

--維持管理の時代に向けて--

港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(2009年版) の改訂

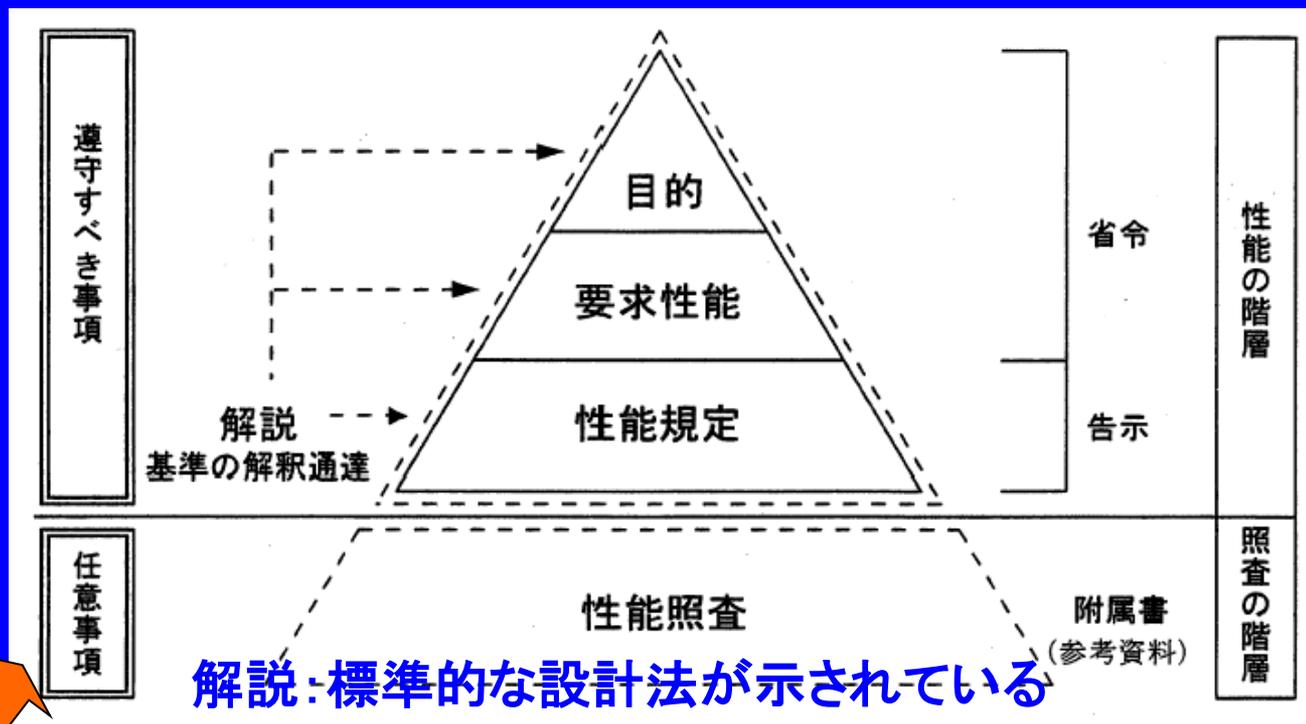
平成22年
防食・補修工法研究会

平成19年7月：港湾の施設の技術上の基準・同解説

最も大きな変化：性能規定の導入（仕様規定の廃止）

- 目的から性能規定までが省令・告示で示され、法的な強制力を持つ。性能規定を満足すれば設計法は自由であるが、「標準的な設計手法」が示される。

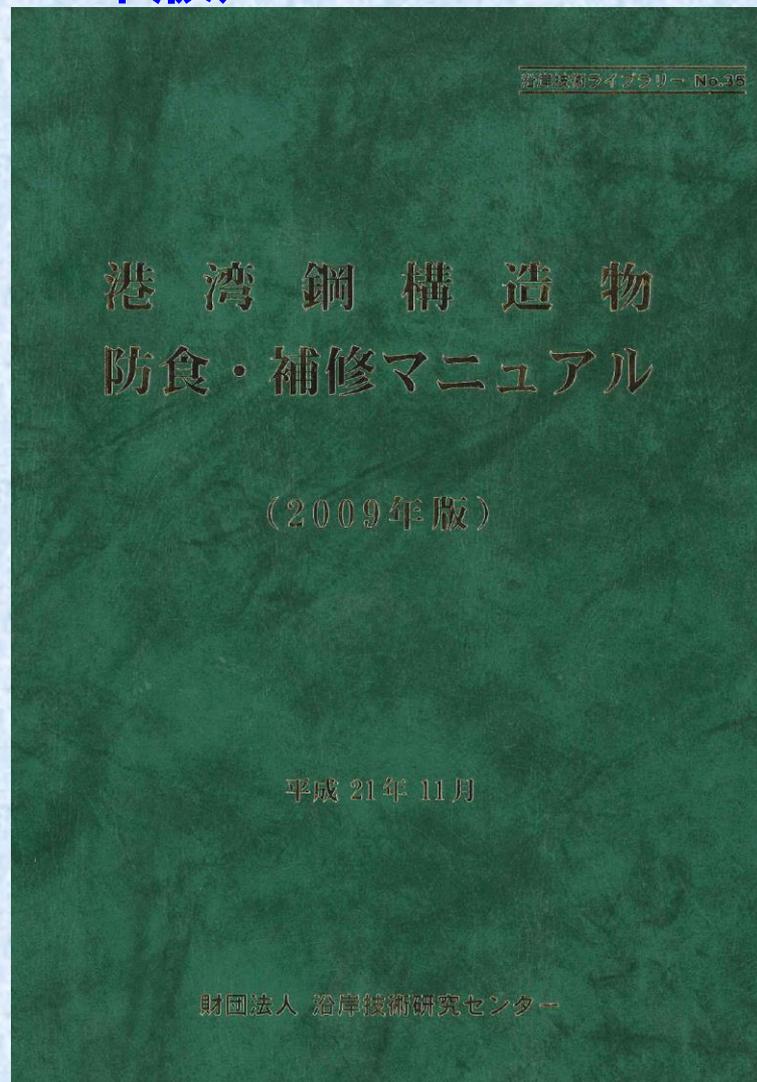
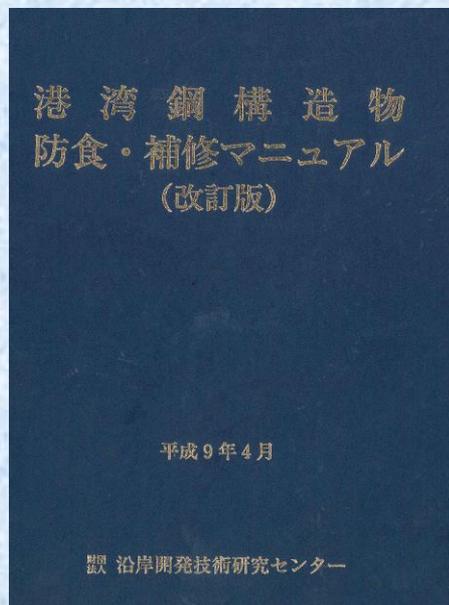
性能の階層および性能照査の位置付け



具体的な情報を記述

- * 港湾の施設の維持管理技術マニュアル
- * 港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き
- * 港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(2009年版)

技術基準・同解説が性能規定化されたことにより、鋼構造物の防食に関する唯一の具体的な情報を提供したマニュアル「防食・補修マニュアル」も大改訂(改訂版→2009年版)



約2年かけて委員会による審議

委員長:福手勤 東洋大学教授

委員:国土交通省 港湾局／国土技術政策総合研究所

関東地方整備局

(独)港湾空港技術研究所

東京都港湾局

鋼管杭協会

防食・補修工法研究会

具体的な条文作成:(財)沿岸技術研究センター／防食・補修工法研究会(共同研究)

防食・補修工法研究会とは...

目的

厳しい海洋環境におかれている港湾鋼構造物を腐食から護るために、調査診断、維持管理、防食、補修、施工技術の改良整備等の研究活動に取り組んでいます。

また、各種団体との共同研究および技術のPR活動の実施等を通し、防食・補修技術全般の健全な進歩・発展に寄与することを目的としています。

組織

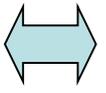
活動内容

- **新技術の研究・開発**
分科会活動
学会・協会発表
- **視察調査**
国内・海外の技術調査
- **PR活動**
港湾管理者への技術説明会
- **刊行物の発刊**
実務ハンドブック
工法紹介集
- **共同研究**
(財) 沿岸技術研究センター
(財) 港湾空港建設技術サービスセンター
(財) 先端建設技術研究センター
(社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会
- **各種団体との交流・委員派遣**
(財) 国際臨海開発研究センター
(財) 先端建設技術研究センター
PIANC(国際航路協会)日本部会



総会

具体的なマニュアルの条文作成



会員



技術発表会

防食・補修マニュアルの構成

4部構成

第Ⅰ部 総論

→性能規定化に対応したマニュアルとしての基本方針などを記述した。

第Ⅱ部 防食法の設計・施工

→上位基準に示された性能規定を受けて、鋼材の最適な防食法の設計方法や、その設計を満足するための施工方法の要点を解説した。

第Ⅲ部 防食の維持管理

→当初の設計・施工に引き続き、防食の効果を当初の設定どおりに維持するために必要な具体的な方法や判断の仕方を記述

第Ⅳ部 無防食の鋼構造物に対する性能評価と補修・補強対策

→防食されていない鋼構造物の性能評価方法と、補修・補強対策に関する技術基準に準拠した設計法と施工方法の要点を示した。

付属資料

→本文の理解を助けるための情報を整理して示した。

第1章概説／第2章海洋環境と腐食／第3章海水腐食の影響因子

第1章 概説 1.2 目的

上位基準に示された基本的な考え方を、鋼構造物の防食補修において実現するための考え方を示した。

本マニュアルは、鋼材の腐食を抑止することで、港湾鋼構造物の性能を要求水準以上に確保することを目的とし、そのための防食法の選定、設計、施工と計画的な点検診断および対策について取りまとめたものである。

- ① 維持管理計画の検討により、設計供用期間中の構造物の性能低下を予測するとともに、計画的な点検診断および対策を通して、保有性能が適切に維持される必要がある（「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」などのマニュアル類を参考）。
- ② 維持管理レベルを、施設の重要度、設計供用期間、維持管理の容易性、環境作用の厳しさなどを考慮して、Ⅰ～Ⅲのいずれかに設定する。それに基づいて、供用中に防食の性能が維持管理上の限界値を下回らないよう維持することにある。

第2章 海洋環境と腐食

2.4 腐食速度と集中腐食

港湾鋼構造物の腐食速度は腐食環境区分によって異なる。特にM.L.W.L.直下付近では、「**集中腐食**」とよぶ著しい局部腐食が発生することがある。

<ポイント>集中腐食の図・写真の追加

図-1.2.8 河口付近の集中腐食の状況

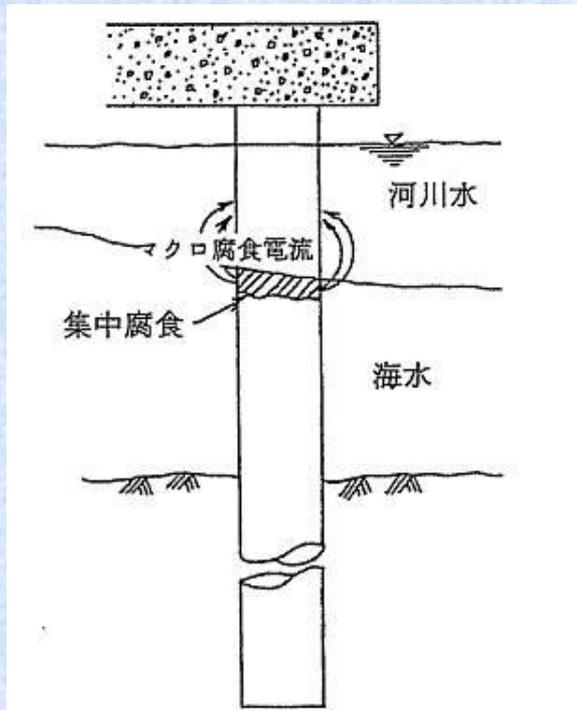
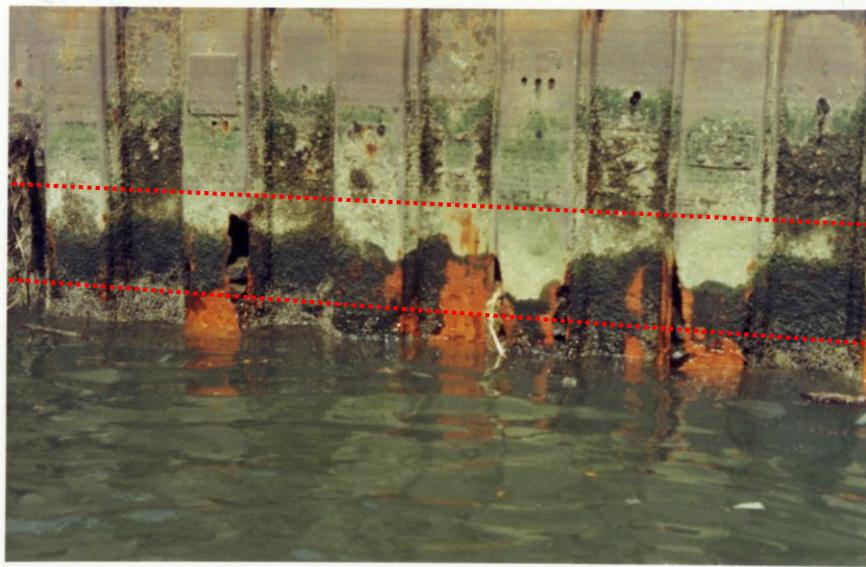


写真-1.2.5 セル式構造物の前面杭の集中腐食による穴の発生





M.S.L.

M.L.W.L.

写真-1.2.1 腐食パターン (a) ^{14), 15)}



写真-1.2.4 集中腐食によって発生した穴 ^{14), 15)}
 ※写真は最干潮時に撮影している。

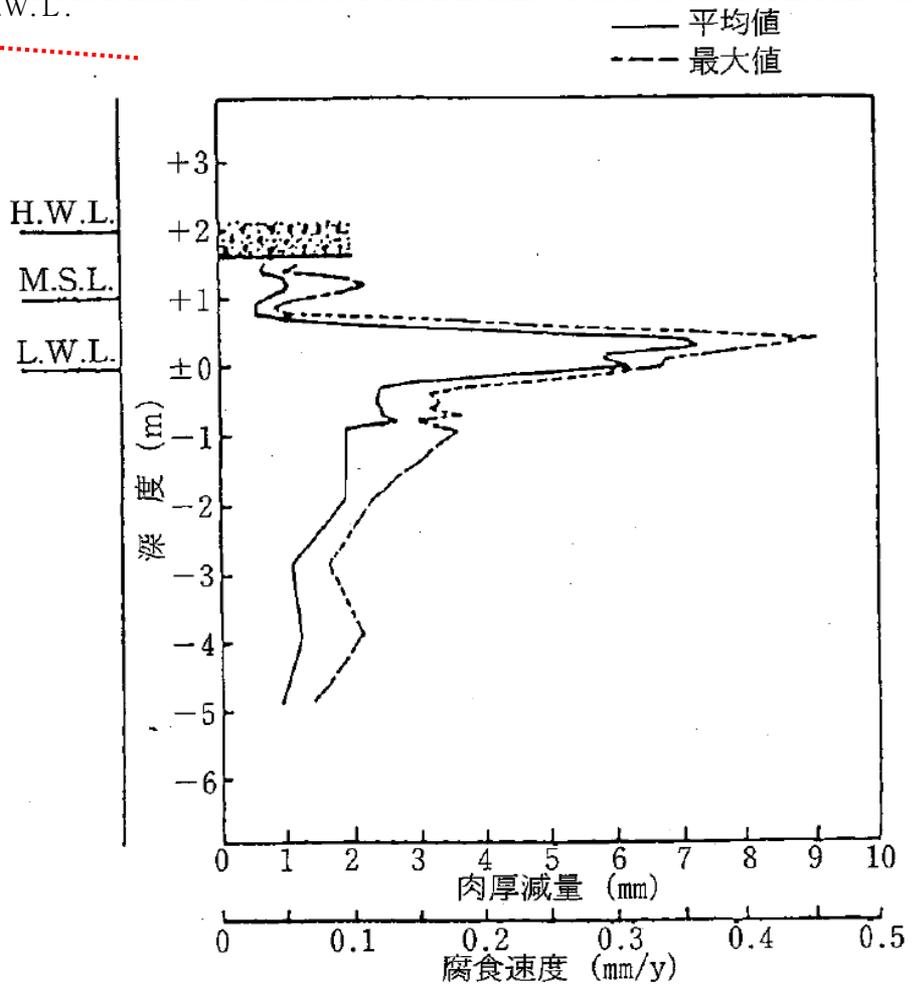


図-1.2.6 鋼管杭の肉厚測定結果¹²⁾

設計供用期間において、先に設定した維持管理レベルに応じた防食法の設計の考え方を示し、それを確実に満足させるための施工方法のポイントを示した。

マニュアルP35

第Ⅱ部 防食法の設計・施工

・ 第1編 総説

- ・ 港湾鋼構造物に用いられる各種防食法の種類と特徴，腐食環境に適合した防食法、およびその留意点について記述。

・ 第2編 電気防食の設計・施工

- ・ 電気防食(流電陽極方式,外部電源方式)法の設計に関する規定，設計および施工について具体的に記述。

・ 第3編 被覆防食の設計・施工 -工場被覆編-

- ・ 工場(ファブヤード)で施工する被覆防食法をとりまとめ,各被覆防食法別に設計と施工について具体的に記述。

・ 第4編 被覆防食の設計・施工 -現地被覆編-

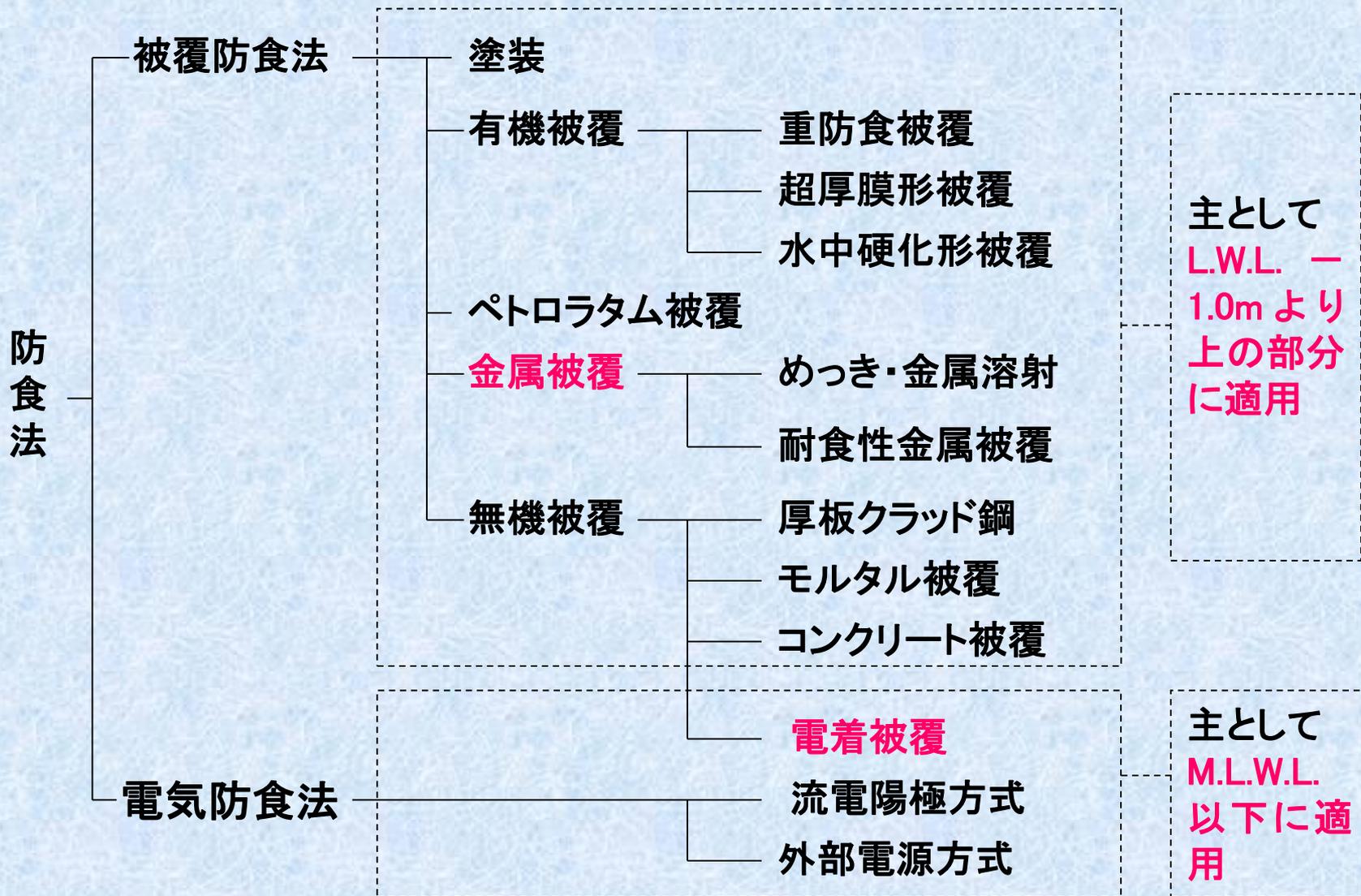
- ・ 現地(海上)で施工する被覆防食法をとりまとめ,各被覆防食法別に設計と施工について具体的に記述。

各種防食法を整理し、体系化した。最新の工法も加えた。

第1編総説

防食法の分類 (電気防食、被覆防食)

マニュアルP36



第1編総説

代表的な被覆防食法の施工場所による分類

被 覆 防 食 法		種 類
工場被覆	塗装	<ul style="list-style-type: none">・海洋厚膜エポキシ塗装系・海洋エポキシガラスフレーク塗装系
	重防食被覆	<ul style="list-style-type: none">・ポリエチレン被覆・ウレタンエラストマー被覆
	超厚膜形被覆	<ul style="list-style-type: none">・超厚膜形エポキシ樹脂系被覆・超厚膜形ポリウレタン樹脂系被覆
	耐食性金属被覆	<ul style="list-style-type: none">・耐海水性ステンレス鋼被覆・薄板チタンクラッド鋼被覆
現地被覆	水中硬化形被覆	<ul style="list-style-type: none">・ペイントタイプ・パテタイプ・湿潤面タイプ
	ペトロラタム被覆	<ul style="list-style-type: none">・樹脂製保護カバー方式・耐食性金属保護カバー方式
	モルタル被覆	<ul style="list-style-type: none">・樹脂製保護カバー方式・耐食性金属保護カバー方式

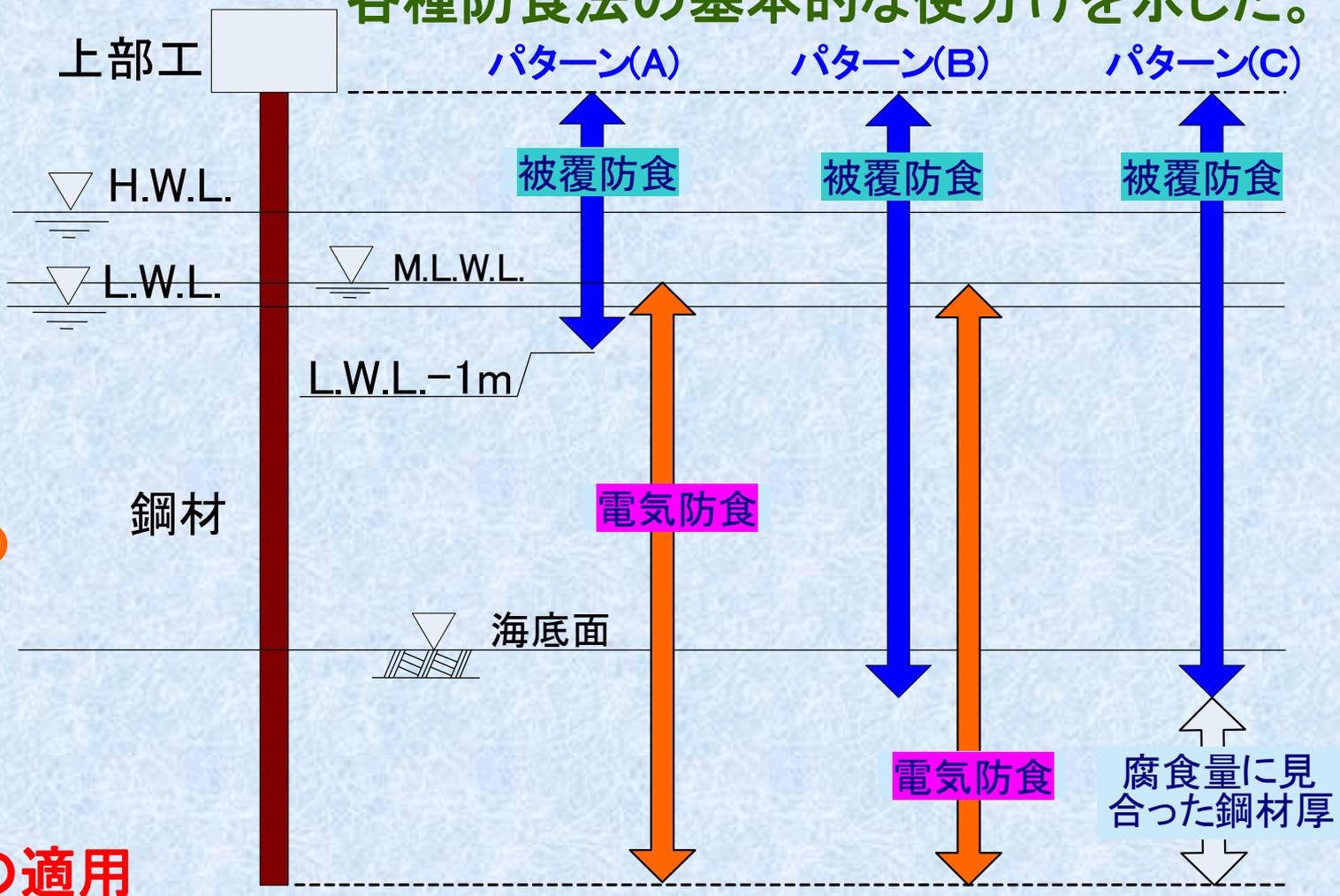
防食法の組合せ

各種防食法の基本的な使分けを示した。

被覆防食の補修

電気防食の補修

新設時での適用



(A) : 一般的な岸壁および棧橋構造に適用

(B) : 大規模構造物や河口付近の構造物では比較検討

(C) : 護岸など水深が浅く重要度の低い仮設構造物など

最新の知見を加え、設計がより合理的となるように記述した。

例えば・・・電気防食の設計での主な改訂点

改定版(平成9年)

再改定版(2009年)

1.被覆防食に対する防食電流密度の係数

塗装 : 20+100S mA/m²
モルタルライニング : 100S mA/m²
(S:被覆材の損傷面積率)

塗装 : 当該電流密度 × 0.25
モルタル被覆 : 当該電流密度 × 0.10
耐食性金属被覆 : 当該電流密度 × 1.0

2.陽極配置(水深方向)

水深-5m・・・・・・・・・・1段
水深-5m～-10m・・・・・・・・2段
水深-10m～-15m未満・・・3段

有機被覆下端から～5mまで・・・1段
5m超～10mまで・・・・・・・・2段
10m超～10mまで・・・・・・・・3段
以下5m増すごとに1段増やす

3. 陽極配置(水平方向)

鋼矢板2枚～8枚・・・1個

周辺係数 ≤ 1.2 5m以下に1個
1.2 ≤ 周辺係数 ≤ 1.75 4m以下に1個
1.75 < 周辺係数 3.2m以下に1個

4. 陽極数量の算出

陽極1個の発生電流型

陽極総質量型

5. 鋼矢板周辺係数の追加

ハット形を追加: 10H: 1.3、20H: 1.5

例えば・・・被覆防食編の主な改訂点

- ・「塗覆装・ライニング」を「被覆」に統一
- ・各種防食仕様の長期実績や研究成果に基づき被覆防食仕様を選定し「工場被覆編」と「現地被覆編」に別け編集
- ・港湾鋼構造物に適用する塗装系名称を「海洋塗装系」として称して他塗装系と区分
- ・海洋塗装系の標準仕様を「15年以上の耐久性を有するもの」に限定して選定
- ・「耐食性金属被覆の設計・施工」として新たに章を設けた

維持管理レベルに応じた防食工法の選定法は？

条件

工法

適用防食範囲

適用鋼材の種類

期待耐用年数

初期コスト

適用実績

海上 大気中	飛沫帯	干満帯	海中	海底土中部	鋼管杭	鋼矢板	鋼管 矢板	ジャケッ ト	部材接 合部
-----------	-----	-----	----	-------	-----	-----	----------	-----------	-----------

工場被覆	塗装	海洋厚膜エポキシ塗装系	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	△	◎	◎
		海洋エポキシガラスフレーク塗装系	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	△		
	重防食被覆	ポリエチレン被覆	○	○	○	○	△	○	○	-	-	-	○ [*] ₂	◎	◎
		ウレタンエラストマー被覆	○	○	○	○	△	○	○	○	-	-	○ [*] ₂	◎	◎
	超厚膜形被覆	超厚膜形エポキシ樹脂系被覆	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	◎
		超厚膜ポリウレタン樹脂系被覆	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○		
	金属被覆	耐海水性ステンレス鋼被覆	○	○	○	○	△	○	-	-	○	△	◎	△	◎
		薄板チタンクラッド鋼被覆	○	○	○	○	△	○	-	-	○	△	◎	△	○

鋼矢板△

50年程度

現地被覆	水中硬化形被覆	ペイントタイプ	△	○	○	○	-	○	○	○	○	○	△	○	◎
		パテタイプ	△	○	○	○	-	○	○	○	○	○	△		
		湿潤面タイプ	○	○	△	-	-	○	○	○	○	○	△		
	ペトロラタム被覆	樹脂製保護カバー方式	○	○	○	○	-	○	○	○	△	△	○	○	◎
		耐食性金属保護カバー方式	○	○	○	○	-	○	○	○	△	△	○		
	モルタル被覆	樹脂製保護カバー方式	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	△	◎
耐食性金属保護カバー方式		○	○	○	○	-	○	○	○	○	△	○	△	◎	

20年程度

30年程度



- * 設計で設定した防食の耐久性は、実績をベースにした想定
- * 環境条件・供用条件で異なる→長期間の点検が不可欠
- * 必要に応じて、性能を満足するように対策が必要

防食の効果を維持するための具体的な手法を、大幅に充実させた。(予防保全的な思想を取り込んだ記述となっている)

第Ⅲ部 防食の維持管理

マニュアルP165～

総論

各論

第1編 総説

第1章 概説

第2章 防食の維持管理計画

第3章 防食の点検診断

第4章 防食の補修

第5章 記録

第2編 電気防食の維持管理

第1章 概説

第2章 流電陽極方式の維持管理

第3章 外部電源方式の維持管理

第3編 被覆防食の維持管理-工場被覆編-

第1章 塗装の維持管理

第2章 重防食被覆の維持管理

第3章 超厚膜形被覆の維持管理

第4章 耐食性金属被覆の維持管理

第4編 被覆防食の維持管理-現地被覆編-

第1章 水中硬化形被覆の維持管理

第2章 ペトロラタム被覆の維持管理

第3章 モルタル被覆被覆の維持管理

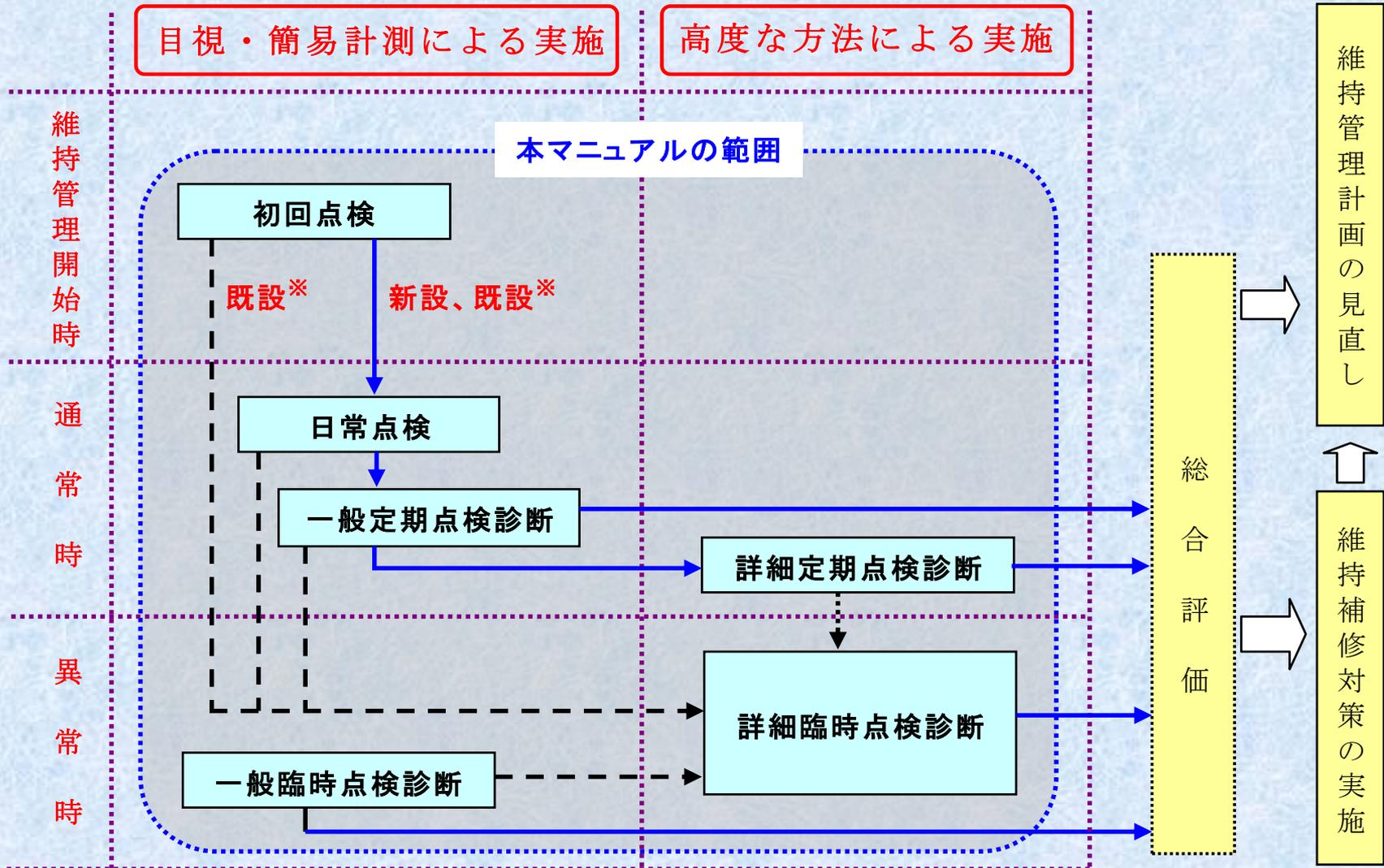
前マニュアル:50ページ



改訂版:95ページ

- ・「鋼材の腐食調査・・・」は第Ⅳ部へ
- ・維持管理に関する内容の充実が図られた
- ・章立てを第Ⅱ部に合せた

第1編 総説 第2章 防食の維持管理計画



※既存施設の供用途中から維持管理計画に沿った維持管理を行う場合

——→ 特段の異常がない場合
- - - → 特段の異常が確認された場合

点検診断では、防食の変状・劣化を対象として、点検・調査を実施し、防食工の現状の把握および劣化度判定を行うとともに、その性能を評価して劣化進行予測を実施する。

維持管理のための点検方法を記述(目視・簡易計測／高度な方法)

目視・簡易計測および高度な方法で実施する点検・調査の項目

	防食の種類	目視・簡易計測	高度な方法
電気防食	流電陽極方式	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材の発錆状況 電位測定 	<ul style="list-style-type: none"> 陽極消耗量 陽極取付け状況 テストピースによる防食効果の調査 モニタリング陽極調査 環境調査
	外部電源方式	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材の発錆状況 運転表時灯の点灯 電位測定 	<ul style="list-style-type: none"> 直流電源装置の運転状況 テストピースによる防食効果 環境調査
被覆防食	塗装 超厚膜形被覆 水中硬化形被覆	<ul style="list-style-type: none"> 被覆の外観 打音検査 鋼材の発錆状況 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆の外観 打音検査 機器調査(膜厚, 付着性, 分極抵抗値, 衝撃, 塩化物イオン浸透度)
	重防食被覆	<ul style="list-style-type: none"> 被覆の外観 打音検査 鋼材の発錆状況 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆の外観 打音検査 機器調査(膜厚, 付着性, 引張強さと伸び, 吸水率, 体積抵抗率)
	耐食性金属被覆	<ul style="list-style-type: none"> 被覆の外観 鋼材の発錆状況 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆の外観 鋼材の発錆状況 耐食性金属の劣化深さ
	ペトロラタム被覆	<ul style="list-style-type: none"> 保護カバーの外観 鋼材の発錆状況 	<ul style="list-style-type: none"> 保護カバーの外観 保護カバーの物理試験 ペトロラタム系防食材の物性試験 鋼材の肉厚測定
	モルタル被覆	<ul style="list-style-type: none"> 保護カバーの外観 鋼材の発錆状況 	<ul style="list-style-type: none"> 保護カバーの外観 保護カバーの物理試験 モルタル中の塩化物イオン浸透量 鋼材の肉厚測定

※潜水土による目視調査は高度な方法に位置付けられる

点検結果の評価をa, b, c, dで統一的に評価する手法を記述。

◇防食の性能評価は、点検診断における防食の劣化度判定結果および点検・調査で得られた測定データなどから、現状における防食の性能の低下の程度を客観的に判定する指標として劣化度(a, b, c, d)を用い、劣化度に基づいて定性的に行う。

◇防食性能の評価は、防食の補修の要否判定や対策検討のほか、点検診断を行う時期の変更や維持管理計画の見直しにも利用される。

劣化度	劣化度判定による防食の性能評価		
	電 気 防 食		被 覆 防 食
	電位測定結果による 評価	陽極の現存状況調査結果 による評価	
a	防食管理電位(-800mV) が維持されてない	陽極が脱落又は全消費し ている	防食性能が著しく低下し ている
b	——	陽極取付に不具合がある (ぶら下がり)	防食性能が低下している
c	——	——	防食性能の低下はないが、 変状が発生している
d	防食管理電位(-800mV) が維持されている	変状なし	変状が認められず防食性 能の低下はない

a, b, c, dの評価結果に対応して、補修方法を明確化。たとえば・・・



耐食性金属被覆の補修例

	補修法
長期的処置	耐食性金属による肉盛溶接 耐食金属を損傷部にパッチ 当てする
応急処置	水中硬化形被覆

劣化度	対策
a	耐食性金属被覆の補修を行い(長期的処置), 場合によっては鋼材の補修を実施する必要がある.
b	劣化した耐食性金属を補修し(応急・長期的処置), 以降の定期点検診断時期を早めるなどの配慮が必要である.
c	特に補修の必要はないが, 以降の定期点検診断時期を早めるなどの配慮が望まれる.
d	従来通りの定期点検診断を継続する.

防食法が施されていない鋼材／防食が効果を失っている鋼材 (鋼管杭・鋼矢板・鋼管矢板)への対応



第Ⅳ部 無防食の鋼構造物に対する性能評価 と補修・補強対策

マニュアルP261～

現実に、無防食の鋼構造物(腐食しろで設計された構造物を含む)は多く存在し、管理に困るケースが多いことから、内容を充実させた。

第1編 無防食の鋼構造物に対する性能評価

防食されていない鋼構造物に対する腐食調査の方法およびその結果の評価方法を示した。(旧マニュアルでは付属資料)

第2章 鋼材の腐食診断

2.1 一般

2.2 目視調査

2.3 肉厚測定

2.3.1 一般

2.3.2 肉厚の測定方法・・・超音波厚さ計を用いることを標準

→新技術の紹介(超音波による鋼構造物の非接触板厚計測技術／電磁誘導法による肉厚評価技術)

2.3.3 調査地点の選定・・・施設の延長方向

2.3.4 測定箇所を選定・・・深さ方向

2.3.5 肉厚測定点の選定・・・部材の測定点

2.3.6 局部腐食測定

2.4 腐食評価

第IV部 無防食の工構造物に対する性能評価と補修・補強対策

旧マニュアル補修補強対策工

第2編 補修・補強

第1章 総説

本編は、腐食が原因となって性能が低下した**鋼管杭** または**鋼矢板・鋼管矢板**の補修・補強に適用する

1.1 適用範囲

1.2 補修・補強のための工法選定

(A) 腐食した鋼材の補修・補強

(B) 全体系に対する補修・補強

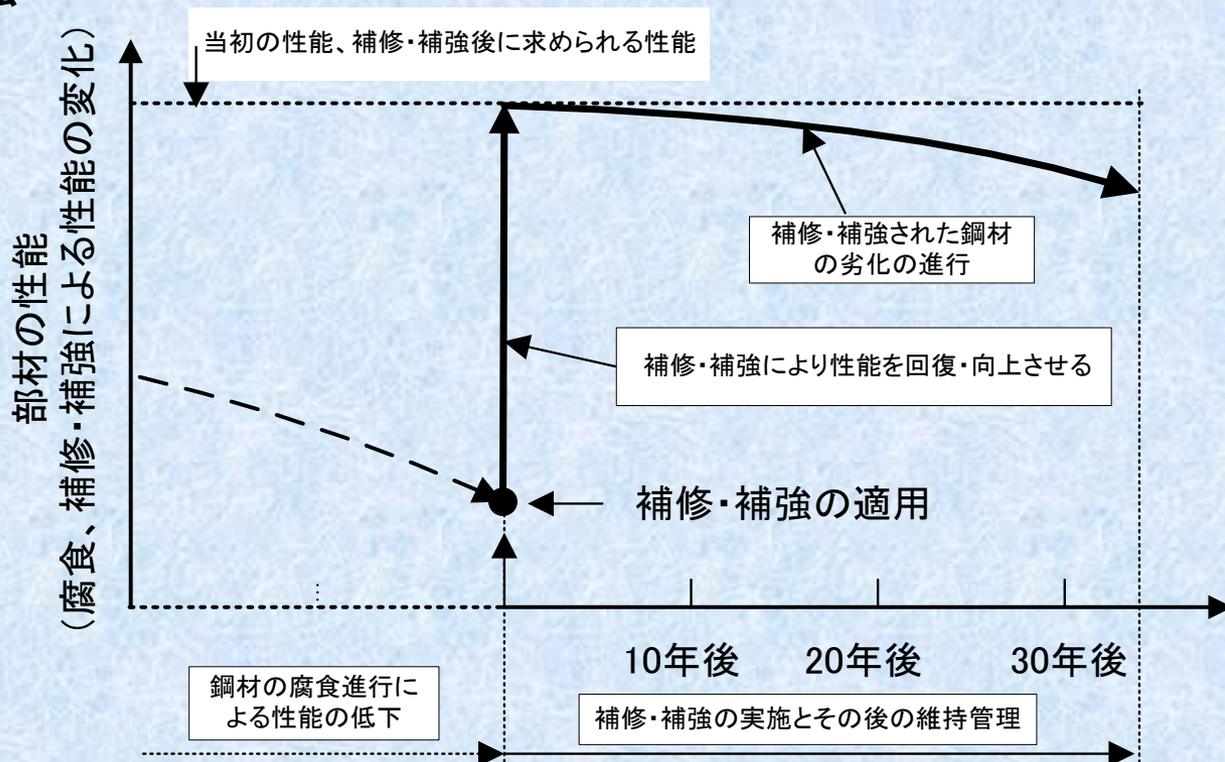
1.3 腐食した鋼材に対する補修・補強の設計・・・ 鉄筋コンクリート／ 鋼板の補修補強

1.3.1 性能の確認

1.3.2 補修・補強範囲の考え方

1.3.3 全体系での検討

IV部構成は、旧マニュアルと同じであるが、性能規定化を強く意識した内容になっている



第2章 鉄筋コンクリートを用いた補修・補強

マニュアルP297

2.1 一般

・設計・施工の手順

2.2 性能の確認

- ・断面破壊の終局限界状態
- ・使用限界状態
- ・性能の経時変化

設計検討手法が大幅に変更になった。
(許容応力度法は使えない)

付属資料4 補修・補強の設計例を参照



気中部のスタッド



水中部のスタッドと鉄筋



完成後の外観

第3章 鋼板を用いた補修・補強

3.1 一般

3.2 性能の確認

- ・・・補修・補強を行った部分に作用する断面力に対する性能
→技術基準・同解説に準拠した方法（信頼性設計など）
- ・・・鋼板を既設鋼材に接合するための溶接部の性能
→界状態の検討は、溶接部のせん断強度の特性値と溶接部に作用する設計せん断応力度を比較



補修・補強用鋼板の吊り下げ

付属資料4 補修・補強の設計例を参照



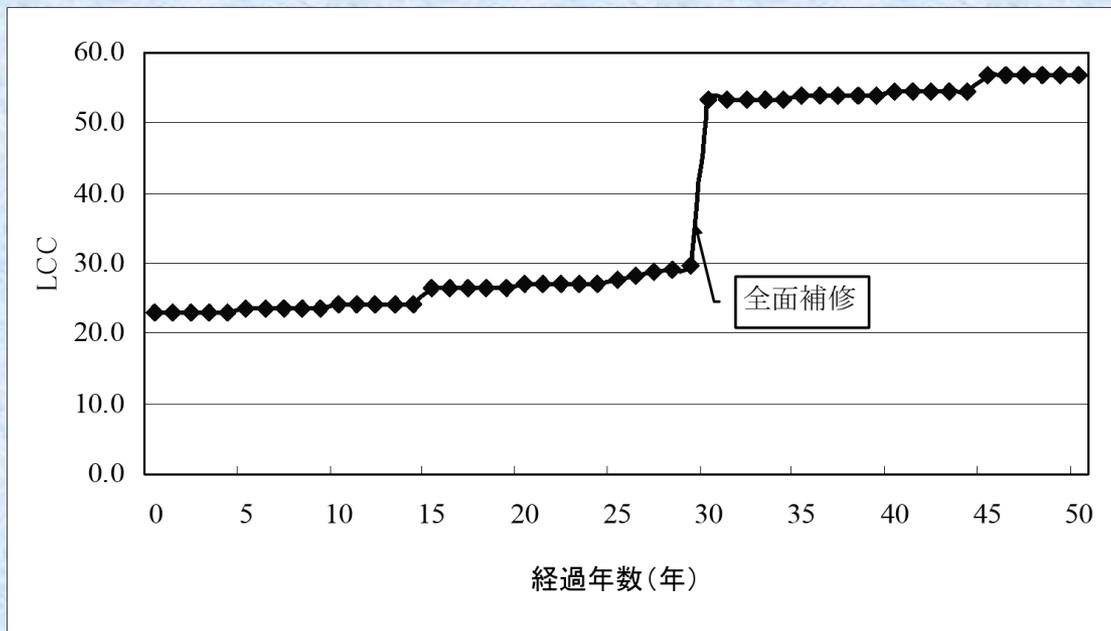
水中溶接後の状況

付属資料改訂内容

- 改訂 付属資料1 用語集
- 移設(電気防食) 付属資料2 海洋鋼構造物に関する電気防食の国内の基準と海外の基準類(参考)
- 改訂 付属資料3 電気防食の設計例
- 改訂 付属資料4 補修・補強の設計計算例
- 改訂 付属資料5 補修工法の施工例
- ☆新規 付属資料6 防食法のライフサイクルコスト(LCC)算定方法の試検討
- 移設(維持管理) 付属資料7 点検診断および点検・調査の記録例
- 移設(塗覆装) 付属資料8 素地調整の規格
- ※転載 付属資料9 湿式水中溶接試験
- 改訂 付属資料10 防食・補修工法の品名一覧

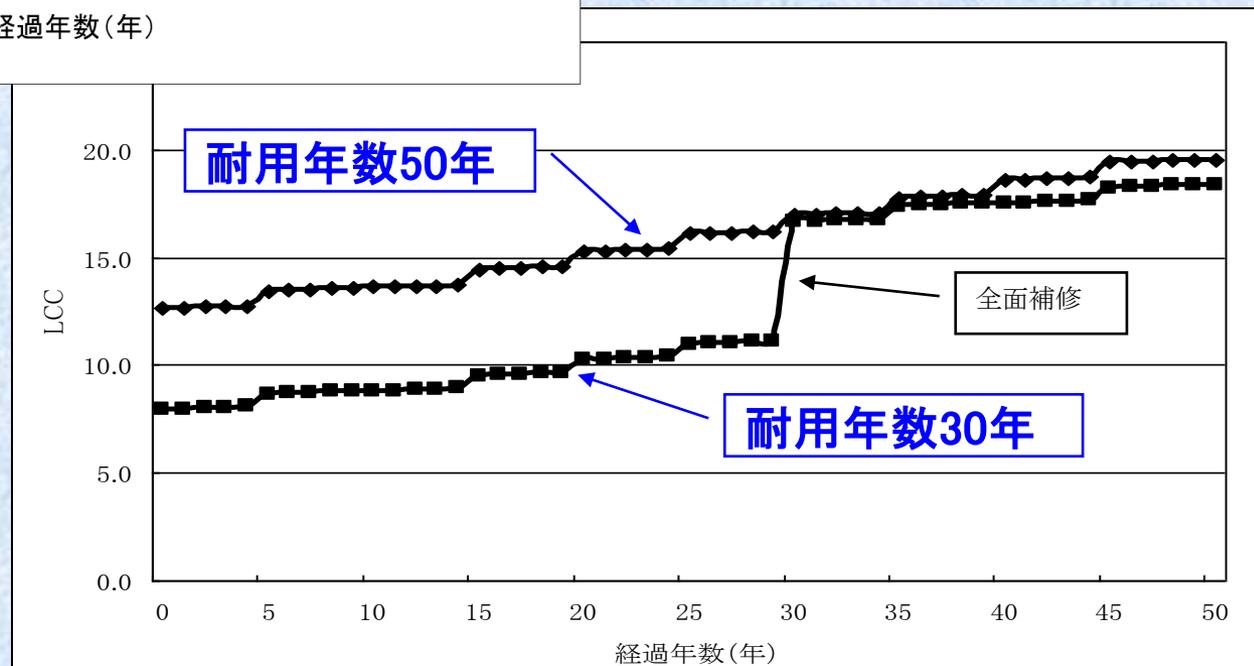
付属資料6 防食法のライフサイクルコスト(LCC)算定方法の

試検討



耐用年数30年の被覆防食のLCCの試算

耐用年数50年と30年の電気防食のLCCの試算



防食・補修工法研究会 より詳しいプレゼンテーション(準備中)

港湾施設の防食に
関す動向(概要)

時代の変遷
防補研の概要紹介
(関連法令・基準類)維持管理の時代が到来した
マニュアルの新旧のどこが変わったかの説明

防食被害事例

腐食の種類とメカニズム
防食対策の経済効果(維持管理の必要性)
防食被害の事例

防食工法について

主な防食工法の紹介(設計面・施工面)
防食工法の選定ポイント事例

防食工法の維持
管理計画

各種防食工法の点検のポイント・点検診断の事例
問題点の整理と点検診断の総括(総合評価に向けて)
データの整理と記録

防食工法の維持
補修工事

維持補修の基本方針
維持補修の判断・代替案・計画・実施と留意点
維持補修工事のデータと記録の事例

より詳しい内容をお知りになりたい方は、防食・補修工法研究会のプレゼンテーションを参考にしてください。

(防食補修工法研究会では、さまざまな団体に対するプレゼンテーションを企画しております)

ご清聴 有難うございました。

防食・補修工法研究会

事務局 〒113-0033 文京区本郷2-11-10ウエルストンハイツ201
TEL:03-3814-3877 FAX:03-5805-1446