

気候変動を踏まえた
土佐湾沿岸海岸保全施設技術検討会
とりまとめ（案）

令和6年1月

国土交通省 高知河川国道事務所
高知県 港湾・海岸課

目 次

1. はじめに	1
2. 土佐湾沿岸の概要	2
3. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果	5
3.1 気候変動を踏まえた計画外力の設定に関する基本的な考え方	5
3.2 平均海面水位の上昇量・朔望平均満潮位の変化	7
3.3 潮位偏差・波浪（波高、周期）の変化	8
3.4 津波水位の変化	11
4. 土佐湾沿岸中央部における気候変動を踏まえた防護水準（案）	12
4.1 気候変動を踏まえた防護水準（案）	12
4.2 段階的な防護水準（計画高潮位）	14
4.3 海岸保全基本計画の見直し	15
4.4 モニタリング	15
5. ハード・ソフト対策を組み合わせた気候変動への適応策	16
5.1 気候変動への適応策に関する基本的な考え方	16
5.2 高潮・高波に対する対策（案）	19
5.3 侵食に対する対策（案）	20
5.4 津波に対する対策（案）	20
5.5 段階的な対策の考え方	21
5.6 土佐湾沿岸中央部における対策の優先順位	23
5.7 長浜海岸、香南海岸における気候変動適応策	25
6. 今後の検討課題（今後の留意点）	27

1. はじめに

「気候変動に関する政府間パネル」(以下、「IPCC」という。)による第5次評価報告書(平成25年5月)では、気候システムの温暖化には疑う余地がなく、21世紀の間、世界全体で大気・海洋は昇温し続け、世界平均海面水位は上昇が続くであろうことなどが報告されている。

令和2年7月には、国土交通省と農林水産省が共同で設置した「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会」により、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言」がとりまとめられ、『海岸保全を、過去のデータに基づきつつ気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換』することが提言された。

これを踏まえ、令和2年11月には「海岸保全区域等に係る海岸の保全に関する基本的な方針」(海岸保全基本方針)の変更、令和3年7月には「海岸保全施設の技術上の基準を定める省令」の一部改正、令和3年8月には「気候変動の影響を踏まえた海岸保全施設の計画外力の設定方法等について」の通知がなされ、気候変動の影響を考慮した計画外力の設定・見直し等を進めることとなった。

このような状況のなか、土佐湾沿岸の海岸保全施設における気候変動適応策の検討等を行うため、国土交通省高知河川国道事務所及び高知県港湾・海岸課は、令和4年9月、「気候変動を踏まえた土佐湾沿岸海岸保全施設技術検討会」(以下、「本検討会」という。)を設置した。

本検討会では、現時点で得られている知見や将来予測データ等に基づき、土佐湾沿岸のうち、人口や資産が集中している中央部を対象に、気候変動を踏まえた計画外力の設定方法、防護水準(計画高潮位、設計波、設計津波の水位等)、防護水準に対する対策方針等について検討を行ってきた。

これらの検討結果について、今後、気候変動による影響を踏まえた「土佐湾沿岸海岸保全基本計画(平成15年3月策定、平成29年3月改訂)」の改訂に反映させるとともに、海岸保全における気候変動適応策を具体的に進めるために、以下のとおり、とりまとめる。

なお、本とりまとめは、現時点で得られている知見や将来予測データ等に基づき検討したものであり、今後の新たな知見や観測データ等の蓄積、将来予測データの更新等に基づき、適宜、見直しを行っていく必要がある。

2. 土佐湾沿岸の概要

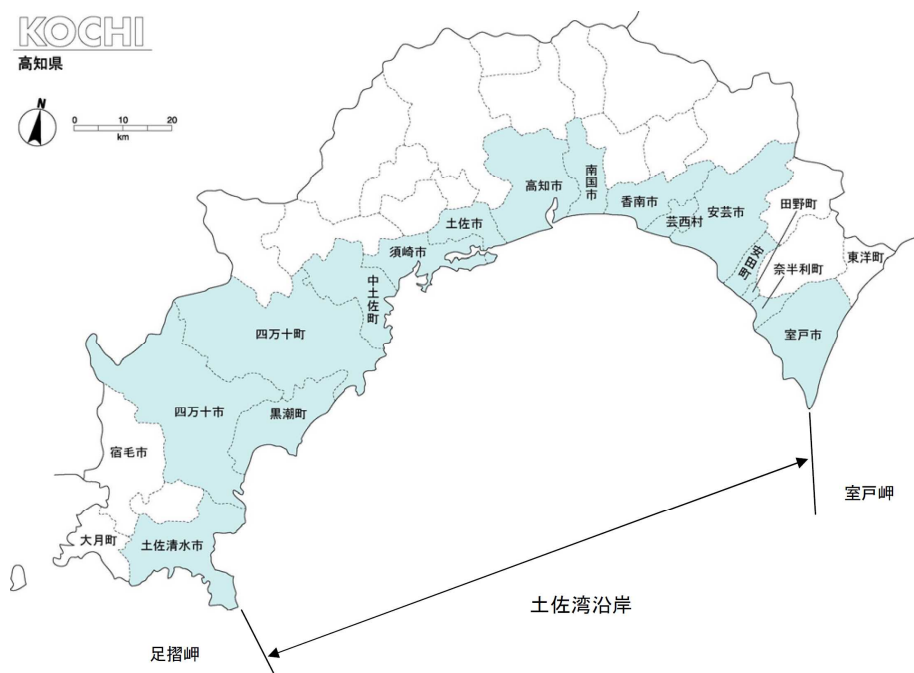
土佐湾沿岸は、高知県室戸岬から足摺岬に連なる四国南部の太平洋に面した沿岸である。中央部を流れる一級河川・仁淀川を境にして東西で様相が異なる。東部の室戸岬周辺は岩礁海岸が発達するが、中央部にかけて礫浜へと変化し、大規模で開放的な砂浜海岸が連続する沿岸となる。西部の仁淀川から足摺岬にかけてはリアス式海岸が続き、また、入野海岸や大岐海岸など県内有数の砂浜海岸も点在している。

本とりまとめの対象である中央部（高知中央地域海岸、南国香南地域海岸）では、河川からの土砂供給量の減少、海砂利の採取、港湾施設の整備等によって海岸侵食が進行し、越波等により海岸堤防の被災や県道の通行止め等の被害が発生している。砂浜前面の水深が比較的深く、台風常襲地帯であるため、台風期における波浪と高潮によって甚大な被害が発生する危険性が高い地域である。

さらに、宝永地震 M8.6（1707 年）、安政南海地震 M8.4（1854 年）や昭和南海地震 M8.0（1946 年）など、過去幾度となく地震・津波による大きな被害を経験している。南海トラフを震源とする地震（発生確率は今後 30 年以内に 70～80%程度）が発生した場合、既存堤防の沈下や倒壊、高知市中心部では広域的な地盤沈下による長期浸水（壊滅的な被害）など、地震・津波による甚大な被害が懸念される地域でもある。

そのため、平成 15 年 3 月に「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」（以下、「現行計画」という。）を策定し（平成 29 年 3 月に改訂）、高潮・波浪、侵食、地震及び津波に対する防護の目標・水準を設定し、これまでも海岸保全施設の整備等を行い、高潮・越波対策、侵食対策及び地震・津波対策に取り組んでいる。

今後、現行の海岸保全の防護水準（安全度）を将来においても確保していくため、気候変動による影響を明らかにしたうえで、気候変動の影響を考慮した新たな海岸保全へ転換していく必要がある。



出典：「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」（平成 29 年 3 月 高知県）

図 1 土佐湾沿岸の区域

2-2. 海岸の防護の目標

(1) 防護すべき地域

本計画では、海岸保全施設が整備されない場合に海岸背後地の家屋や土地等に被害が発生すると予想される以下の地域を「防護すべき地域」とする。

- 高潮・波浪** ■高潮や波浪の影響により、浸水等の被害が生じる危険性のある地域。
- 侵食** ■今後、侵食が進むと予測される地域及び現時点で砂浜の保全・回復の必要性が認められる地域。
- 地震及び津波** ■今後発生が予想される南海トラフ地震及び津波の影響により、浸水等の被害が生じる危険性のある地域。

(2) 防護水準

土佐湾沿岸における「防護水準」は以下を基準とする。

- 高潮・波浪** ■過去の台風等から想定される異常潮位と30年確率波浪を対象とし、越波、浸水の被害から背後地を守ることを基本的な目標とする。
■越波・浸水等の被害が予測される地域では、被災歴、住民意見、環境や利用面を考慮しながら、必要に応じて人工リーフ・緩傾斜堤などによる面的防護を進める。
- 侵食** ■現状の汀線を保全、維持することを基本的な目標とする。
■汀線が後退し背後地への被害が予測される地域では、人工リーフ・養浜など面的防護による侵食防止と汀線の回復を図る。
- 地震及び津波** ■今後発生が予想される南海トラフ地震及び津波を対象とし、津波による浸水の被害から背後地を守ることを基本的な目標とする。

出典：「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」（平成29年3月 高知県）

図2 土佐湾沿岸における現行の防護の目標・水準

表1 土佐湾沿岸における現行の防護水準（高潮・波浪、侵食）

沿岸名	市町村	所管	高潮・波浪			侵食	
			計画高潮位 (T.P.m)	波浪			
				H ₀ (沖波波高.m)	T ₀ (沖波周期秒)		計画安全度
土佐湾	室戸市(西)・奈半利町・田野町・安田町・安芸市	港湾局	2.2	13.5	15.2	1/30確率 (30年に1度の確率で発生する高波浪を想定)	現状の汀線維持 もしくは 必要に応じた 汀線の回復
		河川局	2.2				
		水産庁	2~2.9	7.0~11.9	12.1~15.6		
		農振局					
	芸西村・香南市・南国市・高知市・土佐市・須崎市・中土佐町・四万十町	港湾局	2.2~3.78	12.3~13.0	15.5~15.6		
		河川局	2.2				
		水産庁	2.0~6.9	7.4~11.7	13.9~15.6		
		農振局	2.2~3.3				
	黒潮町・四万十市・土佐清水市(東)	港湾局	2.2	11.6	15.0		
		河川局	2.2				
		水産庁	2.1~3.0	9.2~12.0	14.4~15.6		
		農振局	3.0				

出典：沖波推算資料 港湾構造物設計指針 高知県港湾局港湾課
南海地域沖波推算調査報告書(昭和61年3月)
全国海岸保全施設整備水準調査票[設計高潮位](平成13年)

出典：「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」（平成29年3月 高知県）

表 2 土佐湾沿岸における現行の防護水準（設計津波の水位）

地域海岸名	左記地域海岸に存する 地区海岸区間	対象地震	
		対象地震	設計津波の水位 (T.P.m)※
室戸岬①地域海岸	菜生漁港海岸～坂本海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	10.7 (11.7, 9.4)
室戸岬②地域海岸	室津港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	8.6 (14.0)
室戸岬③地域海岸	行当海岸～奈良師海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	13.3 (14.9)
室戸岬④地域海岸	新村漁港海岸～行当漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	5.0 (9.9)
室戸地域海岸	羽根漁港海岸～平尾海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	8.2
中芸地域海岸	伊尾木漁港海岸～加領郷漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	7.9
安芸①地域海岸	穴内漁港海岸～伊尾木漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	8.0 (9.1)
安芸②地域海岸	塩屋海岸～赤野漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	7.2 (5.3)
南国香南地域海岸	手結港海岸～十市前浜海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	8.0
高知港①地域海岸	高知港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	9.1
高知港②地域海岸	高知港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	5.9
高知港③地域海岸	高知港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	3.3
高知港④地域海岸	高知港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	3.6
高知港⑤地域海岸	高知港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	3.7
高知港⑥地域海岸	高知港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	4.7
高知港⑦地域海岸	高知港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	8.2
高知中央地域海岸	長浜海岸～新居海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	8.0
宇佐地域海岸	宇佐漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	6.8
浦の内湾①地域海岸	出見海岸～宇佐漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	3.8
浦の内湾②地域海岸	浦場海岸～出見海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	3.2
浦の内湾③地域海岸	宇佐漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	4.2
横浪地域海岸	久通漁港海岸～池ノ浦漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	9.5
須崎湾①地域海岸	野見漁港海岸～中の島漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	10.1
須崎湾②地域海岸	須崎港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	10.3
須崎湾③地域海岸	須崎港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	12.5
須崎湾④地域海岸	須崎港海岸～新荘漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	10.6
中土佐①地域海岸	安和漁港海岸～安和海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	11.1
中土佐②地域海岸	押岡海岸～檜生海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	9.8
中土佐③地域海岸	矢田部海岸～上ノ加江漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	8.6
中土佐④地域海岸	浦分漁港海岸～小矢井賀海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	8.7 (9.4)
四万十興津地域海岸	伊の岬(一般)～小室漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	12.4 (19.3)
幡東①地域海岸	上川口海岸～坂本海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	10.7 (6.5)
幡東②地域海岸	双海漁港海岸～浮津漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	13.1 (13.9)
足摺東①地域海岸	立石漁港海岸～下田海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	6.5 (10.0)
足摺東②地域海岸	小浜漁港海岸～布漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	14.5 (8.6)
足摺東③地域海岸	以布利港海岸～大岐(一般)	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	11.4 (10.4)
足摺東④地域海岸	津呂漁港海岸～窪津漁港海岸	中央防災会議(2003) 東南海・南海二連動地震	5.9 (7.0)

※ 地域海岸において、延長の長い設計津波の水位を記載。複数の設計津波の水位を持たせる地域海岸では、最大及び最小の水位を()書きで記載。

出典：「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」（平成 29 年 3 月 高知県）

3. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果

本検討会において、現時点で得られている知見や将来予測データ等に基づき検討した、気候変動を踏まえた計画外力（計画高潮位、設計波、設計津波の水位）について、以下のとおり示す。

3.1 気候変動を踏まえた計画外力の設定に関する基本的な考え方

気候変動を踏まえた計画外力は、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言」及び「気候変動の影響を踏まえた海岸保全施設の計画外力の設定方法等について」に基づき設定する。設定に関する基本的な考え方を以下に示す。各項目の詳細は次節にとりまとめる。

(1) 気候変動シナリオ等

計画外力の設定に当たって対象とする外力の将来予測は、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言」に基づき、気候変動シナリオとして RCP2.6 (2°C上昇相当) とし、「日本の気候変動 2020」等で想定されている 21 世紀末 (2100 年) 時点のものとする。

なお、RCP2.6 (2°C上昇相当) に基づく 2100 年時点の海岸保全の目標が現行計画の安全度を下回らないよう留意する。

(2) 気候変動を踏まえた計画外力の設定の基本的な考え方

気候変動を踏まえた計画外力（計画高潮位、設計波、設計津波の水位）及びその設定に必要な外力（朔望平均満潮位、潮位偏差）について、それぞれの将来変化を予測・設定するうえでの基本的な考え方を以下に示す。

- ・朔望平均満潮位：最新の朔望平均満潮位（観測値の年変動を考慮して近 10 ヶ年の平均値を採用）に、2100 年に予測される平均海面水位の上昇量を加える。
- ・潮位偏差：地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（以下、「d4PDF」という。）を活用して、現在気候（過去実験）と将来気候（2°C上昇実験、2100 年時点）の潮位偏差を推算し、現行計画と同じ安全度（計画高潮位の設定に用いている潮位偏差の再現期間：62 年）における潮位偏差の上昇率を求め、現行計画の潮位偏差に当該上昇率を乗じたものを基に設定する。
- ・計画高潮位：朔望平均満潮位に潮位偏差を加えるという現行計画の設定方法を踏襲し、高知検潮所地点における 2100 年の朔望平均満潮位に 2100 年の潮位偏差を加える。
- ・設計波：d4PDF を活用して、現在気候（過去実験）と将来気候（2°C上昇実験、2100 年時点）の波高を推算し、現行計画と同じ安全度（再現期間：30 年）における波高の上昇率を求め、現行計画の設計波の波高に当該上昇率を乗じたものを基に設定する。
- ・設計津波の水位：2100 年に予測される平均海面水位の上昇量を考慮した津波シミュレーション結果を基に設定する。

<コラム：土佐湾沿岸中央部の現行計画（計画高潮位）>

■土佐湾沿岸中央部の現行計画（潮位偏差）

○土佐湾沿岸中央部における現行計画の計画高潮位は、昭和 47 年に開催された土佐湾高潮対策技術会議等で以下のとおり設定されている。

・計画高潮位：T.P.+2.46m

桂浜検潮所（閉局）の朔望平均満潮位^{※1}+既往の潮位偏差の最大値^{※2}より設定

※1：S25～S35 の桂浜検潮所の朔望平均満潮位の平均値（T.P.+1.00m）

※2：S25～S45 の桂浜検潮所の観測値と S25 以前の推定値（簡易式）より、昭和 45 年台風 10 号を除き最大となる M35.9.7 の推定値（1.46m）

既往最大の潮位偏差は昭和 45 年台風 10 号の 2.35m（桂浜検潮所の推定値）であるが、土佐湾高潮対策技術会議等では生起確率が非常に小さいため棄却

■現行計画の潮位偏差の安全度（再現期間：62 年）

○現行計画の潮位偏差 1.46m の安全度（再現期間）はこれまで整理されていないことを踏まえ、本検討会において、潮位偏差の将来変化を予測・設定するため、観測データを基に極値統計解析を実施し、安全度（再現期間）を算定した。

○桂浜検潮所は閉局のため、近傍の高知検潮所（S24～R3、4 年欠測）の気象庁公表データ（1 時間間隔）より潮位偏差の年最大値を整理し極値統計解析（極値Ⅱ型、 $k=3.33$ ）を行った結果、現行計画の潮位偏差 1.46m の再現期間は、62 年となる。

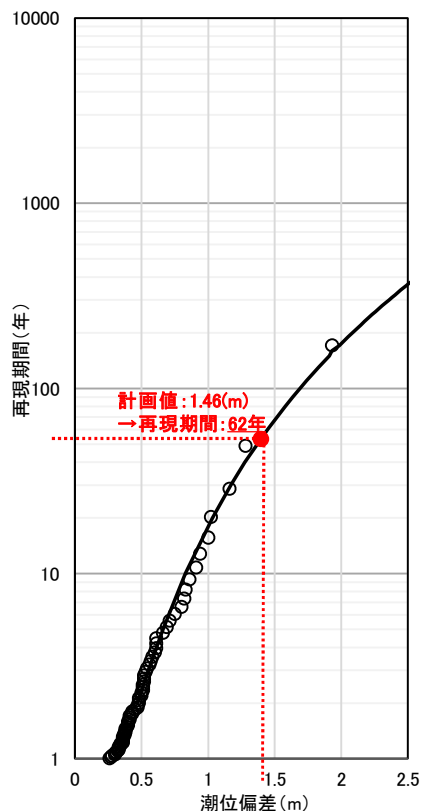


図 3 潮位偏差の極値統計解析結果（高知検潮所）

3.2 平均海面水位の上昇量・朔望平均満潮位の変化

■平均海面水位の上昇量

将来予測される平均海面水位の上昇量は、「日本の気候変動 2020」に示される RCP2.6 (2°C 上昇相当) における予測結果のうち、土佐湾沿岸が位置する領域Ⅲの平均値である 0.39m を採用する。

この値は、20 世紀末 (1986~2005 年) から 21 世紀末 (2081~2100 年) までの 96 年間の上昇量であることを踏まえ、2100 年までの平均海面水位の上昇量は、2020 年を起点とし、0.33m (0.39m×80 年/96 年) と設定する。

■朔望平均満潮位

2100 年の朔望平均満潮位は、2020 年を起点とし、高知検潮所 (現行計画が設定された桂浜検潮所は閉局のため近傍の高知検潮所を採用) における近 10 ヶ年 (2011~2020 年) の朔望平均満潮位の平均値 T.P.+0.97m に、2100 年までの平均海面水位の上昇量 0.33m を加えた、T.P.+1.30m と設定する。

<留意点>

- ・今後の新たな知見や観測データの蓄積等により変わる場合があるため、適宜、見直しを行う必要がある。ここでは、平均海面水位の上昇量は RCP2.6 (2°C 上昇相当) における平均値を基に設定しているが、今後上昇量が大きくなることも想定されるため、特に留意する必要がある。
- ・土佐湾沿岸では、南海トラフ地震の影響により、周期的な地殻変動等が発生しており、観測される潮位データに影響を及ぼす可能性があることにも留意する必要がある。

表 3 日本沿岸において将来予測される平均海面水位の上昇量

時期	20世紀末(1986~2005年の平均) ~ 21世紀末(2081~2100年の平均) ※96年間					
シナリオ	日本沿岸の平均海面水位の上昇量				検潮所16地点の平均値	世界の平均海面水位の上昇量
	領域Ⅰ	領域Ⅱ	領域Ⅲ	領域Ⅳ		
2°C上昇シナリオ (RCP2.6)	0.38m (0.22~0.55m)	0.38m (0.21~0.55m)	0.39m (0.22~0.56m)	0.39m (0.23~0.55m)	0.39m (0.22~0.55m)	0.39m (0.26~0.53m)
4°C上昇シナリオ (RCP8.5)	0.70m (0.45~0.95m)	0.70m (0.45~0.95m)	0.74m (0.47~1.00m)	0.73m (0.47~0.98m)	0.71m (0.46~0.97m)	0.71m (0.51~0.92m)

出典:「日本気候変動2020 大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書(詳細版)(2020年12月) pp.154~156 気象庁」
「気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 変化する気候下での海洋・雪氷圏に関するIPCC特別報告書(2020年度) p.73 環境省」

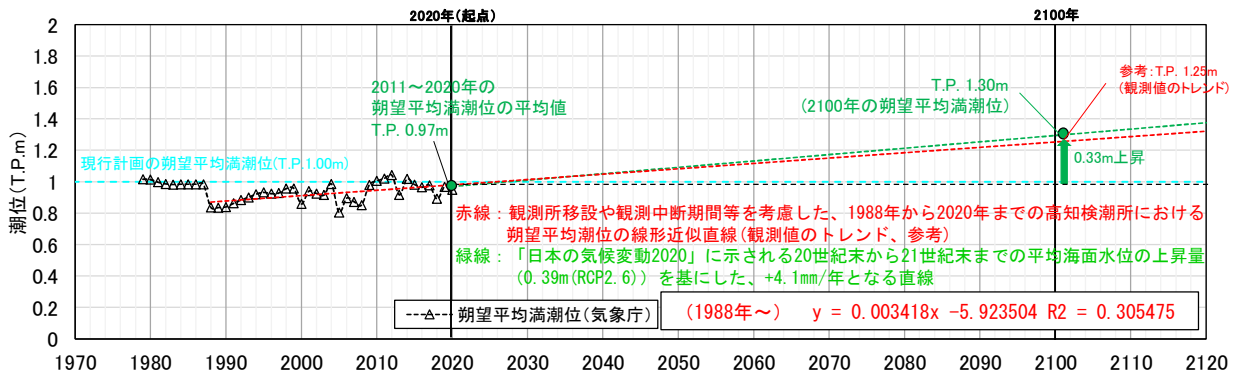


図 4 高知検潮所における朔望平均満潮位の変化 (観測値、将来変化)

3.3 潮位偏差・波浪（波高、周期）の変化

■検討方法（概要）

潮位偏差や波浪の将来変化量の推算方法については、「気候変動の影響を踏まえた海岸保全施設の計画外力の設定方法等について」に示される「B-1 全球気候モデル台風」を適用した。

具体的には、d4PDF から土佐湾に影響を及ぼす台風を抽出し、このうち 100 台風について高潮・波浪シミュレーションを行い、その結果から観測所等の評価地点において中心気圧や風速等から潮位偏差・波高を推定できる簡易推定式を構築し、この簡易推定式を用いて土佐湾沿岸に影響を及ぼす台風の現在気候（過去実験）と将来気候（2℃上昇実験、2100 年時点）の潮位偏差・波高を比較することで、現行計画と同じ安全度において将来予測される潮位偏差・波高の変化率を推算した。

■潮位偏差

高知検潮所の潮位偏差（再現期間：62 年）は、現在気候（過去実験）と将来気候（2℃上昇実験、2100 年時点）を比較すると、12%の上昇となる。

よって、気候変動を踏まえた計画外力としての 2100 年の潮位偏差（高知検潮所、再現期間：62 年）は、現行計画の 1.46m に 12%の上昇率を乗じ、1.64m となる。

■波浪（波高、周期）

高知港波浪観測所の波高（再現期間：30 年）は、現在気候（過去実験）と将来気候（2℃上昇実験、2100 年時点）を比較すると、2%の上昇となる。

よって、気候変動を踏まえた計画外力としての 2100 年の波高（高知港波浪観測所、再現期間：30 年）は、現行計画 13.0m の計算値である 12.6m に 2%の上昇率を乗じ、13.0m となる。周期は、気候変動後の波高と周期の関係式を作成し、現行計画の波高と周期の関係式との比較を行ったところ同程度であったため、現行計画と同じ 15.5 秒を設定する。

<留意点>

- ・今後の新たな知見や将来予測データの更新等により変わる場合があるため、適宜、見直しを行う必要がある。現時点では潮位偏差・波高の将来変化は不確実性が大きいと考えられるため、特に留意する必要がある。
- ・d4PDF に比べて、高潮・波浪シミュレーションによる風速の将来変化が小さくなったことから、d4PDF を用いた風速補正を行った。特に瀬戸内海側等の陸地影響の大きい他沿岸等では、地形特性を踏まえて適用性を十分検討する必要がある。

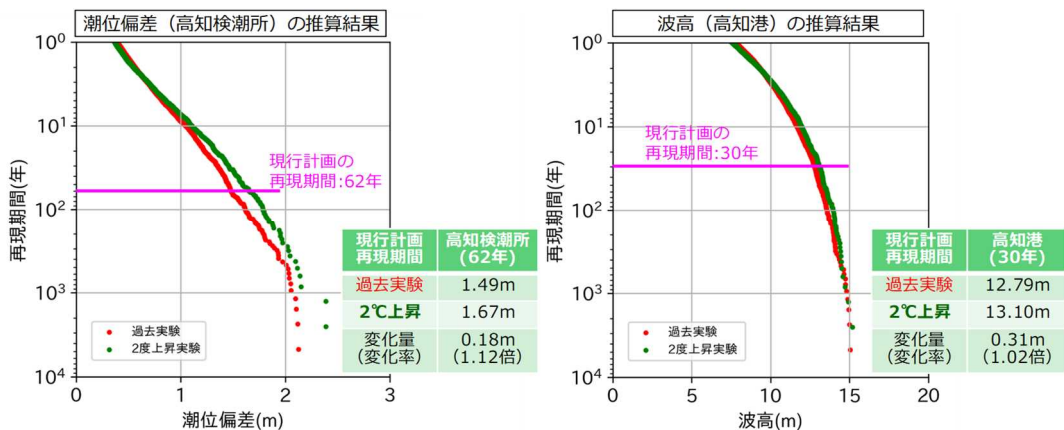


図 5 潮位偏差（高知検潮所）及び波高（高知港波浪観測所）の推算結果

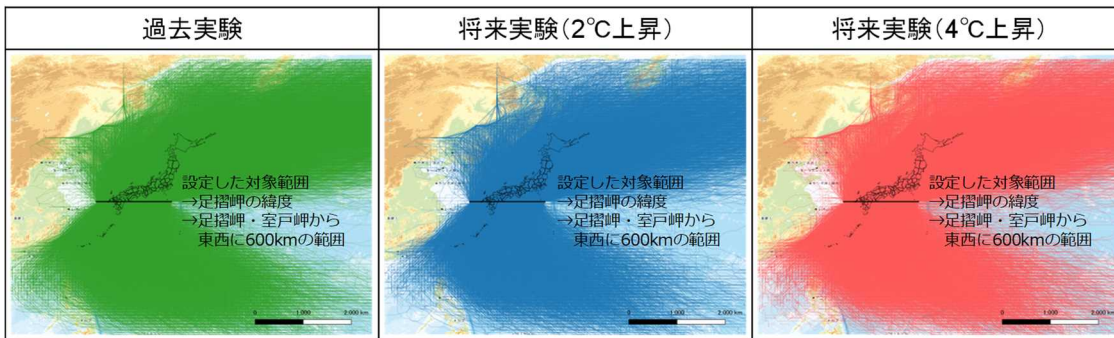
<コラム：d4PDF の概要と抽出した土佐湾に影響を及ぼす台風>

■d4PDF の概要

- d4PDF（地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース：database for Policy Decision making for Future climate change）には、高解像度大気モデルによる海面水温の将来変化（SST）等の条件に応じた多数の数値実験結果（気圧・風速等）が含まれている（d2PDF/d4PDF と表記される場合もあるが、d4PDF と呼ぶ）。
- 現在気候に当たる過去実験（6000 ケース＝60 年間×100 摂動）、将来を想定した 2℃ 上昇実験（3240 ケース＝60 年間×6SST×9 摂動）及び 4℃ 上昇実験（5400 ケース＝60 年間×6SST×15 摂動）が存在する。
- 水平解像度約 60km の全球実験（AGCM）と水平解像度約 20km の領域実験（NHRCM）があり、本検討会では全球実験（AGCM）より抽出され以下により公開されている台風トラックデータ（台風の中心位置、中心気圧、最大風速のみ収録）を使用した。
<気候変動データセット 2022：https://diasjp.net/ds2022/>

■d4PDF の台風トラックデータより抽出した土佐湾に影響を及ぼす台風

- 台風トラックデータより、土佐湾の高潮・高波に影響を及ぼし得る台風として、足摺岬・室戸岬から東西に 600km（同範囲を通過した過去の実績台風の中から観測以降最大の暴風半径を設定）の範囲で、足摺岬の緯度を通過する台風を抽出した。
- 抽出した結果、過去実験は 20,554 個、2℃ 上昇実験は 9,097 個、4℃ 上昇実験は 11,117 個の台風が対象となった。
- それぞれの年間発生個数は、過去実験は 3.43 個/年、2℃ 上昇実験は 2.81 個/年、4℃ 上昇実験は 2.06 個/年となり、将来的に減少傾向にあることが確認できる。



条件	年数	抽出台風数	年間発生個数
過去実験 (1951年～2010年)	100メンバ(100摂動※2) × 60年 = 6000年	20,554個	3.43個/年 (実績: 4.39個/年)※3
将来実験(2℃) (2031年～2090年)	54メンバ(6モデル※1 × 9摂動※2) × 60年 = 3240年	9,097個	2.81個/年
将来実験(4℃) (2051年～2110年)	90メンバ(6モデル※1 × 15摂動※2) × 60年 = 5400年	11,117個	2.06個/年

※1 将来実験において使用している主要6モデル（CCSM4、GFDL-CM3、HadGEM2-A0、MIROC5、MPI-ESM-MR、MRI-CGCM3）
 ※2 海面水温解析の推定誤差と同等の振幅をもつ海面水温摂動であり、2℃上昇実験は任意に選んだ9個、4℃上昇実験は15個が使用されている
 ※3 気象庁ベストトラックデータ（実績台風資料）を基に対象範囲を通過した実績台風より整理した結果（312個/71年間）
 実績台風の年間発生個数は過去実験の1.28倍であり、本検討会における外力の将来変化の検討では年間発生個数のバイアスを考慮した

図 6 d4PDF の台風トラックデータより抽出した土佐湾に影響を及ぼす台風

■ 経験的台風モデルによる推算風速と d4PDF の風速の比較

- 本検討会では、d4PDF の台風トラックデータに含まれる台風の中心気圧を用いて、Myers 式・経験的台風モデルにより気圧・風速を推算している。
- 検討会において、経験的台風モデルより推算した風速と d4PDF に含まれる風速を比較した結果、過去実験から将来実験への風速の将来変化は、経験的台風モデルより推算した風速の方が小さくなることが確認された。

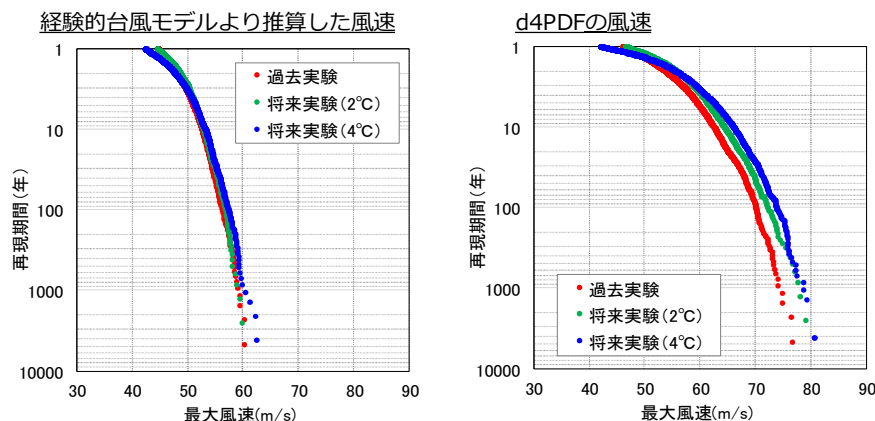
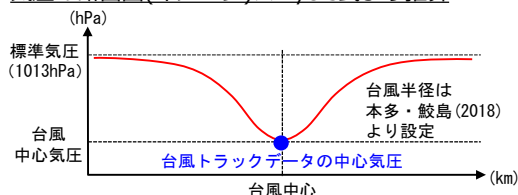


図 7 経験的台風モデルによる推算風速と d4PDF の風速の比較

■ d4PDF を用いた風速補正

- 経験的台風モデルでは気候変動による将来の風速変化を適切に表現できない恐れがあるため、本検討会では、経験的台風モデルより推算した風速を d4PDF の台風トラックデータに含まれる最大風速によって補正することとした。
- 本検討会における風速の補正は、台風毎に、経験的台風モデルと d4PDF の最大風速の時間毎の乖離率を求め、経験的台風モデルより推算した同時刻の風速場全体に一律補正する方法を採用した。

気圧の断面図(イメージ)※Myers式より推算



風速の断面図(イメージ)※経験的台風モデルより推算×乖離率(風速補正)

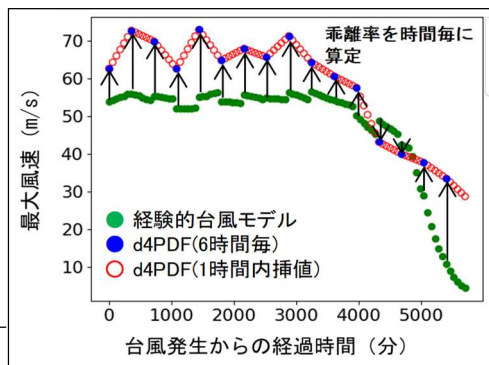
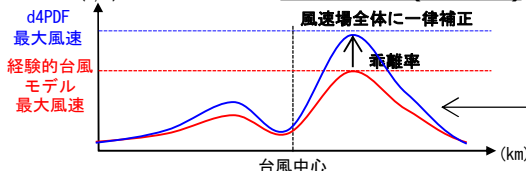


図 8 d4PDF を用いた風速補正の考え方

3.4 津波水位の変化

■検討方法（概要）

土佐湾沿岸中央部を対象に、平均海面水位の上昇を考慮した津波シミュレーションを実施した。検討方法（解析手法、地形・堤防条件等）は現行の設計津波の水位の設定方法に準拠した。初期潮位は2100年の朔望平均満潮位 T.P.+1.30m（現行計画では朔望平均満潮位として高知検潮所の10ヶ年（2002～2011）の平均値である T.P.+0.93m が設定されており 0.37m 上昇）を設定した。対象津波は、2003年中央防災会議公表の東南海・南海地震連動（現行計画では東南海・南海地震連動と東海・東南海・南海地震連動のうち津波水位が高い方を設定しており、土佐湾中央部では東南海・南海地震連動を採用）とした。地形条件は、2012年に内閣府（南海トラフ巨大地震モデル検討会）により公開された地形データを使用した。

現行の設計津波の水位の設定方法については、以下に示す「高知県地震・津波防災技術検討委員会」の資料を参考にされたい。

＜高知県地震・津波防災技術検討委員会＞

<https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/175001/2021070600295.html>

■津波水位

土佐湾沿岸中央部での気候変動後の津波水位の上昇量（海岸毎の平均値）は、平均海面水位の上昇量 0.37m と同程度となるが、仁ノ海岸の上昇量が他海岸に比べて大きくなるなど、局所的には上昇量が大きい箇所もある。

気候変動後の津波水位（海岸毎の平均値）は、現行の設計津波の水位を上回る結果ではなかったことから、気候変動を踏まえた計画外力としての設計津波の水位は、当面は現行の設計津波の水位 T.P.+8.0m を踏襲する。

＜留意点＞

- ・今後の新たな知見や将来予測データの更新等によりが変わる場合があるため、適宜、見直しを行う必要がある。
- ・南海トラフ地震について、今後30年間で70～80%程度の確率で発生することが予想されていることから、今後の発生状況も踏まえながら、適切な見直しを行う必要がある。

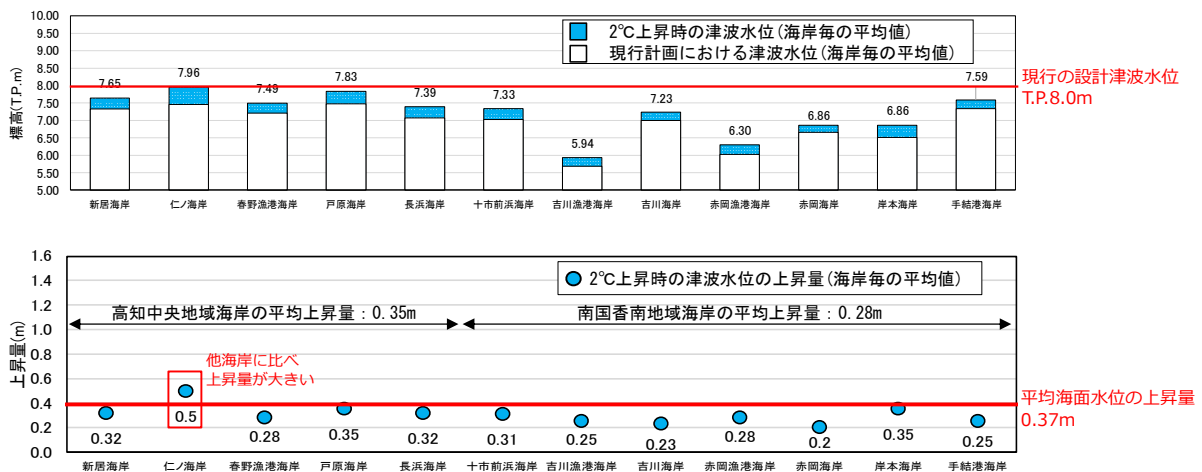


図 9 津波水位及び津波水位の上昇量の推算結果（各海岸の平均値）

4. 土佐湾沿岸中央部における気候変動を踏まえた防護水準（案）

以上の検討結果を踏まえ、土佐湾沿岸中央部の気候変動を踏まえた防護水準（案）を以下に示す。

4.1 気候変動を踏まえた防護水準（案）

○土佐湾沿岸中央部の気候変動を踏まえた防護水準は、RCP2.6（2℃上昇相当）における2100年時点の予測結果を基に設定する。

○ただし、今後の新たな知見や観測データの蓄積等に基づき、適宜、見直しを行う。

○南海トラフ地震発生直後に計画規模に相当する高潮・高波（台風）が同時に発生する確率は非常に小さいため、これらの同時生起に対応する施設整備は行わない。

○なお、土佐湾沿岸は、南海トラフ地震に伴って周期的な隆起・沈降を繰り返しており、地震時に急激な変化（広域地殻沈降等）が発生するものの、その後、土佐湾沿岸中央部では徐々に元の地盤に戻る傾向にあることが確認されている。ただし、土佐湾沿岸東側の室戸岬周辺では現状において周期的な変動の最中にある可能性があり変動量も大きいため、今後の海岸保全施設の計画・設計においてはこれらの地殻変動の状況に留意する必要がある。

表 4 土佐湾沿岸中央部における防護水準の改訂内容（案） 現行計画からの変更箇所：赤字

高潮・波浪				侵食	設計津波の水位
計画高潮位	設計波（高知港水深 25m 地点）				
	高知港水深 25m 地点の波高	高知港水深 25m 地点の周期	計画安全度		
T. P. +2.94m ※1	13.0m	15.5 秒	1/30 確率	現状の汀線維持 もしくは 必要に応じた汀線の回復	T. P. +8.0m ※2

上記については、RCP2.6（2℃上昇）における2100年時点の予測結果を基に設定。

ただし、現時点の知見に基づき予測したものであり、今後の新たな知見や観測データの蓄積等により変わる場合があるため、適宜、見直しを行う。

※1：計画高潮位について、施設整備にあたっての段階的な防護水準は、2100年時点での平均海面水位の上昇量に、施設整備時点及び施設の耐用年数に応じた潮位偏差の増大量を加えて設定する。設定にあたっては、設計着手時点での新たな知見や地域特性等も踏まえるものとする。

※2：設計津波の水位は、2012年に内閣府（南海トラフ巨大地震モデル検討会）が公表した津波解析データの地形を基本として、地震時に生じる急激な地殻変動（広域地殻沈降、現時点で想定される最大値）を反映し、2100年の朔望平均満潮位（T. P. +1.30m）を考慮した津波シミュレーションの結果を基に設定。ただし、海岸保全施設の整備状況や地形の特性等により、局所的に設計津波の水位を超える場合には必要に応じて対策を行う。また、今後、平均海面水位の上昇量や海浜地形が大きく変わる場合には、その状況を反映した津波シミュレーション等を行い、設計津波の水位について、適宜、見直しを行うものとする。

表 5 土佐湾沿岸中央部における気候変動を踏まえた防護水準（案）の設定の考え方

項目	現行計画値	2100年時点の 防護水準（案） （2℃上昇）	防護水準（案）の設定の考え方
朔望平均満潮位	T. P. +1.00 (m)	T. P. +1.30 (m)	<ul style="list-style-type: none"> ・朔望平均満潮位（高知検潮所）は、最新の朔望平均満潮位（近 10 ヶ年の平均値を採用）に、今後の平均海面水位の上昇量を加えて設定。 ・2100 年の朔望平均満潮位は、2011～2020 年の朔望平均満潮位の平均値 T. P. 0.97m+2100 年までの平均海面水位上昇量 0.33m(1996～2091 年の上昇量 0.39m×80 年/96 年)。
潮位偏差	1.46 (m)	1.64 (m)	<ul style="list-style-type: none"> ・潮位偏差（高知検潮所）は、現行計画（1.46m）に、現行計画の安全度（62 年確率）において 2100 年に予測される変化率（12%上昇）を考慮し設定。 ・2100 年の潮位偏差は、現行計画 1.46m × 1.12 = 1.64m。
計画高潮位	T. P. +2.46 (m)	T. P. +2.94 (m)	<ul style="list-style-type: none"> ・計画高潮位は、2100 年の朔望平均満潮位（T. P. +1.30m）に 2100 年の潮位偏差（1.64m）を加えて設定。
設計波 高知港水深 25m 地点の波高 (1/30)	13.0 (m)	13.0 (m)	<ul style="list-style-type: none"> ・設計波の波高（高知港水深 25m 地点）は、現行計画の計算値（12.6m）に、現行計画の安全度（30 年確率）において 2100 年に予測される変化率（2%上昇）を考慮し設定。 ・2100 年の波高（高知港水深 25m 地点）は、現行計画の計算値 12.6m × 1.02 = 12.9m となり、現行計画と同程度となるため、現行計画を設定。
設計波 高知港水深 25m 地点の周期 (1/30)	15.5 (秒)	15.5 (秒)	<ul style="list-style-type: none"> ・設計波の周期（高知港水深 25m 地点）は、2100 年に予測される波高（高知港水深 25m 地点）が現行計画と同程度であるため、現行計画（15.5 秒）を設定。
設計津波 の水位	T. P. +8.0 (m)	T. P. +8.0 (m)	<ul style="list-style-type: none"> ・設計津波の水位は、2100 年の朔望平均満潮位（T. P. +1.30m）を考慮した津波シミュレーション結果を基に設定。 ・ただし、2℃上昇時の津波水位の上昇量（海岸毎の平均値）は、現行の設計津波の水位を上回る結果ではなかったことから、当面は現行の設計津波の水位（T. P. +8.0m）を踏襲する。 ・なお、海岸保全施設の整備状況や地形の特性等により、局所的に設計津波の水位を超える場合には必要に応じて対策を行う。

4.2 段階的な防護水準（計画高潮位）

気候変動には不確実性があることから将来の予測結果が変わる可能性があり、また、海岸保全の対策範囲は広範囲にわたり対策実施には長期間を要することから、計画高潮位について、以下の考えに基づき、段階的な防護水準を設定する。

- 平均海面水位の上昇量は、RCP2.6（2℃上昇相当）における平均値を基に設定しているが、今後上昇が大きくなる可能性もある一方、その上昇量は比較的小さいため、施設の整備時期や耐用年数にかかわらず、2100年時点の上昇量（0.33m）を予め見込む。
- 潮位偏差の増大量は、d4PDFを用いた予測結果から設定しているが、今後増大量が大きくなる可能性がある一方、施設の整備・更新までには時間を要すること、2100年を待たず施設の供用が完了する可能性があることから、段階的な防護水準を設定する。具体的には、潮位偏差は2100年まで線形的に上昇すると仮定し、施設整備時点及び施設の耐用年数（一般的な供用期間である50年）を基に長寿命化計画に基づく施設の健全度評価結果等を踏まえ設定）に応じた増大量を見込む。
- また、防護水準は、今後、各施設の整備時点において、新たな知見や観測データの蓄積等に基づき、適宜、見直しを行っていく。

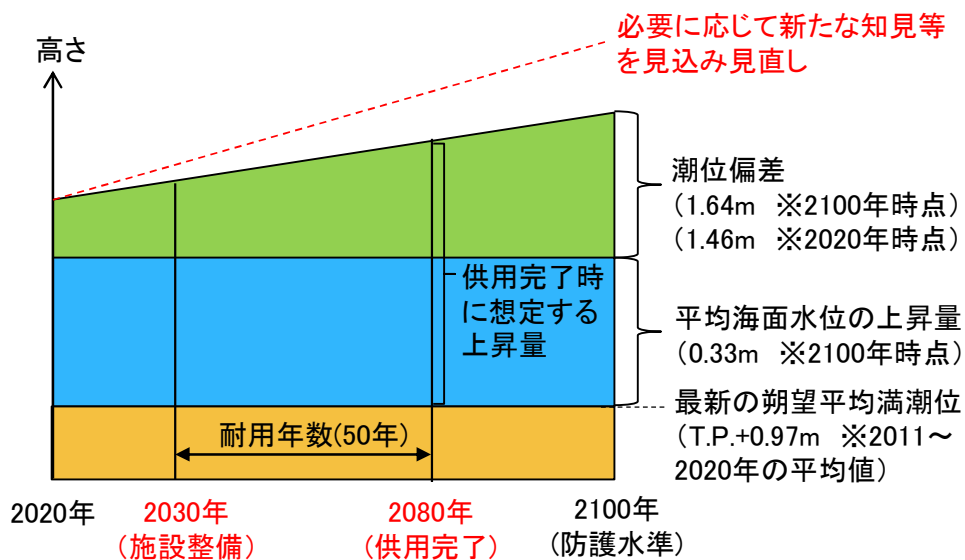


図 10 段階的な防護水準（計画高潮位）のイメージ

4.3 海岸保全基本計画の見直し

本検討会でとりまとめた気候変動を踏まえた防護水準（案）は、現時点で得られている知見や将来予測データ等に基づき設定したものであり、気候変動は長期的に発現することを踏まえると、今後の新たな知見や観測データの蓄積等に基づき、適宜、見直しを行っていく必要がある。

併せて、今後、社会経済状況や背後地の人口、社会インフラの整備状況、土地の利用状況等が変化することも想定されることから、防護水準だけではなく、気候変動への適応策や対策の実施時期・優先順位なども含め、例えば、IPCC 評価報告書は5～10年程度で更新されること等を踏まえ、5年に1度は海岸保全基本計画の内容や進捗状況を点検する等したうえで、適宜、計画を見直し順応的な管理を推進する必要がある。

4.4 モニタリング

気候変動の影響を考慮した新たな海岸保全の実施や海岸保全基本計画の見直しに向けては、気候変動の不確実性、外力や海浜地形の将来変化等、現時点では不明確な部分が多いことを踏まえ、新たな知見や観測データ等を蓄積していくことが重要である。

特に、海岸域では、対象とする範囲が広範囲にわたり、水深変化も大きく複雑な地形特性を有する箇所も存在するため、グリーンレーザーやドローン等の最新技術も活用しながら、高精度、かつ、効果的・効率的なモニタリングを実施していく必要がある。

また、海岸保全施設の老朽化が急速に進行しているなか、気候変動への適応策に今後取り組んでいくためには、長寿命化計画等に基づき施設の維持管理を適切に実施していくことが重要であることから、施設の老朽化状況等に関するモニタリングも実施していく必要がある。

5. ハード・ソフト対策を組み合わせた気候変動への適応策

土佐湾沿岸中央部の気候変動を踏まえた防護水準（案）を基に、今後取り組んでいくハード・ソフト対策を組み合わせた気候変動への適応策をとりまとめる。

5.1 気候変動への適応策に関する基本的な考え方

■基本的な考え方

- 気候変動には不確実性があること等から、段階的な防護水準を設定し段階的なハード対策を実施していく必要がある。
- その際、ハード対策施設のみで防御できるレベルには限界があること等を踏まえ、ハード対策だけでなくソフト対策についても適切に組み合わせる必要がある。
- ハード・ソフトの対策について、今後の新たな知見や観測データの蓄積等も踏まえ、適宜、見直しを行っていく。

■ハード対策

- ハード対策は、2100年時点の防護水準を目標に進めるが、気候変動には不確実性があること、海岸保全の対策範囲は広範囲にわたり対策実施には長期間を要することから、施設の耐用年数、背後地の将来変化等も考慮し、段階的な防護水準を設定し段階的な対策を実施していく。
- さらに、気候変動の不確実性等を踏まえ、将来の施設改良等を考慮した手戻りのない（施設改良等が容易な）構造等を適用していくとともに、粘り強い構造の堤防整備等についても取り組んでいく。
- 対策の実施にあたっては、施設の耐用年数（50年程度）、災害発生の危険度、地域毎の特性（背後地の人口、社会インフラの整備状況、土地の利用状況）等を踏まえ、効果的・効率的な対策となるよう整備時期・整備水準や実施箇所の優先順位についても検討していく。整備時期・整備水準の決定については、リアルオプション分析等の新しい考え方についても必要に応じて参考にする。
- また、堤防等の高さの確保等による防護だけでなく、総合土砂管理や順応的砂浜管理等も含めた面的防護を進めていく。
- 設計着手にあたっては、その時点の新たな知見や観測データ、地域特性等を踏まえる。

■ソフト対策

- 海岸保全の対策範囲は広範囲にわたり対策実施には長期間を要すること、施設のみで防御できるレベルには限界があることを踏まえ、ハード対策だけでなくソフト対策についても適切に組み合わせる必要がある。
- また、ソフト対策については、長期的な視点から関連する他分野とも連携することが重要であることから、国と県と市がそれぞれの役割のもと密接に連携し、高潮浸水想定区域や津波災害警戒区域の指定、ハザードマップや避難計画の作成、土地利用規制や事前復興計画も踏まえた防災まちづくり等の都市計画との調整等、総合的な対策を行う必要がある。

■ハード・ソフト対策の適切な組み合わせ

○気候変動の影響を考慮した外力に対応するためには、ハード・ソフト対策を適切に組み合わせることが重要であるが、避難体制や土地利用の状況を踏まえてハード対策を検討する必要がある一方、その逆にハード対策の効果の限界を前提として避難体制の構築やまちづくりを進める必要もある。

○ハード・ソフト対策の組み合わせの検討にあたっては、まずは、外力の規模だけでなくその発生確率と発生する人的・経済的被害をかけた地域の災害リスクを定量化し、その上でハード対策、ソフト対策のそれぞれの限界を認識して適切な組み合わせを提示し、避難や土地利用といったソフト対策との関係性のなかで堤防高等のハード対策を決定することが重要である。

○具体的な決定手法については、以下に示す土木学会減災アセスメント小委員会がとりまとめた「津波に対する海岸保全施設整備計画のための技術ガイドライン」が参考となる。

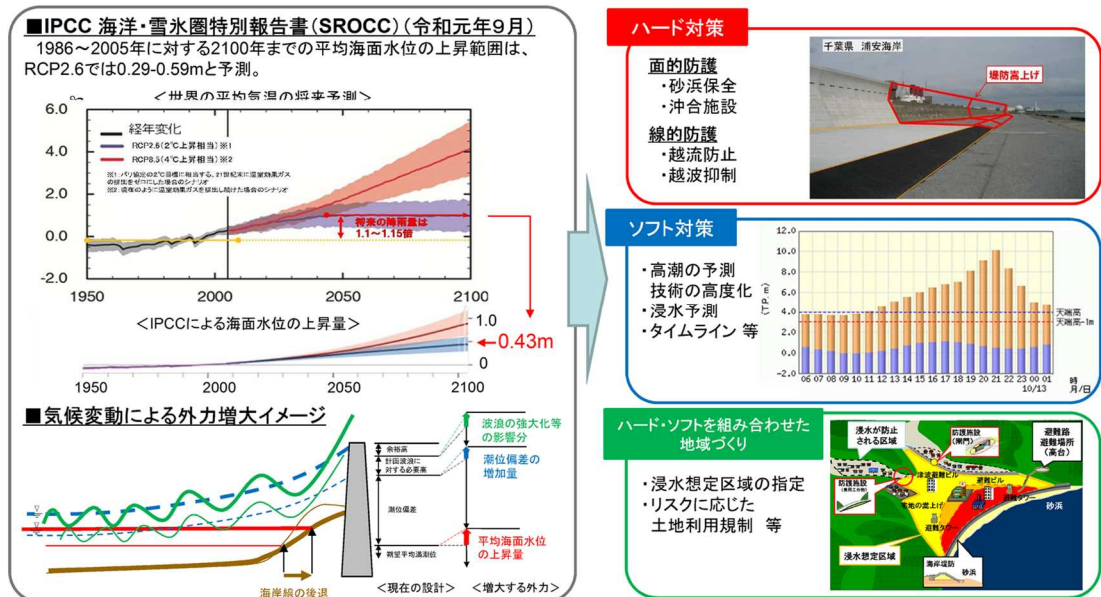
<津波に対する海岸保全施設整備計画のための技術ガイドライン>

https://coastal.jp/files/202106Technical_Guideline_for_Planning_of_Coastal_Protection_Facilities_against_Tsunami.pdf

<コラム：気候変動適応策に関する事例>

■気候変動適応策の考え方と取り得る気候変動適応策（事例）

- 「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会」において、気候変動適応策の考え方と取り得る気候変動適応策（事例）が示されている。
- 土佐湾沿岸においても、これらの事例を踏まえながら、ハード対策やソフト対策を適切に組み合わせた気候変動適応策を講じていく必要がある。



出典：「第5回 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会（R2.5） 資料・5」

図 11 気候変動適応策の考え方の事例

主な項目	影響	適応策(△:ソフト対策、□:ハード対策)
砂浜・国土保全への影響	<ul style="list-style-type: none"> ○海岸保全施設前面の汀線の後退による防護機能の低下 ○砂浜を有する景観の変化・悪化 ○海水浴場の減少などレジャーへの影響など、観光資源としての価値の減少 	<ul style="list-style-type: none"> △総合土砂管理計画の作成 □総合土砂管理計画に基づく対策の実施 □養浜・侵食対策の実施 △海岸侵食対策にかかる新技術の開発等 △防護ラインのセットバックや都市機能の移転・集約の機会等を捉えた土地利用の適正化
生態系への影響	<ul style="list-style-type: none"> ○砂浜植生の減少・消滅の危険性 ○藻場の磯焼け、二枚貝などの生息環境の変化 ○干潟の減少・消滅の危険性 	<ul style="list-style-type: none"> △環境に配慮した整備や新工法等に関する調査研究 □環境に配慮した整備の実施
堤防・護岸等への影響	<ul style="list-style-type: none"> ○堤体の滑動、転倒、倒壊 ○被覆工、上部工の被災 ○越波、越流に伴う洗掘による堤体の被災、破堤 ○汀線の後退による防護機能の低下 	<ul style="list-style-type: none"> △海象のモニタリング △最新の予測技術に基づいた設計外力の定期的な見直し △施設の健全度評価 △超過外力が作用する場合の海岸保全施設への影響の把握 □粘り強い構造の堤防等の整備 △ライフサイクルコストを考慮した最適な更新等の考え方の検討 □養浜・侵食対策の実施
背後地への影響	<ul style="list-style-type: none"> ○越波・越流による浸水被害の増加 ○破堤による海水の流入に伴う浸水被害の増加 	<ul style="list-style-type: none"> △海岸保全施設の防護機能の把握 △ライフサイクルコストを考慮した最適な更新等の考え方の検討 □被災リスクの高い箇所及び更新時期を踏まえた海岸保全施設の戦略的な整備 △海象のモニタリング □関係機関と連携した排水機能の確保 □高潮時の逆流防止対策 △市町村によるハザードマップ作成の支援 △避難判断に資する情報の分析・提供 △避難計画策定・訓練実施の促進（操作規則との整合確保を含む） △防護ラインのセットバックや都市機能の移転・集約の機会等を捉えた土地利用の適正化

出典：「第7回 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会（R2.6） 資料・5」

図 12 取り得る気候変動適応策（事例）

5.2 高潮・高波に対する対策（案）

■現況堤防高の評価結果と想定される対策

- 「4.1 防護水準（案）」で設定した防護水準（案）を基に、気候変動の影響を考慮した波のうちあげ高を改良仮想勾配法により算定した。
- 波のうちあげ高の算定は、各外力の変化が施設機能に与える影響を段階的に評価するため、① 平均海面水位の上昇、② ①+潮位偏差の増加を考慮したケースで実施した。なお、平均海面水位の上昇に伴う汀線後退により波のうちあげ高は更に上昇するが、汀線後退は波向の変化等にも影響を受けるなど、現時点では不明確な部分が多いことから、引き続き、検討する必要がある。
- 気候変動の影響を考慮した波のうちあげ高（将来の必要天端高）に対しては、多くの海岸において現況堤防高のままでは堤防高が不足する結果となる。
- このため、2100年までには、堤防の嵩上げ、離岸堤の嵩上げ、ヘッドランドの改良、養浜等の順応的な砂浜管理、さらには山地から海岸までの総合土砂管理等の気候変動に適応するための追加のハード対策が必要となる。
- ただし、想定よりも砂浜が減少する場合や、また、既往最大の潮位偏差は昭和45年台風10号の2.35m（桂浜検潮所の推定値）であり、気候変動を考慮した潮位偏差（1.64m）よりも大きな潮位偏差が過去発生している状況を踏まえ、将来においても計画規模を超える高潮が発生する可能性あること等も念頭に、ソフト対策を適切に組み合わせることも必要となる。
- ソフト対策については、高潮浸水想定区域の指定、ハザードマップや避難計画の作成、土地利用規制などの都市計画との調整、防護ラインの見直し、浜堤の保全、津波避難タワーの高潮避難での活用を想定した改良など、実現性を踏まえながら必要に応じて検討を行っていく。
- また、対策については、今後の新たな知見や観測データの蓄積等も踏まえ、適宜、見直しを行っていく必要がある。

表 6 現況堤防高の評価結果と想定されるハード対策（案）

海岸	波のうちあげ高に対する現況堤防高の評価結果		2100年までに想定されるハード対策(案)
	① 平均海面水位の上昇を考慮した場合	② ①+潮位偏差の増加を考慮した場合	
新居海岸	堤防高満足	堤防高満足	・順応的な砂浜管理(養浜等)
仁ノ海岸	堤防高満足	堤防高満足	・堤防嵩上げ ・離岸堤の嵩上げ等 ・順応的な砂浜管理(養浜等)
戸原海岸	堤防高不足 (最大0.15m)	堤防高不足 (最大0.56m)	・堤防嵩上げ ・ヘッドランドの改良等 ・順応的な砂浜管理(養浜等)
長浜海岸	堤防高不足 (最大0.34m)	堤防高不足 (最大0.67m)	・堤防嵩上げ ・ヘッドランドの改良等 ・順応的な砂浜管理(養浜等)
十市前浜海岸 (西側、国管理)	堤防高満足	堤防高不足 (最大0.27m)	・堤防嵩上げ ・離岸堤の嵩上げ等 ・順応的な砂浜管理(養浜等)、総合土砂管理等
十市前浜海岸 (東側、県管理)	堤防高不足 (最大0.60m)	堤防高不足 (最大1.06m)	・堤防嵩上げ ・離岸堤の嵩上げ等 ・順応的な砂浜管理(養浜等)、総合土砂管理等
香南海岸 (吉川・赤岡・岸本)	堤防高不足 (最大0.59m)	堤防高不足 (最大1.17m)	・堤防嵩上げ ・離岸堤の嵩上げ等 ・順応的な砂浜管理(養浜等)、総合土砂管理等

5.3 侵食に対する対策（案）

■気候変動の影響による海岸侵食と想定される対策

- 気候変動に伴う平均海面水位の上昇によって、今後、海岸侵食がさらに進行することが予想されていることから、侵食対策を進めていくことはますます重要となる。
- ただし、平均海面水位の上昇による汀線後退量については、Bruun 則により算定すると10m程度になることが予想されるが、汀線後退は波向の変化等にも影響を受けるなど、現時点では不明確な部分が多いことから、今後の新たな知見や観測データの蓄積等も踏まえ、引き続き、検討する必要がある。
- 気候変動の影響を考慮した侵食対策については、背後地への被害が予測される地域では、汀線の維持または回復を目標とし、離岸堤の嵩上げやヘッドランドの改良等を行うとともに、養浜等の順応的な砂浜管理、さらには総合土砂管理による海岸域への土砂の供給に取り組むなど、総合的な対策を行う必要がある。
- また、海岸侵食が進行し海岸堤防前面の水深が深くなると、基礎部の露出等により海岸堤防が被災することや、平均海面水位の上昇量以上に波のうちあげ高が増大する危険性が高まることも想定される。このため、海浜地形の変化や越波の状況を適切に把握していくことも重要であり、高精度、かつ、効果的・効率的なモニタリングを実施し、順応的に対応していく必要がある。

5.4 津波に対する対策（案）

■現況堤防高の評価結果と想定される対策

- 気候変動後の津波水位（海岸毎の平均値）は、現行の設計津波の水位を上回る結果ではなかったことから、基本的には気候変動に適応するための追加のハード対策は必要ない。
- ただし、今後、詳細な検討を行った結果、海岸保全施設の整備状況や地形の特性等により、局所的に設計津波の水位を超える場合には、堤防の嵩上げ等の気候変動に適応するための追加のハード対策が必要となる。
- また、今後の新たな知見や観測データの蓄積等も踏まえ、平均海面水位の上昇量や海浜地形が大きく変わる場合には、その状況を反映した津波シミュレーション等を行い、設計津波の水位や追加のハード対策について、適宜、見直しを行っていく必要がある。
- なお、設計津波の水位は比較的頻度の高い数十年から百数十年の頻度で発生している津波を対象にしており、設計津波以上の規模の津波（最大クラスの津波等）に対しては住民避難等のソフト対策で対応する必要がある。

5.5 段階的な対策の考え方

■段階的な対策の必要性

- 気候変動を踏まえた海岸保全施設の整備・更新は、RCP2.6（2℃上昇相当）に基づく2100年時点の防護水準を目標に進めるが、気候変動には不確実性があること、対策範囲は広範囲にわたり対策実施には長期間を要することから、施設の耐用年数、背後地の将来変化等を考慮し、段階的な防護水準を設定し段階的に対策を実施していく必要がある。
- また、効果的・効率的な対策となるよう、ハード対策の実施時期、整備水準、実施箇所 の優先順位も設定していく必要がある。

■段階的なハード対策の検討方法

- 段階的な対策の検討では、まずは施設毎の更新時期（耐用年数を迎える時期（一般的な供用期間である50年を基に長寿命化計画に基づく施設の健全度評価結果等を踏まえ設定）を整理するとともに、「4.2 段階的な防護水準（計画高潮位）」に記載したとおり、2100年時点の平均海面水位の上昇量に2100年まで線形的に上昇すると仮定した潮位偏差を加味し、現況堤防高では堤防高が不足する箇所や時期、更新後の堤防が再び供用を完了する時期に必要となる防護水準（計画高潮位）を確認・設定する。
- その上で、この段階的な防護水準に対応するための対策を設定する。その際、施設の健全度（実際の耐用年数）、事後的な対策の難易度（堤防、離岸堤の嵩上げ等のように比較的柔軟な対応が可能な施設であるか、水門の門柱や基礎等のように対応に手戻りが生じる施設であるか等）、背後地の将来変化等も考慮し、ハード対策の整備水準（堤防の嵩上げにおいて、最終的な堤防高に対してどの程度嵩上げするのか、一度に整備するのかなど）を検討するとともに、土地利用規制などソフト対策による対応についても検討する。
- また、ハード対策の検討にあたっては、近年、企業において将来の不確実性を伴う投資戦略や事業展開の判断に用いられているリアルオプションという分析手法を導入し、複数の整備手順から便益が最大化（費用が最小化）する手順を定量的に評価することで、整備時期や投資効果を検討することも合理的かつ有効と考えられる。
- なお、海岸侵食の進行については、不明確な部分が多く、平均海面水位の上昇や波高の変化に加え、波向の変化による影響も想定されるため、今後の新たな知見や観測データの蓄積等も踏まえ、継続的に検討を行っていくこととし、現時点では、平均海面水位の上昇と潮位偏差の増大を対象に、段階的な対策の検討を進めていく。

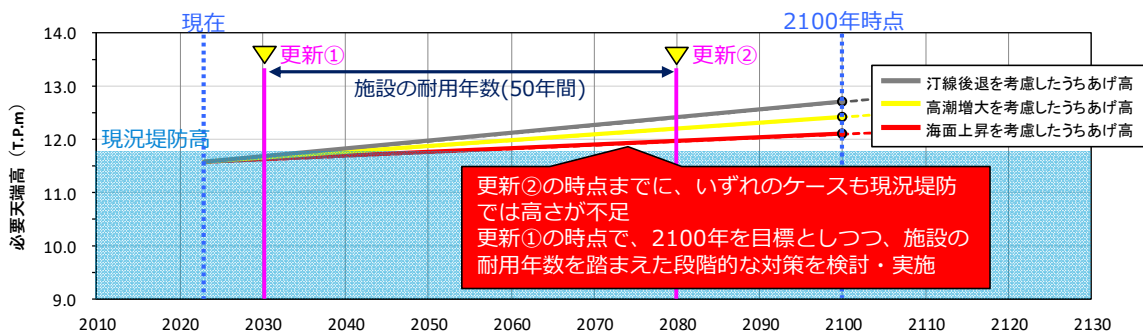
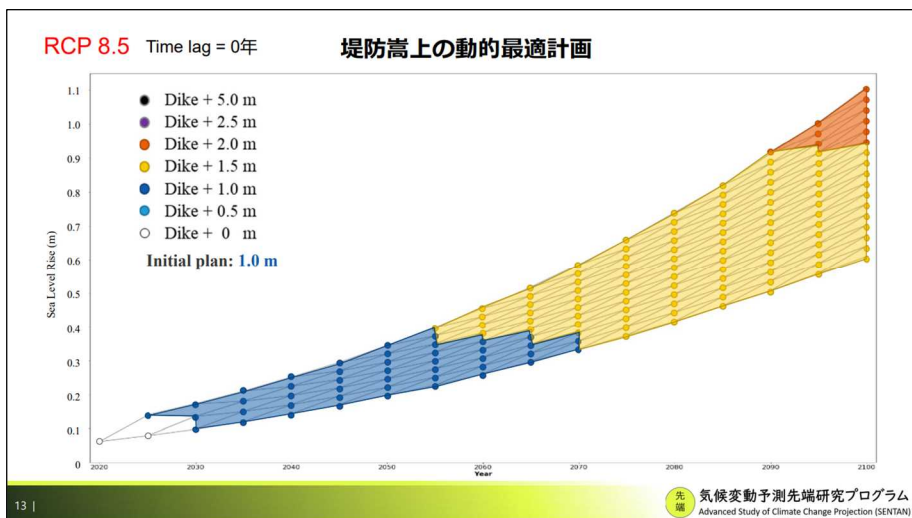
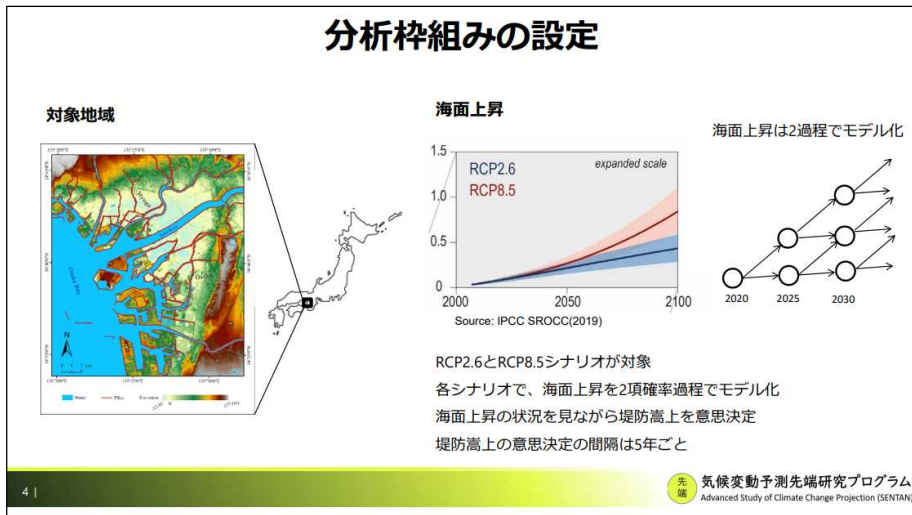


図 13 現状の施設機能の評価に基づく対策必要時期の確認・整理イメージ

<コラム：リアルオプションの概要と検討事例>

■リアルオプション分析の概要と将来の海面上昇の不確実性を踏まえた検討事例

- リアルオプション分析は、将来の環境に不確実性が存在する際に利用される意思決定手法で、将来起こり得るシナリオを網羅的に考慮したうえで、気候変動の状況をモニタリングしながら事業投資の適切な整備時期と整備水準の評価等を行うものであり、気候変動下の環境政策の評価等に利用されている。
- リアルオプション分析を用いた検討事例として、「文部科学省・気候変動予測研究プログラム 領域課題4 ハザード統合予測モデルの開発ハザード」において、気候変動による高潮リスク増大に伴う海岸堤防の嵩上げを対象に、将来起こり得る海面上昇シナリオをモデル化し、海面上昇の状況に応じた年間リスク費用（高潮による期待被害額＋嵩上げ費用）が最小となる整備時期や嵩上げ高について検討が進められている。
- 今後、土佐湾沿岸では、気候変動の不確実性等を踏まえて、将来の施設整備に手戻りが生じないよう最適な整備時期等を検討する必要があることから、リアルオプション分析等の新しい考え方についても必要に応じて参考にする。



出典：「文部科学省・気候変動予測研究プログラム 領域課題4 ハザード統合予測モデルの開発ハザード 社会の将来変化予測に基づく適応戦略」

図 14 リアルオプション分析による海面上昇に対応した海岸堤防の嵩上げの検討事例

5.6 土佐湾沿岸中央部における対策の優先順位

以上の考え方を踏まえ、土佐湾沿岸中央部の高潮・高波に対する対策の実施箇所について、現時点の知見に基づく優先順位を以下に示す。

■優先順位の検討条件

- 「5.2 高潮・高波に対する対策（案）」に記載したとおり、気候変動の影響を考慮した波のうちあげ高に対して、多くの海岸で堤防高が不足することから、高潮・高波に対する対策の実施箇所の優先順位を堤防高に着目し検討する。
- 施設の更新時期は、海岸保全施設台帳等から現況堤防の整備・更新年を整理し（耐震対策工事が完了している堤防はその時点で更新されたものとして扱う）、ここでは耐用年数を50年として次の更新時期を整理（耐用年数については長寿命化計画に基づく施設の健全度評価結果等を踏まえ今後詳細に設定することが必要）。
- 気候変動を考慮した将来の被害想定は、① 平均海面水位の上昇、② ①+潮位偏差の増加、を対象とした波のうちあげ高の算定結果より、現況堤防高が不足する時期及び2100年時点での不足高を整理（海岸侵食は対象外とした）。
- 背後地の状況は、現時点の主な土地利用、高潮・高波による浸水想定区域内人口を整理。

■対策の優先順位が高い海岸

- 2100年時点の堤防高の不足高は、香南(吉川・赤岡・岸本)海岸が1.17mと最も大きく、次いで、十市前浜海岸東側(東沢放水路より東側の県管理区間)、長浜海岸の順に大きい。一方、新居海岸、仁ノ海岸では不足しない結果となった。
- 施設の耐用年数の観点からは、香南(吉川・赤岡・岸本)海岸を除いて当面更新の必要性はないが、長浜海岸、十市前浜海岸東側(東沢放水路より東側の県管理区間)、香南(吉川・赤岡・岸本)海岸では2020年代から2030年代に堤防高が不足し対応が必要となる。
- 想定浸水区域内人口は、長浜海岸、香南(吉川・赤岡・岸本)海岸では約3,000人と多いが、戸原海岸や十市前浜海岸東側(東沢放水路より東側の県管理区間)は600人から700人程度と比較的少ない。なお、国立社会保障・人口問題研究所が公表している地域別将来推計人口を踏まえると、本地域全体としては人口は減少していくものと想定され、背後地の状況変化もよく踏まえた上で対策を検討する必要がある。
- 以上のことから、被害発生が早期に予想され、これまでの海岸侵食の影響（沿岸漂砂を阻害する構造物等によって土砂の供給が少なく特に浅海域の地盤高が低い状況にある）もあり堤防の不足高が大きくかつ背後地に人口・資産が多く存在している、「長浜海岸」、「香南(吉川・赤岡・岸本)海岸」の対策を優先すべきである。

表 7 高潮・高波に対する対策の優先順位の整理

項目／海岸		新居海岸	仁ノ海岸	戸原海岸	長浜海岸	十市前浜海岸 西側	十市前浜海岸 東側	香南海岸 (吉川・赤岡・岸本)
施設の更新時期 (耐用年数50年を想定)		2060年代	2070年代	2070年代	2070年代	2070年代	2070年代	2010年代
堤防高が 不足する 時期	海面上昇	—	—	2080年代	2040年代	—	2030年代	2050年代
	海面上昇 +偏差増加	—	—	2050年代	2030年代	2080年代	2020年代	2030年代
2100年時点 の堤防高 の不足高	海面上昇	—	—	0.15m	0.34m	—	0.60m	0.59m
	海面上昇 +偏差増加	—	—	0.56m	0.67m	0.27m	1.06m	1.17m
背後地	土地利用	宅地・農地	宅地・農地	宅地	宅地	農地・宅地	農地・宅地	宅地
	浸水想定区 域内人口	808人	440人	615人	2882人	1174人	715人	2958人
優先度		—	—	○	◎	△	○	◎



図 15 土佐湾沿岸中央部の海岸の位置図

5.7 長浜海岸、香南海岸における気候変動適応策

「5.6 土佐湾沿岸中央部における対策の優先順位」で設定した対策の優先順位が高い長浜海岸、香南(吉川・赤岡・岸本)海岸について、今後、必要と想定される対策を整理する。

■長浜海岸

- 高知市に位置する長浜海岸では、海岸堤防は昭和 50 年頃に完成し、その後、平成 26 年から令和 2 年にかけて地震・津波対策として堤防の耐震・液状化対策が完了している。また、高潮・高波対策として突堤の整備が平成 5 年から平成 23 年にかけて順次完了しており、今後ヘッドランドの整備が始まる予定である。
- 気候変動の影響を踏まえると 2030 年代に堤防高が不足することが想定されること、今後整備が始まるヘッドランドの供用期間は 2100 年を待たずに終わることから、ヘッドランドの整備にあたっては、気候変動の影響を踏まえた段階的な防護水準を設定するとともに、波向の変化等についても検討を進め、気候変動に対応した施設への改良（嵩上げ、形状変更等）を行っていくことが必要である。
- また、既に整備済みの堤防や突堤についても、順次、気候変動を踏まえた対策が必要になると想定されるが、施設の耐用年数にはまだ余裕があること、ヘッドランドの整備が優先であることを踏まえれば、段階的な防護水準の設定には、今後の新たな知見や観測データの蓄積が特に重要となる。



図 16 長浜海岸の施設・土地利用の状況

■香南(吉川・赤岡・岸本)海岸

- 香南市に位置する香南(吉川・赤岡・岸本)海岸では、海岸堤防は昭和40年頃に完成しているが、地震・津波対策に着手していないことから、建設当時の構造物のまま建設後約60年を経過している。健全度評価の結果、機能は確保されているが進行する可能性のある変状があり経過を観察する必要がある、と診断されており、要監視の段階である。なお、農業用水の放水路(香宗川放水路)が堤防内を樋門構造で横断している箇所が存在している。また、高潮・高波対策として離岸堤の整備が現在も進行中であり、最も古いものは昭和63年に完成している。
- 気候変動の影響を踏まえると2030年代に堤防高が不足することが想定される。他方、南海トラフ地震と老朽化の観点から堤防の改良が必要となっており、堤防の地震・津波対策の実施にあたっては、気候変動の影響を踏まえた段階的な防護水準を設定し、現行計画から嵩上げすることが必要となる。その際、樋門部分(香宗川放水路)については将来的に手戻りが生じない構造を検討することが重要となる。
- 既に整備済みの離岸堤についても、順次、嵩上げが必要になると想定されるが、離岸堤の嵩上げは対応が比較的容易なことも踏まえ、施設の更新時期を踏まえつつ、今後の新たな知見や観測データの蓄積も踏まえ対策の実施時期の設定や施設の設計を行っていくことが重要である。
- また、侵食対策としては、離岸堤の嵩上げだけでなく、物部川においてダムから下流へ土砂を供給するための永瀬ダム等での抜本的な対策や物部川から海岸へ土砂を供給するための吉川漁港等での通過・運搬対策など、物部川流砂系において検討が進捗している総合土砂管理の取り組みを進めることも必要となる。
- 更に、香南(吉川・赤岡・岸本)海岸には、堤防沿いに家屋が連担している地域や河川と海岸に挟まれた土地利用が乏しい地域等が存在していることから、土地利用規制や事前復興計画も踏まえた防災まちづくり等の都市計画との調整など、ソフト対策をハード対策と連携し適切に組み合わせることも有効となる。



図 17 香南(吉川・赤岡・岸本)海岸の施設・土地利用の状況

6. 今後の検討課題（今後の留意点）

今後取り組んでいく必要がある検討課題（今後の留意点）を以下に列挙する。

(1) 計画外力等に関する予測・評価手法

本検討会では、d4PDF を用いて、土佐湾に影響を及ぼす台風を対象に、「高潮浸水想定区域図作成の手引き」に基づいた台風・高潮・波浪シミュレーションを行い、現在気候（過去実験）と将来気候（2℃上昇実験）の結果を比較することで、将来予測される潮位偏差・波浪の変化を推算した。

一方、気候変動の影響を考慮した外力の将来変化に関する検討は、全国的に進められている途中段階にあり、今後様々な検討手法や知見が得られていく可能性がある。そのため、今後の新たな知見や将来予測データの更新等に基づき、外力の将来変化の予測・評価方法等についても、適宜、見直しや更新を行っていく必要がある。

また、波のうちあげ高について、本検討会では、これまでの施設計画・設計に用いられている手法（中村らの改良仮想勾配法）による検討を行ったが、今後の気候変動を踏まえた対策の検討にあたっては、最新の知見や手法等も必要に応じて取り入れ、検討を進めていく必要がある（中村らの方法では実際の波のうちあげ高を過少に評価するという研究事例もあることを念頭におく必要がある）。

(2) 高潮・高波に関する防護水準（安全度）

気候変動を踏まえた防護水準における高潮（潮位偏差）と高波（波高）の安全度（再現期間）は、現行計画を踏襲することとした（高潮：昭和 45 年台風 10 号を除く既往の潮位偏差の最大値、62 年。高波：30 年）。そのため、高潮（潮位偏差）と高波（波高）の安全度（再現期間）が異なる結果となっている。土佐湾沿岸では、計画規模に相当する高潮・高波は台風によって生じることを念頭におき、今後、新たな知見や将来予測データの更新等も踏まえながら、例えば、同一台風規模での高潮・高波に関する予測・評価を行うなどして、分かりやすい示し方にも留意しつつ、新たな安全度について検討を行っていく必要がある。この際、高潮（潮位偏差）について、これまでは既往最大の観測値に基づき防護水準を設定してきたが、今後は確率評価に基づいた防護水準の設定に転換していくことも重要である。

(3) 設計波（沖波）

防護水準に記載する設計波は、現行計画及び本検討会における推算結果を踏まえ、1/30 確率における高知港水深 25m 地点の波高及び周期とし、現行計画で記載のある沖波という表現から修正を行った。設計波は、計画・設計に際して、所管毎で様々な考え方により定義・設定されていることから、関係機関との確認・調整を行いながら、計画等に使用する設計波（地点、考え方等）について検討を行っていく必要がある。

(4) 気候変動に伴う将来の海浜地形

海浜地形（砂浜）は、気候変動に伴う平均海面水位の上昇や波高の変化に加え、波向の変化にも影響を受けることから、平均海面水位の上昇や波向の変化等による海岸侵食について、

検討していく必要がある。ただし、現時点では不明確な部分が多いことを踏まえ、今後の新たな知見や観測データの蓄積等も踏まえ、継続的に検討を行っていく必要がある。

検討にあたっては、気候変動の影響を考慮した解析検討を実施することに加え、外力や海浜地形の変化をより精度よく把握していくためのモニタリングを合わせて実施し、順応的に対応していくことができるよう留意する必要がある。

(5) 南海トラフ地震に伴う地殻変動

土佐湾沿岸は、南海トラフ地震に伴って周期的な隆起・沈降を繰り返しており、地震時に急激な変化（広域地殻沈降等）が発生するものの、その後、土佐湾沿岸中央部では徐々に元の地盤に戻る傾向にあることが確認されている。ただし、土佐湾沿岸東側の室戸岬周辺では現在においても周期的な変動の最中にある可能性があり変動量も大きいため、今後の海岸保全施設の計画・設計において地殻変動の状況に留意する必要がある。例えば、地殻変動は観測される潮位データにも影響を及ぼす可能性があるため、観測データを使用する際には留意する必要がある。

なお、これまでの地震・津波対策では、地震時に生じる急激な地殻変動（広域地殻沈降）や液状化沈降等は構造物の設計へ反映している。一方、周期的な隆起・沈降については、地震・津波対策、高潮・高波対策とも計画・設計には考慮していない。今後は、新たな構造物の整備や更新時点において、地殻変動の不確実性（発生時期、将来予測データ等）も踏まえつつ、その時点での知見や蓄積された地盤高データに留意し、設計を行っていく必要がある。

(6) 将来の不確実性等を踏まえた対策

気候変動を踏まえた海岸保全施設の整備・更新は、RCP2.6（2℃上昇相当）に基づく2100年時点の防護水準を目標に進めるが、気候変動には不確実性があること、対策範囲は広範囲にわたり対策実施には長期間を要することから、対策の実施箇所の優先順位を検討し、また、段階的な防護水準に基づく段階的な対策を検討する必要がある。

その際、ハード対策だけでなく、避難や土地利用などソフト対策についても適切に組み合わせることも検討する必要がある。

検討にあたっては、長寿命化計画に基づく現状施設の健全度（実際の耐用年数）、事後的な対策の難易度（堤防、離岸堤の嵩上げ等のように比較的柔軟な対応が可能な施設であるか、水門の門柱や基礎等のように対応に手戻りが生じる施設であるかなど）、背後地の将来変化等も考慮し、必要に応じリアルオプションの分析手法も参考としつつ、ハード対策の整備時期や整備水準（堤防の嵩上げにおいて、最終的な堤防高に対してどの程度嵩上げするのか、一度に整備するのかなど）を検討する必要がある。

なお、背後地の将来変化については、今後想定される地域毎の人口減少率等に留意する必要がある（土佐湾沿岸中央部では海岸毎に将来変化に大きな違いは生じにくいと考えられるが、土佐湾沿岸全体では将来変化にも海岸毎に違いが生じる可能性があり適切に考慮する必要がある）。

以上