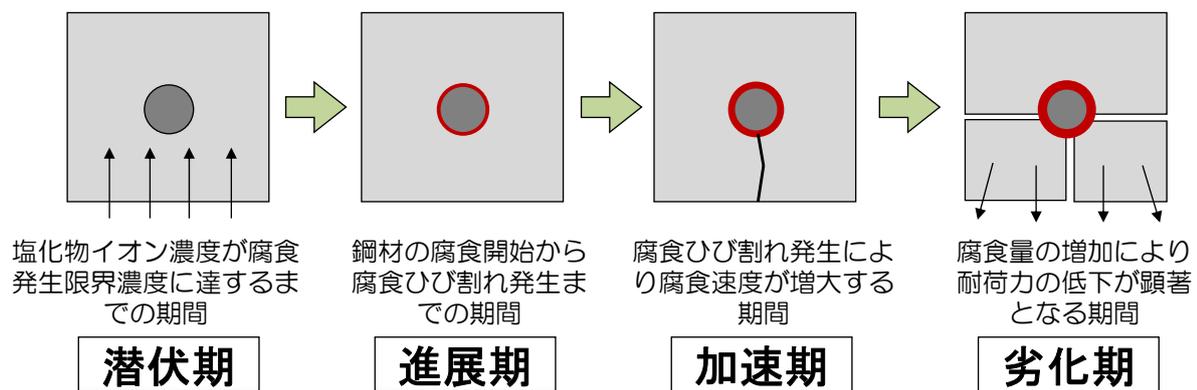


Znカートリッジ工法 (流電陽極方式腐食抑制工法)

2025年2月



1. (1) 塩害による構造物の劣化



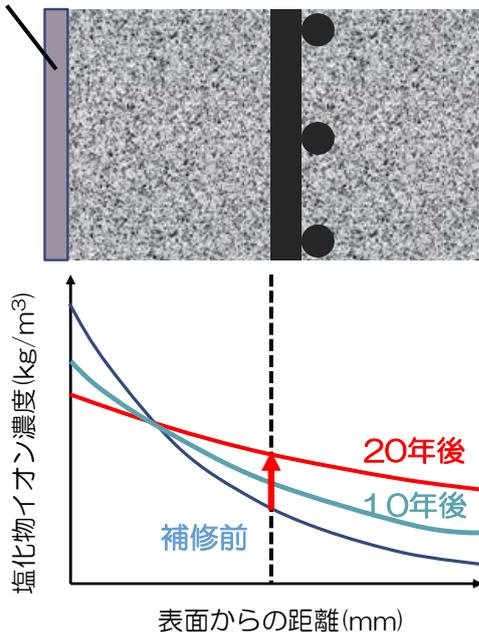
1. (2) 塩害に対する補修工法

劣化過程	標準的な補修工法例	定義
潜伏期	表面処理	鋼材の腐食が開始するまでの期間
進展期	表面処理、脱塩、電気防食、断面修復	鋼材の腐食が開始から腐食ひび割れが発生するまでの期間
加速期 前期	断面修復、脱塩、電気防食	腐食ひび割れの発生により腐食速度が増大する期間
加速期 後期	断面修復(力学的性能の回復を含む)	
劣化期	断面修復(力学的性能の回復を含む)	腐食量の増大により耐力の低下が顕著な期間

3

1. (3) 表面処理工法による補修と懸念事項

表面処理



【原理】

表面処理による腐食因子の遮断

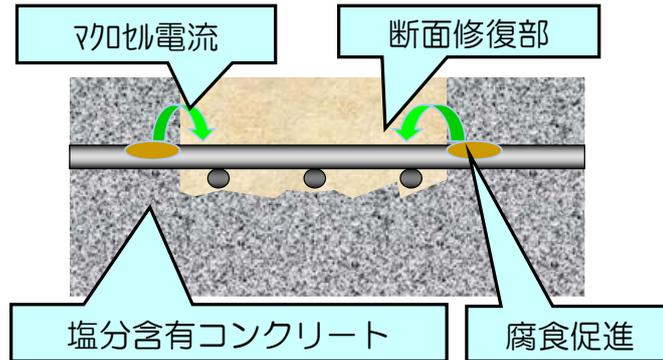
【懸念事項】

多量の塩分が浸透している場合には、外部からの塩化物イオンの浸透は抑制できるが、コンクリート中塩分の再拡散に伴い、鋼材位置の塩分が増加するケースあり

4

1. (4) 断面修復工法による補修と懸念事項

- 1) 断面修復部付近の、既設コンクリートの塩化物イオンが多い場合には、既設部と補修部の腐食環境の違いによりマクロセル腐食が発生し、補修後再劣化を引き起こす事例がある。
- 2) PC構造物は、プレストレスによる応力が常時作用しているため、はつり時の安全性や、はつり後の断面のプレストレスの再分配の影響



5

1. (5) 電気防食工法の電流供給方法

	外部電源方式	流電陽極方式
電流の供給		
電源装置	必要	不要
陽極材	耐食性→高 (チタン系材料)	腐食性→高 (亜鉛、アルミ等)
電流調整	必要	不要
適用範囲	防食面積 (中～大)	防食面積 (小)、劣化状況 (小)

6

1. (6) 電気防食工法の特長と課題

- 腐食抑制に対して信頼性の高い工法であるが、他の補修工法に比べて施工コストが高い。
特に外部電源方式の場合には直流電源装置が必要となるため、コストが高くなる。
- 継続的に電流量が流れていることをモニタリングしなければならない。
計測機器を用いたモニタリングには、専門的知識が必要である。

→ 電気防食工法に比べて施工が簡単、施工費用が安価な方法、維持管理が簡単な電気化学的補修工法として、

流電陽極方式による腐食抑制工法（Znカートリッジ工法）

7

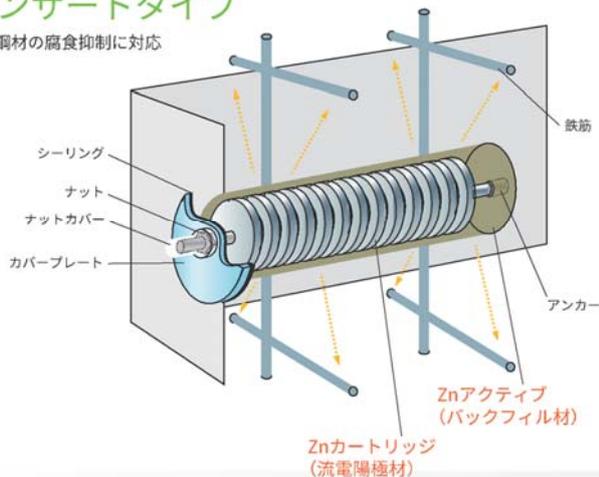
2. (1) Znカートリッジ工法の概要

鋼材と陽極材の電位差により、陽極材からコンクリートを介して鋼材に電流を流すことで、腐食を抑制する、電気化学的補修工法である。

対象鉄筋の位置に応じて、陽極の設置方法が選択できる。

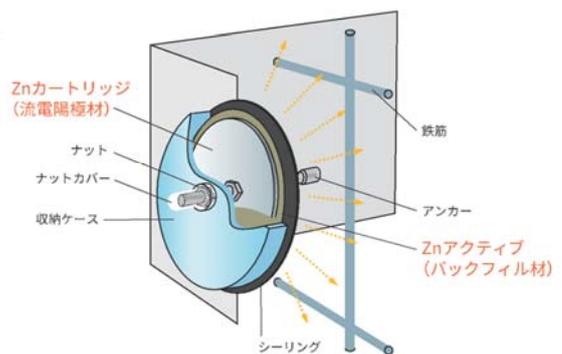
インサートタイプ

内部鋼材の腐食抑制に対応



サーフェスタ입

表面鋼材の腐食抑制に対応

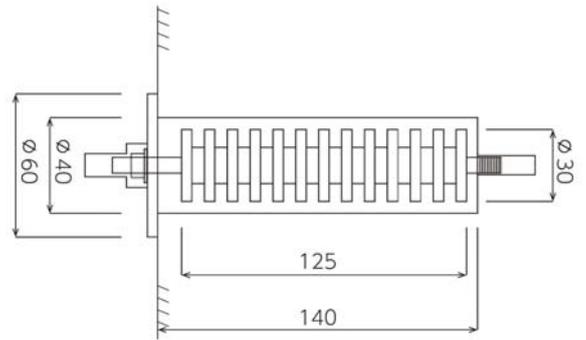
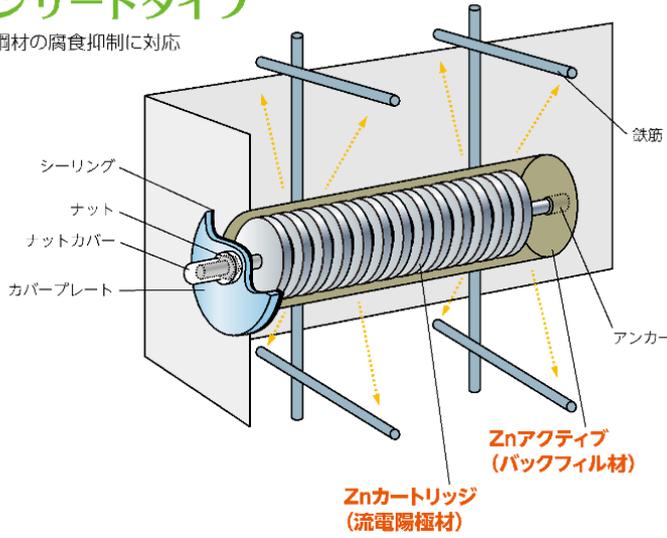


8

2. (2) Znカートリッジの種類

インサートタイプ

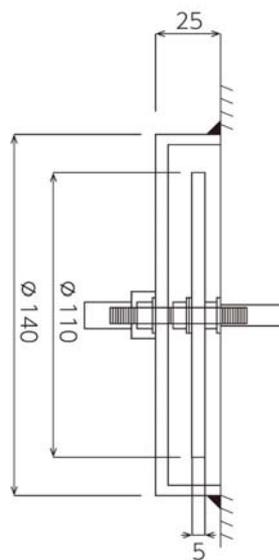
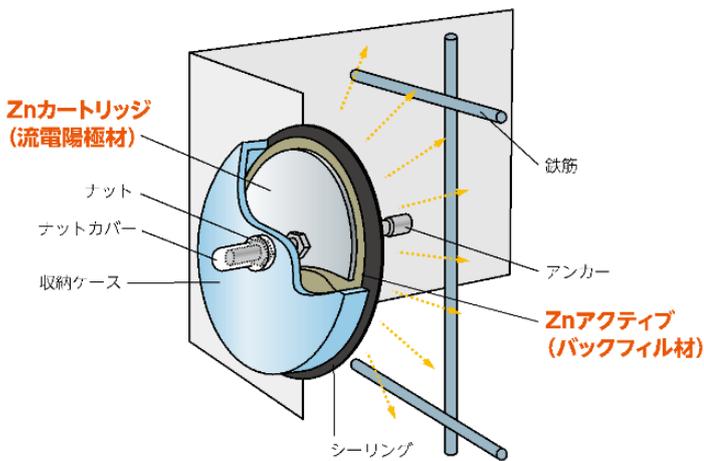
内部鋼材の腐食抑制に対応



コンクリート内部の鋼材腐食抑制に対応

2. (2) Znカートリッジの種類

サーフェスタ입



Znカートリッジ (流電陽極材)

コンクリート表面付近の鋼材腐食抑制に対応

2. (3) Znカートリッジ工法の特長

1) 鋼材の腐食を抑制

電気化学的な補修工法であるため、確実な鋼材の腐食抑制が可能

2) 容易な取替

流電陽極材は、あと施工アンカーでの固定および非硬化のバックフィル材を使用するため、ボルトを外すことで容易に流電陽極材の取替が可能

3) 簡易な維持管理

陽極と鉄筋の電位差により電流が流れるため、電流量の調整が不要

4) 部分的な補修が可能

11

2. (4) 施工事例①(橋面からの漏水による塩害対策)



構造物諸元 : PC連続合成桁橋

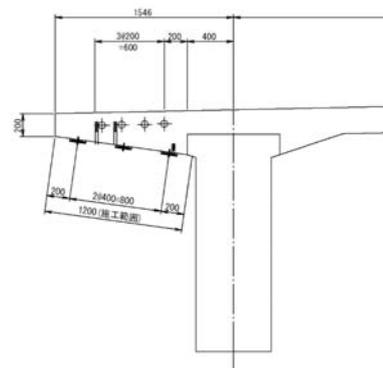
供用開始年 : 1990年

流電陽極設置 : 2022年6月

流電陽極仕様 : サーフェスタップ

陽極設置間隔 : 500mm

※張出床版の定着部付近を主とした腐食抑制



12

2. (4) 施工事例②(排水管損傷による漏水の塩害対策)



補修前



補修後

構造物諸元 : PCラーメン箱桁橋

供用開始年 : 1993年

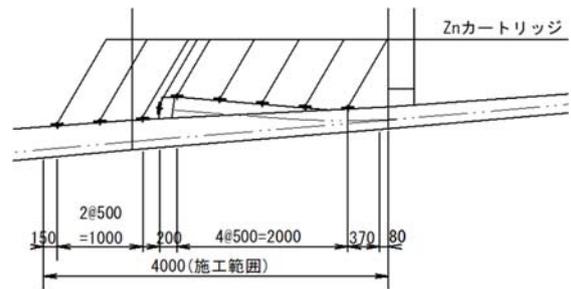
流電陽極設置 : 2022年6月

流電陽極仕様 : サーフェスタ입

陽極設置間隔 : 橋軸方向 : 500mm

橋軸直角方向 : 375mm

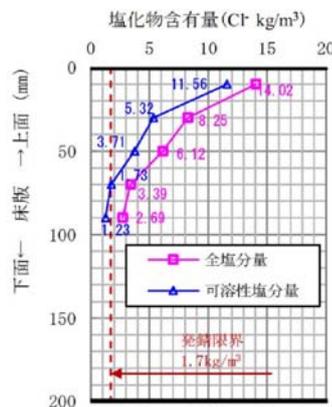
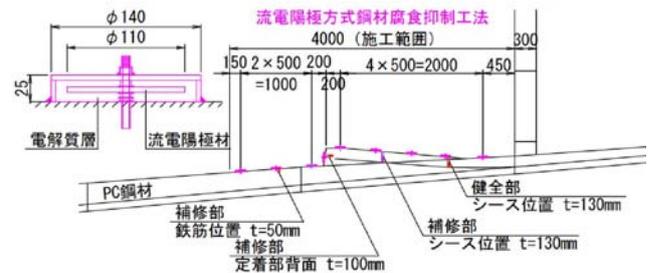
※下床版の定着部付近を主とした腐食抑制



13

【経過報告】

PC箱桁橋の定着部における流電陽極方式による補修方法の適用性について
プレストレストコンクリート工学会
第32回シンポジウム論文集(2023年)より



塩化物含有量試験結果

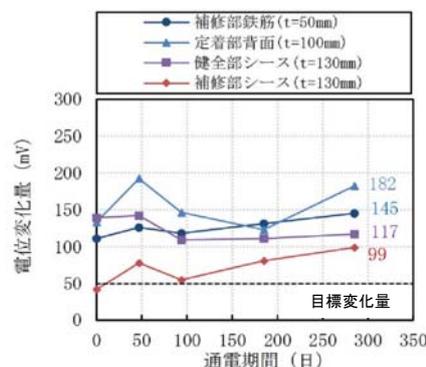


図-3 電位変化量測定結果

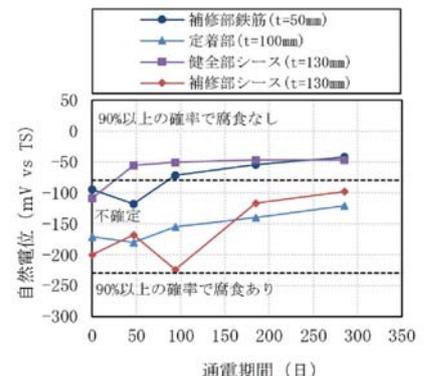


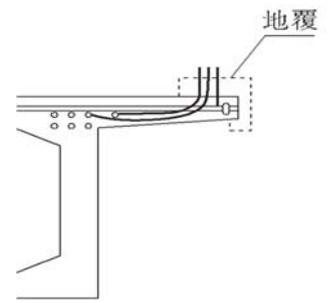
図-5 自然電位測定結果

14

2. (4) 施工事例③(グラウトホース伝い水による塩害対策)

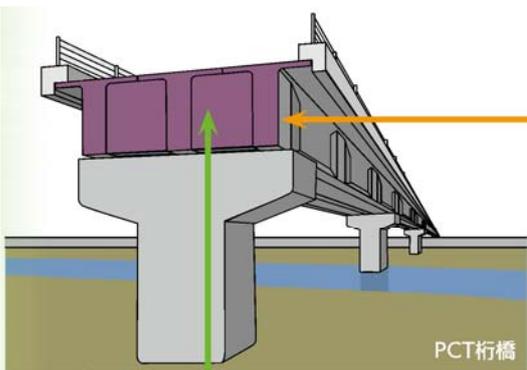


構造物諸元 : PC箱桁橋
 供用開始年 : 1990年
 流電陽極設置 : 2022年7月
 流電陽極仕様 : サーフェスタ입
 陽極設置間隔 : 450mm



昭和初期に推奨された
ホース端末処理方法

2. (4) 施工事例④(桁遊間部の凍結防止剤による劣化対策)



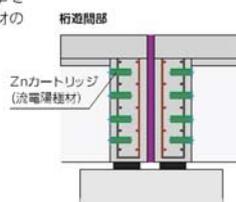
PCT桁橋



桁側面にサーフェスタ입を設置
します。桁端定着部の鋼材腐食を
抑制します。



端部横桁にインサート
タイプを設置します。
桁内側から設置工事を行
い遊間目地部鋼材の腐
食を抑制します。

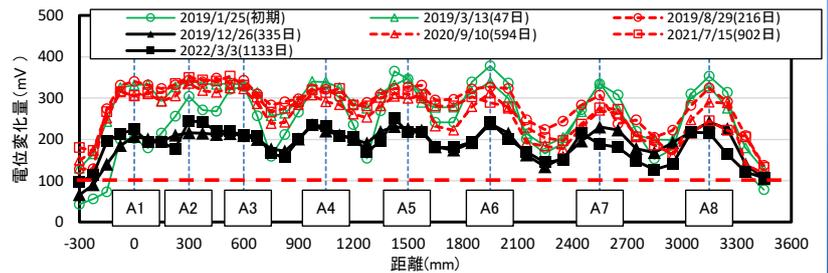


構造物諸元 : PCT桁、端部横桁
 供用開始年 : 1974年
 流電陽極設置 : 2021年8月
 流電陽極仕様 : インサートタイプ
 サーフェスタ입
 陽極設置間隔 : 400mm

2. (4) 施工事例⑤(飛来塩分による劣化対策)



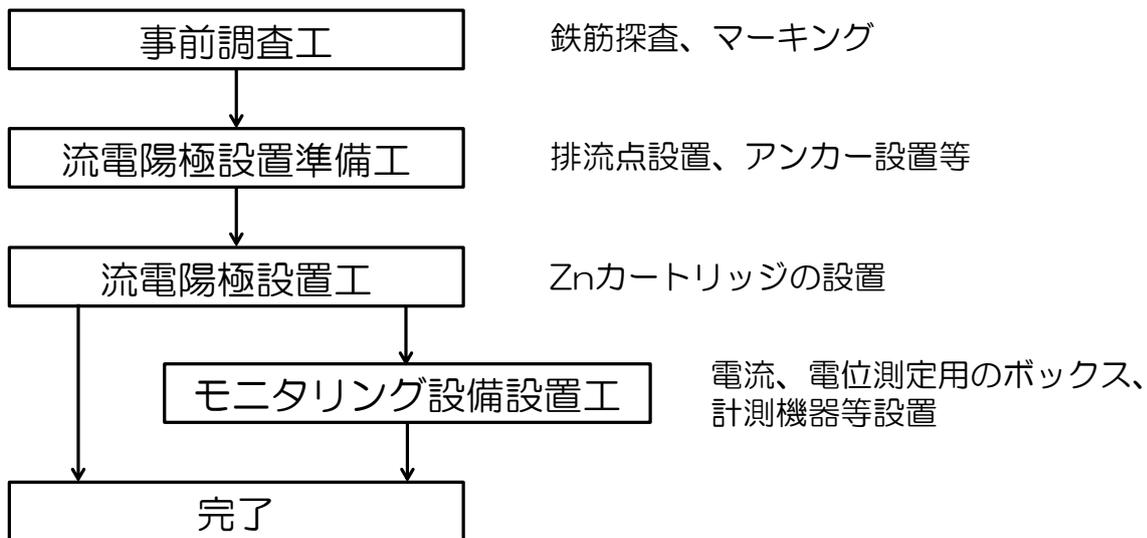
構造物諸元 : プレテンション方式床版橋
 供用開始年 : 1963年
 流電陽極設置 : 2022年3月
 流電陽極仕様 : サーフェスタ입
 陽極設置間隔 : 450mm, (一部300mm)



- 陽極設置間隔300, 450, 600mm
- 100mV以上の復極量を満足

17

2. (5) Znカートリッジの施工方法



18

●排流点の設置

<p>①事前調査工</p> 	<p>②ドリル削孔</p> 	<p>③コンクリートビス設置</p> 
<p>排流点を設置する箇所の鉄筋位置の調査</p>	<p>ドリル削孔により、排流点を設置する鋼材を露出</p>	<p>ドリル削孔により、排流点を設置する鋼材を露出</p>
<p>④排流点設置</p> 		<p>⑤導通確認</p> 
		<p>排流電線と内部鋼材に導通があることを確認</p>

19

●インサートタイプの施工

<p>①事前調査工</p> 	<p>②コア削孔・アンカー設置</p> 	<p>③流電陽極設置工(陽極取付)</p> 
<p>鉄筋調査後、設置位置のマーキング</p>	<p>所定寸法にてコア削孔、コア孔奥の整形、アンカー設置</p>	<p>Znカートリッジを設置</p>
<p>④流電陽極設置(収納ケース取付)</p> 		<p>⑤完成</p> 
<p>注入ガンによりバックフィル材を孔内に充填</p>		<p>カバープレート、ナットキャップを設置</p>

20

●サーフェスタイプの施工

<p>①事前調査工</p> 	<p>②ドリル削孔・アンカー設置</p> 	<p>③流電陽極設置工(陽極取付)</p> 
<p>鉄筋調査後、設置位置のマーキング</p>	<p>取付位置中央にドリル削孔、アンカー設置</p>	<p>アンカーにボルトを取り付け、Znカートリッジを設置</p>
<p>④流電陽極設置(収納ケース取付)</p> 		<p>⑤完成</p> 
<p>バックフィル材を入れたケースを取り付ける</p>		<p>ケース周辺にシーリング、ナットキャップを設置</p>

21

●排流点の設置数

(1) 1箇所のZnカートリッジにつき1箇所設置



1箇所ごとに排流点とZnカートリッジを接続

(2) 複数のZnカートリッジにつき1箇所設置



モール内に電線を設置

コンクリート埋設

Znカートリッジ間は電線で接続し、モールあるいはコンクリート内に埋設

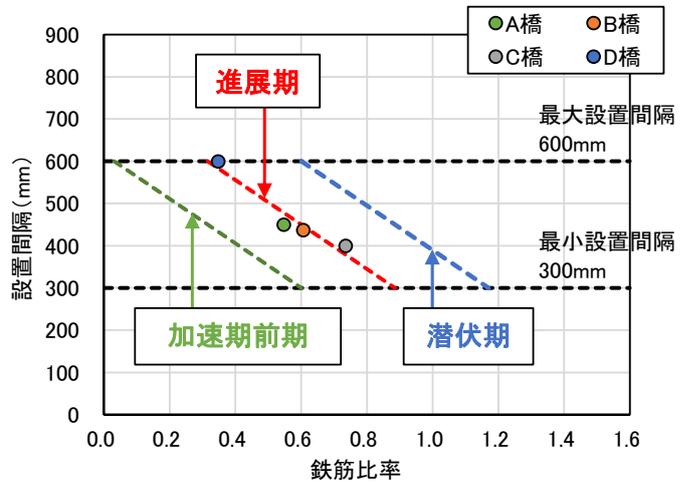
22

2. (6) 適用範囲とZnカートリッジの配置

●Znカートリッジの配置の目安

【サーフェスタップの例】

- 配置間隔は、
鉄筋比率(単位面積あたりの鋼材表面積とコンクリート表面積の比率)鋼材の腐食程度(鋼材位置の塩化物イオン濃度)をもとに決定する。
- 配置間隔は、300~600mmを基本に配置する。



潜伏期：塩化物イオン濃度 → 鋼材腐食発錆限界濃度以下
 進展期：塩化物イオン濃度 → 鋼材腐食発錆限界濃度以上

2. (7) Znカートリッジ工法の耐用年数

効果の確認の例 (PCI桁橋)

	陽極材質量(g)		陽極 消耗量 (g)	平均 電流量 ^{※1} (mA)	通電 日数 (日)	(1)式に よる陽極 消耗量(g)
	設置前	取り 外し後				
G2桁 TYPE-1	300.64	291.82	8.82	0.28	902	7.39

※1 平均電流量は、データロガーにて測定した流電陽極材(A5)の値を使用

$$m = M \cdot i \cdot t / (z \cdot F) \quad (1)$$

ここに、 m ：流電陽極材の質量(g)、 M ：亜鉛の原子量(=65.4mol/1)、 i ：電流量(A)

t ：時間(s)、 z ：亜鉛の電荷数(=2)、 F ：ファラデー定数(=96500c/mol)

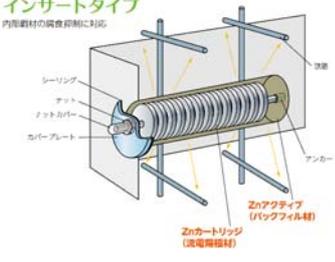
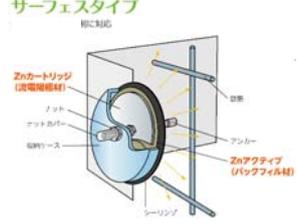
陽極消耗量とロガーによる積算電流から陽極の寿命を推定。約2.5年後の消耗率は約3%であり、陽極の50%の消費年数は約40年。

設計耐用年数の15年は満足するものと推定される。



約2.5年後の陽極の状況

2. (8) 概算価格

	インサートタイプ	サーフェスタイプ
設置イメージ	<p>インサートタイプ 内周鋼材の腐食抑制に対応</p>  <p>設置箇所 4カ所/m²</p>	<p>サーフェスタイプ 新設対応</p>  <p>設置箇所 4カ所/m²</p>
事前調査工	10,000/m ²	10,000/m ²
設置費	70,000/m ²	40,000/m ²
材料費	40,000/m ²	35,000/m ²
合計 (直接工事費)	120,000/m ²	85,000/m ²

25

ご清聴ありがとうございました



 ピーエス・コンストラクション株式会社

26

予備資料

適用範囲とZnカートリッジの配置

● 復極量と鋼材の防食効果

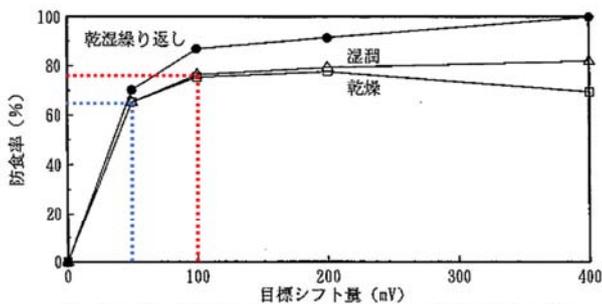


図 2.3.21 電気防食による防食率とシフト量との関係

- ① 乾燥、湿潤環境の復極量 100mV の防食率 (約 75%)
- ② 乾燥、湿潤環境の復極量 50mV の防食率 (約 65%)

復極量が50mVでも防食率が高い

コンクリート構造物の電気防食法 研究委員会報告書
1994年 日本コンクリート工学協会から抜粋

試験体名称の凡例: CI ○-○

表-4 鋼材の腐食速度 (250 日目)

試験体名称	通電停止時 腐食速度 (mA/m ²)	通電時 腐食速度 (mA/m ²)	腐食速度 低減率 ¹⁾ (%)
CI 2-No CP	0.6	—	—
CI 2-25	0.35	0.24	60
CI 2-50	0.28	0.21	65
CI 2-100	0.25	0.18	70
CI 5-No CP	0.9	—	—
CI 5-25	0.66	0.30	67
CI 5-50	0.65	0.30	67
CI 5-100	0.45	0.28	69
CI 10-No CP	2.8	—	—
CI 10-25	1.6	0.95	66
CI 10-50	1.4	0.80	71
CI 10-100	1.1	0.65	77

復極量
(mV)
25
50
100

25
50
100

25
50
100

目標復極量
塩化物イオン濃度

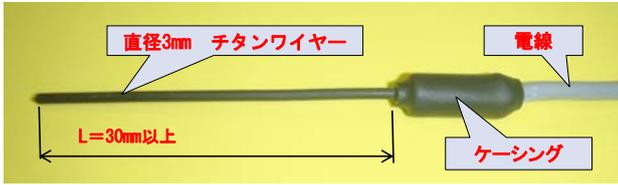
1) 腐食速度低減率
= (1-通電時腐食速度/No CP のオフ時腐食速度) × 100(%)

50mVの復極量でも腐食速度の低減率が高い。

大谷俊介他、電気防食下におけるコンクリート中鉄筋の復極量と防食効果に関する基礎的検討、コンクリート工学論文集 第28巻, 2017年

補修効果のモニタリング

小型の鋼材電位測定用照合電極(チタンワイヤーセンサー)を埋設し、計測ボックスや遠隔監視装置を設置することで、維持管理のモニタリングが可能である。



(1) 計測ボックスを用いた測定



(2) 遠隔監視装置を用いた測定



補修効果のモニタリング

遠隔モニタリングシステム概要図



特長

- 確実な防食管理** 日々の構造鋼材の電位を直接計測するため、腐食傾向の把握が可能です。
- 現地電源が不要** ソーラーパネルにより電気供給が可能で、メインユニット配置場所を選びません。
- 自由なセンサー配置** センサーとメインユニットとの接続方法を選べるため、自由なセンサー配置可能。

NETIS登録技術
(KT-170043-A)

平成27年度「情報化月間」
国土交通大臣賞受賞



ASTMの腐食判定基準に応じた色分け表示



Ipadによる電位グラフの閲覧



遠隔監視装置