

国際沿岸技術研究所・確認審査所の活動について（令和2年度）

横田 弘*・佐藤 昌宏**・秋山 斉***・山本 修司****

*（一財）沿岸技術研究センター 参与 国際沿岸技術研究所長

**（一財）沿岸技術研究センター 主席研究員

***（一財）沿岸技術研究センター 調査役

****（一財）沿岸技術研究センター 参与 確認審査所確認員

本稿では、令和2年度に実施した、ISO/CENにおける港湾に関する国際規格の情報収集、港湾施設の設計における海外技術基準に関する調査、SEP船のレグ支持力の検討、PIANCにおける防舷材ガイドラインの検討、および確認審査所で行った適合性確認業務について概要を報告する。

キーワード：ISO/CEN, 設計ソフト, 設計地震動, PIANCガイドライン, SEP船レグ

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、貿易およ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月に港湾の開発、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次の項目が挙げられる。

- 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

これらの他、カーボンニュートラルポート（CNP）の実現に向けて、関連する技術基準の議論が進められている。

当センターでは、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、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ISO/CENにおける国際規格の動向、設計実務における日本と海外との比較、SEP船のレグ支持力の検討、国際航路会議PIANCでの防舷材の設計・製造に関する規格および技術基準への適合性確認業務について報告する。

2. 国際規格の動向

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。2021年の土木ISOジャーナル¹⁾等から港湾に関係のありそうなISO規格を抽出し、その動向を紹介する。令和2年度は、年度当初よりコロナ禍の影響を大きく受け、ISOに関わる全ての会議、打合せはオンラインで行うこととされた。そのため、総じて従来よりも規格化活動のペースがダウンする結果となったようである。

2.1 構造物の設計

TC98（Bases for design of structures）の国内審議団体である建築・住宅国際機構（iibh）は、構造物の設計の基本に関する規格を審議している。

(1) ISO 2394

ISO/TC98/SC2（構造物の信頼性）が発行したISO 2394: 2015 General principles on reliability for structures（構造物の信頼性に関する一般原則）は、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」として2020年4月27日に制定された。このJISは、ISO 2394の内容および構成を変更することなく作成されたものである。港湾基準は、ISO 2394の考え方を踏まえて作成されているので、今後はそのベースがJISにも基づくものとなる。

(2) ISO 3010

ISO/TC98/SC2 において日本が幹事国として改訂を行ってきた ISO 3010: 2017 Bases for design of structures - Seismic actions on structures (構造物への地震作用) が JIS A 3306 「建築構造物の設計の基本—構造物への地震作用」として 2020 年 4 月 27 日に制定された。この JIS は ISO 3010 に示される技術的内容を日本の実情に合わせて変更して作成されたものである。

(3) ISO/PWI 4354

ISO/TC98/SC3 (荷重, 外力とその他の作用) において発行されている ISO 4354 Bases for design of structures - Wind actions on structures (構造物への風作用) は, 2020 年 9 月に定期見直しに基づいて改訂に着手することが承認された。

2.2 地盤関係

ISO/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, ジオシンセティック) においてそれぞれに関する規格に関与している。

(1) 地盤調査と試験法

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。

日本が 2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに賛成投票を行った主な規格は以下のとおりある。

- ・ ISO/FDIS 18674-4 Geotechnical investigation and testing - Geotechnical monitoring by field instrumentation - Part 4: Measurement of pore water pressure: Piezometers (ピエゾメータによる間隙水圧の測定)
- ・ ISO/DIS 22282-4 Geotechnical investigation and testing - Geohydraulic testing - Part 4: Pumping tests (地盤水理試験—揚水試験)
- ・ ISO/FDIS 22475-1 Geotechnical investigation and testing - Sampling methods and groundwater measurements - Part 1: Technical principles for the sampling of soil, rock and groundwater (ボーリング, サンプリングと地下水の測定—技術仕様)
- ・ ISO/DIS 22476-4 Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 4: Prebored pressuremeter test by Ménard procedure (原位置試験—メーナード型孔内水平載荷試験)
- ・ ISO/FDIS 22476-9 Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 9: Field vane test (FVT and FVT-F) (原位置試験—原位置ベーンせん断試験)

この他, ISO 17628: 2015 Geotechnical investigation and testing - Geothermal testing - Determination of

thermal conductivity of soil and rock using a borehole heat exchanger (孔内熱交換器を使用する土石の熱伝導率の求め方), ISO 17892-3: 2015 Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 3: Determination of particle density (土の室内試験—土粒子密度の測定), ISO 18674-1: 2015 Geotechnical investigation and testing - Geotechnical monitoring by field instrumentation - Part 1: General rules (現場計測による土質監視—通則), および ISO 22476-2: 2005 Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing (原位置試験—動的調査) について定期見直しを開始されている。また, ISO/CD 24057 Array measurement of microtremors to estimate shear wave velocity profile (地上のせん断波速度を推定する微動測定) の審議が再開され, CD 投票が行われた。

(2) 地盤環境

TC190 では, ISO/DIS 23400 Guidelines for the determination of organic carbon and nitrogen stocks and their variations in mineral soils at field scale (土中有機炭素・窒素の賦存量, 変動量の敷地内測定・定量法ガイドライン), ISO 10390 Soil, sludge and treated biowaste - Determination of pH (地盤環境—pH の測定方法), ISO 54321 Soil, treated biowaste, sludge and waste - Digestion of aqua regia soluble fractions of elements (地盤環境, 生物廃棄物, 底質および廃棄物—王水可溶元素の分解方法) などの地盤環境に関する化学・生物学・爆薬等の多数の規格が策定され審議されているが, 詳細は省略する。

(3) ジオシンセティック

TC221 では, ジオテキスタイル, ジオメンブレンおよ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。日本が 2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに賛成投票を行った主な規格は以下のとおりある。

- ・ ISO/NP 5026 Geosynthetics - Test method for the determination of fracture cracking resistance for geosynthetics used for reinforcement of asphalt concrete (アスファルトコンクリートの補強に使用されるジオシンセティックの破壊亀裂抵抗性試験)
- ・ ISO/NP TS 5729 Guidelines for the determination of long-term flow of geosynthetic drains (ジオシンセティック排水機構の長期透水性検証に関するガイドライン)
- ・ ISO/FDIS 22182 Geotextiles and geotextile-related products - Determination of index abrasion resistance characteristics under wet conditions for hydraulic applications (ジオテキスタイル及びその関連製品—油圧機器の湿潤下での耐摩耗性測定)

- ・ISO/FDIS 12958-1 Geotextiles and geotextile-related products - Determination of water flow capacity in their plane - Part 1: Index test (平面での水流能力の測定方法—インデックス試験)
- ・ISO/FDIS 12958-2 Geotextiles and geotextile-related products - Determination of water flow capacity in their plane - Part 2: Performance test (性能試験)
- ・ISO/DTR 18228-2.2 Design using geosynthetics - Part 2: Separation (ジオシンセティックの設計—分離)
- ・ISO/DTR 18228-8 Design using geosynthetics - Part 8: Surface erosion control (表面の浸食防止)
- ・ISO/FDIS 25619-1 Geosynthetics — Determination of compression behaviour - Part 1: Compressive creep properties (圧縮クリープ特性)

また、次の規格の定期見直し投票も実施され、いずれも賛成投票を投じている。ISO 10318-1: 2015 Geosynthetics - Part 1: Terms and definitions (ジオシンセティック—用語及び定義), ISO 10318-2: 2015 Geosynthetics - Part 2: Symbols and pictograms (記号及び絵文字), ISO 10319: 2015 Geosynthetics - Wide-width tensile test (広幅引張試験), ISO 12957-2: 2005 Geosynthetics - Determination of friction characteristics - Part 2: Inclined plane test (摩擦特性の測定—斜面試験), ISO 13426-2: 2005 Geotextiles and geotextile-related products - Strength of internal structural junctions - Part 2: Geocomposites (内部の構造的接合部の強度—ジオコンポジット), ISO 13428: 2005 Geosynthetics - Determination of the protection efficiency of a geosynthetic against impact damage (衝撃損傷に対するジオシンセティックの保護効率の測定), ISO 18325: 2015 Geosynthetics - Test method for the determination of water discharge capacity for prefabricated vertical drains (プレファブ鉛直ドレーンの排水能力の決定のための試験方法), ISO 25619-2: 2015 Geosynthetics - Determination of compression behaviour - Part 2: Determination of short-term compression behaviour (圧縮挙動の求め方—短期圧縮挙動の求め方)。

ジオシンセティックは、防砂シートや遮水シートなどとして港湾でも多用されており、今後とも国際規格の動向に注目する必要がある。

2.3 コンクリート分野

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、コンクリート、鉄筋コンクリートおよ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。日本はこれまでSC6とSC8の幹事国、WG1の主査を務めていることに加え、TC71の幹事国を2020年11月に米国から継

承した。

(1) 材料および試験方法

SC1では、ISO/DIS 20290-1 Aggregates for concrete - Test methods for mechanical and physical properties - Part 1: Determination of bulk density, particle density, particle mass-per-volume and water absorption (コンクリート用骨材—機械的及び物理的特性の試験方法—かさ密度、密度、単位容積質量、吸水率)とISO/CD 23945-1 Test Methods for Sprayed Concrete - Part 1: Flash setting accelerating admixtures - Setting time (吹付けコンクリートの試験方法—瞬結剤—凝結時間)の2規格の審議が進んでいるほか、ISO/WD 24684-1 Aggregates for concrete - Test methods for chemical properties - Part 1: Determination of acid soluble chloride salts (コンクリート用骨材—化学的特性の試験方法—酸可溶性塩化物塩の測定)、ISO/WD 24684-2 Aggregates for concrete - Test methods for chemical properties - Part 2: Determination of soluble sulphate salts (コンクリート用骨材—化学的特性の試験方法—可溶性硫酸塩の測定)、ISO/WD 20290-5 Aggregates for concrete - Test methods for geometrical properties - Part 5: Determination of particle size distribution by sieving method (コンクリート用骨材—幾何学的特性の試験方法—ふるい分け法による粒度分布の測定)、ISO/WD 17785-3 Testing methods for pervious concrete - Part 3: Resistance of surface degradation (透水性コンクリートの試験方法—表面劣化抵抗性)に関する5規格の策定作業が本格的に開始された。

(2) 製造・施工

SC3では、ISO/PWI 22965-1 Concrete - Part 1: Methods of specifying and guidance for the specifier (コンクリート—仕様書作成方法)とISO/PWI 22965-2 Concrete - Part 2: Specification of constituent materials, production of concrete and compliance of concrete (構成材料の仕様、並びにコンクリートの製造及び適合性)の2規格について、定期見直しによる改定作業が開始した。JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」にも大きく関係する規格であり、JISとの整合性についても議論が進められている。

(3) 性能規定および簡易設計

SC4では、ISO/PWI 19338 Performance and assessment requirements for structural concreteの定期見直しによる作業の準備段階にあり、日本からはサステナビリティに関連する事項の追記を提案している。なお、SC4は、幹事国が米国からロシアに交代した。

SC5では、PC橋梁の簡易設計に関する次の2規格の策定が進められている。いずれも韓国からの提案によるものである。

- ・ISO/DIS 21725-1 Simplified design of prestressed

concrete bridges - Part 1: I-girder bridges (プレストレストコンクリート橋の簡易設計法 -I 形断面橋)

・ ISO/DIS 21725-2 Simplified design of prestressed concrete bridges - Part 2: Box-girder bridges (箱形断面橋).

なお、SC5 は幹事国がコロンビアから韓国に交代した。

(4) 非鉄補強材料

SC6 では、FRP、CFRP 補強材の規格化が審議されており、次の3規格の作成が進められている。

・ ISO/NP 18319-3 Fibre reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures - Part 3: Classification of FRP sheets (コンクリート構造物のための繊維強化ポリマー (FRP) 補強 -FRP シートの分類)

・ ISO/DIS 18319-2 Fibre reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures - Part 2: Specifications of CFRP strips (CFRP スリップの仕様)

・ ISO/FDIS 22873 Quality control for batching and mixing steel fibre-reinforced concretes (繊維補強コンクリートのフレッシュ性状における練混ぜの品質管理)

ISO/DIS 18319-2 は JIS K 7097 「一方向炭素繊維強化プラスチック帯板材」の一部を ISO 化したものである。

(5) 維持・補修

コンクリート構造物の維持補修の規格である ISO 16311 Maintenance and repair of concrete structures (Part 1~Part 4) は、定期見直しの投票により一部改定することになり、そのための作業が SC7 において進められている。Part 1 General principles は土木学会コンクリート標準示方書 [維持管理編] をベースに規格化されたものであり、日本が主査を引き続き担っている。

ISO/PWI 5091 Guidelines for structural intervention of existing concrete structures using cement-based materials (Part 1~Part 4) はセメント系材料による補修補強に関する規格であり、新たに WG が設置され、日本が主査となって検討を進めている。土木学会のコンクリートライブラリーがそのベースとなっている。その他、地下構造物の漏水補修、火害診断と補修、コンクリート中の鋼材腐食診断・防食・補修に関する規格案の作成が検討されている。

(6) 環境マネジメント

SC8 では、以下の4規格の策定が進められている。

・ ISO/CD 13315-1 Environmental management for concrete and concrete structures - Part 1: 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 - 一般原則)

・ ISO 13315-2: 2014/AWI AMD 1 Environmental management for concrete and concrete structures - Part 2: System boundary and inventory data - Amendment 1 (システム境界とインベントリーデータ)

・ ISO/PWI 13315-3 Environmental management for concrete and concrete structures - Part 3: Production of concrete and constituents (コンクリートの製造と構成材料)

・ ISO/PWI 13315-5 Environmental management for concrete and concrete structures - Part 5: Execution of concrete structures (コンクリート構造物の施工)

また、ISO 13315-7 (リサイクルを含む最終段階) の提案に向けて、国内で議論と原案作成が進められている。

(7) ライフサイクルマネジメント

WG1 関連では、我が国より提案した ISO 22040 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) が、2021 年 1 月に発行された。

2.4 鋼構造

TC167 (Steel and aluminium structures) の国内審議団体である日本鋼構造協会は、鋼構造およびアルミニウム構造に関する規格を審議している。

ISO 10721-2 Steel structures - Part 2: Fabrication and erection (鋼構造 - 製作と架設) は、2011 年 2 月より定期見直しに基づく改訂作業が行われている。改定案は非常に細かな内容まで規定する内容で、日本国内の基準類との間に不整合がある状況にある。そのため ISO/DIS 17607 Steel structures - Execution of structural steelwork を分冊化することで合意がとれ、現在分冊化された改定案が継続審議されている。

3. 港湾基準関係の調査

令和 2 年度に国総研から受託した「港湾施設の海外設計実務調査・比較設計検討業務」において、海外における港湾施設の設計実務調査を行った。具体的には、海外基準に基づく港湾施設の設計実務に詳しい技術者に対して、「重力式係船岸」、「直杭式横棧橋」の 2 施設に着目し、日本の技術基準と設計例を示した上で、「重力式係船岸」について 24 の質問、「直杭式横棧橋」について 30 の質問を作成した。多数の回答を得た中で、筆者が特に興味をもった設計ソフトに関する事項、設計地震動レベルと再現期間について紹介する。

3.1 設計ソフト

(1) 動的解析による照査

【質問】

日本では、解析プログラム FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program) が標準的に用いられる。動的解析では、どのような汎用ソフトウェアを使用しているのか。

【回答】

通常は、解析を容易にするために、疑似静的手法を用

いている。個別のプロジェクト仕様で要求があった場合には動的解析を実施している。疑似静的手法による解析では、水平および鉛直地面最大加速度の成分を入力パラメーターとし、斜面安定解析ソフトの Slope/W(極限平衡)と地盤解析ソフトの Plaxis(有限要素法)の両方で達成することができる。水平と鉛直の成分の比率は基準に規定されていることが多く、例えば、EN 1998-1 の Table 3.4 にはタイプ1とタイプ2の地震動スペクトルが定義されており、それぞれ地動加速度の比率 α_{vg}/α_g が異なる (α_g は地表面最大加速度, α_{vg} は鉛直成分)。

Table 3.4: Recommended values of parameters describing the vertical elastic response spectra

Spectrum	α_{vg}/α_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Type 1	0.90	0.05	0.15	1.0
Type 2	0.45	0.05	0.15	1.0

動的解析では、地震の加速度時刻歴の入力が必要になるが、多くのプロジェクトで提供されていない。その一方で、加速度応答スペクトルは仕様に記載されており、疑似静的手法を用いる理由となっている。

当社では、疑似静的解析及び動的解析の両方に対して、以下の市販ソフトウェアを用いている。

- GeoStudio Slope/W 2019 R2 (Limit Equilibrium Analyses)
- Plaxis 2D 2019 (Finite Element Analysis)
- (2) 直杭式横棧橋の設計

【質問】

棧橋の設計にはどのような計算プログラムを用いているのか (汎用三次元解析ソフト名や、棧橋の設計に特化したソフト名など)。

【回答】

棧橋の設計で使用ソフトを規定した基準はない。当社では、以下の市販ソフトウェアを用いている。

- STAAD.Pro V8i SELECTseries 6 (For Structural Analysis) : 3D FEM 構造解析および設計ソフトウェアである。杭と梁の部材はビーム要素、スラブは平板要素としてモデル化し、それぞれの部材特性を適用することができる。このプログラムで得られた断面力を鋼管杭とコンクリート部材の設計に使用している。
- Scia Engineer 19 (For Structural Analysis) : 前述の TAAD.Pro に類似するソフトウェアである。
- IDEA StatiCa5 (For Structural Design) : コンクリート構造部材の設計ソフトウェアである。様々な鉄筋コンクリートの断面、梁、壁、隔壁、骨組の接合、吊下げ具、ブラケットに適用することができる。

- L-Pile (For Pile Point of Virtual Fixity) : 仮想固定点の算出を行う設計ソフトウェアである。算出したデータは3次元構造ソフトウェアへの入力に用いている。

3.2 設計ソフト設計地震動レベルと再現期間

【質問】 日本では、岸壁の設計に用いる地震動にはレベル1地震動とレベル2地震動があり、耐震強化施設では、レベル2地震動に対する変形照査が求められている。また、レベル1地震動の再現期間は75年としている。

海外では、設計地震動を2段階に設定し、設計することはあるか。また、地震動の再現期間は何年で設定しているか。

【回答】

地震動は、ほとんどの基準で2段階に設定されており、3段階での検討を規定している基準もある。

- BS6349-1-2:2016 Section 27.2.2 (Table.6)

2段階の地震について再現期間が示されている。

L1 : 50年間の超過確率 41%, 再現期間 95年

L2 : 50年間の超過確率 10%, 再現期間 475年

Table 6: Characteristics of the reference peak ground acceleration, α_{gR} , at the site of a maritime structure

Earthquake level	Probability of exceedance in 50 years	Reference return period
L1	$P_{DLR} = 41\%$	$T_{DLR} = 95$ years
L2	$P_{NDR} = 10\%$	$T_{NDR} = 475$ years

- EN1998-1:2004:A1 Section 2.1 (1) P
- 2段階の地震について再現期間が示されている。損傷制限要求事項のある地震 :

10年間の超過確率 10%, 再現期間 95年

崩壊要求事項の無い地震 :

50年間の超過確率 10%, 再現期間 475年

- ASCE COPRI 61-14 Section 2.4 (Table 2-1)

3段階の地震について再現期間が示されている。

Operating Level Earthquake (OLE) :

50年間の超過確率 50%, 再現期間 72年

Contingency Level Earthquake (CLE) :

50年間の超過確率 10%, 再現期間 475年

(重要な構造物)

50年間の超過確率 20%, 再現期間 224年

(中程度に重要な構造物)

Design Earthquake (DE)

50年間の超過確率 2%, 再現期間 2475年

- PIANC MarCom WG-34 Section 3.1

2段階の地震について再現期間が示されている。

L1 : 50年間の超過確率 50%, 再現期間 75年

L2 : 50年間の超過確率 10%, 再現期間 475年

Table2-1: Minimum Seismic Hazard and Performance Requirements

Seismic hazard level and performance level		
Operating level earthquake (OLE)		
	Ground motion probability of exceedance	Performance level
High	50% in 50 years (72-year return period)	Minimal damage
Moderate	N/A	N/A
Low	N/A	N/A
Contingency level earthquake (CLE)		
	Ground motion probability of exceedance	Performance level
High	10% in 50 years (475-year return period)	Controlled and repairable damage
Moderate	20% in 50 years (224-year return period)	Controlled and repairable damage
Low	N/A	N/A
Design earthquake (DE)		
	Seismic hazard level	Performance level
High	Design earthquake per ASCE 7 (2005)	Life safety protection
Moderate	Design earthquake per ASCE 7 (2005)	Life safety protection
Low	Design earthquake per ASCE 7 (2005)	Life safety protection

4. SEP 船のレグ支持力

4.1 SNAME による SEP 船レグの支持力の検討

SEP 船 (Self-Elevating Platform) は、洋上風力発電設備のプレアッセンブリー基地の岸壁からモノパイルやタワーなどの重量物を積み込み、輸送し、現地に据え付ける作業船である。それらを積み込む際には、SEP 船のレグ (先端にスパッドカンと称する支持版を有する) にあらかじめプレロードを付加し、積み込み作業の安定性を確保する。

そのプレロードは概ね 50,000~70,000 kN/レグに達する。支持力の検討には通称 SNAME²⁾と呼ばれている検討法がよく用いられている。基本的には、スパッドカン下端位置を変化させて支持力計算 (根入れのある浅い基礎の支持力に類似) を行い、プレロードと支持力が一致した深度を貫入量とする計算法である。

貫入量が大きい場合には、積み込み作業や出港時のジャッキダウンに支障がないように、砂や岩ズリなどによ

る地盤改良が行われる。SNAME で用いている支持力算定式は以下のとおりである。

$$V_{L0} = F_V - F'_0 A + \gamma' V = (0.5\gamma' B N_\gamma s_\gamma d_\gamma + p'_0 N_q s_q d_q) A - F'_0 A + \gamma' V \quad (1)$$

ここに、

V_{L0} : プレロード時の最大鉛直基礎荷重

F_V : 鉛直基礎支持力

F'_0 : 支持領域の最上部の深さでの土の流れ込みによる有効上載土圧

A : 土と接触する支持面積の最上部で取られた断面に基づいたスパッドカン有効支持面積

γ' : 土の水中単位重量

V : スパッドカンによって置換された土量

B : 土と接触する支持面積の最上部の有効なスパッドカンの直径 (長方形のフーチングの場合、 B =幅)

N_γ : 支持力係数 = $2(N_q+1) \tan \phi$

ϕ は室内試験で得られた値から 5°低減した値が推奨される。

s_γ : 形状係数

純粋な鉛直荷重下の矩形基礎: $1-0.2(B/L)$

円形基礎: 0.6

正方形基礎: 0.8

d_γ : 支持力の深さ係数 (=1)

p'_0 : 最大軸受面積の深さ D での有効上載圧

今回検討した事例では、原地盤の表層は $\phi=30^\circ$ と評価される砂質土であったが、5°低減した推奨値ではプレロード荷重 55,000 kN/レグを満足できなかった。そこで、碎石 ($\phi=35^\circ$, 低減後 $\phi=30^\circ$) 置換を行うと、改良深度 1 m で必要な支持力を得られた。

SNAME の他にアメリカ船級協会の算定式³⁾がある。この算定式によると改良深度 2m が必要になった。計算の詳細については省略する。

4.2 Geo-FEM による支持力と変位量の検討

前述の SNAME は基本的には地盤の極限支持力を計算する手法であるので、地盤改良後の地盤や周辺にある岸壁などの変形量に関する情報は得られない。FEM を用いた検討には、ABAQUS、AFENA、PLAXIS 等のソフト⁴⁾を用いた事例が見られるが、今回は、日本の港湾設計で馴染みのある Geo-FEM の適用を試みた。

Geo-FEM の弾塑性解析には、Mohr-Coulomb の破壊規準を用い、降伏関数 F および塑性ポテンシャル Q が等しいとする関連流れ則を用いているが、今回の解析では表層の土層では非関連流れ則を採用した。なお、極座標 (軸対象) を用いたので、スパッドカンの形状が円となり、実際の矩形と異なるため、計算結果を支持力公式にある形状係数により補正した。



図-1 解析モデル図

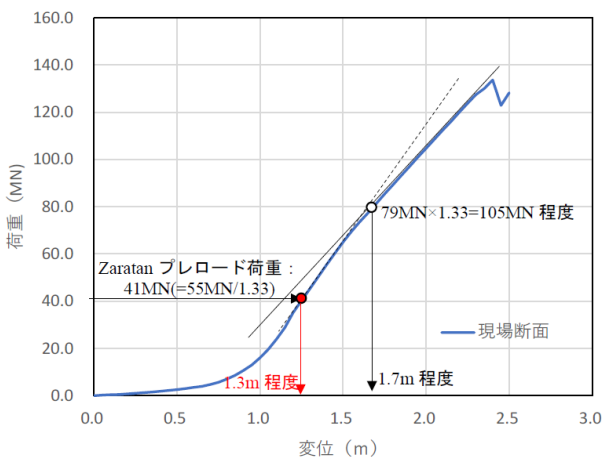


図-2 スパッドカンの荷重～変位関係

図-1 に解析モデルを、図-2 に計算結果を示す。通常の支持力解析では極限支持力近傍で変位が急速に増大するが、この事例では見られなかった。そこで、荷重と変位の勾配が変化する点を極限支持力と定義した。プレロード荷重 55,000 kN/レグの補正值 41,000 kN/レグに相当する貫入量は 1.3 m と試算された。

5. PIANC における防舷材ガイドラインの検討

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) のワーキンググループ 33⁵⁾ により 2002 年に出版されており、その内容の見直しのために 2019 年 3 月にワーキンググループ 211 が発足、2022 年の完成を目指して本年度も精力的に活動した。

5.1 会議の構成メンバーと進捗

国別構成メンバーは、オランダ(3名)、ノルウェー(1名)、オーストラリア(2名)、ベルギー(1名)、イギリス(4名)、アメリカ(3名)、ドイツ(2名)、スペイン(3名)、韓国(1名)、シンガポール(1名)、マレーシア(1名)、日本(4名)である。職業別には、港湾管理者(2名)、コンサルタント(14名)、防舷材メーカー(7名)、その他研究機

関等(3名)の計 26 名である。

コロナ禍の影響で 2020 年は 1 月の第 4 回メルボルン会議以降の 3 回はすべてオンライン会議になった。集合会議に比べると時間の制約が少なく細かい議論が可能になり、3 ヶ月に一度の全体会議に加え、各章のリーダーによるサブグループミーティングも加え、濃密に議論されている。

まだ各章別の原稿の段階であるが、現状の進捗のうち、大きな論点と日本側の関わり方を以下に示す。

5.2 ゴム防舷材設計方法

- 1) 速度、温度、接岸角度などの性能変動ファクターについて信頼性設計の部分係数とともに使い方を明確にして整理。
- 2) 複数の防舷材に同時に接岸するときの吸収エネルギーを部分係数として設計に考慮。
- 3) 使用条件として一般的な速度(0.2 m/s)、温度(23 ± 15 °C)、角度(0 ~ 5°)と、メーカーが試験で証明できる速度(0.01 ~ 0.3 %/s)、温度(23 °C)、角度(0°)での性能を標準化して設計者が使いやすいカタログ情報にするよう日本側から提案。
- 4) 有効接岸エネルギーの計算式をせん断速度や回転速度を含む従来のものからシンプルな平行接岸の式に改訂すべく、CDIT の設計法試験法ガイドライン⁶⁾を提示。
- 5) 余裕水深が少ない場合の付加質量の計算式について、議論の末現状の数値を踏襲する方向。
- 6) 船側の許容面圧について従来の最大反力/接触面積に加えて、局部面圧や線荷重についても許容値を決めるべく検討中。

5.3 ゴム防舷材試験方法

- 1) 第三者機関による圧縮試験を基準化して従来、メーカー任せだった圧縮試験結果の妥当性を確認する。ただし、大型防舷材を圧縮できる第三者機関が少ないため実施方法に関して議論が継続している。
- 2) 防舷材の試験を目的別に分類し、「開発目的の基礎的な試験」、「公的認定のための認証試験」、「製品品質確認のための確認試験」の 3 つに大別し、それぞれの考え方を CDIT の設計法試験法ガイドライン⁶⁾を基に提示。
- 3) 熱重量分析(TGA)による成分規定の是非を巡る議論が継続中。結果に対する測定精度の取扱いが問題になっている。
- 4) 材料試験の種類が増加。従来の「引張強度」、「破断伸び」、「硬度」、「熱老化」、「耐オゾン性」に加え、「引裂」、「耐摩耗」、「耐屈曲」、「接着性」、「耐油性」、「耐海水性」などの試験が目標値を伴って新たに提案されている。

5.4 ゴム防舷材製造方法

従来、製造方法についてはメーカー任せのブラックボックスであったため、基礎的な共通概念を持ちたいとの趣旨で製造方法についての章を設けたが、メーカーや防舷材のタイプによって製造プロセスが多様になるため、内容が複雑になった。メーカー間の公平性にも影響しかねないのでその後、章リーダーの判断で大幅に削除し、シンプルで一般的な手法の紹介に留めることで再検討中である。日本側から全体を俯瞰するフロー図を提案した。

5.5 その他の新規追加事項

- 1) 設計図書、仕様書などの必要書類と記載すべき項目について記述。
- 2) 維持管理、劣化モードと劣化度評価などについても章を設けることになり、CDITの維持管理ガイドライン⁷⁾を提示。
- 3) 廃棄、リサイクル、気候変動、天然ゴム園の労働環境などのSDGs関連事項も章を確保して記述。

今後の予定は、次回全体会議を7月、出張が可能になれば9月か11月頃には集合同会議を実施し、2022年初頭には全体をまとめ、COPEDEC国際会議(2022年または2024年)に報告したいとしている。

6. 確認審査業務

沿岸技術研究センター(CDIT)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。また、一般財団法人日本海事協会(ClassNK)とCDITとは、関連法令に基づく洋上風力発電設備支持構造物の審査の効率化を図るべく、2021年4月より合同審査を開始した。

令和2年度は、20件(防波堤・護岸3件、係留施設7件、荷役機械1件、洋上風力発電設備9件)の確認審査申請があった。申請者の内訳は、港湾管理者8件、民間企業12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) 鋼管の応力照査

栈橋を3次元骨組解析すると、杭や上部工の部材には軸力と2軸方向の曲げが発生する。断面が円形の鋼管杭には二つの軸の中間部の縁部に最大の応力が発生するが、それを考慮していない事例があった(付録-1参照)。

(2) 軟岩に打設する鋼管杭の閉塞率

港湾基準に紹介されている杭径と閉塞率の関係図は、砂および砂礫を対象としたものであり、軟岩等に適用で

きるかどうか不明である。そこで、道路橋示方書に記載のある「軟岩を支持層とする鋼管杭の先端支持力(参考)」の算定方法も併用して検討した。港湾地域での支持力試験結果を整理して、軟岩等に関する閉塞率の算定法の確立が望まれる。

(3) 側方流動に関する検討

軟弱地盤上の控え矢板式岸壁の設計にあたって、原地盤(無改良)の一部が残置することとなっていたので、側方流動が懸念された。そこで、安全率・安全係数を用いた方法と判別式を用いた方法で検討したが、両者の判定結果が、一方では側方流動の可能性有り、他方では可能性無しとなった。申請者には計測施工等による慎重な施工に留意するよう参考意見を付した。

(4) 栈橋に作用する揚圧力の分布

栈橋上部工に作用する揚圧力の作用範囲は、上部工全面積とすることが従来から行われてきた。これは安全サイドの考え方からであろうが、栈橋設置地点における設計波の波長と栈橋の延長及び幅を考慮してより合理的に検討してもよいと考えられる。

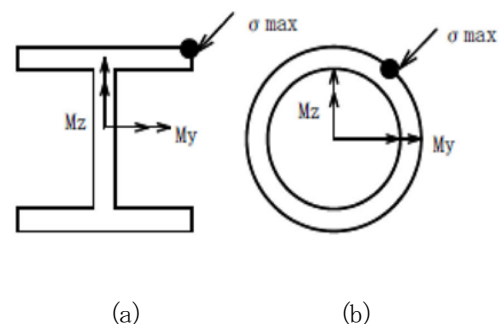
(5) 洋上風力発電設備の基礎に作用する接岸力

洋上発電設備には設備を点検する要員を輸送するCTV(Crew Transfer Vessel)が接岸する。施設側には防衝工はなく、CTVの船首にAFS(Active Fender System)が配置されている。このAFSは鋼製フレームを介して2段にゴム防舷材が配置されていた。また、CTVはフェンダーに正面から接岸するとは限らない。そのため、接岸の実態に応じたAFS、フェンダー、スタブおよび主管の応力解析を要請した。

付録-1 鋼管の応力照査

H形鋼やボックス形鋼に2方向(y, z)の曲げモーメントが作用した場合、最大応力は付図-1(a)に示すように部材端部の同じ箇所が発生する。そのため、合成応力はモーメント M_y 、 M_z によるそれぞれの応力を足し合わせることでより求めることができる。

一方、鋼管の場合には、付図-1(b)に示すように M_y と M_z をベクトル的に合成したモーメントによる応力が円周縁部に発生する。



付図-1 2軸曲げモーメントによる応力の合成

したがって、鋼管の2軸曲げ応力に対する照査式（軸力および座屈を考慮）は以下ようになる（ISO 19902の場合）。

$$\frac{\gamma_{R,c} \sigma_c}{f_c} + \frac{\gamma_{R,b}}{f_b} \left[\left(\frac{C_{m,y} \sigma_{b,y}}{1 - \sigma_c / f_{e,y}} \right)^2 + \left(\frac{C_{m,z} \sigma_{b,z}}{1 - \sigma_c / f_{e,z}} \right)^2 \right]^{0.5} \leq 1.0$$

ここに、

$\gamma_{R,c}$: 軸圧縮強度に関する部分係数

$\gamma_{R,b}$: 曲げ強度に関する部分係数

f_c : 座屈を考慮した軸圧縮強度

f_b : 曲げ強度

$f_{e,y}$, $f_{e,z}$: オイラー座屈強度

σ_c : 軸方向圧縮応力度

$\sigma_{b,y}$, $\sigma_{b,z}$: 曲げ応力度

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: モーメント低減係数

参考文献

- 1) 土木学会技術推進機構：土木 ISO ジャーナル，Vol. 32，2021. 3.
- 2) SNAME: Guidelines for Site Specific Assessment of Mobile Jack-Up Units, Technical & Research Bulletin 5-5A, January 2002.
- 3) ABS, American Bureau of Shipping: Geotechnical Performance of Spudcan Foundation, January 2017.
- 4) 例えば，Gang Qui and Jürgen Grabe: Numerical investigation of bearing capacity due to spudcan penetration in sand overlying clay, Canadian Geotechnical Journal, November 2012.
- 5) PIANC: Guidelines for the Design of Fenders Systems, MarCom Report of WG33, 2002.
- 6) CDIT: Guidelines for design and testing of rubber fender systems, August 2019.
- 7) CDIT: Guidelines for the maintenance of rubber fender systems (2nd Edition), September 2019.