

### 4.3. 気候変動適応策の検討例

気候変動適用策に関する検討事例を以下に示す。

[検討例1] 外郭施設\_防波堤 (重力的混成堤)

(1) 現況構造

検討潮位 H.W.L. +1.50m L.W.L. ±0.00m  
 既設天端高 D.L. +6.00m  
 地盤 砂質土  
 有義波高 H=4.5m 周期 T=12.0s  
 施設延長 L=100 m

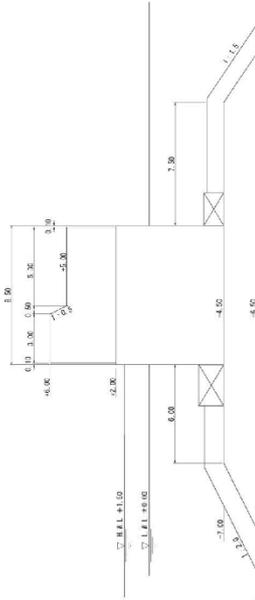


図 1-1 想定断面

(2) 気候変動外方の設定

1) 平均海面水位の上昇  
 気候変動を踏まえた平均海面水位として、潮位 (L.W.L.) を以下のように設定する。

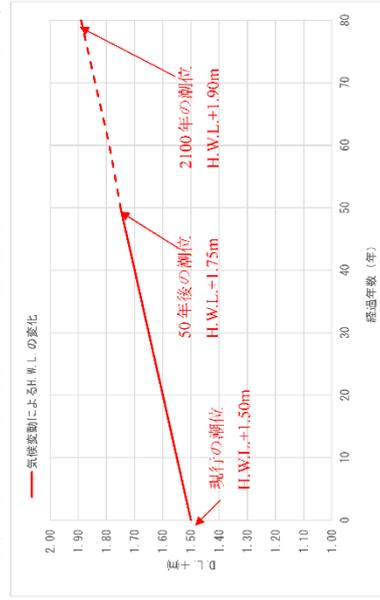


図 1-2 気候変動によるH.W.L.の経年変化

表 1-1 2℃上昇シナリオの平均値による設定潮位

時期	平均海面水位上昇量	設計潮位
2020年 (現在)	0.00m	H.W.L.+1.50m, L.W.L.+0.00m
2070年 (50年後)	0.25m	H.W.L.+1.75m, L.W.L.+0.25m
2100年 (将来予測)	0.40m	H.W.L.+1.90m, L.W.L.+0.40m

※21世紀末の予測値から、50年後を内挿により算出

2) 波浪の増大

設定した現時点の有義波高 H=4.5m に対して、2100年の波高が 1.3 倍になるものと仮定して、経年的な波高値の変化を以下に示す。

表 1-2 気候変動による影響を現在の 1.3 倍と仮定した設計波高の経年変化

西暦	経過年数 (年)	平均海面の上昇量 (m)	H.W.L. D.L. (m)	設計波高 H(m)
2020	0	0.00	1.50	4.50
2030	10	0.05	1.55	4.66
2040	20	0.10	1.60	4.83
2050	30	0.15	1.65	5.00
2060	40	0.20	1.70	5.17
2070	50	0.25	1.75	5.34
2080	60	0.29	1.79	5.51
2090	70	0.34	1.84	5.68
2100	80	0.39	1.89	5.85

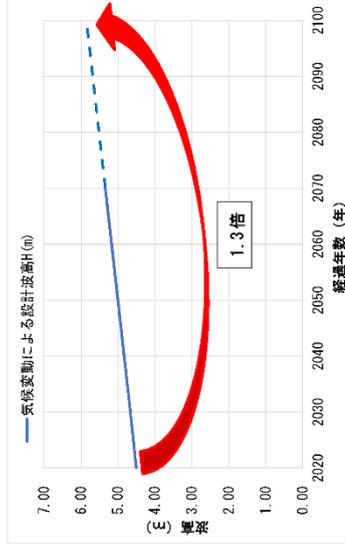


図 1-3 気候変動の影響による設計波高の経年変化

(3) 現行施設の評価

1) 機能面の検討

防波堤の必要天端高は、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」より、H.W.L.に加算値1.0Hを加えて算定するが、平均海面水位の上昇によりH.W.L.も上昇変化するため、現況天端高(D.L.+6.0m)は50年後以降に1.1mの天端高不足となる。

● 現況の天端高 (50年確率波 H=4.50m、H.W.L.+1.5m)

● 必要天端高の算定

H.W.L.+1.0H=1.50+1.0×4.50m=6.00m  
(気候変動の影響を考慮した外力 H=5.34m、H.W.L.+1.75m)

H.W.L.+1.0H=1.75m+1.0×5.34m=7.09m > 6.00m

表 1-3 気候変動による影響を現在の1.3倍と想定した設定の高高値

経過年(年)	海面上昇量(m)	気候変動によるH.W.L.の変化D.L.(m)	気候変動による設計波高H(m)	天端高算定値1.0H	必要天端高D.L.+(m)
0	0.00	1.50	4.50	4.50	6.00
10	0.06	1.55	4.66	4.66	6.21
20	0.10	1.60	4.83	4.83	6.43
30	0.15	1.65	5.00	5.00	6.65
40	0.20	1.70	5.17	5.17	6.87
50	0.25	1.75	5.34	5.34	7.09

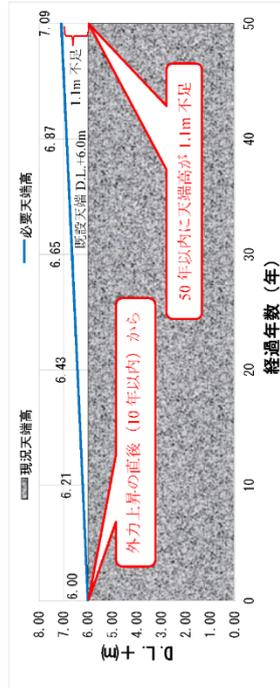


図 1-4 防波堤の天端高の経年変化

2) 構造面の検討

現況断面で将来気候変動により平均海面水位の上昇が発生した場合の安定照査を行った。

表 1-4 安定照査結果一覧

経過年数	滑動	転倒	壁圧	偏心傾斜
0	1.21	1.76	437.4	1.02
10	1.15	1.66	469.4	0.97
20	1.10	1.57	509.5	0.92
30	1.04	1.49	559.7	0.87
40	1.00	1.41	625.3	0.83
50	0.95	1.35	707.3	0.79
許容値	1.20	1.20	500.0	1.00

凡例 □ : 安全率 1.2 未満 □ : 安全率 1.0 未満

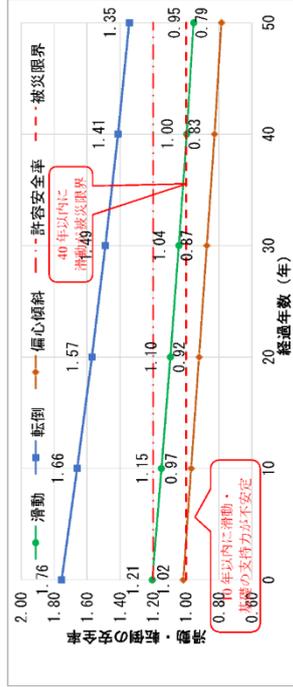


図 1-5 安全率の経年変化(波圧作用時)

(4) 気候変動への対策案の検討

影響評価に基づき、設計供用期間中の適応策断面を検討した。

1) 対策案の考え方

- ・ 外力条件 50年後の平均海面水位の上昇 (H.W.L.+1.75m) と波高の増大に適応
- ・ 安定性の確保に必要な適応策断面 (50年後の最終断面)
- ・ 目標は、設計供用年数50年として、50年後の外力に対応する適応策とするため、上部工の嵩上げ、堤体の拡幅、基礎マウンド拡幅による対策を行う。
- ・ 設計天端高D.L.+7.1m
- ・ 対策工の種類
  - 上部工の嵩上げコンクリート型枠・打設
  - 堤体の拡幅コンクリート型枠・打設
  - 根詰めブロック及び被覆ブロックの撤去・再設置
  - マウンドの拡幅のための石材投入・均し

2) 利用面に対する対策

- ・ 上部工 (天端高) の嵩上げの対策が必要  
既設天端高 D.L.+6.0m  
⇒ 適応策天端高 D.L.+7.1m (1.1mの嵩上げ)

3) 構造面に対する対策

施設の拡幅により堤体重量を増加して、波圧作用時の滑動、基礎の支持力に対する安定性を確保する断面を設定した。

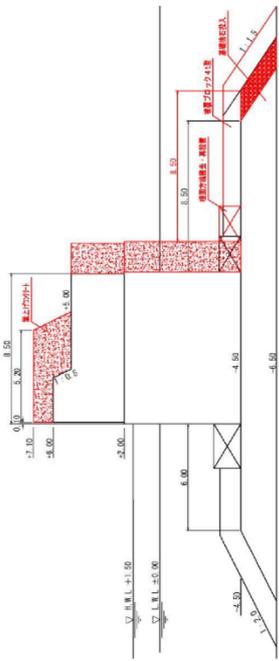


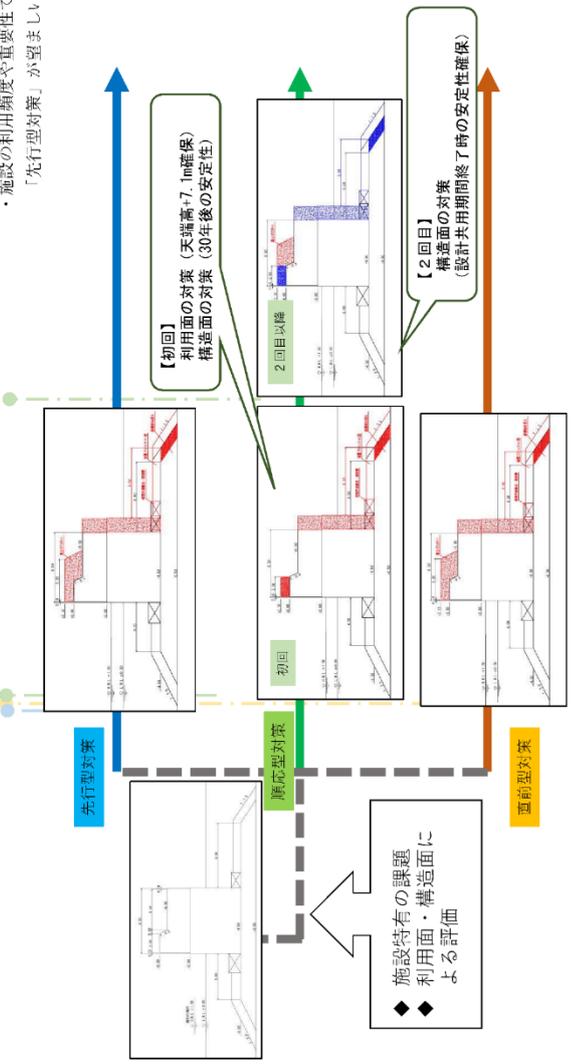
図 1-6 気候変動への適応断面

(6) 整備シナリオの適応評価  
整備シナリオの適応について、利用面、構造面、費用面についての評価を示す。

施設区分	タイプ	項目	気候変動への適応策の整備シナリオの適応評価		
			先行型対策	順応型対策	直前型対策
外郭施設	防波堤(重方式混成堤)	利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>初期の天候が高くなり、船舶の航行時の境界に支障を及ぼすおそれがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>沿地の特殊な用途など利用に応じた、最適な利用が可能となる。</li> <li>複数回の対策実施により、工事中の利便性が向上する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>即時に施設の利用面・構造面に支障が生じるため、先行型対策と同時実施が望ましい。</li> </ul>
		構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>気候変動による土壌の外上昇のリスクを回避できる。</li> <li>気候変動の不確実性に対して、準備ができていない。</li> <li>老朽化対策等の設備変更がある場合は、一体的に実施する方が合理的。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>気候変動に応じて、対策時点の外力による施設整備が可能である。</li> <li>気候変動による外力工事が原則に必要となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対策の高経年によって整備費用が安くなる場合がある。</li> <li>将来的な設備更新が容易に実施できる。</li> <li>将来的な設備更新が相対的に低くなる可能性がある。</li> </ul>
		費用			

◆整備シナリオの総合評価における考察  
 ・本検討では即時に天端高が不足し、偏心傾斜の安全率が1.0を下回るため、「先行型対策」と「直前型対策」が同時期となった。  
 ・施設の利用頻度や重要性で配慮が必要な場合や、数年以内に老朽化対策等の整備予定がある場合は「先行型対策」が望ましい場合もある。

(5) 気候変動に対する整備シナリオ  
整備シナリオ毎の適応策及び実施時期のイメージを以下に示す。



[検討例2] 外郭施設\_防波堤 (傾斜堤)

- (1) 堤岸構造
- 検討潮位 H.W.L.+3.20m L.W.L.±0.000m
  - 既設天端高 D.L.+9.50m
  - 設計地盤高 D.L.-10.00m 海底勾配 1/50
  - 地盤 砂質土
  - 換算沖波高  $H_o=6.3m$  有義波高  $H=6.3m$  周期  $T=12.0s$

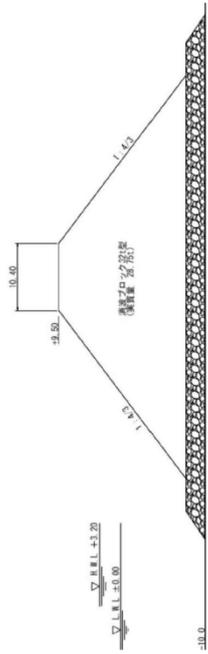


図 2-1 想定現況断面

(2) 気候変動外方の設定

- 1) 平均海面水位の上昇  
気候変動を踏まえた平均海面水位として、潮位 (H.W.L.) を以下のように設定する。



図 2-2 気候変動によるHWLの経年変化  
表 2-1 2°C上昇シナリオの平均値による設定潮位

時期	平均海面水位上昇量	設計潮位
2020年 (現在)	0.00m	H.W.L.+3.20m, L.W.L.+0.00m
2070年 (50年後)	0.25m	H.W.L.+3.45m, L.W.L.+0.25m
2100年 (将来予測)	0.40m	H.W.L.+3.60m, L.W.L.+0.40m

※21世紀末の予測値から、50年後を内挿により算出

2) 波浪の増大

現時点の換算沖波高  $H_o=6.0m$  に対して、2100年の波高が1.3倍になるものと仮定して、換算沖波高を算定し、設置水深より設計有義波高を算出した経年的な波高値の変化を以下に示す。

表 2-2 気候変動による影響を現在の1.3倍と仮定した換算沖波高の経年変化

経過年数	潮位	換算沖波高 $H_o$ (m)
現況	H.W.L.+	3.20
10年	H.W.L.+	3.25
20年	H.W.L.+	3.30
30年	H.W.L.+	3.35
40年	H.W.L.+	3.40
50年	H.W.L.+	3.45
60年	H.W.L.+	3.50
70年	H.W.L.+	3.55
80年	H.W.L.+	3.60

↑ 1.3倍

表 2-3 気候変動による影響を考慮した設計有義波高の経年変化

経過年数	潮位	換算沖波高 $H_o$ (m)	周期 $T$ (sec)	波長 $L$ (m)	波形勾配 $H_o/L$	水深勾配 $h/H_o$	設計有義波高 $H_{1/10}$ (m)
現況	H.W.L.+	3.20	13.3	275.9	0.022	2.20	1.05
10年	H.W.L.+	3.25	13.3	275.9	0.023	2.13	1.04
20年	H.W.L.+	3.30	13.3	275.9	0.023	2.06	1.05
30年	H.W.L.+	3.35	13.3	275.9	0.024	2.00	1.04
40年	H.W.L.+	3.40	13.3	275.9	0.025	1.94	1.02
50年	H.W.L.+	3.45	13.3	275.9	0.026	1.89	1.00

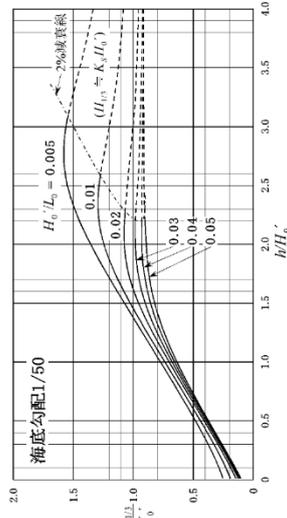


図 2-3 砕波波高算定図

出典:「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」

(3) 現行施設の評価

1) 機能面の検討

防波堤の必要天端高は、漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版より、H.W.L.に加算値1.0Hを加えて算定するが、平均海面水位の上昇によりH.W.L.も上昇変化するため、現況天端高(D.L.+9.5m)は50年後以降に1.2mの天端高不足となり、利用面(航路・泊地の港内静穏度の悪化)による利用船舶の安全性等)で支障が生じる。

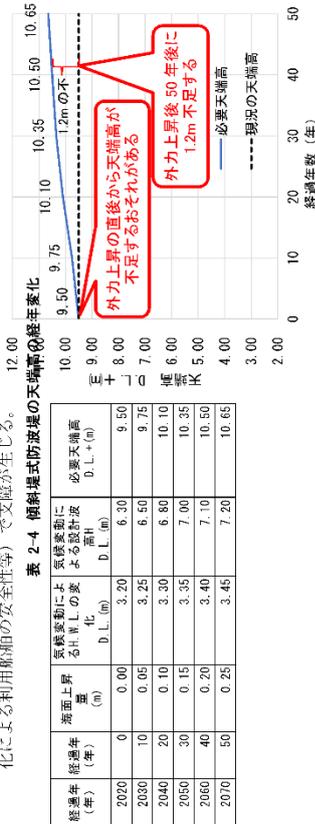


図 2-4 傾斜堤式防波堤の天端高の経年変化

2) 構造面の検討

現況断面で将来気候変動により平均海面水位の上昇と波浪の増大による安定照査を行った。気候変動による平均海面水位の上昇と波浪の増大による所要質量の経年変化を整理し、構造面への影響を評価した。  
 現況の消波ブロックの所要質量 24.0tに対して、既設消波ブロックに対しては、既設の消波ブロック32I型では安定のため質量には余裕がある。しかし、20年後の外力変化に対しては、既設の消波ブロック32I型では安定性が確保されない状況となる。

表 2-5 傾斜堤式防波堤の消波ブロックの所要質量の経年変化

経過年(年)	波高H(m)	比重(t/m <sup>3</sup> )	KD	所要質量(t)	既設ブロック(t)	判定
現況	6.00	2.3	8.3	24.01	28.75	OK
10年	6.23	2.3	8.3	26.81	28.75	OK
20年	6.45	2.3	8.3	29.82	28.75	OUT
30年	6.68	2.3	8.3	33.06	28.75	OUT
40年	6.90	2.3	8.3	36.51	28.75	OUT
50年	7.13	2.3	8.3	40.20	28.75	OUT

凡例 OUT : 既設消波ブロックが所要質量不足。

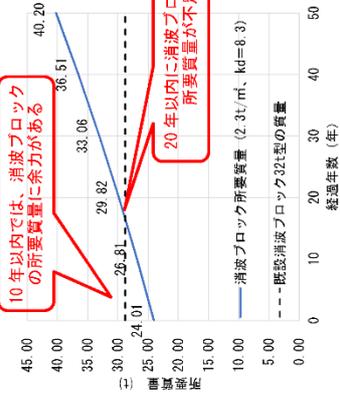


図 2-5 消波ブロック所要質量の経年変化

(4) 気候変動への適応策断面の検討

影響評価に基づき、設計供用期間中の適応策断面を検討した。

1) 対策工の考え方

- ・外力条件 50年後の平均海面水位の上昇量 (H.W.L.+3.45m) と波浪の増大に適合
- ・安定性の確保に必要な適応策断面 (50年後の最終断面)
- ・目標は、設計供用期間50年として、50年後の外力に対応する断面とするため、基礎マウンド拡幅、消波ブロックの大型化による対策を検討する。
- ・設計天端高D.L.+15.0m (必要天端高D.L.+10.65m)
- ・対策工の工種
  - 基礎マウンドの拡幅のための石材投入・均し
  - 消波ブロックの嵩上げ

2) 利用面に対する対策

- ・天端高の嵩上げの対策が必要
- 必要天端高は、D.L.+10.65mであるが、既設ブロックを撤去せずに所要質量を確保する消波ブロック2層厚で嵩上げするため、天端高はD.L.+15.0mとする。

3) 構造面に対する対策

- ・50年後の波浪に対して安定する消波ブロックの所要質量40.2tを満足するため、50I型ブロック(2.30m<sup>3</sup> (実質量46.0t))により対策を実施する。