

第2回

高知海岸・県道春野赤岡線 管理技術検討委員会

説明資料

令和2年2月26日

国土交通省 四国地方整備局 高知河川国道事務所
高知県 土木部 道路課、港湾・海岸課

資料構成

①背景と目的	2
②検討の経緯	3
③高知海岸における海岸堤防の現状把握	5
④堤防の空洞の発生と拡大の過程の整理	10
⑤空洞が発生したことを受けた 効果的・効率的な管理方法の検討	11
⑥まとめ	27

①背景と目的

【背景】

平成30年12月に確認された県道春野赤岡線の堤防の空洞は、長期的な砂浜の著しい消失や、台風時のような短期的な高波浪の作用による前浜の低下によって堤防の基部が露出し、堤体内に空洞が発生・拡大したものであった。

【委員会の目的】

高知海岸と県道春野赤岡線との兼用工作物において空洞が発生したことを受け、空洞箇所の発生原因の究明、海岸堤防及び道路施設の空洞調査、効率的・効果的な管理方法の検討などについて、技術的な助言をすることを目的とする。

○今回の委員会で取りまとめる事項(防災・減災の視点から台風時のような高波浪を対象)

- ・空洞発生を極力未然に防止するための管理
- ・空洞発生を早期に察知するための監視
- ・空洞発生が懸念される際の調査
- ・重点的に監視等を行う箇所の更新

■ 検討内容

1. 検討の目的と内容

2. 過年度検討の経緯

3. 海岸堤防の現状把握

以下の項目を整理し、海岸堤防の現状を整理
・堤防諸元、堤防前面の砂浜高(直近13年間)、堤防構成材料ほか

4. 堤防の空洞の発生と拡大の過程の整理

想定される堤防の空洞の発生要因を整理

5. 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

空洞発生を踏まえた今後の海岸堤防の管理方法を検討

- ・空洞発生を極力未然に防止するための管理
- ・空洞発生を早期に察知するための監視
- ・空洞発生が懸念される際の調査
- ・重点的に監視等を行う箇所の更新

■ 対象区間



■ これまでの経緯

平成30年12月20日 県道春野赤岡線(長浜工区)の歩道部で空洞を確認

平成31年 3月22日 第1回高知海岸・県道春野赤岡線管理技術検討委員会を開催

②検討の経緯(空洞の発生状況)

【第一回検討委員会(平成31年3月22日開催)結果より】

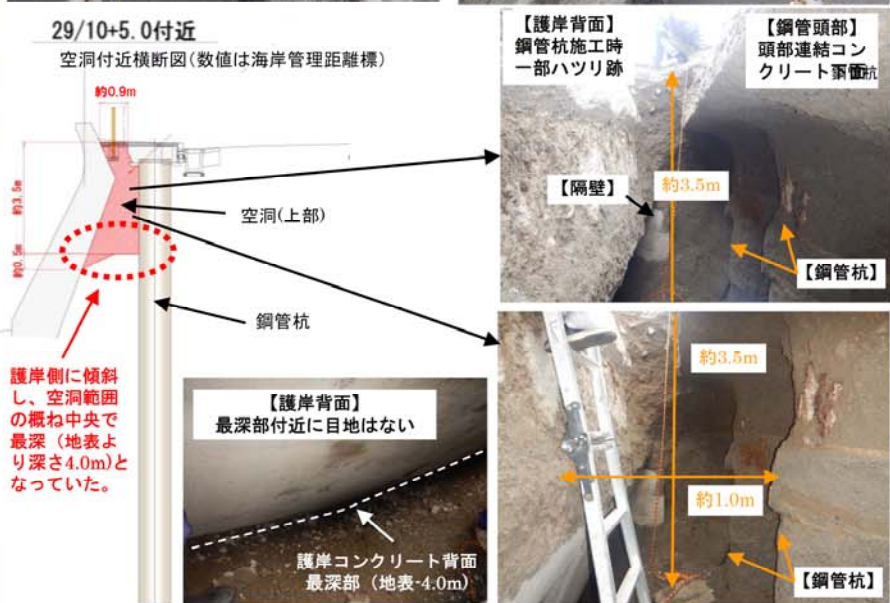
- 県道春野赤岡線(高知海岸長浜工区)の歩道部で転落防止柵基礎の沈下(約3cm)を発見(平成30年12月20日)
- 開削調査の結果、護岸と鋼管杭の間において、幅約1m、延長約4mの空洞(上部)を確認(平成30年12月20日)
- 空洞(上部)の深さは地表より4m程度であり、底面は鋼管杭側から護岸側に傾斜。空洞内部に鋼管杭及び鋼管杭頭部との連結コンクリートの下面が露出していることを確認。



平成30年12月20日 開削調査により、幅約1m、延長約4m、地表より深さ4mの空洞(上部)を確認。



平成30年12月20日 高知河川国道事務所の海岸委託巡視員による巡視の際に、転落防止柵基礎の沈下(約3cm)を発見



②検討の経緯(第一回検討委員会結果)

- 長期における砂浜の著しい消失に加え、台風来襲などによる高波が護岸基礎部に短期的に作用したことが要因となって、空洞が発生・拡大したと推定される。
- 空洞を監視していくには、写真等を用いて面的にとらえ、変状があれば詳細に調査を行っていくという段階を踏むとよい。
- 短期的、長期的な両方の視点で管理を行っていくことが重要。

■ 空洞発生・拡大の要因

要因調査

近接する排水管渠からの漏水
→目視確認により管渠からの漏水等が影響した可能性は低い

地中調査（非破壊探査）
→当該箇所では鋼管杭などの既設構造物の影響により「空洞」の判別で困難であった。

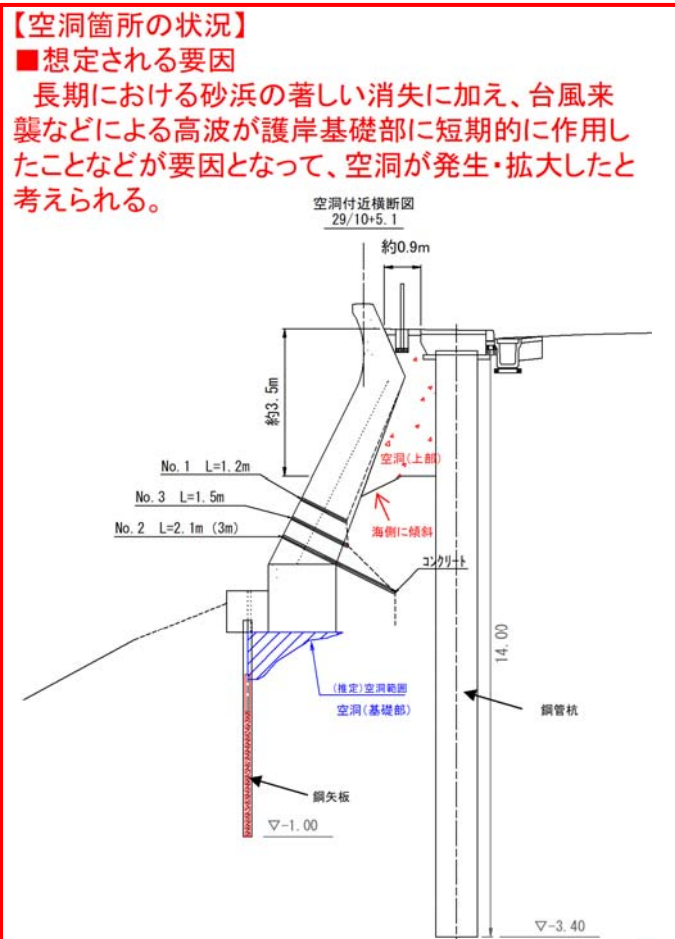
地護岸前面の健全性確認
→護岸コンクリートに特異な変状は確認されなかった。
→根固め矢板の「矢板継ぎ手の開き」、「矢板背面土砂の流出部」が確認された。

メカニズムの推定

- ①潮位変動、荒天時の水位変動、前浜の形状変化
- ②鋼矢板背面の水位（水圧）上昇、前浜低下に伴う鋼矢板継ぎ手開き箇所前面の土圧減少
- ③継ぎ手開き箇所から矢板背面の土砂流出（流失）
- ④矢板背面の土砂流失に伴い、護岸コンクリート背面の土砂が沈下（空洞発生）

長期における砂浜の著しい消失に加え、台風来襲などによる高波が護岸基礎部に短期的に作用したことが要因となって、空洞が発生・拡大したと考えられる。

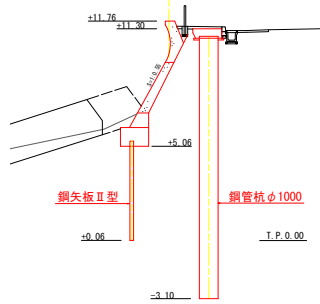
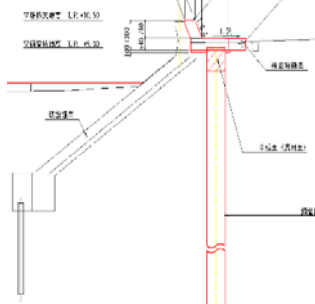
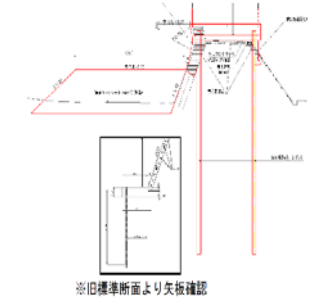
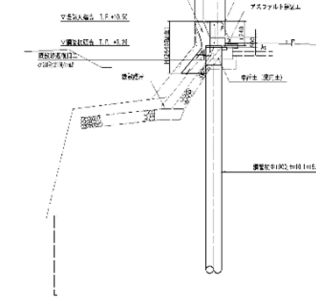
■ 空洞箇所の状況



出典：第1回高知海岸・県道春野赤岡線 管理技術検討委員会 説明資料

③高知海岸における海岸堤防の現状把握(堤防諸元)

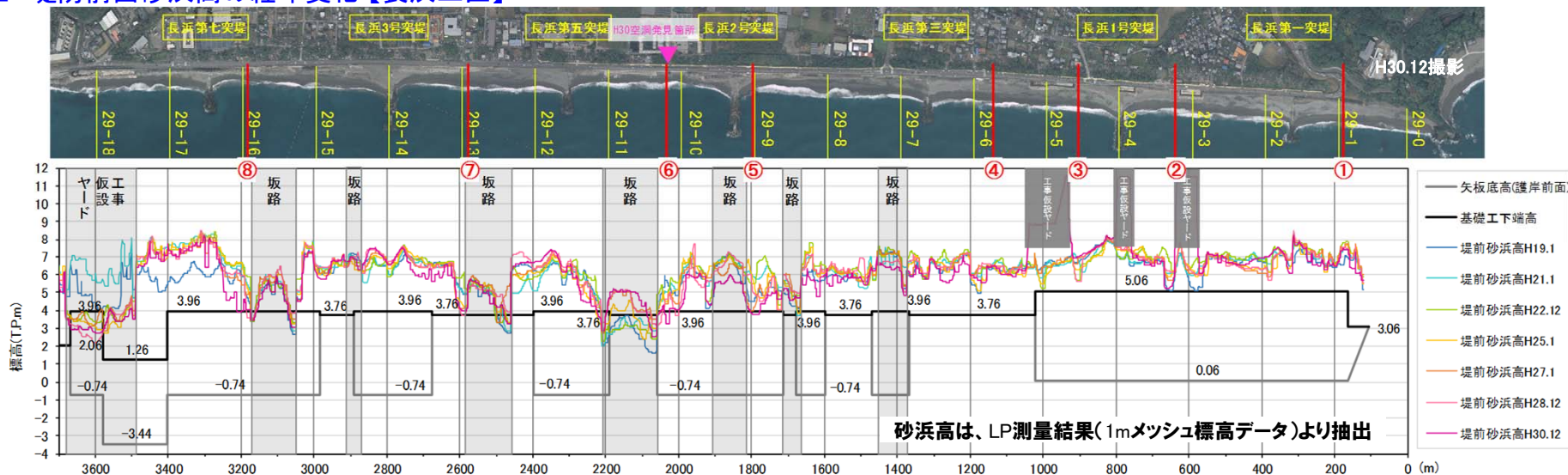
- 海岸保全施設台帳及び各種工事図面にに基づき、工区毎に、海岸堤防の堤防構造(標準断面、構造形式、基礎工高、表法勾配)、工事履歴、施工年、被災履歴等を整理。
- 長浜工区の基礎工下端高は他の工区と比較して高い。堤防の被災事例は戸原工区で最も多く、ついで長浜工区、仁ノ工区となっている。新居工区については平成元年以降構造物の被害は発生していない。

工区	長浜工区	戸原工区	仁ノ工区	新居工区
代表断面				
堤防構造				
構造形式	殆どの区間で鋼管杭工が施された前面コンクリート護岸であり、鋼矢板の設置区間と非設置区間が混在している。また、殆どの区間で堤防護岸背後に鋼管杭工が施されている。	殆どの区間で前面コンクリート護岸であり、一部に矢板の非設置区間が存在している。堤防前面の矢板は、鋼矢板の区間とコンクリート板の区間が混在している。堤防護岸背後に鋼管杭工が施されていない区域が存在し、その前面にはコンクリートブロックが多く設置されている。	殆どの区間で前面コンクリート護岸であり、一部に矢板の非設置区間が存在している。堤防護岸背後に鋼管杭工はないが、工区西側で鋼矢板工が施されている。	殆どの区間で前面コンクリート護岸であり、工区東端に一部矢板の非設置区間が存在している。31-3+40付近以西の堤防護岸背後には鋼管杭工が、以東には鋼矢板工が施されている。
基礎工高	基礎工下端高はTP+1.26m~5.06m 他の工区と比較して高い区間が存在	基礎工下端高は殆どの区間でTP+2.26m	基礎工下端高は殆どの区間でTP+2.26m	基礎工下端高はTP+0.26m~2.67m
表法勾配	1:0.5 ~ 1:0.55	1:1.5程度が主体 東端(長浜工区西端付近)のみ1:0.55程度	工区西側1:0.5程度 工区東側1:1.0程度	工区西側1:1.0程度 工区東側1:0.5程度 緩傾斜堤防区間1:4.0
その他構造物	国・県建設の突堤が交互に存在している。堤防前面に坂路が設置してある。なお、工区東側には耐震工事用の仮設ヤードが設置されている。	国・県建設の突堤が交互に存在している。29-19~29-25付近、29-29~29-30付近の堤防前面に坂路が集中して設置されている。	工区東側に国建設の離岸堤が存在している。	工区西側には、国建設のT字突堤が連続的に存在している。 工区東側には、県建設の離岸堤が連続的に存在している。
被災履歴	2号突堤(29-9+50付近)~第五突堤(29-11+120)の区間で、2000~2010年に被災事例が集中している。近年では、平成30年に堤防背後の歩道上に不陸変状が確認され、その後、舗装部に局所的な空洞を確認されている。	被災履歴は工区西側で多い。近年では、2015年に既設護岸歩道部の取壊しにより、既設護岸背面に空洞が確認(29-19+111.4~29-19+131.4)されている。また5号突堤(29-24+50付近)の被災事例が多い。(2006,20014,2016,2017年被災)	平成元年以降、本工区の被災履歴は、2001,2003年に30-0~30-3区間で生じた事例のみである。 また沿岸部の離岸堤設置後(2005年以降)は、大きい被災履歴なし。	平成元年以降、大きい被災履歴なし。

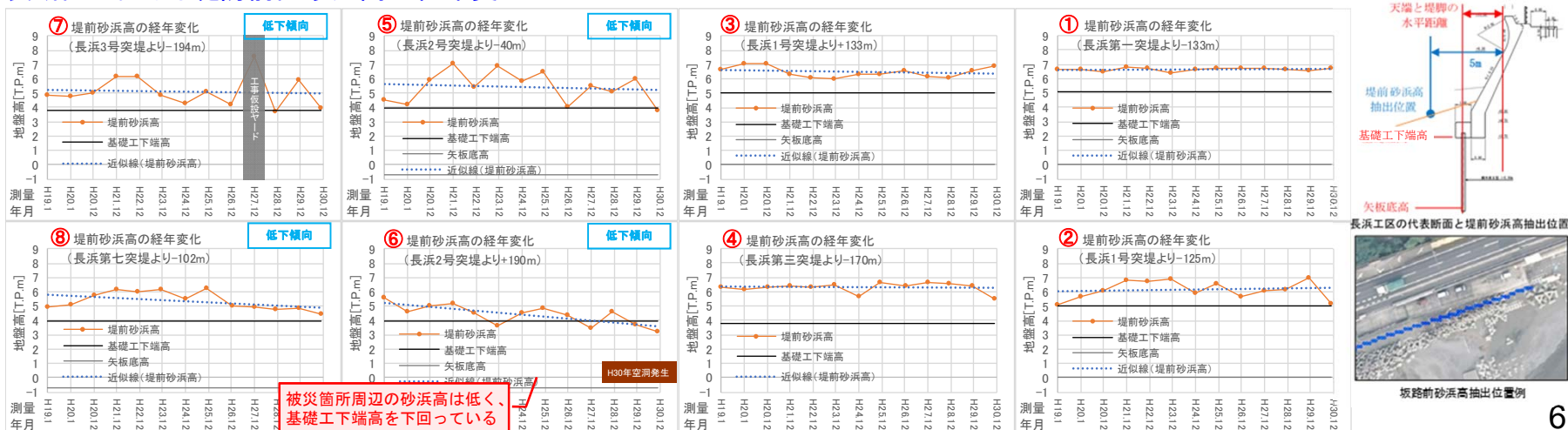
③ 高知海岸における海岸堤防の現状把握(長浜工区)

- 工区中央部(⑤、⑥)付近及び坂路の前面や端部では、堤防前面の砂浜高が基礎工下端高を下回る区間がある。また、工区中央部から西側(⑤~⑧)や東側の一部(③)では、砂浜高は低下傾向にある。
- 平成30年に空洞が確認された箇所(⑥)では、平成23年度以降、砂浜高が基礎工下端高以下までの低下を繰り返しており、平成30年で最も低くなっている。

■ 堤防前面砂浜高の経年変化【長浜工区】



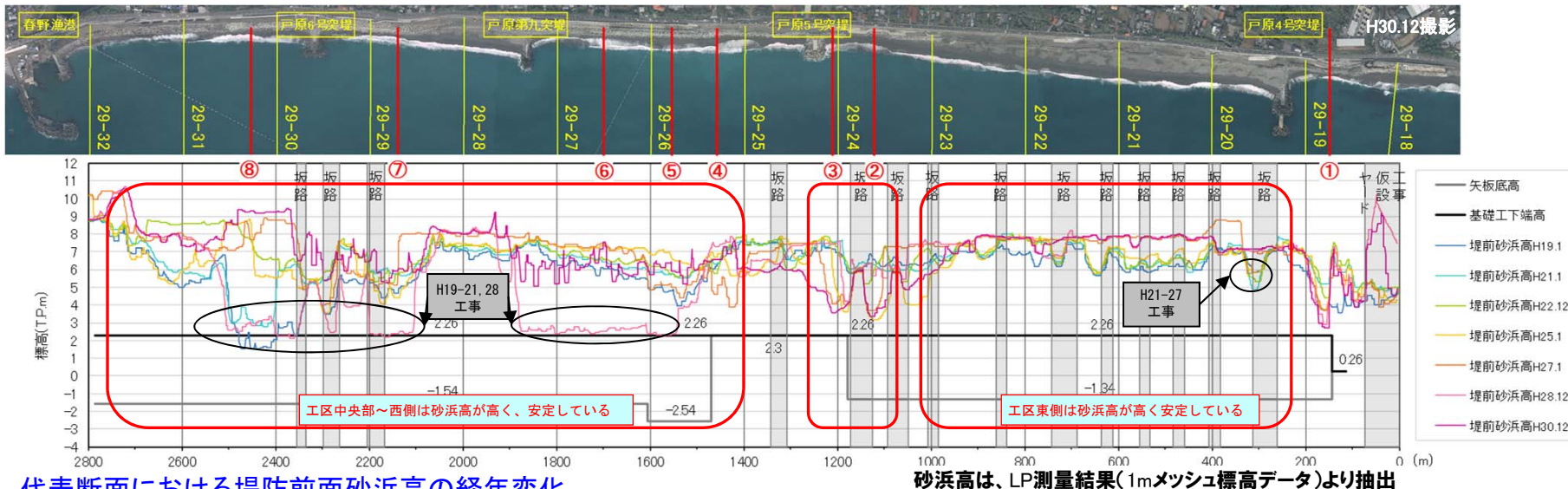
■ 代表断面における堤防前面砂浜高の経年変化



③ 高知海岸における海岸堤防の現状把握(戸原工区)

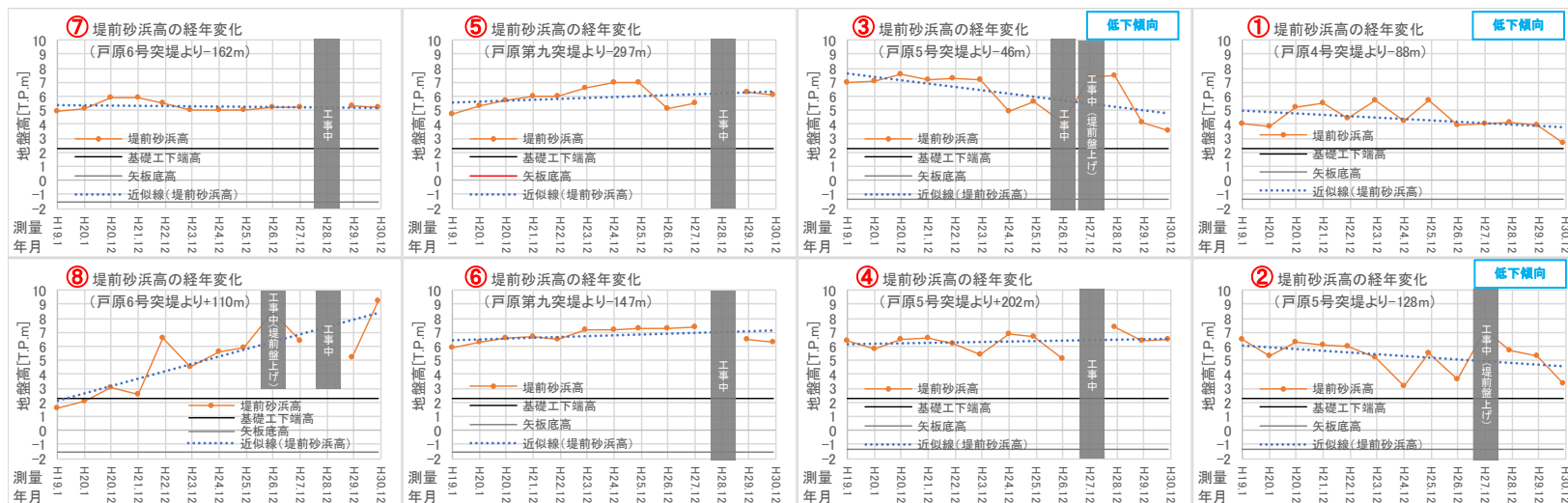
- 工区中央部(戸原5号突堤付近、②、③付近)で砂浜高の変動が大きく、砂浜高は低下傾向にある。ただし、現状では、砂浜高は基礎工下端高より高い状態を維持している。
- これ以外の工区東側、工区中央部～西側は砂浜高が高く、安定している。

■ 堤防前面砂浜高の経年変化【戸原工区】



■ 代表断面における堤防前面砂浜高の経年変化

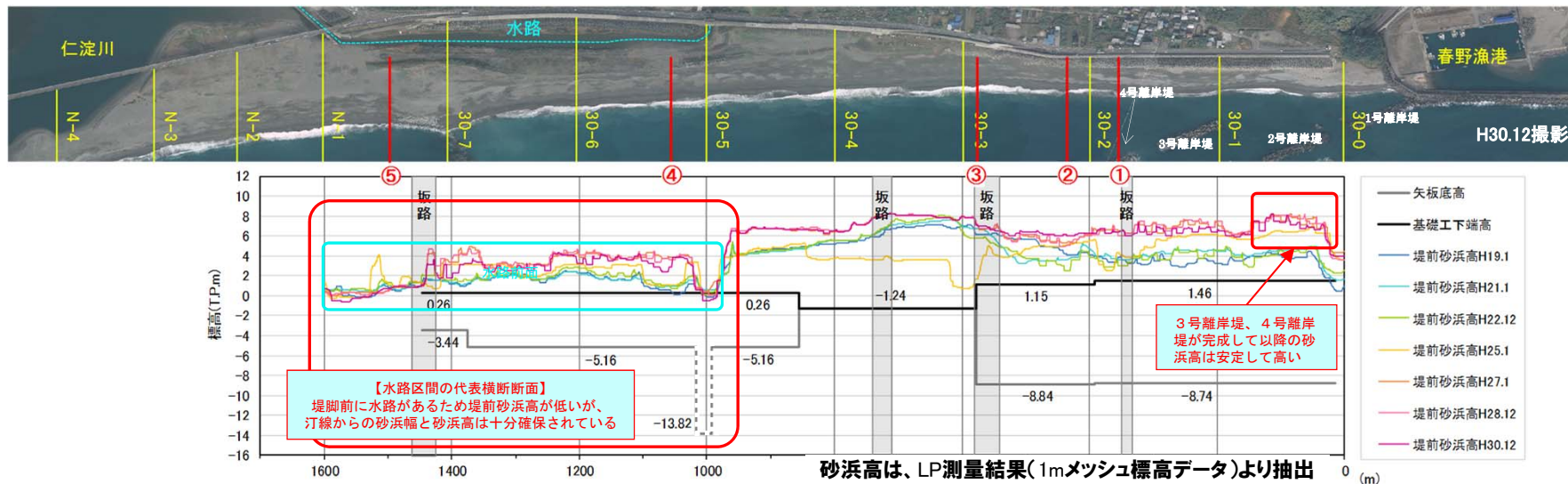
砂浜高は、LP測量結果(1mメッシュ標高データ)より抽出



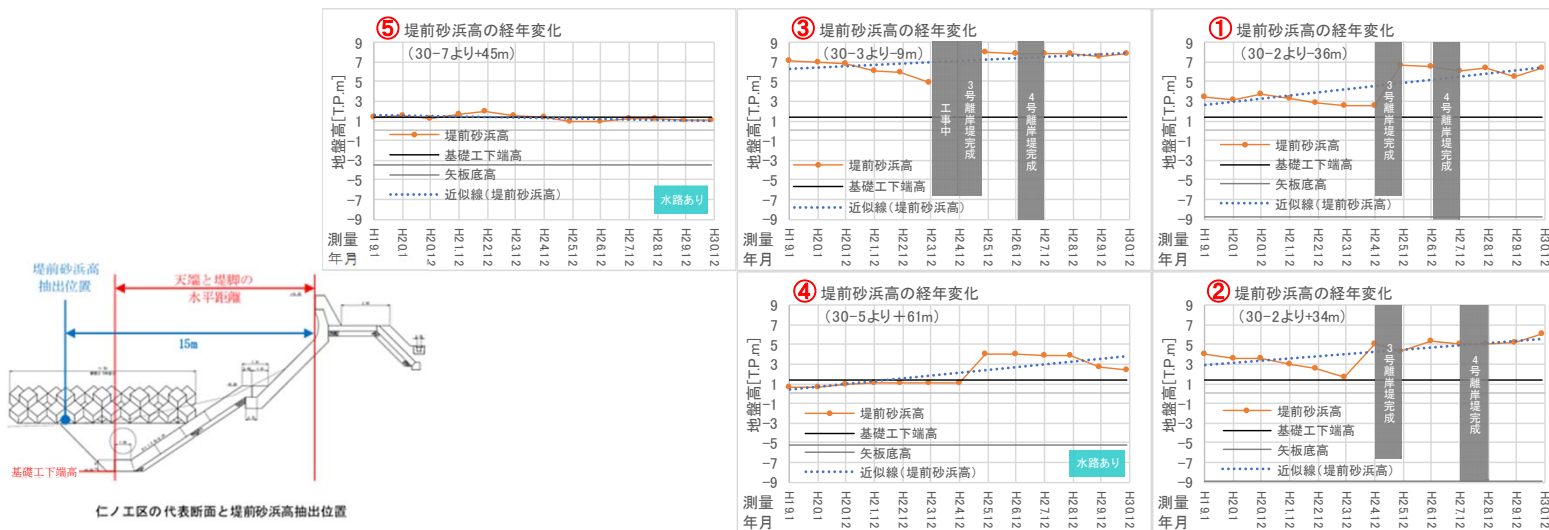
③ 高知海岸における海岸堤防の現状把握(仁ノ工区)

- 工区中央部(測線30-5)より東側では砂浜高は基礎工下端高より高く、安定している。工区西側は砂浜高が基礎工下端高より下回る区間があるが、堤防前面に水路があり、護岸形状となっているためである。
- 平成25年～平成27年の3,4号離岸堤完成以降、堤防前面砂浜高は上昇しており、それ以降は大きな変動はなく安定している。

■ 堤防前面砂浜高の経年変化【仁ノ工区】



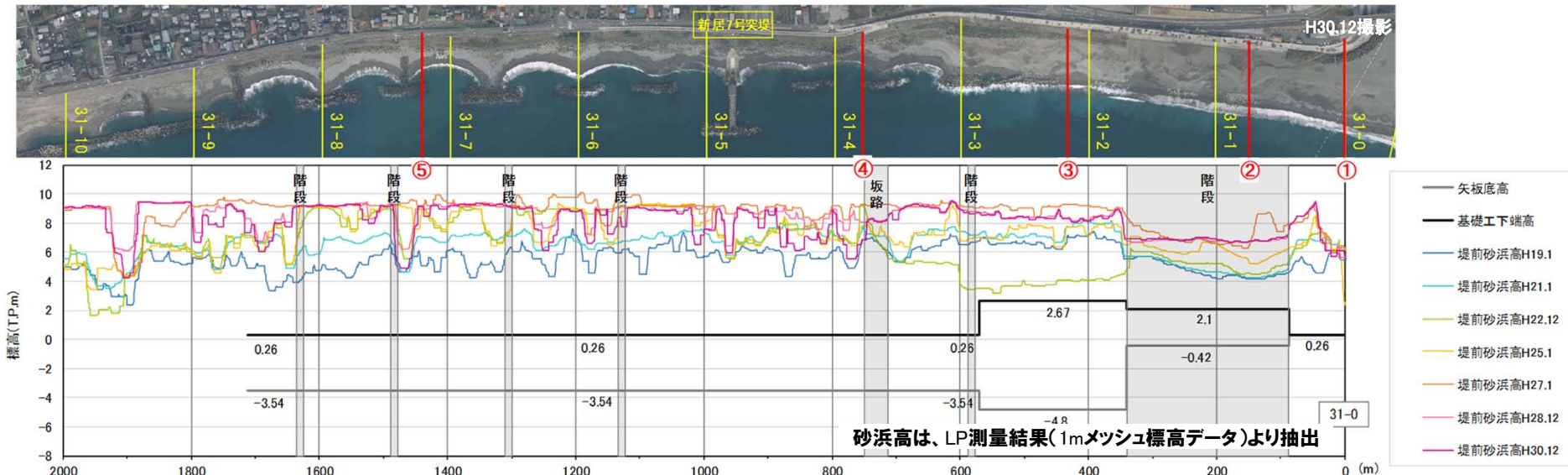
■ 代表断面における堤防前面砂浜高の経年変化



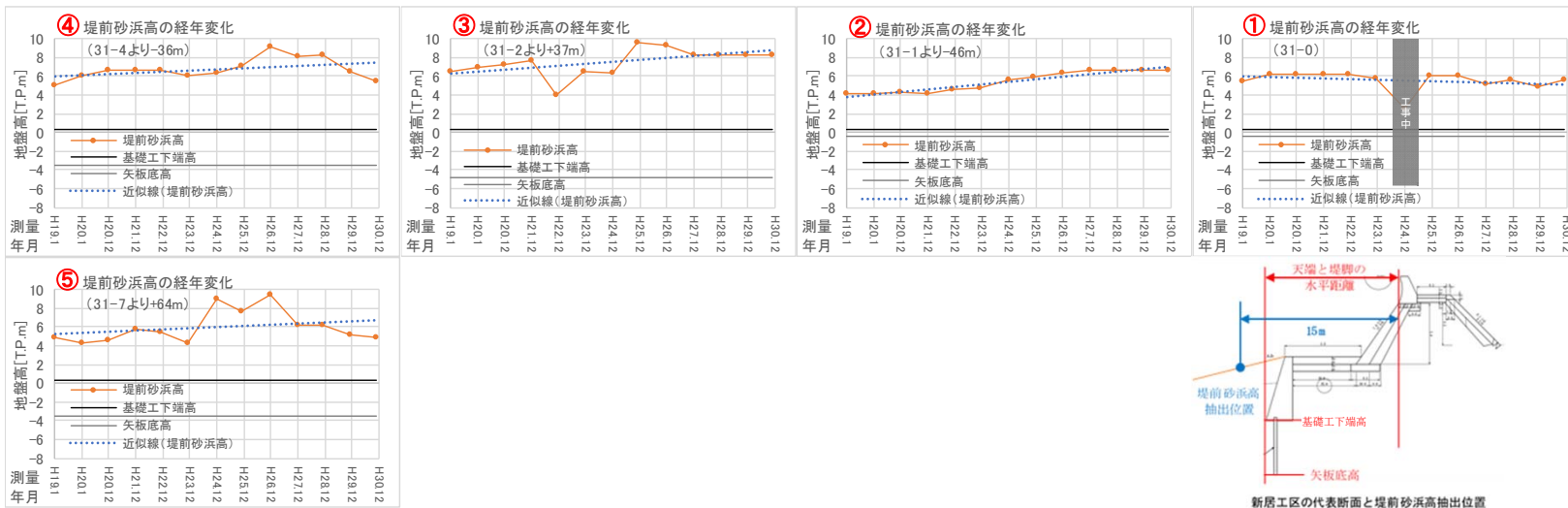
③ 高知海岸における海岸堤防の現状把握(新居工区)

- 工区全体で離岸堤により砂浜が形成されており、特に、工区東側は広い砂浜が形成されている。
- 工区全体で砂浜高は基礎工下端高より高く、安定しており、いずれも経年的に砂浜高は上昇傾向にある。

■ 堤防前面砂浜高の経年変化【新居工区】

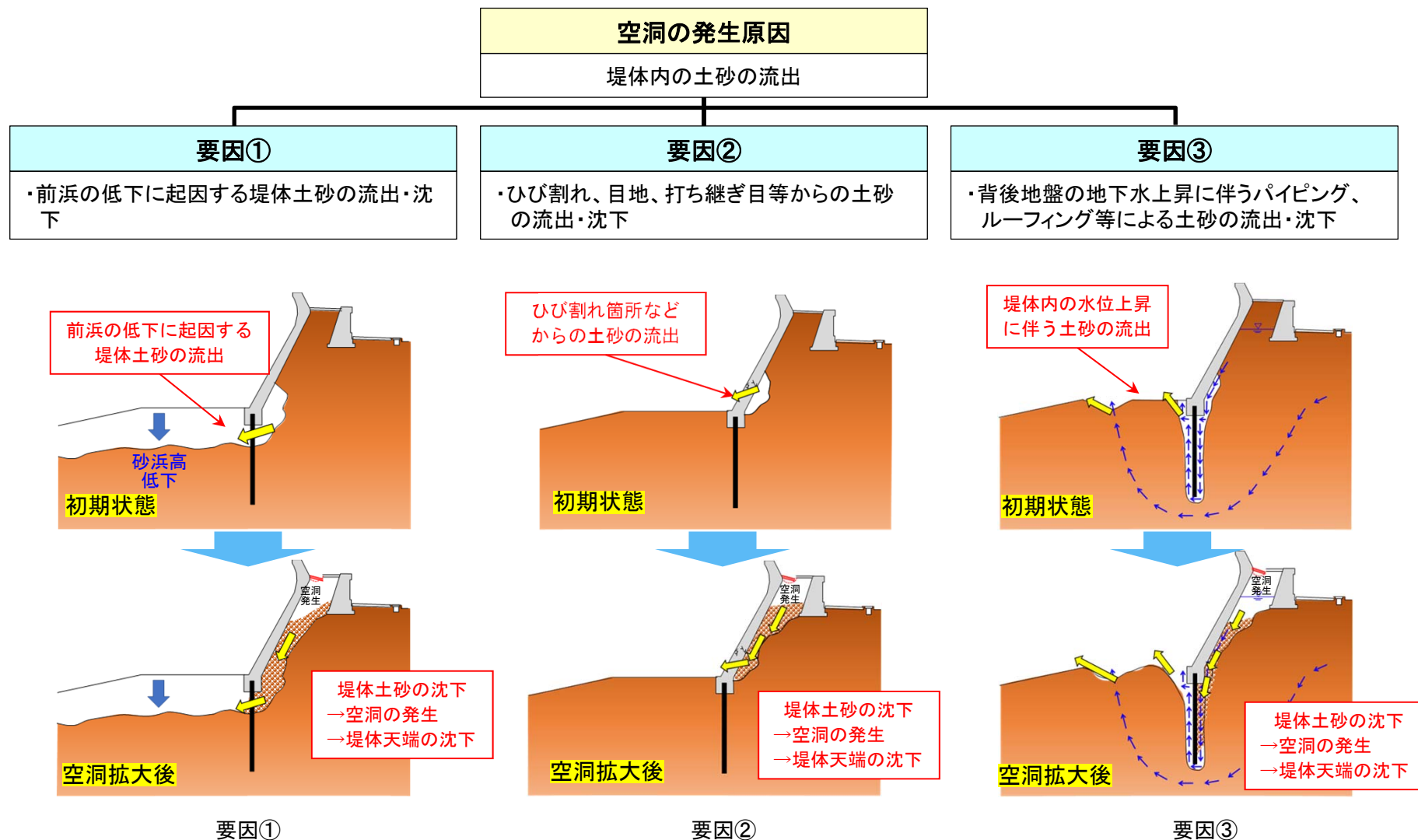


■ 代表断面における堤防前面砂浜高の経年変化



④堤防の空洞の発生と拡大の過程の整理

- 空洞の発生要因は3パターン(①堤防前面の砂浜高の低下に伴う堤体土砂の流出、②ひび割れ箇所等からの堤体土砂の流出、③地下水位の上昇)に分類される。
- いずれも、堤体基部やひび割れ等の損傷箇所から、波浪や地下水位の上昇等をきっかけとして土砂流出が始まり、空洞の拡大に伴って、堤体内の土砂の沈下、堤体上部への空洞の拡大、堤体天端の沈下等と連鎖する危険性がある。



⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

① 空洞発生を極力未然に防止するための管理

② 空洞発生を早期に察知するための監視

③ 空洞発生が懸念される際の調査

④ 重点的に監視等を行う箇所を更新

- 堤防の空洞の発生要因をふまえ、空洞の発生要因となる事象を把握することが可能な管理体制を構築し、必要に応じて空洞発生抑制対策を実施。

現在の監視体制

+

高波浪後の監視体制の構築

- ・ 重点的に監視する箇所の設定
- ・ 堤防前面の砂浜高の計測

等

空洞発生抑制対策を実施

⑤空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

- ①空洞発生を極力未然に防止するための管理
- ②空洞発生を早期に察知するための監視
- ③空洞発生が懸念される際の調査
- ④重点的に監視等を行う箇所を更新

- 堤防直下の砂浜について、基礎工下端高よりも安全側の必要砂浜高により「要注意区間」を設定し、他の箇所比べて詳細な点検を実施。

堤前砂浜高を基に、空洞発生の「要注意区間」を設定

要注意区間のイメージ



矢板は露出していないが、根入れが不足している状態



矢板が露出した状態

写真:いずれも長浜工区 29-11付近

打音や堤体の非破壊検査の実施



打音調査



地中レーダー探査



電気探査



表面波探査



反射法地震探査

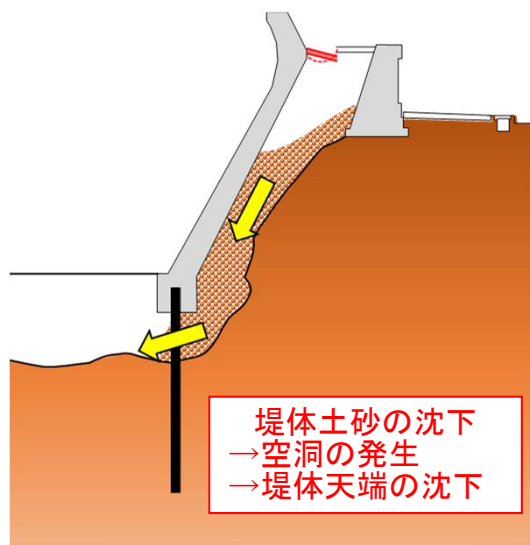
定期測量及び広域モニタリング結果を用いた堤体の変状の把握

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

- ① 空洞発生を極力未然に防止するための管理
- ② 空洞発生を早期に察知するための監視
- ③ 空洞発生が懸念される際の調査
- ④ 重点的に監視等を行う箇所を更新

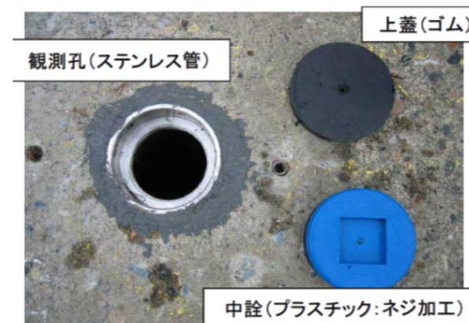
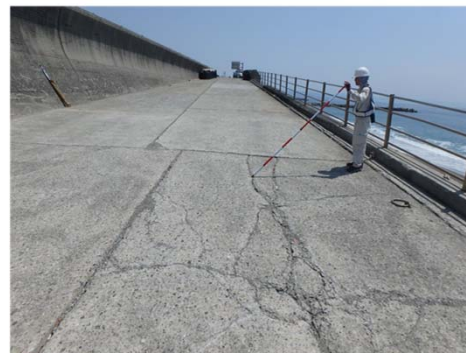
- 堤防直下の砂浜が低下し、基礎下の露出が確認された場合は、「重点点検区間」に指定し、空洞の有無を目視で確認するため、堤防天端等に観測孔を設置し、目視及び締固状況を確認。

空洞の発生が懸念される箇所が判明



空洞発生が懸念される箇所では、迅速かつ確実な方法で、状況を確認する

他海岸の事例も参考にしつつ適切な監視を実施



⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

- ① 空洞発生を極力未然に防止するための管理
- ② 空洞発生を早期に察知するための監視
- ③ 空洞発生が懸念される際の調査
- ④ 重点的に監視等を行う箇所を更新

- 重点的に監視等を行う区間は、海岸が安定し、空洞の懸念がなくなった段階で、適切な判断により重点的な監視等の対象から除外する仕組みづくりを行う。

点検の結果、重点点検区間もしくは
は要注意区間に設定

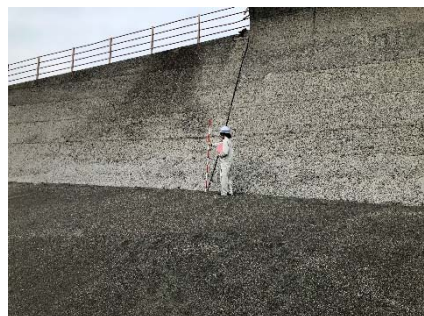


写真:長浜工区 29-10付近



写真:長浜工区 29-10付近

空洞の懸念解消

- ・堤防前面の砂浜高の上昇・安定
- ・ヘッドランドや養浜などの
海岸保全施設整備完了 など



堤防前面
砂浜高上昇・安定



写真:長浜工区 29-16付近

区間設定の更新

重要点検区間 → 区間設定解除
特定の条件を満足する場合に区
間の指定を解除

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

- 【海岸保全施設維持管理マニュアル(平成30年5月)】 巡視や点検等は、目視や簡易な計測が主体とされている。
- 【高知海岸における巡視状況】 海岸保全施設の点検と砂浜の陥没・危険個所の点検を重点的に1週間に1度の頻度で実施。
- 【他海岸の巡視・点検の実施例】 新潟海岸等では、目視を中心とした点検に加え、観測孔による空洞の確認を実施。
- 【津波防災地域づくりと砂浜保全のあり方に関する懇談会(平成29年9月～)】 広範囲を対象とした継続的な砂浜の変化の把握(広域モニタリング)に基づいた対策が必要。

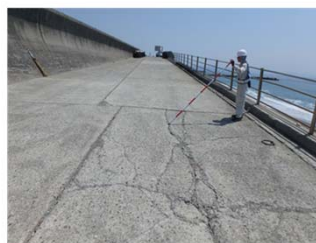
■ 高知海岸における巡視の実施状況

巡視上の重点目標

- ・ 海岸保全施設の点検
- ・ 砂浜の陥没・危険箇所の点検

巡視上の種類

- ・ 目視を中心とした一般巡視、目的別巡視を実施。全工区において1週間に1回ずつ一般、目的別の双方の点検を実施している。
 - 一般巡視・・・定期的に車両や徒歩等により巡視
 - 目的別巡視・・・堤防、突堤、消波ブロック等の設置状況および不法行為等を徒歩、自転車により巡視する。



当海岸における目的別巡視の例

■ 観測孔の設置事例と観測結果例



設置事例 (下新川海岸(富山))

観測結果例(新潟海岸)

■ 他海岸の巡視・点検の実施例

分類	実施時期	新潟海岸 金衛町工区(新潟県)	下新川海岸(富山県)	石川海岸 小松工区・片山津工区
巡視 (パトロール)	平常時 (週1回)	・目視(目地開き等の観測)	・目視(目地開き等の観測)	・目視(目地開き、砂浜状況、消波工沈下等の観測) ・ 観測孔内観測 (目視、ゆるみ観測、深さ計測)
	高波浪来襲後	・目視(目地開き等の観測) ・観測孔内観測(目視、ゆるみ観測、深さ計測)	・目視(目地開き等の観測)	・越波・礫の打上がり状況、消波工の沈下移動等観測(目視) ・ 観測孔内観測(適宜) ・被災の有無(目視)
定期点検	年1回	・測量(深浅、護岸高水準測量) ・ 観測孔内観測	・測量(消波工前面から沖側の深浅測量)	・測量(汀線、深浅測量)
	数年に1回	・その他必要な調査	・風浪期前後 観測孔内観測 (目視、ゆるみ、深さ計測)	・その他必要な調査
臨時点検 (高波浪等異常後調査)		・状況に応じて必要な調査(コア抜き、動的貫入試験等)	・状況に応じて必要な調査(コア抜き、外観調査等)	・状況に応じて必要な調査(コア抜き、動的貫入試験等)



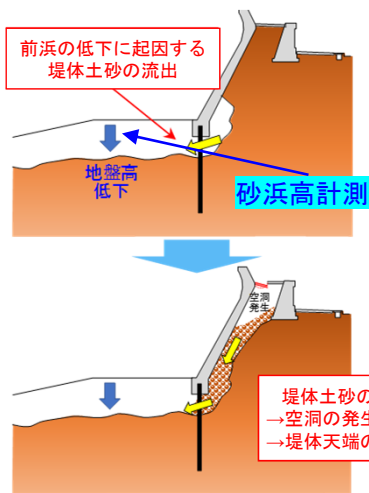
参考海岸位置図

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

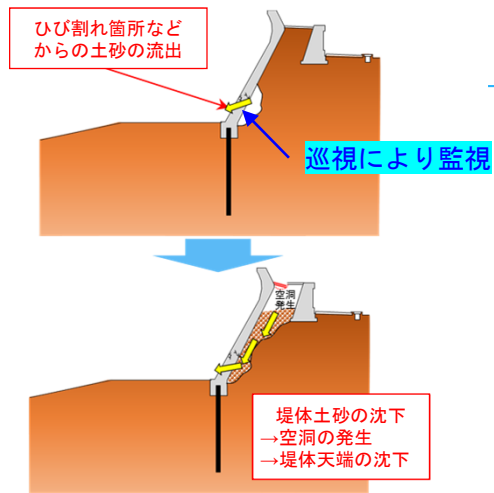
- 監視は、空洞の主な要因である①基礎工下面からの土砂流出、②堤体のひび割れ等からの土砂流出を対象に実施。
- 監視の対象区間は、堤防前面の砂浜高及び巡視結果を踏まえて、堤体の重点点検区間と要注意区間を設定。
- 要注意区間は、1回の高波浪で想定される砂浜高の低下量を余裕高とし、堤防前面の砂浜高が、基礎工下端高に余裕高を考慮した必要砂浜高を満足しない区間とする。

■ 対象とする監視について

	土砂流出要因	監視方法
要因①	前浜の低下に起因する堤体土砂の流出・沈下	基礎工下端が露出した場合を除いて巡視では把握が困難 ⇒ 堤防前面の砂浜高を計測することにより監視
要因②	ひび割れ、目地、打ち継ぎ目等からの土砂の流出・沈下	測量や画像判読などの広域モニタリングからは把握が困難 ⇒ 巡視により堤体のひび割れ等を監視



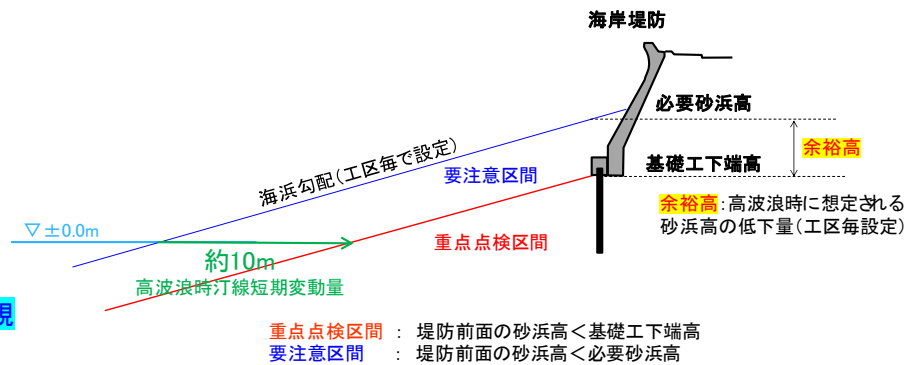
要因①で想定される堤体の変状



要因②で想定される堤体の変状

■ 監視の対象区間の設定

区間	設定基準
重点点検区間	・堤防前面の砂浜高が基礎工下端高を下回っている箇所 ・亀裂などからの土砂流出が確認された箇所
要注意区間	・堤防前面の砂浜高が必要砂浜高を下回っている箇所



■ 工区毎の海浜勾配と余裕高の設定

工区	長浜工区	戸原工区	仁ノ工区	新居工区① (31-0~31-3)	新居工区② (31-4~31-10)
海浜勾配 1/N	1/7	1/7	1/12	1/13	1/7
余裕高	1.5m	1.5m	0.9m	0.8m	1.5m

※余裕高 = 高波浪時汀線短期変動量10m ÷ 海浜勾配N

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

【重点点検区間への観測孔の設置】

- 確実に空洞の有無を確認できる手法として、高知海岸では観測孔による点検を採用する。
- 重点点検区間(後述:現時点整理 7区間、総延長470m)では、作業の効率性等を勘案して、観測孔を1区間あたり3点程度を目安に設置する。

■ 重点点検区間に設定する観測孔の設置間隔の考え方

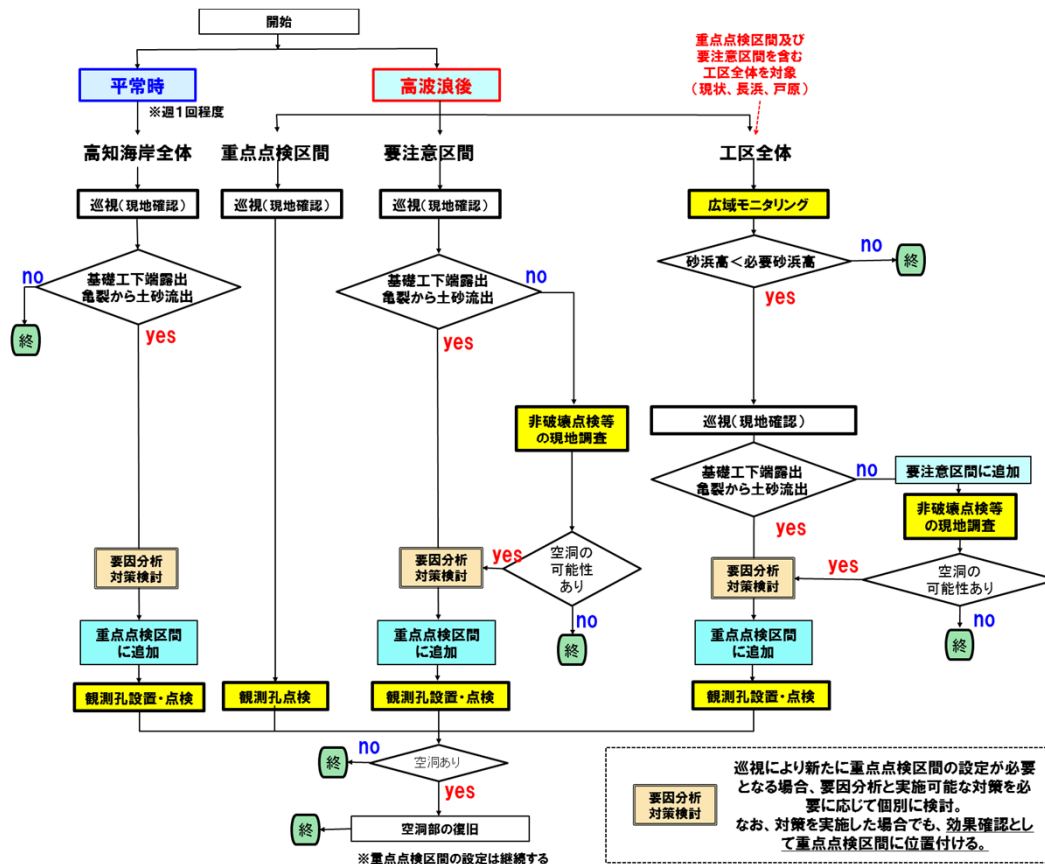
- ・ 観測孔は、迅速に空洞の発生の有無を把握することを最優先とする。そのため、孔の数は必要最小限とする。
- ・ 設置位置の選定にあたっては、重点点検区間内でも特に砂浜高が低く、空洞が発生する懸念が大きい箇所及び坂路など、構造が不明である箇所も優先的に設置することを想定。

案	設定方法	箇所数	作業日数
案1	重点点検区間毎に1区間3箇所程度を設定 (設定基準案) ・区間内で最も砂浜高が低い ・区間内で、特に砂浜高が変動しやすい ・坂路など、構造が不明で、一旦空洞が発生した場合の影響が大きい懸念がある	21箇所 (重点点検区間7区間×3点設置)	高波浪後 約1日 (21箇所×作業20分/1箇所=7時間)
案2	重点点検区間の区間において堤防の隔壁間毎(5m間隔程度)に1箇所設定	94箇所 (重点点検区間L=470m÷5m間隔設置)	高波浪後 約5日 (94箇所×作業20分/1箇所=31.3時間)

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

- 従来の巡視に加え、広域モニタリングおよび非破壊点検等の現地確認と観測孔点検からなる、一連の管理手順を検討。
- 重点点検区間は、現状で空洞が発生している可能性が高いことから、観測孔を設け、高波浪後に空洞の有無を確認。また、要因分析と現行整備計画との整合を踏まえた実施可能な対策を個別に検討。
- 要注意区間は、高波浪後に巡視及び非破壊点検等の現地確認により空洞化の可能性を確認。空洞発生が懸念される場合は重点点検区間に設定。
- 重点点検区間に設定したのち、一定期間、砂浜高や空洞の発生状況が一定の判定基準を満足することが確認された場合に区間設定を更新。

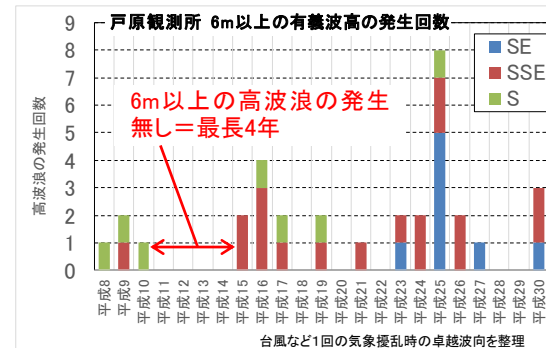
■ 堤防の空洞を監視するための管理手順



■ 監視区間の更新(解除)の考え方

移行の段階	判定基準
重点点検区間 ↓ 区間設定解除	<p>以下の条件のすべてを一定期間(5年間)満足する場合に、重点点検区間の指定を解除。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 高波浪後の広域モニタリング結果及び定期深淺測量(LP測量)結果より、区間内の堤防前面砂浜高が、必要砂浜高を上回っている。 ● 高波浪後の巡視及び非破壊検査等の現地調査により、空洞の可能性なしの判定である。 ● 一定期間の最終時点で、堤防前面の砂浜高が最も低い箇所において削孔を行い、空洞が無いことを確認。 ※要注意区間の解除についても、状況に応じて削孔することを検討

■ 一定期間=5年間の設定について



「監視区間の更新」は、高波浪が複数回作用した場合でも、上表の判定基準を満足した場合に適用する。

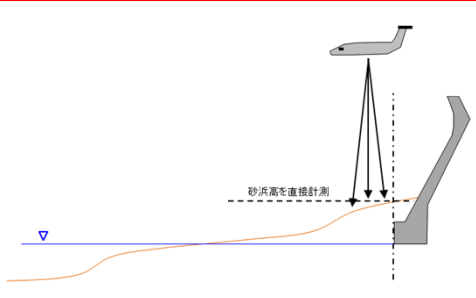
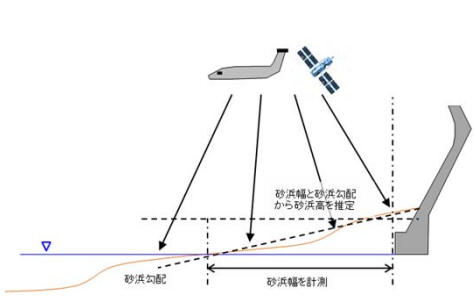
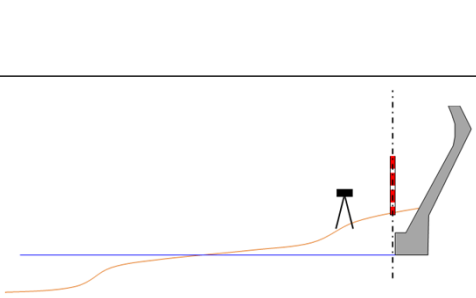
- ・戸原の波浪観測値より、波浪警報発令相当(6m以上)の高波浪の年別発生回数を整理。結果、6m以上の波高が発生しなかった期間は最長4年間であった。
- ・これより、高波浪が複数回来襲することが期待できる期間として、一定期間を5年間とした。

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

【広域モニタリングによる砂浜高の計測方法の考え方】

- 高波浪後に、堤防前面の砂浜高を平面的に計測する「広域モニタリング」は、緊急時に迅速・確実に計測可能な方法として、案1を採用。

■ 広域モニタリング方法の比較

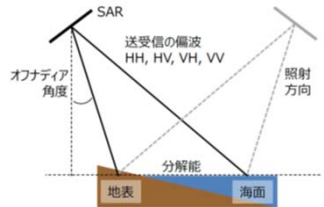
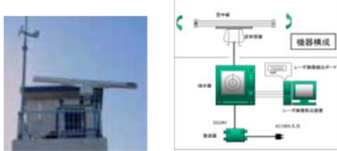

	内容	イメージ	長所	短所	評価
案1	堤防前面の砂浜高を直接計測する方法		<ul style="list-style-type: none"> ・砂浜高を直接計測する。 ・計測技術が確立されている ・UAV測量等により短時間で計測が可能であり、高頻度にデータを取得することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・調査毎にUAVもしくは航空機の飛行が必要となり、現場作業の技術を要する。 	<p style="text-align: center;">○</p> <p>堤防前面の砂浜高を高精度で直接計測することが可能</p>
案2	砂浜幅から、砂浜勾配に基づいて堤防前面の砂浜高を推定する方法		<ul style="list-style-type: none"> ・人工衛星情報を活用することで、2週～1カ月程度の頻度で任意の時点のデータ取得が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・SAR等の最新技術を用いる場合、高度な解析技術を要する。 ・浜幅の算定に要する汀線の平面位置を得るために、撮影画像の潮位補正が必要となる。 ・砂浜勾配を介して高さに換算するため、精度が低くなる。 	<p style="text-align: center;">△</p> <p>今後衛生画像等の汀線計測技術が確立され、現場運用が可能となれば活用可能</p>
案3	堤防前面の砂浜高を現地にて、直接測量する方法		<ul style="list-style-type: none"> ・現地で直接砂浜高を計測する。また、新しい技術を要さないため、技術上の課題はない。 ・臨時点検にあわせて実施することも可能であり、現地状況を見ながら実施できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・膨大な作業時間を要する。 ・案1、案2に比べて、計測地点間隔が広くならざるを得ない。 	<p style="text-align: center;">×</p> <p>地点数が多いため、現在の体制では現実的ではない</p>

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

「堤防前面の砂浜を直接計測する手法」の具体的な技術の比較検討

- 新技術である2手法は、研究途上にある手法であり、精度や必要となる技術が高いことから現状では現場への採用が困難。
- 従来技術のうち、「案1 堤防前面の砂浜高を直接計測する」が可能である手法のうち、計測可能な頻度や精度の面から最も優れるUAV測量を採用。

■ 広域モニタリング方法の比較及び「堤防前面の砂浜を直接計測する手法」の選定

項目	新技術		従来技術					
	合成開口レーダ(SAR)	Xバンドレーダ	衛星画像	空中写真	LP測量	UAV測量	定点カメラ	
概要	<p>人工衛星から地表に向けて射出されるマイクロ波の後方散乱を観測したデータ(SAR)を用いて、汀線位置を判読。</p> 	<p>陸上からマイクロ波を海面に向かって送信し、その反射(エコー)を取得するリモートセンシング手法。2秒毎に収録された画像から時間平均画像を作成し、画像の輝度の明暗から汀線位置を判読する。</p>  <p>図出典:「Xバンドレーダによる砂浜海岸の侵食モニタリング」H19.4 武若・栗山</p>	<p>光学衛星による可視画像(写真)から、汀線位置を判読。</p>	<p>写真から、直接、汀線位置を判読。</p>	<p>地形測量結果から、汀線位置を判読。</p>	<p>UAVにデジタルカメラを搭載し、砂浜高を計測。画像データから、砂浜及び堤防の形状を把握。</p>	<p>CCTVもしくは簡易型監視カメラ(無線通信式)により、汀線位置を連続撮影し、汀線位置を判読。</p> 	
比較	計測頻度	○ 14日間隔	◎ 任意	○ 1週間~1カ月	× 1年間隔	× 1年間隔	◎ 任意	◎ 任意
	浜幅の計測精度・誤差	× 底質粒径、撮影条件により低下	× 計測条件により差あり	△ 計測誤差 水平1~3m主流(使用衛星、製品による)	○ 計測誤差 水平概ね1m	○ 計測誤差 水平概ね1m 垂直概ね ±15cm	◎ 計測誤差 水平1.0cm 垂直1.5cm	△ カメラと汀線の位置関係により精度にムラが生じる
	計測難易度	— (購入データ)	× 高度技術必要	— (購入データ)	○ 確立技術	○ 確立技術	○ 確立技術	○ 確立技術
	分析難易度	× 高度技術必要	× 高度技術必要	○ 容易	○ 容易	○ 容易	○ 容易	○ 容易
	コスト	初期 ◎ 不要	× 施設設備(大)	◎ 不要	◎ 不要	◎ 不要	◎ 不要	○ 60万/1基
	計測	◎ 20万/1回+分析費	× 分析費	◎ 5~10万/1回+分析費	× 3~4千万/業務+分析費(LP測量含)	× 3~4千万/業務+分析費(空中写真含)	○ 数十~百数十万/高知海岸全体	◎ 分析費のみ
その他	× 導入にあたり、適正判断など事前検討必要。	× 研究レベルであり、精度確保が確実ではない					△広範囲 計測に不向き △維持費用大	
各案への適用性	× :案1浜高計測 ○ :案2浜幅計測	× :案1浜高計測 ○ :案2浜幅計測	× :案1浜高計測 ○ :案2浜幅計測	× :案1浜高計測 ○ :案2浜幅計測	○ :案1浜高計測 ○ :案2浜幅計測	○ :案1浜高計測 ○ :案2浜幅計測	○ :案1浜高計測 ○ :案2浜幅計測	
手法選定						採用		

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

【非破壊点検方法の比較検討】

- 手法毎に、適用可能な現地条件や構造物条件の制約があり、現場毎に適した手法を選定する必要がある。
- 打音調査は、点検位置のコンクリート厚により適否の判断が必要となる。
- 地中レーダー探査は、天端下に支障物となる鋼管や鋼矢板がある場合に不適となる。長浜工区はほぼ全域が不適となるが、戸原工区のうち、鋼管や鋼矢板を用いていない区間で採用の可能性はある。

■ 非破壊調査の種類と適用性の整理

調査方法	打音調査	地中レーダー探査	電気探査	表面波探査	反射法地震探査	
測定イメージ						
測定内容	構造物をハンマーで叩き、音の違いで空洞を確認する。	地表から地中に電磁波を発射し、その反射パターンから地質構造を画像化する。	地中の電気抵抗を測定し地下構造を推定する。	地表面を起振させ地表付近を伝播する表面波からS波構造を推定する	地表面を起振させ、音響波形を可視化し地質断面を得る。	
探査深度	構造物背後	地表～6m程度 (条件で異なる)	地表～数百m	地表～20m程度	地表～百m程度 (振源により様々)	
適用性	コンクリート厚の制約	50cm程度以上の厚さでは困難	護岸(コンクリート)背面に密接した空洞は確認困難	コンクリートがある場合には削孔して計測の必要有	コンクリートがある場合には削孔して計測の必要有	
	鋼構造物の近接(鋼管、鋼矢板等)	支障なし	鋼管杭やガードパイプなどは、1m以上の離隔があれば支障なし	近接箇所では不可	近接箇所では不可	近接箇所では不可
	斜面(堤防法面等)	支障なし	堤防法面のような、急傾斜斜面での適用困難	斜面での使用不可	斜面での使用不可	斜面での使用不可

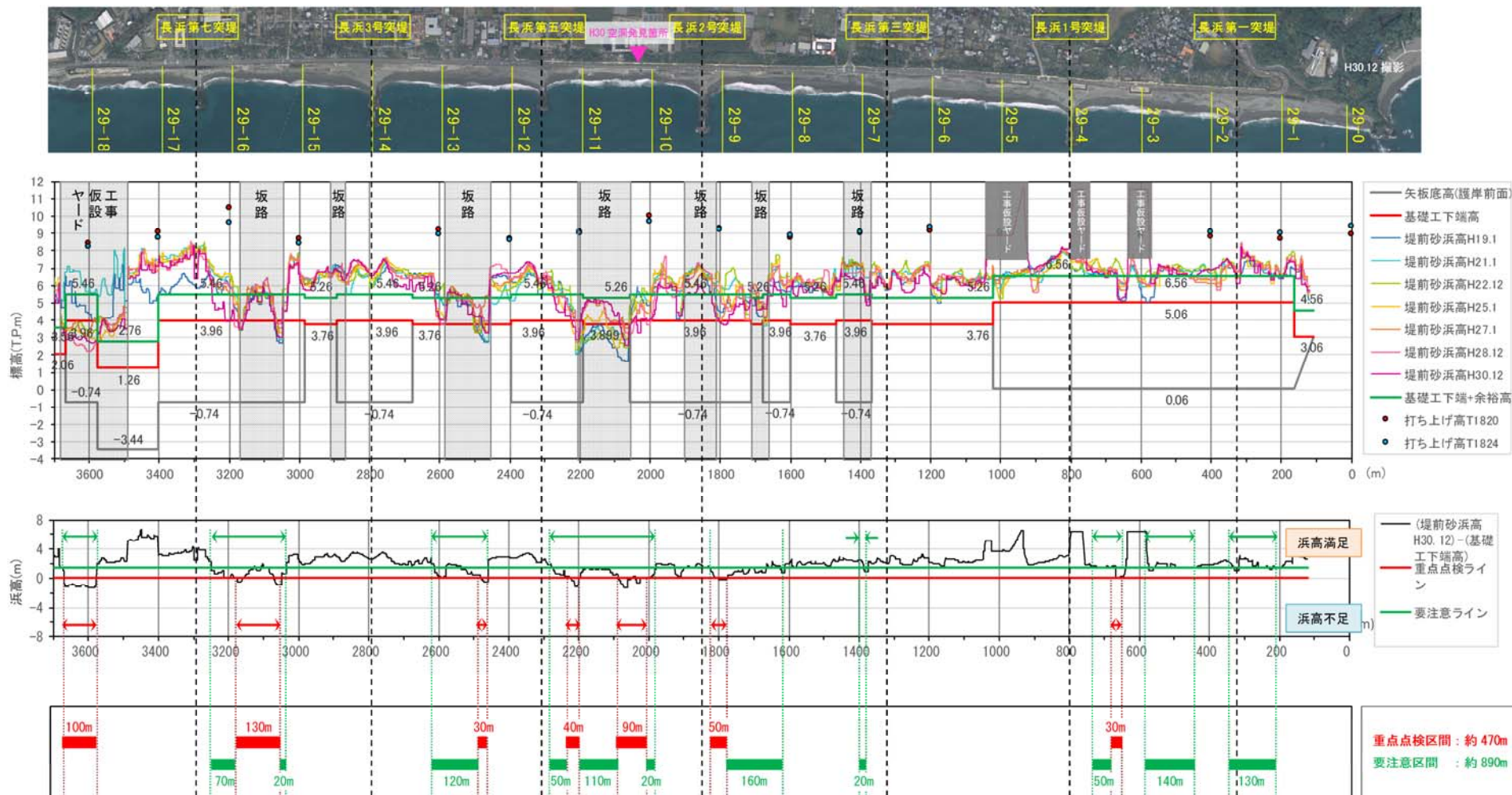
適用性凡例 青文字:適 赤文字:不適

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

【重点点検区間、要注意区間の設定(長浜工区)】

- 堤防前面砂浜高が基礎高を下回る重点点検区間は全7箇所となる。全延長は約470mとなる。
- 要注意区間は、工区全体に散在し、全11箇所、全延長約890mとなる。

■ 要注意区間、重点点検区間の設定状況【長浜工区】

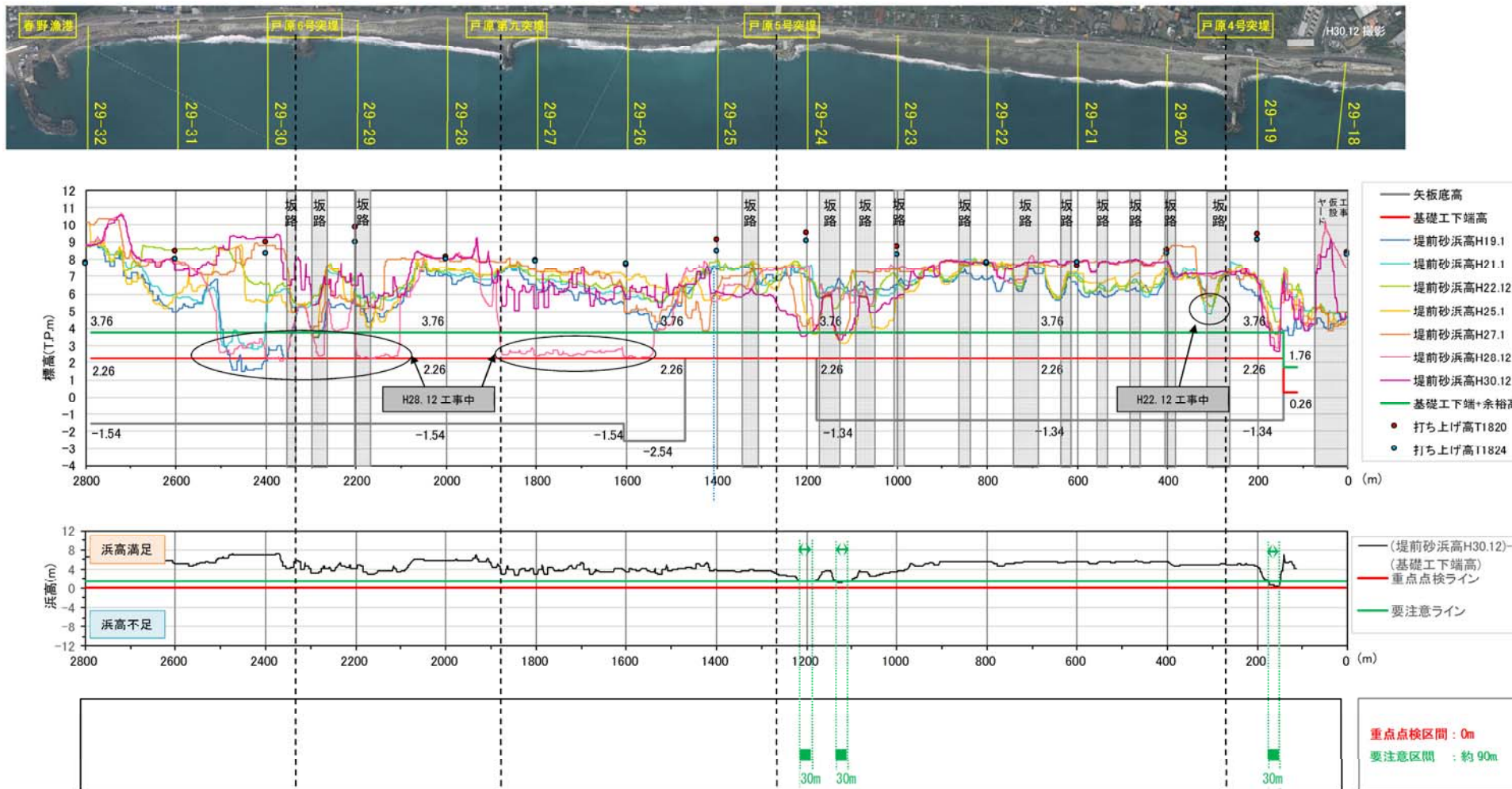


⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

【重点点検区間、要注意区間の設定(戸原工区)】

- 工区全体で、堤防前面砂浜高が基礎高より高くなっており、重点点検区間は存在しない。
- 要注意区間は工区中央部に2区間、東端に1区間存在し、全延長は約90mとなる。

■ 要注意区間、重点点検区間の設定状況【戸原工区】

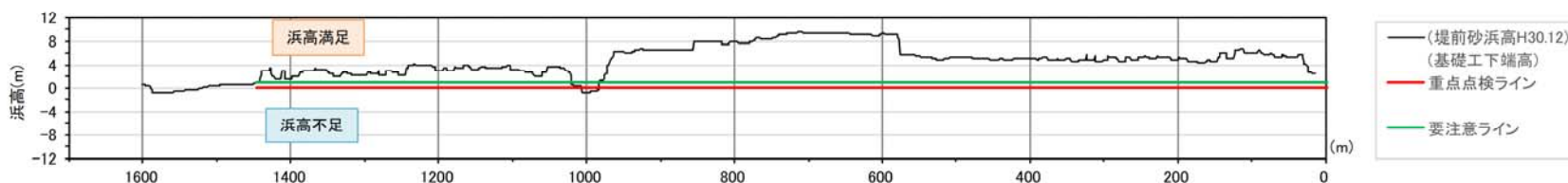
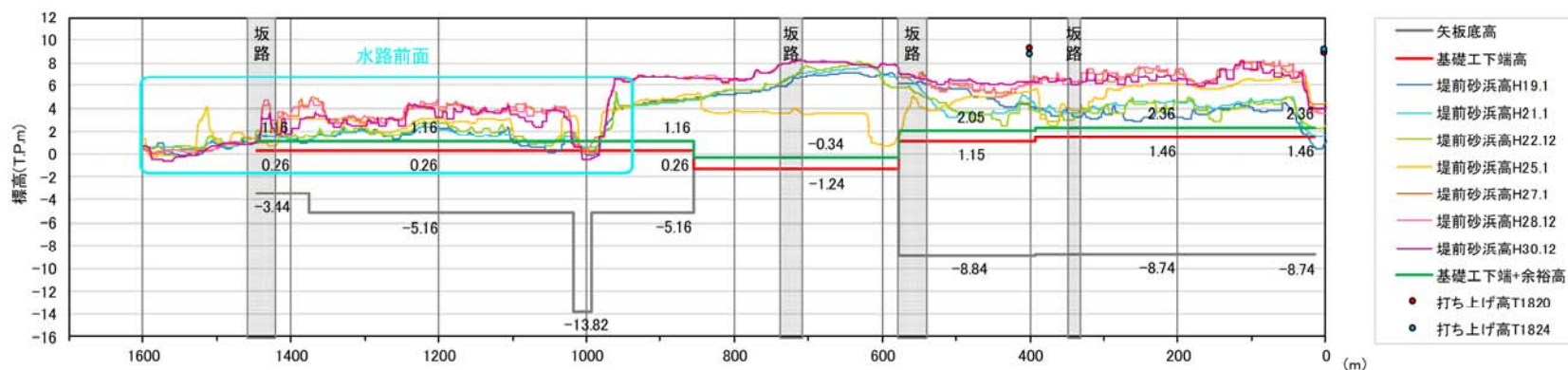


⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

【重点点検区間・要注意区間の設定(仁ノ工区)】

- 工区西側(測線No.30-5~N-1)の水路前面区間を除く工区全体において、堤防前面の砂浜高は必要砂浜高より高くなっており、重点点検区間及び要注意区間はなし。
- 水路前面区間は、前面の砂浜幅は広く砂浜の高さはT.P.+7.0m程度と高く、波浪が乗り越えて堤防の基礎工が露出する危険性は低いことから、重点点検区間及び要注意区間は設定しない。

■ 要注意区間、重点点検区間の設定状況【仁ノ工区】

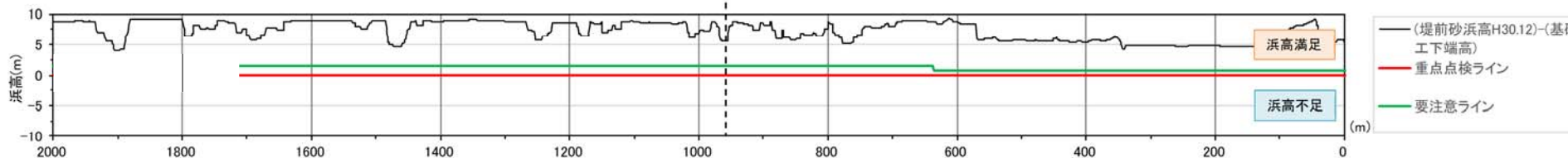
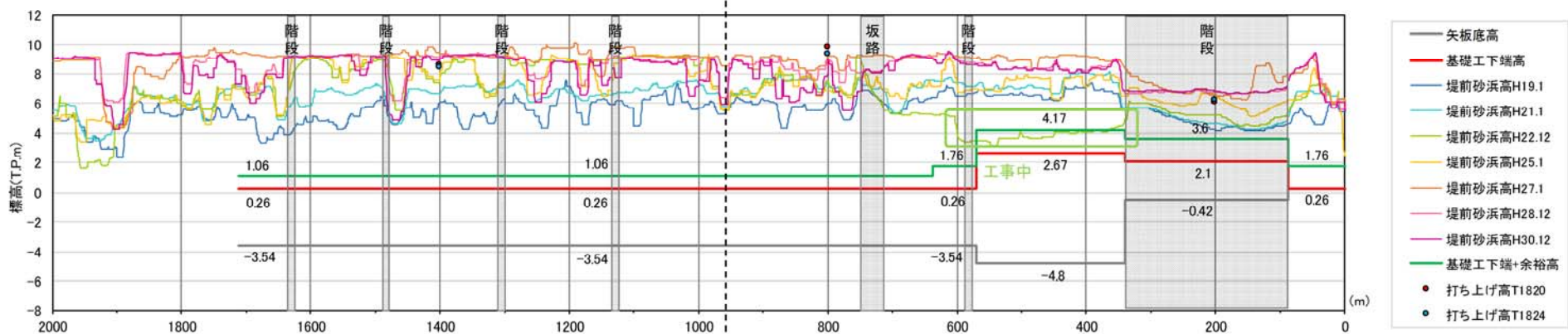
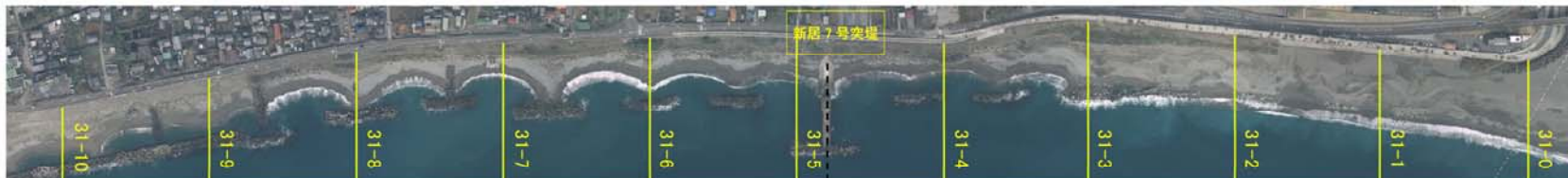


⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

【重点点検区間・要注意区間の設定(新居工区)】

■ 工区全体で、堤防前砂浜高は必要砂浜高より高いため、重点点検区間及び要注意区間は無し。

■ 要注意区間、重点点検区間の設定状況【新居工区】



重点点検区間 : 0m
 要注意区間 : 0m

⑤ 空洞が発生したことを受けた効果的・効率的な管理方法の検討

■ 一連の空洞監視のための監視手法を総括。

■ 空洞の監視手法の総括

監視方法	内容	実施時期	対象箇所	備考
定期測量	年1回、冬季に実施しており、地盤高の点群データ(平面データ)が得られる。高波浪後の広域モニタリングで得られる点群データとの比較により空洞発生に起因する堤体全体の変状や天端高の変化を平面的に確認する。	平常時 (年1回)	高知海岸全体	年1回の航空測量及び定期測量による。
巡視 (現地確認)	現地において、目視により基礎の露出状況、ひび割れ等損傷箇所からの土砂流出状況を把握。	平常時	高知海岸全体	
		高波浪後	要注意区間 及び 重点点検区間	
広域 モニタリング	要注意及び重点点検区間のある工区全体を対象に、堤防前面の砂浜高を計測	高波浪後	要注意区間もしくは 重点点検区間を含む 工区全体	UAV測量を想定。
非破壊点検	打音調査や地中レーダ探査等により、堤体内の空洞の有無を把握する。	高波浪後	要注意区間	高波浪後の巡視で、基礎工下端露出もしくは亀裂等からの土砂流出が見られなかった場合に実施。
観測孔点検	堤防に観測孔を設け、堤体内の空洞の有無を確認(計測)する。重点点検区間毎に、3箇所程度を目安に設置。	平常時 高波浪後	重点点検区間	高波浪後に実施するほか平常時の巡視で基礎工下端露出もしくは亀裂からの土砂流出が確認された場合は、重点点検区間に追加し実施する。また、出水期前、出水期後も実施する。

※高波浪とは、水防警報(海岸)で、「出動」を発表する波浪を基本とする。

(1) 空洞が発生したことを受けた海岸保全施設等の管理方法の見直し

1) 空洞発生を極力未然に防止するための管理

堤防の空洞の発生要因をふまえ、空洞の発生要因となる事象を把握することが可能な管理体制を構築し、必要に応じて空洞発生抑制対策を実施。

2) 空洞発生を早期に察知するための監視

堤防直下の砂浜について、基礎工下端高よりも安全側の必要砂浜高により「要注意区間」を設定し、他の箇所比べて詳細な点検を実施。

3) 空洞発生が懸念される際の調査

堤防直下の砂浜が低下し、基礎下の露出が確認された場合は、「重点点検区間」に指定し、空洞の有無を目視で確認するため、堤防天端等に観測孔を設置し、目視及び締固状況を確認。

4) 重点的に監視等を行う箇所の更新

重点的に監視等を行う区間は、海岸が安定し、空洞の懸念がなくなった段階で、適切な判断により重点的な監視等の対象から除外する仕組みづくりを行う。

(2) 今後の進め方

今後策定予定の海岸保全施設の長寿命化計画（仮称）に、空洞発生を踏まえた海岸堤防の管理方法の見直しについて反映させる。