

国際沿岸技術研究所・確認審査所の活動について（令和3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、2021年度（令和3年度）に実施した、ISO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、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, 海外技術基準, 防舷材ガイドライン, 適合性確認

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。また、デジタル・トランスフォーメーションによる生産性の向上や脱炭素化等のグローバルな環境への対応もますます重要になっている。

国土交通省港湾局は、港湾の中長期政策「PORT 2030」を2018年にとりまとめ、2030年頃の将来を見据えて経済・産業の発展および国民生活の質の向上のために港湾が果たすべき役割や、今後特に推進すべき港湾政策の方向性等を示した。ここに示される8本の方向性の柱の一つとして、港湾建設・維持管理技術の変革と海外展開があり、我が国の経験・技術・ノウハウを活かし、質の高い港湾インフラシステムの海外展開を推進していく必要性が示されている。そして、港湾に関連する我が国の技術的知見を発展させるとともに、技術基準等の国際標準化を進め、情報通信技術等を活用した我が国の先進的な港湾の建設・維持管理・運営技術をパッケージ化して輸出するなど、積極的な海外展開を推進するとされている。

また、2022年4月には国土交通省が「第5期技術基本計画」を策定した。そこでは、社会経済的な課題への対応を図るため、次の重点分野の技術研究開発や技術基準の策定等に取り組むとしている。

- 1) 防災・減災が主流となる社会の実現
- 2) 持続可能なインフラメンテナンス
- 3) 持続可能で暮らしやすい地域社会の実現
- 4) 経済の好循環を支える基盤整備
- 5) デジタル・トランスフォーメーション
- 6) 脱炭素化・インフラ空間の多面的な利活用による生活の質の向上

これらを受けて当センターでは、既存施設の改良、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、維持管理における新技術の適用、洋上風力発電設備などの技術課題に取り組んでいる。特に国際沿岸技術研究所では、技術基準等の国際標準化に関する諸課題の検討、港湾建設・維持管理技術の海外展開に資するための活動を推進している。

本稿では、最近のISO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、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などがうたわれている。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土木に関する各種国際規格の審議状況を把握している。ここでは、2022年3月発刊の土木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。2021年度は、一昨年度より継続して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。また、ロシアのウクライナ侵攻により、ロシアが主導的立場を務めるISOの活動は延期される事態となっている。

なお、本稿で記述する略号の定義・意味は次のとおりである。

TC : 専門委員会 (technical committee)
 PWI : 予備業務項目 (preliminary work item)
 NP : 新業務項目提案 (new work item proposal)
 AWI : 承認業務項目 (approved work item)
 WD : 作業原案 (working draft)
 CD : 委員会原案 (committee draft)
 DIS : 国際規格案 (draft international standard)
 DTS : 技術仕様書案 (draft technical specification)
 FDIS : 最終国際規格案 (final draft international standard)
 IS : 国際規格 (international standard)
 TR : 技術報告書 (technical report)
 TS : 技術仕様書 (technical specification)
 Amd : 修正票 (amendment)
 SR : 定期見直し (systematic review)

2.1 構造物の設計

構造物の設計の基本に関しては、ISO/TC 98 (Bases for design of structures) において規格化の検討が行われており、一般社団法人建築・住宅国際機構が国内審議団体を務めている。

土木構造物の設計に関しては、ISO 23469:2005 (地盤基礎構造物への地震作用) の SR 投票が終了し、改正に向けての作業が開始された。日本は、改正原案を提案するなど、主体的にこの作業に参画する予定である。

2.2 地盤関係

ISO/TC 182 (Geotechnics), TC 190 (Soil quality), TC 221 (Geosynthetics) では、地盤関係の規格化の検討が行われており、公益社団法人地盤工学会が国内審議団体を務めている。特に港湾に関係のある主な規格の制定・改訂状況を示す。

(1) 地盤調査と試験法

ISO 17892-3:2015 (地盤調査と試験—土の室内試験—第3部: 土粒子密度の測定), ISO 22476-15:2016 (地盤調査と試験—原位置試験—第15部: 掘削中の計測), ISO 22477-10:2016 (地盤調査と試験—地盤構造物の試験法—第10部: 杭の急速鉛直載荷試験) の3規格は、SR の作業が進められている。

ISO 22476-4 (地盤調査と試験—原位置試験—第4部: メーナード型孔内水平載荷試験) は 2021 年9月に、ISO 22475-1 (地盤調査と試験—サンプリング方法と地下水測定—第1部: 土壌、岩石、地下水のサンプリングに関する技術原則) は 2021 年10月に、IS として発行された。ISO/TS 24283-1 (地盤調査と試験—資格基準と評価—第1部: 資格のある技術者と資格のあるオペレーター), ISO/TS 24283-2 (同一第2部: 責任ある専門家), および ISO/TS 24283-3 (同一第3部: 認定企業) は、いずれも 2022 年1月に TS として発行された。

ISO/FDIS 24057 (地上のせん断波速度を推定する微動測定), ISO 17892-12:2018/Amd 2 (地盤調査と試験—土壌の試験室試験—第12部: 液性及び塑性限界の測定—訂正), ISO/WD 18674-7 (地盤調査と試験—フィールド計装による

地盤モニタリング—第7部: ひずみの測定), ISO/DIS 18674-8 (同一第8部: 力の測定: ロードセル), ISO/FDIS 22476-1 (地盤調査と試験—原位置試験—第1部: 電気式コーンおよびピエゾコーン貫入試験), ISO/DIS 22477-2 (地盤調査と試験—地盤構造物の試験—第2部: 杭の試験: 静的引張載荷試験) の6規格は、規格化の作業が進められている。

(2) 地盤環境

地盤環境に関しては、TC 190 において規格が進められている。2021 年度は、ISO 23646 (地盤環境—GC-MS 及び GC-ECD による有機塩素系除草剤の分析方法), ISO/DIS 13914 (土壌、処理済みバイオ廃棄物、スラッジ—高濃度ガスクロマトグラフィーによるダイオキシンとフランおよびダイオキシン様ポリ塩化ビフェニルの測定) などの地盤環境に関係する化学・生物学・爆薬等の多数の規格が審議されているが、詳細は省略する。

(3) ジオシンセティック

TC 221 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係する試験法や設計概念に関する規格を審議している。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。

ISO 25619-1 (ジオシンセティック—圧縮挙動の評価—第1部: 圧縮クリープ挙動の評価) は SR に伴う改正作業が終了し、2021 年2月に IS として発行された。

ISO 18325:2015 (ジオシンセティック—スーパーティカルドレーンの排水能力を定めるための試験), ISO 25619-2:2015 (ジオシンセティック—圧縮挙動の評価—第2部: 短期圧縮挙動の評価), ISO 12236:2006 (ジオシンセティック—静的貫入試験 (CBR 試験)), ISO 13431:1999 (ジオテキスタイル及びその関連製品—引張りクリープ及びクリープ破壊特性の測定), ISO 13433:2006 (ジオシンセティック—動的貫入試験 (コーン落下試験)), ISO 9863-1:2016 (ジオシンセティック—所定の圧力下における厚さの測定—第1部: 単層), ISO 10769:2011 (ベントナイト系遮水シート—ベントナイトの吸水量評価), ISO 10773:2011 (ベントナイト系遮水シート—ガス透過性の評価), ISO 19708:2007 (ジオシンセティック—ローラコンパクト法によるインターロッキングブロック舗装下の損傷試験) の9規格は SR の作業が進められている。ISO/DTS 20432 (地盤補強材として用いられるジオシンセティックの長期強度の評価に関するガイドライン) は、SR 投票の結果 TR を TS として改正することになり、作業が進められている。

2.3 コンクリート分野

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しては、ISO/TC 71 (Concrete, Reinforced Concrete and Prestressed Concrete) において規格化の検討が

行われており、一般社団法人日本コンクリート工学会が国内審議団体を務めている。なお、我が国が2020年11月よりこのTCの幹事国を務めている。

(1) 材料および試験方法

ISO 1920-2:2016 (コンクリートの試験方法—第2部:フレッシュコンクリートの性質), ISO 1920-10:2010 (コンクリートの試験方法—第10部:圧縮載荷時の静弾性係数の決定), ISO 17785-1:2016 (透水性コンクリート—第1部:透水速度)の3規格は、SRの作業が進められている。

ISO/DIS 23945-1 (吹付けコンクリートの試験方法—第1部:急結剤—凝結時間), ISO/CD 17785-3 (ポーラスコンクリートに関する試験方法—第3部:表面損傷に対する抵抗性), ISO/CD 20290-5 (コンクリート用骨材—力学的・物理的性質の試験方法—第5部:ふるい試験による粒度分布), ISO/CD 24684-1 (コンクリート用骨材—化学的性質に関する試験—第1部:酸に可溶性塩化物塩の測定), ISO/DIS 24684-2 (同一第2部:可溶性硫酸塩の測定方法)の5規格は、いずれも規格化の作業が進められている。

(2) 製造・施工

ISO 12439:2010 (コンクリート用練混ぜ水)のSRに向けた検討が開始された。また、ISO 22965-1:2007 (コンクリート—第1部:仕様書作成方法) および ISO 22965-2:2007 (同一第2部: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SRに伴う改正作業が進められている。

韓国の提案による再生骨材および再生骨材コンクリートに関する規格化の検討が開始された。

(3) 設計および性能規定

ISO 15673:2016 (鉄筋コンクリート建築物の簡易設計ガイドライン)はSRが、ISO 19338:2014 (構造用コンクリート設計基準の性能及び評価要求基準)はSRに伴う改正作業が進められている。

ISO 21725-1: (プレストレストコンクリート橋の簡易設計法—第1部:I桁橋) および ISO 21725-2 (同一第2部:箱桁橋)は、2021年11月にISとして発行された。

2021年12月のTC 71 総会においてコンクリート充填鋼管複合構造(CFT)の設計標準を扱うTC71/WG2の設置が決定された。現在この規格(ISO/NP 16521)の作成作業を開始するための承認投票が行われている。

(4) 非鉄補強材料

ISO 10406-1:2015 (FRPによるコンクリートの補強—試験方法—第1部:FRPバー及びグリッド), ISO 10406-2:2015 (同一第2部:FRPシート), ISO 18319:2015 (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シートの規格), ISO 19044:2016 (繊維補強セメント複合材料の試験方法—切欠き梁による荷重—変位曲線)は、SRの作業が進められている。

ISO 18319-2:2022 (コンクリート構造物のための繊維強化ポリマー(FRP)補強—第2部:CFRP帯板材の規格)は、JIS K 7097 (一方向炭素繊維強化プラスチック帯板材)

の製品規格の部分を規定する規格で、2022年1月にISとして発行された。

ISO/AWI 18319-3 (コンクリート構造物のための繊維強化ポリマー(FRP)補強—第3部:FRPシートの分類)は、補修用FRPシートの分類を規定する規格である。また、ISO/PWI 13182 (繊維補強セメント複合材に用いる合成短繊維の規格)は、JISA 6208 (コンクリート及びモルタル用合成短繊維)の製品分類やその表記法の部分を規定する規格である。両規格とも日本から内容提案が行われ、規格化を開始した段階である。

(5) 維持・補修

ISO 16311-1:2014 (コンクリート構造物の維持管理および補修—第1部:一般原則), ISO 16311-2:2014 (同一第2部:既存コンクリート構造物の評価), ISO 16311-3:2014 (同一第3部:修繕及び予防措置の設計), ISO 16311-4:2014 (同一第4部:修繕及び予防措置の施工)は、日本が主導して規格化されたもので、SRに伴う改正作業が進められている。

ISO/TS 16774-1:2017 (地下コンクリート構造物のひび割れに対する漏水補修材に関する試験方法—第1部:熱的安定性に関する試験方法), ISO/TS 16774-5:2017 (同一第5部:水密性に関する試験方法), ISO/TS 16774-6:2017 (同一第6部:下地追従性に関する試験方法)は、いずれも、SRに伴う改正作業が進められている。

ISO/DIS 5091-1 (セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修指針—第1部:基本原則), ISO/DIS 5091-2 (同一第2部:上面増厚工法), ISO/DIS 5091-3 (同一第3部:下面増厚工法), ISO/DIS 5091-4 (同一第4部:巻立て工法)は、土木学会「セメント系材料を用いた補修・補強指針」に基づく日本提案の規格案であり、規格化の作業が順調に進んでいる。

(6) 環境マネジメント

ISO/DIS 13315-1 (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) および ISO/CD 13315-2 (同一第2部:システム境界とインベントリデータ)の2規格は、SRに伴う改正作業が進められている。

ISO/CD 13315-3 (同一第3部:構成材料及びコンクリートの製造)はコンクリートおよび構成材料の製造段階における環境マネジメントを、ISO/PWI 13315-5 (同一第5部:コンクリート構造物の施工)はコンクリート構造物の施工段階における環境マネジメントを規定するもので、我が国の提案により規格化の作業が進められている。

(7) ライフサイクルマネジメント

ISO 22040:2021 (コンクリート構造物のライフサイクルマネジメント)で示されているライフサイクルマネジメントの枠組みに基づいて行う設計段階および建設(施工)段階でのマネジメントの方法に関する規格化を進めている。設計段階はPWI登録まで進み、建設段階はまもなくPWI登録に向けた議論が開始される予定である。

2.4 鋼構造

鋼構造に関しては、ISO/TC 167 (Steel and aluminium structures) において規格化の検討が行われており、一般社団法人日本鋼構造協会が国内審議団体を務めている。

ISO/DIS 17607-1 (鋼構造—鋼構造の施工—第1部：一般要求事項及び語彙), ISO/DIS 17607-2 (同一第2部：鋼材), ISO/DIS 17607-3 (同一第3部：製造), ISO/DIS 17607-4 (同一第4部：架設), ISO/DIS 17607-5 (同一第5部：溶接), ISO/DIS 17607-6 (同一第6部：ボルト接合) の6規格案の作成が進められ、DIS 登録の段階に達している。

3. 港湾基準関係の調査

2021年度に国土技術政策総合研究所から受託した「海外の港湾施設設計および港湾設計基準の海外展開に関する調査」において、海外の設計コンサルタントに対して「控え矢板式係船岸」の設計手法に関する20の質問を行った。「重力式係船岸」と「直杭式横棧橋」は2020年度に実施済み。ここでは、鋼材の腐食代(腐食速度)、残留水位の考え方、設計に使用するソフトウェアについての回答を紹介する。

3.1 鋼材の腐食代(腐食速度)

【質問】矢板式係船岸の設計では、鋼材の腐食しろ(腐食速度)を見込んでいるか。

【回答】海洋構造物に使われる鋼材の腐食しろ(腐食速度)は、世界の各地域で暴露ゾーンに基づく様々な値が用いられている。

- (1) PPA-Engineering Standards for Port and Harbor Structures (Philippine Port Authority)

表-1のように腐食速度が示されている(日本の基準と同値)。近くに既設構造物がある場合は、腐食速度を決定するために詳細な現場調査(超音波厚さ測定値など)とデータ分析が必要になり、高い腐食速度が予想される場合は、腐食防止対策の選択に注意を払う必要があると記載されている。

- (2) EAU Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways (Germany)

図-1のように北海とバルト海を例にした鋼矢板の腐食量の定性図が示されている。

- (3) AS 2159-2009 Piling - Design and installation (Australia)

表-2と表-3のように杭の腐食速度が示されている。

- (4) EN 1993-5:2007 (Eurocode 3: Design of steel structures - Part 5: Piling)

Splash zone, Intertidal zone, Low water zone, Permanent immersion zone, Buried zoneの腐食速度について解説されている。Splash zoneは最も腐食速度が高く、Low water zone (Usually about 0.5-1 m below LAT)は比較的高い区分になる(図-2)。

表-4および表-5に地下水の有無、土壌の種別、淡水あるいは海水などを条件にした設計供用期間別の鋼材腐食量が示されている。

表-1 Standard values of corrosion rates for steel material

Corrosive environment		Corrosion rate (mm/year)
Seaside	HWL or higher	0.3
	HWL~LWL-1 m	0.1~0.3
	LWL-1 m~ seabed	0.1~0.2
	Under seabed	0.03
Land side	Above ground and exposed to air	0.1
	Underground (above residual water level)	0.03
	Underground (below residual water level)	0.02

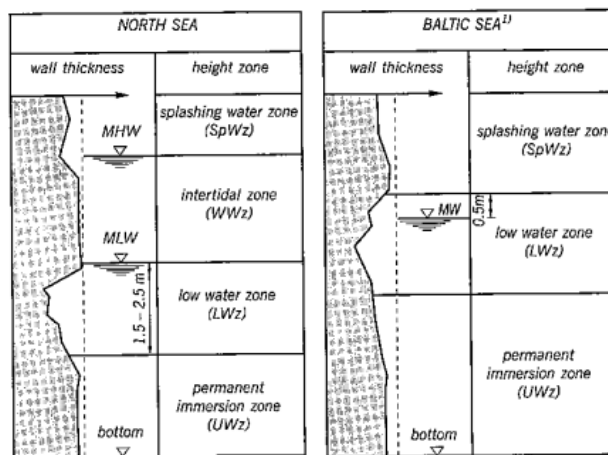


図-1 Qualitative diagram of the corrosion zones for steel sheet piling with examples of the North Sea and Baltic Sea

表-2 Exposure classification for piles

Exposure conditions	Exposure classifications
1 Piles in water	
(a) Sea water – submerged	Severe
(b) Sea water – tidal/splash zone	Very severe
(c) Fresh water, soft running water	Moderate
2 Piles in refuse fill	
(a) Domestic waste	(see Note 2)
(b) Industrial waste	(see Note 2)
3 Piles in soil (see below)	

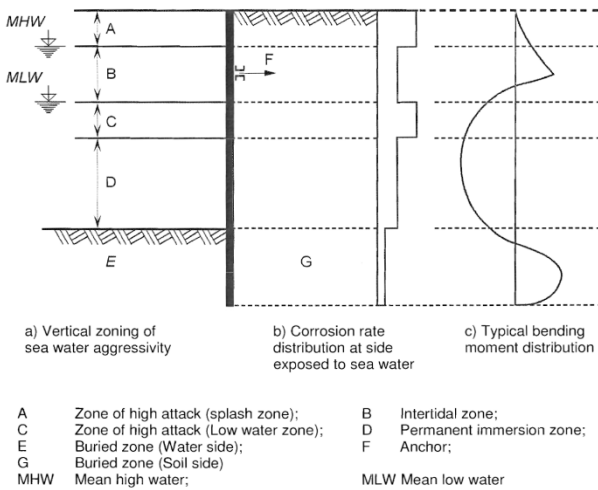
pH	Chlorides Cl		Resistivity ohm	Soil conditions* A	Soil conditions* B
	In soil	In water ppm			
>5	<0.5%	<1000	>5000	Non-aggressive	Non-aggressive
4-5	0.5-2%	1000-10000	2000-5000	Mild	Non-aggressive
3-4	2-5%	10000-20000	1000-2000	Moderate	Mild
<1	>5%	>20000	<1000	Severe	Moderate

* Soil conditions A – high permeability soils (e.g. sands and gravels) which are below ground water.

Soil conditions B – low permeability soils (e.g. silts and clays) or all soils above ground water.

表-3 Corrosion allowances for steel piles

Exposure classification	Uniform corrosion allowance (mm/year)
Non-aggressive	<0.01
Mild	0.01~0.02
Moderate	0.02~0.04
Severe	0.04~0.3
Very severe	0.1~0.5



NOTE: Corrosion rate distribution and zones of sea water aggressivity may vary considerably from the example shown in Figure 4-1, dependant upon the conditions prevailing at the location of the structure.

図-2 Example of corrosion rate distribution

表-4 Recommended value for the loss of thickness (mm) due to corrosion for piles and sheet piles in soils, without ground water

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist, ...)	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20
Polluted natural soils and industrial sites	0.15	0.75	1.50	2.25	3.00
Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat, ...)	0.20	1.00	1.75	2.50	3.25
Non-compacted and non-aggressive fills (clay schist, sand, silt, ...)	0.18	0.70	1.20	1.70	2.20
Non-compacted and aggressive fills (ashes, slag, ...)	0.50	2.00	3.25	4.50	5.75

Notes:

- 1) Corrosion rate in compacted fills are lower than those in non-compacted ones. In compacted fills the figures in the table should be divided by two.
- 2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

表-5 Recommended value for the loss of thickness (mm) due to corrosion for piles and sheet piles in fresh water or in sea water

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Common fresh water (river, ship canal, ...) in the zone of high attack (water line)	0.15	0.55	0.90	1.15	1.40
Very polluted fresh water (sewage, industrial effluent, ...) in the zone of high attack (water line)	0.30	1.30	2.30	3.30	4.30
Sea water in temperate climate in the zone of high attack (low water and splash zones)	0.55	1.90	3.75	5.60	7.50
Sea water in temperate climate in the zone of permanent immersion or in the intertidal zone	0.25	0.90	1.75	2.60	3.50

Notes:

- 1) The highest corrosion rate is usually found in the splash zone or at the low water level in tidal waters. However, in most cases, the highest bending stresses occur in the permanent immersion zone, see Figure 4.1.
- 2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

(5) BS 6349-1-2000 および BS 6349-1-4-2013

暴露ゾーンの解説と、EN1993-5 と同表の表-4 と表-5 によることが望ましいと明記されている。

Atmospheric zone:

- above splash zone and where direct wave or spray impingement is infrequent

Splash zone:

- above mean high-water to a height depending on mean wave height and exposure to wind

Tidal zone:

- between mean high-water and mean low-water spring level

Intertidal low water zone:

- between low-water spring and 0.5 m below LAT

Continuous seawater immersion zone:

- from 0.5 m below LAT to seabed level

Below seabed level or in contact with soil

3.2 残留水位

【質問】矢板式岸壁の設計では、どのように地下水位や残留水位（係留施設等の背後地盤内における水位）を設定しているか。

【回答】BS 8002, CIRIA C760, BS 6349-1-3 において、地下水位は、水文学的情報、水文地質学的情報および環境情報を考慮して求めると規定されている。水位の決定は、潮汐の変動、季節水位によるピエゾ水頭の変動、高潮などによる波の影響を考慮する必要がある。地下水位の設定は、CIRIA に基づき、プロジェクト敷地調査時の最高水位の記録とし、さらに、設計者の経験により 0.5~1 m 加えた値を採用する。配管の破裂事故や洪水などの極端な事象については、水位を観察値から選定する必要がある。データが十分でない場合には、地下水位は地表面から 1 m 下方または地表面とする。

BS 8002 では、地下水位の設定方法は CIRIA C760 に示されていると記載されている。豪雨や洪水時には地下水位を平衡位置とみなし、季節変動についての許容分を加えるべきであり、そうでなければ最も不利なレベル（地表面）とすべきと規定している。

BS 6349-1-3, EAU, BS 8002 にて、地下水位は矢板壁の内外間の干満差に基づいて設定すべきと規定されている。一般に、地下水位の変動は潮位の変動よりも少なく、排水管の種類、地層の透水性、水抜管などの要因に左右される。矢板壁の背後は、砂利や砂による埋戻しが必要であり、水抜管は設置される場合と設置されない場合がある。透水性の高い材料での埋戻しや、水抜管の設置により排水効果が高い場合には、BS 8002 に規定されているように、水圧を減じることができる。

一般に、残留水位の設定に際して、定常の浸透流を考慮しない。CIRIA C760 の第 5 節に規定されているとおり、混合地盤条件に浸透流法を適用することはできない。しかしながら、浸透流による矢板壁の受働側で増加する間隙水圧は EN 1997-1:2004 に従い検討するように推奨している。

ソフトウェア MicroFEM を用いた水文地質学的解析を行うことにより、より正確に残留地下水位を決定できる。

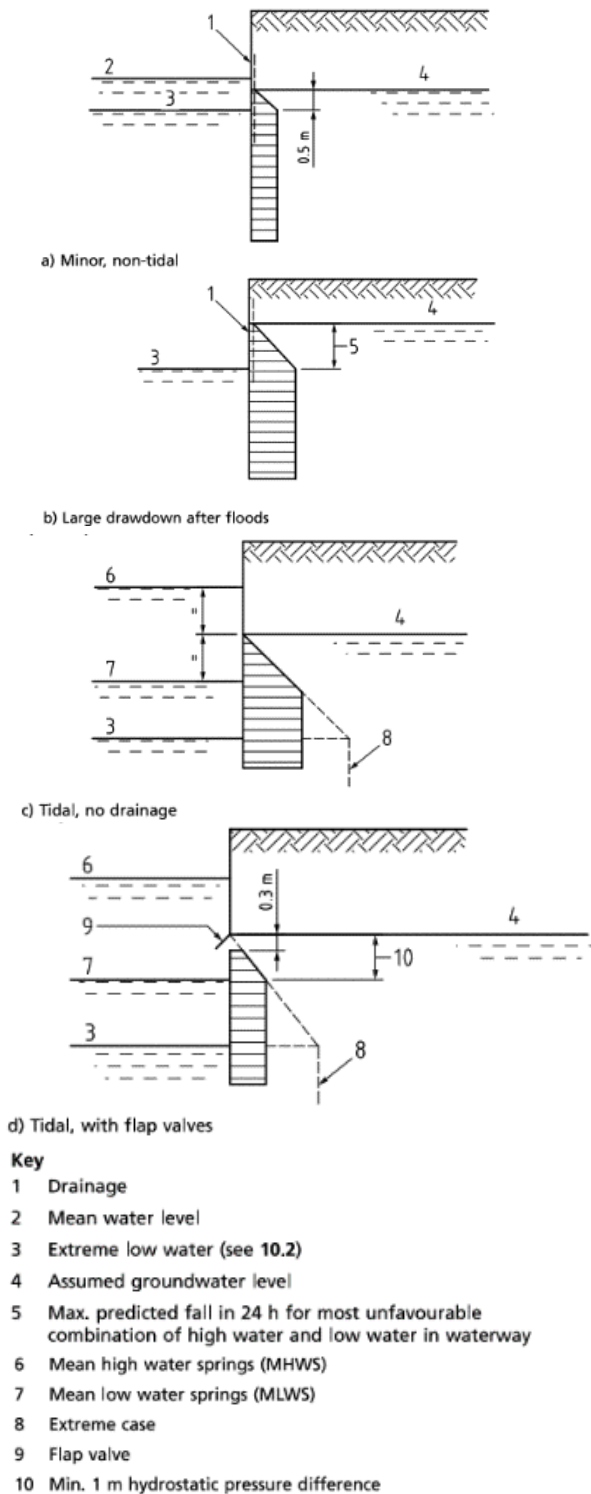


図-3 Hydrostatic pressure distribution on waterfront structures where soil is retained to full height structure

この3Dモデルは、現実の状態が図式化されたバージョンになる。MicroFEM 4.10 は水位のモデル化に用いられる。MicroFEM は、水平流については有限要素法を用い、鉛直流については有限差分法を用いる。土壌および岩盤層のモデル化は、層の透水係数に左右される。伝導性の高い層は

帯水層として設定され、伝導性の低い層は半帯水層として設定される。透水係数は帯水層に与えられ、半抵抗は帯水層に、また貯留係数はすべての層に与えられる。このモデル化の中で利用可能な排水設備がモデル化され、経時的な地下水流を検討できる。

(1) BS 6349-1-3

EHW (極端な高水位) から ELW (極端な低水位) までについて設計することが望ましいと規定されている。図-3 は水位の設定方法を示している。

(2) EAU (Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways)

基本設計での残留水位は、潮汐の半分から 0.3 m 上方、または非潮汐域の平均海水面と規定されている。詳細設計での残留水位は、実際の地下水位と流動状態を調査する必要がある。図-4 および図-5 は水位の設定方法を示している。

3.3 設計に使用するソフトウェア

【質問】 矢板式係船岸の設計において、一連の照査 (矢板の根入れ長、矢板の応力度照査、タイ材の応力度照査、腹起しの応力度照査、控え工の照査等) が行えるソフトウェアを使用するのか、あるいはそれぞれ個別のソフトウェアを用いて照査を行うのか。いずれの場合においてもソフトウェアは何を使用しているのか。また、FEM 解析を行っているのか。

【回答】 個別の部材や構造要素について、グローバルまたはローカルな基準による設計を行うために、一つだけのプログラムを使っていることはない。以下に示すようなソフトウェアが様々なプロジェクトの段階でよく使われている。

BS 8002 では、極限平衡法、離散ばねモデル、連続体モデルに基づく矢板壁の解析と設計を認めている。Eurocode も同様に、矢板壁の構造要素に対する荷重条件を定義する際に、様々な設計モデルと計算方法を用いることを認めている。

(1) ソフトウェアの利用全般

矢板式係船岸の設計は、ばねに支持された梁の原理に基づく計算法と有限要素法の2手法がある。

ばね支持梁の設計法は、簡略で使いやすくアンカーで固定された矢板など構造が単純な係船岸を設計するのに適している。この計算方法では、土壌を簡略にモデル化し、地盤と構造の相互作用だけを考慮する。しかしながら、岸壁の構造や施工順序が複雑な場合には、様々な構造要素と地盤の挙動との相互作用を十分にとらえられない場合が多くなる。この方法で正確にモデル化するのが難しい場合の例を挙げると、埋戻しにより生じる過剰間隙水圧の散逸、傾斜した壁、前壁上の補助プラットフォームの影響などがある。

Non-tidal area				
Situation	Figure	Load cases as per R 18		
		1	2	3
1 Minor water level fluctuations ($h < 0.50$ m) with weepholes or permeable soil and structure		$\Delta h = 0.50$ m	$\Delta h = 0.50$ m	-
2a Major water level fluctuations ($h > 0.50$ m) with weepholes or well permeable soil and structure		$\Delta h = 0.50$ m in frequent elevation	$\Delta h = 1.00$ m in unfavourable elevation	$\Delta h \geq 1.00$ m max. drop in outer water level over 24 h and least favourable elevation
2b Major water level fluctuations without weepholes		$\Delta h = a + 0.30$ m $a = \frac{MHW - MLW}{2}$	$\Delta h = a + 0.30$ m	-

図-4 Water pressure difference at waterfront structures for permeable soils in non-tidal area

Non-tidal area				
Situation	Figure	Load cases as per R 18		
		1	2	3
3a Major water level fluctuations without drainage - normal case		$\Delta h = a + 0.30$ m $a = \frac{MHW - MLW}{2}$ $d = MLW - MLWS$	-	-
3b Major water level fluctuations without drainage - limit case extreme low water level		-	-	$\Delta h = a + 2b + d$ $a = \frac{MHW - MLW}{2}$ $b = \frac{MHSW - LLW}{2}$ $d = MLW - MLWS$
3c Major water level fluctuations without drainage limit case falling high water		-	-	$\Delta h = 0.30$ m + $2a$
3d Major water level fluctuations with drainage		$\Delta h = 1.00$ m + e for outer water level in MLWS	$\Delta h = 0.30$ m + $b + d + e$	-

図-5 Water pressure difference at waterfront structures for permeable soils in tidal area (Fig. R19-2.)

有限要素法は、土壌と個別の構造要素を取り入れることができる。この計算方法では、土壌と構造部材の応力と変形だけでなく、それらの相互作用についても基本的な方法で計算できる。さらに、一つのモデルを用いて様々な設計の検証を行える設計ツールを提供できる。近年、使い易さを向上させるための取組みが行われてきたが、現在でもこの方法はかなり複雑で計算に時間を要する。

(2) PLAXIS 2D

PLAXIS 2D は、統合型土留めシステムとして、アンカー（タイロッド、傾斜杭、ストラッド）、アンカー壁を含む矢板壁のモデル化を可能にする有限要素法のプログラムである。部材の構造性能と断面特性の限界値をそれぞれの構造設計プログラムにより算出した後に、このプログラムに入力する。2次元 PLAXIS モデルの解析により、土壌と壁の変形、土留めの安定性、各部材に作用する断面力を得ることができる。

(3) D-Sheet Piling

D-Sheet Piling (かつて MSheet として知られていた) は、グラフィカルな対話型インターフェースで矢板と地下連続壁、水平に載荷された杭の設計に用いる。このプログラムは、矢板を弾塑性梁としてモデル化している。壁とアンカーの断面特性と構造強度および座屈強度の限界値をユーザーが定義するか、組込みライブラリーから割り当てることができる。土層は任意の入力、あるいは自動的に生成することができる。ユーザーが強度等の土壌特性を定義でき、ユーザー定義の部分係数により Eurocode の設計手法に従った荷重組合せを作り出せる。また、静水圧水位と地下水流による過剰間隙水圧を定義することができる。解析は、施工段階ごとの結果を得ることができる。また、矢板の根入れ長、矢板の変形、円弧すべりについて、その安定性をチェックでき、矢板とアンカーの断面力を得ることができる。さらに、事前に入力した矢板とアンカーの選定を検証可能である。ただし、アンカー壁は、別のモデルを用いた評価が必要になる。

(4) IDEA

IDEA は、地中連続壁、柱列式連続壁などコンクリート壁の設計に用いるソフトウェアである。IDEA を用いた設計の中で、亀裂幅の計算応力や応力限界などの条件を考慮することができる。

(5) Staad Pro / Scia Engineer

Staad Pro と Scia Engineer は、構造解析と設計の両方を行うために用いる 3D 有限要素ソフトウェアである。構造設計では、腹起しや鋼矢板など鋼材の腐食しを考慮できる。Staad Pro は、米国と欧州を含む多くの様々な規格・基準に基づいた構造部材の設計が可能である。

(6) LiqSVs

Geologismiki による LiqSVs 2.0.1.7 は、Boulanger と Idriss 2014 による CPT と SPT に基づく現地での地盤調査結果に

基づいて行う液状化解析のソフトウェアである。

(7) MSeep Deltares

MSeep Deltares は、地下水流に関連する間隙水圧を推定するためのフローネットを作成するソフトウェアである。

MSeep Deltares は層状土壌構造物の断面や、様々な物質領域から成る一つの帯水層における 2次元の定常地下水流をシミュレーションできる。また、パイピングとヒーピングを求めるモジュールが実装されている。

(8) Dsettlement

Dsettlement は、PLAXIS による沈下の推定に加えて、矢板背後の沈下量の推定を行うソフトウェアである。不同沈下を評価するために、矢板壁の施工後に設置された排水管などの設備の沈下量を求めることができる。

4. PIANC における防舷材ガイドラインの検討

ゴム防舷材の国際規格の改訂作業は PIANC (国際航路協会) のワーキンググループ 211 により 2019 年 3 月から進められてきたが、2020 年 1 月のメルボルン会議を最後にリモート会議になっていた。2 年ぶりに 2022 年 4 月にスペインのバレンシアで集合会議が開催され、日本からはリモート参加のみであったが欧米各国から計 17 名が出席し、原稿全体の一貫性や懸案事項などが活発に議論された。

沿岸技術研究センターからはゴム防舷材の設計法と試験法²⁾および維持管理ガイドライン³⁾の英訳版を提供しており参考資料として多用されている。

今回のガイドラインは、従来の 2002 年版のガイドライン⁴⁾と比べて、近年の港湾施設の技術や概念が取り入れられている。主な改訂のポイントは以下のとおりである。

4.1 船舶の接岸エネルギー計算方法

信頼性設計の概念をもとにして下記のような考え方を導入し、接岸速度、接岸角度、接岸エネルギーの部分係数などの推奨値を設定した。

- ① 接岸船舶の航行条件：接岸水域の海象条件、水先案内人の有無、スラスターの有無などの条件を良好 (Favourable)、普通 (Moderate)、不良 (Unfavourable) の 3 種類に分類した。
- ② 防舷材破壊の影響度：防舷材が破壊した際の被害の影響程度を部品の交換、操業の停止、人的被害、国家的損失など Class A から Class E まで分類し、それぞれの破壊確率、目標信頼性指標を ISO の国際規格ならびに各国の技術基準を参考に設定した。
- ③ 対象船舶のバラツキ、複数防舷材への対応などを接岸エネルギー計算に部分係数として考慮した。

4.2 ゴム防舷材設計方法

4.1 と同様、信頼性設計の概念をもとにして荷重係数 (Load Factors) を設定した。従来の変動係数 (Correction Factors) である速度係数、温度係数、角度係数に加えて複数

の防舷材への接触を考慮することによる容量の割増しや破壊の影響度が新たに考慮できるようになっている。設計者は防舷材のカタログ性能にこれらの変動係数と適切な荷重係数を考慮して性能の特性値を求め、船舶の運動エネルギーに 4.1 で設定された部分係数を掛け合わせた接岸エネルギーの特性値を上回るように選定する。

問題点として、手順が複雑になり、防舷材設計者が部分係数などの概念を理解していなければカタログの数値をそのまま使用して不適切な選定をしてしまう可能性が指摘された。そこで、設定参考条件 (Pre-set values) を仮定して、その試算結果もカタログに提示するように配慮している。

4.3 ゴム防舷材試験方法

ゴム防舷材の試験方法については骨子ができあがり、細部の議論になっている。懸案事項とその対応については今のところ下記のようにになっている。

- ① 品質確認試験に「圧縮+せん断」の繰返し試験の追加が提案された。試験条件が多様になり、個別の議論が必要なので再度、小グループで調整する。
- ② 供試体の恒温化には時間がかかるため、個別物件の品質確認試験で実施するには生産能力への影響が大きい。発注者と試験実施者との合意があれば温度係数による修正も許容すべきとの意見が出された。
- ③ 圧縮試験の途中で要求性能が満たされても中断せずに設計ひずみまでは圧縮するべきことが指摘された。
- ④ 異常時における構造物や船体の危険性評価の参考値として、設計ひずみ以上に過圧縮されたときの反力増加の提示が提案された。
- ⑤ ゴム材料試験から比重測定が削除され、抗張積 (強度×伸び) が追加された。
- ⑥ 樹脂材料試験の要求値について、樹脂メーカーごとの不公平がないよう小グループでの調整課題となった。

4.4 その他

(1) 2002 年版の旧ガイドラインとの設計比較
事例設計により、航行条件を良好 (Favourable) から普通 (Moderate) に変更すると防舷材への要求性能が約 60% 増加し、破壊の影響度を Class A から Class B に変更すると 15% 程度増加した。それらの条件設定によって従来の設計より厳しくなる場合が多いが、逆に緩やかになる場合もあることも確認された。

(2) 今後の予定

各章が接続されひとつになったので今後、懸案事項の議論を収束させるとともに各章の間での重複、記号などの修正ならびに統一を実施する。そして、2022 年 9 月と 2023 年春に再度集合し最終調整を経て 2024 年の国際航路会議にて対外発表することを目指している。

5. 確認審査業務

沿岸技術研究センター (CDIT) は、2007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、2007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、2020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。そして、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。

2021年度は、23件(外郭施設11件、係留施設10件、荷役機械1件、洋上風力発電設備1件)の確認審査申請があった。申請者の内訳は、港湾管理者18件、民間企業5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 ドルフィンのように防舷材の配置間隔が大きい場合には、技術基準に記載のある接岸時の偏心係数 C_e の算定方法は採用できない。このような場合には、偏心係数の定義に立ち返って、式(1)を用いればよい。

$$C_e = \frac{K_r^2}{K_r^2 + R_s^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{K_r}\right)^2} \quad (1)$$

ここで、

K_r : 船舶の環動半径 (m) = $(0.19C_b + 0.11)L_{pp}$, C_b : ブロック係数 = $\frac{DT}{L_{pp}Bd\rho}$, DT : 船舶の質量 (排水量 (t)), L_{pp} :

垂線間長 (m), B : 船幅 (m), d : 船舶の喫水 (m), ρ : 水の密度 (海水は 1.025 t/m^3), R_s : 接岸点と重心との岸壁に平行な距離 (m)。

② 防舷材の配置間隔が大きい場合、防舷材圧縮時に船体と岸壁本体が接触することになるのでチェックが必要である。

③ 既設の係留施設の耐震強化を図る場合には、隣接する係留施設の L2 地震時の損傷を評価し、必要があれば取付部の耐震強化も必要となる。

④ セルラーブロック式岸壁の L2 地震時に対する変形照査にあたっては、セルラーブロックの両側壁コンクリート部を考慮して単位幅あたりの換算単位体積重量および換算摩擦係数を算定する必要がある。

⑤ 洋上風力発電施設では、工学的基盤面 ($V_s \geq 400 \text{ m/s}$) を全風車設置位置において PS 検層で確認することが望ましい。全地点を確認できない場合は、少なくともエリア端部は PS 検層で確認し、その間は音波探査等で層の連続性を把握する必要がある。

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) CDIT: Guidelines for design and testing of rubber fender systems, August 2019.
- 3) CDIT: Guidelines for the maintenance of rubber fender systems (2nd Edition), September 2019.
- 4) PIANC: Guidelines for the Design of Fenders Systems, MarCom Report of WG33, 2002.

