

港湾施設の維持管理計画書作成の手引き (計画書の雛形と解説)

2007. 3.

係留施設：直杭式横棧橋

国土交通省 国土技術政策総合研究所
独立行政法人 港湾空港技術研究所

はじめに

港湾の施設の技術上の基準を定める省令の改正（2007.4）にともない、技術基準対象施設は供用期間にわたって要求性能を満足するように維持管理計画書等に基づき適切に維持されるものとなった。

しかしながら、これまでは港湾施設に対する明確な維持管理計画書が作成された事例はなく、今後必要となる維持管理計画書の具体的な内容は明確ではなかった。

このため、国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾計画研究室、独立行政法人港湾空港技術研究所 LCM研究センターでは、港湾局建設課との協議を踏まえて「維持管理計画書作成の手引き」を作成した。

計画書としては必要事項のみを記述する形式（例えば 港湾計画書）が一般的であるが、新たに作成した維持管理計画書（雛形部分）では計画事項の内容についてもある程度の説明を行う形式としている。これは、港湾施設に対する維持管理や維持管理計画の概念、また維持管理計画書で用いる用語等に対して共通の認識がないことから、計画内容に関する混乱・混同が生じないようにするために、関連事項について出来るだけ丁寧に記述した結果である。

さらに、この手引書では維持管理計画書本体の雛形部分と枠囲い部分での解説部分から構成されている。解説部分では、計画書の記載方法に関する解説、計画書で用いる用語に関する解説、計画書の内容に関する技術的な解説が主に記載されている。

ここでの技術的な解説は主に「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）からの抜粋であり、さらに詳細な内容を確認することが必要な場合には、このマニュアルを直接に参照することで対応することができる。

本書では新規の施設を対象としているが、既設の施設に対しても基本的に同様であると考えられる。なお、実際の事例および新たな知見・技術を踏まえて、適切な時期に改訂する予定である。

2007.3

国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾計画研究室
独立行政法人 港湾空港技術研究所 LCM研究センター

○維持管理計画書作成の基本的な考え方

港湾施設に限らず、土木施設に関する維持管理計画書の事例はほとんどなく、全く新たに作成することになる。したがって、国土技術政策総合研究所および港湾空港技術研究所におけるアセットマネジメントや港湾施設に対する維持管理技術に関する技術や知見を踏まえて、維持管理計画書の作成に際して5つの基本的な考え方を整理した。

1. 変状および劣化の発生を前提

港湾施設では、時間経過と共に変状および劣化が発生する。ただし、施設ごとにその時間的な変化は異なり、場合によっては想定以上に早く劣化する場合がある。一方で、劣化しないように認識される場合でも、それは劣化が遅いだけでいずれ顕在化することが考えられる。また、経年的な劣化ではなく地震等により急激に変状が発生する場合がある。

したがって、施設毎に劣化および変状の時間変化は異なるものの、全ての施設において変状および劣化の発生を前提として計画を作成する。

さらに、変状および劣化は建設直後から時間経過とともに進展するものと、地震や荒天等により短時間で急激に進展するものとの両者の特性は大きく異なることから、通常時と地震や荒天による異常時を区分して計画を作成する。

2. 事後保全から予防保全への転換

従来の維持管理では、施設の変状および劣化により性能低下に至ってから補修、更新を実施することで性能回復をする「事後保全」が一般的であった。

しかしながら、変状および劣化の進行状態を点検で発見できなければ非常に危険な状態となることのみならず、供用期間内における維持管理費用（維持、補修、更新等に要する費用）が多額になることが明らかである。

したがって、港湾施設の維持管理に対する基本思想を従来の「事後保全」から変状および劣化による性能低下を事前に防止する「予防保全」に転換して計画を作成する。

3. 主要部材とその他部材等の区分および維持管理レベルの設定

維持管理において「予防保全」が基本的に有効ではあるが、対象施設を構成する様々な部材や附帯設備の全てに「予防保全」を適用するの適切ではない。

したがって、効果的かつ効率的な維持管理を実施するためには構造的に特に重要な「主要部材」、これに準じる「その他部材」、さらにそれ以外の「附帯設備」に区分して、それぞれに「予防保全」、「事後保全」の考え方を踏まえた維持管理レベルを設定した上で計画を作成する。

4. 劣化の予測と実態の乖離を前提

「予防保全」を行う部材における変状および劣化の予測は、予測する時点において得られる最大限の情報と最善の手法により実施される。

しかしながら、その結果から将来の傾向を把握することはできるものの、将来の状況を正確に予測することは難しい。

したがって、将来の変状および劣化の予測結果と実態が乖離することを前提として、その乖離状況に応じた対応策を想定して計画を作成する。

5. 総合評価の実施

点検診断の結果を総括し、問題点の整理や代替案の検討等を行い、維持補修の基本方針を定める総合評価を実施することを一つの大きな目的として計画を作成する。

〇〇港維持管理計画書（新規）

—係留施設：〇〇地区 〇〇第3号岸壁（直杭式横棧橋）—

平成19年4月

〇〇地方整備局 〇〇港湾事務所

○表紙

- ・ 標題は 港湾名＋維持管理計画書 とする。また、新規施設に対する場合には（新規）、既設施設である場合には（既設）と明記する。
- ・ 2行目に、維持管理計画の対象施設（以下 対象施設）の種類（港湾法第2条に基づく港湾施設の区分に準じる）、施設の位置する地区、施設の名称、施設の構造形式を記載する。
- ・ 3行目に、計画書を作成する年・月を和暦で記載する。
- ・ 4行目に、当該計画を作成する事務所名を整備局名と合わせて記載する。

目次

I	総論	9
1.	計画の目標	9
2.	維持管理計画の体系	9
3.	地区および施設の位置	10
4.	計画作成のための配慮事項	11
5.	主要部材とその他部材の区分および維持管理レベルの設定	16
5.1.	主要部材とその他部材の区分	16
5.2.	維持管理レベルの設定	18
II	点検診断計画	22
II-1	点検診断計画の概要	22
1.	点検診断の種類と概要	22
2.	点検診断の対象	22
3.	点検診断の実施時期	22
4.	点検診断計画の修正および改訂	22
5.	点検診断結果の記録および得られた知見の公開	22
II-2	係船岸全体	24
1.	係船岸全体への対応	24
2.	点検診断の内容と実施時期	24
II-3	上部工	25
1.	施設形状および座標系の設定	25
2.	初期状態の点検結果（初回点検）	29
3.	劣化予測項目および劣化予測，点検診断における重要エリアの選定	31
4.	劣化予測	34
5.	点検診断の内容と実施時期	39
6.	点検診断結果の評価	48
II-4	下部工および土留護岸	52
1.	施設形状および座標系の設定	52
2.	初期状態の点検結果（初回点検）	57
3.	劣化予測項目および劣化予測，点検診断における重要エリアの選定	59
4.	劣化予測	63
5.	点検診断の内容と実施時期	77
6.	点検診断結果の評価	88
II-5	その他部材	91
1.	その他部材への対応	91
2.	各部材における点検診断の内容と実施時期	91
II-6	附帯設備	95
1.	附帯設備への対応	95
2.	附帯設備における点検診断の内容と実施時期	95

Ⅲ 総合評価	99
Ⅳ 維持補修計画	105
1. 係船岸全体	105
2. 上部工	105
3. 下部工および土留護岸	110
4. その他の部材	114
5. 附帯設備	114
Ⅴ 異常時における点検診断	116

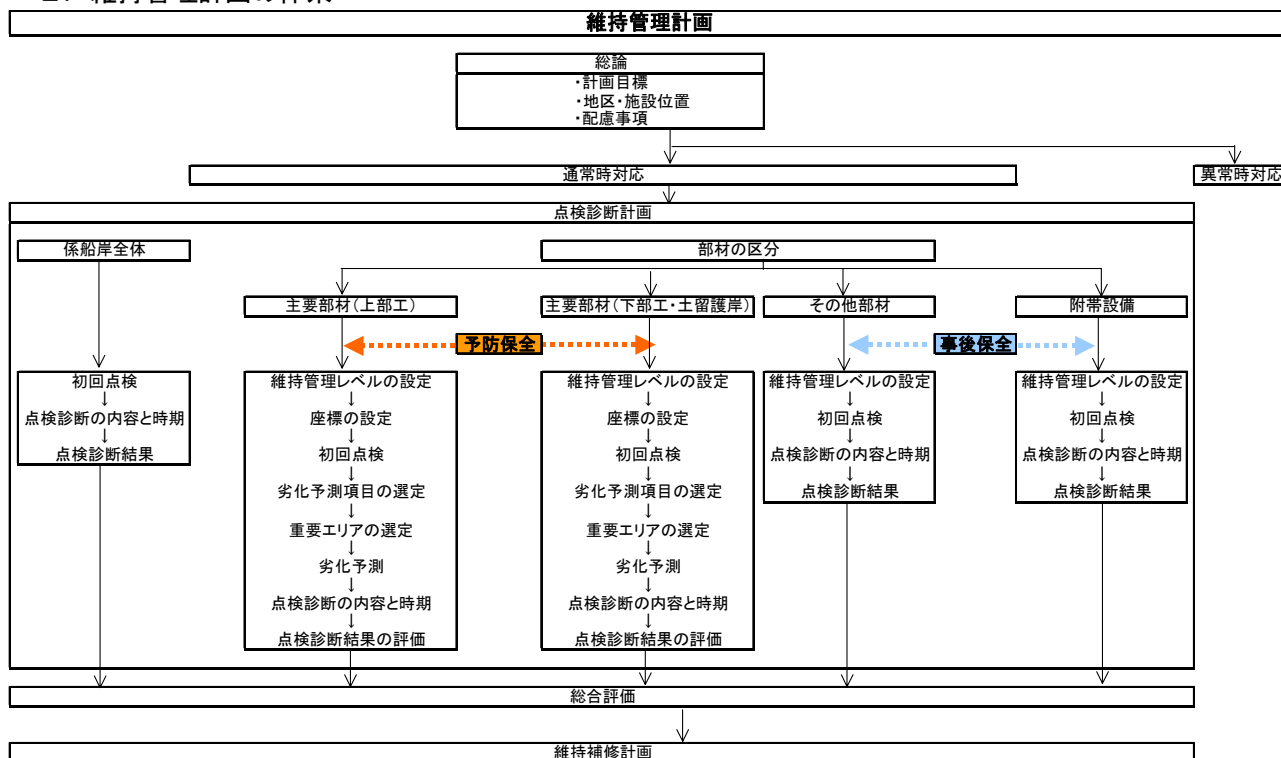
I 総論

1. 計画の目標

本計画は、新規に建設された〇〇港の係留施設：〇〇地区〇〇岸壁（水深 12m，延長 240m）を設計供用期間 50 年間にわたり適切に維持することを目標とする。

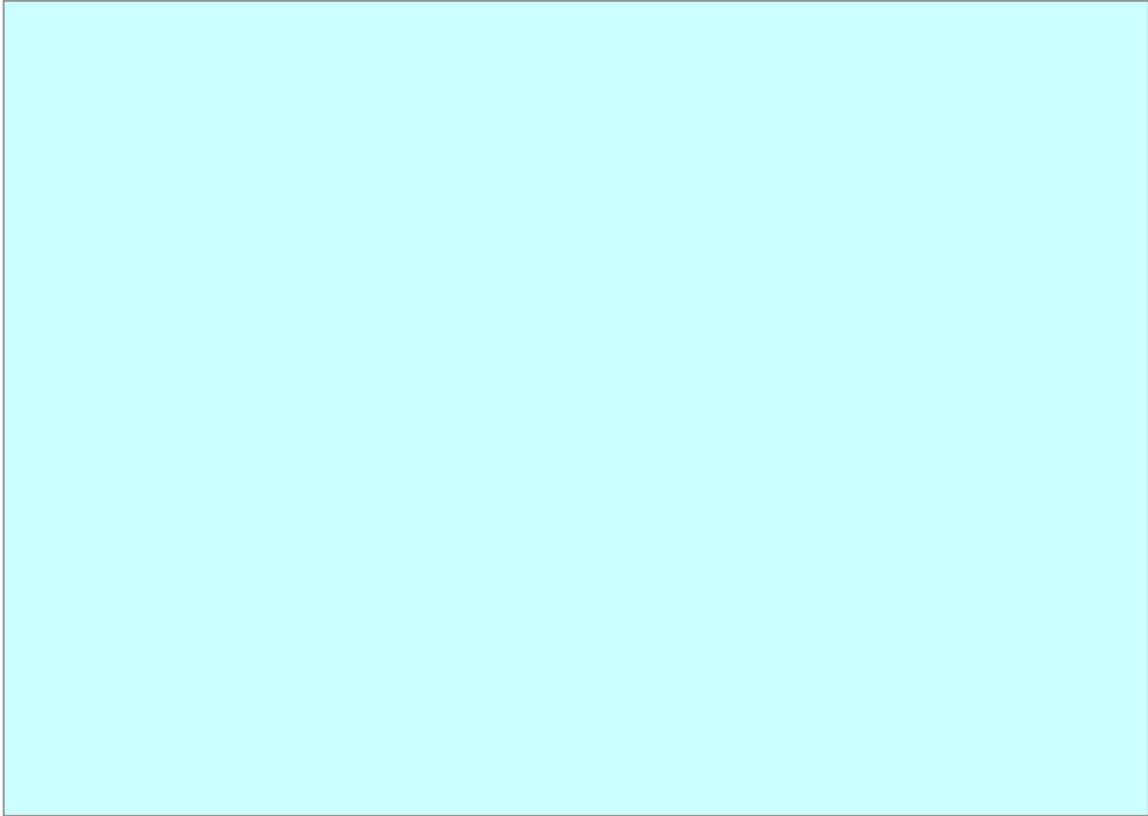
このために、本計画では対象施設の構造上の変状および劣化に対する計画的かつ適切な点検診断・維持補修を実施し、設計供用期間中のいずれにおいても要求性能を十分に確保するための具体的な方策を示す。

2. 維持管理計画の体系

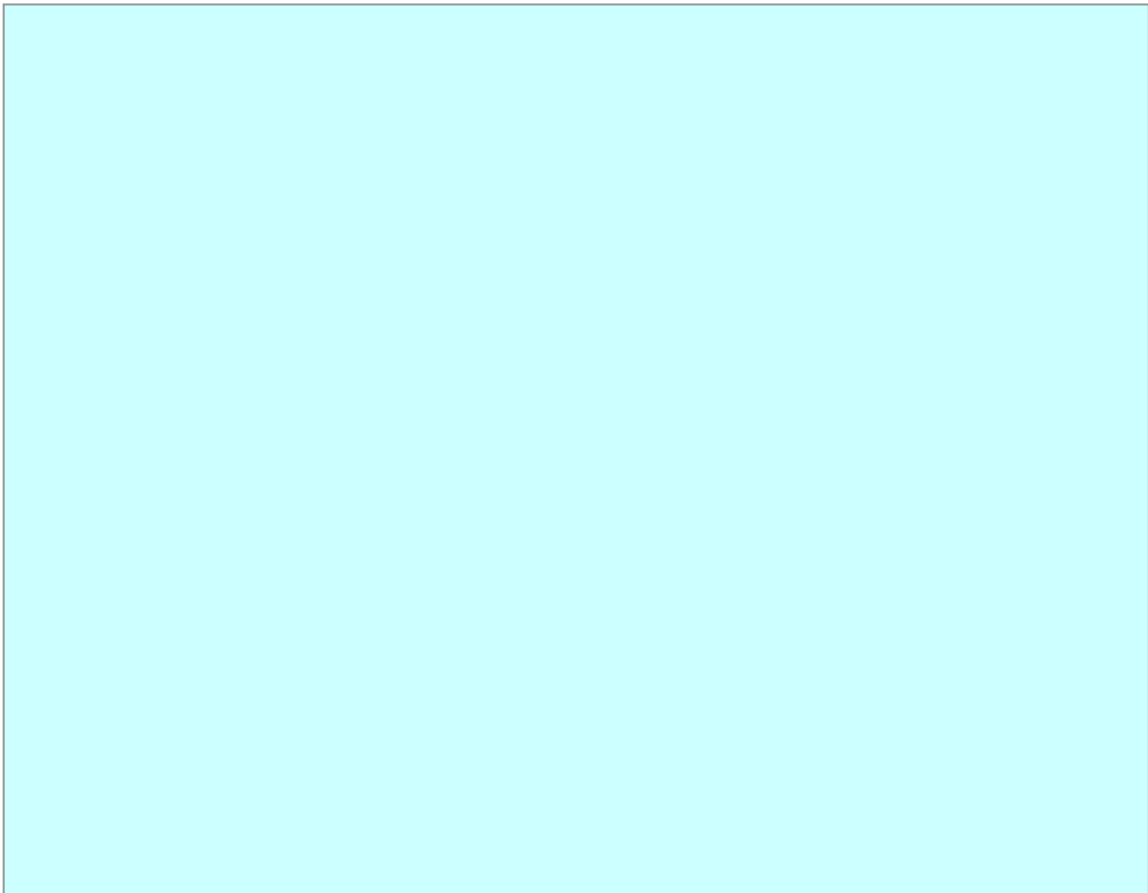


3. 地区および施設の位置

3.1. 地区



3.2. 施設の位置



4. 計画作成のための配慮事項

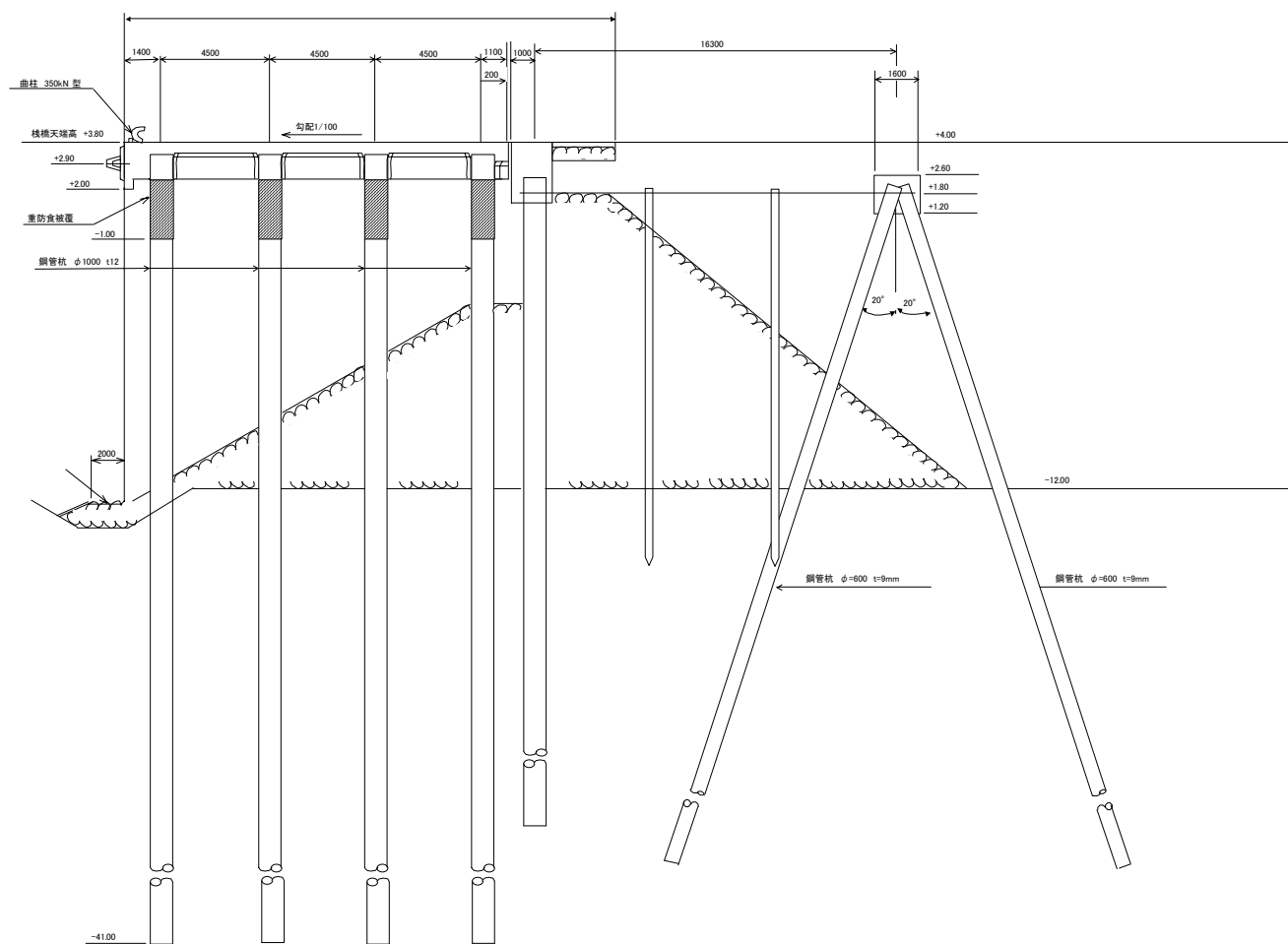
4.1 構造特性

①構造形式 : 直杭式横栈橋 (岸壁延長 240m 岸壁水深 -12m)

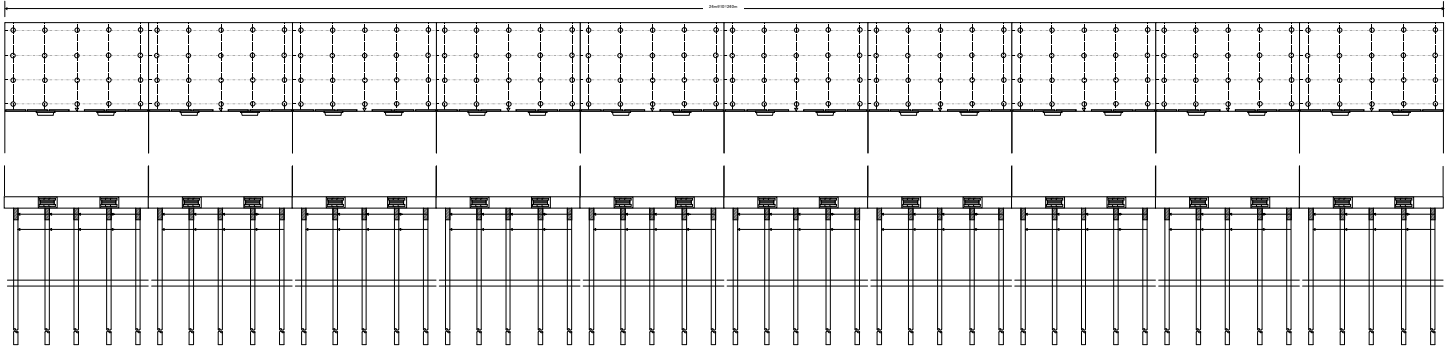
②構造概要

構造形式は、この地区に大水深の係船岸の構築に最適であると判断された直杭式横栈橋を選択した。本施設は、栈橋本体とその背後の土留護岸により構成される係留施設である。また、栈橋本体は、鉄筋コンクリート製の上部工とこれを支える鋼管杭の下部工から構成される。背後の土留護岸は鋼管矢板とタイ材と控え工から構成される。

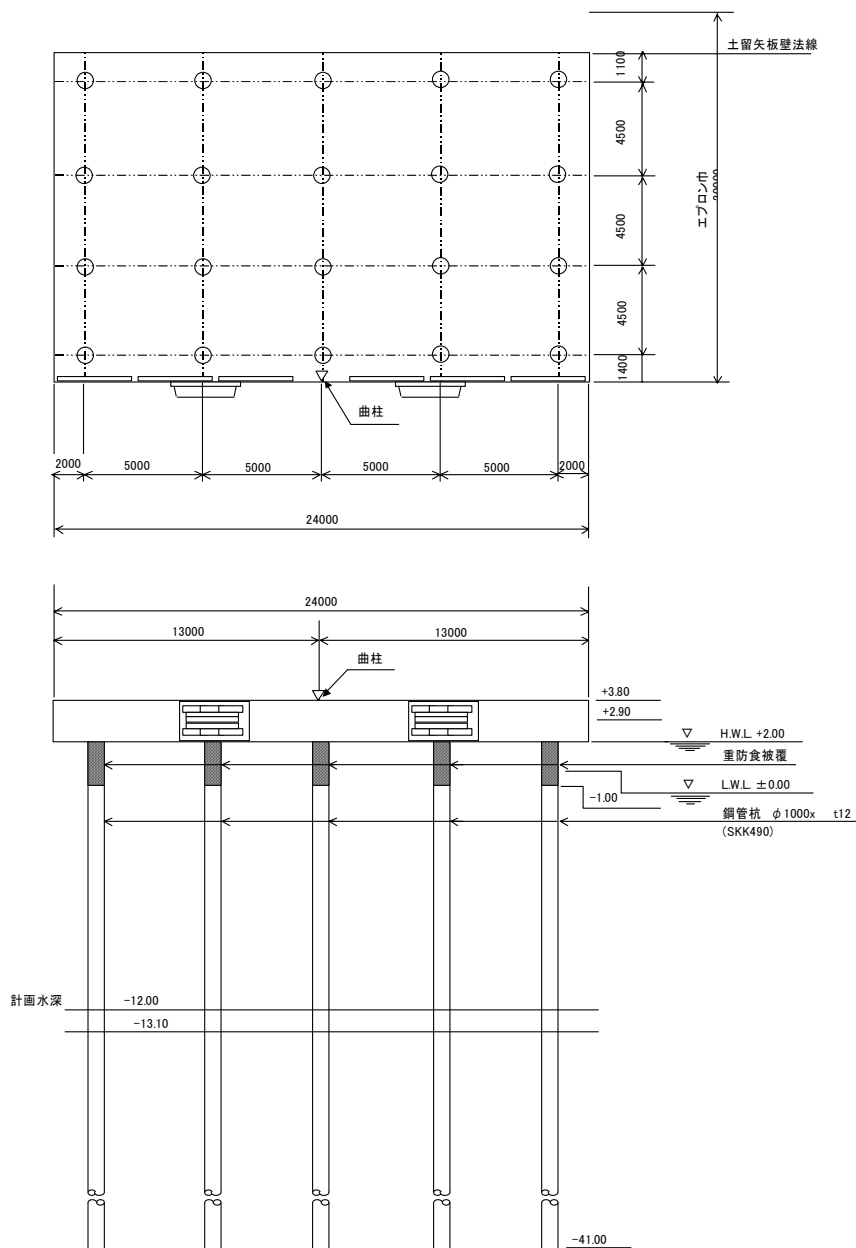
③標準断面図



④平面図・正面図（全体図）



⑤平面図・正面図（単位ブロック）



4.2. 設計供用期間 50年間 (2007年～2057年)

4.3. 自然状況

- ①潮位 基本水準面 D.L. ±0.0m
 H.W.L. D.L. +2.0m
 L.W.L. D.L. ±0.0m
 R.W.L. D.L. +1.3m
- ②設計震度 $K_h = (\text{地域震度}) \times (\text{地盤種別震度}) \times (\text{重要度係数})$
 $= 0.15 \times 1.2 \times 1.2 \approx 0.22$
- ③気温 年平均 **°C

4.4. 想定される利用状況

- ①対象船舶 30,000DWT級 貨物船
 全長：185m 型幅：27.5m 満載喫水：11.0m
- ②上載荷重 常時 エプロン敷き：20kN/m² 野積場：20kN/m²
 地震時 エプロン敷き：10kN/m² 野積場：10kN/m²
- ③移動荷重 トラック荷重 (T-25)
 トレーラ荷重 (T T-43)
- ④船舶の接岸速度 **cm/s
- ⑤船舶の牽引力 **kN
- ⑥取扱貨物 年間取扱貨物量：30万Ft (鉄鋼, 機械他)

4.5. 材料特性

4.5.1. 上部工

①コンクリート

	鉄筋コンクリート	無筋コンクリート
ヤング係数 E_c	25kN/mm ²	22kN/mm ²
ポアソン比 ν	0.20	0.20
設計基準強度 f_{ck}	24N/mm ²	18N/mm ²
セメント種類	高炉セメント	
水セメント比	0.55	

②鉄筋

異形棒鋼 SD345

* 示方配合報告書および施工図面を参考資料に示す

4.5.2. 下部工 (鋼管)

種類 *** 径 *** 肉厚***

4.5.3. 土留護岸

①鋼管 種類 *** 径 *** 肉厚***

②控え杭 *****

③タイ材 *****

4.5.4. 海底地盤

	①基礎捨石	②被覆石
規格		
均し精度		
防砂シート		

4.5.5. 裏込・裏埋工

	①裏込石	②裏埋土砂
規格		
均し精度		

4.5.6. 舗装（コンクリート舗装）

セメントの種類	
水セメント比	
鉄網	
.....	
目地材	
路盤材	
.....	

* 示方配合報告書および施工図面を参考資料に示す

4.5.7. 渡版

規格	
サイズ	

4.5.8. 附帯設備

防舷材	規格	
	サイズ	
係船柱	規格	
	サイズ	
車止め	規格	
	サイズ	
安全柵	規格	
	サイズ	
はしご	規格	
	サイズ	

○「I 総論」の内容

1. 計画の目標

改正省令第4条第1項の主旨を踏まえて、維持管理計画が目指す目標を明記する
基本的な記載例は以下のとおりである。

「本計画は、新規に建設された〇〇港の係留施設：〇〇地区〇〇岸壁（水深〇〇m，延長〇〇m）を設計供用期間〇〇年間にわたり適切に維持管理することを目標とする。

このために、本計画では対象施設の構造上の変状および劣化に対する計画的かつ適切な点検診断・維持補修を実施し、設計供用期間中のいずれにおいても要求性能を十分に確保するための具体的な方策を示す。」

2. 維持管理計画の体系

維持管理計画書の全体の体系図を明示する。

3. 地区および施設の位置

対象施設の位置および周辺状況を理解できる図面、写真等を明示する。

4. 計画作成のための配慮事項

改正省令第4条第2項における勘案すべき事項を踏まえて明記する。なお、ここでの内容は設計計算書、施工管理記録、示方配合報告書等から、維持管理の観点から必要と判断される事項を選択して明記する。

記載に際しての配慮事項を以下に示す。

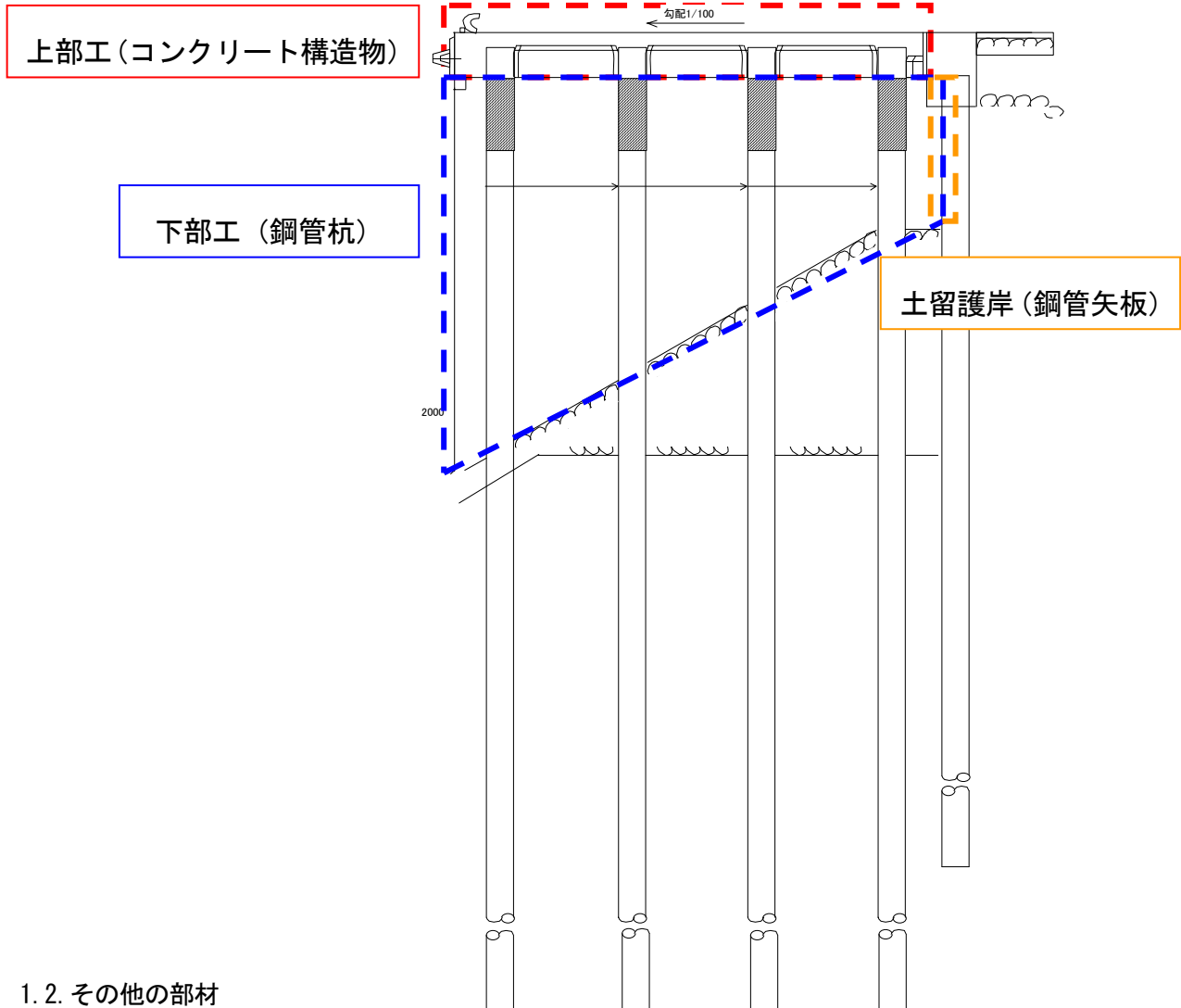
- ・構造形式の区分では、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に準じる。
- ・構造概要では、当該構造形式を選択した理由を簡潔に示す。
- ・構造の概要を理解できる平面図、立面図、その他必要に応じてイラスト等の図面を示す。
- ・設計供用期間は、設計時点において設定された値を明記する。
- ・材料特性でのコンクリートに関しては、特に、セメントの種類、水セメント比を明記する。また、維持補修において重要な情報となる示方配合報告書および施工図面を参考資料に示す

5. 主要部材とその他の部材の区分および維持管理レベルの設定

5.1. 主要部材とその他の部材の区分

1.1. 主要部材

直杭式横棧橋における主要部材は、上部工（コンクリート構造物）、下部工（鋼管杭）、土留護岸（鋼管矢板）とする。なお、土留護岸については、維持管理の観点から土中の部材は対象とせず海面に接する前面の鋼管部分（土中部を除く）のみを対象とする。また、下部工（鋼管杭）についても、土中では対象とはせず海中および海面上のみを対象とする。



1.2. その他の部材

直杭式横棧橋におけるその他の部材は以下を対象とする。

- ① エプロン・舗装
- ② 海底地盤（マウンド、被覆ブロック等を含む）
- ③ 渡版

1.3. 附帯設備

- ① 防舷材
- ② 係船柱
- ③ 車止め・安全柵
- ④ はしご
- ⑤ 排水設備
- ⑥ 照明施設等その他

○ 総論

5. 主要部材とその他の部材の区分および維持管理レベルの設定

5.1. 主要部材とその他の部材の区分

維持管理において「予防保全」が基本的に有効ではあるが、対象施設を構成する様々な部材や設備の全てに「予防保全」を適用するのが適切ではない。

したがって、効果的かつ効率的な維持管理を実施するためには構造的に特に重要な「主要部材」、二次的に重要な「その他部材」、それ以外の「附帯設備」に区分し、それぞれに「予防保全」、「事後保全」の考え方を踏まえた維持管理レベルを設定した上で計画を作成する。

このため、維持管理計画の対象となるすべての部材について、主要部材、その他部材および附帯設備に区分し、それぞれについて維持管理レベルを設定する。なお、主要部材については空間的な範囲も重要であるので可能な限り図示する。図示できないものは、その他部材、附帯設備の詳細とともに参考資料などに添付する。

5.2. 維持管理レベルの設定

主要部材，その他部材，附帯設備について以下のように維持管理レベルを設定する。

		維持管理 レベル	維持管理レベル設定の考え方
主要部材	上部工	Ⅱ	<p>本港では建設後 30 年程度経過した本施設と同様の上部工において、錆汁やひび割れ等が確認された事例がある。</p> <p>しかしながら、本上部工に関しては変状および劣化への対応として設計時点では、かぶり厚さの増大化等による特別の対応を実施せずに、予防保全的な対策を実施することを当初時点から計画しておくことで、劣化・変状が発生しないようにする維持管理レベルⅡを設定した。</p> <p>特に、劣化予測項目を設定して実施する劣化予測の結果を踏えて点検診断計画を作成する。</p>
	下部工	Ⅱ	<p>本港において、腐食しろで設計された鋼管杭に著しい腐食が発生した事例が確認されている。このために腐食しろ以外の適切な維持管理対策を図ることとする。ただし、腐食しろ以外の対策として選択した電気防食工の陽極の耐用年数を設計供用期間よりも短く設定した。</p> <p>このために、設計供用期間中に予防保全的な対策を実施することを当初時点から計画しておくことで、劣化・変状が発生しないようにする維持管理レベルⅡを設定した。</p> <p>特に、劣化予測項目を設定して実施する劣化予測の結果を踏えて点検診断計画を作成する。</p>
	土留護岸	Ⅱ	<p>土留護岸は鋼管矢板とすることから、鋼管杭の下部工と同様に設計供用期間中に予防保全的な対策を実施することを当初時点から計画しておくことで、劣化・変状が発生しないようにする維持管理レベルⅡを設定した。</p> <p>下部工と同じく劣化予測項目を設定して実施する劣化予測の結果を踏えて点検診断計画を作成する。</p>
その他部材	エプロン・塗装	Ⅲ	<p>直杭式横棧橋のエプロン・舗装、海底地盤、渡版は、構造的に重要な部材であるものの劣化予測項目の設定、劣化予測は容易ではない。また「予防保全」としての対策は容易ではない。</p> <p>したがって、構造物・部材の要求性能が満足されなくなる前に比較的大規模な事後保全対策を対症療法的に実施する維持管理レベルⅢを設定した。</p>
	海底地盤		
	渡版		
附帯設備	防舷材	Ⅲ	<p>構造物・部材の要求性能が満足されなくなる前に比較的大規模な事後保全対策を対症療法的に実施する維持管理レベルⅢを設定した。</p>
	係船柱		
	車止め・安全柵		
	はしご		
	排水設備		

参考：「維持管理レベル」の考え方（省令・告示・通達が確定するまでの暫定記述）

<p>維持管理レベルⅠ</p>	<p>設計時点における部材の劣化予測において、設計供用期間中に構造物・部材の性能に影響を及ぼす劣化・変状が発生しないこと（維持管理上の限界状態に達しないこと）を確認（照査）した構造物・部材に対する維持管理レベルのこと。</p> <p>構造物の竣工時点で既に劣化・変状を生じさせない措置（事前対策）が施されているために、維持管理計画では劣化予測の不確実性と異常時に対応するための維持管理を対象とする。このため、維持管理計画作成の当初段階では特段の補修を施すことは計画しない。</p> <p>なお、事前対策の例として以下が挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・耐腐食性の高い鋼材（ステンレス鉄筋、エポキシ樹脂塗装鉄筋等）を用いたコンクリート部材 ・全設計供用期間を対象に電気防食を施した鋼管杭・鋼管矢板 ・一般に劣化の進展が想定されないと考えられているコンクリートケーソン
<p>維持管理レベルⅡ</p>	<p>設計時点における部材の劣化予測において、設計供用期間中に構造物・部材の性能に影響を及ぼす劣化・変状の発生（維持管理上の限界状態）が予測されるが、維持管理の当初段階において予防保全的な対策を実施することを設計時点から計画しておくことで、劣化・変状が発生しないように配慮された構造物・部材に対する維持管理レベルのこと。</p> <p>劣化予測により推定された劣化・変状が発生する時期および部位に関する情報を基に計画された予防保全対策を適時適切に実施することを前提として、維持管理計画では、予防保全のための点検診断および対策の実施、劣化予測の不確実性と異常時に対応するための維持管理を対象とする。このため、維持管理段階では、劣化・変状が発生しないようにするための小規模な補修を頻繁に実施することとなる。</p> <p>なお、予防保全対策の例として以下が挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面被覆等の補修を計画的に施すコンクリート部材 ・設計供用期間中に陽極の交換が必要な電気防食を施した鋼管杭・鋼管矢板
<p>維持管理レベルⅢ</p>	<p>設計時点における部材の劣化予測において、設計供用期間中に構造物・部材の性能に影響を及ぼす劣化・変状の発生（維持管理上の限界状態）が予測されるが、予防保全的な対策を実施せずに、構造物・部材の要求性能が満足されなくなる前に比較的大規模な事後保全対策を対症的に実施する構造物・部材に対する維持管理レベルのこと。</p> <p>定期的な点検診断の実施により、構造物・部材の劣化・変状の発生・進行を把握しておくことを前提として、維持管理計画では、定期的な点検診断の実施、性能が要求レベルを下回らないようにするための補修対策、異常時に対応するための維持管理を対象とする。この場合、維持管理段階では、劣化・変状による性能低下が生じても要求性能が満足されるようにするための大規模な補修を1～2回実施することとなる。</p> <p>なお、事後保全対策の例として以下が挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用性が損なわれた際に実施するエプロン舗装の打替え ・劣化・変状が顕著となった附帯設備の取替え

○ 総論

5.2. 維持管理レベルの設定

「主要部材」に対しては「予防保全」を適用し、「その他部材」あるいは「附帯設備」に対しては「事後保全」を適用することが一般的である。この「予防保全」に関しては、事前対策により設計供用期間中に特段の補修を想定しない「維持管理レベルⅠ」と、設計供用期間中での対策を事前に想定しする「維持管理レベルⅡ」に区分される。「事後保全」は「維持管理レベルⅢ」として区分される。

「予防保全」では劣化予測項目を選定し、劣化予測を実施し、「その他部材」、「附帯設備」の点検診断結果をあわせて総合評価、維持補修計画の作成を実施する。

また、「その他部材」と「附帯設備」についても既往の知見を踏まえて点検診断の内容と時期を明記し、点検診断結果は総合評価に反映させる。

○維持管理レベルの概要

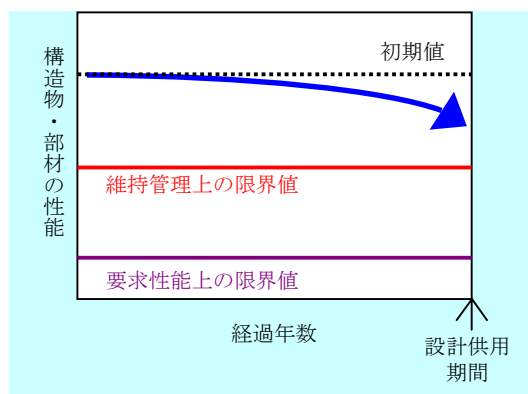
・維持管理レベルⅠ

設計時点における部材の劣化予測において、設計供用期間中に構造物・部材の性能に影響を及ぼす劣化・変状が発生しないこと（維持管理上の限界状態に達しないこと）を確認（照査）した構造物・部材に対する維持管理レベルのこと。

構造物の竣工時点で既に劣化・変状を生じさせない措置（事前対策）が施されているために、維持管理計画では劣化予測の不確実性と異常時に対応するための維持管理を対象とする。このため、維持管理計画作成の当初段階では特段の補修を施すことは計画しない。

なお、事前対策の例として以下が挙げられる。

- ・ 耐腐食性の高い鋼材（ステンレス鉄筋、エポキシ樹脂塗装鉄筋等）を用いたコンクリート部材
- ・ 全設計供用期間を対象に電気防食を施した鋼管杭・鋼管矢板
- ・ 一般に劣化の進展が想定されないと考えられているコンクリートケーソン



・維持管理レベルⅡ

設計時点における部材の劣化予測において、設計供用期間中に構造物・部材の性能に影響を及ぼす劣化・変状の発生（維持管理上の限界状態）が予測されるが、維持管理の当初段階において予防保全的な対策を実施することを設計時点から計画しておくことで、劣化・変状が発生しないように配慮された構造物・部材に対する維持管理レベルのこと。

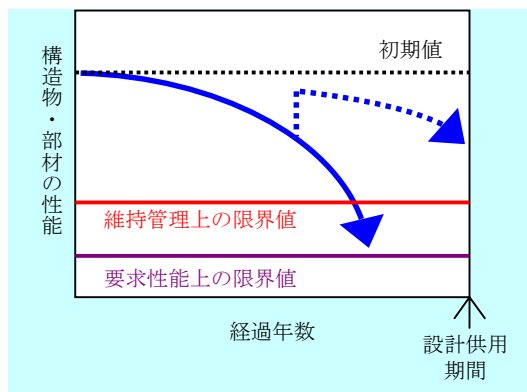
劣化予測により推定された劣化・変状が発生する時期および部位に関する情報を基に計画された予防保全対策を適時適切に実施することを前提として、維持管理計画では、予防保全のための点検診断および対策の実施、劣化予測の不確実性と異常時に対応するための維持管理を対象とする。このため、維持管理段階では、劣化・変状が発生しないようにするための小規模な補修を頻繁に実施することとなる。

なお、予防保全対策の例として以下が挙げられる。

- ・ 表面被覆等の補修を計画的に施すコンクリート部材

- 設計供用期間中に陽極の交換が必要な電気防食あるいは塗覆装を施した鋼管杭・鋼管矢板

(解説)



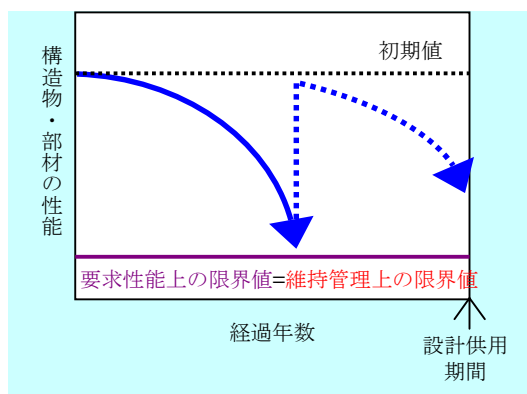
・維持管理レベルⅢ

設計時点における部材の劣化予測において、設計供用期間中に構造物・部材の性能に影響を及ぼす劣化・変状の発生（維持管理上の限界状態）が予測されるが、予防保全的な対策を実施せずに、構造物・部材の要求性能が満足されなくなる前に比較的大規模な事後保全対策を対症的に実施する構造物・部材に対する維持管理レベルのこと。

定期的な点検診断の実施により、構造物・部材の劣化・変状の発生・進行を把握しておくことを前提として、維持管理計画では、定期的な点検診断の実施、性能が要求レベルを下回らないようにするための補修対策、異常時に対応するための維持管理を対象とする。この場合、維持管理段階では、劣化・変状による性能低下が生じても要求性能が満足されるようにするための大規模な補修を1～2回実施することとなる。

なお、事後保全対策の例として以下が挙げられる。

- ・ 使用性が損なわれた際に実施するエプロンの打替え
- ・ 劣化・変状が顕著となった附帯設備の取替え



Ⅱ 点検診断計画

Ⅱ－１ 点検診断計画の概要

1. 点検診断の種類と概要

通常時の点検診断は次の段階に応じて実施する。

- ①初回点検 建設直後の竣工段階において、係船岸全体のみならず各部材、附帯設備において変状および劣化が生じていないことを確認する。
- ②日常点検 日常の巡回で点検が可能な箇所について変状および劣化の有無や程度の把握を行う。
- ③定期点検診断 日常点検で把握し難い構造物の細部を含めて、変状および劣化の有無や程度の把握を目的に行う。この定期診断点検は、短い間隔で、海面上の部分を対象とした目視調査・簡易計測を主体に実施する一般定期点検診断と、比較的長い間隔で一般定期点検診断では実施が困難な部分を含めて実施する詳細定期点検診断に区分される。
- ④一般臨時点検診断 地震時や荒天時の異常時の直後のできるだけ早く、目視調査・簡易計測を主体として変状の有無や程度の把握を行う。
- ⑤詳細臨時点検診断 定期点検診断、一般臨時点検診断の結果、特段の異常が確認された場合に特別な点検診断を実施する。

維持補修計画全体の中における点検診断の各段階の位置づけを以下のフローに示す。

2. 点検診断の対象

点検診断は、最初に係船岸全体に実施する。さらに、「部材」および「附帯設備」を対象に実施する。また、「部材」については構造的に特に重要な「主要部材」として、「その他部材」と比較してよりレベルの高い点検診断を実施する。

3. 点検診断の実施時期

日常点検は、巡回時に応じて随時実施する。定期点検診断は、対象の部材ごとに適切な時期を検討するが、効率的に実施するために可能な限り同一時期に実施する。

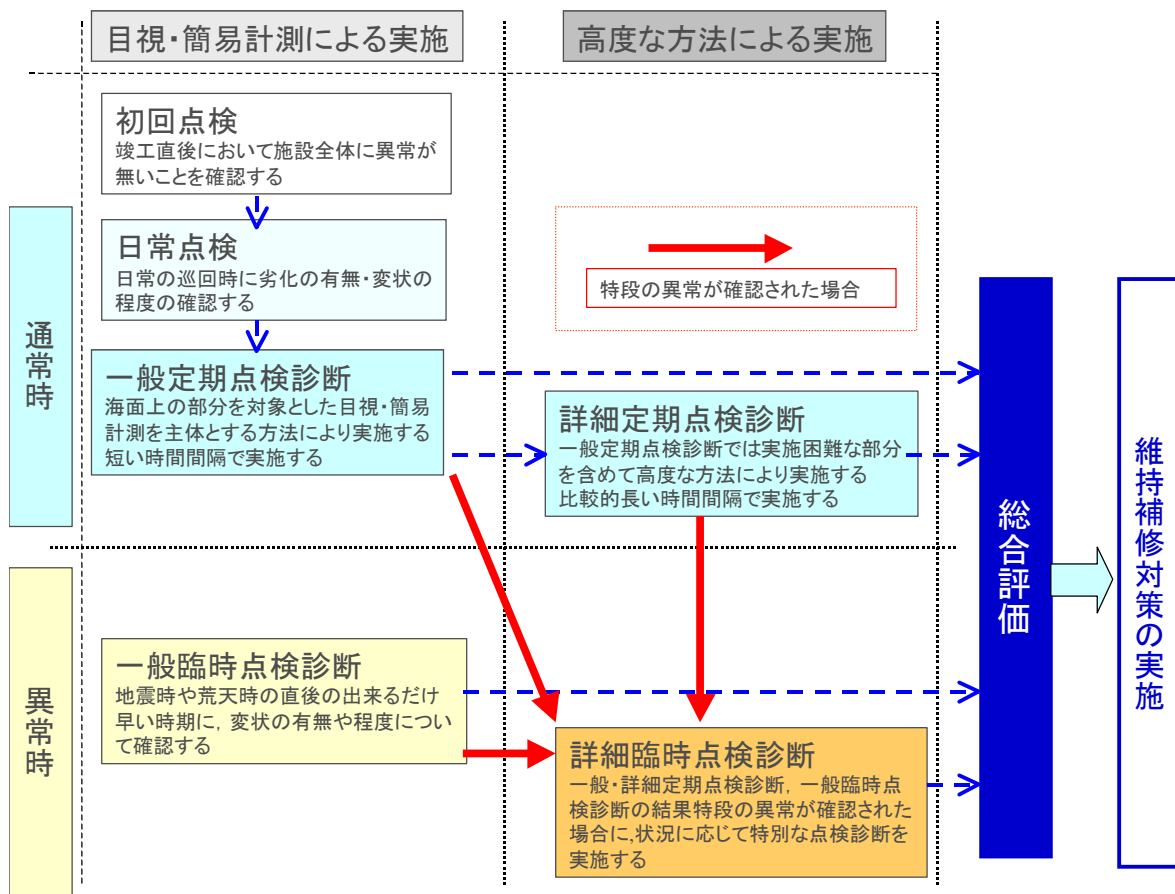
4. 点検診断計画の修正および改訂

第1回目の詳細定期点検診断の結果によりその後の対応は大きく異なる。さらに、この期間に新たな知見および新技術が明らかになることが十分に想定される。

したがって、当面の定期点検診断の実施予定時期については第1回目の詳細定期点検診断までを計画する。それ以降については、それまでの定期点検診断結果を踏まえて必要に応じて点検診断計画の修正および内容の大幅な変更をとまう改訂を予定する。

5. 定期点検診断結果の記録および得られた知見の公開

- ①点検診断の結果は、本施設の供用期間中および供用期間後も他の施設の維持管理に資するために維持管理システム（データベース）に登録する。
- ②点検診断の結果は、紙媒体の記録と合わせて電子媒体により記録する。撮影した写真についても同様に出力した画像と電子媒体により記録する。
- ③変状および劣化は、その状況を理解しやすくまた間違いのないようにするために添付する図面に直接に記入することを基本とする。



II-2 係船岸全体

1. 係船岸全体への対応

1.1. 基本的な考え方

点検診断の基本として係船岸全体の変状の有無や程度の把握を確認する。特に、海底地盤や背後地盤、部材の変状および劣化が係船岸全体の変状として確認される可能性が高いことから、定期点検診断にかかわらず、日常点検診断においても注意深く観察する。

定期点検診断の具体的な内容は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)を踏まえて以下に示す。なお、詳細臨時点検診断の実施に際しては、必要に応じて専門家の助言を得るものとする。

1.2. 初期状態の点検結果（初回点検）

竣工検査の結果において、係船岸全体の初期状態での問題点は全く確認されなかった。なお係船岸としての形状を示すものとして上部工の各ブロックの詳細な位置座標の測定結果をII-4 2.2.に示す。

1.3. 点検診断結果の評価

係船岸全体の変状に対する点検診断の結果は、部材や附帯設備の点検診断結果の評価とあわせて総合評価において活用する。

2. 点検診断の内容と実施時期

2.1. 定期点検診断

1) 一般定期点検診断

一般定期点検診断では岸壁法線について以下の点検診断を実施する。ここで、劣化度判定(b), (a)の場合には詳細臨時点検診断を行って原因を究明する。また、劣化度判定(c)の場合には次回の定期点検診断まで経過を観察する。

点検項目		点検方法	判定基準	
岸壁法線	凹凸, 出入り	目視 ・移動量	a	<input type="checkbox"/> 隣接する上部工との間に 20cm 以上の凹凸がある。
			b	<input type="checkbox"/> 隣接する上部工との間に 10~20cm 程度の凹凸がある。
			c	<input type="checkbox"/> 上記以外の場合で、隣接する上部工との間に 10cm 未満の凹凸がある。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

2) 詳細定期点検診断

詳細定期点検診断では、係船岸全体について以下の点検診断を実施する。特に、係船岸全体の移動等により法線のはらみ出しが見られる場合には、基準点から基線を設定し、点検対象ブロックの上部工に設定した測点から基線までの水平距離を測定することで、はらみ出し量を調べる。点検間隔としては、法線平行方向に上部工1ブロックで1箇所(おおよそ10~15mピッチ)とする。ここで、必要と判断される場合にはさらに詳細臨時点検診断を行って原因を究明する。ここで上部工の位置座標については、上部工の点検診断の際に得られる値を活用することができる。

点検項目		点検方法	判定基準
栈橋式係船岸全体	移動量 傾斜量, 沈下量	移動距離測定 水準測量 傾斜計による測量 等	測量・測定データ等を記録し、係船岸の移動・傾斜・沈下が評価できる形式で整理する。

2.2. 実施時期

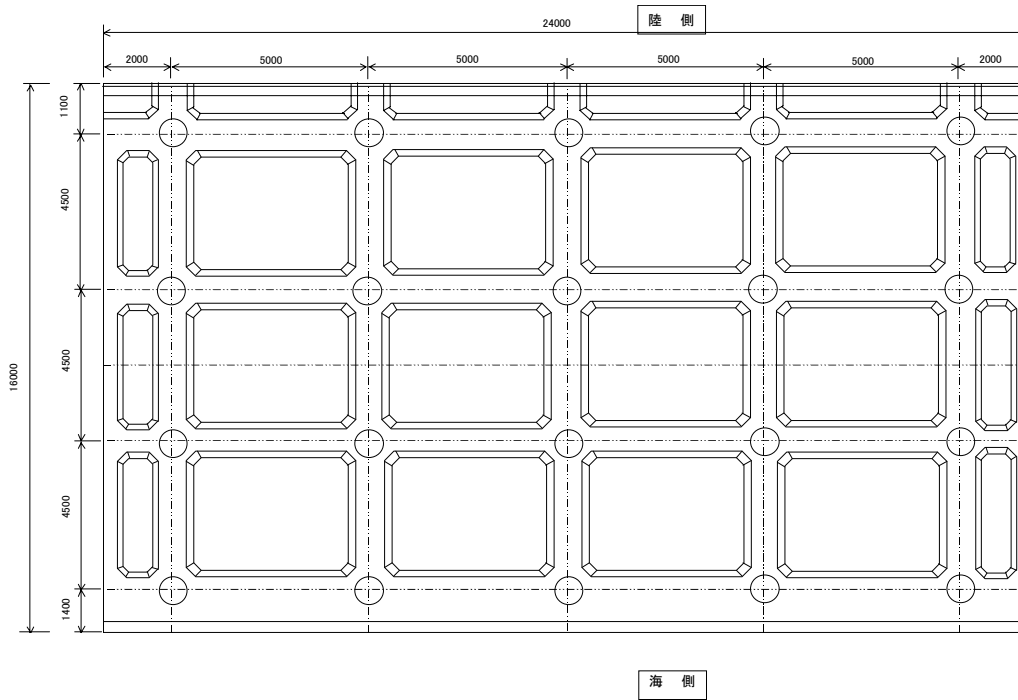
II-4で示す上部工の定期点検診断の実施時期と同時期に実施する。

II-3 上部工

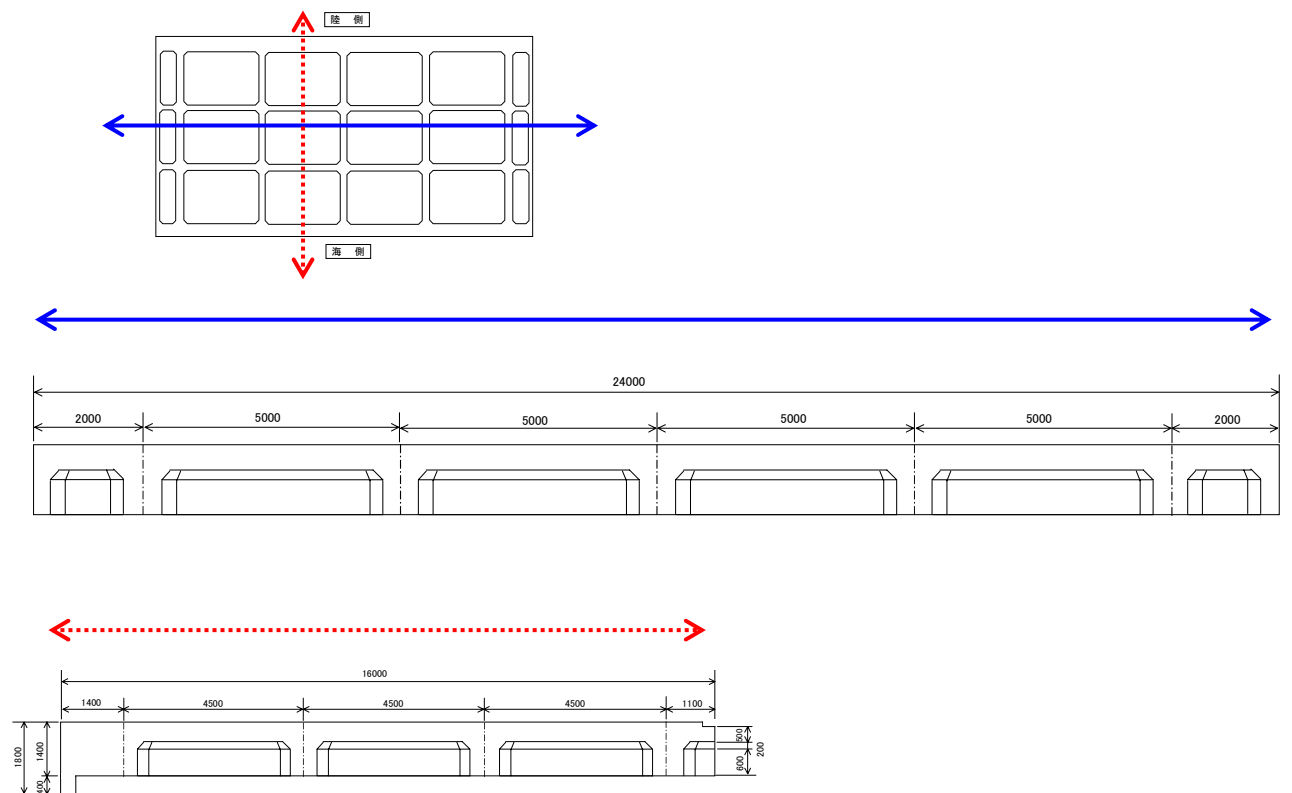
1. 施設形状および座標系の設定

1.1. 施設形状

①平面図 (単位ブロック)



②断面図



1.2. 座標系の設定

座標系については、上部工の上方に視点を設定し、海側を手前にするを基本とする。そこで左下点を基点として座標系を設定する。

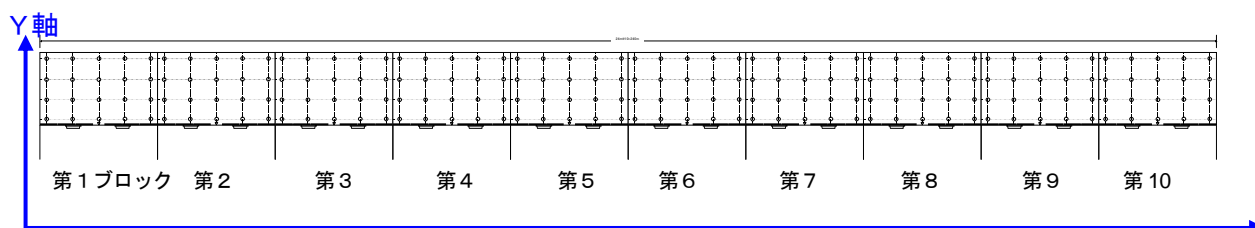
座標系は次のように3個の数字および記号の連番で設定する。

(ブロック No. - 部材の種類 - X軸方向座標 + Y軸方向座標)

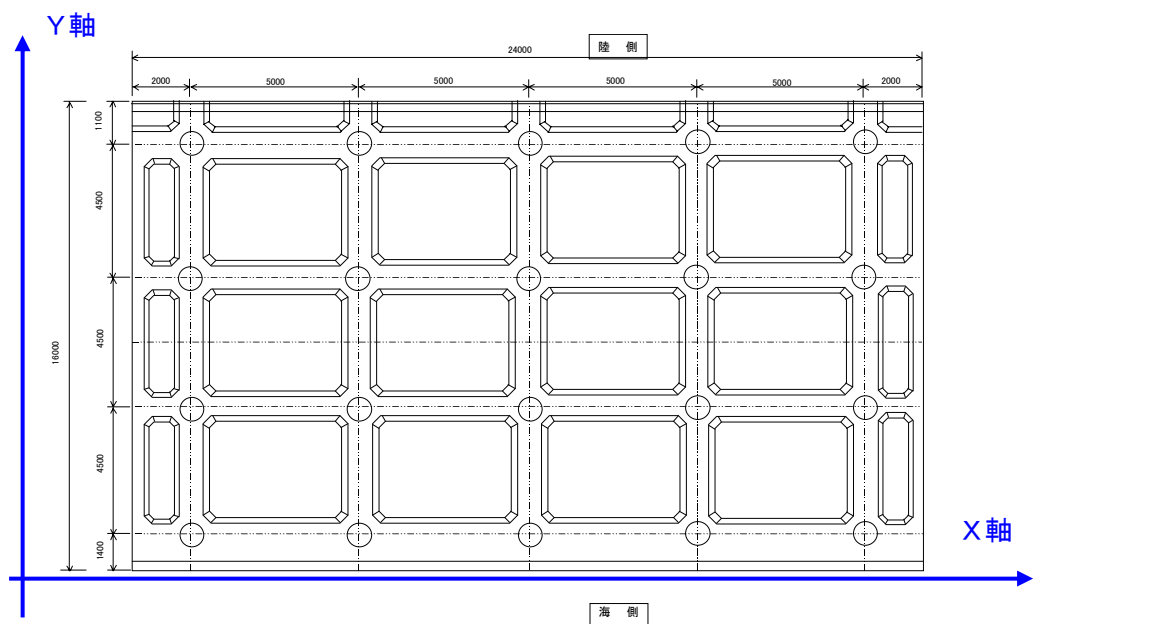
これにより、例えば 1 B 3 4 は

- ・海側から見て左から1番目の第1ブロックの
 - ・B : はり - Beam で
 - ・海側を手前にして左から3番目、前から4番目の位置を指定する
- なお、床版の場合には、S - Slabを用いる

①全体ブロックでの座標系

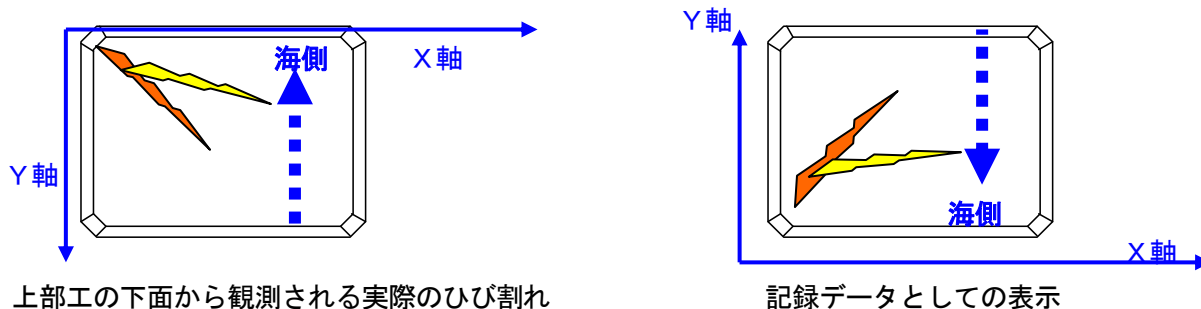


②単位ブロックでの座標系



③視点の位置指定

座標系については、上部工の上方に視点を設定していることから、床版に発生したひび割れ等の表示は上方から床版を透視している状態で表示する

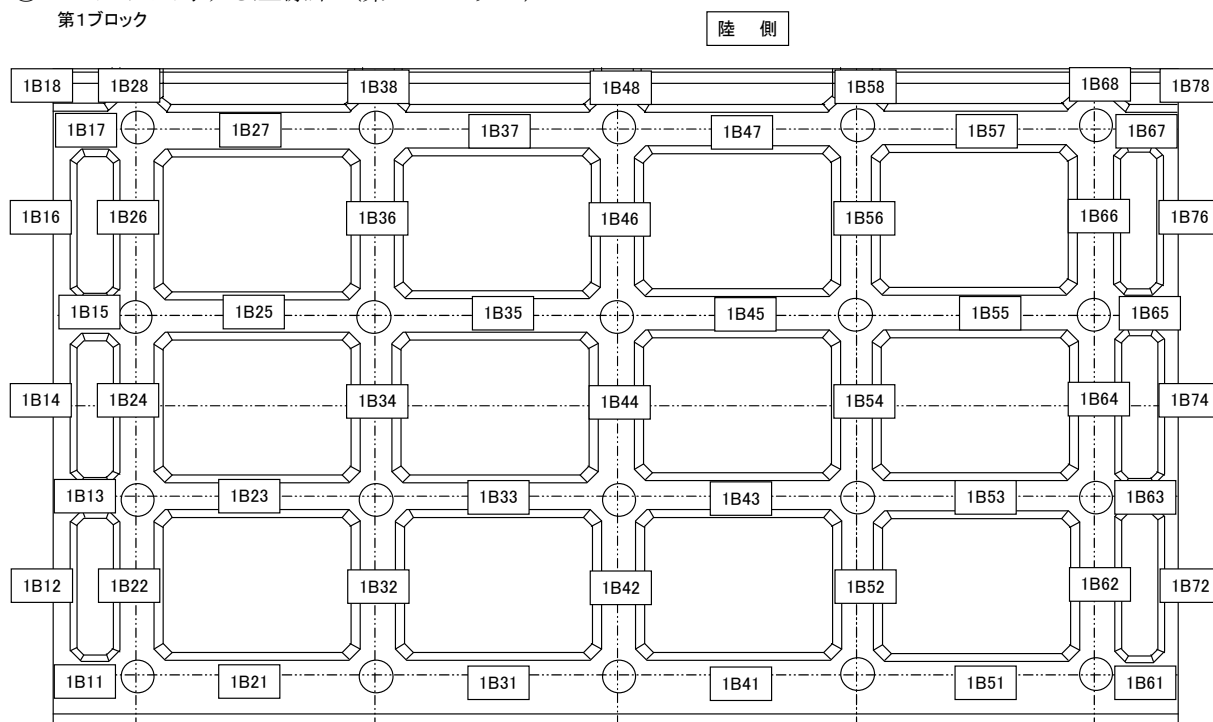


④具体的な座標系

ここで設定した座標系に基づいて第1ブロックの上部工の各部位に指定した座標を以下に示す。

④-1 はりに対する座標系 (第1ブロック)

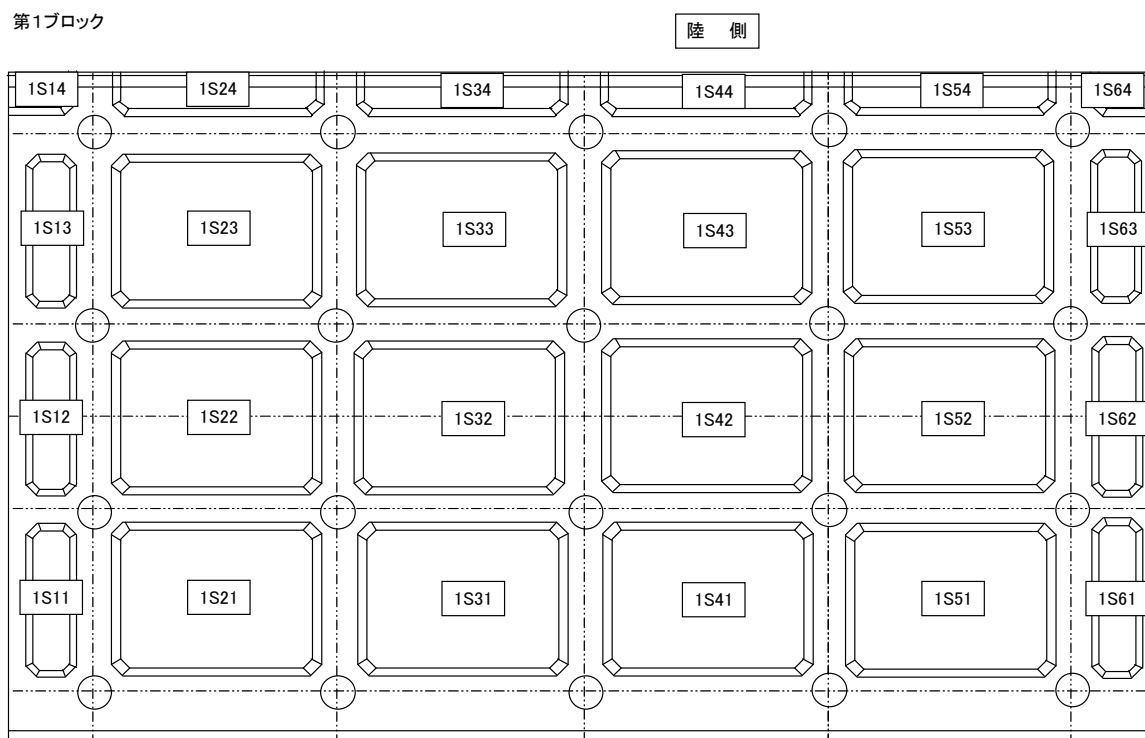
第1ブロック



海側

④-2 床版に対する座標系 (第1ブロック)

第1ブロック



海側

○施設形状の確認および座標系の設定

設計図面等をもとに、維持管理の観点から主要部材の形状を明示する。また、現場での点検診断を計画する場合のみならず実際の点検診断を実施する場合の段取り等を検討するために各部材ごとの形状のみならず施設全体としての形状を十分に把握できる図面を明示する。

また、各部材およびそれぞれの部位の位置関係を明確にするために施設全体での統一の座標系設定および部位を指定する番号化を実施する。

特に、座標系に関しては全国統一的に以下に示す設定を基本とする。なお、将来的な混乱を回避するために計画書にも明記する。

- ・座標系の設定については、部材の上方に視点を設定し、海側を手前にすることを基本とする。そこで左-下点を基点としてX軸およびY軸を設定する。

- ・各部位に対する座標は次のように3個の数字および記号の連番で設定する。

(ブロック番号-部材の種別-X軸方向座標+Y方向座標)

これにより、例えば 1 B 3 4 は

- ・海側から見て左から1番目の第1ブロックの

- ・B : はり-Beam で

- ・海側を手前にして左から3番目、手前から4番目の位置を指定する

なお、床版 S-Slab

鋼管杭・矢板 P-Pile

土留護岸 R-Retaining Wall

ケーソン C-Caisson

等を用いる。

なお、ここで設定した座標を実際に各部材にペンキ等でマーキングする場合には、その内容を明記する。

2. 初期状態の点検結果（初回点検）

2.1. 初回点検の結果

建設直後の上部工については、竣工検査の結果において維持管理の観点から初期状態での問題点は、全く確認されなかった。

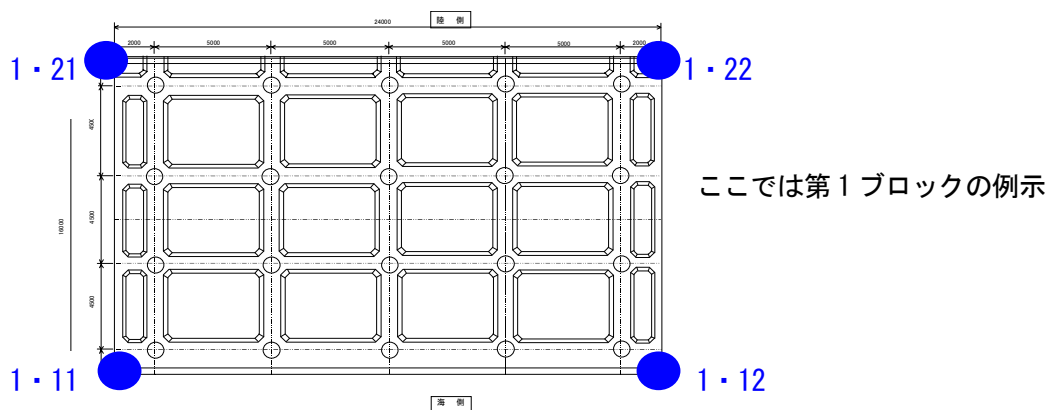
なお、特に以下の点を明記する。

- ①ひび割れ等の初期欠陥は確認されず、それに伴う補修は実施されていない。
- ②施工管理記録に基づき、セメント種類は高炉セメント、水セメント比は0.55が確保されている。
- ③施工管理記録に基づき、かぶりは設計図書とおり確保されている。
- ④施工管理記録に基づき、アルカリ骨材反応の可能性のある骨材使用はない。

建設直後に陸上で撮影された上部工の上面および下面の状況写真を参考資料に示す。

2.2. 位置座標

各ブロック（上部工）の4隅を以下のように座標を指定して測定した各ブロックの位置座標を以下に示す。なお、将来的な係船岸自体の沈下を把握するために、高さ座標（Z座標）についても示す。



		X座標	Y座標	Z座標
第1ブロック	1・11			
	1・12			
	1・21			
	1・22			
第2ブロック	2・11			
	2・12			
	2・21			
	2・22			
第3ブロック	3・11			
	3・12			
	3・21			
	3・22			
---	---	---	---	---

○初期状態の点検（初回点検）

建設直後の初期段階では、言うまでもなく変状および劣化は全く生じていないことが前提である。このことを明記しておくとともに、将来の点検診断結果との比較を容易にするために主要部材ごとの初期状態を各種のデータ、写真等により参考資料に示す。

なお、この初期状態の点検データは一般的に竣工検査、示方配合報告書等から得られるが、維持管理の点から特に必要なデータ、例えば、コンクリートの水セメント比、初期欠陥の有無およびそれへの対処の結果についても明記する。

また、施設全体形状の評価、地震による変状を明確にするために部材の主要箇所座標を指定して測定した位置座標を明記する。あわせて、基点からベンチマーク（水準点等）の間の測量を行い、その結果を示す。

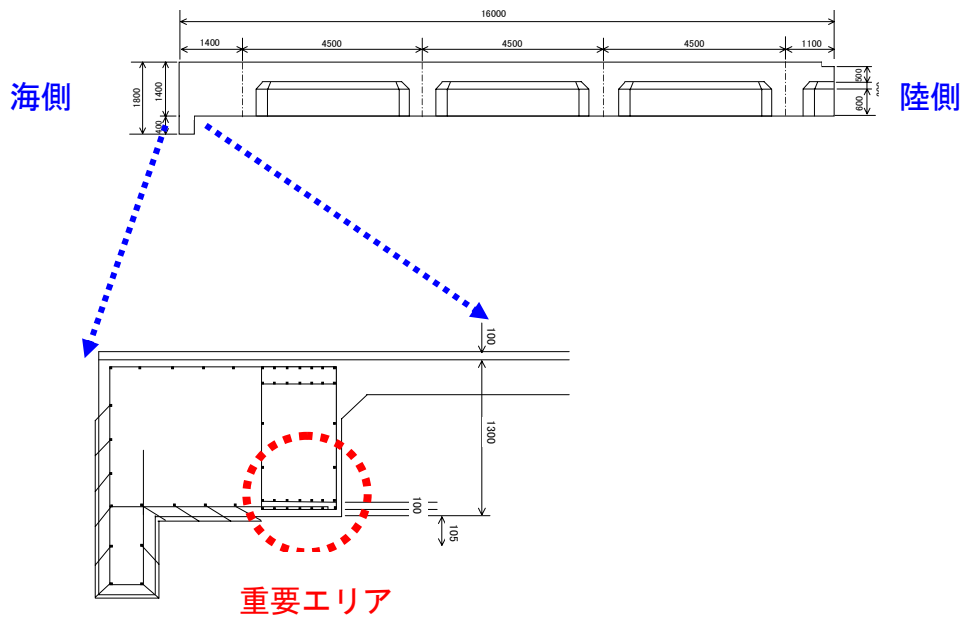
3. 劣化予測項目および劣化予測, 点検診断における重要エリアの選定

3.1. 劣化予測項目の選定

上部工における床版, はりの場所打ち鉄筋コンクリートについて, 構造特性, 設計供用期間, 自然状況, 想定される利用条件等, 材料特性等の結果を踏まえて, 塩化物イオンの浸入による鉄筋腐食を劣化予測項目とする。

3.2. 劣化予測・点検診断における重要エリアの選定

既存の上部工の劣化状況および施設形状を踏まえて, 以下の赤丸で示す最も海側のはりの海面に面している箇所を劣化予測のための重要エリアとして選定する。



○劣化予測項目の選定

各主要部材における変状および劣化については、これまでの経験等からそれらが発生する機構について分析・研究が実施されている。この分析・研究成果をもとに、変状および劣化を判断するための劣化予測項目を選定する。

港湾施設における栈橋の上部工では、基本的には塩化物イオンに基づく塩害を劣化予測項目とすることができる。

1. 劣化予測項目としての塩化物イオンの浸入

コンクリート中に浸入した塩化物イオン (Cl^-) の作用によりコンクリート中の鉄筋表面の不動態皮膜が破壊されることにより、鉄筋の腐食が生じる。腐食生成物の生成時の膨張圧により、コンクリートにひび割れが生じ、ひいてはかぶりコンクリートのはく離、はく落へとつながる。海洋環境下ではコンクリート中に最も塩化物イオンが浸入しやすい。直接海水の影響を受ける海中環境、干満環境、飛沫環境におけるコンクリート中への塩化物イオンの浸入量は極めて多く、このような環境に位置するコンクリート中には多量の塩化物イオンが、しかも比較的短期間のうちに浸入すると考えられる。直接海水の影響を受けなくとも、海岸線から比較的近距离に位置するコンクリートにおいては、海岸からの風によって運ばれた飛来塩分がコンクリート表面に蓄積され、ひいてはコンクリート内部へと浸入していく。したがって、海岸に比較的近い距離に位置する構造物の場合も塩害を受ける可能性は大きい。

2. 塩下物イオン以外の項目

なお、以下に示すような塩害以外の要因もあり、これらが劣化予測項目となる場合には、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)を適用する。

①コンクリートの中性化の概要

コンクリートの中性化は、主に大気中の二酸化炭素がコンクリート中に侵入することにより引き起こされる。したがって、二酸化炭素がコンクリート中に侵入し易い環境が整えば、中性化が生じ易くなると同時にその進行速度も大きくなる。コンクリートの中性化に関して着目すべき気象条件として、気温、湿度、降雨頻度、日射量などが挙げられる。また、コンクリートの含水量が少ないほど中性化の進行は早くなるが、絶乾状態に近いような極端に乾燥した状態では逆に中性化は進行しない。

②凍害の概要

凍害とはコンクリート中の水分が凍結して膨張することにより発生するものであり、長期間にわたる凍結と融解の繰返しによってコンクリートが徐々に劣化する現象である。凍害を受けた構造物では、コンクリート表面にスケーリング、微細ひび割れ、ポップアウトなどが生じる。

凍害による影響を受けた構造物の劣化予測は非常に難しく、また、劣化の進行速度は塩害と比較して穏やかな場合が多いとされている。そのため、塩害の場合のように予防保全的な観点で将来予測を行うよりも劣化が顕在化した後に、点検診断を定期的に行い、その結果から劣化の進行予測を行う方がより合理的であるという考え方が示されている。

③アルカリ骨材反応 (ASR) の概要

ASR は、アルカリ環境下で骨材中に含まれる反応性珪物とコンクリート中の水酸化アルカリを主成分とする水溶液との化学反応によって生成するアルカリシリカゲルの吸水膨張に起因するものである。ASR による影響を受けた構造物の劣化予測は非常に難しく、また、劣化の進行速度は塩害と比較して穏やかな場合が多いとされている。そのため、塩害の場合のように予防保全的な観点で将来予測を行うよりも、劣化が生じた後に、点検診断を定期的に行い、その結果から劣化の進行予測を行う方がより費用対効果に見合っているという考え方が示されている。

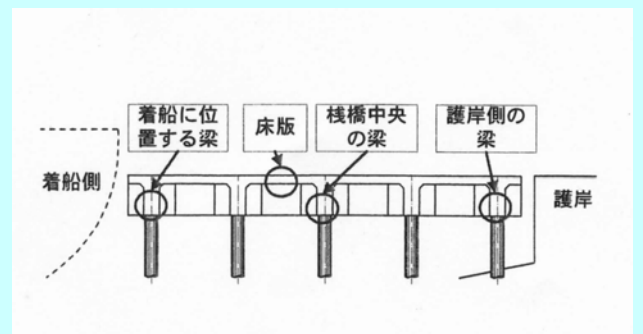
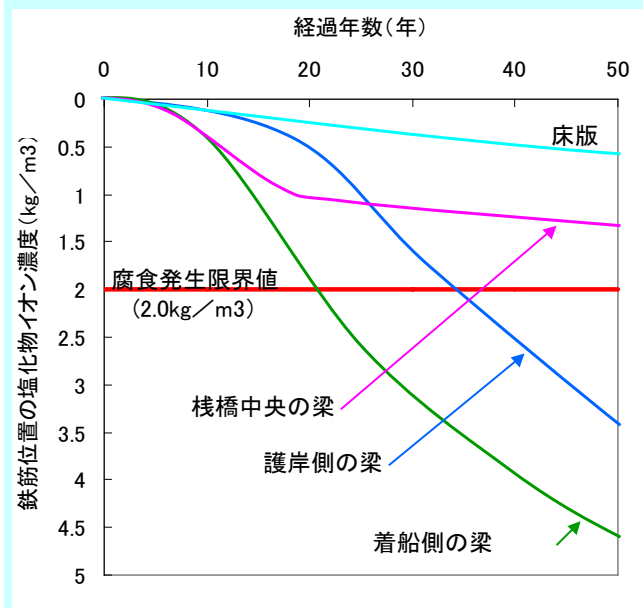
○劣化予測項目および劣化予測・点検診断における重要エリアの選定

主要部材全体に対して均等に点検することは効果的・効率的ではなく、変状および劣化のうち特に経年的に発生する劣化が発生・進行しやすいエリアは経験的、また理論的にも明らかになっている。このために、劣化予測の実施対象として点検診断のための重要エリアを環境条件が最悪の場所から選定する。

なお、栈橋の上部工では、塩化物イオンの浸入による劣化が場所によって大きく異なることが明らかになっている。具体的な解析結果の事例を下図に示す。この例では、鉄筋位置の塩化物イオン濃度を現地で観測された表面塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数を用いて推定している。

ここで、沖合からの波浪を直接に受ける「海側のはり」において建設後 20 年以前に腐食発生限界に近づき、その後も塩化物イオン濃度は大きく増加している。次に、背後の護岸からの返し波の影響を受ける「護岸側のはり」が塩化物イオン濃度の増加速度が速い。一方で、「中央のはり」は波浪の影響が少ないこと、また「床版」では海面からの距離が「はり」に比較して大きいことから、50 年間の間に腐食発生限界に達していない。

したがって、栈橋上部工に関しては、最も海側のはりの海面に面している箇所を劣化予測のための重要エリアとして選定することが一般的である。



上部工の塩化物イオン濃度の傾向

4. 劣化予測

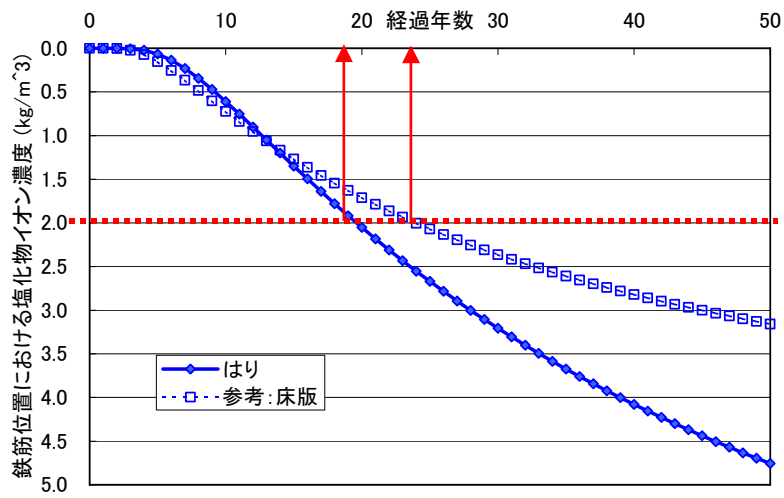
4.1. 塩化物イオンによる照査結果

「港湾の施設の技術上の基準」(2007)附属書に基づき塩化物イオンに関する照査を実施した。その結果設計供用期間中に鉄筋腐食が発生すると判断される。

項目	単位	はり	参考:床版
設計供用年数	年	50	50
かぶり	mm	76.5	70.5
構造物係数		1.0	1.0
水セメント比		0.55	0.55
コンクリートの拡散係数の予測値	cm ² /年	0.729	0.729
換算係数		1.00	1.00
Dpの精度に関する安全係数		1.0	1.0
コンクリートの拡散係数の特性値	cm ² /年	0.729	0.729
コンクリートの材料係数		1.0	1.0
ひび割れ幅	mm	0.119	0.213
ひび割れ幅の限界値	mm	0.324	0.247
使用時設計曲げモーメント	kNm	191	21
配筋量	mm ²	7094	1433
ヤング係数比		8	8
幅	mm	800	1000
有効高さ	mm	1145	220
鉄筋比		0.0077	0.0065
k		0.295	0.275
j		0.902	0.908
鉄筋応力度の増加量	N/mm ²	26.1	74.4
鉄筋のヤング係数	kN/mm ²	200	200
コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値	マイクロ	150	150
ひび割れ幅とひび割れ間隔の比		0.00084	0.00157
コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す定数	cm ² /年	200	200
コンクリートの拡散係数の設計値	cm ² /年	0.751	0.962
海水面(HWL)から部材下面までの距離	m	0.40	1.39
表面塩化物イオン量	kg/m ³	12.6	6.7
同 下限値	kg/m ³	6	6
鉄筋位置における塩化物イオン濃度の設計用値	kg/m ³	4.76	3.16
鉄筋腐食発生限界濃度	kg/m ³	2	2
照査		2.378	1.580
判定		NG	NG

4.2. 塩化物イオン濃度推移の推計

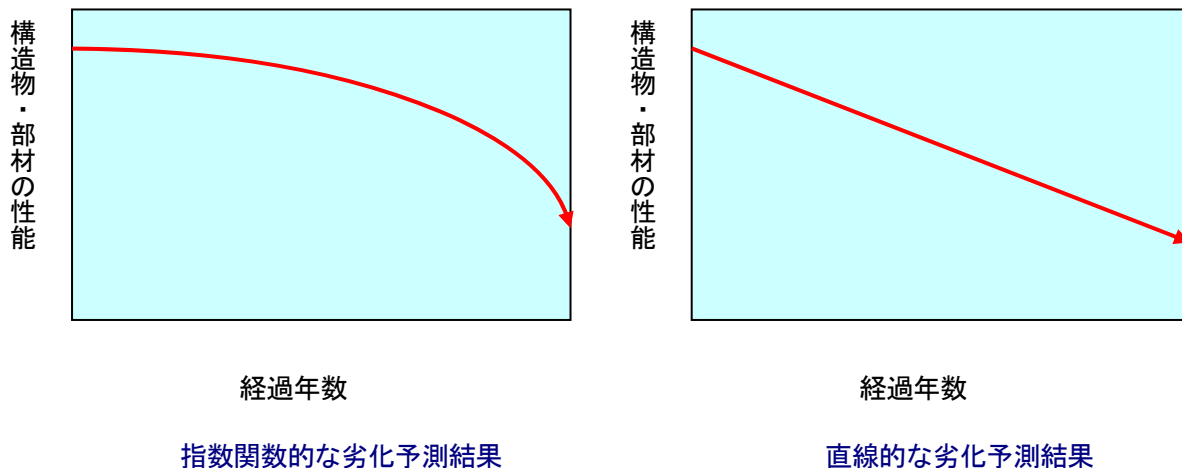
C_0 値=12.6kg/m³ を用いてはりの鉄筋表面における塩化物イオン濃度の時系列変化により劣化予測を行った結果、鉄筋腐食発生限界濃度 2.0kg/m³ には、はりでは19年目に、また床版部分でも25年目に達すると推計される。



はり部分の塩化物イオン濃度予測

○劣化予測

劣化予測項目について、重要エリアを対象として劣化予測を行う。ここでの劣化予測は、それぞれの維持管理のマニュアル等で示されているモデルあるいは過去の実績・事例等に基づくモデル等を用いて実施する。ここで、鉄筋コンクリートにおいて一般的な指数関数的な劣化予測結果（下左図）あるいは鋼材における電気防食において一般的な直線的な劣化予測結果（下右図）等が示される。



○塩化物イオンの浸入による鉄筋腐食の予測モデル

具体的な塩化物イオンの浸入による鉄筋腐食に関する予測は、以下に概要を示す「港湾の施設の技術上の基準」（2007）附属書に示される方法で実施する。

①塩化物イオンの浸入による鉄筋腐食に関する照査は、一般に、式（1）により行う。

$$\gamma_i C_d / C_{lim} \leq 1.0 \tag{1}$$

ここに、

γ_i ：構造物係数 (=1.0～1.1)

C_d ：鉄筋位置における塩化物イオン濃度の設計用値 (kg/m³)

C_{lim} ：鉄筋腐食発生限界濃度 (kg/m³)

塩化物イオンによる鉄筋腐食の照査においては、種々の限界値の設定が考えられるが、ここでは、安全側の評価ができること、及び現時点の技術レベルで比較的评价が可能であることにより、鉄筋腐食が生じる時点を超えて限界状態と定めることとした。

②鉄筋位置における塩化物イオン濃度の設計用値 C_d は、式（2）により求める。

$$C_d = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1c}{2\sqrt{D_d t}} \right) \right) \tag{2}$$

ここに、

C_0 ：コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

c ：かぶりの設計値 (mm)

D_d ：塩化物イオンに対する設計拡散係数 (cm²/y)

t ：設計供用期間 (年)

$$\text{erf} : \text{誤差関数} \quad \left(\text{erf}(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-\eta^2} d\eta \right)$$

③表面塩化物イオン濃度 C_0 は、構造部材が置かれる地点と同様の環境条件での実測データにより定めることが望ましいが、栈橋のコンクリート上部工で海水面 (H. W. L.) と部材下面の距離が 0~2.0m 程度の場合には、実測データを基に設定された式 (3) に基づいて定める。

$$C_0 = -6x + 15 \quad (3)$$

ここに、

C_0 : 表面塩化物イオン量 (kg/m^3) で $6.0 \text{ kg}/\text{m}^3$ を下回らないものとする

x : 海水面 (H. W. L.) から部材下面までの距離 (m)

④塩化物イオンに対する設計拡散係数 D_d は、式 (4) により求める。

$$D_d = \gamma_c D_k + \left(\frac{w}{l} \right) \left(\frac{w}{w_a} \right)^2 D_0 \quad (4)$$

ここに、

γ_c : コンクリートの材料係数 1.0 とする。

D_k : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値 (cm^2/y)

D_0 : コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す定数
200 cm^2/y とする

w : ひび割れ幅 (mm)

w_a : ひび割れ幅の限界値 (mm)

w/l : ひび割れ幅とひび割れ間隔の比

$$w/l = 3 \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right)$$

σ_{se} : 鉄筋応力度の増加量 (N/mm^2)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (N/mm^2)

ε'_{csd} : コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための
数値

⑤コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値 D_k は、実際に使用するコンクリートが分かっている場合にはそのコンクリートから作製した試験体による実験³⁾により定める。そうでない場合には、式 (1.1.16) を用いて定める。

$$D_k = \gamma_p \alpha D_p \quad (5)$$

普通ポルトランドセメントを使用する場合

$$\log D_p = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5 \quad (6)$$

高炉セメントやシリカフェームを使用する場合

$$\log D_p = -3.0(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.2 \quad (7)$$

ここに、

α : 換算係数で、普通ポルトランドセメントを使用する場合は 0.65^{**})、高炉セメントやシリカフェームを使用する場合は 1.0 とする。

γ_p : D_p の精度に関する安全係数で、1.0 とする。

D_p : コンクリートの拡散係数の予測値 (cm^2/y)

(解 説)

⑥鉄筋腐食発生限界濃度 C_{lim} は、本上部工が一般的な海洋環境にある港湾の施設で「港湾の施設の技術上の基準」(2007)に示すかぶりが確保されているとして 2.0 kg/m^3 とする。

⑦塩化物イオンによる性能照査では、設計供用期間を用いて評価する。

⑧塩化物イオンの経年推計では、式 (2) での (t) に1年から設計供用期間までの年次を用いて算定する。

5. 点検診断の内容と実施時期

5.1. 日常点検

日常点検では、日常の巡回で点検が可能な箇所について変状および劣化の有無や程度の把握を目的に行う。ここでは、主要部材としての上部工に対して以下の点について確認すると共に附帯設備に対する点検診断も実施する。また、点検方法は上部工の上面を対象として徒歩もしくは車両による目視調査が主体である。

<input type="checkbox"/> 当初の想定供用状態が守られているか。
<input type="checkbox"/> 特に重量の大きい車両の通行はないか。
<input type="checkbox"/> 船舶等からの過大な衝撃を受けた形跡、報告はないか。
<input type="checkbox"/> 栈橋の法線の変状、目地のズレはないか。
<input type="checkbox"/> 異常な音や振動は確認されないか。

5.2. 一般定期点検診断

1) 実施の基本原則

一般定期点検診断の基本原則は以下のとおりである

- ・点検診断のために簡易な機器を用いるものの目視により実施する。
- ・目視に際しては、点検者の安全が確保される範囲内において極力近接して実施する。
- ・点検診断の結果は以下の表に示す4段階のレベルで記録する。
- ・上部工の全ブロック下面の全ての部位（はり・床版）を対象にして実施する。
- ・上部工の下面については安全に十分に配慮して、下図に示すようにボート等の船上から実施する。
- ・点検診断の結果は、上部工の下面については上方に設定した視点から下面を透視している状況で、設定した座標系に基づき図面上への記載あるいは表形式により記録する。



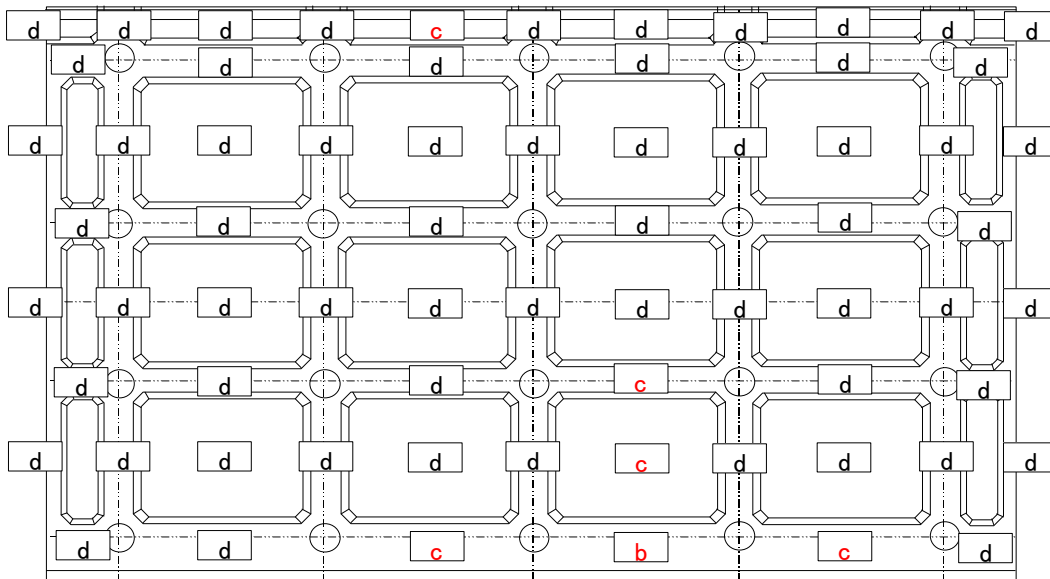
2) 点検診断項目および判断基準

点検項目		点検方法	判定基準	
上部工 (上面部・側面部)	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れ、剥離、損傷 ・鉄筋腐食 ・劣化の兆候 等	a	<input type="checkbox"/> 係船岸の性能を低下させるような損傷がある。
			b	<input type="checkbox"/> 幅 3mm 以上のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 広範囲にわたり鉄筋が露出している。
			c	<input type="checkbox"/> 幅 3mm 未満のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 局所的に鉄筋が露出している。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。
上部工 (下面部)	コンクリートの劣化、損傷 (RC)	目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数、長さや幅 ・かぶりの剥落状況 ・錆汁の発生状況 ・鉄筋の腐食状況	a	スラブ： <input type="checkbox"/> 網目状のひび割れが部材表面の 50%以上ある。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が広範囲に発生している。 はり・ハンチ： <input type="checkbox"/> 幅 3mm 以上の鉄筋軸方向のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が広範囲に発生している。

			b	スラブ： <input type="checkbox"/> 網目状のひび割れが部材表面の50%未満である。 <input type="checkbox"/> 錆汁が部分的に発生している。 はり・ハンチ： <input type="checkbox"/> 幅3mm未満の鉄筋軸方向のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が部分的に発生している。
			c	スラブ： <input type="checkbox"/> 一方向のひび割れもしくは帯状又は線状のゲル析出物がある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が点状に発生している。 はり・ハンチ： <input type="checkbox"/> 軸と直角な方向のひび割れのみがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が点状に発生している。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。
	コンクリートの劣化、 損傷 (PC)	目視 ・ひび割れの発生状況 ・錆汁の発生状況	a	<input type="checkbox"/> ひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁がある。
			b	----
			c	----
d			<input type="checkbox"/> 変状なし。	

3) 点検診断結果の記録方法

ここでは、図面上への記録を基本として、記録の方法を以下に示す



4) 点検診断結果の記録用紙

一般定期点検診断結果の記録用紙を参考資料に示す。

5. 3. 詳細定期点検診断

1) 実施の基本原則

詳細定期点検診断の基本原則は以下のとおりである

- ・劣化の進展状況を確認するために定量的な測定が可能な機器を用いる。なお、必要な精度を保有し、現場での作業性・安全性が高い機器を用いる。
- ・一般定期点検診断と比較して、全ての部位を対象として詳細定期点検診断を実施することは合理的

ではない。このため、前回までの点検診断結果をもとに詳細定期点検診断の対象箇所を事前に選定する。ただし、詳細定期点検診断の実施に先立ち全部位の見視点検を実施し、その結果に応じて対象箇所を追加する。

- ・詳細定期点検診断で実施する項目は、部位の特性や変状および劣化の状況を踏まえて以下の表を参照にして適切に選択する。
- ・点検診断の結果は、上部工の上面は上方に視点を設定した状況で記録し、上部工の下面についても上方に設定した視点から下面を透視している状況で記録する。
- ・点検診断の結果は、図面上への記載あるいは写真画像での記録を基本とする。
- ・具体的な点検診断方法は、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)を参考にする。
- ・上部工に対する劣化予測項目である塩化物イオンに関する点検診断は 5.4 に示す内容により、第1回目の詳細定期点検診断において必ず実施する。

2) 点検診断項目 (必要な項目を選択して実施する)

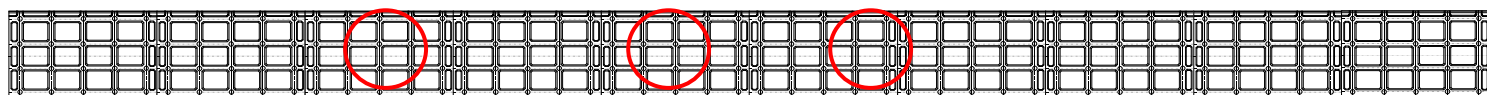
点検項目		点検方法	整理方法
栈橋上部工	コンクリートの劣化、損傷	詳細調査 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数、長さ、幅 ・かぶりの剥落状況 ・錆汁の発生状況 ・鉄筋の腐食状況	ひび割れ等の変状図として整理する。
	コンクリートの強度	コアによる圧縮強度試験 反発強度法	測定値を記録する。
	コンクリートのひび割れ深さ	超音波法 等	測定値を記録する。
	かぶりの厚さ	はつり試験 電磁波レーダ試験 等	かぶり厚さの実測値または推定値を記録する。
	鉄筋の腐食状況	自然電位測定	自然電位の測定値を記録し、等電位線図(コンタ図)等の形式で整理する。
	鉄筋の腐食速度	分極抵抗測定	分極抵抗の測定値を記録し、等値線図(コンタ図)等の形式で整理する。
	コンクリート中の塩分量	塩化物イオン含有量測定 (場合によっては、中性化深さ測定、化学分析等)	測定値を記録し、コンクリート表面からの深さ方向分布等の形式で整理する。

3) 実施箇所の選定

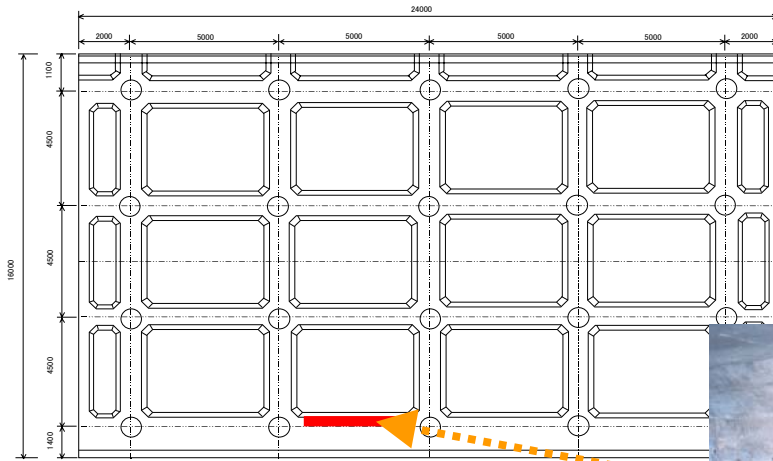
詳細定期点検診断は実施箇所・実施項目に応じて費用が増大するので、実施の前に以下の点を踏まえて十分に検討して不要・不急のものを除き真に必要な箇所・項目を選定する。

- ・前回までの点検診断結果の履歴の結果および直前での見視点検の結果を踏まえて、選定箇所を実施する。
- ・周辺に既存の直杭式横栈橋が存在する場合には、その上部工の変状および劣化状況を参考にする。

① 詳細定期点検診断の実施箇所の設定イメージを以下に示す

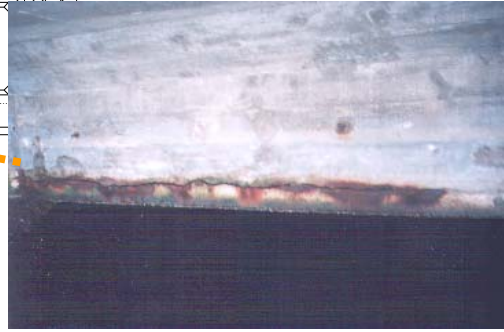


②点検診断結果の記録方法（写真での記録例）



【コンクリートの劣化, 損傷】	
ひび割れの発生方向	X軸方向
ひび割れの本数, 長さと幅	1本 長さ: 50cm 幅: 3mm
かぶりの剥落状況	なし
錆汁の発生状況	あり
鉄筋の腐食状況	あり

↓海側：上方から下面を透視している状況



○点検診断の内容

ここでは、予防保全の観点から変状および劣化を早期かつ合理的に発見するために点検診断の種類および内容を明記する。

上部工に対する点検診断の第1の目的は、塩化物イオンの浸入に起因する劣化および変状に限定せずに上部工におけるその他の変状および劣化の早期発見のためであり、そのために日常のおよび定期的に点検診断を実施する。

第2の目的は劣化予測の結果、設計供用期間中の鉄筋腐食の起因となる可能性の高い塩化物イオンの浸入状況の把握であり、その結果は当初の劣化予測の精査・維持管理計画の修正およびそれ以降の効果的な維持補修に寄与する。

具体的な内容は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)を基本として、対象施設の特性に対応させて明記する。

なお、全ての部位を対象として詳細定期点検診断を実施することは合理的ではないために、詳細定期点検診断の対象箇所を選定方法を明確にする。

5.4. 塩化物イオン量の浸入状況に関する点検診断

1) 調査方法

コンクリート中の塩化物イオン量は、コンクリート構造物から採取したコアやはつり取ったコンクリート片もしくはドリル削孔により得られるコンクリート粉末を用いて、コンクリート中の塩化物イオン量を測定する。

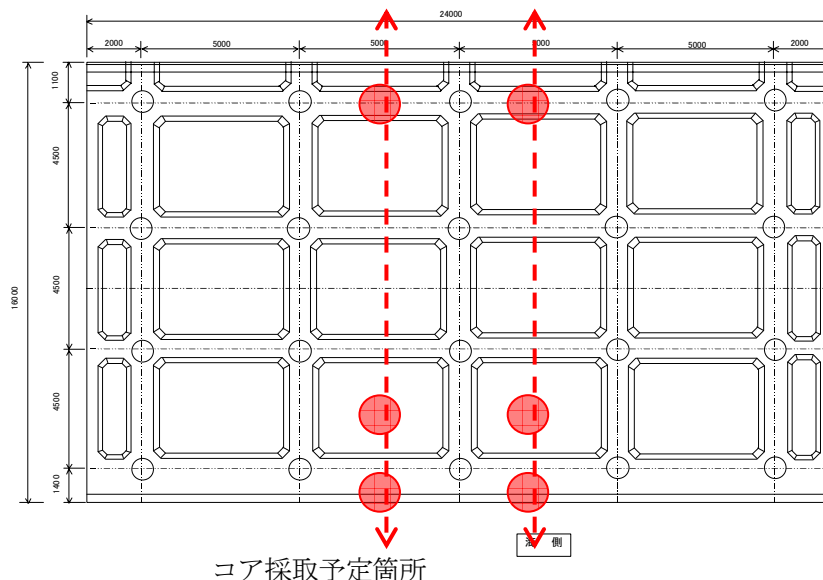
具体的なコンクリート中の塩化物イオン量の調査には、「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法（案）」（JSCE-G 573-2003）に準拠する。

塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、コンクリート中の塩化物イオン濃度分布より、港湾構造物の維持管理技術マニュアル「5.3.2 塩害が生じたコンクリート構造物の劣化予測」の方法を用いて塩化物イオンの見掛けの拡散係数を算出する。これについては、「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法（案）」（JSCE-G 573-2003）に準拠する。

2) コア採取箇所および実施時期

塩化物イオン量を測定するためのコア採取は、以下の方法により実施する。

- ①最も築造年次の古いブロックを対象とする
- ②中央に近い列（Y軸方向）を対象として、最も海側のはり、最も海側の床版、最も陸側のはりの3カ所を対象として、1カ所について各3本、合計9本のコアを採取する。例えば、第1ブロックが最も築造年次が古かった場合には、1B31 - 1S31 - 1B37 あるいは 1B41 - 1S41 - 1S47 が対象になる。
なお、ここで示す調査箇所は当初段階で設定した原則であり、実際には全ブロックを一通り目視をして、劣化の進行が顕著なブロックあるいは部位が確認される場合には、採取場所および採取箇所数については適宜判断することが必要である。また、採取されたデータの解析方法についても適宜判断することが必要である。
- ③コア採取による塩化物イオン量測定は定期点検診断の詳細定期点検として1回目に必ず実施する。第2回目以降の詳細定期点検での実施については、状況を踏まえて適宜判断する。



5.5. 詳細臨時点検診断

日常点検，一般定期点検診断の結果から，必要と判断される場合には詳細臨時点検診断を行う。なお，実施に際しては必要に応じて専門家の助言を得るものとする。

○塩化物イオン量の浸入状況に関する点検診断

1. 調査方法

具体的な内容は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)の以下の内容を基本として、対象施設の特性に対応させて明記する。

コンクリート中の塩化物イオン量は、コンクリート構造物から採取したコアやはつり取ったコンクリート片もしくはドリル削孔により得られるコンクリート粉末を用いて、コンクリート中の塩化物イオン量を測定する。

具体的なコンクリート中の塩化物イオン量の調査には、「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)」(JSCE-G 573-2003)に準拠する。なお、全塩化物イオンとは、硬化コンクリートの細孔溶液中にある塩化物イオン、塩として固定されている塩素および吸着されている塩素の全てを意味して、硝酸によって抽出される塩化物イオンのことである。

塩化物イオンの見掛けの拡散係数とは、塩化物イオンがコンクリート内の細孔溶液中で固定化を伴いながら濃度勾配を駆動力として移動すると見なしたとき、コンクリート内のすべての塩化物イオンを対象として拡散の速さを規定する係数である。コンクリート中の塩化物イオン濃度分布より、港湾構造物の維持管理技術マニュアル「5.3.2 塩害が生じたコンクリート構造物の劣化予測」の方法を用いて塩化物イオンの見掛けの拡散係数を算出する。これについては、「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)」(JSCE-G 573-2003)に準拠する。

また、コンクリート中の塩化物イオンの拡散係数を推定する手法としては、電気泳動試験が用いることもある。電気泳動試験では、電位勾配を塩化物イオンの移動の駆動力としてコンクリート中の塩化物イオンの細孔溶液中における移動のし易さを測定するものである。この移動のし易さを表す係数は実効拡散係数である。実効拡散係数は、塩化物イオンの固定化現象なども包含したコンクリート中すべての塩化物イオンを対象とした見掛けの拡散係数とは異なる。このため、電気泳動試験により推定した実効拡散係数の見掛けの拡散係数への換算方法については、「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法(案)」(JSCE-G 571-2003)および「電気泳動による実効拡散係数を用いた見かけの拡散係数計算方法」(JSCE-G 571-2003 付属書)を参照する。

2. コア採取箇所および実施時期

塩化物イオン量を測定するためのコア採取は、以下の方法により実施することを基本とする。

- ①最も築造年次の古いブロックを対象とする
- ②中央に近い列(Y軸方向)を対象として、最も海側のはり、最も海側の床版、最も陸側のはりの3カ所を対象として、1カ所について各3本、合計9本のコアを採取する。
- ③コア採取による塩化物イオン量測定は定期点検診断の詳細定期点検診断として1回目に必ず実施する。第2回目以降の詳細定期点検診断での実施については、状況を踏まえて適宜判断する。

5.6. 定期点検診断の実施予定時期

鉄筋腐食発生限界濃度に達すると推計された19年目の中間にあたる10年目に第1回目の詳細定期点検診断の時期を予定する。これを踏まえて、4年目、7年目に一般定期点検診断の実施を予定する。また、初回点検診断を供用直前に実施する。

ここでの一般定期点検診断および詳細定期点検診断は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)よりも充実した実施内容としていることから、その実施の間隔を長く設定している。

年度	経過年	初回点検	一般点検診断	詳細点検診断
2006	0	●		
2007	1			
2008	2			
2009	3			
2010	4		○	
2011	5			
2012	6			
2013	7		○	
2014	8			
2015	9			
2016	10		▽	◎

○定期点検診断の実施予定時期

第1回目に実施する定期点検診断の実施時期の設定は非常に重要である。新設の場合には、一般的には初期の状況では変状および劣化は見られないことから、早すぎる実施は効果的ではない。一方で、万が一に急激な劣化が進展している場合には、遅すぎる実施では手遅れになってしまう。

このために、主要部材ごとに劣化予測結果に加えてこれまでに得られている経験・知見を踏まえて第1回目の一次および詳細定期点検診断の実施時期を特に考慮する。

定期点検診断の実施時期については、先ずこの上部工の劣化予測項目とした塩化物イオンの浸入状況を確認するために重要な第1回目の詳細定期点検診断の時期を決定し、それをもとに一般定期点検診断の実施時期を設定する。

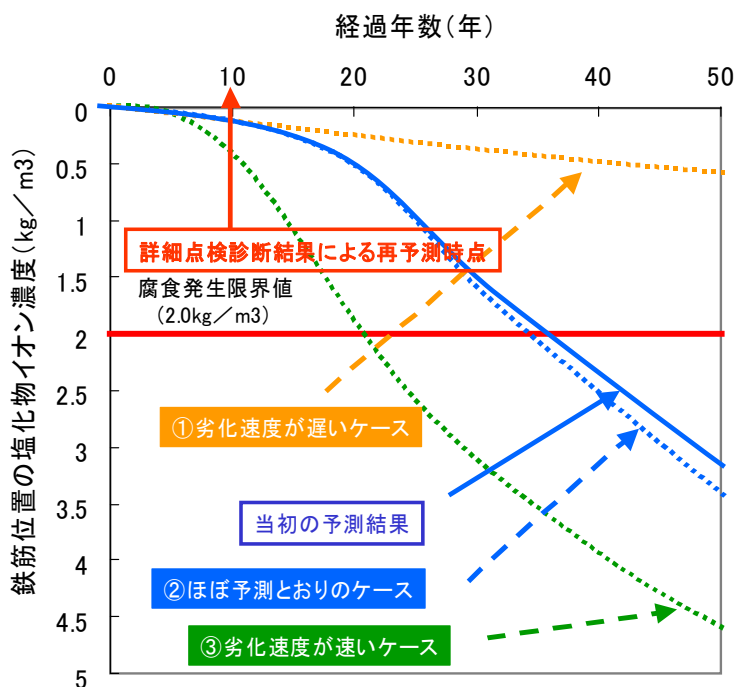
したがって、鉄筋腐食発生限界濃度に達すると推計された年次の中間にあたる年次に第1回目の詳細定期点検診断の時期とすることを基本とする。これを踏まえて、一般定期点検診断の実施を予定する。

また、初回点検診断を供用直前に実施する。

6. 点検診断結果の評価

6.1. 塩化物イオン侵入に対する評価

詳細定期点検診断における結果塩化物イオン侵入に対する評価結果から、対象とする部位の将来予測と当初に実施した予測結果と比較する。この結果は、下図に示すように当初予測の劣化速度よりも、①遅いケース、②同程度のケース、③早いケースの3種類になることが想定される。



6.2. 上部工下面に対する評価

一般定期点検診断および詳細定期点検診断において得られた上部工下面の4段階に劣化度判定結果をもとに、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に示されているマルコフ連鎖モデルを用いて将来の上部工下面の将来状況として4段階の劣化度の比率を推計することができる。

なお、ここでは部位の判定結果の大半が(d)判定の場合、すなわち変状および劣化の進展がほとんどみられない場合には精度が低いので実施しない。

○点検診断結果の評価

日常点検および初回点検診断において、万が一に異状が確認された場合には、必要に応じて詳細臨時点検診断を実施することで健全度の評価、さらに評価結果に応じて維持補修計画を作成する。

また、第1回定期点検診断以降では、回数を経るごとに異状に発展することが想定される初期症状のみならず異状な事態が確認される可能性が高くなる。この場合には、即時に一般臨時点検診断あるいは詳細臨時点検診断、健全度評価を「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に準じて実施することが必要である。

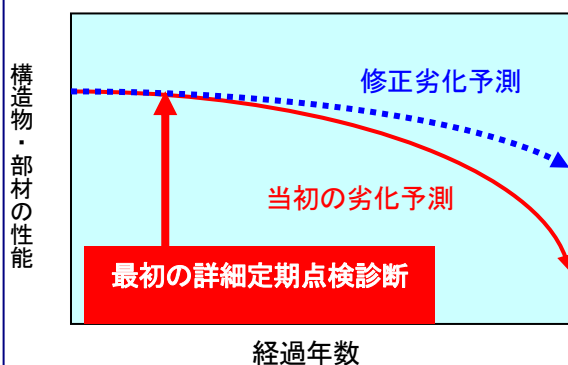
○塩化物イオン浸入に対する評価

栈橋上部工では、第1回目の詳細定期点検診断結果に基づく塩化物イオンの浸入に対する評価が重要である。ここでは、塩化物イオン浸入に対する当初の劣化予測に対して、測定値に基づくより精度の高い現実的な劣化予測結果を比較して評価することを明記する。

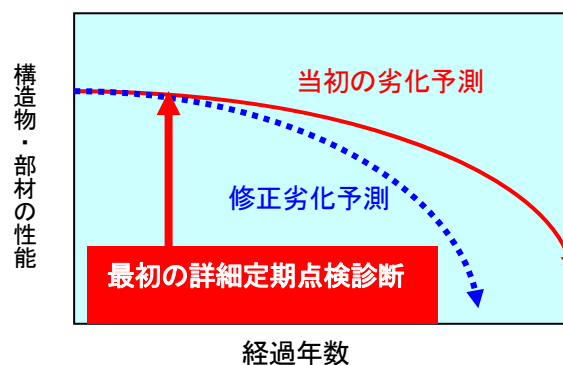
具体的には、当初の劣化予測と現実的な劣化予測との比較の結果で以下の3ケースが想定される。

- ケース①：当初の劣化予測とおりに
- ケース②：当初の予測より劣化の進展が遅い
- ケース③：当初の予測より劣化の進展が速い

これらの比較の結果に基づく具体的な対応策については 維持補修計画に明記する。



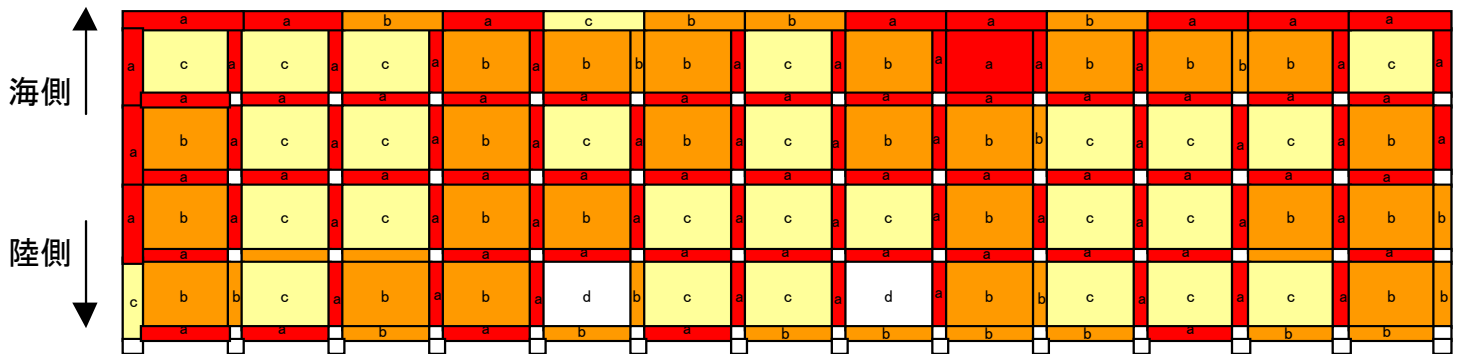
ケース②での劣化予測結果



ケース③での劣化予測結果

○上部工下面に対する評価

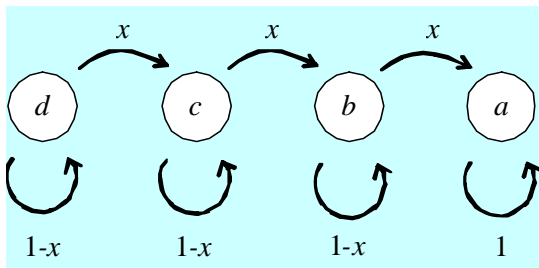
上部工の下面での一般定期点検診断の結果は、例えば下図に示すように劣化度がばらつくことが一般的である。このような場合での上部工全体での予測・評価には「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に示されるマルコフ連鎖による確率論的モデルを適用することができることを明記する。



上部工下面の劣化度の分布状況

マルコフ連鎖による確率論的モデルとは、「状態」と「推移」という2つの概念を用い、物事がある「状態」から、ある「推移確率」で「次の状態」へと移行する様子を確率論的に捉える統計手法である。ここで、対象構造物内での劣化度として、1次点検診断での判定結果 (a, b, c, d) を用いて下図のように劣化度の推移状況を表すことで、ばらつきを考慮した劣化度の予測が可能となる。すなわち、現時点からある一定期間が過ぎると、ある劣化度の部位はある遷移率 x で次の劣化度に移行し、移行しない残り $(1-x)$ は同じ劣化度の状態に留まる。これが全ての劣化度で同時に起こるが、劣化は最終段階の劣化度 (ここでは a) より先には進まず、最終的にはそこに留まる、というものである。本モデルではこの一連の流れを1ステップとし、一定期間が経過するごとにこのステップが繰り返され、劣化度が徐々に進行していくと仮定する。この劣化過程は式 (1) で表される。また、そのイメージを下図に示す。

$$\begin{pmatrix} d \\ c \\ b \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-x & 0 & 0 & 0 \\ x & 1-x & 0 & 0 \\ 0 & x & 1-x & 0 \\ 0 & 0 & x & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$



一般定期点検診断結果 abcd のマルコフ連鎖推移図

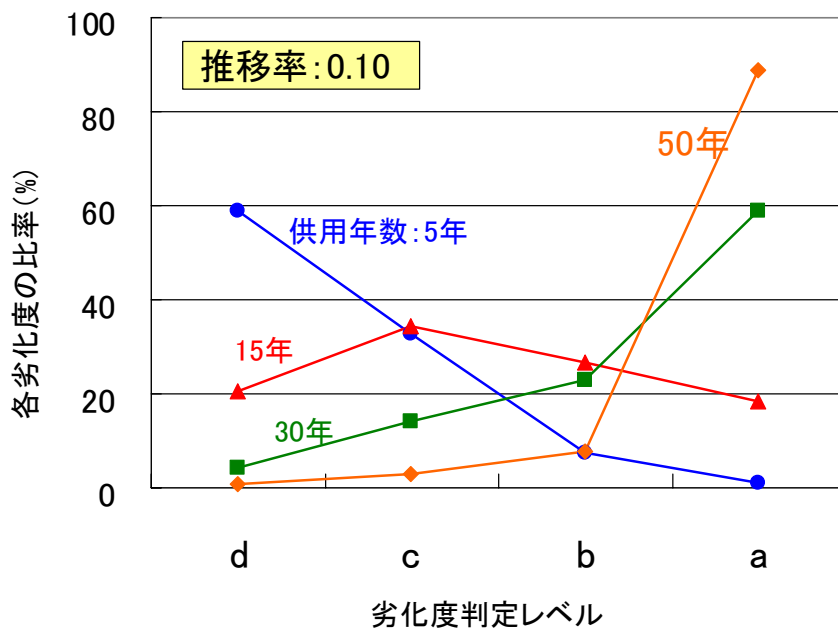
(解 説)

ここで、 x は遷移率、 t は供用年数である。なお、遷移率 x は劣化速度を表す指標と考えられ、計算を行う際は一定値とみなす。なお、この分析はエクセル等の表計算ソフトで容易に実施できる。

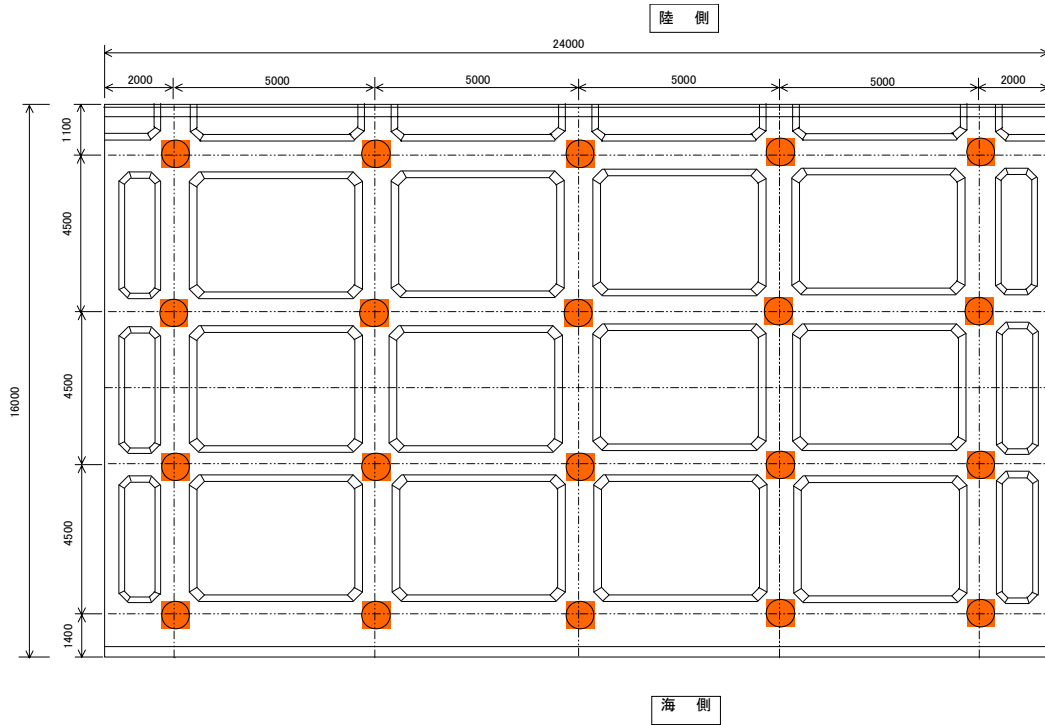
この手法は、独法港空研において栈橋上部工に関して分析が実施され、実際の結果と予測結果は比較的良く一致していることが確認されている。特に、一般定期点検診断において (a, b, c, d) の定性的な4段階による劣化度判定が適用できることから非常に有効である。

ただし、年数があまり経過していない場合で劣化が顕在化しておらず、劣化度の低い結果が多数を占めている場合には精度が劣るので、実際の適用には十分に注意することが必要である。

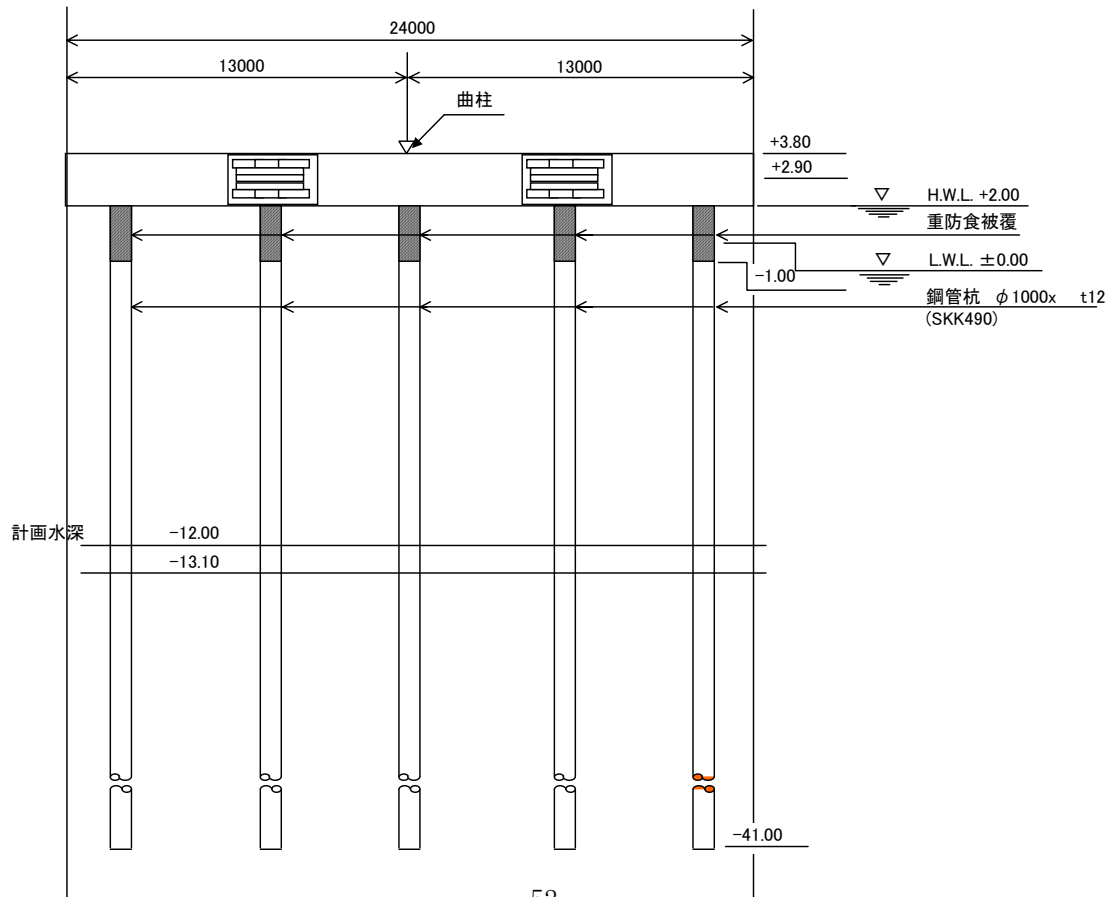
一次点検診断および二次点検診断において得られた上部工下面の4段階に劣化度判定結果をもとに、マルコフ連鎖モデルを用いて将来の上部工下面の将来状況として4段階の劣化度の比率の推計結果の表示例を示す。



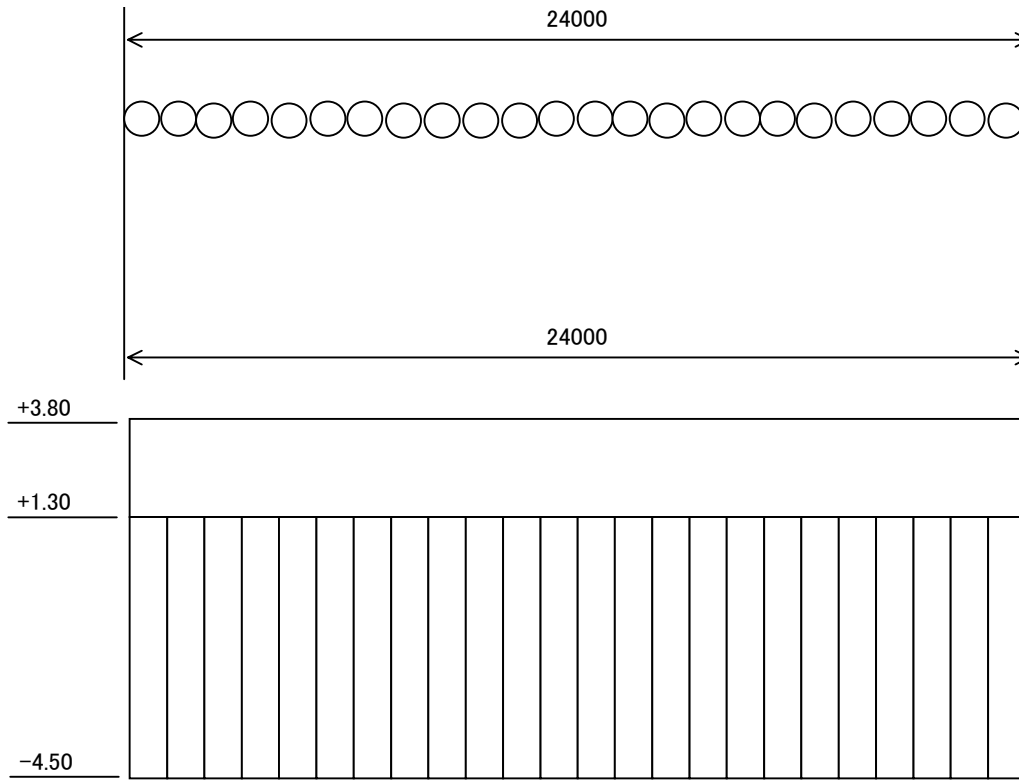
II-4 下部工および土留護岸
 1. 施設形状および座標系の設定
 1.1. 施設形状 (単位ブロック)
 ① 平面図 (下部工)



② 立面図 (下部工)



③平面図・立面図（土留護岸）



1.2. 座標系の設定

座標系については、下部工の上方に視点を設定し、海側を手前にするを基本とする。そこで左下点を基点として座標系を設定する。

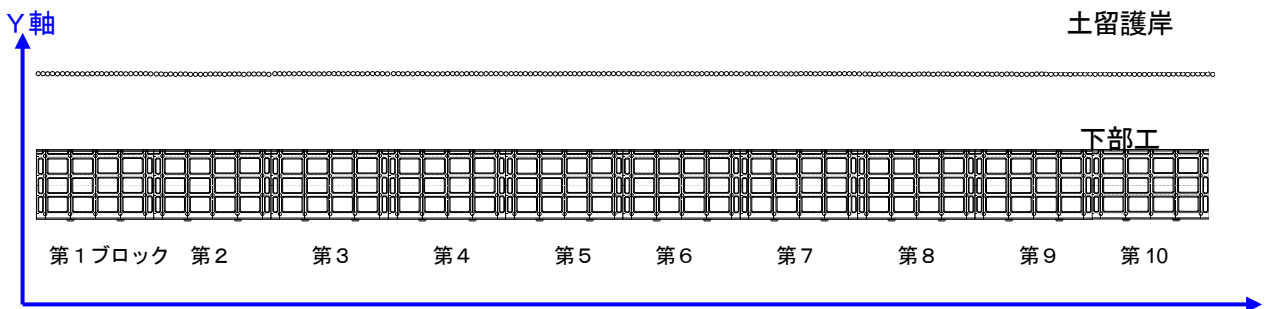
座標系は次のように3個の数字および記号の連番で設定する。

(ブロック No. - 部材の種類 - X軸方向座標 + Y軸方向座標)

これにより、例えば 1 P 3 4 は

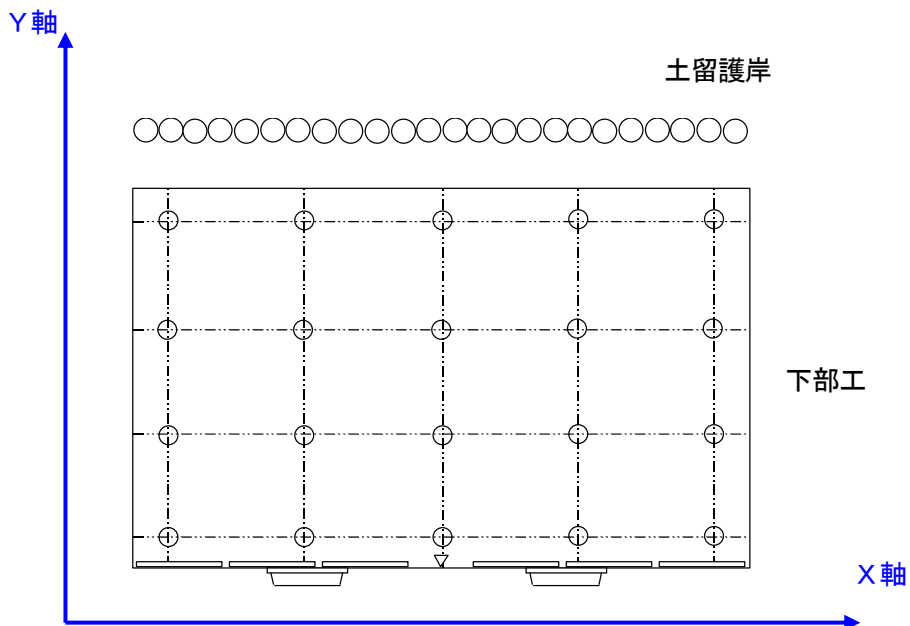
- ・海側から見て左から1番目の第1ブロックの
 - ・P：鋼管杭-Pileで
 - ・海側を手前にして左から3番目、前から4番目の位置を指定する
- なお、土留護岸の場合には、R-Retaining Wall を用いる

①全体ブロックでの座標系



X軸

②単位ブロックでの座標系

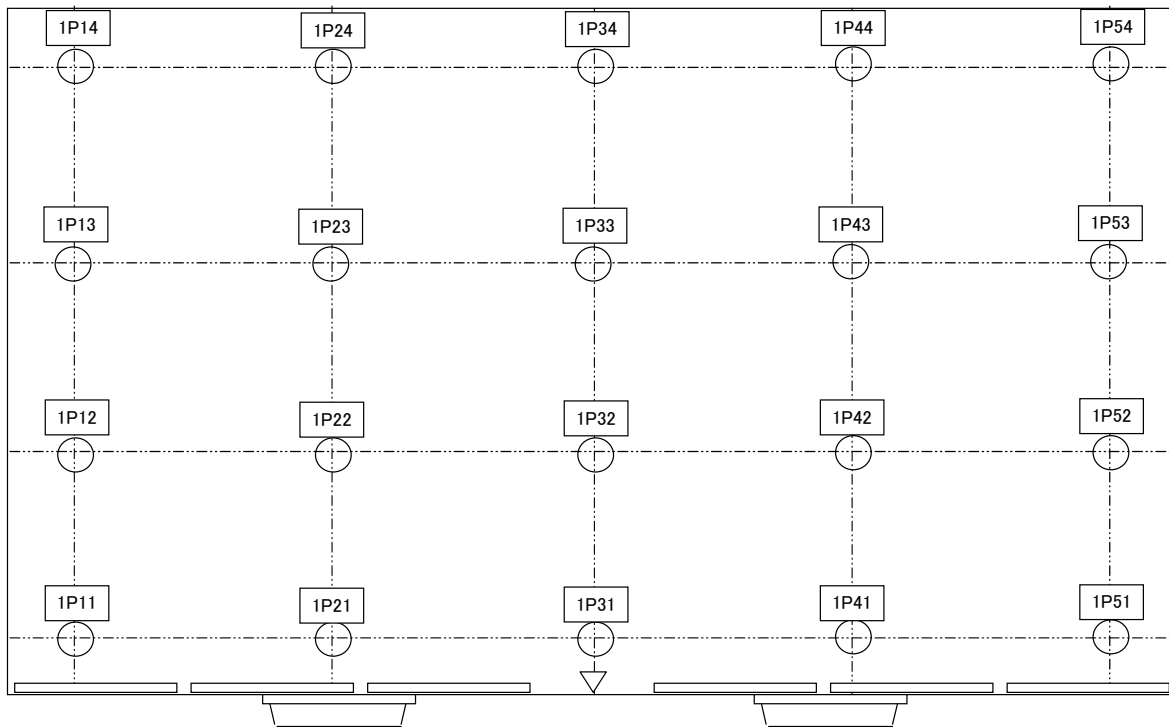


③具体的な座標系

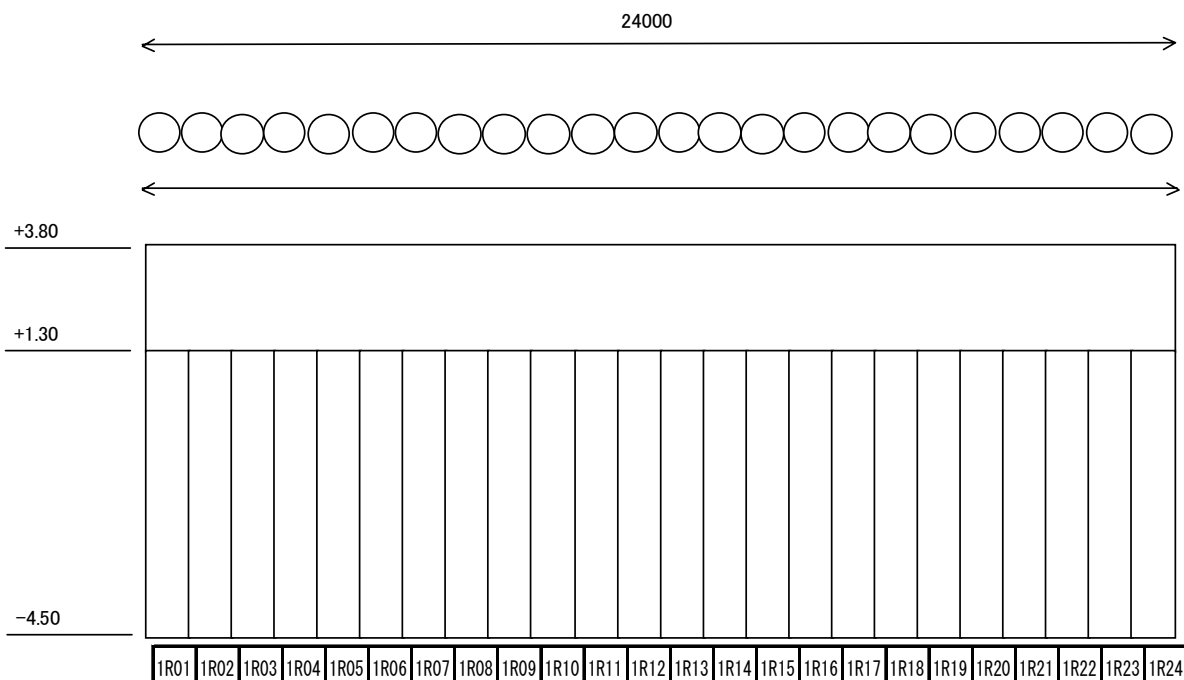
ここで設定した座標系に基づいて第1ブロックの上部工の各部位に指定した座標を以下に示す。

③-1 下部工 に対する座標系 (第1ブロック)

第1ブロック



③-2 土留護岸 に対する座標系 (第1ブロック)



○施設形状の確認および座標系の設定

設計図面等をもとに、維持管理の観点から主要部材の形状を明示する。また、現場での点検診断を計画する場合のみならず実際の点検診断を実施する場合の段取り等を検討するために各部材ごとの形状のみならず施設全体としての形状を十分に把握できる図面を明示する。

また、各部材およびそれぞれの部位の位置関係を明確にするために施設全体での統一の座標系設定および部位を指定する番号化を実施する。

特に、座標系に関しては全国統一的に以下に示す設定を基本とする。なお、将来的な混乱を回避するために計画書にも明記する。

- ・座標系の設定については、部材の上方に視点を設定し、海側を手前にすることを基本とする。そこで左-下点を基点としてX軸およびY軸を設定する。

- ・各部位に対する座標は次のように3個の数字および記号の連番で設定する。

(ブロック番号-部材の種別-X軸方向座標+Y方向座標)

これにより、例えば 1 B 3 4 は

- ・海側から見て左から1番目の第1ブロックの

- ・B：はり-Beam で

- ・海側を手前にして左から3番目、手前から4番目の位置を指定する

なお、床版 S-Slab

鋼管杭・矢板 P-Pile

土留護岸 R-Retaining Wall

ケーソン C-Caisson

等を用いる。

なお、ここで設定した座標を実際に各部材にペンキ等でマーキングする場合には、その内容を明記する。

2. 初期状態の点検結果（初回点検）

建設直後の下部工および土留護岸については、竣工検査の結果において維持管理の観点から初期状態での問題点は、全く確認されなかった。

なお、特に以下の点を明記する。

- ①鋼管本体にへこみ、ひび割れ等の初期欠陥は確認されず、それに伴う補修は実施されていない。
- ②塗覆装に、すり傷、はがれ等は確認されず、それに伴う補修は実施されていない。
- ③電気防食の電極に、欠損はなく、鋼管本体には確実に接着されている。

また、それぞれの鋼管が陸上部にある場合および建設直後の状況について前面の海面上で撮影された下部工の写真を参考資料に示す。

○初期状態の点検（初回点検）

建設直後の初期段階では、言うまでもなく変状および劣化は全く生じていないことが前提である。このことを明記しておくとともに、将来の点検診断結果との比較を容易にするために主要部材ごとの初期状態を各種のデータ、写真等により参考資料に示す。

なお、この初期状態の点検データは一般的に竣工検査、示方配合報告書等から得られるが、維持管理の点から特に必要なデータ、例えば、コンクリートの水セメント比、初期欠陥の有無およびそれへの対処の結果についても明記する。

また、施設全体形状の評価、地震による変状を明確にするために部材の主要箇所座標を指定して測定した位置座標を明記する。

3. 劣化予測項目および劣化予測，点検診断における重要エリアの選定

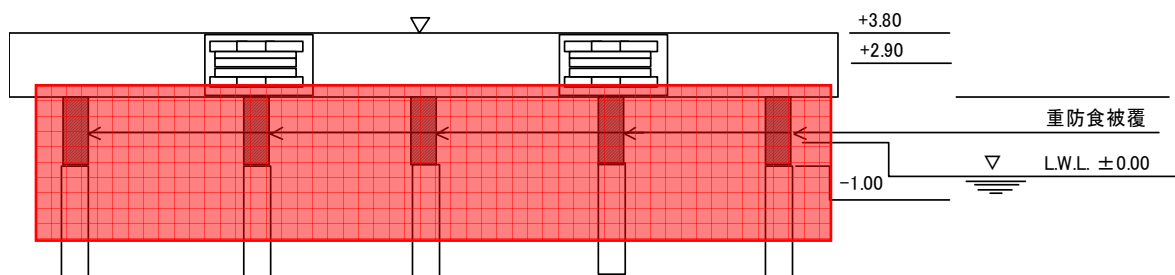
3.1. 劣化予測項目の選定

下部工および土留護岸の鋼管について，構造特性，設計供用期間，自然状況，想定される利用条件等，材料特性の結果を踏まえて，鋼管腐食を劣化予測項目とする。

3.2. 劣化予測，点検診断における重要エリアの選定

既存の下部工および土留護岸の鋼管の劣化状況および施設形状を踏まえて，以下の枠で示す鉛直方向での飛沫帯と干潮帯直下を重要エリアとして選定する。

なお，水平面に関しては重要エリアを設定せずに全面を対象とする。



○劣化予測項目の選定

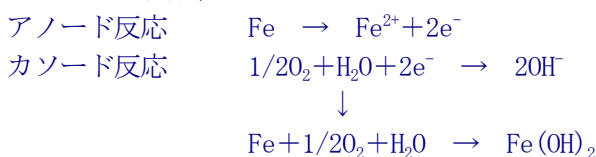
各主要部材における変状および劣化については、これまでの経験等からそれらが発生する機構について分析・研究が実施されている。この分析・研究成果をもとに、変状および劣化を判断するための劣化予測項目を選定する。

下部工の鋼管矢板では、基本的に腐食を劣化予測項目とすることができる。

1. 劣化予測項目としての腐食

鋼管は周辺環境と反応することにより腐食する。鋼管に対する腐食環境は多種多様であるが、港湾構造物が設置される環境のようなpHがほぼ中性とみなせる環境では、水と酸素が鋼管腐食に重要な役割を果たす。水や酸素が鋼に作用すると、その腐食は電気化学的反応により進行する。

この表面では、以下の式のように電子の授受によるアノードとカソードからなる無数の腐食電池が形成されている。この $\text{Fe}(\text{OH})_2$ が鋼表面に沈殿したのち、さらに酸化や脱水縮合を経て「錆：さび」と呼ばれる水和酸化鉄になる。



2. 海水側の腐食要因

腐食を発生させる海水側の一般的な要因としては、以下の項目が挙げられる。

①溶解成分

海水の腐食性は、主として塩化物などの塩類が多量に溶解していることに起因している。多量の塩類を溶解している海水は良好な電解質であり、鋼材の電気化学的腐食反応が起こりやすい環境である。

②溶存酸素

鋼材表面に供給される酸素量によって腐食速度が決定されることから、鋼材表面に供給される酸素量に影響を与える溶存酸素が多い場合には腐食速度を速める。

③流速

流速の増加は、鋼材表面から表面被覆が除去されて酸素供給量が増す傾向が大きくなることから腐食速度を速める。

④温度

温度の上昇は、鋼材表面への酸素拡散速度が増大することから腐食速度を速める。

⑤pH

pH 4 以下の低pH領域では腐食速度が増大するが、汚染海域を除いては一般の海域では腐食速度に影響を及ぼす変動はない。

3. 鋼材側の腐食要因

腐食を発生させる鋼材側の一般的な要因としては、以下の項目が挙げられる。

①鋼の化学成分

鋼材の耐海水性に対する合金元素の効果の程度は、環境の腐食区分や合金元素の組み合わせ方および添加量などによって変動し、その変動の程度は大気環境の場合よりも大きい。

②ミルスケール（鋼材表面の黒皮）

鋼材表面のミルスケールは幾らか保護作用を有しているが、海洋環境下では一般に半年から1年程度で消滅する。

③溶接

溶接部では、金属組織および化学成分が異なるためにマクロセルが形成されて、腐食速度が速くなる場合がある。

④形状

山形鋼や溝形鋼などの突出部を有する部位は、矢板に比較して集中腐食が発生する可能性が高い。

4. その他

海水、鋼材の影響要因以外に、繰り返し応力、異種金属との接触、海洋生物等の外的影響要因がある。

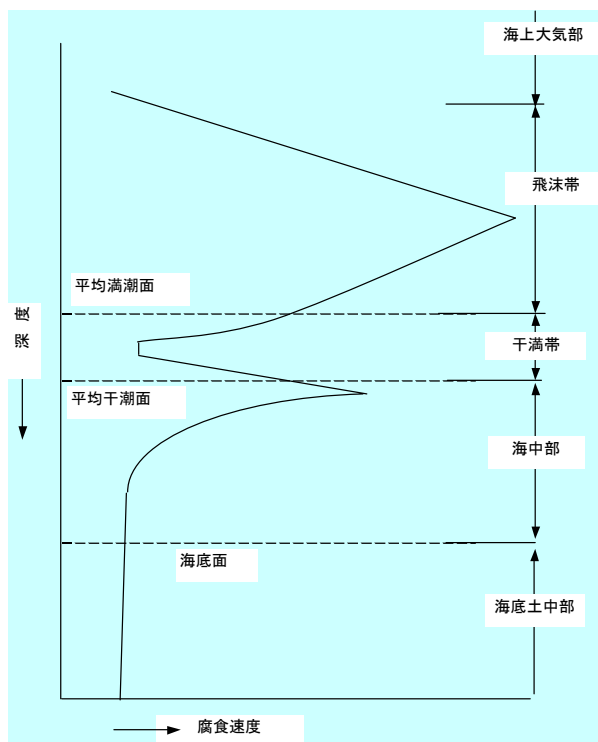
○劣化予測、点検診断における重要エリアの選定

1. 鉛直方向での検討

下部工の鋼管矢板に対する鉛直方向の腐食環境は、海上大気部、飛沫帯、干満帯、海中部、海底土中部、背面土中部の6ゾーンに区分される。これらの6ゾーンでの腐食環境の特性と腐食速度を以下に示す。

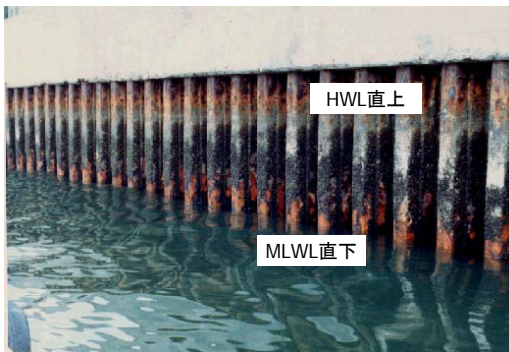
この結果、一般的に飛沫帯と干潮帯直下が特に腐食速度が速く、このゾーンで発生した顕著な腐食事例写真を示す。

環境	環境の特徴	腐食特性
海上大気部	風が微細な海塩粒子を運ぶ。	日陰で風雨が当たる部位は、あたらない部位よりも腐食速度が大きい
飛沫帯	鋼表面は、十分に酸素を含む薄い水膜で濡れている。生物付着はない。	腐食速度は、最も大きい。
干満帯	海水の潮汐により乾湿がくり返される。	塗膜の損傷部での腐食速度は大きい。
海中部	生物付着、流速などが腐食因子として作用する。	干満帯から海中部に連続している構造物での腐食速度は大きい。
海底土中部	硫酸塩還元バクテリアなどが存在することもある。	土壌環境に類似している。
背面土中部	残留水位より上では土壌環境と同じ 残留水位より下では海底土中部と同じ	土壌環境に類似 海底土中部に類似



(解説)

腐食環境		腐食速度 (mm/年)
海側	H. W. L. 以上	0.3
	H. W. L. ～L. W. L. -1m まで	0.1～0.3
	L. W. L. -1m～海底部まで	0.1～0.2
	海底土中部	0.03
陸側	陸上大気部	0.1
	土中 (残留水位以上)	0.03
	土中 (残留水位以下)	0.02



2. 鉛直方向以外の検討

鉛直方向以外にエリア選定に必要な要因として以下が挙げられる。

①波浪と潮流

波浪の影響の違いが鋼管の腐食を促進させる可能性がある。また、潮流の激しいところではエロージョン（鋼材の磨耗）腐食が発生する可能性がある。さらに、このような海域で海底部土砂の激しい動きによるサンドエロージョンも発生する可能性がある。

②水質環境の差異

淡水の流入等による鉛直・水平方向での水質環境の差異が鋼管の腐食を促進させる可能性がある。

③海水中の微生物の存在

汚染海域における硫酸塩還元細菌は腐食を促進させる。

④船舶のサイドスラスタ

定期的に着岸する船舶がサイドスラスタを有している場合には、サイドスラスタから海水が噴出されるエリアが特定されるために、そのエリア内の下部工でのエロージョンが促進される。

⑤電気防食の不連続性

連続している直杭式横棧橋の係留施設下部工に対する防食対策が腐食しる対策と電気防食対策等のように不連続に実施されている場合には、その境界部において腐食が進展する可能性が高い。

4. 劣化予測

4.1. 下部工および土留護岸に対する防食工

鋼管材に対する一般的な防食工法を踏まえて、本下部工および土留護岸では「港湾の施設の技術上の基準」(2007)付属書に基づき、平均干潮面以下1 mよりも上の部分については「塗覆装工法における塗装(無機ジンクリッチ+エポキシ樹脂塗料)」により、平均干潮面以下の部分については「電気防食」を適用する。

(解説)

○下部工の鋼管に対する防食工

鋼管材における劣化予測では、鋼管本体ではなく鋼管に実施される防食工法に対して実施する。なお、この下部工の鋼管に対しては、平均干潮面以下1mよりも上の部分には「塗覆装工法」を、平均干潮面以下の部分には「電気防食」を適用することが基本とされていることを踏まえて、実際に適用した防食工法を明記する。なお、一般的な防食工法を以下に示す。

○鋼管矢板に対する一般的な防食工法：「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)

鋼管矢板に対する一般的な防食工法は以下のように整理される。

①塗覆装工法

保護すべき鋼材を有機あるいは無機の皮膜で覆い、腐食環境から遮断することで防食する工法で、港湾鋼構造物に適用される工法は一般的に次の4種類である。これらの適用性、施工場所、工法選定の検討項目を以下に示す。

- ・塗装
- ・有機ライニング
- ・ペトロタラムライニング
- ・無機ライニング

主な塗覆装工法の適用性

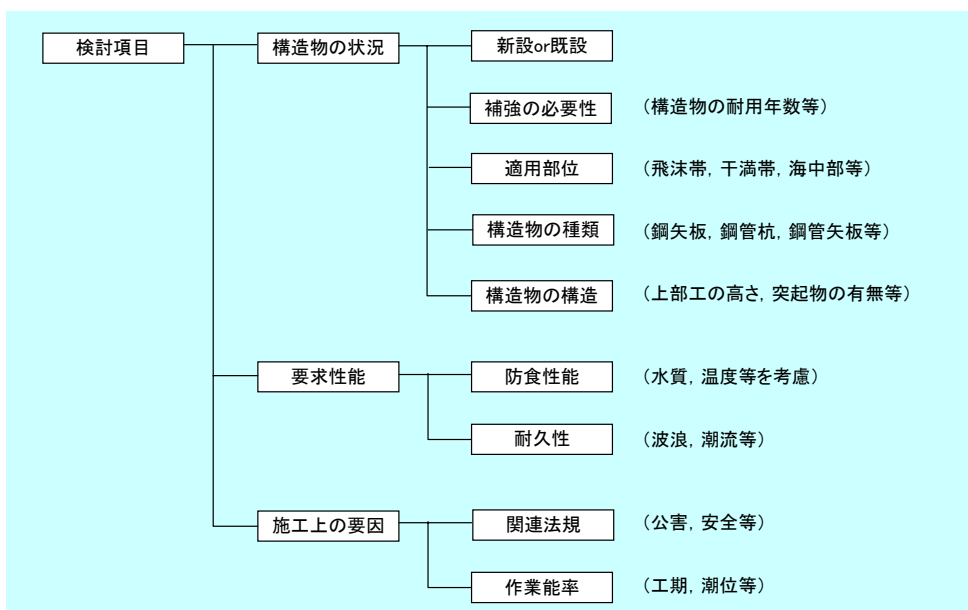
工法	条件	防食範囲					部材形状					耐用年数	イニシャルコスト	適用実績	備考	
		海上大気部	飛沫帯	干満帯	海中部	海底土中部	鋼管	鋼矢板	鋼管矢板	形鋼・鋼管	部材接合部					
塗装	無機ジンクリッチ	新設	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A~B	A	A	注2
	+エポキシ樹脂塗料	既〃	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	B	B	B~C	
	無機ジンクリッチ+	新設	△	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A~B	A	A	注2
	タールエポキシ樹脂塗料	既〃	△	○	-	-	-	○	○	○	○	○	B	B	B	
有機ライニング	ガラスフレーク入り塗料	新設	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A~B	A~B	B	
	既〃	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○	B	B	B~C	
	ポリエチレンライニング	新設	○	○	○	○	△	○	○	-	-	-	A	A	A	
	既〃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ペトロタムライニング	ウレタンエラストマーライニング	新設	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A	A	A	注3
	既〃	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○	B	B~C	C	
	超厚膜形ライニング	新設	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A	B	B	
	既〃	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○	B	B~C	C	
無機ライニング	水中施工形ライニング	新設	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	既〃	△	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	A~B	C	A	
クラッド鋼(チタン、ステンレス鋼)	ペトロタムライニング	新設	△	○	○	○	-	○	○	○	○	△	A	B~C	B	
	既〃	△	○	○	○	-	○	○	○	○	△	A	C	A		
	モルタルライニング(保護カバー方式)	新設	○	○	○	○	-	○	○	○	○	△	A	B~C	A	
	既〃	○	○	○	○	-	○	○	○	○	△	A	C	B		
	モルタルライニング(保護カバーなし)	新設	○	○	○	○	-	○	○	○	○	△	A~B	B	A~B	
	既〃	○	○	○	○	-	○	○	○	○	△	A~B	C	B		
耐食性金属巻(モネルメタル等)	クラッド鋼	新設	○	○	○	○	-	○	△	△	-	-	A	C	C	注3
	既〃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
耐食性金属巻(モネルメタル等)	耐食性金属巻	新設	○	○	○	○	-	○	△	△	-	-	A	C	B	
	既〃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

(適用性) (耐用年数) (イニシャルコスト) (実績)
 ○: 適する A: 15年程度以上 A: 安価 A: 多い
 △: 一般には用いない B: 10~15年程度 B: 中位 B: 中位
 -: 適用外 C: 10年程度以下 C: 高価 C: 少ない

注1: 干満帯はL. W. L-1mまでを含む
 注2: 耐用年数のA~Bは海上大気部A, 飛沫帯, 干満帯B
 注3: 15年の実績は無いが現在までの推移から耐用年数Aとした

施工場所の比較

防食工法	防食材料	施工方法	施工場所				
			工場	現地陸上 ヤード	打設後		
					海上部	海中部	
塗 装	厚膜型無機ジンクリッチペイント 厚膜型有機ジンクリッチペイント + { タールエポキシ樹脂 エポキシ樹脂	スプレー ローラー等	○	○	○	—	
	ガラスフレーク入り塗料	スプレー ローラー等	○	○	○	—	
	湿潤面用 エポキシ樹脂塗料 アクリル樹脂塗料	ハケ, ローラー, スプレー	△	○	○	—	
有機 ライニ ング	ポリエチレンライ ニング	ポリエチレン	○	—	—	—	
	ウレタンエラストマー ライニング	ポリウレタン樹脂系超厚膜形塗料	○	—	—	—	
	超厚膜形ライ ニング	ポリウレタン樹脂系超厚膜形塗料 エポキシ樹脂系超厚膜形塗料 アクリル樹脂系超厚膜形塗料	○	○	○	—	
	水中施工形ラ イニング	パテタイプ: 水中施工形エポキシ樹脂 ペイントタイプ: 水中施工形エポキシ樹 脂, アクリル樹脂	ローラー, ハケ, ヘラ, ハン ドワーク	△	○	○	○
	防食テープ	合成ゴム系 { ホリ塩化ビニルテープ 接着剤 { ホリエチレン系テープ	テープ巻き	—	△	○	—
	FRPライニング	不飽和ポリエステル樹脂+ガラス繊維 エポキシ樹脂+ガラスまたはカーボン繊維	ハンドワーク	○	○	○	—
	ゴムライニング	ポリウレタンゴム, クロプロレンゴムシート, ブチル ゴム	シート張付け +加硫押し出し	○	○	—	—
ペトロ ラムラ イニ ング	分離型	ペトロラムテープまたはシート +保護層	テープまたはシート張付け+ カバー取付け	—	○	○	○
	一体型	一体型防食材	一体型防食材取付け	—	○	○	○
無機 ライニ ング	モルタルライ ニング	セメントモルタル	型枠+モルタル打設	—	—	○	○
		セメントモルタル+保護カバー	保護カバー+モルタル打	—	—	○	○
	金属ライ ニング	犠牲鋼板, 耐海水鋼, 耐候性鋼 モネルメタル, チタン, ステンレス鋼	鋼板張り付け	○	○	○	—
		金属溶射 亜鉛 アルミニウム アルミニウム・亜鉛合金	溶射	○	○	○	—
		クラッド鋼	クラッド鋼張り付け	○	—	—	—
電着ライ ニング	炭酸カルシウム, 水酸化マグネシウム他	海水水中での電解	—	—	—	○	
備考	○: 施工可能 △: 施工可能であるが一般的に施工しない —: 施工不可能						



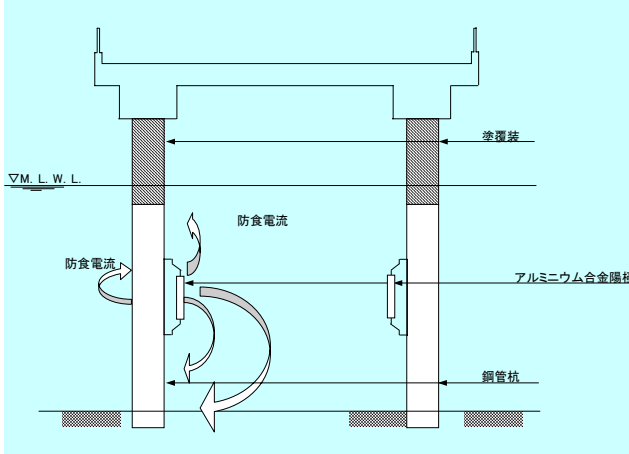
工法選定の検討項目

(解説)

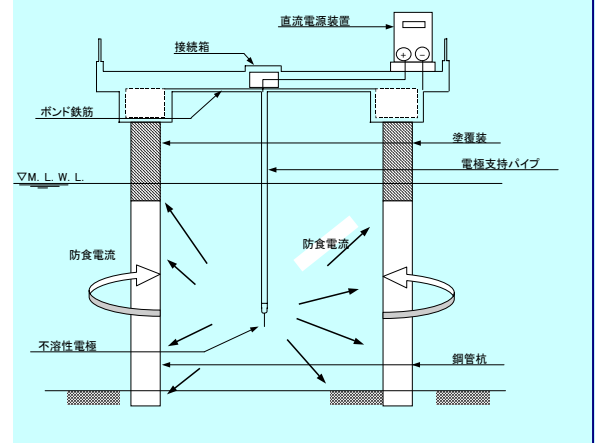
②電気防食

腐食環境中に設置された電極から防食すべき鋼管に直流電流を通電することによって、金属を腐食しない電位にまで変化させて防食する工法で、次の2工法がある。

- ・流電陽極方式：防食される鋼管よりも卑な（低い）電位をもつ溶解（腐食）しやすい金属を取り付ける方法
- ・外部電力方式：不溶性（難溶性）電極を設置して直流電圧を印加する方法

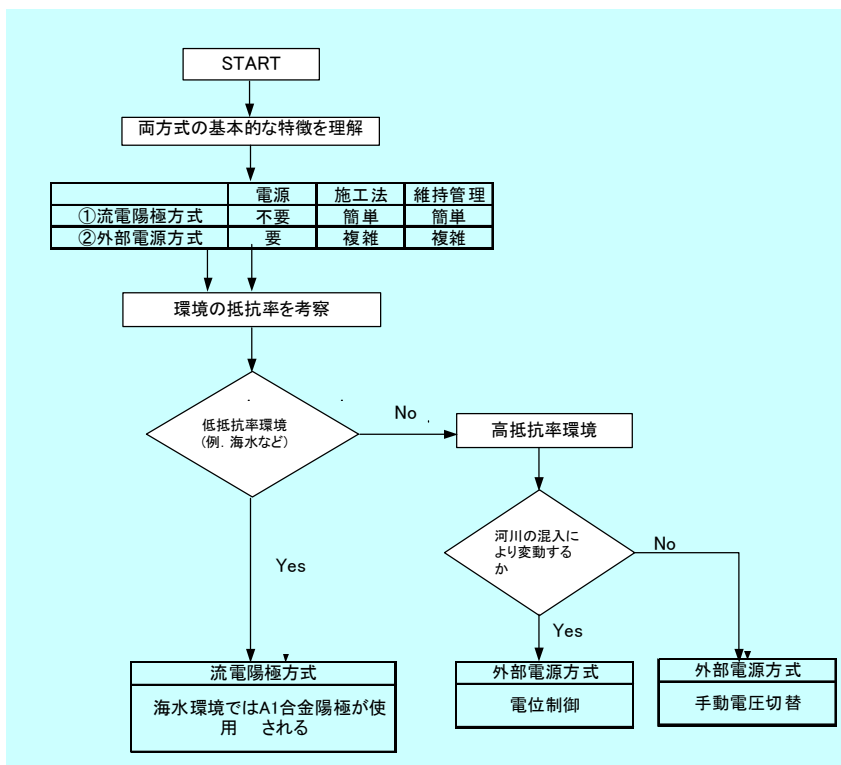


流電陽極方式



外部電力方式

方式	特徴
流電陽極方式	1) メンテナンスが容易である。 2) 長期的な防食に適している。 3) 施工が容易である。 4) 陽極寿命を自由に設定できる。 5) 小規模、独立した設備にも適用できる。 6) 交流電源のない場所でも適用できる。
外部電源方式	1) 出力電圧を自由に調節できる。 2) 高流速下、河川水混入下など、変化の激しい特殊な環境にも対応できる。



③耐食材料

被覆ではなく耐食材料自体を構造物として使用する工法ではあるが、コストが高くなったり強度の低い材料の場合には厚肉になることから、港湾鋼構造物には適用されることは少ない。

④腐食しろ

均一腐食が起これると考えられる構造物に対して構造設計時点に腐食を配慮した厚みを加算する工法であるが、港湾構造物に対しては仮設構造物を除いては認められていない。

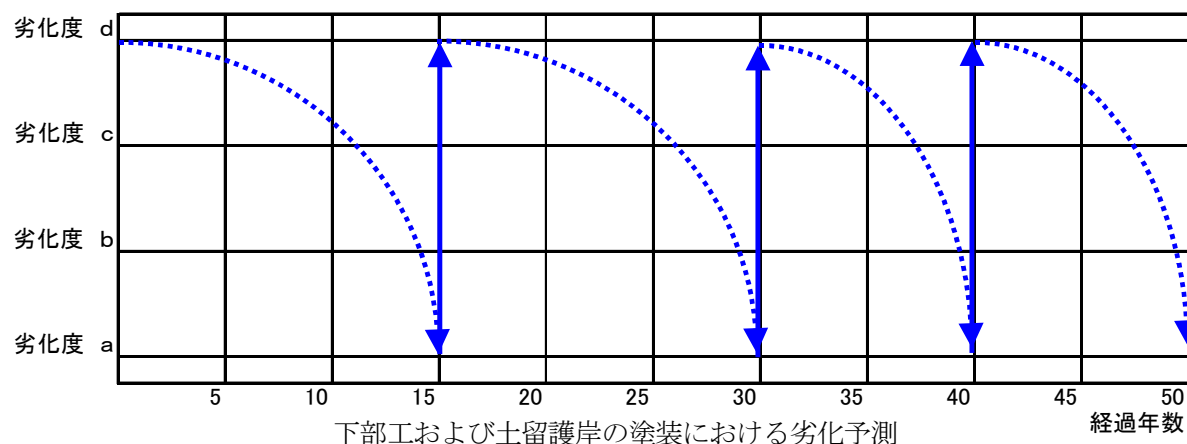
⑤超長期防食工法

通常の構造物には上記の方法の中から選択されるが、本州四国連絡橋、関西国際空港連絡橋、東京湾横断道路等の大型プロジェクトに対しては、耐用期間が100年以上を目指す超長期防食工法が適用されている。

4.2. 塗装に対する劣化予測

塗装の劣化は塗覆のふくれ，割れ，はがれ等として確認されることから，劣化予測項目としては目視に基づいた定性的な4段階（劣化度d～劣化度a）の指標を設定する．耐用年数は劣化度aに達する時期として，新規および最初の塗替えでは15年間，それ以降の塗替えには10年間を設定する．また，この耐用年数において定性的に設定した劣化予測項目は指数的に減少すると仮定する．

したがって，これらに基づき劣化度aに達した時点で全面的塗替えを前提とした場合の設計供用期間中における劣化予測は次のように示される．



ここで，塗装における各劣化度判定の目安を以下のように設定する．なお，具体的な実施に際しては「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）に示されている ASTM-D610 に基づく欠陥面積率の判定法を参考にすることができる．

劣化度	塗装の概観
a	<ul style="list-style-type: none"> ・ 広範囲にさび，ふくれを確認 ・ さびをとまなうはがれ，ひび割れが広範囲に発生
b	<ul style="list-style-type: none"> ・ かなりおおきなさび，ふくれが点在 ・ さびをとまなうはがれが広範囲に発生
c	<ul style="list-style-type: none"> ・ さび，ふくれが点在 ・ 上塗り塗料のはがれ，ひび割れが点在
d	<ul style="list-style-type: none"> ・ 初期状態とほとんど変化ない健全な状態

○塗装に対する劣化予測

防食工法として適用した塗装に対する劣化予測を明記する。

ここで、塗装は永久的なものではなく、適当な間隔で塗替えを行うことを前提とした防食工法である。塗り替えは適切な時期を選択し、塗膜の劣化状態に応じて全面塗替えまたは部分補修を行うことが必要とされている。特に、腐食や塗膜の劣化が著しくなるまで放置せず、比較的早い時期に塗り替えることが効果的であるとされている。（「港湾の施設の技術上の基準」(2007)付属書）

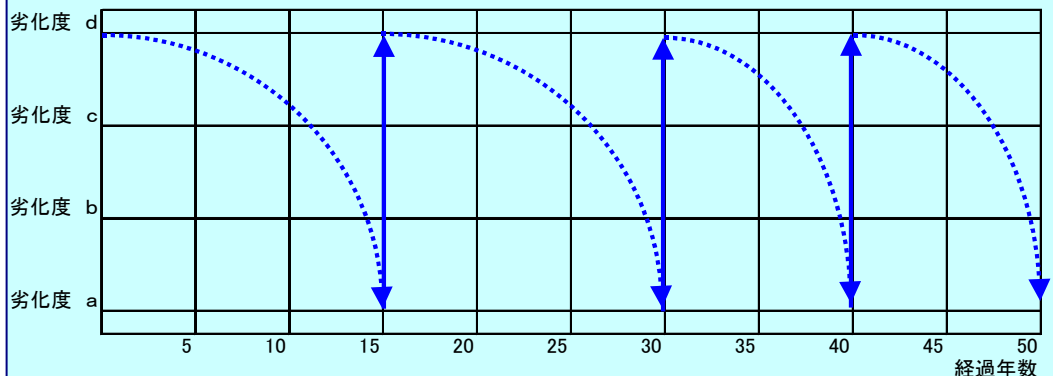
したがって、塗装に対する劣化予測をするためには以下の2点を明確にすることが必要である

- ①劣化予測項目
- ②耐用年数

しかしながら、現状ではこれらは明確に示されていないが「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に基づき以下のように設定することができる。

塗装の劣化が塗覆のふくれ、割れ、はがれ等として確認されることから、劣化予測指標は目視に基づいた定性的な4段階（劣化度d～劣化度a）の指標を設定する。耐用年数は劣化度aに達する時点として、新規および最初の塗り替えには15年間を、それ以降の塗り替えに対しては10年間を設定する。また、この耐用年数において定性的に設定した劣化予測指標は指数的に減少すると仮定する。

したがって、これらに基づき劣化度aに達した時点で全面の塗り替えを前提とした場合の設計供用期間中における劣化予測は次のように示される。



下部工の塗装における劣化予測

ここで、塗装における各劣化度判定の目安を以下のように設定する。なお、具体的な実施に際しては「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に示されている ASTM-D610 に基づく欠陥面積率の判定法を参考にすることができる。

劣化度	塗装の概観
a	<ul style="list-style-type: none"> ・ 広範囲にさび、ふくれを確認 ・ さびをとまうはがれ、ひび割れが広範囲に発生
b	<ul style="list-style-type: none"> ・ かなりおおきなさび、ふくれが点在 ・ さびをとまうはがれが広範囲に発生
c	<ul style="list-style-type: none"> ・ さび、ふくれが点在 ・ 上塗り塗料のはがれ、ひび割れが点在
d	<ul style="list-style-type: none"> ・ 初期状態とほとんど変化ない健全な状態

4.3. 電気防食に対する劣化予測

4.3.1. 電気防食の設計

下部工および土留護岸の電気防食については以下のように設計した。

1) 設計条件

①適用範囲

- ・下部工（鋼管杭）： 重防食下端（-1.00m）以下の海水中、石積部および海土中に露出する鋼管杭の外表面を防食適用範囲とする。
- ・土留護岸（鋼管矢板）： 塗覆装防食下端（-1.00m）以下の海水中、石積部および海土中に露出する鋼管矢板の外表面を防食適用範囲とする。

②防食方式： 電気防食用アルミニウム合金陽極を使用した流電陽極方式

③防食管理電位： 防食対象物の電位を海水塩化銀電極基準で-800mV

④計画防食期間： 50年

⑤防食電流密度

海水中 : 0.130 A/m²

石積部 : 0.065 A/m²

海土中 : 0.030 A/m²

⑥海水抵抗率： 35Ω・cm

⑦ボンド： 各ブロックの防食対象鋼材相互間は、電氣的に一体構造になっているものとする。

⑧ロス電流

- ・下部工（鋼管杭）： 防食対象と隣接する他鋼構造物とは電氣的導通がないものとして、ロス電流は見込まないものとする。
- ・土留護岸（鋼管矢板）： 防食対象と法線に連続して延長される他鋼構造物は第1ブロック側は電気防食が施工されており、また第10ブロック側は今後電気防食が施工されるものとしてロス電流は見込まないものとする。

⑨陽極仕様

：最大発生電流	3.5A（下部工）	3.0A（土留護岸）
：材質	アルミニウム合金	
：耐用年数	30年	

2) 陽極選定

①下部工（鋼管杭）

単一ブロックあたりの下部工鋼管杭の防食面積をもとに、標準陽極のうち最大発生電流である3.5A陽極を用いて必要個数を算定すると最低37個の設置が必要になる。また、鋼管杭の陽極配置に関して、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）では、各杭に1個以上配置すると記述されている。

したがって、単一ブロックの鋼管杭合計17本に対して1本あたり2個の陽極、3本に対しては1本あたり1個の陽極合計37個を設置することとする。

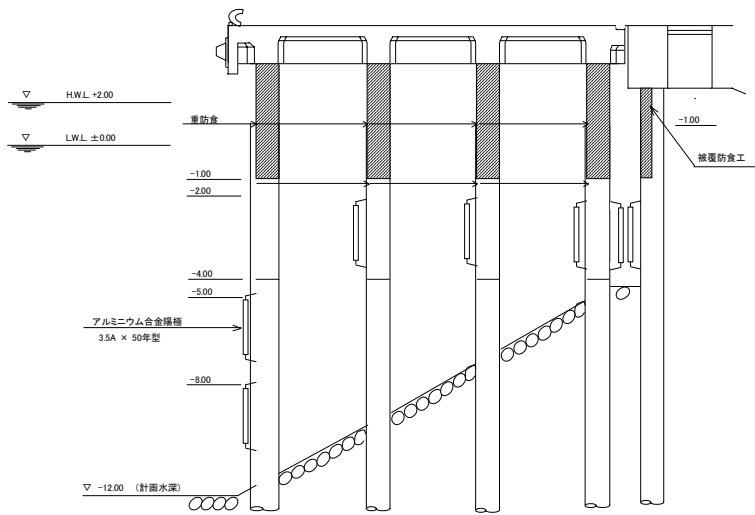
②土留護岸（鋼管矢板）

単一ブロックあたりの土留護岸鋼管矢板の防食面積をもとに、標準陽極のうち最大発生電流である3.0A陽極を用いて必要個数を算定すると最低20個の設置が必要になる。また、鋼管矢板の陽極配置に関して、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）では、矢板2～8枚ごとに千鳥状に配置すると記述されている。

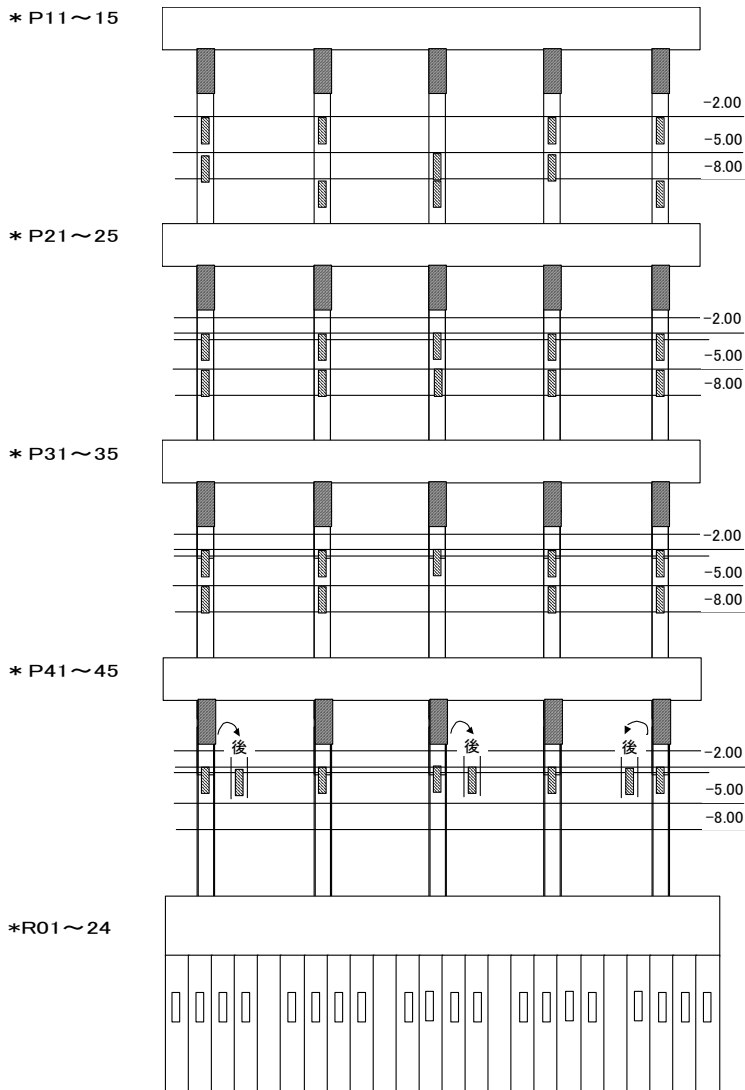
したがって、鋼管矢板5本あたり4個の陽極を設置することとし、単一ブロック24本の鋼管矢板に対して合計20個の陽極を設置することとした。

3) 陽極の配置

陽極は、鋼管杭1本あたり2個の陽極を杭の海側に設置することとし、その配置は有効な効果が期待できるように次のように空間的に配置する。なお、各ブロックの3列目の断面図および単一のブロックの立面図を示すとともに全体の配置図および3次元のCG画像を参考資料に示す。



断面図

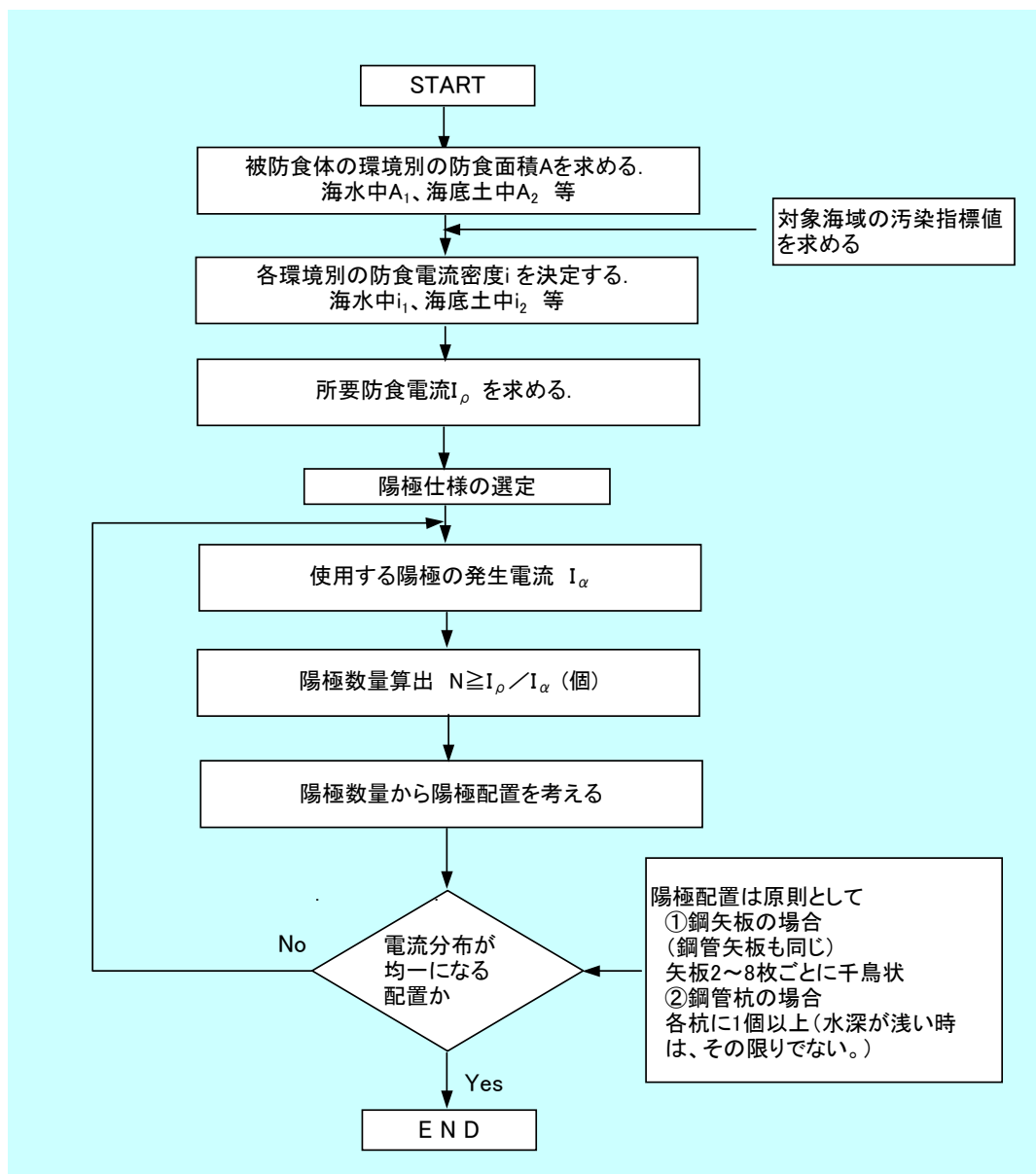


○電気防食に対する劣化予測

防食工法として適用した電気防食の設計概要および電気防食に対する劣化予測を明記する。

○ 電気防食の設計

電気防食の設計方法の手順を以下に示す。また、対象施設の下部工および土留護岸を対象とした電気防食の設計事例を示す。



1. 設計条件

①適用範囲

- ・下部工（鋼管杭）： 重防食下端（-1.00m）以下の海水中、石積部および海土中に露出する鋼管杭の外表面を防食適用範囲とする。
- ・土留護岸（鋼管矢板）： 塗覆装防食下端（-1.00m）以下の海水中、石積部および海土中に露出する鋼管矢板の外表面を防食適用範囲とする。

②防食方式： 電気防食用アルミニウム合金陽極を使用した流電陽極方式

③防食管理電位： 防食対象物の電位を海水塩化銀電極基準で-800mV より卑な値

④計画防食期間： 50 年

⑤防食電流密度

海水中 : 0.130 A/m²
 石積部 : 0.065 A/m²
 海土中 : 0.030 A/m²

⑥海水抵抗率： 35 Ω・cm

⑦ボンド： 各ブロックの防食対象鋼材相互間は、電氣的に一体構造になっているものとする。

⑧ロス電流

- ・下部工（鋼管杭）： 防食対象と隣接する他鋼構造物とは電氣的導通がないものとして、ロス電流は見込まないものとする。
- ・土留護岸（鋼管矢板）： 防食対象と法線に連続して延長される他鋼構造物は第1ブロック側は電気防食が施工されており、また第10ブロック側は今後電気防食が施工されるものとしてロス電流は見込まないものとする。

2. 防食面積と防食電流の算定

①下部工 単一ブロックあたりの算定

・防食面積の算定

	杭径 [mm]	π	上端 [m]	下端 [m]	打設角 θ	本数 [本]	防食面積 [m ²]
海水中	1.000	3.14	-1.00	-11.75	1.00	5	168.8
	1.000	3.14	-1.00	-9.00	1.00	5	125.6
	1.000	3.14	-1.00	-6.75	1.00	5	90.3
	1.000	3.14	-1.00	-4.50	1.00	5	55.0
海水中防食面積合計							439.6
石積部	1.000	3.14	-11.75	-12.00	1.00	5	3.9
	1.000	3.14	-9.00	-12.00	1.00	5	47.1
	1.000	3.14	-6.75	-12.00	1.00	5	82.4
	1.000	3.14	-4.50	-12.00	1.00	5	117.8
海水中防食面積合計							251.2
海土中	1.000	3.14	-12.00	-41.00	1.00	5	455.3
	1.000	3.14	-12.00	-41.00	1.00	5	455.3
	1.000	3.14	-12.00	-41.00	1.00	5	455.3
	1.000	3.14	-12.00	-41.00	1.00	5	455.3
海水中防食面積合計							1821.2

・所要防食電流の算定

	防食面積 [m ²]	電流密度 [A/m ²]	防食電流 [A]
海水中	439.6	0.130	57.1
石積部	251.2	0.065	16.3
海土中	1821.2	0.030	54.6
所要防食電流合計			128.1

②土留護岸 単一ブロックあたりの算定

	延長(m)	係数	上端(m)	下端(m)	防食面積(m ²)	電流密度(A/m ²)	防食電流(A)
海水中	24.00	1.57	-1.00	-4.50	131.88	0.130	17.1
石積部	24.00	1.57	-4.50	-12.00	282.6	0.065	18.4
海土中	24.00	1.57	-12.00	-31.50	734.76	0.030	22.0
所要防食電流合計							57.6

(解 説)

③下部工および土留護岸 全体に対する算定

下部工	防食面積[m ²]			所要防食電流[A]			
	海中部	石積部	海土中	海中部	石積部	海土中	合計
1ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
2ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
3ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
4ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
5ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
6ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
7ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
8ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
9ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
10ブロック	439.6	251.2	1821.2	57.1	16.3	54.6	128.1
鋼管矢板	1318.8	2826.0	7347.6	171.4	183.7	220.4	575.6
総合計	5714.8	5338	25559.6	742.9	347.0	766.8	1856.7

3. 陽極の設置個数の算定および設置の考え方

①下部工（鋼管杭）

各ブロックに使用する陽極は、標準陽極のうち最大発生電流である3.5A陽極を用いるとすると
 $128.1 \div 3.5 = 36.6$

となり、最低37個の設置が必要になる。

また、鋼管杭の陽極配置に関して、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）では、各杭に1個以上配置すると記述されている。

したがって、単一ブロックの鋼管杭合計17本に対して1本あたり2個の陽極、3本に対しては1本あたり1個の陽極合計37個を設置することとする。

②土留護岸（鋼管矢板）

各ブロックに使用する陽極は、下部工と同一にすることとして標準陽極のうち最大発生電流である3.0A陽極を用いるとすると

$$57.5 \div 3.0 = 19.2$$

となり、最低20個の設置が必要になる。

鋼管矢板の陽極配置に関して、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）では、矢板2～8枚ごとに千鳥状に配置すると記述されている。

したがって、鋼管矢板5本あたり4個の陽極を設置することとし、単一ブロック24本の鋼管矢板に対して合計20個の陽極を設置する。

③陽極仕様

- ・最大発生電流 3.5A（下部工） 3.0A（土留護岸）
- ・材質 アルミニウム合金
- ・耐用年数 30年

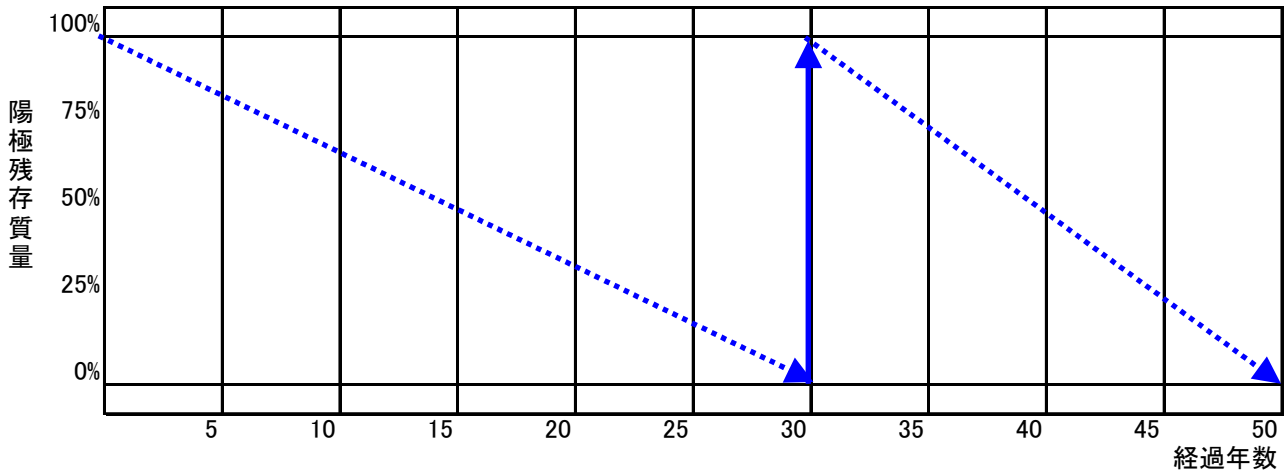
4. 陽極の配置

陽極の配置は有効な効果が期待できるように空間的に配置する。この空間的な配置を明確にするために、各ブロックの断面図および単一のブロックの立面図を示すとともに全体の配置図および3次元のCG画像を参考資料に示すことが望ましい。

4.3.2. 電気防食に対する劣化予測

電気防食は永久的なものではなく、適当な間隔において陽極の取替えを前提とした防食工法であり、電気防食における劣化予測項目は防食電位(-800mV)が管理されている状態での陽極残存質量とする。また、耐用年数は設置した陽極の質量で決定されることから、新規に設置した当初の段階での耐用年数30年間として、取替え時には20年間分の質量の陽極を設置するとして耐用年数20年間とする。この耐用年数の期間中での陽極の減少量は毎年一定であると仮定する。

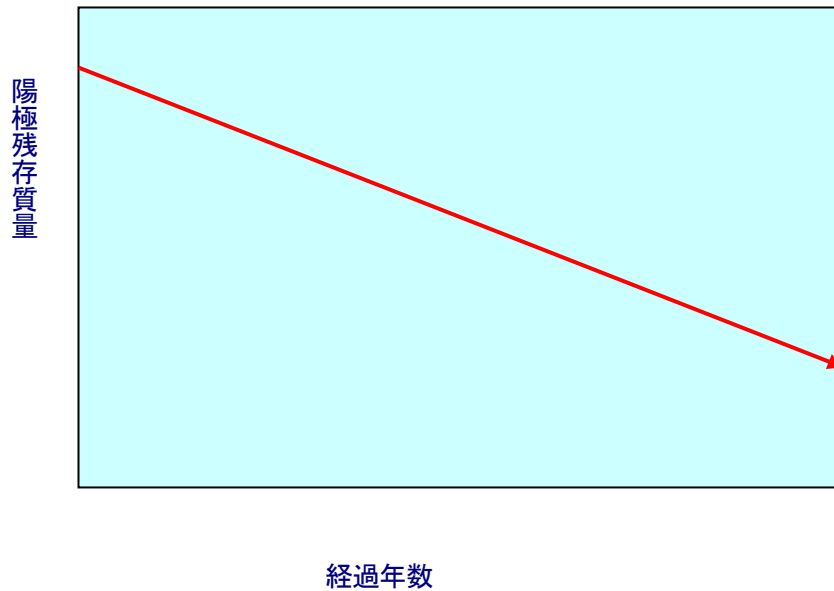
したがって、設計供用期間中における電気防食に対する劣化予測は次のように示される。



下部工および土留護岸の電気防食における劣化予測

○電気防食に対する劣化予測

電気防食は永久的なものではなく、適当な周期で陽極の取替えを前提とした防食工法であり、電気防食における劣化予測項目は防食電位 (-800mV) が管理されている状態での陽極残存質量とする。この耐用年数の期間中での陽極の減少量は毎年一定であると仮定することで、設計供用期間中における電気防食に対する劣化予測は次のように直線的に示される。



5. 点検診断の内容と実施時期

5.1. 下部工および土留護岸に対する日常点検

日常点検では、日常の巡回で点検が可能な箇所について変状および劣化の有無や程度の把握を目的に行う。ただし、下部工および土留護岸に対する実質的な日常点検は困難であることから、監督測量船等で前面を航行した場合における目視調査が主体であり、特段の異状や着棧等の施設における利用上の障害になるものを発見し、除去することを目的とする。

5.2. 一般定期点検診断

5.2.1. 塗装

1) 実施の基本原則

一般定期点検診断の基本原則は以下のとおりである。

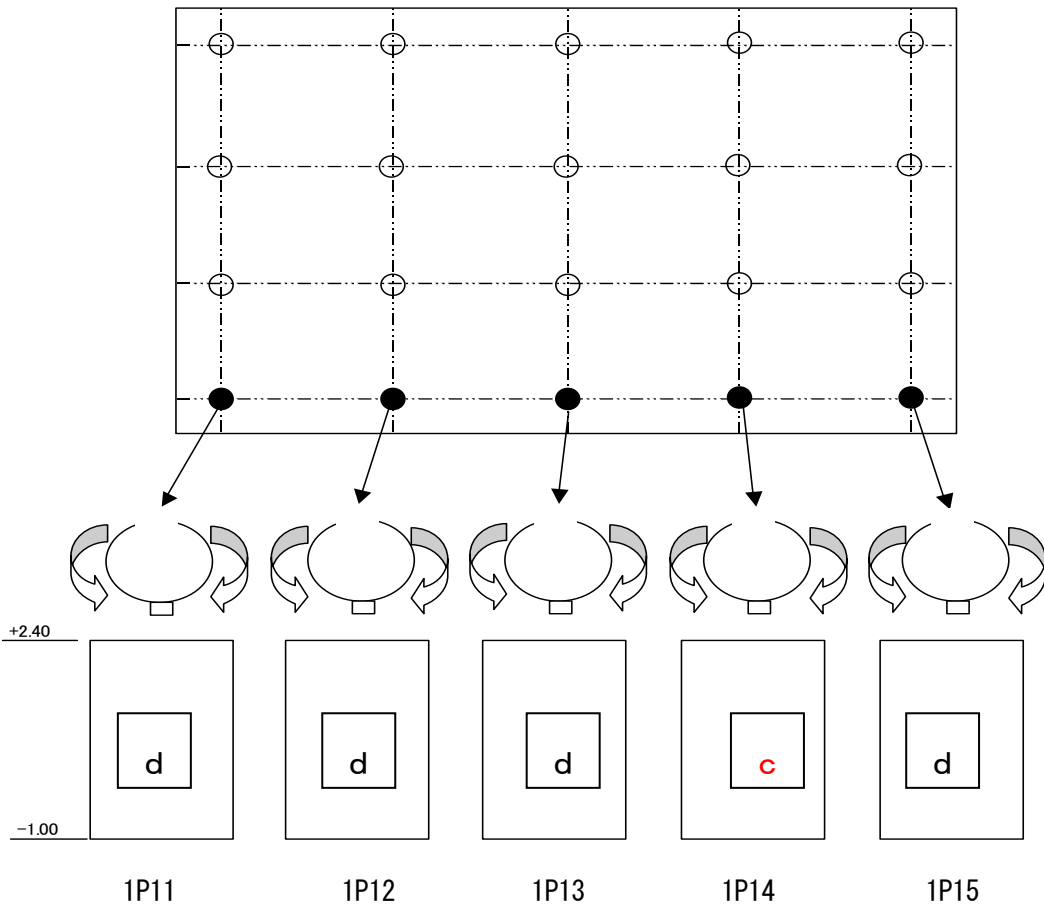
- ・海面上の部分のみを対象とする。
- ・点検診断のために簡易な機器を用いるものの目視により実施する。
- ・目視に際しては、点検者の安全が確保される範囲内において極力近接して実施する。ここで、設定した重要エリアについては注視する。
- ・点検診断の結果は以下の表に示す4段階のレベルで記録する。
- ・下部工および土留護岸の全ブロックの鋼管杭および鋼管矢板の全てを対象に実施する。
- ・点検診断の結果は、鋼管杭および鋼管矢板の前面に視点を設定し、円柱を切り開いた平面形の状況で、設定した座標系に基づき図面上への記載あるいは表形式による記録により実施する。

2) 点検診断項目および判断基準

点検項目		点検方法	判定基準	
防食工	塗装	目視 ・欠陥面積率 (ASTM-D610による)	a	<input type="checkbox"/> 広範囲にさび、ふくれを確認 さびをとまうはがれ、ひび割れが広範囲発生 欠陥面積率 0.3%以上
			b	<input type="checkbox"/> かなりおおきなさび、ふくれが点在 さび、ふくれが点在さびをとまうはがれが広範囲に発生 欠陥面積率 0.1%以上 0.3%未満
			c	<input type="checkbox"/> さび、ふくれが点在 塗り塗料のはがれ、ひび割れが点在 欠陥面積率 0.03%以上 0.1%未満
			d	<input type="checkbox"/> 初期状態とほとんど変化ない健全な状態 欠陥面積率 0.03%未満

3) 点検診断結果の記録方法

ここでは、図面上への記録を基本として、記録の具体例を示す



4) 点検診断結果の記録用紙

一般定期点検診断結果の記録用紙を参考資料に示す.

○塗覆装に対する点検診断

具体的な内容は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)の以下の内容を基本として、対象施設の特性に対応させて記載する。

①塗装

塗膜の劣化は、塗膜のふくれ、割れ、はがれおよび塗膜下の腐食などとして現れる。塗膜の欠陥が鋼面に達すると流れさびが発生するので、塗装の防食被覆の詳細点検はさびや塗膜のふくれ、割れ、はがれに着目した外観の詳細な目視観察を主体に行う。目視観察時には、鋼面への付着力を失った塗膜が鋼面に残っていることがあるので、プラスチックハンマー等での打検を合わせて行うとよい。

機器による調査が可能な部位では、塗膜の膜厚、付着力、インピーダンス等の測定を併用して定量的に行うことで、塗膜の劣化状況を総合的に判断することができる。

さび、ふくれ、割れ、はがれの程度を表す指標としては、大きさや発生密度を数段階に分類した標準写真を用いて評点をつける方法やその面積率により定量化する方法がある。

さび、ふくれ、はがれ等の面積率の目視判定は、ASTM-D610等の基準を参考にして行う。さび面積は鋼材がさびている部分の面積であり、流れさびが塗装表面に付着している部分はさび面積に含まない。流れさびが塗膜表面に付着している部分と鋼材がさびている部分の判別が十分でない、さび面積を過大に算出する恐れがあるので、構造物の近くからの点検が必要である。景観の保持が重要な構造物においては、白亜化、変退色や上塗りのはがれ等も調査することが必要である。

塗装および有機ライニングには、工事施工前に工場において塗覆するものもあるが、この場合は、工事中に塗膜やライニングに損傷を受け、補修している場合があるので、補修箇所について良く観察する必要がある。

②有機ライニング

調査項目は塗装の場合と基本的に同じで、外観観察が主体となる。また、塗装の場合と同様に機器による調査を行い、劣化状況を総合的に把握することが望ましい。なお、機器による調査方法は、港湾空港技術研究所の波崎観測栈橋で行っている事例を参考にするとよい。

有機ライニングは、一般に塗装に比較すると塗膜が厚く、耐久性に優れている。したがって、詳細点検の間隔を塗装に比べて長くすることができる。

③ペトロラタムライニング

ペトロラタムライニングは、鋼表面のペトロラタム系防食材と保護カバーで構成されているので、目視観察では、保護カバーが主体となる。ペトロラタムライニングの場合は、内部に空隙がない場合には、波崎観測栈橋の10年経過後の調査でも、保護カバーが健全であれば内部のペトロラタム防食材も健全で、鋼管杭の腐食も認められていない。したがって、ペトロラタムライニングの場合は、一般には、保護カバーの健全度および空隙の有無を調査すればよい。保護カバーの点検は、カバーの亀裂、変形および締め付けボルトの腐食や緩みなどに着目し、空隙調査は、プラスチックハンマー等による打検によって行う。また、保護カバーの継ぎ目などバンドや当板等を使用している場合は、バンドや当板の亀裂や変形についても調査する。

保護カバーの打検等により内部に海水が流動するような空隙が認められた場合は、保護カバーを取り外し、鋼材の腐食状況を調べる必要がある。

④モルタルライニング

モルタルライニングには、保護カバー付きのものと、保護カバーのないものがあるが、いずれの場合もモルタルのもつアルカリ性により腐食を防止しているため、その機能が阻害されない限り健全である。

保護カバーがない場合は、外観観察によりモルタルの欠落やひび割れについて調査する。劣化が進行すると、欠落部、ひび割れ部や端部から錆汁がにじみ出てくる状態になる。保護カバーがある場合

(解 説)

は、ペトロラタムライニングと同様に保護カバーが健全であれば、一般的に内部は健全と考えてよい。したがって、詳細点検は、保護カバーの亀裂、ひび割れについて調査する。また、保護カバーとモルタルの間に空隙があり、海水がこの空隙に流入する状態になると保護カバーの機能はなくなる。この確認のため、打検により空隙の有無を調査する。万一空隙が認められた場合には、保護カバーを取り外し、保護カバーがない場合と同様の調査を行う。

⑤金属ライニング

金属ライニングは、一般には耐食性金属による被覆のため、被覆材に損傷がなければ健全である。しかし、一旦損傷を受けると、鋼材と金属ライニングとの間で異種金属接触腐食が起これ、短期間で大きな腐食となるため、小さな損傷にも十分注意して観察する必要がある。海水中で電気防食が適用され、電位測定の結果、海水中での健全度が確認されている場合は、干満部以下で異種金属接触腐食は防止される。

○塗覆装工に応じた劣化度判定の目安「港湾構造物の維持補修マニュアル」1999

劣化度	塗 装	有機ライニング	ペトロラタムライニング
a	・広範囲にさびやふくれが認められる ・錆をともなうはがれ、ひびわれが 広範囲に発生している (欠陥面積率0.3%以上)	・剥がれや欠損が著しく、鋼面が露出し、 錆が発生している状態	・保護カバーが脱落し、ペトロラタム材が 露出又は脱落し、鋼面から錆が出ている 状態
b	・かなり大きなさび・ふくれが点在 している ・錆をともなうはがれ、広範囲に 発生している (欠陥面積率0.1%以上、0.3%未満)	・一部に素地まで達するすり傷、あて傷、 はがれが生じわずかに錆が認められる 状態	・保護カバーや当て板に亀裂が 認められる。 ・ボルト、ナット等に腐食が見られる。
c	・さび・ふくれが点在 ・上塗り塗料のはがれ、ひびわれが 点在している (欠陥面積率0.03%以上、0.1%未満)	・素地まで達していないすり傷や あて傷が点在している	・保護カバーに変色や白亜化が 認められる。 ・表面に微細なクラックが 認められる状態 ・ボルト、ナットやバンド材に多少 ゆるみがある
d	・初期状態とほとんど変化なく、 健全な状態 (欠陥面積率0.03%未満)	・初期状態と変化なく、 健全な状態	・初期状態と変化なく、 健全な状態
劣化度	モルタルライニング	金属ライニング	
a	・セメント硬化体が欠落し、鋼面に錆 が見られる状態	・鋼面まで達する傷や剥離があり、鋼面 から錆が出ている状態	
b	・ひび割れ幅が大きくなり、一部 小さな欠落が見られるが錆の流れ 出しはない ・一部保護カバーの欠損等が 見られるが、錆の流れ出しはない	・ライニング材に腐食や傷が認められ 、近々、素地の鋼材まで達する状態	
c	・表面に小さなひび割れが 認められる状態 ・保護カバーに小さなクラックが 認められる状態	・ライニング材に小さなあて傷や わずかな腐食が認められる。	
d	・初期状態と変化なく、 健全な状態	・初期状態と変化なく、 健全な状態	

5. 2. 2. 電気防食

1) 実施の基本原則

一般定期点検診断の基本原則は以下のとおりである

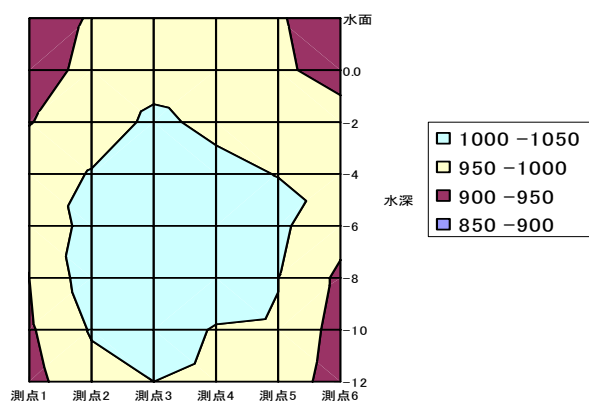
- ・ 目視ではなく、電位測定を実施する
- ・ 電位測定箇所は法線（X軸）方向には測定装置設置箇所およびその中間点とし、深度方向には1 m間隔で実施する。
- ・ 防食管理電位（海水塩化銀電極基準-800mV）より卑な値であり、防食状態であることを確認する。
- ・ 電位測定の結果は数表で記録する。

2) 点検診断の結果の評価方法

水深方向平面において等値線を描くことで、異状の発生状態を確認する。下図に〇〇地区での直杭式横棧橋形式の係留施設について分析した結果を示す。この係留施設の両側では電気防食を実施していないために、中心部と比較して電位が貴になっていることが確認される。例えば、このような結果が得られた場合には両側の陽極質量の減量に留意すべきことが明らかになる。

この様な分布により、詳細定期点検診断にむけての要調査箇所の検討を実施する。

電位分布(単位: -mV)



○電気防食に対する点検診断（電位測定）

具体的な内容は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）の以下の内容を基本として、対象施設の特性に対応させて明記する。

電位測定は、防食対象施設の電位分布状況を把握するために、高抵抗電圧計と照合電極を用いて実施する。

①電位測定を実施する地点は、測定装置設置地点とその中間地点で行うのが一般的である。ただし、これらの測定地点に陽極の中間点が含まれていない場合は、陽極から最も離れた地点での電位測定を行い、防食対象施設全域の電位分布状況を把握することができるようにする。

②構造物の深度方向での測定は1m間隔で行い、また栈橋杭で陽極の取り付けられていない杭がある場合は、その杭を何本か選んで測定する。

③測定計器は以下のものが一般に使用されている。

- ・高抵抗電圧計

使用する電圧計は内部抵抗が1MΩ/V以上の直流電圧計とする。

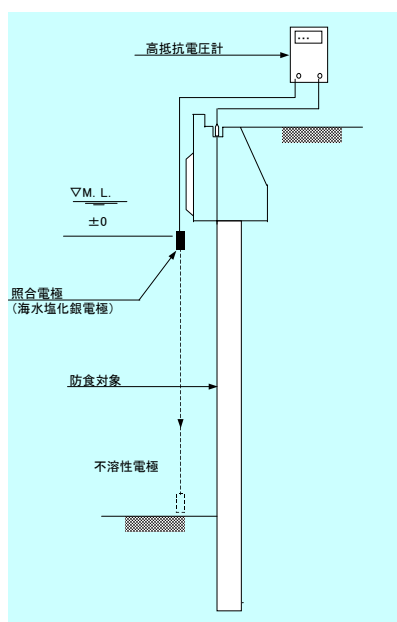
- ・照合電極

電位測定を行う場合に一般に使用されている照合電極は、海水塩化銀電極と飽和甘こう電極である。海底土中等の取り替えが困難な箇所、長期間継続して使用する場合には、安定した固有電位の維持が可能な組成を有する亜鉛照合電極を用いる必要がある。亜鉛照合電極は、長期間（約10年間）に及ぶ現地実験の結果、大きい波浪や砂の移動がある厳しい環境においても十分な耐久性と性能を有することが確認されている。したがって、亜鉛照合電極は電気防食によって鋼構造物を長期間維持管理していく場合の電位測定に対するモニタリング用の基準電極として十分活用できる。

- ・電位測定装置

電位測定装置は、防食対象施設の延長方向20～50mごとに1箇所設置されている。この測定装置に電位測定を行うための直流電圧計の一端子をリード線で接続する。接続する器具は、接触抵抗の少ないワングチクリップ等が一般に使用されている。

④電圧計の+端子に照合電極を接続し、-端子には電位測定装置の端子に接続したリード線を継いで、下図に示す要領で防食対象構造物の各部位における電位を測定する。照合電極にはあらかじめ重錘等を取り付け、潮の流れ等によって測定位置が変わらぬような措置を講じておく必要がある。使用電極は測定地点の防食対象物に沿って海中に吊り下げ、各深度における電位を測定する。なお、測定地点は毎回同一の地点とし、電位の変動状況を把握し防食状態の推移を確認することが重要である。



5.3. 詳細定期点検診断

5.3.1. 塗装

1) 実施の基本原則

詳細定期点検診断の基本原則は以下のとおりである

- ・点検診断のために簡易な機器を用いるものの目視により実施する。
- ・目視に際しては、点検者の安全が確保される範囲内において極力近接して実施する。
- ・下部工および土留護岸の全ブロックの鋼管杭および鋼管矢板の全てを対象に実施する。ここで、設定した重要エリアについては注視する。
- ・点検診断の結果は、一般定期点検と同様の4段階のレベルで記録することと合わせて、ふくれ、割れ、はがれを具体的に図面上への記載あるいは写真画像での記録を基本とする。
- ・点検診断結果を図面上に記録する場合には、一般定期点検と同様に鋼管杭および鋼管矢板の前面に視点を設定した状況で記録し、円柱を切り開いた平面形の状況で記録する。また、写真画像の場合には設定した座標系に基づき記録する。

2) 点検診断項目

点検項目		点検方法	判定基準	
防食工	塗装	潜水調査 ・ 錆、塗膜のふくれ、割れ、はがれ ・ 欠陥面積率 (ASTM-D610による)	a	<input type="checkbox"/> 広範囲にさび、ふくれを確認 さびをとまなうはがれ、ひび割れが広範囲発生 欠陥面積率0.3%以上
			b	<input type="checkbox"/> かなりおおきなさび、ふくれが点在 さび、ふくれが点在さびをとまなうはがれが広範囲に発生 欠陥面積率0.1%以上0.3%未満
			c	<input type="checkbox"/> さび、ふくれが点在 塗り塗料のはがれ、ひび割れが点在 欠陥面積率0.03%以上0.1%未満
			d	<input type="checkbox"/> 初期状態とほとんど変化ない健全な状態 欠陥面積率0.03%未満
		詳細調査 ・ 錆、塗膜のふくれ、割れ、はがれ	錆、塗膜のふくれ、割れ、はがれ等を変状図として整理する。	

3) 点検診断結果の記録用紙

詳細定期点検診断結果の記録用紙は一般定期点検診断の事例を適用する。

5.3.2. 電気防食

1) 実施の基本原則

詳細定期点検診断の基本原則は以下のとおりである

- ・一般定期点検診断と同様の電位測定とあわせて、詳細定期点検診断では陽極調査と鋼管全体の状況をダイバーによる潜水調査を実施する。なお、ダイバーの目視では設定した重要エリアについては特に注視する。
- ・陽極調査では、以下の表を参照にして電気防食装置が設計とおりに稼動していることの確認や、陽極の残寿命の推定を行う。
- ・陽極調査のための潜水にあわせて、鋼管全体を目視することで腐食の状況を確認する。ここで、特に著しい異状が確認された場合にはあらためて詳細臨時点検診断を実施する。
- ・陽極調査は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に基づいて、具体的に実施する。
- ・電気防食が稼動していなかったことが確認された場合を除いて、特に肉厚測定調査を実施しなくてもよい。

2) 点検診断項目

点検項目		点検方法	判定基準	
電気防食	陽極	潜水調査 ・現存状況の確認（全数）	a	<input type="checkbox"/> 陽極が欠落又は全消耗している.
			b	<input type="checkbox"/> 陽極取付に不具合（ぶら下がり等）がある.
			c	---
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし.
		陽極消耗量測定 （全体の5～10%）	陽極消耗量の測定値を記録し，残寿命を推定する.	
		陽極電流測定 ・施設の両端，中央部，異常摩耗部	電流量の測定値を記録し，電気防食の状態を評価するために用いる.	

3) 点検診断結果の記録用紙

詳細定期点検診断結果の記録用紙としては，塗装と一括して整理することができる。

5.4. 詳細臨時点検診断

日常点検，一般定期点検診断の結果から，必要と判断される場合には詳細臨時点検診断を行う。なお，実施に際しては必要に応じ専門家の助言を得るものとする。

○塗装に対する詳細定期点検診断

塗装の詳細定期点検診断，一般定期点検診断と同様の4段階のレベルで記録することと合わせて，ふくれ，割れ，はがれを具体的に図面上への記載あるいは写真画像での記録を基本とする。

○電気防食に対する詳細定期点検診断（陽極調査）

具体的な内容は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）の以下の内容を基本として，対象施設の特性に対応させて明記する。

陽極調査は，陽極の取付状況，陽極の発生電流，陽極の消耗量等に関して行う。

①陽極調査は詳細点検の際に実施する。

②陽極の取付状況を全数目視観察する。観察は取付数量および取付状態の確認と陽極の異常消耗の有無について行う。また，必要に応じて水中テレビによる撮影や，水中カメラによる写真撮影を行う。

③陽極の発生電流を測定することによって，電気防食装置の作動状況の確認と，陽極のおよその残寿命を知ることができる。電流測定は，一般的にシャントの電圧を測定する電圧降下法によって行う。シャントは，陽極と防食対象である鋼材間に絶縁材を挿入し，この間を電氣的に接続するように取り付ける。また，陽極を取り付ける時にシャントが設置されていない場合，陽極の発生電流の測定には取付金具を構造物から切り離し，絶縁した後にシャントを取り付けるなどの工夫が必要である。

④陽極の消耗量調査は，陽極取付総個数の5～10%を任意の位置から選び出し，潜水士によって陽極の寸法を計測するか，陽極を陸上に引き揚げて秤量し，陽極の消耗量や寿命を算出する。

i) 陽極の形状寸法実測による残量算出法

水中作業で，陽極表面に付着している腐食生成物を除去し，陽極の形状寸法を下図に示す要領で計測する。その際，必要ならば，写真撮影もしておくとうい。

$$\text{陽極残量} = [(D/4)^2 \cdot \pi - \text{芯金の体積}] \times \text{陽極の密度}$$

ここで， D ：平均周長 = $(D_1 + D_2 + D_3) / 3$

D_1, D_3 ：残存陽極の端から約10cmの位置での外周長

D_2 ：残存陽極中央部での外周長

l ：残存陽極の長さ

ii) 陽極秤量

陽極の芯金部を切断して陸上に引き揚げて秤量し，芯金部分を差し引いて陽極の残量を求める。

iii) 陽極の残寿命の算出

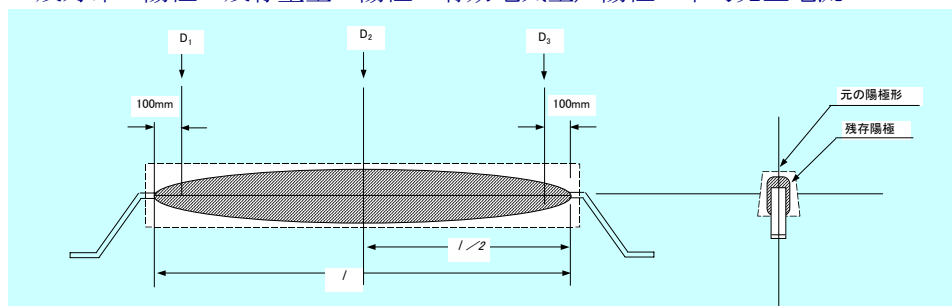
陽極の残寿命は，消耗量，残存重量，経過年数から求める。

$$\text{陽極の年間平均消耗量} = (\text{陽極の初期重量} - \text{陽極の残存重量}) / \text{経過年数}$$

$$\text{残寿命} = \text{陽極の残存重量} / \text{陽極の年間平均消耗量}$$

また，陽極の平均発生電流から残寿命を求めることもできる。

$$\text{残寿命} = \text{陽極の残存重量} \times \text{陽極の有効電気量} / \text{陽極の平均発生電流}$$



5.5. 定期点検診断の実施予定時期

下部工および土留護岸に関する定期点検診断の実施時期については、先に設定した上部工に関する実施時期を考慮して、特段の不都合がない限りは同時期の実施を予定する。

ここで、塗装の当初の耐用年数は15年、陽極の耐用年数は30年とした。一方で、上部工に関しては4年目、7年目に一般定期点検診断の実施を、10年目に第1回目の詳細定期点検診断の時期を予定している。この実施予定であれば、塗装および陽極に対する定期点検の時期としても適当であると判断した。

したがって、上部工とおなじく下図のとおり定期点検診断の実施を予定する。

なお、ここでの一般定期点検診断および詳細定期点検診断は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)よりも充実したの実施内容としていることから、その実施の間隔を長く設定している。

年度	経過年	初回点検	一般点検診断	詳細点検診断
2006	0	●		
2007	1			
2008	2			
2009	3			
2010	4		○	
2011	5			
2012	6			
2013	7		○	
2014	8			
2015	9			
2016	10		▽	◎

○定期点検診断の実施予定時期

下部工および土留護岸に関する定期点検診断の実施時期については、先に設定した上部工に関する実施時期を考慮して、特段の不都合がない限りは同時期の実施を予定する。

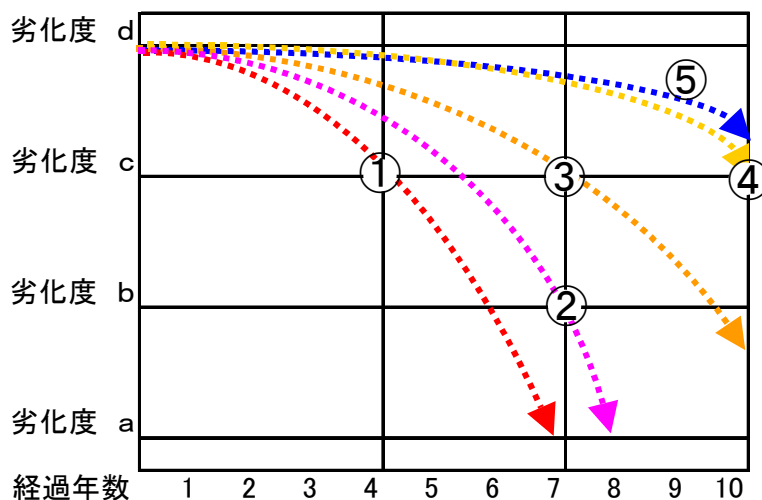
6. 点検診断結果の評価

6.1. 塗装に対する評価

全ての鋼管杭および鋼管矢板の塗装に対して、4段階での劣化度判定を行うのは、最初の10年間では4年目、7年目での一般定期点検診断、10年目での第1回目の詳細定期点検診断である。

この各段階で（d）と判定された場合には、特別に対応することは必要ない。しかしながら、劣化度（c）または（b）と判定された場合でのその後の劣化は、以下のように予想することができる。ここでの、予測は鋼管杭および鋼管矢板全体に対する予測ではなく、個別の予測となる。

したがって、第1回目および第2回目の一般定期点検診断において、劣化度（c）または（b）と判定された鋼管杭あるいは鋼管矢板は当初の耐用年数を満足しない可能性が高い。なお、4年目での一般定期点検診断において劣化度（b）または（a）、4年目、7年目での一般定期点検診断において劣化度（a）になる状況を想定してない。



①	第1回目の一般定期点検診断でc判定の場合
②	第2回目の一般定期点検診断でb判定の場合
③	第2回目の一般定期点検診断でc判定の場合
④	第1回目の詳細定期点検診断でc判定の場合
⑤	当初想定

参考：劣化度の目安

具体的な実施に際しては「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に示されている ASTM-D610 に基づく欠陥面積率の判定法を参考にすることができる。

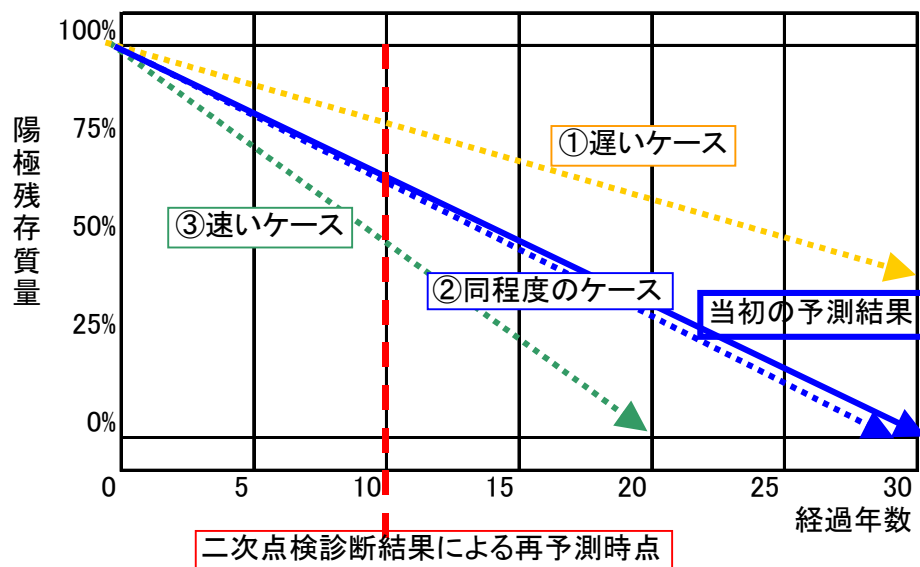
劣化度	塗装の概観
a	<ul style="list-style-type: none"> ・広範囲にさび、ふくれを確認 ・さびをとまうはがれ、ひび割れが広範囲に発生
b	<ul style="list-style-type: none"> ・かなりおおきなさび、ふくれが点在 ・さびをとまうはがれが広範囲に発生
c	<ul style="list-style-type: none"> ・さび、ふくれが点在 ・上塗り塗料のはがれ、ひび割れが点在
d	<ul style="list-style-type: none"> ・初期状態とほとんど変化ない健全な状態

6.2. 電気防食に対する評価

電気防食における陽極残存質量の予測は、10年目での第1回目の詳細定期点検診断における陽極調査の結果から以下の算定式に基づき実施する。

- ・陽極の年間平均消耗量 (kg/年) = (初期の陽極質量 - 残存の陽極質量 : kg) / 経過年数 (10年)
- ・残寿命 (年) = 残存の陽極質量 (kg) / 年間の平均陽極消耗質量 (kg/年)

この結果により、当初に実施した予測結果と比較する。その比較の結果は、下図に示すように当初予測の劣化速度よりも、①遅いケース、②同程度のケース、③早いケースの3種類になることが想定される。



○点検診断結果の評価

日常点検および初回点検診断では、将来的に異状に発展することが想定される初期症状の発見の有無を想定している。このため、ここでは通常は健全度に特に問題が生じるなどの異状の発見は想定していない。

しかしながら、万が一に異状が確認された場合には、必要に応じて詳細臨時点検診断を実施することで健全度の評価、さらに評価結果に応じて維持補修計画を作成する。

また、第1回定期点検診断以降では、回数を経ることに異状に発展することが想定される初期症状のみならず異状な事態が確認される可能性が高くなる。この場合には、即時に一般臨時点検診断あるいは詳細臨時点検診断、健全度評価を「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に準じて実施することが必要である。

○塗装および電気防食に対する評価

当初の劣化予測に対して、下部工での塗装では各定期点検診断結果に基づき、電気防食では第1回目の二次定期点検診断の結果に基づく精度の高い現実的な劣化予測結果と当初の予測結果との比較評価を明記する。

具体的には、当初の劣化予測と現実的な劣化予測との比較の結果で以下の3ケースが想定される。

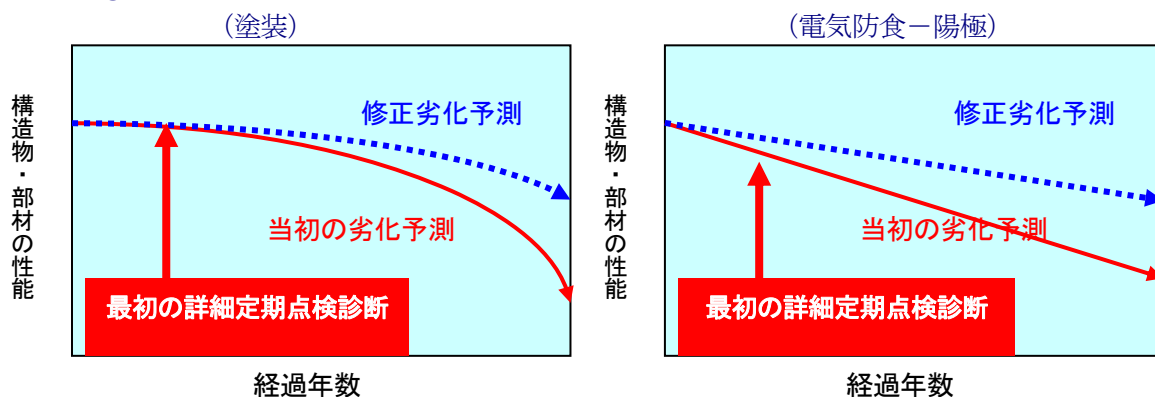
ケース①：当初の劣化予測とおり

ケース②：当初の予測より劣化の進展が遅い

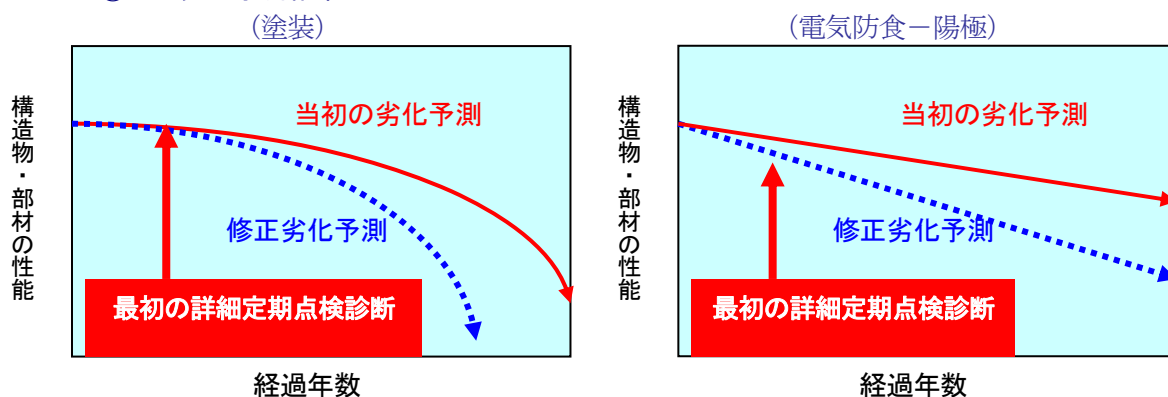
ケース③：当初の予測より劣化の進展が速い

これらの比較の結果に基づく具体的な対応策については維持補修計画に明記する。

ケース②での劣化予測結果



ケース③での劣化予測結果



Ⅱ-5 その他部材

1. その他部材への対応

1.1. 基本的な考え方

その他の部材として、エプロン・舗装、海底地盤、渡版を対象とする。これらは、上部工、下部工、土留護岸と同様の劣化予測項目の設定および劣化予測は容易ではない。このために、2.においてこれまでで得られた知見および「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)を踏まえて各部材ごとの点検診断の内容と実施時期を示す。

なお、座標系の設定は、主要部材と同様に上方に視点を設定して海側を手前にするを基本とする。そこで左-下点を基点として座標系を設定する。

1.2. 初期状態の点検結果（初回点検）

その他部材に関する竣工検査の結果において、維持管理の観点から初期状態での問題点は全く確認されなかった。

1.3. 点検診断結果の評価

その他部材で実施される点検診断項目については、主要部材の点検診断結果の評価とあわせて総合評価において活用する。

2. 各部材における点検診断の内容と実施時期

2.1. エプロン・舗装

エプロンの沈下・陥没に対する点検診断は、エプロン上から目視にて行い、適切な間隔および範囲を選定して以下の項目について実施する。この際、レベル等を用いれば、より精度よく点検を行える。点検では、主に次の点に留意する。

- ・裏埋材が流出しているような穴開き、ひび割れの有無
- ・エプロン上での段差
- ・エプロンと背面地との段差
- ・陥没箇所の有無

また同時に、これらの沈下・陥没が歩行や車両の通行に対して支障となるかどうかについても把握する。

エプロンのコンクリートあるいはアスファルトの劣化・損傷に対する点検診断は、沈下・陥没と同様に、エプロン上から目視にて、対象とするエプロンの全面に対して以下の項目について実施する。この際、次の点に特に留意する。

- ・ひび割れの程度
- ・凹凸および段差の程度

なお、点検診断の実施は、上部工の定期点検診断の実施時期と同時期を予定する。

点検項目		点検方法	判定基準
エプロン（通常の場合）	沈下，陥没	目視	a <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 土留部背後の土砂が流出している。 <input type="checkbox"/> 土留部背後のエプロンが陥没している。 <input type="checkbox"/> 車両の通行や歩行に重大な支障がある。
			b <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 土留部目地に顕著な開き，ずれがある。 <input type="checkbox"/> エプロンに3cm以上の沈下（段差）がある。 <input type="checkbox"/> エプロンと後背地の間に30cm以上の沈下（段差）がある。
			c <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 土留部目地に軽微な開き，ずれがある。 <input type="checkbox"/> エプロンに3cm未満の沈下（段差）がある。 <input type="checkbox"/> エプロンと後背地の間に30cm未満の沈下（段差）がある。
			d <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 変状なし。

	コンクリートまたはアスファルトの劣化、損傷	目視 ・コンクリートまたはアスファルトのひび割れ、損傷	a	<input type="checkbox"/> コンクリート舗装でひび割れ度が2m/m ² 以上である。 <input type="checkbox"/> アスファルト舗装でひび割れ率が30%以上である。 <input type="checkbox"/> 車両の通行や歩行に支障があるひび割れや損傷が見られる
			b	<input type="checkbox"/> コンクリート舗装でひび割れ度が0.5~2m/m ² である。 <input type="checkbox"/> アスファルト舗装でひび割れ率が20~30%である。
			c	<input type="checkbox"/> 若干のひび割れが見られる。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

2.2. 海底地盤

下部工の詳細定期点検診断での潜水調査の際に海底地盤に対する目視を行い、必要に応じて以下の項目について点検診断を実施する。

点検項目		点検方法	判定基準	
海底地盤	洗掘、土砂の堆積	潜水調査、水深測量 ・海底面の起伏 ・洗掘傾向か堆積傾向か	a	<input type="checkbox"/> 岸壁前面で深さ1m以上の洗掘がある。 <input type="checkbox"/> 洗掘に伴い、マウンド等や下部工への影響が見られる。
			b	<input type="checkbox"/> 岸壁前面で深さ0.5m以上1m未満の洗掘がある。
			c	<input type="checkbox"/> 深さ0.5m未満の洗掘又は土砂の堆積がある。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

2.3. 渡版

渡版の点検は、定期点検診断の際に目視で以下の項目について点検診断を実施する。また、可能であれば小型ボート等で棧橋下に入り込み、渡版下面の状態や支承部の状態についても点検する。

なお、渡版は目詰まり等により可動性が確保されていない場合には、地震時に大きな被災が生じる可能性がある。このため、部材としての変状および劣化に対する点検診断とは別に、定期点検のみならず日常点検の際において可動状況を確認する。ここで、可動性が確保されていない場合には速やかに改善する。

点検項目		点検方法	判定基準	
渡版	本体の損傷、塗装	目視 ・傷、割れ ・塗装の状態 ・移動 ・可動性	a	<input type="checkbox"/> 車両の通行や歩行に重大な支障がある。
			b	<input type="checkbox"/> 表面に重大な損傷が見られる。
			c	<input type="checkbox"/> 表面に軽微な損傷が見られる。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

注：荷役等の施設の利用上の、作業の安全上の観点からみた渡版の変位の許容限界は、水平方向および鉛直方向ともに3cm程度と考えられる。

○その他部材

1. その他部材への対応

- ①その他部材を一括して、基本的な考え方を明記する。
- ②主要部材と同様に、初期状態の点検結果（初回点検）を明記する。
- ③その他部材で実施される点検診断項目については、通常は劣化予測は容易ではない。このため、それぞれの点検診断結果については個別に評価するのではなく、主要部材の点検診断結果の評価とあわせて総合評価において活用する。

2. その他部材における点検診断の内容と実施時期

具体的な内容は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）の以下の内容を基本として、対象施設の特性に対応させて明記する。

①エプロン・舗装

エプロンの沈下・陥没には、大きく2つの原因が考えられる。1つは、地盤の変動や基礎割石の移動などによるものであり、この場合、本土工そのものが沈下することになる。これは、海上から行う本土工の点検の際に確認することができる。もう1つは、裏埋土の吸出しや圧密、あるいはケーソンの中詰材の流出などに伴う沈下・陥没であり、この場合はエプロン下に空洞が発生することになる。この場合、上載荷重等がきっかけとなり、突如としてエプロンが陥没する危険性もあるため、この点を十分に考慮して入念に点検を行う必要がある。アスファルト舗装の場合はエプロンの沈下状況から、またコンクリート舗装の場合は、ハンマによる打撃等によって、その発生・進展状況のある程度推定できる。一般定期点検診断の結果、空洞の発生が懸念される場合には、詳細定期点検診断を実施し、舗装を切削するなどして空洞の有無および規模等を直接確認する。防砂板の損傷状況は一般定期点検診断でも詳細定期点検診断でも推定は困難であり、吸出し等の状況から総合的に判断する。

エプロンの沈下・陥没に対する点検はエプロン上から目視にて行い、適切なピッチおよび範囲を選定する。この際、レベル等を用いれば、より精度よく点検が行える。点検では、主に以下の点に着目する。

- ・裏埋材が流出しているような穴開き、ひび割れの有無
- ・エプロン上での段差
- ・エプロンと背面地との段差
- ・陥没箇所の有無

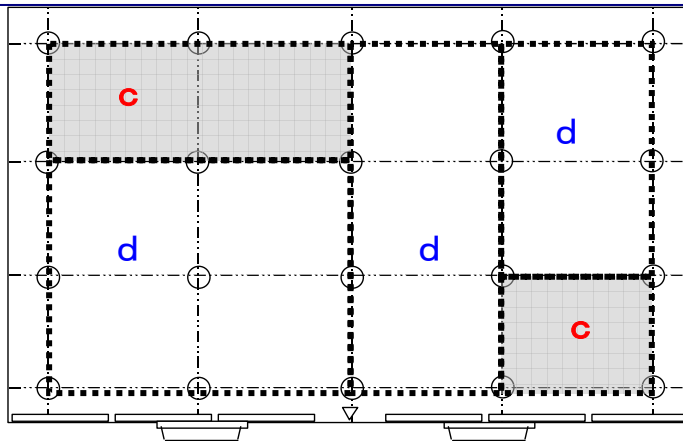
また同時に、これらの沈下・陥没が歩行や車両の通行に対して支障となるかどうかについても把握する。

舗装（コンクリートあるいはアスファルト）の劣化・損傷は、エプロンの沈下・陥没によるものが多いと考えられる。ただし、コンクリート舗装のひび割れは、セメントの水和に伴う自己収縮によるもの（初期欠陥）である可能性があり、またアスファルト舗装のひび割れは、アスファルトの老化によるもの、温度応力によるものの可能性もある。これらの見極めに関しては、ひび割れ周辺の沈下・陥没の有無、ひび割れの程度等から推定できる。エプロンのコンクリートあるいはアスファルトの劣化・損傷に対する点検は、沈下・陥没と同様に、エプロン上から目視にて、対象とするエプロンの全面にて行う。この際、以下の点に特に留意する。

- ・ひび割れの程度（コンクリート舗装ではひび割れ度、アスファルト舗装ではひび割れ率）
- ・凹凸および段差の程度

エプロン・舗装における記録例を以下に示す。ここでは、1ブロックを劣化度に応じた複数のゾーンに区分して結果を記録する。

(解説)



↓海側：上方から上面を見ている状況

②海底地盤

海底地盤は必ずしも部材という概念に馴染まないが、海底地盤の変状は施設全体に大きな大きな影響を与える。この海底地盤の変状を確認するためには潜水調査が必要であるが、この変状が生じることは非常に稀であるので下部工の詳細定期点検診断での潜水調査の際に海底地盤に対する目視を行う。

③渡版

渡版の損傷や塗装の不具合は、主に車両などの上載荷重、地盤の変動、支承条件の不具合、鋼製の場合には塗装材の劣化や腐食等によって生じるものと考えられる。渡版に著しい変状が発生すると、栈橋上部工から背後地への移動がスムーズに行えなくなって荷役作業等に支障が出るだけでなく、転落事故等につながる危険性もある。

渡版の点検は、施設上部から近接した目視にて行い、主に以下の項目について調べる。

- ・ 渡版本体の損傷，割れ
- ・ 塗装の状態
- ・ 移動
- ・ 可動性

可能であれば、小型ボート等で栈橋下に入り込み、渡版下面の状態や支承部の状態についても点検するとよい。

なお、渡版は目詰まり等により可動性が確保されていない場合には、地震時に大きな被災が生じる可能性がある。このため、部材としての変状および劣化に対する点検診断とは別に、定期点診断のみならず日常点検の際において可動状況を確認する。ここで、可動性が確保されていない場合には速やかに改善する。

II-6 附帯設備

1. 附帯設備への対応

1.1. 基本的な考え方

その他の部材として、防舷材、係船柱、車止め・安全柵、はしご、排水設備を対象とする。2.において、これまでの知見および「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)を踏まえて点検診断の内容と実施時期を示す。

なお、座標系の設定は、主要部材と同様に上方に視点を設定して海側を手前にするを基本とする。そこで左-下点を基点として座標系を設定する。

また、照明施設、保安管理施設等についても、ここで示す内容をもとに同様の点検診断を実施する。

1.2. 初期状態の点検結果（初回点検）

竣工検査の結果において初期状態での問題点は全く確認されなかった。

1.3. 点検診断結果の評価

附帯設備の点検診断結果は、主要部材の点検診断結果の評価とあわせて総合評価において活用する。

2. 附帯設備における点検診断の内容と実施時期

2.1. 防舷材

防舷材に対する点検は、施設上からの目視、あるいは海上からの目視にて行う。具体的には、定期点検診断の際に、以下の点検診断を実施する。

点検項目		点検方法	判定基準	
防舷材	本体の損傷、破損、取付金具の状態	目視 ・ゴム部の損傷 ・取付金具の錆や傷	a	<input type="checkbox"/> 本体（ゴム）欠落、永久変形がある。 <input type="checkbox"/> 取付金具：ゆるみ、抜け、曲がり、切断がある。
			b	----
			c	<input type="checkbox"/> 本体（ゴム）：欠損、亀裂、チッピングがある。 <input type="checkbox"/> 取付金具：発錆がある。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

2.2. 係船柱

係船柱に対する点検は、施設上から目視にて係船柱の損傷・変形、塗装の状態に着目して行う。ただし、塗装の状態については、当初から塗装が行われていないものも多く、参考程度に留める。また、係船柱周りの上部工コンクリートに生じたひび割れも、将来的に係船柱の抜出しや変形等につながる可能性があるため、参考として調査する。具体的には、定期点検診断の際に以下の点検診断を実施する。

点検項目		点検方法	判定基準	
係船柱	本体の損傷、塗装	目視 ・損傷、変形 ・塗装の状態	a	<input type="checkbox"/> 破損、損傷等により使用できない状態である。
			b	----
			c	<input type="checkbox"/> 係船柱の損傷や変形、塗装のはがれ等がある。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

2.3. 車止め・安全柵

車止め・安全柵に対する点検は、施設上からの目視で行う。安全柵の塗装については、通常の塗装だけではなく、亜鉛めっきを使用している場合も多く、これについても塗装と考えて点検を行うものとする。具体的には、定期点検診断の際に以下の点検診断を実施する。

点検項目		点検方法	判定基準	
車止め ・ 安全柵	本体の損傷、有機ライニング、腐食	目視 ・ 損傷、変形 ・ 有機ライニングの状態 ・ 腐食	a	<input type="checkbox"/> 欠損している。 <input type="checkbox"/> 機能上支障となる損傷、変形がある。
			b	----
			c	<input type="checkbox"/> 本体の損傷や変形、有機ライニングのはがれや腐食がある。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

2.4. はしご

はしごに対する点検は、施設上もしくは海上から目視にて行うとともに、可能な限り実際に使用して安全性を確認する。具体的には、定期点検診断の際に以下の点検診断を実施する。

点検項目		点検方法	判定基準	
はしご	本体の損傷、有機ライニング、腐食	目視 ・ 損傷、変形 ・ 有機ライニングの状態 ・ 腐食（鋼製の場合）	a	<input type="checkbox"/> 欠落している。 <input type="checkbox"/> 損傷、腐食が著しく、使用上危険である。
			b	----
			c	<input type="checkbox"/> 本体の損傷、変形、有機ライニングのはがれや錆がある。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

2.5. 排水設備

排水設備の点検は、定期点検診断の際に施設上からの目視で行う。なお、排水設備に変状がある場合にはエプロンの沈下・陥没につながることもあるため、点検ハンマを用いた打音検査で裏埋材の状態を把握する。

点検項目		点検方法	判定基準	
排水設備	排水設備の破損、グレーチングの変形、腐食	目視(メジャー等による計測を含む、以下同じ) ・ 排水溝のつまり ・ 破損、変形 ・ グレーチングの腐食	a	<input type="checkbox"/> 排水溝、排水ますに破損箇所がある。 <input type="checkbox"/> グレーチングが紛失している。 <input type="checkbox"/> グレーチングの変形、腐食が著しく、使用に耐えない。
			b	----
			c	<input type="checkbox"/> グレーチングに変形、腐食がある。
			d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

○附帯設備

1. 附帯設備への対応

- ①附帯設備を一括して、基本的な考え方を明記する。
- ②主要部材と同様に、初期状態の点検結果（初回点検）を明記する。
- ③附帯設備で実施される点検診断項目については、通常は劣化予測は容易ではない。このため、それぞれの点検診断結果については個別に評価するのではなく、主要部材の点検診断結果の評価とあわせて総合評価において活用する。

2. 附帯設備における点検診断の内容と実施時期

具体的な内容は「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）の以下の内容を基本として、対象施設の特性に対応させて明記する。

①防舷材

防舷材の損傷・破損は、主に船舶の接触、取付金具の腐食によって発生すると考えられる。取付金具の腐食は、海水からの塩分が付着することによって生じるが、ステンレス製のものをを用いた場合でも腐食が発生する可能性はある。防舷材の損傷・破損は、船舶の安全性に関わる可能性がある。

防舷材に対する点検は、施設上からの目視、あるいは海上からの目視にて行う。

②係船柱

係船柱の損傷は、主に船舶の係留中に係船ロープから過大な荷重が作用することによって生じると考えられる。また、係船柱自体は健全な状態でも、係船柱が傾いたり、上部工から抜け出したりした場合には、係船柱としての機能は期待できなくなる。さらに、係船柱は鋼製のものが主であり、塗装が十分に機能を発揮しない場合、海水からの塩分の付着によって腐食が進行する。しかし、基本的に係船柱の断面は十分大きく、腐食によって使用に耐えないほどの状態に至ることは稀である。

係船柱に対する点検は、施設上から目視にて、係船柱の損傷・変形、塗装の状態に着目して行う。ただし、塗装の状態については、当初から塗装が行われていないものも多く、参考程度に留める。また、係船柱周りの上部工コンクリートに生じたひび割れも、将来的に係船柱の抜出しや変形等につながる可能性があるため、参考として調べておく。

③車止め・安全柵

車止め・安全柵に損傷や塗装不良が生じる原因としては、車両等の衝突、コンクリート製の場合には塩害、アルカリ骨材反応や凍害、鋼製の場合は鋼材の腐食、取付金具の腐食等が考えられる。ゴム製のものでは、ゴムの劣化による変状が考えられる。また、利用者または住民が故意に安全柵を破壊する場合も考えられる。車止め・安全柵は、利用者や住民の安全確保のために設置されており、これらの変状は直接的に重大な事故につながる可能性を有している。

車止め・安全柵に対する点検は、施設上からの目視で行う。安全柵の塗装については、通常の塗装だけではなく、亜鉛めっきを使用している場合も多く、これについても塗装と考えて点検を行うものとする。

④はしご

係留施設に備えられているはしごには、鋼製、ステンレス製、ゴム製等があり、その変状の原因としては、船舶の衝突、災害による損傷・変形、鋼製あるいはステンレス製の場合は海水に含まれる塩分が原因となる本体または取付ボルトの腐食、ゴム製の場合はゴムの劣化や取付金具の腐食が考えられる。ステンレス製のはしごの場合でも、取付ボルトが鋼製であることもあり、ボルトに対する点検が必須である。はしごは使用頻度が必ずしも多くないが、それだけに異状に気付きにくい、はしごの変状を放置すると、人命に関わる重大な事故につながる可能性もある。

はしごに対する点検は、施設上もしくは海上から目視にて行うが、可能な限り実際に使用してみて

安全性を確認することが望ましい。

⑤排水設備

排水設備の破損やグレーチングの変形・腐食の原因は様々である。このうち、グレーチングの変形・腐食は、過大な上載荷重によるもの、海水から供給される塩分による腐食などが挙げられる。排水設備の破損については、災害等による地盤の変動、過大な上載荷重による損傷などが原因として考えられる。また、グレーチングに関しては、利用者または住民が故意に取り外すことも考えられる。排水設備の異状は、係留施設の性能上または機能上で問題とならないこともあるが、損傷箇所から局所的に裏埋材に水が流れ出すことにより、周囲の地盤を沈下させ、エプロンの沈下・陥没を招く危険性もある。また、グレーチングの変形、腐食または紛失は、車両や利用者の落下事故につながることも考えられる。

排水設備の点検は、施設上から直接目視で行う。なお、排水設備に変状がある場合、前述のようにエプロンの沈下・陥没につながることもあるため、点検ハンマを用いた打音検査で裏埋材の状態を把握しておくことも重要である。

Ⅲ 総合評価

1. 総合評価の概要

総合評価では、一般および詳細点検診断の実施後に点検診断結果を踏まえて、対象施設の維持管理および補修対策に対する基本方針を定める。

2. 総合評価の項目

総合評価では、以下の3項目を対象とする。

2.1. 対象施設の変状および劣化の状態に関する評価

各部材・部位の点検診断結果を総括し、対象施設全体としての変状および劣化の状態について工学的知見・判断から整理して相対的かつ総合的に評価する。

1) 整理すべき事項の例

- ①劣化・変状の発生状況（量的、面的な観点からの整理）
- ②劣化・変状の進行状況（各部位ごとの劣化度合、性能への影響からの整理）

2) 判定すべき事項の例

- ①劣化・変状に対する維持補修の緊急性
（具体的な判定では「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）を参考にすることができる）

3) 検討すべき事項の例

- ①事前対策対象施設における劣化状況（「維持管理計画」の改訂の必要性の有無等）
- ②予防保全対象施設における劣化予測結果と実際の劣化状況の乖離（「点検診断計画」の見直し等）
- ③事後保全対象施設における劣化・変状の原因推定（推定原因を踏まえた施設の運用上の対策、推定原因の除去等）

2.2. 維持補修に対する現場的・行政的判断からの評価

2.1. の評価結果（維持補修の緊急性等）を踏まえて、対応すべき維持補修工事等の実施に当たっての問題点を整理して財政面、利用度、重要度、将来計画等から見た早期対応の可能性、対応困難な場合の代替案（応急措置、利用制限等）について検討する。

2.3. 対象施設の維持に関する基本方針

以上の結果を踏まえて、対象施設の維持に関する方針を決定する。

1) 決定すべき方針の例

- ①緊急的に維持補修を行う部材・部位、及び基本的な補修方法の決定
- ②計画的に維持補修を行う部材・部位、及び基本的な補修方法の決定
- ③当面経過の観察をする必要のある部位・部材の決定
- ③点検診断計画の変更の要否
- ④その他、必要な応急措置の要否

3. 着実な維持補修の実施

総合評価で決定された方針に基づき、Ⅳ 維持補修計画を踏まえて具体的な維持補修工事の実施計画を作成した後に着実に維持補修を実施する。

4. 専門的知識・技術等を有する者の支援および協議と報告

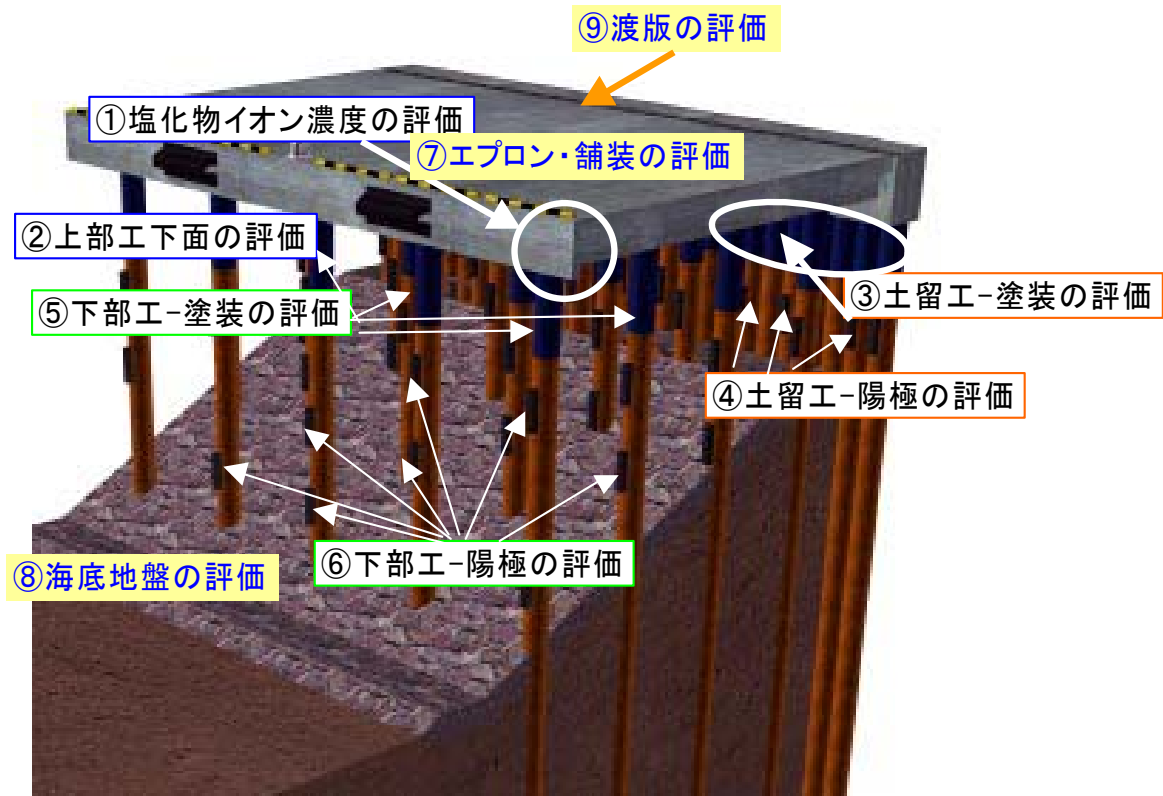
総合評価に際しては、必要に応じて専門的知識・技術等を有する者の支援を受けるとともに設置者と協議する。なお、総合評価の結果は設置者へ報告する。

○劣化・変状の発生，進行状況の整理方法

各定期点検診断により，下図に示すように3つの主要部材ごとにそれぞれ2項目の評価が全10ブロックに関して得ることができる。さらに，3つのその他部材および附帯設備についても全10ブロックに関して得ることができる。これらの結果を空間的に整理・評価することで施設全体としての総合評価を実施する。

2.1. 対象施設の変状および劣化の状態に関する評価 における劣化・変状の発生，進行状況の具体的な例を，第1回詳細定期点検診断までの結果を用いて整理した表として以下に示す。

なお，この場合に主要部材，その他部材，附帯設備での評価結果の重要度は当然に異なっている。



各ブロックの劣化・変状の発生，進行状況を，詳細定期点検診断の結果を用いて整理した結果を一例として以下に示す。点検診断結果から施設の性能低下度を評価する際の主要部材，その他部材，附帯設備それぞれの重要度は維持管理レベルに応じて異なった扱いとなる。

ブロック No.	主要部材						その他部材			附帯 設備	点検診断結果の概要
	上部工		下部工		土留護岸		エプロン	海底 地盤	渡版		
	塩化物 イオン	下面の 劣化	塗装	電気 防食	塗装	電気 防食					
第1	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○	上部工(1B00~1B00)の一部に鉄筋が露出している。
第2	△	△	△	△	○	○	○	○	○	×	陽極(2P00~2P00)の消耗量が5~10%程度である。
第3	△	△	○	△	○	○	△	○	○	○	上部工下面(1S00~1S00)に亀甲状のひび割れが見られる。
....

○：変状・劣化が確認されない，△：一部に変状・劣化が確認される，×：顕著な変状・劣化が確認される

前ページの例について、各部材・部位の点検診断結果を踏まえて、対象施設の維持管理および補修対策に対する基本方針を定める手順を示す。この検討は、学識者を含む検討会等を設置して行うものとする。また、劣化度判定基準などについては、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)を参考することができる。

上部工に関する現状の劣化・変状の発生・進行状況を整理したものが下表である。各部材の劣化度をもとにブロックごとの劣化度を評価している。上部工の劣化度b以上の部材は、鉄筋の露出または亀甲状のひび割れが発生している箇所が大半であり、現時点で緊急の対策を必要としないが、次回の定期点検診断までの間に断面修復を必要とする可能性がある。

上部工の劣化度評価結果

上部工 (平成〇〇年〇月調査)						
ブロック No.	劣化度	d	c	b	a	劣化度評価
1	部材数	3	12	7	2	△
	比率	13 %	50 %	29 %	8 %	
2	部材数	4	11	6	3	△
	比率	17 %	46 %	25 %	12 %	
3	部材数	5	14	6	1	△
	比率	19 %	54 %	23 %	4 %	
...

そこで、劣化・変更に対する維持補修の緊急性(施設の性能低下度)を判定するため、II. に示した劣化予測手法を用いて、無補修の場合の将来の劣化度を予測し、その結果を下表に示す。次回の定期点検診断を行う〇年後(平成〇〇年)には、どのブロックも劣化度aの部材の比率が〇%を超えている。供用期間全体にわたって対象施設の要求性能を確保するためには、今回何らかの補修および維持管理が必要になると考えられる。

〇年後(平成〇年)の上部工の劣化度予測結果

上部工 (〇年後, 平成〇〇年度)						無補修時
ブロック No.	劣化度	d	c	b	a	劣化度aの比率
1	部材数	0	4	6	14	58 %
	比率	0 %	17 %	25 %	58 %	
2	部材数	1	6	5	12	50 %
	比率	4 %	25 %	21 %	50 %	
3	部材数	2	7	5	10	42 %
	比率	8 %	29 %	21 %	42 %	
...

ここで、対象施設は港湾計画上多目的国際ターミナルとして位置付けられている。主な取扱貨物は機械部品、〇〇等であり、その取扱い量は合計で年間〇〇万トン(平成〇年)である。定期国際航路が週〇便(うち〇国〇便、〇国〇便)就航している。背後の経済圏の社会経済活動を支える上で重要な施設であり、維持補修の実施による経済効果が十分に期待される。また、他に代替となる施設および将来的な整備計画もない。なお、大規模な改良工事が必要な場合には、これらの背景をもとに定量的な事業評価を行うべきであるが、軽微な補修ですむ場合などは、その目的に応じて適切に評価の方法を選定する。

・維持補修に対する現場的・行政的判断からの評価の例

プロジェクト分類	多目的国際ターミナル		
港湾名, 地区名	〇〇港〇〇地区		
岸壁名, 水深, 延長	〇〇岸壁 (—〇m × 〇m)		
全体事業費(億円)	〇〇〇 (供用開始時:〇〇〇)		
残存する供用期間	〇〇年 (供用開始〇〇〇〇年~終了〇〇〇〇年)		
目標貨物量 (千フレートトン/年) (維持補修をしない場合の貨物量/維持補修後の貨物量)	輸出量	輸入量	合計
	〇〇/〇〇	〇〇/〇〇	
	移出	移入	〇〇〇/〇〇〇
	〇〇/〇〇	〇〇/〇〇	
主な代替港	〇〇港, 〇〇港		
便益(億円)	〇〇〇		
費用(億円)	〇〇〇		
定量的に把握する効果の計測結果	Nox削減量, CO2削減量など		

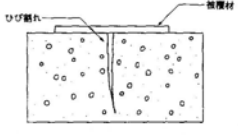
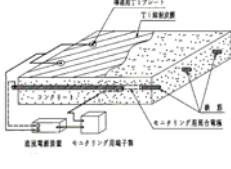
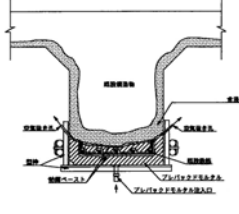
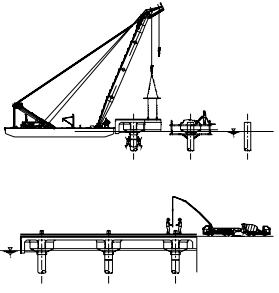
このため、対象施設の維持に関する基本方針として、補修工事を実施し、残りの供用期間〇〇年の間にわたり要求性能を十分確保するものとする。補修工事は、現場の制約条件の下、今後の維持補修の実施を含めて、最も効果的・効率的で経済的な方法を選定するものとする。

補修工事を実施するにあたっての現場の制約条件は以下のとおりである。対象施設は延長に十分な余裕がないため、補修工事中利用制限を行いながら使用することは困難である。工事の間の貨物の取扱いを近隣施設で利用制限をしながら行う場合は、利用制限による経済的損失等を抑えるため、施工期間を最大で18ヶ月とする。また、港内の潮位差は50cmであり、上部工下部が海面下になる場合もあるため、これにより施工方法、施工期間の制約を受ける。

これらの制約条件をもとに補修工法の適用性を次頁に整理した。上部工の劣化度 b 以上の部材は、鉄筋の露出または亀甲状のひび割れが発生している箇所が大半であり、劣化度評価が×になっている部材は、断面修復が必要と考える。また、劣化度評価が△の部材については、劣化度 c のうち 0.3~0.5mm のクラック発生箇所がみられるが、これに対してはひび割れ処理工法の適用箇所と考える。なお、安全側を考えれば、断面補修時に表面被覆工法を併用することが望ましい。

上記の考え方にもとづき補修工事を行った場合について、前述の予測手法を用いて〇年後(平成〇〇年)および設計供用期間終了後の劣化予測を再計算した。その結果、構造上問題となる部材は発生しなかったため、この考え方にもとづき、平成〇年4月から〇年9月の18ヶ月間での各部材の補修工事を行うこととする。

各種補修工法の適用性

工 法 名	表面処理工	電気防食工法	断面修復工	上部工撤去新設
概 要 図				
適用劣化度	d~b	c~b	b~a	—
信 頼 性	塗布層の劣化などに対する定期的な調査を行うことが望ましい。	流木などの障害物が電線管等に衝突し、電気防食施設を損傷させる可能性が考えられる。	信頼性に問題はないが、定期的な劣化調査を行うことが望ましい。	基本的に新設であるため、信頼性は高い。
施 工 性	梁下部への適用は、施工時期や施工時間の制約を受ける。	水際での施工は施工時期や施工時間の制約を受ける。	梁下部への適用は、施工時期や施工時間の制約を受ける。	梁部の施工は施工時期や施工時間の制約を受けるが、プレキャスト化で解決できる。
耐用年数	10~15年	20年程度	20年以上	20年以上
維持管理	今後補修を含む維持管理が必要	毎年、別途管理費が必要	定期的な劣化調査が必要	維持管理はほとんど必要としない
経 済 性	安い	やや高い	高い	やや高い (1ブロック全て補修するとして㎡当りに換算)
評 価	○	×	○	○

(解 説)

○総合評価の全体イメージ

・対象施設の変状および劣化の状態に関する評価の例 (一部を抜粋)

ブロック番号	区分	部材	維持管理レベル	点検項目	変状および劣化の状態に関する評価			…
					発生状況	進行状況 10年後	施設の 性能低下度	
ブ ロ ッ ク No.1	主要部材	上部工	Ⅱ	塩化物イオン	照査:0.66	照査:0.80	△	…
				下面の劣化	a-8%	a-58%	×	…
		下部工	Ⅱ	塗装	a-31%	a-56%	×	…
				電気防食	b-11%	a-10%	△	…
	土留 護岸	Ⅱ	塗装	d-100%	b-11%	○	…	
			電気防食	d-100%	b-5%	○	…	
	その他 部材	エプロン	Ⅲ		d-100%	--	○	…
		海底地盤	Ⅲ		d-100%	--	○	…
		渡版	Ⅲ		d-100%	--	○	…
	附属 設備		Ⅲ		d-100%	--	○	…

・維持補修の基本方針の例 (上部工の修復と下部工の塗装を実施する場合)

ブロック番号	区分	部材	維持管理レベル	点検項目	基本方針	適用	維持補修工法等の設定		
							工法等	実施 時期	コスト
ブ ロ ッ ク No.1	主要部材	上部工	Ⅱ	塩化物イオン	緊急に維持補修 (△年に実施)	早急に補修が必要. 工 法は施設の性能低下度 に応じて設定.	断面修 復ほか	△年後	○○○ 万円
				下面の劣化					
		下部工	Ⅱ	塗装	緊急に維持補修 (△年に実施)	早急に塗装が必要. 上 部工と同時期に実施.	塗替	△年後	○○○ 万円
				電気防食					
	土留 護岸	Ⅱ	塗装	当面経過の 観察が必要	軽微な劣化. 次回定期 補修時に塗替.	塗替	○年後	○○○ 万円	
			電気防食						当面経過の 観察が必要
	その他 部材	エプロン	Ⅲ	当面経過の 観察が必要	異常見られず. 引き続 き点検を実施し経過観	--	--	○○○ 万円	
		海底地盤	Ⅲ	当面経過の 観察が必要	異常見られず. 引き続 き点検を実施し経過観	--	--	○○○ 万円	
		渡版	Ⅲ	当面経過の 観察が必要	錆があるが予測範囲 内. 次回点検時に取替	取替	○年後	○○○ 万円	
	附属 設備		Ⅲ	当面経過の 観察が必要	異常はないが耐用年数 を超える部品は取替.	取替	○年後	○○○ 万円	

※ コスト = 補修費用 + 維持管理に必要な費用(点検診断の費用を含む)

IV 維持補修計画

1. 係船岸全体

係船岸全体形状としての異常が認識される場合には、根幹的な問題が発生していると考えられるので、早急に原因を究明して必要な対策を講じる。

なお、原因の究明および対策方法の実施に際しては必要に応じ専門家の助言を得るものとする。

2. 上部工

2.1. 維持補修対策の考え方

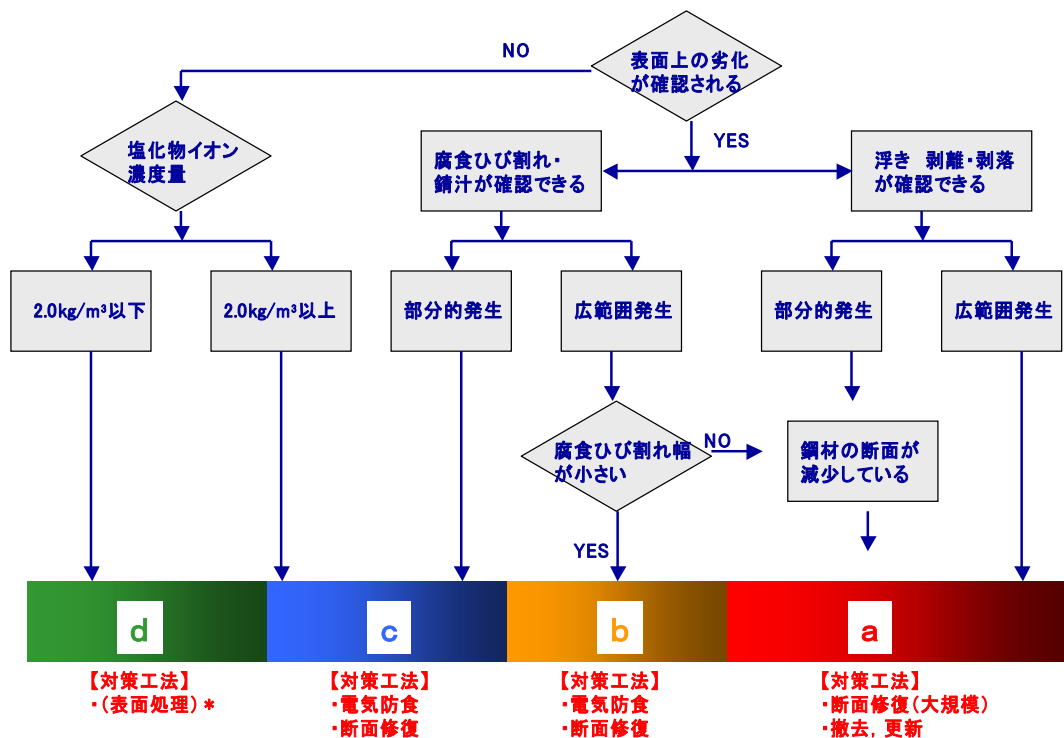
維持補修対策に対する基本的な考え方を以下に示す。なお、ここでは想定される劣化因子の塩害、ASR、凍害のうち塩害のみを対象として、ASR、凍害については「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)に準じる。

- ①上部工の性能が低下し、何らかの対策が必要と判定された場合には要求される性能を満足するような対策を選定する。
- ②第1回の詳細定期点検診断では、著しい変状および劣化が発生している可能性は低いために、塩化物イオンによる劣化予測に基づいて表面処理を中心に対策を検討する。なお、劣化度判定(d)における潜伏期・進展期では性能低下がほとんどないので、予防保全的な対策工法については設計供用期間中の費用対効果を十分に検討してから実施する。
- ③予防保全の観点からは、劣化度判定(c), (b), (a)に達する以前に対策を実施することを基本とする。

ただし、想定外に(c), (b), (a)等の表面上の劣化が確認される部材が出現した場合には塩化物イオン量の測定結果と予測結果および構造物の外観上の劣化度を基準として対策を選定する。

2.2. 標準的な対策工法

塩化物イオン量の測定結果に基づく予測結果および部位ごとの外観上の劣化度を基準とした標準的な対策工法の選択の考え方を以下のフローに示す。



○上部工に対する維持補修計画

1. 維持補修対策の考え方

上部工の維持補修対策に対する基本的な考え方を明記する。

2. 塩害が生じることが想定される場合の維持補修対策

対策工法概要は以下のとおりである。

①表面処理

コンクリート表面を各種材料で被覆し、外部からの塩化物イオンの浸透を抑制することが主目的である。劣化が進行していない段階で予防保全的な目的で実施することも検討する。なお、コンクリート中に多量の塩化物イオンが既に浸透している場合に、表面被覆のみを行った場合には、再劣化が生じることがある。これは、鉄筋周辺の塩化物イオン量が既に腐食発生限界を超えていたため、表面被覆を行うことによる外部からの塩化物イオンの浸透抑制の意味が無かったためである。

②断面修復

塩化物イオンが多量に浸透したコンクリートを除去し、その箇所を新しい材料（断面修復材）で充填することが主目的である。この際、コンクリート表面から見て鉄筋の奥側のコンクリートも極力除去する必要がある。また、鉄筋表面に腐食生成物が存在している場合は除去する必要がある。

③電気防食工法

コンクリート中の鉄筋に電子を送り込むことで、腐食反応を抑制する方法である。

方式としては、以下の2種類から適切な方を選択する。

- i) 電流を流すための電極（対極と呼ぶ）をコンクリート表面に取り付け、外部電源から電子を供給する方法
 - ii) 犠牲陽極をコンクリート表面に取り付け、犠牲陽極から電子を供給する方法
- なお、これは鉄筋周囲のコンクリートが多量の塩化物イオンを含んでいる場合でも適用可能である。ただし、定期的に確実に鉄筋に電子が供給されているかをモニタリングすることが必要である。

3. ASR が生じることが想定される場合の維持補修対策

「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）に準じて実施する。

①表面被覆

コンクリート表面を各種材料で被覆し、外部からの水の浸透を抑制することが主目的で実施する。劣化が進行していない段階で予防保全的な目的で実施する方が望ましい。

②断面修復

ASR が進行したコンクリートを除去し、その箇所を新しい材料（断面修復材）で充填することが主目的で実施する。

③プレストレスの導入

対象構造物の膨張を抑制する方向にプレストレスを導入し、ASR による膨張を拘束する。

④鋼板・PC・FRP 巻き立て

対象構造物周囲を鋼板等で巻き立て、ASR による膨張を拘束する方法である。

⑤FRP・鋼板接着

コンクリート表面に FRP（炭素繊維補強プラスチック）シートあるいは鋼板を貼り付け、部材耐力を向上させる補強工法である。

4. 凍害が生じることが想定される場合の維持補修対策

「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）に準じて実施する。

①表面被覆

コンクリート表面を各種材料で被覆し、外部からの水の浸透を抑制することが主目的で実施する。劣化が進行していない段階で予防保全的な目的で実施する方が望ましい。

②断面修復

凍害により損傷した部分を除去し、新しい材料(断面修復材)で充填することが主目的で実施する。変状および劣化の原因が明確でない場合には、詳細臨時点検診断を実施し、その結果について知識・技術・技能を有する者の意見を聴いて評価を行い、維持補修の方法や実施時期等について計画することを標準とする。なお、「港湾構造物の維持管理マニュアル」(2007)では、外観上の劣化度によって、塩害により劣化した構造物に対する標準的な補修・補強工法を以下のように分類している。

劣化度判定	工法例	期待する効果
a	FRP 接着	耐荷力を向上
b	表面処理, 電気防食, 断面修復	鋼材腐食因子の除去, 腐食進行の抑制
c	表面処理, 電気防食	鋼材腐食進行の抑制
d	(表面処理) *	鋼材腐食因子の供給量低減

* 予防保全的に実施

2.3. 対策工法の選択と時期

基本的には第1回目の詳細定期点検診断において実施される塩化物イオン量測定の結果に基づき、現時点では以下に示すような対策工法の選択と時期を想定する。ここでは、2016年時点において実施する塩化物イオン濃度が鉄筋腐食限界値に達すると予測された年次に応じて、現段階で選択が想定される対策工法の考え方を明示している。

ただし、6.5.でも示したように最初の判断を実施する2016年度までに新たな知見および新技術が明らかになることが十分に想定されるので、この時点において再度見直すことが必要である。

鉄筋腐食限界値への到達予測年次	現時点で想定する対策工法
～概ね2021年度	早期に表面処理を実施することを検討する。なお、部位の状況によっては電気防食・断面修復も検討する。
～概ね2036年度	概ね当初のおりと判断されるので、できるだけ早い時期に表面処理の実施を検討する。
～概ね2046年度	当初の想定よりも、劣化の進展が遅いと判断されるので、次回の詳細定期点検診断まで判断を先送りする。
概ね2047年度～	設計供用期間中に塩化物イオンの浸入の可能性は低いと判断されるので設計供用期間中の実施は不要と判断されるが、次回の詳細定期点検診断で再度確認する。

○対策工法の選択と時期

第1回目の詳細定期点検診断において実施される塩化物イオン量測定の結果に基づき、現時点での対策工法の選択と時期を想定する。本施設の例を下図に示す。

ただし、最初の判断を実施する2016年度までに新たな知見および新技術が明らかになることが十分に想定されるので、この改訂時点で再度見直すことが必要であることを明記する。

年度	経過年数	到達予測時期	対策工法の考え方
2016	10		
2017	11		早期に表面処理を実施することを検討する。なお、部位の状況によっては電気防食・断面修復も検討する
2018	12		
2019	13		
2020	14		
2021	15		
2022	16		概ね当初のとおりと判断されるので、できるだけ早い時期に表面処理の実施を検討する。
2023	17		
2024	18		
2025	19	当初想定到達時期	
2026	20		
2027	21		
2028	22		
2029	23		
2030	24		
2031	25		
2032	26		当初の想定よりも、劣化の進展が遅いと判断されるので、次回の二次点検診断まで判断を先送りする。
2033	27		
2034	28		
2035	29		
2036	30		
2037	31		設計供用期間中に塩化物イオンの浸入の可能性は低いと判断されるので設計供用期間中の実施は不要と判断されるが、次回の二次点検診断で再度確認する。
2038	32		
2039	33		
2040	34		
2041	35		
2042	36		
2043	37		
2044	38		
2045	39		
2046	40		
2047	41		
2048	42		
2049	43		
2050	44		
2051	45		
2052	46		
2053	47		
2054	48		
2055	49		
2056	50		

塩化物イオン濃度が鉄筋腐食発生限界値に達する時期予測に基づく対策工法選択 (案)

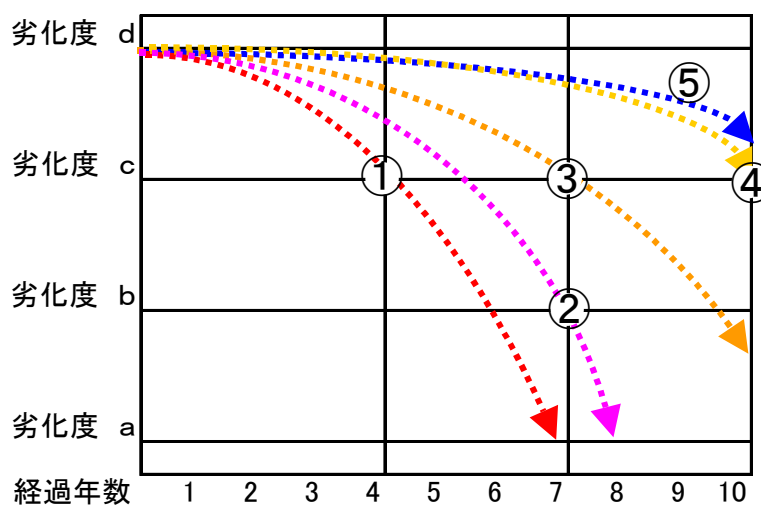
3. 下部工および土留護岸

3.1. 塗装

塗装の劣化度に応じた次の点検診断の時期および補修の実施時期は、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）では次のように整理されている。

劣化度	補修の実施時期
a	塗装の全面補修を実施する必要がある
b	劣化した箇所を部分的に補修し、以降の点検の時期を多少早める等の配慮が望まれる
c	特に、補修の必要はないが、以降の点検の時期を多少早める等の配慮が望まれる
d	従来のおおりの定期点検を実施する

これを踏まえて、予防保全の観点から下図の予測結果に対応した対応策を次のように設定する。なお、部分補修に関しては、当初と同じ材質を用いて実施する。



①	第1回目の一般定期点検診断でc判定の場合	第2回目の一般定期点検診断でb～a判定を確認して部分補修を実施
②	第2回目の一般定期点検診断でb判定の場合	第2回目の一般定期点検診断でb判定であることから部分補修を実施
③	第2回目の一般定期点検診断でc判定の場合	第1回目の詳細定期点検診断でb～a判定を確認して部分補修を実施
④	第1回目の詳細定期点検診断でc判定の場合	10年目の維持補修計画の改訂時期に今後の対応策を検討
⑤	当初想定	10年目の維持補修計画の改訂時期に今後の対応策を検討

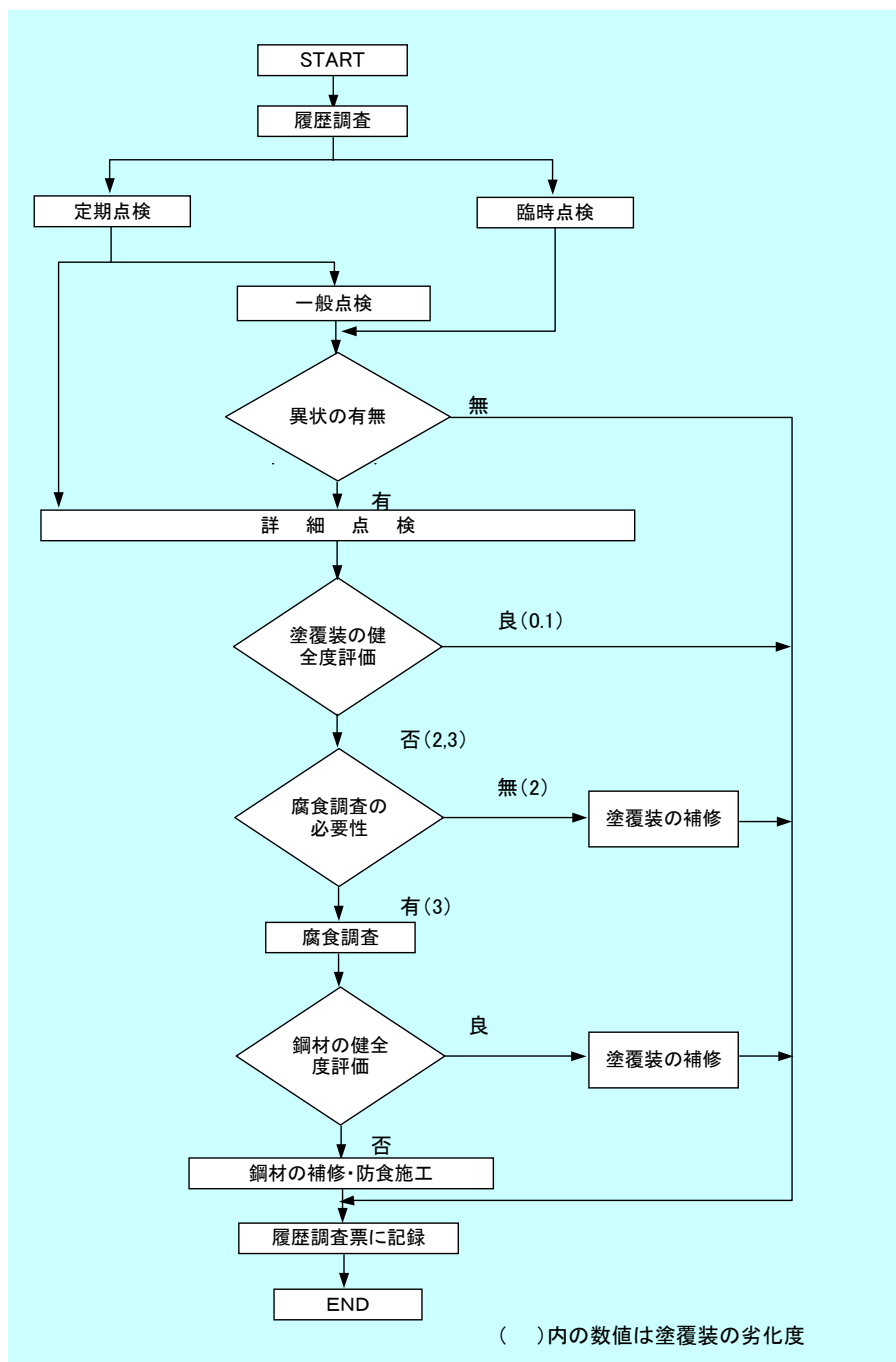
なお、全面補修が必要となった場合には、あらためて現場の条件、塗装材料の耐久性、構造物の設計供用期間の残年数、工費等を検討して工法を決定する。

○塗装に対する維持補修対策の考え方

塗装に対する維持補修対策の基本的な考え方を示す。具体的には、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)で示めされている次の内容に基づいた対応を明記する。

劣化度	補修の実施時期
a	塗装の全面補修を実施する必要がある
b	劣化した箇所を部分的に補修し、以降の点検の時期を多少早める等の配慮が望まれる
c	特に、補修の必要はないが、以降の点検の時期を多少早める等の配慮が望まれる
d	従来のおおりの定期点検を実施する

また、以下に「港湾構造物の維持補修マニュアル」(2007)における塗覆装工に対する維持管理の手順を以下に示す。



3.2. 電気防食

陽極の劣化度に応じた次回の点検診断の時期および補修の実施時期は、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」（2007）では次のように整理されている。

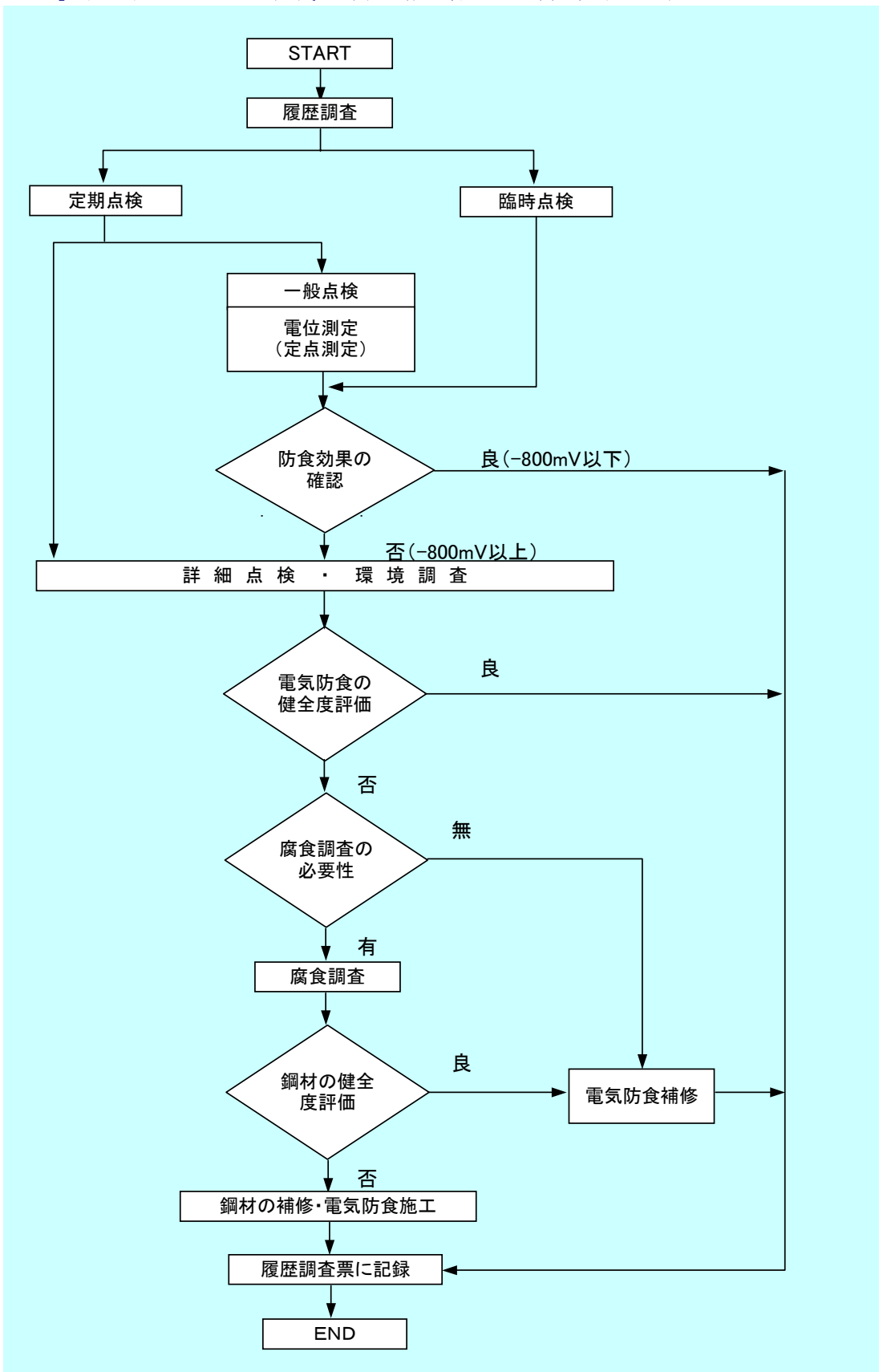
「陽極の消耗により防食状態が正常に保たれていない場合には、速やかに新しい陽極を取り付ける必要がある。また、陽極の設計耐用年数以内に防食が保たれなくなると推測される場合には、その原因を究明した上で対策を検討する。」

これを踏まえて、陽極がほぼ消耗する時期の定期点検診断の時期にあわせて陽極の取替えを実施する。

なお、想定以上に消耗が進展している場合には、その原因究明を十分に実施する。

○電気防食に対する維持補修対策の考え方

電気防食に対する維持補修対策の基本的な考え方を明記する。以下に「港湾構造物の維持補修マニュアル」(2007)における電気防食に対する維持管理の手順を以下に示す。



4. その他の部材

4.1. エプロン・舗装

点検診断での劣化度判定（a）に達する以前の劣化度判定（b）あるいは（c）の段階で維持補修を実施する。ただし、安全性、利用上、工事の容易性等の観点から必要に応じて維持補修あるいは更新を行う。

特に、エプロン・舗装については走行性に対する利用者からの要望には適切に対応する。

4.2. 海底地盤

点検診断での劣化度判定（a）に達する以前の劣化度判定（b）あるいは（c）の段階で維持補修を実施する。ただし、安全性、利用上、工事の容易性等の観点から必要に応じて維持補修あるいは更新を行う。

なお、点検項目としていない海底地盤全体の沈下が確認された場合には、沈下の進展状況を確認し、必要に応じて詳細臨時点検診断を実施する。

4.3. 渡版

渡版については、構造体として使用限界に達した段階での更新を行う。ただし、先の点検診断の内容において示したように可動性が非常に重要であるので、定期点検診断のみならず日常点検の際において可動性が確保されていないことが確認された場合には速やかに対策を施す。

5. 附帯設備

「維持管理レベルⅢ」として設定した附帯設備については、個別に使用可能限界に達した段階、すなわち劣化度判定（a）で更新することを基本とする。

ただし、安全性、利用上、工事の容易性等の観点から必要に応じて、使用可能限界以前であっても維持補修あるいは更新を行う。

○その他部材

予防保全の観点を踏まえて、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)の内容を基本として、対象施設の特性に対応させて具体的な内容を明記する。

○附帯設備

事後保全の観点を踏まえて、「港湾構造物の維持管理技術マニュアル」(2007)の内容を基本として、対象施設を一括して明記する。

V 異常時における点検診断

1. 点検診断の内容

異常時における点検診断は、過大な外力が作用し、施設に突発型の変状が発生した可能性がある場合に、これを把握することを目的としてできるだけ早期に一般臨時点検診断を実施する。本施設における異常時として、以下の地震時と荒天時を想定する。

- ① 地震の発生が比較的稀な地域で、80 Gal 以上もしくは震度 4 以上の地震が発生した場合。
- ② 地震の発生が比較的頻繁な地域で、100 Gal 以上もしくは震度 5 以上の地震が発生した場合。
- ③ 台風が来襲した場合
- ④ 季節風もしくは異常型の低気圧により設計波高の 75%以上の波浪が来襲した場合。
- ⑤ その他、船舶の衝突等による突発型の変状の発生が懸念される場合。

一般臨時点検診断では、以下の項目を特に重点的に点検する。さらに、その結果を踏まえて、必要に応じて詳細臨時点検診断を実施する。

位置	点検項目	
	地震後	荒天後
上部工	法線の凹凸, 沈下, 傾斜	—
エプロン	沈下, 傾斜, ひび割れ状況	沈下, ひび割れ状況
鋼矢板	矢板法線の凹凸	亀裂・損傷
鋼管杭	局部座屈, 防食工の破損	局部座屈, 防食工の破損
裏埋材	沈下, 吸出し	沈下, 吸出し
渡版	沈下, 移動, 損傷状況	沈下, 移動, 損傷状況
防舷材	—	損傷状況

なお、地震時には上部工の位置座標を計測し、初回点検時点からの変位量・変位方向を調査する。その結果を踏まえて、地震後の暫定利用を可能とする突発型変状の許容限界としては、以下の重力式係船岸と矢板式係船岸の許容限界値を参考にする。

構造形式	最大はらみ出し量または最大エプロン沈下量 (cm)			
	重力式係船岸		矢板式係船岸	
水深	-7.5m 以上	-7.5m 未満	-7.5m 以上	-7.5m 未満
供用可能	30	20	30	20
供用制限	100	50	50	30

2. 総合評価の実施

一般臨時点検診断、詳細点検診断を実施した後は、Ⅲ 総合評価で示した内容と同様の総合評価を実施する。

参考資料-1 示方配合報告書

参考資料-2 施工図面

参考資料-3 初回点検の結果（上部工）

参考資料-4 初回点検の結果（下部工，土留護岸）

参考資料-5 電気防食 陽極の配置図

参考資料-6 点検記録用紙

○「参考資料」の内容

「維持管理計画書」に定める事項を補足して説明するために必要な資料または、「維持管理計画書」に基づき技術基準対象施設を適切に維持するために必要な資料がある場合には、参考資料として「維持管理計画書」に添付することができる。