合、あらたに設計供用期間（例えば50年）を設定し、供用期間にわたって施設の要求性能を満足することを照査する必要がある。この場合、防食性能確保の観点では、被覆防食の補修や電気防食の大規模な交換を行うことが想定される。なお、当初の設計が腐食しるによる場合には、既設鋼構造物に被覆防食や電気防食（陽極）を新たに施工することにより延命化が可能となる。

4. 鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化に対する性能設計

港湾の鉄筋コンクリート構造物は厳しい海洋環境に晒されるため、その劣化原因の多くは、写真3に示すような塩害に起因する。そのため、耐久性に関して性能設計を行う場合、塩害に対する性能照査が非常に重要となる。ここでは、塩化物イオン濃度による鉄筋腐食の照査、コンクリートのひび割れ幅の照査および既往の知見による鉄筋腐食により劣化した部材の耐力の3つについて紹介する。

(1) 塩化物イオン濃度による鉄筋腐食の照査

港湾の鉄筋コンクリート構造物における塩化物イオンによる鉄筋腐食の照査は、鉄筋腐食の主要因となる塩化物イオン濃度が、鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度を上回らないようにコンクリートの品質などを定める簡便な手法が採用されている。



写真3 港湾構造物の塩害劣化の例

塩化物イオン濃度の将来予測は、Fickの拡散方程式の解を用いて行うが、その際、鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度 C_{lim} 、表面塩化物イオン濃度 C_o 、コンクリートの拡散係数 D_k の設定が重要となる。 C_{lim} は、15年間模擬環境に暴露した干満帯試験体の調査結果から 2.0kg/m^3 に設定されている⁴⁾。 C_o は、全国の栈橋上部工におけるコンクリート中の塩化物イオン濃度分布データから、海水面（H.W.L.）からコンクリート表面までの距離 X との関係を調べ、近似直線式で設定されている⁵⁾。また、 D_k も、海洋暴露試験を実施した供試体や、実構造物から得られたコンクリートの見かけの拡散係数から設定されている⁶⁾。これらの係数や式は、2017年制定土木学会・コンクリート標準示方書〔設計編〕とは異なっており、いずれも海洋環境に特化したものとなっている。土木学会コンクリート標準示方書と港湾の基準・同解説での比較を表3に示す。なお、本照査結果により、供用期間中に性能低下が予測される場合には、対象部材の維持管理レベルも考慮して、水セメント比低下によるコンクリートの緻密化、高耐久補強材の使用などの対策を検討する必要がある。

表3 コンクリート標準示方書と港湾基準の比較

	コンクリート標準示方書	港湾基準・同解説
腐食発生限界塩化物イオン濃度 C_{lim}	セメント種類、W/Cによって設定	2.0 (kg/m ³)
表面塩化物イオン濃度 C_o	地域や飛沫帯と海岸からの距離で設定	$C_o = -6.0X + 15.1$ (kg/m ³) X : H.W.L.からの距離 (m)
拡散係数 D_k	セメント種類、W/Cによって設定	セメント種類、W/Cによって設定（港湾基準の独自式）

(2) コンクリートのひび割れ幅の照査

鉄筋コンクリート部材の使用性照査のうち、鉄筋腐食に関わる要因としてひび割れ幅の照査が規定されている。照査におい

表4 各種補強材を用いた場合のひび割れ幅の限界値

鉄筋の種類	環境区分	ひび割れ幅の限界値
異形鉄筋・普通鉄筋	特に厳しい腐食性環境	0.0035 c
	腐食性環境	0.004 c
	一般の環境	0.005 c
PC鋼材	一般の環境	0.004 c
エポキシ樹脂塗装鉄筋		無塗装鉄筋を用いた場合より10%割り増し
SUS-304-SD		0.5mm
SUS-316-SD		0.5mm
SUS-410-SD		0.005 c あるいは 0.5mmのいずれか小さい値

ては、曲げひび割れ幅の設計応答値を算定して、その値がひび割れ幅の限界値以下であることを確認する。使用時のひび割れ幅の限界値は表4に示すように、かぶり c (mm) をパラメータとして設定されている。また、塩害対策として使用されるエポキシ樹脂塗装鉄筋およびステンレス鉄筋を用いる場合の限界値も設定されている。

(3) 鉄筋腐食により劣化した部材の耐力

鉄筋腐食が生じた部材の耐力を、構造物の劣化度の指標を用いて評価することができれば、構造物の健全度を照査する上で、非常に有用となる。しかし、構造物の劣化は、コンクリートのひび割れ、鉄筋とコンクリートの付着力減少、鉄筋断面の欠損など多岐にわたっており、単純な評価は難しい。また、鉄筋コンクリート部材の健全度は、一般的に近接目視による劣化度ランクとして示され、耐力について定量的な照査を行うことは難しい。これまで、加藤ら^{7)、8)、9)}は、30年以上経過した栈橋上部工から切り出したRC部材、各港湾の栈橋上部工や渡橋床版から採取した40体のRC部材および電食により局所的腐食を生じさせた試験体を用いて、劣化度と耐力比の関係、鉄筋断面減少率と耐力の関係などの検討を実施している。その結果、劣化度と耐力の関係にはばらつきが見られるが、少なくとも劣化したRC部材の構造性能は低下すること、鉄筋の腐食程度とその発生箇所に着目して評価する必要があることが示されている。

5. 今後に向けて

性能設計の導入は、初期建設費の低減を重視した従来の設計からの大きな転換であり、供用期間中の点検診断や維持補修工事などを含めたライフサイクルコストの低減につながる新材料や新工法など（たとえば高耐久性の材料・部材の採用、部材のプレキャスト化など）の導入促進につなげていくことが期待される。

また、点検診断の容易性の観点からは、栈橋上部工下の点検

足場やケーソン中詰材の点検孔の設置など、当初設計における維持管理への配慮も重要である。さらに、被覆防食工の劣化状況、コンクリート中の塩化物イオン濃度、鉄筋の腐食状況などについて各種センサーを用いて自動でモニタリングできる技術の確立が望まれる。

今後は、従来の施設の維持管理に加えて、既存施設の供用期間の延長や用途の変更、地球温暖化などによる作用外力の強大化や施設の耐震化などに伴う設計条件の見直しが必要となる事例が増大していくものと想定される。これらの改良設計においては、あらたに設定した設計供用期間にわたって性能を満足することを照査する必要があるが、新設の施設の設計とは異なり、既存部材の劣化状況が部材ごとに様々であり、劣化が急速に進展する可能性もあるなど、多くの課題がある。このような課題に対して、維持管理計画を充実させるなど設計・施工・維持管理を通じた対応策の検討が必要と考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 一般財団法人 沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル（改定版），p.7，平成30年7月
- 2) 公益社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻），P.74，平成30年5月
- 3) 一般財団法人 沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（2009年版），p.53，平成21年11月
- 4) 山路徹，他：海洋コンクリートの耐久性に及ぼす暴露環境およびセメントの種類の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.577～582，2001
- 5) 山路徹，他：港湾コンクリート構造物および塩害環境の定量的評価手法に関する検討，港湾空港技術研究所報告，Vol.44，No.3，pp.39～75，2005
- 6) 与那嶺一秀，他：長期海洋暴露試験および実構造物調査に基づくコンクリートの塩化物イオン拡散性状に関する性状に関する検討，港湾空港技術研究所資料，No.1339，2018
- 7) 加藤絵万，他：建設後30年以上経過した栈橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状と構造性能，港湾空港技術研究所資料，No.1140，2006
- 8) 加藤絵万，他：港湾RC構造物の確率論に基づく保有性能評価の試行，土木学会論文集E2（材料・コンクリート構造），Vol.67，No.1，150～159，2011
- 9) 加藤絵万，他：局所的に生じた鉄筋腐食がRCはりの構造性能に及ぼす影響，港湾空港技術研究所報告，Vol.47，No.1，pp.57～82，2008



研究

沿岸レポート

洋上風力研究室の活動状況について

- ・洋上風力発電設備支持構造物に関する共同研究
(1.防食工法 2.洗掘防止工法)
- ・「洋上風力発電設備に係る海底地盤の調査及び評価の手引き」の作成

一般財団法人沿岸技術研究センター
洋上風力研究室 井瀬 肇

タイトル背景写真：洗掘防止工法 基本実験の様子

1. はじめに

平成31年4月に、海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律が施行され、一般海域にも洋上風力発電設備を設置する環境が整備された。また、2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、令和2年12月には「洋上風力産業ビジョン（第1次）」が策定され、政府及び産業界は、洋上風力発電の導入目標を「2030年までに1,000万kW、2040年までに3,000～4,500万kW」と設定された。現在、全国各地の適地では、具体的な洋上風力発電事業が計画・検討されている。

2. 洋上風力発電設備支持構造物の防食工法に関する共同研究について

共同研究の目的と研究内容

我が国では洋上風力発電設備の導入が進められているが、港外に大規模な洋上風力発電設備を建設した事例は殆どない。このため、先行する海外の設置事例や技術的知見、また我が国の港内における設置事例等をふまえ、洋上風力発電設備支持構造物の防食の設計と維持管理について、通常の港湾鋼構造物と異なる留意事項や参考となる技術情報を整理し、「洋上風力発電設備支持構造物の防食工法のテクニカルレポート」を作成することを目的として、共同研究を行う。

共同研究で取り扱う、洋上風力発電設備支持構造物の防食上の主な課題としては、以下の事項が想定される。

◆洋上風力発電設備支持構造物の特徴

- ・外洋の厳しい環境（波浪・潮流）：洋上風力発電設備は外洋に設置されることが多く、沿岸部の港湾施設とは異なり厳しい気象・海象条件にさらされる。

- ・内面の複雑な腐食メカニズム：洋上風力発電設備支持構造物の内部は、半密閉の状態が多く、港湾施設にはあまり見られない複雑な腐食環境となる。
- ・海洋生物の影響：海水や海底土の中の微生物による鋼材腐食への影響が懸念されている。
- ・漂砂・洗掘による摩耗や埋設部の変化：海底の漂砂や洗掘の砂による鋼材表面の摩耗や海底面の変化により腐食環境（埋設土中部）も変化する。
- ・限定された供用期間（腐食しろの導入）：腐食しろによりある程度の腐食を許容した方が、LCCの低減につながる場合がある。

◆先行する海外の知見の導入

- ・海外規格・基準との整合：DNV GLやISOなどの国際基準と港湾鋼構造物防食・補修マニュアルなどの国内基準との比較検証。
- ・効率的なメンテナンス手法：遠隔監視などを活用した効率的なメンテナンス手法の導入など。

実施体制

共同研究者

- ・一般財団法人 沿岸技術研究センター
- ・電気防食工業会（会員会社：株式会社ナカボーテック、日鉄防食株式会社、日本防蝕工業株式会社）

共同研究期間

令和2年11月～令和3年3月（予定）

経緯と今後の予定

- ・令和2年6月～9月の期間に計5回の勉強会を実施
- ・令和3年3月を目途にテクニカルレポートを公表予定

3. 洋上風力発電設備に係る洗掘防止工法の確立に関する共同研究について

共同研究の目的と研究内容

洋上風力発電設備は、厳しい気象・海象条件の外洋（一般海域）にも設置されるが、我が国では外洋に洋上風力発電設備を設置した事例はほとんどなく、洋上風力発電設備支持構造物（モノパイルなど）周りの洗掘機構及び洗掘を防止する対策工法については、必ずしも技術的知見が十分には蓄積されていない。

網状の袋材に石材を充填した袋型根固材は、防波堤や河川堤防の侵食対策として技術開発が進められ実用化されており、安定性、施工性、維持管理性、経済性の観点から洋上風力発電設備支持構造物周りの洗掘防止工法としても優位性が期待されている。

このため、洋上風力発電設備支持構造物周りの洗掘機構を明らかにし、袋型根固材を用いた洗掘防止工法の合理的で経済的な設計手法の確立を目的として共同研究を行うものである。

共同研究で取り扱う、具体的な研究事項としては以下の事項を想定している。

- ・洋上風力発電設備支持構造物周りの洗掘機構の解明
- ・袋型根固材の安定性及び洗掘防止効果の評価
- ・袋型根固材を用いた洗掘防止工法の設計手法の確立

実施体制

共同研究者

- ・国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
- ・一般財団法人 沿岸技術研究センター
- ・洋上風力発電設備洗掘防止工法研究会
(構成員) ナカダ産業株式会社、株式会社不動テトラ、前田工織株式会社

共同研究期間

令和2年9月30日～令和4年3月31日

経緯と今後の予定

- ・令和2年9月～令和3年9月頃までに水理模型実験を実施
- ・令和4年3月を目途に研究成果を公表予定

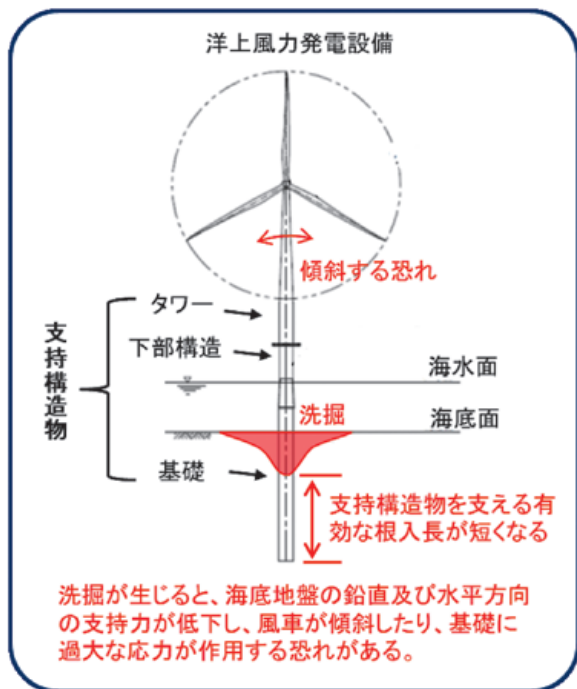


図1 洗掘が生じることによる影響

4.「洋上風力発電設備に係る海底地盤の調査及び評価の手引き」の作成について

手引き作成の目的と概要

洋上風力発電設備はこれまで建設実績の多い港湾構造物と異なり、気象・海象条件が厳しい大水深に設置される。また、洋上風力発電設備の設置間隔は最低でも数百メートルになり、設置範囲も広範囲になるものと想定される。このため、通常の港湾構造物で採用される海底地盤調査の考え方を、洋上風力発電設備へそのまま適用することは難しい場合がある。

このような背景を踏まえ、洋上風力発電設備に係る海底地盤の調査及び評価をより効率的に実施し、安全で経済的な設計を可能とすることを目標として、「洋上風力発電設備に係る海底地盤の調査及び評価の手引き」を作成することにした。

本手引きは、必ずしも地盤調査を専門としない洋上風力関係者に、洋上風力発電設備の設計のための海底地盤調査の全体像を説明することに主眼を置き、以下の目次（案）を想定し全4章から構成する予定である。

また、本手引きの作成にあたり、その内容をより充実化させるため、学識経験者から構成される「洋上風力発電設備に係る海底地盤調査技術検討委員会（委員長：菊池喜昭東京理科大学教授）」（以下「検討委員会」という。）を設置し、ご意見・ご指導をいただく。

目次（案）

- 1章 はじめに
- 2章 海底地盤調査計画
- 3章 海底地盤調査手法
- 4章 地盤調査結果の取りまとめ方法
- 参考 設計用地盤定数の設定上の留意点

実施体制

- ・洋上風力発電設備に係る海底地盤調査技術検討委員会
- ・一般財団法人 沿岸技術研究センター
- ・一般社団法人 海洋調査協会

経緯と今後の予定

- ・令和2年 9月 1日 作成作業開始
- ・令和2年 10月 26日 検討委員会（第1回）
- ・令和3年 1月 19日 検討委員会（第2回）
- ・令和3年 4～7月 検討委員会（第3回・第4回）
- ・令和3年 秋頃「洋上風力発電設備に係る海底地盤の調査及び評価の手引き」公表（出版）予定



国際

沿岸レポート

濱口梧陵国際賞授賞式



一般財団法人沿岸技術研究センター
研究主幹 西園 勝秀

わが国の津波防災の日である11月5日が、2015年12月の国連総会において「世界津波の日」に制定されました。これを機に、国土交通省、内閣府政策統括官（防災担当）等の皆様からのご後援をいただき2016年創設された「濱口梧陵国際賞」は、津波防災をはじめとする沿岸防災技術分野で顕著な功績を挙げた国内外の個人又は団体を表彰するものです。

今般、2020年の受賞者が次の2名・1団体に決定し、11月4日（水）に海運クラブにて授賞式が開催されました。

○今村文彦 東北大学災害科学国際研究所長 教授

・30年以上にわたって津波防災・減災技術開発、津波数値解析、津波被害調査などを実施。津波数値モデル技術移転国際プロジェクト（TIME）責任者として国内外で活動。中央防災会議専門調査会委員などを歴任。

○Costas Synolakis 教授 南カリフォルニア大学

・1980年代後半に、勾配のある海岸への孤立波の遡上に関する解析解を発表。米国立海洋大気庁等が運用する標準的な津波浸水モデルであり、世界中で使用されているMOST（Method Of Splitting Tsunami）モデルを開発。

○アチェ津波博物館 インドネシア共和国アチェ州

・2004年のインド洋大津波を忘れないための象徴として、また災害軽減のための教育センターとして設立。平日2,000～3,000人、週末には6,000人ももの若者や外国人が訪れ、津波の脅威を学ぶ。

（※）濱口梧陵氏は、150年ほど前の江戸時代末期の安政南海地震で自らの資産を投げ打ち村人の命を津波から守った人物



今村文彦 教授



Costas Synolakis 教授



アチェ津波博物館長 (Ms. Hafnider.)



授賞式



NEWS 01

2021年度

「海洋・港湾構造物 維持管理 資格更新研修会」
 「海洋・港湾構造物 維持管理士 資格認定試験」
 「海洋・港湾構造物 設計士 資格認定試験」

2021年度の資格試験等について、下記のとおり予定しています。実施の詳細や募集の案内につきましては、当センターホームページ（URL <http://www.cdit.or.jp/>）に適宜掲載しますので、ご確認ください。

2021年度 海洋・港湾構造物 維持管理 資格更新(CPD単位不足者向け)研修会

開催日程：2021年10月8日（金）開催予定

開催場所：東京23区内を予定しています。

半日間の研修会です（オンライン方式での開催を基本とします）。

- ・CPD単位が250単位以上ある方
→受講する必要はありません。
- ・2011年度試験及び2016年度試験に合格し、2022年3月31日までの資格を有する方で、資格更新CPD単位が250単位に満たない方
→受講をお勧めします。
- ・資格失効後1年未満（資格有効期限が2021年3月31日）で更新を希望する方
→受講をお勧めします。

研修会申込みにあたっては、事務局にご相談下さい。

申込受付期間：2021年7月中旬～8月中旬

研修会前にレポートを提出していただきますが、詳細は当センターホームページで確認ください。

2021年度 海洋・港湾構造物維持管理士 資格認定試験

開催日程：2021年11月7日（日）開催予定

開催場所：東京23区内、大阪市内、福岡市内、札幌市内の4会場にて実施を予定しています。

試験日程：13：00より択一試験及び記述試験を受けていただく予定です。

申込受付期間：8月下旬～9月下旬（当センターホームページにて募集を行います）

2021年度 海洋・港湾構造物設計士 資格認定試験

【設計士補試験及び設計士筆記試験】

開催日程：2021年7月4日（日）開催予定

開催場所：東京23区内、大阪市内、福岡市内

申込受付期間：2021年4月下旬～5月下旬

設計士面接試験

開催時期：2021年12月上旬～中旬の日曜日（1日のみ）

開催場所：東京23区内

受験資格：設計士補試験及び設計士筆記試験合格者（両試験の合格年度は同一年度の必要はありません）

申込受付期間：2021年10月中旬～11月中旬頃

その他：面接項目の一つとして、事前に「技術課題」が設定されます。詳細については、受験資格者にご案内します。



NEWS 02

浸透固化処理工法技術マニュアル(改訂版)

「浸透固化処理工法技術マニュアル」は、2003年に初版が発行されて以降、これまでに二度改訂され、現在では2010年度版が設計、施工および調査に関する技術マニュアルとして広く用いられています。

一方で、特に近年、東北地方太平洋沖地震（2011）、熊本地震（2016）、北海道胆振東部地震（2018）など、震度7を超える非常に強い地震が多数発生しており、液状化による被害も多く認められています。また、各基準においても耐震検討時における設計地震動を大きく設計する傾向にあります。

これらを踏まえ、本マニュアルにおいても、設計基準強度の設定方法を新たな知見をもとに見直しました。さらに、埋立地などの不均質な地盤に対する改良効果の評価方法として、原位置サウンディングによる調査方法を追記するなど、前述の施工実績によって得られた多くの知見をもとに、本マニュアルを再度改訂することといたしました。

本改訂版を活用することによって、浸透固化処理工法を用いて液状化対策を行ううえで、これまで以上に合理的でかつ高品質な調査・設計および施工ができるものと考えます。

販売時期：令和2年7月

販売価格：6,000円（税別）



NEWS 03

コースタルテクノロジー 2020の開催

昨年度に実施した調査・研究等の成果を「沿岸技術研究センター論文集 No.20」としてとりまとめるとともに、「コースタル・テクノロジー2020」にて報告（動画配信）しました。

1. 配信期間

2020年11月27日（金）9：00～12月10日（木）17：00

2. 配信方法

YouTubeからの動画配信

3. プログラム

(1) 主催者挨拶

一般財団法人沿岸技術研究センター
代表理事・理事長 高橋 重雄

(2) 来賓挨拶

国土交通省 大臣官房 技術総括審議官 浅輪 宇充

(3) 台風1915号と1919号による東京湾内波浪の特性について

波浪情報部 調査役 鈴木 善光

(4) 伊勢湾海洋レーダによる波浪観測手法の検討

調査部 主任研究員 峯村 浩治

(5) 志布志港におけるうねり性波浪の検討

調査部 主任研究員 本田 浩隆

(6) 大阪湾港湾等における高潮に関する防災・減災の取り組み（高潮早見図の作成とその活用方法）

調査部 主任研究員 井瀬 肇

(7) 係留中の大型貨物船の船体動揺について

調査部 主任研究員 細井 晶弘

(8) 川崎港臨港道路東扇島水江町線における主橋梁支承構造の性能試験計画（案）の検討

調査部 主任研究員 高橋 健

(9) リプレイサブル栈橋の現地実証試験結果の技術的評価

前 調査部 主任研究員 加辺 圭太郎

(10) 直営による施設の定期点検診断及び維持管理計画の策定について

調査部 主任研究員 岩崎 和弘

(11) カルシア改質土を用いた耐震強化岸壁の設計手法の提案

調査部 主任研究員 井上 吉弘

(12) 強震計観測情報を活用した港湾施設診断システムの簡易判定評価について

企画部 主任研究員 海老名 正裕

(13) 「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」の改定について

研究主幹 辰巳 大介

(14) 国際沿岸技術研究所・確認審査所・洋上風力研究の活動について（令和元年度）

専務理事 春日井 康夫

(15) 沿岸防災研究所の活動について（令和元年度）

波浪情報部 業務課長 山本浩之

論文の詳細は、当センターホームページに掲載しております。

<https://www.cdit.or.jp/monograph/2020.html>



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】

我が国が技術立国として世界をリードしていくためには、そのベースとなる技術基準の中身が重要です。そのためには、港湾整備の基本となる設計技術はもとより、時代のニーズである「グリーンとデジタル」に対応した新技術についても基準で取り上げていく必要があります。世界のデファクトスタンダードとなる港湾の技術基準、その夢を追いかける一年でありたいと思います。今年もよろしくお願い致します。(N)



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/>
2021年1月発行