

【鋼構造物の防食・補修工法】

(株)ナカボーテック

星野 雅彦

目次

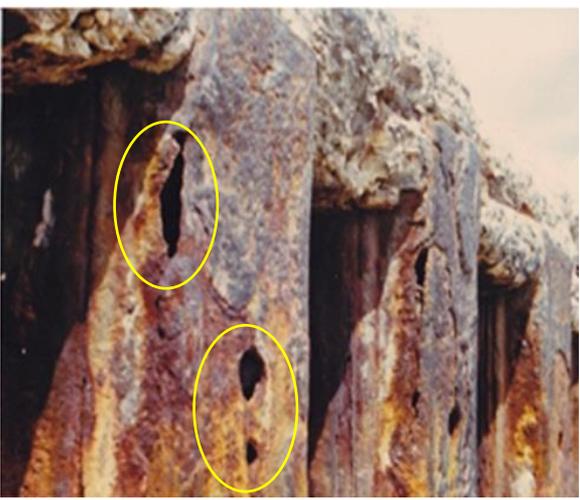
1. 港湾鋼構造物の腐食事例
2. 港湾鋼構造物の腐食傾向
3. 港湾鋼構造物の防食法
4. 防食工法の劣化度評価
5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術
6. 港湾鋼構造物の部分補修対策
7. 港湾鋼構造物の防食に関する新技術紹介

1. 港湾鋼構造物の腐食事例(下部工)

鋼管杭



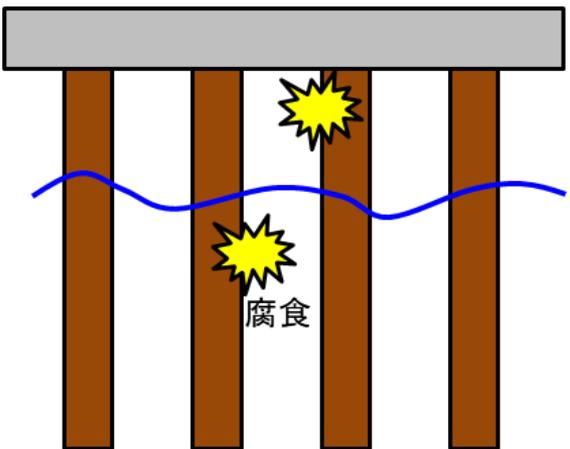
鋼矢板



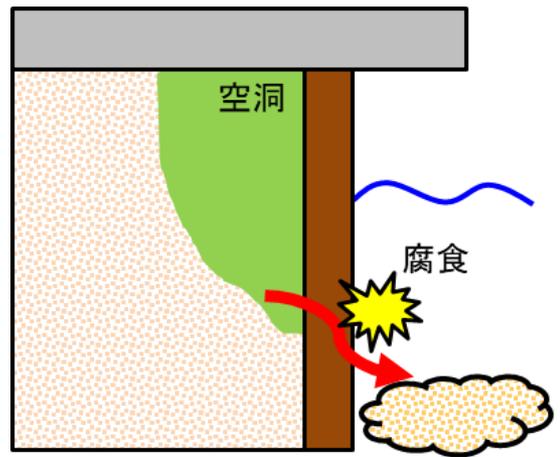
鋼管矢板



1. 港湾鋼構造物の腐食事例(事故例)

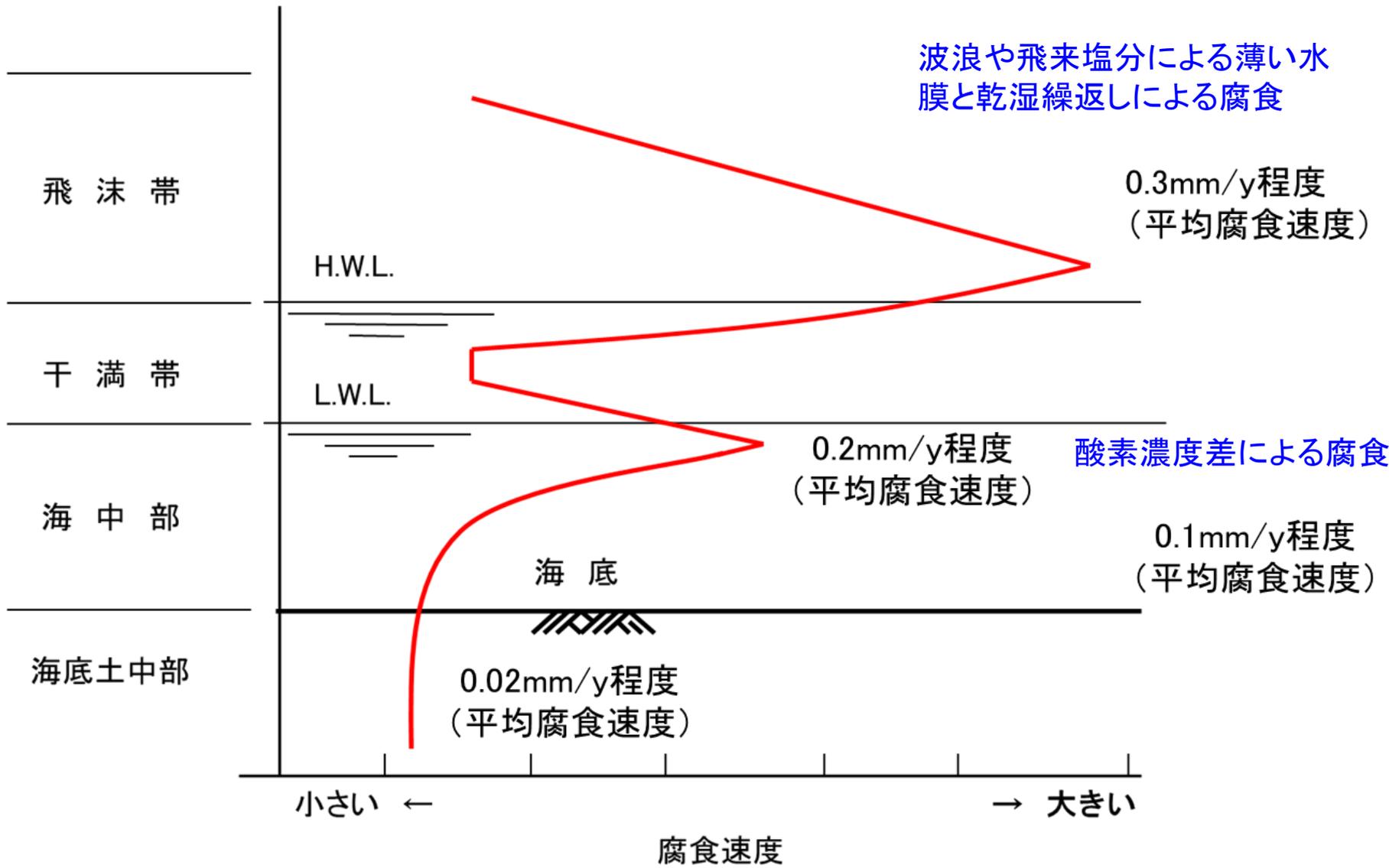


鋼材が腐食し座屈



空洞化した部分に重量物が乗り陥没

2. 港湾鋼構造物の腐食傾向 (一般的な場合)



3. 港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

下部工の防食工法は2つに大別される

電気防食工法

海水中の鋼材に対し、アルミニウム合金陽極や不溶性の電極から防食電流を供給し鋼材を防食する方法。

鋼材表面に到達する溶存酸素を防食電流によって還元することで、海水中においても鋼材を腐食から守ることが可能であるが、電解質がない場合には適用ができない。

還元反応(カソード反応)を抑制することで防食する。

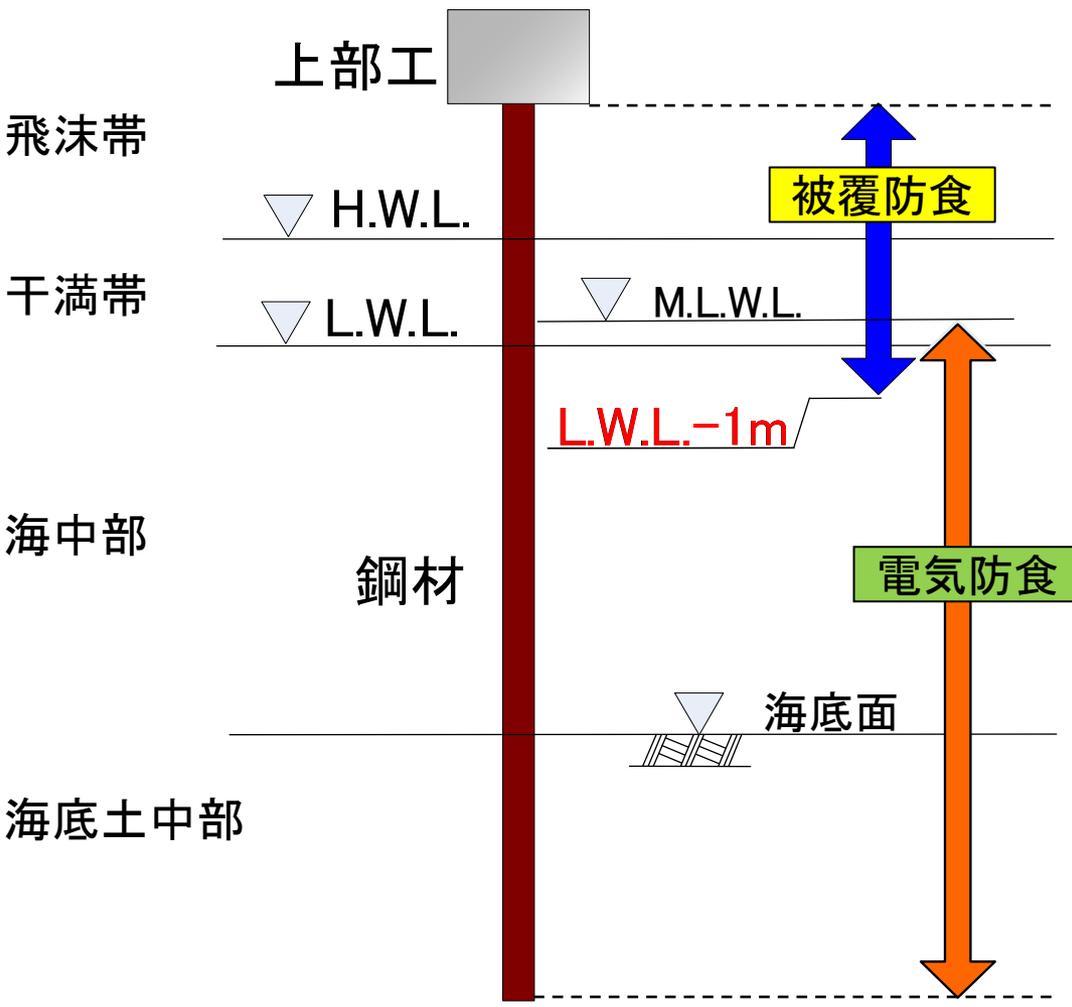
被覆防食工法

鋼材表面を被覆材で覆うことで防食する方法。

腐食反応に必要な水(H_2O)と酸素(O_2)の両方を物理的に遮断する。

3. 港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

防食工法の適用範囲



・飛沫帯は海水のような電解質がなく電気防食工法が適用できないため、被覆防食工法が適用される。
・被覆防食工法は、一般的にL.W.L.-1mから飛沫帯にかけて適用される。

図のように、L.W.L.-1m以上に被覆防食工法、M.L.W.L.以下に電気防食工法を適用する方法が実績も多く信頼性が高い方法。経済効果も高い。

3. 港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

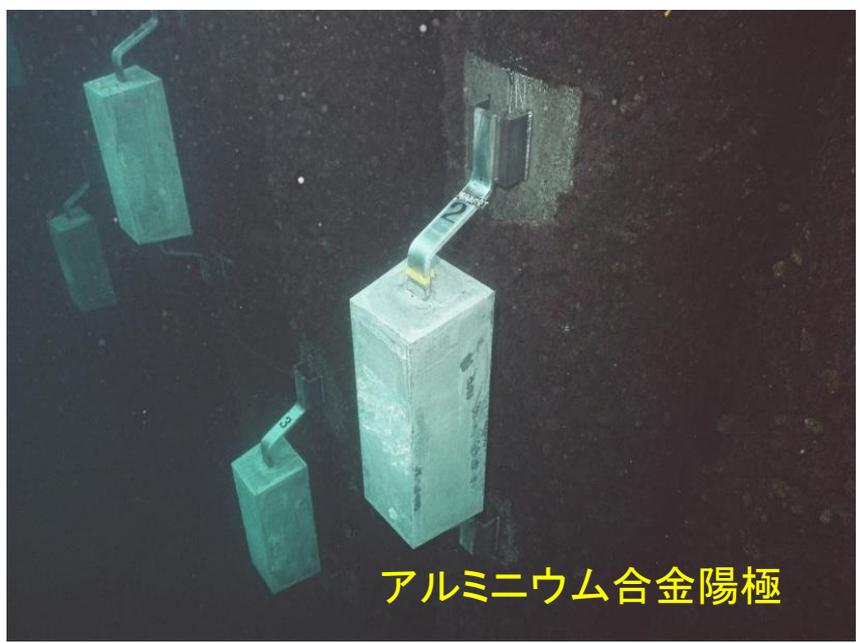
電気防食工法



電気防食の防食電流で還元



カソード反応が抑制されるため、アノード反応が生じない(水の中でも鉄は鉄のまま)



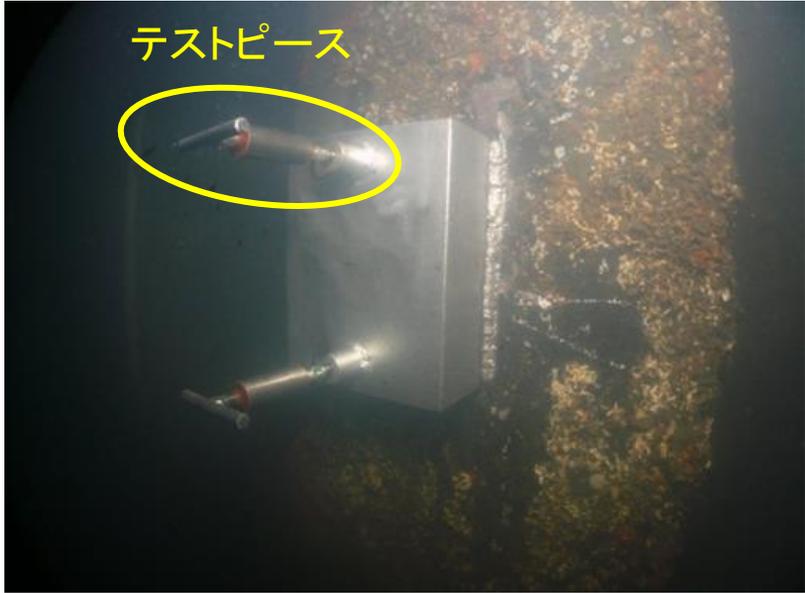
アルミニウム合金陽極



港湾環境ではアルミニウム合金陽極が主流

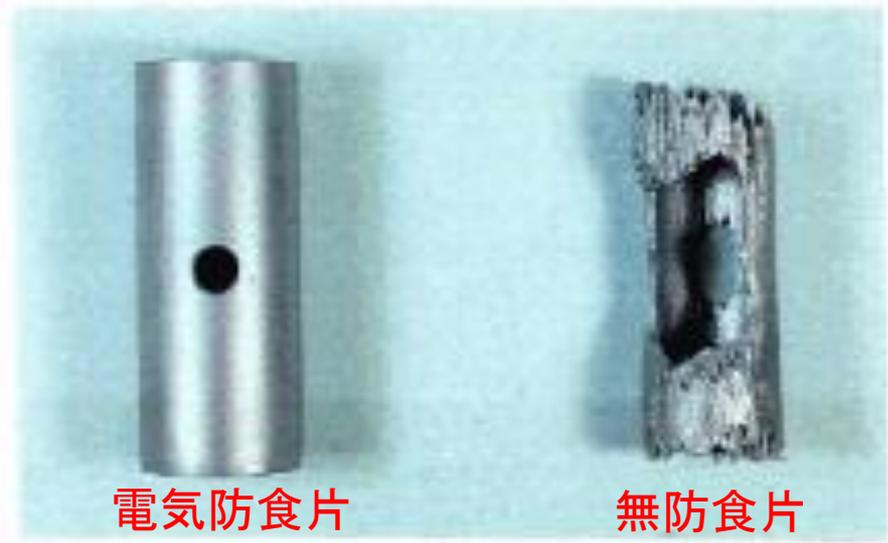
3.港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

電気防食工法(防食効果の確認)



防食効果確認用テストピース

- ・電気防食された鋼管杭と導通(電気防食片)
- ・鋼管杭と絶縁(無防食片)



サンドエロージョン環境下での試験結果

防食率: 99.7%

3.港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

電気防食工法(特徴比較)

方式	長所	短所
流電陽極	<ul style="list-style-type: none">・メンテナンスが容易・施工が容易・陽極寿命を任意に設定可能・電源のない場所でも適用可能	<ul style="list-style-type: none">・河川等の高抵抗率環境には適さない・防食電流の調整が不可・陽極が寿命に達した時には更新が必要
外部電源	<ul style="list-style-type: none">・出力電圧を任意で調整可能・高流速下、河川水混入環境下など変化の激しい特殊な環境にも適応可能	<ul style="list-style-type: none">・電源のない場所では適用が困難・維持電力費を必要とする・過防食や隣接する鋼構造物への影響を考慮する必要がある

3.港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

被覆防食工法

各種被覆防食工法の期待耐用年数と特徴

施工場所	工法	期待耐用年数	特徴
工場被覆	塗装	数年～20年程度	複雑形状にも適用可能 初期コストが低い
	重防食被覆	20～30年程度	耐食性に優れる 品質管理がしやすい
	耐食性金属被覆	50年程度	超長期の耐久性を有する 施設耐用年数によってはLCCで有利
現地被覆	水中硬化形被覆	20年程度	複雑形状にも適用可能 部分補修が容易
	ペトロラタム被覆	30年程度	低級な下地処理で施工可能 施工に特殊な機械を必要としない 既設構造物では最も実績がある
	モルタル被覆 コンクリート被覆	30年程度	低級な下地処理で施工可能 強アルカリ性による防食 耐衝撃性が期待できる

3. 港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

被覆防食工法(工場被覆)



塗装



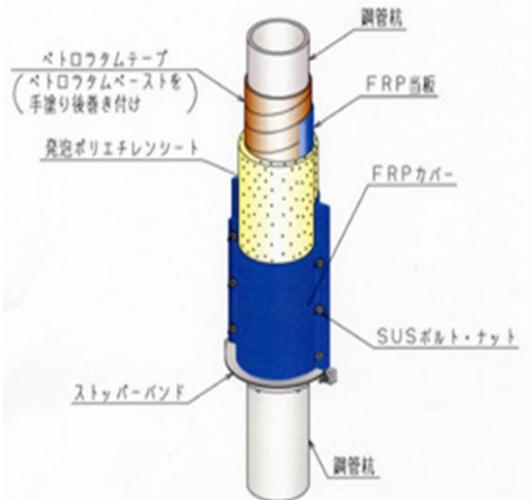
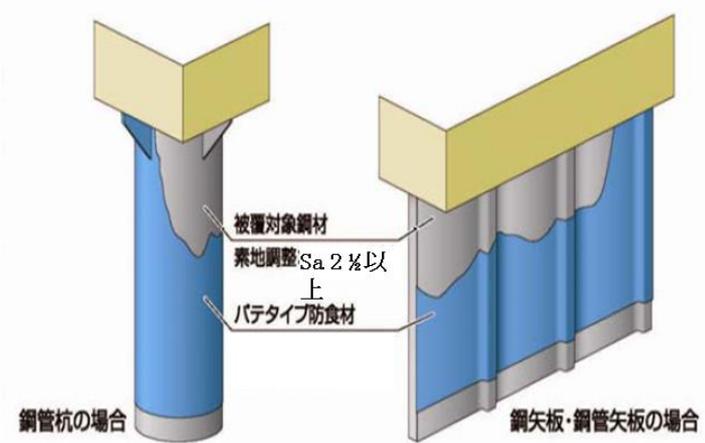
重防食被覆



耐食性金属被覆

3. 港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

被覆防食工法(現地被覆)



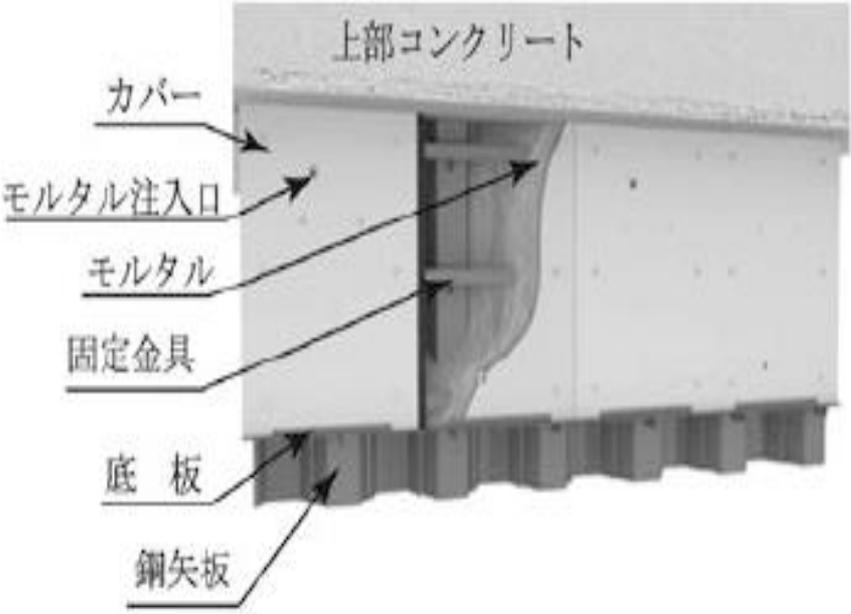
水中硬化形被覆



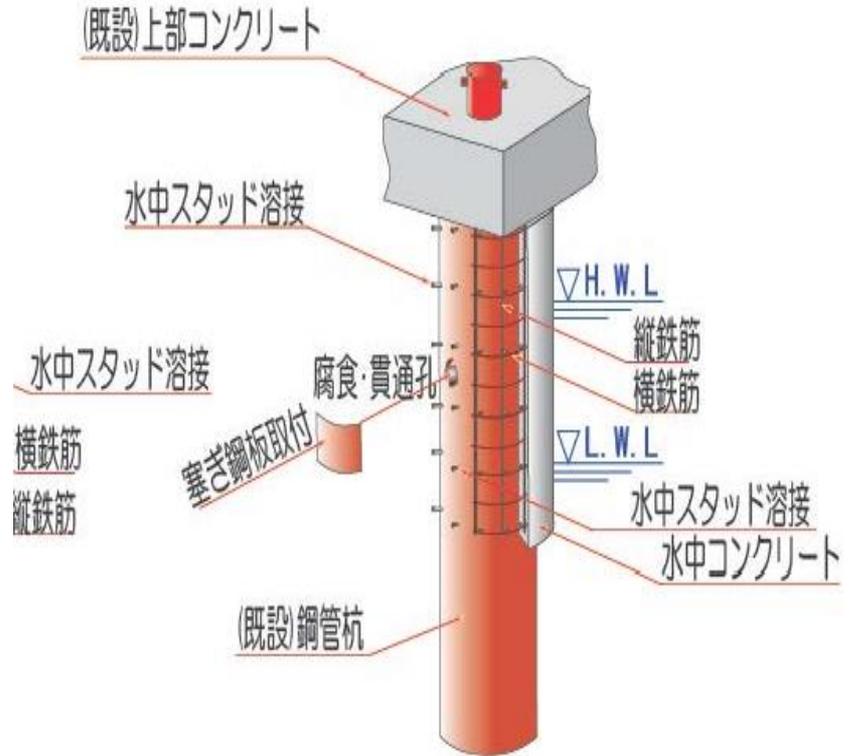
ペトロラタム被覆

3. 港湾鋼構造物の防食工法(下部工)

被覆防食工法(現地被覆)



モルタル被覆



コンクリート被覆

4.防食工法の劣化度評価

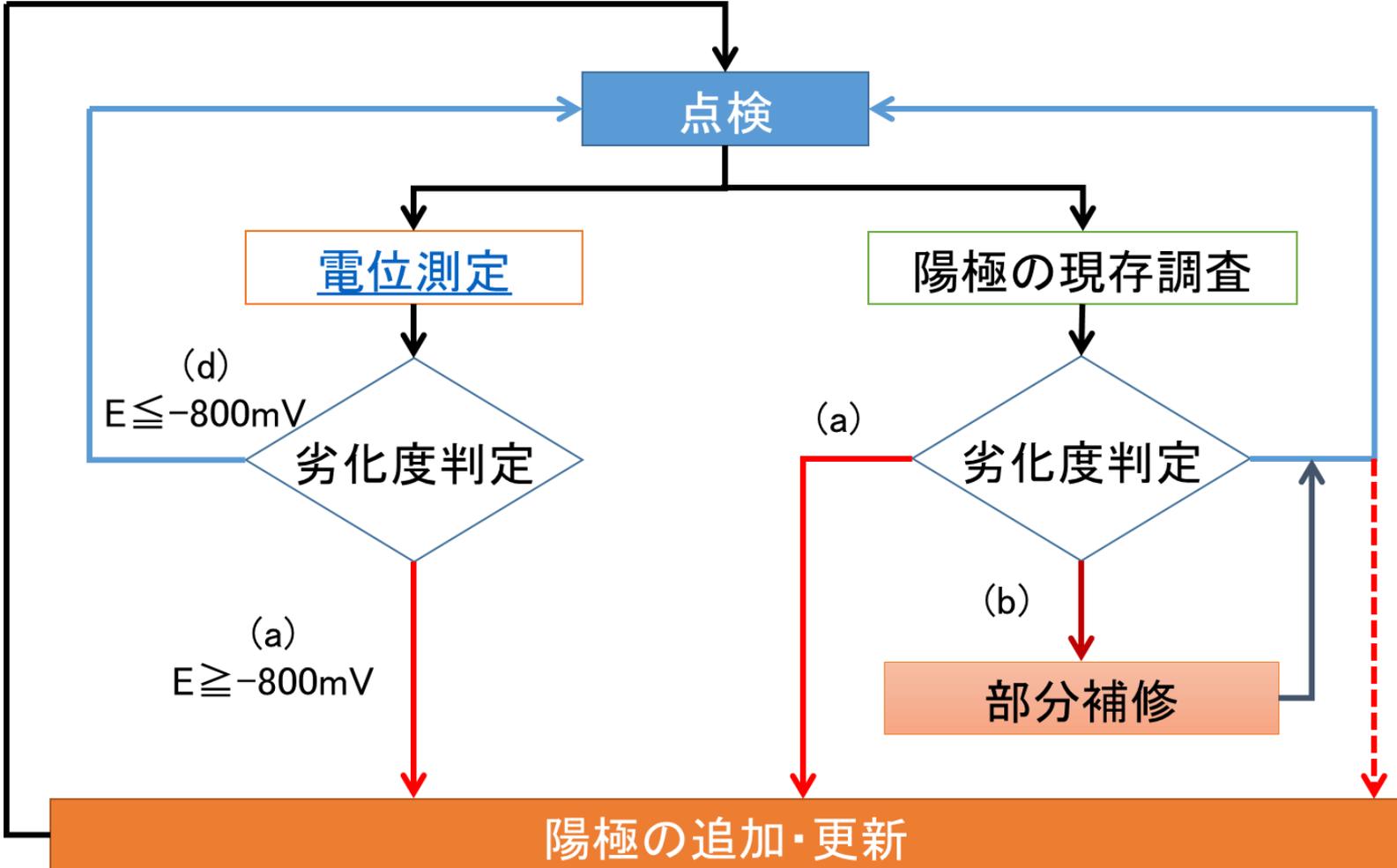
劣化度	劣化度判定による防食の性能評価		
	被覆防食工法	電気防食工法	
		電位測定結果	陽極の現存状況 調査結果
(a)	防食性能が著しく低下している	防食管理電位が維持されていない	陽極が脱落又は完全消耗している
(b)	防食性能が低下している	—	陽極取付に不具合がある
(c)	防食性能の低下はないが、変状が発生している	—	—
(d)	変状が認められず防食性能の低下はない	防食管理電位が維持されている	変状なし

点検診断結果による防食の性能評価(2009年度版 防食・補修マニュアル)

5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

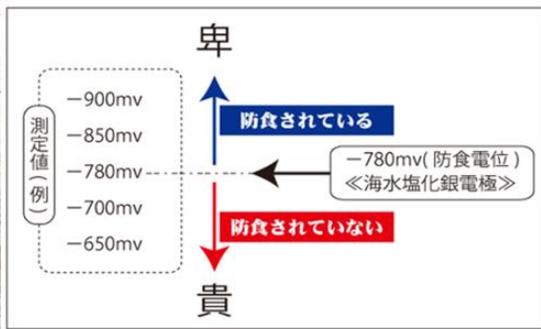
電気防食工法

基本は電位測定



5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

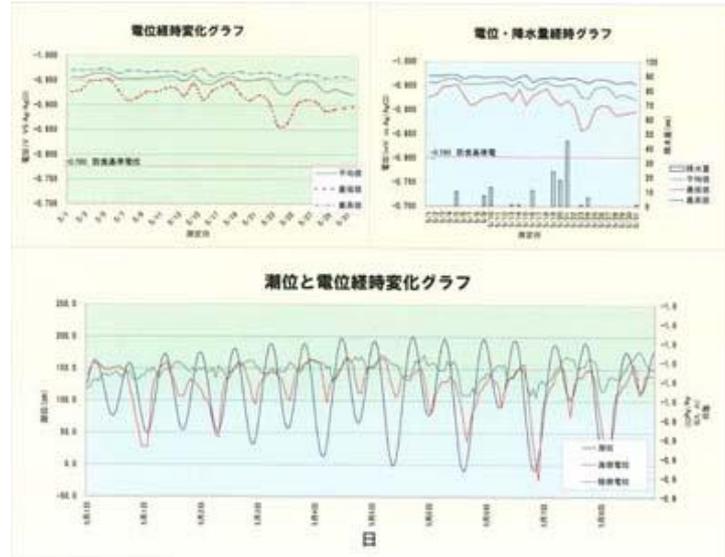
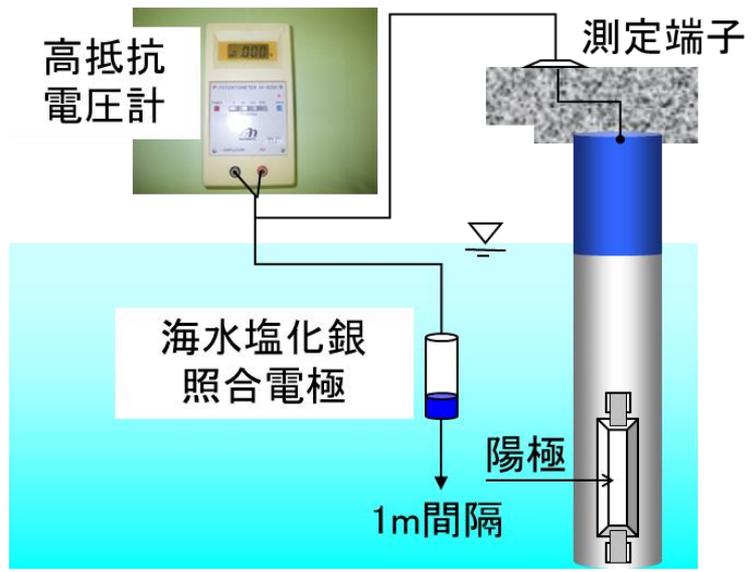
電気防食工法(電位測定)



防食管理電位 $E_p \leq -800\text{mV}$ / 海水塩化銀電極



電位測定の様況



5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

電気防食工法(陽極調査/目視)

劣化度判定目安:劣化度(a)



劣化度判定目安:劣化度(b)



劣化度判定目安:劣化度(d)



初期



中間期



後期

5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

電気防食工法(陽極調査/残存質量)

清掃作業



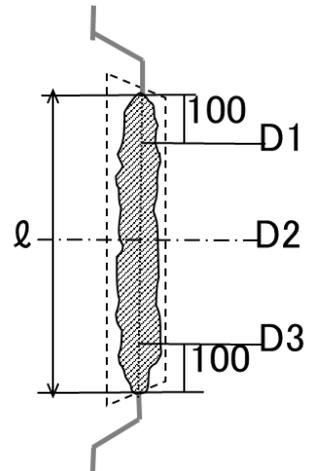
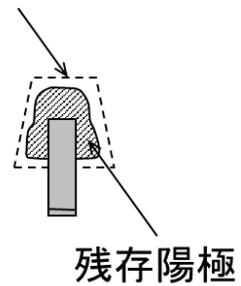
周長測定



長さ測定



元の陽極形状

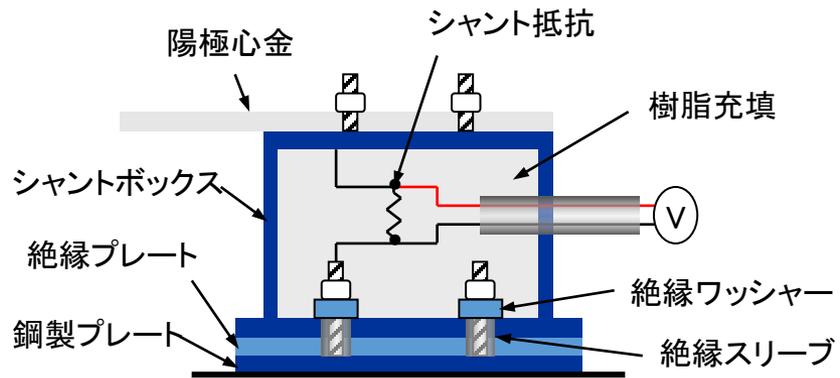
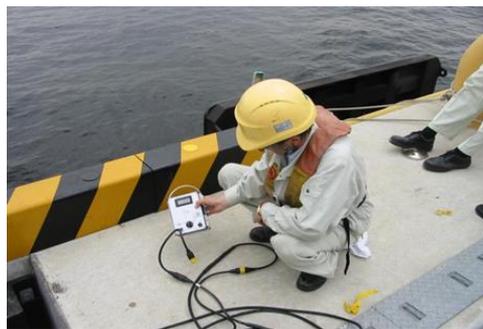
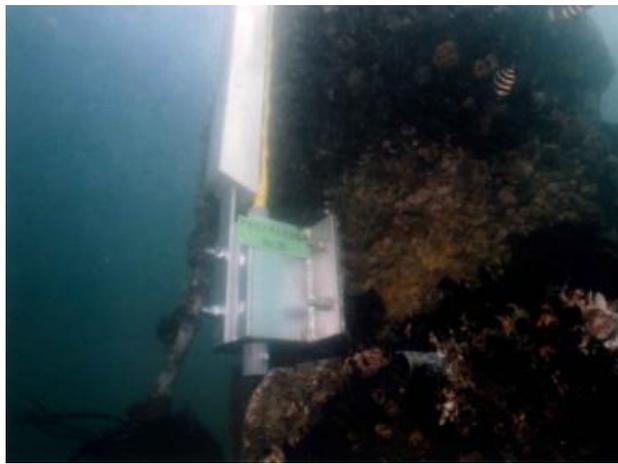
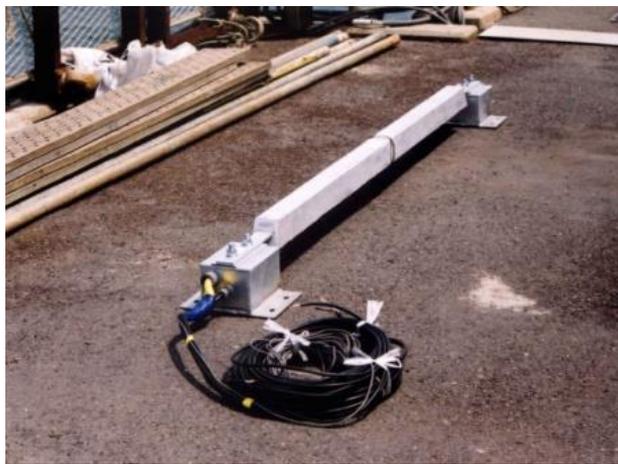


残存質量W(kg)
 $W = [(D/4)^2 \times l - \text{心金の体積}] \times \text{陽極の密度}$
 D: 平均周長 = $(D1 + D2 + D3) / 3$

平均年間消耗量S(kg/y)
 $S = (W_0 - W) / \text{経過年数}(y)$
 W_0 : 陽極の初期質量(kg)
 残存寿命T(y)
 $T = W / S$

5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

電気防食工法(陽極調査/発生電流)



$$I = \frac{E}{R}$$

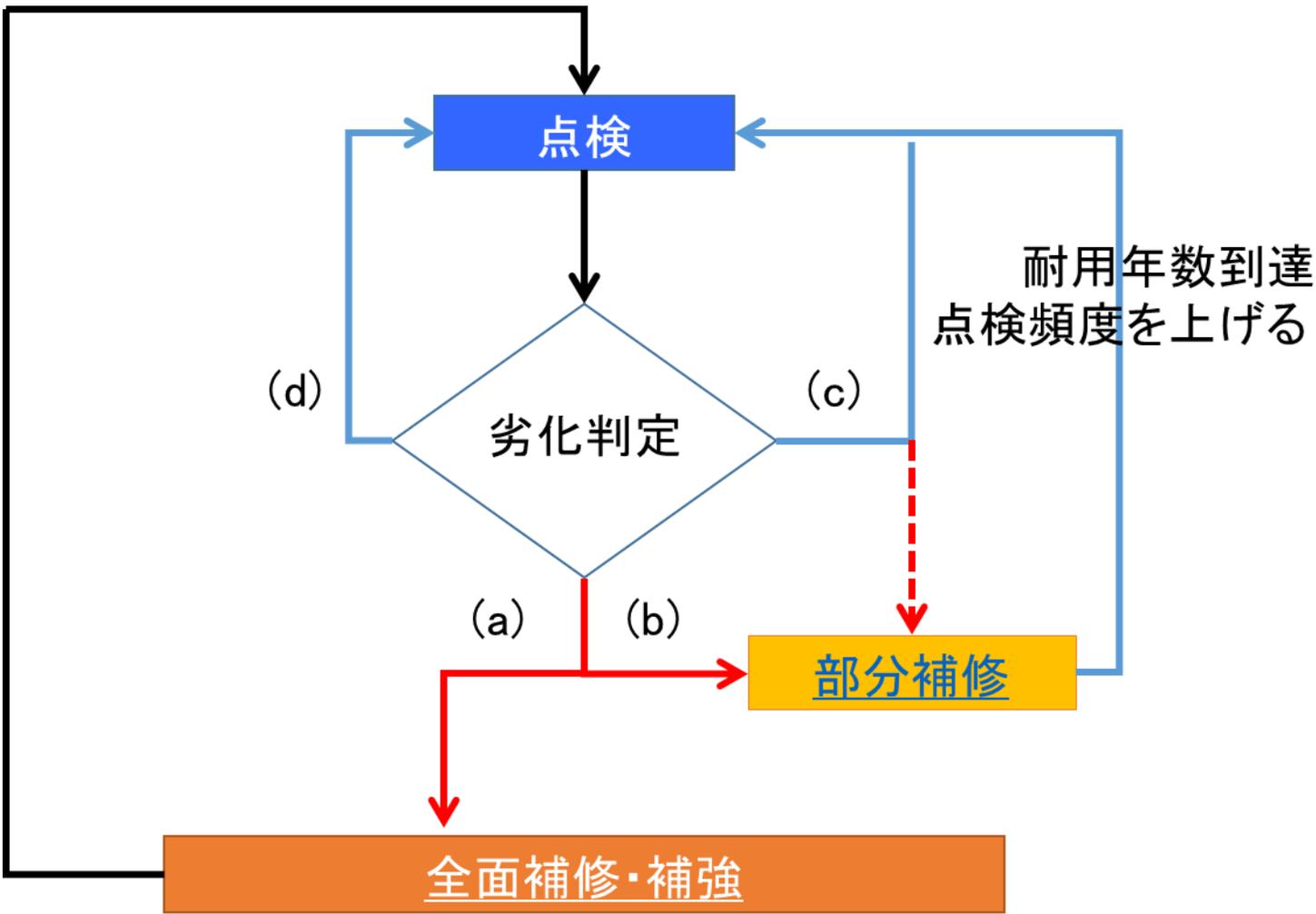
I: 発生電流
E: 端子電圧
R: シヤント抵抗

・電流計測により寿命推定

5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

被覆防食工法

基本は外観目視



5.港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

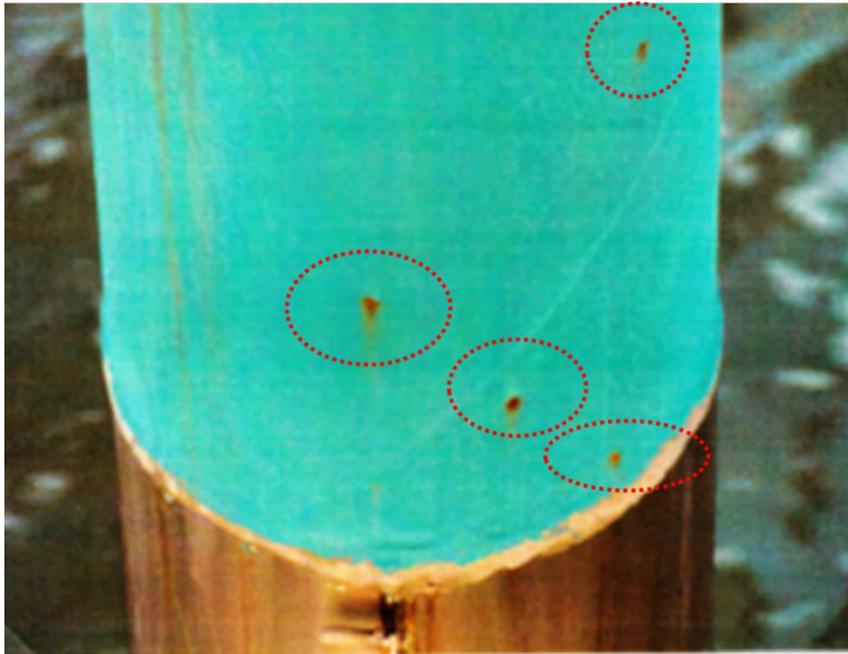
被覆防食工法(劣化度の目安事例/劣化度(d))



変状が認められず防食性能の低下はない

5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

被覆防食工法(劣化度の目安事例/劣化度(c))



防食性能の低下はないが、変状が発生している

5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

被覆防食工法(劣化度の目安事例/劣化度(b))



カバー材が損傷し、防食性能が低下している

5. 港湾鋼構造物の点検・補修フロー・点検技術

被覆防食工法(劣化度の目安事例/劣化度(a))



防食性能が著しく低下している

6. 港湾鋼構造物の部分補修対策

被覆防食工法の部分補修

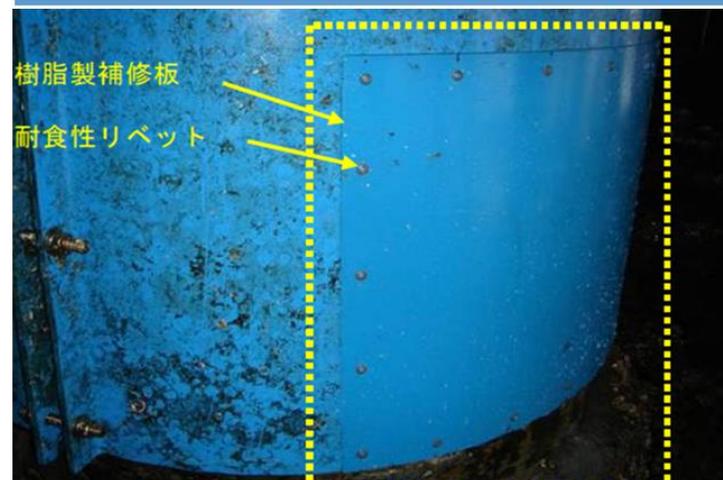
部分補修の条件

- ① 防食性能を維持する
- ② 耐久性が同等である
- ③ 維持管理が容易である
- ④ 実環境に影響なく施工が可能である

耐食性金属被覆工法



ペトロラタム被覆工法



6. 港湾鋼構造物の部分補修対策

被覆防食工法の全面補修・補強

全面補修・補強の条件

- ① 実環境に影響なく施工が可能である
- ② 残供用期間中で防食性能を確保する
- ③ 維持管理が容易である

FRP保護カバー



耐食性金属保護カバー



鋼板補強

7. 港湾鋼構造物の防食に関する新技術紹介

ペトラタム被覆用モニタリングセンサ

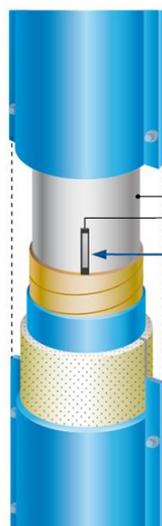
「内部の見える化」



ペトラタム被覆は長期防食性能に優れた工法

【課題】

カバー材・防食材を撤去するまで、鋼材の防食状態を判定することが困難。

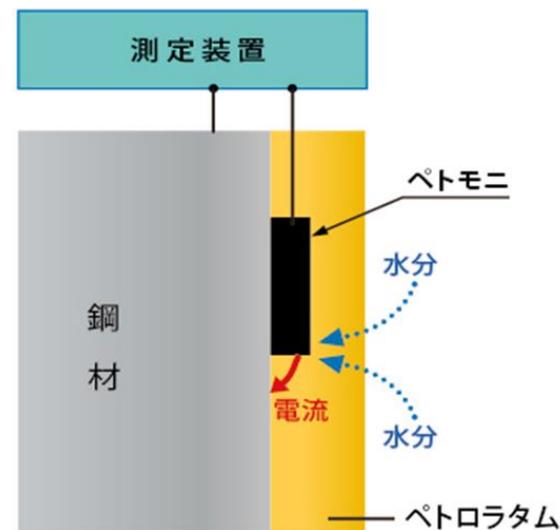


記録装置
測定装置



ペトモニ (Znセンサ)

ペトラタムの劣化が始まると、腐食因子である水分がペトラタムを通して鋼材表面に達し、腐食が発生する。センサーから鋼材に流れる電流を測定することでペトラタムの劣化を非破壊で定量的に判断・評価が可能。



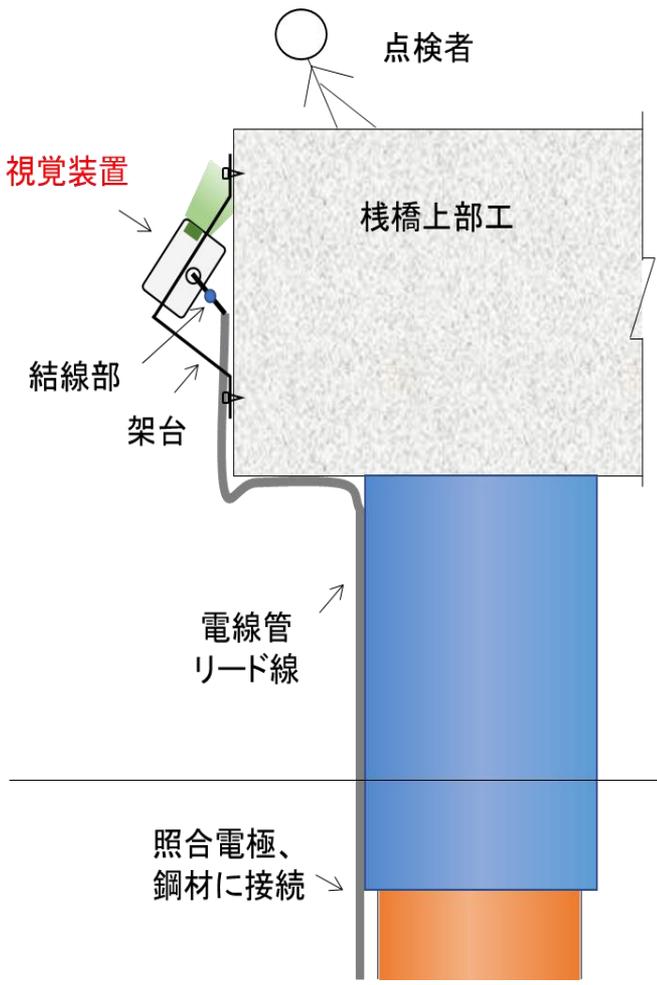
7. 港湾鋼構造物の防食に関する新技術紹介

電気防食の維持管理用視覚装置(試験段階)



既存の手法は、現地で照合電極を投入するまで電位判定(防食状態か否か)が困難であった。

陸上から目視(発光色)で防食状態を判定可能。



1. 港湾鋼構造物の腐食は社会基盤を脅かす可能性があるため、防食による対策が必須となる。
2. 港湾鋼構造物に対して防食対策を行うことで構造物は腐食から守られるが、長期間の供用を図るには維持管理が重要になる。
3. 防食工法や補修工法はほぼ完成された技術と考えられるが、少しずつ改良されている。
4. 少子高齢化に伴う労働者不足が顕著になってきているため、モニタリング技術の活用等により点検の簡便化が図られ始めている。