

国際沿岸技術研究所・確認審査所・洋上風力研究室の活動について（令和元年度）

山本 修司*・辰巳 大介**・秋山 斉***

- *（一財）沿岸技術研究センター参与 国際沿岸技術研究所長
 確認審査所確認員 洋上風力研究室長
 **（一財）沿岸技術研究センター 研究主幹
 ***（一財）沿岸技術研究センター 調査役

本稿では、令和元年度に実施した、ISO/CENに関する情報収集、洋上風力発電設備に関する調査・研究、民間企業との共同研究及び確認審査所で行った確認業務についての概要を報告する。

キーワード：海外基準、ISO/CEN、洋上風力発電設備、PIANC、異形ケーソン

1. はじめに

我が国の港湾を取り巻く情勢は、東南アジアをはじめとする新興市場の拡大と生産拠点の南下、アジアのクルーズ市場の急成長、一帯一路構想等の交通戦略、パナマ運河や北極海航路の利用拡大等、貿易及び物流の両面で大きく変化し続けている。国土交通省港湾局では令和2年3月、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を改正した。この基本方針の各事項において当センターの技術的業務に関係が深い事項として、

- ① 国際基幹航路の寄港の維持・拡大
- ② 東南アジア諸国等への我が国の経験、技術、ノウハウを活かした質の高い港湾インフラシステムの海外展開
- ③ 大型船を活用した国際バルク戦略港湾
- ④ 地震・津波・高潮・暴風等に対する防災・減災
- ⑤ 本土から遠く離れた海域における活動拠点の形成
- ⑥ 浚渫土砂や産業副産物等の利用促進による循環型社会の推進
- ⑦ 洋上風力発電等の海洋再生可能エネルギーの導入促進及び基地港湾の整備
- ⑧ 土砂の流入抑制等による航路埋没対策が挙げられる。

当センターは、既存岸壁の大型化、航路・泊地の増深、大規模地震や高潮災害に対する施設の強靱化、産業副産物の利活用、大規模橋梁の建設、及び洋上風力発電設備などの技術課題に取り組んでいる。本稿では、最近の国際規格の動向、国際航路会議 PIANC での防舷材の設計・製造に関する規格、洋上風力発電設備に関する調査及び技術基準への適合確認業務について報告する。

2. 国際規格の動向について

国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) は各種の国際規格を策定している。ま

た、日本が1995年に批准したTBT協定では、国内規格の制定にあたっては国内規格と国際規格の整合性を図ること等がうたわれている。これは貿易における非関税障壁の撤廃を目指したものである。そのため、港湾基準をはじめとする各種規格の策定にあたっては国際規格の策定状況に注意を払う必要がある。

土木学会では長年にわたって、ISO対応特別委員会を設置し国内審議団体と協力して各種規格の審議状況を把握している。2020年の土木ISOジャーナル¹⁾から港湾に関係ありそうな規格の動向を紹介する。

2.1 構造物一般

(1) ISO2394

ISO/TC98/SC2 が担当している ISO2394 : 2015 General principles on reliability for structures (構造物の信頼性に関する一般原則) が JIS A3305 建築・土木構造物の信頼性に関する設計の一般原則として発行された。

(2) ISO3010

ISO/TC98/SC2 において日本が幹事国として改訂を行ってきた ISO3010 : 2017 Bases for design of structures- Seismic actions on structures (構造物への地震作用) が JIS A3306 建築構造物の設計の基本一構造物への地震作用として発行された。

(3) ISO13824

ISO/TC98/SC2 において日本が幹事国となり策定してきた ISO/13824 : Bases for design of structures- General principles on risk assessment of systems involving structures (構造物を含むシステムのリスクアセスメントに関する一般原則) が 2020年3月に発行された。

(4) ISO/22111

ISO/TC98/SC2 において日本が幹事国となり策定してきた ISO/22111 : Bases for design of structures- General requirements (構造設計の一般的枠組み) が 2019年9

月に発行された。

(5) ISO/10252

ISO/TC98/SC2 においてオランダが幹事国となり策定してきた ISO/10252 Bases for design of structures - Accidental actions (偶発作用) が 2020 年 3 月に発行された。

2.2 地盤関係

(1) 地盤調査と試験法

TC182/190/221 の国内審議団体である地盤工学会は、TC182 (Geotechnics, 地盤工学), TC190 (Soil quality, 地盤環境), TC221 (Geosynthetics, ジオシンセティクス) に関する規格に関与している。

TC182/SC1 は、室内土質試験法に関する規格を策定・審議することになっているが、CEN リードのウィーン協定が適用され、CEN/TC341 が実質的な審議を行っている。なお、議長国であったドイツが辞退し、現在は英国が議長国、幹事国を務めている。

日本が 2019 年 2 月から 2020 年 3 月までに賛成投票または棄権投票を行った主な規格は以下のとおりある。

- FDIS17892-1: Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil- Part1: Determination of water content (含水率測定)
- FDIS17892-2: Geotechnical investigation and testing- Laboratory testing of soil- Part2: Determination of bulk density (かさ密度測定)
- ISO18674-3/DAm1: Geotechnical investigation and testing- Geotechnical monitoring by field instrumentation - Part3: Measurement of displacements across a line : Inclinometers (ライン上の変位測定 : 傾斜計)
- ISO22476-3 Geotechnical investigation and testing - Field testing- Part3: Standard penetration test (標準貫入試験)
- ISO22476-12 Geotechnical investigation and testing - Field testing Part12: Mechanical cone penetration test (CPTM) (コーンペネトロメータ試験)
- ISO24057 Microtremor measurement to estimate shear wave velocity structure of the ground (地上のせん断波速度を推定する微動測定)

この他、ISO24283 シリーズとして、地盤調査と試験法-資格基準と評価法 (資格を有する技術者、総括技術者、適格企業) の規格が審議されている。

(2) ジオシンセティック

TC221 (Geosynthetics) では、ジオテキスタイル、ジオメンブレン及びジオシンセティック関連製品を含むジオシンセティックに関する試験法や設計概念に関する規格を審議している。様々なジオシンセティック製品を開発・流通させている我が国メーカーへの影響が大きい。

日本が 2019 年 2 月から 2020 年 3 月までに賛成投票または棄権投票を行った主な規格は以下のとおりある。

- ISO9862: Geosynthetics- Sampling and preparation of test specimens (試験供試体のサンプリングと作成)
- ISO/FDIS10722: Geosynthetics- Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading-Damage caused by granular material (laboratory test method) (繰り返し载荷条件下での力学的損傷の評価法に関するインデックス試験-粒状材料による損傷 (室内試験))
- ISO/DIS12958-1: Geotextiles and geotextile-related products-Determination of water flow capacity in their plane- Part1: Index test (ジオテキスタイル及びその関連製品-面内方向通水性能の測定-インデックス試験)
- ISO/DIS12958-2: Geotextiles and geotextile-related products-Determination of water flow capacity in their plane- Part2: Performance test (ジオテキスタイル及びその関連製品-面内方向通水性能の測定-性能試験)

これらの規格のほかジオシンセティックに関する通水性能試験、摩耗試験、強度試験、設計法などが審議されている。岸壁や護岸で使用される防砂シートや管理型廃棄物処分場で用いられる遮水シートなどは重要な港湾土木材料である。今後とも国際規格の動向に注目するとともに、日本の実績と経験を国際規格に反映することが大事であると考えられる。

ISO/TC190 では現在、地盤環境に関係する化学・生物学・爆薬その他 60 を超える規格が策定され審議されているが、筆者の理解を超える内容なのでここでは省略する。

2.3 コンクリート関係

TC71 (Concrete, Reinforced Concrete and Prestressed Concrete) の国内審議団体である日本コンクリート工学会は現在、コンクリート、鉄筋コンクリート及びプレストレストコンクリートに関する規格を審議している。日本は 7SC+1WG のうち、SC6, SC8 で幹事国、1WG で主査国になっている。日本が賛成投票を行った主な規格は以下の通りである。

SC1 関連では、

- ISO1920-1~14 Testing of concrete (コンクリートの試験方法) に関する 9 規格の定期見直しなどが行われ成立した。
- ISO20290-1 ~ 4 WD20290-5 Aggregates for concrete (コンクリート用骨材) に関する 5 規格の定期見直し及びプロジェクトの開始が成立した。

SC6 関連では、

- ISO14484 Performance guidelines for design of concrete structures using fiber-reinforced

polymer (FRP) materials (繊維強化プラスチック (FRP) 材料を使用するコンクリート構造物の設計のための性能指針) が 2020 年に発行された。

SC8 関連では、我が国が提案した以下の 3 規格の策定が開始されている。

- ・ ISO13315-1:2012 Environmental management for concrete and concrete structures-Part1:General principles (コンクリート及びコンクリート構造物の環境マネジメント-第 1 部:一般原則) の定期見直しの議論を経て、現在 Project leader の募集を行っている。

- ・ ISO13315-3, 5 Environmental management for concrete and concrete structures-Part3, 5: Production of concrete and constituents-Part5 Execution of concrete structures (コンクリート及びコンクリート構造物の環境マネジメント-第 3 部:コンクリートの製造と構成材料-第 5 部:コンクリート構造物の施工) について、規格開発の WG を設置することで合意した。

WG1 関連では、

- ・ ISO/DIS22040 Life cycle management of concrete structures (コンクリート構造物のライフサイクルマネジメント) は、2020 年 4 月締め切りで DIS 投票が実施された。

2.4 我が国の港湾基準の海外普及について

EU は自らの地域規格を国際規格化して市場獲得の面において優位に立とうとする戦略 (デジュール戦略) を取っている。そのことは Eurocodes 策定の目的にうたわれている。一方、米国は既成事実の積み上げで自国の規格が世界に浸透する戦略 (デファクト戦略) を取ってきた。しかし、最近では ISO 規格策定の議長国となる場面も増えてきている。

日本の港湾分野では、港湾基準の英語版 Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan を発刊するなど海外への日本の港湾技術の普及に努めるとともに、ベトナム国の港湾基準の策定に協力している。

一方、海外事業に携わる人からは「日本の港湾基準の内容は難しい。」とか「日本独自の内容があり、相手国がそのまま受け入れるには難がある。」というような声を聞くことがある。

国総研から昨年度受託した「我が国の港湾基準の海外普及方策に関する検討業務」では、よくある質問について役立つ参考情報を整理した。2, 3 例を挙げると、①日本と海外で潮位の考え方が異なるが、施設の天端はどう考えたらよいか? ②地震観測が行われていないところで、時刻歴波形をどのように設定したらよいか? ③簡易ビショップ法で偏心傾斜荷重に対する照査を行っているが FEM 解析ではだめなのか? ④電気防食の防食電位や腐食速度などが ISO 規格と異なるがどのように考えたらよ

いかなどがある。このような質問に対する回答例を作成したがなかなか説明しづらい部分があった。

基準・規格の策定において、「原則」と「現地での適用」をきちんと区分することが大事ではないかと考える。数年前フィジー国の JICA 専門家から、「フィジー及び周辺国では栈橋の劣化・損傷がひどい。点検・維持管理に関するセミナーに参加してほしい。」という要請を受けた。筆者は維持管理についての知識も経験も乏しいが引き受けることにした。その時使用したテキストは Guidelines on Strategic Maintenance for Port Structures であった。これは、日本と ASEAN の技術協力プロジェクトで策定されたもので、Common Part は日本のインフラマネジメントの原則・技術理念に基づいた汎用的内容、National Part は各国・地域の独自性を反映した実践的な内容となっている。このガイドラインに関するセミナー参加者の評価は非常に良かったという印象をもった。このガイドラインは、今後の港湾基準の作成において参考になるであろう。

3. 洋上風力発電について

沿岸技術研究センターでは、洋上風力発電に関する各種調査研究活動を、より精力的に進めるため、平成 29 年 7 月 1 日に、センター内の組織として、「洋上風力研究室」を設置している。

洋上風力研究室の主な活動内容は、洋上風力発電設備の調査・設計技術に関する情報収集及び調査研究、また、洋上風力発電設備の技術基準の策定支援等である。平成 31 年度 (令和元年度) における洋上風力研究室の主要な活動状況を、以下に記載する。

(1) 洋上風力発電に関する国内外の動向の情報収集

平成 31 年度 (令和元年度) は、「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」(以下、「再エネ海域利用法」という。) が 4 月 1 日に施行され、一般海域における洋上風力発電の導入に向けた取り組みが着実に進められた。

まず、令和元年 6 月には、経済産業省 資源エネルギー庁 新エネルギー課及び国土交通省 港湾局 海洋・環境課から、「海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域指定ガイドライン」と「一般海域における占用公募制度の運用指針」が公表された。

次に、令和元年 7 月には、都道府県等からの情報提供や有識者による第三者委員会の意見を踏まえ、再エネ海域利用法における促進区域の指定に向けて、既に一定の準備段階に進んでいる区域として、11 区域を国が整理し公表した。11 区域のうち、秋田県能代市・三種町・男鹿市沖、秋田県由利本荘市沖、千葉県銚子市沖、長崎県五島市沖の 4 区域は、地元合意などの環境整備が進捗している有望な区域として、協議会の設立や国による風況・地盤調査が開始されることになった (図-1 参照)。

さらに、長崎県五島市沖については、3回の協議会を経て合意形成が図られ、関係省庁への協議など必要な手続きが完了したことから、令和元年12月に国が促進区域（海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域）へ指定した。令和2年度には、占用事業者の公募選定の手続きが開始される見込みである。

一方、港湾区域については、令和2年1月に、秋田県が、秋田港と能代港における洋上風力発電設備建設工事及び洋上風力発電事業に係る港湾区域内水域の占用を許可した。水域占用を許可された秋田洋上風力発電株式会社は、令和2年2月に融資契約を締結し、今後、陸上送電部分から工事着手する予定である。

このように、一般海域と港湾区域の両方において、具体的な洋上風力発電プロジェクトの案件形成が図られるなか、令和元年11月には港湾法が改正され、洋上風力発電設備の設置及び維持管理に利用される基地港湾の埠頭を、国から選定事業者等に対して長期・安定的に貸し付ける制度が創設された。さらに、港湾法改正を受けて、能代港・秋田港・鹿島港・北九州港の4港では、港湾計画に「海洋再生可能エネルギー発電設備等の設置及び維持管理の拠点を形成する区域」が位置付けられた。

洋上風力発電の国外の動向については、令和元年9月に、デンマーク・オランダ・ベルギー・ドイツを訪問し、現地の関係者から情報収集を行った。主な訪問先は、表-1のとおりである。また、調査結果については、機関誌CDIT53号をご参照いただきたい³⁾。

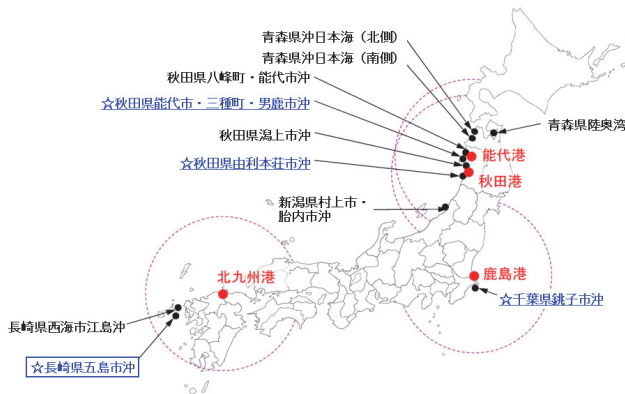


図-1 再エネ海域利用法に基づく促進区域の指定の状況（令和2年5月時点）。黒字の7区域は、既に一定の準備段階に進んでいる区域として令和元年7月に公表された区域。青字の4区域は、地元合意などの環境整備が進捗している有望な区域として、協議会の設立や国による風況・地盤調査が開始された区域。赤字の4港湾は基地港湾の候補。国土交通省港湾局ホームページ⁴⁾の図面を一部修正。

表-1 ヨーロッパにおける洋上風力発電設備に関する調査の主な訪問先

9/9	デンマーク・エスビアウ (Esbjerg) 港 -MHI Vestas Offshore Wind 社, 港湾管理者
9/10	オランダ・フリッシンゲン (Vlissingen) 港 -MHI Vestas Offshore Wind 社 ベルギー・オーステンデ (Oostende) 港 -港湾管理者
9/11	ドイツ・ロストック (Rostock) 港 -EEW Special Pipe Constructions 社
9/12	ドイツ・ムクラン (Mukran) 港及びアルコナ (Arkona) 洋上風力発電所 -E.ON 社, 港湾管理者

(2) 洋上風力発電設備の技術基準の策定支援

洋上風力研究室は、経済産業省商務情報政策局産業保安グループ電力安全課、国土交通省港湾局海洋・環境課、(一社)寒地港湾技術研究センターの三者と共同で、「洋上風力発電施設検討委員会 設計技術ワーキンググループ（座長：清宮理 早稲田大学名誉教授）」の事務局を務め、「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説」（以下、「統一解説」という。）の策定支援を行っている。

統一解説は、港湾区域に着床式洋上風力発電設備を設置することを主な対象として、平成30年3月に策定された。今般、再エネ海域利用法の施行を踏まえ、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、また支持構造物の構造形式として浮体式も検討対象となる可能性が高まったことから、令和2年3月に統一解説の改定が行われた。改定に係る技術的検討については、本論文集に別途投稿しているので、そちらをご参照いただきたい⁵⁾。

なお、令和2年3月には、統一解説の改定と合わせて、「洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針」及び「洋上風力発電設備の維持管理に関する統一解説」も改定された。

4. PIANCにおける防舷材のガイドライン検討

船舶の接岸や係留に使用されるゴム防舷材の国際規格は、PIANC（国際航路協会）から現在までに2回発行されており、最初は1984年、その後2002年に改定された。それから20年近くが経ち、折しも2018年、日本において「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の改正を控えて、当センターと国内の防舷材メーカーとの共同で「ゴム防舷材の設計法と試験法に関するガイドライン」が出版された。これをきっかけとして2002年のPIANCガイドラインの見直しをPIANC本部に提案、2019年3月にWG211として新しいガイドライン作成のためのワーキンググループが始まった。

構成メンバーは、オランダ、ノルウェー、オーストラリア、ベルギー、イギリス、アメリカ、ドイツ、スペイン、韓国、シンガポールなど世界中からの港湾管理者、コンサルタント、防舷材メーカーら30名弱からなり、第

1回目のロッテルダム以降、青島、ドーバー、メルボルンなど各国の持ち回りで4か月程度ごとに会議を開いている。新型コロナの影響で第5回のバレンシア会議はオンライン会議に変更されたが、2022年の出版を目指して精力的に進められている。

議論されている主な技術的ポイントは次のようなものである。

- ① 接岸速度、環境温度、接岸角度、経年変化などの防舷材性能の変動要因に対する考え方と設計・試験の実施要領の設定
- ② 船舶の諸元に関する最新データの調査
- ③ 喫水と水深が近い場合など岸壁の条件を考慮した有効接岸エネルギーの計算方法の提案
- ④ ゴム製品独特の製造方法、ゴムの材質などの紹介、確認すべき項目及び品質水準の提案
- ⑤ 維持管理、廃棄、リサイクルなど環境問題への取り組みの提言

ガイドラインとは言っても設計、試験、維持管理などに関する技術的知見の集大成となり、実質的にはデファクトスタンダードとして活用されることが予想されるためメーカーやコンサルタントにとっては利害の絡む議論になることも多々ある。各章ごとに小グループに分かれ、十分議論したのちに全体会議でまとめを調整してゆく手法で進められている。日本サイドでは、上田茂鳥取大学名誉教授をはじめ、国交省港湾局、国土技術政策総合研究所、港湾空港技術研究所、国内の防舷材メーカー及び当センターが国内検討チームを作り、日本としての考えを統一して提言するように努めている。

当センターでは海外で防舷材に関係する技術者を支援するため、前述のゴム防舷材の設計法と試験法、および維持管理に関する書籍を英訳し”Guidelines for design and testing of rubber fender systems”, ”Guidelines for the maintenance of rubber fender systems”としてホームページから無料でダウンロードできるようにしており、今回のワーキンググループにも参考資料として提供している。



写真-1. 第4回会議メンバー（ドーバー/イギリス）

5. 確認審査業務

沿岸技術研究センターは、平成19年8月24日に港湾法に基づく登録確認機関として国土交通大臣より登録され、平成19年10月1日に設置した確認審査所が「港湾の施設の技術上の基準との適合性を確認する業務」を開始した。また、令和2年2月に海洋再生可能エネルギー発電設備等が備える係留施設が確認対象施設（港湾法施行規則第28条の21）に追加された。令和元年度は、13件（防波堤・護岸5件、係留施設5件、荷役機械3件）の申請があった。申請者の内訳は、港湾管理者12件、民間企業1件であった。

確認審査結果を審議する「適合検討委員会」で話題になった事項や確認員が指摘した事項を紹介する。

① 防波堤異形ケーソンの地盤反力

防波堤隅角部等で用いられるケーソンは台形又は五角形となることがある。その地盤反力の算定において、底面を面積が等しい長方形に換算することがあるが、危険側の処理となるので適切な地盤反力計算方法を用いるべきである（付録-1参照）。

② 粘性土地盤に設置される矢板岸壁

粘性土層が卓越する地盤において、フリーアースサポート法で計算した結果をロウの方法を用いて補正している事例があった。そもそもロウの方法は砂地盤が対象なので、粘性土地盤の場合にはたわみ今曲線を用いるのが適切と考える。

③ 簡易CU試験結果の扱い

粘性土の強度評価において、一軸圧縮試験と簡易CU試験を併用する場合において、簡易CU試験の計測値に一次処理を行っていない事例があった。一軸圧縮試験結果と横並びで評価する場合には、導出値＝ $((0.65 \sim 0.7) \times$ 計測値の補正をすることが推奨されている。

④ 揚圧力

栈橋上部工に作用する揚圧力の算定においては、作用する波が進行波か重複波かの検討が必要である。

付録-1 防波堤異形ケーソンの地盤反力

防波堤異形ケーソンは、港外側と港内側で法線方向のケーソン長が異なる。そのため、地盤反力の法線方向の分布長が変化するので、矩形ケーソンの場合の地盤反力算定式を用いることができない。設計実務では、異形ケーソンの底面積と等しい矩形ケーソンに置き換えて検討することがあるが危険サイドの扱いとなる。

底面が付図-1のような台形ケーソンの場合の地盤反力の算定法を以下に示す。この算定法は、高山知司氏（当センター上席客員研究員）が導出したものである。

式(1)～(10)において使用する変数等は以下のとおりである。

L_f : 港外側ケーソン長

L_r : 港内側ケーソン長

B : ケーソン幅

B_e : 三角形分の場合の地盤反力分布幅

p_f : 港外側地盤反力

p_r : 港内側地盤反力

x : 港内側面からの距離

l : 港内側面から x の位置のケーソン幅

p : 地盤反力

p_{WH} : 港外側面における揚圧力

p_{WH} : 防波堤に作用する単位長さあたりの波力

ケーソン港内側面から距離 x の位置のケーソン幅 l とその線上の地盤反力 p は式(1)～(4)で与えられる。

$$l = l_r + \frac{x}{B}(l_f - l_r) \quad (1)$$

1) 台形分布

$$p = p_r + \frac{x}{B}(p_f - p_r) \quad (2)$$

2) 三角形分布

$$0 \leq x \leq B_e$$

$$p = p_r + \frac{x}{B}(p_f - p_r) \quad (3)$$

$$B_e \leq x \leq B$$

$$p = 0 \quad (4)$$

底版に作用する地盤反力の総和 P_U と後趾周りのモーメント M_U は式(5)～(8)で求まる。

台形分布

$$P_U = \int_0^B p l dx$$

$$= p_r B \left(\frac{1}{3} l_r + \frac{1}{6} l_f \right) + p_f B \left(\frac{1}{3} l_f + \frac{1}{6} l_r \right) \quad (5)$$

$$M_U = \int_0^B p l x dx$$

$$= \frac{1}{12} p_f B^2 (3 l_f + l_r) + \frac{1}{12} p_r B^2 (l_f + l_r) \quad (6)$$

三角形分布

$$P_U = \int_0^{B_e} p l dx$$

$$= \frac{p_r B_e}{6B} [3B l_r + B_e (l_f - l_r)] \quad (7)$$

$$M_U = \int_0^{B_e} p l x dx$$

$$= \frac{p_r B_e^2}{12B} [2B l_r + B_e (l_f - l_r)] \quad (8)$$

波による揚圧力 p_{WH} と後趾周りのモーメント M_{WH} は式(9), (10)のとおりである。

$$P_{WH} = \frac{1}{6} p_{WH} B (2 l_f + l_r) \quad (9)$$

$$M_{WH} = \frac{1}{12} p_{WH} B^2 (3 l_f + l_r) \quad (10)$$

ケーソン底面の台形形状を矩形形状と三角形形状に分けると、波による揚圧力の計算は矩形形状となる部分に

ついては妥当であるが、三角形形状になる部分に関しては揚圧力の分布形が不明である。ここで適用した揚圧力の分布は大きめに算定している可能性があるが、安全側の設計になると考える。

異形ケーソンの水中重量を W_0 とし、ケーソンの後趾からケーソンの重心位置を X_G 、ケーソン前面に作用する単位長さ当たりの波力を P_H 、この波力による後趾周りのモーメントを M_{WH} とすると、ケーソンの滑動、転倒及び端趾圧に対する安定性は次のように検討できる。

1) 滑動

滑動に対する抵抗力と作用力の部分係数を γ_R ($=0.83$)、 γ_S ($=1.08$) とすると、滑動安定性の照査式は次式のとおりである。

$$\gamma_S P_{WH} < \gamma_R f (W_0 - P_{WH}) \quad (11)$$

2) 転倒

転倒に対する抵抗力と作用力の部分係数を γ_R ($=0.95$)、 γ_S ($=1.14$) とすると、転倒安定性の照査式は次式のとおりである。

$$\gamma_S M_{WH} < \gamma_R (W_0 X_G - M_{WH}) \quad (12)$$

3) 端趾圧

ケーソン重量とケーソン後趾周りのモーメントに関して次式の釣り合い式が求まる。

$$W_0 - P_{WH} = P_U \quad (13)$$

$$W_0 X_G - M_{WH} - M_{WH} = M_U \quad (14)$$

マウンド支持力が台形形状の場合、式(13)と(14)に式(5)と(6)を代入し、連立方程式として解くと未知数である p_r と p_f を求めることができる。しかし、 p_r が負となる場合にはマウンド支持力が三角形分布となるので、式(13)と(14)に式(7)と(8)を代入し、連立方程式として解くと、未知数である B_e と p_r を求めることができる。

(計算例)

防波堤重量(浮力考慮) $W_0 = 30937$ kN/函

水平波力 $P_{WH} = 1124$ kN/函

揚圧力 $P_{WH} = 6375$ kN/函

水平波力によるモーメント $M_{WH} = 57372$ kN・m/函

揚圧力によるモーメント $M_U = 77625$ kN・m/函

$$\text{滑動に対する作用耐力比} = \gamma_S P_{WH} / \gamma_R f (W_0 - P_{WH})$$

$$= 0.98 < 1.0 \quad \text{OK}$$

$$\text{転倒に対する作用耐力比} = \gamma_S M_{WH} / \gamma_R (W_0 X_G - M_{WH})$$

$$= 0.34 < 1.0 \quad \text{OK}$$

地盤反力

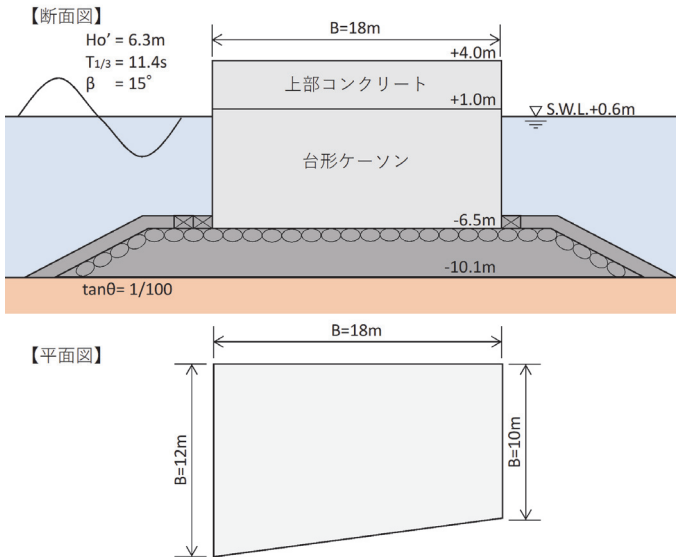
地盤反力が台形分布と仮定して、式(5)、(6)、(13)、

(14) より,

$$96p_r + 102p_f = 24562$$

$$594p_r + 1242p_f = 151789$$

を解いて、 $p_r = 256 \text{ kN/m}^2$ 、 $p_f = 0.0 \text{ kN/m}^2$ （この例では反力分布が台形分布と三角形分布の境目）が得られる。同じ設計条件での矩形ケーソンの地盤反力が 241 kN/m^2 なので、6%程度地盤反力が大きくなっている。ケーソン底面形状がさらに扁平になれば、この差はもっと大きくなると考えられる。



付図-1 異形ケーソン防波堤

参考文献

- 1) 土木学会技術推進機構：土木ISOジャーナル，Vol. 31，2020. 5
- 2) Port Technology Group ASEAN-Japan Transport Partnership: Guidelines on Strategic Maintenance for Port Structures, PARI, OPRF, MLIT, 2011
- 3) 辰巳大介：ヨーロッパにおける洋上風力発電施設に関する調査，CDIT2020, Vol. 53
- 4) <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001329597.pdf>
- 5) 辰巳大介，岡田理，山本修司：洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説の改定について，沿岸技術研究センター論文集，No. 20 (2020)
- 6) CDIT: Guidelines for design and testing of rubber fender systems, 2020
- 7) CDIT: Guidelines for the maintenance of rubber fender systems, 2020

