

協働防護計画作成ガイドライン
(付録)
(Ver. 1.0)

令和7年6月
国土交通省 港湾局

目 次

第 1 章 浸水想定に関する各種手法の紹介	5
1-1-1 気候変動後における設計外力の設定	5
(1) 気候変動シナリオ	5
(2) 平均海面水位上昇量	9
(3) 潮位偏差及び波高の将来変化	12
第 2 章 気候変動に伴う浸水被害リスクの評価及び対策の検討手順 ..	17
2-1 収集・整理すべき資料等	17
2-1-1 周辺における外力条件	17
2-1-2 水深基準面 (C. D. L.)	17
2-1-3 既存施設の諸元及び変状等	17
2-1-4 水深・地盤高情報	17
(1) 水深情報	17
(2) 地盤高情報	17
2-1-5 資産集積情報	18
2-2 気候変動を考慮した施設の性能照査	18
2-2-1 施設の要求性能	18
2-2-2 性能照査の対象外力	18
2-2-3 性能照査手法	19
(1) 安定性の照査	19
(2) 供用性の照査	19
2-3 気候変動を考慮したふ頭等の浸水リスク評価	20
2-3-1 浸水計算の対象外力 (既往災害や基準年、確率年等から検討)	20
2-3-2 将来気候下における施設前面における外力の算定	21
(1) 潮位	21
(2) 潮位偏差	21
(3) 波高	21
2-3-3 高潮による越波・越流量の算出手法	23
2-3-4 浸水想定手法	25
(1) 浸水想定を実施する目的	25
(2) 浸水想定手法	25
2-3-5 浸水想定計算条件	27

2-3-6 浸水想定計算結果の示し方.....	27
2-4 作成例	29
2-4-1 協働防護区域の位置及び区域.....	29
2-4-2 基本的な方針・目標.....	29
(1) 設定する外力.....	30
(2) 浸水計算結果.....	30
(3) 防護目標及び適応水準.....	31
2-4-3 目標を達成するために必要な事業.....	32
第3章 浸水想定に関する各種手法の紹介	34
3-1 波浪変形計算手法.....	34
3-2 高潮による越波・越流量の算定手法.....	36
3-3 浸水想定手法	38
(1) 簡便法	40
第4章 海外における気候変動対応事例	46
4-1 各国で想定される気候変動シナリオ.....	46
4-2 ニューヨーク市における事例.....	50
4-3 ロサンゼルス港における事例.....	52

第1章 浸水想定に関する各種手法の紹介

1-1-1 気候変動後における設計外力の設定

港湾区域において施設被害・背後地浸水被害を生じさせる高潮外力には、①平均海面水位（H. W. L）、②高潮潮位偏差、③波浪の要素が含まれる。気候変動に伴い、①平均海面水位が上昇するとともに、②高潮潮位偏差及び③波浪が増大することで、施設に作用する波力や、護岸・岸壁からの越波・越流頻度・規模が増大することにより、施設被災リスク及び背後地の浸水発生リスクが増大する。

一方、津波については断層運動に伴う海面の変動により生じるものであるため、気候変動により規模そのものは変化しないと考えられるが、①平均海面水位が上昇することで、高潮と同様に施設被災・背後地浸水発生リスクは増大する。

気候変動後における①平均海面水位、②高潮潮位偏差、③波浪の設定方法について示す。

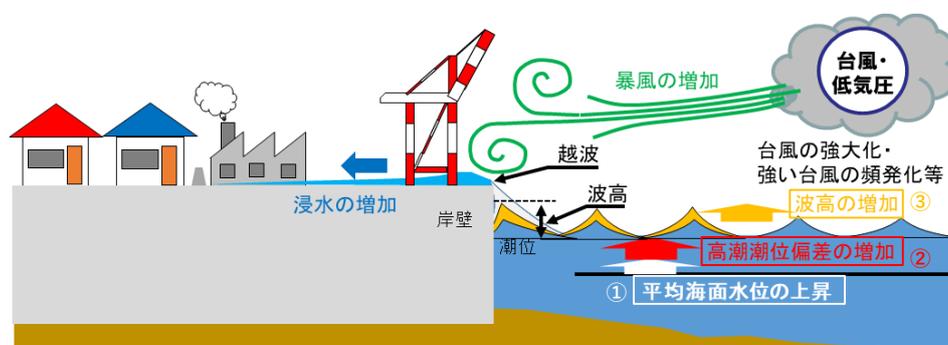


図 1-1 港湾区域における被害発生リスクの増大イメージ図

(1) 気候変動シナリオ

「港湾における気候変動適応策の実装方針」（令和6年3月14日国土交通省港湾局公表）では、気候変動の影響を勘案した技術基準対象施設の設計に用いる作用は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）による第5次評価報告書第I作業部会報告書で用いられた代表的濃度経路（RCP）シナリオのうち、「RCP2.6シナリオ（2℃上昇シナリオ）を前提とし、将来予測の平均値以上で設定することを標準とする」と定めている。この時、将来予測の上振れリスクを踏まえ、平均値に予測幅を考慮して設定することが望ましい。

上記を踏まえ、協働防護計画の作成に当たっては、RCP2.6シナリオ（2℃上昇シナリオ）の中位値（平均値）または上振れ値を選択して気候変動後の外力を設定するのが基本となると考えられる。ただし、前述の通り、対象とする港湾が位置する自治体により検討された海岸保全基本計画において採用されている気候変動シナリオ等も確認した上で、採用するシナリオを決定するのが望ましい。

本ガイドラインでは、RCP2.6シナリオ（2℃上昇シナリオ）の中位値（平均値）及び上振れ値を、それぞれ以下の通り表記する。

中位シナリオ：将来予測値¹における 2℃上昇シナリオの中位値（平均値）

上位シナリオ：将来予測値における 2℃上昇シナリオの上振れ値（上側信頼限界値、90%tile 値）

表 1-1 各気候変動シナリオの概要

作用	到達時期	中位シナリオ	上位シナリオ
天文潮位	2090年	現在の天文潮位の設計値 + 既往研究*の海面水位上昇量の 95%信頼区間の 平均値	現在の天文潮位の設計値 + 既往研究*の海面水位上昇量の 95%信頼区間の 上側信頼限界
潮位偏差	2040年 2090年まで 変動なし	既往研究**による 将来変化比の 平均値	既往研究**による 将来変化比の 90%tile値
沖波波高	2040年 2090年まで 変動なし	既往研究**による 将来変化比の 平均値	既往研究**による 将来変化比の 90%tile値

* 文部科学省，気象庁（2020）：日本の気候変動2020

**本多和彦・成田裕也・岡本侃大・百海郁弥・平山克也・高川智博・森信人（2024）：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，国土技術政策総合研究所資料，No.1266.

¹ 本多ら（2024）：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，国土技術政策総合研究所資料，No.1266，2024

コラム：気候変動に伴う温暖化の現状について

「日本の気候変動 2020²」では、将来の気候について、主に IPCC 第 5 次評価報告書でも用いられた 2℃ 上昇シナリオ(RCP2.6)及び 4℃ 上昇シナリオ(RCP8.5)に基づき予測している。ここで、各シナリオの概要は以下の通りである。

- ✓ 2℃ 上昇シナリオ (RCP2.6) : 21 世紀末*の世界平均気温が、工業化以前と比べて 0.9~2.3℃ (20 世紀末*と比べて 0.3~1.7℃) 上昇する可能性の高いシナリオ。

⇒パリ協定の 2℃ 目標が達成された世界であり得る気候の状態に相当。

- ✓ 4℃ 上昇シナリオ (RCP8.5) は、21 世紀末*の世界平均気温が、工業化以前と比べて 3.2~5.4℃ (20 世紀末*と比べて 2.6~4.8℃) 上昇する可能性の高いシナリオ。

⇒現時点を超える追加的な緩和策を取らなかった世界であり得る気候の状態に相当。

※20 世紀末 : 1986~2005 年の平均、21 世紀末 : 2081~2100 年の平均

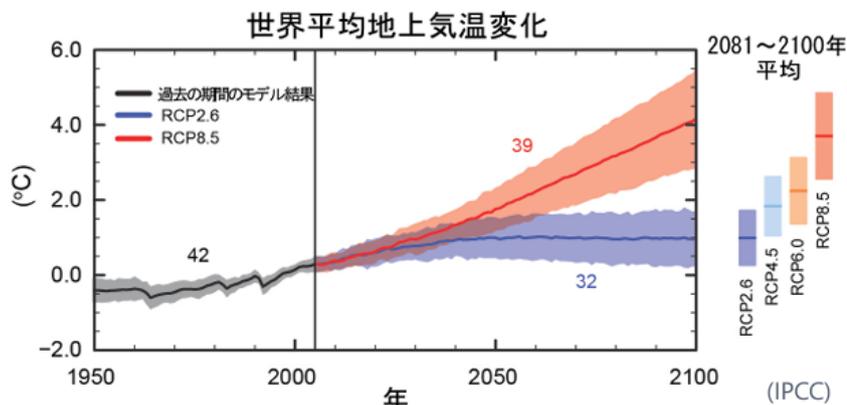


図 1-2 「日本の気候変動 2020」で取り扱われている気候変動シナリオ

上記を受けて、例えば「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方提言³」(令和 2 年(2020 年) 7 月)では、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、「外力の基準とするシナリオは、RCP2.6 (2℃ 上昇相当)における予測の平均的な値を基本とすることが妥当である」として、将来気候下における海岸保全施設の設計外力の算定方針を示している。

一方、近年の気候変動に関する科学的な知見の積み重ねにより、気候変動による気温上昇量は、2℃ 上昇シナリオの平均値よりも上振れる可能性が高まっているとの指摘も見られる。協働防護計画の作成に当たっては、このような最新の知見についても注視した上で、採用するシナリオを決定するのが望ましい。

² 日本の気候変動 2020 ー大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書、文部科学省 気象庁ー

³ 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/shinngikai_blog/hozen/index.html

コラム：信頼区間及びパーセンタイル値の概要について

表 1-1 に示す各気候変動シナリオの概要では、将来の天文潮位について、「現在の天文潮位の設定値 + 既往研究の海面水位上昇量の 95%信頼区間の平均値（または上側信頼限界）」と表現されている⁴。ここで「95%信頼区間」とは、「母集団から標本をとりだし、その標本から母平均の 95%信頼区間を求める」ことを 100 回実施したとき、95 回程度はその区間内に母平均が入る」ことを示しており、図 1-3 のように表される。ここで、95%信頼区間の平均値及び上限信頼限界は、それぞれ図 1-3 中に示した値に相当する。

一方、パーセンタイル値は、データを小さい順に並べたとき、最小値から数えて全体の α %に相当する値であり、90 パーセンタイルであれば、最小値から数えて 90%に位置する値を指す（図 1-4 参照）。

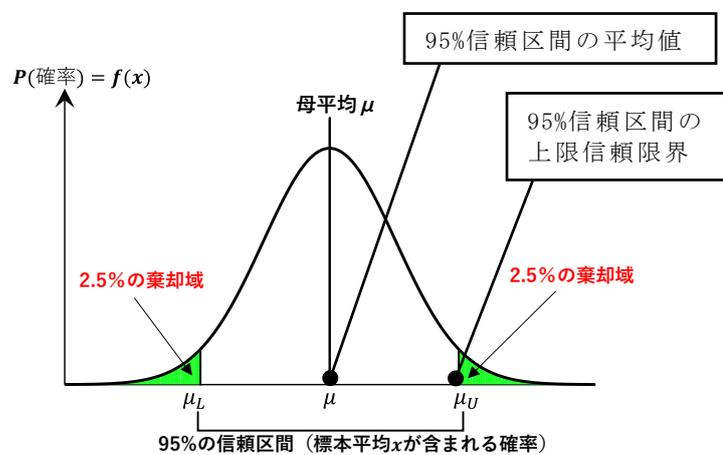


図 1-3 信頼区間のイメージ図

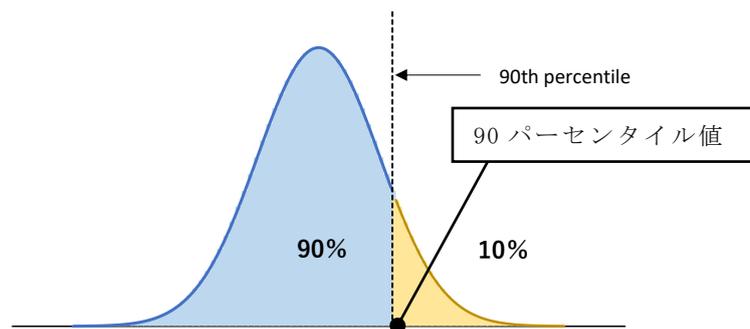


図 1-4 パーセンタイルのイメージ図

⁴ 例えば、総務省統計局 HP、
https://www.stat.go.jp/naruhodo/11_tokusei/kentei.html

(2) 平均海面水位上昇量

気候変動に伴う将来の平均海面水位上昇量は、国土技術政策総合研究所資料 No. 1281[小林ら(2024)⁵]の方法を参考に、日本の気候変動 2020 による予測値を用いて設定する。

IPCC6 次報告では、海洋深部の温暖化と氷床の融解等が続くため、海面水位は上昇した状態が更に百年から千年のスケールで継続するという予想がされているため、継続的な海面上昇を仮定する。また、日本周辺における平均海面水位上昇の将来予測では、20 世紀末（1986 年～2005 年）の値と 21 世紀末（2081 年～2100 年）の値が示されているため、図 1-5 に示すようにそれらの期間の中間年である 1995 年から 2090 年までに線形的に海面が上昇するものと仮定する。

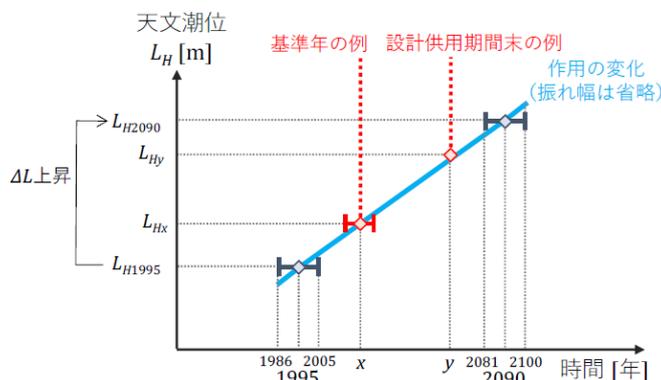


図 1-5 天文潮位の将来変化モデル図

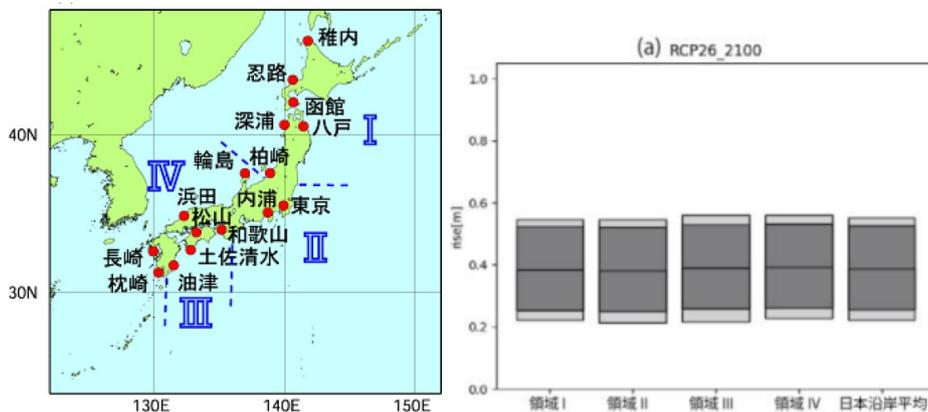


図 1-6 SI-CAT 海洋モデルによる 21 世紀末における日本沿岸平均海面上昇図

⁵ 小林ら(2024)：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，国土技術政策総合研究所資料，No. 1281，2024.

表 1-2 平均海面水位上昇量の予測値

領域	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） の変化量を示す。

※括弧内の数値は予測の変動の幅を示す。

出典：日本の気候変動 2020

ここで、基準年については、国土交通省港湾局によりとりまとめられた「気候変動に対応した港湾の施設の設計事例集⁶（以降、設計事例集と記す）」を参考に設定することができる。以下に、設計事例集で示された基準年の設定手法を示す。

表 1-3 将来作用算定のための基準年の設定方法

基準年 ①：	<p>＜観測値等の分析結果を踏まえて、新たに作用外力を設定する場合＞</p> <p>現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、最新の観測値や推算値等の分析を行い、新たに現在の作用を設定する場合（ex. 設計時に設計沖波や設計潮位を見直す場合）。この時、新たに現在の作用を設定した年、あるいは、設定に用いたデータの期間が複数年ある場合は、その期間の中間年を基準年として設定することが出来る。</p>
基準年 ②：	<p>＜観測値等の分析結果を踏まえて、従来の作用外力を設定する方法＞</p> <p>現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、最新の観測値や推算値等を分析した結果、安全側となる等の理由から従来の作用の値を現在の作用として再設定する場合。（ex. 最新の観測値や推算値を用いて設計沖波や設計潮位の変化を確認したうえで、従来の設計沖波や潮位の値を作用に用いると判断した場合）。この時、従来の作用ではなく、新たに現在の作用を再設定した年の分析に用いたデータの期間（複数年の場合は、その中間年）を基準年に設定することが出来る。</p>
基準年 ③：	<p>＜従来の作用外力を設定する方法＞</p> <p>現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、観測値や推算値等の分析にかかわらず、従来の作用の値を現在の作用として用いる場合。この時、現在の作用を設定した年、あるいは、設定に用いたデータの期間が複数年ある場合は、その中間年を基準年として設定する。</p>
基準年 ④：	<p>＜その他の方法＞</p> <p>現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、観測値や推算値等の分析にかかわらず、従来の作用の値を現在の作用として用いる場合で、基準年③に該当しない場合。この時、基準年を20世紀末（潮位：1995年、沖波・潮位偏差：1980年）として設定しても良い。但し、現在の作用の設定時期が古いため、最新の観測値や推算値等の分析を行い、現在の作用を見直すことが望ましい。</p>

出典：気候変動に対応した港湾の施設の設計事例集

⁶ 国土交通省港湾局（2025）：気候変動に対応した港湾の施設の設計事例集（令和7年4月）

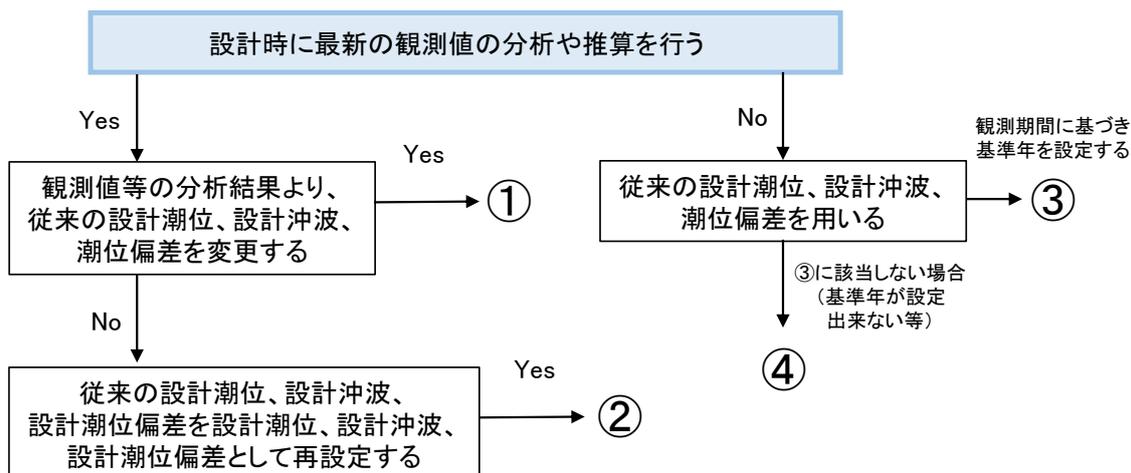


図 1-7 将来作用算定のための基準年設定フロー

出典：気候変動に対応した港湾の施設の設計事例集

(3) 潮位偏差及び波高の将来変化

気候変動に伴う潮位偏差及び波高の将来変化は、国土技術政策総合研究所資料 No. 1281[小林ら(2024)]の方法を参考に設定する。また、2℃上昇シナリオの将来の潮位偏差及び波高の変化については、将来の6つの海面水温(SST)パターンを踏まえた暫定値⁷を用いて設定する。

森ら(2021)⁸によれば、2℃上昇シナリオにおける台風強度は2040年頃まで上昇し、その後はほぼ一定となるとされていることを踏まえると、将来変化比は2040年時点の将来気候に応じたものになると想定される。上記を踏まえ、将来の潮位偏差及び波高は、現在気候の中間年である1980年から2040年までに線形的に増加し、その後は変化しないものと仮定する。また、1980年以前において潮位偏差は変化しないものと仮定する。

図 1-8 及び図 1-9 に、潮位偏差及び波高の将来変化モデル図を示す。潮位偏差及び波高は、基準年を基に1980年時点での値を推算し、時点に応じた将来変化比を乗じて、設計供用期間末の値を算出する。また、潮位偏差及び波高の将来変化比については、表 1-4 に示す国土技術政策総合研究所⁹による検討成果を活用することができる。

⁷ 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(2023)：港湾における気候変動適応策の実装方針(素案)

⁸ 森ら(2021)：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，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 77, No. 2, I_937-I_942.

⁹ 本多ら(2025)：日本沿岸の主要港湾における高潮・波浪への気候変動の影響評価，No. 1302, 2025

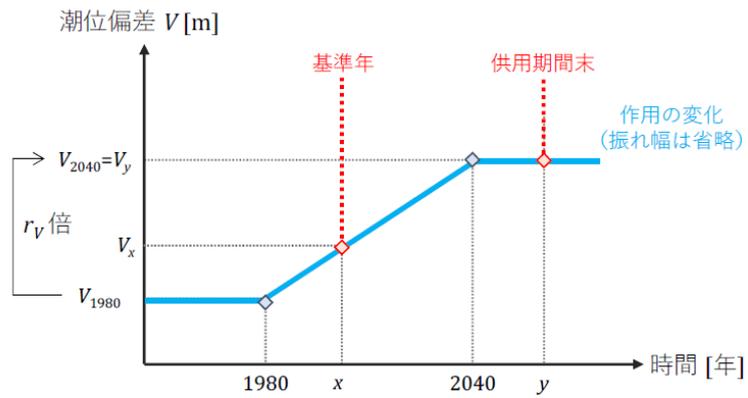


図 1-8 潮位偏差の将来変化モデル図

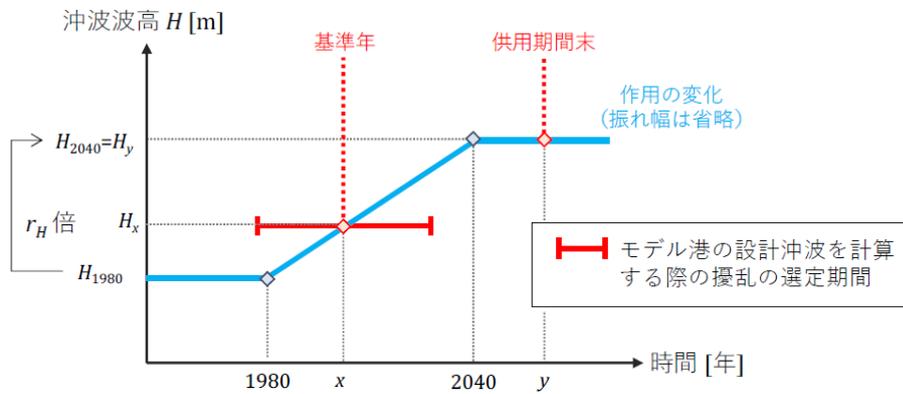


図 1-9 波高の将来変化モデル図

表 1-4 海域毎の将来変化比の代表値

海域	潮位偏差			波高						対象港湾
	100年確率			50年確率			30年確率			
	平均	10%	90%	平均	10%	90%	平均	10%	90%	
陸奥湾	1.02	0.99	1.05	1.04	0.98	1.09	1.04	0.99	1.10	青森港
東北太平洋側（北側）	1.05	0.94	1.14	1.02	0.95	1.09	1.02	0.96	1.08	むつ小川原港・八戸港・久慈港・宮古港
東北太平洋側（南側）	1.06	0.97	1.13	1.06	1.02	1.11	1.04	1.00	1.09	釜石港・大船渡港・仙台塩釜港・相馬港・小名浜港
北関東	1.06	1.03	1.10	1.08	1.04	1.12	1.06	1.02	1.12	茨城港・鹿島港
東京湾	1.10	1.03	1.15	1.02	0.98	1.06	1.03	0.98	1.08	木更津港・千葉港・東京港・川崎港・横浜港・横須賀港
駿河湾	1.02	0.96	1.09	1.01	0.98	1.06	0.99	0.96	1.04	御前崎港・田子の浦港・清水港
伊勢湾	1.07	1.03	1.10	1.00	0.98	1.03	1.01	0.98	1.05	三河港・衣浦港・名古屋港・四日市港・津松阪港
紀伊半島	1.03	0.99	1.06	1.00	0.98	1.02	1.00	0.98	1.02	尾鷲港・日高港・和歌山下津港
大阪湾	1.06	0.99	1.13	1.04	0.97	1.08	1.04	0.98	1.08	阪南港・堺泉北港・大阪港・尼崎西宮芦屋港・神戸港
四国太平洋側	1.07	1.02	1.10	1.02	1.01	1.03	1.02	1.00	1.03	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	1.00	1.05	1.02	1.00	1.04	1.02	1.00	1.05	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	0.98	1.05	1.02	1.00	1.03	1.02	1.00	1.03	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	1.01	1.07	0.99	0.96	1.02	0.99	0.97	1.02	細島港・宮崎港・油津港・志布志港・佐伯港・津久見港
薩南	1.06	1.03	1.10	1.02	0.99	1.05	1.01	0.98	1.04	鹿児島港・西之表港
琉球諸島	1.01	0.98	1.04	1.01	1.00	1.02	1.01	1.00	1.02	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	1.04	1.08	1.02	1.00	1.03	1.02	1.00	1.04	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	1.03	1.11	1.06	1.01	1.11	1.06	1.01	1.11	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	1.06	1.03	1.09	1.02	0.99	1.06	1.02	0.99	1.06	三隅港・浜田港・西郷港・境港・鳥取港
若狭湾	1.05	1.01	1.09	1.02	0.98	1.06	1.03	0.99	1.08	舞鶴港・敦賀港・金沢港
富山湾	1.04	1.01	1.08	1.01	0.98	1.06	1.02	0.98	1.07	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	0.98	1.04	1.02	1.00	1.04	1.01	0.99	1.04	能代港・秋田港・船川港・酒田港

ここで、基準年については、平均海面水位上昇量と同様に設計事例集を参考に設定することができる。以下に、設計事例集で示された、潮位偏差及び波高の将来変化を算定するに当たっての基準年の設定手法を示す。

表 1-5 将来作用算定のための基準年の設定方法(再掲)

基準年 ①：	<p>＜観測値等の分析結果を踏まえて、新たに作用外力を設定する場合＞</p> <p>現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、最新の観測値や推算値等の分析を行い、新たに現在の作用を設定する場合（ex. 設計時に設計沖波や設計潮位を見直す場合）。この時、新たに現在の作用を設定した年、あるいは、設定に用いたデータの期間が複数年ある場合は、その期間の中間年を基準年として設定することが出来る。</p>
基準年 ②：	<p>＜観測値等の分析結果を踏まえて、従来の作用外力を設定する方法＞</p> <p>現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、最新の観測値や推算値等を分析した結果、安全側となる等の理由から従来の作用の値を現在の作用として再設定する場合。（ex. 最新の観測値や推算値を用いて設計沖波や設計潮位の変化を確認したうえで、従来の設計沖波や潮位の値を作用に用いると判断した場合）。この時、従来の作用ではなく、新たに現在の作用を再設定した年の分析に用いたデータの期間（複数年の場合は、その中間年）を基準年に設定することが出来る。</p>
基準年 ③：	<p>＜従来の作用外力を設定する方法＞</p> <p>現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、観測値や推算値等の分析にかかわらず、従来の作用の値を現在の作用として用いる場合。この時、現在の作用を設定した年、あるいは、設定に用いたデータの期間が複数年ある場合は、その中間年を基準年として設定する。</p>
基準年 ④：	<p>＜その他の方法＞</p> <p>現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、観測値や推算値等の分析にかかわらず、従来の作用の値を現在の作用として用いる場合で、基準年③に該当しない場合。この時、基準年を20世紀末（潮位：1995年、沖波・潮位偏差：1980年）として設定しても良い。但し、現在の作用の設定時期が古いため、最新の観測値や推算値等の分析を行い、現在の作用を見直すことが望ましい。</p>

出典：気候変動に対応した港湾の施設の設計事例集

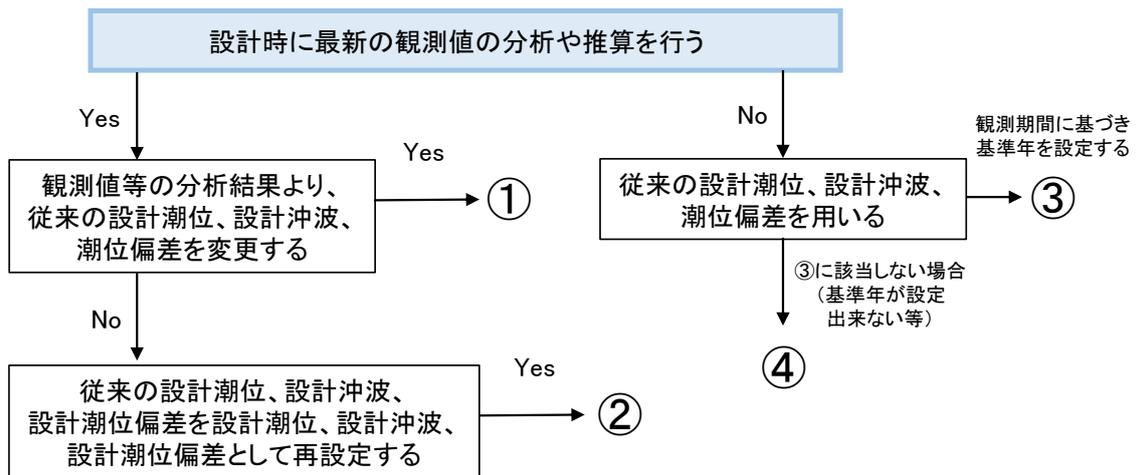


図 1-10 将来作用算定のための基準年設定フロー(再掲)

出典：気候変動に対応した港湾の施設の設計事例集

第2章 気候変動に伴う浸水被害リスクの評価及び対策の検討手順

2-1 収集・整理すべき資料等

2-1-1 周辺における外力条件

協働防護計画の作成対象とする港湾・ふ頭について、港湾計画や施設台帳等より、現時点における設計外力（設計高潮位 H. H. W. L.、朔望平均満潮位 H. W. L.、潮位偏差、50 年確率波諸元等）及びその設定時期を収集・整理し、協働防護計画で対象とする外力の設定等の参考情報として活用する。

2-1-2 水深基準面（C. D. L.）

協働防護計画の作成対象とする港湾・ふ頭について、海図に記載されている水深の基準面である最低水面（Chart Datum Level）の設定時期を整理し、将来の平均海面水位上昇量算定のための基準年の設定等に活用する。

2-1-3 既存施設の諸元及び変状等

施設台帳、維持管理計画書、測量結果等を収集し、協働防護計画の作成対象とする港湾・ふ頭に整備されている施設の構造諸元、変状の有無、部材劣化状況等を把握する。

2-1-4 水深・地盤高情報

(1) 水深情報

後述する施設からの越波・越流量の算出に当たっては、施設前面の水深情報が必要となるため、深浅測量成果や港湾計画中の計画水深情報を収集・整理する。

(2) 地盤高情報

将来の浸水被害リスクの評価等を行う際の地盤高情報については、国土地理院による基盤地図情報（数値標高モデル¹⁰）を活用することができる。ただし、比較的新しい時期に造成等が行われた地区については上記の資料が整備されていない場合があるほか、沈下の進行が速いふ頭においては上記の数値標高モデルが作成された時点と比較して地盤高が大きく変化している場合がある。

このため、数値標高モデルにより適切に協働防護計画の作成対象範囲の地盤高が設定できないと判断される場合には、当該地点周辺の測量データや設計・工事資料等を収集した上で、例えば岸壁天端高に雨水・排水勾配を考慮するとともに、供用期間内に想定される地盤変動量を考慮する等により、背後地盤高を設定することも考えられる。

¹⁰ 国土地理院 HP、https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html

また、前述の通り埋立地においては沈下により将来的に大きく標高が変化する場合があるため、協働防護計画の作成対象とする港湾・ふ頭周辺の水準点測量成果等より長期的な地盤高の変化を把握し、必要に応じて将来の浸水被害リスクの評価及び対策検討に反映する必要がある。

2-1-5 資産集積情報

協働防護計画の作成対象とする港湾・ふ頭について、浸水時に被害が想定される施設・設備・貨物等の位置や設置高を収集・整理し、浸水による被害規模の把握に活用する。

2-2 気候変動を考慮した施設の性能照査

2-2-1 施設の要求性能

施設の要求性能は、設計供用期間中の外力変化を考慮した上で、当該期間を通じて確保する必要がある。

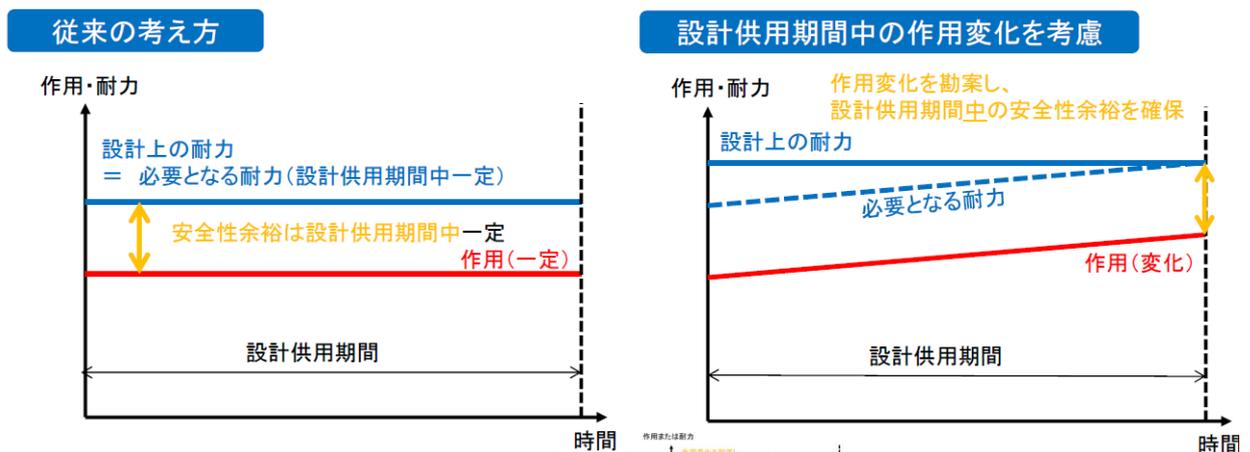


図 2-1 要求性能のイメージ

2-2-2 性能照査の対象外力

既存施設の気候変動対策を検討するに当たっては、以下の 2 ケースの外力に対して性能照査を行い、現在気候及び将来気候に対する保有性能を検討するとともに、要求性能（背後地の防護機能）を確保できなくなる時期についても考察しておくことが望ましい。

- ① 検討時点における最新の外力
- ② 供用期間終了時点における将来の外力

2-2-3 性能照査手法

(1) 安定性の照査

協働防護計画の作成に当たっては、前項に示す外力に対し、対象範囲に整備されている施設が性能規定を満足するか照査しておくのが望ましい。主要な外郭・係留施設である防波堤、岸壁、護岸の性能については、H30 港湾基準に示される内容に従って照査を行うことができる。各施設の性能規定及び基準該当ページを表 2-1 に示す。

なお、港湾施設の延長は長く、全ての施設・断面について照査を行うのは相当の労力を要する場合があるため、施設台帳や既往設計資料等から断面諸元を収集した上で、弱点となり得る箇所（天端高が低い箇所や波高が高い箇所等）や、背後地重要度が高い施設等の代表断面で必要に応じて照査項目を設定し、施設の安定性を評価することが考えられる。

表 2-1 安定性照査手法一覧

施設名称	性能規定	H30 港湾基準 該当ページ
防波堤	堤体の滑動、転倒、基礎地盤の支持力、 地盤の円弧すべり	P. 920
岸壁 (重力式係船岸の場合)	堤体の滑動、転倒、基礎地盤の支持力、 地盤の円弧すべり	P. 1062
護岸	パラペットの滑動、転倒	P. 1000

(2) 供用性の照査

岸壁及び護岸については、前項に示す安定性に加えて、供用性についても確認しておく必要がある。供用性については、供用期間内に想定される地盤変動量を反映した岸壁・護岸天端高に対して、将来気候下において発生する背後地の浸水規模や頻度を基に評価することができる。

2-3 気候変動を考慮したふ頭等の浸水リスク評価

2-3-1 浸水計算の対象外力（既往災害や基準年、確率年等から検討）

高潮や津波の規模は、主に以下の通り分別される。最大規模（レベル2相当）の高潮・津波については、施設整備のみによる対応は難しく、また発生頻度も低いことから、レベル1～中・小規模の高潮・津波を対象に浸水計算を実施し、ふ頭の浸水リスクに対する脆弱性を評価した上で、企業資産への浸水による直接的な被害や、それに伴う企業活動の縮小・停止による物流・生産活動への影響を低減可能な協働防護計画を作成することが必要と考えられる。

なお、浸水計算の対象外力については、対象とする港湾・ふ頭で想定される企業の活動期間に加えて、過去に発生した既往災害の規模や頻度、既往施設の設計外力、また堤内地を防護する海岸保全施設の設計外力等を総合的に勘案した上で、関係者間で合意形成を図った上で設定することが望ましい。

表 2-2 高潮・津波の規模及びその対応方針(再掲)

外力規模	発生頻度の目安	想定される 港湾区域の被害	対応方針
既往・想定 最大規模 (レベル2相当)	数百年～千年に 一度	防潮ラインを超えて 堤内地まで浸水被害 が発生。	施設整備のみによる対応は難しいため、避難対策やBCP等のソフト対策と併せて人命の防護・災害からの早期復旧等を図る。
大規模 (レベル1・ 施設設計外力 相当)	数十年～百数十 年に一度	防潮ラインより海側 の堤外地において、 防潮施設の天端高近 くの高さまで浸水被 害が発生。	堤内地側の浸水は防潮施設の整備により防護。堤外地側は利用面の観点から浸水を完全に防ぐことは難しいものの、施設整備や設備の嵩上等の対策により浸水深を許容値以下に抑制することで、企業資産への浸水による直接的な被害や、それに伴う企業活動の縮小・停止による物流・生産活動への影響を低減。
中・小規模	数年～数十年に 一度	堤外地において、大 規模外力よりも小規 模な浸水被害が発 生。	

2-3-2 将来気候下における施設前面における外力の算定

(1) 潮位

「 1-1-1 (2) 平均海面水位上昇量」に示す手法により、将来気候下における潮位条件（朔望平均満潮位、H. W. L.）を設定することができる。

(2) 潮位偏差

「 1-1-1 (3) 潮位偏差及び波高の将来変化」に示す手法により、将来気候下における潮位偏差を設定することができる。

(3) 波高

「 1-1-1 (3) 潮位偏差及び波高の将来変化」に示す手法により、将来気候下における沖合地点での波高を設定することができる。

なお、越波・越流量を計算する施設前面における波高は、以下の手法により算定することができる。

1) 沖合地点と各施設前面の波高比が既知である場合

既往の設計資料等より、沖合地点と各施設前面の波高比が把握できる場合には、将来気候下における沖合地点での波高に、上記の波高比を乗じることで、各施設の堤前波を算定することができる。

なお、将来気候下における沖波の周期や波形勾配が、既往設計資料で対象とした諸元と大きく異なる場合には、波高比をそのまま適用できない場合があるので、留意する必要がある。

2) 沖合地点と各施設前面の波高比が既知でない場合

既往の設計資料等が存在せず、沖合地点と各施設前面の波高比が把握できない場合には、エネルギー平衡方程式やブシネスクモデル等を用いた数値解析により、各施設の堤前波を算定することができる。

なお、同一の協働防護計画の作成範囲において、異なる手法や条件により施設前面における波高を算定すると、各区間で算定した波高の整合が取れなくなるおそれがある。このため、「1) 沖合地点と各施設前面の波高比が既知である場合」により施設前面波高を算定する場合においては、各区間で参考とする資料の検討手法や条件が大きく異ならないことを確認する必要がある。また、「2) 沖合地点と各施設前面の波高比が既知でない場合」で数値解析により施設前面波高を算定する場合においては、協働防護計画の作成範囲について、同一の手法や条件を適用して、一括して施設前面の波高を算定する必要がある。

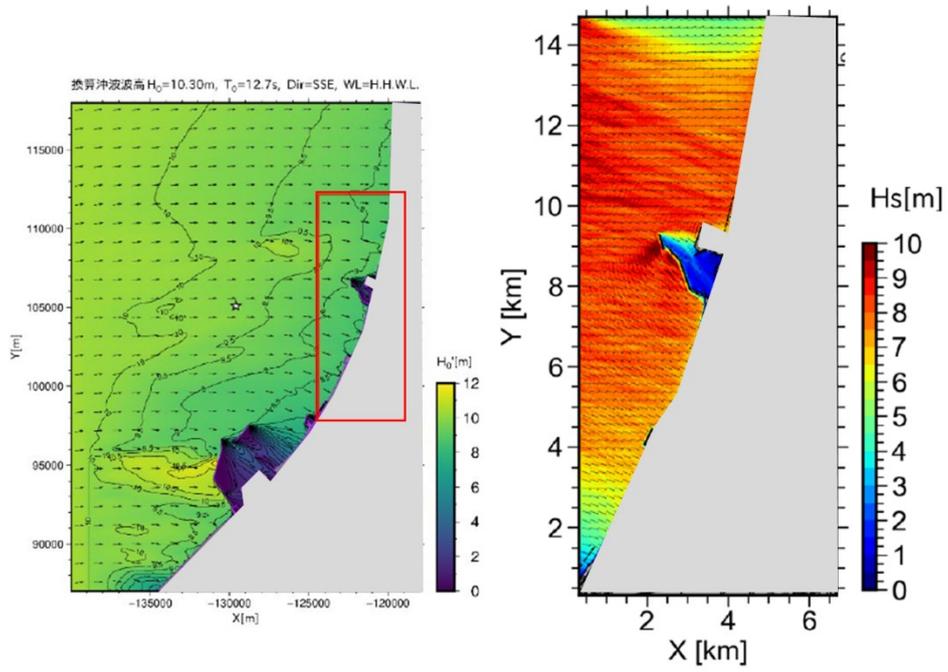


図 2-2 数値解析手法の例 (左:エネルギー平衡方程式、右:ブシネスクモデル)

2-3-3 高潮による越波・越流量の算出手法

護岸・岸壁等からの越波流量は、図 2-3 に示す合田の越波流量推定図等を用いて、前項で設定した潮位条件や波高条件等を入力条件として算定することができる。

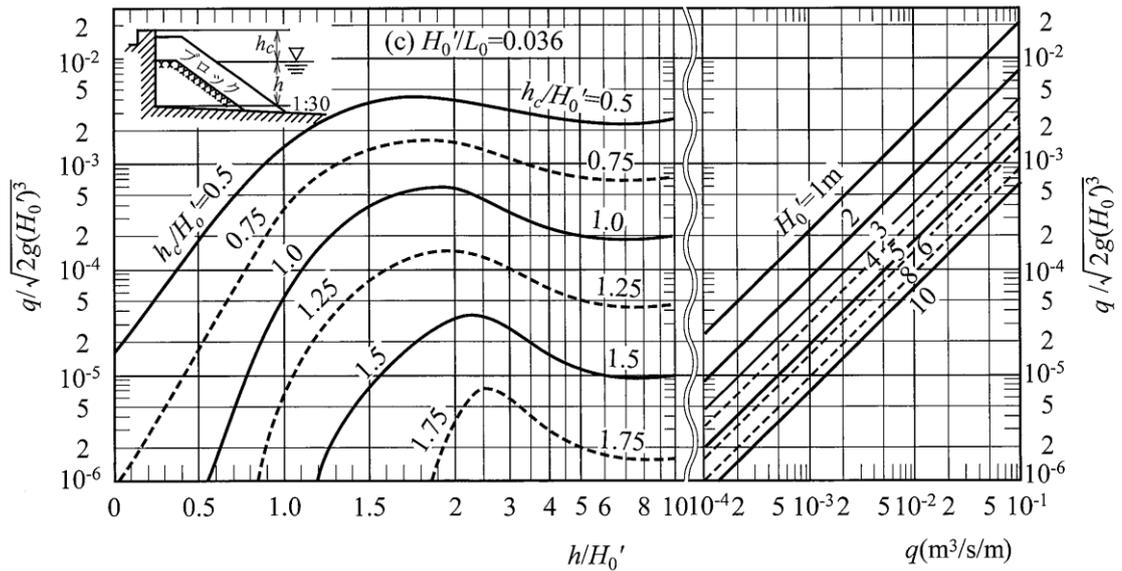


図 2-3 越波流量推定図の例

出典：H30 港湾基準、P.172

ここで、検討潮位には、従来既往最高潮位または朔望平均満潮位+既往最高高潮偏差が一般的に用いられてきたが、気候変動の影響を考慮して検討潮位を定める場合には、予測される平均海面水位上昇量を朔望平均満潮位に加算するとともに、将来の変動量を考慮した高潮偏差量を反映する必要がある。また、換算沖波波高 H_0' については、最新の設計沖波を用いて算定する必要がある。

なお、合田の越波流量推定図は一般的な直立護岸（消波有／無）についてのみ用意されており、後退型パラペットや二重パラペットを有する護岸等の、特殊な形状を持つ施設についての推定図は用意されていない。このため、これらの構造における越波流量に関する技術的知見が得られるまでは、数値波動水路(CADMAS-SURF)^{11,12}等の数値解析の活用により、越波流量の算出及び護岸天端高の評価を行うこともできる。

¹¹ 数値波動水路の研究・開発（CADMAS-SURF）、平成 13 年 10 月（沿岸技術研究センター）

¹² CADMAS-SURF 実務計算事例集、平成 20 年 5 月（沿岸技術研究センター）

コラム：越波と越流の違いについて

浸水の形態には、越波と越流があり、両者が複合的に発生する場合もある。図2-4に、越波及び越流の概念図を示す。

越波は潮位面が施設天端高より下にある（潮位 \leq 天端高）状態であり、波浪によって打ち上がった水塊・飛沫が流入することより、施設背後地の浸水が発生する現象である（高波に起因）。

一方、越流は潮位面が施設天端高より上にある（潮位 $>$ 天端高）状態であり、大規模な水塊が流入することにより、施設背後地の浸水が発生する現象である（津波・高潮に起因）。一般的に、越流による浸水量は越波よりも多く、背後地の浸水リスクは高まる。

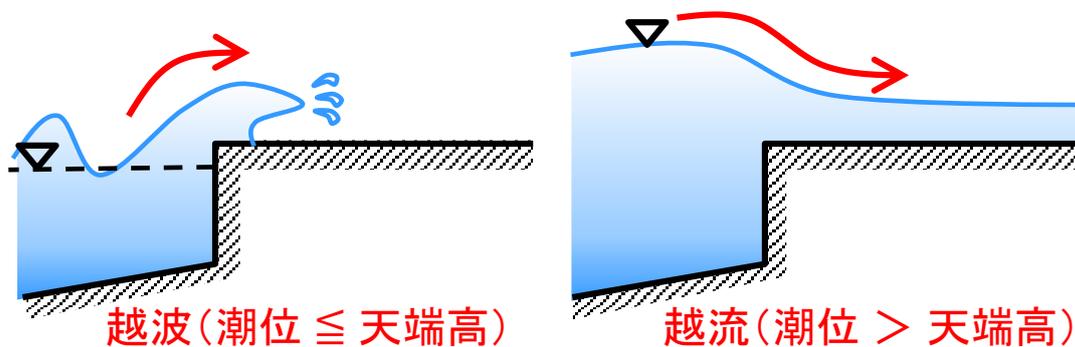


図 2-4 越波と越流の概念図

越波については、沖合に防波堤等の施設を整備することにより施設前面に到達する波浪を低減させて越波流量を抑制する対策や、施設天端高の嵩上や防潮壁の整備等により越波流量を抑制する対策が考えられる。

一方、越流については、天文潮位や高潮による潮位偏差等の、非常に周期の長い波浪に対する沖合施設の整備効果は小さいことから、施設天端高の嵩上や防潮壁の整備等により、越流を発生させない状態とする対策が考えられる。

2-3-4 浸水想定手法

(1) 浸水想定を実施する目的

協働防護計画の作成に当たっては、気候変動後の外力に対し、未対策時に当該区域にどの程度の浸水が生じるか、またどのような対策を実施すれば浸水リスクが十分に軽減できるのか、検討を行う必要がある。このため、まずは浸水想定検討を実施し、未対策時における浸水範囲や浸水被害の程度を評価するとともに、協働防護計画の作成必要性の有無を判断するのが望ましい。

(2) 浸水想定手法

浸水想定手法の一例を表 2-3 に示す。表中の簡便法は、簡単な計算式等から背後地の浸水深を推定する手法であり、労力を要さずに背後地の浸水範囲・浸水深を算定できる一方で、陸上に遡上した海水の挙動を流体の支配方程式に従って精緻に解くものでは無いため、その精度は数値解析による手法と比較して低い。一方、数値解析による手法は、簡便法と比較して陸上地形に応じた遡上等の海水の挙動を精度良く評価できる利点がある一方で、条件設定に専門的な知識を有すること、また解析に使用する入力データの作成や解析の実行に作業コストを要すること等の短所がある。各手法の詳細については、別添資料に示す。

採用する手法については、当該区域の浸水特性や、浸水範囲、浸水に伴い生じる被害額の算定及び対策規模の検討に求められる精度等を総合的に勘案して選定する。ただし、協働防護計画内容に関する関係者間協議に際しては、精度の高い浸水範囲・浸水深やそれに基づく浸水被害の評価結果を基に合意を図るのが望ましいため、数値解析による手法を採用して検討を行うことが基本となると考えられる。

なお、波浪変形計算と同様に、同一の協働防護計画の作成範囲において、異なる手法や条件により各施設背後の浸水想定を実施すると、浸水想定結果の整合が取れなくなるおそれがある。このため、浸水想定に当たっては、協働防護計画の作成範囲について、同一の手法や条件を適用して、一括して実施する必要がある。

表 2-3 浸水想定手法の例

手法		対象	概要	出典
簡便法	レベル湛水法	護岸背後の浸水範囲	護岸からの越波・越流量の総ボリュームと、背後地に湛水可能なボリュームの関係から背後地の浸水範囲・浸水深を算定する手法。	海岸事業の費用便益分析指針 ¹³ など
	高山による手法	岸壁背後の浸水範囲	施設前面の換算沖波波高と水面上天端高の関係から岸壁法線上の浸水深を算定し、「岸壁天端高+岸壁法線上の浸水深」の水位が、岸壁法線上だけでなく背後地全体に広がるものとして浸水深を評価する簡便な手法。	沿岸防災技術研究所の活動について ¹⁴
	波峰高を用いた手法	同上	潮位 (H.W.L.+潮位偏差) に岸壁前面波高の 1/2 を加えた高さ (波峰高) を高潮来襲時の水位とし、この水位以下の背後地は全て浸水するものと仮定して浸水範囲を算定する簡便な手法。	高潮早見図の利便性向上と浸水被害予測への活用について ¹⁵
詳細法 (数値解析手法)	浸水遡上計算	護岸・岸壁背後の浸水範囲	越波・越流量を用いて、例えば護岸や岸壁法線を入力境界とした浸水遡上計算を行い、背後の浸水範囲を数値解析的に求める手法。	
	ブシネスクモデル	岸壁背後の浸水範囲	港内波浪変形計算と同時に越流部からの遡上解析を行い、背後地の浸水深を算定する手法。越波の影響については未考慮であるため、潮位面が岸壁天端高を超えて背後地の浸水が生じることが想定されるケースについて適応可能。	ブシネスクモデルによる砕波・遡上計算法とその適用性 ¹⁶

¹³ 海岸事業の費用便益分析指針 (改訂版) (令和6年2月 一部変更)

¹⁴ 沿岸防災技術研究所の活動について (平成29年度)、沿岸技術研究センター論文集 No. 18 (2018)

¹⁵ 高潮早見図の利便性向上と浸水被害予測への活用について (大阪湾港湾等における高潮に関する防災・減災の取り組み)、沿岸技術研究センター論文集 No. 21 (2021)

¹⁶ ブシネスクモデルによる砕波・遡上計算法とその適用性、海岸工学論文集、第51巻 (2004)、土木学会、11-15

2-3-5 浸水想定計算条件

「2-3-4 浸水想定手法」で示した浸水想定手法について、計算条件設定時における留意点を以下に示す。

表 2-4 計算条件設定時の留意点

計算条件等	簡便法	詳細法（数値解析）	
		浸水遡上解析	ブシネスクモデル
入力データ	地盤高	地盤高、粗度係数、 構造物高さ	地盤高、水深、反射・ 透過率関連データ等
越波・越流量	越波流量算定図 等より算定	同左	不要（計算中で越流 量を自動計算、越波 量は未考慮）
メッシュサイズ	背後地の地盤高 分布を十分表現 可能な解像度で 設定（10m程度と するのが望まし い）	同左	対象波浪を十分表現 可能な解像度で設定 （波長の 1/20～1/10 程度）
計算時間間隔	無し	メッシュサイズに応 じて、計算が安定す る値を設定	同左
総計算時間	無し	高潮継続時間に応じ て設定	同左

2-3-6 浸水想定計算結果の示し方

得られた浸水想定結果については、浸水による被害の有無が把握しやすくなるように工夫して示すのが望ましい。

【示し方の例】

- ✓ 例えば表 2-5 に示す一般的な施設被害が生じ得る浸水深に到達しているか分かりやすくなるように、浸水深の凡例を工夫。
- ✓ 道路、ヤード、企業敷地等の区分が確認可能な区画線を示す。

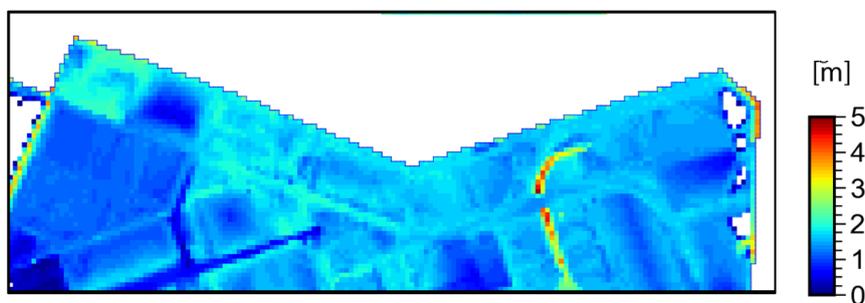


図 2-5 浸水想定結果のイメージ図

また、各施設が被災した場合（施設から越波・越流が生じた場合）における背後地への影響度合（浸水深等）を評価するとともに、施設が背後地の浸水を防護可能な高さを満足しなくなる（許容越波流量を超過する越波が発生する等）時期についても算定しておくのが望ましい。

得られた浸水想定結果より、未対策時における浸水範囲や浸水被害の程度を評価することで、協働防護計画の作成必要性の有無や、各施設が被災した場合の影響度の度合いより、施設の整備優先順位等の評価を行うことができる。

表 2-5 各種施設で被害が発生する浸水深

施設・資産等		被害内容	被害が生じる浸水深の閾値	出典
建物	木造家屋	全壊	2m 以上	資料 ¹⁷
荷役機械	ガントリークレーン	電気・機械設備の浸水	0.6m 以上 0.3m 以上	資料 ¹⁸ 資料 ¹⁹
	アンローダー	漂流船舶の衝突・破損	3m 以上	資料 ²⁰
屋外タンク		タンク本体被害	3m 以上	資料 ²⁰
車両	普通車・トラック	漂流・流失	0.5m 以上	資料 ²¹
	トレーラー・シャーシ	〃	1.43m 以上	
コンテナ	空コンテナ	〃	0.43m 以上	資料 ²²
	実入りコンテナ	〃	1.20m 以上	
その他貨物	木材	〃	木材高さ以上	資料 ²³
	石炭・バイオマス用チップ	漂流・流失／品質劣化	0m 超	
	穀物・飼料（トンパック積）	〃	〃	
住宅		床上浸水	0.45m	資料 ²⁴

¹⁷ 東日本大震災による被災現況調査結果（国土交通省都市局）

¹⁸ 東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書

¹⁹ 港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策ガイドライン（改訂版）、平成 31 年 3 月（国土交通省港湾局）

²⁰ 交通政策審議会港湾分科会第 4 回防災部会（平成 24 年 2 月）

²¹ 利根川の洪水（須賀暁三監修・利根川研究会編、1995 年）

²² エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流物衝突に関する研究、海岸工学論文集、vol. 52. p. p. 741-745

²³ 津波による木材の流出に関する計算、第 30 回海岸工学講演会論文集、vol. 30. p. p. 594-597

²⁴ 治水経済調査マニュアル（国土交通省 水管理・国土保全局）、P. 48

2-4 作成例

2-4-1 協働防護区域の位置及び区域

協働防護区域の位置図を図 2-6 に示す。協働防護区域の範囲は、将来気候下において、共通の浸水リスクを有する範囲を設定している。

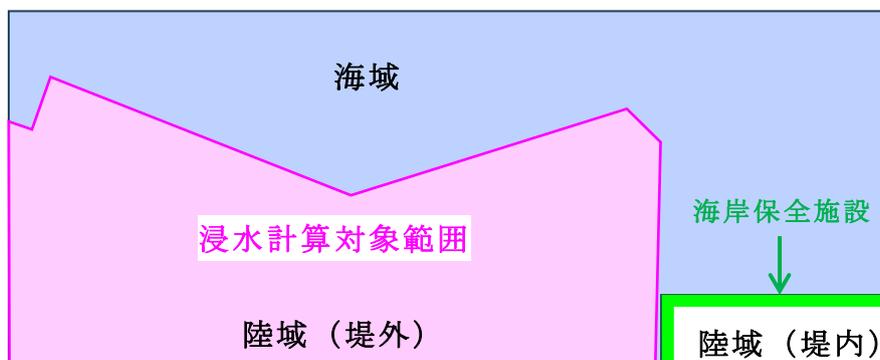


図 2-6 協働防護区域の位置

2-4-2 基本的な方針・目標

協働防護計画の基本的な方針・目標等を以下に示す。

表 2-6 協働防護計画の方針・目標等に関する記載項目例

記載項目例	項目内容	備考
目標時期	2090 年	当該ふ頭で想定される企業の活動期間（施設供用期間）等を踏まえて設定。
対象とする外力規模	50 年に 1 度発生する高潮・高波	周辺海岸保全施設の設計外力等を基に設定。
採用する気候変動シナリオ	RCP2.6（2℃上昇シナリオ）の上限値	当該ふ頭の資産集積状況や気候変動への対応を行わなかった場合の浸水被害リスク等を総合的に勘案して設定。
防護目標（防護水準）	将来気候下における背後地総浸水量を、現在気候下における背後地総浸水量と同等程度に抑制する。	

(1) 設定する外力

将来外力は基準年（設計時）から設計供用期間末（21世紀末（2090年）を設定）まで線形増加で設定する。

潮位偏差や波高の将来変化比は、将来予測の上振れリスクを踏まえ、平均値に予測幅を考慮して設定するため、上位値（上側信頼限界値、90%tile 値）を使用する。基準年の考え方を、それぞれ以下に示す。

平均海面水位：原設計の天文潮位の設定根拠が不明のため平均海面水位上昇量の開始年である1995と仮定

潮位偏差：既往最高潮位発生年（1961年）

沖波波高：推算期間（1955～2019年）の中間年（1988年）

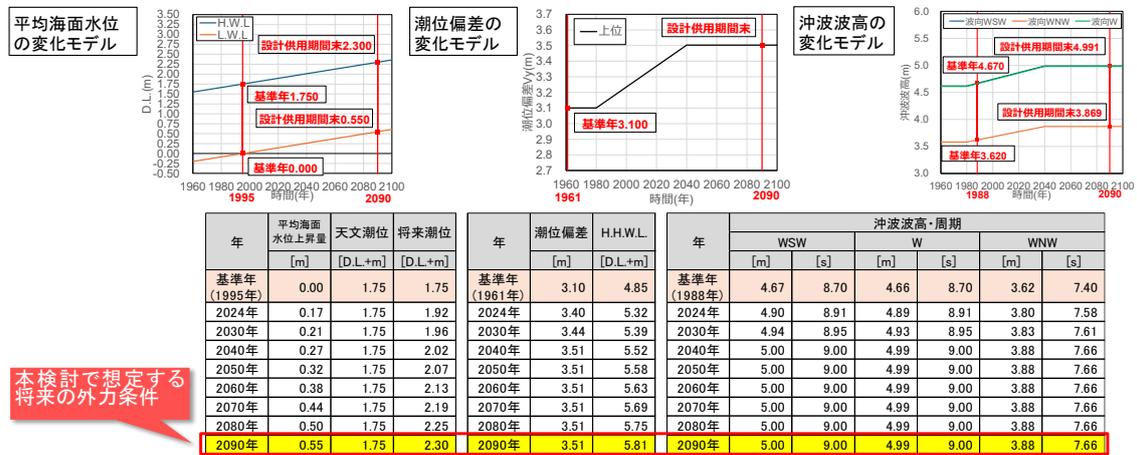


図 2-7 将来気候における外力条件の設定結果

(2) 浸水計算結果

現在気候及び将来気候下における浸水計算結果を図 2-8 に示す。平均海面水位の上昇や、潮位偏差・波高の増大により、対策を実施しない場合、将来気候下において大きく浸水範囲が増大する。

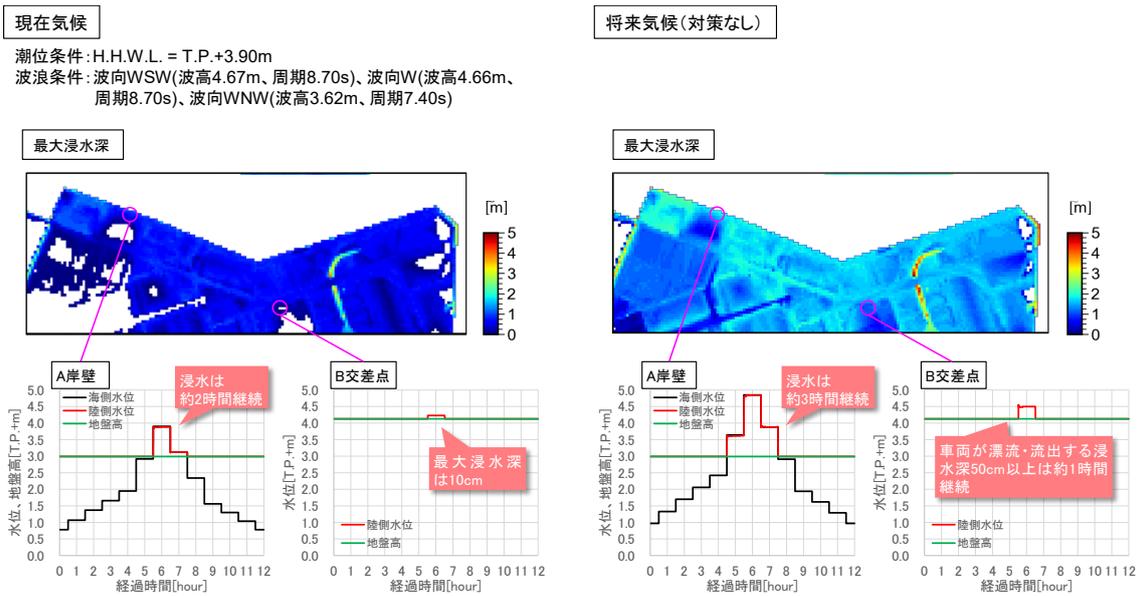


図 2-8 現在気候及び将来気候における浸水範囲

(3) 防護目標及び適応水準

本検討事例では、防護目標を「将来気候下における背後地総浸水量を、現在気候下における背後地総浸水量と同等程度に抑制する」として、防護ラインの必要天端高（適応水準）を算定する。検討対象とする防護ラインの嵩上げ高を変化させて将来気候による浸水量を算定し、現在気候での浸水量と一致する嵩上げ高を算定した結果、対象施設の天端高を T.P.+4.8m まで嵩上することにより、所要の防護目標を確保できる結果となる。

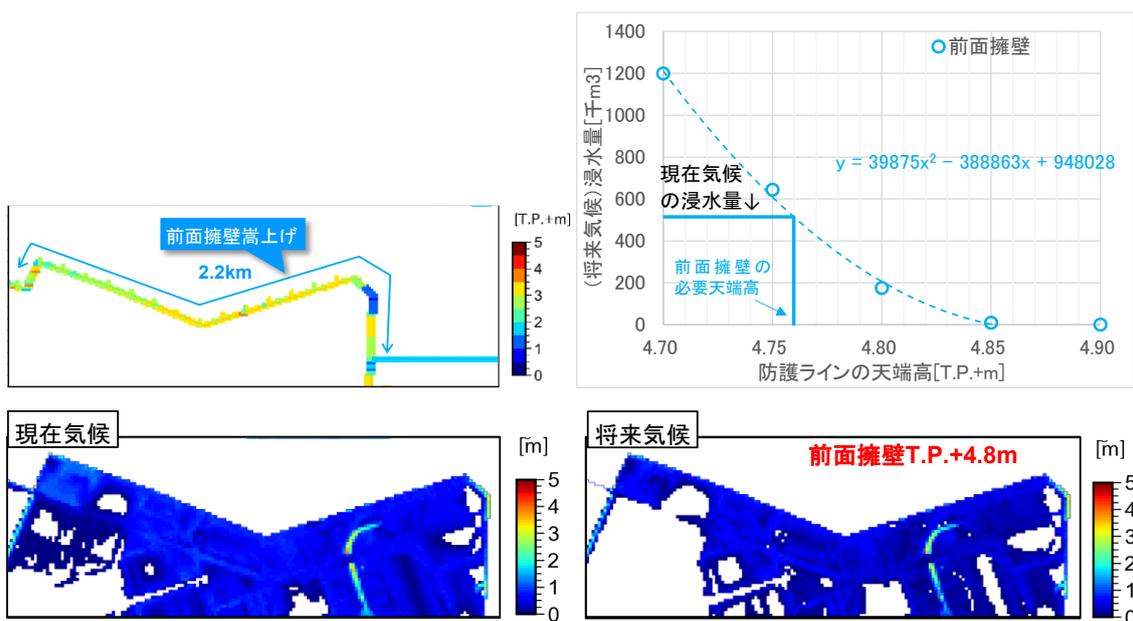


図 2-9 現在気候と同等の防護水準となる施設天端高の検討結果

2-4-3 目標を達成するために必要な事業

設定した防護目標を達成するために必要となる事業の検討結果を以下に示す。本検討では防護ラインを前面擁壁と後退擁壁の2ケースで設定して検討を行っているが、それぞれ以下のメリット・デメリットを有する。

表 2-7 防護目標達成のための事業概要

比較指標	前面擁壁案		後退擁壁案	
浸水被害	○	浸水を低減できる範囲が広い。	△	前面擁壁案と比較して浸水を低減できる範囲が狭い。
港湾利用への影響	△	水際線上の係留・荷役作業に支障が生じる可能性がある。	○	係留・荷役作業への支障は生じない。
経済性	—	後退擁壁案と比較して擁壁自体の整備コストが高価。 後退擁壁案と比較して陸閘・門扉等の規模・数が小さく、ランニングコストが小さい。	—	前面擁壁案と比較して擁壁自体の整備コストは安価。 前面擁壁案と比較して陸閘・門扉等の規模・数が大きく、ランニングコストが大きい。

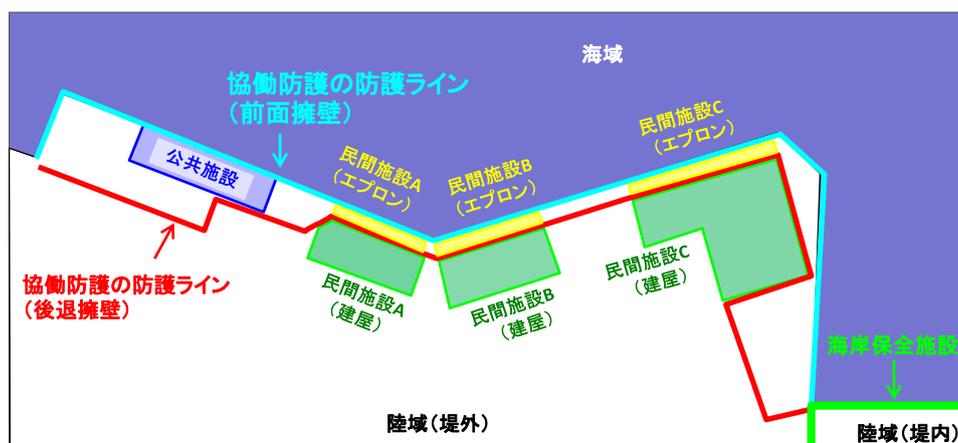


図 2-10 対策イメージ

表 2-8 対策案別の浸水防護効果及び整備費用の概略検討結果

防護ライン位置		前面擁壁	後退擁壁	
延長(m)		2,180	2,300	
概算工費(千円)		401,338	315,101	
最大浸水深	公共施設		1.1m	2.3m
	民間施設 エプロン	施設A	海側	2.0m
		施設B		2.4m
		施設C		2.3m
	民間施設 建屋	施設A	陸側	0.5m
		施設B		0.4m
		施設C		0.6m
	浸水面積割合	公共施設		50%
民間施設 エプロン		施設A	海側	100%
		施設B		100%
		施設C		100%
民間施設 建屋		施設A	陸側	96%
		施設B		76%
		施設C		70%

第3章 浸水想定に関する各種手法の紹介

3-1 波浪変形計算手法

港湾施設前面の波浪の情報を取得するには、沖波諸元が設定されている沖合地点から港内までの波浪変形計算が必要となる。波浪変形計算で得られた波浪の情報をを用いて、施設前面からの越波流量の情報を取得する。

ここで、波浪変形とは、水深変化による波の屈折効果（浅瀬に向かって波向が曲がる効果）、浅水・砕波変形（波峰の尖鋭化あるいは砕けて崩れる効果）、半島や防波堤の背後に波が回り込む回折効果、構造物による反射効果といった波浪の振る舞いの総称を示す。

一般的に港湾分野においては、広域（外洋・港外）では反射効果は考慮されないものの、計算負荷が比較的小さいエネルギー平衡方程式と呼ばれるモデルが使用される。また、狭域（港湾周辺）では、水深変化による波の屈折効果を考慮できないものの、構造物による波の回折・反射を考慮可能かつ計算負荷が小さい高山法や、計算負荷は比較的大きいものの、波の屈折・回折・反射効果が考慮できるブシネスクモデルが使用されている。各手法の特徴を表 3-1 に示す。

表 3-1 波浪変形モデル方程式の理論的適用範囲

モデル方程式	浅水変形	屈折	回折	反射	砕波モデル	任意水深	流れの影響	不規則性	非線形性	計算領域			備考
										広	中	狭	
波向線法	◎	◎	×			◎	○	○	△	○	○	○	波速に非線形性を含められる
エネルギー平衡方程式	◎	◎	▽	△	○	◎	○	◎	×	○	○	○	
ヘルムホルツ方程式	○	○	◎	◎	×	◎	×	○	×			○	領域ごとに一樣水深のみ
簡便法（高山法）			◎	◎	×	◎	×	◎	×			○	一樣水深のみ
緩勾配方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○	△			○	
非定常緩勾配方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎	○		×			○	砕波モデル・境界条件処理が容易
数値波動解析法	○	◎	◎	◎		◎			×			○	
緩勾配不規則波動方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎		◎	×			○	
放物型波動方程式	◎	◎	◎	△	○	◎	○	○	△			○	
非線形長波方程式	◎	◎	◎	◎	○	×		◎	◎			○	極浅海域に限定される
ブシネスク方程式	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎			○	原方程式は浅海域に限定される
強非線形強分散性波動方程式	◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎			○	

◎：基本形で適用可能 ○：応用形で一般的適用可能 △：応用形で部分的適用可能

▽：基本理論では考慮されていないが実用上可能 空白：研究により適用できる可能性あり

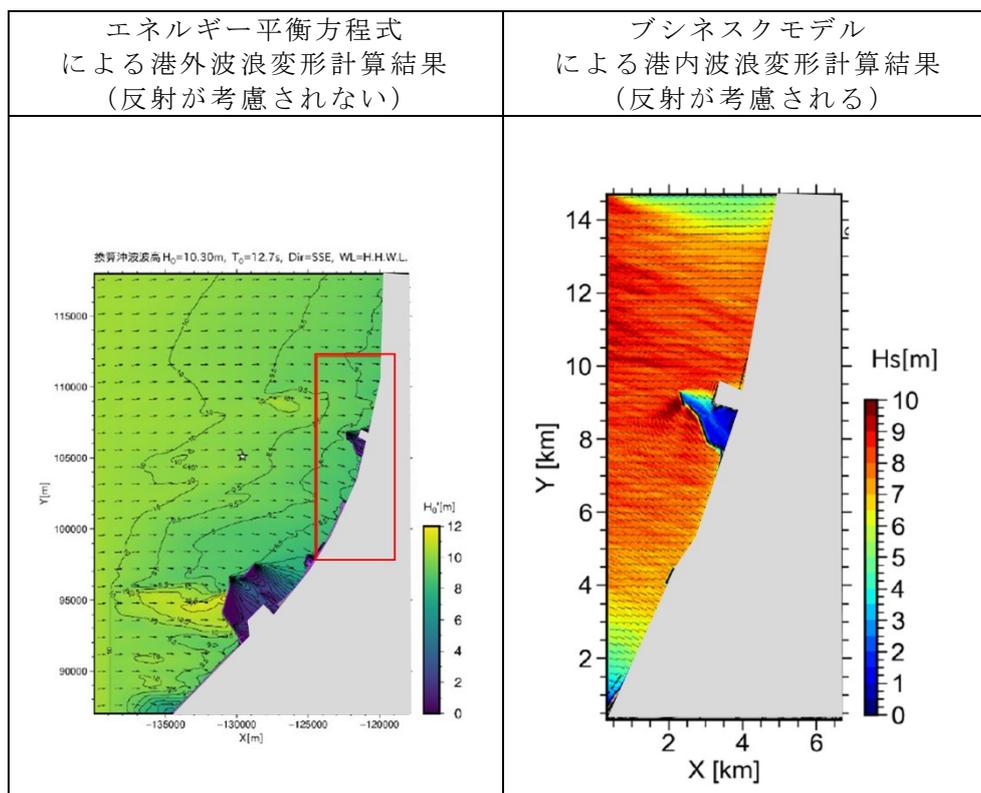
×：適用不可能

計算領域＝広：深海から浅海を含む程度，中：構造物周辺の海域程度，狭：港内程度

出典：海岸保全施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年 8 月）、P. 2-23

表 3-2 に、一例としてエネルギー平衡方程式とブシネスクモデルによる波浪変形計算結果図（波高平面分布図）を示す。

表 3-2 エネルギー平衡方程式及びブシネスモデルによる波浪変形計算結果の例



3-2 高潮による越波・越流量の算定手法

護岸・岸壁等からの越波流量は、図 3-1 に示す合田の越波流量推定図等を用いて、前項で設定した潮位条件や波高条件等を入力条件として、以下の手順により算定することができる。

- 手順①：水面上天端高 hc と護岸・岸壁前面の換算沖波波高 H_0' から、 hc/H_0' を算定する。
- 手順②：護岸前面水深と換算沖波波高 H_0' の比 h/H_0' を計算し、手順①で算定した hc/H_0' の点までグラフ上方に直線を伸ばす。
- 手順③：手順②で伸ばした位置から、グラフ右側に直線を伸ばす。
- 手順④：グラフ右側の斜線で示される換算沖波波高 H_0' のうち、護岸・岸壁前面での換算沖波波高に対応する線まで、手順③の直線を伸ばす。
- 手順⑤：手順④の交点からグラフ下方に直線を伸ばし、越波流量を読み取る。

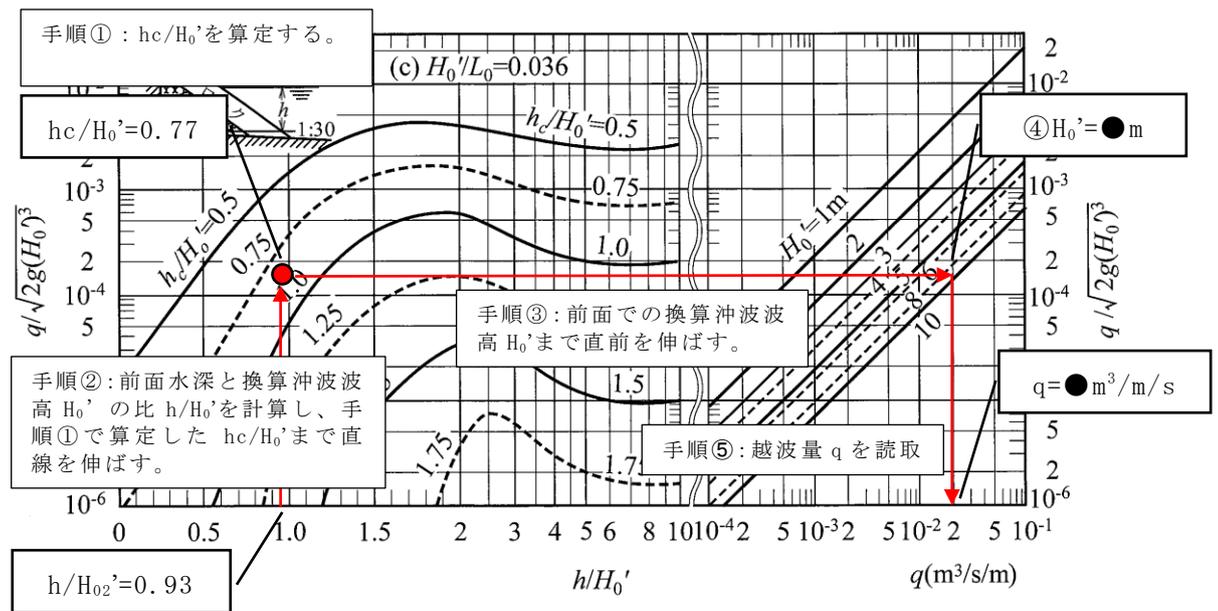


図 3-1 越波流量推定図による越波流量の読取手順

出典：H30 港湾基準、P.172 に加筆

ここで、検討潮位には、従来既往最高潮位または朔望平均満潮位+既往最高高潮偏差が一般的に用いられてきたが、気候変動の影響を考慮して検討潮位を定める場合には、予測される平均海面水位上昇量を朔望平均満潮位に加算するとともに、将来の変動量を考慮した高潮偏差量を反映する必要がある。また、換算沖波波高 H_0' については、最新の設計沖波を用いて算定する必要がある。

なお、合田の越波流量推定図は一般的な直立護岸（消波有/無）についてのみ用意されており、後退型パラペットや二重パラペットを有する護岸等の、特殊な

形状を持つ施設についての推定図は用意されていない。このため、これらの構造における越波流量に関する技術的知見が得られるまでは、数値波動水路(CADMAS-SURF)^{25,26}等の数値解析の活用により、越波流量の算定及び護岸天端高の評価を行うこともできる。

数値波動水路 (CADMAS-SURF) は、流体の運動を表す式である Navier-Stokes 方程式及び連続の式を基礎方程式とした数値解析モデルであり、砕波や越波等の複雑な水面形状が現れる事象を解析可能である。同モデルでは、水深変化による波の変形や、構造物による反射、消波構造物による波の透過・減衰等を考慮可能であり、地形や構造物形状を任意に入力可能であるため、上述した越波流量推定図の適用範囲外となるケースについても、越波・越流量を算定可能である。

以下に、数値波動水路 (CADMAS-SURF) による解析結果のイメージ図を示す。

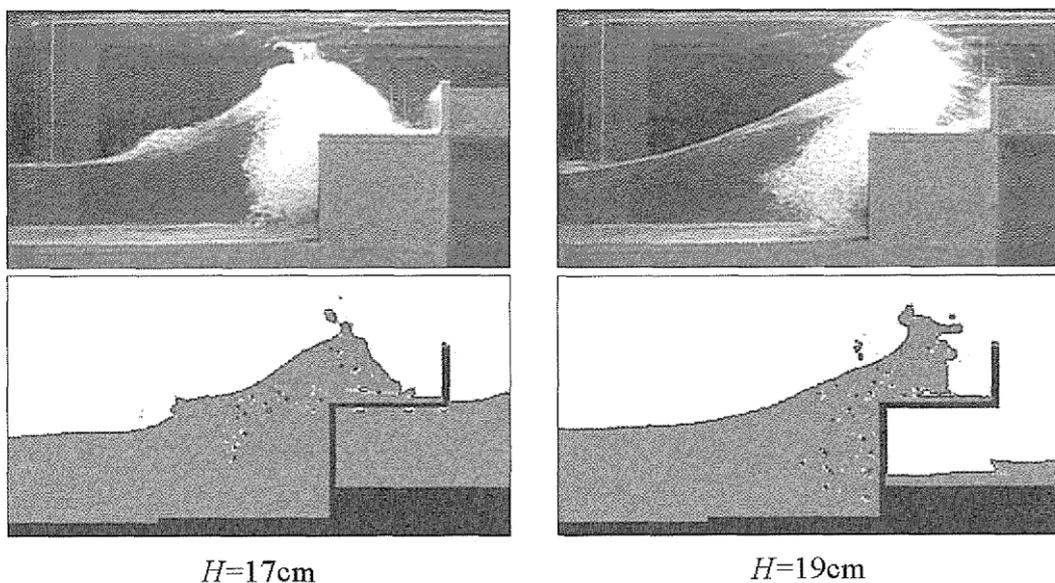


図 3-2 越波排水路を有する低天端護岸の越波計算例 (上：実験 下：数値解析)

出典：CADMAS-SURF 実務計算事例集、P.155

²⁵ 数値波動水路の研究・開発 (CADMAS-SURF)、平成 13 年 10 月 (沿岸技術研究センター)

²⁶ CADMAS-SURF 実務計算事例集、平成 20 年 5 月 (沿岸技術研究センター)

3-3 浸水想定手法

浸水想定手法の一例を表 3-3 に示す。表中の簡便法は、簡単な計算式等から背後地の浸水深を推定する手法であり、労力を要さずに背後地の浸水範囲・浸水深を算定できる一方で、陸上に遡上した海水の挙動を物理的に解くものではないため、その精度は数値解析による手法と比較して低い。一方、数値解析による手法は、簡便法と比較して陸上地形に応じた遡上等の海水の挙動を精度良く評価できる利点がある一方で、条件設定に専門的な知識を有すること、また解析に使用する入力データの作成や解析の実行に作業コストを要すること等の短所がある。

採用する手法については、当該区域の浸水特性や、浸水範囲及び浸水に伴い生じる被害額の算定及び対策規模の検討に求められる精度等を総合的に勘案し、選定するのが望ましい。

表 3-3 浸水想定手法の例（再掲）

手法		対象	概要	出典
簡便法	レベル 湛水法	護岸背後の浸水 範囲	護岸からの越波・越流量の総ボリュームと、背後地に湛水可能なボリュームの関係から背後地の浸水範囲・浸水深を算定する手法。	海岸事業の費用便益分析指針 ²⁷ など
	高山による 手法	岸壁背後の浸水 範囲	施設前面の換算沖波波高と水面上天端高の関係から岸壁法線上の浸水深を算定し、「岸壁天端高+岸壁法線上の浸水深」の水位が、岸壁法線上だけでなく背後地全体に広がるものとして浸水深を評価する簡便な手法。	沿岸防災技術研究所の活動について ²⁸
	波峰高を 用いた手法	同上	潮位（H.W.L.+潮位偏差）に岸壁前面波高の1/2を加えた高さ（波峰高）を高潮来襲時の水位とし、この水位以下の背後地は全て浸水するものと仮定して浸水範囲を算定する簡便な手法。	高潮早見図の利便性向上と浸水被害予測への活用について ²⁹
詳細法 （数値 解析手 法）	浸水遡上 計算	護岸・岸壁背後 の浸水範囲	越波・越流量を用いて、例えば護岸や岸壁法線を入力境界とした浸水遡上計算を行い、背後の浸水範囲を数値解析的に求める手法。	
	ブシネスク モデル	岸壁背後の浸水 範囲	港内波浪変形計算と同時に越流部からの遡上解析を行い、背後地の浸水深を算定する手法。越波の影響については未考慮であるため、潮位面が岸壁天端高を超えて背後地の浸水が生じることが想定されるケースについて適応可能。	ブシネスクモデルによる碎波・遡上計算法とその適用性 ³⁰

²⁷ 海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）（令和6年2月 一部変更）

²⁸ 沿岸防災技術研究所の活動について（平成29年度）、沿岸技術研究センター論文集 No. 18（2018）

²⁹ 高潮早見図の利便性向上と浸水被害予測への活用について（大阪湾港湾等における高潮に関する防災・減災の取り組み）、沿岸技術研究センター論文集 No. 21（2021）

³⁰ ブシネスクモデルによる碎波・遡上計算法とその適用性、海岸工学論文集、第51巻（2004）、土木学会、11-15

(1) 簡便法

1) レベル湛水法（護岸背後の浸水範囲の検討）

護岸からの越波・越流量の総ボリュームと、背後地に湛水可能なボリュームの関係から背後地の浸水範囲・浸水深を算定する手法である。護岸背後地をメッシュで分割して代表地盤高を設定し、総越波・総越流量がそのまま背後地に湛水すると仮定して、想定浸水区域（範囲）及びその深さを設定する簡便な手法である（手法の詳細は海岸事業の費用便益分析指針³¹を参照）。レベル湛水法による主な浸水範囲・浸水深の算定手順は以下の通りである。

- 手順①：護岸背後地をメッシュで区切るとともに、測量データや国土地理院による国土地理院による基盤地図情報（数値標高モデル³²）等を基に、各メッシュの標高値を設定する。
- 手順②：高潮継続時間及び継続時間に応じた波高・潮位の時系列変化を、図 3-5 及び図 3-6 に示す考え方にに基づき設定する。なお、特定の台風を対象とした数値解析により、継続時間及び波高・潮位の時系列変化が得られている場合には、数値解析結果をそのまま使用することもできる。
- 手順③：手順②で設定した高潮継続時間及び代表時間帯における波高・潮位に基づき、越波流量推定図等より、護岸からの単位幅・時間当たりの越波・越流量を算定する。
- 手順④：手順③で算定した単位幅・時間当たりの越波・越流量に、護岸延長及び高潮継続時間を乗じることで、当該護岸からの総越波・越流量を算定する。
- 手順⑤：手順④で算定した総越波・越流量がそのまま背後地の標高の低い箇所から湛水するものと仮定し、浸水範囲を設定する。ここで、背後地の水位面は、手順④で算定した総越波・越流量と背後地湛水量とが合致するように求める。背後地湛水量は以下により算定する。

$$\text{湛水量} = \sum \text{各メッシュの浸水深（水位面と各メッシュ標高の差分）} \\ \times \text{メッシュ面積}$$

なお、レベル湛水法では護岸の高さ以上には浸水しないことを想定しているため、天端高以上の地盤や、河川等の境界を越えた地域の浸水を考慮する必要はない。また、平坦な土地の場合は現実的に浸水が起こりうる範囲を適宜設定する。

³¹ 海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）（令和6年2月 一部変更）

³² 国土地理院 HP、https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html

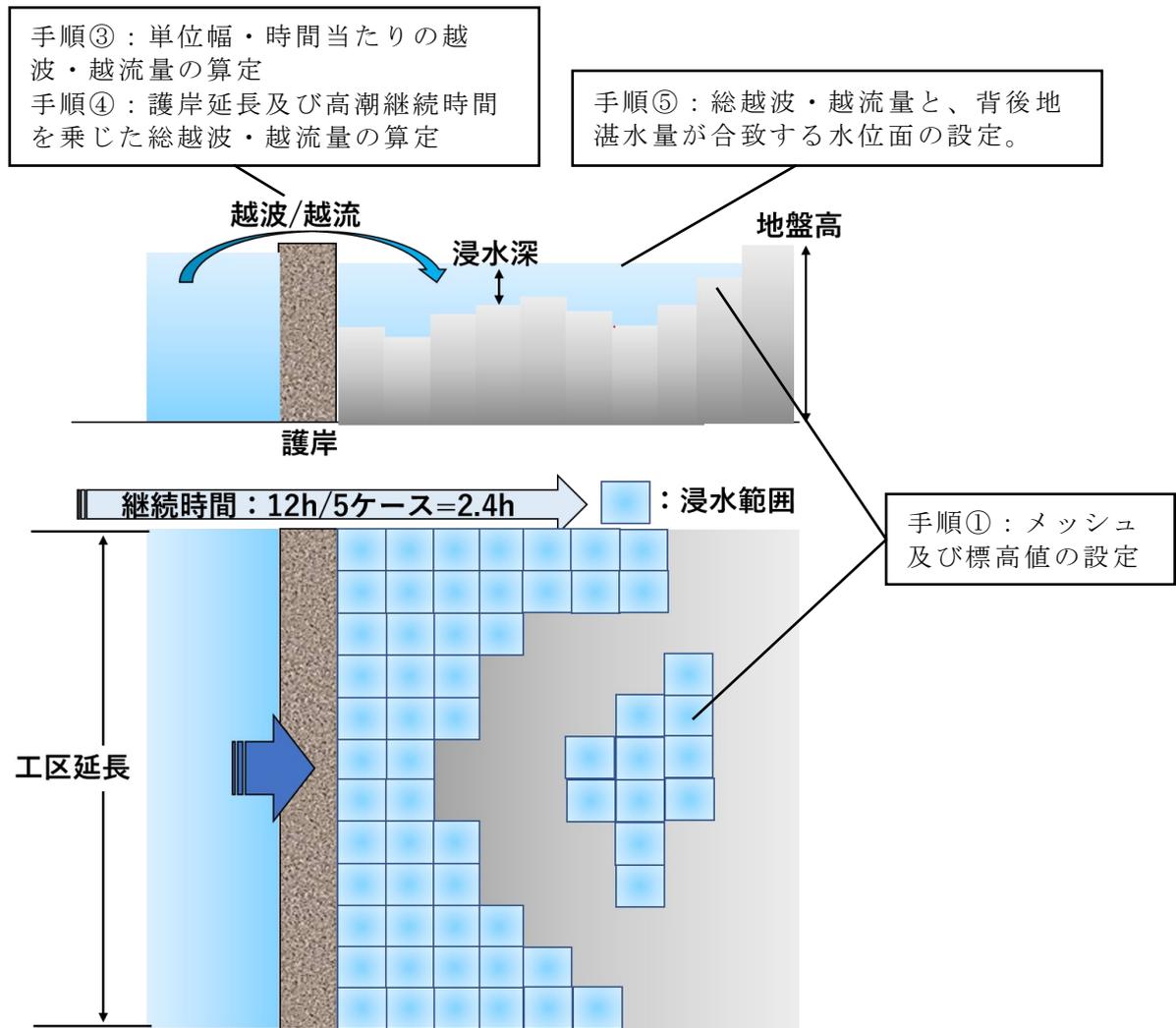


図 3-3 レベル湛水法のイメージ図

<時系列に関するモデル化の考え方>

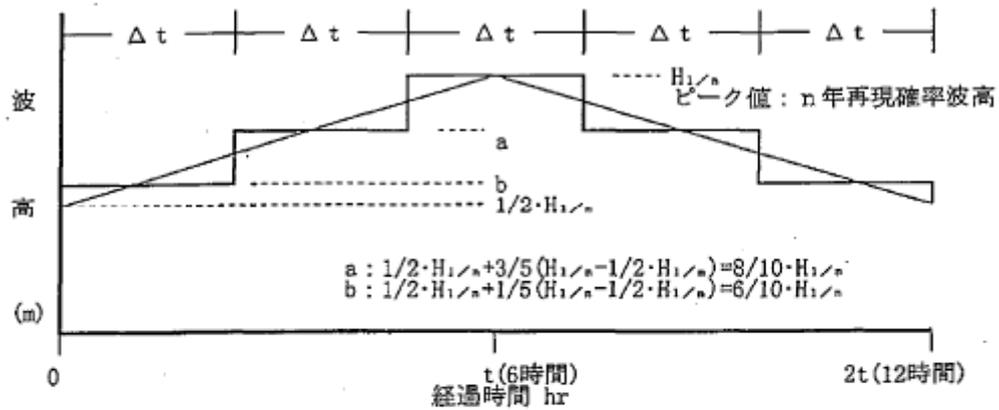
1. 閉鎖性の海岸
 閉鎖性の海岸(東京湾、伊勢湾、大阪湾岸、瀬戸内海等)は静水面を基本とした。
 6 時間後にピークに達し、12 時間で $1/2 \times H1/n$ に戻るという時系列経過のモデル化を行うこととする。

2. 外洋に面する海岸
 外洋に面する海岸については、12 時間後にピークに達し、24 時間で $1/2 \times H1/n$ に戻るという時系列経過のモデル化を行うこととする。
 階段状に近似した時間ステップ (Δt 、次頁図を参照) は、ピークに達するまでの時間を t として、もとに戻るまでの時間 $2t$ (12 時間または 24 時間) を 5 分割した時間 $2/5t$ を基本とするが、適宜適当な値を設定してもよい。

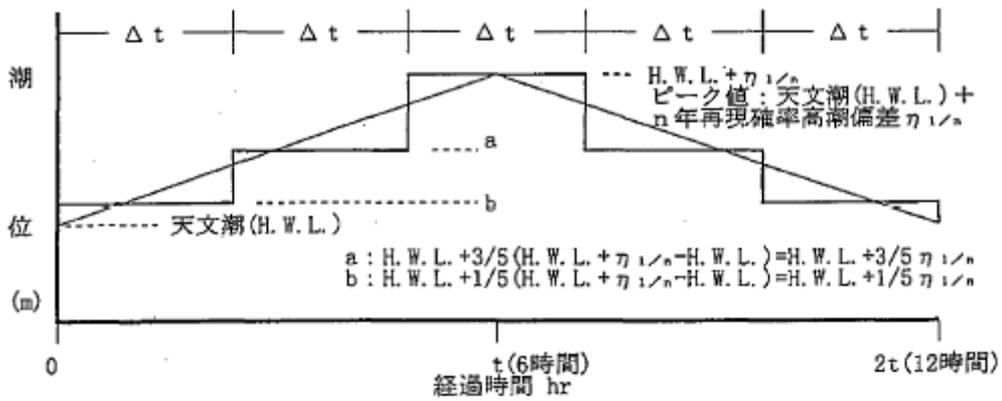
図 3-4 時系列に関するモデル化の考え方

出典：海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）（令和 6 年 2 月 一部変更）、P. 37

1. 閉鎖性の海岸の場合



図V-2 換算沖波波高の時系列経過のモデル化(閉鎖性の海岸の場合)



図V-3 潮位の時系列経過のモデル化(閉鎖性の海岸の場合)

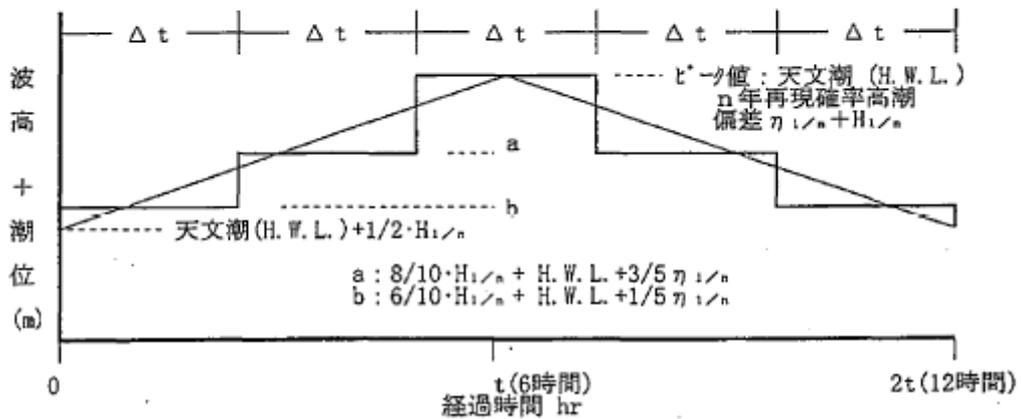
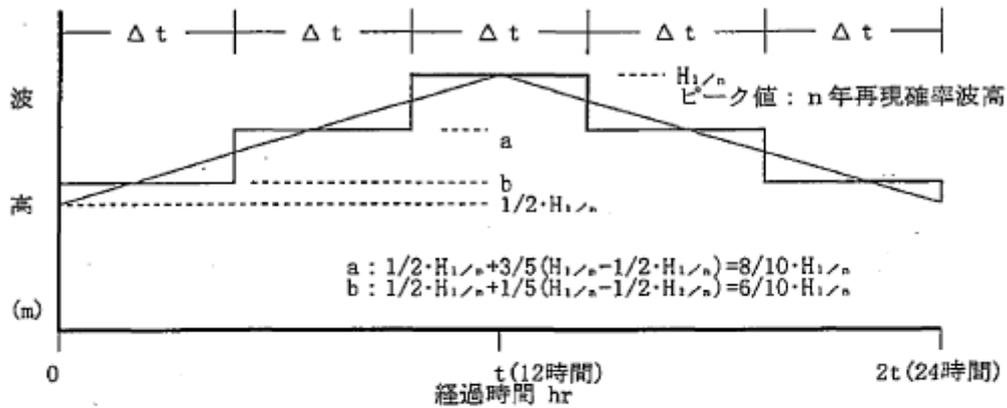


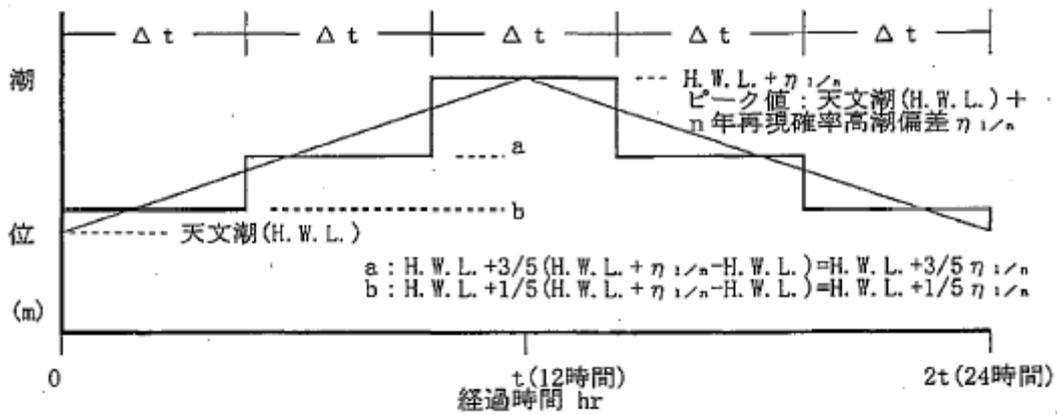
図 3-5 波高と潮位を重ね合わせた時系列経過のモデル化(閉鎖性の海岸の場合)

出典: 海岸事業の費用便益分析指針 (改訂版) (令和6年2月 一部変更)、P. 38

2. 外洋に面する海岸の場合



図V-5 換算沖波波高の時系列経過のモデル化(外洋に面する海岸の場合)



図V-6 潮位の時系列経過のモデル化(外洋に面する海岸の場合)

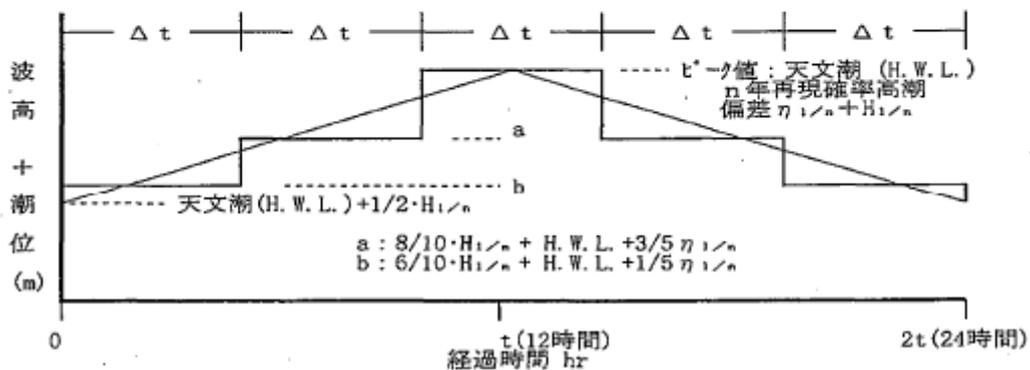


図 3-6 波高と潮位を重ね合わせた時系列経過のモデル化(外洋に面する海岸の場合)

出典：海岸事業の費用便益分析指針（改訂版）（令和6年2月 一部変更）、P. 39

2) 高山による手法³³ (岸壁背後の浸水範囲の検討)

岸壁上の浸水深は、例えば、図 3-7 に示す高山の手法により算定することができる。同手法は、岸壁を超えて打ち込んでくる波による越波流量 q_{in} と、波面が岸壁天端より下がった時に陸側から流れ出してくる排水流量 q_{out} とが等しくなった時の岸壁法線上の浸水深を算定し、「岸壁天端高+岸壁法線上の浸水深」の水位が、岸壁法線上だけでなく背後地全体に広がるものと仮定して浸水深を評価する簡便な手法である。

ここで、 q_{in} 及び q_{out} はそれぞれ以下より求められる。

q_{in} : 越波流量推定図等より算定

$q_{out} : \frac{2}{3}C_d\sqrt{2gd^3}$ (越流公式から設定)

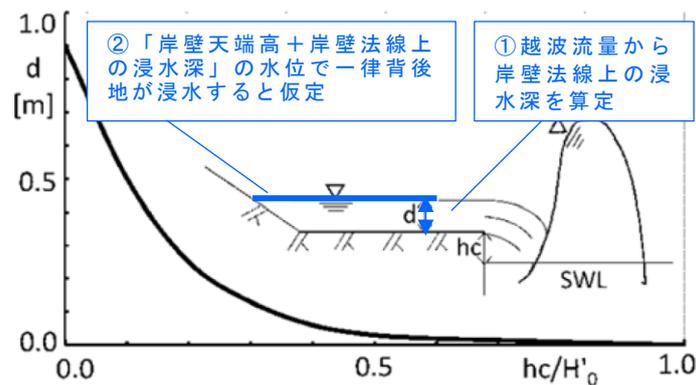
C_d : 補正係数 (原論文中では 1.0 を採用)

g : 重力加速度

d : 岸壁法線上の浸水深

なお、流出流量 q_{out} は波の峯がある時には流れ出ることが出来ないことを考慮すると、単位時間当たりの流出流量は上式の半分 ($\frac{1}{3}C_d\sqrt{2gd^3}$) となる。浸水範囲の評価に必要なのは $q_{in} = q_{out}$ となる時の岸壁法線上の浸水深 d であり、上記の関係式より以下の通り算定される。

$$d = \left(\frac{1}{2g} \left(\frac{3q_{in}}{C_d} \right)^2 \right)^{1/3}$$



出典：「沿岸技術研究センター論文集 No.18 (2018)」に加筆

図 3-7 高山 (2018) の手法による岸壁上の浸水深の検討概念図

³³ 沿岸防災技術研究所の活動について (平成 29 年度)、沿岸技術研究センター論文集 No.18 (2018)

3) 波峰高を用いた手法³⁴ (岸壁背後の浸水範囲の検討)

潮位 (H.W.L.+潮位偏差) に岸壁前面波高の 1/2 を加えた高さ (波峰高) を高潮来襲時の水位とし、この水位以下の背後地は全て浸水するものと仮定して浸水範囲を算定する簡便な手法である。岸壁前面の波高については、「3-1 波浪変形計算手法」で示した波浪変形計算手法等により算定する。

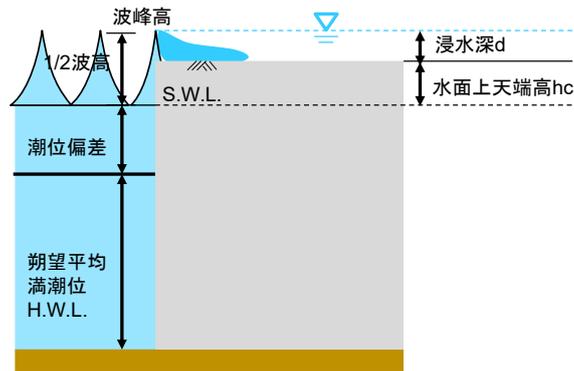


図 3-8 波峰高を用いた岸壁上の浸水深の検討概念図

³⁴ 高潮早見図の利便性向上と浸水被害予測への活用について (大阪湾港湾等における高潮に関する防災・減災の取り組み)、沿岸技術研究センター論文集 No. 21(2021)

第4章 海外における気候変動対応事例

海外における気候変動への対応事例等を以下に紹介する。

4-1 各国で想定される気候変動シナリオ

PIANC による「EnviCom WG Report」では、世界の代表的な港湾で想定されている気候変動シナリオ及び気候パラメータが港湾施設に与える影響について、表 4-1 及び図 4-1 のように紹介している。

表 4-1 世界の代表的な港湾で想定されている気候変動シナリオの例

港	項目	想定するシナリオ（外力）
ロンドン	気温	2080 年代までに平均+3～4℃
	海面水位	2100 年までに+0.2～0.9m（最大+2.7m）
	降雨量	2080 年代までに冬期+10～20% 夏季-20～30%
	霧	2080 年代までに+20%アップ（冬季の頻度）
コロンビア	気温	2050 年代までに+1.2～2.2℃、2080 年代までに+1.7～3.7℃ （ダウンスケールモデルでは 2050 年代までに+6℃）
	海面水位	2100 年までに+0.5m（観測データによる予測） 上位シナリオでは 2100 年までに+1.3m
	降雨量	0.6%/年で降雨日が増加（観測データによる予測）
	風	2020 年代までに+0.2m/s、2050 年代までに+0.5m/s 3～10m/s の風速の発生頻度上昇
ロングビーチ （アメリカ）	気温	2050 年までに+0.6～6.4°F（+0.33～3.56℃）、2100 年までに +4.1～8.6°F（+2.28～4.78℃） 2050 年までに 95°F（35℃）以上の日の頻度が 2～3 倍
	海面水位	2050 年までに+0.13～0.61m、2100 年までに+0.43～1.68m
	降雨量	2050 年までに総降雨量-9%、日降雨量-13% 2100 年までにハリケーンによる降雨量+10～25% 2100 年までに 20 年確率ハリケーンが 4～15 年確率に変化
	酸性化	2050 年までに-0.5pH
ベルギー	気温	2100 年までに+3.7～7.2℃、年間 2～9 回の熱波
	海面水位	2100 年までに+0.6m、最大+2.0m
	波浪	1m の海面上昇量に対して波高+4.0m
	降雨量	冬期：2030 年までに+3%、2100 年までに+12% 夏季：2030 年までに-4%、2100 年までに-15%

出典：第 6 回 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

【資料 2】 P. 13



図 4-1 気候パラメータと港湾施設への影響

出典：第 6 回 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

【資料 2】 P. 13

同レポートでは「安全性」、「経済効果」、「地域社会への影響」、「持続可能性」の観点から、気候変動による影響度合いを判断する指標を紹介するとともに、指標に基づき港湾資産に対する気候変動適応策の適応性について整理方法を例示している。また、気候変動に対する適応計画の検討手順を 4 つのステージに分類して示している。

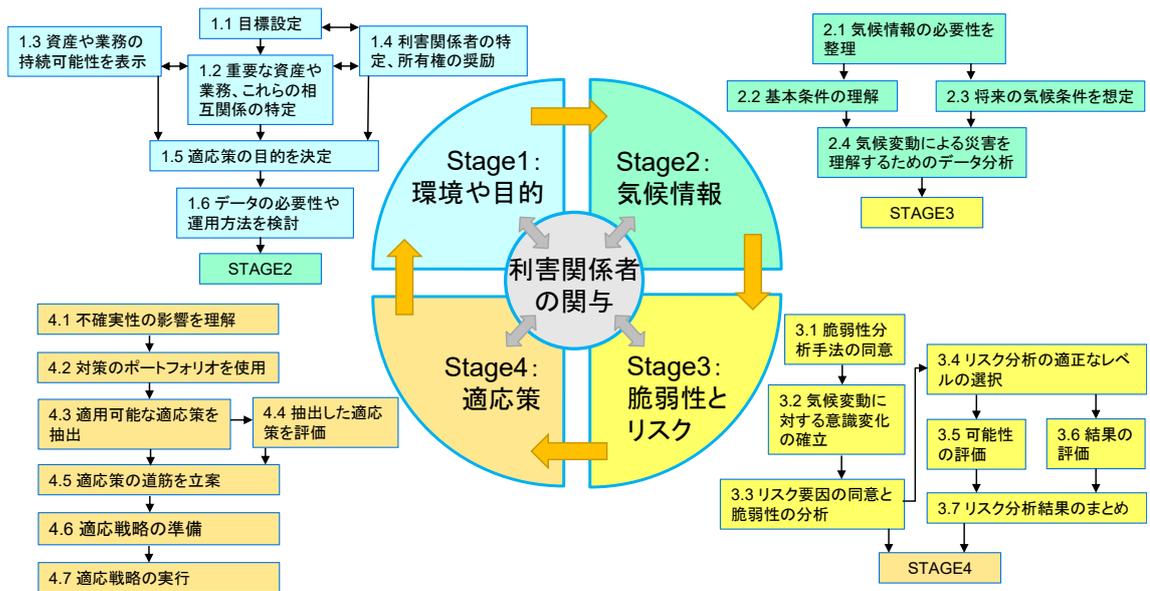


図 4-2 気候変動に対する適応計画の検討手順

出典：第 6 回 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

【資料 2】 P. 15

4-2 ニューヨーク市における事例

ニューヨーク市では、以下に示す気候変動適応策のガイドラインを公表している。同ガイドラインでは、社会資本の耐用年数の経過時に予測される気候条件に耐えるように施設を設計することとしている。



図 4-3 ニューヨーク市における気候変動適応策のガイドライン

(左:表紙 右:将来の氾濫原における施設の基本洪水高度と設計氾濫原の設定方法)

出典: 第2回 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

【資料2】 P.20

C. Useful Life of Capital Projects

A resilient facility is one built to withstand, or recover quickly from, natural hazards, as well as to perform to its design standard throughout its useful life in a changing climate. To meet this goal, facilities should be designed to withstand climate conditions projected for the end of the facility’s useful life. Full useful life represents the extended service life of a facility (assuming regular maintenance). Some new facilities built today, including some buildings, may have an extended useful life beyond the values listed after undergoing substantial improvements. Therefore, this list is illustrative and not exhaustive. Project teams should utilize professional judgment to determine the useful lives of the facility and components in design.

Climate change projections for NYC, as defined by the NPCC, are broken into decadal projections. In the Guidelines, the following decadal projections are associated with specific time spans:

- 2020s projection = present to 2039
- 2050s projection = 2040 to 2059
- 2080s projection = 2070 to 2099
- 2100 projection = end of century and beyond

Table 1 below provides examples of how to select climate change projections for specific facilities and components.

Table 1 – Facilities and components and associated climate change projections	
Climate change projections (time period covered)	Examples of building, infrastructure, landscape, and components grouped by typical useful life
2020s (through to 2039)	<ul style="list-style-type: none"> • Interim and deployable flood protection measures • Asphalt pavement, pavers, and other ROW finishings • Green infrastructure • Street furniture • Temporary building structures • Storage facilities • Developing technology components (e.g., telecommunications equipment, batteries, solar photovoltaics, fuel cells) <p><i>Temporary or rapidly replaced components and finishings</i></p>
2050s (2040-2069)	<ul style="list-style-type: none"> • Electrical, HVAC, and mechanical components • Most building retrofits (substantial improvements) • Concrete paving • Infrastructural mechanical components (e.g., compressors, lifts, pumps) • Outdoor recreational facilities • At-site energy equipment (e.g., fuel tanks, conduit, emergency generators) • Stormwater detention systems <p><i>Facility improvements, and components on a regular replacement cycle</i></p>
2080s (2070-2099)	<ul style="list-style-type: none"> • Most buildings (e.g., public office, residential) • Piers, wharfs, and bulkheads • Plazas • Retaining walls • Culverts • On-site energy generation/co-generation plants <p><i>Long-lived buildings and infrastructure</i></p> <p style="color: red;">港湾施設</p>
2100+	<ul style="list-style-type: none"> • Major infrastructure (e.g., tunnels, bridges, wastewater treatment plants) • Monumental buildings • Road reconstruction • Subgrade sewer infrastructure (e.g., sewers, catch basins, outfalls) <p><i>Assets that cannot be relocated</i></p>

図 4-4 気候変動対応方針の例

出典：第 2 回 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

【資料 2】 P. 21

4-3 ロサンゼルス港における事例

ロサンゼルス港は NRC (National Research Council) の 2030 年、2050 年、2100 年における海面上昇量の予測値を対象に、気候変動に対する適応策を検討している。また、複数シナリオの海面上昇量に対する浸水予測結果を踏まえ、脆弱性評価の検討フローに基づいた港湾施設の評価を実施している。

表 4-4 2000 年に対する平均海面水位上昇量の予測値

年	海面上昇量
2030	5.8in ± 2.0in (14.7cm ± 5.1cm)
2050	11.2in ± 3.5in (28.4cm ± 8.9cm)
2100	36.7in ± 9.8in (93.2cm ± 24.9cm)

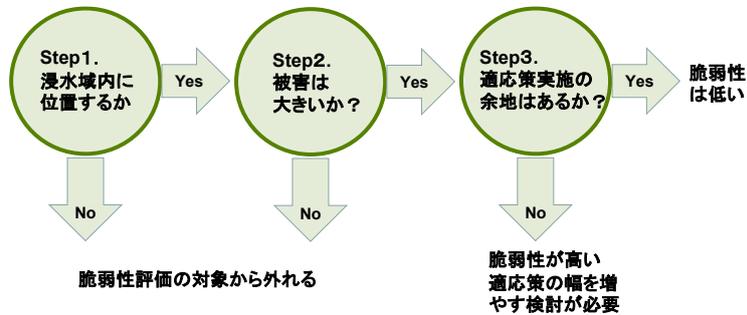


図 4-5 脆弱性評価の検討フロー

出典：第 6 回 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

【資料 2】 P. 16

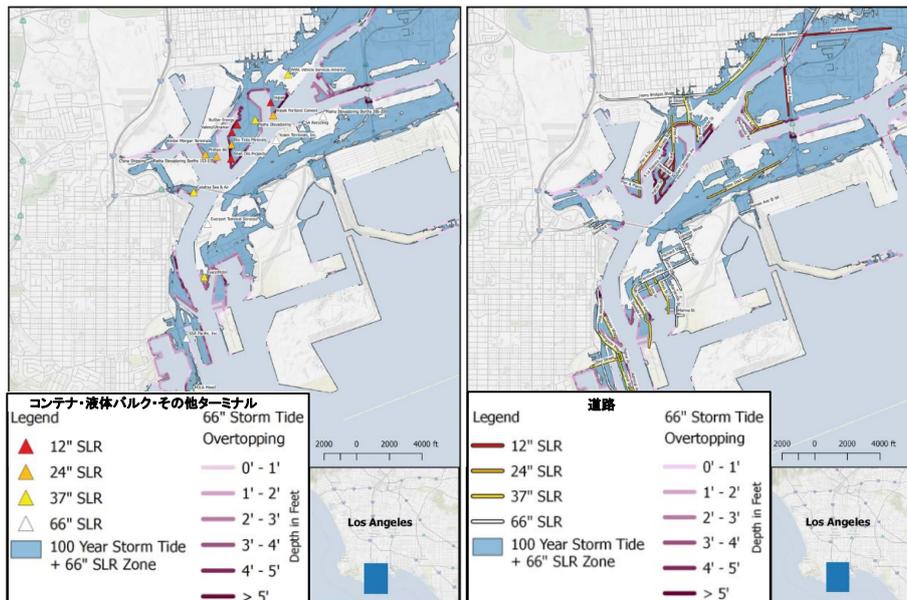


図 4-6 浸水域内の資産の例 (左: コンテナ・液体バルク等、右: 道路)

出典：第 6 回 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

【資料 2】 P. 16

前述した脆弱性評価を踏まえ、関係者とのワークショップを開催しながら、海面上昇量のシナリオ毎に適応策を整理し、各適応策の実施計画を「Immediate（5年以内）」「Soon（2030年まで）」「Future（2030年以降）」の3パターンで分類している。

表 4-5 海面上昇に対する基本計画の例

対象シナリオ	適応策	時間枠
全シナリオ	海面上昇の影響に関する適応策を検討 1.港湾マスタープラン 2.エンジニアリング設計ガイドライン(2009年) 3.LAウォーターフロントデザインガイドライン(2011年)	Immediate
94cmの海面上昇	脆弱性ゾーンマップを作成 最も可能性が高い予測である37インチの海面上昇量シナリオに基づくマップの作成を推奨	Immediate
全シナリオ	港湾計画・設計の手順書に海面上昇の可能性の影響と適応戦略に関する内容を記載	Immediate
全シナリオ	パンフレット作成・配布など、海面上昇に関する周知を実施	Immediate
全シナリオ	5年毎に海面上昇量に関する科学的知見を確認し、必要に応じて脆弱性評価を見直す	Immediate

表 4-6 海面上昇に対する地域連携の例

対象シナリオ	適応策	時間枠
全シナリオ	個別に気候変動に関する研究を実施しているPOLB、ロサンゼルス市、ロングビーチ市が協力し、情報交換や費用分担を実施	Immediate
全シナリオ	地域連携—太平洋気候変動作業部会への参加。	Immediate
全シナリオ	CAPA(カリフォルニア州港湾局協会)の海面上昇グループに参加	Immediate
全シナリオ	海面上昇に対する適応策に関するワーキンググループを立ち上げ	Immediate
全シナリオ	海面上昇に対する天然資源・生息地(湿地など)の防護・適応戦略を策定	Immediate

Immediate	: 5年以内
Soon	: 2030年まで
Future	: 2030年以降

各表の出典：第6回 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

【資料2】 P.17

表 4-7 ふ頭の気候変動適応策の例

対象シナリオ	適応策	時間枠
30cmの海面上昇 +高潮	約91cmの浸水からバルクターミナルを防護するように防潮壁を整備(延長約152m)	Immediate
94cmの海面上昇 +高潮	防潮壁を約61cm嵩上げ(延長約152m)	Future

表 4-8 重要施設の気候変動適応策の例

対象シナリオ	適応策	時間枠
61cmの海面上昇 +高潮	電気設備を約2.7m嵩上げ	Soon
94cmの海面上昇 +高潮	約2.7mの嵩上げで約0.9mの浸水	Future

表 4-9 輸送・交通の気候変動適応策の例

対象シナリオ	適応策	時間枠
30cmの海面上昇 +高潮	Water St.を約0.9m嵩上げ(延長約52m) Nissan St.を約0.9m嵩上げ(延長約69m) Yacht St.を約0.9m嵩上げ(延長約299m) ⇒消防署へのアクセスを確保	Immediate
61cmの海面上昇 +高潮	Water St.を嵩上げ(延長約511m増大) Nissan St.を嵩上げ(延長約62m増大) Yacht St.を嵩上げ(延長約11m増大)	Soon
94cmの海面上昇 +高潮	Nissan St.を嵩上げ(延長約56m増大) Yacht St.を嵩上げ(延長約11m増大)	Future

Immediate	:5年以内
Soon	:2030年まで
Future	:2030年以降

各表の出典：第6回 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

【資料2】 P.17