

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

国土交通省 港湾局

目次

1. 概要.....	1
1.1. 本事例集の位置付け	1
2. 気候変動に対応した港湾の施設の性能照査	2
2.1. 気候変動に対応した港湾の施設の性能照査の流れ	2
2.2. 性能照査に用いる将来シナリオの設定	3
2.3. 性能照査に用いる作用の設定	4
2.3.1. 作用の考え方	4
2.3.2. 将来の作用を設定するための期間	6
2.3.3. 基準年設定の考え方	10
2.4. 気候変動を考慮した性能照査	13
2.4.1. 気候変動適応策の設定	13
2.4.2. 性能照査における作用の組み合わせ	15
2.5. 気候変動を考慮した設計事例	19
2.5.1. 防波堤（消波ブロック被覆堤）【新設】	19
2.5.1.1. 対象断面	19
2.5.1.2. 適応策	19
2.5.1.3. 将来作用の設定例	21
2.5.1.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例	30
2.5.1.5. 性能照査	31
2.5.2. 防波堤（ケーソン式混成堤）【既設】	33
2.5.2.1. 対象断面	33
2.5.2.2. 適応策	33
2.5.2.3. 将来作用の設定例	35
2.5.2.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例	38
2.5.2.5. 性能照査	39
2.5.3. 岸壁（重力式）【新設】	41
2.5.3.1. 対象断面	41
2.5.3.2. 適応策	41
2.5.3.3. 将来作用の設定例	43
2.5.3.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例	47
2.5.3.5. 性能照査	48
2.5.4. 岸壁（矢板式）【新設】	50
2.5.4.1. 対象断面	50
2.5.4.2. 適応策	50
2.5.4.3. 将来作用の設定例	52
2.5.4.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例	55

2.5.4.5. 性能照査.....	57
2.5.5. 護岸（重力式）【既設】	59
2.5.5.1. 対象断面.....	59
2.5.5.2. 適応策.....	59
2.5.5.3. 将来作用の設定例	61
2.5.5.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例.....	66
2.5.5.5. 地殻変動量	68
2.5.5.6. 性能照査.....	69
2.6. 参考資料.....	72
2.6.1. 性能照査に用いる水位等の設定	72
2.6.1.1. 照査用震度及び液状化判定について	72
2.6.1.2. 係留施設の照査に用いる残留水位について	73
2.6.2. 性能照査に用いる将来シナリオ	76
2.6.3. 気候変動適応策に関する有用な設計技術（公表論文）の紹介	77
2.6.4. 常時の地殻変動を考慮する方法について	79
2.6.5. 止水壁の設計事例.....	82
2.6.5.1. 設計波圧等について.....	83
2.6.5.2. 止水壁の構造形式	84
2.6.5.3. その他参考情報.....	85
2.6.6. 防波堤の嵩上げに対する気候変動影響評価の方法	87
2.7. 参考文献.....	90

1. 概要

1.1. 本事例集の位置付け

本事例集は、気候変動に対応した港湾の施設を対象に設計を行う際に、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（令和6年4月部分改訂）」に付加的に考慮すべき点も踏まえ、設計実務の参考資料として設計事例集をとりまとめたものである。

（解説）

（1）「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」（令和2年8月交通政策審議会答申）を受け、「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」において「港湾における気候変動適応策の実装方針（令和6年3月）」^{※4}がとりまとめられた。これを踏まえ、令和6年4月に「港湾の施設の技術上の基準及び同解説」^{※1}（以下、港湾基準という）が改訂された。今後、港湾の施設の性能照査に用いる作用（外力）には、気候変動に伴う作用の時間変化を適切に考慮する必要がある。

（2）気候変動に対応した港湾の施設の設計実務の参考資料として、「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」^{※2}（以下、国総研資料 No.1281 という。）において、モデル防波堤を対象とする設計事例が公表されている。本事例集では、代表的な港湾の施設である、防波堤、岸壁及び護岸を対象に、気候変動の影響を考慮して設計する場合の主に設計条件の設定例を事例とともに整理している。なお、本事例集に記載なき事項は、港湾基準^{※1}及び国総研資料 No.1281^{※2}を参照されたい。

（3）今後の技術開発の推進

本事例集は、令和6年4月の技術基準の部分改訂を踏まえてとりまとめたものである。ただし、気候変動に対応した港湾の施設の設計に関しては、今後も継続して技術的検討を進めていく必要がある。そのため、気候変動を勘案した設計に係る調査研究や技術開発を推進するとともに、それらの成果について、本事例集に反映していくこととする。

2. 気候変動に対応した港湾の施設の性能照査

2.1. 気候変動に対応した港湾の施設の性能照査の流れ

気候変動に対応した港湾の施設の性能照査の流れは、従来の設計と基本的には同じである。但し、設計条件を決定する際や、断面諸元を仮定する作業において、気候変動の影響を勘案した諸条件を考慮する必要がある。

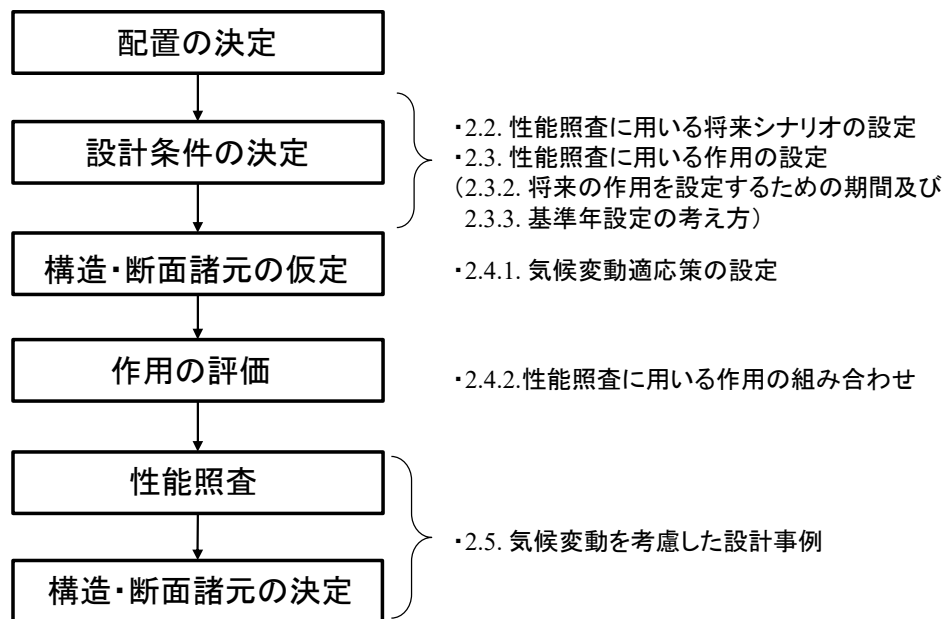


図 2-1 気候変動に対応した港湾の施設の安定性に基づく構造・断面の検討フロー

2.2. 性能照査に用いる将来シナリオの設定

気候変動の影響を勘案した港湾基準対象施設の設計に用いる作用は、「港湾における気候変動適応策の実装方針（令和6年3月）」より、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。このとき、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。なお、協働防護の観点から、海岸保全基本計画や各港湾の施設配置、港湾利用への影響等を考慮して設定すること、また、気候変動シナリオや将来予測等については、今後の更新が予測されることに留意すること。

（解説）

（1）気候変動の影響を勘案して設計を行う施設では、設計供用期間中にわたり作用の時間変化も勘案して要求性能を確保する必要がある。

気候変動による作用（外力）の将来予測には、将来の温室効果ガスの排出量に応じた温暖化シナリオや予測モデル毎の不確実性を有しており、この不確実性に伴う予測幅が潜在的に存在するため、将来の作用が上振れまたは下振れする可能性がある。この上振れリスクまたは下振れリスクに対応した施設の設計を行うためには、設計者が作用の予測幅を踏まえて将来シナリオを設定する必要がある。

（2）本事例集で考慮する将来シナリオは、「変化する気候下で海洋・氷雪圏に関するIPCC特別報告書」における気候変動予測のうち、RCP2.6シナリオ（おおむねパリ協定の2℃目標が達成されるシナリオ）を前提としている。また、「港湾における気候変動適応策の実装方針」も参考に、2℃以上の平均気温の上昇も否定出来ないことから、作用には将来予測の上振れリスクを考慮して設定している。^{※3,4}

（3）なお、今後、設計を行う港湾に関連して、気候変動を勘案した海岸保全基本計画や協働防護計画^{※4}が策定される場合には、それら計画との整合性も踏まえて将来シナリオを設定することが望ましい。但し、今後、将来シナリオや将来の予測値を定めるための手法やデータ等は更新されることも想定されるため、施設の整備状況等も踏まえて適宜見直すことが望ましい。

2.3. 性能照査に用いる作用の設定

2.3.1. 作用の考え方

気候変動を考慮した施設の性能照査では、気候変動による時間変化を勘案した作用を用いて、設計供用期間末までの性能が保持されることを照査する必要がある。この時、将来の気候状態を想定した作用よりも、現在の気候状態における作用の方が、施設の安定性には危険となる場合がある。このため、現在及び将来の気候状態の作用を考慮する必要がある。

(解説)

(1) 気候変動を考慮した性能照査に用いる作用には、現在及び将来の気候状態を勘案して設定する必要がある。本事例集では、作用を設定するための条件等について以下のよう

- ① **設計年**：港湾施設の設計（基本設計等）を実施する年
- ② **基準年**：設計年において、性能照査に用いる設計潮位や設計沖波及び潮位偏差等の作用を定める際に基準とする年。基準年は、現在の作用を設定する際に用いた観測値や推算値のデータの期間から設定する。【設定方法は、2.3.3 基準年設定の考え方参照】
- ③ **現在の作用**：気候変動による時間変化を考慮しない現在の気候状態を想定して設定する作用。現在の作用は、性能照査のみならず工事の積算や施工時にも用いる値となる（H.W.L.等）。工事の施工期間は長く、現在の作用に時間変化を考慮すると施工等にも影響する。このため、現在の作用には時間的变化は考慮せずに、その値を見直すまで変化しない作用としている。このため、施工時の検討等に用いられる10年確率波等には将来変化は考慮しないものとしている。
- ④ **将来の作用を設定するための期間末**：施設の要求性能を満足し続ける期間として設計供用期間末を設定する必要がある。但し、将来の作用を設定するための期間を設定するには、設計や施工等に要する期間を考慮する必要があるが、設計時に工事着手時期や施工期間を正確に定めることは難しい。一方、年間の作用の変化量は小さい事を勘案し、本事例集では、将来の作用を定めるための供用期間末の年を21世紀末としている。なお、ここでいう期間は、あくまで将来の作用を定めるために設定する期間であり、設計や維持管理等で定める設計供用期間とは異なることに留意する。【設定方法は2.3.3 基準年設定の考え方 参照】
- ⑤ **将来の作用**：気候変動による時間変化を考慮して設定する作用。
現在の作用に、基準年から将来の作用を設定するための期間末までの気候変動に伴う作用の時間的变化量（または、変化倍率）を考慮して設定する予測値。

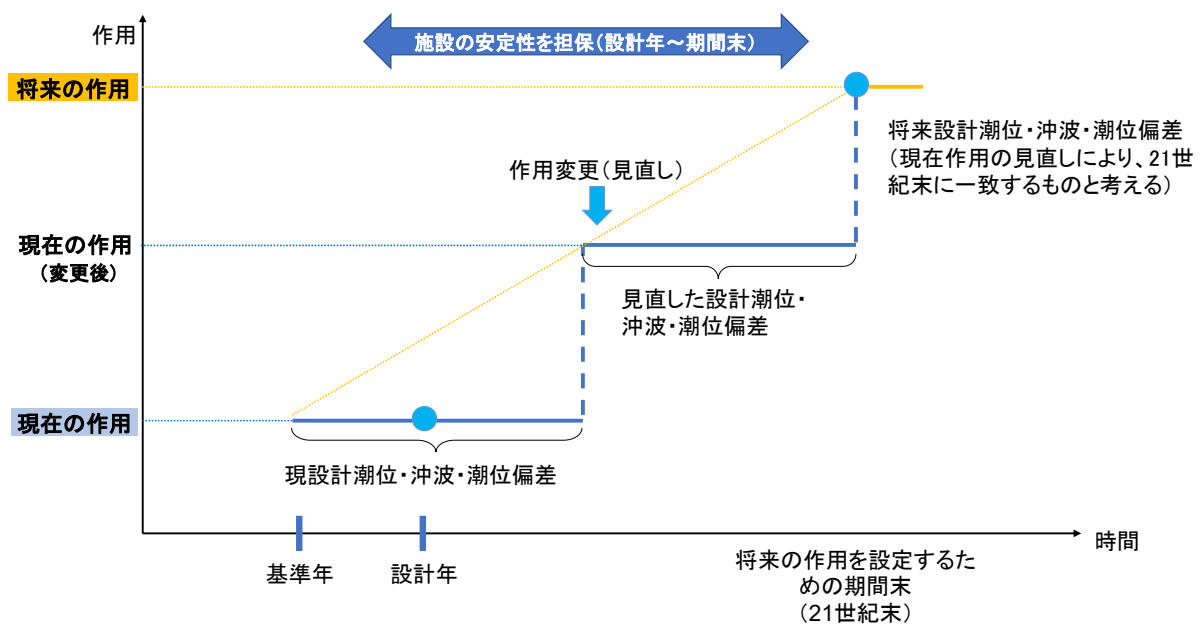


図 2-2 気候変動を考慮した性能照査に用いる作用の考え方

2.3.2. 将来の作用を設定するための期間

将来の作用（潮位、沖波、潮位偏差）を決定するためには、20世紀末から21世紀末までの作用の時間的変化量（あるいは変化倍率）を求める必要がある。この時、現在及び将来の気候状態となる20世紀末及び21世紀末の年は、将来の予測値の解析等に用いられたデータの期間から設定する。

（解説）

（1）将来の作用を設定するための期間は、設計供用期間とすることが標準である。設計段階で設計や施工に要する期間、工事着手時期を定めることは難しい場合があるので、本事例集では、現在から将来までの作用の時間的変化量（または、変化倍率）を算出するための期間を以下の方法により設定する方法を示している。

なお、本事例集の設計事例における作用の将来変化は、国総研資料 No.1281 を参考に、中位シナリオは平均値、上位シナリオで、潮位は平均海面水位上昇量の将来予測の95%信頼区間の上限値、沖波及び潮位偏差は将来変化比の90%tile 値を採用している。

（2）将来の作用（潮位）を求める際の20世紀末から21世紀末までの作用の時間的変化量は「日本の気候変動2020」^{※3}（以下、気候変動2020という）に基づく平均海面水位上昇量の予測値を用いている。この時、予測値の設定に用いられたデータの解析期間を勘案し、図2-4に示すように20世紀末を1995年（1986年～2005年の中間年）、21世紀末（将来の作用を設定するための期間末）を2090年（2081年～2100年の中間年）と設定することが出来る。

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

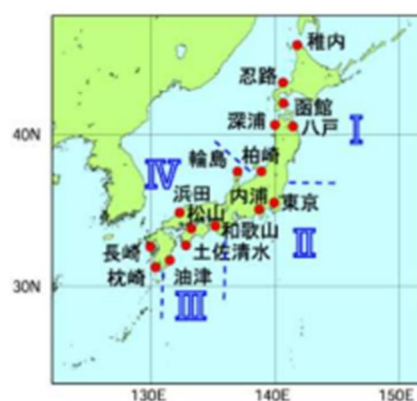


図 2-3 海面水位上昇量予測における海域区分（日本の気候変動 2020（詳細版）P151）

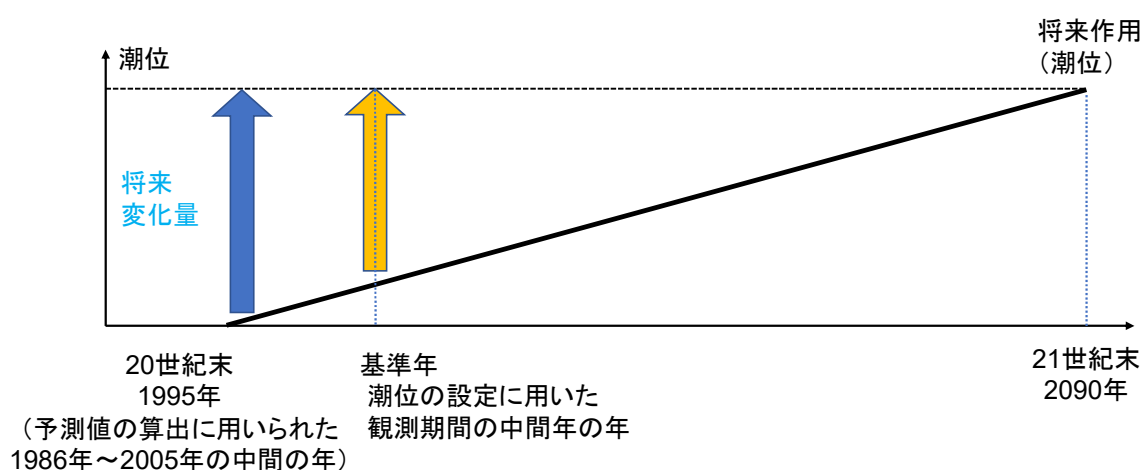


図 2-4 基準年及び将来の作用を設定するための期間の設定方法（潮位）

(3) 将来の作用（沖波及び潮位偏差）を求めるため、20 世紀末から 21 世紀末までの作用の変化倍率を、「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」（以下、国総研資料 No.1302^{※5} という。）に示される将来変化比（表 2-1）を用いて設定する。

この時、将来の変化倍率の解析に用いられたデータベース d4PDF（database for Policy Decision making for Future climate change）の過去実験の解析期間^{※5}を踏まえて、図 2-5 に示すように、20 世紀末を 1980 年（1951 年～2010 年の中間年）と設定する。なお、2℃上昇シナリオにおける沖波及び潮位偏差の将来予測は 2040 年以降一定になると予想されるため^{※5} 2040 年までの変化により設定する。

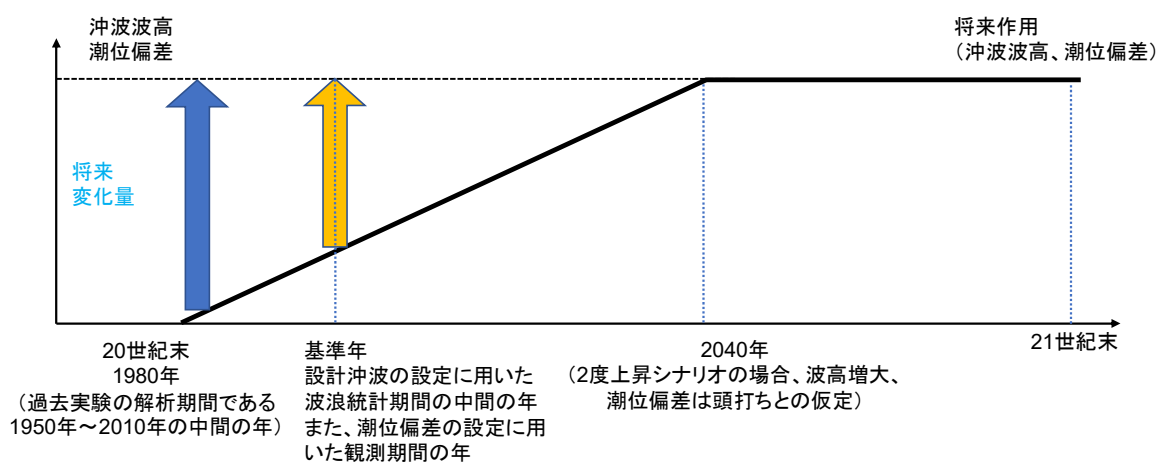


図 2-5 基準年及び将来の作用を設定するための期間末の設定方法
(沖波、潮位偏差)

表 2-1 海域毎の将来変化比の代表値（国総研資料 No.1302 より抜粋）

海域	潮位偏差(100年確率)			波高(50年確率)			波高(30年確率)			対象港湾
	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
九州北川	1.07	1.03	1.11	1.06	1.01	1.11	1.06	1.01	1.11	飯原港・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

【海域毎の将来変化比を用いる際の留意点】

- ・「港湾における気候変動適応策の実装方針（令和6年3月）」に記載の将来変化比は暫定値であり、性能照査に用いる将来変化比は本表を用いることとする。
- ・対象港湾に記載がない地方港湾等の将来変化比は、推算値のバラツキ等を勘案し、表 2-1 に該当する海域別の将来変化比（海域平均）を用いることを基本とする。
- ・将来変化比が 1.0 以下の値となっている場合は 1.0 とする。
- ・設計に用いる高潮偏差（H.H.W.L）の再現期間を把握していない場合、将来変化比は再現期間 100 年の評価年を参考とすることが出来る。

2.3.3. 基準年設定の考え方

将来の作用（潮位、沖波、潮位偏差）を定めるためには、設計に用いる現在の作用の設定の際に用いる観測値等のデータの分析期間に応じて基準年を設定する必要がある。

（解説）

（１）将来の作用（潮位、沖波、潮位偏差）を定めるためには、現在の作用の設定に用いる観測値等のデータの分析期間に応じて基準年を作用毎に設定する。分析期間は港湾基準 p.108^{*1} より、潮位では１年以上の実測値から設定する場合、潮位の設定で考慮する高潮は、30 年以上の実測値、既往最大級以上の台風や低気圧による高潮の推算値、既往の災害時の記録等をもとに気象の状況及び将来の見通しを勘案して設定する場合がある。また、沖波は港湾基準 p.122^{*1} より、30 年以上の複数年の実測値、推算値を用いて設定する場合等がある。

（２）本事例集では、基準年を設定する手法として４つのパターンを整理している。基準年を設定する際には図 2-6 の手順を参考にすることが出来る。

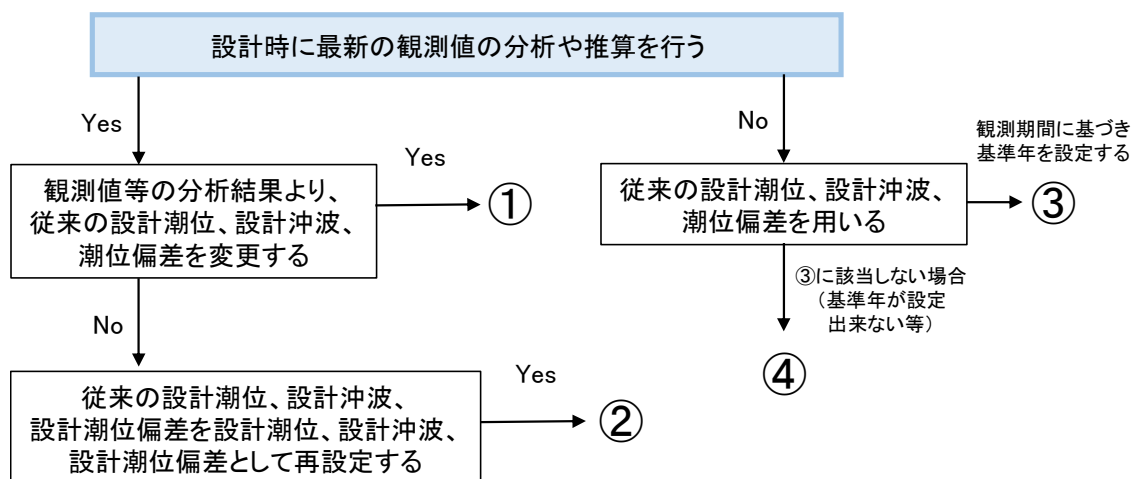


図 2-6 将来作用算定のための基準年設定フロー

表 2-2 将来作用算定のための基準年の設定方法

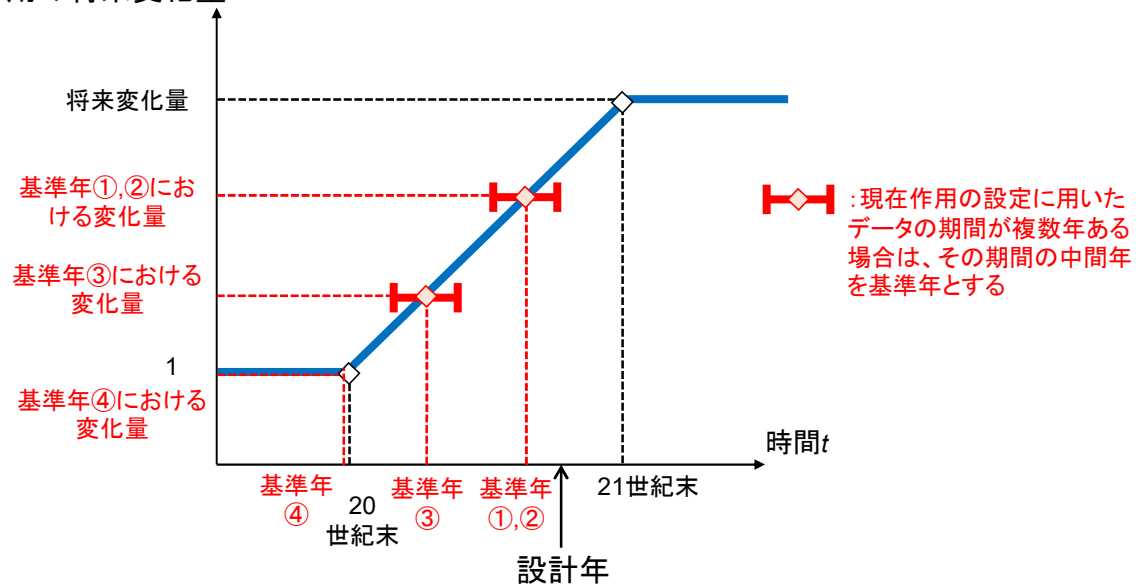
基準年①：	<u>＜観測値等の分析結果を踏まえて、新たに作用外力を設定する場合＞</u> 現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、最新の観測値や推算値等の分析※1を行い、新たに現在の作用を設定する場合（ex.設計時に設計沖波や設計潮位を見直す場合）。この時、新たに現在の作用を設定した年、あるいは、設定に用いたデータの期間が複数年ある場合は、その期間の中間年を基準年として設定することが出来る。
基準年②：	<u>＜観測値等の分析結果を踏まえて、従来作用外力を設定する方法＞</u> 現在の作用（潮位、沖波、潮位偏差）として、最新の観測値や推算値等を分析※1した結果、安全側となる等の理由から従来の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。
基準年③：	<u>＜従来の作用外力を設定する方法＞</u> 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。
基準年④：	<u>＜その他の方法＞</u> 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。

※1：現在の作用（潮位・沖波・潮位偏差）の設定における観測値や推算値等の分析とは、観測データや推算値等を用いて、現在の作用の変化を確認する行為、あるいは、潮位や潮位偏差では、港湾管理用基準面（C.D.L）の見直しに伴い、現在の作用を更新する行為を想定する。

注）：検討港を含む海岸保全基本計画において、気候変動を勘案した将来の作用が定められている場合には、港湾施設の設計への適否を検討し、その値を性能照査に用いても良い。

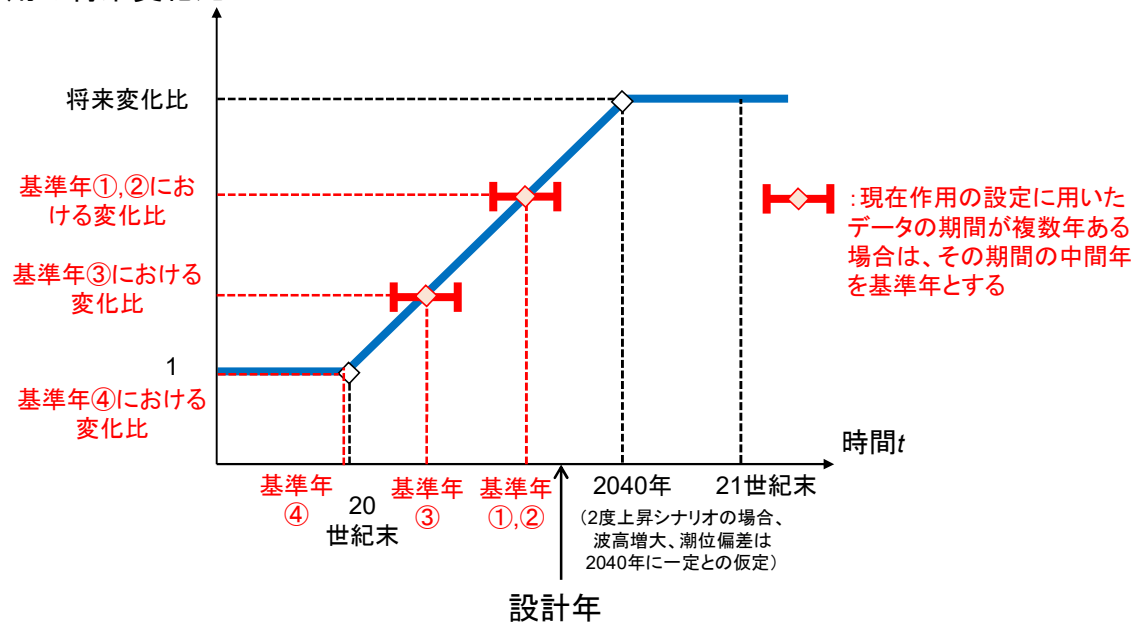
：既往最高潮位を元に算出した潮位偏差を、従来の作用の値としても良い。

作用の将来変化量



(a)潮位

作用の将来変化比



(b)沖波、潮位偏差

図 2-7 基準年の設定イメージ

2.4. 気候変動を考慮した性能照査

2.4.1. 気候変動適応策の設定

設計供用期間中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、設計供用期間の初期段階で対応する「事前適応策」と、設計供用期間中に段階的に対応する「順応的適応策」のいずれかを選定する必要がある。なお、適応策は施設単位に限定して設定する必要はなく、部材や工種毎に設定することが出来る。

(解説)

(1) 適応策を選定するためには、施設に想定される作用の時間変化や、対象施設の設計供用期間中の供用性の確保及び経済性等を踏まえて決定することが望ましい。但し、適応策は、部材や工種毎に設定することが出来るため、検討の選択肢が多く、すべての部材等を対象に比較して検討することは実務上も煩雑となる。

このため、本事例集では、図 2-9 に示すように、はじめに事前適応策の断面検討を行い、その適用が困難と考えられる場合（例えば、将来上位シナリオに対応した岸壁天端高を設定すると岸壁利用が出来ない場合等）等に、追加的に順応的適応策について検討する方法を示している。

(2) 順応的適応策を採用する場合には、将来の追加工事を円滑に実施するため、工事の内容や実施が見込まれる時期等について、設計段階で関係者と調整し合意形成を図るとともに、維持管理計画書にもその内容を定める必要があることに留意する。

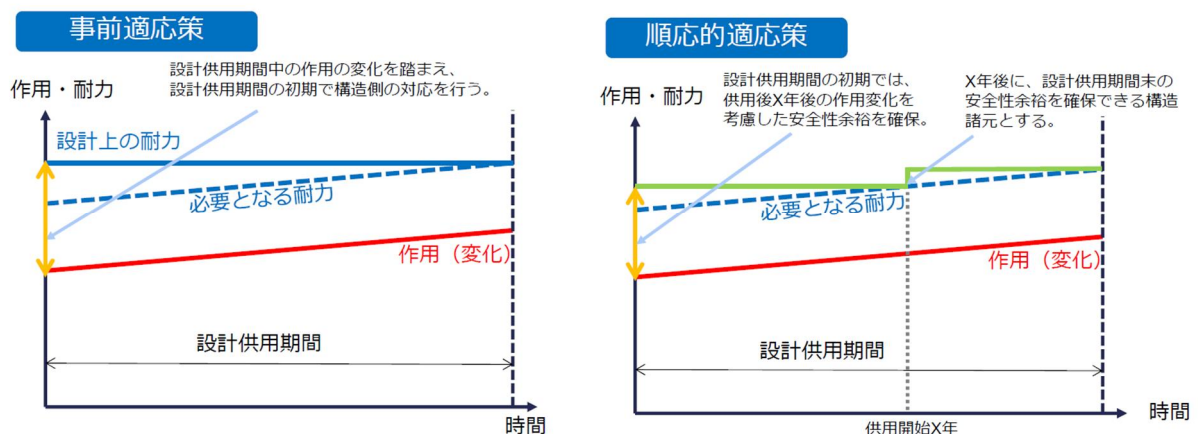


図 2-8 適応策における設計供用期間の要求性能の確保イメージ

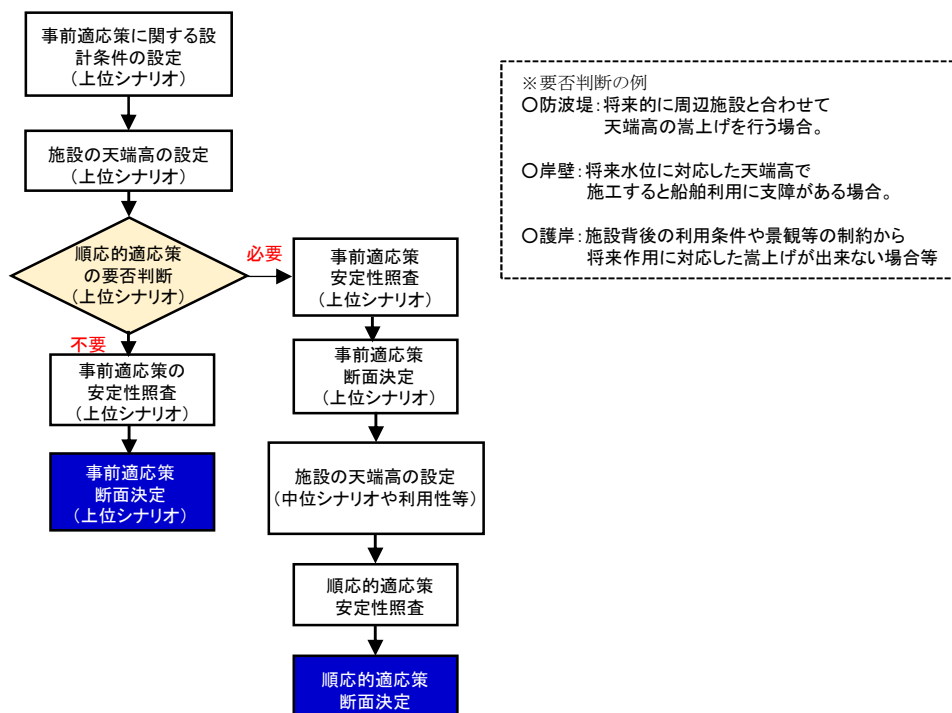


図 2-9 気候変動適応策の選定フロー

2.4.2. 性能照査における作用の組み合わせ

性能照査においては、将来を勘案した作用と現在の作用を適切に組み合わせで行う。

(解説)

現在及び将来の作用を勘案して照査を実施するが、すべての条件で数値解析や照査を行うことはケース数等が膨大となり、結果の判断も複雑化するため実務が煩雑となる。本事例集では、構造別に作用の標準的な組み合わせを検討し、その結果を表 2-3～表 2-5、図 2-10～図 2-12 に示している【2.6.1 性能照査に用いる水位等の設定参照】。なお、一覧に示す水位は、H.W.L と L.W.L による基本的なものを示しており、その他の水位等 (H.H.W.L.) の条件も必要に応じて適切なものを考慮する必要がある。なお、本事例集では将来の水位について、F-〇〇とすることとしている。(将来の朔望平均満潮位の場合、F-H.W.L.)

(1) 防波堤

防波堤の性能照査においては、一般的に波浪と潮位の組み合わせを考える必要がある。設計潮位は、港湾基準 p.134^{*1} より現在から将来までの期間で最も厳しい作用を生じさせる水位を勘案して照査する。このため、現在の朔望平均干潮面 (L.W.L) から将来の朔望平均満潮面 (F-H.W.L) までの水位を考慮する。なお、円弧すべり照査については、安全側となる現在気候の条件で照査する。

波浪及び潮位偏差については、近い将来である 2040 年には作用が発生する予測である。現在の潮位と将来の波浪及び潮位偏差は同時に発生する作用ではないが、2040 年までの潮位の上昇量が大きくないことから、波浪及び潮位偏差は将来気候の条件を基本に考えることとしている。

なお、波浪については周期にも将来変化を考慮する必要があるが、周期に関する将来変化の知見は未だ十分でないため、港湾基準 p.129^{*1} より、現行の確率波高の推定資料である極大波データの波高と周期の相関関係を将来における確率波高に対して適用している。また、将来波浪の設定に用いる将来変化比は、港湾基準 p.131^{*1} より、沖波や疑似沖波または準沖波の確率波高に対して適用でき、波浪変形を考慮した波高にそのまま適用出来ないことに留意する。

(2) 岸壁・護岸

係留施設等の性能照査の際には、残留水圧が最大となる条件を考慮する必要がある^{*1}。また、残留水位は照査用震度や液状化判定、耐震強化岸壁等の検討時には動的解析等にも用いるが、現在から将来にわたるすべての条件で検討することは検討ケースが多くなり、また、部材の選択肢も複雑になる。本事例集では、重力式及び矢板式のモデル断面を用いた分析の結果【2.6.1 性能照査に用いる水位等の設定】、現在と将来の残留水位の違いにより発生する土圧や動水圧の変化により、照査結果にバラツキはあるものの、部材の諸元や規格が変わる程の大きな差は生じないことが確認できたことから、本事例集では、残留水位は将来の条件を

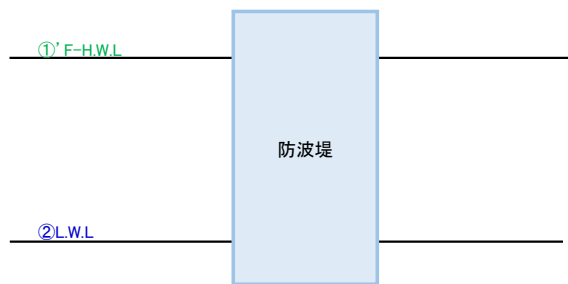
基本としている。但し、円弧すべりの照査では、現在の水位が厳しくなることが明らかなため現在の作用を用いている。また、岸壁や護岸において波浪を用いる場合には、（１）と同様に将来の条件を基本としている。

表 2-3 施設別の安定照査の基本ケース（防波堤・護岸(波浪作用時)）

	設計状態	照査項目	水位の組合せ	
			防波堤	護岸 (波浪作用時)
気候変動を考慮する場合の照査	永続状態	円弧すべり	②現在 LWL	
		滑動・転倒・支持力	—	
	変動状態	滑動・転倒・支持力	① ‘将来 F-HWL×将来波浪	
			②現在 LWL×将来波浪	
【参考】気候変動を考慮しない場合の照査	永続状態	円弧すべり	②現在 LWL	
		滑動・転倒・支持力	—	
	変動状態	滑動・転倒・支持力	①現在 HWL×現在波浪	
			②現在 LWL×現在波浪	

※上載荷重の有無は記載していない

気候変動を考慮した場合の照査



【参考】気候変動を考慮しない場合の照査

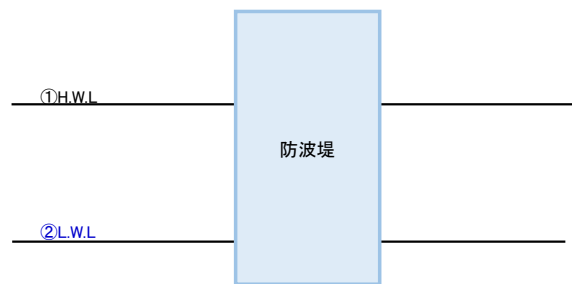


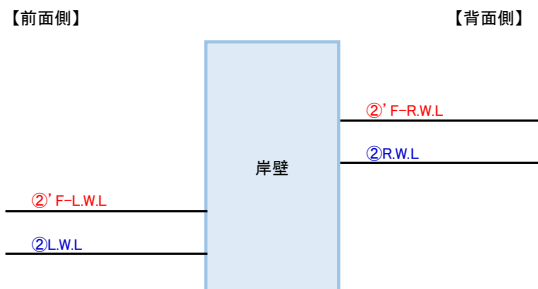
図 2-10 防波堤における水位別の照査ケースのイメージ（モデル断面図）

表 2-4 施設別の安定照査の基本ケース（岸壁(重力式)・護岸)

	設計状態	照査項目	水位の組合せ	
			岸壁（重力式）	護岸 (土圧作用時)
気候変動を考慮する場合の照査	永続状態	円弧すべり	②前面 L.W.L(背面 RWL)	
		滑動・転倒、支持力	② ‘前面 F-LWL(背面 F-RWL)	
	変動状態	滑動・転倒、支持力	② ‘前面 F-LWL(背面 F-RWL)	
			×震度(F-RWL)	
【参考】気候変動を考慮しない場合の照査	永続状態	円弧すべり	②前面 LWL(背面 RWL)	
		滑動・転倒、支持力	②前面 LWL(背面 RWL)	
	変動状態	滑動・転倒、支持力	②前面 LWL(背面 RWL)	
			×震度(RWL)	

※上載荷重の有無は記載していない

気候変動を考慮した場合の照査



【参考】気候変動を考慮しない場合の照査

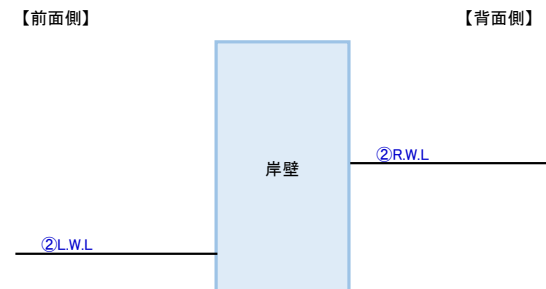


図 2-11 岸壁（重力式）における水位別の照査ケースのイメージ（モデル断面図）

表 2-5 施設別の安定照査の基本ケース（岸壁(矢板式)）

	設計状態	照査項目	岸壁（矢板式） （波浪無し・動水圧有）
気候変動を考慮する場合の照査	永続状態	円弧すべり	②前面 LWL(背面 RWL)
		矢板根入れ長、矢板壁の応力、控え工の応力、控え工の根入れ長及び位置	② ‘前面 F-LWL(背面 F-RWL)
	変動状態	矢板根入れ長、矢板壁の応力、控え工の応力、控え工の根入れ長及び位置	② ‘前面 F-LWL(背面 F-RWL) ×震度(F-RWL)
		円弧すべり	②前面 LWL(背面 RWL)
【参考】気候変動を考慮しない場合の照査	永続状態	円弧すべり	②前面 LWL(背面 RWL)
		矢板根入れ長、矢板壁の応力、控え工の応力、控え工の根入れ長及び位置	②前面 LWL(背面 RWL)
	変動状態	矢板根入れ長、矢板壁の応力、控え工の応力、控え工の根入れ長及び位置	②前面 LWL(背面 RWL) ×震度(RWL)
		円弧すべり	②前面 LWL(背面 RWL)

※上載荷重の有無は記載していない

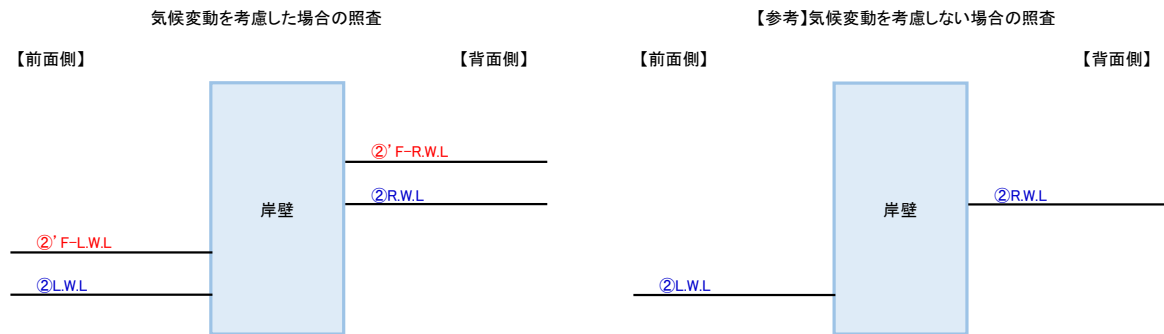
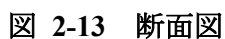


図 2-12 岸壁（矢板式）における水位別の照査ケースのイメージ（モデル断面図）

2.5.1. 防波堤（消波ブロック被覆堤）【新設】

本事例は、新たに防波堤の建設を行う場合を想定し、図 2-13 に気候変動を考慮し設定した施設の断面図を示し、表 2-6 に設計条件一覧を示す。



対象施設は、防波堤天端高の設定にあたり特段の制約がないことから、将来の作用の上振れによる手戻りを勘案し、全ての部材、工種に対して「事前適応策」を採用する。

表 2-6 設計条件一覧

	条件項目	設定値	備考
気候変動適応策		事前適応策	
施設条件	施設延長	300m	
	設計水深	D.L.-19.8m	
	天端高	D.L.+8.4m 事前適応策	北海道開発局土木試験所の実験式より消波ブロック被覆混成堤の波高伝達率算定式を用い、必要天端高を一般的な値から下げた天端高
自然条件	潮位	■現在気候 H.H.W.L. D.L. +3.50m H.W.L. D.L. +1.90m L.W.L. D.L. +0.10m ■将来気候（上位シナリオ） F-H.H.W.L. D.L. +4.08m F-H.W.L. D.L. +2.32m F-L.W.L. D.L. +0.52m	
	波浪条件	■現在気候 疑似沖波 50 年確率 波向 S 波高 13.28m 周期 16.8s 10 年確率 波向 S 波高 10.82m 周期 15.1s 設計波（50 年確率波） H.H.W.L. $H_{1/3}$ 12.42m H_{max} 17.78m $\beta=3.4^\circ$ H.W.L. $H_{1/3}$ 12.06m H_{max} 16.77m $\beta=3.9^\circ$ L.W.L. $H_{1/3}$ 11.45m H_{max} 15.65m $\beta=4.6^\circ$ 設計波（10 年確率波） H.W.L. $H_{1/3}$ 12.33m H_{max} 16.87m $\beta=0^\circ$ L.W.L. $H_{1/3}$ 11.62m H_{max} 15.88m $\beta=0^\circ$ ■将来気候（上位シナリオ） 50 年確率 波向 S 波高 13.66m 周期 17.04s F-H.H.W.L. $H_{1/3}$ 12.80m H_{max} 18.19m $\beta=3.5^\circ$ F-H.W.L. $H_{1/3}$ 12.47m H_{max} 17.27m $\beta=4.0^\circ$ F-L.W.L. $H_{1/3}$ 11.83m H_{max} 16.09m $\beta=4.6^\circ$	施工時の消波工未設置時における本体工の耐波安定性及び港外側の根固ブロックの所要厚については、10 年確率波を用いて照査を行う。なお、10 年確率波は現在作用とする
	海底勾配	1/100	

※安定性照査に H.H.W.L を用いる事例としている。必ず安定照査に H.H.W.L を考慮するものではない。

2.5.1.3. 将来作用の設定例

「2.3.2 将来の作用を設定するための期間」で整理した将来の作用の考え方により、2℃上昇シナリオの上位シナリオに基づく作用の設定を行う。詳細については、将来変化比は国総研資料 No.1281 を参照されたい。なお、本事例による設定は仮想のシナリオで想定しており、必ずしも実際の基準年等に一致しないことに注意されたい。また、将来の作用を設定するための期間末は、施設の設計供用期間末ではないことに留意する。

(1) 将来変化のシナリオ

表 2-7に将来の作用の条件設定を示す。本事例では事前適応策を採用することから、上位シナリオを設定する。これらの将来作用について、平均海面水位の上昇量は前掲図 2-3の日本沿岸、潮位偏差及び波高の将来変化比については国総研資料No. 1302^{※5}に基づく前掲表 2-1より上位シナリオを設定した。

表 2-7 将来作用の条件設定

平均海面の 上昇量[m]	潮位偏差の 将来変化比	波高の 将来変化比
上位シナリオ	上位シナリオ	上位シナリオ
0.55	1.10	1.03

(2) 基準年の設定

表 2-8 に潮位、表 2-9 に潮位偏差、表 2-10 に波高の基準年の設定を示す。各表には基準年の設定手法を示す（基準年の設定手法の詳細は「2.3.3 基準年設定の考え方」に示す）。

1) 潮位の基準年の考え方：基準年②

潮位は、観測値を分析して従来の潮位と最新の潮位を比較した結果、値に変化はなく隣接区間との連続性も勘案して、従来の潮位を採用する。基準年は比較に用いた最新の潮位の統計期間である 2014～2023 年の中間年の 2019 年を設定した。なお、基準年は、潮位を再設定した年に設定しても良い。

2) 潮位偏差の基準年の考え方：基準年④

潮位偏差は、観測値等の分析は行わず、従来の潮位偏差を設定した。ここで、H.H.W.L.は技術基準 p.118 の設計潮位条件より、朔望平均満潮位にモデル高潮により推算された潮位偏差を加算した潮位として設定している。潮位偏差の発生年は 1980 年以前であるため、基準年は 1980 年に設定した。

3) 沖波の基準年の考え方：基準年③

沖波は、観測値等の分析は行わず、従来用いてきた疑似沖波を用いることとした。従来の疑似沖波は 1950～2015 年までの推算値を用いていることから、中間年の 1983 年を基準年とした。

表 2-8 潮位の基準年の設定

H.W.L.				L.W.L.				基準年の 設定手法
[D.L.+m]	開始	終了	基準年	[D.L.+m]	開始	終了	基準年	
1.90	2014	2023	2019	0.10	2014	2023	2019	②

表 2-9 潮位偏差の基準年の設定

H.H.W.L.			潮位偏差			基準年の 設定手法
[D.L.+m]	発生年	基準年	[m]	発生年	基準年	
3.50	1970	1980	1.60	1970	1980	④

表 2-10 波高の基準年の設定

波高			基準年の 設定手法
開始	終了	基準年	
1950	2015	1983	③

(3) 天文潮位の時間変化

図 2-14に国総研資料No. 1281の天文潮位の変化モデルを示す。

図 2-14のモデルは、下式で表現できて、このように将来の天文潮位を設定する。1年あたりの平均海面水位の上昇量を算出し、基準年から将来の作用を設定するための期間末までの年数分の線形増加を仮定する。

$$\alpha = \frac{\Delta L}{2090 - 1995} = \frac{\Delta L}{95} \quad \text{式(2-1)}$$

$$L_{Hy} = L_{Hx} + \alpha(y - x) \quad (1986 \leq x \leq 2100, 1986 \leq y \leq 2100) \quad \text{式(2-2)}$$

ここで、 α ：1年あたりの上昇量、 ΔL ：1995-2090年までの上昇量、 L_{Hy} ：供用区間末の天文潮位、 L_{Hx} ：基準年の天文潮位、 x ：基準年、 y ：将来の作用を設定するための期間末とする。

ここで、基準年の天文潮位 L_{Hx} は、H. H. W. L. 発生時の天文潮位のみではなく、H. W. L.、L. W. L. にも適用できる。

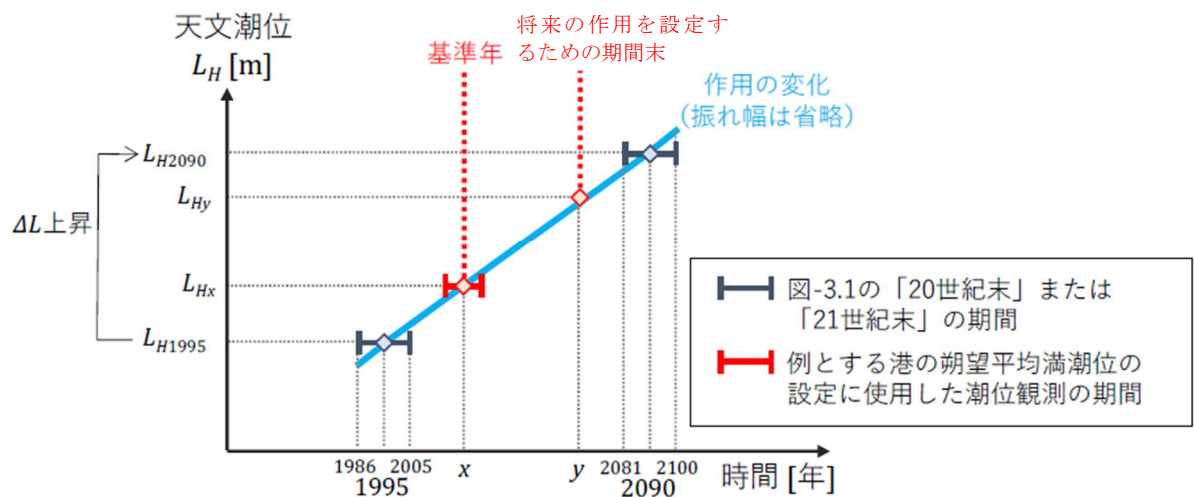


図 2-14 天文潮位の変化モデル（小林ら（2024）から抜粋）

将来作用の潮位を設定する。1995 年から 2090 年までの平均海面水位の上昇量は、日本の気候変動 2020 をもとに、上位シナリオで 0.55 [m]とする。現在の作用の朔望平均満潮位、朔望平均干潮位は 2014 年から 2023 年の観測記録に基づき 1.90 [m]及び 0.10 [m]とする。また、モデル港の基準年を 2019 年（2014 年から 2023 年の中間）とした。

以下に将来作用の朔望平均満潮位の計算例を示す。

設定したパラメータおよび将来作用の潮位を表 2-11、表 2-12 に示す。

<将来作用の朔望平均満潮位の計算例>

$$\alpha = \frac{\Delta L}{95} = \frac{0.55}{95} = 0.0058 \dots \cong 0.006$$

$$L_{Hy} = L_{Hx} + \alpha(y - x) = 1.90 + 0.006(2090 - 2019) = 2.32$$

表 2-11 将来作用の朔望平均満潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均満潮位 L_{Hx} [m]	将来の作用を 設定するため の期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するため の期間末の朔 望平均 満潮位 L_{Hy}
上位シナリオ	0.55	0.006	2019	1.90	2090	2.32

表 2-12 将来作用の朔望平均干潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均干潮位 L_{Hx} [m]	将来の作用を 設定するため の期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するため の期間末の朔 望平均 干潮位 L_{Hy}
上位シナリオ	0.55	0.006	2019	0.10	2090	0.52

(4) 潮位偏差の時間変化

図 2-15に小林ら(2024)の潮位偏差の変化モデルを示す。

図 2-15のモデルは、下式で表現できて、このように将来の潮位偏差を設定する。潮位偏差の年変化率を算出し、基準年から将来の作用を設定するための期間末までの年数分の線形増加を仮定する。

$$C_V = \frac{r_V - 1}{2040 - 1980} = \frac{r_V - 1}{60} \quad \text{式(2-3)}$$

$$V_{1980} = \begin{cases} V_x & (x \leq 1980) \\ \frac{V_x}{1 + C_V(x - 1980)} & (1980 \leq x \leq 2040) \\ \frac{V_x}{r_V} & (2040 < x) \end{cases} \quad \text{式(2-4)}$$

$$V_y = \begin{cases} V_{1980} & (x \leq 1980) \\ \{1 + C_V(y - 1980)\}V_{1980} & (1980 \leq x \leq 2040) \\ r_V V_{1980} & (2040 < x) \end{cases} \quad \text{式(2-5)}$$

ここで、 C_V ：年変化率、 r_V ：1980-2040年までの上昇量、 V_{1980} ：1980年の潮位偏差、 V_x ：基準年の潮位偏差、 V_y ：将来の作用を設定するための期間末の潮位偏差とする。

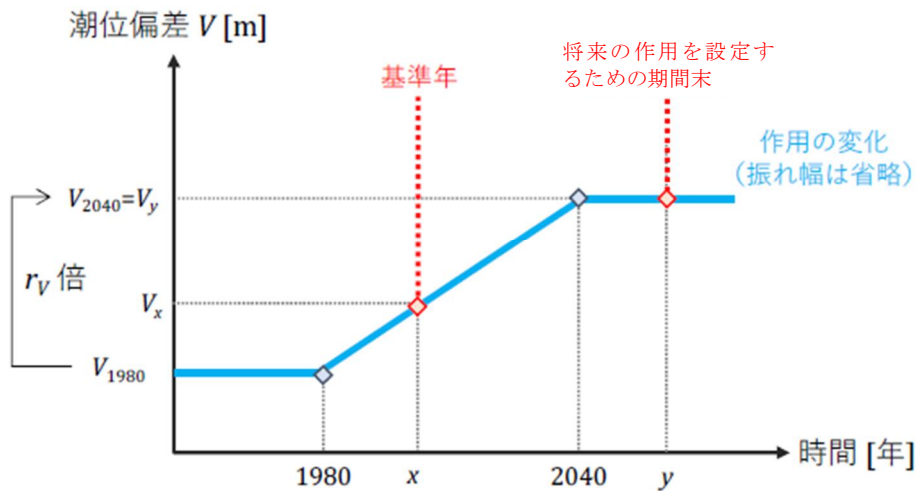


図 2-15 潮位偏差の変化モデル（小林ら（2024）から抜粋）

将来作用の潮位偏差を設定する。なお、H.H.W.L.=3.50 [m]は技術基準 p.118 の設計潮位条件より、朔望平均満潮位にモデル高潮により推算された潮位偏差を加算した潮位として設定している。モデル港の 1980 年から 2040 年までの潮位偏差の将来変化比は上位シナリオで 1.10（四国太平洋側）とする。潮位偏差の基準年は 1980 年を設定した。

以下に将来作用の潮位偏差の計算例を示す。

将来作用の潮位偏差を表 2-13、表 2-14 に示す。

<将来作用の潮位偏差の計算例>

$$C_V = \frac{r_V - 1}{60} = \frac{1.10 - 1}{60} = 0.002$$

$$V_{1980} = V_x = 1.60 \quad (x \leq 1980)$$

$$V_y = r_V V_{1980} = 1.10 \times 1.60 = 1.76 \quad (2040 < x)$$

表 2-13 将来作用の潮位偏差

	1980 年から 2040 年の将来 変化率 r_V	年変化率 C_V [/年]	基準年 西暦 x 年	基準年の 潮位偏差 V_x [m]	1980 年の潮 位偏差 V_{1980} [m]	将来の作用 を設定する ための期間 末の年 西暦 y 年	将来の作用 を設定する ための期間 末の潮位偏 差 V_y [m]
上位シナリオ	1.10	0.10/60	1980	1.60	1.60	2090	1.76

表 2-14 将来作用の設計高潮位

	将来の作用を設定 するための期間末 の設計高潮位 L_{DY} (D.L.)
上位シナリオ	4.08

(5) 沖波波高の時間変化

図 2-16 に小林ら(2024)の沖波波高の変化モデルを示す。

図 2-16 のモデルは、下式で表現できて、このように将来の沖波波高を設定する。

$$C_H = \frac{r_H - 1}{2040 - 1980} = \frac{r_H - 1}{60} \quad \text{式(2-6)}$$

$$H_{1980} = \begin{cases} H_x & (x \leq 1980) \\ \frac{H_x}{1 + C_H(x - 1980)} & (1980 \leq x \leq 2040) \\ \frac{H_x}{r_H} & (2040 < x) \end{cases} \quad \text{式(2-7)}$$

$$H_y = \begin{cases} H_{1980} & (x \leq 1980) \\ \{1 + C_H(y - 1980)\}H_{1980} & (1980 \leq x \leq 2040) \\ r_H H_{1980} & (2040 < x) \end{cases} \quad \text{式(2-8)}$$

ここで、 C_H ：年変化率、 r_H ：1980-2040 年までの上昇量、 H_{1980} ：1980 年の沖波波高、 H_x ：基準年の沖波波高、 H_y ：将来の作用を設定するための期間末の沖波波高、 x ：基準年、 y ：将来の作用を設定するための期間末とする。

なお、式(2-9)のように現在と将来で波形勾配 S は一定と仮定すると、将来の作用を設定するための期間末の周期 T_y は式(2-10)で求まる。ここで、係数 a は深海波（沖波・疑似沖波）と浅海波（準沖波）に応じて式(2-11)で求めることができる。

$$S = \frac{H_x}{L_x} = \frac{H_y}{L_y} \quad \text{式(2-9)}$$

$$T_y = aH^{0.5} \quad \text{式(2-10)}$$

$$a = \begin{cases} (1.56S)^{-0.5} & (S \text{は深海波の波形勾配}) \\ \left(1.56S \tanh \frac{2\pi h}{H_y} S\right)^{-0.5} & (S \text{は浅海波の波形勾配}) \end{cases} \quad \text{式(2-11)}$$

$$L_x = \begin{cases} \frac{g}{2\pi} T_x^2 \approx 1.56 T_x^2 & (\text{深海波}) \\ \frac{g}{2\pi} T_x^2 \tanh \frac{2\pi}{L_x} h & (\text{浅海波}) \end{cases} \quad \text{式(2-12)}$$

ここで、 L_x ：基準年の沖波波長、 L_y ：将来の作用を設定するための期間末の沖波波長、 h ：水深とする。

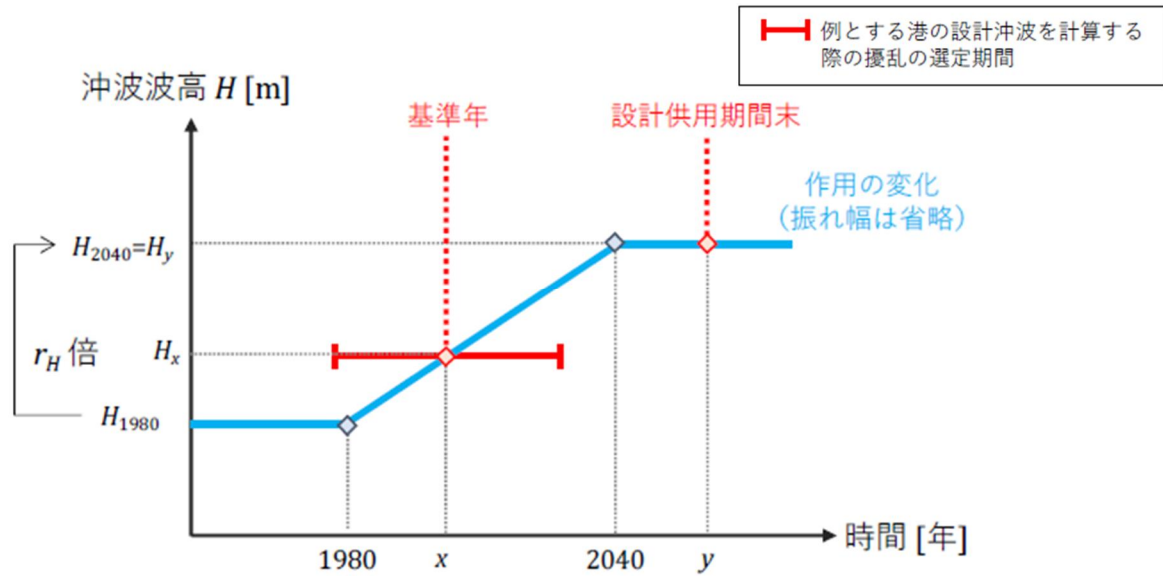


図 2-16 沖波波高の変化モデル（小林ら（2024）から抜粋）

将来作用の沖波波高を設定する。モデル港の1980年から2040年までの沖波波高の将来変化率は上位シナリオで1.03（四国太平洋側）とする。モデル港における推算期間は1950年から2015年としていた。50年確率波でS方向の設計沖波の波高は13.28[m]であった。よって、モデル港の基準年を1983年（1950年から2015年の中間）とし、基準年の50年確率波でS方向の沖波波高は13.28[m]とした。

以下に将来作用の沖波の計算例を示す。ここで、本計算例は疑似沖波であるため、深海波として扱えば良いが、参考例として準沖波を想定した浅海波の場合における周期の計算例も併記した。

設定した将来作用の沖波波高（50年確率波；S方向）を表2-15、現在作用と将来作用の沖波の比較を表2-16に示す。

<将来作用の沖波の計算例>

$$C_H = \frac{r_H - 1}{60} = \frac{1.03 - 1}{60} = 0.0005$$

$$H_{1980} = \frac{H_x}{1 + C_H(x - 1980)} = \frac{13.28}{1 + 0.0005(1983 - 1980)}$$

$$= 13.26 \quad (1980 \leq x \leq 2040)$$

$$H_y = r_H H_{1980} = 1.03 \times 13.26 = 13.66 \quad (2040 < x)$$

$$S_{deep} = \frac{H_x}{L_x} = \frac{13.28}{440.3} = 0.030$$

$$S_{shallow} = \frac{H_x}{L_x} = \frac{13.28}{247.3} = 0.054$$

$$a = \left\{ \begin{array}{l} (1.56S)^{-0.5} = (1.56 \times 0.030)^{-0.5} = 4.61 \\ \left(1.56S \tanh \frac{2\pi h}{H_y} S \right)^{-0.5} = \left(1.56 \times 0.054 \times \tanh \left(\frac{2\pi \times 25.0}{13.66} \times 0.054 \right) \right)^{-0.5} = 4.66 \end{array} \right.$$

$$T_{y,deep} = aH^{0.5} = 4.61 \times 13.66^{0.5} = 17.04$$

$$T_{y,shallow} = aH^{0.5} = 4.66 \times 13.66^{0.5} = 17.23$$

表 2-15 将来作用の沖波波高

	1980年から 2040年の将来 変化率 r_V	年変化率 C_H [/年]	基準年 西暦 x 年	基準年の 沖波波高 H_x [m]	1980年の 沖波波高 H_{1980} [m]	将来作用を 設定するた めの期間末 の年 西暦 y 年	将来の作用 を設定する ための期間 末の沖波波 高 H_y [m]
上位シナリオ	1.03	0.03/60	1983	13.28	13.26	2090	13.66

表 2-16 現在作用と将来作用の沖波の比較

年	沖波波高・周期					
	SSE		S		SSW	
	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]	[s]
現在作用： 基準年（1983 年）	12.65	16.40	13.28	16.80	12.39	16.20
将来作用（上位）： 2090 年	13.01	16.64	13.66	17.04	12.75	16.43

2.5.1.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例

(1) 天端高

港内静穏度を確保するため、以下の式により、必要となる天端高を設定する。

■必要天端高

$$\begin{aligned} F-H. W. L. +0.6 \times H_{1/3} (50\text{年確率波}) &= 2.32 + 0.6 \times 12.47 \\ &= 9.8\text{m} \end{aligned}$$

なお、隣接区間の防波堤においては、防波堤天端高を低く抑えることを目的に、上式の直立堤としての必要天端高と同程度の波高伝達率となる消波ブロック被覆堤としての天端高を設定している。本事例では港湾基準p. 177^{*1}の伝達波高率の算定図から直立堤の波高伝達率を算出し、同程度の波高伝達率となる消波ブロック被覆堤天端高を北海道開発局土木試験所の実験式^{*6}から算出した。

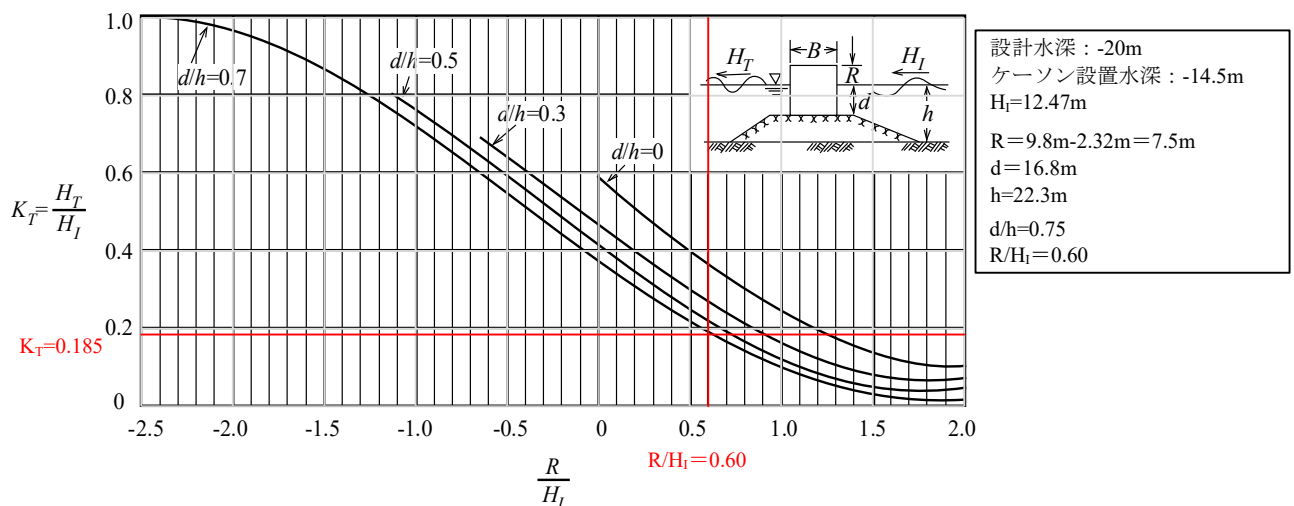


図 2-17 波高伝達率の算定図

$$\begin{aligned} KT &= 0.3 (1.1 - R/H_I) \\ R' &= H_I (1.1 - KT/0.3) \\ &= 12.47 \times (1.1 - 0.185/0.3) \\ &= 6.03\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{天端高} &= H. W. L. + R' \\ &= 2.31 + 6.03 \\ &= 8.35\text{m} \approx 8.4\text{m} \end{aligned}$$

以上から、天端高は D.L.+8.40m とする。

2.5.1.5. 性能照査

(1) 性能照査フロー

対象施設の性能照査は、港湾基準 p. 922^{*1} に示す混成堤の性能照査フローに従い照査を実施し、永続状態及び波浪に関する変動状態に対して安定性を照査する。

なお、レベル 1 地震動に関する変動状態に対しては、港湾基準 p. 925^{*1} に示す耐震性能照査の必要判定図より、照査は不要と判定されたため、レベル 1 地震動に関する耐震性能照査は省略する。

(2) 照査項目

各設計状態の照査項目を表 2-17 に示す。各性能照査項目の性能照査式の詳細については、港湾基準^{*1}を参照する。

表 2-17 各種設計状態と関連する性能照査項目

設計状態	構造物の全体安定性に関する性能照査項目			
	基礎地盤の円弧すべり	壁体の滑動	壁体の転倒	基礎地盤の支持力破壊
自重に関する永続状態	○			
波浪に関する変動状態		○	○	○

(3) 照査結果

各性能照査項目に対し照査した結果を表 2-18～表 2-22に示す。

表 2-18 安定性の照査結果

照査項目	永続状態	変動状態（波浪時）
検討潮位	LWL	将来 F-HHWL×将来波浪
滑動	—	$0.999 < 1.000 \dots \text{OK}$
転倒	—	$0.695 < 1.000 \dots \text{OK}$
基礎地盤の支持力破壊	—	$0.995 < 1.000 \dots \text{OK}$
基礎地盤の円弧すべり（港内側）	$0.984 < 1.000 \dots \text{OK}$	—

表 2-19 消波ブロックの所要質量の算定結果

検討部材	将来 F-HHWL×将来波浪	現在 LWL×将来波浪
消波ブロック	所要質量 99.22t	所要質量 73.75t
	所要質量より、消波ブロック 100t 型を採用	

表 2-20 根固ブロックの所要厚及び諸元算定結果（港外側）

		現在 HWL×現在波浪 (10 年確率波)	現在 LWL×現在波浪 (10 年確率波)
根固ブロック	港外側	所要厚 2.46m	所要厚 2.45m
		所要厚より、下記の諸元を採用 $l(m) \times b(m) \times t(m)$ 5.0×2.5×2.5	

※ t ：所要厚、 l ：法線方向の長さ、 b ：幅

※消波工未設置時港外側の根固ブロックが露出するが、完成後には消波工により、被覆されるため、10 年確率波に対して所要厚等を算定

表 2-21 根固めブロックの所要厚及び諸元算定結果（港内側）

		将来 F-HHWL×将来波浪	現在 LWL×将来波浪
根固ブロック	港内側	所要厚 1.45m	所要厚 1.40m
		所要厚より、下記の諸元を採用 $l(m) \times b(m) \times t(m)$ 5.0×2.5×1.6	

※ t ：所要厚、 l ：法線方向の長さ、 b ：幅

表 2-22 被覆ブロックの所要質量の算定結果

		将来 F-HHWL×将来波浪	現在 LWL×将来波浪
被覆ブロック	港外側	所要質量 25.48t	所要質量 20.11t
		所要質量より、30t 型の被覆ブロックを採用	

2.5.2. 防波堤（ケーソン式混成堤）【既設】

2.5.2.1. 対象断面

老朽化した上部工の打ち替えと合わせて高波浪に対する堤体の安定性を確保することを目的に、図 2-19 に気候変動を考慮し設定した施設の断面図を示し、表 2-23 に設計条件一覧を示す。

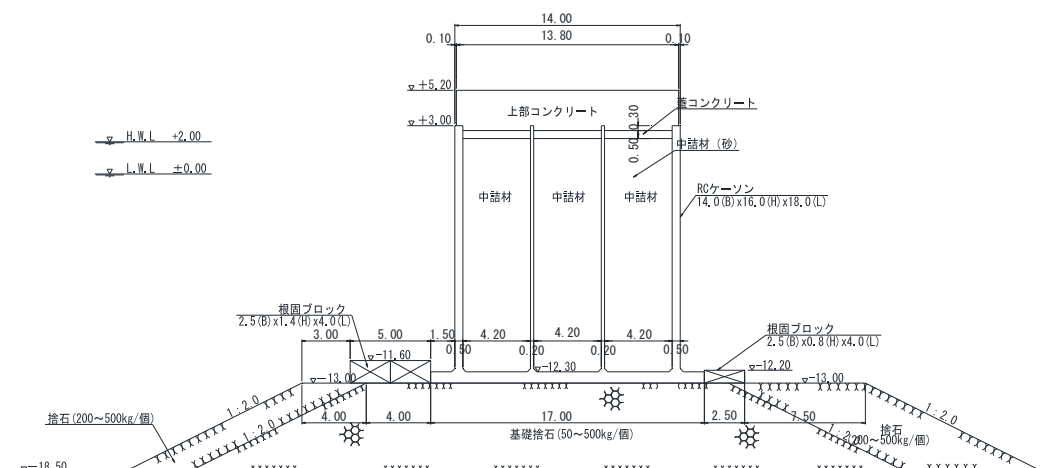


図 2-18 現況断面図

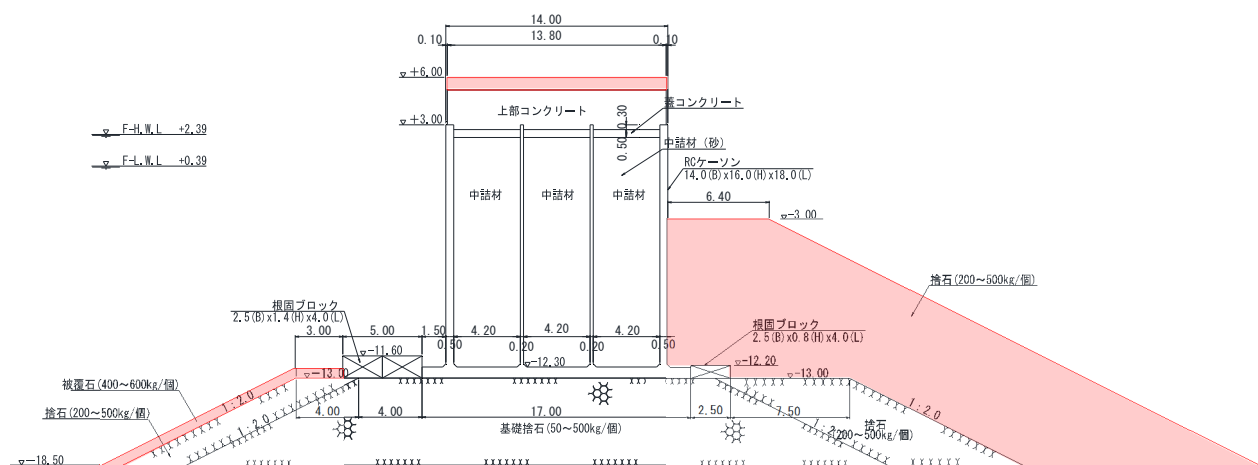


図 2-19 対策断面図

2.5.2.2. 適応策

対象施設は、隣接する防波堤と合わせて将来的に嵩上げを行うことを想定し、上部工について「順応的適応策」を採用し、将来作用に用いるシナリオは中位シナリオとした。一方、その他の部材や工種については、将来の作用の上振れによる手戻りを勘案し、「事前適応策」を採用し、上位シナリオで断面を決定し設定する。

表 2-23 設計条件一覧

	条件項目	設定値	備考
気候変動適応策		順応的適応策	
施設条件	設計水深	D.L.-18.50m	
	天端高	D.L.+5.2m※ 順応の手適応策（中位シナリオ） D.L.+6.0m 事前適応策	※天端高の設定根拠については、「2.6.6 防波堤の嵩上げに対する気候変動影響評価の方法」に詳細を記載
自然条件	潮位	■現在気候 H.W.L. D.L. +2.00m L.W.L. D.L. +0.00m ■将来気候（中位シナリオ） F-H.W.L. D.L. +2.39m F-L.W.L. D.L. +0.39m ■将来気候（上位シナリオ） F-H.W.L. D.L. +2.55m F-L.W.L. D.L. +0.55m	
	波浪条件	■現在気候 沖波 50年確率 波向 SW 波高 11.42m 周期 15.10s 設計波（50年確率波） H.W.L. $H_{1/3}$ 5.40m H_{max} 9.70m $\beta = 0^\circ$ L.W.L. $H_{1/3}$ 5.40m H_{max} 9.80m $\beta = 0^\circ$ ■将来気候（中位シナリオ） 沖波 50年確率 波向 SW 波高 11.63m 周期 15.24s 設計波（50年確率波） F-H.W.L. $H_{1/3}$ 5.40m H_{max} 9.80m $\beta = 0^\circ$ F-L.W.L. $H_{1/3}$ 5.50m H_{max} 9.80m $\beta = 0^\circ$ ■将来気候（上位シナリオ） 沖波 50年確率 波向 SW 波高 11.74m 周期 15.31s 設計波（50年確率波） F-H.W.L. $H_{1/3}$ 5.60m H_{max} 10.0m $\beta = 0^\circ$ F-L.W.L. $H_{1/3}$ 5.60m H_{max} 10.1m $\beta = 0^\circ$	
	海底勾配	1/50	

2.5.2.3. 将来作用の設定例

「2.3.2 将来の作用を設定するための期間」で整理した将来の作用の考え方により、2℃上昇シナリオの上位シナリオに基づく作用の設定を行う。詳細については、将来変化比は国総研資料 No.1281 を参照されたい。将来の作用を設定するための期間末は、施設の設計供用期間末ではないことに留意されたい。

(1) 将来変化のシナリオ

表 2-24に将来の作用の条件設定を示す。本事例では上部工に順応的適応策、その他部材に事前適応策を採用することから、表 2-24に示す通り、平均海面水位の上昇量は前掲図 2-3の日本沿岸、潮位偏差及び波高の将来変化比については国総研資料No. 1302^{※5}に基づく前掲表 2-1より中位シナリオ及び上位シナリオを設定する。

表 2-24 将来作用の条件設定

平均海面の 上昇量[m]		波高の 将来変化比	
中位シナリオ	上位シナリオ	中位シナリオ	上位シナリオ
0.39	0.55	1.02	1.03

(2) 基準年の設定

表 2-25 に潮位、表 2-26 に波高の基準年の設定を示す。各表には基準年の設定手法を示す【基準年の設定手法の詳細は「2.3.3 基準年設定の考え方」参照】。

1) 潮位の基準年の考え方：基準年④

潮位は、観測値等の分析は行わず、従来の潮位を設定した。基準年は従来の潮位の統計期間が不明なため、基準年は 1995 年を設定した。

2) 沖波の基準年の考え方：基準年②

沖波は、従来 of 推算期間 1950 年～2015 年で設定した沖波と最新の推算期間 1950 年～2019 年の沖波を比較し、波高が高い従来 of 沖波を採用することとした。基準年は比較に用いた最新の波高の統計期間である 1950～2019 年の中間年の 1985 年を設定した。

表 2-25 潮位の基準年の設定

H.W.L.				L.W.L.				基準年の 設定手法
[D.L.+m]	開始	終了	基準年	[D.L.+m]	開始	終了	基準年	
2.00	1985	1990	1995	0.00	1985	1990	1995	④

表 2-26 波高の基準年の設定

波高			基準年の 設定手法
開始	終了	基準年	
1950	2019	1985	②

(3) 天文潮位の時間変化

将来作用の潮位を設定する。1995 年から 2090 年までの平均海面水位の上昇量は、日本の気候変動 2020 をもとに、中位シナリオで 0.39 [m]、上位シナリオで 0.55 [m]とする。朔望平均満潮位、朔望平均干潮位は 1985 年から 1990 年の観測記録に基づき 2.00 [m]及び 0.00 [m]とする。基準年は従来の潮位の統計期間 1985～1990 年の中間年とすると 1988 年になるものの、潮位の基準年における下限値である 1995 年を設定した。

設定したパラメータおよび将来作用の潮位を表 2-27、表 2-28 に示す。

表 2-27 将来作用の朔望平均満潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均満潮位 L_{Hx} [m]	将来の作用を 設定するための 期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するための 期間末の朔 望平均 満潮位 L_{Hy}
上位シナリオ	0.55	0.006	1995	2.00	2090	2.55
中位シナリオ	0.39	0.004	1995	2.00	2090	2.39

表 2-28 将来作用の朔望平均干潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均干潮位 L_{Lx} [m]	将来の作用を 設定するための 期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するための 期間末の朔 望平均 干潮位 L_{Ly}
上位シナリオ	0.55	0.006	1995	0.00	2090	0.55
中位シナリオ	0.39	0.004	1995	0.00	2090	0.39

（４） 沖波波高の時間変化

将来作用の沖波波高を設定する。モデル港の 1980 年から 2040 年までの沖波波高の将来変化率は中位シナリオで 1.02、上位シナリオで 1.03（いずれも四国太平洋側）とする。モデル港における推算期間は 1950 年から 2019 年としていた。50 年確率波で SW 方向の設計沖波の波高は 11.42[m]であった。よって、モデル港の基準年を 1985 年（1950 年から 2019 年の中間）とし、基準年の 50 年確率波で SW 方向の沖波波高は 11.42 [m]とした。

設定した将来作用の沖波波高（50 年確率波；SW 方向）を表 2-29、現在作用と将来作用の沖波の比較を表 2-30 に示す。なお、沖波周期は現在気候と波形勾配が同等になるように調整した。

表 2-29 将来作用の沖波波高

	1980 年から 2040 年の将来 変化率 r_v	年変化率 C_H [/年]	基準年 西暦 x 年	基準年の 沖波波高 H_x [m]	1980 年の 沖波波高 H_{1980} [m]	将来の作用 を設定する ための期間 末の年 西暦 y 年	将来の作用 を設定する ための期間 末の沖波波 高 H_y [m]
上位シナリオ	1.03	0.03/60	1985	11.42	11.39	2090	11.74
中位シナリオ	1.02	0.02/60	1985	11.42	11.40	2090	11.63

表 2-30 現在作用と将来作用の沖波の比較

年	沖波波高・周期							
	WSW		SW		SSW		S	
	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]	[s]
現在作用： 基準年（1985 年）	5.39	10.40	11.42	15.10	14.47	17.00	12.69	15.90
将来作用（上位）： 2090 年	5.54	10.55	11.74	15.31	14.87	17.24	13.04	16.12
将来作用（中位）： 2090 年	5.49	10.50	11.63	15.24	14.74	17.16	12.93	16.05

2.5.2.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例

(1) 天端高

以下の式により、必要となる天端高を設定する。

なお、中位シナリオの天端高は「2.6.6 防波堤の嵩上げに対する気候変動影響評価の方法」よりD.L. +5.2mと設定した。

■必要天端高

上位シナリオ

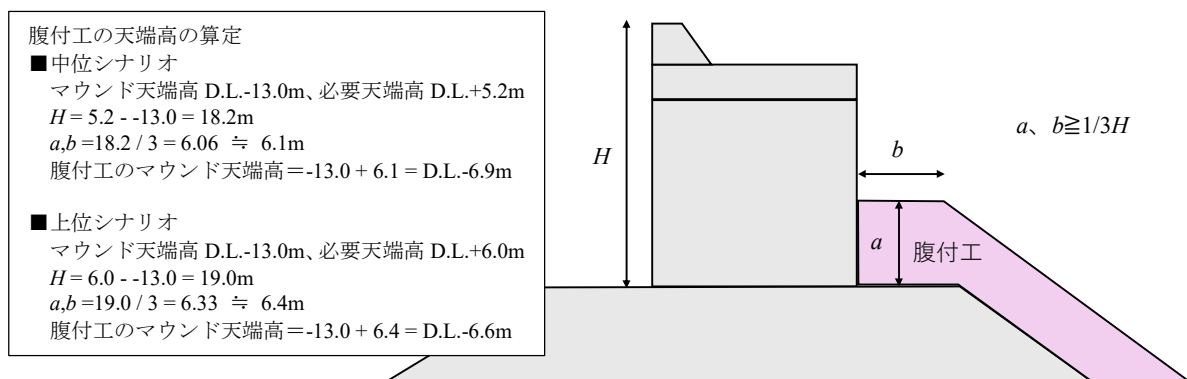
$$\begin{aligned} F-H. W. L. +0.6 \times H_{1/3} (50\text{年確率波}) &= 2.55 + 0.6 \times 5.6 \\ &= 5.91\text{m} \div \text{D. L.} +6.0\text{m} \end{aligned}$$

(2) 腹付工の形状

腹付工の高さ a 、幅 b は直立部の高さ H の $1/3$ とする。直立部の高さはケーソンの設置水深から、「(1) 天端高」により設定した天端高までの高さである。

なお、本事例における腹付工の天端高は、図 2-20 に示すように、中位シナリオで D.L.-6.9m ($H=18.2\text{m}$ 、 $a, b=6.1\text{m}$)、上位シナリオで D.L.-6.6m ($H=19.0\text{m}$ 、 $a, b=6.4\text{m}$) であるが、港湾基準 p.974^{*1} より、生物共生型防波堤とすることを考える。そのため、周辺環境調査や藻場造成機能を期待し、船舶航行等への影響を踏まえ、腹付工の天端高を D.L.-3.0m に設定する。

腹付工（割石）で補強する場合の詳細な設定方法や性能照査について、港湾基準 p.933^{*1} を参考とする。



(3) 底面反力

底版の性能照査において、腹付工から直立部への反力による効果を見込んだ底面反力から求めることが出来る（港湾基準 p.934^{*1}）。

2.5.2.5. 性能照査

(1) 性能照査フロー

対象施設の性能照査は、港湾基準 p. 922^{※1} に示す混成堤の性能照査フローに従い照査を実施し、永続状態及び波浪に関する変動状態に対して安定性を照査する。

なお、レベル 1 地震動に関する変動状態に対しては、港湾基準 p. 925^{※1} に示す耐震性能照査の必要判定図より、照査は不要と判定されたため、レベル 1 地震動に関する耐震性能照査は省略する。

(2) 照査項目

各設計状態の照査項目を表 2-31 に示す。各性能照査項目の性能照査式の詳細については、港湾基準^{※1}を参照する。

表 2-31 各種設計状態と関連する性能照査項目

設計状態	構造物の全体安定性に関する性能照査項目			
	基礎地盤の円弧すべり	壁体の滑動	壁体の転倒	基礎地盤の支持力破壊
自重に関する永続状態	○			
波浪に関する変動状態		○	○	○

(3) 照査結果

各性能照査項目に対し照査した結果を表 2-32～表 2-34に示す。

表 2-32 安定性の照査結果

照査項目	永続状態	変動状態（波浪時）
検討潮位	LWL	将来 F-HWL×将来波浪
滑動	—	0.576<1.000...OK
転倒	—	0.826<1.000...OK
基礎地盤の支持力破壊	—	0.638<1.000...OK
底面反力 (kN/m ²)	—	522.834
基礎地盤の円弧すべり（港外側）	0.563<1.000...OK	—

※腹付工を考慮しない場合 滑動：1.207>1.000...N.G、転倒：0.826<1.000...O.K、底面反力：845.158kN/m²

表 2-33 根固ブロックの所要厚及び諸元算定結果

		将来 F-HWL×将来波浪	現在 LWL×将来波浪
根固ブロック	港外側	<u>所要厚 1.28m</u> 既設根固ブロック $l(m) \times b(m) \times t(m)$ $5.0 \times 2.5 \times 1.4$ <u>所要厚</u> $1.28m < 1.4m \dots OK$ 既設根固ブロックで満足する	<u>所要厚 1.34m</u> 既設根固ブロック $l(m) \times b(m) \times t(m)$ $5.0 \times 2.5 \times 1.4$ <u>所要厚</u> $1.34m < 1.4m \dots OK$ 既設根固ブロックで満足する
	港内側	<u>所要厚 0.64m</u> 既設根固ブロック $l(m) \times b(m) \times t(m)$ $2.5 \times 1.5 \times 0.8$ <u>所要厚</u> $0.64m < 0.8m \dots OK$ 既設根固ブロックで満足する	<u>所要厚 0.67m</u> 既設根固ブロック $l(m) \times b(m) \times t(m)$ $2.5 \times 1.5 \times 0.8$ <u>所要厚</u> $0.67m < 0.8m \dots OK$ 既設根固ブロックで満足する

※ t : 所要厚、 l : 法線方向の長さ、 b : 幅

表 2-34 マウンド被覆材の所要質量の算定結果

		将来 F-HWL×将来波浪	現在 LWL×将来波浪
被覆ブロック	港外側	所要質量 190kg/個 既設捨石 200～500kg/個	所要質量 400kg/個 既設捨石 200～500kg/個
		所要質量 $400kg/個 > 200kg/個 \dots NG$ 既設捨石で満足しないため、被覆石の最小規格が 400kg/個以上となる規格を採用	

2.5.3.1. 対象断面

Technical drawing of a stepped pile foundation cross-section. The drawing shows a stepped pile structure with three main sections: a top section (1.80m wide), a middle section (3.00m wide), and a bottom section (5.00m wide). The pile is embedded in a foundation stone (基礎捨石) and is surrounded by backfill (埋土). The drawing includes various elevation markers: F-H.W.L. +2.98, F-H.W.L. +2.05, F-L.W.L. +0.55, +3.00, +1.50, -0.50, -2.30, -4.10, and -7.00. It also shows a pile cap (防舷材 300H-2200L) and a pile diameter of 150kN. The slope of the backfill is indicated as 1:1.2 and 1:1.5. A sand sheet (防砂シート) is shown on the right side of the pile.

图 2-21 断面图

岸壁天端高の設定にあたり、対象船舶や荷役に特段の制約がないため、将来の作用の上振れによる手戻りを勘案し、全ての部材や工種について「事前適応策」を採用する。

表 2-35 設計条件一覧

	条件項目	設定値	備考
気候変動適応策		事前適応策	
施設条件	施設延長	—	
	設計水深	D.L.-4.1m	
	計画天端高	D.L.+3.00m 事前適応策	
自然条件	潮位	■現在気候 H.H.W.L. D.L. +2.33m H.W.L. D.L. +1.50m L.W.L. D.L. ±0.00m R.W.L. D.L. +0.50m L.W.L.+1/3 × (H.W.L.-L.W.L.) ■将来気候（上位シナリオ） F-H.H.W.L. D.L. +2.98m F-H.W.L. D.L. +2.05m F-L.W.L. D.L. +0.55m F-R.W.L. D.L. +1.05m	
	L1 地震動	国総研 HP	
	照査用震度 k_h	0.15	照査用震度は将来水位により設定
	上載荷重	永続状態 10.0kN/m ² 変動状態 5.0 kN/m ²	
	対象船舶	RORO 船	
材料条件	基礎捨石	$\phi = 40^\circ, \gamma = 18.0\text{kN/m}^3, \gamma' = 10.0\text{kN/m}^3$	
	裏込石	$\phi = 40^\circ, \gamma = 18.0\text{kN/m}^3, \gamma' = 10.0\text{kN/m}^3$	
	裏埋材	$\phi = 30^\circ, \gamma = 18.0\text{kN/m}^3, \gamma' = 10.0\text{kN/m}^3$	

2.5.3.3. 将来作用の設定例

「2.3.2 将来の作用を設定するための期間」で整理した将来の作用の考え方により、2℃上昇シナリオの上位シナリオに基づく作用の設定を行う。詳細については、将来変化比は国総研資料 No.1281 を参照されたい。また、将来の作用を設定するための期間末は、施設の設計供用期間末ではないことに留意されたい。

（１） 将来変化のシナリオ

表 2-36に将来の作用の条件設定を示す。本事例では事前適応策を採用することから、表 2-36に示す通り、平均海面水位の上昇量は前掲図 2-3の日本沿岸、潮位偏差の将来変化比については国総研資料No. 1302^{※5}に基づく前掲表 2-1より上位シナリオを設定する。

表 2-36 将来作用の条件設定

平均海面の 上昇量[m]	潮位偏差の 将来変化比
上位シナリオ	上位シナリオ
0.55	1.10

(2) 基準年の設定

表 2-37 に潮位、表 2-38 に潮位偏差の基準年の設定を示す。

各表には基準年の設定手法を示す【基準年の設定手法の詳細は「2.3.3 基準年設定の考え方」に示す】。

1) 潮位の基準年の考え方：基準年④

潮位は、統計期間が不明であるため、潮位の基準年の下限値である 1995 年を設定した。

2) 潮位偏差の基準年の考え方：基準年④

H.H.W.L.は技術基準 p.118 の設計潮位条件より、朔望平均満潮位に観測の潮位偏差を加算した潮位として設定している。潮位偏差は、H.H.W.L.から H.W.L.を差し引いて設定した。潮位偏差の発生年は、不明であるため、潮位偏差の基準年の下限値である 1980 年を設定した。

表 2-37 潮位の基準年の設定

H.W.L.				L.W.L.				基準年の 設定手法
[D.L.+m]	開始	終了	基準年	[D.L.+m]	開始	終了	基準年	
1.50	—	—	1995	0.00	—	—	1995	④

表 2-38 潮位偏差の基準年の設定

H.H.W.L.			潮位偏差			基準年の 設定手法
[D.L.+m]	発生年	基準年	[m]	発生年	基準年	
2.33	—	1980	0.83	—	1980	④

(3) 天文潮位の時間変化

将来作用の潮位を設定する。1995 年から 2090 年までの平均海面水位の上昇量は、日本の気候変動 2020 をもとに、上位シナリオで 0.55 [m]とする。朔望平均満潮位、朔望平均干潮位は 1.50 [m]及び 0.00 [m]とする。また、モデル港の観測期間が不明であるため、基準年を下限値である 1995 年とした。

設定したパラメータおよび将来作用の潮位を表 2-39、表 2-40 に示す。

表 2-39 将来作用の朔望平均満潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均満潮位 L_{Hx} [m]	将来の作用を 設定するた めの期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するた めの期間末の朔 望平均 満潮位 L_{Hy}
上位シナリオ	0.55	0.006	1995	1.50	2090	2.05

表 2-40 将来作用の朔望平均干潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均干潮位 L_{Ix} [m]	将来の作用を 設定するた めの期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するた めの期間末の朔 望平均 干潮位 L_{Iy}
上位シナリオ	0.55	0.006	1995	0.00	2090	0.55

(4) 潮位偏差の時間変化

将来作用の潮位偏差を設定する。なお、H.H.W.L.=2.33 [m] は技術基準 p.118 の設計潮位条件より、朔望平均満潮位に観測の潮位偏差を加算した潮位として設定している。潮位偏差は、H.H.W.L.から H.W.L.を差し引いて設定した。モデル港の 1980 年から 2040 年までの潮位偏差の将来変化率は上位シナリオで 1.10（北関東）とする。潮位偏差の発生年が古いため、潮位偏差の基準年の下限値である 1980 年を設定した。

将来作用の潮位偏差を表 2-41、表 2-42 に示す。

表 2-41 将来作用の潮位偏差

	1980 年から 2040 年の将来 変化率 r_V	年変化率 C_V [/年]	基準年 西暦 x 年	基準年の 潮位偏差 V_x [m]	1980 年の潮 位偏差 V_{1980} [m]	将来の作用 を設定する ための期間 末の年 西暦 y 年	将来の作用 を設定する ための期間 末の潮位偏 差 V_y [m]
上位シナリオ	1.10	0.10/60	1980	0.83	0.83	2090	0.92

表 2-42 将来作用の設計高潮位

	将来の作用を設定 するための期間末 の設計高潮位 L_{DY} (D.L.)
上位シナリオ	2.97

2.5.3.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例

(1) 天端高

対象岸壁の天端高は、港湾基準 p.1059^{*1} の標準的な天端高の設定方法より設定する。なお、当該施設は港奥に位置し、波浪の影響は小さいが、将来気候（上位シナリオ）における高潮（F-H.H.W.L.）の浸水も勘案し、D.L.+3.0m で問題無いものと判断した。また、上位シナリオに対応する天端高で整備を行っても、船舶や荷役の利用に支障がないことも確認している。

(2) 残留水位（R.W.L.）

設計に使用する残留水位は、「2.4.2 性能照査における作用の組み合わせ」に示すように、永続状態の円形すべりに用いる現在の残留水位（R.W.L.）、レベル 1 地震動に対する変動状態の照査等に用いる将来の残留水位（F-R.W.L.）をそれぞれ設定する必要がある。

なお、重力式岸壁の残留水位は、港湾基準 p.1067^{*1} より、一般的に L.W.L.に潮位差の 1/3 を加えた水位として設定することが多い。このための将来 F-R.W.L.は現在の R.W.L.に潮位の上昇量（0.55m）加えた値より設定する。

$$\begin{aligned}\text{現在の残留水位 (R.W.L.)} &= 1/3 (\text{H.W.L.} - \text{L.W.L.}) + \text{L.W.L.} \\ &= 1/3 (1.5\text{m} - 0.0\text{m}) + 0.0\text{m} \\ &= 0.50\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{将来の残留水位 (F-R.W.L.)} &= \text{現在の残留水位 (R.W.L.)} + 0.55\text{m} \\ &= 0.50\text{m} + 0.55\text{m} \\ &= 1.05\text{m}\end{aligned}$$

(3) 照査用震度

レベル 1 地震動に対する変動状態の照査に使用する照査用震度を算定する。

対象岸壁の設計水深は-4.1m であることから、水深-7.5m 以浅の重力式係船岸の性能照査に用いる照査用震度の特性値 k_{hk} は、港湾基準 p.1907^{*1} より、重力式係船岸（水産庁）の係数を参照し設定する。なお、照査用震度は「2.4.2 性能照査における作用の組み合わせ」より、将来（上位シナリオ）における残留水位を用いて設定する。

(4) 壁体に作用する動水圧

地震動作用時に壁体に作用する動水圧は、照査用震度を設定して港湾基準 p.359^{*1} に準拠し算定する。

（５）地盤改良

岸壁背後の埋土の液状化対策として、SCP による地盤改良を行う。SCP による地盤改良を行う場合の天端については、過去の実績等により H.W.L.を基本とする設計が行われている。新設の場合、制約等が無い場合には、液状化対策を行う際の地盤改良天端は、安全側となる将来の水位（F-H.W.L.）以上として設定した。

2.5.3.5. 性能照査

（１）性能照査フロー

対象施設の性能照査は、港湾基準 p.1063^{*1} に示す重力式係船岸の性能照査フローに従い照査を実施する。なお、対象施設は耐震強化施設ではないため、レベル 2 地震動に関する偶発状態を除く、永続状態及びレベル 1 地震動に関する変動状態に対して安定性を照査する。

(2) 照査項目

各設計状態の照査項目を表 2-43 に示す。なお、照査項目は検討する対象施設の自然条件、利用上の要求性能等により異なり、表 2-43 では一般的な岸壁について主な照査項目を示す。各性能照査項目の性能照査式の詳細については、港湾基準^{※1}を参照する。

表 2-43 各種設計状態と関連する性能照査項目

設計状態	構造物の全体安定性に関する性能照査項目			
	基礎地盤の円弧すべり	壁体の滑動	壁体の転倒	基礎地盤の支持力破壊
自重に関する永続状態	○			
土圧に関する永続状態		○	○	○
レベル1地震動に関する変動状態		○	○	○

(3) 照査結果

各性能照査項目に対し照査した結果を表 2-44に示す。

表 2-44 安定性の照査結果

照査項目	永続状態			変動状態 (レベル1地震動)	
潮位	前面 LWL (背面 RWL)	前面 F-LWL (背面 F-RWL)		前面 F-LWL(背面 F-RWL) ×震度(F-RWL)	
上載荷重の有無	上載荷重を考慮した場合	上載荷重を考慮しない場合	上載荷重を考慮した場合	上載荷重を考慮しない場合	上載荷重を考慮した場合
滑動	—	0.410<1.000...OK	0.374<1.000...OK	0.860<1.000...OK	0.833<1.000...OK
転倒	—	0.266<1.000...OK	0.243<1.000...OK	0.641<1.000...OK	0.634<1.000...OK
基礎地盤の支持力破壊	—	0.724<1.000...OK	0.733<1.000...OK	0.989<1.000...OK	0.998<1.000...OK
基礎地盤の円弧すべり	0.981<1.000...OK	—	—	—	—

※滑動・転倒は設置水深-4.1mにおける照査結果を示す

2.5.4. 岸壁（矢板式）【新設】

2.5.4.1. 対象断面

新たに岸壁を建設する事例である。図 2-22 に気候変動を考慮し設定した施設の断面図を示し、表 2-45 に設計条件一覧を示す。

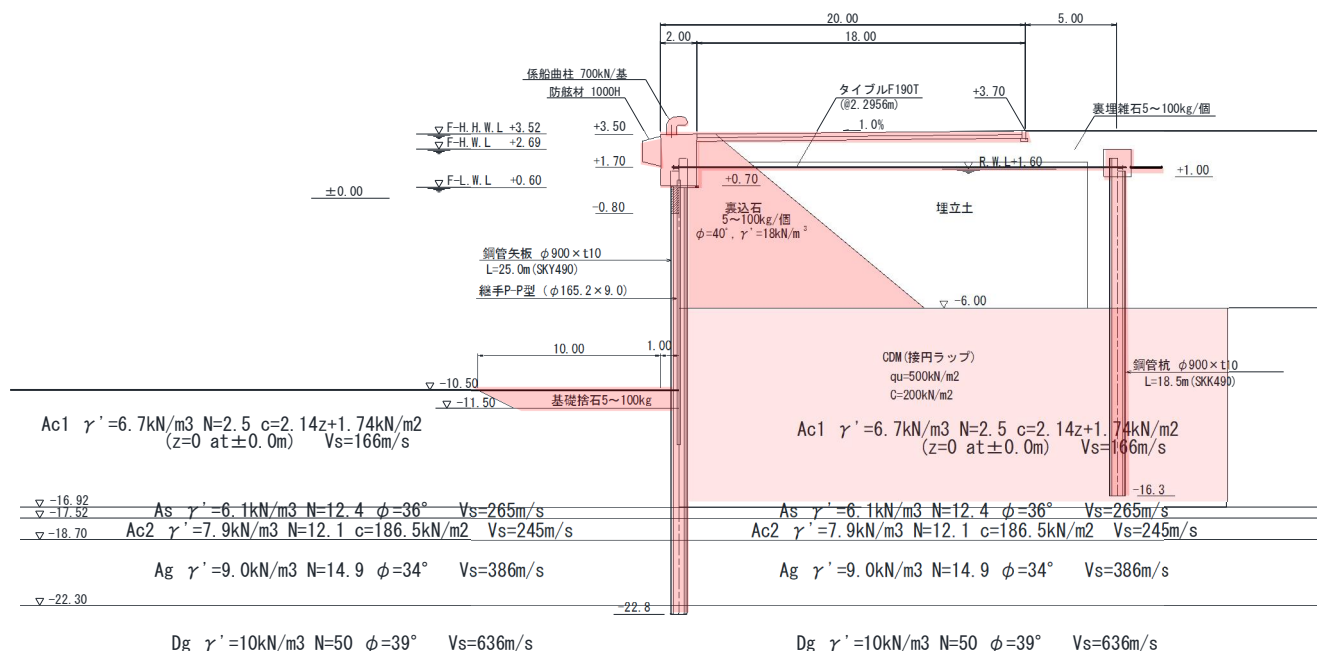


図 2-22 断面図

2.5.4.2. 適応策

岸壁天端高の設定にあたり、設計施設に隣接する岸壁の天端高との整合性から制約があるが、将来の作用に対する施設の利用への影響がないことから、将来の作用の上振れによる手戻りを勘案し、全ての部材、工種について「事前適応策」を採用する。

表 2-45 設計条件一覧

	条件項目	設定値		備考
気候変動適応策		事前適応策		
施設条件	設計水深	D.L.-10.5m		
	岸壁天端高	D.L.+3.50m 事前適応策		
	エプロン幅、天端高	20m、D.L.+3.70m（エプロン勾配 1%）		
自然条件	潮位	■ 現在気候 H.H.W.L. D.L. +3.10m H.W.L. D.L. +2.30m L.W.L. D.L. +0.21m R.W.L. D.L. +1.60m L.W.L.+2/3×（H.W.L.-L.W.L.） ■ 将来気候（上位シナリオ） F-H.H.W.L. D.L. +3.52m F-H.W.L. D.L. +2.69m F-L.W.L. D.L. +0.60m F-R.W.L. D.L. +1.99m R.W.L. D.L.+1.60m+0.39m		
	L1 地震動			国総研 HP
	照査用震度 k_h	0.10		将来の残留水位により算定
	利用条件	上載荷重	永続状態 20.0kN/m ² 変動状態 10.0 kN/m ²	
船舶		RORO 船		15,000GT 級
けん引力		曲柱：700kN/基		
材料条件	基礎捨石	$\phi = 40^\circ$, $\gamma = 18.0\text{kN/m}^3$, $\gamma' = 10.0\text{KN/m}^3$		港湾基準 p.498
	裏込雑石	$\phi = 40^\circ$, $\gamma = 18.0\text{kN/m}^3$, $\gamma' = 10.0\text{KN/m}^3$		港湾基準 p.498
	裏埋材	$\phi = 30^\circ$, $\gamma = 18.0\text{kN/m}^3$, $\gamma' = 10.0\text{KN/m}^3$		港湾基準 p.498
	鋼材	77.0kN/m ³		港湾基準 p.447
	鉄筋コンクリート	24.0kN/m ³		港湾基準 p.447
	無筋コンクリート	22.6kN/m ³		港湾基準 p.447
	腐食速度	【海側】 L.W.L.-1.0m 以浅		

2.5.4.3. 将来作用の設定例

「2.3.2 将来の作用を設定するための期間」で整理した将来の作用の考え方により、2℃上昇シナリオの上位シナリオに基づく作用の設定を行う。詳細については、将来変化比は国総研資料 No.1281 を参照されたい。また、将来の作用を設定するための期間末は、施設の設計供用期間末ではないことに留意されたい。

(1) 将来変化のシナリオ

表 2-46に将来の作用の条件設定を示す。本事例では事前適応策を採用することから、表 2-7に示す通り、平均海面水位の上昇量は前掲図 2-3の日本沿岸、潮位偏差及び波高の将来変化比については国総研資料No. 1302^{※5}に基づく前掲表 2-1より上位シナリオを設定する。

表 2-46 将来作用の条件設定

平均海面の 上昇量[m]	潮位偏差の 将来変化比
上位シナリオ	上位シナリオ
0.55	1.07

(2) 基準年の設定

表 2-47 に潮位、表 2-48 に潮位偏差の基準年の設定を示す。

各表には基準年の設定手法を示す【基準年の設定手法の詳細は「2.3.3 基準年設定の考え方」参照】。

1) 潮位の基準年の考え方：基準年①

潮位は、観測値を分析して最新の潮位を採用した。基準年は統計期間 2019～2023 年の中間年の 2021 年を基準年に設定した。

2) 潮位偏差の基準年の考え方：基準年①

潮位偏差は、観測値を分析して最新の潮位偏差を設定した。ここで、H.H.W.L.は技術基準 p.118 の設計潮位条件より、既往最高潮位として設定している。潮位偏差の基準年は既往最高潮位の発生年である 2021 年を設定した。

表 2-47 潮位の基準年の設定

H.W.L.				L.W.L.				基準年の 設定手法
[D.L.+m]	開始	終了	基準年	[D.L.+m]	開始	終了	基準年	
2.30	2019	2023	2021	0.21	2019	2023	2021	①

表 2-48 潮位偏差の基準年の設定

H.H.W.L.			潮位偏差			基準年の 設定手法
[D.L.+m]	発生年	基準年	[m]	発生年	基準年	
3.10	2021	2021	0.80	2021	2021	①

(3) 天文潮位の時間変化

将来作用の潮位を設定する。1995 年から 2090 年までの平均海面水位の上昇量は、日本の気候変動 2020 をもとに、上位シナリオで 0.55 [m]とする。現在の作用の朔望平均満潮位、朔望平均干潮位は 2019 年から 2023 年の観測記録に基づき 2.30 [m]及び 0.21 [m]とする。また、モデル港の基準年を 2021 年（2019 年から 2023 年の中間）とした。

設定したパラメータおよび将来作用の潮位を表 2-49、表 2-50 に示す。

表 2-49 将来作用の朔望平均満潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均満潮位 L_{Hx} [m]	将来の作用を 設定するための 期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するための 期間末の朔 望平均 満潮位 L_{Hy}
上位シナリオ	0.55	0.006	2021	2.30	2090	2.70

表 2-50 将来作用の朔望平均干潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均干潮位 L_{Lx} [m]	将来の作用を 設定するための 期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するための 期間末の朔 望平均 干潮位 L_{Ly}
上位シナリオ	0.55	0.006	2021	0.21	2090	0.61

(4) 潮位偏差の時間変化

将来作用の潮位偏差を設定する。なお、H.H.W.L.=3.10 [m]は技術基準 p.118 の設計潮位条件より、既往最高潮位として設定している。モデル港の 1980 年から 2040 年までの潮位偏差の将来変化率は上位シナリオで 1.07（九州南東側）とする。潮位偏差の基準年は既往最高潮位の発生年である 2021 年を設定した。

将来作用の潮位偏差、設計高潮位を表 2-51、表 2-52 に示す。

表 2-51 将来作用の潮位偏差

	1980 年から 2040 年の将 来変化率 r_V	年変化率 C_V [/年]	基準年 西暦 x 年	基準年の 潮位偏差 V_x [m]	1980 年の潮 位偏差 V_{1980} [m]	将来の作用 を設定する ための期間 末の年 西暦 y 年	将来の作用 を設定する ための期間 末の潮位偏 差 V_y [m]
上位シナリオ	1.07	0.07/60	2021	0.80	0.77	2090	0.82

表 2-52 将来作用の設計高潮位

	将来の作用を設定 するための期間末 の設計高潮位 L_{Dy} (D.L.)
上位シナリオ	3.52

2.5.4.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例

(1) 天端高

対象岸壁の天端高は、設計施設に隣接する岸壁の天端高との整合性及び設計対象船舶の利用を踏まえて D.L.+3.5m とする。

この時、港湾基準 p.1059^{*1} の標準的な天端高の設定の範囲外となるが、利用者との調整により船舶等の利用に問題がないことを確認している。なお、本施設における将来の設計高潮位 (F-H.H.W.L.) は、D.L.+3.52m である。当該施設は港奥に位置し、波浪の影響も小さくエプロン勾配 (エプロン天端 D.L.+3.70m) 考慮すると高潮時の浸水リスクは低く、また、岸壁の資機材等への影響もないことから設定している。

※本事例では、事前適応策としているが、順応的適応策として、浸水対策のための止水壁を岸壁に設置する事例を参考資料 2.6.5 に示す。

(2) タイ材

港湾基準 p.1087^{*1} よりタイ材取付位置は一般に L.W.L. 上、潮差の 2/3 程度の高さとすることが多い。施工時の残留水位を踏まえ、R.W.L. (現在) を基準に高さを設定した。以下に示す現在の残留水位以上とし、D.L.+1.6m とする。

$$\begin{aligned}\text{現在の残留水位 (R.W.L.)} &= 2/3 (\text{H.W.L.} - \text{L.W.L.}) + \text{L.W.L.} \\ &= 2/3 (2.3 - 0.21) + 0.21 \\ &= 1.60\text{m}\end{aligned}$$

(3) 重防食

現在気候における水位等に対する防食機能を確保するため、重防食の範囲は、L.W.L. (現在) - 1.0m (港湾基準 p.604^{*1} 参照) から将来の潮位の範囲で設定する。

(4) 控え工の設置位置

控え直杭の設置位置は港湾基準 p.1088^{*1} に示すように、杭とタイ材の取付位置よりも $l_m/3$ 深い位置から引いた杭の受働崩壊面と、海底面から引いた矢板の主働崩壊面が、杭とタイ材の取付位置を含む水平面以下で交わらないようにするのが望ましい。なお、ここでの水平面とは将来の残留水位 (F-R.W.L.) としている。

(5) 残留水位 (R.W.L.)

設計に使用する残留水位は、「2.4.2 性能照査における作用の組み合わせ」に示すように、永続状態の円形すべりに対しては現在の残留水位 (R.W.L.)、レベル 1 地震動に対する変動状態の照査には将来の残留水位 (F-R.W.L.) を設定する。

なお、鋼矢板壁の残留水位は、港湾基準 p.1091^{*1} より、一般的に L.W.L. 上、潮位差の 2/3 として設定することが多い。このための将来の残留水位 (F-R.W.L.) は以下に示すように、現在

の残留水位（R.W.L.）に潮位の上昇量（0.39m）加えた値より設定する。

$$\begin{aligned}\text{現在の残留水位（R.W.L.）} &= 2/3 \text{（H.W.L.-L.W.L.）} + \text{L.W.L.} \\ &= 2/3 \text{（2.3m-0.21m）} + 0.21\text{m} \\ &= 1.60\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{将来の残留水位（F-R.W.L.）} &= \text{現在の残留水位（R.W.L.）} + 0.39\text{m} \\ &= 1.60\text{m} + 0.39\text{m} \\ &= 1.99\text{m}\end{aligned}$$

（６） 照査用震度

レベル 1 地震動に対する変動状態の照査に使用する照査用震度を算定する。

照査用震度は「2.4.2 性能照査における作用の組み合わせ」より、将来における残留水位（F-R.W.L.）を用いて設定する。

（７） 矢板壁に作用する動水圧

地震動作用時に壁体に作用する動水圧は、照査用震度を設定して港湾基準p.359^{*1}に準拠し算定する。

2.5.4.5. 性能照査

(1) 性能照査フロー

対象施設の性能照査は、港湾基準 p. 1085^{※1} に示す矢板式係船岸の性能照査フローに従い照査を実施する。なお、対象施設は耐震強化施設ではないため、レベル 2 地震動に関する偶発状態を除く、永続状態及びレベル 1 地震動の変動状態に対して安定性を照査する。

(2) 照査項目

各設計状態の照査項目を表 2-53 に示す。なお、照査項目は検討する対象施設の自然条件、利用上の要求性能等により異なり、表 2-53 では一般的な岸壁について主な照査項目を示す。

各性能照査項目の性能照査式の詳細については、港湾基準^{※1}を参照する。

表 2-53 各種設計状態と関連する性能照査項目

設計状態	構造物の全体安定性に関する性能照査項目					
	前面壁の 円弧すべり	前面壁の鋼 矢板の根入 れ長の照査	前面壁の鋼 矢板の応力 度の照査	タイ材の 張力荷重 の照査	腹起しの 応力度の 照査	控え工の応力 度、根入れ長、 設置位置の照査
自重に関する 永続状態	○					
土圧に関する 永続状態		○	○	○	○	○
レベル 1 地震動に 関する 変動状態		○	○	○	○	○

(3) 照査結果

各性能照査項目に対し照査した結果を表 2-54、表 2-55 に示す。

表 2-54 安定性の照査結果（応力度、必要根入れ長さ）

部材名・規格	照査項目	永続状態	変動状態 (レベル 1 地震動)
		前面 F-LWL (背面 F-RWL)	前面 F-LWL (背面 F-RWL)×震度 (F-LWL)
φ 900×t10.0 (P-P型)(SKY490)	応力度照査 $m \cdot S_d/R_d$	$0.952 \leq 1.0$ OK	$0.947 \leq 1.0$ OK
	根入れ深度(m)	-22.347	-22.641
	施工根入れ深度(m)	-22.800	
タイプル : F190T	降伏荷重 $m \cdot S_d/R_d$	$0.952 \leq 1.0$ OK	$0.967 \leq 1.0$ OK
	タイ材長さ(m)	21.063	23.571
	施工タイ材長さ(m)	24.000	
腹起し : 2 [300×90×10.0× 15.5(SS400)	応力度照査 $m \cdot S_d/R_d$	$0.950 \leq 1.0$ OK	$0.781 \leq 1.0$ OK
控え杭 φ 1000× t 14.0(SKK490)	応力度照査 $m \cdot S_d/R_d$	$0.926 \leq 1.0$ OK	$0.793 \leq 1.0$ OK
	根入れ深度(m)	-15.301	-16.008
	施工根入れ深度(m)	-16.300	

表 2-55 安定性の照査結果（円弧すべり）

潮位	永続状態
前面 LWL(背面 RWL)	$0.950 \leq 1.0$ OK

2.5.5. 護岸（重力式）【既設】

2.5.5.1. 対象断面

高波浪による越波対策として上部工の嵩上げ改良を検討する。図 2-24 に気候変動を考慮し設定した施設の断面図を示し、表 2-56 に設計条件一覧を示す。

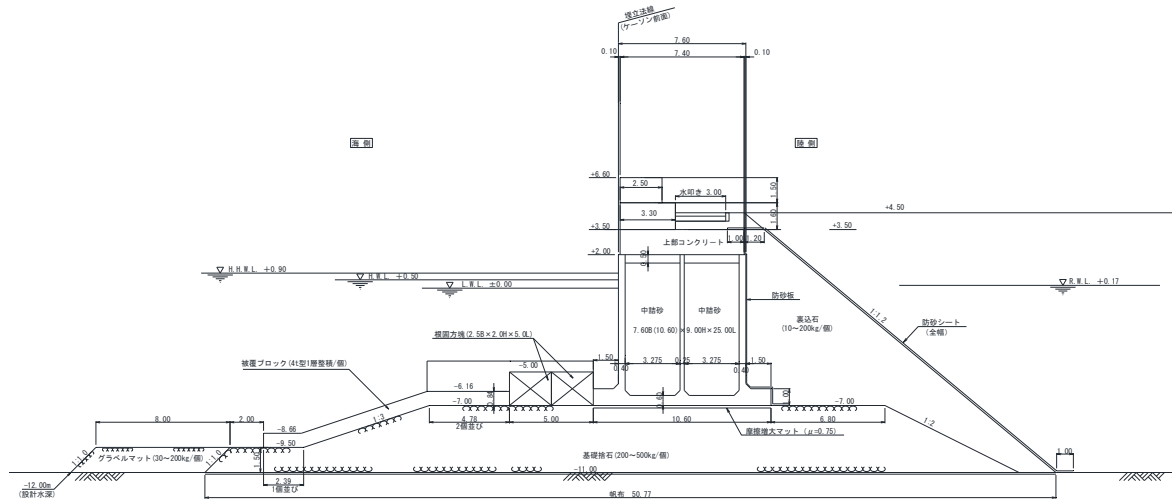


図 2-23 現況断面図

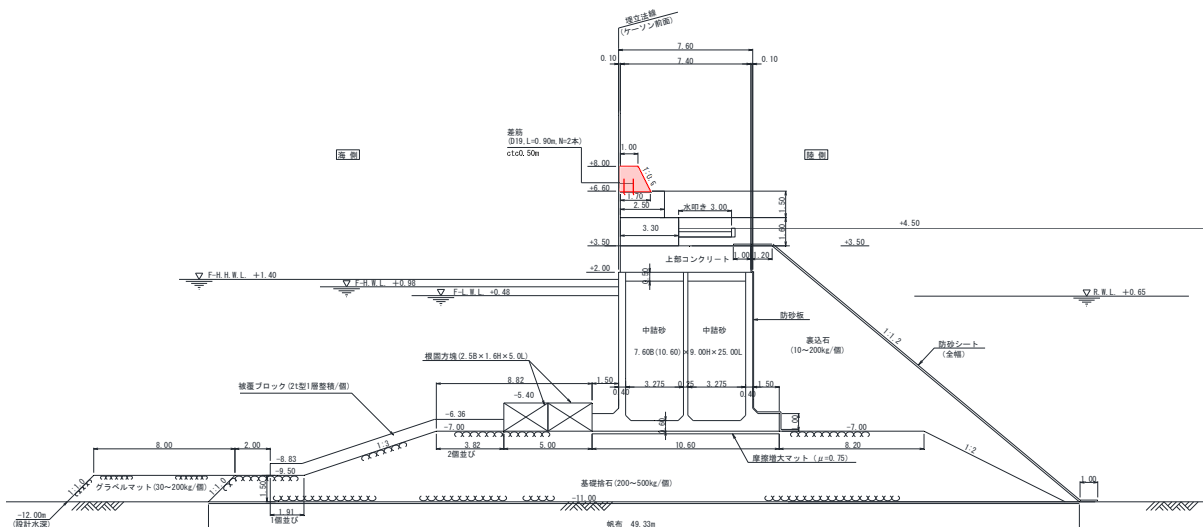


図 2-24 対策断面

2.5.5.2. 適応策

対象施設は、護岸天端高の設定にあたり、特段の制約がないため、作用の上振れによる手戻りを勘案し、全ての部材、工種について「事前適応策」を採用する。

表 2-56 設計条件一覧

	条件項目	設定値	備考
気候変動適応策		事前適応策	
施設条件	設計水深	D.L.-11.0m	
	天端高	D.L.+8.00m 事前適応策	
自然条件	潮位	■現在気候 H.H.W.L. D.L. +0.90m H.W.L. D.L. +0.50m L.W.L. D.L. ±0.00m R.W.L. D.L. +0.17m $L.W.L.+1/3 \times (H.W.L.-L.W.L.)$ ■将来気候（上位シナリオ） F-H.H.W.L. D.L. +1.40m F-H.W.L. D.L. +0.98m F-L.W.L. D.L. +0.48m F-R.W.L. D.L. +0.65m	
	波浪条件	■現在気候 準沖波 50年確率 波向 NNW 波高 7.32m 周期 12.60s 天端高検討用 設計波（50年確率波） H.H.W.L. $H_{1/3}$ 4.9m H_{max} 8.4m $\beta=32.1^\circ$ 耐波安定性検討用 設計波（50年確率波） H.W.L. $H_{1/3}$ 5.0m H_{max} 8.4m $\beta=32.2^\circ$ L.W.L. $H_{1/3}$ 5.1m H_{max} 8.3m $\beta=32.4^\circ$ ■将来気候（上位シナリオ） 準沖波 50年確率 波向 NNW 波高 7.61m 周期 12.86s 天端高検討用 F-H.H.W.L. $H_{1/3}$ 5.1m H_{max} 8.8m $\beta=32.1^\circ$ 耐波安定性検討用 F-H.W.L. $H_{1/3}$ 5.2m H_{max} 8.7m $\beta=32.2^\circ$ F-L.W.L. $H_{1/3}$ 5.3m H_{max} 8.7m $\beta=32.3^\circ$	
	海底勾配	1/100	
	照査用震度 k_h	0.22	照査用震度は将来水位により設定
	許容越波流量	0.02m ³ /s/m	港湾基準 p.176 その他重要な地区
利用条件	上載荷重	永続状態 5.0kN/m ² 変動状態 2.5 kN/m ²	
	埋立地盤高	D.L.+4.5m	

2.5.5.3. 将来作用の設定例

「2.3.2 将来の作用を設定するための期間」で整理した将来の作用の考え方により、2℃上昇シナリオの上位シナリオに基づく作用の設定を行う。詳細については、将来変化比は国総研資料 No.1281 を参照されたい。また、将来の作用を設定するための期間末は、施設の設計供用期間末ではないことに留意されたい。

（１） 将来変化のシナリオ

表 2-57に将来の作用の条件設定を示す。本事例では事前適応策を採用することから、表 2-7に示す通り、平均海面水位の上昇量は前掲図 2-3の日本沿岸、潮位偏差及び波高の将来変化比については国総研資料No. 1302^{※5}に基づく前掲表 2-1より上位シナリオを設定する。

表 2-57 将来作用の条件設定

平均海面の 上昇量[m]	潮位偏差の 将来変化比	波高の 将来変化比
上位シナリオ	上位シナリオ	上位シナリオ
0.55	1.08	1.06

（２） 基準年の設定

表 2-58 に潮位の基準年の設定、表 2-59 に潮位偏差の基準年の設定、表 2-60 に波高の基準年の設定を示す。

各表には基準年の設定手法を示す【基準年の設定手法の詳細は「2.3.3 基準年設定の考え方」参照】

1) 潮位の基準年の考え方：基準年③

潮位は、観測値等の分析は行わず、従来の潮位を設定した。基準年は従来用いてきた設計潮位を設定する時の観測値の統計期間 1999～2008 年の中間年である 2008 年を設定した。

2) 潮位偏差の基準年の考え方：基準年②

潮位偏差は、観測値を分析して従来の潮位偏差と最新の潮位偏差を比較した結果、潮位偏差が高い従来の潮位偏差を用いることとした。基準年は比較に用いた最新の潮位偏差の発生年である 1999 年を採用した。

3) 沖波の基準年の考え方：基準年①

沖波は、最新の波浪推算結果により設定された準沖波を用いることとした。沖波は、1986～2019 年までの推算値を用いて設定されているため、その中間年の 2003 年を基準年とした。

表 2-58 潮位の基準年の設定

H.W.L.				L.W.L.				基準年の 設定手法
[D.L.+m]	開始	終了	基準年	[D.L.+m]	開始	終了	基準年	
0.50	1999	2016	2008	0.00	1999	2016	2008	③

表 2-59 潮位偏差の基準年の設定

H.H.W.L.			潮位偏差			基準年の 設定手法
[D.L.+m]	発生年	基準年	[m]	発生年	基準年	
0.90	1999	1999	0.28	1999	1999	②

表 2-60 波高の基準年の設定

波高			基準年の 設定手法
開始	終了	基準年	
1986	2019	2003	①

(3) 天文潮位の時間変化

将来作用の潮位を設定する。1995 年から 2090 年までの平均海面水位の上昇量は、日本の気候変動 2020 をもとに、上位シナリオで 0.55 [m]とする。現在の作用の朔望平均満潮位、朔望平均干潮位は 1999 年から 2016 年の観測記録に基づき 0.50 [m]及び 0.00 [m]とする。また、モデル港の基準年を 2008 年（1999 年から 2016 年の中間）とした。

設定したパラメータおよび将来作用の潮位を表 2-61、表 2-62 に示す。

表 2-61 将来作用の朔望平均満潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均満潮位 L_{Hx} [m]	将来の作用を 設定するた めの期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するた めの期間末の朔 望平均 満潮位 L_{Hy}
上位シナリオ	0.55	0.006	2008	0.50	2090	0.98

表 2-62 将来作用の朔望平均干潮位

	1995 年から 2090 年の海面 上昇量 ΔL [m]	1 年あたりの 海面上昇量 a [m]	基準年 西暦 x 年	基準年の朔望 平均干潮位 L_{Lx} [m]	将来の作用を 設定するた めの期間末の年 西暦 y 年	将来の作用を 設定するた めの期間末の朔 望平均 干潮位 L_{Ly}
上位シナリオ	0.55	0.006	2008	0.00	2090	0.48

(4) 潮位偏差の時間変化

将来作用の潮位偏差を設定する。なお、H.H.W.L.=0.90 [m]は技術基準 p.118 の設計潮位条件より、既往最高潮位として設定している。モデル港の 1980 年から 2040 年までの潮位偏差の将来変化率は上位シナリオで 1.08（富山湾）とする。基準年は比較に用いた最新の潮位偏差の発生年である 1999 年を採用した。

将来作用の潮位偏差、設計高潮位を表 2-63、表 2-64 に示す。

表 2-63 将来作用の潮位偏差

	1980 年から 2040 年の将来 変化率 r_V	年変化率 C_V [/年]	基準年 西暦 x 年	基準年の 潮位偏差 V_x [m]	1980 年の潮 位偏差 V_{1980} [m]	将来の作用 を設定する ための期間 末の年 西暦 y 年	将来の作用 を設定する ための期間 末の潮位偏 差 V_y [m]
上位シナリオ	1.08	0.08/60	1999	0.28	0.28	2090	0.30

表 2-64 将来作用の設計高潮位

	将来の作用を設定 するための期間末 の設計高潮位 L_{DY} (D.L.)
上位シナリオ	1.40

（５） 沖波波高の時間変化

将来作用の沖波波高を設定する。モデル港の 1980 年から 2040 年までの沖波波高の将来変化率は上位シナリオで 1.06（富山湾）とする。モデル港における推算期間は 1986 年から 2019 年としていた。50 年確率波で N 方向の設計沖波の波高は 8.27[m]であった。よって、モデル港の基準年を 2003 年（1986 年から 2019 年の中間）とし、基準年の 50 年確率波で N 方向の沖波波高は 8.27 [m]とした。

設定した将来作用の沖波波高（50 年確率波；N 方向）を表 2-65、現在作用と将来作用の沖波の比較を表 2-66 に示す。なお、沖波周期は現在気候と波形勾配が同等になるように調整した。

表 2-65 将来作用の沖波波高

	1980 年から 2040 年の将来 変化率 r_v	年変化率 C_H [/年]	基準年 西暦 x 年	基準年の 沖波波高 H_x [m]	1980 年の 沖波波高 H_{1980} [m]	将来の作用 を設定する ための期間 末の年 西暦 y 年	将来の作用 を設定する ための期間 末の沖波波 高 H_y [m]
上位シナリオ	1.06	0.06/60	2003	8.27	8.08	2090	8.57

表 2-66 現在作用と将来作用の沖波の比較

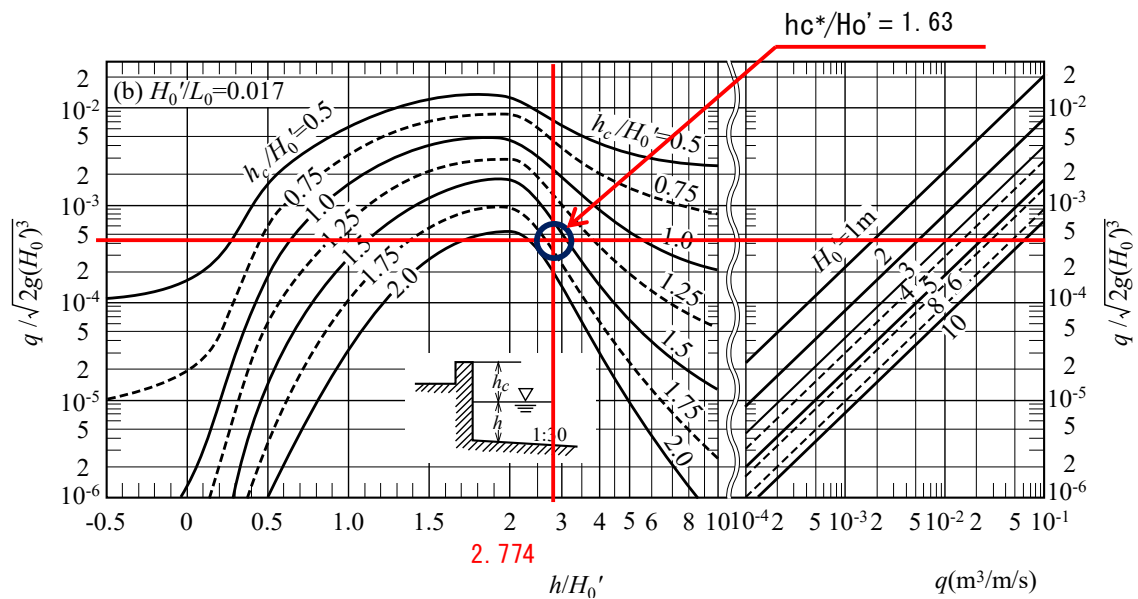
年	沖波波高・周期							
	WNW		NW		NNW		N	
	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]	[s]
現在作用： 基準年（2003 年）	5.36	11.20	6.54	12.00	7.32	12.60	8.27	13.20
将来作用（上位）： 2090 年	5.56	11.42	6.78	12.24	7.59	12.86	8.57	13.47

2.5.5.4. 気候変動を考慮した構造諸元及び作用の設定例

(1) 天端高

護岸の必要天端高は、50 年確率波が作用した場合に、許容越波流量以下となる天端高を設定する。当該施設の越波流量は、背後に重要度が高い施設が隣接していることを勘案し、港湾基準 p.176^{*1} より 0.02 (m³/s/m) とし、越波流量推定図 (港湾基準 p.170^{*1} 参照) をもとに設定した結果、hc = 7.87m となる。

波向		NNW	準沖波波高	Hq0	=	7.61 m
検討高潮位	H. H. W. L.	+1.40 m	換算沖波波高	Ho'	=	4.83 m
地盤高	D. L.	= -12.00 m	沖波周期	To	=	12.86 s
前面水深	h	= 13.40 m	沖波波長	Lo	=	257.99 m
水面上高	hc	= 7.87 m	換算沖波波形勾配	Ho' / Lo	=	0.019
海底勾配	i	= 1:100	水深波高比	h / Ho'	=	2.774
			入射角度	θ	=	32.10 °
			無次元越波流量 $q / \sqrt{2g(Ho')^3}$		=	0.000425
			許容越波流量	qa	=	0.02 m ³ /m/s



$$\begin{aligned}
 \text{相対天端高 } hc / Ho' &= 1.63 \\
 hc &= 1.63 \times 4.83 \\
 &= \underline{7.87 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

対象施設に入射する波の入射角 θ は 32.1° (F-H.H.W.L.) であり、港湾基準 p.174^{※1} において、斜め入射に対する換算天端高係数は、 $|\theta| > 30^\circ$ の場合、 $\beta = 0.75$ と示されている。換算天端高係数 β を用いて必要天端高を設定し算定した結果、必要天端高は D.L.+7.4m となる。

$$\begin{aligned} & \text{F-H.H.W.L.} + 1.4 + hc \times \beta \\ &= \text{F-H.H.W.L.} + 1.4 + 7.87 \times 0.75 \\ &= 7.4\text{m} \end{aligned}$$

また、「2.5.5.5 地殻変動量」より、将来における地殻変動量 ($0.57\text{m} \div 0.6\text{m}$) も考慮すると D.L.+8.0m となり、1.4m の嵩上げ (既設天端高 D.L.+6.6m) が必要となる。

(2) 上部工パラペット

必要天端高を満足するために上部工パラペットの設置が必要となるため、将来波浪に対して安定性照査を行う。なお、新設と既設上部工の間に打ち継ぎ目が生じること、また、上部工パラペットの自重だけでは、安定性を満足しないことから、差筋の検討を行う。なお、照査方法及び照査の式については港研資料No. 1413^{※7}を参考とする。差筋の検討に使用した部分係数を表 2-67に示す。

表 2-67 差筋等及び差筋接合部の検討に使用する部分係数 (港研資料 No.1413^{※7})

部分係数等	記号	値
調整係数	m	1.2
抵抗に関する部分係数	γ_R	1.0
荷重に関する部分係数	γ_S	1.0
差筋の引張力に関する部分係数	γ_T	1.0
差筋のせん断力に関する部分係数	γ_V	1.0
差筋の材料係数	γ_{fy}	1.0
コンクリートの材料係数	γ_c	1.3
あと施工アンカーに関する部分係数	γ_b	1.6

2.5.5.5. 地殻変動量

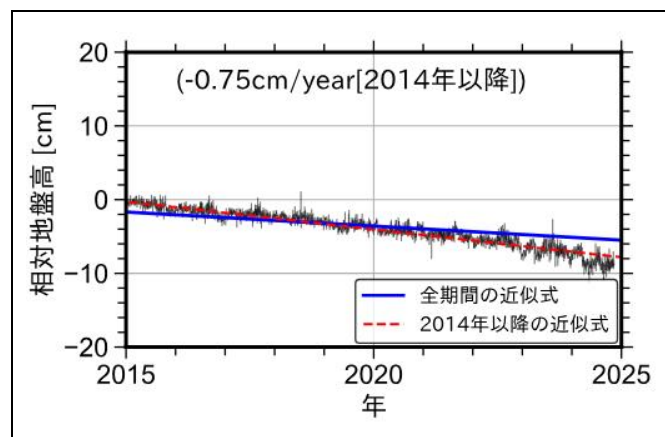
モデル港湾を対象に港湾近傍の電子基準点データを用いて、常時の地殻変動量を推計した。当該港は過去から常時の地盤沈下が生じており、また、高波浪時の越波被害も増加している。今後、気候変動により更に被害等が増加することが懸念されるため、護岸天端高の設定にあたって常時の地殻変動量を考慮する。

表 2-68に電子基準点の地盤高の経年変化量を示す。経年変化量は0.75cm/年 程度沈下する傾向が継続的に確認されており、2090年には地殻変動量が57cm（2090年-2014年=76年 76年×0.75cm/年=57cm）となることが想定される。このため、港湾基準p.1020^{※1}より対象施設への影響を鑑みて地殻変動量を考慮する。

表 2-68 電子基準点の地盤高の経年変化量（2014 年以降）

経年変化量[cm/year]
-0.75

※+：隆起、－：沈降



※相対地盤高：全期間平均値を差し引いて正規化した地盤高

図 2-25 電子基準点の地盤高の経年変化量

2.5.5.6. 性能照査

(1) 性能照査フロー

対象施設の性能照査は、港湾基準 p.922^{*1} に示す混成堤の性能照査フローに従い照査を実施し、永続状態及び波浪に関する変動状態、レベル 1 地震動に関する変動状態に対して安定性を照査する。

(2) 照査項目

各設計状態の照査項目を表 2-69 に示す。各性能照査項目の性能照査式の詳細については、港湾基準^{*1} を参照する。なお、上部工パラペットについては、滑動・転倒において安定性が不足する場合、港研資料 No.1413^{*7} を参考に、差筋等及び差筋接合部の検討を行う。

表 2-69 各種設計状態と関連する性能照査項目

設計状態	構造物の全体安定性に関する性能照査項目			
	基礎地盤の円弧すべり	壁体の滑動	壁体の転倒	基礎地盤の支持力破壊
自重に関する永続状態	○			
上部工パラペット※		○	○	
波浪に関する変動状態		○	○	○
レベル 1 地震動に関する変動状態		○	○	○

(3) 照査結果

各性能照査項目に対し照査した結果を表 2-70、表 2-71、表 2-73に示す。

上部工パラペットの滑動・転倒において安定性が不足することから、差筋等の検討を行った。検討結果を表 2-74、表 2-75に示す。

表 2-70 本体工の安定性の照査結果

照査項目	永続状態	変動状態 (レベル 1 地震動)
潮位	前面(LWL)×背面(RWL)	前面(F-LWL)×背面(F-RWL)×震度(F-RWL)
滑動	—	0.730<1.000...OK
転倒	—	0.526<1.000...OK
底面反力(kN/m ²)	—	384.953
基礎地盤の支持 力破壊	—	0.824<1.000...OK
基礎地盤の円弧 すべり (上載荷 重考慮した場 合)	0.798<1.000...OK	—

表 2-71 根固ブロックの所要厚及び諸元の算定結果

		将来 F-HWL×将来波浪	現在 LWL×将来波浪
根固ブロック	港外側	<u>所要厚 1.38m</u> 既設根固ブロック $l(m) \times b(m) \times t(m)$ $5.0 \times 2.5 \times 1.6$ <u>所要厚 1.38m<1.6m...OK</u> 既設根固ブロックで満足する	<u>所要厚 1.46m</u> 既設根固ブロック $l(m) \times b(m) \times t(m)$ $5.0 \times 2.5 \times 1.6$ <u>所要厚 1.46m<1.6m...OK</u> 既設根固ブロックで満足する

※ t : 所要厚、 l : 法線方向の長さ、 b : 幅

表 2-72 マウンド被覆材の所要質量の算定結果

		将来 F-HWL×将来波浪	現在 LWL×将来波浪
被覆ブロック	港外側	所要質量 1.59t 既設被覆ブロック 2t 型 所要質量 1.59t<2t 型...OK 既設被覆ブロックで満足する	所要質量 1.76t 既設被覆ブロック 2t 型 所要質量 1.76t<2t 型...OK 既設被覆ブロックで満足する

表 2-73 上部工パラペットの安定性の照査結果

照査項目	変動状態 (波浪時)
潮位	将来 F-HWL×将来波浪
滑動	-30.940<1.000...NG※
転倒	-4.970<1.000...NG※

※滑動・転倒共に、抵抗項がーとなり NG となる

表 2-74 差筋を含めた滑動・転倒に関する照査結果

照査項目	変動状態 (波浪時)
潮位	将来 F-HWL×将来波浪
滑動	0.520<1.000...OK
転倒	0.155<1.000...OK

※D19,L=0.90m,N=2 本,ctc0.50m

表 2-75 差筋接合部に関する照査結果

照査項目	照査結果
複合作用に関する照査	0.360<1.000...OK
コンクリートの付着に関する照査	0.400<1.000...OK
コンクリートのコーン状破壊に関する照査	0.360<1.000...OK
コンクリートの支圧破壊に関する照査	0.760<1.000...OK

※D19,L=0.90m,N=2 本,ctc0.50m

2.6. 参考資料

2.6.1. 性能照査に用いる水位等の設定

2.6.1.1. 照査用震度及び液状化判定について

係留施設及び護岸の照査に用いる照査用震度の設定にあたり、重力式（15ケース）、矢板式（5ケース）を対象に異なる条件の施設において、残留水位に対し条件を変更して照査用震度を算出し分析した。概ね現在と将来の震度は同程度（1：1）の関係であるが、将来の方が若干大きくなるケースがある。また、これまでも気候変動を考慮しない設計を行う場合も R. W. L. 以外の水位で照査用震度の比較検討は行っていないことも勘案し、照査用震度の設定には将来の残留水位を基本として考える。

また、液状化判定においても残留水位の条件が必要となるが、将来の水位の方が地震時の液状化範囲が広くなることを勘案し、照査用震度と同様に将来の残留水位の条件で検討することを基本としている。

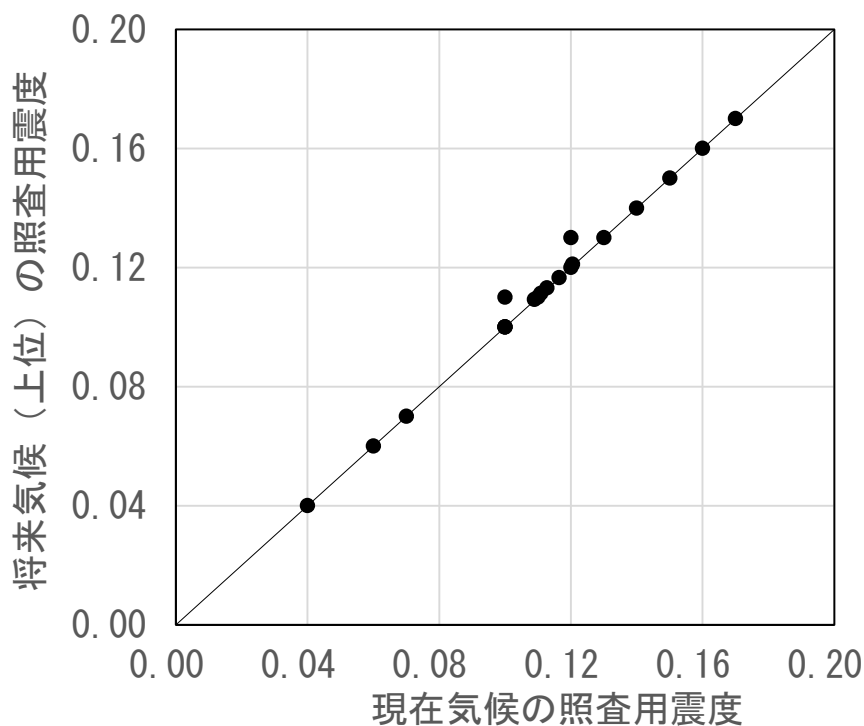


図 2-26 現在気候と将来気候の照査用震度の関係性

2.6.1.2. 係留施設の照査に用いる残留水位について

(1) 重力式

異なる設計条件の重力式の係留施設、10 ケースを対象に、現在と将来の残留水位における滑動と転倒、支持力に対する作用耐力比の比較を行った。(図 2-27)。永続状態に対して水位の違いにより発生する作用耐力比に差が見られない。一方、レベル 1 地震動に対する変動状態において、将来の残留水位が厳しくなる傾向が確認された。

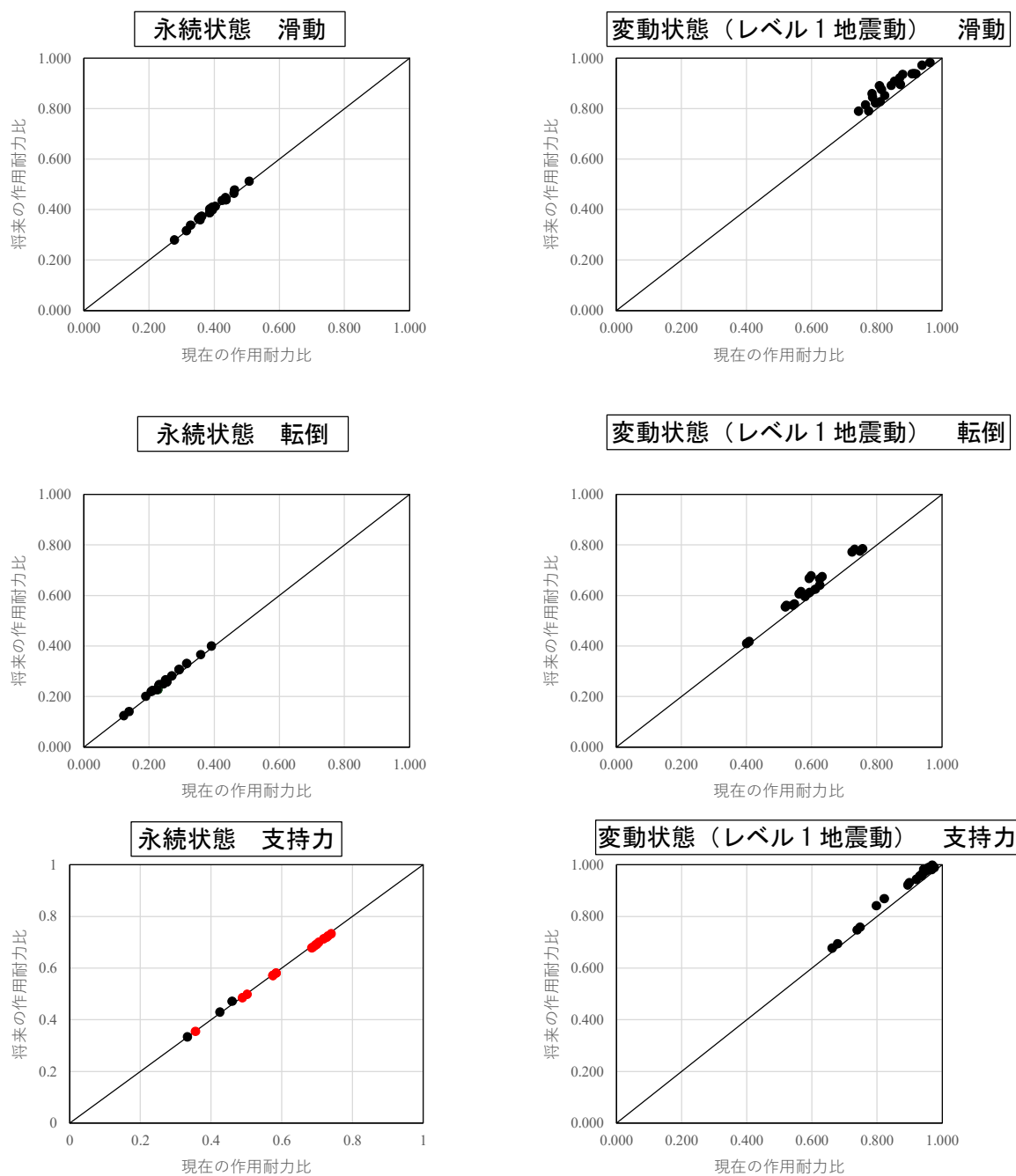


図 2-27 滑動・転倒、支持力の作用耐力比

（２） 矢板式

矢板式構造 10 ケースを対象に、現在と将来の残留水位の条件における各部材の応力度に対する作用耐力比の比較を行った（図 2-28）。矢板式構造の場合、部材毎（矢板、タイ材等）に照査を行うが、水位の状態により、部材に発生する応力度にバラツキがあるもの、現在と将来の残留水位における作用耐力比は同程度であり、部材の規格等が変わる程の差が検証では生じていない。矢板式岸壁では部材毎に照査を行うため、現在と将来の水位条件で危険となる部材が混在し、複数の水位で検討することは断面を決める判断が難しくなる。また、解析条件も複雑化することから、将来の残留水位（F-R.W.L.）を用いて検討を行うことを基本としている。

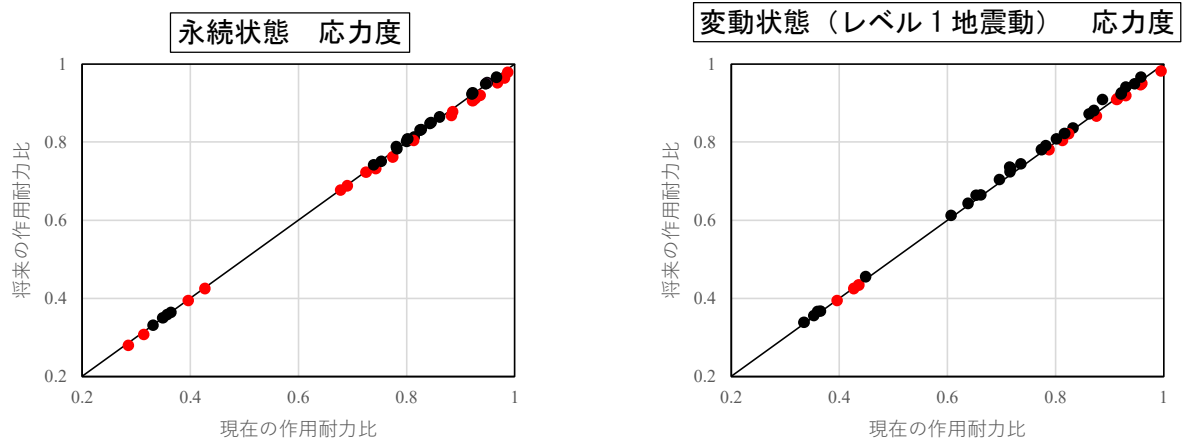


図 2-28 各部材*の応力度の作用耐力比
※前面矢板、タイ材、腹起し、控え工

(3) 円弧すべり

重力式（ブロック式、ケーソン式）、矢板式などの異なる構造形式 6 ケースを対象に円弧すべりを実施した結果を図 2-29 に示す。すべてのケースで現在の残留水位が厳しい結果となった。

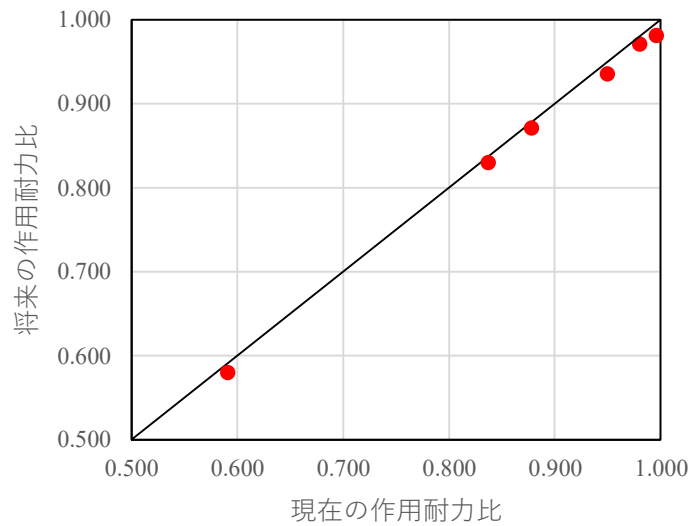


図 2-29 円弧すべりの作用耐力比

2.6.2. 性能照査に用いる将来シナリオ

本事例集では、「港湾における気候変動適応策の実装方針」も参考に、作用の平均値に予測の幅（作用の上振れリスク）を考慮することが望ましいとしている。この理由として、多くの関係者が利用する港湾の施設では、追加工事に伴う利用の制約による影響が大きいことや、港湾工事は一般に規模が大きく、中位シナリオで整備を行った施設に対し、上振れを考えずに追加で工事を行うと手戻りが大きいことから、上振れリスクを考慮することが望ましいこととしている。

表 2-76 適応策の比較（防波堤(新設)）

	中位シナリオで整備実施後、作用が上振れに対応する追加工事を実施	上位シナリオによる事前適応策
断面		
イニシャルコスト	事業費 33,200,000円	事業費 34,200,000円
事後対策費用	事業費 8,000,000円 $8,000,000 \times 0.4$ (生起確率) =3,200,000	—
合計費用	36,400,000円 (1.06)	34,200,000円 (1.00)

表 2-77 適応策の比較（岸壁(新設)）

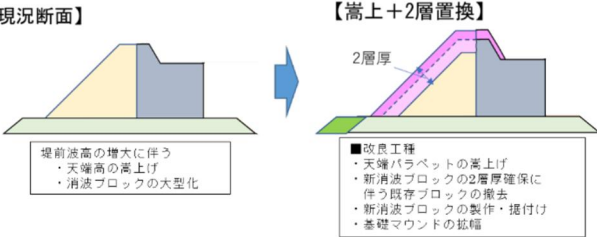
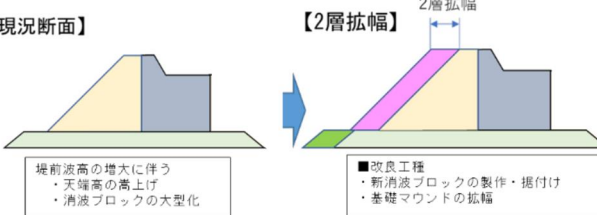
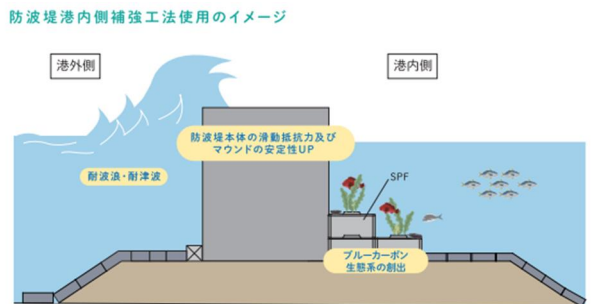
	中位シナリオで整備実施後、作用の上振れに対応する追加工事を実施	上位シナリオによる事前適応策
断面		
イニシャルコスト	事業費 22,700,000円	事業費 24,000,000円
事後対策費用	事業費 13,800,000円 $13,800,000 \times 0.4$ (生起確率) =5,520,000	—
合計費用	28,220,000円 (1.18)	24,000,000円 (1.00)

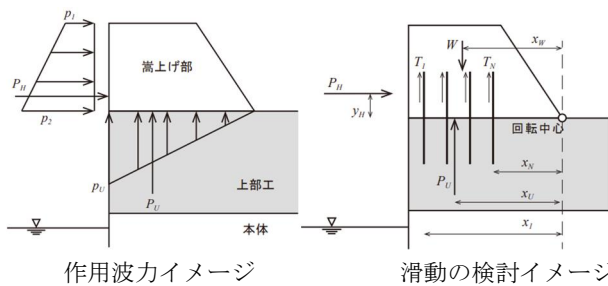
※上位シナリオの将来変化比は 90tile 値（非超過確率 90%）、中位シナリオは平均値（非超過確率 50%）を用いているため、作用が上振れして上位対応に改修する確率 40%として、事後対策費用の期待値を算出している

2.6.3. 気候変動適応策に関する有用な設計技術（公表論文）の紹介

気候変動適応策に関する有用な設計技術について表 2-78に事例を示す。

表 2-78 設計技術の紹介

公表論文名 民間企業の技術名	概要	備考
CADMAS-SURFを用いた消波ブロック被覆堤拡幅断面の越波伝達特性の把握について	気候変動により波高が増大した場合でも、消波ブロックを拡幅することにより、天端高の嵩上げを行わなくても、要求性能（反射波，越波伝達特性）を満足することで順応的な対応に有効と考えられる。 【現況断面】  堤前波高の増大に伴う ・天端高の嵩上げ ・消波ブロックの大型化 ■改良工種 ・天端パラベットの嵩上げ ・新消波ブロックの2層厚確保に伴う既存ブロックの撤去 ・新消波ブロックの製作・据付け ・基礎マウンドの拡幅	若林 信孝, 服部 俊朗, 峯村 浩治, 西ノ園 憲人, 安武 輝征 沿岸技術センター論文集 No. 23 (2023)
設計波の増大に対応した消波ブロック被覆堤の順応的改良工法に関する研究	図-1 消波ブロック被覆堤の嵩上げ断面のイメージ図 【現況断面】  堤前波高の増大に伴う ・天端高の嵩上げ ・消波ブロックの大型化 ■改良工種 ・新消波ブロックの製作・据付け ・基礎マウンドの拡幅 図-2 消波ブロック被覆堤の拡幅断面のイメージ図	酒井 和彦, 平野 誠治, 鈴木 慧, 船橋 雄大, 早川 哲也, 佐藤 典之, 鈴木 高二朗, 木村 克俊
防波堤港内側補強工法（サブプレオフレーム）	波力に対する抵抗力として防波堤背後にブロックを設置する工法。波高の増大に対応して段階的な追加施工も可能。また、SPF中詰石の空隙や表面に、底生動物の生息や海藻類の繁殖することでブルーカーボン生態系の創出や生物多様性にも有効と考えられる。 防波堤港内側補強工法使用のイメージ  港外側 港内側 防波堤本体の滑動抵抗力及びマウンドの安定性UP 耐波浪・耐津波 SPF ブルーカーボン生態系の創出	日建工学株式会社 NETIS:THK-120001-A 「防波堤の耐津波設計ガイドライン」参考資料掲載技術 「水産公共関連民間技術の確認審査・評価事業」認定技術第20-A-001号（一社）漁港漁場新技術研究会
混成堤におけるケーソン転倒時の腹付工の抵抗力特性	これまで滑動や支持力破壊，端趾圧について検討されているが，転倒に対する抵抗力について十分には検討されていない。直立部に腹付工（石積）を設置した場合の腹付工の転倒に対する抵抗力特性を検討したものである。今後、さらに整理が進めば，腹付工による転倒の照査法に有効と考えられ	栗原 大, 高橋 英紀

	る。	
岸壁を対象とした越波浸水対策の簡易検討手法に関する考察	気候変動に伴う海面上昇の影響により、係留施設からの浸水リスクが高まることが懸念される。浸水対策としての止水壁の天端高を設定する場合に、護岸の手法を準用し、許容越波流量を考慮する際、背後の侵水深を求めるなど簡易的な検討に有効と考えられる。	平山克也, 濱野有貴 土木学会論文集, Vol. 79, No. 17, 23-17106, 2023.
既設上部工の嵩上げにおける部材接合部の照査法の整理	気候変動に伴う海面上昇や波高の増大が予想されており、既設防波堤や護岸の嵩上げが必要となる。既設上部工と嵩上げ部の差筋等の検討や差筋の接合部分における検討の照査方法が整理されており、防波堤や護岸等の上部工パラペットの検討に有効と考えられる。 	田中豊, 川端雄一郎, 小林 怜夏, 竹信正寛, 横田弘, 山本修司, 鈴木高二朗, 下 迫健一郎 港湾空港技術研究所資料, No. 1413, 2023.
海岸護岸における防波フェンスの波力算定法	汀線付近に設置した消波護岸の防波フェンスへの作用波力の評価に有効と考えられる。	国立研究開発法人土木研究 所寒地土木研究所寒地水圏 研究グループ寒冷沿岸域チ ーム

2.6.4. 常時の地殻変動を考慮する方法について

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がある。このため、令和6年4月の技術基準において、常時の地殻変動による隆起・沈降を設計時に考慮する場合の考え方が部分改訂された。

地殻変動により隆起が生じている港湾では、気候変動による海水面の上昇が見かけ上遅くなり、沈降が生じている場合には海水面の上昇が見かけ上早くなることから留意する必要がある。

常時の地殻変動の状況を確認する方法として、国土地理院が公開する「電子基準点日々の座標値」等を用いた検討事例が港湾空港技術研究所 HP で公表されており、参考とすることが出来る。但し、港湾の位置から遠い電子基準点のデータを用いる場合には、傾向が異なる場合があるため留意が必要である。^{※1}

https://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bst/taisin/research_jpn/research_jpn_2024/jr_58.html

常時の地殻変動の影響が大きい港湾において、その影響を施設の設計に考慮したい場合には、施設の天端高に考慮する方法が技術基準に示されている。

<防波堤 港湾基準 P923 3.1.2 重力式防波堤 基本断面の設定>

3.1.2 基本断面の設定

(1) 防波堤の基本断面の設定にあたっては、防波堤断面と最低水面、朔望平均満(干)潮面、平均水面、既往最高(低)潮位、高潮時の高潮位、東京湾平均海面などとの関係を明確にすべきである。最低水面と工事用基準面とが異なる場合は、その関係も明らかにしておく必要がある。また、高潮の継続時間、及びその発生確率についても、必要に応じて整理することが望ましい。潮位についての詳細は【作】第2章3 潮位を参照することができる。

(2) 波力を計算する場合の設計潮位は、高潮の影響を考慮する必要のない港湾では朔望平均満・干潮面を、高潮の影響を考慮する必要のある港湾では朔望平均満・干潮面に適当な偏差を加えた潮位とするなど、施設が最も不安定となる状態とするのが一般的である。

(3) 天端高は、基礎地盤が軟弱な場合で沈下が予想されるときは、あらかじめ余裕高を見込むか、またはかさ上げしやすい構造とすべきである。

(4) 防波堤の沈下の原因としては次のようなものがある。

- ①基礎地盤の圧密沈下
- ②基礎地盤の吸出し
- ③基礎地盤の側方への流動
- ④捨石、ブロックの基礎地盤へのめり込み
- ⑤捨石マウンドの間隙の減少に伴う圧縮
- ⑥地殻変動の影響

このうち①については、【作】第5章1 地盤の沈下を参照することができる。②、③、④、⑤の影響については直立部の質量、捨石層の厚さなどによって異なるので一概にいえないが、過去の施工例から概略の値を求めることができる。堤体設置後の圧密沈下を考慮して行う余盛は、捨石層に行う方法と上部工に行う方法などがあり、施工条件等に配慮して適切に行う。

また、⑥の検討については【作】第5章1 地盤の沈下および【作】第6章2 地殻変動を参考にすることができる。

<護岸港湾基準 P1020 14.4 護岸の天端高の設定>

- (d) 地震動を考慮した必要天端高 h_c' については、必要水面上天端高 h_c に地震動の作用による天端沈下量を加えることで設定できる。この際、必要水面上天端高 h_c は、地震による被災後からの復旧に要する期間を考慮して照査対象とする波浪の再現期間を設定し、この波浪に対して許容越波流量が満足されるような天端高とすることができる。なお、地震動の作用による天端沈下量の算定にあたっては、[参(施)] 第1章2 地震応答解析に関する基本事項を参照することができる。また、地震動による天端沈下量は、類似の構造形式における係留施設の水平変形量から推定することもできる。例えば、重力式護岸については、文献9)を参照することができる。
- (e) 圧密等による地盤条件から求まる天端沈下量 d_s については、[施] 第2章3.5 基礎の沈下を参照することができる。
- (f) 設計津波や偶発波浪などの偶発作用を考慮する護岸の場合には、式(14.4.1)の右辺第一項において、これら作用により必要とされる天端高さを考慮する。
- (g) 護岸の設計高潮位上の天端高の設定において、必要に応じて、設計条件の不確定性や長期的な海面上昇への対応などを考慮して、必要天端高 h_d から最大1mの余裕高を見込むことができる¹⁾。

<岸壁 港湾基準 P1059 2.1.1 岸壁の諸元 (3) 天端高の設定>

(3) 岸壁の天端高

①岸壁の天端高の設定に当たっては、以下に示す事項に配慮して、適切に設定する。

- ・安全かつ円滑な荷役作業や旅客の乗降
- ・対象船舶の乾舷と満載時・空載時の各喫水との関係
- ・気候変動による作用の時間変化
- ・棧橋における揚圧力
- ・高潮による浸水等の可能性
- ・波浪による浸水等の可能性
- ・津波による浸水等の可能性
- ・地盤の圧密沈下の可能性の有無や予測される圧密沈下量
- ・維持段階における点検診断や補修工事等のし易さ(特に、棧橋などの場合)
- ・地殻変動による隆起・沈降の可能性
- ・その他

②岸壁の天端高の基準となる潮位は、朔望平均満潮面とすることができる。ただし、[作] 第2章3 潮位を参考として、施設供用後の潮位変化を適切に考慮する必要がある。また、岸壁の天端高の設定に際して必要となる作用は、[作] 第2章3 潮位および [作] 第2章4 波浪の記載事項も参考として適切に設定する。

③岸壁の天端高の設定にあたり、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、上記①に示す各事項のほか、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。その際の検討については [作] 第5章1 地盤の沈下および [作] 第6章2 地殻変動を参考にすることができる。

また、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水面の上昇とオーダー的に同程度となる場合もある。その場合は、隆起の生じる港湾では平均海水面の上昇が見かけ上遅くなること、沈降の生じる港湾では平均海水面の上昇が見かけ上速くなることを考慮し、岸壁の天端高を適切に設定する。

2.6.5. 止水壁の設計事例

2.5.3及び2.5.4の岸壁においては、事前適応策を採用した事例を示した。一方、堤外地である係留施設において、気候変動に伴い高潮等による浸水リスクが高まることも懸念されている。岸壁や背後用地等の利用状況等を勘案した上で支障が無い場合に、浸水対策として岸壁に止水壁を設けている事例がある。

今回、表2-79の条件により、既設の岸壁において止水壁により対策を行う場合の構造のイメージを実際の事例とともに示す。なお、新設の岸壁を設計する場合、天端高の設定に制約があり、順応的適応策として止水壁を検討するケースも想定される。その場合、止水壁等の対策を後年次に施工しやすいように、止水壁等の自重を考慮しておくことや、止水壁を設置する箇所のエプロン目地位置等に配慮する等の工夫が考えられる。但し、岸壁の利用への影響について関係者と十分に検討する必要がある。

止水壁の天端高の設定にあたっては、対策の目的や現場条件を勘案し、高潮水位だけではなく波浪の影響も考慮することも出来る。その際には、護岸の手法を準用し、止水壁背後の重要度等に応じて許容越波流量を設定することも出来る。既往の研究事例では、岸壁の許容越波流量 $0.02 \text{ (m}^3\text{/s/m)}$ は背後の侵水深が8cm程度と求められている事例^{*8}があり、参考とすることが出来る。また、岸壁法線から陸側に離れた位置に止水壁を設置する場合に、許容越波流量から天端高（後退パラペット天端高）を設定する際の換算天端高係数については、港湾基準p. 169^{*1}を参照して求めることも出来る。

なお、岸壁に作用する波高が施設の設置水深に対して小さい場合には、許容越波流量によって所要の天端高が変わらないこともある。

表 2-79 設計条件一覧

	条件項目	設定値	備考
施設条件	設計水深	-9.0m	
	岸壁天端高	3.50m	
自然条件	潮位	■将来気候（上位シナリオ） F-H.H.W.L. D.L. +4.50m F-H.W.L. D.L. +2.69m F-R.W.L. D.L. +1.99m R.W.LD.L.+1.60m+0.39m	
	波浪	■将来気候（上位シナリオ） 換算沖波波高 H_0' 0.70m 周期 T 12.75s 有義波高 $H_{1/3}$ 0.7m 最高波高 $H_{\max}$ 1.3m	

2.6.5.1. 設計波圧等について

岸壁に止水壁を設置する場合、作用する外力として高潮等による水圧と波浪を考慮する場合には、高波による波圧が同時に作用することから、図 2-30（港湾基準p. 256^{※1} 参照）に示すように、高潮による静水圧差と高波による波圧を足し合わせて算定した水圧をもとに、安定性の検討を行うことが出来る。

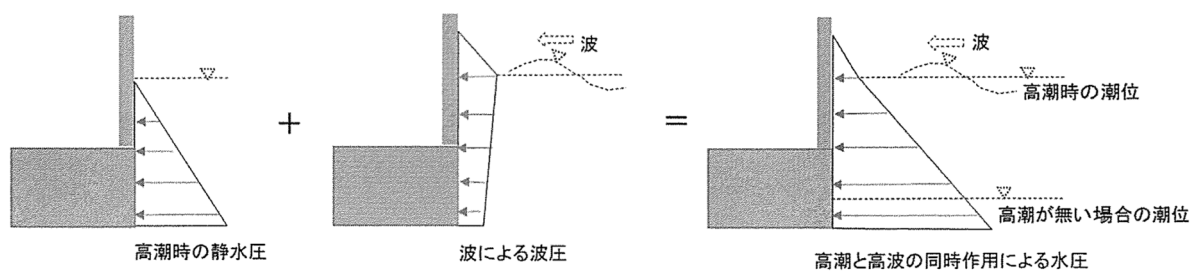
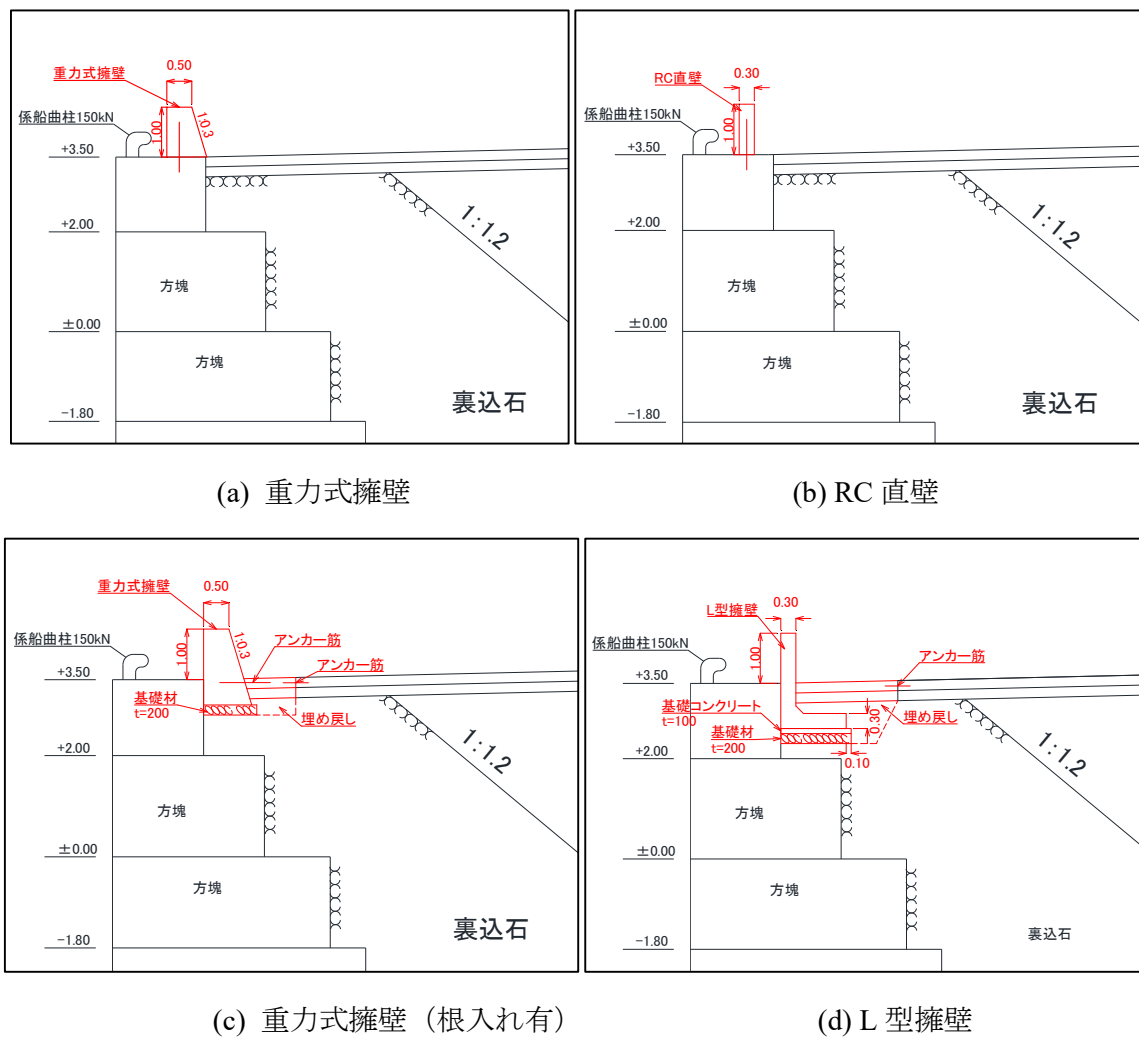


図 2-30 検討に用いる波圧分布

2.6.5.2. 止水壁の構造形式

図 2-31に止水壁の構造例を示す。既往の事例では、止水壁の自重のみでは堤体が大きくなる場合、岸壁の上部工と差筋で一体化する構造や、矢板式構造等で一体化することが難しい構造では、背後に受動土圧を考慮した擁壁を根入れして設計している事例もある。また、止水壁の構造としては、現場施工による重力式擁壁の他、プレキャスト等のRC構造を採用することで部材厚を薄くすることも考えられる。



※差筋による一体化ができない場合

図 2-31 止水壁の構造形式

2.6.5.3. その他参考情報

岸壁上に止水壁を設置する場合、綱取りや荷役作業に影響を及ぼす恐れがあることから、関係者と十分協議の上、その形状や設置位置等は十分に検討する必要がある。また、既設構造物に止水壁を設置する場合には、止水壁の背後の排水処理にも留意が必要である。これら、岸壁の利用に配慮した止水壁の設計の考え方等の整理は、引き続きの検討課題である。

本事例集では、既往の事例として、岸壁延長すべてにコンクリート製の止水壁を設置せずに、一部の区間に開口部を設けて、高潮等の浸水対策時には開口部に土嚢を設置する運用としている事例や(図 2-32 参照)、止水壁の一部を取り外しができるような構造とする工夫(図 2-33 参照)を行っている事例を示す。また、止水壁背後の排水については、岸壁部の背後側の道路排水で処理する事例や排水ホールを設置し、逆流防止弁を設置して岸壁部から排水をしている事例がある(図 2-34 参照)。



図 2-32 荷役のための部分的な開口部（神戸港事例）

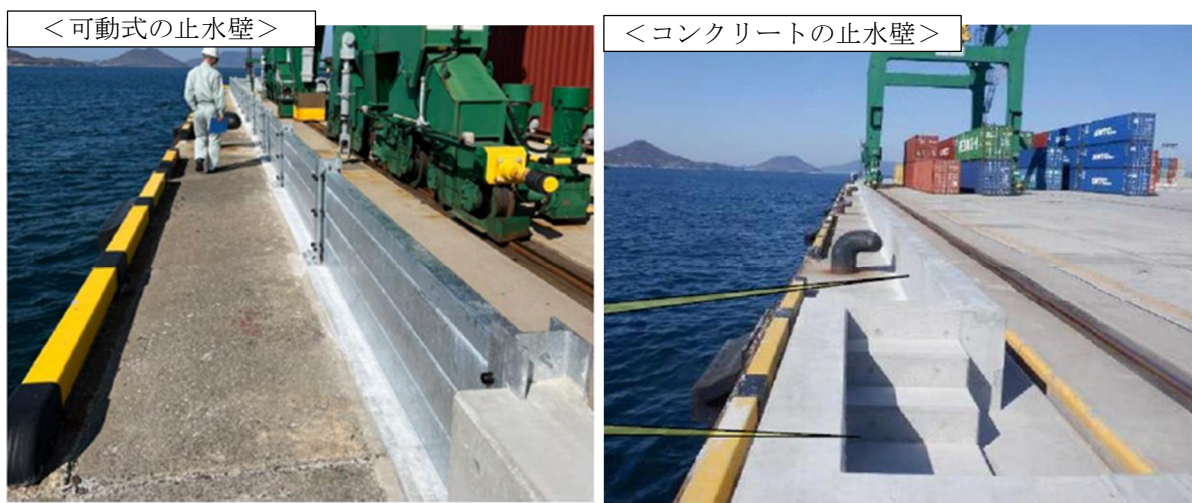
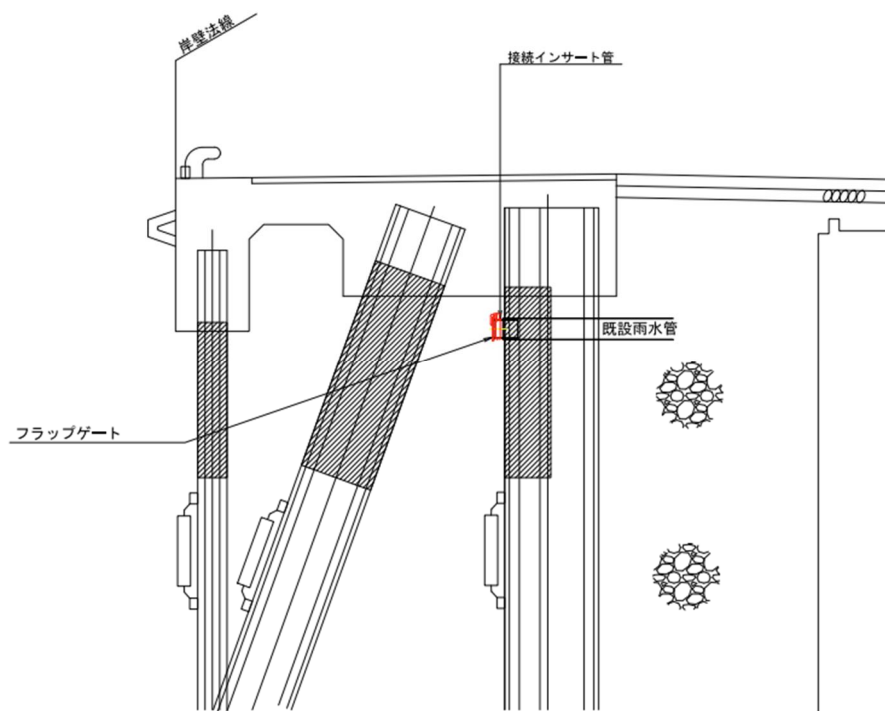
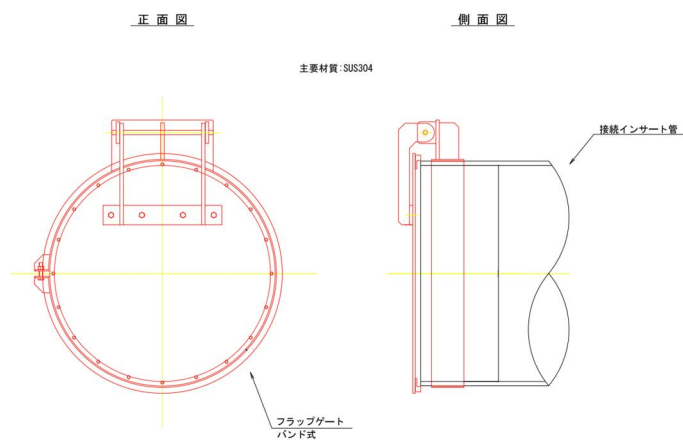


図 2-33 可動式の止水壁及びコンクリートの止水壁（高松港事例）



(a) 岸壁構造図



(b) フラップゲート

図 2-34 逆流防止弁一般図 (神戸港事例)

2.6.6. 防波堤の嵩上げに対する気候変動影響評価の方法

既設の防波堤の必要天端高の設定では、港内静穏度を確保するため $0.6 \times H_{1/3}$ (50年確率波) によって決定する。一方、防波堤上から港内に伝播する越波伝達波が優位ではない港湾では、気候変動対応としての防波堤の嵩上げは必要ではない可能性がある。（技術基準p. 918参照）

港内長周期波影響評価マニュアル（以降、長周期波マニュアルと記す）^{※9}及び平山・長沼(2014)^{※10}は、高波浪な条件下においても波高伝達率が優位となる越波流量に達しない港湾の静穏度解析結果を例示している。また、平山・長沼(2014)^{※10}によると、越波流量と波高伝達率、相対天端高との関係を示しており、防波堤上の越波流量が $0.02\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 以下の場合には越波伝達波による優位な波高伝達率が発生しないことを示した。

本事例では、「2.5.2防波堤（ケーソン式混成堤）【既設】」設計事例で示した、現況断面を対象に、越波流量や波高伝達率を整理し、港湾基準p. 918や平山・長沼(2014)^{※10}の知見を参考に波高伝達率が有意ではない越波流量 $0.02\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ との比較等から、気候変動対応としての常時波浪に対する防波堤の嵩上げの必要性を確認した。ここでは、主要な擾乱の選定等によく用いられる全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）における高波基準に相当する波浪を用いて検討する。具体的には、平山ら(2015)^{※11}の知見を参考に、高波基準に概ね一致する未超過確率95%の波浪条件を設定する。

表 2-80 に、未超過確率波高 95%の沖波波浪条件を示す。未超過確率波高 95%の沖波波浪条件は、2010～2019 年における 10 年間の常時波浪推算結果を使用し、波向別に未超過確率 95%の波高を算出した。将来気候の未超過確率波高 95%の沖波波浪条件は、50 年確率波における将来変化比を準用し、乗算することで求めた。なお、周期については、10 年間の波浪推算結果から得られる平均波形勾配 H_0/L_0 に、未超過確率波高を当てはめて推定した。ここで、本事例では、未超過確率 95%以上の波高は、年間 18 日程度発生した高波浪に相当する。

各波向の波浪変形計算を実施し、堤前波を算定した。表 2-81に未超過確率波高95%（沖波）に対する堤前波の整理結果の一例を示す。堤前波は波向SSWの波高が最も高くなる。ここで、将来気候における堤前波は、本事例のように沖波波高に将来変化比を乗算した上で波浪変形計算を実施する必要がある。（※将来波浪の設定に用いる将来変化比は、沖波や疑似沖波または準沖波の確率波高に対して適用でき、波浪変形を考慮した波高にそのまま適用出来ないことに留意）この結果を用いて、防波堤上の越波流量及び波高伝達率を確認する。越波流量の算定では平山・長沼(2014)^{※10}、波高伝達率については合田(1969)^{※13}及び港湾基準p. 177^{※1}を参照する。平山・長沼(2014)^{※10}の越波流量の提案式は式(2-13)、合田(1969)^{※13}の波高伝達率は式(2-14)、式(2-15)で表される。

$$q = 0.131(R/H_I)^{-4.9} \quad (0.92 < R/H_I < 2.3) \quad \text{式(2-13)}$$

$$K_T = \frac{H_T}{H_I} \begin{cases} \sqrt{0.25 \left[1 - \sin \frac{\pi}{\alpha} \left(\frac{R}{H_I} + \beta \right) \right]^2 + 0.01 \left(1 - \frac{d}{h} \right)^2} & \left(\beta - \alpha < \frac{R}{H_I} \leq \alpha - \beta \right) \\ 0.1 \left(1 - \frac{d}{h} \right) & \left(\frac{R}{H_I} \geq \alpha - \beta \right) \end{cases} \quad \text{式(2-14)}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 2.2 \quad \beta = 0.10 \quad (h/L = 0.3) \\ \alpha &= 2.2 \quad \beta = 0.25 \quad (h/L = 0.5) \\ \alpha &= 2.2 \quad \beta = 0.35 \quad (h/L = 0.7) \end{aligned} \quad \text{式(2-15)}$$

ここで、 R ：潮位面から天端高までの高さ、 d ：根固めブロックの天端高から潮位面までの高さ、 h ：水深、 H_I ：入射波高（有義波高）、 α, β ：モデルパラメータを示す。

表 2-80 未超過確率波高 95%の沖波波浪条件（2010～2019 年）

条件	未超過確率 95%の沖波波高・周期							
	WSW		SW		SSW		S	
	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]	[s]
現在気候	1.80	6.20	1.80	6.30	2.40	7.40	3.20	9.10
将来気候(中位)	1.82	6.23	1.82	6.33	2.42	7.44	3.23	9.14

表 2-81 未超過確率波高 95%（沖波）に対する堤前波の一例

条件	H.W.L.	堤前波			
		波向	換算沖波波高	有義波高	有義波周期
	[D.L.+m]		[m]	[m]	[s]
現在気候	2.00	SSW	1.88	1.85	7.40
将来気候（中位）	2.39	SSW	1.93	1.90	7.44

表 2-82 に、防波堤上の越波流量の整理を示す。現在気候において $0.6 \times H_{1/3}$ (50 年確率波) に よって求まる必要天端高 D.L.+5.20m に対して、式(2-13)及び式(2-14)、式(2-15)を当てはめて 越波流量及び波高伝達率を算定した。この結果から、現在気候及び中位シナリオの将来気候 のいずれの越波流量も $0.02\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ を下回ることを確認できた。ここで、得られた波高伝達率 は、越波伝達波によるものではなく、マウンド透過波が支配的であったと考えられる。

中位シナリオの将来気候の条件では、常時波浪に対する静穏度には越波伝達率は影響しな い可能性があり、気候変動対応としての防波堤の嵩上げを判断する指標とすることが出来る。

但し、将来の越波流量の推定には不確実性が伴うことや、今回用いた手法は適用範囲が限 られている等から、概略的に扱うことが必要なこと等に留意する必要がある、このため、詳 細な数値解析等で影響を評価する必要がある、本事例の手法は概略値として取り扱うことに 留意が必要である。（異常時波浪に対する越波の影響を評価するものではない）

表 2-82 防波堤上の越波流量の整理の一例

条件	現在気候	将来気候 (中位シナリオ)
天端高[D.L.+m]	5.20	5.20
潮位[D.L.+m]	2.00	2.39
$R[\text{m}]$	3.20	2.81
$d[\text{m}]$	13.60	13.99
$h[\text{m}]$	20.50	20.89
$H[\text{m}]$	1.85	1.90
$R/H[-]$	1.73	1.48
$d/h[-]$	0.66	0.67
$q[\text{m}^3/\text{s}/\text{m}]$	0.009 ($q \leq 0.02$: OK)	0.019 ($q \leq 0.02$: OK)
$K_T[-]$	0.04	0.06

2.7. 参考文献

(本文引用)

- ※1) 「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年、令和 6 年 4 月部分改訂）」
- ※2 小林・竹信・本多 蒔苗・村田：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, No1281, March 2024
- ※3 文部科学省, 気象庁 (2020)：日本の気候変動 2020,
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020_honpen.pdf (参照 2024 年 1 月 25 日) .
- ※4 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：港湾における気候変動適応策の実装方針（令和 6 年 3 月）
- ※5 本多・成田・平山 高川・森・千田：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, 国土技術政策総合研究所資料, No1302, January 2025
- ※6 近藤俣郎, 佐藤功：防波堤天端高に関する研究, 北海道開発局土木試験所月報第 117 号, 1963
- ※7 田中豊, 川端雄一郎, 小林怜夏, 竹信正寛, 横田弘, 山本修司, 鈴木高二朗, 下迫健一郎：既設上部工の嵩上げにおける部材接合部の照査法の整理, 港湾空港技術研究所資料, No.1413, 2023.
- ※8 平山克也, 濱野有貴：岸壁を対象とした越波浸水対策の簡易検討手法に関する考察, 土木学会論文集, Vol.79, No.17, 23-17106, 2023.
- ※9 「港内長周期波影響評価マニュアル（平成 16 年）」
- ※10 平山・長沼：越波が生じる港内での静穏度解析に及ぼす越波伝達波の影響について, 土木学会論文集 B2（海岸工学）, Vol.70, No.2, I_761-I_765, 2014
- ※11 平山・加島・伍井・成毛：うねりによる高波の発生確率とその地域特性に関する考察, 土木学会論文集 B2（海岸工学）, Vol.71, No.2, I_85-I_90, 2015
- ※12 合田・岸良・神山：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第 14 巻, 第 4 号, December 1975
- ※13 合田：防波堤の伝達波高に関する実験値の再整理について, 港湾技術研究所報告, 第 8 巻, 第 3 号, September 1969