

棧橋の安全確保に向けた  
点検診断・対策選定マニュアル（案）

平成 29 年 7 月

国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所  
海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 構造研究グループ

## 目 次

第1章 総 則 .....	1
1.1 総 説.....	1
1.2 用語の定義.....	2
1.3 本マニュアルの構成 .....	4
第2章 利用上の安全性の確保に向けた日常点検と講ずべき措置 .....	6
2.1 日常点検の基本 .....	6
2.2 緊急的措置の要否の判断と範囲 .....	7
2.3 緊急的措置の実施手順.....	10
2.4 緊急的措置の周知 .....	11
2.5 緊急的措置の解除.....	12
2.6 応急的措置の要否判断.....	12
2.7 臨時点検診断の実施 .....	13
2.8 緊急的措置の回避に向けた変状の目安の設定 .....	13
第3章 構造上の安全性の確保に向けた維持管理計画の留意点 .....	16
3.1 維持管理計画の策定と本章の位置付け.....	16
3.2 構成部材の維持管理レベルの設定.....	18
3.3 構成部材の維持管理に関する方針 .....	20
3.4 構成部材の維持管理限界の設定 .....	21
3.5 維持管理限界と対応措置の関係 .....	24
3.6 維持管理限界を踏まえた総合評価.....	25
3.7 計画的措置における対策工法の検討 .....	27
【参考1】 栈橋の点検診断の項目 .....	29
【参考2】 栈橋の性能低下度の評価の方法（案） .....	30
付録1 栈橋の点検診断項目と劣化度判定基準.....	32
付録2 下部工および上部工の劣化度に応じた補修工法（案） .....	42
付録3 九州管内施設における緊急的措置の実施例.....	51
付録4 マルコフ連鎖モデルによる変状の進行予測.....	58
付録5 栈橋上部工における鉄筋腐食時期の予測方法 .....	60

# 第1章 総則

## 1.1 総説

本マニュアルは、栈橋の利用上および構造上の安全性を確保するための、実行可能な点検診断と対策の方法、および維持管理計画書への反映方法について、基本的な考え方を示すものである。

### 【解説】

高度成長時代に建造された多くの港湾施設が設計供用期間を迎えつつある現在、維持管理、更新、修繕に充当できる財源には限りがある。このため、これら費用の縮減を図るべく予防保全型の維持管理へ転換するとともに、必要に応じて既存施設の延命化や廃止、利用転換等に計画的に対応していくことが望まれており、個別施設単位での維持管理計画の策定や、港湾単位での予防保全計画の策定が進められている。

しかし、維持管理計画に基づく点検診断や対策の実施が困難である港湾施設が、全国に散見されるのが現状である。平成27年度には、鋼部材の腐食や舗装下空洞の発生等により、施設の利用が不可能となった事例が全国で十数件発生した。これらは、構造物の変状の発生が把握されていなかったことに起因しており、維持管理を担う港湾施設管理者等の限られた財源や人材等を勘案した実行可能な維持管理計画が策定されていないことが原因と考えられる。

以上のような状況を踏まえて、本マニュアルは、維持管理上の課題が最も多い構造形式とされる栈橋の利用上ならびに構造上の安全性の確保に向けて、実行可能な点検診断および補修や修繕等の対策の方法について、その基本的考え方を示すものである。特に、利用上の安全性に支障を及ぼすような変状を早期に発見するための点検診断時の留意点や、発見された場合の緊急的な対策について示すとともに、予防保全型の維持管理へ移行するための維持管理計画の策定・修正方法について示す。

なお、本マニュアルでの記述は、鋼管杭とコンクリート上部工を有する直杭式横栈橋と斜め組杭式栈橋を対象とするが、類似の施設についてもその特性を考慮した上で適用することができる。

## 1.2 用語の定義

本マニュアルでは、次のように用語を定義する。

用語	定義
維持管理	構造物に備わった性能および機能を要求性能以上に保持していくための行為の総称。
予防保全	構造物・部材に高い水準の変状対策を行うことにより、供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に変状を留めたり、変状が軽微な段階で小規模な対策を頻繁に行うことにより、供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を予防すること。
事後保全	構造物・部材の要求性能が満たされる範囲内で、変状に起因する性能低下をある程度許容し、供用期間中に1～2回の大規模な対策を行うことにより、変状に事後的に対処すること。
維持管理計画	点検診断の時期及び方法の他、当該施設の供用期間、維持管理についての基本的な考え方、維持工事の計画その他について定めた計画。
点検	部材に変状がないか調べる行為。
点検診断	予め定めた項目および方法により点検を行い、部材等の劣化度を判定する行為。
変状	何らかの原因で構造物に発生している本来あるべき姿でない状態。構造物に生じる不具合の総称であり、劣化、損傷、変位、変形等を含む。
維持管理レベル	構造物の部材の維持管理についての基本的な考え方に応じて設定するレベルのことであり、維持管理レベルⅠ（事前対策型）、維持管理レベルⅡ（予防保全型）、維持管理レベルⅢ（事後保全型）に分類される。
維持管理限界	維持管理の実務上の管理目標として設定する性能低下度あるいは劣化度等。構造物の要求性能レベルに余裕しるを考慮した性能レベルと同等になるように設定する。
対策	構造物・部材等の対応措置、修繕、補修、補強の総称。
供用期間	施設を供用する期間。
設計供用期間	施設の設計にあたって、当該施設の要求性能を満足し続けるものとして設定される期間。
ライフサイクルコスト	構造物の計画、設計、施工、維持管理、解体・撤去等のライフサイクルの各段階での費用（コスト）の総額であり、通常は【初期費用

	＋運用・維持管理費用＋解体・撤去費用】として表される。
劣化度	部材等の性能低下の程度。4段階（a、b、c、d）で表す。
性能低下度	点検診断の項目毎の部材等の劣化度から総合的に評価した施設全体の性能低下の程度。4段階（A、B、C、D）で表す。
対応措置	緊急的措置、応急的措置、計画的措置、経過観察措置の総称。
緊急的措置	構造部材の性能低下や附帯設備等の不具合に伴う事故の発生を防ぐことを目的とした措置。通行禁止、車両通行の制限、荷役の制限などの利用制限等。
応急的措置	短期的に施設の機能を維持することを目的とした措置。例えば、道路におけるポットホールに石材等で充填して修繕することなど。
計画的措置	中長期的に施設の機能を回復させることを目的とした措置。予防保全的な対策（補修・修繕）も含む。
経過観察措置	追跡的に変状を把握することを目的とした措置。
総合評価	施設が置かれる諸条件等の情報や定期および臨時の点検診断の結果に基づいて、工学的知見・判断に基づく評価ならびに現場的・行政的判断に基づく評価を行い、施設の維持管理に関する方針を判断すること。
工学的知見・判断に基づく評価	各部材の点検診断結果を総括し、施設全体としてどのような損傷・劣化等の変状が発生・進展しているか相対的かつ総合的に評価すること。
現場的・行政的判断に基づく評価	対応すべき維持工事等の実施にあたっての現場的な問題点を整理し、財政面、利用面、施設の重要度等から見た早期対応の必要性、対応困難な場合の措置（代替案等）について評価すること。
修 繕	変状が生じたエプロンおよび附帯設備を原型復旧もしくは更新し、供用開始当初の性能や品質を回復させること。
補 修	鋼管杭、被覆防食工、電気防食工およびコンクリート上部工の性能を初期状態程度まで回復させることを目的とした対策。ただし、上記部材の耐久性を初期状態程以上に向上させるための対策も含む。
補 強	変状が生じた鋼管杭またはコンクリート上部工の構造性能を、初期状態よりも高い性能まで向上させることを目的とした対策。
補修コスト	補修工法の選定の際に検討する、補修の施工、補修後の点検、および補修効果の維持のために必要とする総費用。

### 1.3 本マニュアルの構成

本マニュアルは、

- 1) 栈橋の利用上の安全性を確保するための日常点検と講ずべき措置
  - 2) 栈橋の構造上の安全性を確保するための維持管理計画の策定にあたっての基本的な考え方
- について述べる。

#### 【解説】

本マニュアルは、第1章から第3章の3つの章からなり、付録として【栈橋の点検診断項目と劣化度判定基準】、【下部工および上部工の劣化度に応じた補修工法（案）】、【九州管内施設における緊急的措置の実施例】、【マルコフ連鎖モデルによる変状の進行予測】、【栈橋上部工における鉄筋腐食時期の予測方法】を掲載している。各章の概要を以下に示す。

第1章は「総則」として、本マニュアルの適用範囲や構成、用語の定義を示す。

第2章は「利用上の安全性の確保に向けた日常点検と講ずべき措置」として、栈橋の利用上の安全性を確保するための日常点検の方法と、変状の程度に応じた対応措置の一般的な考え方と実施方法について概説する。港湾の施設の維持管理は、予め策定された維持管理計画に基づいて実施することが基本であり、日常点検の結果、緊急的措置を講じた場合においても、可能な限り早期に維持管理計画に定められたとおりの通常の維持管理状態に戻ることが重要である。なお、この章は、港湾施設管理者が利用することを想定している。

第3章は「構造上の安全性の確保に向けた維持管理計画の留意点」として、栈橋の予防保全的な維持管理を実現するための、維持管理計画の基本的な考え方について示す。栈橋の点検診断と評価、対策工法の詳細については、**港湾の施設の点検診断ガイドライン（国土交通省港湾局、平成26年7月）**、**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン（国土交通省港湾局、平成27年4月）**等の既存のガイドライン類を参照できるようにした。

なお、【技術基準対象施設の維持管理必要な事項を定める告示】によれば、港湾の施設の維持管理計画の策定や、維持管理計画に定められた事項の実施にあたっては、維持管理に関する専門知識及び技術又は技能を有する者が関与することが規定されている。このため、第3章は、港湾施設設置者、港湾施設管理者のほか、維持管理に関する専門知識及び技術又は技能を有する者が利用することも想定している。

港湾施設の維持管理計画に基づく維持管理の基本的な流れと、本マニュアルの第2章および第3章の位置付けを図-1.1に示す。

また、本マニュアル【付録1】では、「栈橋の点検診断項目と劣化度判定基準」として、**港湾の施設の点検診断ガイドライン**に基づいて、栈橋構成部材の目視点検における点検診断項目と、劣化度 a、b、c を判定する際のポイントを示した。

【付録2】では、「下部工および上部工の劣化度に応じた補修工法（案）」として、栈橋のコンクリート上部工および鋼管杭、電気防食、被覆防食の目視による劣化度判定を基本とした補修工法の選定フローを示した。維持管理実務において、実際に上部工および下部工に適

用できる対策工法は、定期あるいは臨時の点検診断で把握できる変状の程度・評価の精度に応じて変化する。変状を詳細に把握することが、予防保全的な維持管理を実現するための確実な補修工法の選定に繋がる。このことから、補修工法選定フローには、定期の点検診断で把握する劣化度をベースとしつつ、補修のための詳細調査によって把握すべき項目も加えて、効果的な補修工法が選定できるよう配慮した。

【付録 3】では、「九州管内施設における緊急的措置の実施例」として、施設の利用上の安全性を確保するために講じられた緊急的措置について、栈橋について3例、その他の構造形式の係留施設について4例を示した。

【付録 4】では、「マルコフ連鎖モデルによる変状の進行予測」として、目視による劣化度 a、b、c、d を用いた劣化予測の方法を示した。

【付録 5】では、「栈橋上部工における鉄筋腐食時期の予測方法」として、栈橋上部工から採取したコンクリートの塩化物イオン濃度分布から、鋼材の腐食開始時期を予測する方法を示した。

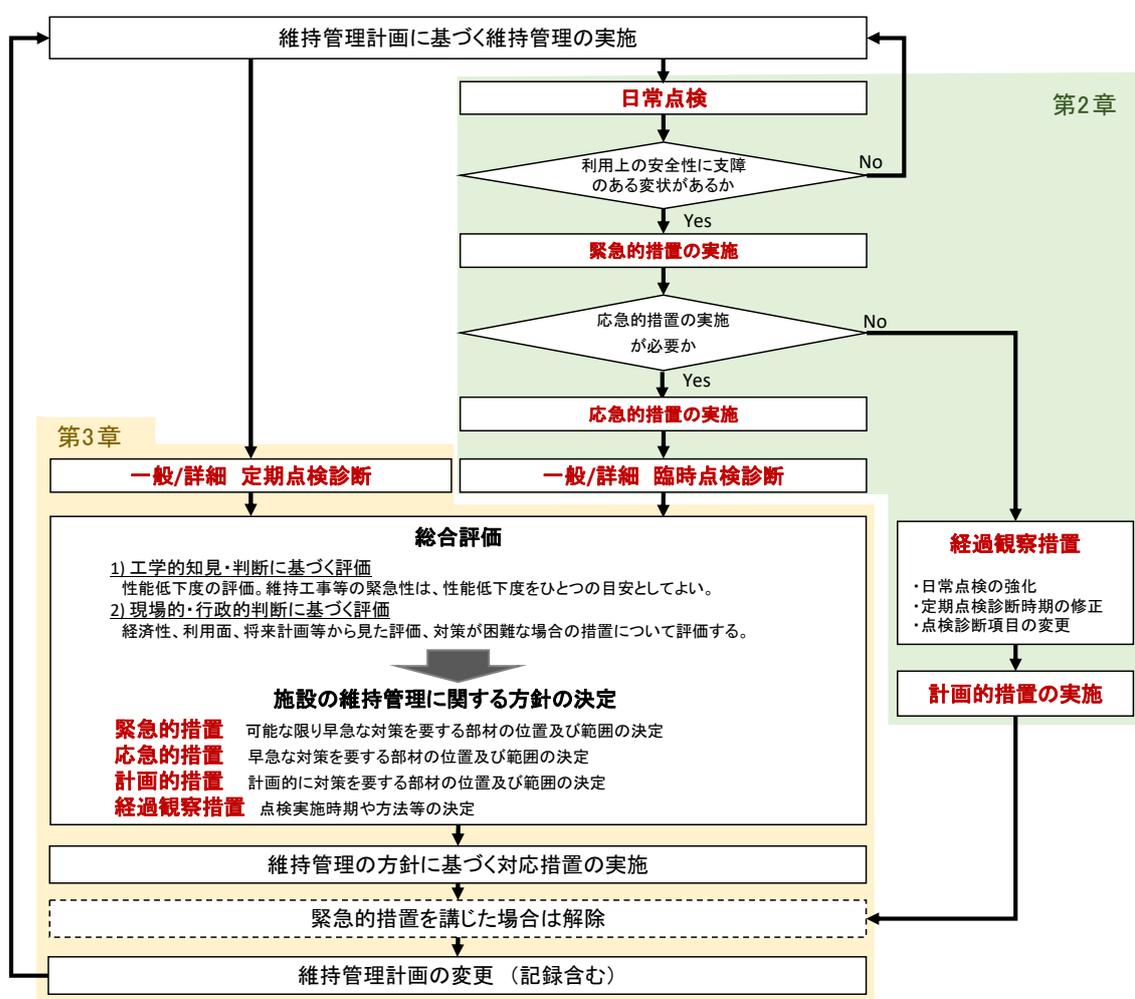


図-1.1 港湾施設の維持管理計画に基づく維持管理の基本的な流れと  
本マニュアル第2章および第3章の位置付け

## 第2章 利用上の安全性の確保に向けた日常点検と講ずべき措置

### 2.1 日常点検の基本

栈橋の日常点検は、施設全体の変状を把握するため、実施可能な方法により行うことを標準とする。

#### 【解説】

日常点検は、大規模な変状の発見の他、荷役作業等の施設の利用上の支障となる変状を発見するために実施するものである。

日常点検は、施設の管理者が実施する巡回（パトロール）等にあわせて実施する他、施設の利用者等からの情報を活用する等、実施可能な方法によって行う。

栈橋の日常点検において着目すべき点を以下に示す。

- 1) 当初想定した利用状態（貨物の利用形態、重量車両の利用等）に大きな変化はないか。
- 2) 栈橋法線に大きなずれはないか。
- 3) 土留部のエプロン舗装に沈下、陥没はないか。
- 4) 船舶等の衝撃を受けた形跡あるいは報告はないか。
- 5) 異常な音や振動等はないか。
- 6) 渡版に異常はないか。
- 7) 附帯設備に異常はないか。
- 8) 利用上の支障について報告はないか。

## 2.2 緊急的措置の要否の判断と範囲

- (1) 日常点検において利用上の安全性に支障を及ぼす変状が発見された場合、直ちに緊急的措置を講じなければならない。
- (2) 緊急的措置を講じる範囲は、変状の規模、範囲に応じて適切に設定しなければならない。

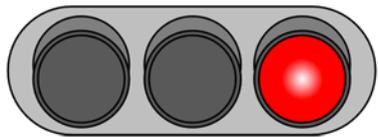
### 【解説】

#### (1) について

日常点検において、2.1 に示す 1) ～ 8) の異常が発見・報告された場合は、施設での事故の発生を未然に防ぐためにも、直ちに緊急的措置を講じなければならない。緊急的措置とは、構造物・部材の性能低下や附帯設備等の不具合等に伴う事故の発生を防ぐことを目的とした措置である。緊急的措置には、立入制限（全面立入禁止、関係者以外立入禁止など）、車両通行制限（車重制限、速度制限、車線制限など）、荷役制限（荷役作業禁止、係留制限、エプロン上の重量制限など）がある。緊急的措置の要否の判断の目安については図-2.2.1 を、講じる措置については表-2.2.1 を参考にすることができる。

#### (2) について

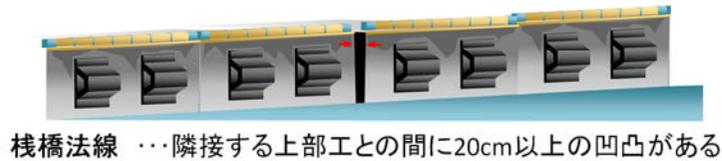
緊急的措置を講じる範囲は、施設全体とするか一部とするか、変状の発生規模や範囲に応じて適切に対応する。特に、部分的な車両通行制限や荷役制限（荷役作業禁止、係留制限、エプロン上の重量制限）などを実施する場合は、安全側の措置を講じる必要がある。このため、港湾施設設置者および港湾施設管理者で調整の上、専門的知識・技術等を有する者の意見を聴いて制限区域を設定するとよい。緊急的措置として、特に、部分的な車両通行制限や荷役制限を実施する場合の作業・連絡フローについては、2.4 に詳述する。



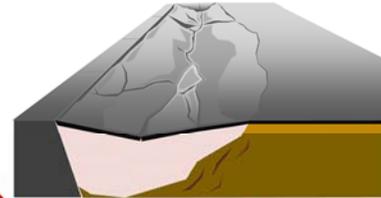
**危険！**

渡版…車両の通行や歩行に重大な支障がある／破損／消失

土留部…エプロンが陥没している／車両の通行や歩行に重大な支障がある



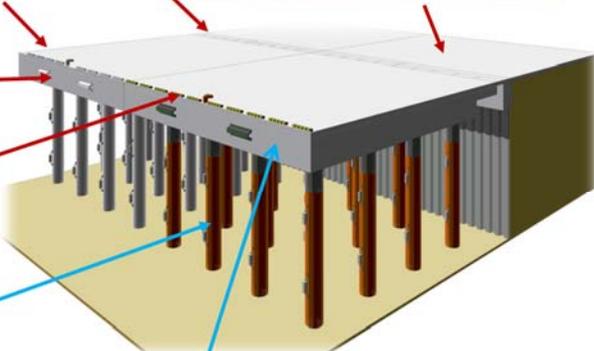
栈橋法線 …隣接する上部工との間に20cm以上の凹凸がある



防衝設備の永久変形・消失



車止めの消失



下部工…  
腐食による開孔や変形、  
その他著しい損傷がある



上部工…幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある  
網目状のひび割れが部材表面の50%程度以上ある  
かぶりの剥落がある  
錆汁が広範囲に発生している

図-2.2.1 栈橋の緊急的措置の要否の判断の目安の例

表-2.2.1 緊急的措置の要否の判断の目安と講じる措置の例

異常	判断の目安	講じる措置
1) 当初想定した利用状態から大きく変化している	当該施設の設計条件の範囲内であるか、利用申請から変更はないか等	利用状況の是正指示等
2) 栈橋法線に大きなずれがある	隣接する上部工との間に20cm以上の凹凸がある。	該当ブロックの利用制限（立入制限、車両通行制限、荷役制限）
3) 土留部のエプロン舗装に沈下、陥没がある	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エプロンに陥没がある。</li> <li>・車両の通行や歩行に重大な支障がある。</li> </ul>	該当箇所の利用制限。特に、立入制限、車両通行制限、移動式クレーンのアウトリガー設置など集中荷重の制限。
4) 船舶等の衝撃を受けた形跡あるいは報告がある	下部工や上部工の構造性能に支障を及ぼす変状が発生している、または発生している可能性がある。 ※図-2.2.1 の下部工および上部工を参照。ただし、下部工や上部工の変状を日常点検で確認するのは、難しい場合が多い。	該当ブロックの利用制限（立入制限、車両通行制限、荷役制限） 異常の発生箇所が特定できる場合は、該当箇所の利用制限（特に、立入禁止）
5) 異常な音や振動等がある		
6) 渡版に異常がある	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両の通行や歩行に重大な支障がある。</li> <li>・渡版に重大な破損がある。</li> <li>・渡版が消失している。</li> </ul>	該当箇所の利用制限（立入禁止）
7) 附帯設備に異常がある	<ul style="list-style-type: none"> <li>・附帯設備が使用できない状態である。</li> <li>・所定の機能を満たしていない。</li> </ul>	該当箇所の利用制限（立入制限、車両通行制限）
8) 利用上の支障について報告がある	（まずは、該当箇所について施設管理者が確認を行い、上記1)～7)の有無を判断する）	—

## 2.3 緊急的措置の実施手順

- 緊急的措置を講じるにあたっては、以下の手順で実施することを標準とする。
- ① 日常点検（目視およびヒアリング）の実施による変状の確認
  - ② 変状箇所周辺の広い範囲で緊急的措置を実施
  - ③ 詳細臨時点検診断の実施による変状の範囲の絞り込み
  - ④ 絞り込んだ変状範囲に対して緊急的措置を実施
  - ⑤ 安全な範囲での利用

### 【解説】

緊急的措置は、施設での事故の発生を未然に防ぐために講じる。このため、変状を発見した場合は、直ちに変状箇所周辺の広い範囲において立入制限、車両通行制限、荷役制限等を講じなければならない。ただし、変状の種類および発生範囲によっては、施設の利用状況を踏まえて、部分的な車両通行制限（車重制限）や荷役制限（荷役作業禁止、係留制限、エプロン上の重量制限）を実施してもよい。この場合、③詳細臨時点検診断の実施により、変状の影響範囲を詳細に絞り込み、④変状の影響範囲に対してのみ緊急的措置を実施することもできる。ただし、安全側の措置を講じる必要があるため、港湾施設設置者および港湾施設管理者で調整の上、専門的知識・技術等を有する者の意見を聴いて制限区域を設定する必要がある。緊急的措置の実施手順と連絡フローを、図-2.3.1に示す。

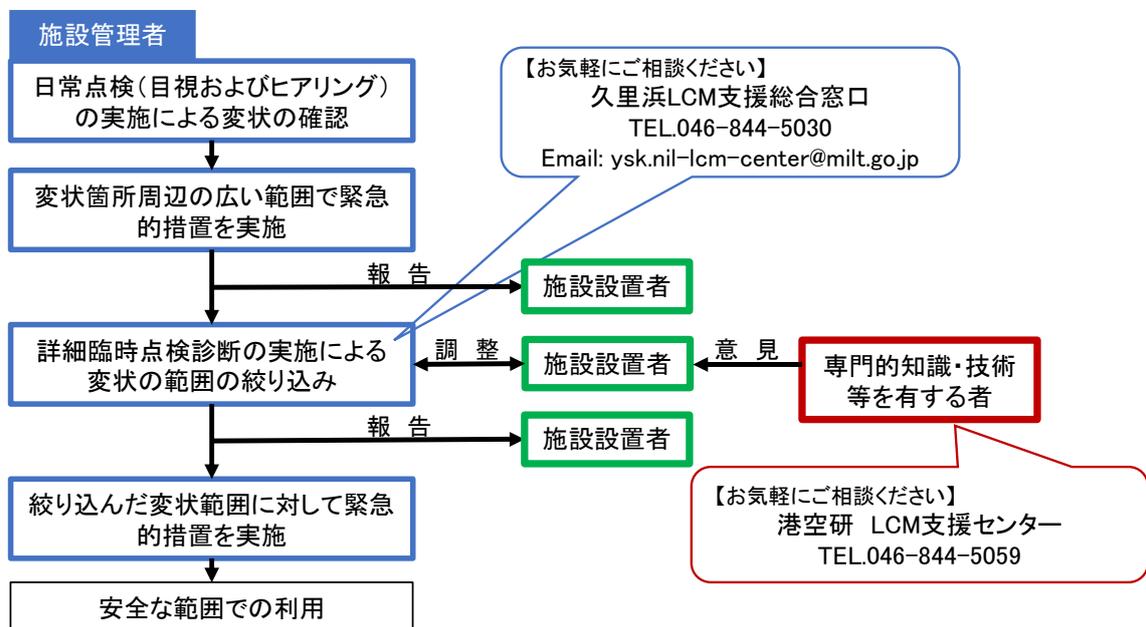


図-2.3.1 栈橋の緊急的措置の実施手順と連絡フローの例

## 2.4 緊急的措置の周知

緊急的措置を講じるにあたっては、当該施設の利用者にその内容と範囲を周知しなければならない。

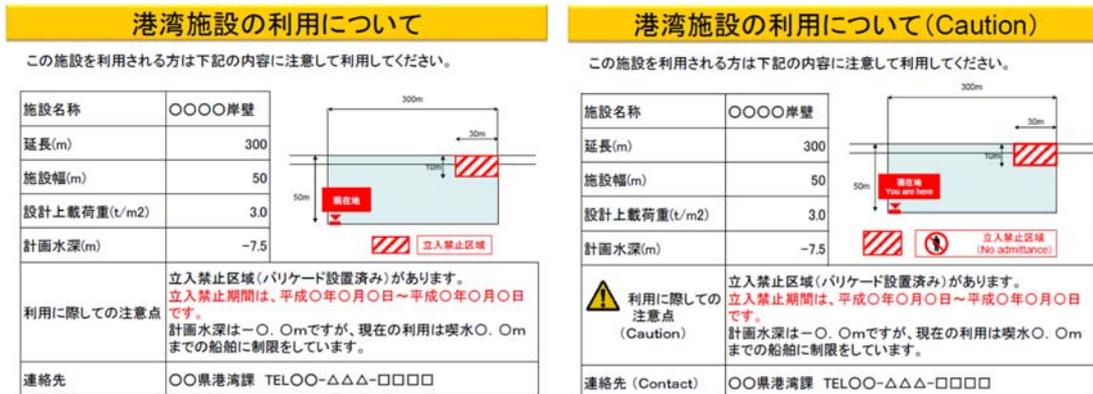
### 【解説】

緊急的措置を講じる際、利用者への周知方法として、主に、使用者申請時に周知する方法と案内標識により周知する方法がある。特に、案内標識により周知するにあたっては、**図-2.4.1**に示すように、具体的な制限内容や注意点などを分かりやすく明示することが望ましい。

設置場所については、荷役作業に支障がない場所で、利用者が見つけやすい場所に設置する。特に、重量制限を伴う制限区域を設定する場合には、「利用に際しての注意点」に重量を明示するとともに、**図中**にも示す。また、制限を行う期間についても明示する。

「連絡先」には、当該施設の状況を把握し指示ができる部署の連絡先を記載する。

外貨貨物を取り扱う施設については、必要に応じて外国語表記と、**図記号**を使用することが望ましい。



(外貨貨物を取り扱う場合)

図-2.4.1 標識イメージ

## 2.5 緊急的措置の解除

緊急的措置を講じた場合、応急的措置または計画的措置を講じることにより、当該施設の安全な利用が確保された段階で緊急的措置を解除することができる。

### 【解説】

緊急的措置を講じた場合には、応急的措置または経過観察措置、計画的措置を講じる必要がある（図-1.1 港湾施設の維持管理計画に基づく維持管理の基本的な流れを参照）。緊急的措置を講じた後は、当該施設の通常利用が可能となるまでに施設の性能を回復させた段階で、利用制限を解除することができる。応急的措置の要否の判断及びその内容については2.6に、経過観察措置および計画的措置の内容については第3章に示す。

## 2.6 応急的措置の要否判断

- (1) 現在、利用中の施設については、緊急的措置を講じた後に、適切な応急的措置を実施する。
- (2) 現在、未利用であるものの、将来利用が見込まれる場合や利用転換が予定されている施設については、応急的措置を講じる必要はないとして判断してよい。

### 【解説】

#### (1) について

応急的措置とは、例えば、舗装の修繕、エプロンの段差の解消など、短期的に施設の機能を維持することを目的とした措置である。部材の補修設計等を必要としないため、検討に要する期間は短期となるが、緊急的措置を講じた部材の抜本的な性能回復は見込めないことに留意する必要がある。

#### (2) について

現在、船舶・車両・人の出入りがなく施設の機能を維持する必要がない施設については、応急的措置を講じる必要はない。ただし、将来利用が見込まれる場合や利用転換が予定されている施設については、施設の将来の利用や利用転換が具体的に実施されるまでの間、経過観察措置を講じるものとする。経過観察措置には、日常点検の強化、次回の定期点検診断実施時期の見直し、点検診断項目の変更などがある。いずれかが必要とされた場合は、当該施設の点検診断計画を必ず変更する。いずれも必要でない場合は、点検診断計画に基づいた日常点検、定期点検診断を継続する。

## 2.7 臨時点検診断の実施

緊急的措置を講じた場合は、臨時点検診断を実施することを原則とする。

### 【解説】

緊急的措置を講じた施設については、その原因となった変状の発生と進行の有無を確認した上で必要な対策を取るために、臨時点検診断を行わなければならない。臨時点検診断の方法は、一般定期点検診断に準じて、目視により変状の有無の確認を行う（一般臨時点検診断）。また、緊急的措置を講じる要因となった変状の原因究明や、施設の性能への影響を定量的に把握するためには、詳細臨時点検診断を行わなければならない。一般臨時点検診断による劣化度判定および性能低下度の評価、総合評価は、一般定期点検診断に準じることから、第3章で述べる。

## 2.8 緊急的措置の回避に向けた変状の目安の設定

施設の利用上の安全性を確保するためには、日常点検で判断可能な変状の目安を設定することが望ましい。

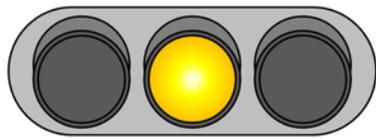
### 【解説】

構造部材の性能低下や附帯設備等の不具合に伴う事故の発生を防ぎ、通行禁止、車両通行の制限、荷役の制限などの利用制限を回避するためには、利用上の安全性に支障をきたす変状が発生する以前に、適切な対策を講じることが重要である。このため、日常点検において、点検の対象とする部材の変状および施設の利用状況等の目安を事前に定めておくことが望ましい。

表-2.8.1 に、緊急的措置の回避に向けた変状の目安の設定例を示す。日常点検において、点検対象が設定した目安（状態）に達していることが確認された場合は、その箇所に対する日常点検を強化したり、原因究明のための臨時点検診断の実施を検討するとよい。

表-2.8.1 緊急的措置の回避に向けた変状の目安の設定例

日常点検で着目すべき点	変状の目安
1) 当初想定した利用状態に大きな変化はないか	－（当初想定以上の利用状態は許容しない）
2) 栈橋法線に大きなずれはないか	隣接する上部工との間に 10～20cm 程度の凹凸がある。
3) 土留部のエプロン舗装に沈下、陥没はないか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目地に顕著な開きがある。</li> <li>・エプロンに 3cm 以上の段差がある。</li> <li>・エプロンと背後地の間に 30cm 以上の段差がある。</li> </ul>
4) 船舶等の衝撃を受けた形跡あるいは報告はないか	下部工・上部工の構造性能の低下に繋がる変状の進行を防ぐ観点から、 <b>図-2.8.1</b> に示す下部工と上部工の変状を参考にするとよい。 ※ただし、下部工や上部工の変状を日常点検で確認するのは、難しい場合が多い。 ※下部工特有の留意事項については 9) を参照のこと。
5) 異常な音や振動等はないか	
6) 渡版に異常はないか	渡版に損傷がある。
7) 附帯設備に異常はないか	附帯設備の一部が所定の機能を満たしていない。
8) 利用上の支障について報告はないか	－（報告があった場合は、速やかに該当箇所について施設管理者が確認を行う）
9) 下部工に被覆防食や電気防食等の防食対策がなされていない	下部工に適切な防食対策がなされていない場合、集中腐食の発生により、当初想定した腐食しろ以上に鋼材が減肉していることがある。このため、適切な防食対策を施していない構造物については、利用上の安全性のみならず構造上の安全性を確保するためにも、水中部の目視や鋼材肉厚計測を含む詳細点検診断を、可能な限り早期に、かつすべての鋼管杭に対して実施すべきである。また、あわせて、適切な防食対策の実施を検討すべきである。



# 注意

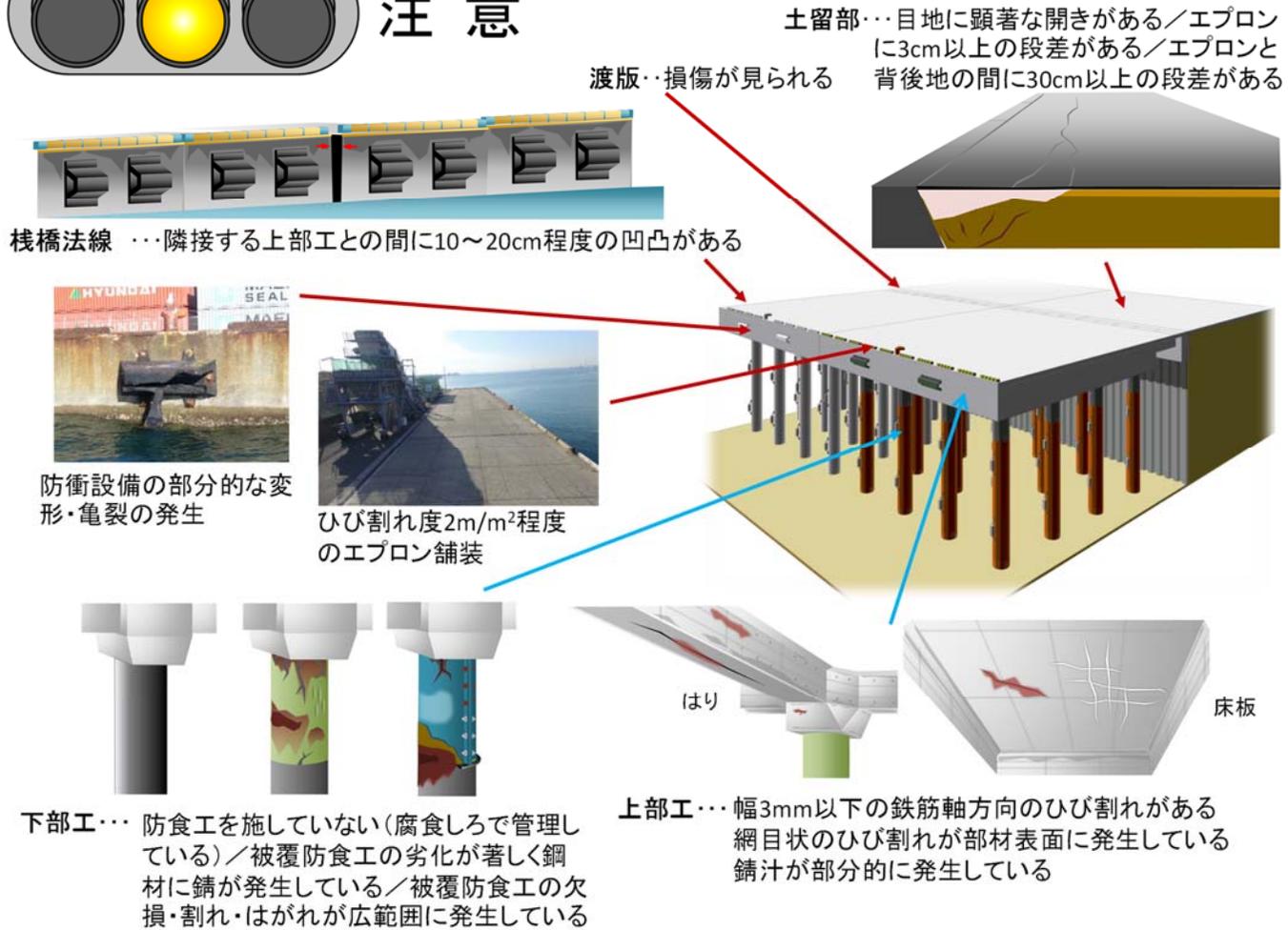


図-2.8.1 栈橋の緊急的措置の回避に向けた変状の目安の設定例

## 第3章 構造上の安全性の確保に向けた維持管理計画の留意点

### 3.1 維持管理計画の策定と本章の位置付け

- (1) 港湾の施設の維持管理計画は、**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン**で示される考え方に基づいて策定するものとする。
- (2) 本章では、**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン**の考え方に基づき、栈橋の構造上の安全性を確保するための、実行可能な維持管理計画の策定にあたっての基本的な考え方を示す。

#### 【解説】

#### (1)～(2)について

港湾の施設は、供用期間にわた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なければならない。**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン**は、維持管理計画の役割と意義、策定者、計画の基本構成等の標準を示しており、維持管理計画はこれに基づいて策定することが基本となる。

本章では、**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン**で示される基本的な考え方と維持管理計画書の構成にしたがって、栈橋の維持管理計画を策定する際の留意点について述べる。

実行可能な維持管理計画を策定するためには、特に、

- 1) 部材の維持管理レベルの設定
- 2) 維持管理レベルおよび実行可能な維持管理の方法に応じた維持管理限界の設定
- 3) 部材の状態に応じた適切な対策の選定

が重要となる。このため、1)～3)の基本的な考え方を示すとともに、これらを踏まえた維持管理計画の策定・修正時の配慮事項について概説する。

表-3.1.1 に本マニュアルと**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン**の該当項目との関係をまとめた。本マニュアルを利用して維持管理計画を策定あるいは修正するにあたって、本マニュアルに詳述されていない事項については、**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン**を参照するとよい。

表-3.1.1 本マニュアルと港湾の施設の維持管理計画策定ガイドラインの該当項目

本マニュアル	港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン の該当項目	
3.2 構成部材の維持管理レベルの設定 維持管理レベルの定義	3.3 維持管理計画書の概要 3.3.1 総論 6) 維持管理レベル ①部材の維持管理レベルの設定 表 3-3.2 部材の維持管理レベル	第1部 p.38～39
3.2 構成部材の維持管理レベルの設定 栈橋の構成部材に設定する維持管理レベル	3.3 維持管理計画書の概要 3.3.1 総論 6) 維持管理レベル ①部材の維持管理レベルの設定 表 3-3.3 予防保全型と事後保全型を適用する部材の設定の目安 直杭式横栈橋	第1部 p.40
3.3 構成部材の維持管理に関する方針 構成部材の劣化度	3.3 維持管理計画書の概要 3.3.1 総論 6) 維持管理レベル ②維持管理レベルに応じた維持管理の方針	第1部 p.42
3.3 構成部材の維持管理に関する方針 点検診断項目の分類	3.3 維持管理計画書の概要 3.3.2 点検診断計画 3)点検診断の項目とその分類	第1部 p.49
3.4 構成部材の維持管理限界の設定 3.5 維持管理限界と対応措置の関係 3.6 維持管理限界を踏まえた総合評価	3.3 維持管理計画書の概要 3.3.3 総合評価	第1部 p.54

### 3.2 構成部材の維持管理レベルの設定

栈橋の維持管理にあたっては、構成部材ごとの維持管理の基本方針として、維持管理レベルを設定するものとする。

#### 【解説】

港湾の施設では、設計時あるいは維持管理開始時に、構成部材ごとの維持管理の基本方針として、表-3.2.1 に示す維持管理レベルを設定することが基本とされている。維持管理レベルは、当該施設の設置目的、供用期間および要求性能を踏まえて、自然環境条件や利用条件といった当該施設を取り巻く諸条件、施設の構造形式やこれを構成する部材の構造特性等、使用材料の種類や品質等に加えて、点検診断及び維持工事等の難易度、当該施設の重要度等についても勘案しながら、当該施設全体としての維持管理のシナリオを描きつつ、施設を構成する部材ごとに適切に設定する。

栈橋の構成部材に設定する維持管理レベルを表-3.2.2 に示す。

表-3.2.1 維持管理レベルの定義\*

分類	損傷劣化に対する考え方
維持管理レベルⅠ (事前対策型)	高い水準の損傷劣化対策を予め行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に損傷劣化を留める。
維持管理レベルⅡ (予防保全型)	損傷劣化が軽微な段階で、比較的小規模な対策を繰り返し行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を予防する。
維持管理レベルⅢ (事後保全型)	要求性能が満たされる範囲内である程度の損傷劣化を許容し、設計供用期間に1～2回程度の大規模な対策を行うことにより、損傷劣化に事後的に対処する。

※港湾の施設の維持管理計画策定ガイドラインより

表-3.2.2 栈橋（直杭式横栈橋）の維持管理レベルの設定※

構成部材	維持管理レベル		設定の考え方
上部工	I	事前対策型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレストレストコンクリート製の場合</li> <li>・供用期間中に維持管理上の限界に達しないことが確認された場合</li> <li>・耐腐食性の高い鋼材を用いた場合</li> </ul>
	II	予防保全型	供用期間中に維持管理上の限界に達すると予測される場合
下部工（鋼管杭）	I	事前対策型	供用期間中に維持管理上の限界に達しないことが確認された場合
下部工（鋼管杭の被覆防食）	II	予防保全型	耐用年数が供用期間より短い工法を用いた場合
下部工（鋼管杭の電気防食）	I	事前対策型	耐用年数が供用期間より長い陽極を用いた場合
	II	予防保全型	供用期間中に陽極の交換が必要な場合
エプロン	III	事後保全型	（劣化予測は基本的には実施しない）
海底地盤	III	事後保全型	（劣化予測は基本的には実施しない）
渡版	III	事後保全型	（劣化予測は基本的には実施しない）
附帯設備	III	事後保全型	（劣化予測は基本的には実施しない）
土留護岸	—	—	構造形式に応じて構成部材毎に設定する。

※港湾の施設の維持管理計画策定ガイドラインより

### 3.3 構成部材の維持管理に関する方針

栈橋の構成部材の維持管理に関する方針は、構成部材の維持管理レベルに応じて、劣化度および性能低下度を指標として定めることができる。

**【解説】**

施設の点検診断の結果を踏まえて実施する総合評価においては、工学的知見・判断に基づく評価ならびに現場的・行政的判断に基づく評価を行い、施設の維持管理に関する方針を判断する。このためには、あらかじめ、構成部材の維持管理レベルを踏まえて、部材毎の変状の程度に応じた維持管理に関する方針の設定方法を定めておくことよい。

栈橋の構成部材の維持管理に関する方針は、表-3.3.1 のとおり、維持管理レベルⅠ～Ⅲに応じて、劣化度 a～d および点検診断項目ごとの性能低下度 A～D を目安として設定することができる。ただし、ここで示す維持管理に関する方針は、一般定期/臨時点検診断（目視調査）の結果のみから設定されるものであり、現場的・行政的判断に基づく評価については、個別の施設ごとに対応する必要があることに留意しなければならない。また、施設の維持管理に関する方針は、現場的・行政的判断に基づく評価のほか、詳細点検診断により把握される部材の変状等に対する定量的なデータや、これを用いた劣化予測の結果も踏まえて判断しなければならない。

なお、栈橋の点検診断の項目については本マニュアル【参考 1】を、性能低下度の評価の方法については本マニュアル【参考 2】を参考にするとよい。部材の劣化予測の方法については、本マニュアル 3.7 に述べる。

表-3.3.1 構成部材の維持管理レベルに応じた維持管理に関する方針

維持管理レベル	劣化度	点検診断項目毎の性能低下度	維持管理に関する方針
Ⅰ（事前対策型）	a	A	—
	b	B	緊急的措置ならびに応急的措置
	c	C	計画的措置
	d	D	経過観察措置
Ⅱ（予防保全型）	a	A	緊急的措置ならびに応急的措置
	b	B	計画的措置
	c	C	経過観察措置
	d	D	経過観察措置
Ⅲ（事後保全型）	a	—	緊急的措置ならびに応急的措置
	b	—	経過観察措置
	c	C	経過観察措置
	d	D	経過観察措置

### 3.4 構成部材の維持管理限界の設定

- (1) 栈橋の維持管理計画には、対策の要否判定の基準となる維持管理限界を構成部材ごとに定めるものとする。
- (2) 構成部材の維持管理限界は、以下を考慮して設定するものとする。
- ・維持管理レベル
  - ・採用することが可能な点検診断、評価、対策の方法
  - ・ライフサイクルコスト
- (3) 劣化度 a～d および点検診断項目ごとの性能低下度 A～D を、維持管理限界の指標として用いてもよい。

#### 【解説】

##### (1) について

維持管理限界は、施設が要求性能を満足するために、維持管理の実務上の管理目標として設定される管理指標の限界値である。このため、維持管理限界は、構造物の要求性能レベルに余裕しるを考慮した性能レベルと同等になるように設定することが原則となる。

構成部材ごとの維持管理限界をどのレベルに設定するかによって、維持管理計画は大きく異なるものとなる。特に、供用期間中の施設の維持補修の実施の意思決定の目安となることに留意して、維持管理限界を設定しなければならない。

##### (2) について

維持管理レベルは、構成部材の基本的な維持管理のシナリオを定めたものであることから、維持管理限界の設定にあたっての前提条件となる。

維持管理計画では、維持管理限界に達する時期を予測し、想定された変状の程度に応じて、補修等の対策を計画することになる。このため、構成部材の維持管理限界の設定にあたっては、どのような点検診断を行うか、点検診断結果を用いた性能評価の精度（定性的か定量的か）等に応じて、採用できる対策工法とその範囲が大きく変化することに留意しなければならない。

例として、栈橋 RC 上部工の塩害による劣化の進行と、一般的に適用される点検・調査手法の関係を図-3.4.1 に示す。例えば、目視調査では塩害による鋼材腐食が発生し、腐食ひび割れが生じた段階になってようやく劣化が進展していることに気付くため、鋼材腐食に対しては事後保全的な対策を講じざるを得ない。しかし、腐食ひび割れ発生以前にコア採取によるコンクリート中の塩化物イオン濃度調査を行うことができれば、鋼材腐食が発生していない段階で予防保全的な対策を講じることが可能となる。ただし、この場合、コンクリート表面には変状が生じていないことが前提となる（劣化度 d）。

一般に、変状が軽微な段階で補修等の対策を予防保全的に施す方が、対策の技術レベルは低く、対策工費も安価になる。このため、対象とする施設および構成部材の補修コストや、点検・調査・診断・維持・修繕・撤去・更新等に係るすべてのコスト、すなわちライフサイクルコストも考慮した上で、可能な限り効率的な維持管理が実施できるよう、維持管理限界

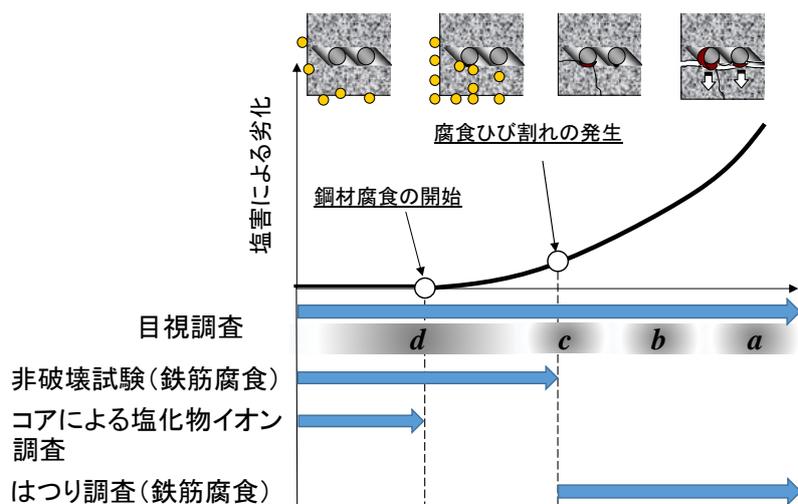


図-3.4.1 栈橋上部工の塩害による劣化の進行と適用される点検・調査手法の例

を設定することが望ましい。

### (3) について

栈橋の構成部材のうち、上部工および下部工は主要な構造部材である。これらの構造上の安全性を定量的に評価しようとする場合、上部工についてはコア採取によるコンクリート強度やはつりによる鉄筋断面積の把握が、下部工については鋼管杭の肉厚分布の把握が必要となる。しかし、これらを把握するためには機器等を用いた詳細点検診断の実施が必要であり、実務的には安全性の評価を精度よく行うための十分なデータを得ることが難しい場合が想定される。一方、目視調査による劣化度判定および性能低下度の評価は、全部材について3～5年に1回の実施が義務づけられている。このため、栈橋の維持管理限界の設定にあたっては、劣化度 a～d および点検診断項目ごとの性能低下度 A～D を、維持管理限界の指標として用いてもよいこととした。

栈橋の点検診断の項目については本マニュアル【参考 1】を参照するとよい。また、性能低下度の評価の方法については本マニュアル【参考 2】を参考にするとよい。

構成部材の維持管理レベルに応じた維持管理限界の設定を表-3.4.1 に示す。ハッチング内は維持管理限界を設定することができる期間であり、予防保全的な維持管理を実施したい場合は、より早い段階（安全側）に維持管理限界を設定することになる。なお、表-3.4.1 に、劣化度あるいは性能低下度に応じた対応措置を示したが、これについては本マニュアル 3.5 で詳述する。

目視調査の結果に加えて、詳細点検診断の結果や定量的な調査データに基づく劣化予測の結果を関連付けることで、部材の変状の進行をより細分化して維持管理限界を設定することが可能となる。栈橋の場合、RC 上部工のコア採取によるコンクリート中の塩化物イオン濃度調査、下部工（鋼管杭）の肉厚調査、下部工（電気防食）の陽極消耗量調査の結果を

維持管理限界とすることで、定量的かつ客観的な指標に基づいた対策時期の設定や工法の選定が可能となる。これについては、**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン 第1部 3.3.4 維持補修計画 (p.56)**を参照するとよい。

表-3.4.1 維持管理レベルに応じた維持管理限界の設定

維持管理レベルと 維持管理限界	劣化度	点検診断項目毎 の性能低下度	対応措置
I (事前対策型)  維持管理限界：c/C	a	A	維持管理限界に達している
	b	B	→緊急的措置ならびに応急的措置
	c	C	維持管理限界に達していない
	d	D	→計画的措置または経過観察措置
II (予防保全型)  維持管理限界：b/B	a	A	維持管理限界に達している
	b	B	→緊急的措置ならびに応急的措置
	c	C	維持管理限界に達していない
	d	D	→計画的措置または経過観察措置
III (事後保全型)  維持管理限界：b	a	—	維持管理限界に達している
	b	—	→緊急的措置ならびに応急的措置
	c	C	維持管理限界に達していない
	d	D	→計画的措置または経過観察措置

### 3.5 維持管理限界と対応措置の関係

- (1) 点検診断の結果、構成部材の変状が維持管理限界に達している場合は、緊急的措置並びに応急的措置を講じるものとする。
- (2) 点検診断の結果、構成部材の変状が維持管理限界に達していない場合は、計画的措置または経過観察措置を講じるものとする。

#### 【解説】

##### (1) について

緊急的措置は、構成部材の性能低下や附帯設備等の不具合に伴う事故の発生を防ぐことを目的として実施する。緊急的措置を講じた場合には、応急的措置または計画的措置を講じる必要があり、当該施設の通常利用が可能となるまで性能を回復させた段階で、利用制限を解除することができる。

応急的措置は、より詳細に施設の状態を把握するための臨時点検診断等や、短期的に施設の機能を維持することを目的として実施する。構造上の安全性に問題がある場合には、性能の回復または向上のための維持工事を計画しなければならない。

緊急的措置および応急的措置については、**第2章**を参照するとよい。

##### (2) について

計画的措置では、維持管理計画に基づいた維持工事等の実施を基本とする。ただし、現時点では構成部材の状態が維持管理限界に達していない場合であっても、点検診断結果を基に変状進行予測を行うとよい。維持管理計画に記載された維持工事の実施時期は、あくまでも当初の維持管理計画策定時に想定されたものであることから、定期の点検診断において部材の状態および変状の進行速度を確認し、その内容に応じて補修工事等の実施時期を修正するとよい。このとき、実際に補修工事等を実施する際には、構成部材の補修設計、施設の利用調整等のため、検討に長期を要することに配慮しなければならない。計画的措置における対策工法の検討方法については、本マニュアル**3.7**で詳述する。

経過観察措置は、追跡的に変状を把握することを目的とした措置である。経過観察措置とした場合でも、起こり得る変状に対応した点検診断項目が設定されているか、次回の点検診断実施時期は適切か、等について検討することが望ましい。点検診断項目や点検診断の実施時期の修正が必要とされた場合は、点検診断計画を変更する。いずれも必要でない場合は、点検診断計画に基づいた日常点検、定期点検診断を継続することとなる。

### 3.6 維持管理限界を踏まえた総合評価

- (1) 総合評価では、点検診断結果で得られた施設の変状に対する工学的知見・判断に基づく評価、および計画的かつ適切な維持工事等に向けた現場的・行政的判断に基づく評価を行うことを標準とする。
- (2) 工学的知見・判断に基づく評価では、各構成部材の維持管理限界を踏まえて、維持管理に関する方針をより予防保全的な観点から定めることができるよう配慮することが望ましい。

#### 【解説】

##### (1) および (2) について

総合評価では、施設の性能低下度を踏まえた工学的知見・判断に基づく評価、及び現場的・行政的判断に基づく評価を行い、施設の維持管理に関する方針を定める。工学的知見・判断に基づく評価では、各構成部材の維持管理限界を踏まえることで、特に維持管理レベル I および II の構成部材に対して予防保全型の対策を講じることが可能となる。

表-3.6.1 に維持管理限界を踏まえた総合評価の一例を示す。点検診断項目ごとの維持管理限界と性能低下度を比較することで、性能低下度に応じた対応措置が明確になり、より予防保全的な維持管理方針を定めることが可能となる。本事例で設定した栈橋の点検診断の項目については本マニュアル【参考 1】を、性能低下度の評価の方法については本マニュアル【参考 2】を参照すること。

維持管理に関する方針を定めるにあたっては、補修コストだけでなく、補修工事により施設の利用が停止することの影響も考慮することが重要である。変状の進行により大規模な補修工事を実施する場合、補修コストが増加するだけでなく、施設の利用を長期間中止して工事を実施しなければならない。この場合、工事期間中の代替施設の確保について関係機関との協議・調整が必要となり、工事の実施が困難になる場合も生じることが考えられる。

表-3.6.1 栈橋の総合評価の一例

部材等の名称	維持管理レベル	点検診断の項目、分類及び方法				2014		工学的知見・判断に基づく評価	現場的・行政的判断に基づく評価と維持管理の方針		
		点検診断の項目	点検診断項目の分類	点検方法	維持管理限界	点検診断の項目ごとの性能低下度	施設の性能低下度		現場的・行政的判断に基づく評価	実施時期	
附属設備 係船柱及び係船環 防衛設備 車止め はしご	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	本体の劣化、損傷、塗装のはがれ等の状態	Ⅲ類	目視(メジャー等による計測を含む、以下同じ) ・損傷、変形・塗装の状態	B	C	一部の係船柱に損傷が見受けられるが、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とする。	-
	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	本体の損傷、破損、取付金具の腐食等の状態	Ⅲ類	目視 ・ゴム部の損傷・取付金具の錆や腐	B	C	一部の防舷材に取付金具にゆるみが見受けられることから補修を要するが、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とするが、一部防舷材の取付金具が緩んでいることから補修を実施する。	2015
	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	本体の損傷、塗装、腐食	Ⅲ類	目視 ・損傷、変形・塗装の状態・腐食	B	C	一部の車止めに腐食が見受けられるが、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とするが、一部車止めが損傷していることから補修を実施する。	2015
	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	本体の損傷、塗装、腐食	Ⅲ類	目視 ・損傷、変形・塗装の状態・腐食(鋼製の場合)	B	D	はしごの変状は見受けられないことから、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とする。	-
栈橋全体 (栈橋法線)	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	凹凸、出入り 移動量、傾斜量、沈下量	Ⅰ類	目視 ・移動量・沈下量 移動距離測定 水準測量傾斜計による測量等	C	D	栈橋法線に変状は見られず、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とする。	-
エプロン	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	沈下、陥没	Ⅰ類	目視	C	D	一部のエプロンに若干のひび割れが見られるが、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とする。	-
			エプロン(通常の場合)	Ⅱ類	目視 ・コンクリート又はアスファルトの劣化、損傷	B	C				
栈橋上部工下面・側面 (RCの場合)	Ⅱ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input checked="" type="checkbox"/> 予防保全型 <input type="checkbox"/> 事後保全型	上部工(上・側面部)	Ⅱ類	目視 ・ひび割れ、剥離、損傷 ・鉄筋腐食・劣化の兆候等	B	C	鉄筋位置における塩化物イオン量は2024年(10年後)には限界濃度に達することが予測される。また、劣化予測より、補修時期は2022年(8年後)年後と予測される。性能低下度が維持管理限界に達しているため、緊急的措置並びに応急的措置を講じる。また、計画的措置として、栈橋上部工の補修の実施に向けた検討を別途行う。	<input checked="" type="checkbox"/> 緊急的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、緊急的措置並びに応急的措置を講じるとともに、補修検討を行うものとする。	-
			上部工(下面部)		目視 ・ひび割れの発生方向・ひび割れの本数、長さ ・かぶりの剥落状況・錆の発生状況 ・鉄筋の腐食状況	B	B				
			コンクリートの分析		鉄筋位置における塩化物イオン含有量測定(設計値)						
鋼管杭	Ⅰ	<input checked="" type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input type="checkbox"/> 事後保全型	鋼材の腐食、亀裂、損傷	Ⅰ類	目視 ・開孔の有無・表面の傷の状況 潜水調査 ・開孔の有無・表面の傷の状況	C	D	肉厚測定結果における腐食速度は、設計腐食速度(0.02mm/年)を下回っており、2026年(12年後)には必要肉厚を下回ることが予測される。したがって、次の詳細定期点検診断時に肉厚を測定し、残存耐力を確認する。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とする。	-
			肉厚測定		超音波厚み計	必要肉厚					
鋼管杭 (被覆防食工)	Ⅱ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input checked="" type="checkbox"/> 予防保全型 <input type="checkbox"/> 事後保全型	被覆防食工	Ⅱ類	目視 ・保護カバー・モルタルの劣化、損傷	B	B	一部のモルタル被覆において、モルタルが欠落し、鋼材表面に錆が発生していること、劣化予測より2019年(5年後)には補修が必要と予測される。性能低下度が維持管理限界に達しているため、緊急的措置並びに応急的措置を講じる。また、計画的措置により補修の検討を行うことが妥当と考えられる。	<input checked="" type="checkbox"/> 緊急的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、緊急的措置並びに応急的措置を講じるとともに、被覆防食の補修を計画する。	2019
			モルタル被覆		潜水調査 ・保護カバー・モルタルの劣化、損傷	B	C				
鋼管杭 (電気防食工)	Ⅱ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input checked="" type="checkbox"/> 予防保全型 <input type="checkbox"/> 事後保全型	電位測定	Ⅱ類	電位測定(電極ごとの防食管理電位) ・海水塩化銀-800mV	B	D	電気防食工に変状は見受けられないことから、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。ただし、陽極消耗量の測定結果における残存率は40%~70%、残存寿命は6.7~23.3年であり、耐用年数の前に交換する必要がある。維持管理限界に達する前に、陽極の交換を行うための維持補修計画を立案する。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 計画的措置 <input type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、陽極の交換を計画する。	2020
			電気防食工(流電陽極方式)		陽極	潜水調査 ・現存状況の確認(全数)	B				
海底地盤	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	洗掘、堆積	Ⅰ類	潜水調査 ・海底面の起伏	C	D	海底地盤の変状は見受けられないことから、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、次回の定期点検診断は行わないものとする。	-
渡版	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	本体の損傷、塗装	Ⅱ類	目視 ・傷、割れ・塗装の状態・移動	B	C	一部の渡版において損傷が見られるが、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とする。	-
土留部	Ⅰ	<input checked="" type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input type="checkbox"/> 事後保全型	側壁の劣化、損傷	Ⅰ類	目視 ・ひび割れ、剥離、損傷 ・鉄筋露出・劣化の兆候等	C	D	すべてのケーソンに変状は認められないことから、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とする。	-
			コンクリートの劣化、損傷		潜水調査 ・ひび割れ、剥離、損傷、欠損 ・鉄筋の露出・劣化の兆候等	C	D				
上部工	Ⅲ	<input type="checkbox"/> 事前対策型 <input type="checkbox"/> 予防保全型 <input checked="" type="checkbox"/> 事後保全型	上部工(鉄筋コンクリートの場合)	Ⅱ類	目視 ・ひび割れ、剥離、損傷 ・鉄筋腐食・劣化の兆候等	B	C	一部の上部工に3mm未満のひび割れ等の変状が認められるが、現時点では経過観察措置が妥当と考えられる。	<input type="checkbox"/> 緊急的措置 <input type="checkbox"/> 応急的措置 <input type="checkbox"/> 計画的措置 <input checked="" type="checkbox"/> 経過観察措置	工学的知見・判断に基づく評価を踏まえ、経過観察措置とする。	-

注) 港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン 第2部 作成事例 (p.24) をアレンジしたものである。あくまで事例であり、栈橋に対する標準的な内容を示すものではない。

### 3.7 計画的措置における対策工法の検討

計画的措置として補修工事等の実施を計画する場合、構成部材の特性や、点検診断で把握可能な変状とその特性、工事の難易度等を踏まえて、実行可能な対策工法およびその時期を検討しなければならない。

#### 【解説】

構成部材の対策工法の検討にあたっては、補修時にどの程度の性能を有するかを定量的に評価することが望ましい。ただし、定量的な性能評価が可能であるかどうかは、対象とする構造物あるいは部材に適用できる点検診断方法による。現状では、港湾構造物では、部材の劣化度あるいは性能低下度を指標として対策工法が選定されることが多い。

表-3.7.1 に、栈橋の構成部材別の代表的な対策工法の例を示す。維持管理計画では、性能低下度を補修実施の判断指標として、維持管理限界に達した時点あるいはそれ以前に、事後保全的あるいは予防保全的な対策の実施も視野に入れて、対策工法を選定することとなる。本マニュアルでは、付録 2 として、下部工および上部工の劣化度に応じた補修工法（案）を示しており、これを参考にすることができる。なお、上部工のコア採取によるコンクリート中の塩化物イオン濃度調査、下部工（鋼管杭）の肉厚調査、下部工（電気防食）の陽極消耗量調査の結果を利用することにより、定量的かつ客観的な指標に基づいた対策時期の設定や工法の選定が可能となる。これについては、**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン 第 1 部 3.3.4 維持補修計画 (p.56) および港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン 第 2 部 3.4.3 表 3-4.38 直杭式横栈橋における主な変状及び補修工法 (p.136)** を参照するとよい。

なお、本マニュアルでは、付録 4 として、劣化度 a、b、c、d を用いた劣化予測の方法を、付録 5 として、栈橋上部工から採取したコアによる塩化物イオン濃度調査から、鋼材の腐食開始時期を予測する方法を示した。適切な対策時期の設定にあたっては、これらの劣化予測手法を活用するとよい。

表-3.7.1 栈橋の構成部材の対策工法（例）

部材		対策工法
上部工		表面被覆工法、電気防食工法、断面修復工法、打替え
鋼管杭		被覆防食と電気防食の施工・維持 鉄筋コンクリートや鋼板を用いる補修工法
鋼管杭 （被覆 防食）	塗装	既設と同様の塗装工法
	超厚膜被覆	水中硬化型被覆（部分補修含む）
	水中硬化型被覆	超厚膜被覆
	重防食被覆 （ポリエチレン被覆）	スティック法、パッチ法（部分補修含む） 水中硬化形被覆（部分補修含む） ペトロラタム被覆
	重防食被覆 （ウレタンエラストマー被覆）	補修用ポリウレタンを用いる方法（部分補修含む） 水中硬化形被覆（部分補修含む） ペトロラタム被覆
	モルタル被覆	保護カバーの補修（部分補修含む） 水中硬化形被覆（部分補修含む） 当て板 現場積層（FRPカバーの場合）
	ペトロラタム被覆	保護カバーの補修（部分補修含む） ペトロラタム被覆 水中硬化形被覆（部分補修含む） モルタル被覆
鋼管杭（電気防食）		電気防食の施工・維持 （陽極取付部の補修、陽極の更新等）
渡版		渡版のローテーション、更新
附帯設備		防舷材のローテーション、附帯設備の更新

## 【参考 1】 棧橋の点検診断の項目

棧橋の構成部材の点検診断の項目を、**港湾の施設の点検診断ガイドライン**にしたがって設定すると、**表-参 1** のようになる。点検診断項目毎の劣化度 a～d の判定基準については、**港湾の施設の点検診断ガイドライン 第 2 部実施要領 第 4 章 直杭式横棧橋の点検診断** を参照すること。

### 点検診断項目の分類

#### I 類：【施設の性能（特に構造上の安全性）に直接的に影響を及ぼす部材に対する点検診断の項目】

施設全体の移動や沈下、上部工、本体工、基礎工あるいは消波工等の変状に対するもので、構造上直接的に施設の性能（特に、構造上の安全性）に影響を及ぼすものに対する点検診断の項目

#### II 類：【施設の性能に影響を及ぼす部材に対する点検診断の項目】

鋼部材の防食工等のように、その性能の低下により、直接的に直ちに施設の性能が低下するわけではないが、長期間その状態を放置すると施設の性能に影響を及ぼすものに対する点検診断の項目。

#### III 類：【附帯設備等に対する点検診断の項目】

防舷材、係船柱、船舶役務用施設等のように施設の利用に影響を及ぼすおそれのあるもの、あるいは、車止め、安全柵、はしご等のように損傷等を放置した場合に人命に関わる重大な事故や災害につながるおそれがあるものに対する点検診断の項目。

表-参 1 構成部材の維持管理レベルと点検診断の項目

構成部材	維持管理レベル	点検診断の項目	点検診断項目の分類
上部工（P C）	I	上部工（下面部）の劣化損傷	I 類
上部工（R C）	II	上部工（下面部、上・側面部）の劣化損傷	II 類
上部工および下部工	I *	岸壁法線の凹凸	I 類
下部工（鋼管杭）	I	鋼管杭の腐食、亀裂、損傷	I 類
下部工（被覆防食）	II	被覆の劣化	II 類
下部工（電気防食）	I・II	防食管理電位	II 類
エプロン（棧橋部）	III	劣化、損傷、段差、わだち掘れ、ひび割れ	II 類
海底地盤	III	洗掘、堆積	I 類
渡版	III	損傷、劣化	II 類
附帯設備	III	損傷、変形、破損など	III 類
エプロン（土留部）	III	沈下、陥没	I 類
土留護岸**	—	—	—

\*下部工（鋼管杭）の設定レベルを踏まえて、維持管理レベル I としている。

\*\*土留護岸については、工構造形式に応じた構成部材ごとの維持管理レベルにしたがって、点検診断項目を設定しなければならない。

## 【参考 2】 棧橋の性能低下度の評価の方法（案）

性能低下度の評価の方法は、**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン**より、**表-参 2.1** によることができる。ただし、性能低下度の評価は、点検診断の項目ごとの劣化度（a、b、c、d）の判定結果の多寡のみで機械的に評価するのではなく、施設の性能に及ぼす影響等を総合的に検討した上で評価すべきであることに留意する。

表-参 2.1 性能低下度の評価方法\*

点検診断の項目の分類	点検診断の項目ごとの性能低下度				性能低下度
	A	B	C	D	
I 類	「a が 1 個から数個」の点検診断の項目があり、施設の性能が相当低下している状態	「a または b が 1 個から数個」の点検診断の項目があり、施設の性能が低下している状態	A、B、D 以外	すべて d	点検診断の項目ごとに評価された性能低下度のうち、最も厳しく判定されたもの
II 類	「a が多数または a+b がほとんど」の点検診断の項目があり、施設の性能が相当低下している状態	「a が数個または a+b が多数」の点検診断の項目があり、施設の性能が低下している状態	A、B、D 以外	すべて d	
III 類	—	—	D 以外	すべて d	

注) 「多数」とは概ね 5 割、「ほとんど」とは概ね 8 割と考えてよい。

※**港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン**より

性能低下度の評価方法の流れは以下のとおりである。

**Step 1** : 点検診断の項目ごとに劣化度（a、b、c、d）の判定

劣化度を判定する単位ごとに、点検診断の項目ごとの劣化度を判定する。

**Step 2** : 点検診断の項目ごとの性能低下度（A、B、C、D）の評価

点検診断の項目ごとの性能低下度は、**表-参 2.1** を参考にして評価を行う。

**Step 3** : 性能低下度（A、B、C、D）の評価

**Step 2** で求めた点検診断の項目ごとに評価された性能低下度のうち、最も厳しく判定されたものを性能低下度とする。

このとき、どの点検診断項目により性能低下度が評価されたか、分かるよう記載しておくとよい。

例えば、**表-参 2.2** に示す棧橋の性能低下度は、エプロン（棧橋部）および附帯設備より性能低下度 B と導出されるが、このとき【B-Ⅱ】と表記するとよい。これにより、施設の性能低下度を一覧表形式で取りまとめた場合、構造上の安全性に問題がある施設を容易に認識することができる。

施設の性能低下度の一覧表の例を、**表-参 2.3** に示す。

表-参 2.2 栈橋の性能低下度の評価の一例

点検診断の項目		点検診断項目の分類	劣化度判定 (BL 毎)					合計				点検診断項目毎の性能低下度	性能低下度
			1	2	3	4	5	a	b	c	d		
上部工 (RC)	上部工 (下面部、上・側面部) の劣化損傷	Ⅱ類	c	c	c	c	c	0	0	5	0	C	B-Ⅱ
上部工および下部工	岸壁法線の凹凸	Ⅰ類	d	d	d	d	d	0	0	0	5	D	
下部工 (鋼管杭)	鋼管杭の腐食、亀裂、損傷	Ⅰ類	d	d	d	d	d	0	0	0	5	D	
下部工 (被覆防食)	被覆の劣化	Ⅱ類	d	d	d	d	d	0	0	0	5	D	
下部工 (電気防食)	防食管理電位	Ⅱ類	d	d	d	d	d	0	0	0	5	D	
エプロン (栈橋部)	劣化、損傷、段差、ひび割れ	Ⅱ類	c	b	b	b	b	0	4	1	0	B	
渡版	損傷、劣化	Ⅱ類	c	c	c	c	c	0	0	5	0	C	
附帯設備	損傷、変形、破損など	Ⅲ類	c	b	b	b	b	0	4	1	0	C	
エプロン (土留部)	沈下、陥没	Ⅰ類	c	c	c	c	c	0	0	5	0	C	
海底地盤	洗掘、堆積	Ⅰ類	c	c	c	c	c	0	0	5	0	C	

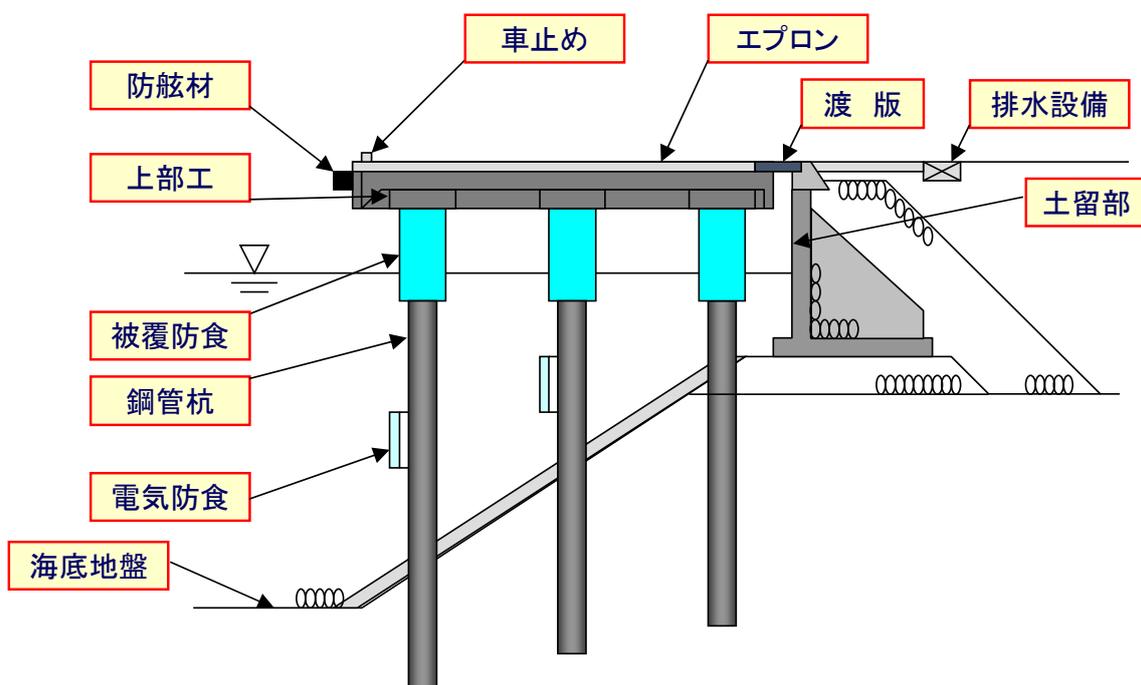
表-参 2.3 施設の性能低下度の一覧表の例

施設名	構造形式	水深 (m)	延長 (m)	経過年数	性能低下度	評価年	(解説)
A 地区 O 岸壁	栈橋	7.5	130	33	A-Ⅱ	2017	ある港の A 地区・B 地区の性能低下度を一覧に整理した。 ・A 地区 O 岸壁 ・A 地区 Q 岸壁 ・B 地区 R 岸壁 において性能低下度 A と評価されたが、性能低下度の導出の根拠となった点検診断項目の分類より、 <u>B 地区 R 岸壁の構造上の安全性が低下していることが分かる。</u>
A 地区 P 岸壁	栈橋	10.0	185	26	B-Ⅱ	2016	
A 地区 Q 岸壁	栈橋	10.0	370	31	A-Ⅱ	2013	
B 地区 R 岸壁	栈橋	12.0	240	45	A-Ⅰ	2013	
B 地区 S 岸壁	栈橋	14.0	330	15	B-Ⅰ	2014	
B 地区 T 岸壁	栈橋	7.5	130	42	B-Ⅱ	2015	

## 付録 1 棧橋の点検診断項目と劣化度判定基準

港湾の施設の点検診断ガイドライン 添付資料 点検診断様式 (p.添 18~20) に示される直杭式横棧橋の一般定期点検診断様式 (点検診断の項目及び劣化度の判定基準) を付表-1.1~1.3 に示す。

また、棧橋法線、鋼管杭 (腐食、塗装、ペトロラタム被覆)、RC 上部工 (梁下面・側面、床版、ハンチ)、土留部エプロン (沈下) について、劣化度 a、b、c を判定する際の着目点を付図-1.1~1.7 に示す。



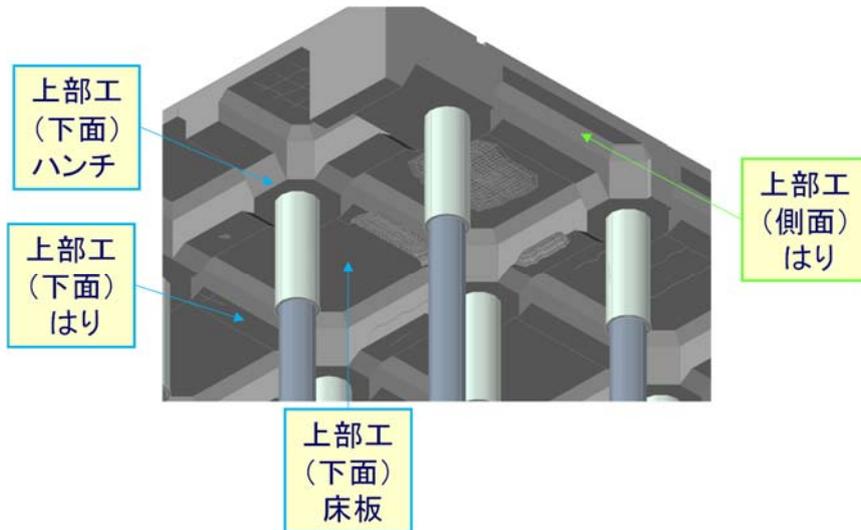
付図-1.0 直杭式横棧橋の構造 (例)

付表-1.1 直杭式横棧橋の一般定期点検診断様式 1/3

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準
直杭式横棧橋	I類	橋脚法線	凹凸、出入り	目視 ・移動量・沈下量	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。
直杭式横棧橋	I類	エプロン	沈下、陥没	目視	<input type="checkbox"/> 土留部背後の土砂が流出している。 a <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 <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 <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 <input type="checkbox"/> 変状なし。
直杭式横棧橋	I類	上部工(下面部)(PCの場合)	コンクリートの劣化、損傷	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 <input type="checkbox"/> ---- c <input type="checkbox"/> ---- d <input type="checkbox"/> 変状なし。
直杭式横棧橋	I類	鋼管杭	鋼材の腐食、亀裂、損傷	目視 ・開孔の有無 ・表面の傷の状況	a <input type="checkbox"/> 腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある。 b <input type="checkbox"/> ---- c <input type="checkbox"/> ---- d <input type="checkbox"/> 腐食による開孔や変形はない。
直杭式横棧橋	I類	土留部		目視(土留部の形式に従って適切に行う)	a <input type="checkbox"/> b 土留部の構造形式に従って、ケーソン式係船岸又は矢板式係船岸の点検診断様式を準用する。 c <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>
直杭式横棧橋	II類	エプロン(通常の場合)	コンクリート又はアスファルトの劣化、損傷	目視 ・コンクリート又はアスファルトのひび割れ、損傷	<input type="checkbox"/> コンクリート舗装でひび割れ度が2m/m <sup>2</sup> 以上である。 a <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 <sup>2</sup> 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。
直杭式横棧橋	II類	エプロン(コンテナターミナル等利用制限が厳しい場合)	舗装等の段差、わだち掘れ、ひび割れ	目視 段差、凹凸、わだち掘れ	<input type="checkbox"/> 車両走行に危険な段差、陥没、わだち掘れ、ひび割れ等がある。 a <input type="checkbox"/> 15mm以上の段差がある。 <input type="checkbox"/> 10mm以上のわだち掘れがある。 <input type="checkbox"/> 幅3mm以上のひび割れがある。 b <input type="checkbox"/> 10～15mmの段差がある。 <input type="checkbox"/> 幅3mm未満のひび割れがある。 c <input type="checkbox"/> 10mm未満の段差がある。 <input type="checkbox"/> 10mm未満のわだち掘れがある。 <input type="checkbox"/> 微小なひび割れがある。 d <input type="checkbox"/> 変状なし。

付表-1.2 直杭式横棧橋の一般定期点検診断様式 2/3

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準
直杭式横棧橋	I類	上部工 (下面部) (PCの場合)	コンクリートの劣化、損傷	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 <input type="checkbox"/> ー ー ー
					c <input type="checkbox"/> ー ー ー
	II類	上部工 (下面部) (RCの場合)	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数、長さど幅 ・かぶりの剥落状況 ・錆汁の発生状況 ・鉄筋の腐食状況	d <input type="checkbox"/> 変状なし。
					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"/> 一方向のひび割れ若しくは帯状又は線状のゲル吐出析出物がある。 <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。
					a <input type="checkbox"/> 係船岸の性能を損なうような損傷がある。
II類	上部工 (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	b <input type="checkbox"/> 幅3mm以上のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 広範囲に亘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。	

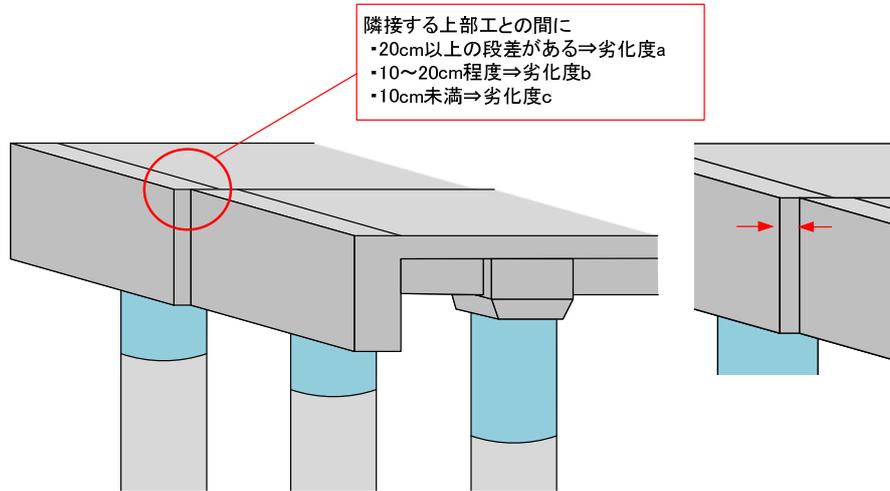


付表-1.3 直杭式横棧橋の一般定期点検診断様式 3/3

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準				
直杭式横棧橋	Ⅱ類	鋼管杭	被覆防食工	塗装	目視 ・錆やふくれ ・塗膜のはがれ	<input type="checkbox"/> 広範囲に錆やふくれが認められる。 a <input type="checkbox"/> 錆を伴うはがれや割れが広範囲に発生している。 <input type="checkbox"/> 欠陥面積率が10%以上である。 b <input type="checkbox"/> 大きな錆やふくれがある。 <input type="checkbox"/> 錆を伴うはがれが広い範囲に発生している。 <input type="checkbox"/> 欠陥面積率が0.3%以上10%未満である。 c <input type="checkbox"/> 錆やふくれが点在している。 <input type="checkbox"/> 塗膜のはがれや割れが点在している。 <input type="checkbox"/> 欠陥面積率が0.03%以上0.3%未満である。 d <input type="checkbox"/> 初期状態とほとんど変化なく、健全な状態である。 <input type="checkbox"/> 欠陥面積率が0.03%未満である。			
					重防食被覆	目視 ・被覆の劣化	a <input type="checkbox"/> 重防食被覆の劣化が著しく、鋼材が腐食している状態。 b <input type="checkbox"/> 一部に鋼材まで達する被覆の劣化が生じ、鋼材の腐食が認められる。 c <input type="checkbox"/> 鋼材まで達しない被覆の損傷が多く見られる。 d <input type="checkbox"/> 変状なし。		
						超厚膜形被覆	目視 ・被覆の劣化	a <input type="checkbox"/> 超厚膜形被覆の劣化が著しく、鋼材が腐食している状態。 b <input type="checkbox"/> 一部に鋼材まで達する被覆の劣化が生じ、鋼材の腐食が認められる。 c <input type="checkbox"/> 鋼材まで達しない被覆の損傷が多く見られる。 d <input type="checkbox"/> 変状なし。	
					耐食性金属被覆		目視 ・被覆の劣化	a <input type="checkbox"/> 耐食性金属被覆の損傷が著しく、鋼材が腐食している状態。 b <input type="checkbox"/> 一部に鋼材まで達する被覆の損傷が生じ、鋼材の腐食が認められる。 c <input type="checkbox"/> 鋼材まで達しない被覆の損傷が多く見られる。 d <input type="checkbox"/> 変状なし。	
				水中硬化形被覆		目視 ・被覆の劣化	a <input type="checkbox"/> 水中硬化形被覆の劣化が著しく、鋼材が腐食している状態。 b <input type="checkbox"/> 一部に鋼材まで達する被覆の劣化が生じ、鋼材の腐食が認められる。 c <input type="checkbox"/> 鋼材まで達しない被覆の損傷が多く見られる。 d <input type="checkbox"/> 変状なし。		
					ペトラタム被覆	目視 ・保護カバー ・ボルト、ナット	a <input type="checkbox"/> 保護カバーが脱落し、ペトラタム系防食材が露出または脱落し、鋼材表面に錆が出ている。 b <input type="checkbox"/> 保護カバーや当て板に亀裂がある。 <input type="checkbox"/> ボルト、ナット、バンド材に腐食が見られる。 <input type="checkbox"/> 保護カバーが変色または白亜化している。 <input type="checkbox"/> 保護カバーの表面に微細なクラックが見られる。 c <input type="checkbox"/> ボルト、ナット、バンド材等にゆるみがある。 <input type="checkbox"/> 端部シールの部分的剥離が見られる。 d <input type="checkbox"/> 変状なし。		
				モルタル被覆		目視 ・保護カバー ・モルタルの劣化、損傷	a <input type="checkbox"/> 保護カバーが広い範囲で脱落している。 <input type="checkbox"/> モルタル表面に、錆汁が認められる。 <input type="checkbox"/> モルタルが欠落し、鋼材表面に錆が発生している。 <input type="checkbox"/> (カバー材およびモルタル層を除去したとき)、鋼材の肉厚の減少が確認される。 b <input type="checkbox"/> 保護カバーや取付け材にひび割れが見られ、一部に保護カバーの剥がれが見られる。 <input type="checkbox"/> 軽微な錆汁は見られるが、錆の流れ出しはない。 <input type="checkbox"/> (カバー材を除去したとき)モルタルに多数のひび割れが発生し、錆汁が見られる。 <input type="checkbox"/> 保護カバーに変色や白亜化等が見られる。 c <input type="checkbox"/> 表面にクラックが認められるが、その範囲は1%以下である。 <input type="checkbox"/> ボルト、ナット、バンド材等の保護カバー取付け材に緩み等がある。 d <input type="checkbox"/> 変状なし。		
					対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準
				直杭式横棧橋	Ⅱ類	鋼管杭	電気防食工	電位測定(電極ごとの防食管理電位) ・飽和甘こう-800mV ・海水塩化銀-800mV ・飽和硫酸銅-850mV	a <input type="checkbox"/> 防食管理電位が維持されていない。 b --- c --- d <input type="checkbox"/> 防食管理電位が維持されている。
				対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準	
直杭式横棧橋	Ⅱ類	渡版	本体の損傷、塗装	目視 ・傷、割れ ・塗装の状態 ・移動	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"/> 損傷が見られる。 c <input type="checkbox"/> 軽微な損傷が見られる。 d <input type="checkbox"/> 変状なし。				

### 栈橋法線

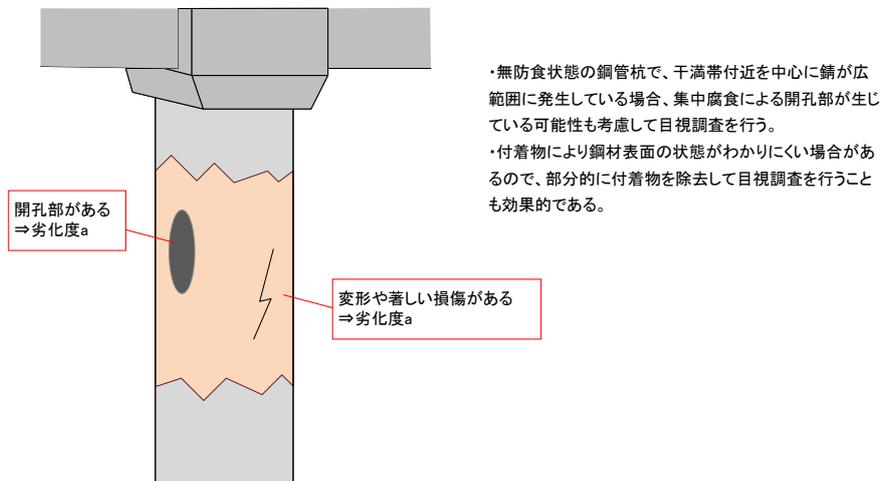
目視により凹凸・出入りの有無を確認し、変状が生じている場合は実際に移動量を計測し劣化度を判定する。



付図-1.1 栈橋法線の劣化度判定の着目点

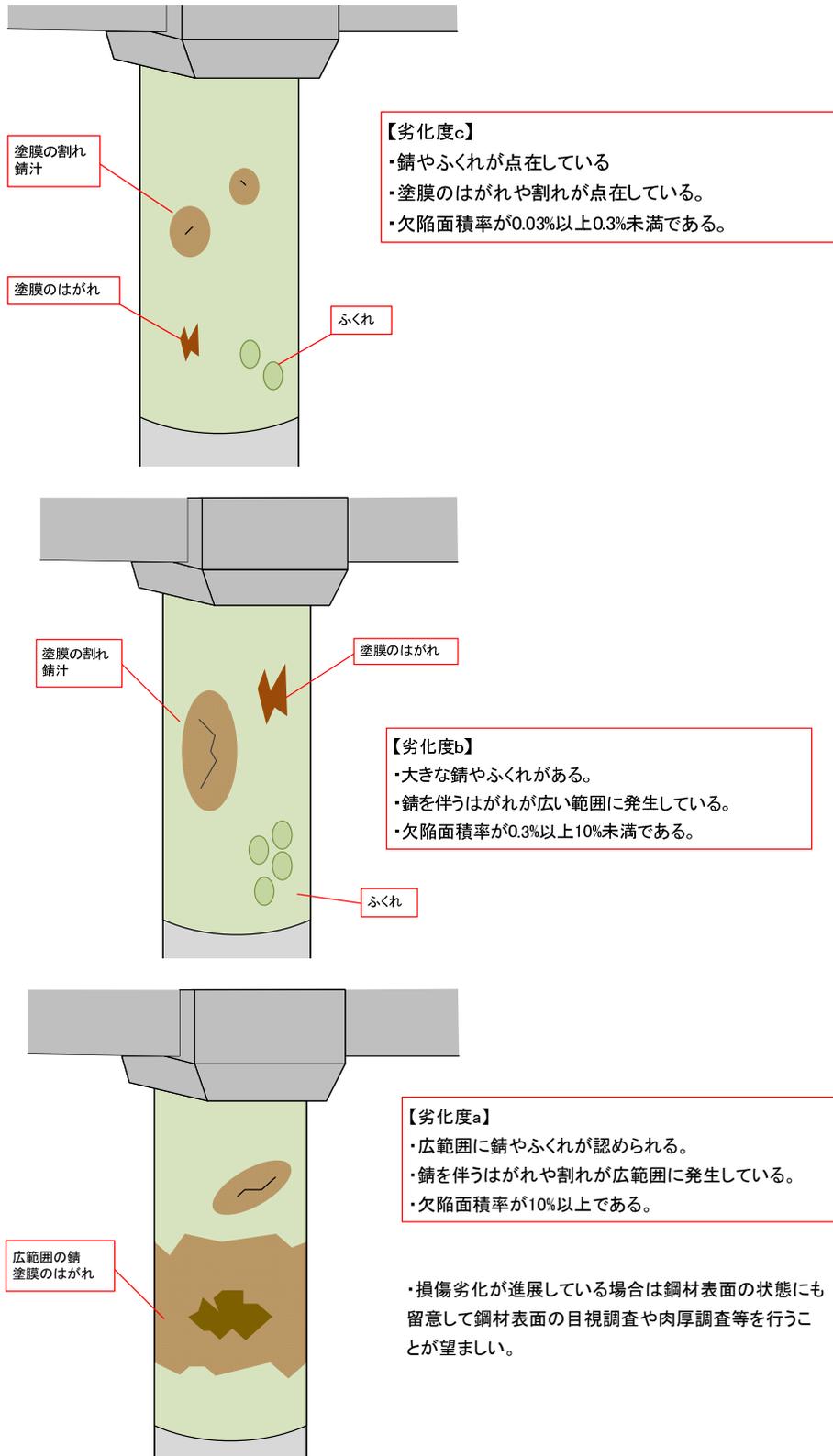
### 鋼管杭（腐食）

孔開きの有無及び海水面上の鋼材の腐食、損傷等に着目して目視調査を行う。



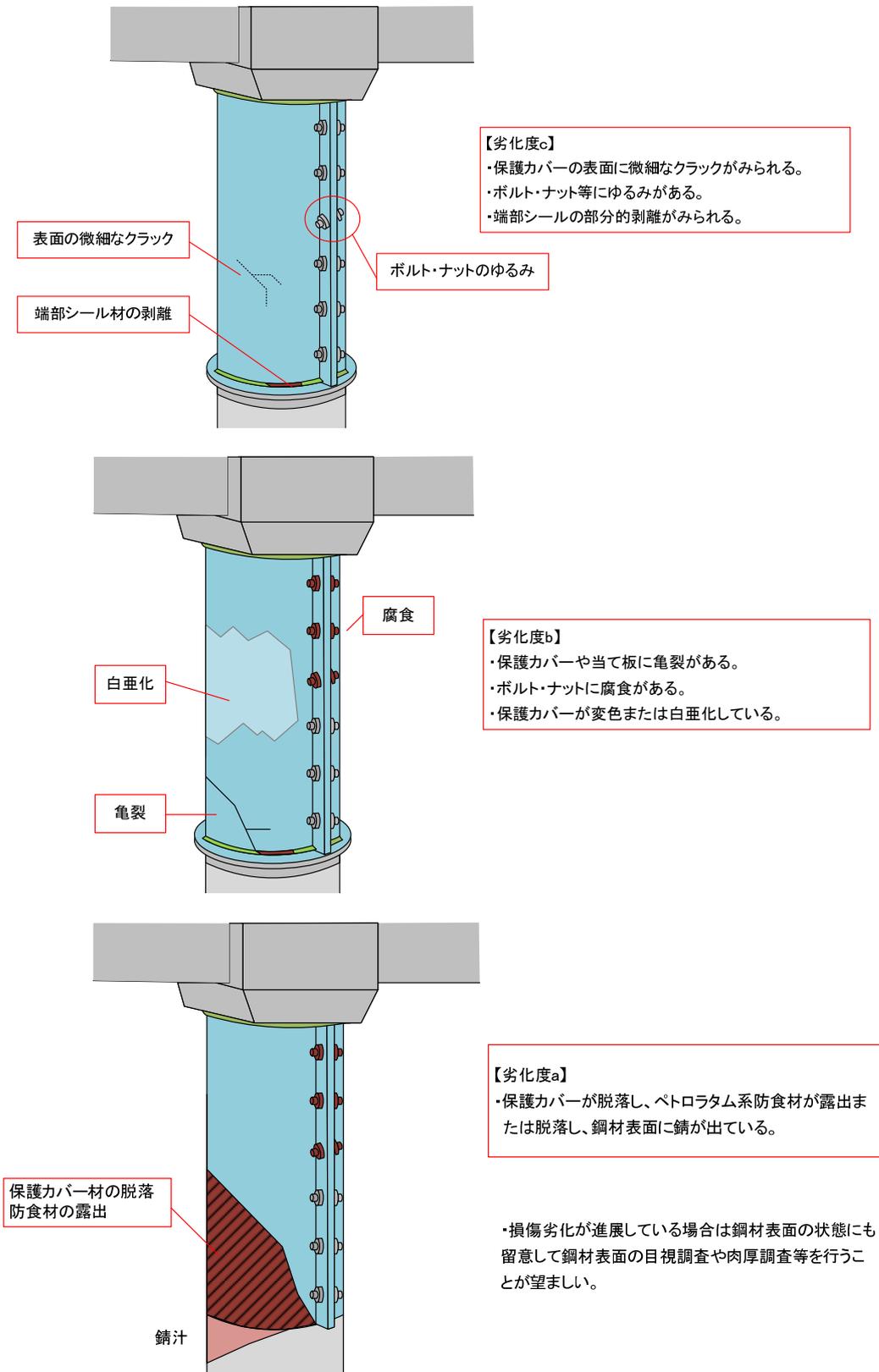
付図-1.2 鋼管杭の劣化度判定の着目点

鋼管杭（被覆防食工：塗装）



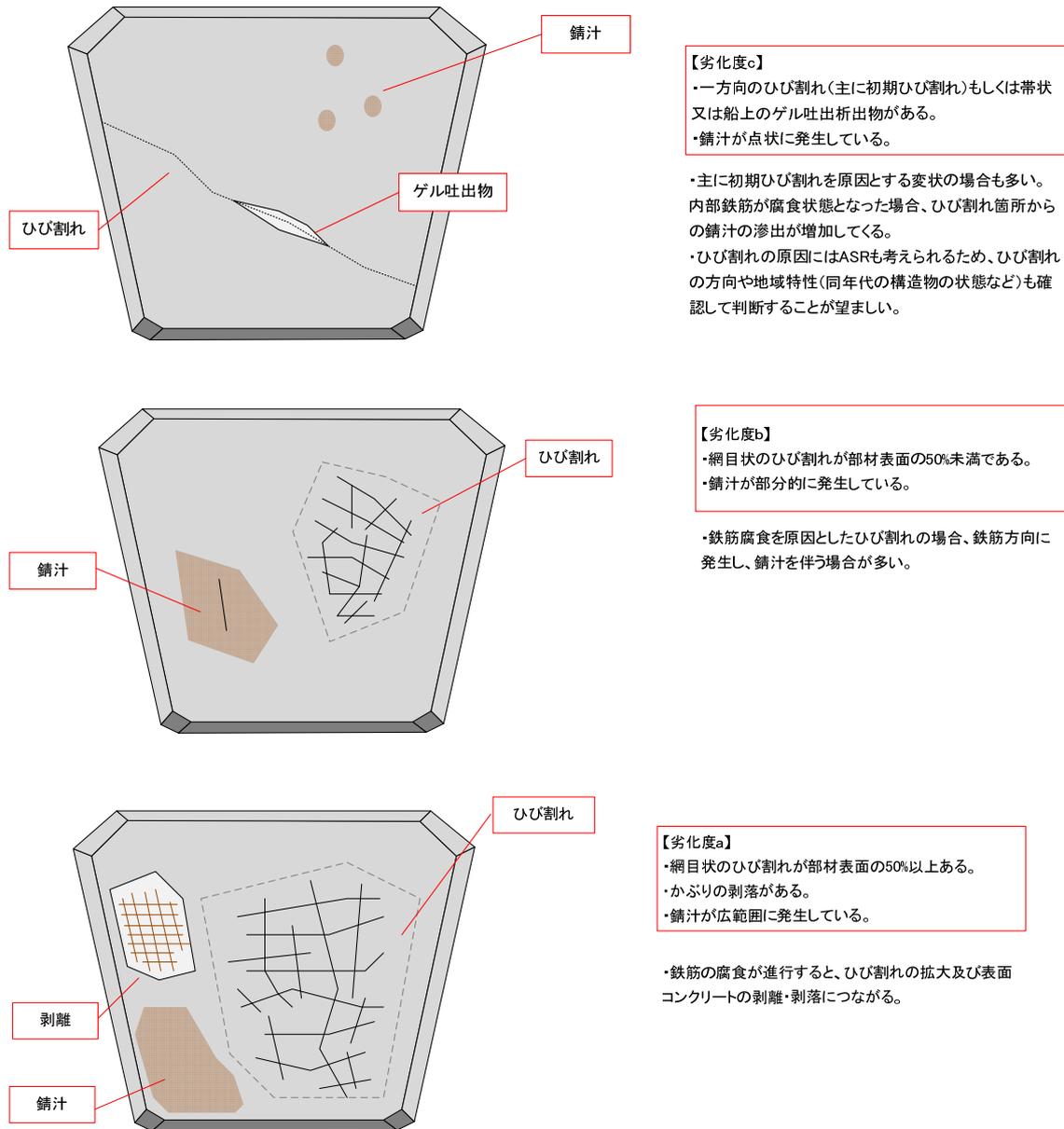
付図-1.3 鋼管杭（塗装）の劣化度判定の着目点

## 鋼管杭（被覆防食工：ペトロラタム被覆）



付図-1.4 鋼管杭（ペトロラタム被覆）の劣化度判定の着目点

## RC 上部工 (床版)



**【劣化度c】**  
 ・一方向のひび割れ(主に初期ひび割れ)もしくは帯状又は船上のゲル吐出析出物がある。  
 ・錆汁が点状に発生している。

・主に初期ひび割れを原因とする変状の場合も多い。内部鉄筋が腐食状態となった場合、ひび割れ箇所からの錆汁の滲出が増加してくる。  
 ・ひび割れの原因にはASRも考えられるため、ひび割れの方向や地域特性(同年代の構造物の状態など)も確認して判断することが望ましい。

**【劣化度b】**  
 ・網目状のひび割れが部材表面の50%未満である。  
 ・錆汁が部分的に発生している。

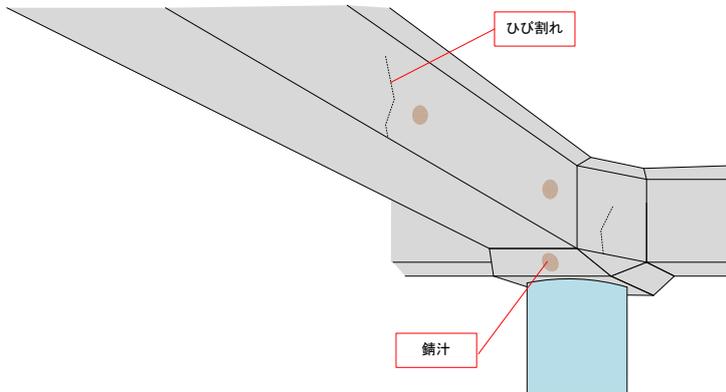
・鉄筋腐食を原因としたひび割れの場合、鉄筋方向に発生し、錆汁を伴う場合が多い。

**【劣化度a】**  
 ・網目状のひび割れが部材表面の50%以上ある。  
 ・かぶりの剥落がある。  
 ・錆汁が広範囲に発生している。

・鉄筋の腐食が進行すると、ひび割れの拡大及び表面コンクリートの剥離・剥落につながる。

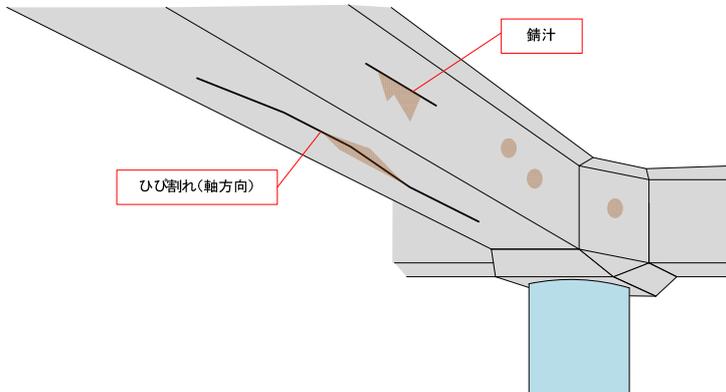
付図-1.5 RC 上部工 (床版) の劣化度判定の着目点

## RC 上部工（梁下面・側面、ハンチ）



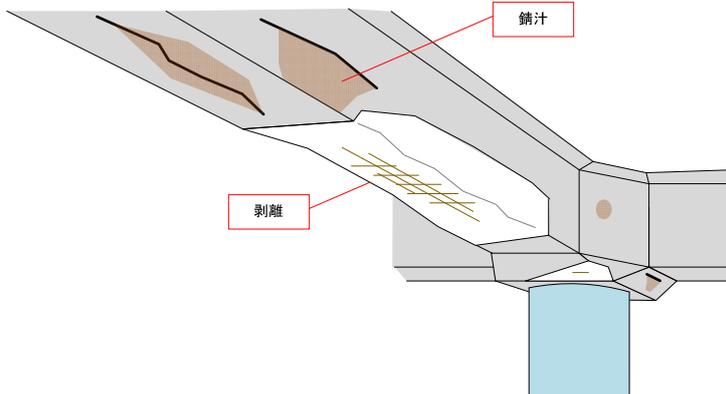
【劣化度c】  
 ・軸と直角な方向のひび割れのみがある。  
 ・錆汁が点状に存在している。

・主に初期ひび割れを原因とする変状の場合も多い。  
 内部鉄筋が腐食状態となった場合、ひび割れ箇所からの錆汁の滲出が増加してくる。  
 ・軸方向でないひび割れの原因にはASRも考えられるため、ひび割れの方向や地域特性（同年代の構造物の状態など）も確認して判断することが望ましい。



【劣化度b】  
 ・幅3mm未満の鉄筋軸方向のひび割れがある。  
 ・錆汁が部分的に発生している。

・鉄筋腐食を原因としたひび割れの場合、軸方向に発生し、錆汁を伴う場合が多い。

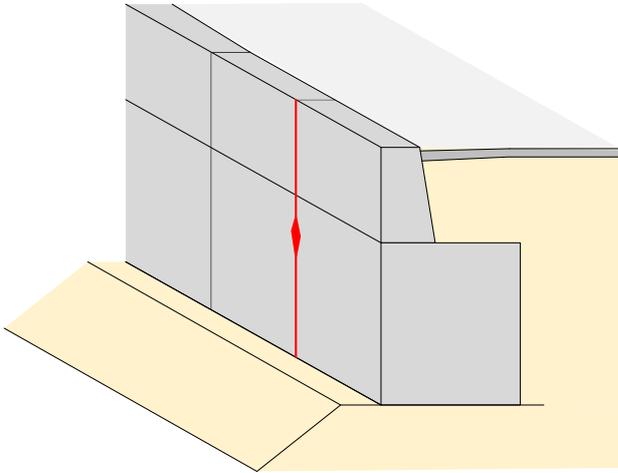


【劣化度a】  
 ・幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある。  
 ・かぶりの剥落がある。  
 ・錆汁が広範囲に発生している。

・鉄筋の腐食が進行すると、ひび割れの拡大及び表面コンクリートの剥離・剥落につながる。

付図-1.6 RC 上部工（梁・ハンチ）の劣化度判定の着目点

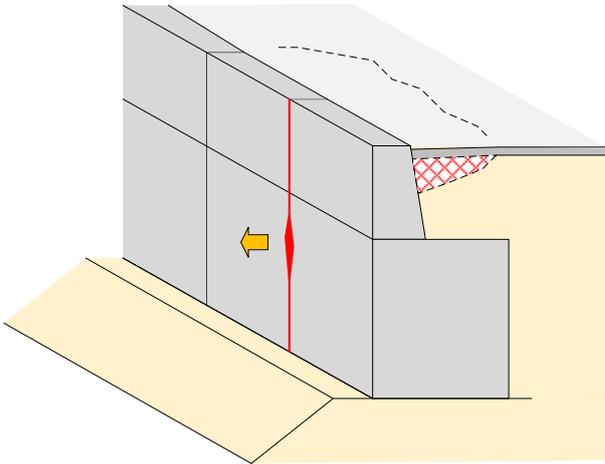
## 土留部エプロン（沈下）



### 【劣化度c】

- ・目地板に軽微な劣化、裂傷、損傷がある。

・目地板の状態を確認することは現実的には難しい場合があるが、施設側面の状態を確認し、吸出しの形跡や兆候を探すことは重要である。鋼矢板の開孔部やケーソン等の目地開き（海水や土砂の出入りが懸念される場合など）が確認された場合は、空洞のおそれがあるものとして詳細調査を行うことが望ましい。

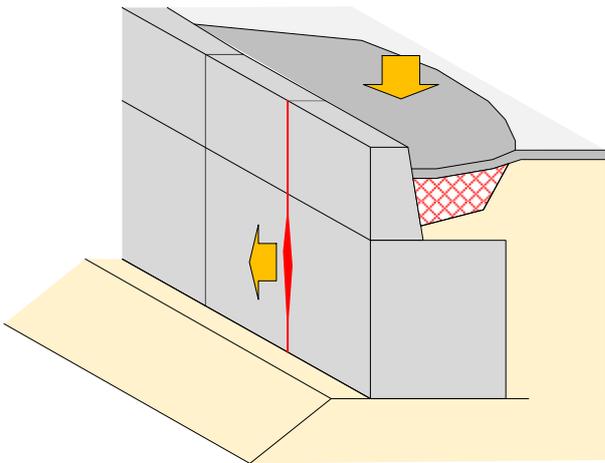


### 【劣化度b】

- ・空洞が生じている可能性がある。
- ・目地板に顕著な劣化、裂傷、損傷がある。

・目地板の状態を確認することは現実的には難しい場合があるが、施設側面の状態を確認し、吸出しの形跡や兆候を探すことは重要である。鋼矢板の開孔部やケーソン等の目地開き（海水や土砂の出入りが懸念される場合など）が確認された場合は、空洞のおそれがあるものとして詳細調査を行うことが望ましい。

・エプロン上には空洞拡大の兆候として、空洞周辺のひび割れや舗装の沈下が現れる場合がある。



### 【劣化度a】

- ・吸出しが生じている。もしくは、その可能性がある（空洞化が認められる）。
- ・防砂板が破損している。
- ・防砂シートが破損している可能性がある。

・吸出し・空洞化の結果としてエプロン表面のひび割れや陥没が顕在化することが多いが、表面には現れずに空洞が拡大する場合も少なくない点に留意する必要がある。

・防砂板・防砂シートの状態を確認することは現実的には難しい場合があるが、施設側面の状態を確認し、吸出しの形跡や兆候を探すことは重要である。鋼矢板の開孔部やケーソン等の目地開き（海水や土砂の出入りが懸念される場合など）が確認された場合は、空洞のおそれがあるものとして詳細調査を行うことが望ましい。

付図-1.7 土留部エプロン（沈下）の劣化度判定の着目点

## 付録2 下部工および上部工の劣化度に応じた補修工法（案）

現状では、港湾構造物では、部材の劣化度あるいは性能低下度を指標として対策工法が選定されることが多い。ここでは、栈橋のコンクリート上部工および鋼管杭、電気防食、被覆防食の目視による劣化度判定を基本とした補修工法の選定フローを示す。補修工法選定フローでは、定期の点検診断で把握する劣化度をベースとしつつ、補修のための詳細調査によって把握すべき項目も加えて、効果的な補修工法が選定できるよう配慮している。

鋼管杭、電気防食、被覆防食の補修工法選定の詳細については、文献1を参照するとよい。

（次頁より）

付図-2.1 栈橋上部工の対策選定フロー

付図-2.2 無防食の鋼管杭の対策選定フロー

付図-2.3 塗装・超厚膜被覆・水中硬化形被覆の対策選定フロー

付図-2.4 重防食被覆（ポリエチレン被覆）の対策選定フロー

付図-2.5 重防食被覆（ウレタンエラストマー被覆）の対策選定フロー

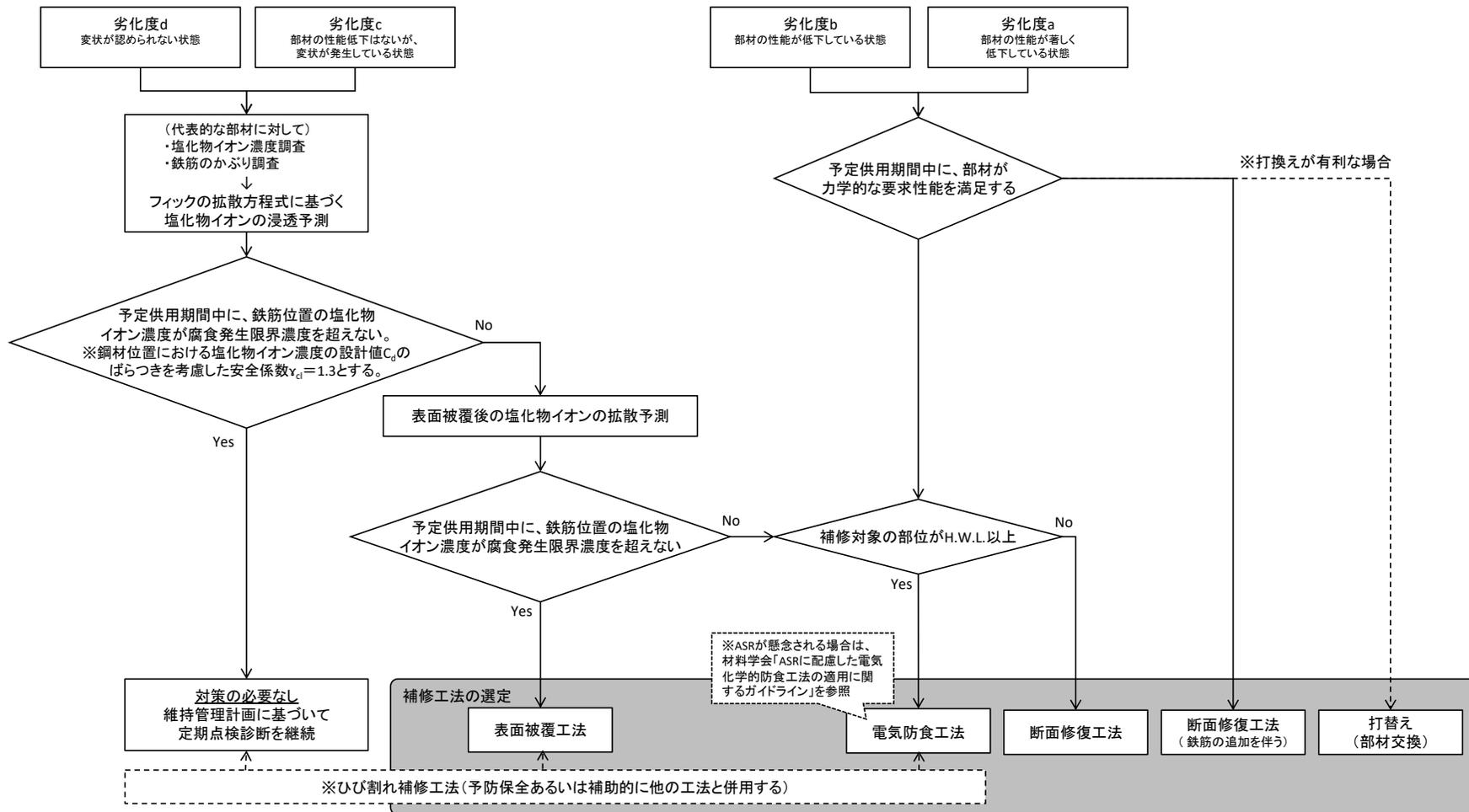
付図-2.6 モルタル被覆の対策選定フロー

付図-2.7 ペトラタム被覆の対策選定フロー

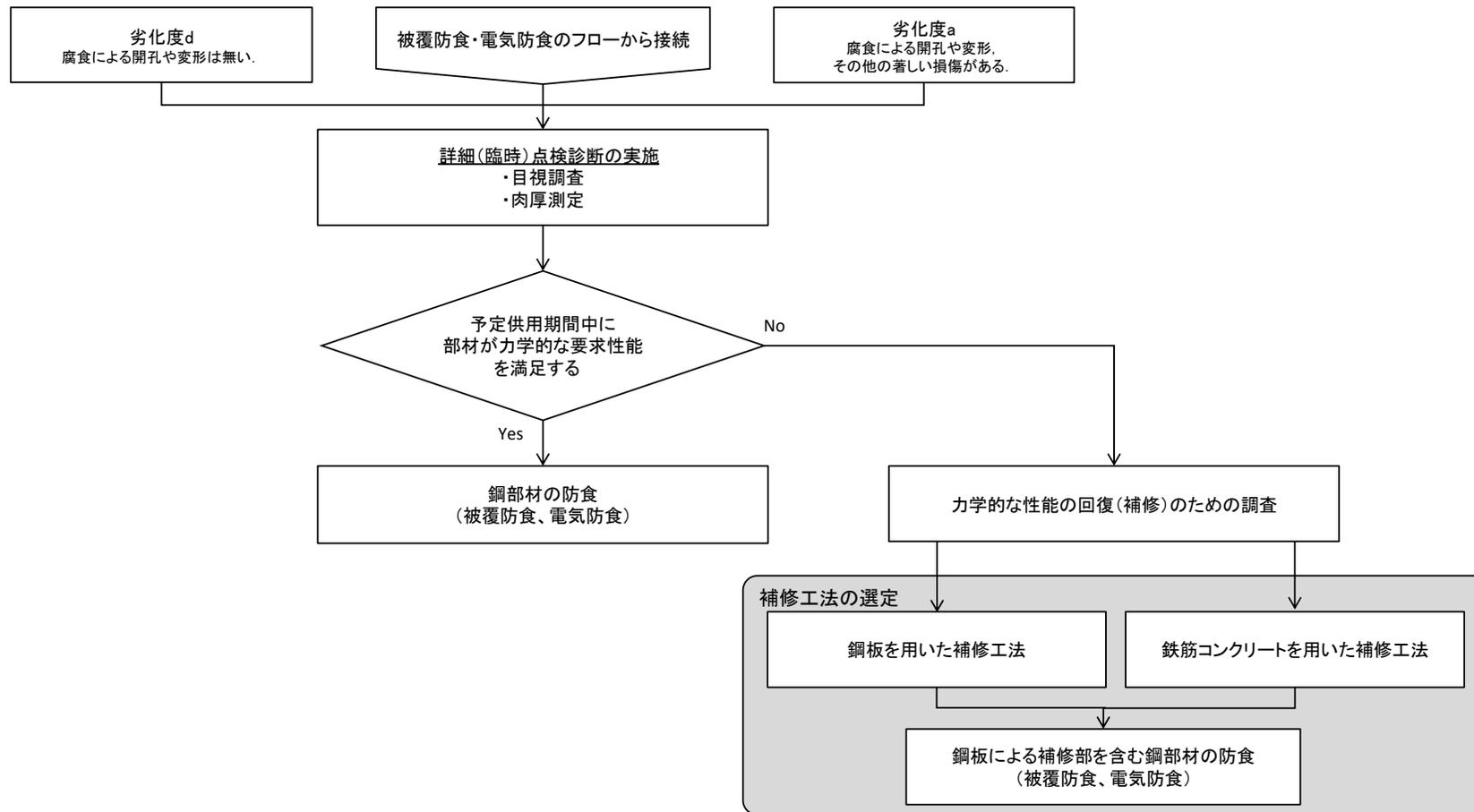
付図-2.8 電気防食の対策選定フロー

（参考文献）

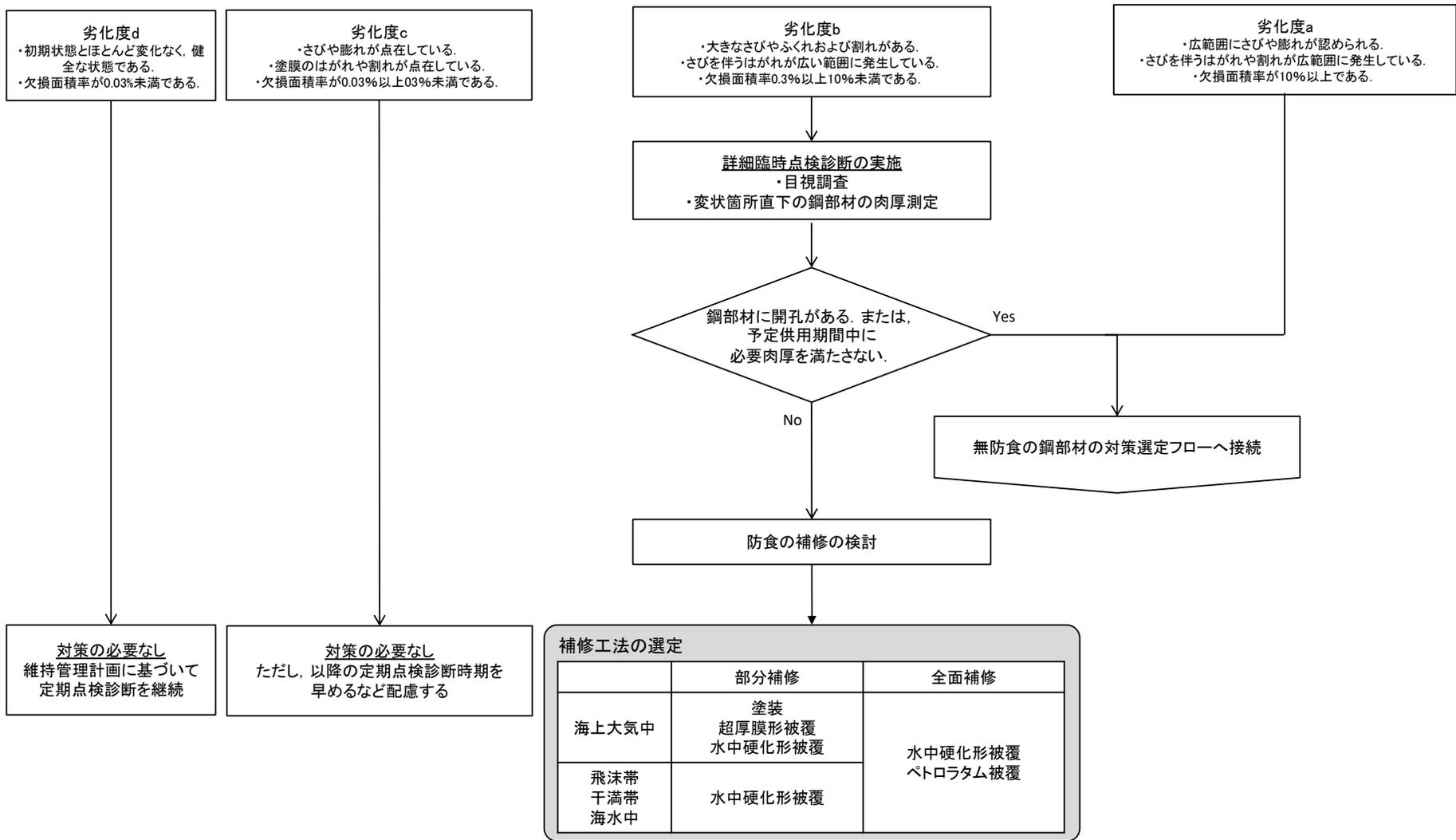
- 1) 港湾鋼構造物の防食対策工法選定フローの提案，港空研資料 No.1336, 2017年.



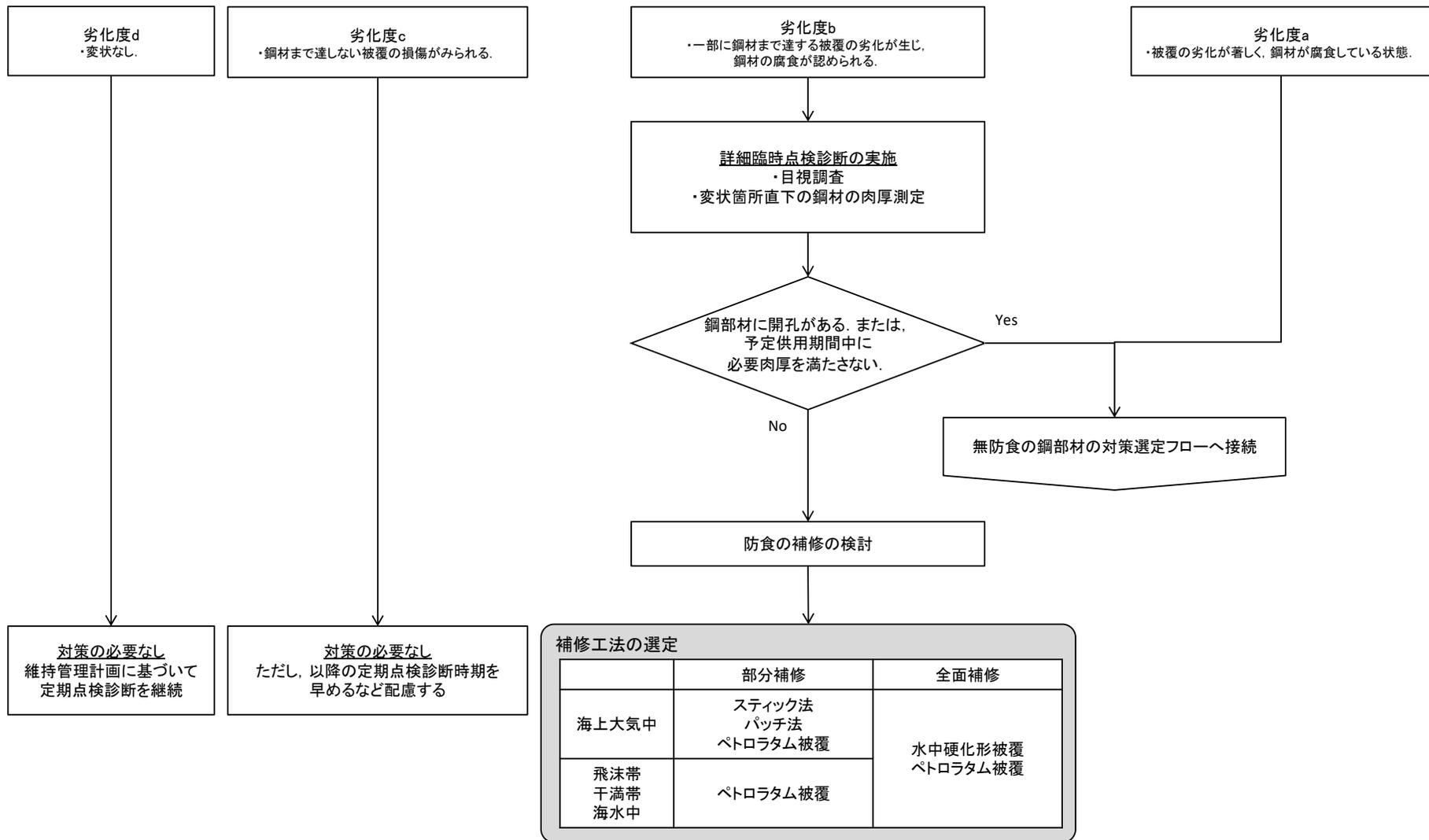
付図-2.1 栈橋上部工の対策選定フロー



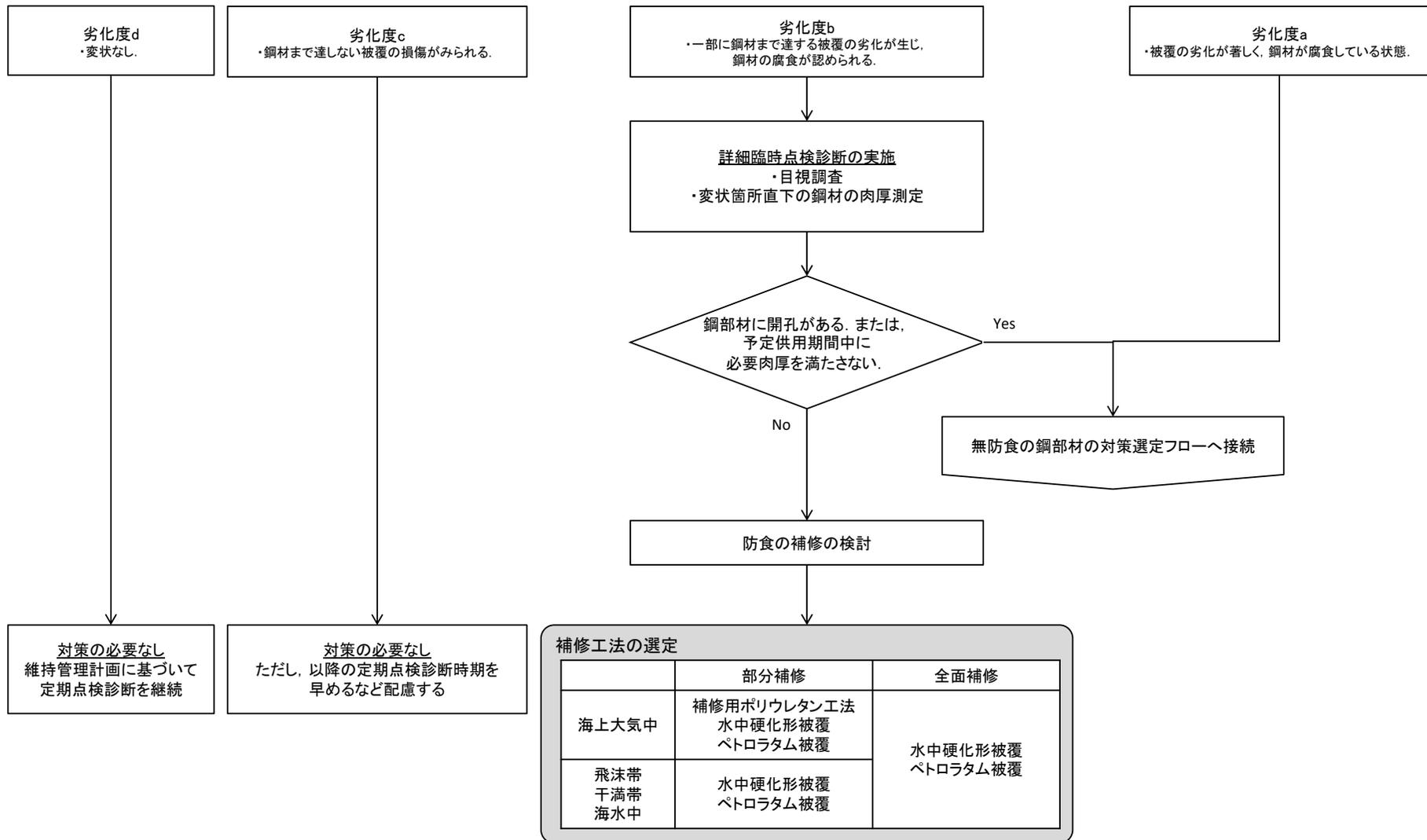
付図-2.2 無防食の鋼管杭の対策選定フロー



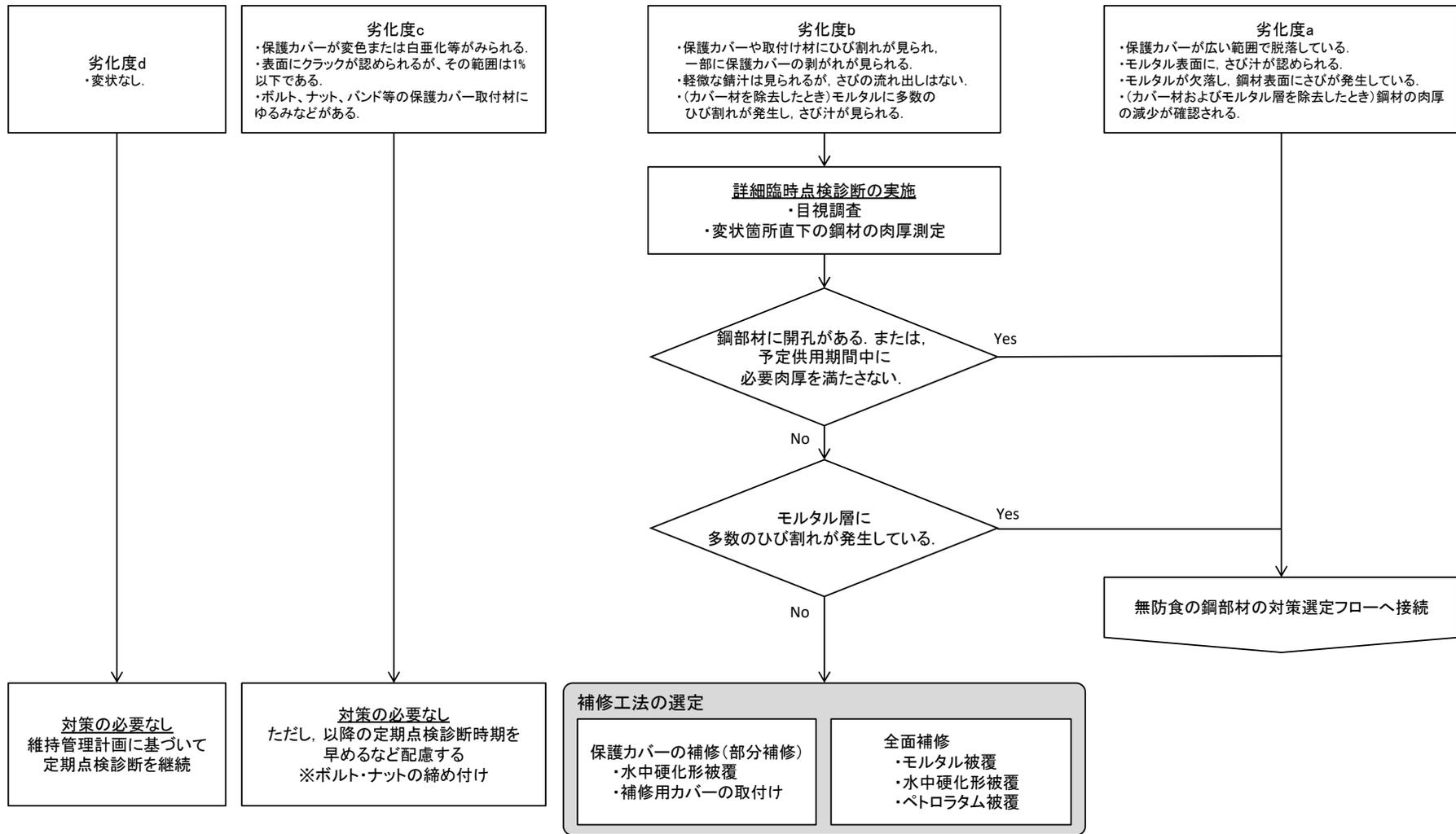
付図-2.3 塗装・超厚膜被覆・水中硬化形被覆の対策選定フロー



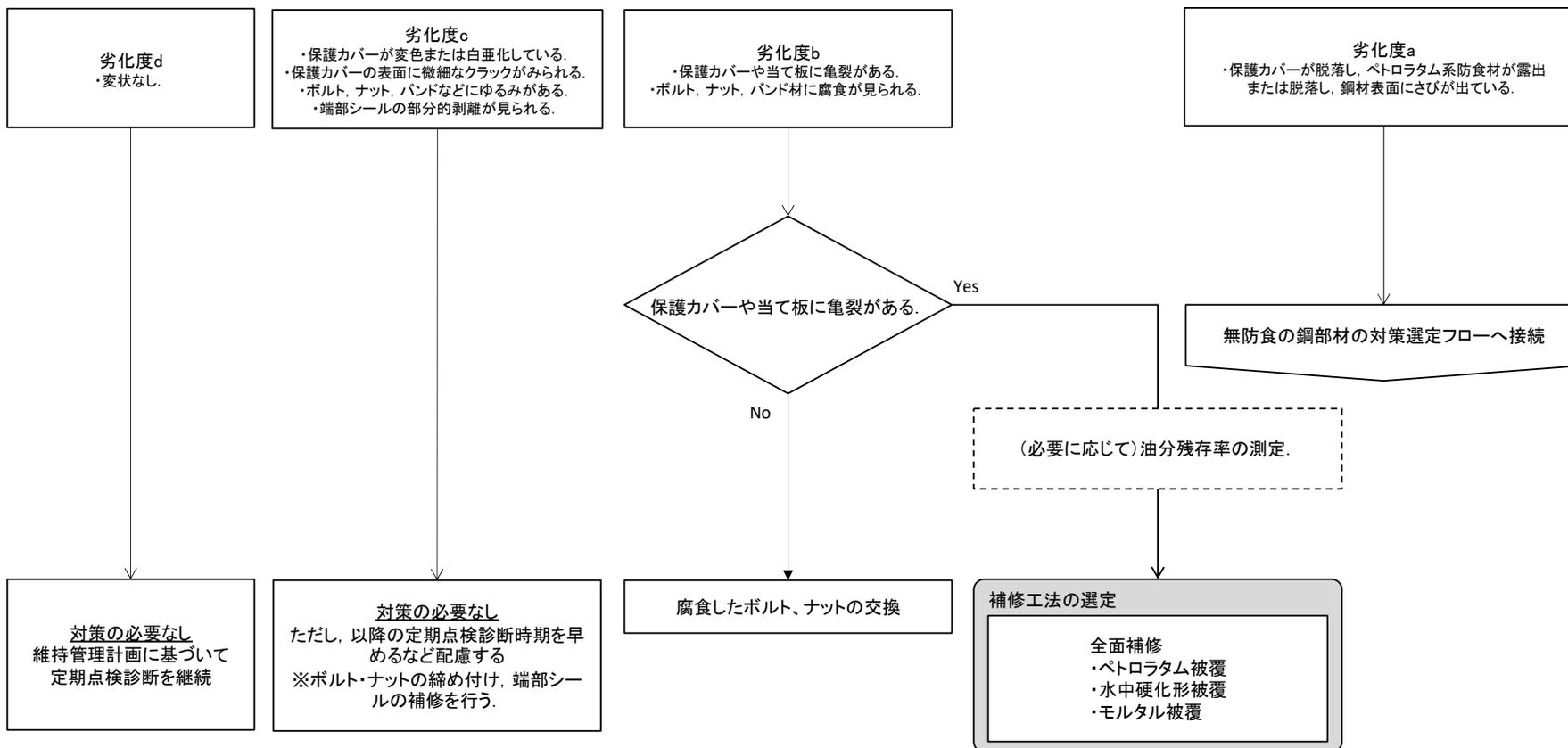
付図-2.4 重防食被覆（ポリエチレン被覆）の対策選定フロー



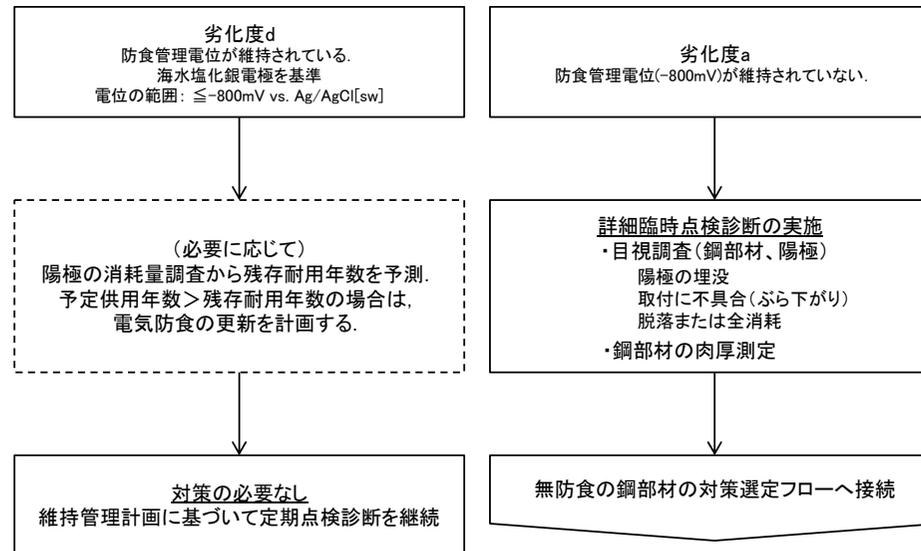
付図-2.5 重防食被覆（ウレタンエラストマー被覆）の対策選定フロー



付図-2.6 モルタル被覆の対策選定フロー



付図-2.7 ペトロラタム被覆の対策選定フロー



付図-2.8 電気防食の対策選定フロー

### 付録3 九州管内施設における緊急的措置の実施例

施設の変状の状況と、利用上の安全性を確保するために講じられた緊急的措置について、栈橋について事例-1～3に、その他の構造形式について事例-4～7に示す。

#### 事例-1 H港 S埠頭地区○号岸壁(-12m) 【栈橋】

##### 1. 変状の状況

- 栈橋上部工の下面コンクリートに剥離・剥落が広範囲に確認された（写真1-1）。
- 変状が確認される以前は、陸上の巡回を実施していたが、上面には特に変状は確認されず、下面の変状を発見することは困難であった。また、変状の兆候も確認されなかった。

##### 2. 変状への対応

- 上部工下面の変状が著しい部材について安全性・使用性が低下しているものと判断し、利用制限を行った（写真1-2）。×マークは、移動式クレーンのアウトリガー設置による集中荷重を制限するために表示している。
- 利用制限をかける範囲が点在していたため、バリケード等による利用制限表示よりもマーキングの方が明示しやすかった。
- ×マークによる利用制限は、上部工の更新工事（増深のための改良工事とセット）着手まで実施した。



床版部



梁部

コンクリート剥離、鉄筋露出（錆び発生）

写真1-1 変状の状況



エプロン部

岸壁の利用制限（白枠×マーク）  
※集中荷重がかけられない箇所

写真1-2 利用制限の状況

## 1. 変状の状況

### ① 土留部鋼矢板の開孔

- ・ 定期点検診断で、鋼矢板の開孔が確認された。

### ② 渡版の腐食

- ・ 利用者からの連絡と巡回点検により確認された。当該施設では主に木材・石膏を取り扱っており、渡版上はログローダが走行する。

## 2. 変状への対応

### ① 土留矢板の穴あき

- ・ 周囲をバリケードで封鎖し、立入制限を実施している（写真 2-1）。

### ② 渡版の腐食

- ・ 現時点で、全 91 枚中 31 枚を交換済み。予算上の理由により年間の交換可能枚数は限られているため、断面減少や歪みが生じている渡版は、利用頻度の低い施設両端部に移設するなどの応急措置を講じている（写真 2-2）。
- ・ 利用者と調整して、渡版の更新や入れ替えにより通行可能場所を確保している。危険な箇所は、利用者側で鉄板を敷く場合がある。



写真 2-1 バリケードの設置状況



写真 2-2 渡版の応急措置の状況

### 1. 変状の状況

- 鋼管杭の孔食および上部工の変状（剥離・ひび割れ等）が確認された。

### 2. 変状への対応

- 鋼管杭および上部工の安全性・使用性が低下しているものと判断し、利用制限（荷役の制限。ただし、着船は可能）を行った。制限範囲（栈橋部分）には、ガードレールを設置した（写真 3-1）。
- 当該施設は港湾計画において将来埋立てを行う区域にあることから、補修（原型復旧）の実施は予定していない。



写真 3-1 ガードレールの設置状況

## 1. 変状の状況

- 陥没前より、舗装に沈下が生じていることは把握していた。背後地ヤードの利用者からの連絡により、陥没の発生を確認した。
- 前面の鋼矢板には腐食による開孔部が複数個所存在していたため、陥没は裏込土の吸出しによるものと考えられる。



写真 4-1 陥没の状況

## 2. 変状への対応

- ふ頭内は釣り人が多く進入するため、3重のバリケードで立入禁止措置を講じた（写真 4-2）。
- 開孔部以外は鋼矢板の耐力に影響するような肉厚減少は生じていないことが確認されたため、開孔部への鋼板溶接、防食対策（被覆防食及び電気防食）及び背後の埋戻しの実施を計画した。



写真 4-2 バリケードの設置状況

## 1. 変状の状況

- セル式岸壁の上部工張出部を支える鋼管杭の腐食による開孔が確認された。

## 2. 変状への対応

- 鋼管杭の開孔が確認された箇所については安全性・使用性が低下しているものと判断し、利用制限を行った。(写真 5-1)。
- 事例-1 にならってマーキングにより利用制限の範囲を明示し、移動式クレーンのアウトリガー設置による集中荷重を制限した。
- 開孔が見られた鋼管杭を鉄筋コンクリートにより補強した。



写真 5-1 マーキングの状況

## 1. 変状の状況

- 平成25年に空洞化調査（電磁波レーダ調査）を実施したところ、平均深さ0.2～0.3m（最大0.5m程度）の空洞が確認された。当該施設では、平成21年度に初回点検、平成24年度に目視主体の点検診断を実施しており、エプロン部のひび割れ・不陸等の存在は確認されていた。
- 当該施設では、20日/月程度の頻度で、漁船が着船・荷揚げを行っている。エプロン上はフォークリフトが走行するが、重量物は扱っていない。

## 2. 変状への対応

- 空洞が確認された直後、空洞箇所の舗装に鉄板を敷設した（緊急的措置）。
- 空洞確認から約半年後に、可塑性グラウト、中流動コンクリート、セメントモルタルの3種類の充填材による試験施工を行った。その結果、可塑性グラウト及び中流動コンクリートは空洞を完全に充填できること、およびセメントモルタルは流動性が十分でなく、注入口付近に留まってしまうため空洞を充填できないことを確認した。当該施設では、施工性（流動性）及び価格などの比較から、中流動コンクリートが優位であると評価された。



写真 6-1 充填の状況

## 1. 変状の状況

- 空洞化調査により、エプロンの陥没は発生していないが、コンクリート舗装版直下に最大 0.6m 程度の深さで施設全体に空洞が点在していることが確認された。
- これまで、エプロン上にクラックや不陸は確認されていた。



写真 7-1 空洞発生箇所のエプロン

## 2. 変状への対応

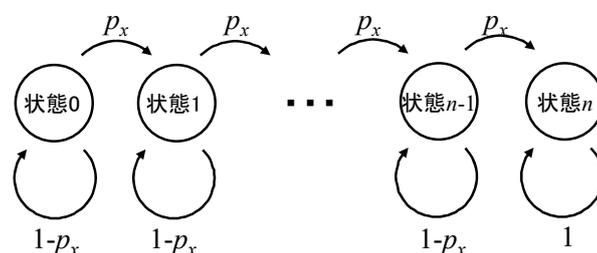
- 空洞が確認され危険と判断された範囲にバリケードを設置した。
- 一部の空洞に対して、エアモルタル（気泡材事前混入型、小規模空洞用）、エアモルタル（気泡材打設時混入）、発泡ウレタンの 3 種類の充填材による試験施工を行った。その結果、エアモルタル 2 種については施設側面からの流出が確認されたため、当該施設では発泡ウレタンを充填材として採用した。



写真 7-2 充填の状況

## 付録4 マルコフ連鎖モデルによる変状の進行予測

マルコフ連鎖という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」から次の「状態」へ、ある「推移確率」で移行する様子を確率論的に捉える統計手法である。付図-4.1にマルコフ連鎖における「状態」、「推移」、「推移確率 ( $p_x$ とする)」のイメージを示す。初期状態 ( $t=0$ ) においては、すべてが「状態0」にあるとする。その後、ある一定期間 ( $t$ とする) が過ぎると、「状態0」にあるもののうち、 $p_x$ については「状態1」に移行し、 $1-p_x$ については「状態0」に留まる。「推移」は、「状態0」～「状態 $n$ 」において同じ「推移確率」で同時に起こり、最終的にはすべてが「状態 $n$ 」に移行する。



付図-4.1 マルコフ連鎖における状態と推移のイメージ (推移確率  $p_x$  が一定の場合)

港湾の施設においては、目視により判定される劣化度 ( $a, b, c, d$ ) や施設の性能低下度 (A, B, C, D) を「状態」に当てはめることにより、劣化度や施設の性能低下度の将来分布を予測することが可能となる。この場合、「推移確率」の大小は、劣化進行速度の大小を表すものとして取り扱うことができる。ただし、本来的には、対象とする部材や劣化のメカニズム等に応じて、劣化度  $d$  から劣化度  $c$  へ進行する速度や、劣化度  $c$  から劣化度  $b$  へ進行する速度はそれぞれ異なる。ここでは簡便のため、劣化度  $d \sim c \sim b \sim a$  の進行速度はすべて等しいとして取り扱う。

初期状態 ( $t=0$ ) において、すべてが劣化度  $d$  にあるとする場合 ( $d=1.0$ )、経過  $t$  年における劣化度 ( $a, b, c, d$ ) の割合は、式 (4.1) で表すことができる。

$$\begin{pmatrix} d \\ c \\ b \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-p_x & 0 & 0 & 0 \\ p_x & 1-p_x & 0 & 0 \\ 0 & p_x & 1-p_x & 0 \\ 0 & 0 & p_x & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

ここで、 $p_x$  は推移確率、 $t$  は経過年数、 $a, b, c, d$  はそれぞれの劣化度が全体に占める割合 (%) を表しており、その総和は 1.0 (100%) となる。

劣化度 ( $a, b, c, d$ ) の割合および経過年数  $t$  が既知の場合、Excel 等を用いて式(4.1)におけ

る推移確率  $p_x$  を計算できる。Excel を用いた簡易な計算プログラムは、以下からダウンロードできる。

[http://www.pari.go.jp/unit/kozo/theme/new\\_research\\_theme/](http://www.pari.go.jp/unit/kozo/theme/new_research_theme/)

なお、すべての部材が劣化度  $d$  である場合や、すべて劣化度  $a$  である場合、また劣化度割合に極端な偏りがある場合（例えば、 $(d, c, b, a) = (0.65, 0.00, 0.00, 0.35)$  など）は、適切な推移確率を求めることができないことに注意が必要である。

### （計算例）

#### (1) 計算条件

対象：栈橋上部工下面（はり）

経過年数：24年

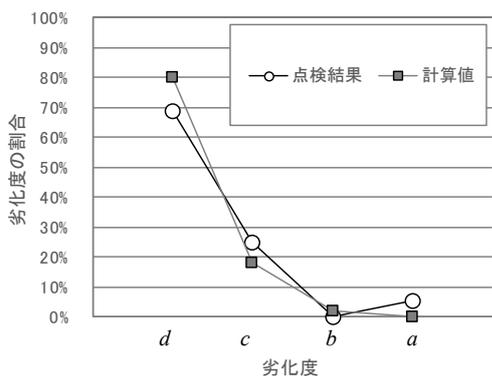
点検結果：

	劣化度 $d$	劣化度 $c$	劣化度 $b$	劣化度 $a$	合計
部材数	305	111	1	25	442
部材の割合	0.690	0.251	0.002	0.057	1.000

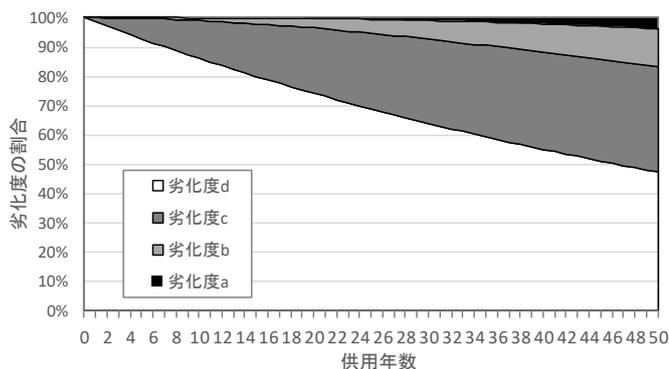
#### (2) 計算結果

- ・推移確率：0.015

本計算は上述の計算プログラムを用いた。計算結果を付図-4.2 に、劣化度割合の経年変化予測を付図-4.3 にそれぞれ示す。



付図-4.2 計算結果



付図-4.3 劣化度の割合の経年変化予測

## 付録5 栈橋上部工における鉄筋腐食時期の予測方法

対象となる栈橋上部工からコアを採取し、表面からの深さ方向の塩化物イオン濃度分布を測定することで、鉄筋の腐食時期を予測することができる。以下に、その方法を示す。鉄筋が既に腐食していることが目視で確認されている場合（劣化度  $b$  や劣化度  $a$  に相当）は、以下の予測を適用することはできない。

- (1) 採取したコアを深さ方向に切断・粉砕し、それぞれの深さにおけるコンクリート中の塩化物イオン濃度を測定する。この具体的な方法は**港湾の施設の維持管理技術マニュアル（沿岸技術研究センター、平成19年）**を参考にするとよい。
- (2) 得られた塩化物イオン濃度分布について、以下の式(5.1)で回帰し、未知定数である塩化物イオン濃度  $C_0$  および塩化物イオンに対する見かけの拡散係数  $D_{ap}$  を求める。この時、表面から最も離れた測定位置で塩化物イオン濃度が一定値に収束した場合、この収束値は練混ぜ時などにコンクリートに含まれた塩化物イオンである可能性が高い。したがって、必要であれば、この初期塩化物イオン濃度  $C_i$  を考慮する。

$$C_d = C_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{0.1c}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) \right) + C_i \quad (5.1)$$

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/m<sup>3</sup>)

$c$  : かぶりの設計値 (mm)

$D_{ap}$  : 塩化物イオンに対する見かけの拡散係数 (cm<sup>2</sup>/y)

$t$  : 設計供用期間 (y)

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

$C_i$  : 初期塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

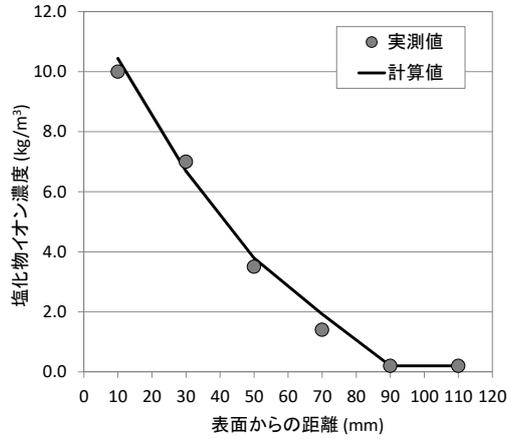
なお、式(5.1)を用いた測定値のフィッティングについては、Excel等を用いて計算できる。簡易なプログラムは以下でダウンロードできる。

[http://www.pari.go.jp/unit/kozo/theme/new\\_research\\_theme/](http://www.pari.go.jp/unit/kozo/theme/new_research_theme/)

なお、本プログラムには、初期塩化物イオン濃度  $C_i$  の考慮の有無によってタブが分類されている。初期塩化物イオン濃度  $C_i$  がゼロと考えられる場合には「C0-Dap 算定」タブを用いて計算する。また、初期塩化物イオン濃度  $C_i$  を考慮する必要がある場合には、「C0-Dap 算定 (Ci 考慮)」タブで計算する。

これにより、例えば付図-5.1に示すように測定値に対して式(5.1)をフィッティング

することで、未知定数である  $C_0$  と  $D_{ap}$  を求めることができる。

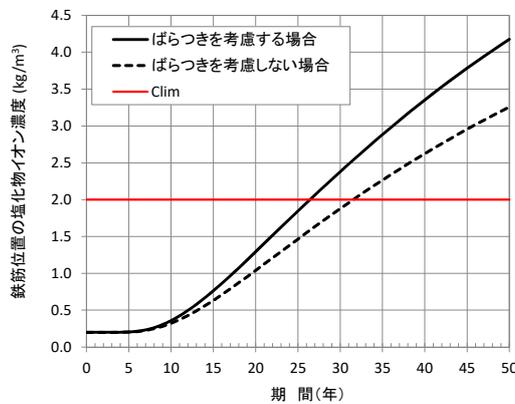


付図-5.1  $C_0$  および  $D_{ap}$  の推定例

(3) 得られた  $C_0$  と  $D_{ap}$  を用いて、鉄筋の腐食時期を予測する。ここで、環境条件や材料のばらつきに起因して、同じ部材内であっても鋼材位置での塩化物イオン濃度はばらつく。このばらつきを考慮するため、式(5.1)に対して安全係数  $\gamma_{cl}$  を乗じた式 (5.2) を用いて計算する。このとき、(2)で初期塩化物イオン濃度  $C_i$  を考慮した場合には、同じ値を代入する必要がある。

$$C_d = \gamma_{cl} C_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{0.1c}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) \right) + C_i \quad (5.2)$$

上述のプログラムでは、「腐食発生時期算定」タブで、かぶりと鉄筋腐食発生限界濃度を入力すれば、腐食発生時期が自動的に算出できる。一般に、かぶりは実測値を用い、鉄筋腐食発生限界濃度  $C_{lim}$  は港湾の施設の技術上の基準・同解説で示すとおり  $2.0 \text{ kg/m}^3$  とすることが多い。また、ばらつきの考慮の有無による予測結果が合わせて算出される。



付図-5.2 鉄筋位置の塩化物イオン濃度の経時変化の計算例