

# 気候変動を考慮した設計について —苫小牧港西港区汐見地区岸壁設計の事例—

室蘭開発建設部 苫小牧港湾事務所 計画課 ○長谷川 淳  
浜田 和哉  
北日本港湾コンサルタント株式会社 第1技術部 近藤 直博

日本の気候変動(2020)によれば、気候変動の影響により平均海面水位の上昇が顕在化しているほか、台風の強大化などが指摘されている。苫小牧港西港区で計画されている小型船溜まりの改良事業は既設の地盤高が低く、利用する船舶も小型であるため、水位上昇の影響を受けやすく、気候変動に伴う作用の時間変化を適切に考慮した設計・施工を行う必要がある。本報文はその設計実務の過程で明らかになった課題について報告する。

キーワード：気候変動、水位上昇、適応策、嵩上げ

## 1. はじめに

### (1) 港湾における気候変動適応策

文部科学省及び気象庁により令和2年12月に公表された「日本の気候変動2020<sup>1)</sup>」によれば、日本近海の平均海面水温(図-1)は世界平均の2倍を超える割合で上昇しており、今後も世界平均より大きな割合で上昇すると予測されている。海水自体が温まり膨張する効果と、気温や海水温の上昇により引き起こされる氷河等の融解を主要因として海面水位の上昇がもたらされるほか、日本付近の台風が強くなる可能性が指摘されており、台風の接近・上陸時には、より大きな高潮が引き起こされ、海面水位の上昇と相まって浸水リスクが高くなり、高波もより大きくなると危惧されている。

また、令和5年3月には気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が第6次評価報告書(統合報告書)を公表した。同書では、大気、海洋、雪氷圏、及び生物圏に広範かつ急速な変化が起こっており、人為的な気候変動は、既に世界中の全ての地域において多くの気象と気候の極端現象に影響を及ぼしていること、また、将来のいかなる温暖化の水準においても、多くの気候関連リスクは平成26年に公表された第5次評価報告書での評価よりも高く、予測される長期的影響は現在観測されている影響よりも最大で数倍高いことなどが示されている。

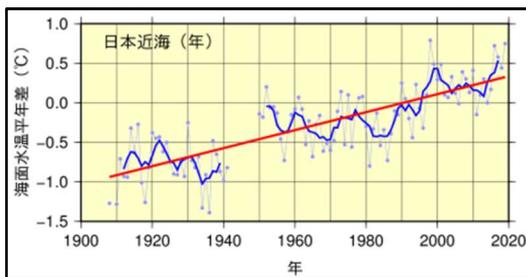


図-1 日本近海の海面水温の年平均差の推移<sup>1)</sup>

我が国は、人口や資産、産業が臨海部に集中するとともに、資源、エネルギーのほぼ全ては港湾から輸入され、食料、生活物資や工業製品の多くも港湾を介して輸送されている。港湾や臨海部は、島国日本の物流、産業、生活を支える生命線となっている一方、水際線に存在するが故に、海面水位上昇や台風の強度増大などの気候変動による影響を受けやすい特性がある。

このような背景のもと、国土交通省港湾局は、「港湾における気候変動適応策の実装方針」(以下、実装方針)を令和6年3月に公表し、気候変動の影響を踏まえた港湾施設の設計の考え方などを示した。また、同4月には「港湾の施設の技術上の基準」(以下、技術基準)が改正され、法令の上でも気候変動への適応に関する規定が盛り込まれた。

苫小牧港西港区汐見地区における小型船溜まりの改良事業において、気候変動を考慮した設計を今年度行っており、設計実務の過程で明らかとなった課題などについて報告する。

### (2) 苫小牧港西港区商港地区複合一貫輸送ターミナル改良事業の概要

苫小牧港は、北海道の政治、経済の中心である札幌圏に太平洋岸で最も近く、新千歳空港に近接するなど地理的利便性が高い上、交通の要衝でもあることから、フェリー、RORO船、コンテナ船による国内外との定期航路が週100便以上就航している。港湾取扱貨物量は北海道全体の5割以上を占めており、内貿貨物量は22年連続で全国一であるなど、北海道はもとより我が国の産業・経済を支える北日本最大の海上輸送拠点として大きな役割を果たしている。

西港区の商港地区は、苫小牧港におけるRORO船航路

の約7割となる週30便が就航し、自動車部品・紙製品・農産品等の移出や完成自動車・古紙等の移入など、幹線貨物輸送ネットワークの拠点となっている。しかし、商港地区の各岸壁は、建設から50年近くが経過し、著しい老朽化により安全性が低下していたほか、岸壁背後に上屋が存在し、エプロン幅が狭いなど、シャーシ等の円滑かつ安全な利用に支障をきたしていた。

他方、苫小牧港内には北海道で唯一の製油所が立地しており、燃料油の安定供給が可能であるため、定期航路等の安全運航に必要なバンカリング（燃料補給）拠点となっている。西港区汐見地区の小型船溜まりは、バンカー船をはじめ、タグボートや作業船などのポートサービス船の係留基地となっているが、苫小牧港に所在するポートサービス船に対し、係留施設延長が慢性的に不足しており、係留施設ではない護岸の利用や多艘係留などを余儀なくされている状況にある（写真-1）。



延長不足(船体はみ出し)



多艘係留

写真-1 西港区汐見地区小型船溜まりの係留状況

これらの課題を解決するため、商港地区においては、老朽化により機能低下した岸壁をRORO船の荷役に対応した施設へ改良するとともに、陳腐化した上屋の撤去等による背後スペースの確保により、荷役の効率性及び安全性の向上を図っている。また、汐見地区においては、RORO船等の定期航路の維持に欠かせないポートサービス船の係留場所を確保するため、小型船溜まりの狭隘化解消のための係留施設の新設や改良などの整備が計画されている（図-2）。

ここで、苫小牧港の係留施設は、その殆どが大型船に対応したものであるため、岸壁の天端高や背後用地の地盤高が高く、将来の海面水位上昇を考慮した場合でも浸水のリスクは低いと見込まれている。一方、汐見地区の係留施設は、ポートサービス船等の小型船を対象としたものであるため、岸壁や背後用地の高さが相対的に低く、将来の海面水位上昇時には浸水リスクが高いことが指摘されている（図-3）。

今年度実施する汐見地区小型船溜まりの岸壁(-5m)改良)の設計にあたり、実装方針や技術基準に基づき、各種の文献なども参考としながら、将来の海面水位上昇などの気候変動を考慮した設計を行う。



図-2 苫小牧港西港区商港地区複合一貫輸送ターミナル改良事業位置図

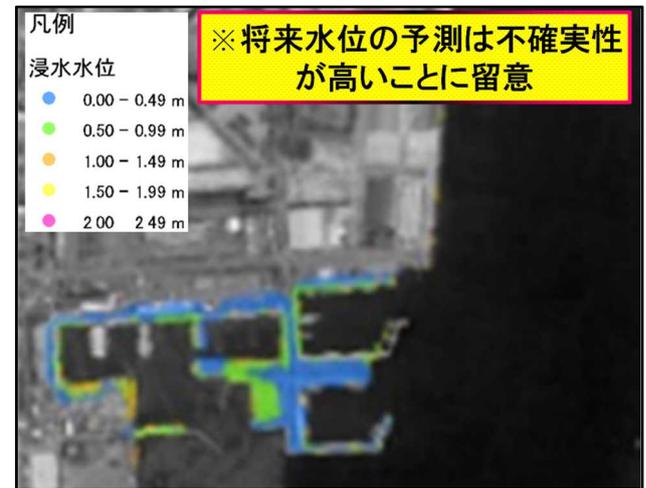


図-3 苫小牧港西港区の浸水想定図（汐見地区を拡大）  
【2℃上昇、高潮・満潮時】<sup>2)</sup>

## 2. 気候変動を考慮した設計の概要

### (1) 要求性能の考え方

従来の設計では、設計時点において設定した外力による作用が、設計供用期間中一定であるものとして実施されてきたが、気候変動を考慮する場合には、気候変動に伴う作用の時間変化を考慮し、将来の作用に対して施設に要求される性能が発揮されるよう設計を行う必要がある。

作用の時間変化（将来予測）は、気象庁等の最新の気候変動シナリオと信頼性の高い予測モデル等を用いて実施する必要があるが、どのような方法で実施したとしても、必ず不確実性があることに留意すべきであり、予測幅を踏まえた複数のシナリオ（上位シナリオ、中位シナリオ）を想定することが重要である。

また、作用の時間変化に対する要求性能の確保の方策としては、「事前適応策」と「順応的適応策」の2種類の適応策が挙げられる。

事前適応策は、設計供用期間の全時点において要求性能を確保可能な断面諸元として、当該期間の初期段階において対応する方策である(図4)。事前適応策においては、将来の作用を上位シナリオにて設定すると、実際の将来作用が下振れした場合、断面諸元が過大となる可能性があり、中位シナリオにて設定し、上振れした場合には施設の耐力不足の可能性があるので、設計段階に設定した作用と耐力の関係が乖離するリスクがある。

順応的適応策は、設計供用期間の全時点において要求性能を確保可能な断面諸元を設計時点で検討するものの、実際の整備は部材・構造的な特性に応じて、適切な時期に段階的に対応する方策である(図5)。順応的適応策においては、中位シナリオを想定して検討、整備を行い、設計供用期間中に作用が上振れしたと判断した場合は、追加施工により上位シナリオ断面に移行可能とする工夫が必要となる。中位から上位シナリオ断面へ移行させる追加施工において困難・工費が比較的高い工種を整理しておき、期間の初期段階で上位シナリオ断面に対応する諸元として整備し、追加施工の工費を低く抑え、かつ供用性を確保する方策が必要となる。

気候変動の将来予測は不確実性を内在しているので、追加対策が容易な設計とするため、初期段階で対応する「事前適応策」で断面を設定しつつ、利用者の要請等も考慮し、整備直後に支障が生じる天端高などは、段階的に対応する「順応的適応策」により整備する等、適切に組み合わせて対応することが重要となる。

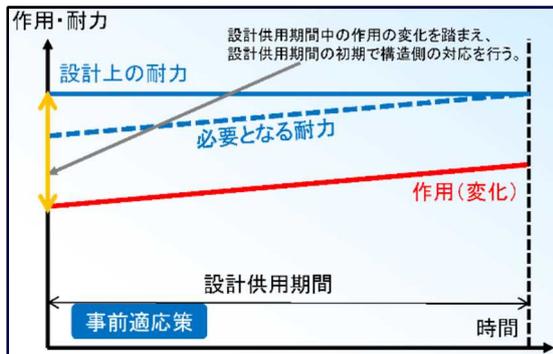


図-4 事前適応策の概念図

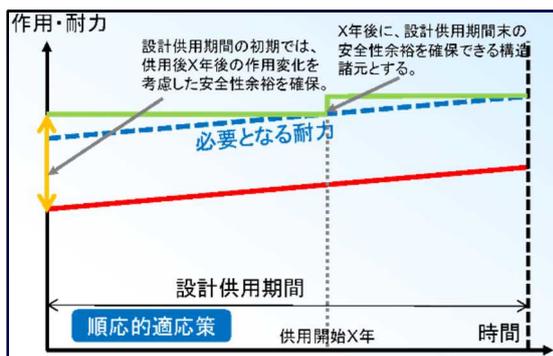


図-5 順応的適応策の概念図

## (2) 将来気候における作用の設定

将来気候における作用を設定するための前提条件となる気温上昇シナリオは、実装方針により、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次評価報告書におけるRCP2.6シナリオ (2°C上昇シナリオ) とする。気候変動に関する国際的枠組であるパリ協定の「世界の平均気温上昇を産業革命以前と比べて2°C未満に抑え、1.5°Cまでに抑える努力をする」との目標とも整合する。

### a) 天文潮位

国土技術政策総合研究所における検討<sup>3)</sup>を参考として海面水位上昇を考慮した将来の天文潮位 (設計潮位) を設定する。

日本の気候変動2020において、2°C上昇シナリオにおける日本沿岸の平均海面水位の上昇量は表-1のとおり推計されている。北海道全域が属する領域 I の推計値をもとに、中位シナリオの場合は平均値の0.38m、上位シナリオでは変動幅の最大値である0.55mを用いる。

ここで、表-1の値は、20世紀末 (1986~2005年平均) に対する21世紀末 (2081~2100年平均) の変化量であることから、各期間の間である「1995年」から「2090年」までの95年間で直線的に海面水位が上昇する (図-6) ものとして考えると、年間の上昇量は中位シナリオで0.004m/年 (=0.38m/95年)、上位シナリオで0.006m/年 (=0.55m/95年) となる。

表-1 平均海面上昇量の推計値

	2°C上昇シナリオ (RCP2.6)
領域 I	0.38m (0.22~0.55m)
領域 II	0.38m (0.21~0.55m)
領域 III	0.39m (0.22~0.56m)
領域 IV	0.39m (0.23~0.56m)
日本沿岸平均	0.39m (0.22~0.55m)
(参考) 世界平均	0.39m (0.26~0.53m)

※括弧内は予測の変動幅

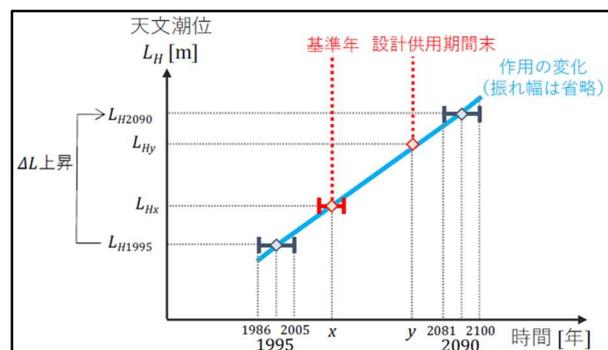


図-6 天文潮位の変化のモデル<sup>3)</sup>

図-6における設計供用期間末 (気候変動を考慮した将来) の天文潮位は、基準年の天文潮位に「年間海面水位上昇量×設計供用期間」を加えた値となる。

現在、苫小牧港の設計に用いている天文潮位 (朔望平

均満潮位：H.W.L)は、1995年から2004年の10年間の観測値から設定されたものであるため、その中間の「1999年」を基準年とする。

一方、今回の設計対象施設の着工は2026年以降を予定しているが、その完成時期（供用開始時期）については見通し難い。仮に2026年に着工し翌2027年に完成した場合と5年の振れ幅を考慮して2032年に完成した場合を想定すると、設計供用期間末（2077年と2082年）までの海面水位上昇量の差は上位シナリオで0.1m（+0.5mと+0.6m）と些少である。よって、上位シナリオの上昇量は危険側の+0.6mとする。なお、中位シナリオはいずれも+0.4mの上昇量となった。また、設計供用期間は一般的に用いられる50年として算出した。

#### b) 潮位偏差

潮位偏差は、高潮対策施設（海岸護岸等）の設計などに用いられているが、係留施設の場合は、天文潮位に加えて潮位偏差を考慮すると平時の利用に支障が生じる可能性があることから、慎重な検討が必要である。本設計においては、現時点では潮位偏差の将来推計や設計への考慮は行わず、今後の気候変動に関する研究等の成果や他港での設計事例などを注視していくこととする。

#### c) 沖波波高

国土技術政策総合研究所及び港湾空港技術研究所において、2℃上昇シナリオでの将来の波高の変化について、将来の6つの海面水温パターンを踏まえた検討が行われている。波高の将来変化は、現在気候（20世紀末：1980年）における値に対する将来気候（21世紀末：2090年）における値の比（将来変化比）として平均値（暫定値）が既に示されているが、今後、10%～90%タイル値を含む確定値が公表される予定であり、将来変化比の平均値を中位シナリオ、90%タイル値を上位シナリオとして、それら将来変化比に基づく将来沖波波高（50年確率波高）を設定する予定である。

### 3. 設計対象施設と設計方針の概要

#### (1) 設計対象施設

設計対象施設の位置を図-7に示す。



図-7 汐見地区小型船溜まりと設計対象施設

現在、造船所跡地箇所において、新たに第4船溜まりの整備を行っており、その完成後、多艘係留を強いられている船舶等を集約（シフト）した上で、第1、第2船溜まりにおいて、ポートサービス船の大型化にも対応した既存岸壁の増深改良等を行い、小型船溜まり全体の再編を行う計画となっている。なお、今回の設計対象施設である岸壁(-5m)(改良)のうち、C部については、現状の防波堤構造（図-8）に対して港内側に新たな岸壁を設けるものであるが、港外側からの越波を防止するための改良もあわせて行うことから、天文潮位だけでなく、波高の将来変化も考慮した設計を行う予定である。

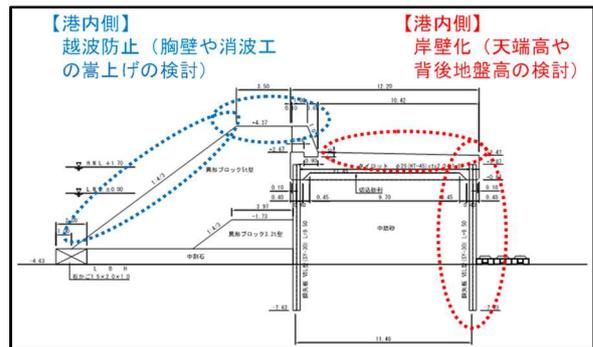


図-8 岸壁(-5m)(改良)C部の既設構造図

#### (2) 係留施設の天端高と現地調整

係留施設の天端高は、天文潮位の干満差や当該施設の対象船舶（大型船または小型船）に基づく標準的な高さをもとに、隣接する係留施設との連続性等も考慮しながら決定している。また、係留施設の老朽化などに伴う改良においては、改良後の天端高を既設と同等とする場合が多いが、汐見地区小型船溜まりでは、現状、タグボートが利用している係留施設において、天端高の不足が指摘されており、部分的に嵩上げ対応が行われている箇所もある（写真-2）。



写真-2 天端高の不足を補う部分的嵩上げ

岸壁(-5m)(改良)は、完成後はタグボートが利用する岸壁となることから、利用形態等の詳細を把握するため、複数回にわたる利用者ヒアリングを実施するとともに、現地において構造物に見立てた段ボール等を用い、天端高の各種ケースと船体の関係を視覚的に示しながら（写真-3）、最適な高さについて議論を重ねた。



写真-3 現地での高さ確認時の状況

### (3) 設計方針

天文潮位（設計潮位）及びC部での沖波波高（50年確率波高）による将来気候下での作用は、上位シナリオを用いて設定し、これをもとに構造断面を決定する。ただし、上部工及び舗装工については段階的な整備を行う方針とし、その概要を以下に示す。

#### a) 上部工（岸壁天端高）

上部工（岸壁）の将来必要天端高は、上位シナリオの海面水位上昇量である0.6mを考慮した朔望平均満潮位（H.W.L）に対して、タグボートの船型を加味した高さを天端高とする。

既述の部分的嵩上げ箇所の天端高は+2.9m（標高はDL値、以下同じ）であるが、この高さでもまだ不足しているとのことであり、利用者との現地での高さ確認や協議の結果、+3.2mが最適な天端高であることを確認した。現状の苫小牧港のH.W.Lは+1.7mであることから、満潮時の水位に対して1.5mの高さが確保されていることが船型上望ましいこととなる。

従って、現在のH.W.L（+1.7m）に対して、海面水位上昇量の0.6mを考慮し、船型を加味した1.5mを合計した+3.8mを岸壁(-5m)(改良)の天端高とする。

但し、直ちに+3.8mまで天端高を上げてしまうと、船舶の乗降に不都合が生じることから、第1段階の整備高さ（暫定天端高）は+3.2mとする。

なお、+3.2mは現状における最適な天端高であり、今後の経年の海面水位上昇量を考慮していない高さであることから、既述の順応的適応策の考え方とは若干異なる。+3.2mに対して更に、中位シナリオの年間海面水位上昇量を考慮することも考えられたが、今回設定した暫定天端高+3.2mは、岸壁(-5m)(改良)の現状の天端高+2.5mと将来必要天端高+3.8mのほぼ中間の高さであること、また、第1段階の天端高をさらに高くすると、第2段階（最終形）への移行時に薄層の嵩上げとなることによる施工性や構造物としての品質面を考慮し、+3.2mを暫定天端高としつつ、今後の海面水位上昇を注視しながら、第2段階への移行などを判断していくこととした。

#### b) 舗装工（エプロン高）

舗装工（エプロン高）は、上部工（岸壁法線）に向かって1~2%の排水勾配は考慮するが、上部工とほぼ同等の高さとすることが一般的である。このため、第1段階においては、上部工の暫定天端高である+3.2m程度のエプロン高とするのが通常である。しかし、岸壁(-5m)(改良)の現状のエプロン高は+2.5mであるため、これを+3.2mまで嵩上げすると、背後用地や周辺施設との間で大きな段差が生じることとなり、擦り付けを設ける場合にはその分の用地面積が損なわれることとなる。擦り付けを設けない場合には周囲との一体性や連続性が断たれる問題が生じる。このため、第1段階の舗装工の整備高さ（暫定天端高）は、現状と同じ+2.5mとする。

また、将来の舗装工の天端高について、上述した一般的な施設のように上部工の天端高に合わせた+3.8mとすることも考えられるが、この場合、周囲との段差の障害が益々大きくなる。一方、第1段階と同じく+2.5mとするのは、上部工との段差が大きくなり、船舶乗降時等における安全上のリスク（転落等）が懸念される。よって、将来の舗装工の天端高は、第1段階の上部工と舗装工の高低差（0.7m）を維持することとし、+3.1m（上部工+3.8mからの0.7m下がり）とすることで検討している。なお、上部工と舗装工との間に0.7mの段差が生じることにに対しては利用者との協議において問題ないことを確認している。

#### c) 暫定天端高と将来天端高

上記a)、b)で示した上部工及び舗装工の第1段階の整備高さ（暫定天端高）と第2段階（最終形）の整備高さ（将来天端高）の関係を図-9及び表-2に示す。暫定時及び将来の最終形のいずれにおいても上部工がパラペット状となり、舗装工との間に段差が生じることから、船舶乗降時等の利便性や安全性を鑑み、適所に階段や手摺を設置することを検討している。また、段差部での雨水の滞留を防止するため、上部工（パラペット形状部）への排水孔の設置を検討している。

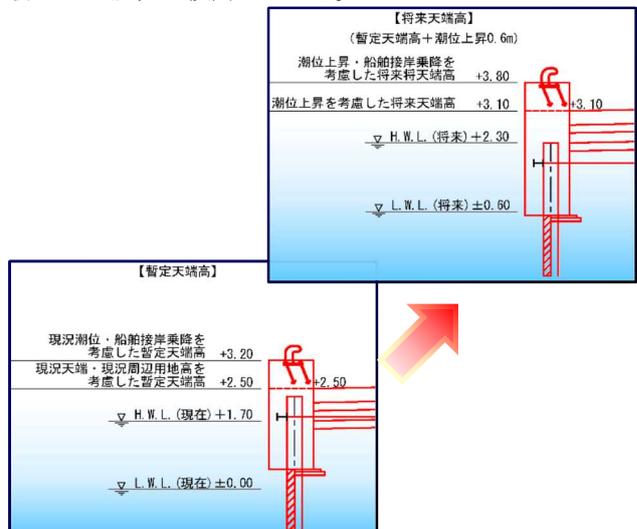


図-9 段階整備の概略図

表-2 天端高（上部工・舗装工）の段階整備方針

	現在高さ	暫定高さ	海面水位	将来高さ
			上昇量	
上部工	+2.5m	+3.2m	→	+3.8m
舗装工	+2.5m	+2.5m	→	+3.1m
H.W.L	+1.7m		+0.6m	+2.3m
L.W.L	+0.0m		+0.6m	+0.6m

#### 4. 気候変動適応を考慮した設計の課題

今回の設計対象施設は、将来の浸水リスクが懸念されている西港区汐見地区の小型船溜まりを構成する一施設に過ぎず、また、小型船溜まりの中でも海側に位置していることから、例えば、陸側の第1、第3船溜まり等が今後の海面水位の上昇により恒常的に浸水や冠水が生じる状況となった場合、背後地とのアクセスが分断され、適応策を講じていたにも関わらず、利用困難な施設となるおそれがある。

この課題への対応としては、実装方針や技術基準に示されている「協働防護」の推進が考えられる。

港湾においては、一つの施設が単独で存在することは稀であり、近接し相互に影響を及ぼしあう一連の施設群として存在することが通常である。港湾内の各施設は、供用開始時期や改良・補修時期が異なるため、必ずしも気候変動適応策を実施すべき時期は同一とならない。また、気候変動適応の考え方の差異によって一連の施設群内に適応水準の異なる施設が混在した場合、適応水準の低い施設での浸水等の被害が他の適応水準の高い施設等へ影響を及ぼし、結果的に一連の施設群の全体の機能が毀損する可能性がある。このため、官民の多様な関係者が協働で目標等を定めて適応策を実施していく「協働防護」の推進が求められており、今後のそのような方向性とも連動していくことを念頭に、引き続き、更なる検討を進めていく。

また、今回の設計対象施設のように段階的な整備を採用する場合、その思想の継承が課題と考える。本施設の第1段階の整備完了以降、第2段階（最終形）への移行までには相当な年月のブランクが生じることと考えられる。今年度行っている検討内容や設計思想は、設計計算書として残されるが、第1段階の供用開始後には、何らかの不具合等が生じた場合を除き、設計計算書を確認する機会は大きく減少するものと考えられる。他方、第2段階の整備の必要が継承された場合でも、将来それを実現化（事業化）する際の手続きや予算確保が課題になると想像される。

これら課題への対応としては、気候変動への適応の考え方や段階整備の方針を維持管理計画書などへ明記することによる港湾管理者との共有や、将来の第2段階の整備を想定した事業評価方法の確立も今後必要と考えられる。

#### 5. まとめと今後の方向性

本報文では、現在進めている苫小牧港西港区汐見地区の岸壁(-5m)(改良)における気候変動を考慮した設計思想の概要と得られた課題について報告した。

今回の設計対象施設では、周辺施設との段差が生じることの不具合の緩和策として、上部工をパラペット形状とした。しかし、今回の対象船舶であるタグボートは荷役作業を伴わないのに対し、同じく汐見地区を利用する漁船は、水揚げ作業において舗装工と一体的に利用されており、荷役形態等によって上部工と舗装工がフラットであることが望まれるケースも少なくないと考えられる。一連の施設群内における適応策の整備時期等の差異による段差の発生は必然であることから、その解消・緩和方策の更なる検討が必要であると考えられる。

令和6年度現在、気候変動の影響を考慮した設計は実装開始直後であり、本施設は北海道の港湾施設におけるトップランナーであるが、今後、全国の港湾において気候変動の影響を考慮した設計事例が増えていく中で、様々な課題やその対応策が整理されていくものと想定され、そうした状況を注視しつつ、今後更なる設計実務の充実に活かしていく。

また、海面水位の上昇をはじめ、今後の気候変化を適切にモニタリングしていく必要があり、海面水位上昇量に関しては地盤沈下や地殻変動による隆起や沈降による影響にも留意する必要がある。そして、モニタリング結果や、気候変動に関する新たな知見や研究の進展などを踏まえながら、適応水準などの見直しを行っていく必要があり、それらの具体的かつ統一的な考え方や方法の確立も望まれる。

発電所や製油所をはじめ多くの産業が集積している港湾や臨海部でのCO2排出量は我が国の6割以上を占めている。このため、全国の港湾において、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化等を図るカーボンニュートラルポート（CNP）の形成が推進されている。

気候変動対策として緩和策と適応策は車の両輪であり、カーボンニュートラルポート（CNP）の取組により脱炭素化社会に貢献するとともに、インフラ整備においては、気候変動適応策を着実に推進しながら、幹線貨物輸送ネットワークの機能維持による「物流の2024年問題」への対応など、我が国の課題解決に今後も貢献したいと考えている。

#### 参考文献

- 1)文部科学省,気象庁(2020):日本の気候変動2020,
- 2) 苫小牧港管理組合:苫小牧港港湾脱炭素化推進計画報告書2024.3
- 3) 国土技術政策総合研究所:気候変動適応策を踏まえた防波堤の設計手法に関する検討2024.3