

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 921

June 2016

港湾施設の点検診断結果を踏まえた維持管理における 配慮事項に関する検討

高野 向後・井山 繁・坂田 憲治・藤井 敦・宮田 正史・西岡 悟史

A Study on the Considerations in the Maintenance and Repair
based on the Assessment Results of Port Facilities

Hisachika TAKANO, Shigeru IYAMA, Kenji SAKATA, Atsushi FUJII,
Masafumi MIYATA, Satoshi NISHIOKA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

港湾施設の点検診断結果を踏まえた維持管理における 配慮事項に関する検討

高野向後*・井山 繁**・坂田憲治***・藤井 敦****・宮田正史*****・西岡悟史*****

要 旨

港湾施設は高度経済成長期に集中的に整備されたことから、建設後50年以上となる施設が今後急増する状況にある。また、厳しい自然環境下に置かれることから、供用期間中に施設の性能が低下するケースが多い。そのため、港湾施設では効率的かつ効果的な維持管理の実施によって既存施設の維持・更新等を図ることが求められている。

このような状況において、平成25年度に国有港湾施設に対して、施設の機能不全等に対応する目的で集中点検が実施された。この集中点検は全国の多数の港湾施設で実施され、変状に関する貴重な情報が得られたことから、港湾施設の変状傾向に対して、分析できる事項が数多く存在している。

一方で、港湾施設は構造物の大部分が海中または土中にあり、その上、供用中であることによる制約を受けるため、維持管理段階で変状への対応はできることが限られている。そのため、設計・施工・点検時において調査方法や補修方法をあらかじめ想定し、維持管理が容易に行えるように配慮することが望まれている。

そこで、本検討は効率的かつ効果的な維持管理に資することを目的に、平成25年度に実施された集中点検結果から、防波堤におけるケーソン側壁の損傷や、岸壁における洗掘などの変状を整理した上で、構造の特徴や利用実態などを基に、これらの変状の発生要因を分析し、設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項についてとりまとめた。

キーワード：港湾施設，維持管理，点検，消波ブロック，ケーソン，洗掘

* 港湾研究部 港湾施設研究室 交流研究員（株式会社日本港湾コンサルタント）
** 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 室長
*** 港湾研究部 主任研究官
**** 管理調整部長
***** 港湾研究部 港湾施設研究室 室長
***** 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 交流研究員（東亜建設工業株式会社）

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

A Study on the Considerations in the Maintenance and Repair based on the Assessment Results of Port Facilities

Hisachika TAKANO*
Shigeru IYAMA**
Kenji SAKATA***
Atsushi FUJII****
Masafumi MIYATA*****
Satoshi NISHIOKA*****

Synopsis

Since port facilities were constructed intensively in Japan's high-growth period, from now on there will be a sharp increase in the number of facilities that are at least 50 years old. In addition, since port facilities are generally subjected to severe conditions, exposed to waves and salt, they often experience a performance degradation during their in-service period. Therefore, it is necessary to take countermeasures so that the existing port facilities can be efficiently and effectively maintained and renewed.

In 2013, intensive inspections were carried out on state-owned port facilities in order to handle their inadequate performance. These inspections were carried out on a number of port facilities across the country, and valuable information was obtained about their deformation. There are many items that can be analyzed to determine trends in deformation of port facilities.

On the other hand, it is difficult to examine port facilities fully because a large part of the structure is in the sea or underground, and they are often in service. For this reason, there are limits to how much deformation of port facilities can be handled at the maintenance stage. Therefore, assuming in advance that inspection methods and repair methods are used at the time of design, construction and inspection of port facilities, it is desirable to consider ways to perform easy maintenance.

This study was conducted to organize and analyze the causes of damage to port facilities, such as damage to a caisson in a breakwater and scouring in the quay, on the basis of the intensive inspections conducted in 2013, structural features and actual usage. And the study was compiled by giving consideration to management and repair at the time of designing, constructing and inspecting port facilities so that they can be efficiently and effectively maintained.

Key Words : port facilities, maintenance and repair, inspection, wave-dissipating blocks, caisson, scour

* Exchanging Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM
(Japan Port Consultants, Ltd.)

** Head, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM

*** Senior Researcher, Port and Harbor Department, NILIM

**** Director Administrative Coordination Department, NILIM

***** Head, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

***** Exchanging Researcher, Port Construction Systems and Management Division,
Port and Harbor Department, NILIM. (TOA CORPORATION)

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail : ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 集中点検の概要	1
2.1 集中点検の目的	1
2.2 集中点検の対象施設および点検内容	1
2.3 集中点検施設の地域別・経過年数別分類	3
3. 集中点検結果の整理および変状傾向の分析	6
3.1 整理・分析資料の概要	6
3.2 集中点検施設の性能低下度	7
3.3 防波堤における変状傾向の分析	11
3.4 岸壁および栈橋における変状傾向の分析	12
3.5 防波堤におけるケーソン側壁の損傷の分析	16
3.6 岸壁における施設前面の洗掘の分析	19
4. 設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項	22
4.1 消波ブロック被覆堤	22
4.2 重力式係船岸	23
4.3 矢板式係船岸	24
4.4 栈橋	25
4.5 起点の設定時の配慮事項	26
4.6 経過年数の整理時の配慮事項	28
4.7 まとめ	29
5. おわりに	30
謝辞	30
参考文献	30
付録 A 洗掘位置と船舶プロペラ位置	32
付録 B 船舶プロペラの水流の海底における流速および被覆材の所要質量の算出例	36
付録 C 起点設定における図面作成に関する問題点	37

1. はじめに

既存の社会基盤ストックの多くは高度経済成長期に集中的に整備されており、港湾の主要な施設である係留施設では、建設後50年以上経過している施設が現状の約10%から、今後20年には約60%に急増する状況にある¹⁾。また、港湾施設は海に面して整備されるため、波浪や海水による塩分の侵入など、一般的に厳しい自然状況の下に置かれることから、材料の劣化、部材の損傷、基礎等の先掘、沈下、埋没等により、供用期間中に性能の低下が生じる場合が多い²⁾。その他、人口減少、少子高齢化などの社会情勢の中、社会基盤ストックに充当できる財源は限られている。そのため、港湾施設では効率的かつ効果的な維持管理の実施によって、限られた財源の中、既存施設の維持・更新等を図ることが求められている。

このような港湾施設の取り巻く状況において、平成25年度に国土交通省港湾局により国有港湾施設に対して、施設の機能不全等に対応する目的で集中点検³⁾が実施され、点検により変状が確認された施設に対しては、補修や利用制限などの対応が取られた。また、この集中点検は全国の多数の港湾施設で実施され、変状に関する貴重な情報が得られたことから、港湾施設の変状傾向に対して、分析できる事項が数多く存在している。

一方で、港湾施設は構造物の大部分が海中または土中にあり、その上、供用中であることによる制約を受けるため、維持管理段階で変状への対応はできることが限られている。そのため、施設的设计・施工・点検時において調査方法や補修方法をあらかじめ想定し、維持管理が容易に行えるように配慮することが望まれている。

そこで、本検討は効率的かつ効果的な維持管理に資することを目的に、平成25年度に実施された集中点検結果を整理・分析することで、設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項をとりまとめたものである。

以下、2.では集中点検の概要として目的、対象施設、点検内容などを示し、3.では集中点検において確認された変状の発生状況を整理した上で、構造形式別に変状傾向およびその要因の分析を行った。さらに、4.では3.の分析結果を踏まえて、各構造形式の変状傾向に応じた設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項をとりまとめた。

2. 集中点検の概要

2.1 集中点検の目的

平成19年4月1日に施行された「港湾の技術上の基準を定める省令」では、技術基準対象施設は供用期間に亘って要求性能を満足するよう維持管理計画等に基づき適切に維持されるものとされ、これを受けて、国および港湾管理者等において平成20年から5ヶ年（一部の港湾については7ヶ年）の間に維持管理計画の策定、点検診断等が実施された⁵⁾。この点検診断は初回点検に位置づけされ（平成20年以前の調査を含む場合もある）（以下、「初回点検」という。）、その結果は維持管理計画書作成の基礎資料に用いられた。

初回点検は目視調査を主体としたものであり、おおよそ施設の状態が把握されたが、目視等では点検診断が困難な部材もあり、適切に施設の状態を把握するにはさらに詳細な調査が必要な場合もあった。

そこで、平成25年度に国土交通省港湾局により集中点検として、性能が低下している施設、および変状により重大な事故に繋がる恐れがある施設などを対象に、初回点検では実施されなかったレーダ探査による空洞化調査や、ナローマルチビームによる深淺測量などの詳細調査が行われた。この集中点検の目的は港湾施設の老朽化等による機能不全等に対応するとともに、既存港湾施設の将来に亘る効率的・効果的な維持・更新を計画的に進めることであった。

その結果、施設の状態が適切に評価され、補修計画を含めて維持管理計画書が更新された。また、変状による機能不全が確認された施設については、補修や暫定的に利用制限などの対応が取られた。

2.2 集中点検の対象施設および点検内容

(1) 対象施設

集中点検の対象施設は国有港湾施設3,298施設の内、810施設であり、①初回点検において施設の性能低下度がA評価の施設（155施設）、②不具合のあった場合重大な事故に繋がる恐れのある施設など（655施設）である（表-2.1）。ここで、性能低下度は施設の状態をA～Dの4段階で評価したものであり、性能低下度A評価は4段階の内、最も施設の性能が低下している状態である（後掲、表-3.4参照）。

また、国および港湾管理者等が所有する施設数は図-2.1に示すとおり27,684施設であり、国有港湾施設数はこの内11.9%となる3,298施設である（平成25年度調べ）。

表-2.1 集中点検対象施設

集中点検対象施設	(施設数810)
①初回点検において施設の性能低下度がA評価の施設	(施設数155)
②不具合があった場合、重大な事故に繋がる恐れのある施設など	(施設数655)

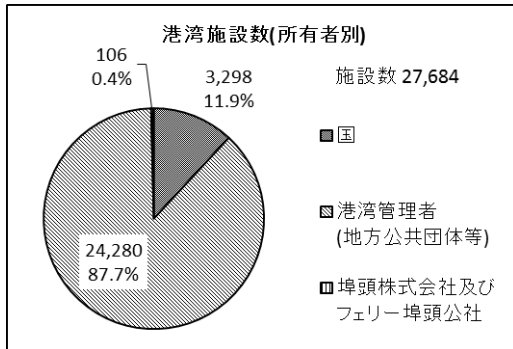


図-2.1 港湾施設数(所有者別)

(2) 点検内容

集中点検において実施された点検内容は、主に初回点検では実施されなかった詳細点検であり、水中部や栈橋の下面などを対象とした点検や、点検機器を使用することで目視のみでは確認できない空洞化や鋼材現有肉厚などの調査が実施された(表-2.2)。その他、初回点検と同様に陸上部にて目視や簡易計測機器などによる点検が実施された施設もある。

また、集中点検における変状発生とは表-2.3に示す変状が確認されたことをいう。

表-2.2 点検内容

施設種別	点検内容(点検方法)	
外郭施設	水中部形状調査	(ナローマルチビーム等)
	ケーソン側壁損傷調査	(ビデオ調査等)
	ケーソン移動・沈下調査	(測量等)
係留施設	水中部形状調査	(ナローマルチビーム等)
	空洞化調査	(レーダ探査等)
	被覆・電気防食変状調査	(海上・潜水目視等)
	鋼材腐食調査	(肉厚測定等)
	栈橋上部工変状調査	(目視・打音検査等)
臨港交通施設	橋梁コンクリート変状調査	(目視・打音検査等)

表-2.3 各点検内容における変状(例)

点検内容	変状(例)
水中部形状調査	消波工、被覆工、根固工の移動・散乱 海底地盤の洗掘 基礎マウンドの法崩れ 施設前面の洗掘、堆積 など
ケーソン側壁損傷調査	ケーソンの穴あき、欠損、鉄筋露出 など
ケーソン移動・沈下調査	上部工・本体工の沈下、移動 消波工の沈下、散乱 など
空洞化調査	空洞化がある 空洞化が疑わしい箇所がある 緩みまたは空洞が生じている可能性がある 陥没がある など
被覆・電気防食変状調査	被覆防食工の欠損、破損 電気防食陽極(陽極)の全消耗、消失 防食管理電位が維持されていない など
鋼材腐食調査	鋼材の肉厚不足 開孔、腐食孔がある など
栈橋上部工変状調査	ひび割れがある 鉄筋露出がある 剥落がある コンクリートに浮きがある など
橋梁コンクリート変状調査	鉄筋露出がある 補強鋼板に浮き コンクリートに浮きがある など

(3) 集中点検結果の概要

集中点検の結果は810施設の内、306施設が「不具合のあった施設」であった。「不具合のあった施設」の内、平成25年12月時点で59施設については「対応済み(応急含む)」であり、残り247施設については「経過観察(対応中含む)」である(表-2.4)。また、施設種別における「不具合のあった施設」の割合は、外郭施設および係留施設についてはともに40%程度であり、臨港交通施設については18%であった(表-2.5)。

なお、「不具合のあった施設」は集中点検結果から施設の安全上、構造上、機能上の問題があると考えられ、この問題への対応が必要と判断された施設である(以下、「不具合施設」という。)。また、「対応済み(応急含む)」は施設の安全上の問題に対して、補修や利用制限などの対応が既に行われた施設である。

表-2.4 集中点検結果一覧(平成25年12月時点)

国有港湾施設数	集中点検施設数	不具合のあった施設数(施設数)			
		対応済み(応急含む)	未対応	経過観察(対応中含む)	
				0	247
3,298	810	59	0	247	

表-2.5 不具合のあった施設の内訳

施設種別	集中点検施設数	不具合施設数	不具合施設の割合
外郭施設	205	81	40%
係留施設	588	222	38%
臨港交通施設	17	3	18%
合計	810	306	38%

2.3 集中点検施設の地域別・経過年数別分類

(1) 集中点検施設の地域別分類

集中点検施設および不具合施設の地域別施設数および割合を表-2.6、図-2.2に示す。集中点検施設総数に対する地域別集中点検施設数の割合は、北海道開発局(36%)が一番多く、続いて関東地方整備局(18%)、九州地方整備局(13%)である。不具合施設総数に対する地域別不具合施設数の割合も集中点検施設数と同傾向であり、

北海道開発局(32%)、九州地方整備局(12%)、関東地方整備局(11%)が多い。

また、参考として、集中点検施設および不具合施設の国有港湾施設に対する割合を図-2.3に示す。国有港湾施設(全国)の25%の施設が集中点検の対象であり、不具合施設が9%であった。北海道開発局、東北地方整備局、関東地方整備局、北陸地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局、中国地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局、沖縄総合事務局(以下、「各整備局等」という。)が所有する港湾施設に対する集中点検施設の割合は、関東地方整備局(54%)、四国地方整備局(37%)、北陸地方整備局(36%)、中部地方整備局(35%)、東北地方整備局(34%)において比較的多い。不具合施設の割合は四国地方整備局(22%)、中部地方整備局(19%)、北陸地方整備局(18%)において比較的多い。

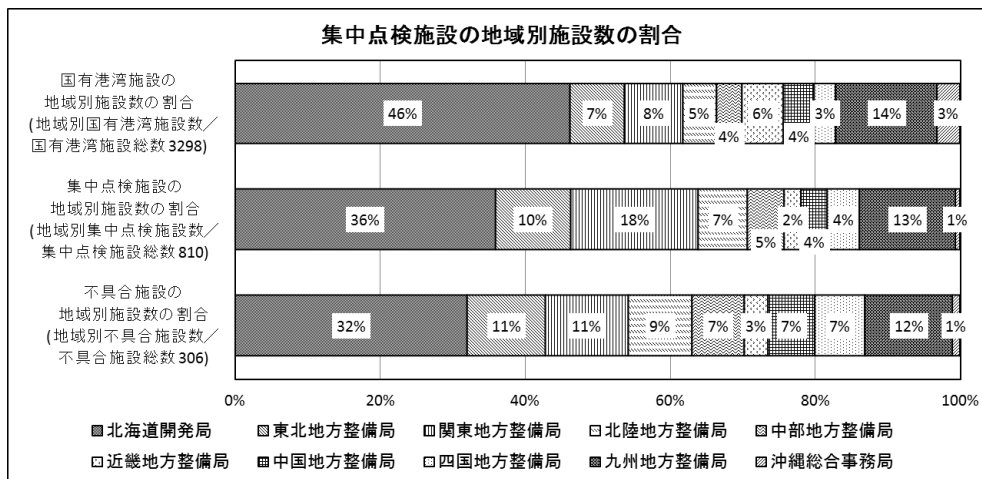


図-2.2 集中点検施設の地域別施設数の割合

表-2.6 集中点検施設の地域別施設数

管轄	国有港湾施設数	集中点検施設数	不具合施設数
全国	3,298	810	306
北海道開発局	1,525	291	98
東北地方整備局	247	84	33
関東地方整備局	266	143	35
北陸地方整備局	153	55	27
中部地方整備局	117	41	22
近畿地方整備局	189	19	10
中国地方整備局	139	29	20
四国地方整備局	97	36	21
九州地方整備局	463	107	37
沖縄総合事務局	102	5	3

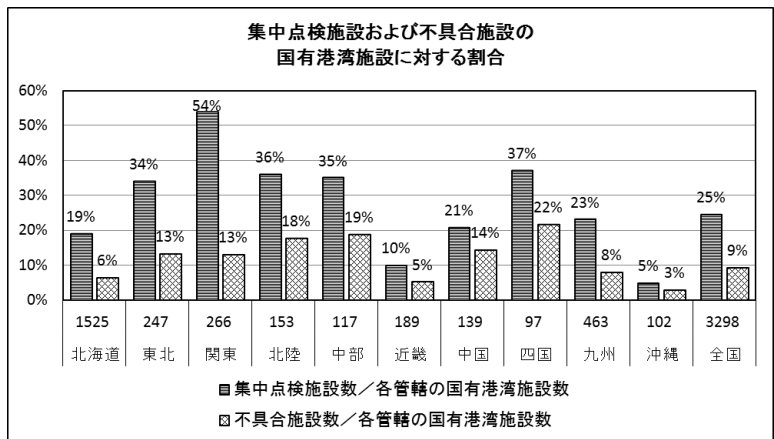


図-2.3 集中点検施設および不具合施設の国有港湾施設に対する割合

(2) 集中点検施設の構造形式別分類

集中点検施設の構造形式別施設数および割合を表-2.7、図-2.4に示す。国有港湾施設の施設種別の割合は外郭施設38.4%、係留施設52.0%、臨港交通施設9.6%であり、集中点検施設の施設種別の割合は外郭施設25.3%、係留施設72.6%、臨港交通施設2.1%と係留施設において大きいことから、集中点検では係留施設に重点が置かれたものと考えられる。

(3) 集中点検施設の経過年数別分類

集中点検施設の経過年数別施設数および割合を表-2.8、図-2.5に示す。ここで、経過年数は建設終了年度から集中点検実施年度（平成25年度）までの年数である。集中点検施設全体では経過年数30～49年（30～39年：20.6%、40～49年：24.0%）の割合が大きい。係留施設でも経過年数30～49年（30～39年：21.9%、40～49年：25.7%）の割合が大きい。外郭施設では係留施設に比べて経過年数1～19年（1～9年：8.8%、10～19年：19.5%）の割合が大きい。

また、経過年数50年以上の施設数も多く（経過年数50年～99年における施設数の合計は134施設）、最も古い施設は経過年数93年である。

(4) 集中点検施設の点検項目別分類

集中点検施設の点検項目別施設数および割合を表-2.9、図-2.6に示す。外郭施設では水中部形状調査（65.4%）、次にケーソン側壁損傷調査（33.7%）が多く行われた。係留施設では空洞化調査（87.6%）が非常に多くの施設で実

施され、次に水中部形状調査（57.1%）が多く行われた。これらのことから、集中点検は外郭施設に対しては水中部の変状とケーソン側壁の損傷、係留施設に対しては空洞化と水中部の変状に着目して実施されたものと考えられる。

表-2.7 集中点検施設の構造形式

	施設種別		施設分類		構造形式	
	国有港湾施設数	集中点検施設数		集中点検施設数		集中点検施設数
外郭施設	1,266	205	防波堤	155	杭式・矢板式防波堤	6
					重力式防波堤	149
			護岸	50	矢板式護岸	21
					重力式護岸	29
係留施設	1,715	588	岸壁	500	重力式係船岸	298
					矢板式係船岸	202
			棧橋	87	棧橋	87
					係船浮標	1
臨港交通施設	317	17	橋梁	8	橋梁	8
			道路	8	道路	8
			カルバート	1	カルバート	1
合計	3,298	810		810		810

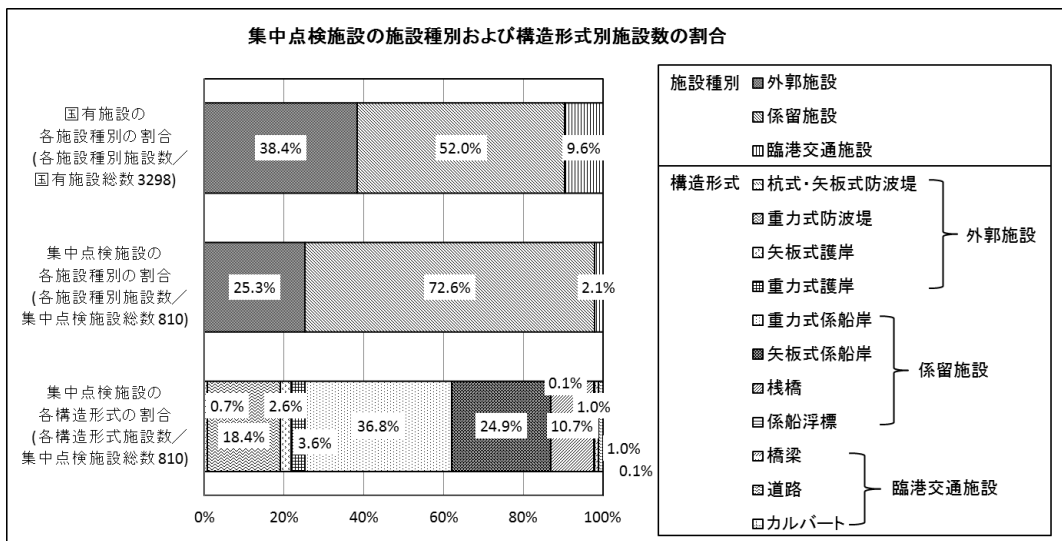


図-2.4 集中点検施設の施設種別および構造形式別施設数の割合

表-2.8 集中点検施設の経過年数

(施設数)

施設種別	施設分類		構造形式	経過年数												
	施設数	施設数		施設数	1-9年	10-19年	20-29年	30-39年	40-49年	50-59年	60-69年	70-79年	80-89年	90-99年	不明	
外郭施設	205	防波堤	杭式・矢板式防波堤	6			1	3	1	1						
			重力式防波堤	149	17	34	29	21	26	9	4	2	1	2	4	
		護岸	矢板式護岸	21		1	1	8	9	2						
重力式護岸	29		1	5	2	3	6	5	3	1	1	1	1	1		
係留施設	588	岸壁	重力式係船岸	298	11	46	48	68	59	26	16	10	10		4	
			矢板式係船岸	202	4	22	41	49	72	10	2	2				
		棧橋	棧橋	87	3	15	14	12	20	15	3	2				3
			係船浮標	1		1										
臨港交通施設	17	橋梁	8	3	1	1			1	1	1					
		道路	8	1		1	2	1	2				1			
		カルバート	1			1										
合計	810	810	施設数	810	40	125	138	167	194	71	29	18	13	3	12	

集中点検施設の経過年数別施設数の割合

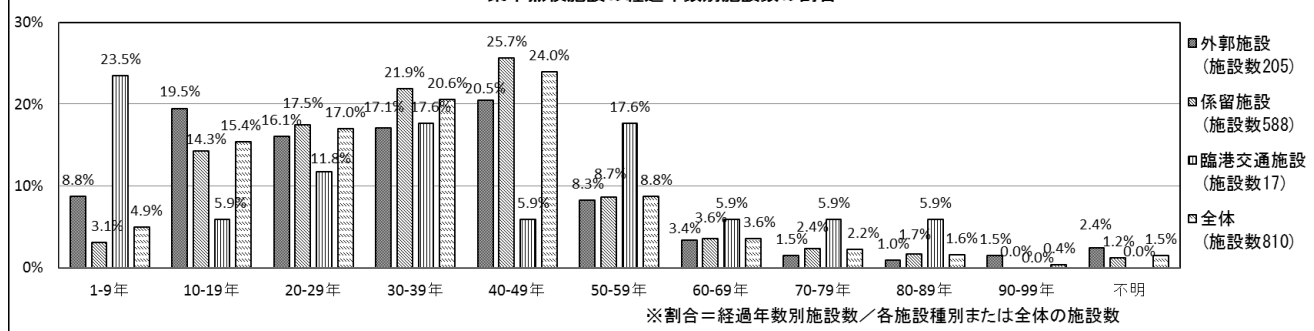


図-2.5 集中点検施設の経過年数別施設数の割合

表-2.9 集中点検施設の点検項目

(施設数)

施設種別	施設分類		構造形式	点検項目								
	施設数	施設数		施設数	空洞化調査	水中部形状調査	ケーソン側壁損傷調査	ケーソン移動・沈下調査	被覆・電気防食変状調査	鋼材腐食調査	棧橋上部工変状調査	橋梁Co変状調査
外郭施設	205	防波堤	杭式・矢板式防波堤	6		3	2	2	1	3		
			重力式防波堤	149		108	65	46				
		護岸	矢板式護岸	21	12	10	2	8	6			
重力式護岸	29		13	13	2	6						
係留施設	588	岸壁	重力式係船岸	298	273	158	7					
			矢板式係船岸	202	175	158	3	81	143			
		棧橋	棧橋	87	67	19		25	45	46		
			係船浮標	1		1						
臨港交通施設	17	橋梁	8	8							7	
		道路	8	8								
		カルバート	1	1								
合計	810	810	施設数	810	540	470	69	66	115	197	46	7

集中点検施設の点検項目別施設数の割合

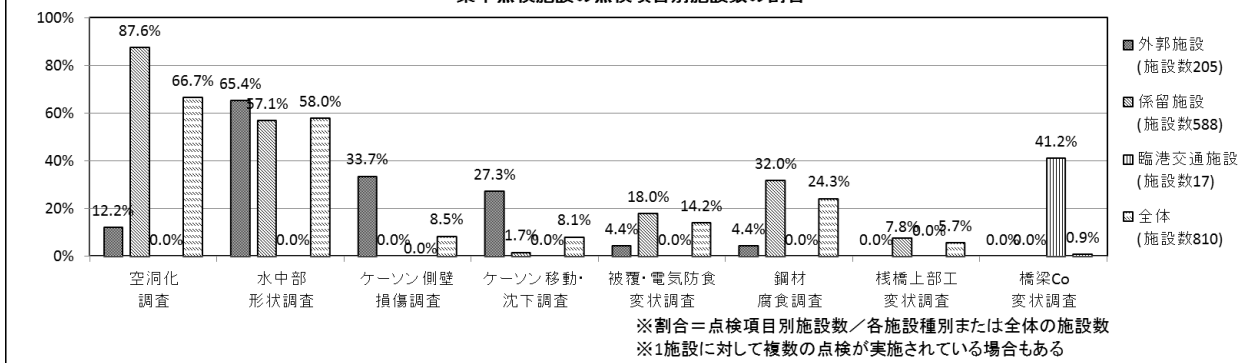


図-2.6 集中点検施設の点検項目別施設数の割合

3. 集中点検結果の整理および変状傾向の分析

3.1 整理・分析資料の概要

(1) 集中点検報告書

集中点検結果の整理および変状傾向の分析には主に点検結果総括表⁴⁾、集中点検結果台帳⁴⁾および各整備局等できとまとめられた集中点検報告書を用いた。点検結果総括表および集中点検結果台帳は集中点検施設の全施設を一覧表としてまとめられた資料であり、各施設の施設種別、構造形式、供用開始年度、設計水深、施設延長などが記載されている。また、集中点検報告書では点検方法、点検診断結果、総合評価、補修計画などが記載されており、これらの資料から集中点検結果の整理に必要な情報を収集し、変状傾向の分析を行った。

また、施工履歴や取付部の構造形式など、上記資料では把握できない情報については初回点検結果（維持管理計画書）を用いて確認した。

(2) 設計条件および利用実態等の情報収集

後述する3.3および3.4の防波堤、岸壁および栈橋における変状傾向の分析において、①防波堤におけるケーソン側壁の損傷、②岸壁における施設前面の洗掘については、変状要因を詳細に分析する必要があると判断し、分析が必要となる施設の利用実態や設計の考え方などの情報について各整備局等に提供依頼を行い、情報を収集した。

情報収集の対象施設は集中点検において、①防波堤におけるケーソン側壁の損傷、②岸壁における施設前面の洗掘が確認された施設の内、著しい変状が確認された施設とし、具体的な選定理由は表-3.1に示す。情報収集の対象施設数は①防波堤（消波ブロック被覆堤）が21施設、②岸壁が26施設である（表-3.2）。また、収集を行った情報は変状の発生要因を確認するために必要と考えられる条件などであり、表-3.3に示す情報を基本設計報告書、細部設計報告書、土質調査報告書などから収集した。

表-3.1 対象施設選定理由

対象施設	選定理由
①防波堤 (ケーソン側壁の損傷)	・開孔、鉄筋露出を伴う損傷、消波ブロックの接触による損傷が確認された施設。 ・上記損傷が消波ブロックに起因しているものと想定される施設（消波ブロック被覆部等における損傷）。
②岸壁（洗掘）	・1m以上の洗掘（劣化度a相当）が確認された施設。 ・1m以上の洗掘には至っていないが顕著な変状が確認された施設。

表-3.2 集中点検対象施設数および情報収集対象施設数

管轄	集中点検対象施設数	情報収集対象施設数		
		防波堤 (ケーソン側壁の損傷)	岸壁 (洗掘)	合計
北海道	291	9	12	21
東北	84	8	4	12
関東	143	1	3	4
北陸	55	2	3	5
中部	41	0	3	3
近畿	19	0	1	1
中国	29	0	0	0
四国	36	1	0	1
九州	107	0	0	0
沖縄	5	0	0	0
合計	810	21	26	47

表-3.3 情報収集内容

対象施設	収集内容	収集方法
①防波堤 (ケーソン側壁損傷)	1. 構造諸元 平面図、標準断面図、構造図など	基本設計報告書、細部設計報告書、土質調査報告書等を借用し必要情報を収集
	2. 設計条件等 現地盤水深等、波浪条件、土質条件など	
	3. 消波ブロックの規格選定 ブロック所要質量、規格選定方法および理由など	
	4. 消波機能の必要理由	各整備局等からの回答を収集
②岸壁 (洗掘)	1. 構造諸元 平面図、標準断面図、構造図など	基本設計報告書、細部設計報告書、土質調査報告書等を借用し必要情報を収集
	2. 設計条件等 潮位、現地盤水深等、土質条件など	
	3. 実利用船舶諸元等 実利用船舶諸元、離岸方法など	各整備局等からの回答を収集
	4. 周辺施設の洗掘・堆積や洗掘要因の推定など	

3.2 集中点検施設の性能低下度

(1) 集中点検施設全体

集中点検施設全体における性能低下度別の施設数および割合を図-3.1、図-3.2に示す。経過年数50年以上の施設については別途、図-3.3、図-3.4に示す。ここで、施設の性能低下度は施設の状態を評価したものであり、施設を構成する各部位・部材の変状発生状況を総括し、性能の低下の程度を表-3.4に示す4段階の指標を用いて表したものである。なお、図-3.1～図-3.4において性能低下度“－”の施設は、性能低下度が評価されていない施設であり、その理由は点検実施者等が集中点検時の調査項目のみでは施設全体としての性能低下度の評価が困難であると判断したことによるものである。

集中点検施設全体における性能低下度Aの施設数は経過年数“30～39年”，“40～49年”で多く、経過年数が大きくなるほど性能低下度Aの割合が大きくなる傾向である(図-3.1、図-3.2)。経過年数50年以上の施設では各経過年数帯によって多少の増減はあるが、性能低下度Aの割合はおよそ4割である。また、性能低下度Bの施設は経過年数10～49年においてほぼ同じ割合である。これらのことから、補修や性能低下への予防対策を行わず、このまま放置した場合に、施設の性能が低下する施設が急増することになるため、今後適切に維持管理を行っていくことが必要と考えられる。

表-3.4 施設の性能低下度²⁾

評価	施設の状態
A	施設の性能が低下している状態
B	放置した場合に、施設の性能が低下するおそれがある状態
C	施設の性能にかかわる変状が認められないが、継続して観察する必要がある状態
D	異状は認められず、十分な性能を保持している状態

※「港湾の施設の点検診断ガイドライン 平成26年7月」では施設の状態(性能低下度の評価基準)が上表とは異なることに注意

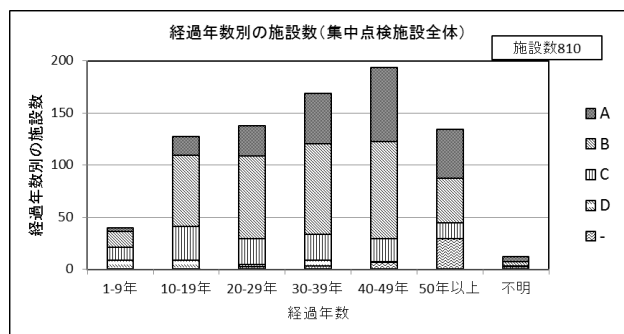


図-3.1 経過年数別の施設数 (集中点検施設全体)

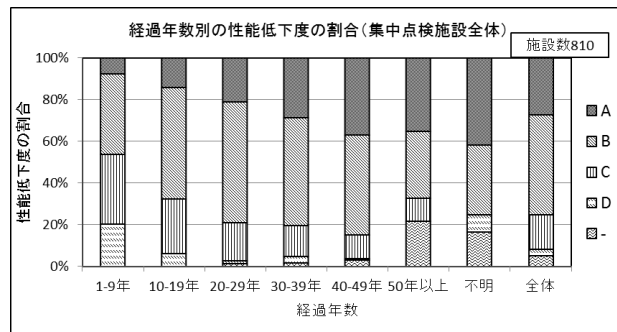


図-3.2 経過年数別の性能低下度の割合 (集中点検施設全体)

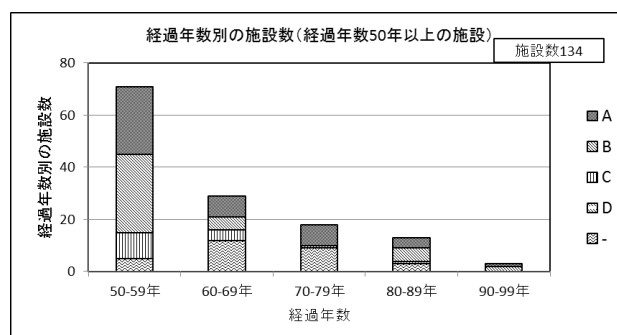


図-3.3 経過年数別の施設数 (経過年数50以上の施設)

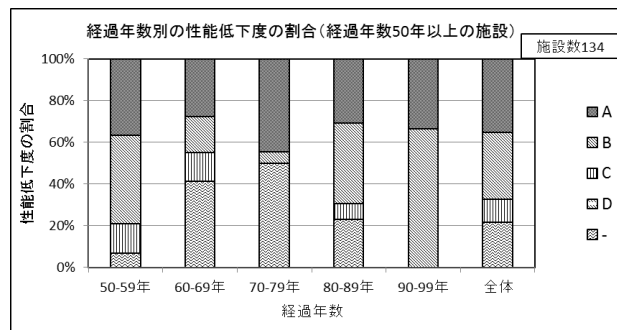


図-3.4 経過年数別の性能低下度の割合 (経過年数50以上の施設)

(2) 初回点検と集中点検における性能低下度の相違

初回点検と集中点検における性能低下度Aの施設数を表-3.5に示す。集中点検では初回点検に比べて性能低下度Aの施設数が増加しており、この施設数の差は66施設である。この増加の要因を把握するために、集中点検施設の性能低下度Aの主要因を確認した。性能低下度Aの主要因を確認した施設は、初回点検において性能低下度A以外(B, C, D)の評価であった施設が集中点検において性能低下度Aとなった施設であり、70施設が対象である。対象施設が4施設増えたのは(66施設→70施設)、初

回点検から集中点検にかけて施設の評価が見直されており、初回点検において性能低下度Aであったが、集中点検において性能低下度A以外（B, C, D）の評価となったことからである。

表-3.5 性能低下度Aの施設数

施設種別	構造形式	性能低下度Aの施設数	
		初回点検	集中点検
外郭施設	杭式・矢板式防波堤	3	4
	重力式防波堤	26	27
	矢板式護岸	8	14
	重力式護岸	10	12
係留施設	重力式係船岸	23	47
	矢板式係船岸	53	77
	棧橋	27	35
	係船浮標	0	0
臨港交通施設	橋梁	0	0
	道路	5	5
	カルバート	0	0
合計		155	221
差(=緊急点検-初回点検)		66	

70施設の性能低下度Aの主要因を表-3.6に示す。これらの主要因はいずれも、計測機器等を用いた調査や潜水調査等によって確認された変状であり、陸上からの目視調査が主体であった初回点検では確認されなかった変状

である。特に空洞化は70施設中42施設で主要因となっており、集中点検において、多くの施設で実施されたレーダ探査等（空洞化調査）により確認された変状である。そのため、性能低下度Aの施設が増加した要因は、初回点検で確認されなかった変状が、集中点検において実施された詳細点検によって顕在化したことによるものと考えられる。

このことは、点検内容によっては施設の評価が変わる可能性があることを示しており、例えば陸上からの目視を主体とした点検では、施設の本来の状態を十分に把握できていない場合があることに注意が必要である。計測機器等を用いた詳細な点検では、目視主体の点検よりも、施設の状態をより適切に把握することが可能であるが、詳細な点検は人員や費用、その他、施設の利用状況によっても頻繁に実施できるものではない。そのため、日常の点検、簡易計測機器を用いた点検の実施によって、変状発生が疑われる場合には、点検範囲を限定し、詳細な点検を実施することや、速やかに詳細な点検が実施できるような体制づくりを行うことで、供用期間中に起こり得る変状発生に対して、早期発見および対応を図ることが重要である。

表-3.6 集中点検施設の性能低下度Aの主要因

施設種別	構造形式	集中点検施設数	性能低下度Aの施設数		初回A以外で集中A ^{※2}		集中点検施設の性能低下度Aの主要因			
			集中 ^{※1}	初回・集中 ^{※1} 共に	施設数	割合 ^{※3}	空洞化 ^{※4}	Coの変状 ^{※5}	鋼材の変状 ^{※6}	洗掘・堆積 ^{※7}
外郭施設	杭式・矢板式防波堤	6	4	3	1	17%	0	0	1	0
	重力式防波堤	149	27	23	4	3%	0	3	0	1
	矢板式護岸	21	14	8	6	29%	4	0	2	0
	重力式護岸	29	12	10	2	7%	2	0	0	0
係留施設	重力式係船岸	298	47	22	25	8%	21	2	0	2
	矢板式係船岸	202	77	53	24	12%	12	0	9	3
	棧橋	87	35	27	8	9%	3	4	1	0
	係船浮標	1	0	0	0	0%	0	0	0	0
臨港交通施設	橋梁	8	0	0	0	0%	0	0	0	0
	道路	8	5	5	0	0%	0	0	0	0
	カルバート	1	0	0	0	0%	0	0	0	0
合計		810	221	151	70	9%	42	9	13	6

※1. 集中点検および初回点検を「集中」および「初回」と簡略し示している。

※2. 初回点検において性能低下度A以外（B, C, D）の評価であった施設が、集中点検において性能低下度Aとなった施設を示す。

※3. 割合は集中点検施設数に対する値である。

※4. エプロン等の空洞化（点検方法：レーダ探査等）

※5. 本体工・上部工等のコンクリートの劣化または損傷（点検方法：海上・潜水目視等）

※6. 鋼材・防食工の劣化または損傷（点検方法：肉厚測定、潜水目視等）

※7. 海底地盤の洗掘・堆積（点検方法：ナローマルチビーム等）

(3) 各施設種別

集中点検施設の各施設種別における性能低下度Aの施設数の割合は、施設種別によって大きな差はなく、集中点検施設全体における性能低下度Aの施設数の割合と同様に約3割であった(図-3.5)。ただし、係留施設では他の施設と比較して、性能低下度Bの施設数の割合が大きく(約5割)、このまま放置した場合には今後多くの施設で性能が低下する恐れがある。

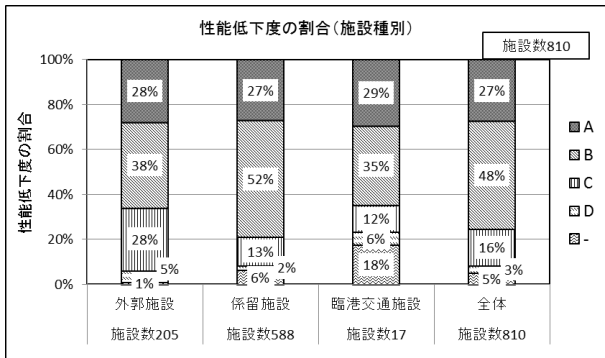


図-3.5 性能低下度の割合 (施設種別)

(4) 各構造形式

集中点検施設の各構造形式における性能低下度Aの施設数の割合は、矢板式係船岸および栈橋では、重力式防波堤および重力式係船岸に比べて大きい(図-3.6)。これらの施設では鋼矢板(鋼管矢板)や鋼管杭に関わる変状、鋼材の防食工の変状、栈橋上部工の変状が発生しており、このことは重力式構造に比べて、鋼材(防食工を含む)が用いられる構造や栈橋構造では、海水やその他の要因によって変状が発生しやすい傾向にあると想定される。なお、図-3.6では施設数が少ない臨港交通施設(17施設)の各構造形式、杭式・矢板式防波堤(6施設)、矢板式護岸(21施設)、重力式護岸(29施設)、係船浮標(1施設)を省略している。

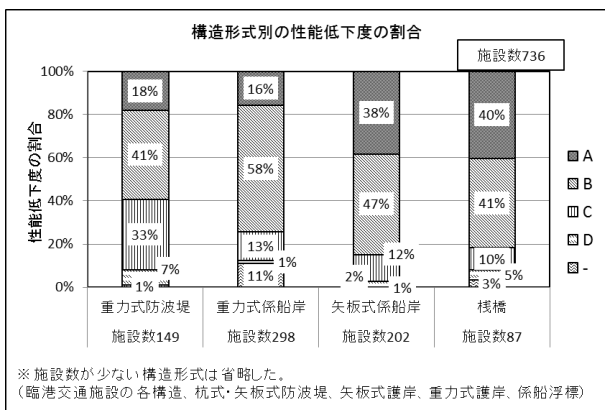


図-3.6 構造形式別の性能低下度の割合

次に各構造形式における経過年数別の施設数および性能低下度の割合を図-3.7~図-3.14に示す。重力式防波堤および重力式係船岸では経過年数が小さい1~9年において性能低下度Aの施設がある(図-3.7, 図-3.8, 図-3.11, 図-3.12)。これらの施設は重力式防波堤で2施設、重力式係船岸で1施設あるが、性能低下度Aの主要因は重力式防波堤の1施設では本体工の損傷であり、もう1施設では施設全体にわたる移動・沈下である。重力式係船岸の1施設では本体工(プレパックドコンクリート)の欠損が性能低下度Aの主要因であった。これらの変状は施設の供用開始後数年で突発的に発生したのではなく、施設の施工記録等を確認すると、性能低下度Aの主要因となる変状が発生した区間の経過年数(当該区間の竣工年度から集中点検実施年度である平成25年度までの年数)は、重力式防波堤で46年および88年、重力式係船岸で26年経過していることがわかった。このことから、維持管理においては、施設全体の経過年数と区間毎の経過年数に違いがあることに注意し、整理する必要があると考えられる。特に防波堤では施設全体の経過年数と区間毎の経過年数の差が大きい場合があると考えられる。

矢板式係船岸では経過年数が大きくなるにつれて性能低下度Aの施設数が多く(図-3.9)、割合も大きくなる傾向が見られる(図-3.13)。特に経過年数40~49年において性能低下度Aの施設が多い。

栈橋では経過年数30年以上において性能低下度Aの施設数が多い(図-3.10, 図-3.14)。これは後述する変状傾向の分析結果より、栈橋上部工の変状が確認された施設は経過年数30年以上の施設に多いことによるものである。

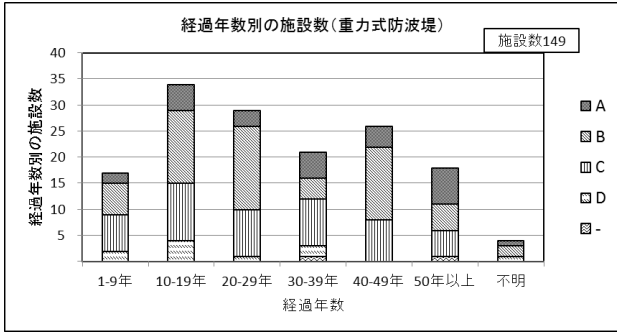


図-3.7 経過年数別の施設数（重力式防波堤）

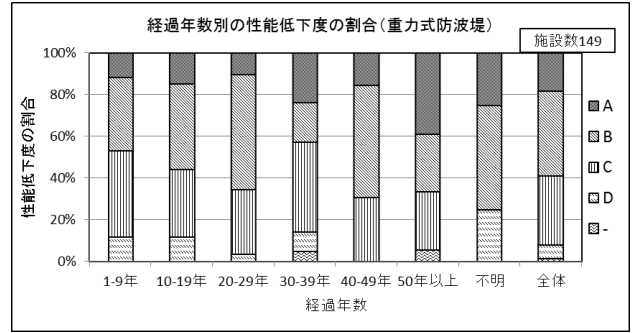


図-3.11 経過年数別の性能低下度の割合（重力式防波堤）

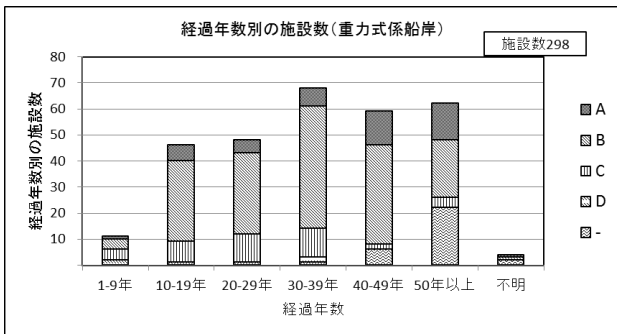


図-3.8 経過年数別の施設数（重力式係船岸）

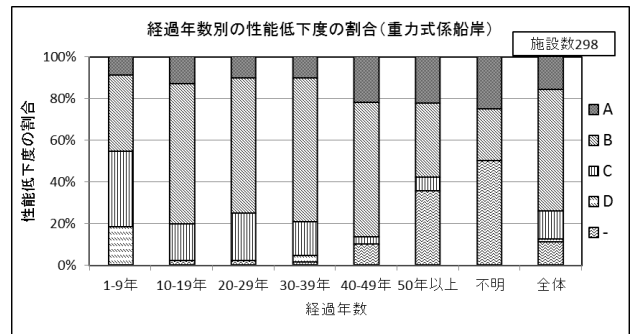


図-3.12 経過年数別の性能低下度の割合（重力式係船岸）

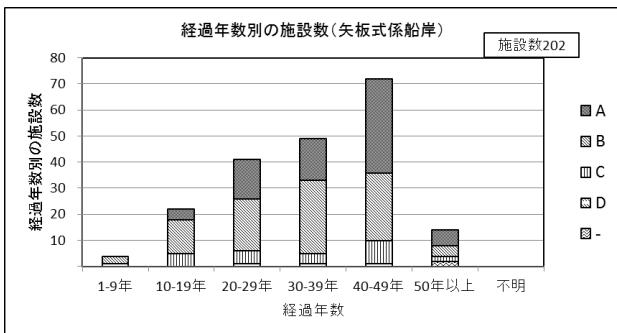


図-3.9 経過年数別の施設数（矢板式係船岸）

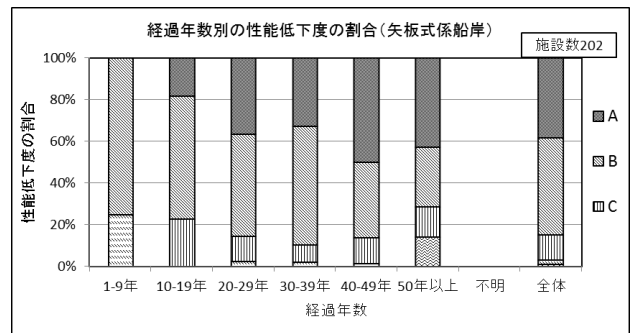


図-3.13 経過年数別の性能低下度の割合（矢板式係船岸）

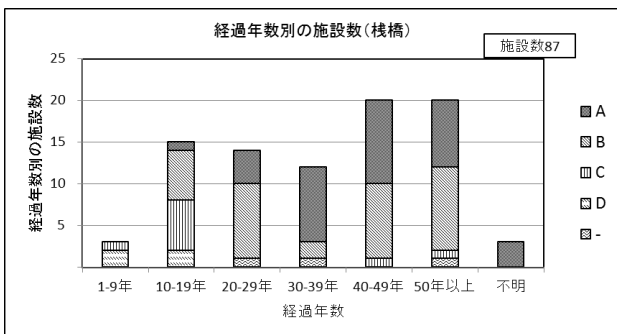


図-3.10 経過年数別の施設数（栈橋）

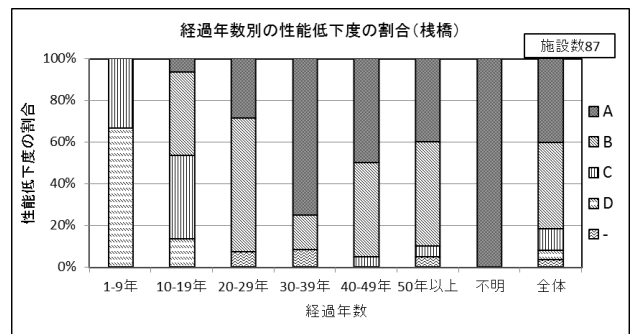


図-3.14 経過年数別の性能低下度の割合（栈橋）

3.3 防波堤における変状傾向の分析

(1) 変状発生状況

防波堤における変状発生状況は消波ブロック被覆堤と重力式防波堤（消波ブロック無）に分けて整理した（図-3.15）。消波ブロック被覆堤では重力式防波堤（消波ブロック無）に比べて変状発生割合が大きい。特に消波ブロック被覆堤では「ケーソン側壁の損傷・欠損」の発生割合が大きく、その要因は消波ブロックの移動・散乱によるものと考えられる。

また、同様の整理を第一線防波堤、補助防波堤に分け

て行った（図-3.16、図-3.17）。「ケーソン側壁の損傷・欠損」は第一線防波堤の消波ブロック被覆堤において発生割合が大きく、「ケーソン側壁の開孔」は第一線防波堤のみで発生している。「基礎マウンド等の変状」は第一線防波堤と補助防波堤とでは発生割合に差が見られない。「移動・沈下」は本体工の移動・沈下だけでなく、消波ブロックの移動・沈下も含めて整理されている施設もあるため、消波ブロック被覆堤において発生割合が大きいと考えられる。

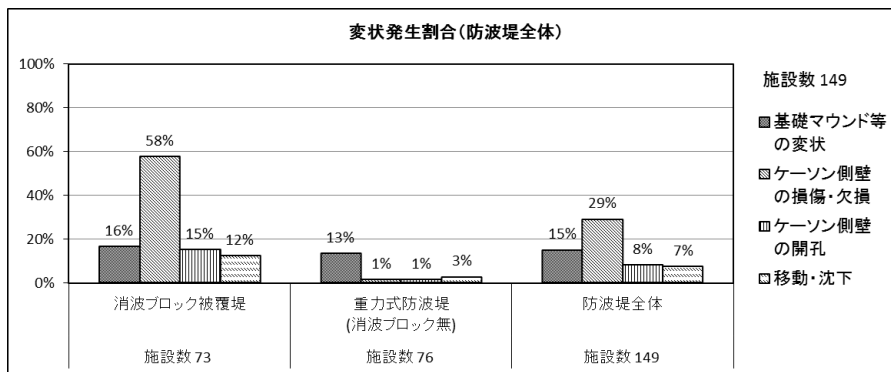


図-3.15 変状発生割合（防波堤全体）

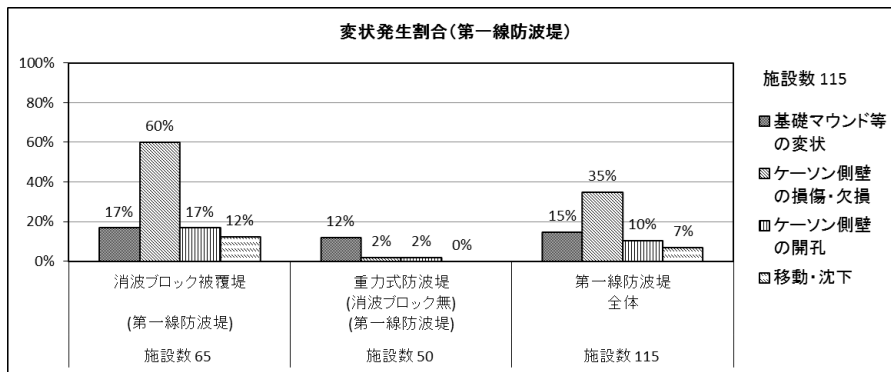


図-3.16 変状発生割合（第一線防波堤）

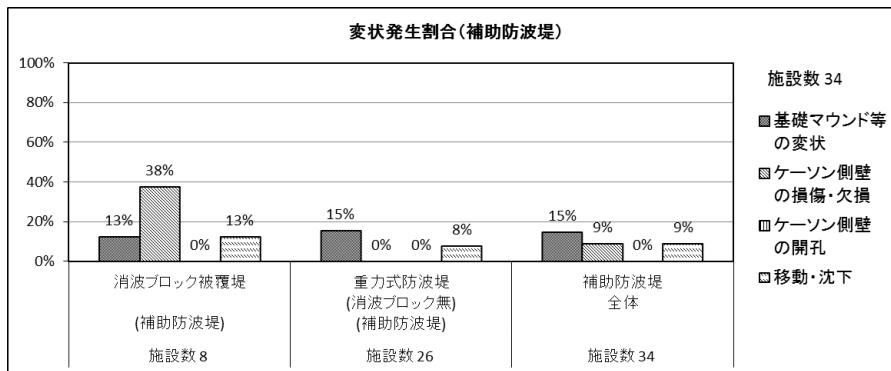


図-3.17 変状発生割合（補助防波堤）

(2) 変状傾向の分析

消波ブロック被覆堤において「ケーソン側壁の損傷・欠損」の発生割合が大きい要因は、消波ブロックがない重力式防波堤において「ケーソン側壁の損傷・欠損」の発生割合が小さいことから、消波ブロックの移動・散乱によるものと考えられる。

また、第一線防波堤では変状発生の割合が補助防波堤に比べて大きいですが、その要因は高波浪等の厳しい環境下に置かれていることによるものと想定される。

消波ブロック被覆堤におけるケーソン側壁の損傷の変状傾向については3.5でさらに詳細に分析を行う。なお、消波ブロックがない重力式防波堤におけるケーソン側壁の損傷は欠損や開孔等である。その損傷の要因は当該防波堤の損傷箇所付近で被覆石の散乱が確認されていることから、被覆石の飛散による接触が要因であると想定される。また、開孔箇所は点検結果や写真を確認すると、直径10mm程度であり、ケーソン据付等のために意図的に削孔されたことも想定されるが、詳細な要因は不明である。

3.4 岸壁および栈橋における変状傾向の分析

(1) 変状発生状況

岸壁および栈橋における変状発生状況は構造形式別に整理した(図-3.18)。重力式係船岸では他の構造形式に比べて「空洞化」(29%)の変状発生割合が大きい。矢板式係船岸では他の構造形式に比べて「鋼材の腐食」(24%)、「被覆・電気防食の変状」(17%)、「施設前面の洗掘」(15%)、「施設前面の堆積」(11%)の変状発生割合が大きく、各部材において変状が発生している。栈橋では他の変状に比べて「栈橋上部工の変状」(31%)の変状発生割合が大きい。

また、各構造形式の変状発生状況を水深別に分けて整理した(図-3.19～図-3.21)。水深区分については、老平⁶⁾や岩崎⁷⁾によって行われた全国の係留施設の構造諸元などに関する統計的分析と同様に、-4.5m未満、-4.5m以上-10m未満、-10m以上とした。

重力式係船岸では「空洞化」の変状発生割合は若干ではあるが、水深が深い施設ほど小さい。矢板式係船岸でも同様の傾向が見られるが、栈橋では逆の傾向を示しており、本整理では「空洞化」の発生に水深の影響があるかは不明である。なお、栈橋の「空洞化」は土留め部における変状であり、土留め部の構造形式の比率は重力式5:矢板式4:その他1である。

矢板式係船岸では「鋼材の腐食」は水深が深くなるほど発生割合が小さい。しかし、同じく鋼材を使用している栈橋では水深別に大きな差は見られないため、本整理では「鋼材の腐食」の発生に水深の影響があるかは不明である。その他、「施設前面の洗掘」および「被覆・電気防食の変状」の発生割合は水深による差がほとんどない。

栈橋では「栈橋上部工の変状」は水深-4.5m未満で大きい、「空洞化」および「栈橋上部工の変状」以外の変状には水深による発生傾向は見られない。

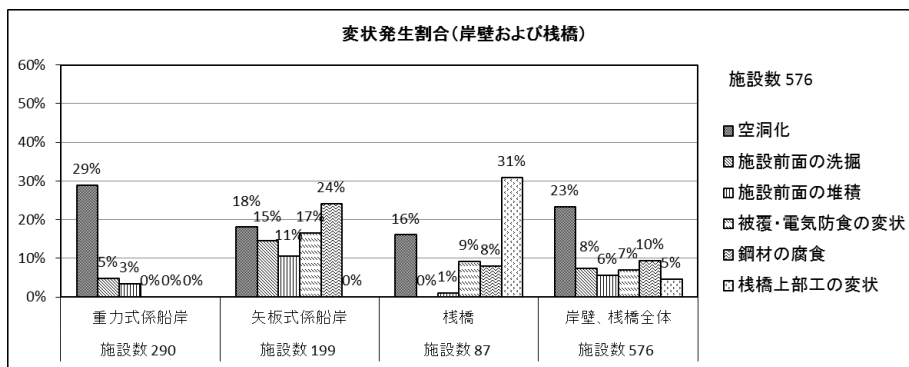


図-3.18 変状発生割合(岸壁および栈橋)

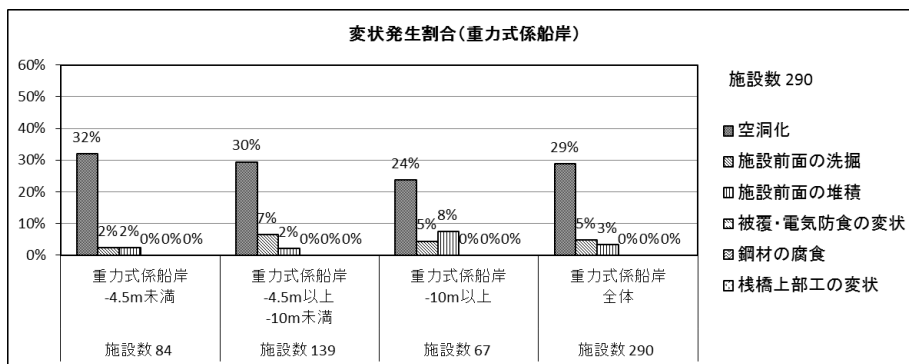


図-3.19 変状発生割合(重力式係船岸(水深別))

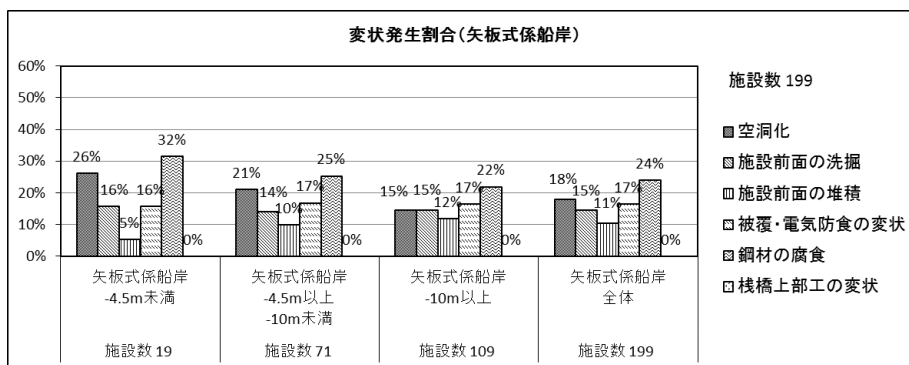


図-3.20 変状発生割合(矢板式係船岸(水深別))

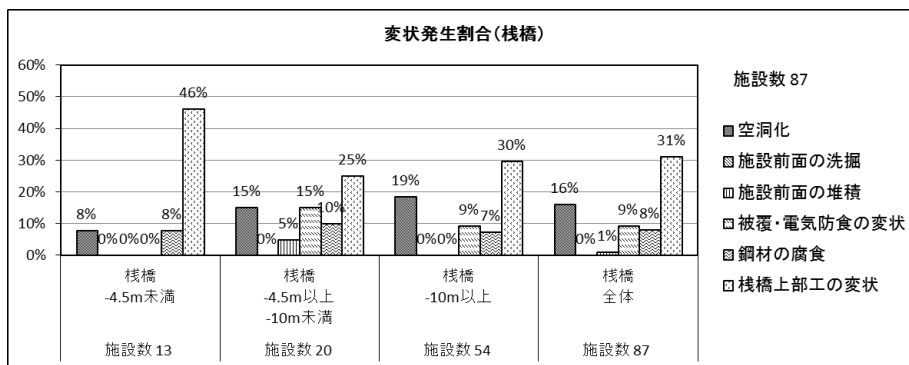


図-3.21 変状発生割合(栈橋(水深別))

(2) 重力式係船岸における変状傾向の分析

重力式係船岸では「空洞化」の変状発生割合が他の構造形式に比べて大きい。空洞化の発生要因は背後土砂自体の圧密沈下、防砂シート破損による裏込石への流出、防砂目地破損による目地部からの流出などが考えられ、重力式係船岸では他の構造形式と異なり、目地部が存在することで、特に目地部からの流出が空洞化の発生割合を高くした要因と考えられる。佐藤ら⁸⁾は重力式係船岸における空洞位置から本体工目地までの距離別の空洞箇所数を整理しており、これによれば、目地部に近い位置ほど空洞が数多く確認されており、このことから目地部を有する重力式係船岸では空洞化が発生しやすい傾向にあると考えられる。

(3) 矢板式係船岸における変状傾向の分析

矢板式係船岸では「鋼材の腐食」、「被覆・電気防食の変状」、「施設前面の洗掘」、「施設前面の堆積」の変状発生割合が他の構造形式に比べて大きい。被覆・電気防食を含む鋼材に関わる変状については、「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル」⁹⁾等に腐食メカニズムや防食法、さらには維持管理の考え方や方法が示されており、研究が進んでいる分野である。施設前面の洗掘や堆積については、発生の仕組みは未解明な部分が多く、特に洗掘の発生は施設の安全性に大きく関わる事項であるため、予防保全の観点から対応を行うことが重要と考えられる。そこで、本検討では「施設前面の洗掘」に着目し、変状傾向の分析を行った。

洗掘は施設前面の流れや船舶スクループロペラの水流によって発生すると考えられるが、基礎工を含む海底地盤の状況によって洗掘の発生傾向が異なることが想定される。重力式係船岸では重量が大きい本体工を支持するために、基礎捨石を設置することが一般的であり、棧橋でも土留め部の安定性や棧橋下部工である鋼管杭の抵抗力を期待するために、基礎捨石を設置することがよく見られる。しかし、矢板式係船岸では軟弱地盤への対策として砂による置換工法、サンドコンパクションパイル工法などの地盤改良が行われるが、基礎捨石が設置されることは少ない。その他、棧橋では直立面を持たないことから、洗掘を引き起こす水流等が発生しにくいことが想定される。そのため、矢板式係船岸では他の構造形式と違い、基礎捨石が設置されないことによって、施設前面の洗掘の変状発生割合が大きくなったと考えられる。

構造形式別に洗掘の程度を把握するために、施設前面の洗掘が確認された施設の内、1m以上の洗掘(劣化度a)が確認された施設の割合を整理した(表-3.7)。この結

果、重力式係船岸では36%、矢板式係船岸では59%、棧橋では0% (洗掘が確認されていない) であり、矢板式係船岸は他の構造形式に比べて、著しい洗掘が発生することが多いと考えられる。岸壁における洗掘の発生要因については3.6でさらに詳細に分析を行う。

表-3.7 1m以上の洗掘が確認された施設数および割合

構造形式	洗掘発生	基礎マウンドの有無		1m以上の洗掘(劣化度a)	
		有	無	施設数	割合
重力式係船岸	14	12	2	5	36%
矢板式係船岸	29	1	28	17	59%
棧橋	0	0	0	0	-
合計	43	13	30	22	51%

※劣化度については表-3.9参照。

(4) 棧橋における変状傾向の分析

棧橋では「棧橋上部工の変状」の発生割合が他の変状と比較して大きい。「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」²⁾によれば、棧橋上部工に発生するひび割れ等の変状は、多くの場合、塩害による劣化とされている。塩害による劣化とは、海水の飛沫等から塩化物イオンがコンクリート中に侵入し、コンクリート内部の鉄筋が腐食することでひび割れが発生し、鉄筋の腐食が進行するにつれて、徐々にひび割れ幅が大きくなり、やがてかぶり部分が剥離、剥落することである。

棧橋上部工の変状が確認された施設は集中点検が実施された施設の内、経過年数30年以上に多く、変状が確認された27施設中23施設が経過年数30年以上である(図-3.22)。また、集中点検において塩化物イオン含有量試験が行われた施設について、塩化物イオン濃度を整理した。その結果、塩化物イオン含有量試験が行われたほとんどの施設で鋼材腐食発生限界濃度 2.0kg/m^3 以上の塩化物イオン含有量が確認された(図-3.23)。このことから、棧橋上部工の変状の要因は経年的な塩化物イオンの侵入によるものと想定される。なお、図-3.23に示す塩化物イオン含有量はコンクリート表面から60~80mmの位置での値である。

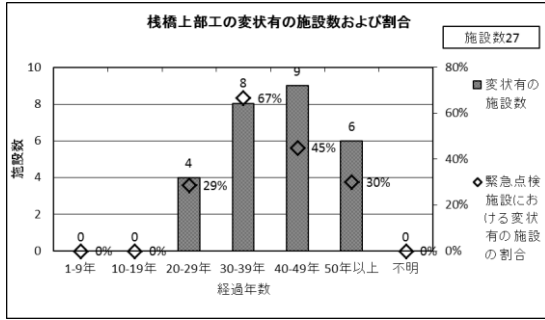


図-3.22 栈橋上部工の変状有の施設数

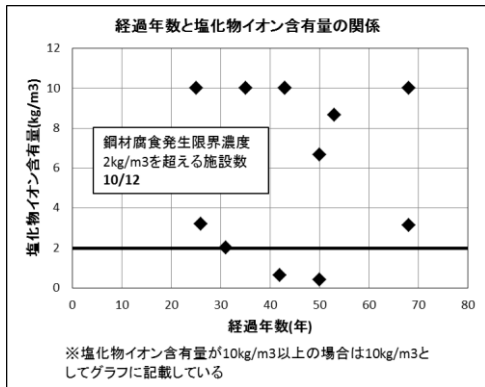


図-3.23 経過年数と塩化物イオン含有量の関係

言及されていない。

その後、平成元年に発刊された技術基準でも同じく鉄筋のかぶりの標準値として7cmが記載されているが、さらに栈橋上部工の劣化に対する留意事項として、“かぶり不足では鉄筋の腐食が起りやすくなる”，および“塩害による鉄筋の腐食の防止にはかぶりの増加が有効である”ことが記載され、ここで栈橋上部工のかぶりは7cmとすることが明確に示された。このことから、平成元年より以前には栈橋上部工は“海水に直接接する部分、海水で洗われる部分、及び激しい潮風を受ける部分”としてすべての設計者に認識されていたわけではなく、そのため、標準値7cmを下回るかぶりでも栈橋上部工の設計が行われた施設があると推測される。

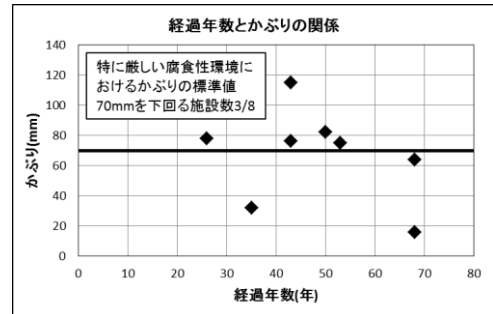


図-3.24 経過年数とかぶりの関係

また、平成元年度に発刊された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁰⁾(以下、「技術基準」という。)には、かぶり不足では鉄筋の腐食が起りやすいことが記載されている。そこで、変状が確認された施設のかぶりを確認すると、一部の施設で特に厳しい腐食性環境におけるかぶりの標準値70mmを下回っていた(図-3.24)。さらに、大即ら¹¹⁾による1988年に行われた栈橋上部工の調査報告においても、調査対象であった経過年数35~55年(1988年当時において経過年数10~30年)の一部の施設でかぶりの標準値70mmを下回っていることが確認されている。これらのことから、経過年数30年以上の一部の栈橋では、かぶり不足である施設が存在していると想定され、このような施設では変状が発生しやすい状況にあるため、注意が必要と考えられる。

なお、技術基準等における栈橋上部工のかぶりに関する記述は、昭和25年に発刊された「港湾工事設計示方要覧」では付録に鉄筋コンクリート標準示方書の抜粋が記載され、“海水の作用をうける鉄筋コンクリートのかぶりは7.5cm以上としなければならない”となっている。昭和54年に発刊された技術基準では鉄筋のかぶりの標準値として“海水に直接接する部分、海水で洗われる部分、及び激しい潮風を受ける部分は7cm”が記載されているが、この時点で栈橋上部工のかぶりを7cmにすることは

3.5 防波堤におけるケーソン側壁の損傷の分析

(1) 対象施設の概要

防波堤におけるケーソン側壁の損傷は3.1で前述したとおり、著しい変状が確認された21施設について各整備局等から情報を収集し、その情報を基に変状発生の要因を分析した。ただし、21施設の内、2施設については後述の理由から分析の対象外とし、19施設を対象として分析を行った。

分析にあたり、防波堤の設置条件、波浪条件および消波ブロックの規格などは工区によって異なるため、工区別に整理することとした。整理した工区は施設の内、消波ブロックで被覆されている工区であり、消波ブロックで被覆されていない工区は対象外とした。整理した工区数は109、工区総延長は19,741mである(表-3.8)。この内、約8割の工区において損傷が確認され(劣化度a, b, cである工区)、ブロック別では約3割のブロックにおいて損傷が確認された(図-3.25, 図-3.26)。ここで、劣化度は表-3.9に示す判定基準に基づくものである。また、各工区の劣化度は工区内のブロック(本体工1函)に劣化度a, b, cがある場合はそれぞれ劣化度a, b, cとして整理した。

図-3.27, 図-3.28に経過年数別に本体工劣化度別の工区数および割合を示す。経過年数50年以上を除き、本体工劣化度aおよびbの工区数は経過年数と共に増加する傾向にある。本体工劣化度aの割合は経過年数20~49年まで約1割とほぼ一定であるが、本体工劣化度dの割合は減少傾向にある。

表-3.8 対象施設の施設数および工区数

施設数	工区数	工区延長(m)	劣化度(工区数)			
			a	b	c	d
19	109	19,741	9	21	57	22

表-3.9 本体工の劣化度の判定基準²⁾

劣化度	劣化度の判定基準
a	中詰材が流出するような穴開き、ひび割れ、欠損がある。広範囲に亘り鉄筋が露出している。
b	複数方向に幅3mm程度のひび割れがある。
c	1方向に幅3mm程度のひび割れがある。局所的に鉄筋が露出している。
d	変状なし。

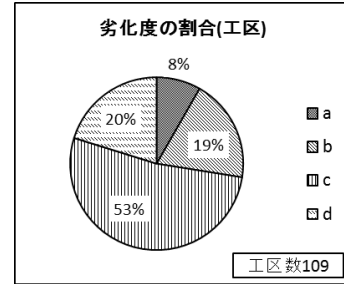


図-3.25 劣化度の割合(工区)

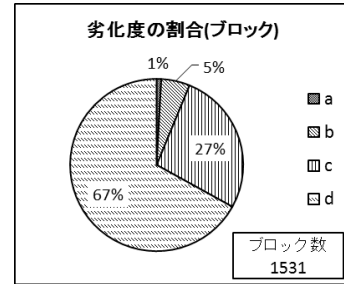


図-3.26 劣化度の割合(ブロック)

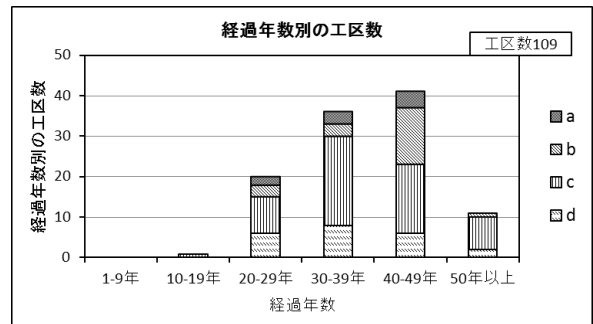


図-3.27 経過年数別の工区数

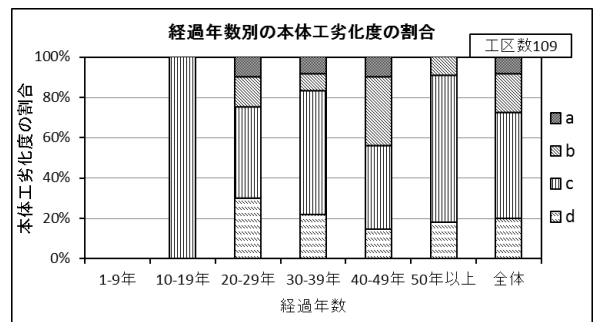


図-3.28 経過年数別の本体工劣化度の割合

(2) 対象施設の除外

情報を収集した21施設の内、2施設を分析の対象から除外した理由は以下のとおりである。

①A防波堤

当該施設の隅角部は消波ブロックで被覆されているが、本体工に損傷がある区間は消波ブロックで被覆されていない。本分析は消波ブロック被覆部を対象とするため、当該施設を分析の対象から除外した。なお、ケーソン側壁の損傷は欠損や開孔等であり、損傷箇所付近で被覆石の散乱が確認されていることから、被覆石の飛散による接触が要因であると想定される。また、開孔箇所は点検結果や写真を確認すると、直径10mm程度であり、ケーソン据付等のために人為的に削孔されたことも想定されるが、詳細な要因は不明である。

②B防波堤

当該施設は港外側側壁に欠損や鉄筋露出が見られるが、港外側より港内側の損傷が著しい。また、当該施設は昭和11年に築造され、昭和52年の改良設計時（消波工設置改良）において既にケーソンに鉄筋露出および上部工の被災履歴が確認されている。港内側の損傷要因は背面上部工厚さ（20cm）が小さいこと、および本体工ケーソンのかぶり不足（かぶりは不明）であることから、越波によって背面上部工が叩かれ、上部工および港内側側壁（特に上部）の損傷に至ったものと想定される。港外側の損傷要因は消波ブロックの散乱が確認されていないため、消波ブロックの散乱に起因するのではなく、本体工ケーソンのかぶり不足などから波浪によってコンクリート表面が洗われたことによるものと想定される。これらのことから、当該施設を分析の対象から除外した。

(3) 変状の発生要因

ケーソン側壁の損傷は消波ブロック被覆堤において発生割合が多く、ケーソン側壁と消波ブロックが接触している状況も確認されたことから、消波ブロックの移動・散乱が要因であると想定される。そこで、劣化度別に消波ブロックの実質量とハドソン式による算定質量の比（図-3.29）、防波堤の設置条件等である現地盤水深（図-3.30）、および有義波高（図-3.31）について、劣化度の相違に着目して整理した。

消波ブロックの実質量は消波ブロックの規格（32t型や50t型など）ではなく、メーカーカタログ等に示されている実質量である。ハドソン式による算定質量は有義波高、消波ブロックの勾配、 K_D 値等から算定される消波ブロッ

クの質量であり、いわゆる、 K_D 値によるハドソン式（3.1）を用いて求めた質量（被害率1%程度）である。平成11年版の技術基準以降では安定数 N_s によるハドソン式（3.2）を用いて算定するが、対象施設（工区）の大半が平成11年版の技術基準より以前の施設（工区）であり、換算沖波等の算定条件が収集できる施設も限られていることから、横並びを図った分析を行うために、 K_D 値によるハドソン式（3.1）を用いて求めた質量を一つの指標として整理した。

なお、消波ブロックの実質量とハドソン式による算定質量の比が1未満である工区は、隣接工区の消波ブロックの規格を準用した消波ブロックの規格選定や、被害率5%を許容した消波ブロックの規格選定などが行われた工区である。

図-3.29には横軸に劣化度（a, b, c, d）を取り、左縦軸として消波ブロックの実質量とハドソン式による算定質量の比（◇, □, △, ○印）を示し、右縦軸として比1.0未満の工区数の割合（*印）を示す。劣化度a, bでは劣化度c, dに比べて実質量と算定質量の比1.0未満の工区数の割合は高い。つまり、消波ブロックの実質量とハドソン式による算定質量の比が小さい工区では、本体工劣化度a, bとなる損傷が発生しやすいと考えられる。

図-3.30および図-3.31には横軸に劣化度（a, b, c, d）を取り、縦軸として現地盤水深、有義波高（◇, □, △, ○印）を示し、併せて各々の平均値（-印）を示す。劣化度a, bでは比較的水深が深く、波高が高い条件下にあることがわかる。特に劣化度a, bの波高は6m以上である。

以上から、防波堤におけるケーソン側壁の損傷は、ある程度被害を許容した工区などの消波ブロックが動きやすい箇所が発生しており、消波ブロックの散乱によって発生すると考えられる。また、変状が発生している箇所の設置条件は比較的水深が大きく、波高が高い箇所であり、このような環境下である第一線防波堤ではケーソン側壁の変状が発生しやすいと想定される。

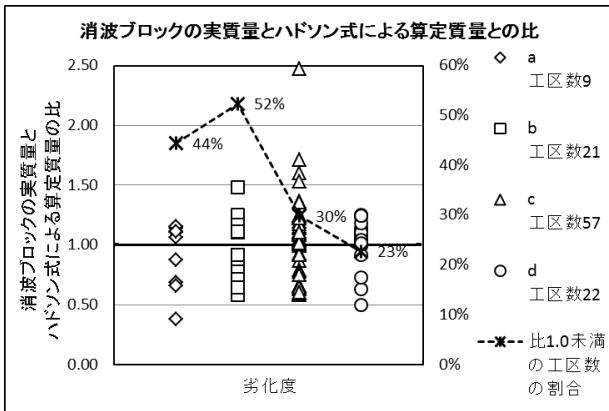


図-3.29 消波ブロックの実質量とハドソン式による算定質量の比

・ K_D 値によるハドソン式

$$M = \frac{\rho_r H^3}{K_D^3 (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (3.1)$$

M ; 消波ブロックの所要質量 (t)
 ρ_r ; 消波ブロックの密度 (t/m^3)
 H ; 安定計算に用いる波高 (有義波高 $H_{1/3}$)
 S_r ; 消波ブロックの水に対する比重
 K_D ; 主として被覆材の形状及び被害率などによって決まる定数

・ 安定数 N_s によるハドソン式

$$M = \frac{\rho_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (3.2)$$

M ; 消波ブロックの所要質量 (t)
 ρ_r ; 消波ブロックの密度 (t/m^3)
 H ; 安定計算に用いる波高 (有義波高 $H_{1/3}$)
 S_r ; 消波ブロックの水に対する比重
 N_s ; 安定数. 主として被覆材の形状, 勾配, 被害率等によって決まる

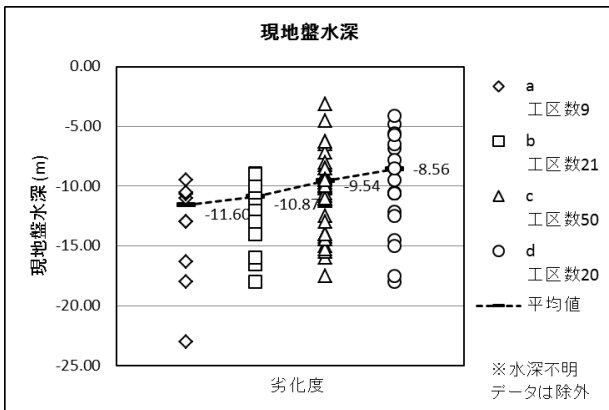


図-3.30 現地盤水深

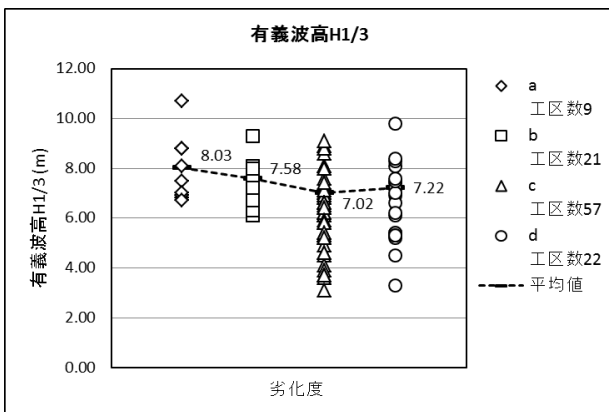


図-3.31 有義波高

3.6 岸壁における施設前面の洗掘の分析

(1) 対象施設の概要

岸壁における施設前面の洗掘は3.1で前述したとおり、著しい変状が確認された26施設について各整備局等から情報を収集し、その情報を基に変状発生の変因を分析した。対象施設は主に海底地盤の劣化度a, bが確認された施設であり、0.5m以上の洗掘が確認された施設である。岸壁における海底地盤の劣化度は表-3.10に示す判定基準に基づくものである。

整理した施設は、施設数26、総施設延長約7,000m、ブロック数474であり(表-3.11)、この内、海底地盤の劣化度a, bであるブロックの割合は35%(劣化度a:20%,劣化度b:15%)である(図-3.32)。ここで、ブロックは点検および劣化度判定の実施単位であり、基本的には重力式係船岸ではケーソン1函、矢板式係船岸では上部工1スパン、栈橋では栈橋上部工1ブロックであり、その他適宜、設定されている場合もある。

また、対象施設の構造形式、計画水深および主な利用船舶別の施設数を図-3.33、図-3.34および図-3.35に示す。主な利用船舶については1施設に複数の船舶の利用があるが、ここでは、利用頻度が高い上位3隻程度の船舶を各整備局等から収集しており、これを基に主要な船舶を1隻挙げて整理した。

なお、本分析では海底地盤の劣化度a, b(0.5m以上の洗掘)を対象としており、後述する洗掘範囲についても0.5m以上の洗掘が確認された範囲を示している。また、本分析において、船舶スクリュープロペラ(以下、「船舶プロペラ」という。)は、主要推進装置である船尾のスクリュープロペラ(以下、「船尾スクリュウ」という。)と、離着岸の補助推進装置であるサイドスラスタのどちらも指す用語として扱っている。さらにサイドスラスタは船首に装備されたバウスラスタと、船尾に装備されたスタンスラスタがあり、ここではどちらも指す用語として扱っている。ただし、船舶によってはバウスラスタのみを装備している場合がある。

対象施設の利用船舶はコンテナ船、PCC船、RORO船、フェリーとサイドスラスタを有する船舶が多い(表-3.12)。その他貨物船等においても5隻中2隻はサイドスラスタを有する船舶であるため、本分析の対象施設では7割の施設(26施設中19施設)においてサイドスラスタを有する船舶が利用していることになる。また、タグボートについては船舶プロペラが旋回式となっており、サイドスラスタを有する船舶と同等の機能を持つと考えられる。

表-3.10 海底地盤の劣化度の判定基準²⁾

劣化度	劣化度の判定基準
a	岸壁前面で深さ1m以上の洗掘がある。 洗掘に伴い、マウンド等や岸壁本体への影響が見られる。
b	岸壁前面で深さ0.5m以上1m未満の洗掘がある。
c	深さ0.5m未満の洗掘又は堆積がある。
d	変状なし。

表-3.11 対象施設の施設数およびブロック数

施設数	施設延長(m)	ブロック数	洗掘ブロック数	劣化度(ブロック数)		
				a	b	a, b以外
26	6,987.66	474	165	95	70	309

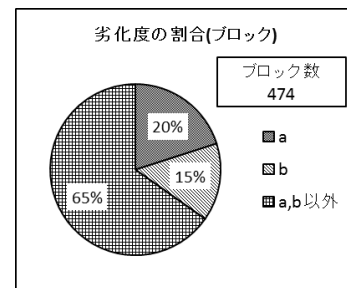


図-3.32 劣化度の割合

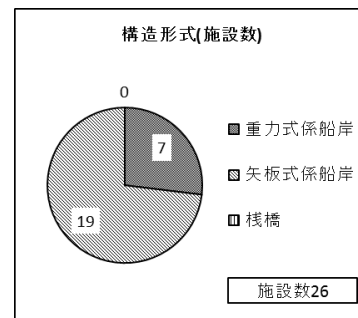


図-3.33 構造形式

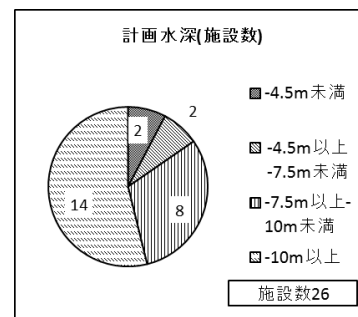


図-3.34 計画水深

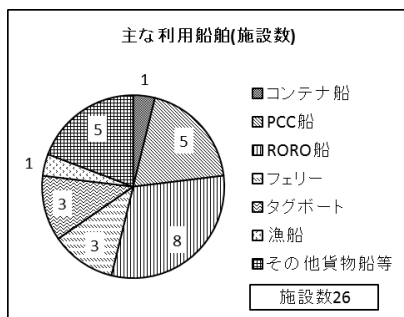


図-3.35 主な利用船舶

表-3.12 利用船舶のサイドスラスタの有無

主な利用船舶	施設数	サイドスラスタ	
		有	無
コンテナ船	1	1	0
PCC船	5	5	0
RORO船	8	8	0
フェリー	3	3	0
タグボート	3	0	3
漁船	1	0	1
その他貨物船等	5	2	3
合計	26	19	7

※その他貨物船等：貨物船、セメント運搬船、石材船

(2) 変状の発生要因

集中点検結果から洗掘は施設全延長に及ぶのではなく、部分的に発生していることが確認された。洗掘の要因は、施設前面水域の流れや船舶プロペラの水流によるものと想定されるが、本分析の対象施設では部分的な洗掘が発生している場合が多いため、船舶プロペラの水流によるものと考えられる。各整備局等へのヒアリングにおいても、「洗掘の要因は船舶プロペラによるものと想定される」との回答が複数得られた。

そこで、実利用船舶のサイドスラスタを含む船舶プロペラ位置を船舶諸元から推定し、洗掘発生位置との関係を整理した。なお、スタンスラスタの位置は船尾スクリューとほぼ同位置と考えられるため、船尾スクリューとバウスラスタの位置を用いて整理した。

整理手順としてはまず、例えば図-3.36のように各施設に対して、洗掘範囲（網掛け）と、船尾スクリュー位置（*印）またはバウスラスタ位置（○印）との関係を把握し、洗掘位置から船舶プロペラ位置までの距離を算出した。距離の算出方法としては、船舶プロペラ位置が洗掘範囲外であれば、洗掘位置から船舶プロペラ位置までの距離を算出し、洗掘範囲内にあれば距離を0mとした。

次に図-3.37、図-3.38に示すとおり、横軸に対象施設A～Z岸壁（26施設）を置き、縦軸に各施設において算出した洗掘位置から船舶プロペラ位置までの距離を配置し、

洗掘位置と船舶プロペラ位置が一致している施設数を確認した。なお、離着岸時には船舶は前後に動くことから、洗掘位置から15m（およそ1ブロックの延長）までは一致しているものとして整理した。図-3.37、図-3.38において、船舶1、2、3は利用頻度が高い上位3隻の船舶を示している。また、船舶プロペラ位置が示されていない施設は、情報収集において船舶諸元等が不明であった施設であり、これらの施設（5施設）を除き、船舶プロペラ位置が整理できた施設は21施設である。各施設における洗掘位置と船舶プロペラ位置は付録 Aに示す。

この結果、洗掘位置と船舶プロペラ位置が一致している施設は21施設中20施設（95%）であり、整理した施設のほとんど施設が一致しており、洗掘は船舶プロペラによる影響が大きいと考えられる。また、船尾スクリュー、バウスラスタを別々に見ると、船尾スクリューでは20施設中15施設（75%）で一致しており、バウスラスタでは20施設中13施設（65%）で一致している。そのため、洗掘はバウスラスタによる影響も大きいと考えられる。

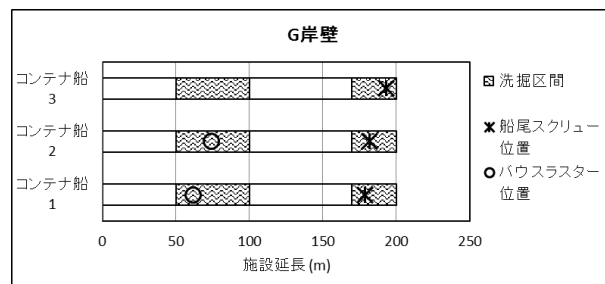


図-3.36 洗掘位置と船舶プロペラ位置（例）

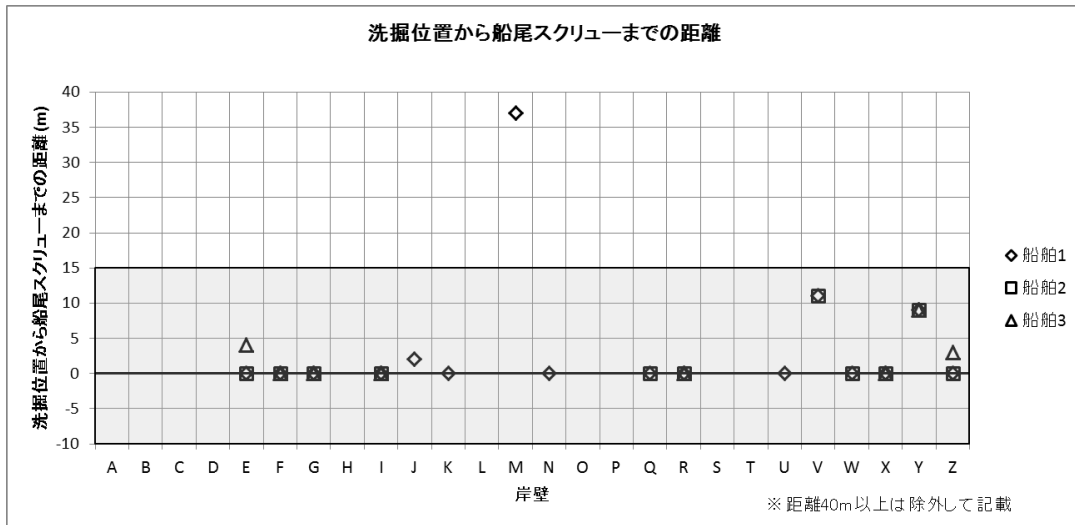


図-3.37 洗掘位置から船尾スクリューまでの距離

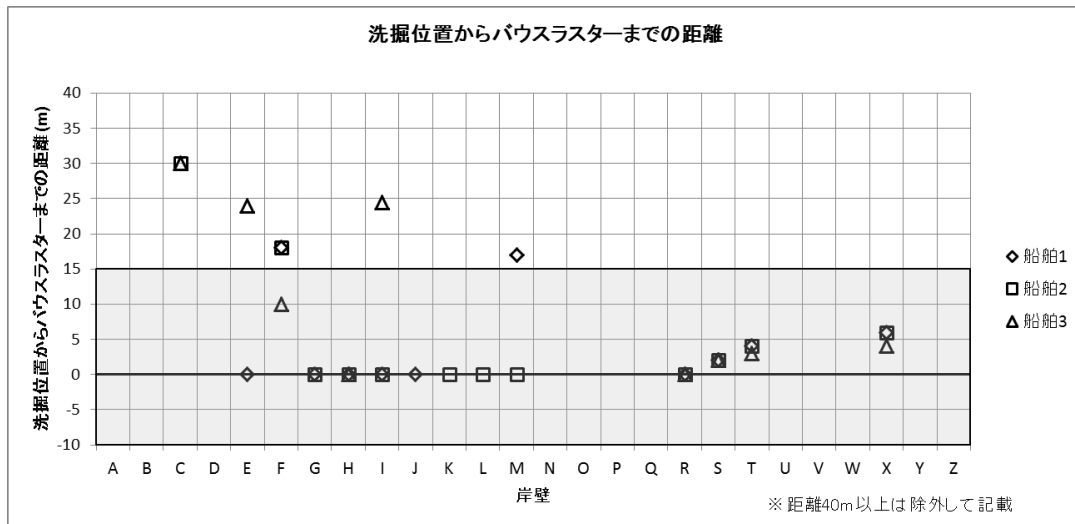


図-3.38 洗掘位置からバウスラスターまでの距離

4. 設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項

3. で示した集中点検結果の整理および変状傾向の分析から、変状傾向およびその発生要因は各構造形式の特徴によって異なることが確認された。そのため、効率的かつ効果的な維持管理に向けては、各構造形式に応じた配慮事項が必要である。また、維持管理における配慮事項は設計時、施工時、点検時の各段階で検討または実施できる内容は異なり、設計時には変状を発生させない部材の検討や、変状が発生した場合に容易に対応可能な構造への工夫など、施工時には施工途中における変状発生の防止など、点検時には変状連鎖を勘案した変状の早期発見などの観点から実施していくことが重要である。そこで、3. で示した変状傾向およびその発生要因の分析結果を基に、既往文献も踏まえて構造形式別に設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項の検討を行った。

また、集中点検結果の整理および変状傾向の分析を行った際に、維持管理を実施していく上での課題が確認されたため、この課題に対する配慮事項についても整理した。

4.1 消波ブロック被覆堤

(1) 変状傾向

消波ブロック被覆堤では消波ブロックがない重力式防波堤に比べて、消波ブロックの移動・散乱によってケーソン側壁に穴開き、ひび割れ、欠損、鉄筋露出などの損傷が発生しやすい傾向にある。特に現地盤水深が深く、高波浪等が来襲する第一線防波堤ではその傾向が強い。そこで、ケーソン側壁の損傷に対する設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項を整理した。図-4.1に消波ブロック被覆堤におけるケーソン側壁の損傷の概念図を示す。

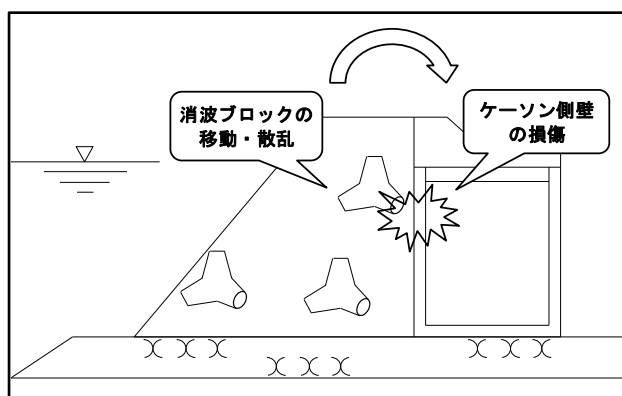


図-4.1 消波ブロック被覆堤におけるケーソン側壁の損傷の概念図

(2) 設計時の配慮事項

a) 側壁の耐衝撃設計および予防工法の検討

防波堤の本体工ケーソンにおいて重大な損傷は穴開きによる中詰材の流出であり、中詰材の流出に伴い防波堤の安定性が損なわれ、防波堤の滑動・転倒などを引き起こすことである。

そこで、設計時の配慮事項としては、ケーソン側壁の耐衝撃設計および予防工法の検討が考えられる。川端ら¹²⁾の検討にはケーソン側壁に対する耐衝撃設計および予防保全に関する知見がまとめられており、設計時に消波ブロックの規格、ケーソン形状、配筋などからケーソン穴あきが発生するかどうかを照査することが可能であり、この照査結果は補強工法などの予防対策を実施するかどうかの判断材料となる。予防対策の実施の判断についてはさらに、施設の重要度、現地条件、および損傷した場合の復旧費用などを勘案する必要があり、予防工法の選定については施工性や施工費などを考慮する必要がある。

b) 点検孔の設置の検討

ケーソン側壁は消波ブロックで被覆されているため、点検が容易ではなく、特に第一線防波堤は天端高も高いことから、ケーソン側壁を確認することが難しい。そこで、設計時の配慮事項としては、ケーソン側壁の穴あきによる中詰材の流出が確認できるように、点検孔の設置を検討することも考えられる。点検孔を設置する場合は、ケーソンの港外侧函室を確認できるように、港外侧函室上の上部工に設置することになるが、近年、防波堤の構造形式として上部斜面堤が多数採用されており、このような構造では、点検孔は斜面部に位置することになるため、非常に点検が困難となる。そのため、ある防波堤の事例として図-4.2に示すように、斜面部を後退させて平坦な箇所(point)に点検孔を設置するなどの工夫が必要である。

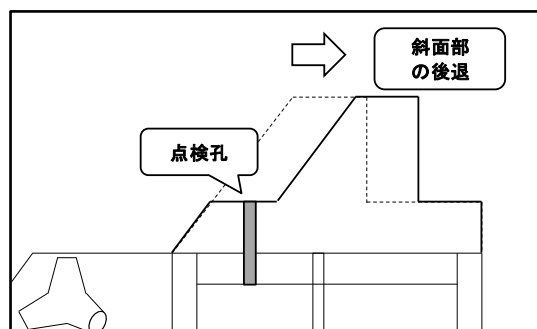


図-4.2 上部斜面堤における点検孔の設置事例

c) 消波ブロックの規格選定

3.5で示したとおり、ある程度被害を許容するものとして消波ブロックの規格選定を行った場合は、ケーソン側壁の損傷が発生しやすい傾向にある。そのため、このような規格選定を行う場合には、変状の早期発見および早期対応を図るために頻度の高い点検を維持管理計画の策定段階から計画するか、また先述したとおり、予防対策の実施と併せて断面の設定を行うことが必要である。

(3) 施工時の配慮事項

a) 確実な消波ブロックの設置

ケーソン側壁の損傷は消波ブロックの接触や衝突によって発生すると考えられることから、消波ブロックの設置には留意が必要である。消波ブロックの設置において、噛み合わせが不十分な状態であった場合に比較的小さな波浪によっても消波ブロックが動くことになり、ケーソン側壁を損傷させる可能性が高くなると想定される。そのため、施工時の配慮事項としては、噛み合わせに留意した消波ブロックの確実な設置が考えられる。例えば、下層から上層へ、法面側から堤体側の順序で1層毎に面的に仕上げていく方法が考えられる¹³⁾。

b) 消波ブロックの散乱に留意した施工

施工途中は消波ブロックが不完全被覆状態であるため、高波浪が来襲した場合に、消波ブロックが散乱することが想定されることから、施工時期や施工方法に留意する必要がある。台風期や冬期には施工が中断することが多く、それに加え波浪が大きいため、この時期を外して施工時期を設定することも配慮事項の一つである。多年度に亘って施工する場合には不完全被覆状態で高波浪時期を迎えることがないように施工範囲を設定することも考えられる。

(4) 点検時の配慮事項

a) 消波ブロックの沈下、散乱に注意した点検の実施

ケーソン側壁の損傷は消波ブロックの散乱等に伴い消波ブロックの接触や衝突によって発生することが考えられることから、点検時の配慮事項としては、消波ブロックの沈下、散乱に注意した点検の実施が考えられる。先に述べたように、ケーソン側壁の点検は容易ではないため、消波ブロックの散乱が確認された工区やブロックの周辺を重点的に点検することで、変状の早期発見に繋げることが重要である。

b) 工区境界、断面変化点に注意した点検の実施

川端ら¹²⁾の検討にも記載されているが、消波ブロック不完全被覆部や断面変化点は消波ブロックが散乱しやすい箇所である。集中点検報告書においても堤頭部や消波ブロック不完全被覆部でケーソン側壁の損傷が確認されており、このような工区境界や断面変化点に着目して点検を実施することも点検時の配慮事項として考えられる。

4.2 重力式係船岸

(1) 変状傾向

重力式係船岸では本体内目地が存在することで本体内目地からの裏埋土砂流出による空洞化の発生の割合が高い傾向にある。そこで、本体内の目地開きなどによって発生する空洞化に対する設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項を整理した。図-4.3に重力式係船岸における空洞化の概念図を示す。

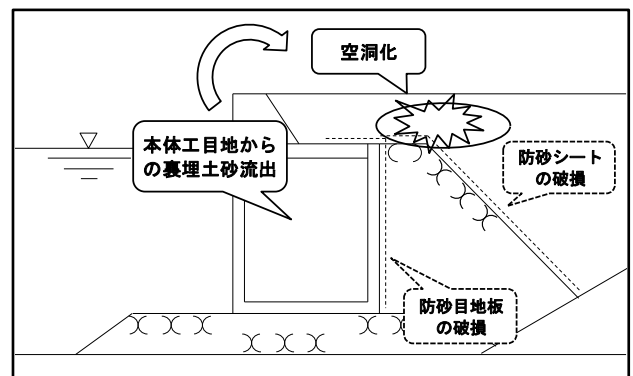


図-4.3 重力式係船岸における空洞化の概念図

(2) 設計時の配慮事項

a) 本体内移動に追従可能な目地材設置の検討

空洞化は防砂目地板、防砂シート破損等による裏埋土砂の流出が要因と想定されることから、設計時の配慮事項としては、防砂目地板が破損しないように本体内の移動（目地開き）に追従可能な目地材の設置を検討することが考えられる。このような防砂目地板は近年開発された技術の一つであるが、これらの新しい技術を活用しながら、空洞化に対する予防保全対策を検討することが重要である。

b) 裏込材上面の固化改良等の検討

設計時の配慮事項としては、予防保全の観点からライフサイクルコスト等を勘案し、裏込材上面の固化改良を設計時に検討することも考えられる。裏込材上面の固化改良は空洞化が確認された既存施設への対応の一つであ

るが、この固化改良を設計時に検討し、事前対策を行うことで空洞化の発生を防止することが考えられる。裏込材上面の固化改良の事例としては「港湾施設の維持管理における課題の整理および解決の方向性」¹⁴⁾に記載がある。

(3) 施工時の配慮事項

a) 防砂目地板および防砂シート設置時の破損に留意した施工

空洞化の要因となる防砂目地板や防砂シートの破損等は裏込材、裏埋土投入時などの施工時に発生することがあるため、施工時の配慮事項としては、防砂目地板や防砂シート付近に裏込材や裏埋土砂を投入する時には破損に留意した慎重な施工が考えられる。その施工方法としては、裏込材や裏埋土砂の投入を高所から行わないことなどが考えられる。

b) 裏埋土砂投入時の締固め

空洞化は経年的な締固めによる裏埋土砂自体の沈下によって発生することも想定されることから、施工時には十分な締固めを行うことも配慮事項と考えられる。実際には水面下の締固めは困難であることから、裏埋土砂が水面上となった段階で締固めを実施することが想定される。

(4) 点検時の配慮事項

a) エプロン沈下等の変状連鎖を踏まえた点検の実施

空洞化はエプロン下の土中で発生しており、空洞化の確認にはレーダ探査や削孔調査などの詳細調査が必要となるが、調査機器などの調達、岸壁利用状況などから直ちに調査を実施し、確認出来るわけではない。しかし、空洞化は集中点検の着目点でもあるように重大な事故に繋がる可能性があるため、早期発見が重要である。そこで、点検時の配慮事項としては、空洞化をレーダ探査や削孔調査などにより確認する方法以外にも、変状連鎖を踏まえて、空洞化によって発生するエプロンの沈下、段差や、空洞化の要因である目地開き、土砂流出によって起こりうる施設前面の堆積に着目して点検を実施することが考えられる。ここで、変状連鎖とは、ある原因によって発生した部材の変状が、他の部材にも影響を与え、そのことが他の部材の変状に繋がり、ついには構造物の性能低下に至る過程のことである。

4.3 矢板式係船岸

(1) 変状傾向

岸壁では船舶プロペラの水流によって施設前面の洗掘が発生することが考えられる。特に矢板式係船岸では一般的に基礎マウンドが設置されていないことから、他の構造形式に比べて著しい洗掘が発生しやすい傾向にある。図-4.4に矢板式係船岸における洗掘の概念図を示す。船舶には推力を得るために船尾スクリューがあるが、これに加え、大型の船舶等では離着岸の補助推進装置としてサイドスラスタを装備している場合があり、船尾スクリューだけではなく、このサイドスラスタの水流によっても洗掘が発生していることが考えられる。そこで、サイドスラスタも含めた船舶プロペラの水流による洗掘に対する設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項を整理した。

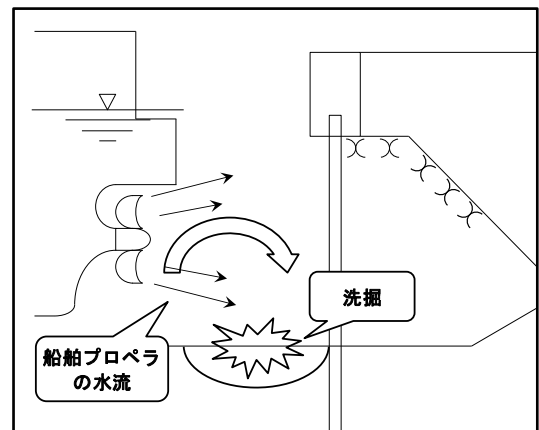


図-4.4 矢板式係船岸における洗掘の概念図

(2) 設計時の配慮事項

a) 基礎工、根固工等の設置の検討

矢板式係船岸における洗掘は、船舶プロペラの水流により現地盤の砂等が巻き上がることによって発生すると想定されることから、設計時の配慮事項としては、船舶プロペラの水流の抵抗となるように、基礎工や根固工などの設置を検討することが考えられる。重力式係船岸のように基礎捨石(10~200kg/個等)が設置されていても洗掘が発生する場合がありますので、このような場合には基礎捨石よりも規格が大きい被覆石(200~400kg/個等)の設置を検討することが考えられる。例えば、船舶プロペラの水流の海底における流速を求め、流速から被覆材の所要質量を算出し、これを満足する質量の被覆石を設置することが考えられる。船舶プロペラの水流の流速および被覆材の所要質量の算出例は付録 Bに示す。

b) 洗掘を見込んだ安定照査等の実施

設計時の配慮事項としては、洗掘の発生は岸壁の安定性を低下させることから、設計時に設計水深を深くするなど、洗掘を見込んだ安定照査を実施することも考えられる。ただし、安定照査の実施にあたっては、洗掘量や照査断面などを適切に設定することが重要である。

(3) 施工時の配慮事項

a) 床掘、浚渫の出来形管理データの記録

矢板式係船岸だけではなく、施設全般に関わる事項であるが、点検において洗掘と判断しても、実際には床掘や浚渫時の深堀によって洗掘が発生した状態となっている可能性もある。そのため、施工時の配慮事項としては、床掘や浚渫の出来形管理データを記録し、維持管理段階に確実に引き継ぐことが考えられる。

(4) 点検時の配慮事項

a) 船舶接岸位置に留意した点検の実施

洗掘は船舶プロペラの水流によって発生すると考えられることから、点検時の配慮事項としては、利用船舶の接岸位置に留意して点検を実施することが考えられる。フェリー、PCC船、RORO船、コンテナ船など比較的大きな船舶が利用している岸壁では、これらの船舶の接岸位置は毎回ほぼ同じ位置であることが想定され、洗掘箇所は接岸位置に対応して部分的に発生している可能性が高い。そのため、利用船舶の接岸位置を把握することは洗掘の早期発見や対応に繋がると考えられる。さらに、これらの船舶はサイドスラスタを有しているため、船尾のみならず船首付近でも洗掘が発生している可能性があり、このことに留意し点検することも重要である。

b) 周辺施設の洗掘傾向の把握

周辺施設において、当該施設と同様の船舶が利用しており、その施設で洗掘が確認されているのであれば、当該施設も洗掘が発生している可能性がある。そのため、点検時の配慮事項としては、周辺施設の洗掘状況などを把握することも考えられる。

4.4 栈橋

(1) 変状傾向

栈橋では経過年数30年以上の施設において栈橋上部工の変状が発生しやすい傾向にある。この要因は経年的な塩分の侵入によるものと想定される。そこで、経過年数30年以上の栈橋上部工に対する維持管理における配慮事項を整理した。既設であるため点検時のみとなるが、栈橋

上部工は既設に関わらず新設においても配慮すべき事項がある。そこで、設計時および施工時の配慮事項については新設に対する内容を整理した。図-4.5に栈橋における栈橋上部工の変状の概念図を示す。

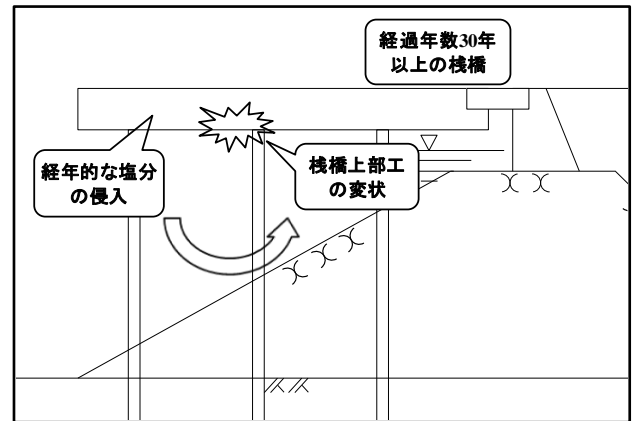


図-4.5 栈橋における栈橋上部工の変状の概念図

(2) 設計時の配慮事項

a) 維持管理レベルに応じた栈橋上部工の設計の実施

通常の鉄筋コンクリートの栈橋上部工では、一般的に施設天端高（天端高および部材厚さによって設定されるH.W.L.から床版や梁までの距離）や鉄筋のかぶりであれば、海水の飛沫からの塩分供給により、供用期間中に塩化物イオン濃度が鉄筋腐食発生限界濃度 2.0kg/m^3 を超えることがほとんどである¹⁵⁾。そのため、設計時の配慮事項としては、ライフサイクルコスト等を勘案し、栈橋上部工の維持管理レベルに応じた設計を実施することが考えられる。例えば、維持管理レベルⅠではエポキシ樹脂塗装鉄筋やステンレス鉄筋などの高耐久性鉄筋の使用、高耐久性埋設型枠の使用などの検討、維持管理レベルⅡでは鉄筋腐食発生時期を予測し、維持補修計画の立案などの検討を行うことである。

b) 点検孔、点検足場等の設置の検討

栈橋上部工（下面）は陸上からの点検が出来ず、海上からの点検となるが、その際に船舶の利用状況や干満によって点検できる時間が限られるなど、容易に点検が実施できない。そのため、変状の発見が遅れることで、補修にかかる費用が増加することがある。そこで、設計時に点検孔、点検足場、モニタリング用センサの設置¹⁶⁾の検討を行い、変状の早期発見に繋がるようにすることも配慮事項と考えられる。

これらの維持管理に配慮した栈橋の検討については、岩波¹⁵⁾の提案を参考にすることができる。

(3) 施工時の配慮事項

a) 設計思想に沿った確実な施工

設計時に維持管理に配慮した設計を行っても、その考えを基に施工が行われなければ適切な配慮とはならない。そのため、施工時の配慮事項としては、設計の考えを十分に理解した上で、鉄筋位置やかぶりなど、設計思想に沿った確実な施工を実施することが考えられる。鉄筋位置やかぶりはコンクリート中の塩化物イオン濃度やひび割れにも影響することから重要な事項である。

b) コンクリート打設時の塩分侵入に対する注意

コンクリート中の塩化物イオン濃度は、供用期間中だけでなく、施工中にも海水の飛沫によって増加する恐れがある。そのため、施工時の配慮事項としては、コンクリート打設時には塩分の侵入に対して注意し、海水の飛沫対策などを実施することも考えられる。

(4) 点検時の配慮事項

a) 既往点検を踏まえた点検の実施

経過年数30年以上の栈橋に対する維持管理の配慮事項としては、コンクリート中の塩分濃度などの既往点検結果を確認した上で、点検を実施することが考えられる。経過年数30年以上の栈橋では鋼材腐食発生限界以上の塩分濃度となっている可能性があり、変状が顕在化していない部位においても、その後供用期間中に変状が発生する恐れがある。そこで、予防保全対策や変状への早期対応のため、事前に既往点検結果等を確認した上で、調査計画段階に点検の重点箇所を選定すると共に、表面被覆や脱塩工法などの補修を見越した点検を実施することが重要である。また、経過年数30年以上の一部の栈橋では、かぶり不足である施設が存在していると想定され、このような施設では変状が発生しやすい状況にあるため、注意が必要と考えられる。

4.5 起点の設定時の配慮事項

(1) 起点の設定（座標系の設定）の重要性

起点の設定（座標系の設定）は施設の維持管理を行うにあたって重要な事項である。起点の設定は起点から終点までのブロック毎の番号付けを行うことも含んでおり、施設の起終点（隣接施設等との境界）、各部材・部位の位置関係を明確にするために実施される。また、起点の設定によって、ブロック毎に点検診断結果が整理され、施設の状態やその経年的な変化を容易に把握することが可能となる。ここで、ブロックは点検の実施単位であり、基本的には重力式係船岸ではケーソン1函、矢板式係船岸

では上部工1スパン、栈橋では栈橋上部工1ブロックであり、その他適宜、設定されている場合もある。

(2) 起点の設定の課題

集中点検結果だけではなく、初回点検結果を確認すると、維持管理上の起点が初回点検と集中点検では異なる施設や、維持管理計画書本文と点検記録では異なる施設が存在していた。このことは、施設の維持管理を行う上で、変状が発生しているブロック番号を間違えて整理することや、施設の状態の把握、劣化予測、補修範囲の設定などを間違えて行うことに繋がりがかねない。このような状況は起点の設定方法に対して、以下の2通りの考えがあるからと考えられる。

a) 港湾の施設の維持管理計画作成の手引き

「港湾の施設の維持管理計画作成の手引き」¹⁷⁾（以下、「手引き」という。）では、起点の設定は海側を紙面の手前に置くことを基本とし、左下を起点とする（左下を基点として座標系を設定する）方法が示されている（図-4.6）。

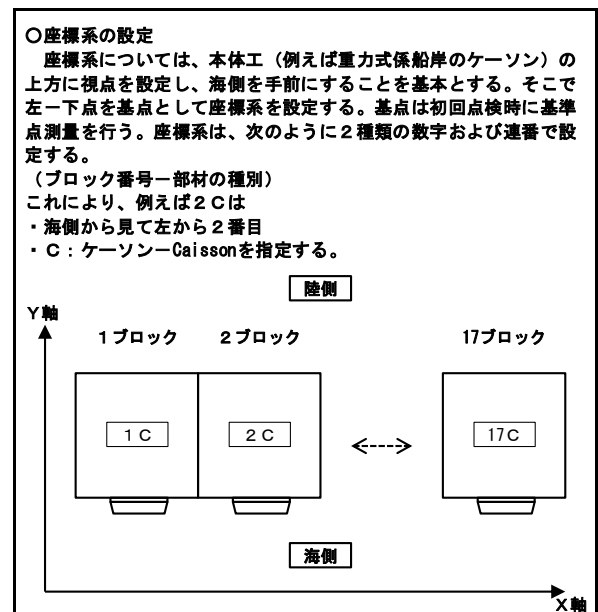


図-4.6 座標系の設定例（重力式係船岸の本体工）

b) 港湾関係災害事務必携

「港湾関係災害事務必携」¹⁸⁾では、起終点の設定は陸側（港内側）より海側（港外側）を見て左側が起点、右側が終点とする方法が示されている（図-4.7）。港湾関係災害事務必携は港湾施設等が台風、地震等により被災した場合に、測量、被災状況、被災原因、復旧方針などを整理・検討する際に用いられる文献である。

また、港湾分野では通例として、標準断面図や横断面図等は図面上において左側を海側（港外侧）、右側を陸側（港内侧）として作図を行ってきた。この断面図等の作図方法は、平面図において海側（港外侧）を見て左側が起点、右側が終点となるように起終点を置き、起点から終点への視方向により断面図を作成する方法であり、起終点の設定方法は港湾関係災害事務必携と同じである。このように、災害時の設定方法または港湾分野における通例によって起点を設定する場合もある。

○起終点の設定方法
被災箇所、被害程度の判定、被災状況及び被災区間を確認し、測量方法を検討の上、次の基準により測点を設ける。

- ① 陸より海に突出している防波堤、突堤、防砂堤、導流堤等は陸側を起点とし、海側を終点とする。
- ② 陸と離れて海上にある防波堤、離岸堤等は陸より海に向かって左側を起点とし、右側を終点とする。
- ③ 岸壁、物揚場及び護岸等は陸より海に向かって左側を起点とし、右側を終点とする。ただし、主施設の取付となっている護岸は、主施設の起（終）点を起点とする。
- ④ 河川、運河を横断する橋梁、水門、こう門等の施設については、上流より海に向かって左側を起点とし、右側を終点とする。

図-4.7 起終点の設定方法（災害時の測量）

起点の設定方法の2通りの違いは①“海を見て右を起点”，②“海を見て左を起点”であり，その違いを概念図に示す（図-4.8）。概念図は係留施設を例とした平面図である。ただし，港湾関係災害事務必携では，陸より海に突出している突堤式の係留施設などは陸側を起点とするなど，場合に応じて設定することが記載されている。

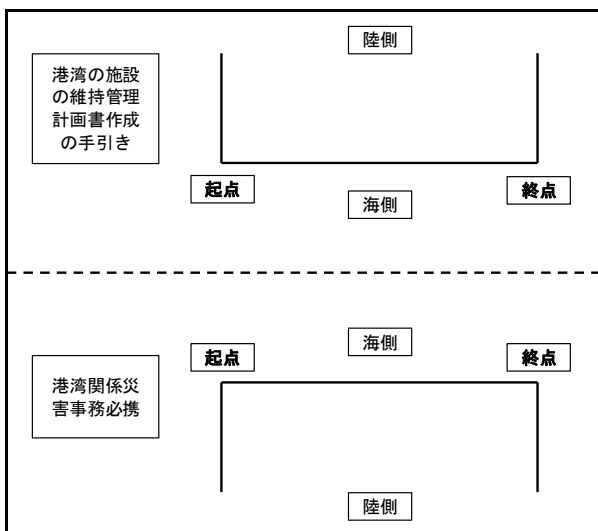


図-4.8 起点の設定方法の違い（係留施設）

(3) 起点の相違の要因

起点に相違がある要因としては、港湾技術者の思い込みや作業効率化の観点があるものと想定される。平成19～24年度頃に全国で作成されはじめた維持管理計画書（初回点検）では、多くの施設が手引きに沿って作成され、①“海を見て右を起点”となっている。しかし、初回点検後に行われた詳細点検や集中点検では、レーダ探査や深浅測量などの測量に関連する調査のみが実施された場合もあり、維持管理計画書を十分に確認せずに点検が行われた可能性がある。この場合、港湾技術者は港湾分野における通例により②“海を見て左を起点”とした可能性がある。

また、補修を前提とした詳細点検では、補修図は港湾分野における通例に従い、②“海を見て左を起点”とした視方向の断面図を作成することになるため、①“海を見て右を起点”とした調査を実施すると、補修設計段階で図面を左右反転させる作業が発生することになり、作業効率が悪くなることから、点検段階から②“海を見て左を起点”とした設定を行った可能性がある。

(4) 起点の設定時の配慮事項

起点は設計時、施工時、点検時の各段階で異なることがないように、各段階で一貫していること、また港湾単位においても統一した起点の設定方法であることが維持管理における配慮事項と考えられる。

計画・調査・設計、その後の施工、維持管理の各段階で一貫した起点であることは、近年、国土交通省で取組みが行われているCIM（Construction Information Modeling）¹⁹⁾で用いられる3次元モデルには不可欠である。また、港湾単位で統一した起点の設定方法とすることは、港湾単位で施設の維持管理を行う予防保全計画²⁰⁾の策定には重要である。

なお、この配慮事項は既に手引きに記載されており、記載内容は“特に、座標系に関しては全国統一的に設定することを基本とする”，および“将来的な混乱を回避するために、座標系の設定は計画書に明記する”となっている。しかし、初回点検と集中点検では起点が異なることが確認されており、そのため、起点の重要性への理解も含め、起点の設定方法の周知徹底も配慮事項と考えられる。

(5) 起点の設定方法（案）

先述したとおり、起点の設定方法は2通りの考えがあるが、港湾関係災害事務必携で示されている、②“海を見て左を起点”とすることが望ましいと考える。この設定

方法に対する長所・短所を表-4.1に示す。これにより起点は再設定することになり、維持管理計画書の変更などの作業が必要となるが、自然災害が多い日本においては、災害復旧で実施される整理・検討などを踏襲することが望ましいと考える。

なお、起点の設定は図面作成にも関わる内容であるが、図面作成に関する問題点およびその解決策は本検討内容とは離れるため省略する。図面作成に関する問題点は付録Cに簡潔に示す。

表-4.1 起点設定に関わる長所・短所

長所	災害復旧時の起点と維持管理上の起点と同じであれば、維持管理で整理された内容等が復旧検討にも活用でき、迅速な検討が必要となる災害復旧において、作業の効率化が図れる。
短所	初回点検等で設定した起点とは逆となるため、再設定・再整理が必要である。

4.6 経過年数の整理時の配慮事項

(1) 経過年数の重要性

経過年数は劣化予測を検討する上で必要な項目であり、性能低下度の適切な評価や補修時期の設定においても重要な項目である。港湾単位で実施される予防保全計画では、港湾全体の維持補修計画などが整理されるが、これには各施設の変状、利用状況、重要度、経過年数に加え、劣化予測、性能低下度などを考慮して検討されるため、経過年数を適切に把握することは重要である。

(2) 経過年数の整理時の課題

施設延長が長く、施工期間が長期間に亘る施設では、ある区間の竣工年度と施設完成年度が大きく異なることがある。3.2に示したとおり、経過年数1～9年の施設において、性能低下度Aの施設が存在していたが、性能低下度Aの要因となる変状が発生した工区の経過年数を整理すると、最も経過年数が大きい施設で88年であった。この施設は重力式防波堤であり、工区割は9工区、延長は約1,200mであった。仮に変状工区が経過年数10年未満であれば突発的な作用や事故が変状の要因と考えるが、経過年数50年以上であれば経時的な作用が変状の要因と考えるように、変状要因の捉え方が異ってくる。このように、施設延長が長い場合には、変状工区の経過年数と施設完成後からの経過年数が異なることで、施設の評価や適切な補修時期の検討などが不十分になると考えられる。

(3) 経過年数の整理時の配慮事項

施設延長が長く、施工期間が長期間に亘るような防波堤などの場合には、経過年数を工区毎で整理することが維持管理における配慮事項と考えられる。図-4.9に経過年数の整理の例を示す。現状の維持管理計画書では施工履歴により工区毎の経過年数が把握できるが、変状や性能低下度などと併せて整理されておらず、経過年数を踏まえた各区間の状態を把握するには的確な資料とは言い難い。そこで、工区毎に経過年数を整理し、併せて点検結果を示すことで変状区間の状態が容易に把握することができ、さらには劣化予測や補修計画の検討にも活用できると考えられる。場合によっては、1施設全体の性能低下度や劣化予測などを整理するだけではなく、経過年数を踏まえた工区毎の点検結果、性能低下度、劣化予測を整理することも維持管理における配慮事項と考えられる。

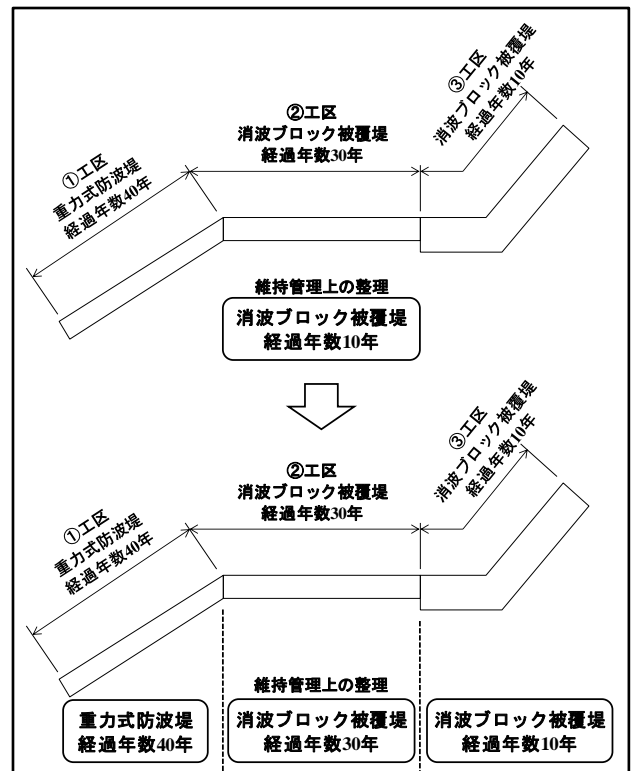


図-4.9 経過年数の整理 (例)

4.7 まとめ

平成25年度に実施された集中点検結果を整理することで港湾施設における実際の変状傾向を示した。変状傾向としては各構造形式の特徴に応じた変状が発生しており、具体的には、消波ブロック被覆堤では消波ブロックの散乱によるケーソン側壁の損傷、重力式係船岸では本体工目地部からの裏埋土砂流出による空洞化、矢板式係船岸では船舶プロペラの水流による著しい洗掘、棧橋では経年的な塩分の侵入による棧橋上部工の変状である。

また、表-4.2に示すとおり、変状傾向の分析結果から設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項について

て整理した。これらの配慮事項を検討または実施することで、供用期間中の変状発生防止または変状への早期対応が可能となり、効率的かつ効果的な維持管理に繋がると考える。

表-4.2 維持管理における配慮事項の総括表

	変状傾向または維持管理上の課題	維持管理における配慮事項		
		設計時	施工時	点検時
消波ブロック被覆堤	・消波ブロックの移動・散乱によるケーソン側壁の損傷の発生（特に高波浪等の条件下にある第一線防波堤では変状が発生する可能性が高い）	・側壁の耐衝撃設計および予防工法の検討 ・点検孔の設置の検討（中詰材流出の確認）	・確実な消波ブロックの設置（噛み合わせに留意） ・施工途中の消波ブロックの散乱に留意した施工	・消波ブロックの沈下、散乱等に注意した点検の実施 ・工区境界、断面変化点に注意した点検の実施
重力式係船岸	・本体工目地部からの裏埋土砂流出による空洞化の発生（空洞化の要因は防砂目地板、防砂シート破損等と想定）	・本体工移動（目地開き）に追従可能な目地材の設置の検討 ・裏込材上面の固化改良等の検討	・防砂目地板および防砂シート設置時の破損に留意した施工 ・裏埋土砂投入時の締固め	・エプロンの沈下、段差、本体工目地開き等の変状連鎖を踏まえた点検の実施
矢板式係船岸	・船舶プロペラの水流による洗掘の発生（基礎マウンドが設置されないことから著しい洗掘が発生する可能性が高い）	・基礎工、根工等々の設置の検討 ・洗掘を見込んだ安定照査等の実施	・床掘、浚渫の出来形管理データの記録	・船舶接岸位置に留意した施設前面の点検の実施 ・周辺施設の洗掘傾向の把握
棧橋	・経過年数30年以上の施設における棧橋上部工の変状の発生（経年的な塩分の侵入による変状の発生）	※ ・維持管理レベルに応じた棧橋上部工の設計の実施 ・点検孔、点検足場、モニタリング用センサの設置の検討	※ ・設計思想に沿った確実な施工（鉄筋位置やかぶりなど） ・コンクリート打設時の塩分侵入に対する注意	・コンクリート中の塩分濃度などの既往結果を踏まえた点検の実施（経過年数30年以上の一部の施設ではかぶり不足があることに注意）
起点の設定	・初回点検と集中点検における異なった起点の設定	・設計、施工、点検時において一貫した起点の採用 ・港湾単位で統一した起点の設定方法の採用		
経過年数	・同一施設内の各工区の竣工年度の違いに対する適切な経過年数の把握（施設延長が長く、施工期間が長期間に亘る防波堤など）	・工区毎の経過年数の整理 ・場合によっては工区毎の点検結果、性能低下度、劣化予測の整理		

※棧橋（経過年数30年以上の施設）については設計、施工が完了しているため、ここでは新設に対する配慮事項を記載した。

5. おわりに

本検討では、集中心点検結果から構造形式の特徴に応じた変状傾向を確認し、その変状傾向の要因について分析を行った。その結果を踏まえて各構造形式に対する設計・施工・点検時の維持管理における配慮事項をとりまとめたが、効率的かつ効果的な維持管理が実践されるためには、構造形式を選定する設計段階において各段階を見据えた構造検討を行い、その思想が施工段階・点検段階と順次伝わっていくことが重要である。そのため、4.に記載したとおり、消波ブロック被覆堤および栈橋については、既往文献¹²⁾¹⁵⁾に示されている維持管理を考慮した設計を行った場合など、その考慮した事項が施工段階、点検段階において活用されているか、また機能しているかを確認する必要がある。

重力式係船岸における変状傾向として確認された空洞化については、空洞化箇所がエプロン下の土中にあることで、目視のみの点検では発見が困難であるため、顕在化していない空洞化によって突然、施設利用者に被害を及ぼす可能性がある。また、空洞化の発生には様々な原因が想定されるため、空洞化の発生が何に起因しているか追究することは困難であり、その補修方法の選定では十分に検討を行う必要がある。そのため、空洞化を早期かつ簡易に発見する技術や、短期間かつ効果的に補修を行う技術の開発・研究が望まれる。

また、矢板式係船岸における変状傾向として確認された洗掘については、発生要因は船舶プロペラの水流によるものと考えられることを示したが、予防保全の観点から、利用船舶の諸元等を基に洗掘発生の有無や洗掘規模の推定が可能となるように、洗掘に関連する検討方法の体系化が今後の課題である。

(2016年5月31日受付)

謝辞

本稿をとりまとめるにあたり、港湾施設研究室の交流研究員である松原弘晃氏、佐藤健彦氏、川俣秀樹氏、勝俣優氏、および松本英雄港湾情報システム研究官、竹信正寛主任研究官、福永勇介主任研究官には、貴重なご意見を頂きました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾施設の維持管理の現状と課題、平成26年度 港湾施設の維持管理に関する技術講習会、2015.
- 2) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の維持管理マニュアル、財団法人 沿岸技術研究センター、2007.
- 3) 国土交通省港湾局：港湾施設の集中心点検結果について、http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000061.html、2013.
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所：平成25年度 港湾施設の点検診断及び補修等対策技術の検討業務報告書、2014.
- 5) 安倍康彦、菊池一志、渡邊寛、鈴木徹、岩波光保：港湾の施設の維持管理策定レベルの導入に関する検討、海洋開発論文集、第25巻、2009.
- 6) 老平武弘、塩見雅樹：直ぐい式栈橋の構造諸元の統計的分析、港湾技研資料、No.749、1993.
- 7) 岩崎直晃、長尾毅：矢板式係船岸の構造諸元などに関する統計的分析、港湾技研資料、No.780、1994.
- 8) 佐藤徹、加藤絵万、川端雄一郎、岡崎慎一郎：港湾施設の空洞化調査に関する報告、土木学会論文集B3（海洋開発）、No.70、No.2、2014.
- 9) 国土交通省港湾局監修：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル、財団法人 沿岸技術研究センター、2009.
- 10) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、社団法人 日本港湾協会、1979、1989、2007.
- 11) 大即信明、原茂雅光、浜田秀則：栈橋コンクリート上部工劣化実態詳細調査報告、港湾技研資料、No.627、1988.
- 12) 川端雄一郎、加藤絵万、岩波光保：維持管理を考慮した防波堤ケーソン側壁の耐衝撃設計に関する検討、港湾空港技術研究所資料、No.1279、2013.
- 13) 西防波堤改良工事における80t型消波ブロック据付の課題と対応策について、<http://www.hrr.mlit.go.jp/library/happyokai/h25/a/07.pdf>.
- 14) 一般社団法人 日本理立浚渫協会：港湾施設の維持管理における課題の整理および解決の方向性、2014.
- 15) 岩波光保、加藤絵万、川端雄一郎：維持管理を考慮した栈橋の設計手法の提案、港湾空港技術研究所資料、No.1268、2013.
- 16) ライフサイクルマネジメント支援センター：港湾施設の点検診断の高度化・省力化に向けた検討、<http://www.pari.go.jp/unit/lcm/tenken/>.
- 17) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の維持管理計画

作成の手引き（増補改訂版），財団法人 港湾空港建設技術サービスセンター，2007.

18) 公益社団法人 日本港湾協会：港湾関係災害事務必携，2014.

19) CIMの取り組み，

<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/cimnogaiyou.pdf>.

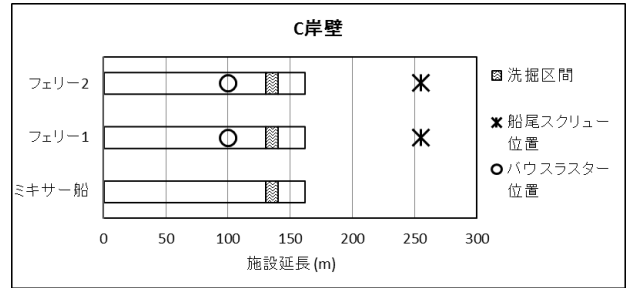
20) 港湾施設の戦略的な維持管理の推進について，

<http://www.mlit.go.jp/common/001069316.pdf>.

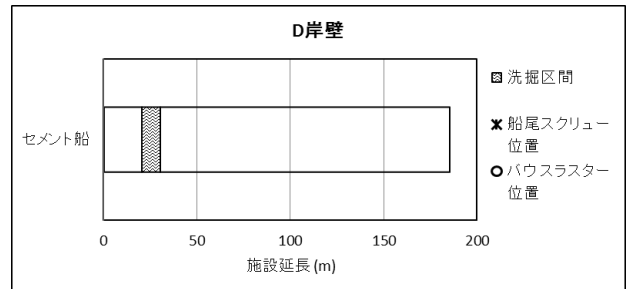
付録 A 洗掘位置と船舶プロペラ位置

集中点検ではナローマルチビームを用いた深淺測量により水中部形状調査が実施されており、数施設の岸壁において施設前面の洗掘が確認された。洗掘は前面水域の流れや船舶プロペラの水流によって発生するものと考えられるが、集中点検結果を整理すると、洗掘は施設的全延長に亘って発生しているのではなく、部分的に発生していることが確認されたため、洗掘の要因は船舶プロペラの水流によるものと考えられる。

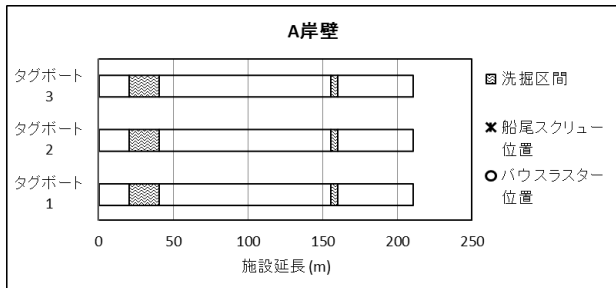
そこで、洗掘位置と船舶プロペラ位置の関係を整理し、洗掘の発生要因の分析に用いる基礎資料とした。整理の対象施設は各整備局等から情報を収集した26施設である。図中の網掛けは洗掘範囲、*印は主要推進装置である船尾スクリュー位置、○印は離着岸の補助推進装置であるバウスラスターを示している。なお、図の整理にあたっては、利用頻度が高い上位3隻程度の実利用船舶を用いた。また、船舶プロペラ位置が図示されていない施設は、船長等の船舶諸元が不明であった施設である。



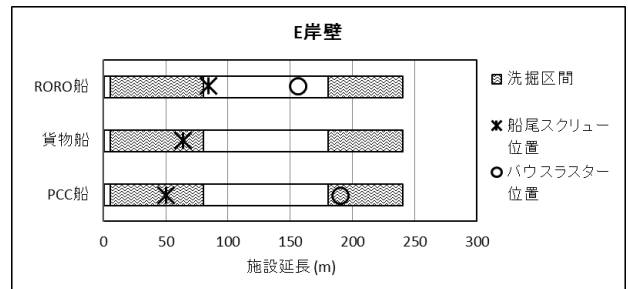
付図-A.3 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (C岸壁)



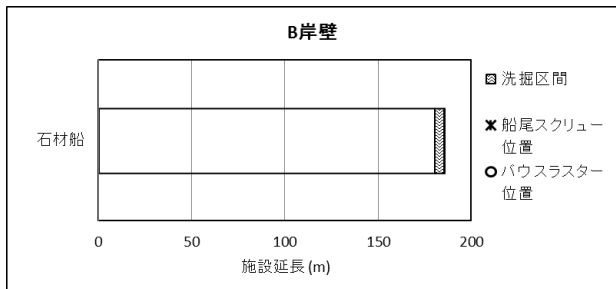
付図-A.4 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (D岸壁)



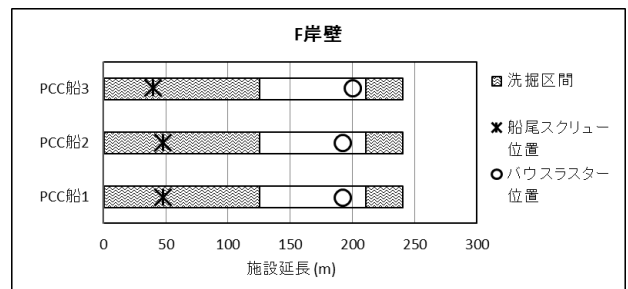
付図-A.1 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (A岸壁)



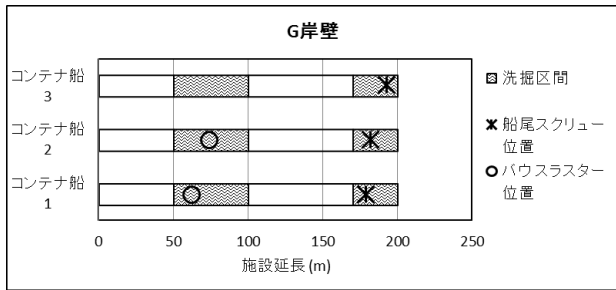
付図-A.5 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (E岸壁)



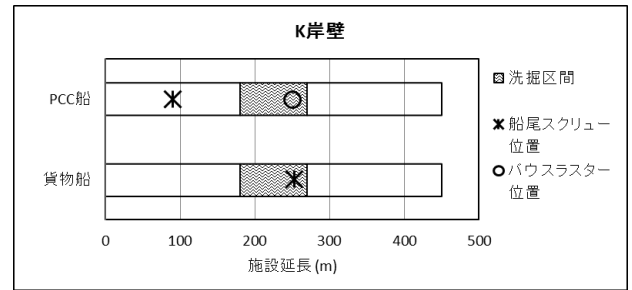
付図-A.2 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (B岸壁)



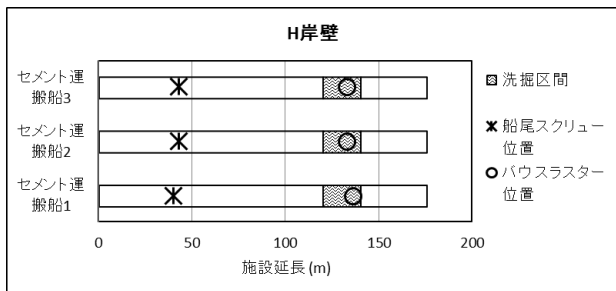
付図-A.6 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (F岸壁)



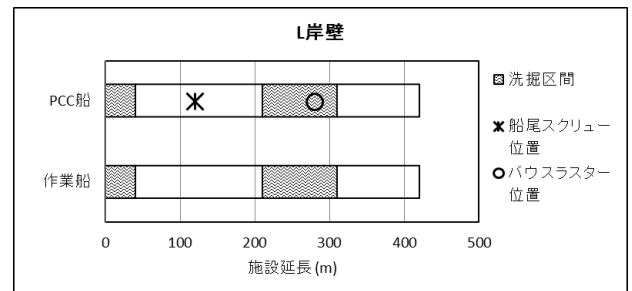
付図-A.7 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (G岸壁)



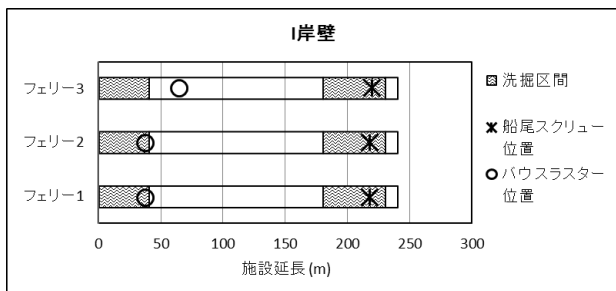
付図-A.11 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (K岸壁)



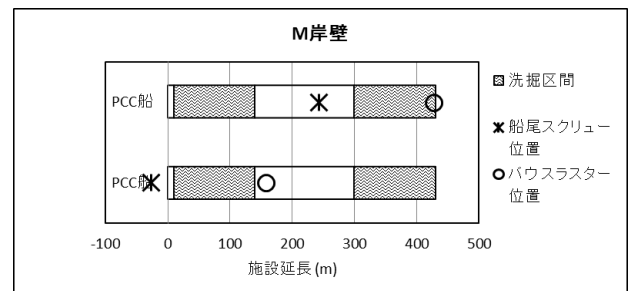
付図-A.8 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (H岸壁)



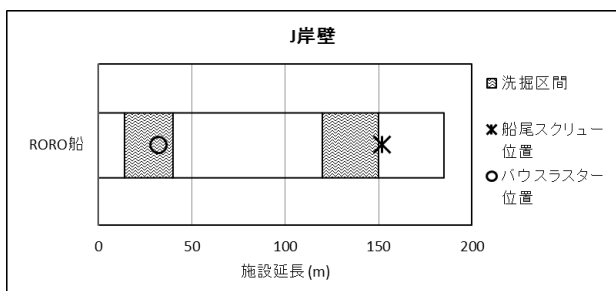
付図-A.12 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (L岸壁)



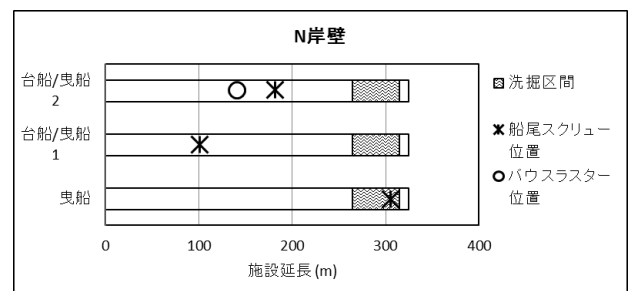
付図-A.9 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (I岸壁)



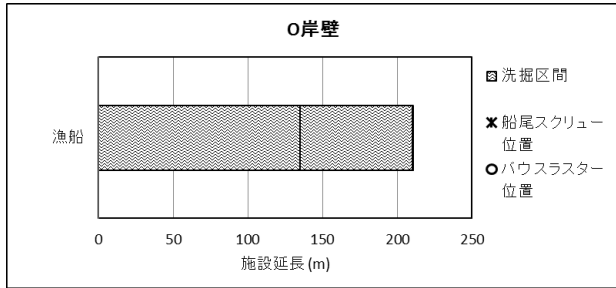
付図-A.13 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (M岸壁)



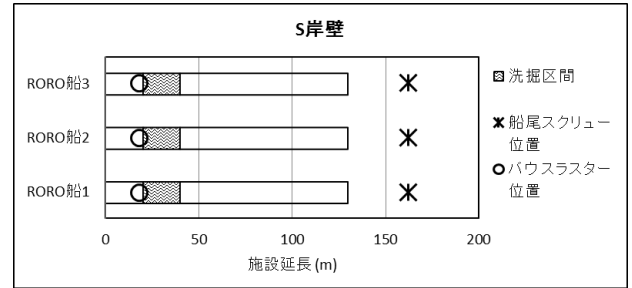
付図-A.10 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (J岸壁)



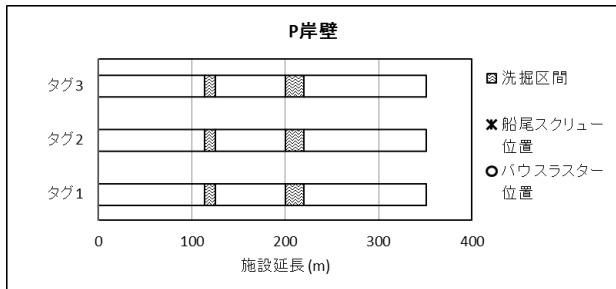
付図-A.14 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (N岸壁)



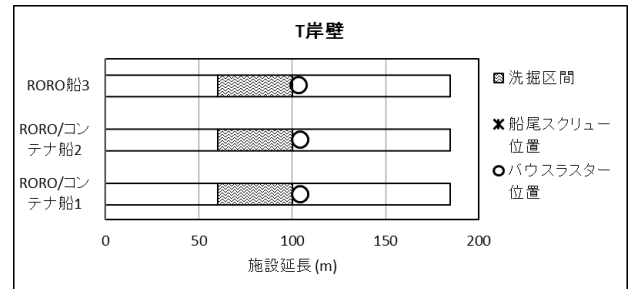
付図-A.15 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (O岸壁)



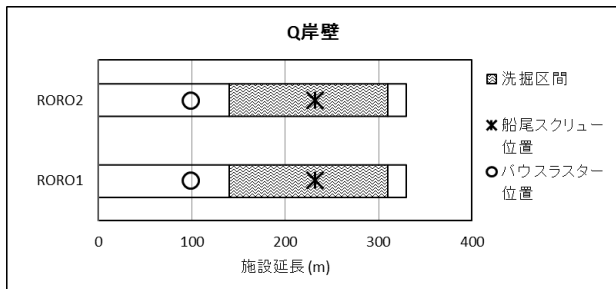
付図-A.19 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (S岸壁)



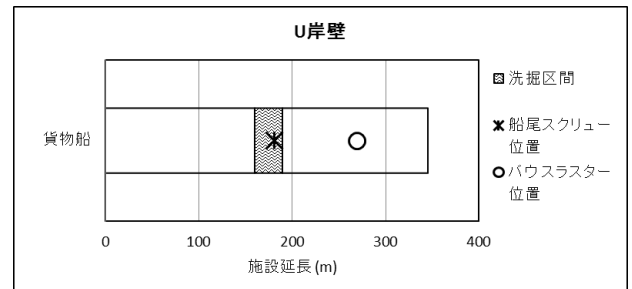
付図-A.16 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (P岸壁)



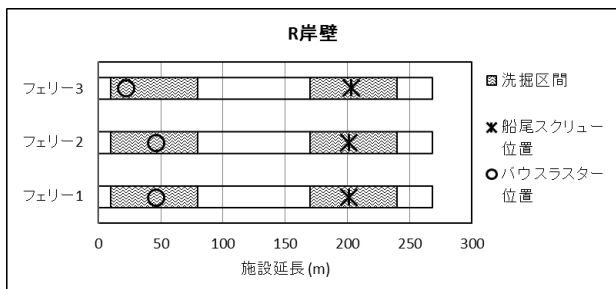
付図-A.20 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (T岸壁)



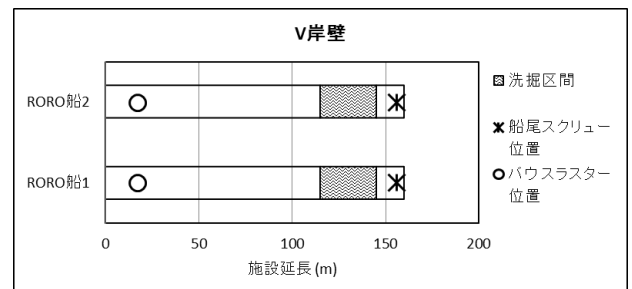
付図-A.17 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (Q岸壁)



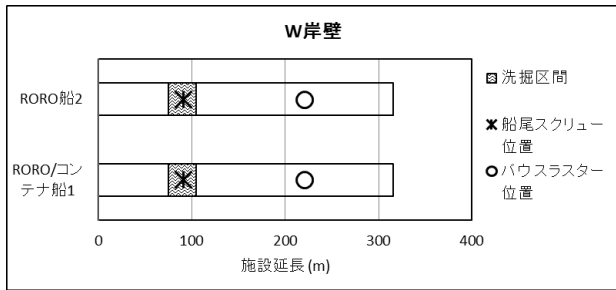
付図-A.21 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (U岸壁)



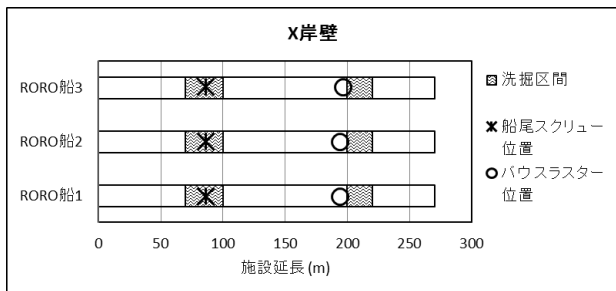
付図-A.18 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (R岸壁)



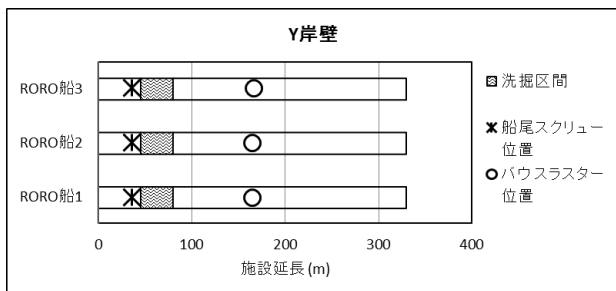
付図-A.22 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (V岸壁)



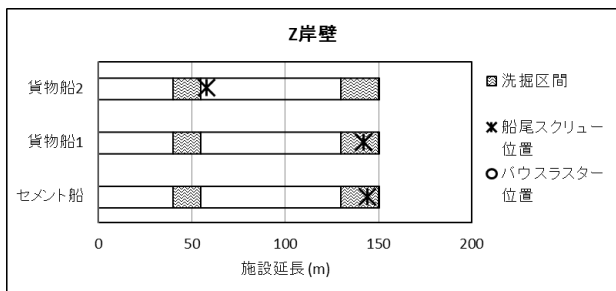
付図-A. 23 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (W岸壁)



付図-A. 24 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (X岸壁)



付図-A. 25 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (Y岸壁)



付図-A. 26 洗掘位置と船舶プロペラ位置 (Z岸壁)

付録B 船舶プロペラの水流の海底における流速および被覆材の所要質量の算出例

岸壁における洗掘は船舶プロペラの水流によって発生すると考えられることから、設計時の配慮事項としては船舶プロペラの水流の抵抗となるように、被覆材などの設置を検討することが考えられる。そこで、検討例として、船舶プロペラの水流の海底面における流速を求め、流速から被覆材の所要質量を算出する方法を示す。

(1) 船舶プロペラの水流の海底における流速

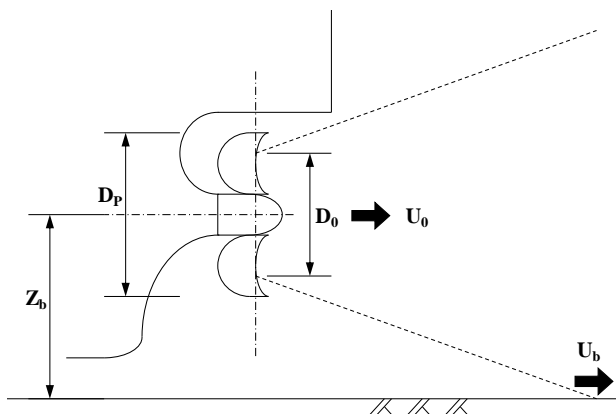
船舶プロペラの水流の海底における流速は式(B.1)¹⁾、式(B.2)¹⁾により求めることができる。

・プロペラの後流の初期速度および海底における流速

$$u_b = \alpha_2 u_0 \frac{D_0}{Z_b} \quad (\text{B.1})$$

$$u_0 = 1.15 \left(\frac{P_D}{D_0^2} \right)^{0.33} \quad (\text{B.2})$$

- u_b ; プロペラ後流の海底における速度 (m/s)
- α_2 ; 係数
(船型や舵の配置によって0.25~0.75の値をとる)
- u_0 ; プロペラ後流の軸方向速度 (m/s)
- Z_b ; プロペラの軸から海底までの距離 (m)
- D_0 ; プロペラの後流の初期径 (m)
= D_p (噴出孔内にプロペラがある場合)
= $0.7D_p$ (噴出孔がないプロペラの場合)
- D_p ; プロペラの直径 (m)
- P_D ; 装備エンジン等の出力 (kW)



付図-B.1 プロペラ後流の速度の概念図

(2) 被覆材の所要質量

流速に対する被覆材の所要質量は式(B.3)²⁾により求めることができる。

・流れに対する被覆石及びブロックの所要質量

$$M_d = \frac{\pi \rho_r U_d^6}{48g^3 (y_d)^3 (S_r - 1)^3 (\cos\theta - \sin\theta)^3} \quad (\text{B.3})$$

- M ; 捨石等の安定質量 (t)
 - ρ_r ; 捨石等の密度 (t/m^3)
 - U ; 捨石等の上面における水の流れの速度 (m/s)
 - g ; 重力加速度 (m/s^2)
 - y ; イスバッシュ(Isbash)の定数
(埋め込まれた石にあっては1.20,
露出した石にあっては0.86)
 - S_r ; 捨石等の水に対する比重
 - θ ; 水路床の軸方向の斜面の勾配 ($^\circ$)
- ※添字dは設計用値を示す。

(3) 算出例

付表-B.1に算出例を示す。

付表-B.1 プロペラ水流の流速および被覆材の所要質量

①プロペラ後流の流速

算出例		1	2
船舶諸元	船長 (m)	190.00	225.00
	船幅 (m)	27.00	27.00
	満載喫水 (m)	6.00	7.50
軸方向の流出速度	プロペラ(バウスラスター)の規格	1,600kw	2,400kw
	装備エンジン出力 P_D (kW)	1,600	2,400
	プロペラ径 D_p (m)	2.50	3.00
	噴出孔の有無	有	有
	プロペラ後流の初期径 D_0 (m)	2.50	3.00
海底における流速	プロペラ後流の軸方向速度 U_0 (m/s)	7.17	7.27
	係数(船型や舵の形による) α_2^*	0.75	0.75
	プロペラ軸から海底までの距離 Z_b (m)	4.00	5.50
海底における流速 U_b (m/s)		3.36	2.97

※係数 $\alpha_2=0.75$ と仮定し、計算

②被覆材の所要質量

被覆材の所要質量	水の流れの速度 U_d (m/s)	3.36	2.97
	捨石等の密度 ρ_r (t/m^3)	2.60	2.60
	重力加速度 g (m/s^2)	9.81	9.81
	イスバッシュ定数 y_d	0.86	0.86
	捨石等の水に対する比重 S_r	2.524	2.524
	水路床の軸方向の斜面の勾配 θ ($^\circ$)	0.00	0.00
	捨石等の安定質量 M (t)	0.181	0.086
	被覆石の規格	200~400kg/個	200~400kg/個

参考文献

- 1) PIANC : Guidelines for the Design and Constructions of Flexible Revetments Incorporating Geotextiles for Inland Waterways, Supplement to Bulletin No.57, 1987.
- 2) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，社団法人 日本港湾協会，2007.

付録 C 起点設定における図面作成に関する問題点

現在の港湾分野の図面作成方法には問題点がある。この問題点は「標準断面図や横断面図において海を左に（陸を右に）書く」（港湾分野の通例）、「縦断面図（正面図）において起点は左に置くことを原則」（実施設計要領等の原則）および「断面図の視方向は起点から終点とすることを原則」（実施設計要領等の原則）としていることから起きている。

ただし、問題となるのは港湾分野の通例と実施設計要領等の原則をどちらも図面作成の規則として捉えるからであり、これを規則と考えなければ問題とはならない。実際に、現在作成されるほとんどの図面は例外を除き、港湾分野の通例どおりに書かれているが、実施設計要領等の原則に必ずしも則って作成されていない。

しかし、ある一定の方法を設定することは図面に関わる技術者等にとって、構造への理解や取り違え防止には重要と考えられるため、ここで問題点として記載する。

この図面作成の問題点を2通りの起点の設定方法に対して簡潔に示すと、付表-C.1のとおりである。2通りの起点の設定方法は以下である。

- ①海を見て右を起点（「港湾の施設の維持管理計画作成の手引き」に記載）
- ②海を見て左を起点（「港湾関係災害事務必携」に記載）

付表-C.1 起点設定における図面作成に関する問題点

図面の種類及び問題点	①海を見て右を起点 (港湾の施設の維持管理計画作成の手引き)	②海を見て左を起点 (港湾災害事務必携)
平面図	図の左を起点とする場合は海が下となる。	図の左を起点とする場合は海が上となる。
縦断面図 (正面図)	通常は海から正面を見るため、起点が左、終点が右となる。	通常は海から正面を見るため、起点が右、終点が左となる。
標準断面図 , 横断面図	終点から起点へ視方向とすることで、海が左となる（港湾分野の通例）。	起点から終点へ視方向とした場合に、海が左となる（港湾分野の通例）。
問題点	実施設計要領等に示されている事項、「横断面図の視方向は起点から終点を原則」とは逆の作成方法となる。	実施設計要領等に示されている事項、「縦断面図（正面図）の作成に際しては起点が左、終点が右を原則」とは逆の図面を作成することになる。

なお、参考までに付表-C.2に示す事項を設定することが解決策の一つとして考えられる。

付表-C.2 図面作成に関する問題点への解決策（参考）

<ul style="list-style-type: none"> ・標準断面図および横断面図は海が左とすることを原則とする。（港湾分野の通例） ・断面図等の作成は起点から終点を視方向とすることを原則とする。（起点の設定によっては終点から起点の視方向となる場合もある。） ・これ以外の図面の作成方法（起終点の位置）は任意とする。
--

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 921

June 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕
E-mail:ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp