

港湾における気候変動適応策の実装方針 (案)

港湾における
気候変動適応策の実装に向けた技術検討委員会

目次

目次	2
はじめに	4
I. 気候変動適応策の実装に係る基本的な方針	6
II. 外力の設定の考え方	8
1. 気候変動の概要	8
2. 外力の変動トレンド	8
(1) 平均海面水位	8
(2) 潮位偏差	10
(3) 波浪（高波）	11
3. 外力の将来推計	11
(1) 平均海面水位	12
(2) 潮位偏差	15
(3) 波浪（高波）	17
4. 外力の将来推計値の目安	18
5. その他の外力について	22
(1) 常時波浪	22
(2) 津波	22
(3) 風	22
(4) 降水量	23
III. 港湾の施設の設計の考え方	24
1. 要求性能の考え方	24
2. 適応策の選定	25
3. 各種施設における適応策	27
(1) 水域施設	27
(2) 外郭施設	27
(3) 係留施設	27
IV. 供用段階での継続的な性能把握	29
1. 目的	29
2. 実施方法	30
3. 外力の変動が想定と異なる場合の対応（上振れ、下振れ）	30
V. 協働防護の推進について	32
1. 目的	33

2.	検討の流れ.....	34
3.	協働防護プランで合意すべき内容.....	36
4.	港湾計画、長期構想との整合.....	37
5.	維持管理計画等との整合.....	38
VI.	気候変動適応策の実装に当たって配慮すべき事項.....	39
1.	気候変動予測情報の更新への対応.....	39
2.	ソフト的対策.....	39
3.	技術開発等.....	39
	おわりに.....	41

1 はじめに

我が国の港湾は、貿易量の 99.5%を扱う重要な社会インフラであり、その背後地となる港湾所在市町村は、約 6,000 万人の人口と 150 兆円の製造品出荷額等を擁し、いずれも全国の約半数を占めるなど、我が国の国民生活、経済活動にとって極めて重要な地域である。これまでも、平成 30 年（2018 年）9 月に大阪湾に来襲した台風第 21 号では、大阪港、神戸港において、昭和 36 年（1961 年）の第二室戸台風以来 50 年以上ぶりに既往最高潮位を更新する潮位が発生した。これにより、港湾の堤外地における浸水被害が多数発生し、コンテナの航路・泊地への流出により、船舶の航行の安全が確認されるまで、神戸港で 2 日間、大阪港で 3 日間、港湾機能が停止した。このほか、コンテナの倒壊や電源施設の浸水をはじめ、港湾施設及び海岸保全施設に大きな被害が生じた。また、令和元年（2019 年）9 月及び 10 月に相次いで東京湾に来襲した台風第 15 号（令和元年（2019 年）房総半島台風）や台風第 19 号（令和元年（2019 年）東日本台風）では、東京湾内で既往最大値を超える有義波高及び瞬間風速を記録し、高潮・高波・暴風により、護岸の倒壊、越波による浸水、コンテナの倒壊・散乱、走錨船舶の港湾施設への衝突等、東京湾内の港湾を中心に大きな被害が発生した。今後気候変動により海面水位上昇や台風の強度の増大などが予測されている。

港湾は、水際線に存在する特性上、海面水位上昇や台風の強度の増大など、今後見込まれる気候変動の影響が不可避であり、長期的な視点で対策を講じることが求められる。

令和 2 年 8 月には、交通政策審議会より「今後の港湾におけるハード・ソフト一体となった総合的な防災・減災対策のあり方」が答申され、気候変動に起因する外力の増加への対応として、将来にわたる港湾機能の維持に必要な港湾計画等の策定、将来の外力の増加を考慮した施設設計、排出シナリオや推計モデルの不確実性に対処するためのモニタリングや技術開発など、具体的な施策が示されている。

同年 12 月には文部科学省・気象庁より「日本の気候変動 2020」が公表され、日本沿岸の平均海面水位等の将来予測が示されるなど、科学的知見も蓄積されつつある。

このため、港湾における気候変動適応策の実装に向けて令和 3 年 2 月より、「港湾における気候変動適応策の実装に向けた技術検討委員会」（以下、「委員会」という。）において、8 回にわたり検討を行ってきた。他方、研究機関等において、平均海面水位のみならず、潮位偏差や波浪の定量的な将来予測についても研究が進展してきた。

本書は、以上を踏まえ委員会の検討成果としてとりまとめたものである。

従前までの港湾の施設設計においては、施設に作用する外力が将来的に変化することを想定していなかったが、気候変動の顕在化やその将来予測に係る技術力向上によ

り、外力の将来変化が予見可能となっている。従って、今後の港湾の施設設計においては、将来にわたり施設に作用する外力変化をあらかじめ考慮することが必要である。

本書の目的は、そのような状況においても、国、港湾管理者その他民間事業者等の港湾に関わる各主体が、円滑に気候変動適応策の実装を図ることができるよう方針を示すことであり、この活用により各主体において気候変動適応が推進されることを期待する。

なお、本書は IPCC 第5次評価報告書で用いられたシナリオを中心に用いる。これは、IPCC 第5次評価報告書や「変化する気候下での海洋・雪氷圈に関する IPCC 特別報告書(SROCC)」等に基づいている「日本の気候変動 2020」に基づくデータを参照するためである。

また、今後のシナリオの変更の必要性については注視し続ける必要がある。

I. 気候変動適応策の実装に係る基本的な方針

我が国における気候変動適応は、平成 30 年（2018 年）12 月に「気候変動適応法」が施行されたことにより、気候変動適応の法的位置づけが明確化され、一層強力に推進していくこととされた。同年 11 月には同法の規定に基づき「気候変動適応計画」（以下、「適応計画」という。）が策定され、令和 3 年（2021 年）10 月には、最新の科学的知見を勘案し、適応計画の改定が行われた。同計画では、「2050 年カーボンニュートラル実現に向けて気候変動対策を着実に推進し、気温上昇を 1.5℃程度に抑えられたとしても、熱波のような極端な高温現象や大雨等の変化は避けられないことから、現在生じており、又は将来予測される被害を回避・軽減するため、多様な関係者の連携・協働の下、気候変動適応策に一丸となって取り組むことが重要である。」「気候変動対策として緩和策と適応策は車の両輪であり、政府においては、地球温暖化対策の推進に関する法律及びそれに基づく地球温暖化対策計画並びに適応法及び本計画の二つの法律・計画を礎に、気候変動対策を着実に推進していく。」とされている。

港湾において気候変動適応策を実装するには、まず、施設に作用する外力の将来予測を行うことが必要である。その際、気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）や気象庁等の最新の気候変動シナリオを用いるとともに、研究機関等における最新の研究成果に基づき、信頼性の高い方法で実施することが必要である。なお、最新の気候変動シナリオと信頼性の高い方法で実施したとしても、必ず将来予測には不確実性があることに留意すべきである。

施設に作用する外力の将来予測値に基づき、施設ごとに設定する設計供用期間にわたり要求性能を満足するように施設の設計を行うものとする。この際、設計供用期間中における気候変動による作用の時間変化を勘案した上で、設計供用期間の全ての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「事前適応策」と、設計供用期間の全ての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、実際の整備は部材や構造的な特性に応じて、当該期間中の適切な時期に段階的に対応する「順応的適応策」が考えられる。これらの適応策については、施設の供用性、追加工事の難易度、将来予測の不確実性等を踏まえて、適切に選定するものとする。特に施設の供用性については、施設が果たすべき機能が供用期間中継続することが重要であり、例えば、係留施設であれば、荷役形態、荷役機械の機能、係留する船種・船型、工事期間中の継続利用等を踏まえて検討する必要がある。

また、既存施設については、一般的に気候変動により施設に作用する外力が増大することで、今後要求性能を満足しなくなる蓋然性が高まる。よって、既存施設が有す

る性能の把握とその施設に作用する外力の将来予測を行った上で、外力の増大に応じて、将来のどの時点で性能が満足しなくなるか評価する「気候変動に対する脆弱性評価」（以下、「脆弱性評価」という。）を実施することが必要である。脆弱性評価の実施結果に基づき、計画的な施設の改良を検討することが必要である。なお、既存不適格施設（脆弱性評価時に既に現在の外力に対する要求性能を満足していない施設）については、今後の外力の増大により、施設の不安定化に進展する恐れがあるため、維持管理のあり方を見直す必要がある。

個別の施設については、以上の基本的な方針により気候変動適応策の実装を行うものとするが、近接し相互に影響を及ぼしあう一連の施設群において、施設相互で気候変動適応に係る考え方を合わせずに施設単位で個別に気候変動適応策を実施した場合、隣接する施設の要求性能が揃わず、施設群の一体利用が阻害されたり、一つの施設の性能不足による影響が他の健全な施設の利用に影響したり、様々な悪影響が想定される。この悪影響を回避するため、一連の施設群を構成する各施設に対して脆弱性評価を行い、各施設の性能が満足しなくなる時点を把握し、改良に着手すべきタイミングを見極めるとともに、気候変動に対して適応すべき性能の水準（以下、「適応水準」という。）について、一連の施設群を構成する各施設の所有者・管理者間で整合した目標を定め、各自その目標に向かって整備を実施する「協働防護」が重要である。この「協働防護」は、令和5年7月に交通政策審議会より答申された「気候変動等を考慮した臨海部の強靱化のあり方」において、港湾・臨海部の強靱化の推進に係る施策の一つとして示されている「物流・産業・生活機能が集積し、面的に広がる港湾・臨海部の強靱化（面的強靱化）」と同様の考え方である。

Ⅱ．外力の設定の考え方

1. 気候変動の概要

文部科学省・気象庁により令和2年（2020年）12月に公表された「日本の気候変動2020－大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書¹」（以下、「日本の気候変動2020」という。）では、温室効果ガスが高排出された場合の21世紀末（2081～2100年平均）の世界平均海面水位は、20世紀末（1986～2005年平均）と比較して0.51～0.92m上昇すると予測され、日本の南海上で猛烈な台風の頻度の増加、高潮リスクの増大、極端な高波の波高の増加等、気候変動による日本沿岸への影響について、評価・報告されている。また、令和5年（2023年）3月20日には、IPCCが第6次評価報告書統合報告書²を公表した。同書においては、平均海面水位等の更新、人間活動が主に温室効果ガスの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がないこと、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、気候関連リスクの多くは平成26年（2014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、などが示されており、気候変動に起因する将来の災害リスクの増大が懸念される状況となっている。

2. 外力の変動トレンド

（1）平均海面水位

IPCC第6次評価報告書によれば、世界平均海面水位は、1901年から2018年の期間に0.20m上昇した。その平均上昇水位は、1901年から1971年の期間で1年あたり1.3mmであったが、1971年から2006年の期間で1年あたり1.9mmに増加し、2006年から2018年の期間で1年あたり3.7mmと更に急激に増加した。

一方、図1は、気象庁が調べた日本沿岸における平均海面水位の変動であり、過去約100年間の日本沿岸の平均海面水位には世界平均海面水位に見られるような観測期間を通して一貫した上昇傾向は見られないが、1980年以降については上昇傾向が明瞭となっており、2006年から2015年の上昇率は世界平均海面水位の上昇率と同程度である。

¹ 文部科学省・気象庁「日本の気候変動2020－大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書」（令和2年（2020年）12月4日）<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>

² 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書（AR6）統合報告書
<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>

また、港湾での長期検潮記録からも海面水位の経年変動を調べることができ、図 2 のうち、例えば久里浜港（横須賀港久里浜）では、平均海面水位が 53 年間で 2.95mm/year、唐津港では 31 年間で 4.35mm/year の割合で上昇したと推定されている³。なお、このような平均海面水位の変動は、検潮所の場所や観測期間によって異なる。なお、長期検潮記録の整理では、検潮所のある地盤の変動量を適切に考慮する必要がある。例えば、検潮所の地盤沈下は平均海面水位の上昇と見かけ上は同じである。

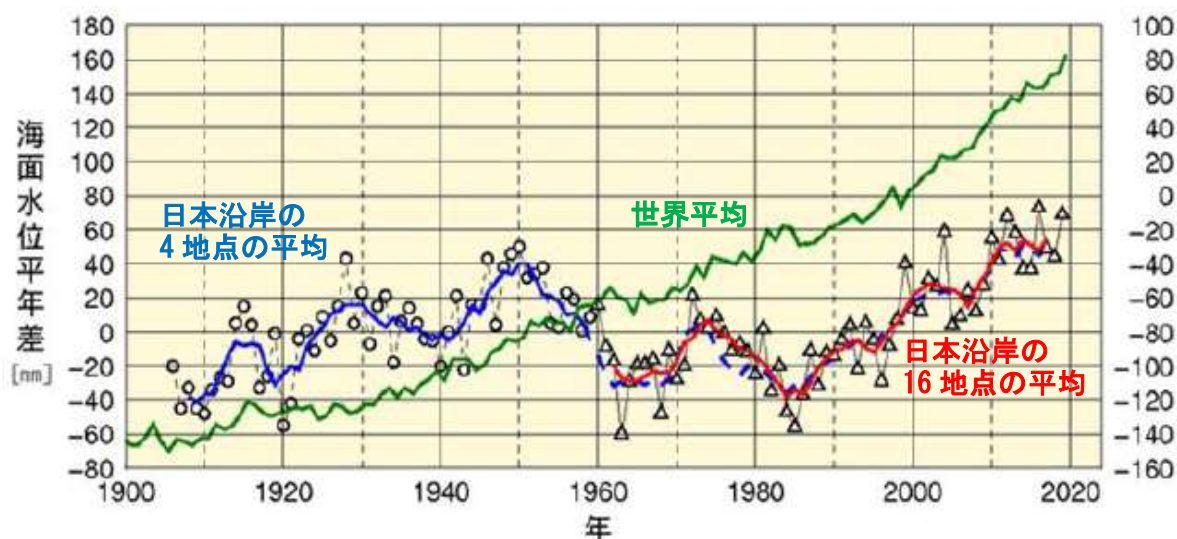


図 1 日本沿岸の海面水位の推移（1906～2019 年）

出典：日本の気候変動 2020、P. 29

○（青実線）は日本沿岸 4 地点の平均水位（その 5 年移動平均値）、△（赤実線）はその 4 地点を含む総計 16 地点の平均水位（その 5 年移動平均値）を表す（いずれも縦軸の目盛は図の左側）。比較として、世界平均水位を緑線で示す（縦軸の目盛は図の右側）。いずれも、1981～2010 年の平均値との差（平年差）。青破線は 4 地点平均の平年差の 5 年移動平均値を後半の期間について示したもの。世界平均水位のデータは豪州連邦科学産業研究機構（CSIRO）気候科学センターの世界平均解析値。

³ 港湾の長期検潮記録から地盤変動を除去した平均海面水位の推定とその変動特性（内藤ら, 2015）（国土技術政策総合研究所資料 No. 855）

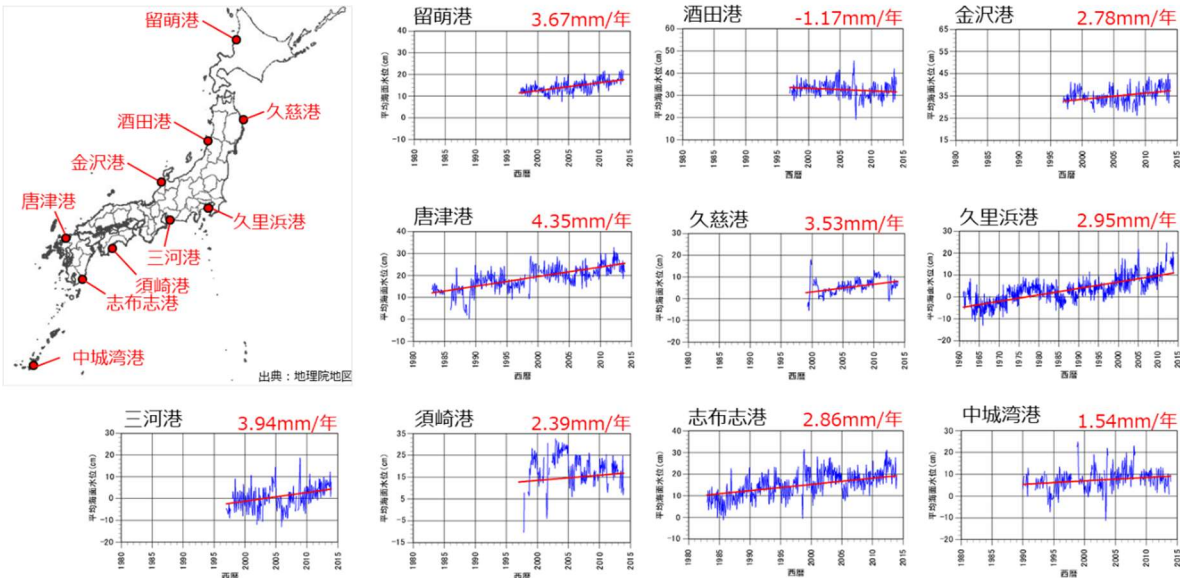


図 2 港湾の長期検潮記録による海面水位変動

(2) 潮位偏差

国内で過去に観測された潮位偏差の最大値は、昭和 34 年（1959 年）の伊勢湾台風の際に名古屋検潮所で観測された 3.5 m である。図 3 に示すとおり、大きな高潮は 1960 年代まで比較的多く発生し、その後は少なかったが、1990 年代から再び頻発するようになった。高潮の発生数や大きさは年毎の変動が大きい一方、1950 年から現在までの期間において有意な長期変化傾向は見られない。

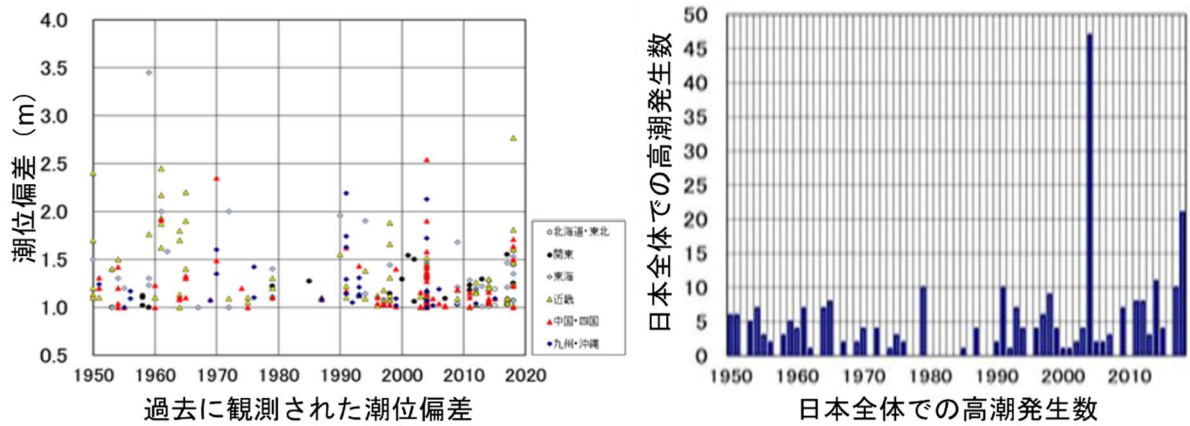


図 3 日本国内における高潮の最大値と発生数

出典：日本の気候変動 2020、P. 35

(3) 波浪（高波）

波浪の自然変動の大きさ、波浪の観測期間の短さ、観測期間中における波浪計の設置水深の変更などから、一般に波浪の長期変化傾向の評価の不確実性は高いものの、年最大有義波高の過去トレンドは、日本沿岸では高波の波高（年最大有義波高）が増加する傾向が見られ、その変化は特に太平洋側で大きい⁴。（図 4 参照）

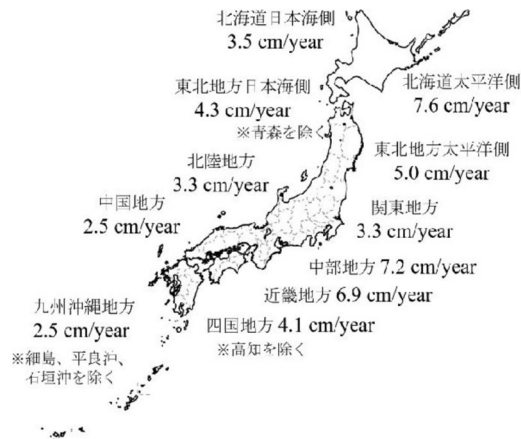


図 4 年最大有義波高の変化傾向（地域別）

出典：日本沿岸における最大有義波高の経年変化と設計沖波への影響に関する考察⁴

3. 外力の将来推計

気候変動に伴い、港湾の施設に影響のある①平均海面水位、②潮位偏差、③波高が増加することが見込まれる。後述するそれぞれの特性を踏まえると、気温の2℃上昇シナリオの場合には概ね、2040 年までの間は①平均海面水位、②潮位偏差、③波高が増加し、その後 2100 年までの間は、①平均海面水位のみが増加する。（図 5 参照）

⁴ 日本沿岸における最大有義波高の経年変化と設計沖波への影響に関する考察（加藤ら, 2019）（土木学会論文集 B2（海岸工学））

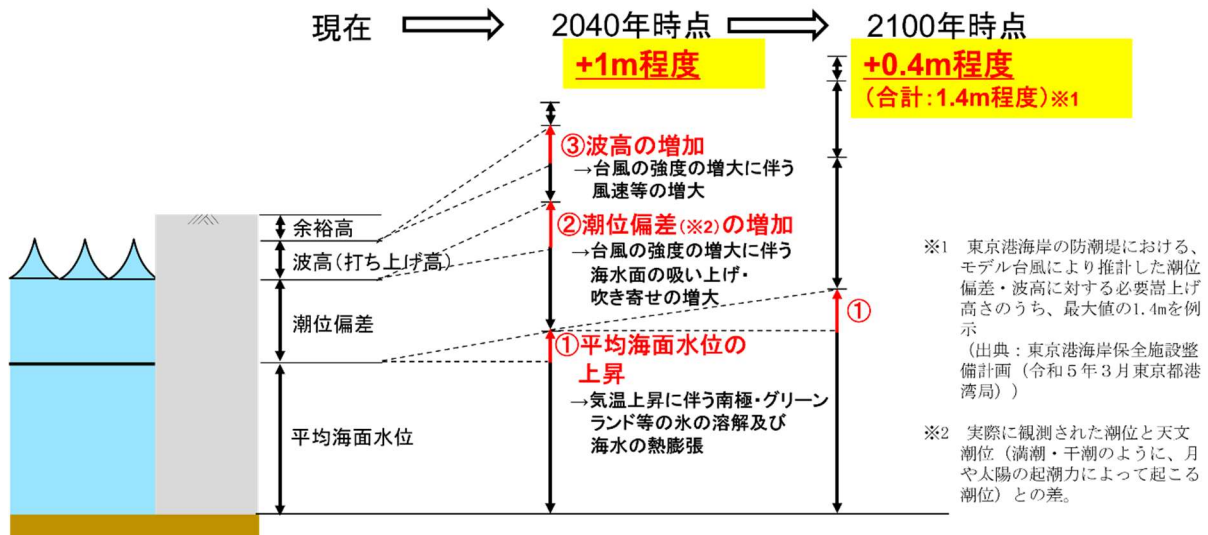


図 5 気候変動に伴う外力の変化

(1) 平均海面水位

「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書(SROCC)」(令和元年(2019年)) (以下、「海洋・雪氷圏特別報告書」という。)によると、21世紀末(2081～2100年平均)における世界平均海面水位は、20世紀末(1986～2005年平均)に比べ、図6のとおり、2℃上昇シナリオ(RCP2.6⁵)では0.39m(0.26～0.53m)、4℃上昇シナリオ(RCP8.5)では0.71m(0.51～0.92m)上昇する。世界平均海面水位の上昇は、大気中の温室効果ガス濃度や気象変数の変化と比べ、遅れて影響が表れるため、2℃上昇シナリオ(RCP2.6)でも、海面水位は、2100年まで継続して上昇する。2050年頃までは、2℃上昇シナリオ(RCP2.6)でも4℃上昇シナリオ(RCP8.5)でも、海面水位の上昇に大きな差は見られないが、後者のシナリオでは21世紀後半から海面水位が加速度的に上昇する。

⁵ 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)による第5次評価報告書で用いられた温室効果ガスの排出(RCP)シナリオのうち、RCP2.6シナリオを指す。

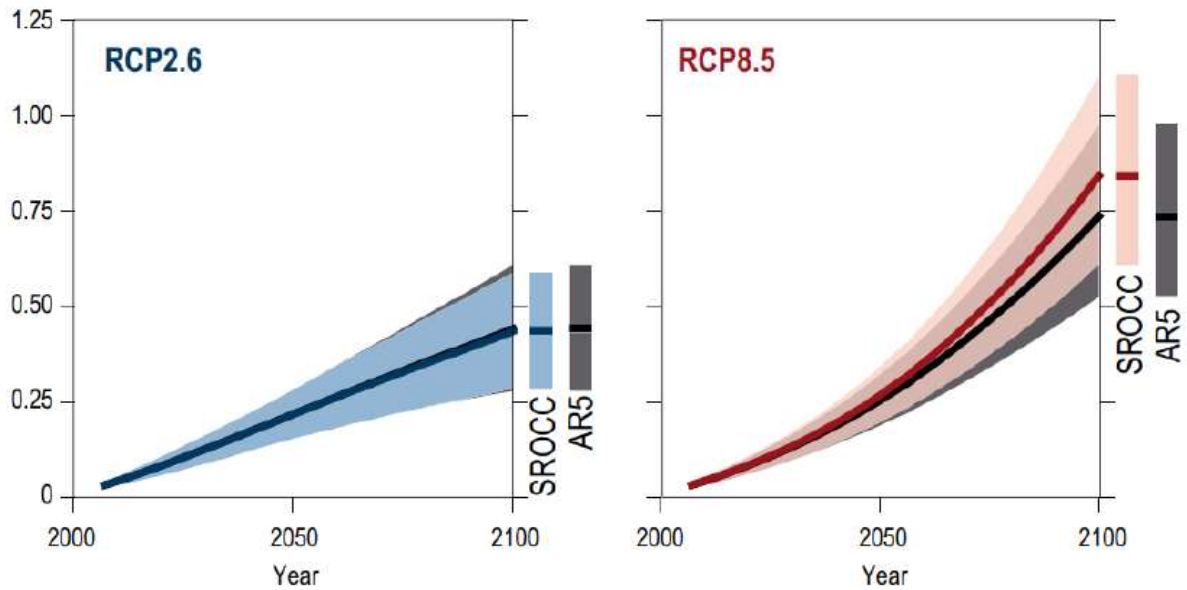


図 6 世界平均海面水位の予測

左は 2℃上昇シナリオ（RCP2.6）、右は 4℃上昇シナリオ（RCP8.5）における、世界平均海面水位の予測。予測値は 1986～2005 年の平均からの偏差であり、青又は赤の陰影は「可能性が高い」の範囲を示す。黒線及び灰色の陰影は、IPCC 第 5 次評価報告書における予測及び「可能性が高い」とされた範囲。

出典：海洋・雪氷圏特別報告書

平均海面水位は海洋・雪氷圏特別報告書や日本の気候変動 2020 により定量的な上昇量の将来推計が実施されており、2℃上昇シナリオ（RCP2.6）及び4℃上昇シナリオ（RCP8.5）に相当する平均海面水位の上昇量として、表 1 に示す値が示されている。海洋・雪氷圏特別報告書には世界平均の海面水位上昇量が示されているのに対して、日本の気候変動 2020 には日本沿岸を 4 つの領域（図 7）に区分した領域毎の海面上昇量が示されている。4℃上昇シナリオ（RCP8.5）の領域Ⅲで全領域平均より 0.03 m 大きいものの、モデルの不確実性を考慮すれば、日本沿岸の平均海面水位の予測される上昇量に顕著な地域差は確認できない。

215

表 1 平均海面水位上昇量予測値

	2℃上昇シナリオ（RCP2.6）	4℃上昇シナリオ（RCP8.5）
日本沿岸	0.39 m（0.22～0.55 m）	0.71 m（0.46～0.97 m）
領域Ⅰ	0.38 m（0.22～0.55 m）	0.70 m（0.45～0.95 m）
領域Ⅱ	0.38 m（0.21～0.55 m）	0.70 m（0.45～0.95 m）
領域Ⅲ	0.39 m（0.22～0.56 m）	0.74 m（0.47～1.00 m）
領域Ⅳ	0.39 m（0.23～0.56 m）	0.73 m（0.47～0.98 m）
（参考）世界平均	0.39 m（0.26～0.53 m）	0.71 m（0.51～0.92 m）

※上表の値は、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
※括弧内は、予測の変動の幅

出典：日本の気候変動 2020

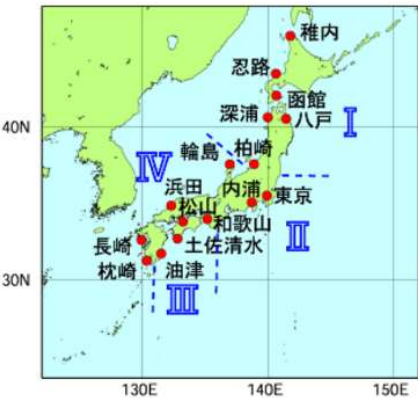


図 7 海面水位上昇量予測における海域区分

出典：日本の気候変動 2020（詳細版）P151

なお、平均海面水位の上昇量の予測については、地殻変動による隆起・沈降に留意
する必要がある。常時の地殻変動による隆起・沈降の大きさは地域によっては気候変
動による平均海面水位の上昇とオーダー的に同程度となる場合もある。隆起の生じて
いる港湾では、海水面の上昇が見かけ上遅くなり、沈降の生じている港湾では、相対
的に海水面の上昇と地殻変動による変位が大きくなるため、海水面の上昇が見かけ上
速くなる。各地で常時生じている隆起・沈降については、国土地理院から信頼性の高
い情報を入手することができる。ただし、2011 年東北地方太平洋沖地震後に余効変動
（大地震の後に長期間にわたりゆっくりと進行する地殻変動）の生じている地域等に
おいては、余効変動の速度が次第に遅くなる可能性が高い点に留意する必要がある。

さらに、地盤変動による隆起・沈降にも留意する必要がある。例えば、地盤沈下すると、相対的に海面が上昇するため、地盤変動について GNSS 等に基づいた継続的な観測が重要である。

(2) 潮位偏差

日本の気候変動 2020 によると、4℃上昇シナリオ（RCP8.5）では、北半球の低～中緯度では潮位偏差が現在の 10%以上増加する一方、南半球では減少することが予測される。この予測は、台風の将来予測に依存し、また高潮の発生頻度が低く長期変化傾向の評価が困難であることから、確信度は低いと評価されている。一方で、中緯度に位置する日本周辺では、台風経路の将来変化の影響が顕著に出やすく、図 8 のとおり東京湾、伊勢湾、大阪湾及び有明海の最大潮位偏差は大きくなると予測される。将来予測によれば、21 世紀末（2075～2099 年）における各湾の最大潮位偏差は、現在気候（1979～2003 年）と比べ増加するが、台風の将来予測精度に依存することから、確信度は中程度であると評価されている。

また、既往研究⁶によると、気候的に発生しうる最大の台風の中心気圧については、2℃上昇と 4℃上昇の各シナリオの昇温パターン（図 9）に応じて低下すると想定されており、図 10 に示すとおり、2℃上昇シナリオでは、2015 年から 2040 年まで単調に低下したのち 2099 年まで横ばいと予測されているのに対し、4℃上昇シナリオでは、2015 年から 2099 年にかけて単調に低下すると予測されている。将来の潮位偏差についても、台風の中心気圧の変化と相関して変化するものと想定される。この点、平均海面水位の傾向と異なることに留意する必要がある。

なお、個別箇所での、気候変動の影響を考慮した潮位偏差の予測方法として、気候変動により特定の想定台風の強度増加を中心気圧の低下として評価する方法や、将来気候に応じた不特定多数の台風等によるシミュレーション（高潮推算）により発生する潮位偏差の確率的評価を行う方法等が考えられる。

⁶ 気候変動による日本主要湾における可能最大クラス高潮の長期変化（森ら, 2021）（土木学会論文集 B2（海岸工学））

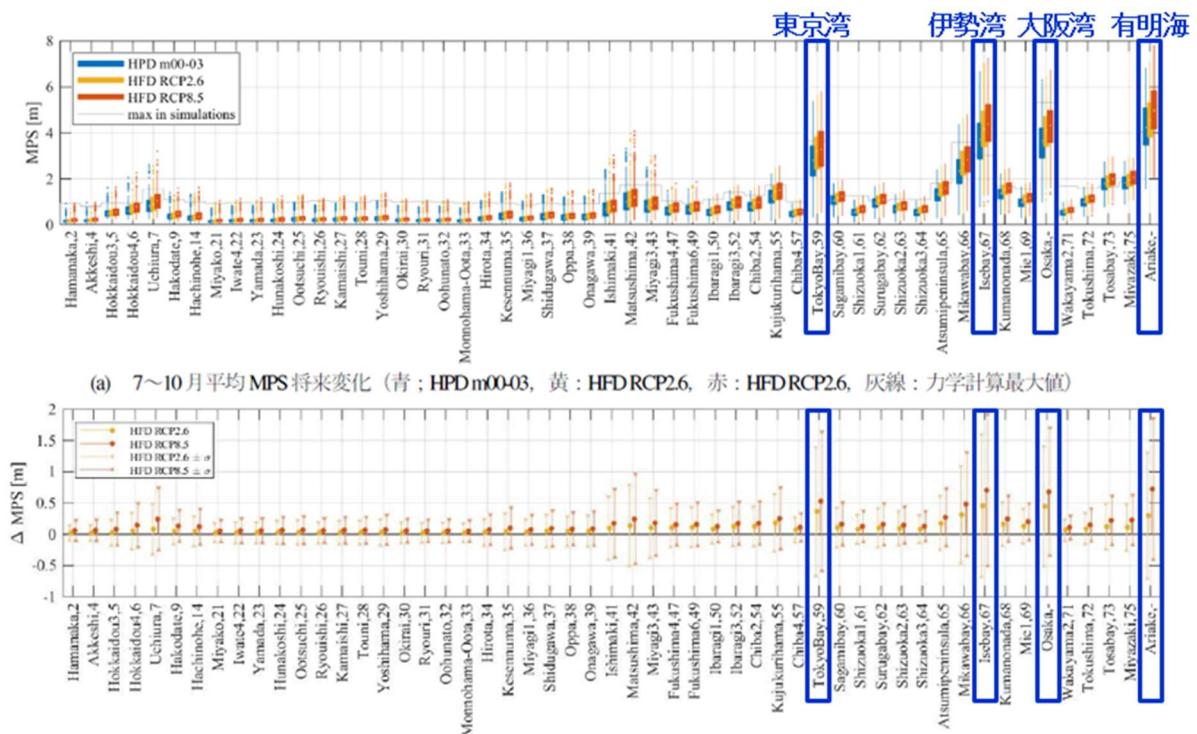


図 8 全球及び日本域 150 年連続実験データに基づく台風月（7～10 月）の気候的最大可能高潮
偏差（MPS）の将来変化

（黄：RCP2.6、赤：RCP8.5、点線：予測の分散）

出典：気候変動による日本主要湾における可能最大クラス高潮の長期変化（森ら, 2021）（土木学
会論文集 B2（海岸工学））

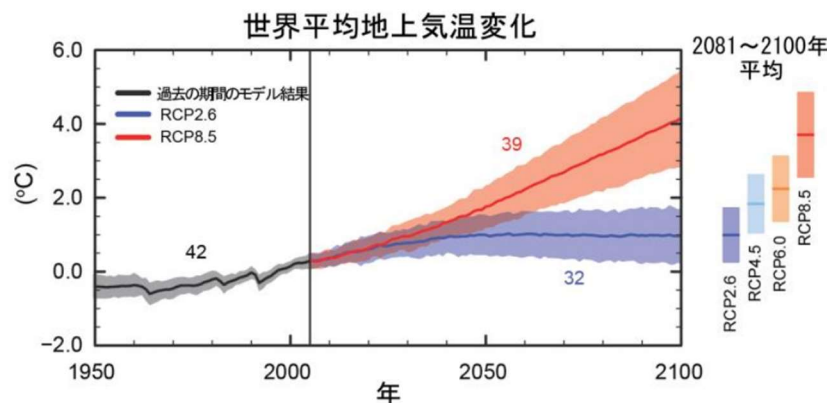


図 9 CMIP5 の複数のモデルによるシミュレーションによる
1986～2005 年平均に対する世界平均地上気温の変化

出典: IPCC 第 5 次評価報告書第 I 作業部会報告書 政策決定者向け要約 気象庁訳(気象庁, 2015)

2°C 上昇シナリオ (RCP2.6) は青で、4°C 上昇シナリオ (RCP8.5) は赤で予測と不確実性の幅（陰
影）の時系列を示す。黒線と灰色の陰影は過去の推移。右側の縦帯は、全ての RCP シナリオに
対する 2081～2100 年の平均値と不確実性の幅。数値は、複数モデルの平均を算出するために使用
した結合モデル相互比較プロジェクト第 5 期 (CMIP5) のモデルの数。

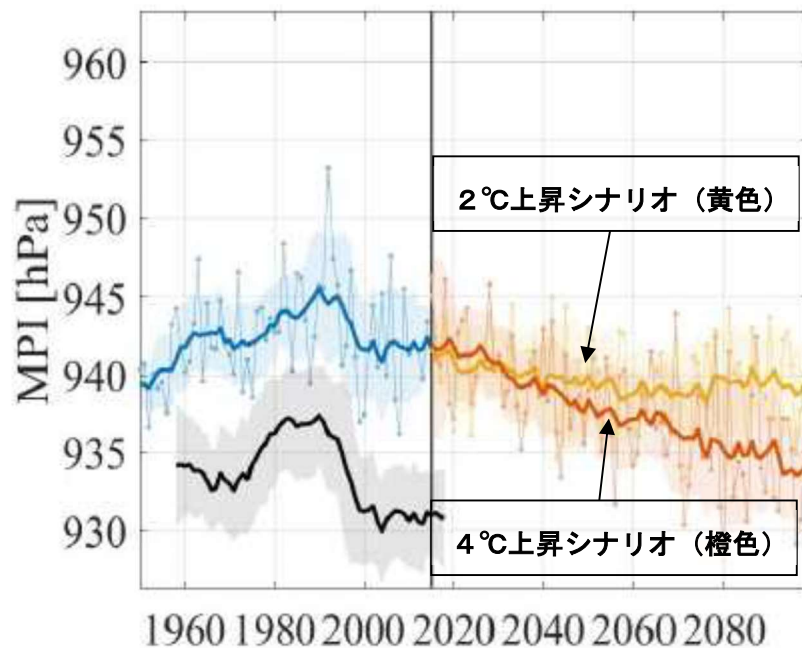


図 10 全球及び日本域 150 年連続実験データに基づく台風月（7－10 月）の気候的可能最大台風強度（MPI）の将来変化
（青色：現在気候 4 メンバー平均、黄色： RCP2. 6、橙色： RCP8. 5、黒色：大気再解析値 JRA-55 値、細線：1 年、太線 10 年移動平均値、網掛け：10 年移動平均分散値、単位：hPa）
出典：気候変動による日本主要湾における可能最大クラス高潮の長期変化（森ら, 2021）（土木学会論文集 B2（海岸工学））

（3）波浪（高波）

日本の気候変動 2020 によると、日本周辺の高波の将来変化は、台風の強度、頻度及び経路の変化特性に複合的に依存する。10 年に 1 回の確率で発生する極大波高は多くの海域で高くなるとともに、台風の経路変化の影響を受けて場所により±30%程度の変化があることが予測されている。ただし、台風経路予測の不確実性のためこれらの予測の確信度は低い。

波浪における気候変動の影響を考慮する方法として、前項の潮位偏差と同様に気候変動により特定の想定台風の強度増加を中心気圧の低下として評価する方法や、将来気候に応じた不特定多数の台風等によるシミュレーション（波浪推算）により発生する波浪の確率的評価を行う方法等が考えられる。

なお、前項の潮位偏差と同様に、波浪も台風の強度増加（中心気圧の低下）に応じて波高が増大すると考えられ、図 10 に示した台風の強度の変化と相関して変化するものと想定される。

ただし、波浪推算で得られたうねりは、現状では、その妥当性を観測データ等で検証して用いることが望ましい。

また、波向きについては、現時点では気候変動による将来推計が困難であるため、現在の波向きから変化しないと仮定することができるが、設計において波向きの項目が支配的である構造物については、波向きの変化による影響のモニタリングや感度分析を行うなど、留意が必要である。

4. 外力の将来推計値の目安

港湾の施設の設計条件となる、朔望平均満潮位、潮位偏差及び 50 年確率波高について、将来推計値の目安は、 2°C 上昇シナリオを前提として、以下のとおりである。

朔望平均満潮位の将来推計値については、海洋・雪氷圏特別報告書や日本の気候変動 2020 において予測されている 2°C 上昇シナリオ（RCP2.6）における平均値である 0.39m（20 世紀末（1986～2005 年平均）を基準とした 21 世紀末（2081～2100 年平均）時点の上昇量）を現在の朔望平均満潮位に加算することで、気候変動の影響を考慮した将来時点の朔望平均満潮位を求めることができる。また、水位上昇量の設定時点については、少なくとも当該施設の更新時期までに予測される上昇量を見込む（後述するⅢ. 2. 適応策の選定を参照）。なお、同一シナリオ内においても将来の平均海面水位上昇量にばらつきがあるが、施設の重要度や追加工事の難易度に応じて適切な値を採用する。

この考え方は、海岸保全施設における「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言⁷」（令和 2 年（2020 年）7 月）において、気候変動に対する緩和策が実施されることを前提として、「外力の基準となるシナリオは RCP2.6（ 2°C 上昇シナリオ）における予測の平均的な値を基本とすることが妥当」とされていることと整合的である。

気候変動による台風等の極端気象場の将来変化を予測するためには、十分なイベント数が必要となる。このため、我が国では、5000 年を超える気候変動予測データである「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」（d4PDF^{8, 9}）が開発され、様々な分野で応用されている。この d4PDF には、現在気候を表す過去実験及び将来気候を表す将来実験があり、さらに、将来実験には、 2°C 上昇シナリオ及び 4°C 度上昇シナリオの 2 種類がある。

⁷ 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会

https://www.mlit.go.jp/river/shinnigikai_blog/hozen/index.html

⁸ 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）

<https://www.miroc-gcm.jp/d4PDF/index.html>

⁹ Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models (Mizuta ら, 2017) (The Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS))

潮位偏差及び 50 年確率波高の将来推計については、前項 3. (2) (3) で述べた気候変動による特定の想定台風の強度増加を中心気圧の低下として評価する方法の他、国土交通省及び港湾空港技術研究所にて、この d4PDF の成果を用いて実施している研究成果を用いる方法が考えられる。具体的には、図 11 に示す海域区分の各海域における気候変動による潮位偏差及び 50 年確率波高の現在気候(20 世紀末:1980 年)での値に対する 2℃上昇シナリオにおける将来気候(21 世紀末:2090 年)での値の変化比(以下、「将来変化比」という。)は、表 2 のように示すことができる^{10、11、12}。潮位偏差及び 50 年確率波高の将来推計の概略検討については、適用性等を考慮の上、表 2 に示した将来変化比等を用いることが可能である。なお、最新の気候変動シナリオと信頼性の高いモデルで予測したとしても、必ず将来予測には排出シナリオや推計モデルの不確実性があることに留意すべきである。また、前述したとおり、図 9 及び図 10 を踏まえ、2℃上昇シナリオを前提としたとき、将来気候に応じた強さの台風等は 2040 年には発生すると考えられるため、将来気候に応じた潮位偏差及び 50 年確率波高も 2040 年には発生すると想定される。なお、気候変動による特定の想定台風の強度増加を中心気圧の低下として評価する方法についても、必要に応じて検討すべきである。

¹⁰ 3 大湾内の港湾における高潮・波浪への気候変動の影響評価(本多ら, 2024)(国土技術政策総合研究所資料 No. 1266)

¹¹ d4PDF を用いた設計波高の将来変化の効率的な推定手法(野村ら, 2022)(土木学会論文集 B2(海岸工学))

¹² d4PDF を用いた潮位偏差の将来変化予測手法の提案(恵平ら, 2024)(第 67 回(令和 5 年度)北海道開発技術研究発表会)

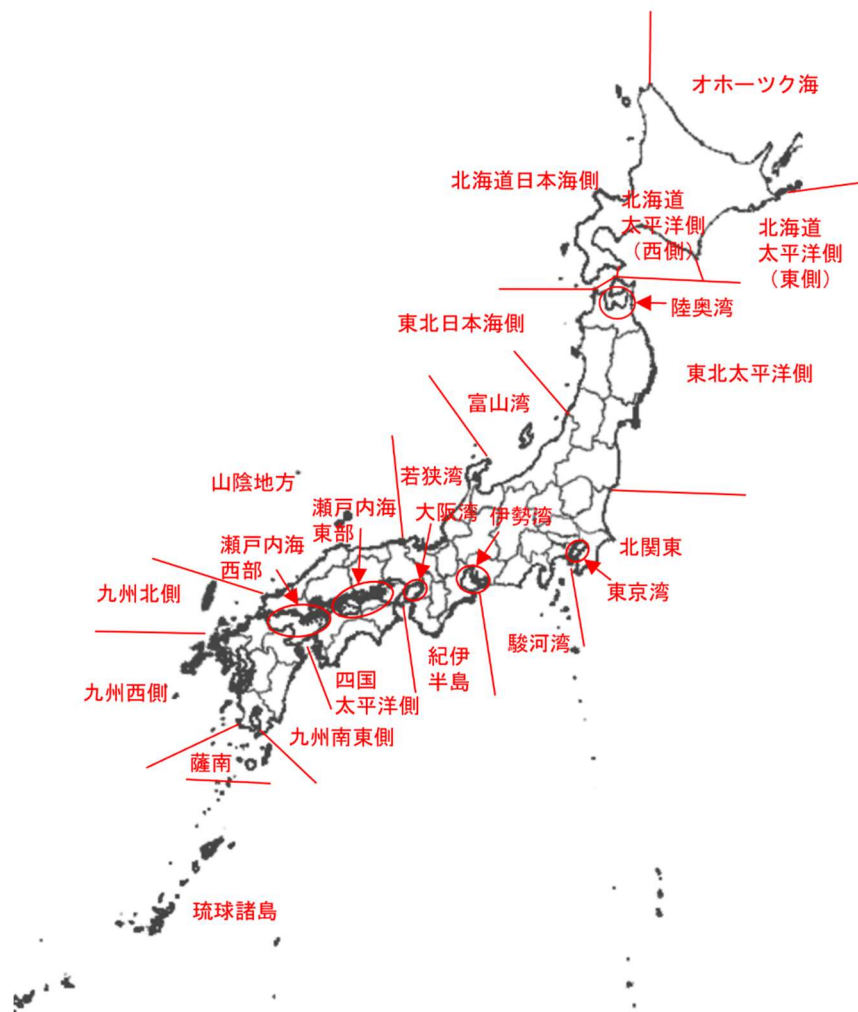


図 11 海域区分

出典：国土地理院白地図に加筆

349
350
351

表 2 海域別の潮位偏差・波浪の将来変化比

海域	将来変化比		対象港湾（重要港湾以上）
	潮位偏差	波高	
北海道日本海側	1.01	1.01	稚内港・留萌港・石狩湾新港・小樽港・函館港
オホーツク海	1.00	1.03	紋別港・網走港・根室港（根室）
北海道太平洋側 （東側）	1.01	1.02	根室港（花咲）・釧路港・十勝港
北海道太平洋側 （西側）	1.01	1.02	苫小牧港・室蘭港
陸奥湾	1.02	1.04	青森港
東北太平洋側	1.05	1.04	むつ小川原港・八戸港・久慈港・宮古港・釜石港・大船渡港・仙台塩釜港・相馬港・小名浜港
北関東	1.07	1.09	茨城港・鹿島港
東京湾	1.10	1.02	千葉港・木更津港・東京港・横浜港・川崎港・横須賀港
駿河湾	1.02	1.02	御前崎港・田子の浦港・清水港
伊勢湾	1.07	1.00	名古屋港・衣浦港・三河港・四日市港・津松坂港
紀伊半島	1.03	1.00	尾鷲港・日高港・和歌山下津港
大阪湾	1.06	1.04	大阪港・堺泉北港・阪南港・神戸港・尼崎西宮芦屋港
四国太平洋側	1.07	1.02	徳島小松島港・橘港・高知港・須崎港・宿毛湾港・宇和島港
瀬戸内海 （東部：播磨灘・燧灘）	1.02	1.02	東播磨港・姫路港・岡山港・宇野港・水島港・福山港・尾道糸崎港・今治港・東予港・新居浜港・三島川之江港・坂出港・高松港
瀬戸内海 （西部：伊予灘・周防灘）	1.01	1.02	呉港・広島港・岩国港・徳山下松港・三田尻中関港・宇部港・小野田港・下関港（周防灘）・北九州港（周防灘）・苅田港・中津港・別府港・大分港・松山港
九州南東側	1.04	0.99	細島港・宮崎港・油津港・志布志港・佐伯港・津久見港
薩南	1.06	1.02	鹿児島港・西之表港
琉球諸島	1.01	1.01	名瀬港・運天港・金武湾港・中城湾港・那覇港・平良港・石垣港

九州西側	1.06	1.02	川内港・八代港・三角港・熊本港・三池港・長崎港・佐世保港・福江港
九州北側	1.07	1.06	厳原港・郷ノ浦港・伊万里港・唐津港・博多港・北九州港（響灘）・下関港（響灘）
山陰地方	1.05	1.02	三隅港・浜田港・西郷港・境港・鳥取港
若狭湾	1.05	1.02	舞鶴港・敦賀港・金沢港
富山湾	1.04	1.01	七尾港・伏木富山港・直江津港・小木港・両津港・新潟港
東北日本海側	1.01	1.02	能代港・秋田港・船川港・酒田港

※潮位偏差の将来変化比は、標準的な値として、再現期間 100 年の場合を示す。

※波高の将来変化比は、再現期間 50 年の場合（50 年確率波高）を示す。

※将来変化比が「1」未満の場合は、現況と同じ波高を用いるため「1」とする。

※潮位偏差と波高の将来変化比が北海道から九州に向かって増加している要因は、台風等による海面気圧の低下量や風速の将来変化比が北海道から九州に向かって増大しているためと考えられる。また、潮位偏差と波高の将来変化比に差が生じている要因は、海域の形状といった特性と高潮と波浪の発達・伝播特性の違いであると考えられる。

5. その他の外力について

（1）常時波浪

現状では、将来気候の波浪場における予測値のバイアスに関する知見は未だ十分ではないことに留意する必要がある。

（2）津波

津波防波堤のように、津波により断面が決定している構造物については、津波高さ（津波来襲中の海面水位から平均潮位を差し引いたもの）は気候変動の影響を受けないと仮定して、津波高さに平均海面水位の上昇量分を加えることで概略検討を行うことが可能である。

（3）風

港湾の施設の設計に用いる風については、港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示第 6 条に、①波浪及び高潮の推算に用いる洋上における風（第 1 号）、②風圧力の算定に用いる風（第 2 号）、③風のエネルギーの算定に用いる風（第 3 号）の 3 種類が規定されている。

このうち、①波浪及び高潮の推算に用いる洋上における風については、波浪と高潮の将来予測に連動して、将来時点の波浪と高潮を発生させる風として将来予測を実施するものとする。一方、②風圧力の算定に用いる風及び③風のエネルギーの算定に用

380 いる風については、現状では、将来変化に関する知見は未だ十分でないことに留意す
381 る必要がある。

383 (4) 降水量

384 日本の気候変動 2020 によると、日本国内の大雨及び短時間強雨の発生頻度は有意
385 に増加している。気象庁による予測では、4℃上昇、2℃上昇のいずれのシナリオに
386 おいても、1 日の降水量が 200 mm 以上となる大雨の年間の日数は、20 世紀末（1980
387 ～1999 年平均）と比べ、21 世紀末（2076～2095 年平均）には全国平均では増加す
388 ると予測される。1 時間降水量が 50 mm 以上となるような短時間強雨の頻度も、同様
389 に全国平均では増加すると予測される（いずれも信頼水準 90%以上で統計的に有意）。

390 このように、地球温暖化の進行に伴って雨の降り方が極端になるという予測は、国
391 内外の他の研究機関による予測結果やこれまでに観測されている変化傾向と整合的
392 であり、その確信度は高い。増加の度合いは、4℃上昇シナリオ（RCP8.5）の方が 2℃
393 上昇シナリオ（RCP2.6）よりも大きい傾向にあるが、北日本太平洋側といった地域単
394 位や都道府県単位での増加率の予測は不確実性が高い。

395 港湾において降水量の増加は、陸上に設置する多くの施設に影響を与える。例えば、
396 コンテナターミナルや臨港道路、倉庫等がある。さらに潮位上昇等による排水不良に
397 も留意する必要がある。降水量の将来推計については、「気候変動を踏まえた治水計
398 画のあり方 提言¹³」（令和元年（2019 年）10 月、令和 3 年（2021 年）4 月改訂）、
399 「気候変動を踏まえた下水道による都市浸水対策の推進について 提言¹⁴」（令和 2 年
400 （2020 年）6 月、令和 4 年（2022 年）4 月一部訂正）、「空港土木施設設計要領（施設
401 設計編）¹⁵」（令和 5 年 4 月一部改正）において、地域区分毎の降雨量変化倍率が示さ
402 れており、参考にすることが出来る。一方で、これらはそれぞれ、治水計画、下水道
403 による都市浸水対策及び空港土木施設の設計を目的に検討されたものであり、港湾の
404 施設における適用性には留意が必要である。これらが対象としている集水面積に比べ
405 て、港湾の施設の集水面積は小さいため、引き続き、港湾の施設を対象とした検討が
406 必要である。

¹³ 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会

https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/index.html

¹⁴ 気候変動を踏まえた都市浸水対策に関する検討会

https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000659.html

¹⁵ 国土交通省航空局 https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000019.html

Ⅲ. 港湾の施設の設計の考え方

1. 要求性能の考え方

従来、港湾の施設の設計は施設設計時点における最新の外力に基づき実施されてきたが、今後将来にわたり港湾が円滑な社会経済活動の場となり、背後の人命・資産を防護するためには、前章における気候変動に伴う外力の変化を考慮して、将来の外力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。（図 12 参照）この際、将来の外力を推計するための前提条件となる気温上昇シナリオは、政府目標を踏まえ 2°C 上昇（RCP2.6）とする。

将来の気候変動を勘案した施設の設計においては、設計潮位や設計波高等に代表される作用の設計供用期間中における時間変化を、設計時点において適切と判断した各種予測モデルを用いて設定することができる。しかし、設計時点において時間変化を考慮して設定した作用と実際の作用は、設計供用期間中に乖離する可能性があるほか、各種予測モデルにおける予測結果もばらつきを有している。

このため、設計時点において設定した作用が当該施設の設計供用期間中に上振れまたは下振れするリスクがあることに留意し、その際に生じる当該施設の構造的な応答や供用及び利便性への影響を踏まえた上で、対象施設の構造計画や構造設計を行うことも考えられる。前述のとおり、前提条件とする気温上昇シナリオは 2°C 上昇であるが、上振れの可能性も考慮するものとする。

なお、技術基準の改正の際、現に設置されている港湾の施設（建設中のものを含む。）が改正後の規定に適合しない場合においては、技術基準附則（経過措置）に基づき、改正後に当該施設の改良の工事に着手する場合を除き、当該施設について

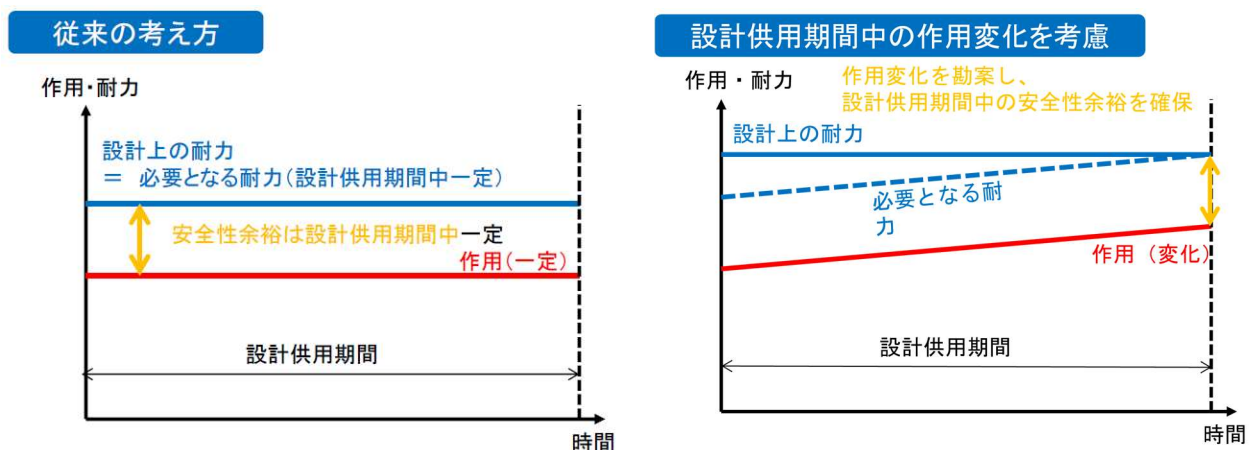


図 12 設計供用期間中の作用変化を考慮した設計上の耐力の設定

は、当該規定は適用しないことが原則である。しかし、気候変動による今後の外力の増大を前提とすると、気候変動により施設に作用する外力が増大することで、今後要求性能を満足しなくなる蓋然性が高まり、施設の不安定化に進展する恐れがある。よって、気候変動に対する港湾施設または港湾機能の脆弱性を把握する場合、過去の技術基準が適用されている施設であっても、当該施設の現在気候及び将来気候に対する保有性能等を最新の技術基準によって検討することが望ましい。技術基準対象施設の改良の着手時期についても、当該検討結果に基づき適切に判断する必要がある。

また、近接し相互に影響を及ぼしあう一連の施設群に対して気候変動に対する一連の施設群の総体として港湾機能の脆弱性を把握するため、まず一連の施設群を構成する各既存施設の最新の設計条件（設計沖波等）に対する現状の施設性能を把握するとともに、将来気候場での作用を想定した上で同様な検討を実施し、作用変化に伴い将来的に施設性能が低下する可能性がある施設を把握する。そのうえで、施設が被災した際の港湾機能の低下への影響を踏まえて対策区間の優先順位を付することとする。

このように気候変動による外力の増大の明確化を踏まえ、港湾の施設の維持管理のあり方を見直す必要がある。

2. 適応策の選定

設計供用期間内に想定される作用の時間変化に対し、施設の要求性能を確保する方策として、①設計供用期間の初期段階で対応する「事前適応策」と、②設計供用期間中に段階的に対応する「順応的適応策」が考えられる。（図 13 参照）

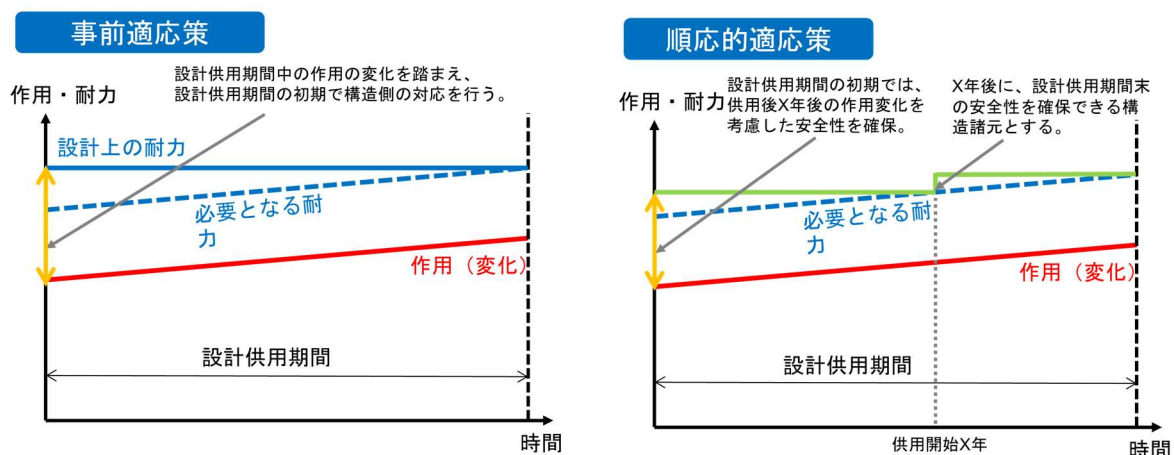


図 13 事前適応策と順応的適応策

事前適応策とは、設計供用期間中における気候変動による作用の時間変化を勘案した上で、設計供用期間の全ての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。事前適応策を選択する場合、現時点で将来の外力変化（平均海面水位上昇量、潮位偏差・波浪の増大量等）の不確実性を有するという制約条件下で設定せざるを得ないことから、設計段階において仮定したものと比べて乖離するリスクもある。

他方、順応的適応策とは、設計供用期間の全ての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、実際の整備は部材や構造的な特性に応じて、当該期間中の適切な時期に段階的に対応する方策である。順応的適応策では、例えば図 13 の場合、供用後 X 年後に追加工事を行うことが、当初時点において設計対象とする作用水準を選定する前提条件となることに注意が必要である。例えば、小型船舶の接岸が想定される対象施設の設計に用いる潮位が、設計供用期間中にわたって大きく変動することが見込まれる場合、係留施設の天端高を事前適応策の考え方に照らして設定すると、設計供用期間の初期段階において船舶からの荷役や人員の乗降が困難な断面諸元となるなど、当該施設の供用性が著しく損なわれる可能性も想定される。このような場合、施設の天端高について順応的適応策の採用が考えられる。順応的適応策においては、施設の設計供用期間中における実際の外力が設計段階で仮定したものと比べて小さい場合、施設側で柔軟に対応できるという利点もある。しかし、段階的な対策に必要となる費用が事前適応策と比較して不経済となる場合もあるほか、施設の利用状況に照らし、供用中の施設に対する追加工事が困難な場合もある。

各適応策の選択は、港湾の施設に対して想定される作用の時間変化、対象施設の設計供用期間中における供用性の確保及び経済性等を踏まえて決定する。ただし、順応的適応策の適用においても、その適用時期を設計段階において検討しておくことが望ましい。なお、対象施設または港湾内の各施設に対する適応策の適用に当たっては、どちらか一方に限定する必要はなく、施設の利用状況や構造的な特性等に応じて適切に組み合わせて適用することができる。例えば、大阪府が検討した防潮水門の気候変動への対応例¹⁶では、手戻りの無い設計の考え方として、部材ごとに異なる耐用年数、更新時期、補強の可否等を踏まえ、あらかじめ気候変動対策を講じておく「先行型対策」と、将来における気候変動を確認後に対策を講じる「順応型対策」のどちらか適切な対策方法を選択する必要があるとされ、供用途中の改修が技術的及びコスト的に

¹⁶ 三大水門の改築に関する事項について（答申）、大阪府河川構造物等審議会（令和 3 年 1 月 29 日）
<https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/18198/00368448/kikouhendoutoushin.pdf>

困難な基礎工や門柱等は「先行型対策」とし、耐用年数が短い機械・電気設備や後施工が可能な部材等は「順応型対策」とすべきとする方針が示された。

順応的適応策の適用に当たっては、排出シナリオの不確実性への対応の観点から、その適用が容易となるような構造上の工夫や配慮を施すことも重要である。また、施設の供用性や経済性等の観点に照らして順応的適応策の採用が比較的困難であると想定される施設や工法については、将来的な手戻り防止の観点から、事前適応策を前提とした設計を行うことが望ましい。

設計段階においては、予測幅がある値を設計に盛り込むことは困難である。このため、外力の不確実性の幅を広く設定したり、性能照査対象に応じて想定する外力を使い分けたりする等の柔軟な対応を行うことも考えられる。

3. 各種施設における適応策

(1) 水域施設

航路・泊地等の水域施設については、波浪増大による避泊水域の減少や、降水量及び河川出水量の増大に伴う河川土砂供給量の増大による埋没が生じる可能性がある。避泊水域については防波堤延伸等による静穏度の確保、航路・泊地埋没については防波堤整備による漂砂の制御やポケット浚渫等による維持管理等の対策が考えられる。

なお、航路上に橋梁等の横断構造物がある場合、海面水位上昇により桁下空頭が減少する恐れがある点に留意する必要がある。

(2) 外郭施設

防波堤や護岸等の外郭施設については、外力（海面水位、潮位偏差、波浪）の増大に伴い、主に本体工へ作用する浮力や波力の増大により安定性が低下するとともに、打上げ・越波に対する背後地防護性能も低下し、伝達波により背後水域の静穏度も低下する。特に、背後地防護性能については、潮位上昇等により背後地盤より潮位が高い状態になると越波や降水が自然に排水されなくなることに留意が必要である。こうしたことを踏まえ、護岸背後地への浸水防護や防波堤背後の航路・泊地の静穏度の確保を目的として、安定性や天端高が不足する場合には天端の嵩上や堤体の拡幅等の対策を実施する必要がある。

(3) 係留施設

岸壁等の係留施設については、外力（海面水位、潮位偏差、波浪）の増大に伴い、本体工へ作用する浮力や背後地盤における残留水位の上昇により安定性が低下する。また、直立壁に作用する水平波力や栈橋の上床版に作用する揚圧力が高まる。加えて、

波の打上げによる荷役機械等の被害、越波・越流による係留施設天端や背後地の浸水が発生する恐れがある。一方、対策に当たっては、背後地が利用されていることや前面の海域を船舶が航行する可能性があることから、これらの制約条件を整理した上で、荷役及び荷捌き機能の確保を目的として、係留施設天端の嵩上や胸壁の設置などの適切な対策工法を検討する必要がある。

新規に整備する係留施設については、多くの場合、予め平均海面水位上昇量を見越した高さで整備しても係留・荷役作業に大きな支障は生じないものの、クルーズ岸壁等については、旅客の乗降や荷物の揚卸等を行う船舶側面の開口部が岸壁の天端より下になるなど、その乗降や揚卸が困難となる可能性がある。このため、岸壁を使用する船舶に応じて、方針を決定する必要がある。一方、既設のコンテナターミナルを擁する係留施設を平均海面水位の上昇を見越して嵩上げする場合には、ターミナルを供用しながら、その運営効率に配慮しつつ計画的かつ段階的に工事を行うことが必要となる。このような工事が困難でかつ、工事期間中の代替地が確保できない場合には、背後地への防潮壁整備等により対策を行う必要がある¹⁷。

なお、平均海面水位上昇量を見越した天端高で整備する場合は、常時の地殻変動による隆起・沈降も併せて考慮する必要がある。さらに、耐震強化施設のように大規模地震直後からの供用を念頭におく施設の場合、断層面と設計対象地点との位置関係によっては、大規模地震時の地殻変動により施設周辺の地盤が隆起・沈降することに留意する必要がある。

¹⁷ 港湾利用に配慮した気候変動適応策に関する基本的検討：嵩上げと防潮壁設置を中心に（安部ら, 2024）（国土技術政策総合研究所資料 No. 1264）

IV. 供用段階での継続的な性能把握

1. 目的

気候変動による作用の時間変化を考慮する場合、その変化には多くの排出シナリオの不確実性が含まれる。設計段階で想定した外力変化と実際の外力変化が異なる場合、施設において対応が必要となる場合があるため、図 14 及び図 15 に示すように供用段階での外力変化等を継続的に監視し、構造物の性能を把握することが必要である。

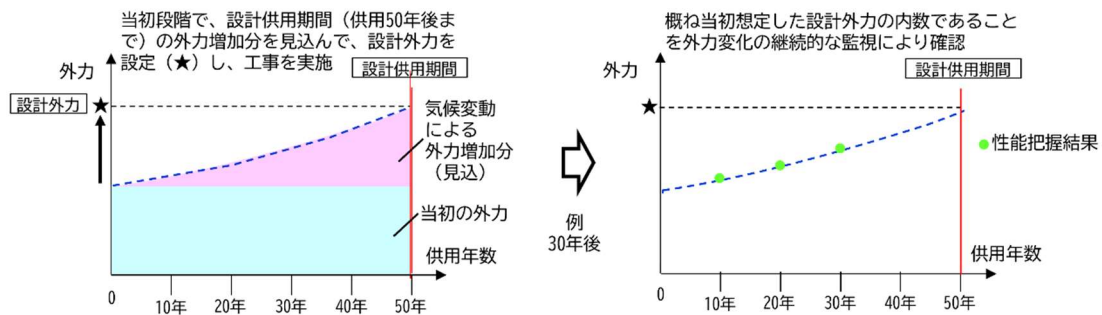


図 14 事前適応策における継続的な性能把握

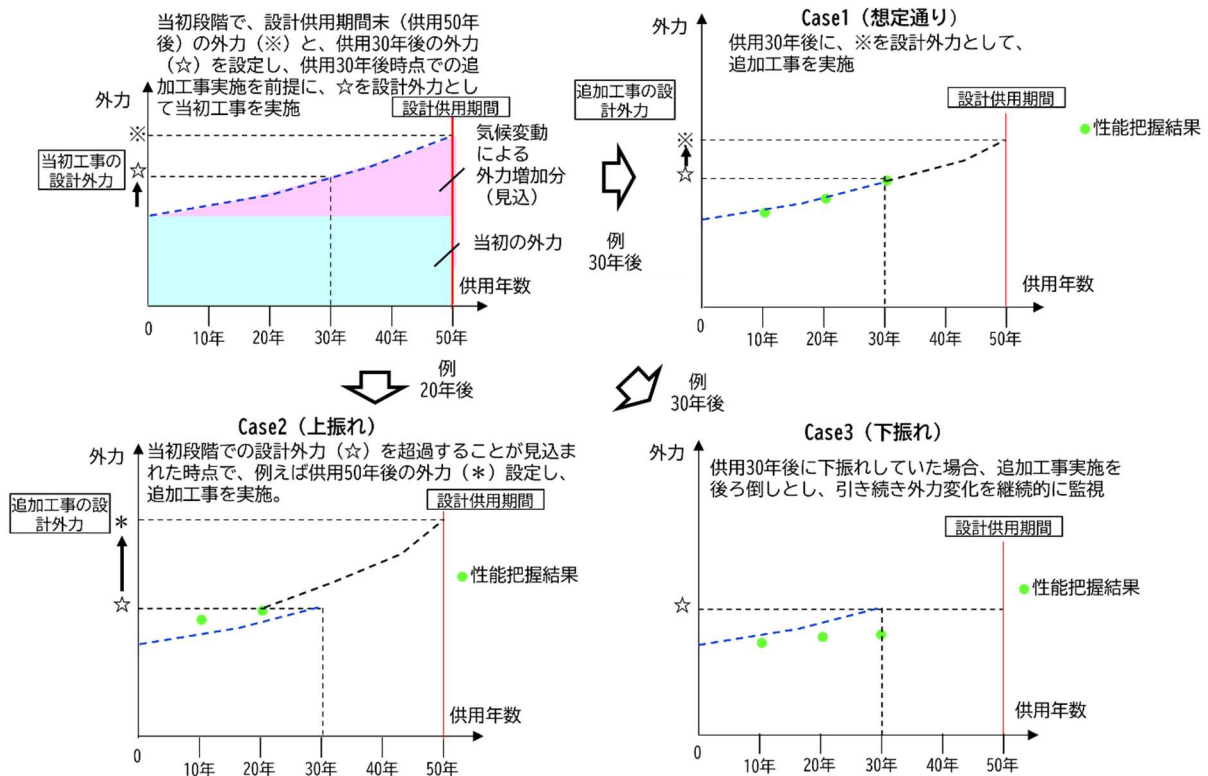


図 15 順応的適応策における継続的な性能把握と追加工事の設計外力の設定

2. 実施方法

気候変動の影響による外力の増大については、現時点では、IPCCにおいてもシナリオが複数あり、海面水位の上昇や台風への影響などに不確実性が残る。このため、施設の設計供用期間中も、作用対象施設に関する要求性能を確保可能な水準となっているかを国内外の最新の気候変動予測も活用し、継続的に確認することが望ましい。また、潮位等の長期的な観測や、観測又は推算結果に基づいて設定する確率沖波等の定期的な確認が必要であるとともに、これらのデータを基とした対象施設の性能を継続的に把握する必要がある。作用が施設の要求性能を確保できない水準に達したと判断した場合は、当該水準の作用に対して、対象施設の性能評価を行った上で、改良の必要性を判断する。また、確認結果に基づいて必要があれば、確認を実施する時間間隔や地点数、項目等について、柔軟に変更するものとする。

この際、先に述べたように、今後想定される平均海面水位の上昇と同程度のスピードで地殻変動に伴う隆起・沈降が生じている地域もあることから、水位観測データの分析の際は、国土地理院の電子基準点の情報を活用するなどして補正を行う必要がある。

3. 外力の変動が想定と異なる場合の対応（上振れ、下振れ）

順応的適応策を採用する場合、供用段階での継続的な性能把握結果を踏まえ、追加工事のタイミングを図る必要があるが、図 15 に示すように設計時に想定した外力（設計外力）の増大量と比較して実際の外力の増大量が大きいと判断される場合（外力が上振れする場合）には、外力値が設計外力を超過する時点より前に、前倒しで対策の実施を検討する。一方、実際の外力の増大量が小さいと判断される場合（外力が下振れする場合）には、対策実施時期を後ろ倒しにするとともに、引き続き供用段階での継続的な性能把握を実施し、外力値が設計外力を超過する時点より前に対策の実施を検討する。

一方で、事前適応策・順応的適応策のいずれを採用する場合であっても、当初段階における将来予測と供用後の将来予測に乖離があった場合、最新の将来予測に基づいて外力を見直し、対象施設の性能評価を行った上で、改良の必要性を判断することが望ましい。また、当初段階における将来予測に対して、外力の経年変化実績が乖離していた場合、外力を見直し、対象施設の性能評価を行った上で、改良の必要性を判断することが望ましい。

気候変動による外力の将来予測の不確実性を踏まえ、対象施設に対する追加工事の要否や対策工法の選定を効率的に実施するため、設計条件に対して一定の幅を設定した上で、当該条件の変化に対する性能照査結果の変化を感度分析する手法として応答

曲面法による手法も提案¹⁸されている。図 16 に示すような応答曲面を作成しておくことで、任意の設計条件の変化に対して安定性を即座に算出できるようにしておくことが出来る。

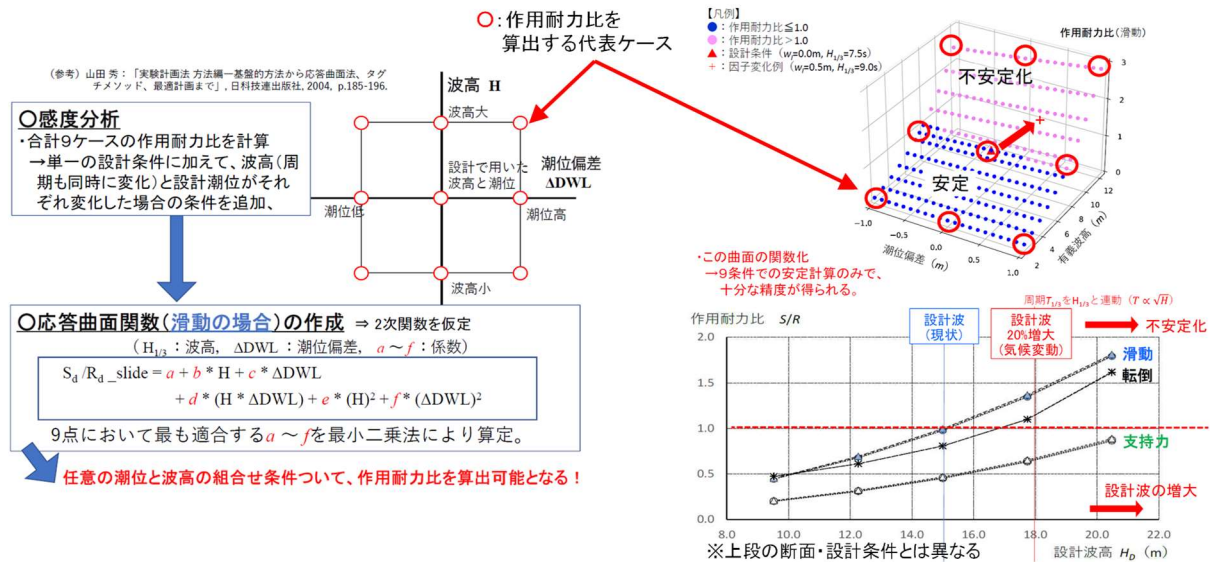


図 16 応答曲面関数の検討イメージ

¹⁸ 気候変動に伴う作用条件の変化に対する既存防波堤の応答曲面法を用いた改良設計手法 (宮島ら, 2023) (土木学会論文集 B3 (海洋開発))

V. 協働防護の推進について

施設の設計供用期間にわたって、継続的な影響が想定される気候変動に対して、個別の施設においてのみ耐浸水性・安定性を確保するのではなく、港湾内全体において、近接し相互に影響を及ぼしあう一連の施設群において耐浸水性を確保することが必要である。このため、港湾における気候変動適応策の実装に当たっては、官民の多様な関係者がそれぞれの施設を所有・管理している港湾の特徴に鑑み、関係者が協働で耐浸水性等を検討・実施していく必要があることから「協働防護プラン」として、関係者間で適応水準や気候変動適応時期に係る共通の目標等を定め、これを共通認識とすることが望ましい。（図 17、図 18 参照）

協働防護プランが定められた港湾においては、同協働防護プランにおける適応水準や気候変動適応時期に係る共通の目標に整合して、施設の計画条件・利用条件を設定する必要がある。

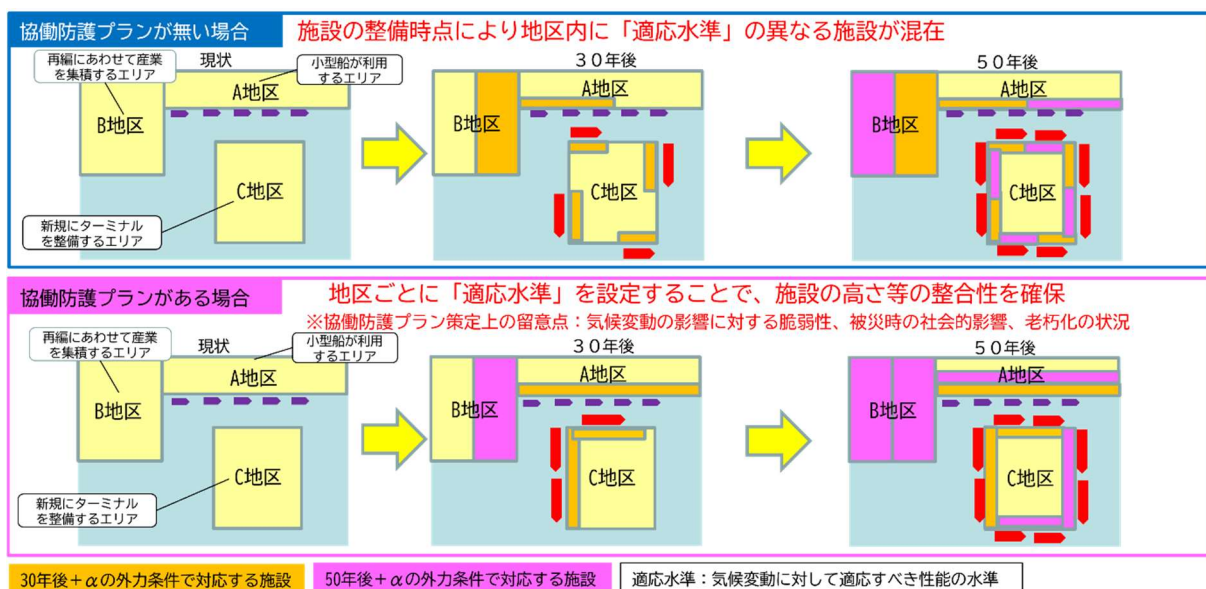


図 17 協働防護プランの有無による地区毎の適応水準の整合性

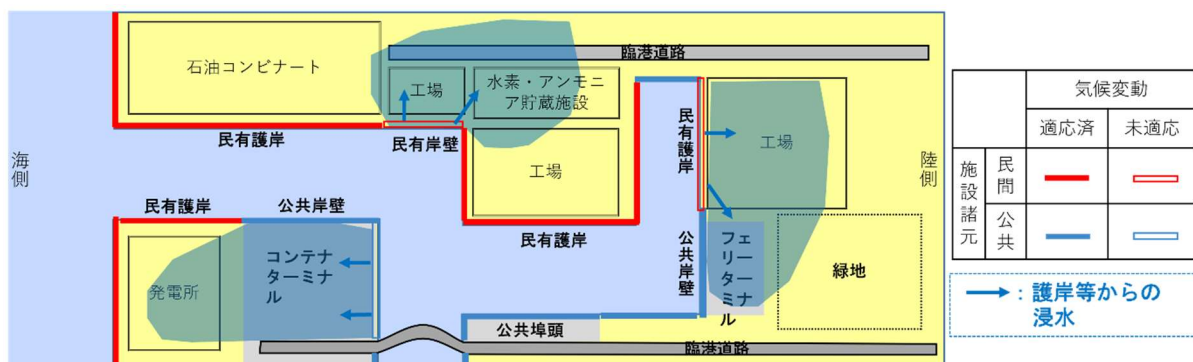


図 18 協働防護プランがない場合の浸水想定

1. 目的

施設によって、供用開始時期や改良・補修時期等が異なるため、同一港湾内の施設であっても、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。

港湾内で近接し相互に影響を及ぼしあう一連の施設群において、気候変動適応の水準・時期の考え方が整合しない状態のまま個別に対策を実施した場合、施設毎の気候変動適応の考え方の差異により一連の施設群内に耐波性能や天端高等に係る適応水準の異なる施設が混在することになる。この場合、高波・高潮等の災害時に適応水準の低い施設から、高波での破壊や高波・高潮での浸水が発生し、その被害が一連の施設群の適応水準の高い他の施設に影響を及ぼし、結果的に一連の施設群全体の機能が毀損する可能性がある。

そこで、港湾内又は一連の施設群を含む地区内において、官民の関係者間で整合が取れ、かつ連携し協働防護プランに基づいて、気候変動への適応を統一的かつ計画的に実施することにより、効率的な対策効果の発現や、港湾の利便性の確保が可能となる。

2. 検討の流れ

協働防護プランの検討フローを図 19 に示す。

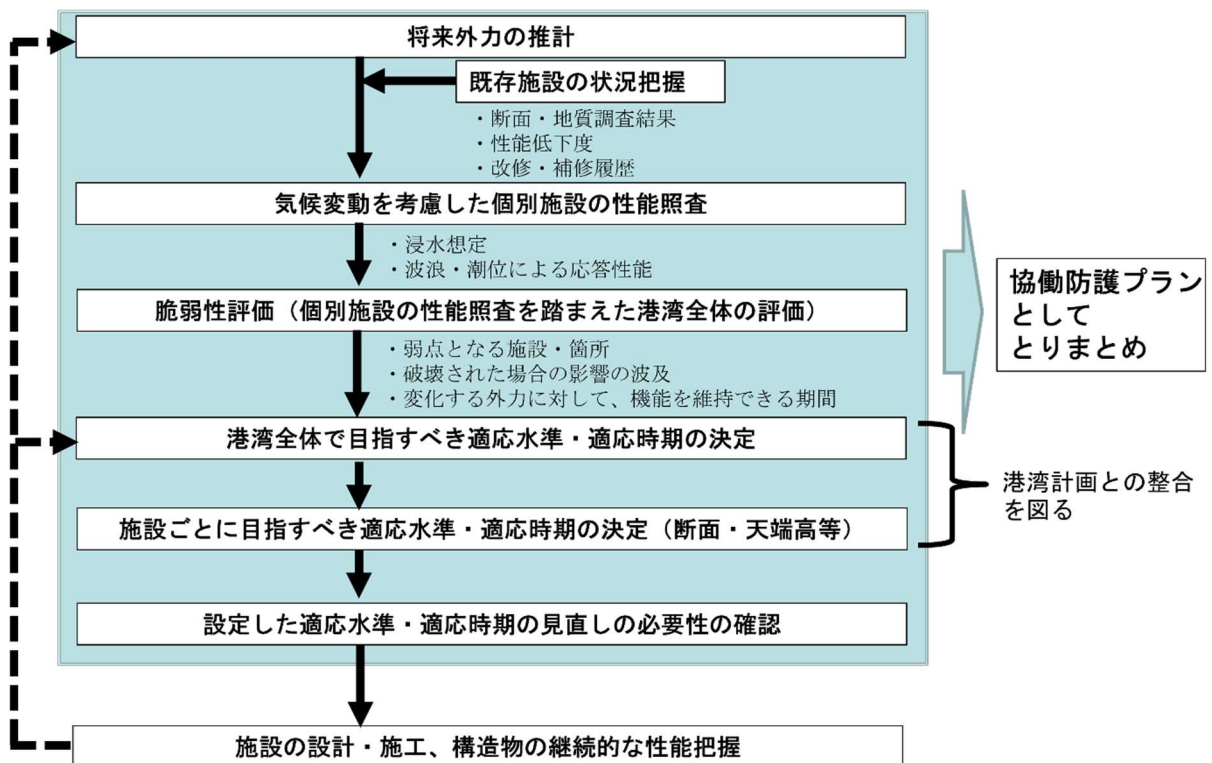


図 19 協働防護プランの検討フロー

① 将来外力の推計

第Ⅱ章に基づき、将来外力の推計結果を整理する。

② 既存施設の状況把握

協働防護プランを検討しようとする港湾内又は一連の施設群を含む地区内の既存施設の状況を把握する。具体的には、表 3 に示すとおり、維持管理計画書や、設計報告書、竣工図等より、施設の断面や、地質調査結果、性能低下度、改修・補修履歴、残存性能等を把握し、整理する。

658

表 3 既存施設の状況把握に使用する文献例

項目	把握方法	備考
既存施設図面 (平面図・断面図)	・維持管理計画書、設計図、竣工図	
地質調査結果	・土質調査報告書、設計報告書、維持管理計画書	
深浅測量結果	・深浅測量報告書、設計報告書、維持管理計画書	
施設の性能低下度	・維持管理計画書(点検結果)	
改修・補修履歴	・維持管理計画書、改良工事竣工図	
残存性能	・設計報告書、維持管理計画書(点検結果)等より算出	

659

660

661

③ 気候変動を考慮した個別施設の性能照査

662

港湾内又は一連の施設群を含む地区内の既存施設の状況を踏まえて、第Ⅲ章に示すとおり、気候変動を考慮した施設の性能照査を実施する。

664

665

④ 脆弱性評価（個別施設の性能照査を踏まえた港湾全体の評価）

666

港湾内又は一連の施設群を含む地区内の施設の脆弱性評価を実施する。各施設の性能照査結果を踏まえ、弱点となる断面・施設及びその際の機能毀損の原因（浸水、滑動又は転倒等）、破壊された場合や浸水した場合の一連の施設群の機能への影響の波及や、増加する外力に対して性能を維持できる期間を整理する。

670

671

⑤ 港湾全体で目指すべき適応水準・適応時期の決定

672

各施設の性能照査・脆弱性評価を踏まえ、隣接施設や影響範囲の施設で整合の取れた「港湾内又は一連の施設群を含む地区内毎の目指すべき適応水準」を設定する。

674

例えば、図 20 に示すような、防波堤で静穏を維持された水域に面する岸壁と岸壁背後の浸水を防護する護岸が一連で機能している施設群を想定すると、このうちいずれかの施設が機能不全となった場合、一連の施設群としての機能も損なわれる可能性がある。上記②気候変動を考慮した施設の性能照査及び上記③施設の脆弱性評価の結果を踏まえ、一連の施設群としての機能を確保するために目指すべき最適な適応水準を設定する。なお、港湾全体でなく、一連の施設群を含む地区内毎においても適応水準を設定することができる。

680

681 なお、目指すべき適応水準には、外郭施設の余裕高や粘り強い化の有無といった
682 要素も含まれると考えられ、外力や背後地の状況に応じて、港湾内又は一連の施設
683 群を含む地区内において整合的に定めることが望ましい。

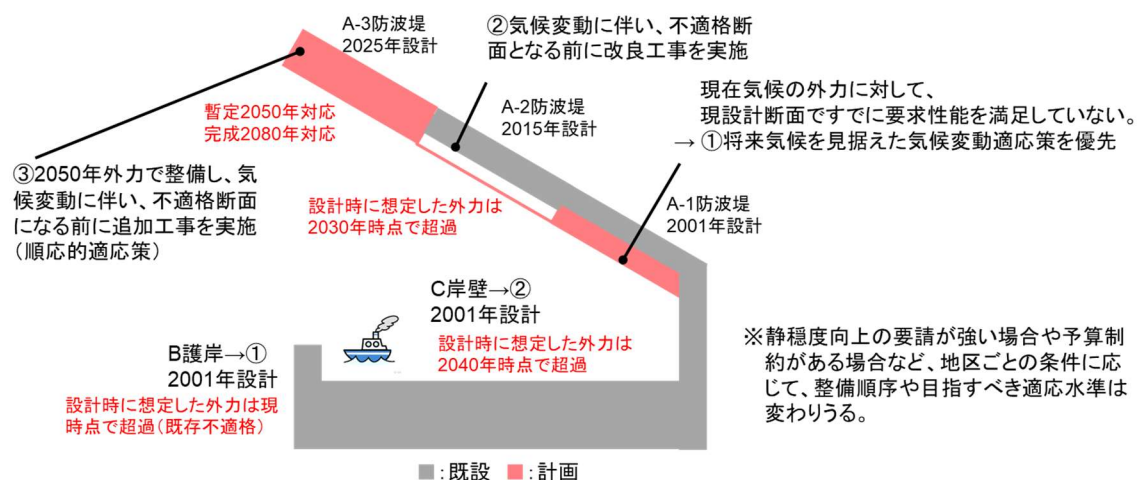
684 さらに、災害等の影響が相互に及ぶ範囲における港湾施設と海岸保全施設に作用
685 する気候変動後の将来外力については、協働防護プランで整理される考え方・対策
686 の時間軸も踏まえ、相互の整合性に配慮することが望ましい。

688 ⑥ 施設ごとに目指すべき適応水準・適応時期の決定

689 港湾全体で目指すべき適応水準・適応時期と整合するように、施設ごとにおいて
690 も目指すべき適応水準・適応時期を決定する。その決定に基づき、施設の設計・施
691 工を進める。その後、供用段階での外力変化等を継続的に監視し、構造物の性能を
692 把握する。

694 ⑦ 設定した適応水準・適応時期の見直しの必要性の確認

695 継続的にモニタリングした結果を踏まえて、⑤・⑥で設定した適応水準や気候変
696 動の適応時期の見直しの必要性を確認し、適宜見直しを行う。



701 3. 協働防護プランで合意すべき内容

702 協働防護プランの合意形成を図る際には、性能照査の項目として、「天端高」「安
703 定性」に着目した整理を行うことが考えられる。また、施設の配置や損傷時の相互
704 の影響を考慮し、目指すべき適応水準や整備順序を含めて合意形成を図ることが望

まし。さらに、施設整備・改良の各段階においても、施設相互の影響により要求性能を満たさなくならないか確認する必要がある。

気候変動を考慮した複数の施設（防波堤、護岸、岸壁等）の性能照査結果の整理イメージを表 4 に示す。表 4 において、例示として、現在気候においても性能を満足していない施設（既存不適格施設）の整備順序を 1 位としているが、防波堤の延長による港内静穏度の向上に対する社会的な要請が高い場合もあり得る。その場合、A-1 防波堤の機能不全による港内静穏度の低下や復旧に要する費用、A-3 防波堤新設による港内静穏度の向上等総合的に勘案して、関係者合意形成を図る必要がある。

表 4 港湾内又は個別地区内毎の目指すべき適応水準の整理

		A-1防波堤	A-2防波堤	A-3防波堤	B護岸	C岸壁
現在の波浪・潮位 に対する性能照査	天端高	○	○	○	×	○
	安定性	×	○	○	×	○
性能不足となる年次		(既に×)	2030	(暫定)2050	(既に×)	2040
天端高の性能(供用性)		-	-	-	×許容越波流量超過	○⇒×岸壁利用支障
安定性指標	滑動	×	○⇒×	○⇒×	×	○
	転倒	○	○	○	○	○
	支持力	○	○	○	×	○
	部材耐力	○	○	○	○	○
影響の大きい作用		波浪	波浪	潮位偏差	波浪	潮位偏差
目指すべき適応水準		暫定2050年、完成2080年				
整備順序		①	②	③	①	②

4. 港湾計画、長期構想との整合

港湾計画は、港湾管理者が 10～15 年後の港湾の能力、港湾施設の規模と配置、港湾の環境の整備と保全等の事項を定めるものである。港湾計画において、目標年次における港湾の能力（取扱貨物量や船舶乗降旅客数等）を定めており、これに応じた港湾施設の規模及び配置を一体的かつ総合的に定めている。港湾計画の目標年次に向けて、港湾の利用状況の変化の見込みや、関連する他の計画を考慮して定められている。港湾計画に位置付けられる外郭施設の規模及び配置は、外郭施設によって防護される水域施設及び係留施設の利用状況等を考慮して、十分に機能を発揮することができるように定めるものとされている。また、長期構想は、20～30 年の長期的視点から、港湾空間利用の基本的な方向として、港湾管理者が定めるものである。

728 協働防護プランで合意形成を図ろうとする一連の施設群について、港湾計画や長
729 期構想と整合を図る必要がある。

731 5. 維持管理計画等との整合

732 維持管理計画は、港湾施設の損傷、劣化その他の変状についての計画的かつ適切
733 な点検診断の時期、対象とする部位及び方法等について定めるものである。気候変
734 動適応策を考慮した個別の施設については、外力が経年変化した状態においても要
735 求性能を確保することが必要であるため、その維持管理計画に気候変動に応じた供
736 用段階での継続的な性能把握に係る計画及び順応的適応策を採る場合の適応の考
737 え方を盛り込むことが望ましい。さらに、技術基準対象施設の効率的かつ効果的な
738 維持管理・更新を図るため、施設ごとに作成する維持管理計画等を基に、港湾ごと
739 に各施設の維持管理・更新に関する優先度等を定め、費用の平準化を図ることを旨
740 とした中期的な計画である予防保全計画を策定するものとされている。供用期間中
741 の気候変動による順応的適応策の実施についても、予防保全計画と関係することか
742 ら両方で整合を取ることが望ましい。

VI. 気候変動適応策の実装に当たって配慮すべき事項

1. 気候変動予測情報の更新への対応

IPCC による世界的な気候変動予測については、これまで6回の評価報告がなされており、今後も定期的にその時点の実績や最新の知見、予測技術に基づき、評価報告される見込みである。また、我が国においても、日本の気候変動2020に引き続き、「日本の気候変動2025」のプロジェクトも開始しているところであり、我が国の気候変動予測についても定期的な更新が想定される。

気候変動緩和策として港湾分野では、カーボンニュートラルポートやブルーカーボン等取組が為されているところであるが、気温上昇シナリオも楽観的シナリオから悲観的シナリオまで多様な想定がされており、それによる将来の平均海面水位上昇や潮位偏差、波高の予測値も不確実性がある。どのようなシナリオとなっても対応できるよう、気候変動適応策の検討においては、最新の予測情報を取り入れるとともに、それを柔軟に変更できるようにしておくことが重要である。

2. ソフト的対策

気候変動は、水際線に存在する港湾施設にあまねく影響を与える現象であり、適応策の対象施設も膨大となる。それら対象施設に対してハード的対策を全て同時に実施することは困難であるため、必要に応じてソフト的対策と併用することが重要である。台風による高潮等については一定程度予測可能なため、気候変動によるリスクの継続的拡大を踏まえた、フェーズ別高潮・暴風対応計画の策定・実行等の高潮等の予測情報の関係者共有の仕組みと、予測情報に基づくコンテナ固縛、蔵置貨物の退避等の事前防災対策の促進が必要である。そのためには、高潮等による浸水予測モデルの精度向上や浸水リスク情報の受け手となる港湾利用者とのリスクコミュニケーションが必要である。

3. 技術開発等

港湾空港技術研究所では、気候変動により増大する潮位や波高に対して、ダブルパラペット護岸や透水性護岸など断面形状の工夫により、越波量の増加を抑える研究が実施されている。これら新たな断面形状の護岸の実用性を高めるためにも、数値解析の精度向上の取組が必要である。

また、気候変動のような長期間にわたる現象に対処するうえで、将来の技術革新についても念頭に置く必要がある。例えば、現時点では普及していない技術であっ

777 ても、その技術開発の状況を注視し、その影響を気候変動適応策にも取り込み、軌
778 道修正することが必要である。

811 おわりに

812 本書は、令和2年（2020年）8月の交通政策審議会答申「今後の港湾におけるハ
813 ード・ソフト一体となった総合的な防災・減災対策のあり方」及び令和5年（2023
814 年）7月の交通政策審議会答申「気候変動等を考慮した臨海部の強靱化のあり方」
815 を踏まえ、港湾における気候変動適応策の実装について、最新の知見を取り入れ、
816 方針としてとりまとめたものである。

817 本書では、まず、港湾の施設の設計時に考慮する平均海面水位や潮位偏差、波浪
818 等の将来外力について、国際機関や研究所により公表されている推計方法や推計値
819 を示した。

820 次に、気候変動に伴う外力の変化を考慮した港湾の施設の設計の考え方として、
821 予め設計供用期間内の最大の外力に対応した構造諸元を整備する「事前適応策」と、
822 供用期間中に段階的に追加工事を実施することを前提とし、供用期間中に継続的な
823 性能把握を行いながら、要求性能を満足しなくなる前に対策を行う「順応的適応策」
824 の2種類の適応策を示した。また、それぞれの適応策の場合における施設供用後の
825 継続的な性能把握のため、外力変化等の継続的な監視と追加工事のタイミングの考
826 え方を整理している。

827 さらに、港湾における気候変動適応策の実装に当たっては、官民の多様な関係者
828 がそれぞれの施設を所有・管理している港湾の特徴に鑑み、関係者が協働で、適応
829 水準や気候変動適応時期に係る共通の目標等を定め、気候変動適応を検討・実施し
830 ていく「協働防護」の推進の必要性を示した。

831 港湾における気候変動適応策の実装に向けて、本書を踏まえ、技術基準を改正す
832 るとともに、本書に示した外力の設定の考え方や港湾の施設の設計の考え方、供用
833 段階での継続的な性能把握を踏まえ、施設の設計や施工が進められることを期待す
834 る。また、港湾における官民の関係者が協働して取り組むための「協働防護」を推
835 進し、関係者全てが、港湾が直面する気候変動による課題をジブンゴトとして捉え、
836 協働して対応することを期待する。