

第4回 大蔵・舞子海岸の空洞対策検討委員会

日 時：令和7年12月11日（木）9：30～

場 所：ビズスペース姫路 5階 大ホール

次 第

1. 開 会

2. 議 事

- （1）現地調査及び検討で確認できたこと
- （2）これまでの調査内容等から推定される空洞要因
- （3）対策工の提案
- （4）モニタリングの提案
- （5）今後のスケジュール

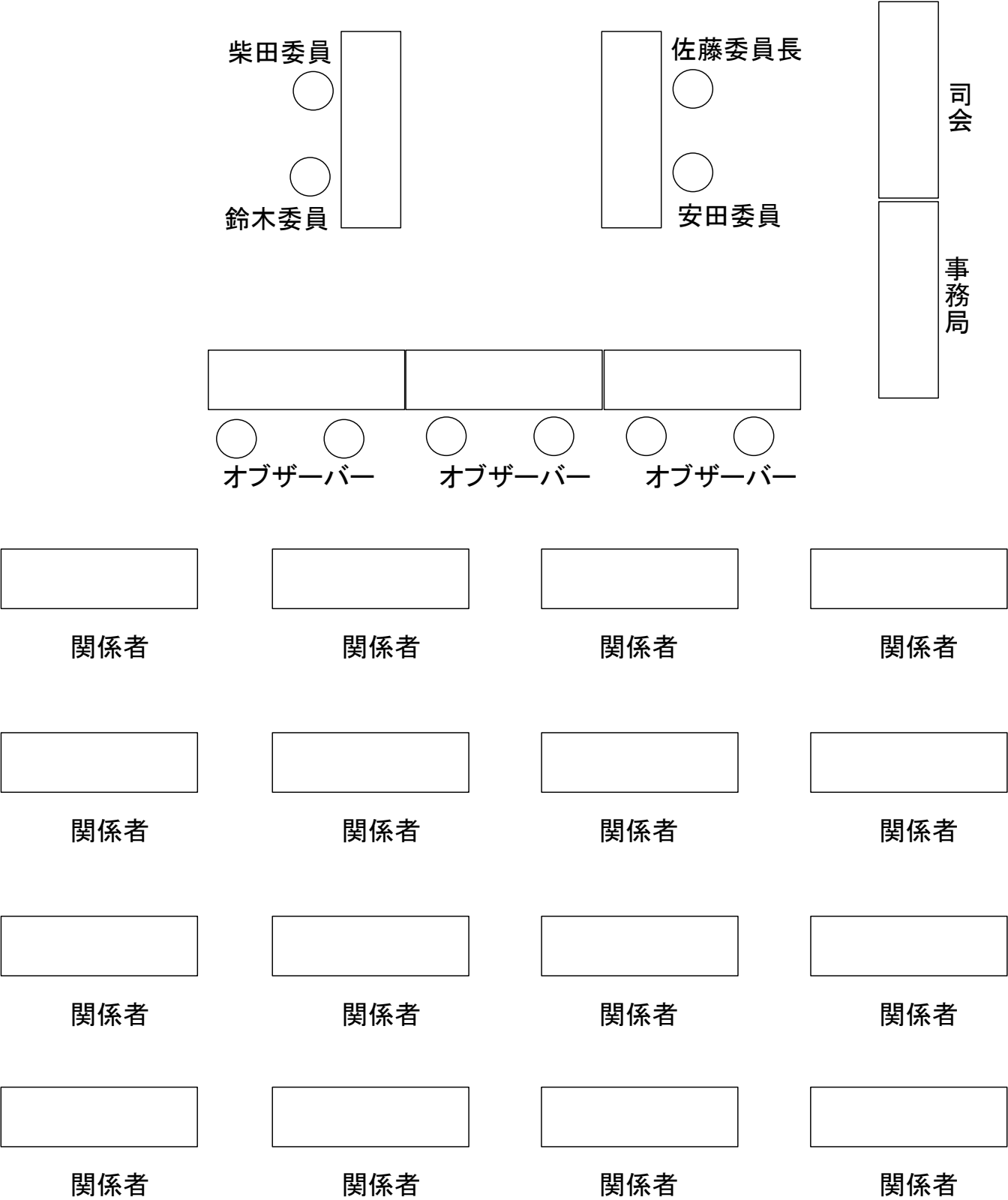
3. 閉 会

【配付資料】

- ・ 次第
- ・ 配席図
- ・ 資料－1 現地調査及び検討で確認できたこと
- ・ 資料－2 これまでの調査内容等から推定される空洞要因
- ・ 資料－3 対策工の提案
- ・ 資料－4 モニタリングの提案
- ・ 資料－5 今後のスケジュール（案）

第4回 大蔵・舞子海岸の空洞対策検討委員会 配席図

日時: 令和7年12月11日(木)9:30～
場所: ビズスペース姫路 5階大ホール



1. 現地調査及び検討で確認できたこと

内 容

- 1.1 ケーソン目地幅調査
- 1.2 レーダー探査
- 1.3 レーダー探査の精度検証
- 1.4 空洞周辺目視調査（開削調査）
- 1.5 粒度調査
- 1.6 カメラによる波浪状況確認調査
- 1.7 波浪変形計算
- 1.8 現地調査全体の総括

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.1 ケーソン目地幅調査

1.1 ケーソン目地幅調査

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.1 ケーソン目地幅調査

□ 調査概要

● 調査目的

ケーソンの目地幅が、裏込材（土砂、裏込石）の流出による空洞発生の要因である可能性があることから、ケーソン護岸構造を対象にケーソン函体の目地幅を確認した。

● 調査方法

- ・ 潜水土により、海側のケーソン目地幅を実測した。
- ・ 計測位置は水面付近（T.P.±0m付近）とした。



● 対象施設

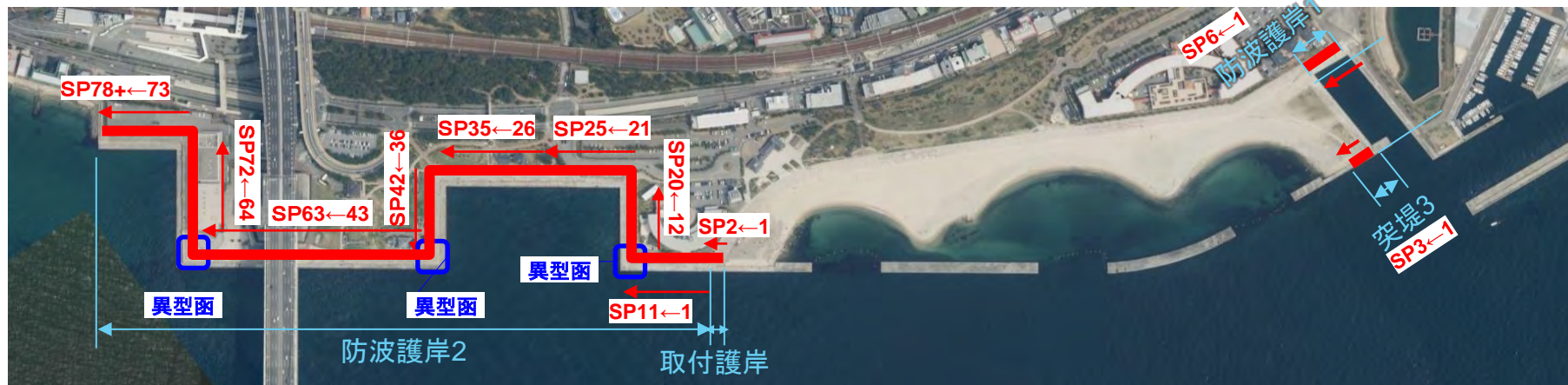
ケーソンの背後土砂状況がコンクリート床版により直接目視確認出来ない構造を有する施設を対象とした。なお、背後土砂の上面部が被覆石で施工されている箇所は変状が目視確認できるため対象外とした。

海岸名	施設名
西垂水舞子海岸	突堤3、防波護岸1、取付護岸、防波護岸2
大蔵海岸	防波護岸1(東)、防波護岸1(中央)、防波護岸1(西)、 取付護岸1(中央)、取付護岸1(西)

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.1 ケーソン目地幅調査

□ 結果概要（西垂水舞子海岸）



施設名	取付護岸			突堤3			防波護岸1							
スパンNo.	施設端部		施設端部	施設端部		施設端部	5	4	3	2	1	施設端部		
ケーソン目地幅（mm）	－	70	70	－	40	70	140	－	－	30	70	120	85	340

※ 赤字はケーソン目地幅 > 100mmの箇所を示す。

施設名	防波護岸2(スパンNo.1～78)																									
スパンNo.	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
ケーソン目地幅（mm）	※1 50	40	60	50	10	10	50	70	60	70	30	80	135	100	220	95	50	85	95	65	50	55	70	25	65	-

スパンNo.	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25
ケーソン目地幅（mm）	80	30	70	60	50	95	180	0	190	80	40	30	50	30	50	30	30	40	30	30	20	35	45	40	80	0	

スパンNo.	78+	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51
ケーソン目地幅 (mm)	-	90	50	60	55	30	50	0	90	60	40	25	10	10	50	50	90	90	20	30	45	10	10	15	25	20	20	20	40

※ 赤字はケーソン目地幅 > 100mmの箇所を示す。

※ 1 写真による推定値。

目地幅は概ね規格値である100mm以下であったが、7箇所で100mmを超えており、うち2箇所は規格値の2倍を超える200mm以上だった。目地幅が大きい箇所は、施設端部もしくは隅角部における異型函に隣接する箇所を確認される傾向が見られた。

※土木工事施工管理基準及び規格値(案) (令和7年4月版)においては、ケーソン工据付における据付目地間隔の規格値が±100mm(ケーソン重量2,000t未満)とされている。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.1 ケーソン目地幅調査

□ 結果概要(大蔵海岸)



施設名	防波護岸1(中央)											防波護岸1(東)											施設端部	
スパンNo.	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1								
ケーソン目地幅 (mm)	60	50	10	30	30	110	-	100	85	190	120	15	30	10	50	25								

施設名		取付護岸1(中央)										防波護岸1(中央)																				
スパンNo.		11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	
ケーソン目地幅 (mm)		-	60	40	80	35	25	60	10	50	40	120	120	160	25	55	70	50	10	40	70	50	10	30	40	40	70	60	100	70	140	90

施設名	防波護岸1(西)																取付護岸1(西)										施設端部	
スパンNo.	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	20	19	18	17	16	15	14	13		
ケーソン目地幅 (mm)	-	80	10	25	20	70	25	70	10	15	25	30	30	45	35	50	25	130	60	60	25	45	60	10	70	10	20	-

※ 赤字はケーソン目地幅 > 100mmの箇所を示す。

- ・ケーソン目地幅は、概ね規格値である100mm以下であったが、8箇所では100mmを超えていた。
- ・施設端部もしくは隅角部における異型函に隣接する箇所では、ケーソン目地幅が広い傾向が見られた。
- ・大蔵海岸では平成22年及び平成31年にケーソン目地幅の調査を実施しているが、計測値に大きな変化がないことが確認できたため、ケーソン函体は動いていないと考えられる。

※土木工事施工管理基準及び規格値(案) (令和7年4月版)においては、ケーソン工据付における据付目地間隔の規格値が±100mm(ケーソン重量2,000t未満)とされている。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.2 レーダー探査

1.2 レーダー探査

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.2 レーダー探査

□ 調査概要

● 調査目的

- 空洞発生箇所および空洞範囲の特定を目的とした。

● 調査方法

- 電磁波を地中に伝播させ異質な境界で反射した伝播電磁波の回帰に要した時間を計測しその状況を映像化して目的物を探査する非破壊の探査方法

● 使用機器

ユーティリティスキャン
350HSアンテナ(350 MHz)
(GSSI社製)

● 測定深度

2 m程度

● 測定方向

護岸等法線と平行・垂直方向
目地周辺を重点的に実施



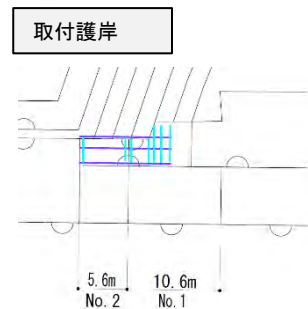
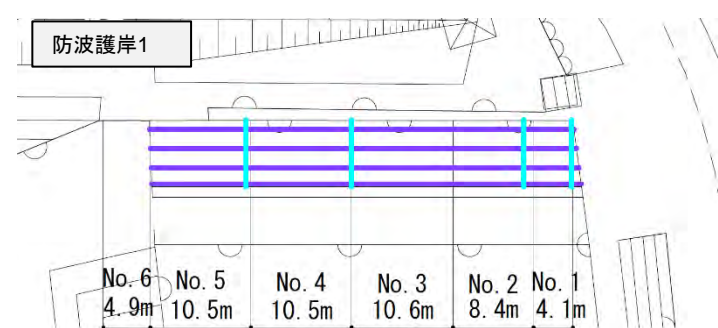
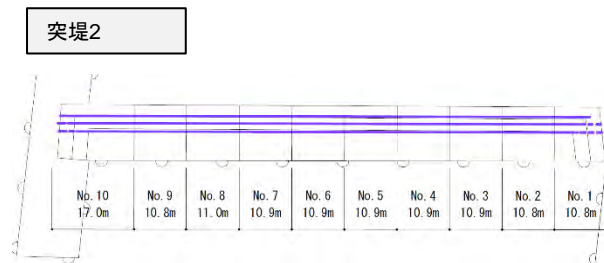
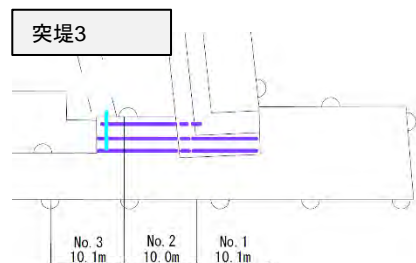
実施状況

- レーダー探査にて空洞の可能性があると思われる箇所(空洞反応)が確認された場所で削孔を行い、空洞の有無について確認した。
- 開削調査を実施する箇所においては、追加で詳細にレーダー探査を実施して得られた空洞範囲の結果と開削後に確認した空洞範囲を比較して精度確認を行った。

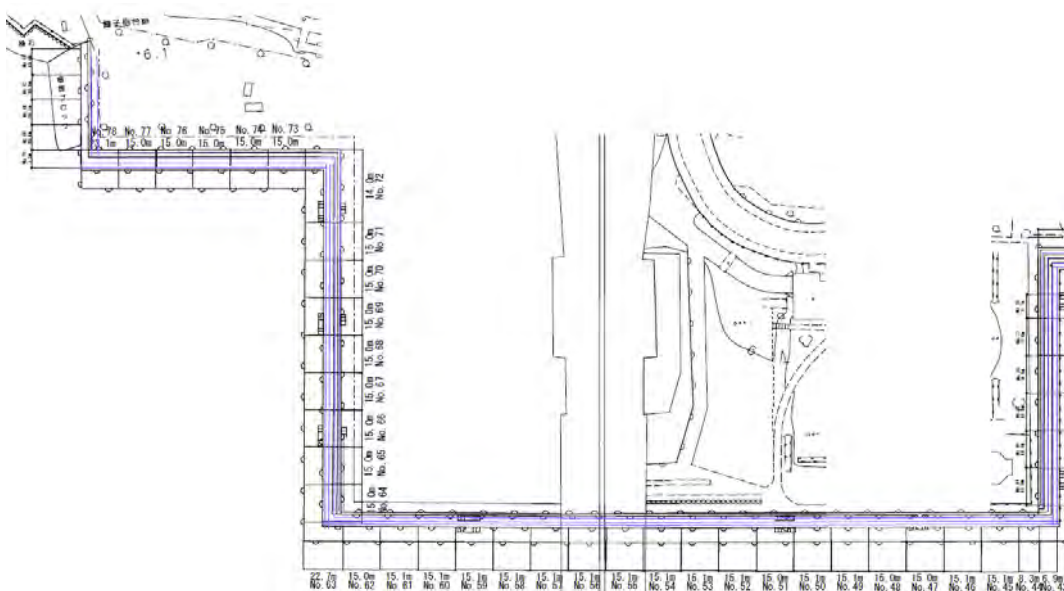
1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.2 レーダー探査

●レーダー探査範囲（西垂水舞子海岸）



防波護岸2



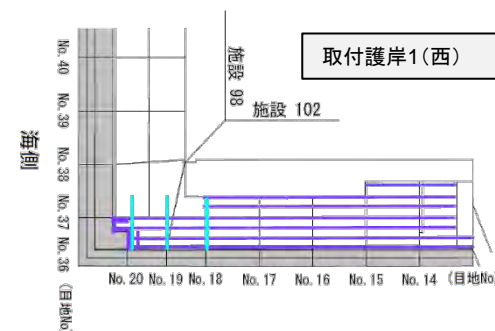
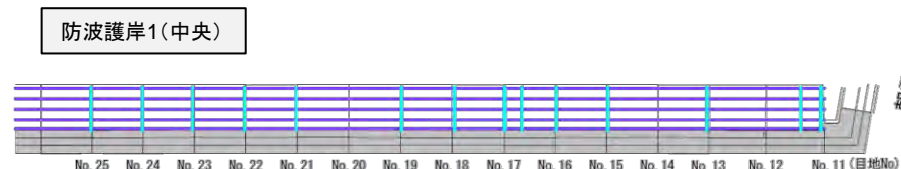
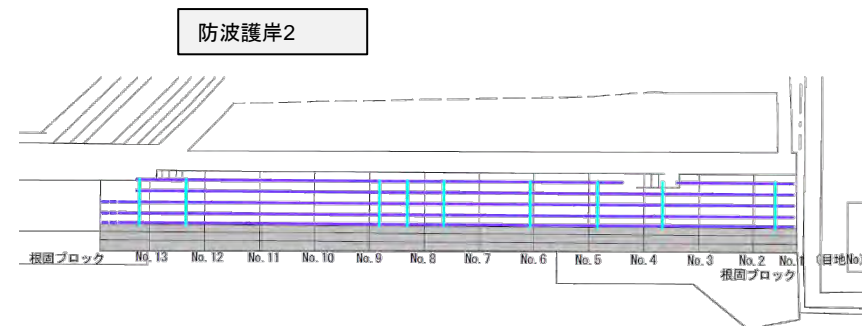
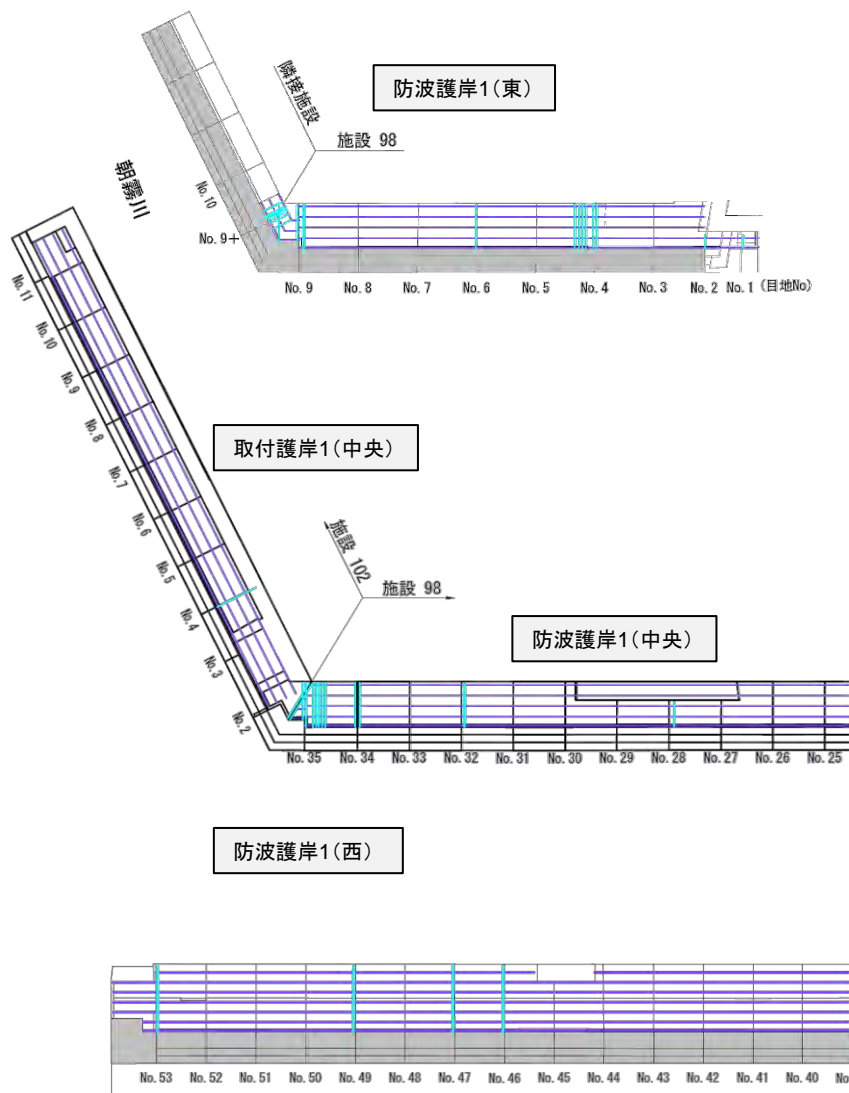
【凡例】

— :レーダー探査測線(縦断方向) — :レーダー探査測線(横断方向)

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.2 レーダー探査

●レーダー探査範囲（大蔵海岸）



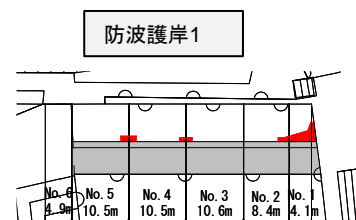
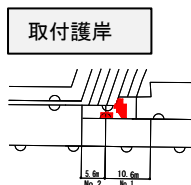
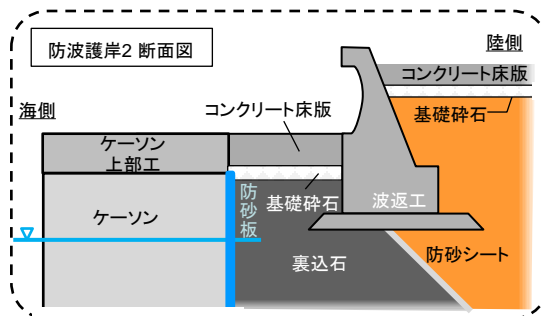
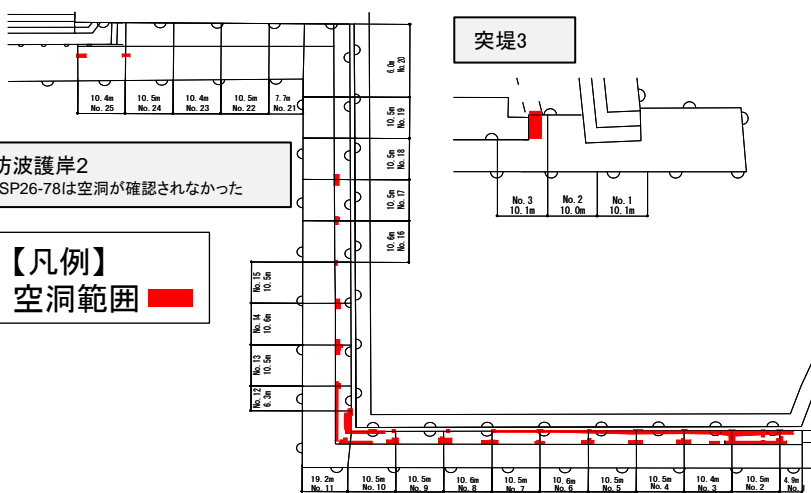
【凡例】

— :レーダー探査測線(縦断方向) — :レーダー探査測線(横断方向)

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.2 レーダー探査

□ 結果概要(西垂水舞子海岸)



場所	目地No.	空洞深さ (R6-R7) (海側)	空洞深さ (R6-R7) (陸側)
防波護岸1	1	112	-
防波護岸1	4	13	-
防波護岸1	5	12	-
取付護岸1	1	14	-
取付護岸1	2	20	-
防波護岸2	1	0	0
防波護岸2	2	17	7
防波護岸2	3	20	10
防波護岸2	4	13	17
防波護岸2	5	19	21
防波護岸2	6	14	3
防波護岸2	7	10	14
防波護岸2	8	17	12
防波護岸2	9	26	7
防波護岸2	10	17	4
防波護岸2	11	12	5
防波護岸2	12	14	12
防波護岸2	13	35	-
防波護岸2	14	26	-
防波護岸2	15	24	-
防波護岸2	16	9	-
防波護岸2	17	19	-
防波護岸2	18	20	-
防波護岸2	25	20	-
防波護岸2	26	41	-
突堤3	3	34	-

空洞範囲は目地部付近を中心に分布する傾向が確認された。また、施設端部もしくは隅角部における異型函に隣接する箇所でも空洞が発生していることが確認された。

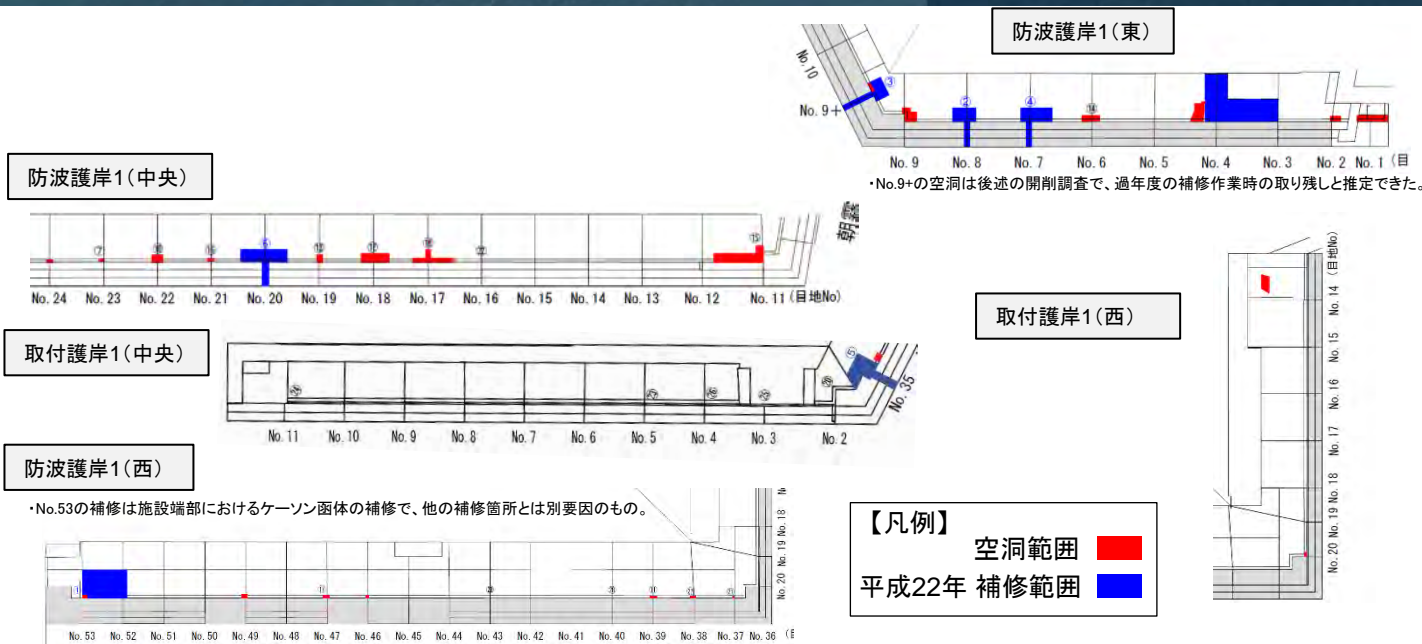
西垂水舞子海岸では、目地部だけでなく、波返工前面にも空洞が確認され、縦断方向に帯状に分布する傾向が確認された。

※その他、ケーソン護岸構造に類似する構造の施設でも調査を実施したが、ケーソン護岸構造と同様の空洞は発生し得ない構造(ブロック構造)であることが確認されたため、対象外とした。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.2 レーダー探査

□ 結果概要（大蔵海岸）



空洞番号 (H22)	場所	目地No.	空洞深さ (H22)	空洞深さ (H31)	空洞深さ (R7)
①	防波護岸1 (西)	53	230	-	13
②	防波護岸1 (東)	8	125	-	-
③	防波護岸1 (東)	10	105	-	6
④	防波護岸1 (東)	7	68	-	-
⑤	防波護岸1 (中央)	35	50	17	17
⑥	防波護岸1 (中央)	20	41	-	-
⑦	防波護岸1 (中央)	23	34	18	35
⑧	防波護岸1 (中央)	34	29	14	16
⑨	防波護岸1 (中央)	32	21	18	24
⑩	防波護岸1 (中央)	22	18	52	53
⑪	防波護岸1 (西)	39	15	19	18
⑫	防波護岸1 (中央)	18	14	25	27
⑬	防波護岸1 (中央)	19	13	7	8
⑭	防波護岸1 (東)	6	13	50	55
⑮	防波護岸1 (中央)	11	12	15	30
⑯	防波護岸1 (中央)	21	12	13	14
⑰	防波護岸1 (西)	47	12	31	30
⑱	防波護岸1 (中央)	17	7	30	33
⑲	防波護岸1 (中央)	28	6	35	36
⑳	防波護岸1 (中央)	36	6	-	-
㉑	防波護岸1 (西)	37	5	4	5
㉒	防波護岸1 (中央)	16	3	2	0
㉓	取付護岸1 (中央)	5	2	-	-
㉔	取付護岸1 (中央)	11	1	-	-
㉕	取付護岸1 (中央)	3	1	-	-
㉖	取付護岸1 (中央)	4	1	-	-
㉗	防波護岸1 (西)	38	1	14	19
㉘	防波護岸1 (西)	40	1	-	-
㉙	防波護岸1 (西)	43	1	-	-

- ・空洞範囲は、概ね目地部付近を中心に分布する傾向が確認された。
- ・波返工前面において、縦断方向に連続的に分布する空洞は確認されなかった。
- ・平成22年補修対策箇所隣接部で空洞が確認されたが、補修対策箇所（目地部補修）において空洞は確認されなかった。

※その他、ケーソン護岸構造に類似する構造の施設でも調査を実施したが、ケーソン護岸構造と同様の空洞は発生し得ない構造（ブロック構造）であることが確認されたため、対象外とした。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.3 レーダー探査の精度検証

1.3 レーダー探査の精度検証

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

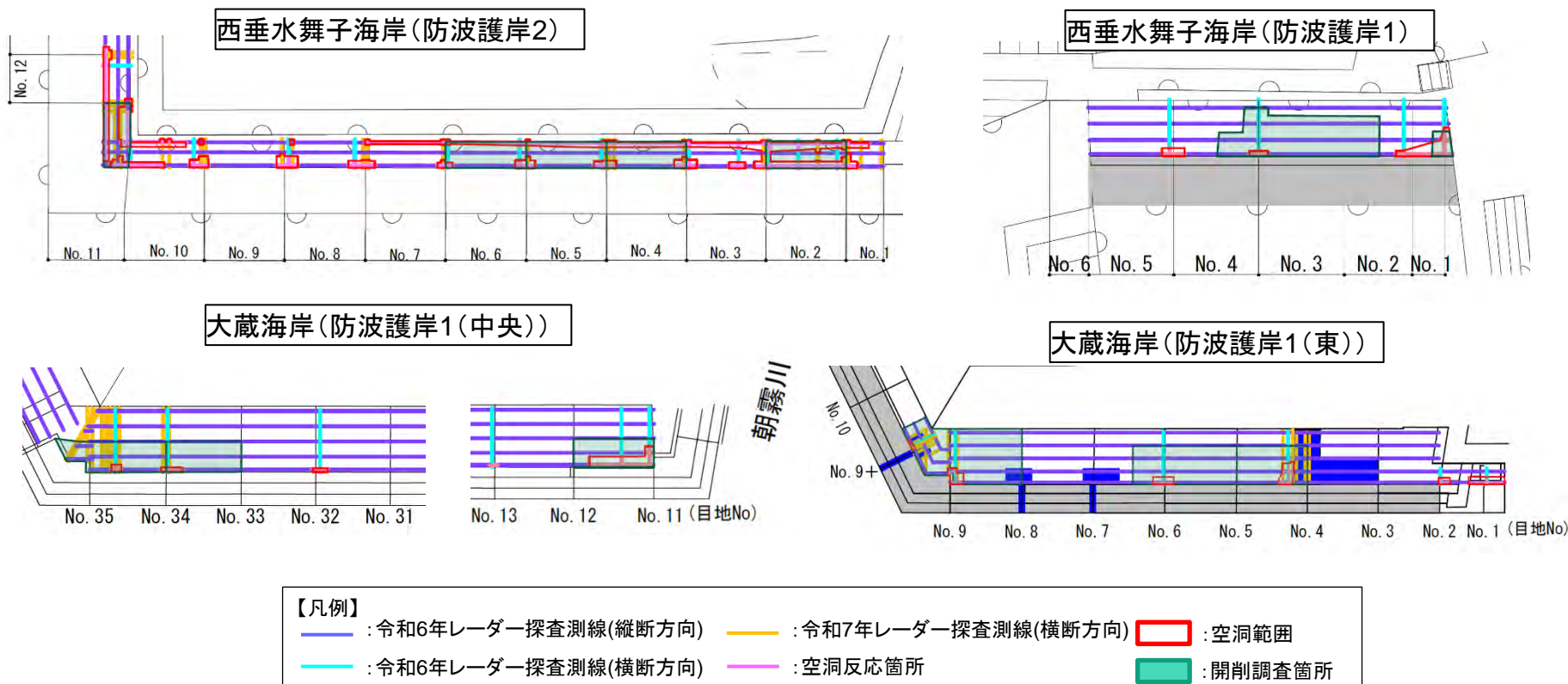
1.3 レーダー探査の精度検証

□精度検証について

空洞確認方法としてのレーダー探査(削孔調査を含む)の有効性を確認するために、開削調査した箇所において、レーダー探査結果との比較を行い、精度検証を行った。

レーダー探査精度の検証内容

- ・ 空洞の有無 … レーダー探査から推定した空洞箇所 と 開削後の空洞箇所の比較
- ・ 空洞範囲(水平方向) … レーダー探査から推定した空洞範囲 と 開削後の測量結果との空洞範囲の比較
- ・ 空洞深さ(鉛直方向) … 削孔調査結果 と 開削後の測量結果との空洞深さの比較



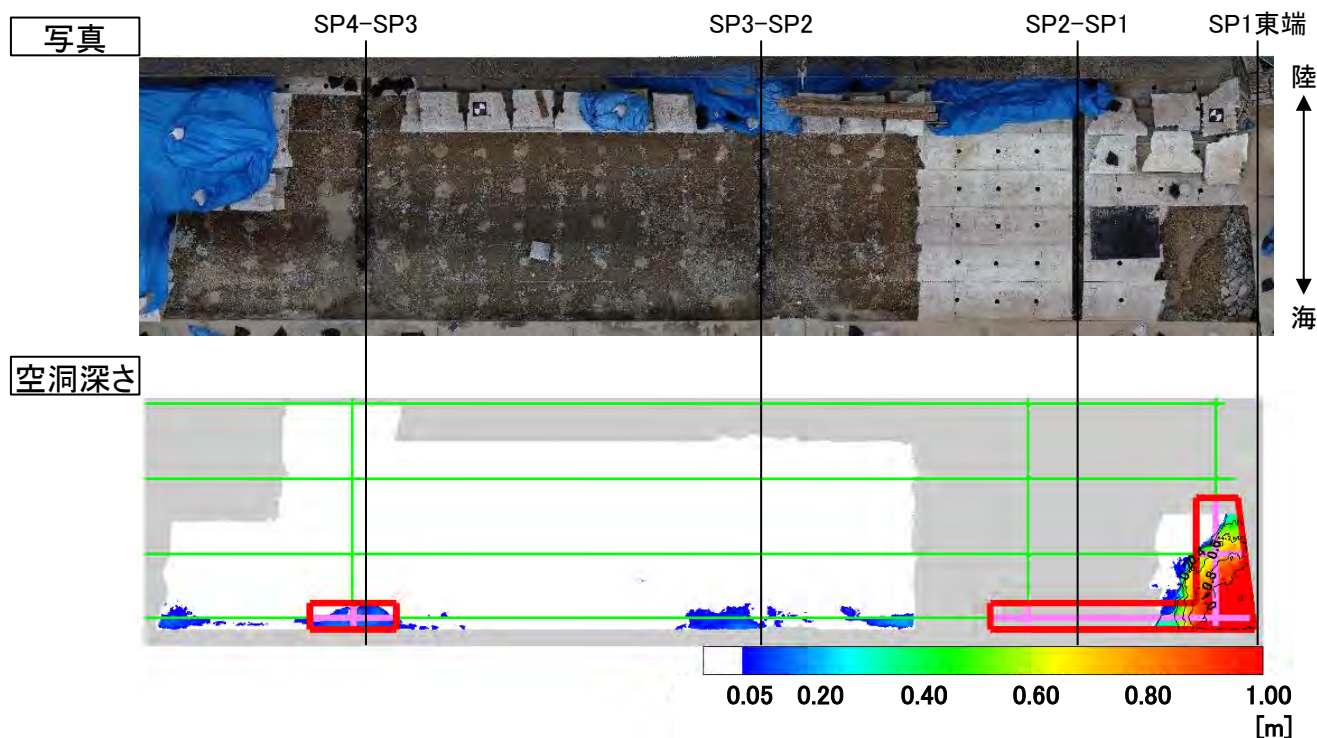
1.3 レーダー探査の精度検証

□空洞の有無の精度検証

・開削調査を行った範囲では、レーダー探査で空洞ありと判断した箇所について、すべて空洞の存在を確認した

【精度検証結果詳細1】西垂水舞子海岸(防波護岸1)

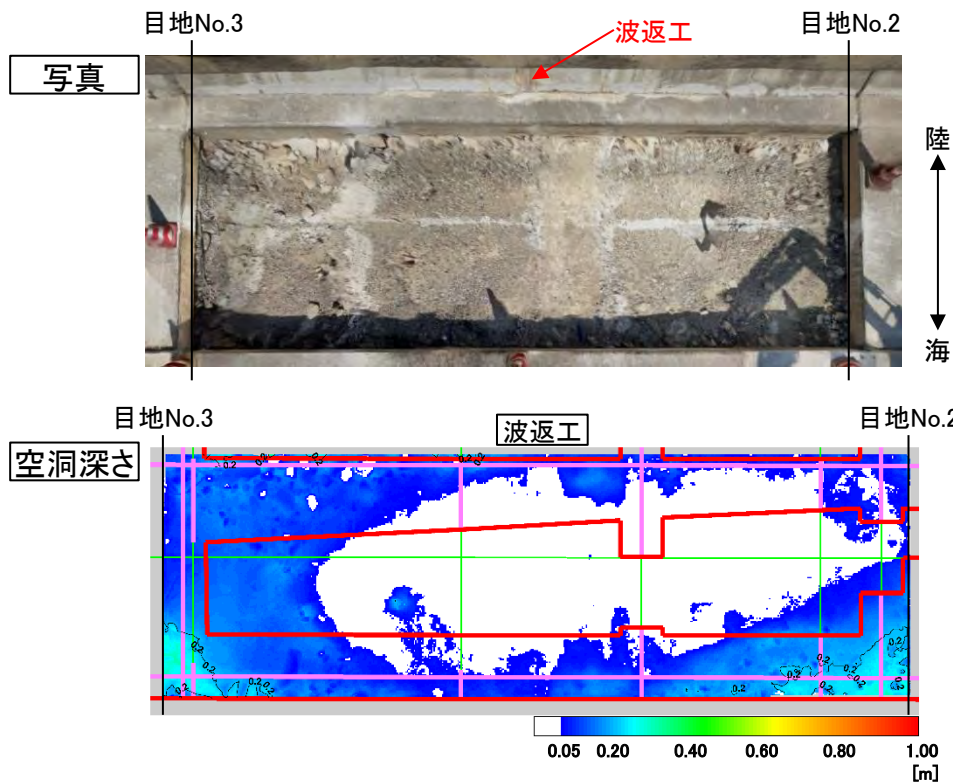
- レーダー探査の空洞範囲は、開削調査の空洞範囲を概ね網羅していることを確認
- レーダー探査で見逃されている空洞はないことを確認



1.3 レーダー探査の精度検証

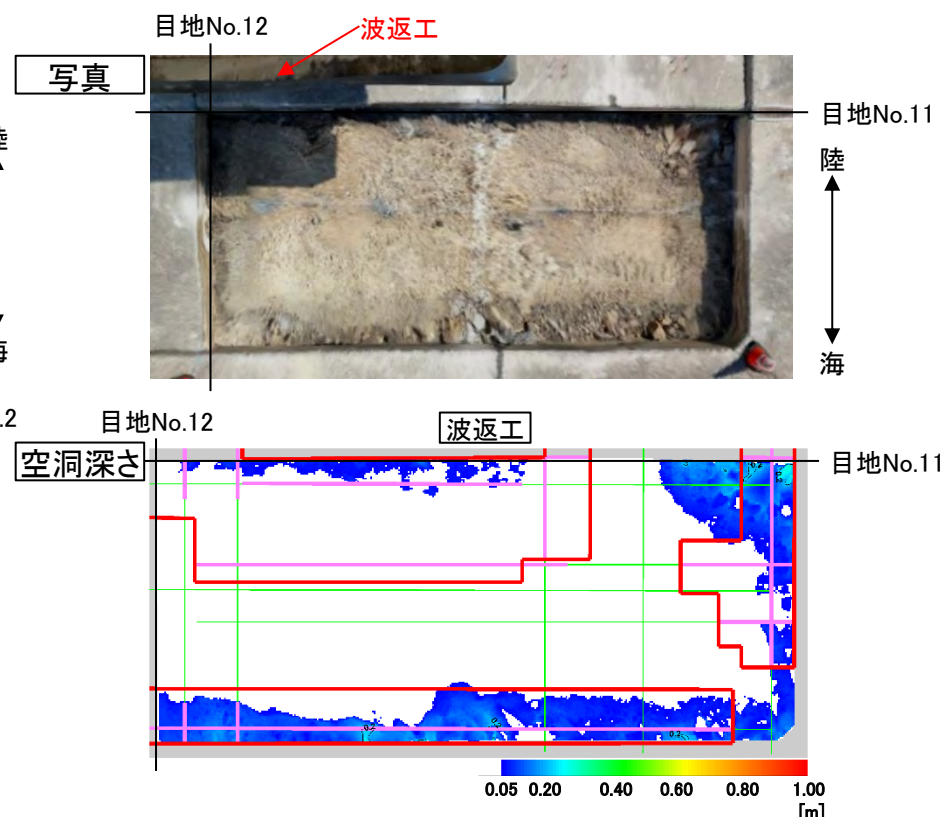
【精度検証結果詳細2】西垂水舞子海岸(防波護岸2)

- レーダー探査の空洞範囲は、開削調査の空洞範囲を概ね網羅していることを確認
- レーダー探査で見逃されている空洞はないことを確認



西垂水舞子海岸 防波護岸2 目地No.2～3

※1: 空洞深さは測量データを2cmメッシュにして整理。
 ※2: 空洞深さは、床版下端からの深さを意味する。



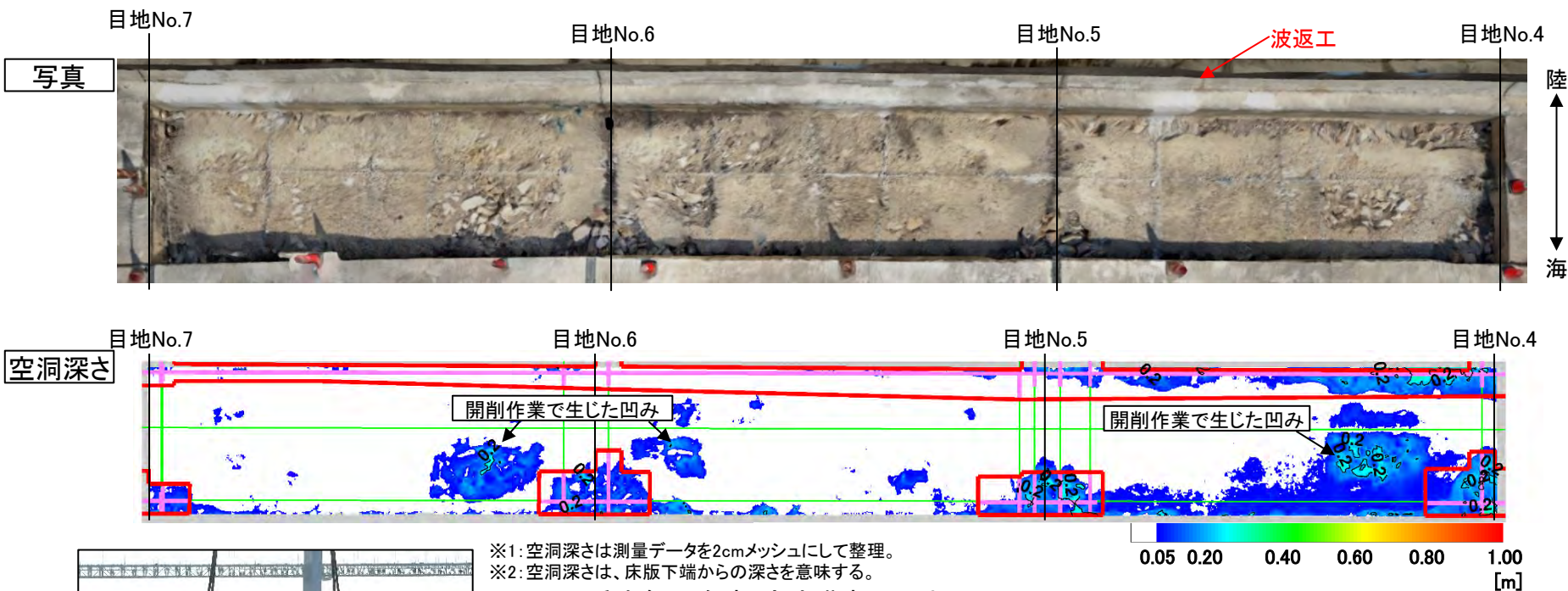
西垂水舞子海岸 防波護岸2 目地No.11～12

— : レーダー探査測線
 — : 空洞反応箇所
 □ : 空洞確認範囲
 (レーダー探査)

1.3 レーダー探査の精度検証

【精度検証結果詳細3】西垂水舞子海岸(防波護岸2)

- レーダー探査の空洞範囲は、開削調査の空洞範囲を概ね網羅していることを確認
- レーダー探査で見逃されている空洞はないことを確認



床版撤去時に下面部に付着した土砂

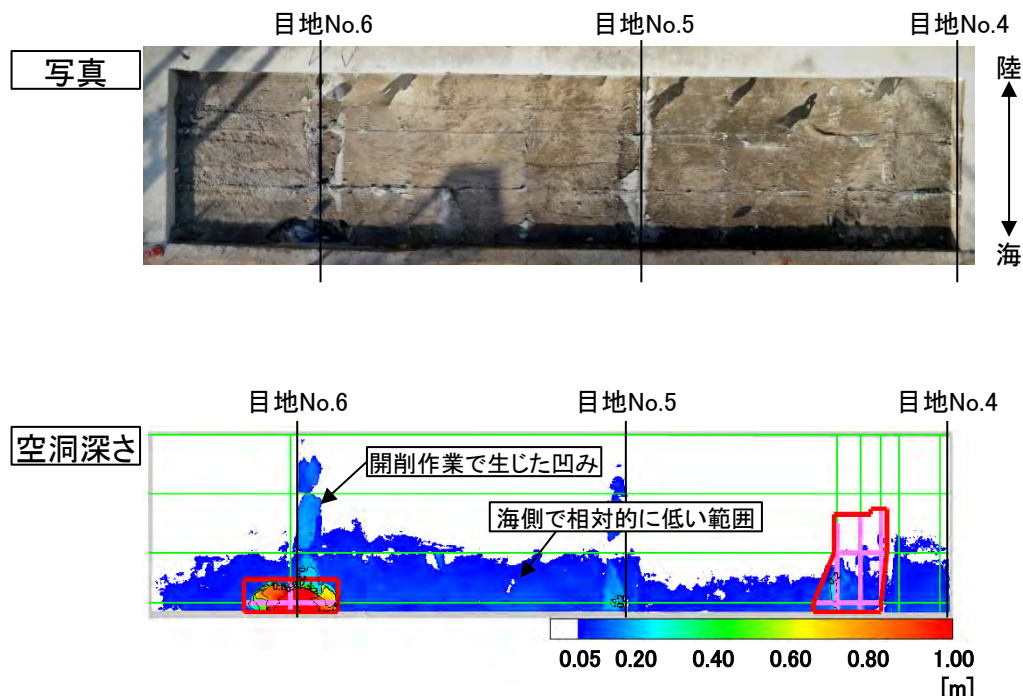
開削作業で生じた凹みの要因例

- : レーダー探査測線
- : 空洞反応箇所
- : 空洞確認範囲 (レーダー探査)

1.3 レーダー探査の精度検証

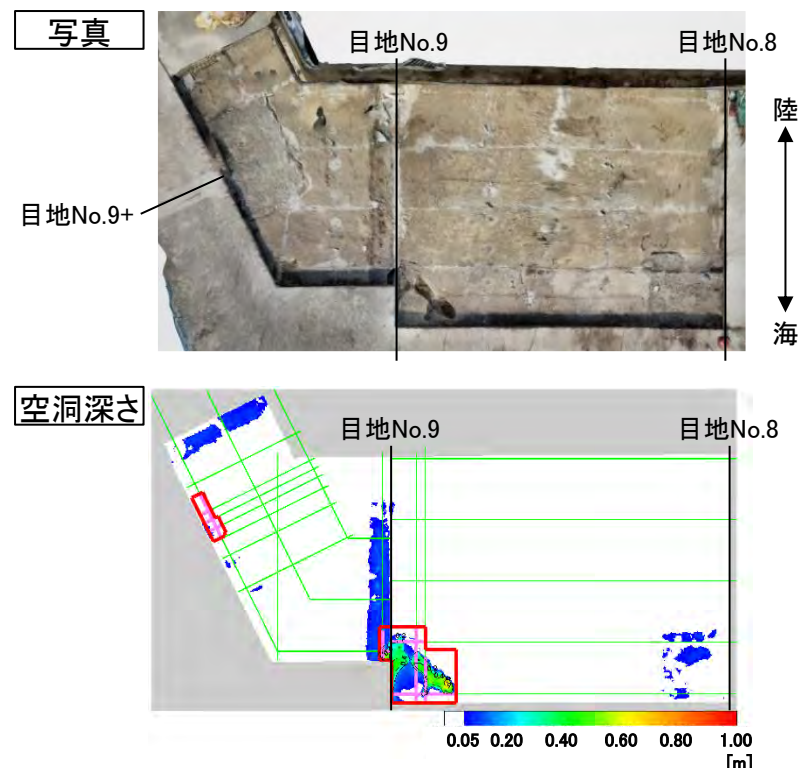
【精度検証結果詳細4】大蔵海岸(防波護岸1(東))

- レーダー探査の空洞範囲は、開削調査の空洞範囲を概ね網羅していることを確認
- レーダー探査で見逃されている空洞はないことを確認



大蔵海岸 防波護岸1(東) 目地No.4～6

※1: 空洞深さは測量データを2cmメッシュにして整理。
 ※2: 空洞深さは、床版下端からの深さを意味する。



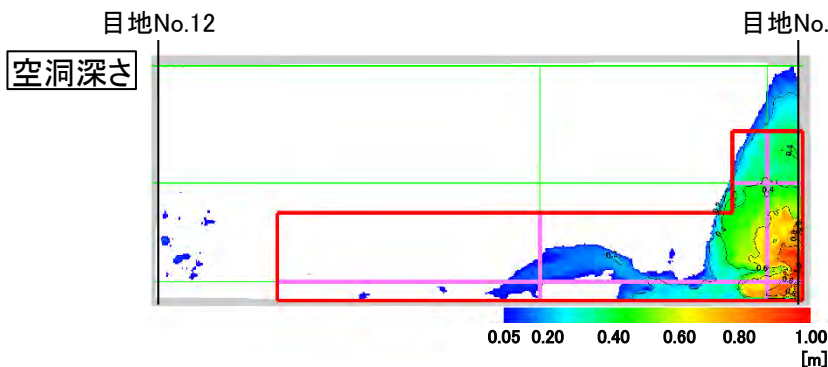
大蔵海岸 防波護岸1(東) 目地No.8～9+

— : レーダー探査測線
 — : 空洞反応箇所
 □ : 空洞確認範囲
 (レーダー探査)

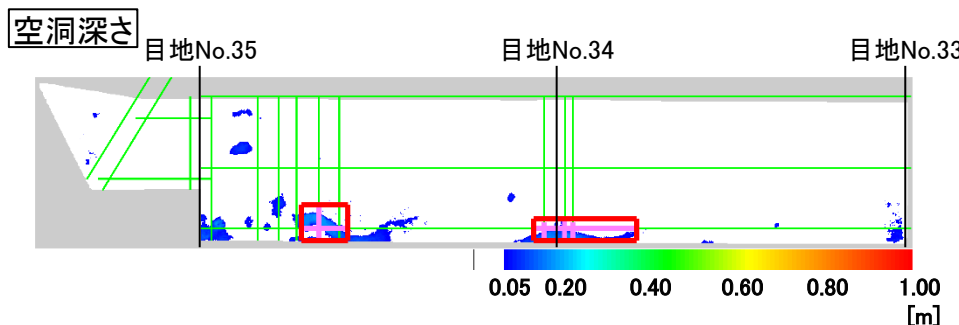
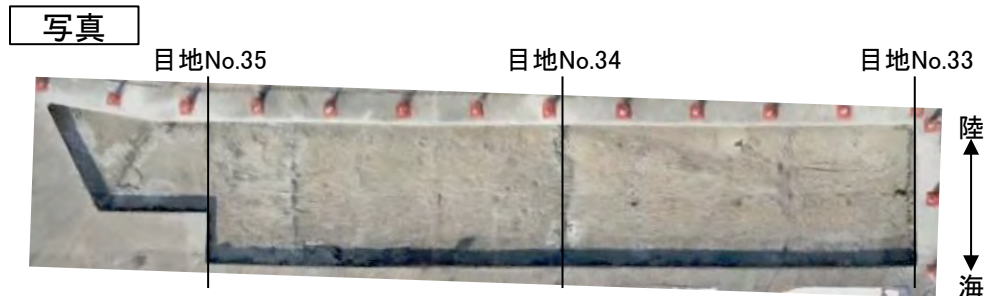
1.3 レーダー探査の精度検証

【精度検証結果詳細5】大蔵海岸(防波護岸1(中央))

- レーダー探査の空洞範囲は、開削調査の空洞範囲を概ね網羅していることを確認
- レーダー探査で見逃されている空洞はないことを確認



大蔵海岸 防波護岸1(中央)目地No.11～12



大蔵海岸 防波護岸1(中央)目地No.33～35

※1: 空洞深さは測量データを2cmメッシュにして整理。
 ※2: 空洞深さは、床版下端からの深さを意味する。

— : レーダー探査測線
 — : 空洞反応箇所
 □ : 空洞確認範囲
 (レーダー探査)

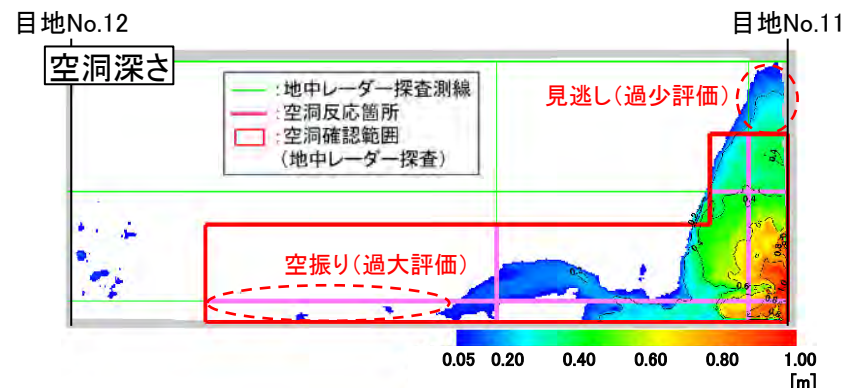
1.3 レーダー探査の精度検証

□ 空洞の有無及び空洞範囲(水平方向)の精度検証

- ・レーダー探査の空洞範囲は、一部過大評価した箇所※があるものの、開削調査の空洞範囲と概ね一致。
- ・レーダー探査測線毎に空洞の有無の的中率をみると、的中率は約91%。

※ レーダー探査が過大評価した箇所は3箇所あり、その内2箇所は波返工前面

【空洞範囲の比較事例】



大蔵海岸 防波護岸1(中央)目地No.11~12

【レーダー探査の測線毎の空洞の有無の的中状況】

対象施設		延長(m)					的中率 ※5
		的中 ※1 (空洞有)	的中 ※2 (空洞無)	空振り ※3	見逃し ※4	合計	
西垂水舞子海岸	防波護岸1	9.8	60.4	0.2	3.2	73.6	95.4
	防波護岸2	74.7	119.1	34.3	6.5	234.6	82.6
大蔵海岸	防波護岸1(東)	19.4	246.4	10.2	0.9	276.9	96.0
	防波護岸1(中央)	13.6	125.1	8.4	0.9	148.0	93.7
合計		117.5	551.0	53.1	11.5	733.1	91.2

※1 的中(空洞有)はレーダー探査結果から空洞有りと判定し、開削調査結果で空洞が有りと確認された箇所を示す。

※2 的中(空洞無)はレーダー探査結果から空洞無しと判定し、開削調査結果で空洞が無しと確認された箇所を示す。

※3 空振り(過大評価)はレーダー探査結果から空洞有りと判定し、開削調査結果で空洞無しと確認された箇所を示す。

※4 見逃し(過小評価)は探査結果から空洞無しと判定し、開削調査結果で空洞が有りと確認された箇所を示す。

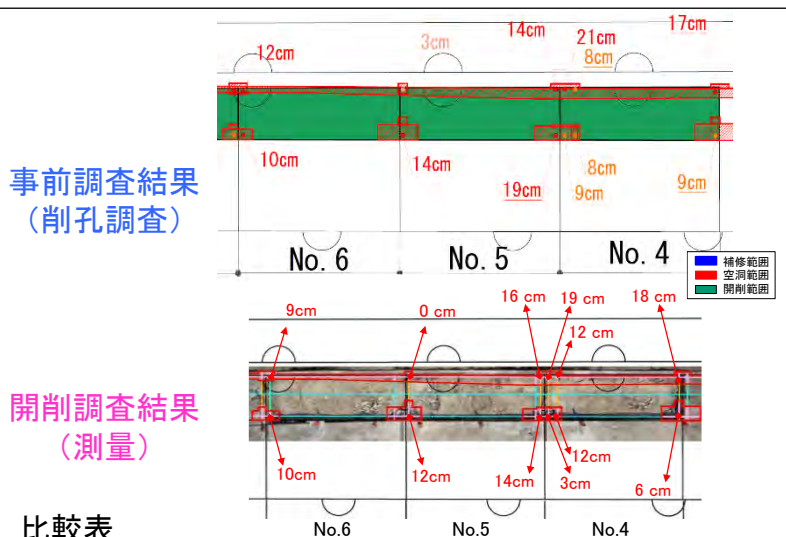
※5 的中率は的中(空洞有)と的中(空洞無)との合計探査延長が全探査延長に占める割合を示す。

1.3 レーダー探査の精度検証

□ 空洞深さ(鉛直方向)の精度検証(削孔調査の精度検証)

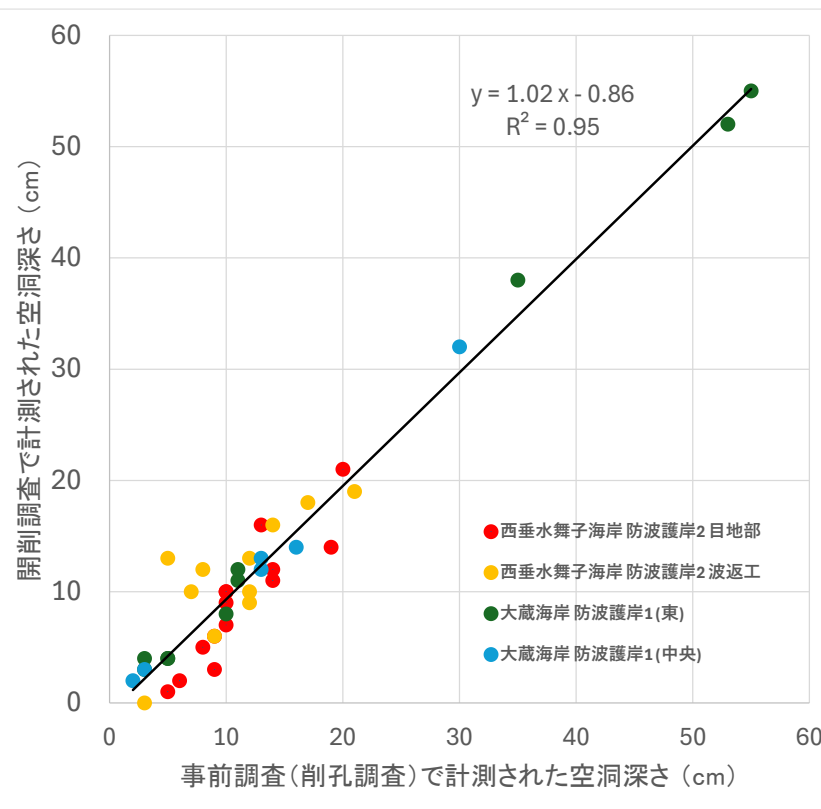
レーダー探査における空洞反応箇所のうち最も反応が強かった箇所において削孔調査を実施し、空洞深さを計測した。空洞深さについては、開削後の測量結果と比較し、概ね高い相関性が確認された。

西垂水舞子海岸 防波護岸2(東)の事例



項目		No.4						No.5						No.6	
計測位置 (m)	目地からの距離	0.3	0.3	9.4	9.4	10.1	10.1	0.3	0.3	10.3	10.3	10.3	10.3		
	ケーソン背後からの距離	0.3	3.2	0.3	3.4	0.3	3.4	0.3	3.4	0.3	3.4	0.3	3.3		
空洞深さ (cm)	事前調査 (削孔調査)	9	17	8	8	9	21	19	14	14	3	10	12		
	開削調査	6	18	5	12	3	19	14	16	12	0	10	9		
	差	-3	1	-3	4	-6	-2	-5	2	-2	-3	0	-3		

開削調査を実施した全箇所 (N=41)

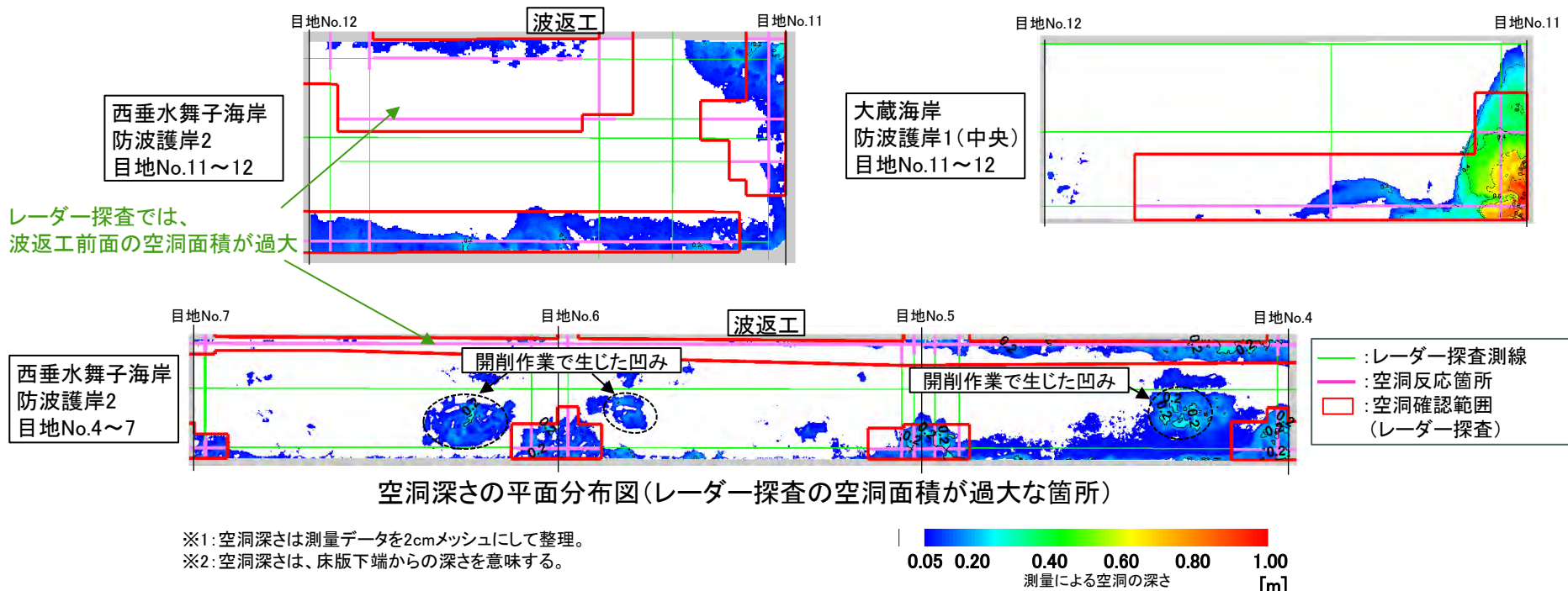


1.3 レーダー探査の精度検証

❑ 探査精度が比較的低かった事例

レーダー探査で過小評価していた箇所は、空洞最深部から離れた端部のみであった。

過大評価していた箇所は、近傍に浅い空洞が広く分布している箇所で、基礎碎石の緩みや空隙をレーダー探査で空洞反応箇所として捉えていた可能性が考えられる。



❑ レーダー探査の精度検証の結果概要

精度確認(空洞範囲及び深さ)を実施した結果、**レーダー探査精度は概ね良好**であることから**当海岸における調査手法として有効**であることが確認された。探査精度が高かった要因としては、本調査はコンクリート床版直下の空洞を確認する探査で、同一構造(コンクリート床版)で構成されている箇所での調査であること、探査測線を比較的高密度で設定していることが考えられる。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.3 レーダー探査の精度検証

□ 結果概要

- レーダー探査で空洞ありと判断した箇所は、開削調査において空洞が目視確認できており、空洞の見逃しがなかったことが確認された。
- レーダー探査結果と開削調査を比較すると、測線延長において約91%の割合で空洞の有無を判断できていた。
- レーダー探査の空洞深さ※は、開削調査の空洞深さと概ね同様であることが確認された。

⇒当海岸において、レーダー探査が空洞の有無の確認に有効な調査手法であることが確認された。

※レーダー探査の空洞反応箇所から最も反応が強かった箇所にて削孔調査により空洞深さを計測。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

1.4 空洞周辺目視調査（開削調査）

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

□ 調査概要

- ・レーダー探査の精度検証を目的に実施(空洞の発生箇所を見逃していないことを確認する)
- ・空洞の発生状況を確認し、空洞の発生要因を推定したうえで、対策工の検討につなげる。

【対象施設】

- 西垂水舞子海岸
防波護岸1
防波護岸2
- 大蔵海岸
防波護岸1(中央)
防波護岸1(東)

西垂水舞子海岸

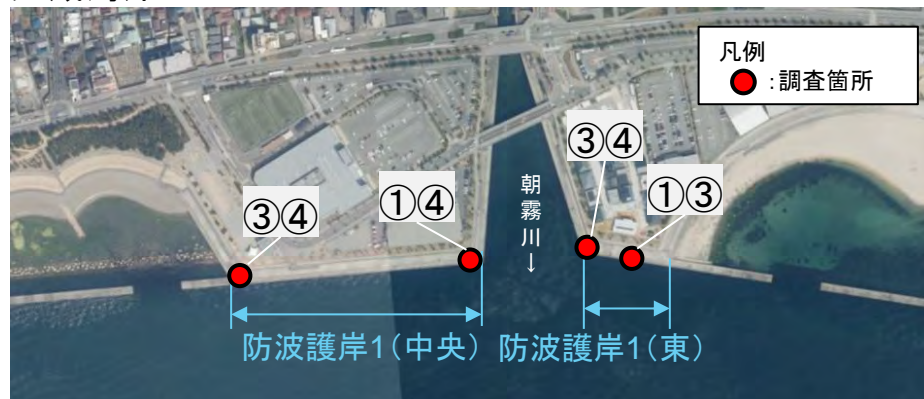


【開削箇所の選定】

下記要素を考慮して開削箇所を選定

- ①空洞規模の大きな箇所(範囲もしくは空洞深さ)での発生状況の確認
- ②ケーソン背後の目地部から離れた箇所での空洞発生要因の推定(目地部からの吸出し以外の要因の可能性が高い箇所)
- ③補修箇所で確認された空洞発生状況の確認
- ④異型函または端部の空洞

大蔵海岸



1. 現地調査及び検討で確認できたこと

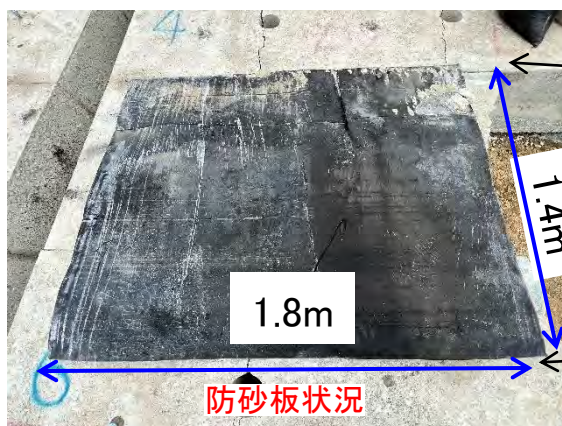
1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

□結果概要(西垂水舞子海岸)

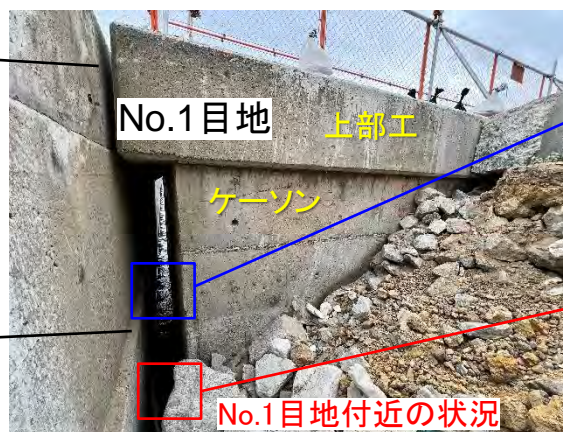
○西垂水舞子海岸において、空洞深さ、防砂板状況、基礎碎石及び裏込石及び目地幅の確認を実施した。

●目地部で発生した空洞

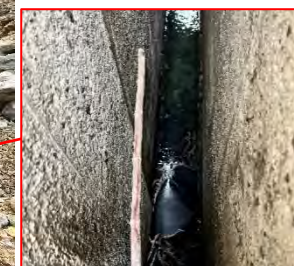
防波護岸1 No.1



開削時に回収された防砂板(東側端部)



No.1目地開き
海側: 34cm
陸側: 25cm



開削調査時(水面付近) 陸側から撮影 シート破損状況

防波護岸1 No.1において、空洞深さは1.27m程度であったこと、防砂板が損傷していること、基礎碎石及び裏込石が目地部から流出していたことが確認された。目地幅は34cmであった。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

□結果概要(西垂水舞子海岸)

●目地で発生した空洞

防波護岸2 No.2-11

目地で基礎碎石が流出し、裏込石の露出が確認されたが、裏込石の顕著な流出は確認されなかった。
基礎碎石層の厚みは 7~10cm程度であった。防砂板留め金具の腐食および防砂板上端の隙間が確認された。



目地状況 防波護岸2 No.2



目地状況 防波護岸2 No.3



目地状況 防波護岸2 No.5



目地状況防波護岸2 No.7



目地状況 防波護岸2 No.11



目地状況 防波護岸2 No.11+



基礎碎石層の厚み



防砂板上端の隙間、留め金具劣化

- 図面においても基礎碎石下部の防砂シートは記載されておらず、現地での設置も確認されなかった。
- 防砂板はケーソン上端部より低く設置されており、8~26cmの隙間があることが確認された。
- 目地裏の浅い空洞は、基礎碎石のみの流出で、裏込石の流出は確認されなかった。
- 防砂板の破損は確認されなかったが、防砂板上端とケーソン上部工の隙間が確認された。
- 防砂板の留め金具は腐食しており、ボルト等も外れている(劣化)箇所が確認された。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

□ 結果概要(西垂水舞子海岸)

● 波返工前面で発生した空洞

防波護岸2 No.2-11

波返工前面で基礎碎石が流出し、裏込石の露出が確認された。



波返工前面で基礎碎石が流出



基礎碎石層の厚み



基礎碎石流出による裏込石の露出

【まとめ】西垂水舞子海岸における開削調査結果から確認されたこと

● 目地部で発生した空洞

防砂板の損傷がみられた箇所では裏込石流出を伴う大きな空洞が確認された。

比較的浅い空洞が確認された箇所においては、防砂板の損傷はみられなかったが、防砂板上端とケーソン上部工に隙間が存在しており、基礎碎石の流出がみられたが裏込石の流出までは確認されなかった。

● 波返工前面で発生した空洞

基礎碎石の下部流出により、比較的浅い帯状の空洞の発生が確認された。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

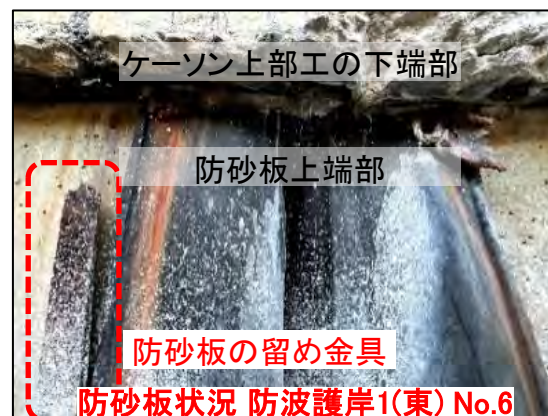
□結果概要(大蔵海岸)

○大蔵海岸において、空洞深さ、防砂板状況、基礎砕石及び基礎砕石(土砂層)、裏込石及び目地幅の確認を実施した。

●目地部で発生した空洞

防波護岸1(東) 目地No.6、9、11

目地部付近で基礎砕石(土砂層)、土砂層及び裏込石(防砂シート下部)の流出が確認された。なお、防砂板の留め金具の劣化・破損及び防砂板のめくれ等が確認された。



※図面では基礎砕石となっていたが、実際には土砂に近い状況であったことから基礎砕石(土砂層)と表記した

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

□ 結果概要(大蔵海岸)

● 目地部で発生した空洞

防波護岸1(中央)目地No.34-35

目地部で基礎碎石(土砂層)が流出していたが、裏込石の流出は確認されず、比較的小さな空洞が確認された。
(防砂板確認のため基礎碎石(土砂層)及び土砂層を掘削)



○ 目地裏の浅い空洞は、基礎碎石(土砂層)のみの流出で、裏込石の流出は確認されなかった。

○ 防砂板の破損は確認されなかったが、防砂板上端とケーソン上部工の隙間が確認された。

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

□結果概要(大蔵海岸)

●補修済箇所付近で確認された空洞

防波護岸1(東)目地No.9+

補修対策箇所隣接部で空洞反応があった部分を確認したが、ケーソン目地部から離れた位置で5cm程度の深さのものであり進行性も確認できなかったため、過年度の補修時に取り残されたものと判断した。



防波護岸1(中央)目地No.34-35

過年度補修対策箇所隣接部の空洞は、深さ10cm程度でケーソン目地部に続くものではなく、補修作業の対象外とされたものと判断した。



1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

□ 結果概要(大蔵海岸)

● 空洞が確認されなかった箇所での防砂板状況

防波護岸1(中央)目地No.12

空洞が確認されなかった箇所において、防砂板の上端はケーソン上部工の下端部まで機能していたことを確認した。
(防砂板確認のため基礎碎石(土砂層)及び土砂層を掘削)



○空洞が確認されなかった箇所を試掘した結果、防砂板が適切に設置されていることが確認された。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.4 空洞周辺目視調査(開削調査)

□結果概要(大蔵海岸)

【まとめ】大蔵海岸における開削調査結果から確認されたこと

●目地部で発生した空洞

防砂板の損傷がみられた箇所では裏込石流出を伴う大きな空洞が確認された。

防砂板の損傷はみられないが、防砂板の上端とケーソン上部工に隙間がある箇所では比較的小さな空洞が確認された。土砂層のみの流出で、裏込石の流出は確認されなかった。

●その他

過去に目地部補修及び地盤改良した箇所では新たな空洞は発生していなかったことが確認された。また、補修対策箇所隣接部(目地部から隔離)では、進行性がないと考えられる空洞が確認された。空洞が確認されなかった箇所を試掘した結果、防砂板がケーソン上端部まで施工され、防砂板背後の裏込石、基礎碎石もしくは基礎碎石(土砂層)が海側へ流出することを防止する機能を有していたことが確認された。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.5 粒度調査

1.5 粒度調査

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.5 粒度調査

□調査概要

●調査目的

ケーソン目地から流出する可能性がある裏込石及び基礎砕石について、現状の粒径分布を確認することを目的とした。

●第2回委員会にて、以下の委員意見を受けて実施。

✓ 現状の裏込石の粒径分布を把握するための粒径加積曲線データがあると良い。

●調査方法

開削箇所6箇所において、裏込石及び基礎砕石（土砂層）の粒径分布を把握するために、試料採取を行い、粒径50 mm以上については、現地計測（長径、中径、短径を計測）し、粒径50 mm以下については粒度試験を行った。

●対象箇所

開削調査箇所より、代表粒径が確保できる箇所を選定した。

海岸名	施設名	スパン番号
西垂水舞子海岸	防波護岸1	No.1
	防波護岸2	No.2、No.6
大蔵海岸	防波護岸1（東）	No.5、No.6
	防波護岸1（中央）	No.11

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.5 粒度調査

●対象箇所(西垂水舞子海岸)

西垂水舞子海岸については、開削調査を下記3箇所を実施した。試料採取にあたって、背後土砂状況を確認し、基礎砕石の厚みは20cm程度であったことが確認された。



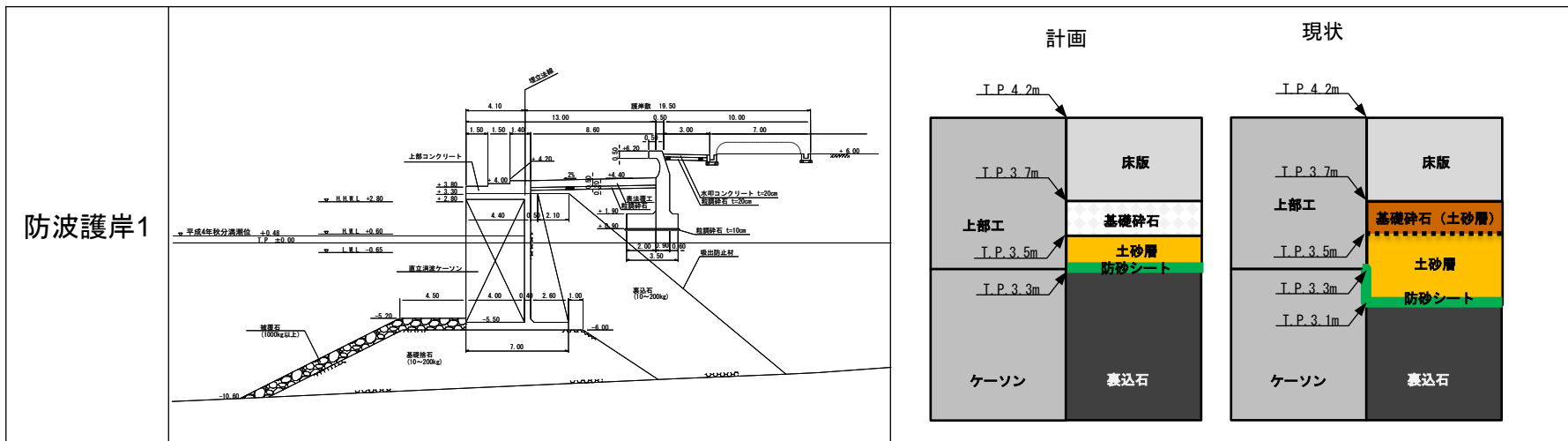
<div>防波護岸 1</div>		<table><tr><th>計画</th><th>現状</th></tr><tr><td>T.P. 3.2m</td><td>T.P. 3.2m</td></tr><tr><td>上部工</td><td>上部工</td></tr><tr><td>T.P. 2.7m</td><td>T.P. 2.7m</td></tr><tr><td>T.P. 2.5m</td><td>T.P. 2.6m</td></tr><tr><td>T.P. 2.3m</td><td>T.P. 2.5m</td></tr><tr><td>ケーソン</td><td>ケーソン</td></tr><tr><td>床版</td><td>床版</td></tr><tr><td>基礎砕石</td><td>基礎砕石</td></tr><tr><td>裏込石</td><td>裏込石</td></tr></table>	計画	現状	T.P. 3.2m	T.P. 3.2m	上部工	上部工	T.P. 2.7m	T.P. 2.7m	T.P. 2.5m	T.P. 2.6m	T.P. 2.3m	T.P. 2.5m	ケーソン	ケーソン	床版	床版	基礎砕石	基礎砕石	裏込石	裏込石
計画	現状																					
T.P. 3.2m	T.P. 3.2m																					
上部工	上部工																					
T.P. 2.7m	T.P. 2.7m																					
T.P. 2.5m	T.P. 2.6m																					
T.P. 2.3m	T.P. 2.5m																					
ケーソン	ケーソン																					
床版	床版																					
基礎砕石	基礎砕石																					
裏込石	裏込石																					
<div>防波護岸 2</div>		<table><tr><th>計画</th><th>現状</th></tr><tr><td>T.P. 3.2m</td><td>T.P. 3.2m</td></tr><tr><td>上部工</td><td>上部工</td></tr><tr><td>T.P. 2.7m</td><td>T.P. 2.7m</td></tr><tr><td>T.P. 2.5m</td><td>T.P. 2.6m</td></tr><tr><td>T.P. 2.3m</td><td>T.P. 2.5m</td></tr><tr><td>ケーソン</td><td>ケーソン</td></tr><tr><td>床版</td><td>床版</td></tr><tr><td>基礎砕石</td><td>基礎砕石</td></tr><tr><td>裏込石</td><td>裏込石</td></tr></table>	計画	現状	T.P. 3.2m	T.P. 3.2m	上部工	上部工	T.P. 2.7m	T.P. 2.7m	T.P. 2.5m	T.P. 2.6m	T.P. 2.3m	T.P. 2.5m	ケーソン	ケーソン	床版	床版	基礎砕石	基礎砕石	裏込石	裏込石
計画	現状																					
T.P. 3.2m	T.P. 3.2m																					
上部工	上部工																					
T.P. 2.7m	T.P. 2.7m																					
T.P. 2.5m	T.P. 2.6m																					
T.P. 2.3m	T.P. 2.5m																					
ケーソン	ケーソン																					
床版	床版																					
基礎砕石	基礎砕石																					
裏込石	裏込石																					

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.5 粒度調査

●対象箇所(大蔵海岸)

大蔵海岸については、開削調査を下記3箇所で実施した。試料採取にあたって、背後土砂状況を確認し、土砂層の厚みは60cm程度であったことが確認された。



1.5 粒度調査

□ 結果概要

裏込石

施設名			粒径 (cm)			目地幅 (mm)	目地幅未満割合 (%)		
			D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀		長径	中径	短径
西垂水舞子海岸	防波護岸1	No. 1	12.46 (2.5)	34.03 (50.9)	54.26 (206.2)	280	90.7	97.2	99.1
	防波護岸2	No. 2 ^{※1}	0.99 (1.2×10 ⁻³)	30.02 (34.2)	37.77 (68.0)	65	20.4	53.7	78.4
		No. 6	20.64 (11.4)	30.80 (37.8)	48.04 (143.3)	50	0.0	0.0	1.0
大蔵海岸	防波護岸1 (東)	No. 5	5.67 (0.2)	9.26 (1.0)	13.65 (3.3)	15	0.0	0.0	0.0
		No. 6	5.93 (0.3)	11.02 (1.7)	15.43 (4.7)	120	72.0	91.0	98.0
	防波護岸1 (中央)	No. 11	5.50 (0.2)	8.78 (0.9)	15.93 (5.2)	110	65.2	92.0	99.1

※1 西垂水舞子海岸防波護岸No. 2については粒度試験で細粒分も確認された。

※ () の値はD_x (通過質量百分率x%の時の粒径) を中径とした楕円体を仮定し、密度2.6とした際の換算重量(kg)を示す。

裏込石の粒径(中央値)は、西垂水舞子海岸は概ね30cm以上であったが、大蔵海岸は概ね10cm程度であった。

(粒径と目地幅から流出する可能性がある割合を参考に試算→吸出し要因の裏付け)

- ※ 留意点1 試料採取は裏込石上部で実施しており裏込石上面の均し作業時に使用した相対的に小さな粒径を含む可能性がある
 留意点2 採取試料には目地部から流出した試料は含まれていないため、流出前の粒径よりも過大評価する可能性がある

基礎砕石

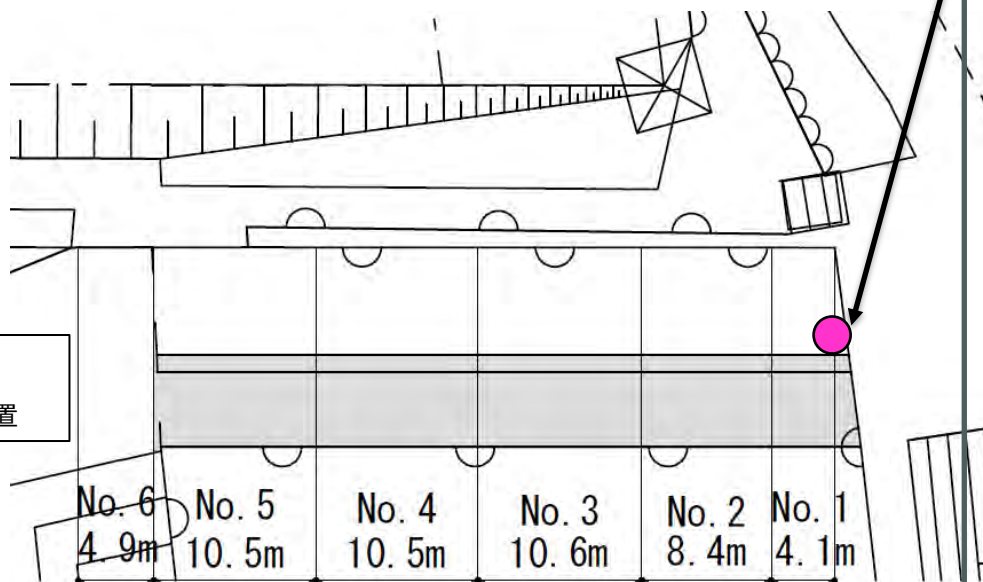
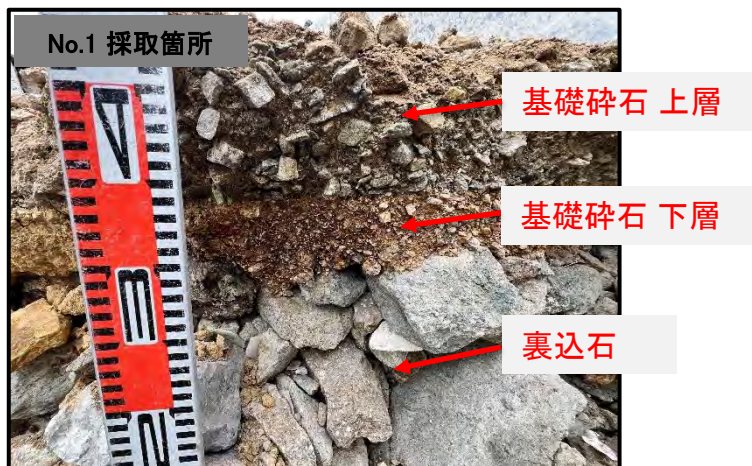
施設名				粒径 (mm)		
				D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
西垂水舞子海岸	防波護岸1	No. 1	上層	0.4	10.5	29.0
			下層	0.1	2.9	15.4
	防波護岸2	No. 2		0.1	3.6	15.6
大蔵海岸	防波護岸1 (東)	No. 5		0.1	4.8	22.5
		No. 6		0.1	1.5	7.3
	防波護岸1 (中央)	No. 11	上層	0.1	2.9	20.9
			下層	0.0	3.4	22.3

基礎砕石の粒径分布は0.1mm程度から20mm程度で、上層と下層の2層で構成された箇所も確認された。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.5 粒度調査

□ 粒度試験結果例（西垂水舞子海岸 防波護岸1 No.1）



基礎碎石 上層



基礎碎石 下層

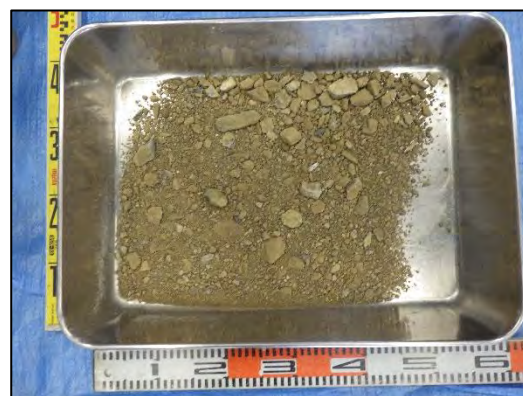


裏込石

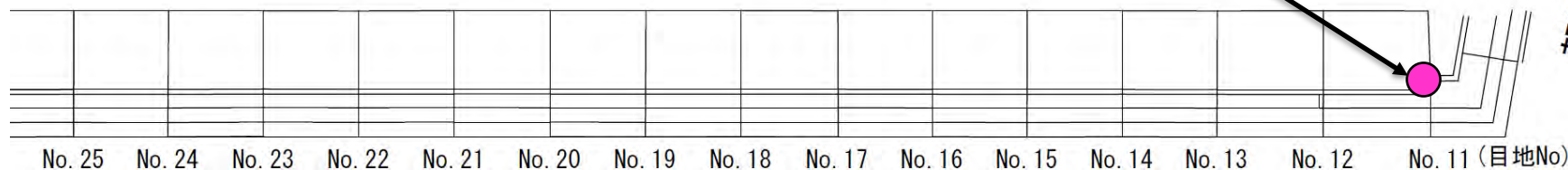
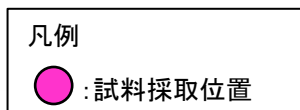
1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.5 粒度調査

□ 粒度試験結果例 (大蔵海岸 防波護岸1(中央) No.11)



※ 計画図で基礎砕石に相当する層と土砂層に相当する層では、土色及び性状が異なっていたため、粒度試験はそれぞれ実施した。



朝霧川

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.6 カメラによる波浪状況確認調査

1.6 カメラによる波浪状況確認調査

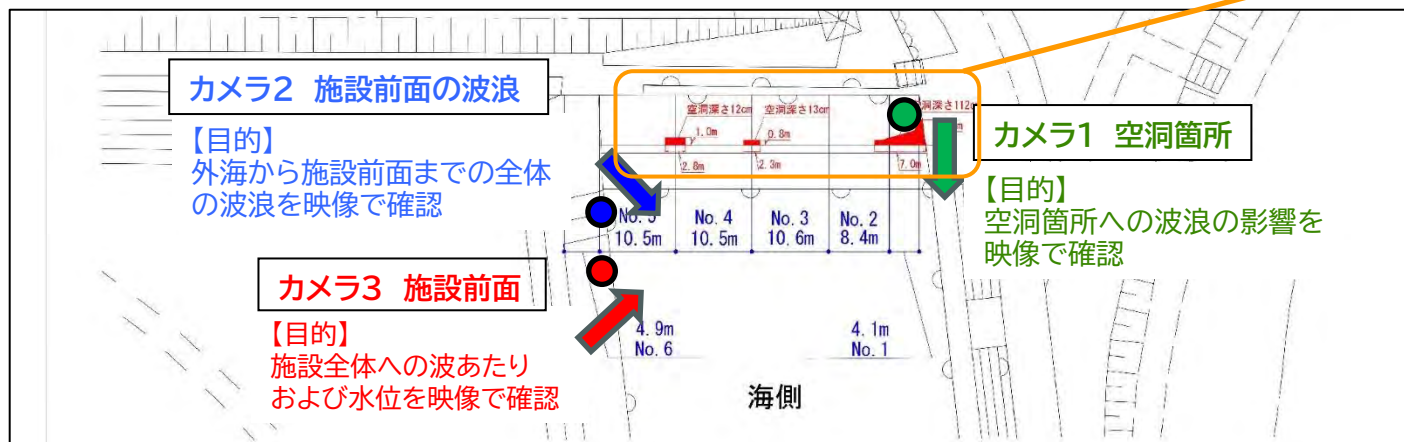
1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.6 カメラによる波浪状況確認調査

□ 調査概要

● 調査目的

カメラを現地に設置し、西垂水舞子海岸 ケーソン背面に打ち上がる波浪の状況を確認することを目的にカメラを設置し、撮影を行った。



● カメラ映像例



カメラ1 空洞箇所



カメラ2 施設前面の波浪

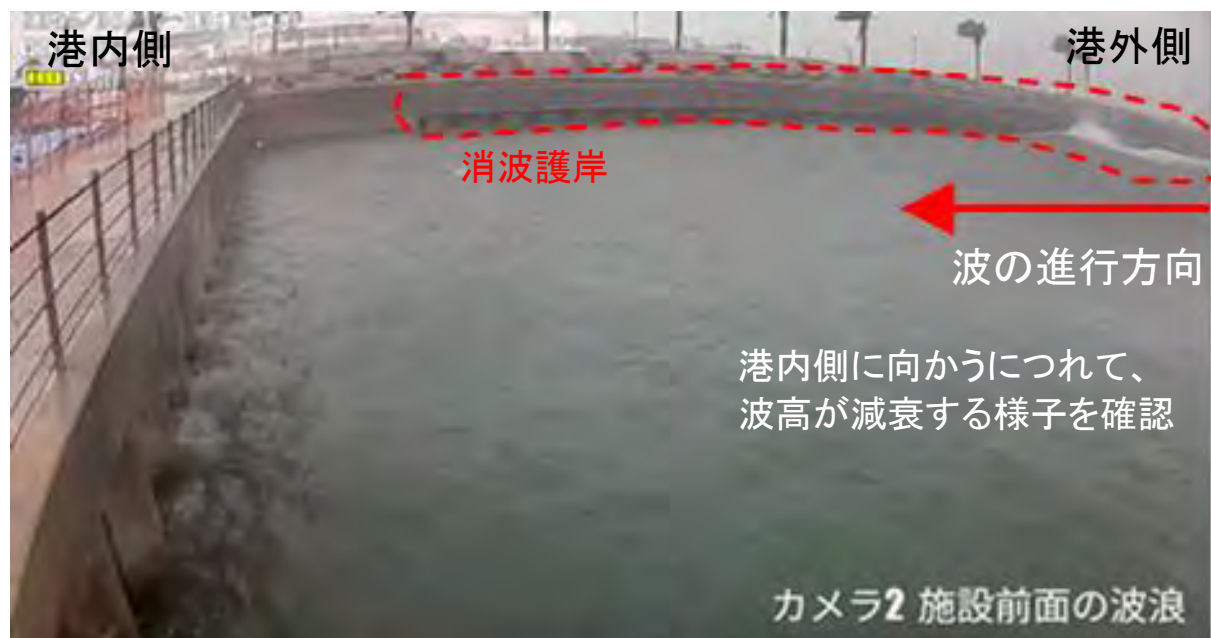


カメラ3 施設前面

1.6 カメラによる波浪状況確認調査

□ 結果概要

- 調査期間(台風期:令和7年5月～11月)におけるケーソン背面への波の打ち上がり状況を記録したが、期待する規模の高波は発生しなかった。
- 東側の消波護岸における、沿い波の波高減衰を確認できた。
(後述する波浪変形計算結果と同様の傾向)



カメラによる防波護岸1付近の波浪状況確認

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.7 波浪変形計算

1.7 波浪変形計算

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.7 波浪変形計算

～検討の背景～

●第1回委員会にて、次の委員意見を受けた。

✓ケーソン構造の違いに起因する空洞発生以外に、他の要因として波あたりの違いが影響していないか、確認した方がよい。

✓西垂水舞子海岸防波護岸1の東部は、共振・重複波の影響も考えられるため、波の作用を確認した方がよい。

⇒ 波浪変形計算にて波あたりの違いや共振・重複波の作用が影響しているかを確認した。

波あたりの違いの検討

異型函の箇所でも空洞を確認

⇒波浪推算モデル(SWAN)にて、
波あたりの違いの有無について確認



共振・重複波の影響確認

防波護岸1の東部(最も空洞が大きい箇所)

⇒ブシネスクモデルにて、**共振・重複波による
沖波変形の有無**について確認



1. 現地調査及び検討で確認できたこと

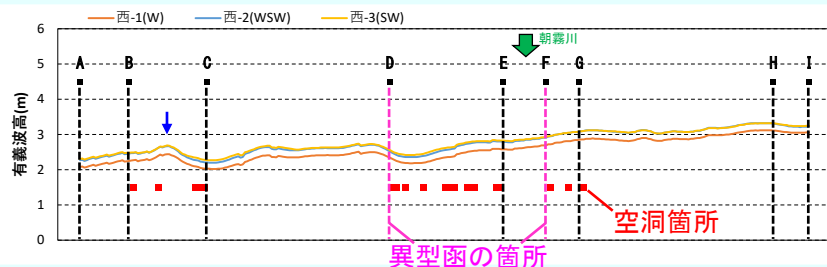
1.7 波浪変形計算

□ 波浪変形計算の結果概要

- 波あたりの違いの検討では、波の屈折による収斂で波高が高まる箇所がみられたが、異型函箇所(点D、点F)や空洞箇所の波高は、周辺と比べ特段高い傾向はみられなかったことを確認
- 共振・重複波の影響確認では、防波護岸1の東部(点d)は周囲より波高が高まる傾向だが、防砂板損傷箇所(点d)のみでの共振・重複波による顕著な沖波変形は確認されなかったことを確認

波あたりの違いの検討

● 波浪変形計算結果(波高抽出ラインにおける波高分布)

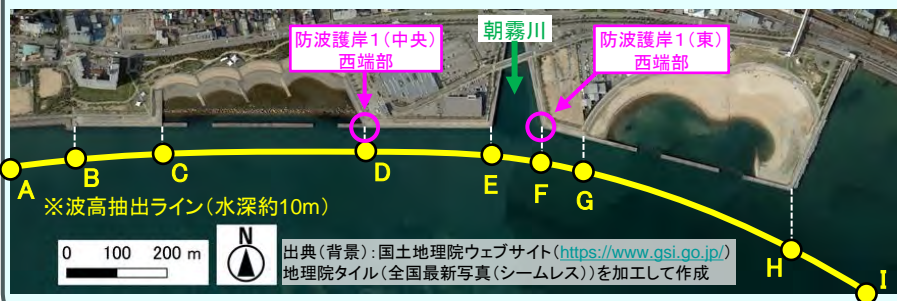


※1: 代表的なケースを表示(風速25m/s、風向W~SW)

※2: A~Iは、下図と対応

※3: R6d調査にて、深さ10cm以上の空洞が発生している箇所を■で表示

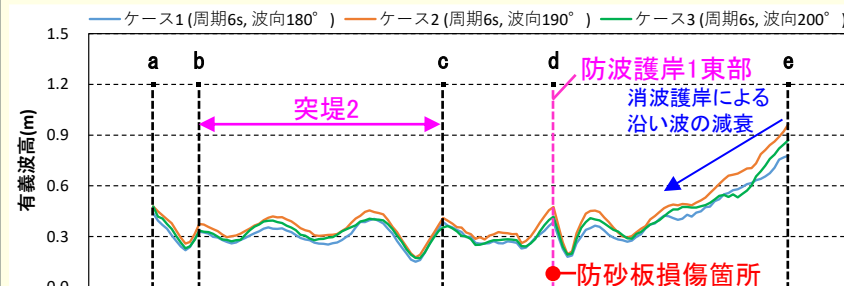
※4: 波の屈折による収斂箇所を↓にて表示



出典(背景): 国土地理院ウェブサイト(<https://www.gsi.go.jp/>)
地理院タイル(全国最新写真(シームレス))を加工して作成

共振・重複波の影響確認

● 波浪変形計算結果(波高抽出ラインにおける波高分布)



※1: 代表的なケースを表示(周期6s、風向180~200°)

※2: a~eは、左図と対応



出典(背景): 国土地理院ウェブサイト(<https://www.gsi.go.jp/>)
地理院タイル(全国最新写真(シームレス))を加工して作成

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.7 波浪変形計算

□ 波浪変形計算結果のまとめ

～検討結果のまとめ(第3回委員会資料より)～

- 西系の波浪、東系の波浪ともに、波の屈折による収斂で局所的に波高が高まる箇所がみられるが、空洞確認箇所の波高が周辺と比べ特段高くなるような傾向は確認できなかった。
- 防波護岸1において、共振・重複波による沖波変形の影響を確認した。
その結果、周期が短い6sのケースでは、防砂板損傷箇所である隅角部周辺において、反射の影響による波高の高まりを確認した。しかし、その他の周期のケースでは、隅角部周辺以外に突堤2でも波高が高まっていることを確認した。
(防砂板損傷箇所のみでの顕著な沖波変形は、確認できなかった)

⇒ 防波護岸1の隅角部で、波高の高まりがみられるためケーソン敷設時には目地間隔が規定値より大きくならないような注意を払う必要があるものの、空洞の発生の要因として、波あたりの影響が支配的とは考え難く、現在の構造物を補修する方向で問題ないと考えられる。

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.8 現地調査全体の総括

1.8 現地調査全体の総括

1. 現地調査及び検討で確認できたこと

1.8 現地調査全体の総括

項目	総括
ケーソン目地幅 調査結果	<ul style="list-style-type: none"> ● 西垂水舞子海岸、大蔵海岸では、目地幅は概ね100mm以下であることを確認。 ● 施設端部や隅角部において、目地幅が大きい箇所を確認（目地幅が200mm以上を2箇所確認）。 ● なお、大蔵海岸では、H22やH31から目地幅に大きな変化がないことを確認。
レーダー 探査結果	<ul style="list-style-type: none"> ● 空洞範囲は、概ね目地部付近に分布する傾向を確認。 ● 西垂水舞子海岸では、波返工前面にも縦断方向に連続する空洞を確認。 ● 大蔵海岸のH22補修箇所では、目地部からの吸い出しによる再空洞化（空洞規模の進行）は発生していないことを確認。 <p>※ ケーソン背後にコンクリート床版ではなく波返工が隣接する施設及びブロック構造の施設については、本調査における類似構造を有する施設はでないと判断した（西垂水舞子海岸防波護岸SP26より西側等）。</p>
レーダー探査 の精度検証	<ul style="list-style-type: none"> ● 空洞確認箇所において開削調査・測量を実施し、レーダー探査で空洞の見逃しが無いことを確認。 ● 当海岸において、レーダー探査が空洞の有無を確認する有効な調査であることを確認。
開削目視 調査	<ul style="list-style-type: none"> ● 防砂板の損傷がみられた目地では、裏込石が流出する大きな空洞を確認。 ● 防砂板の損傷はないが、防砂板上端とケーソン上部工に隙間がある目地では、比較的小さな空洞を確認。 ● 西垂水舞子海岸では基礎碎石の厚みは20cm程度、大蔵海岸では土砂層が60cm程度であることを確認。 ● 波返工前面にて、基礎碎石や土砂の下部流出による空洞を確認。 ● 大蔵海岸では、目地補修箇所に隣接した空洞※を確認。 ※目地とは繋がっていない空洞
粒度調査	<ul style="list-style-type: none"> ● 裏込石の粒径（中央値）は、西垂水舞子海岸で概ね30cm以上、大蔵海岸で概ね10cm程度であることを確認。 ● 基礎碎石の粒径分布は0.1mm～20mm程度であること、上層と下層の2層で構成された箇所もあることを確認。
カメラ調査	<ul style="list-style-type: none"> ● 調査期間中、ケーソン背面への海水の打ち上げは確認されなかった。 ● 上記の期間、神戸港では有義波高が0.2～0.3mの期間が多く、最大の有義波高は1.84m(5/17 11:40)であった。
波浪変形計算	<ul style="list-style-type: none"> ● 波あたりの違いの検討、共振・重複波の影響確認の結果、空洞の発生の要因として、波あたりの影響が支配的とは考え難く、現在の構造物を補修する方向で問題ないと考察。

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

内 容

2.1 空洞の発生要因

2.2 空洞深さと目地幅の関連性

2.3 今回調査で分かった施工及び対策工実施にあたっての留意点

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2.1 空洞の発生要因

2.1 空洞の発生要因

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2.1 空洞の発生要因

□ 空洞規模の分類

【現地調査での確認事項】目地部で発生した空洞において、防砂板の損傷がみられた箇所では裏込石流出を伴う大きな空洞が確認された。また、防砂板の損傷はみられないが、防砂板の上端とケーソン上部工に隙間がある箇所では比較的小さな空洞が確認された。波返工前面で発生した空洞において、基礎碎石および土砂の下部流出もしくは局所的な発生が確認された。

- ・事例及び背後土砂も踏まえて、基礎碎石に加えて裏込石の流出が確認された空洞(空洞深さ 20cm以上)を「**空洞規模が大きい事例**」とし、裏込石の流出に至っていない事例は「**空洞規模が小さい事例**」と分類する。
- ・波返工前面の空洞は「空洞規模が小さい事例」と分類する。

□ 空洞発生・規模拡大の推定過程(目地部の空洞)

推定される空洞発生・規模拡大の過程

防砂板の上端とケーソン上部工に存在する隙間から土砂(碎石)が流出する等して小さな空洞が発生
 ↓
 台風等の高潮を伴う波浪外力の影響で防砂板が損傷(留め金具の腐食等も影響)
 ↓
 目地幅よりも小さな粒径の裏込石が目地部から流出
 ↓
 裏込石流出の進行に伴って、基礎碎石及び土砂層も流出し、空洞規模拡大



防砂板上端とケーソン上部工の隙間



目地部からの裏込石流出状況

□ 空洞発生・規模拡大の推定過程(波返工前面の空洞)

推定される空洞規模拡大の過程

波返工と床版の隙間(目地等)より雨水・越波水が進入
 ↓
 基礎碎石が下部の裏込石へ流出(防砂シートが機能していない場合)
 ↓
 基礎碎石の層厚に相当する空洞が発生
 ※波返工の構造物近傍の施工時転圧不足等による局所的な基礎碎石(土砂層)の沈下も推定。



基礎碎石及び土砂層の流出状況

裏付事例

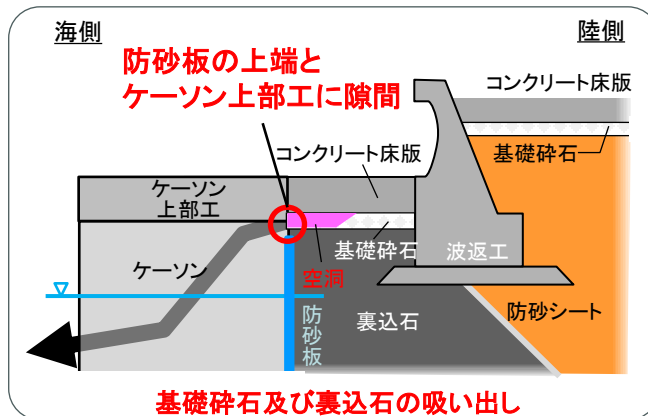
- 事例1-1 西垂水舞子海岸防波護岸1 No.1 防砂板の損傷等が確認
- 事例1-2 大蔵海岸防波護岸1(東)目地No.6 防砂板の留め金具の劣化・破損及び防砂板のめくれが確認
- 事例1-3 大蔵海岸防波護岸1(東)目地No.9 防砂板は直接確認できないが、目地部への裏込石流出状況を確認(損傷を推定)
- 事例1-4 大蔵海岸防波護岸1(中央)目地No.11 防砂板の留め金具の劣化・破損及び防砂板のめくれが確認

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

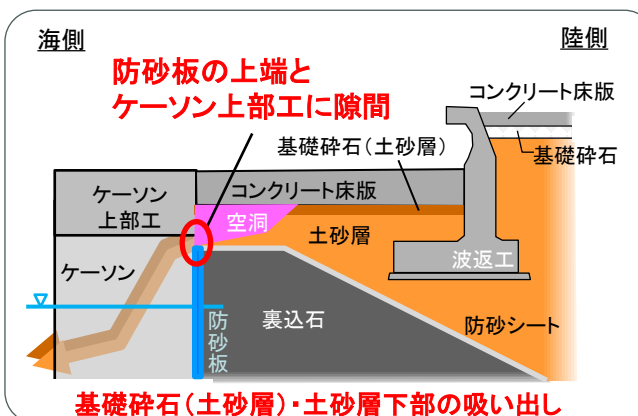
2.1 空洞の発生要因

□ 空洞の発生要因（目地部で発生した空洞）

- ・ 防砂板の損傷はみられないが、防砂板の上端とケーソン上部工に隙間がある
→ 基礎碎石（大蔵海岸では土砂層下部）が吸い出されたことを推定

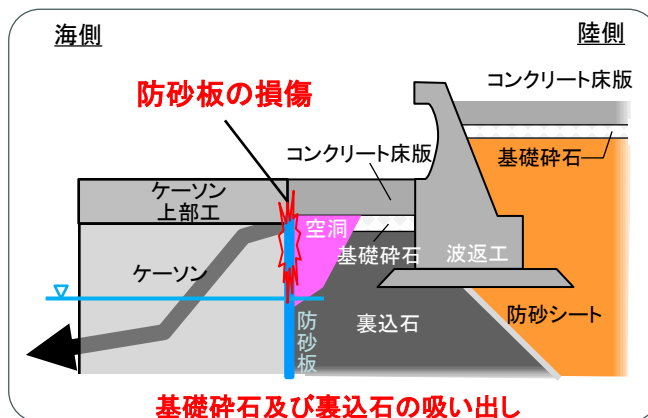


西垂水舞子海岸

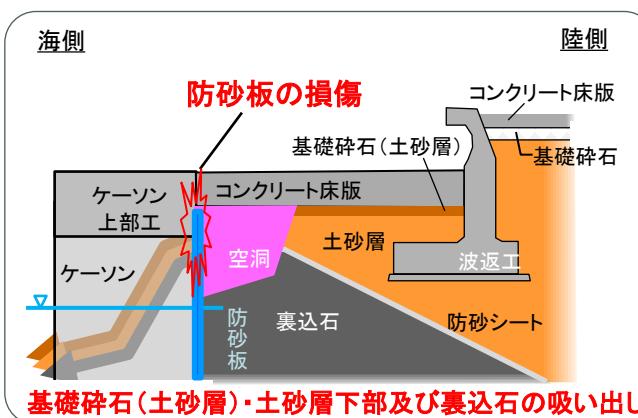


大蔵海岸

- ・ 防砂板の損傷がみられる → 基礎碎石（大蔵海岸では土砂層も含む）及び裏込石の吸い出しを推定



西垂水舞子海岸



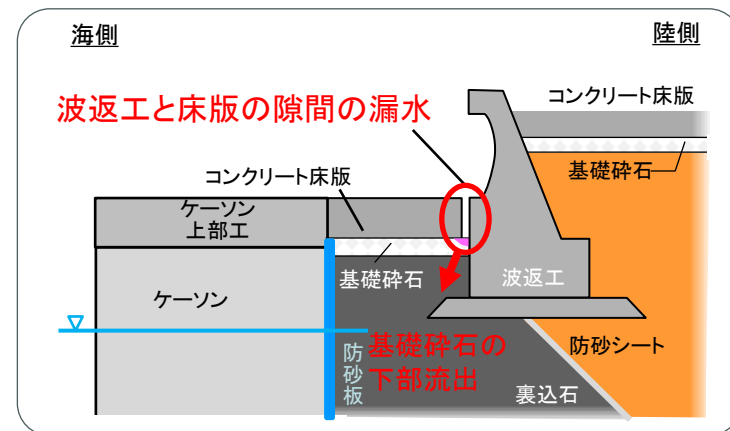
大蔵海岸

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2.1 空洞の発生要因

□空洞の発生要因（波返工前面で発生した空洞）

- ・ 波返工前面に空洞がみられる
比較的浅い空洞が帯状に分布する傾向が確認された
→ 波返工と床版の隙間から漏水（越波や雨水の浸入）の可能性
→ 基礎碎石が下部の裏込石空隙部へ流出したものと推定



西垂水舞子海岸

□空洞の発生要因（その他）

- ・ 補修済箇所周辺で空洞がみられる（目地部から隔離された局所的な空洞）
→ 補修後に生じた空洞ではなく、補修範囲対象外となった部分において補修残となった部分で、進行性はないものと判断できた

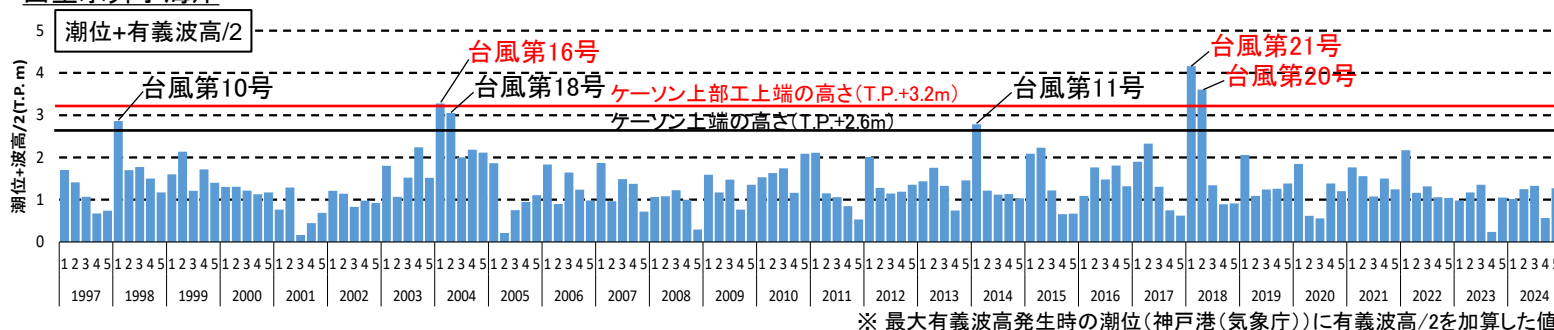
2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2.1 空洞の発生要因

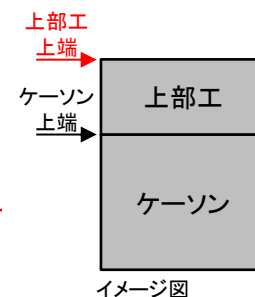
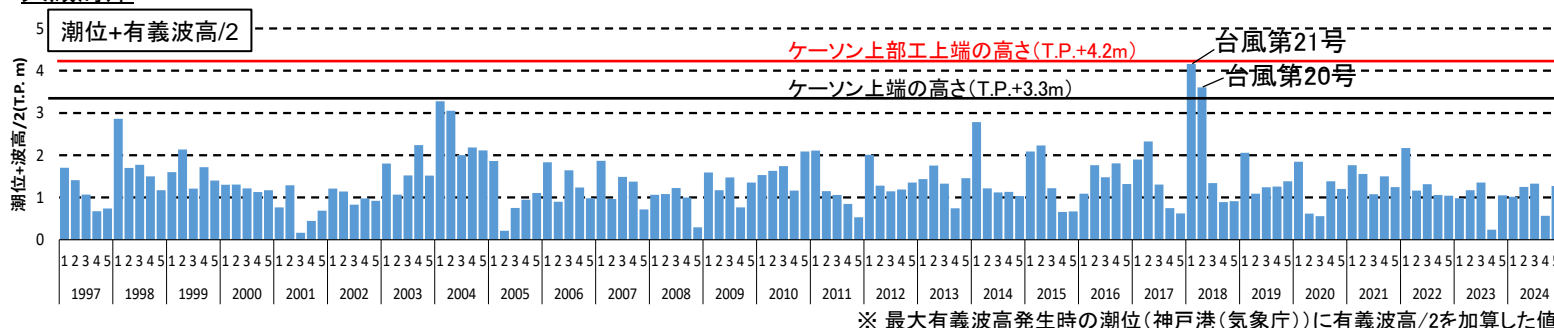
□ 空洞が発生・拡大した外力の推定

- 空洞の拡大は、高波浪や越波により顕著になると推定される。
- このため、大蔵海岸及び西垂水舞子海岸が整備された1997年以降について、高波浪となる外力を整理。
- 西垂水舞子海岸では、「潮位＋有義波高/2」がケーソン函体上端を超えるものが6回(4ヶ年)発生。
(1998年台風第10号、2004年台風第16号・第18号、2014年台風第11号、2018年台風第21号・第20号)
- 大蔵海岸では、「潮位＋有義波高/2」がケーソン函体上端を超えたものは、2回発生(2018年台風第21号・第20号)
- 上記擾乱にて、高波浪や越波により、防砂板の損傷や空洞発生・拡大が顕著になったと推定。
- 2018年台風第20号ではケーソン上部工上端を超えて打ち上がっており、経年により目地板上端隙間等から小さな空洞が発生していた箇所空洞進行が拡大した可能性。

西垂水舞子海岸



大蔵海岸



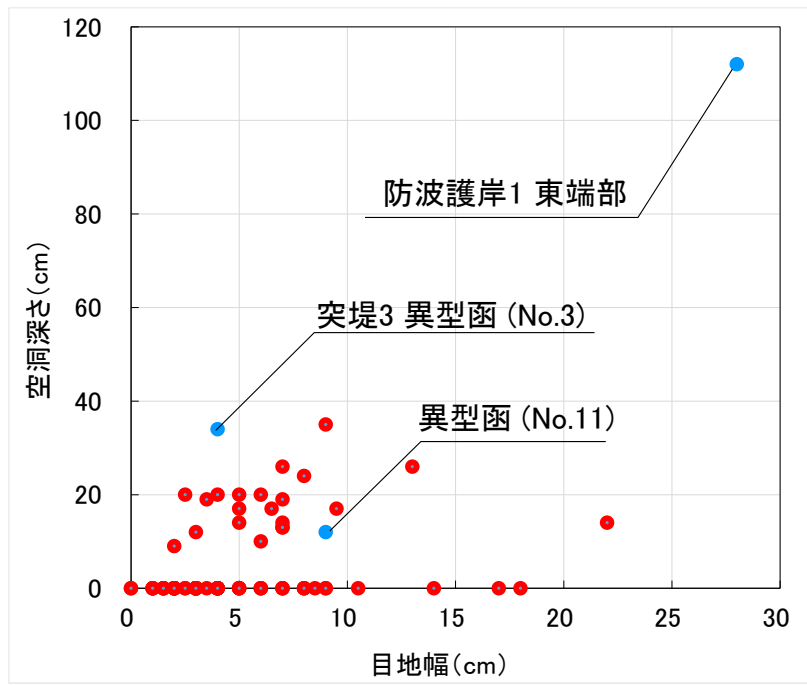
2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2.2 空洞深さと目地幅の関連性

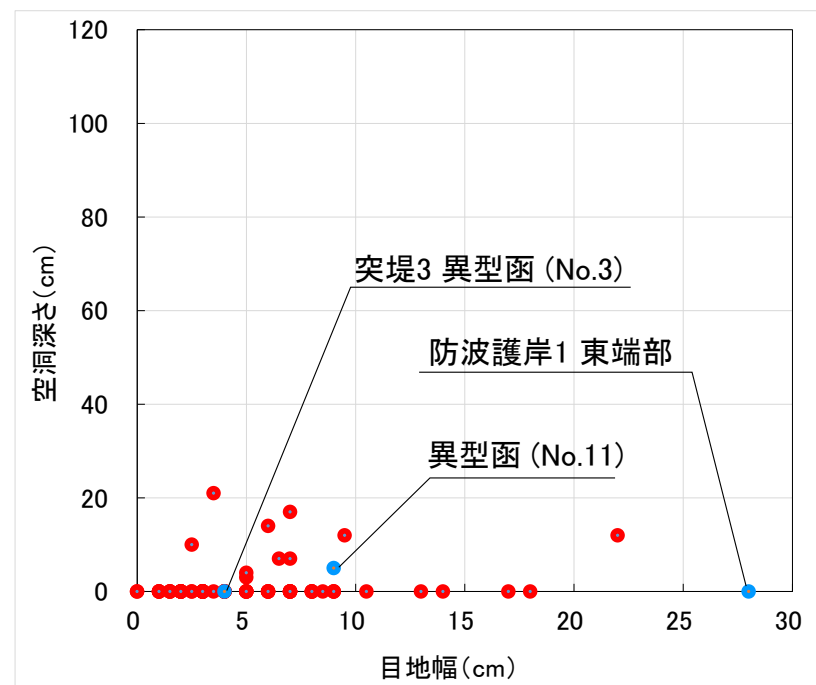
2.2 空洞深さと目地幅の関連性

2.2 空洞深さと目地幅の関連性

□ 空洞深さとケーソン目地幅との関連性（西垂水舞子海岸）



空洞深さと目地幅の関係（目地側）



空洞深さと目地幅の関係（波返工前面側）

		目地幅(cm)				
		0～5未満	5～10未満	10～15未満	15～20未満	20以上
空洞深さ (cm)	0～5未満	45	16	2	2	0
	5～10未満	1	0	0	0	0
	10～15未満	1	6	0	0	1
	15～20未満	1	4	0	0	0
	20以上	4	5	1	0	1

		目地幅(cm)				
		0～5未満	5～10未満	10～15未満	15～20未満	20以上
空洞深さ (cm)	0～5未満	36	7	3	2	0
	5～10未満	8	2	0	0	0
	10～15未満	1	1	0	0	0
	15～20未満	4	0	0	1	0
	20以上	1	5	4	0	0

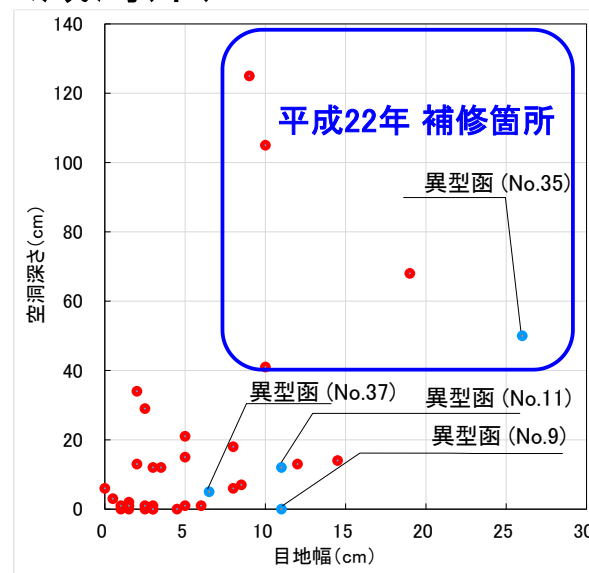
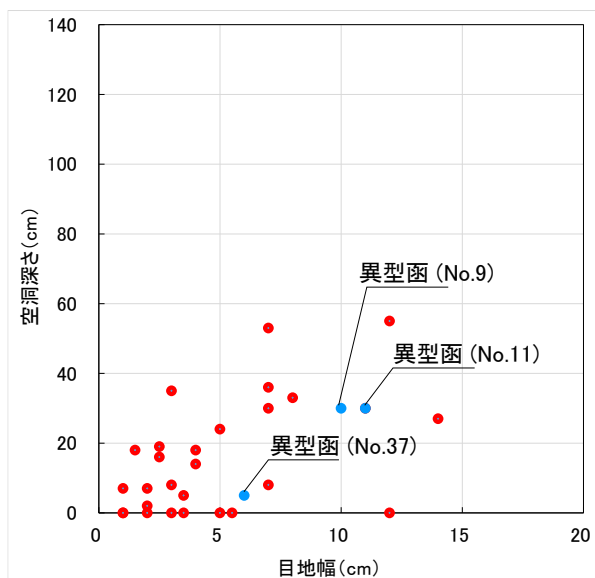
※表中の値が大きいほど濃い赤色で示す。

西垂水舞子海岸における空洞規模と目地幅の関係性は、「目地付近」及び「波返工前面付近」ともにほとんど見られないことが確認された。
ケーソン目地幅が広い隅角部や端部等では、設計及び施工時に背後土砂の流出対策等の配慮が特に必要であることが示唆される。

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2.2 空洞深さと目地幅の関連性

□ 空洞深さとケーソン目地幅との関連性（大蔵海岸）



※No.53(平成22年補修済箇所・異型函) 目地幅9.0cm、空洞深さ230cmを除く

空洞深さと目地幅の関係（令和6年-令和7年）

空洞深さと目地幅の関係（平成22年）

令和6年-令和7年 計測結果

		目地幅(cm)				
		0~5未満	5~10未満	10~15未満	15~20未満	20以上
空洞深さ (cm)	0~5未満	50	25	3	2	1
	5~10未満	0	3	0	0	0
	10~15未満	1	2	0	0	1
	15~20未満	0	1	0	0	0
	20以上	1	0	0	0	0

※表中の値が大きいほど濃い赤色で示す。

平成22年 計測結果

		目地幅(cm)				
		0~5未満	5~10未満	10~15未満	15~20未満	20以上
空洞深さ (cm)	0~5未満	51	2	1	0	0
	5~10未満	1	3	0	0	0
	10~15未満	3	0	3	0	0
	15~20未満	0	2	0	0	0
	20以上	2	3	2	1	1

大蔵海岸における空洞規模と目地幅の関係性は、一定の相関は見られるが、目地幅が5cm程度と比較的小さい場合でも40cm程度の空洞深さが確認されており、空洞規模を拡大させる要素として目地幅以外の要素があることが示唆される。

→ 目地幅によらず空洞が発生する可能性がある。

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2.3 今回調査で分かった施工及び対策工実施にあたっての留意点

2.3 今回調査で分かった施工及び対策工実施にあたっての留意点

2. これまでの調査内容等から推定される空洞要因

2.3 今回調査で分かった施工及び対策工実施にあたっての留意点

□ 現地調査で分かった施工及び対策工実施にあたっての留意点

【施工に関する情報の記録及び保管】

施工時もしくは対策工実施時のケーソン目地幅や、裏込材(裏込石・基礎碎石・土砂)粒径や鉛直分布等の材料品質や施工状況の情報について記録し保管することが重要である。

【裏込石上端の施工高】

裏込石の天端高が、ケーソン函体天端高よりも低い位置にあると、基礎碎石及び土砂層がケーソン目地から流出しやすい位置関係となるため、裏込石の天端はケーソン函体天端よりも同じ高さか、より高い位置とするべきである。裏込石施工時に位置関係を確認することが重要である。

【隅角部及び施設端部等の目地幅】

ケーソン目地が広くなりやすい隅角部及び施設端部等では、防砂板の構造及び裏込材の粒径について、吸い出しが起きにくい施工上の配慮が必要である。

【防砂板上端の施工高さ】

防砂板の施工にあたってはケーソン函体の上端部と同じ高さまで設置し、余長があればケーソン上部工下端の海側方向まで施工するとよい。

【防砂板留め具の材質】

防砂板留め具は、腐食による機能低下が起きにくいステンレス鋼材を使用することが望ましい。

3. 対策工の提案

内 容

- 3.1 対策範囲の考え方
- 3.2 目地部で発生した空洞に対する対策工案
- 3.3 波返工前面で発生した空洞に対する対策工案
- 3.4 水圧式波高計観測
- 3.5 対策工法の適用案

3. 対策工の提案

3.1 対策範囲の考え方

3.1 対策範囲の考え方

3. 対策工の提案

3.1 対策範囲の考え方

本体工がケーソン構造で、背後にコンクリート床版が存在する区間について、現状の調査結果と推定された要因から以下の対策工を検討する

1. 目地で発生した空洞

● 目地幅に応じて、ケーソン目地に目地板を挿入（防砂板兼用）

目地幅によらず空洞が発生することが確認されており、
床版部で空洞の発生可能性が考えられる区間の全目地部を補修対象とする。

対策工法1（目地幅200mm以上に適用） 西垂水舞子海岸2箇所想定

吸い出し・空洞発生を抑止するケーソン目地透過波低減法

対策工法2（目地幅75mm以上200mm未満に適用） 西垂水舞子海岸9箇所、大蔵海岸14箇所想定（※）

円筒状差込式ゴム製シール目地材（※ 施工時に目地幅が75mmを下回ると確認された場合は対策工3に変更）

対策工法3（目地幅75mm未満に適用） 西垂水舞子海岸24箇所、大蔵海岸57箇所想定

ケーソン前面取付用吸い出し防止材

● 現時点でケーソン目地付近で空洞が確認された箇所において、土砂・碎石層の置換えを実施

● 土砂層置換え箇所において、防砂板がケーソン上部工に接していない場合は金属板またはゴム板を設置し、不足する防砂板機能を回復する

2. 波返工前面で発生した空洞

基礎碎石が裏込石へ流出することの再発防止のために粒径の大きな碎石等で充填する。

3. 対策工の提案

3.2 目地部で発生した空洞に対する対策工案

3.2 目地部で発生した空洞に対する対策工案

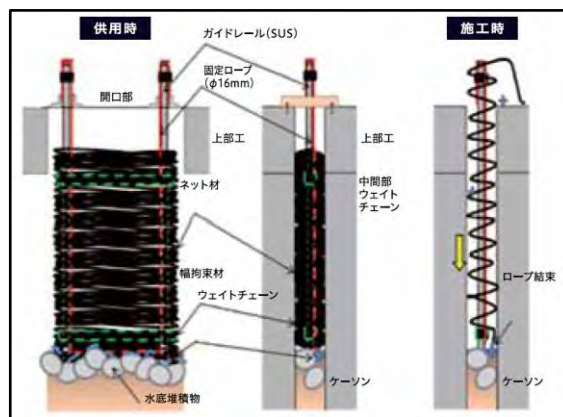
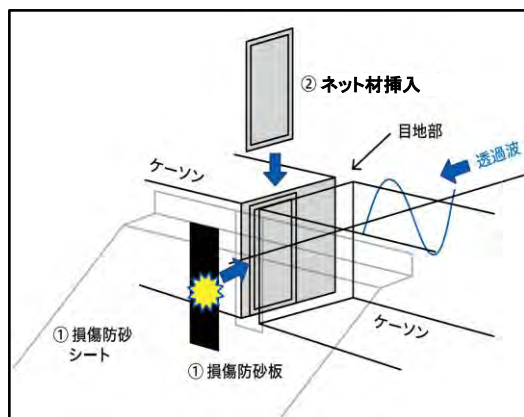
3. 対策工の提案

3.2 目地部で発生した空洞に対する対策工案

□ ケーソン目地に追加目地板を挿入(防砂板兼用)

● 対策工法1 吸い出し・空洞発生を抑止するケーソン目地透過波低減法

(目地幅200mm以上に適用)



ケーソン目地透過波低減法の概念図及び設置例



ケーソン目地透過波低減法の施工例

出典 港湾空洞技術研究所資料 No.1393 December 2021 吸い出し・陥没抑止に向けたケーソン目地透過波低減法 佐々真志、石坂修 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

技術的特徴

- ・ケーソン間目地部に設置することで、透過波を約80%減衰できる。
- ・外力を減衰することで構造物としての長寿命化が図れ、空洞発生リスクの抑制が可能
- ・地震や高波によるケーソン隙間の変化に対しても、目地部全体で追従し機能を維持することが可能。

3. 対策工の提案

3.2 目地部で発生した空洞に対する対策工案

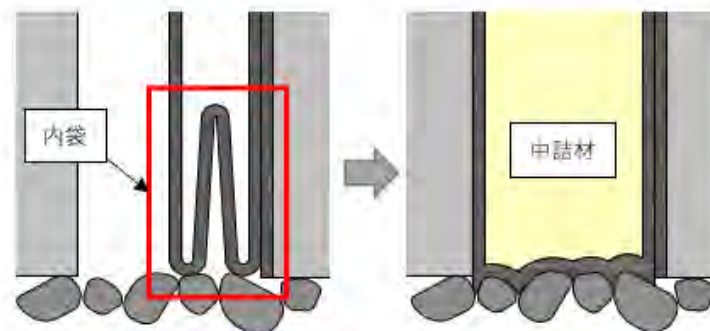
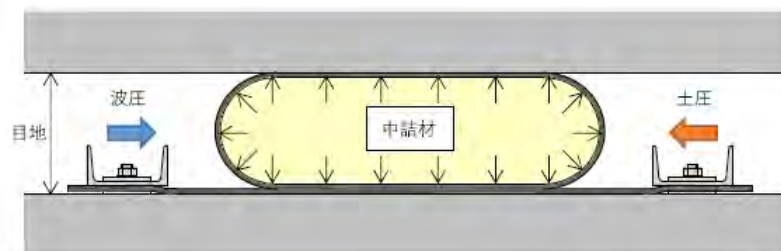
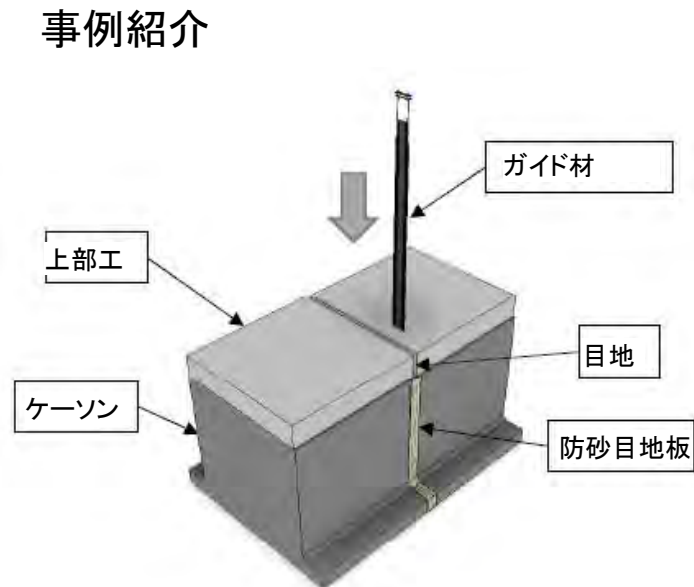
□ ケーソン目地に追加目地板を挿入(防砂板兼用)

● 対策工法2 円筒状差し込み式ゴム製シール目地材 (目地幅75mm以上200mm未満に適用)

(※ 施工時、目地幅が75mmを下回る場合は対策工3に変更可能性あり)

中詰材は破損しても機能確保できるようにモルタルとする。

事例紹介



技術的特徴

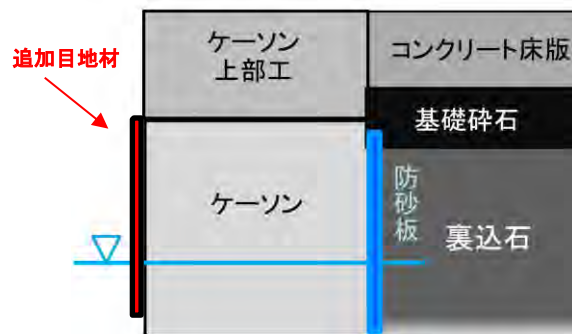
- 既設の護岸において、ケーソン天端から目地間へ挿入し、ケーソン壁面に取付けた円筒状差し込み式ゴム製シール目地材に、中詰材(今回はモルタル等)を充填し円筒部を拡張することで、対面する2つのケーソンの目地間をシールし、吸出しを防止。

3. 対策工の提案

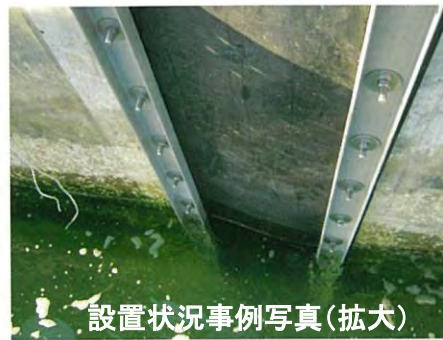
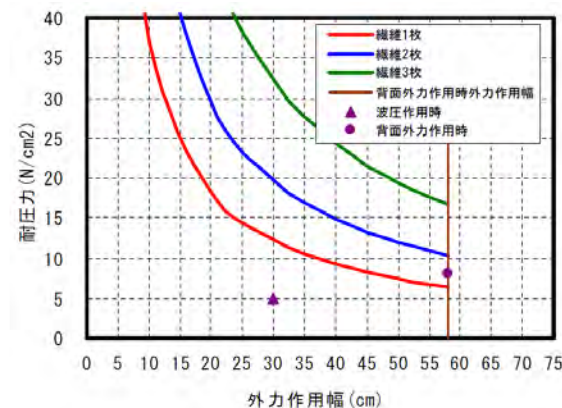
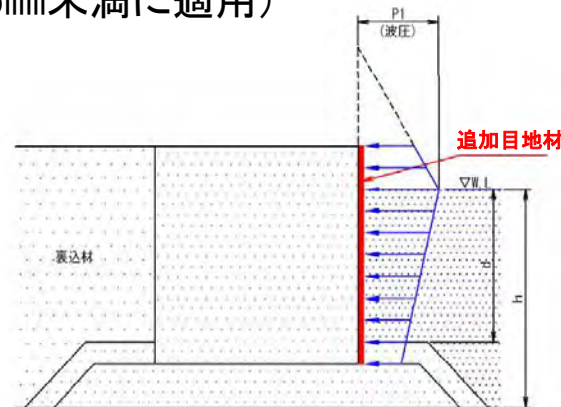
3.2 目地部で発生した空洞に対する対策工案

□ ケーソン目地に追加目地材を挿入(防砂板兼用)

● 対策工法3 ケーソン前面取付用吸い出し防止材 (目地幅75mm未満に適用)



【構造物の前面に取り付ける場合】



技術的特徴

- ・ 構造物の天端から底部の目地部を保護することが可能。
- ・ ゴムの中に繊維を埋設した構造で、作用する外力(波圧等)に対して、設計により埋設繊維数を増減(強度調整)させ、現場条件に合わせて最適な仕様にする事が可能。
- ・ 本体の厚さが20mmあるため、シート構造の目地材に比べて波浪に対する安定性に優れる。
- ・ 耐久性に優れるゴム配合であるため紫外線やオゾンに対して長期間の耐久性を有する。

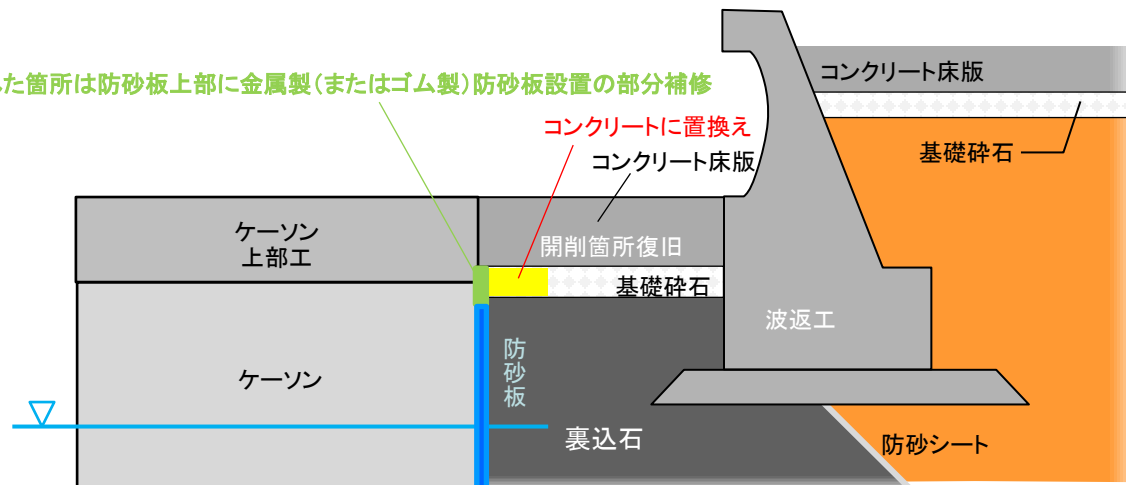
3. 対策工の提案

3.2 目地部で発生した空洞に対する対策工案

□土砂層の置換えを実施(西垂水舞子海岸)

置換え範囲について、目地部を中心に横断方向に1m程度、縦断方向に2m程度の範囲とする。
深さ方向は、西垂水舞子海岸については床版下面部の基礎碎石の層厚程度とする。

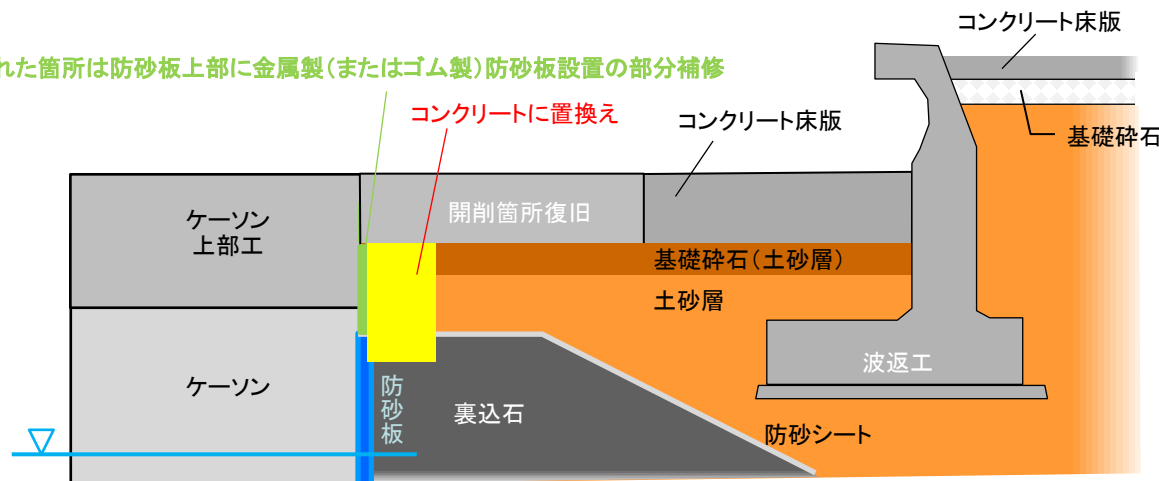
防砂板の高さ不足が確認された箇所は防砂板上部に金属製(またはゴム製)防砂板設置の部分補修



□土砂層の置換えを実施(大蔵海岸)

置換え範囲の水平方向は西垂水舞子海岸と同程度とするが、深さ方向は、床版下面部の土砂層厚に加えて裏込石上部を含む範囲とする。

防砂板の高さ不足が確認された箇所は防砂板上部に金属製(またはゴム製)防砂板設置の部分補修



3. 対策工の提案

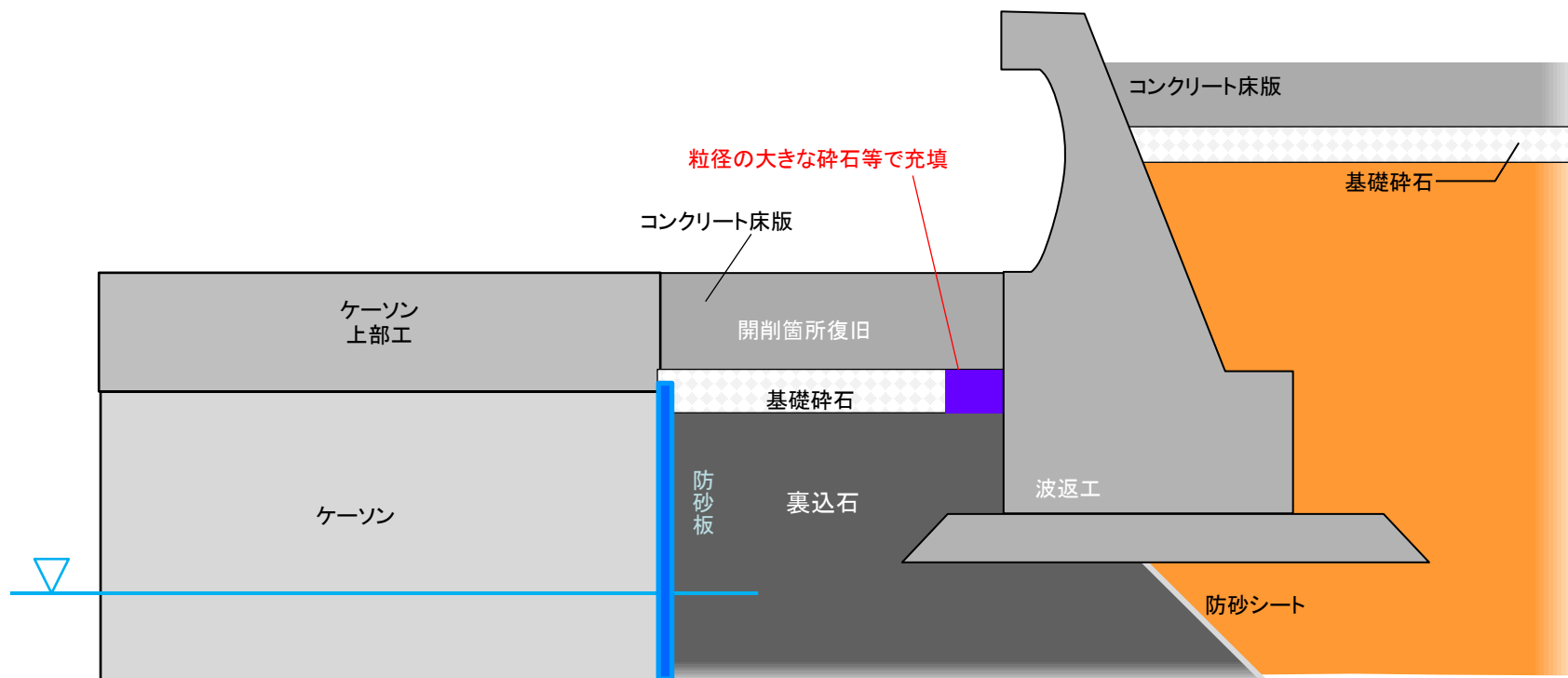
3.3 波返工前面で発生した空洞に対する対策工案

3.3 波返工前面で発生した空洞に対する対策工案

3. 対策工の提案

3.3 波返工前面で発生した空洞に対する対策工案

□ 土砂層の置換えを実施（西垂水舞子海岸）



基礎碎石が裏込石へ流出することの再発防止のために粒径の大きな碎石等で充填する。

3. 対策工の提案

3.4 水圧式波高計観測

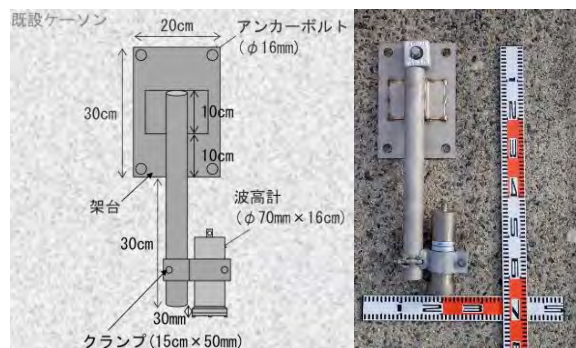
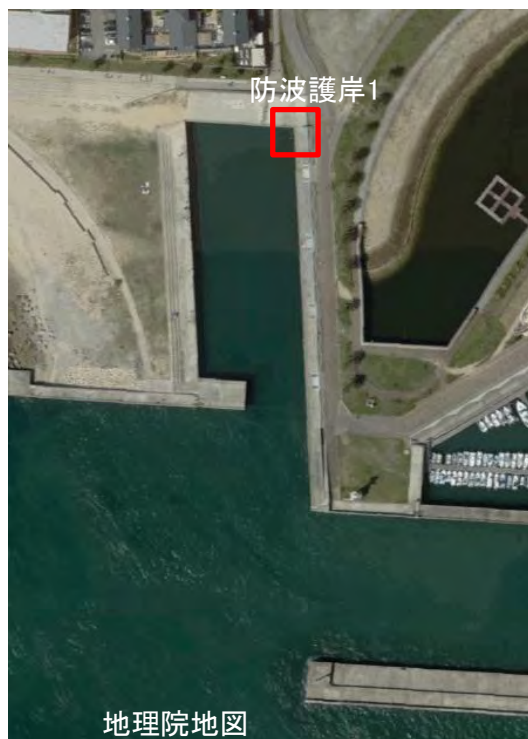
3.4 水圧式波高計観測

3. 対策工の提案

3.4 水圧式波高計観測

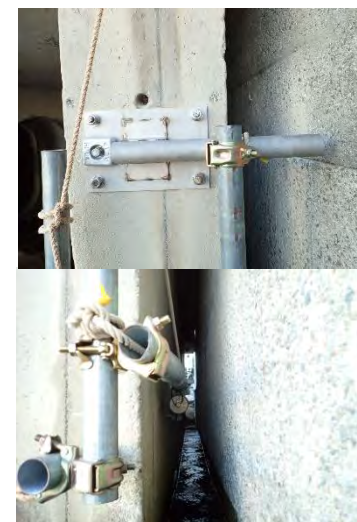
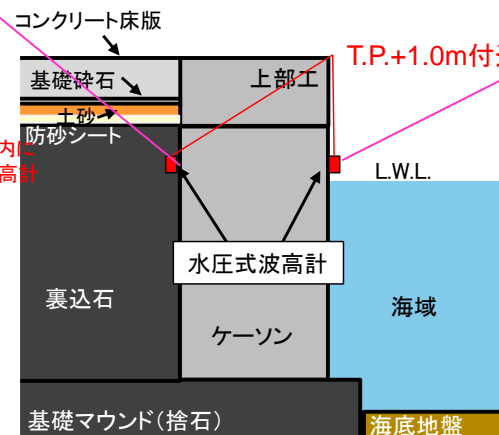
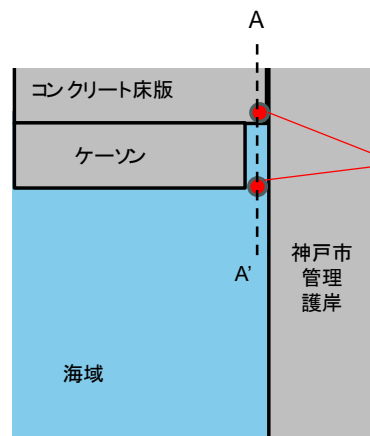
□水圧式波高計の設置

- ケーソン目地部における対策工の効果を確認するため、最も目地幅が大きかった西垂水舞子海岸の防波護岸1において、水圧式波高計(記録間隔0.1秒)を設置
- ケーソン前面海域と陸側に設置、前後水圧を比較することで効果を検証
- 海側は12月4日に設置完了



陸側設置準備中

断面図(A-A'、目地部)



海側設置完了

図1 位置図 (防波護岸1)

図2 波高計設置位置イメージ

3. 対策工の提案

3.5 対策工法の適用案

3.5 対策工法の適用案

3. 対策工の提案

3.5 対策工法の適用案 西垂水舞子海岸



施設名			取付護岸				突堤3				防波護岸1											
スパンNo.			隣接施設	2	1	隣接施設	隣接施設	3	2	1	隣接施設	隣接施設	5	4	3	2	1	隣接施設				
空洞有無	陸側	無		有	無			無	無	無			無	無	無	無	有		有	※	有	有
	ケーソン側	有		有	有			無	無	有			無	無	有	有	※		有	有		
目地部対策（数値は目地幅を示す）			-	70	70	-	40	70	140	-	30	70	120	85	340							
コンクリート置換え			-	○	-	-	○	-	-	-	○	○	-	○	○							
波返工前対策			隣接施設	-	○	隣接施設	隣接施設	-	-	-	隣接施設	隣接施設	-	-	-	-	-	隣接施設				

- : ケーソン目地幅透過波軽減法
- : 円筒状差込目地施工
- : 前面取付目地施工

施設名		防波護岸2																											
スパンNo.		隣接施設	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	隣接方位	
空洞有無	陸側		無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	有	有	有	無	有	有	有	有	有	有	有	有	有		有
	ケーソン側		有	有	無	無	無	無	無	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有		有
目地部対策(数値は目地幅を示す)			※1 50	40	60	50	10	10	50	70	60	70	30	80	135	100	220	95	50	85	95	65	50	55	70	25	65		
コンクリート置換え			○	○	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	
波返工前対策			隣接施設	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	隣接

※ : ケーソンをまたぐ空洞箇所、隣接するスパンにおいて、より深い空洞箇所が確認されたため、該当スパンでは空洞深さを計測していないことを示す。
 ※1 : 写真による推定値。

3. 対策工の提案

3.5 対策工法の適用案 大蔵海岸



施設名		防波護岸1(中央)						防波護岸1(東)												
スパンNo.		16	15	14	13	12	11	隣接施設	隣接施設	9	8	7	6	5	4	3	2	1	隣接施設	
空洞有無	陸側	無	無	無	無	無	無			無	無	無	無	無	無	無	無	無		無
	ケーソン側	※	無	無	無	無	有			※	有	無	※	有	有	無	有	有		
目地部対策(数値は目地幅を示す)		60	50	10	30	30	110	-	100	85	190	120	15	30	10	50	25			
コンクリート置換え		-	-	-	-	-	○	-	○	-	-	○	-	-	-	○	○			
波返工前面対策		-	-	-	-	-	-	隣接施設	隣接施設	-	-	-	-	-	-	-	-	-	隣接施設	

- : ケーソン目地幅透過波軽減法
- : 円筒状差込目地施工
- : 前面取付目地施工

施設名		取付護岸1(中央)										防波護岸1(中央)																							
スパンNo.		隣接施設	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	隣接施設	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16		
空洞有無	陸側		無	無	無	無	無	無	無	無	無	無		無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
	ケーソン側		無	無	無	無	無	無	無	無	無	無		無	※	有	有	※	有	無	無	※	有	無	無	有	有	有	有	※	有	有	有	※	
目地部対策(数値は目地幅を示す)		-	60	40	80	35	25	60	10	50	40	120	120	160	25	55	70	50	10	40	70	50	10	30	40	40	70	60	100	70	140	90			
コンクリート置換え		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	○	-	-	-	○	○	○	○	-	○	○	○			
波返工前面対策		隣接施設	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	隣接施設	隣接施設	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

施設名		防波護岸1(西)																		取付護岸1(西)												
スパンNo.		施設 端部	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	隣接 施設	隣接 施設	20	19	18	17	16	15	14	13	隣接 施設	
空洞有無	陸側		無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無			無	無	無	無	無	無	無	無		有
	ケーソン側		※	有	無	無	有	※	有	有	有	無	無	無	無	無	有	有	有	※			※	有	無	無	無	無	無	無		無
目地部対策(数値は目地幅を示す)			-	80	10	25	20	70	25	70	10	15	25	30	30	45	35	50	25	130	60	60	25	45	60	10	70	10	20	-		
コンクリート置換え			-	○	-	-	-	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-		
波返工前面対策		施設 端部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	隣接 施設	隣接 施設	-	-	-	-	-	-	-	○	隣接 施設	

※ : ケーソンをまたぐ空洞箇所、隣接するスパンにおいて、より深い空洞箇所が確認されたため、該当スパンでは空洞深さを計測していないことを示す。

4. モニタリングの提案

内 容

- 4.1 モニタリングの基本方針
（目的、方法、箇所数、位置、実施間隔）
- 4.2 対象箇所の選定

4. モニタリングの提案

4.1 モニタリングの基本方針

4.1 モニタリングの基本方針 (目的、方法、箇所数、位置、実施間隔)

4. モニタリングの提案

4.1 モニタリングの基本方針

●モニタリング目的

コンクリート床版下の空洞発生及び空洞の進行性を確認することを目的とする。

●モニタリング方法

- ・コンクリート床版に観測孔を設置し、**床版上端から観測孔内の基礎碎石天端まで深さを直接計測する。**
(空洞深さは、観測孔設置時に計測されている計測値と床版厚みの差から求める)
- ・日常点検として目視調査等により床版表面のクラック発生・進行状況などを把握し、異状と思われる場合は詳細調査を実施する。

●モニタリング箇所

観測孔の空洞深さ計測及び目視調査等は、
本体工がケーソン構造で、背後にコンクリート床版が存在する区間については全箇所を実施するが、ケーソン背後に隣接して波返工もしくは被覆石工が存在する区間は、背後土砂による空洞が発生しないため対象外とする。

●モニタリング位置

観測孔は、空洞を早期に発見することを優先し、**ケーソン目地のすぐ背後に設定する**(但し、コンクリート床版目地部は避ける)。
目視調査等については、コンクリート床版上面部の全面を対象とする。

●モニタリング頻度

観測孔の空洞深さ計測及び目視調査等は、
当面は1年に1回の実施を基本とし、台風等による高潮高波や強い地震が発生した場合は臨時に実施する。
※今後の波浪観測において、冬季波浪等影響が比較的軽微と考えられた場合は5年に1回の実施頻度とする

●その他

日常点検において床版表面のクラック状況に異状があると判断された場合は、必要範囲においてレーダー探査等による詳細調査を行う。ただし、技術開発等により他の調査方法が効率的になる場合は、レーダー探査に替えて行うことも可能とする。対象施設はケーソン本体工がブロック構造である区間を含めるものとする。

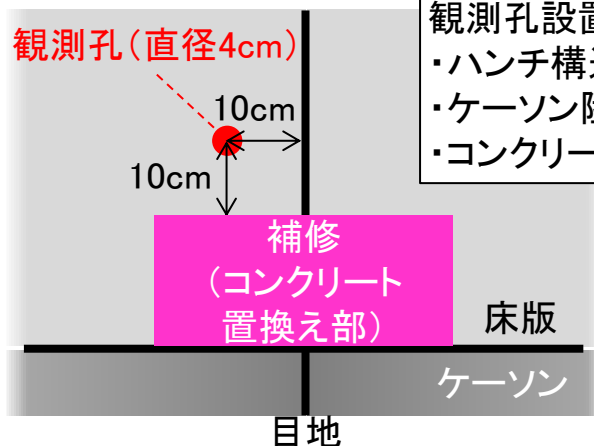
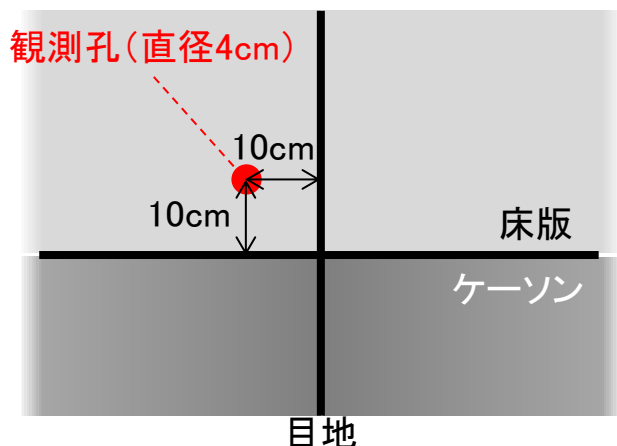
4. モニタリングの提案

4.1 モニタリングの基本方針

観測孔の設置位置について

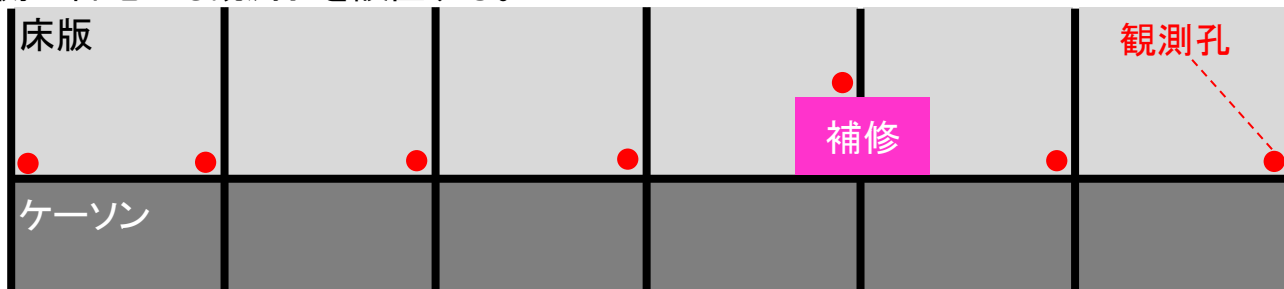
空洞を早期に発見することを優先し、目地のすぐ背後に設定することを基本とするが、ケーソン背後および目地からそれぞれ10cm控えた位置に観測孔を設置する。

なお、コンクリート置換えで補修した範囲は補修範囲および目地からそれぞれ10cm控えた位置に観測孔を設置する。観測孔は直径4cm～5cm程度のものを基本とし、異物の侵入を防ぐため蓋付き構造とする。



- 観測孔設置時の留意点
- ・ハンチ構造を有するケーソンがあること
 - ・ケーソン陸側ラインと床版海側ラインのズレ
 - ・コンクリート置換え対策実施箇所の対応

観測孔は始点側の目地に設置することを基本とするが、施設境界(終点)は終点側の目地にも観測孔を設置する。



目地No.X
(施設境界(終点))

目地No.1
(施設境界(始点))

既設観測孔設置例



4. モニタリングの提案

4.2 対象箇所を選定

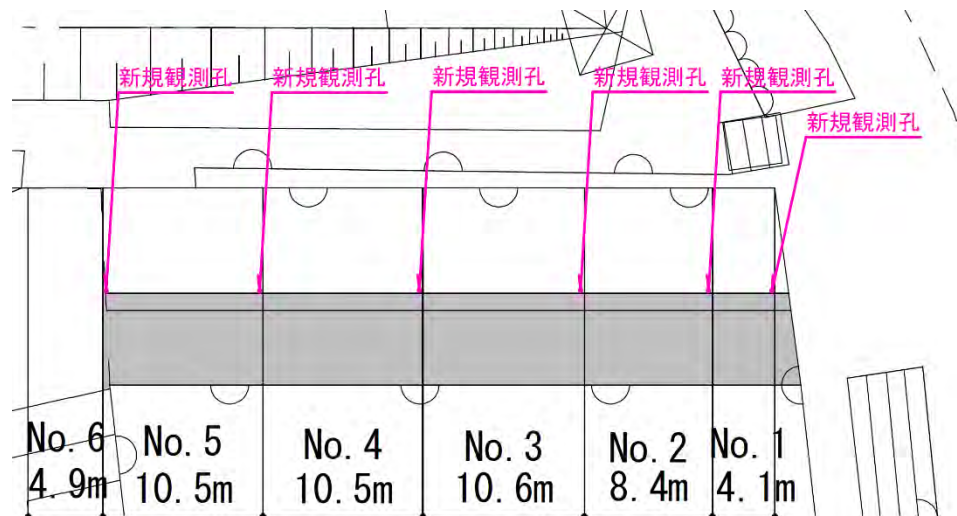
4.2 対象箇所を選定

4. モニタリングの提案

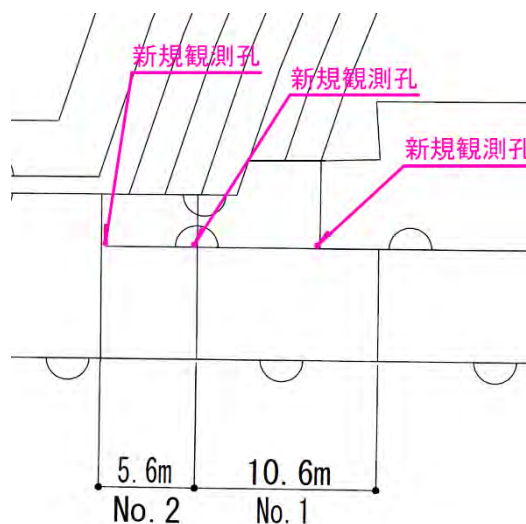
4.2 対象箇所の選定

観測孔について(西垂水舞子海岸)

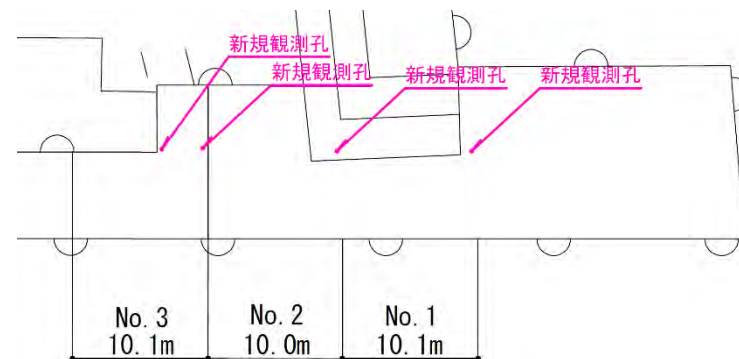
【防波護岸1 (SP1～5)】




【取付護岸 (SP1～2)】




【突堤3 (SP1～3)】



凡例

補修跡	
-----	---

凡例

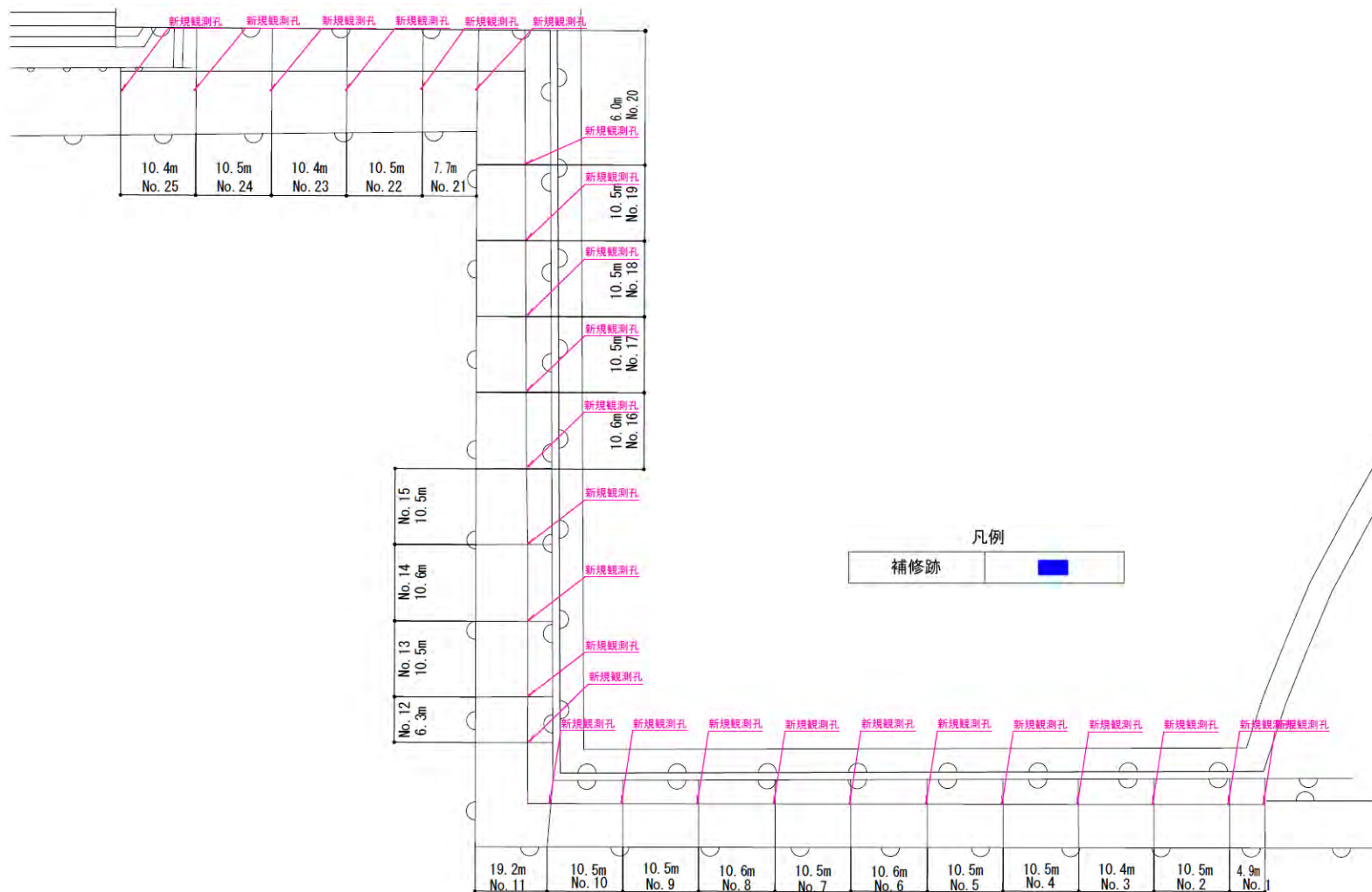
補修跡	
-----	---

4. モニタリングの提案

4.2 対象箇所の選定

観測孔について(西垂水舞子海岸)

【防波護岸2 (SP1～25)】

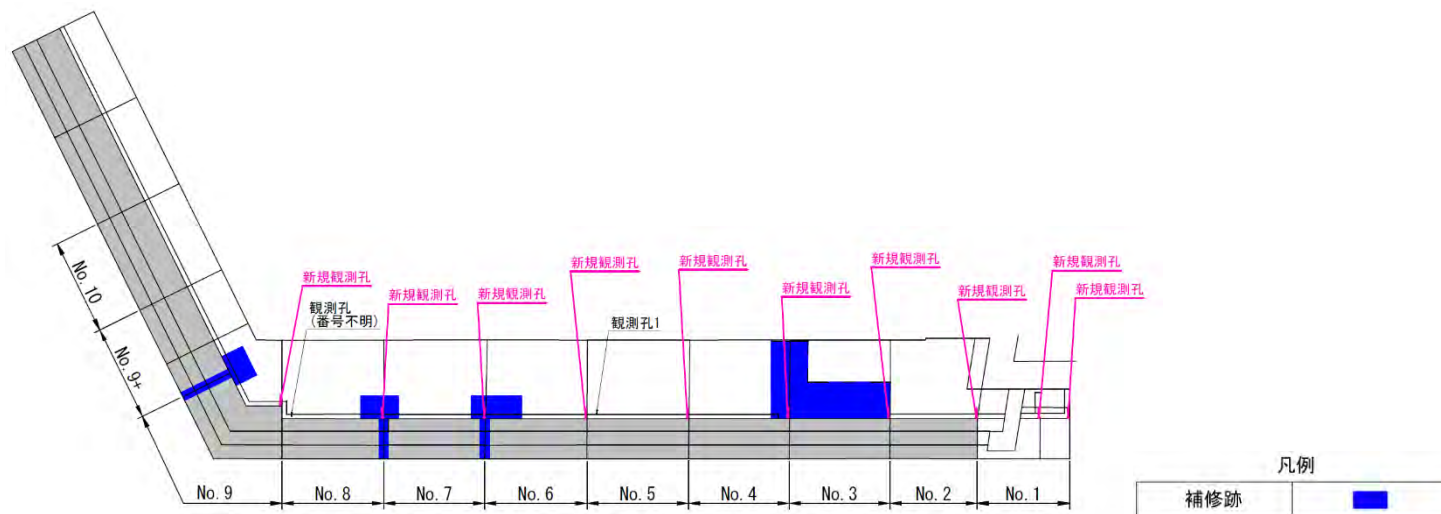


4. モニタリングの提案

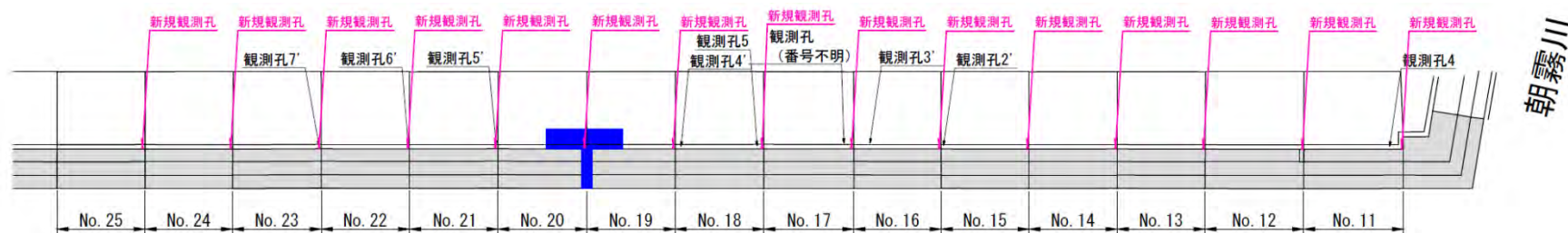
4.2 対象箇所の選定

観測孔について(大蔵海岸)

【防波護岸1(東)(SP1~10)】



【防波護岸1(中央)(SP11~25)】

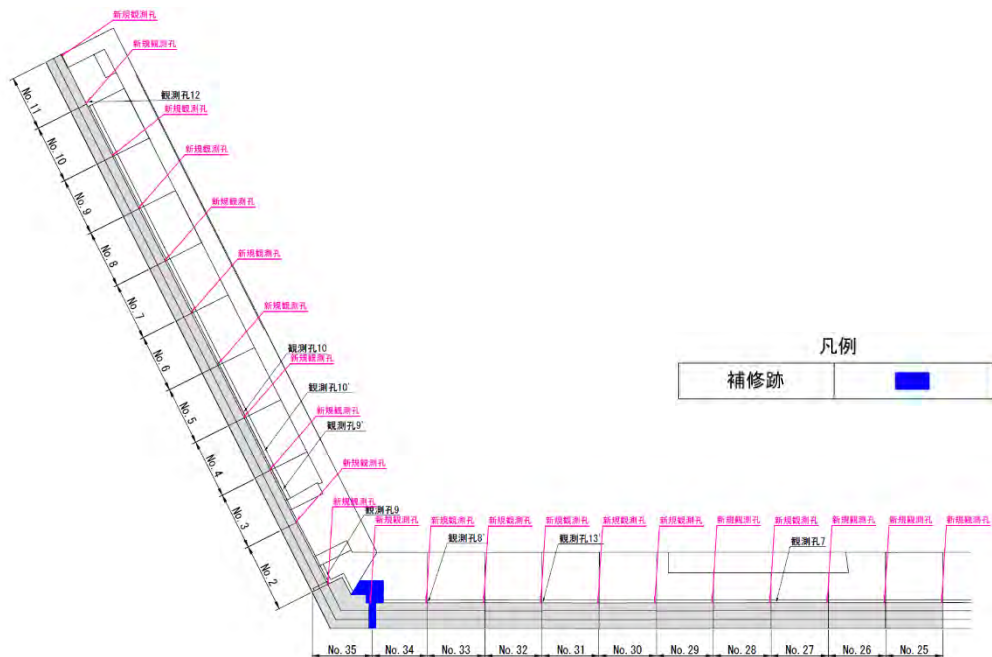


4. モニタリングの提案

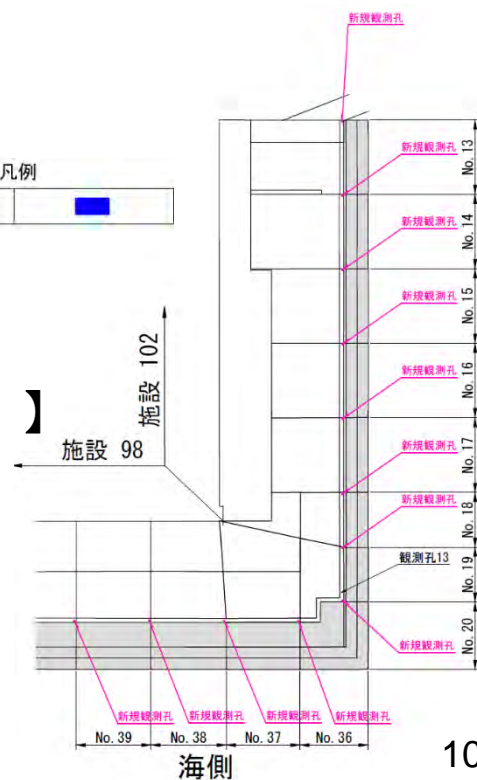
4.2 対象箇所の選定

観測孔について(大蔵海岸)

【防波護岸1(中央)(SP25~35)】及び【取付護岸1(中央)(SP2~11)】



【取付護岸1(西)(SP13~20)】及び【防波護岸1(西)(SP36~39)】

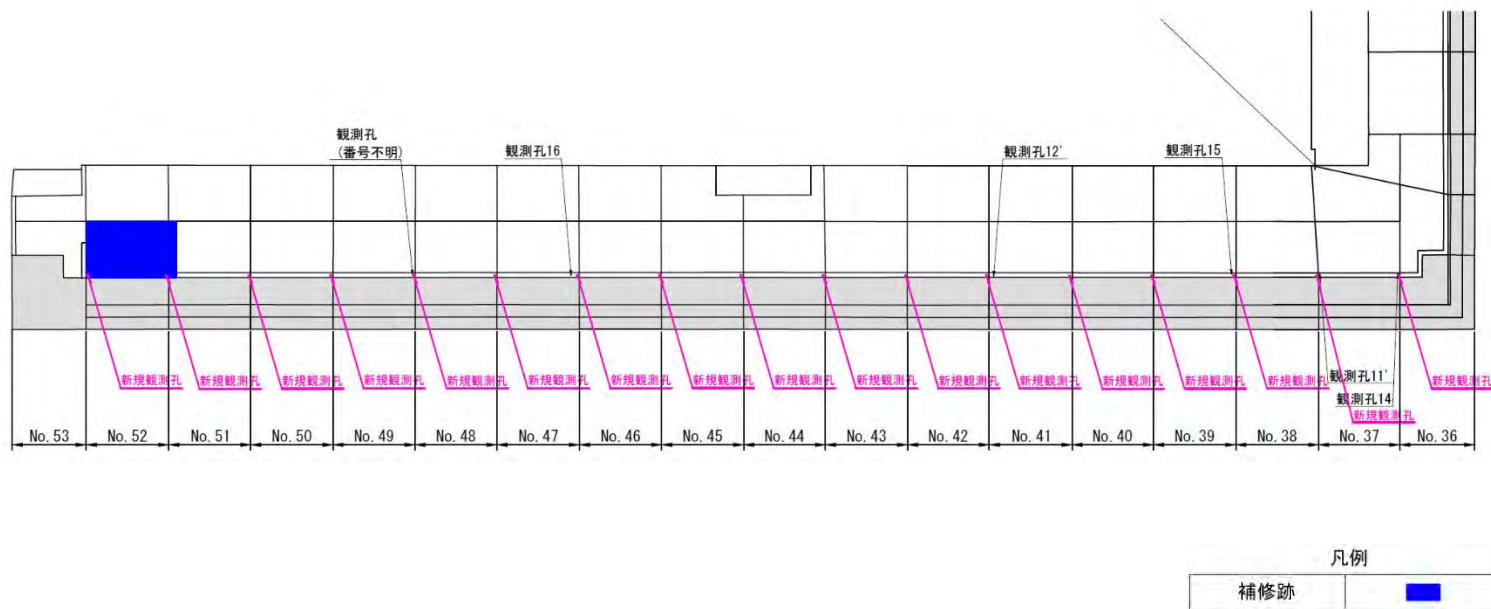


4. モニタリングの提案

4.2 対象箇所の選定

観測孔について(大蔵海岸)

【防波護岸1(西)(SP36~53)】



5.今後のスケジュール(案)

5. 今後のスケジュール(案)

		対応状況	令和6年度	令和7年度												令和8年度～	備考
				4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
大蔵・舞子海岸の空洞対策検討委員会			第1回 ● 3/26				第2回 ● 7/3			第3回 ● 10/24		第4回 ● 12/11				第5回 ● <div>※追加調査・対策工事の進捗状況を踏まえ、開催時期や開催方法について検討</div>	第5回以降の開催は必要に応じ検討
追加調査	カメラ調査	完了		台風期終わりまで													
	開削調査	レーダー探査 削孔調査	完了														
		開削調査	完了														
	波浪変形計算		完了														
	水圧式波高計観測		実施中									対策工実施前		対策工実施後			対策工事の実施前・後の状況を観測
対策工法の検討		完了															
対策パターン(箇所毎の対策工法の組み合わせ)の検討		完了															
対策工事の実施		今後実施															対策工事完了後に初回のモニタリング計測を実施予定(以降、年1回の実施を基本とする)
立ち入り制限			一部解除 ★ 4/23～													解除 ★ <div>※対策工事の進捗状況を踏まえ、順次解除することも検討</div>	安全に利用いただけることが確認された段階で解除

※対策工事の実施状況等を踏まえ変更する場合があります