

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会主催  
コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム2023

# 電気防食技術と施工事例の紹介

2023年 6月 14日

CP工法研究会・日本エルガード協会

佐々木 亘（三井住友建設(株)）

## コンクリート構造物の電気化学的防食工法研究会

コンクリート構造物の長寿命化に貢献できる電気化学的防食工法の普及・発展および技術の向上等を目的に活動

- 発足：1992年、会員会社：23社 (2023年3月現在)

会長	濱田秀則 (九州大学 教授)
名誉会長	宮川豊章 (京都大学 名誉教授)
顧問	福手 勤 (東洋大学 名誉教授) 武若耕司 (鹿児島大学 名誉教授)
事務局	東亜建設工業(株)内
HPアドレス	<a href="https://www.cp-ken.jp/">https://www.cp-ken.jp/</a>

### 主な活動内容

- 技術向上を目的とする活動
- 普及を目的とする広報活動

- エルガード工法を核とした電気防食工法の普及と技術の研鑽
- 発足：2001年，会員会社：23社
- 電気防食技術研究会：29社 コンサルタント中心（2023年3月現在）

会長 副会長	住友大阪セメント(株) ショーボンド建設(株)
顧問	福手 勤（東洋大学 名誉教授） 宮川豊章（京都大学 名誉教授）
理事	五洋建設(株) 東洋建設(株) (株)ナカボーテック 三井住友建設(株) 日本防蝕工業(株)
HPアドレス	<a href="http://www.elgard.com/">http://www.elgard.com/</a>

## 主な活動内容

- 特別記念講演
- 電気防食施工管理技術者  
認定試験（累計693名合格）
- 共同研究  
（土木研究所，材料学会，東洋大，  
岐阜大，鹿児島大，JCI）
- 技術講習会  
ディスカッションセミナー  
発注者セミナー開催
- 次世代技術者の会

1. 鉄筋の腐食と電気防食
2. 劣化対策としての電気防食の位置づけ
3. 電気防食のマニュアル類
4. 電気防食設計と補修事例
5. 技術発展に向けた取り組み(トピックス)

1. 鉄筋の腐食と電気防食
2. 劣化対策としての電気防食の位置づけ
3. 電気防食のマニュアル類
4. 電気防食設計と補修事例
5. 技術発展に向けた取り組み(トピックス)

# コンクリートにおける鋼材腐食



鋼材腐食は  
コンクリートに  
致命的な影響を与える！

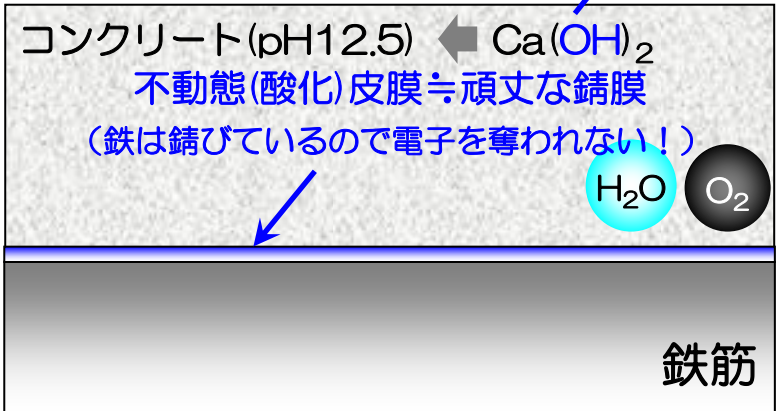
特に塩害は要注意！



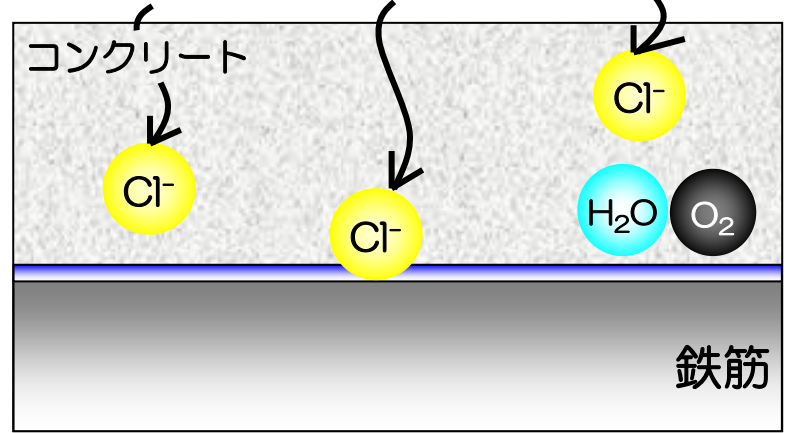
# コンクリートの塩害と鉄筋腐食メカニズム

アルカリ源

## ① 健全な鉄筋コンクリート

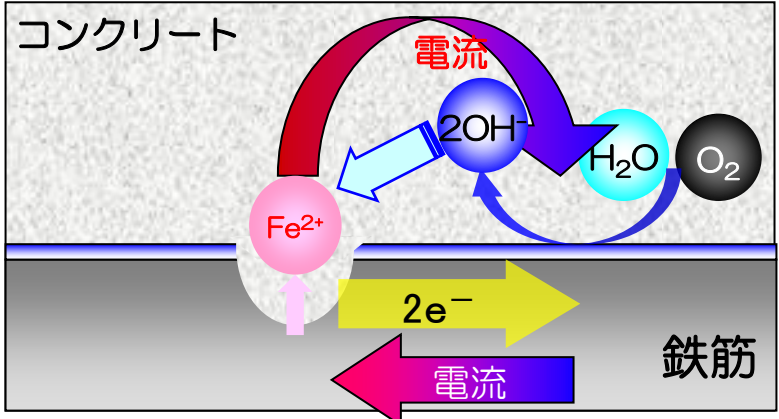


## ② 不動態皮膜の破壊



限界値以上の塩化物イオンが鉄筋近傍に到達すると不動態皮膜が破壊  
 (限界値:  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$ が小さいと再不動態化)

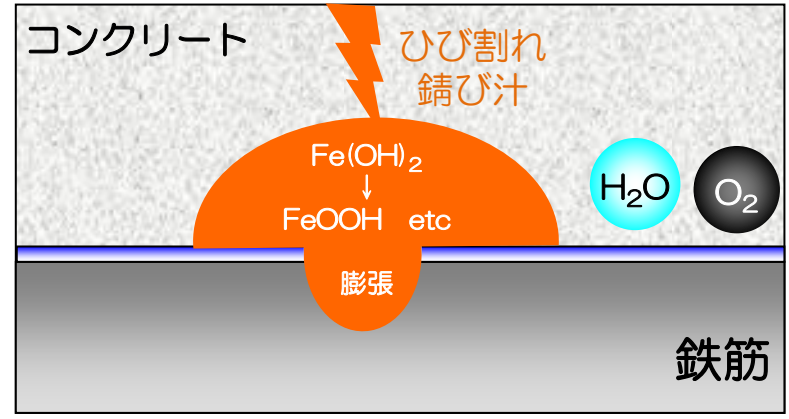
## ③ 鉄イオンの溶出



- 不動態皮膜が無ければ裸の鉄と同じ
- 中性化でも不動態皮膜は破壊される

電気化学反応で腐食進行

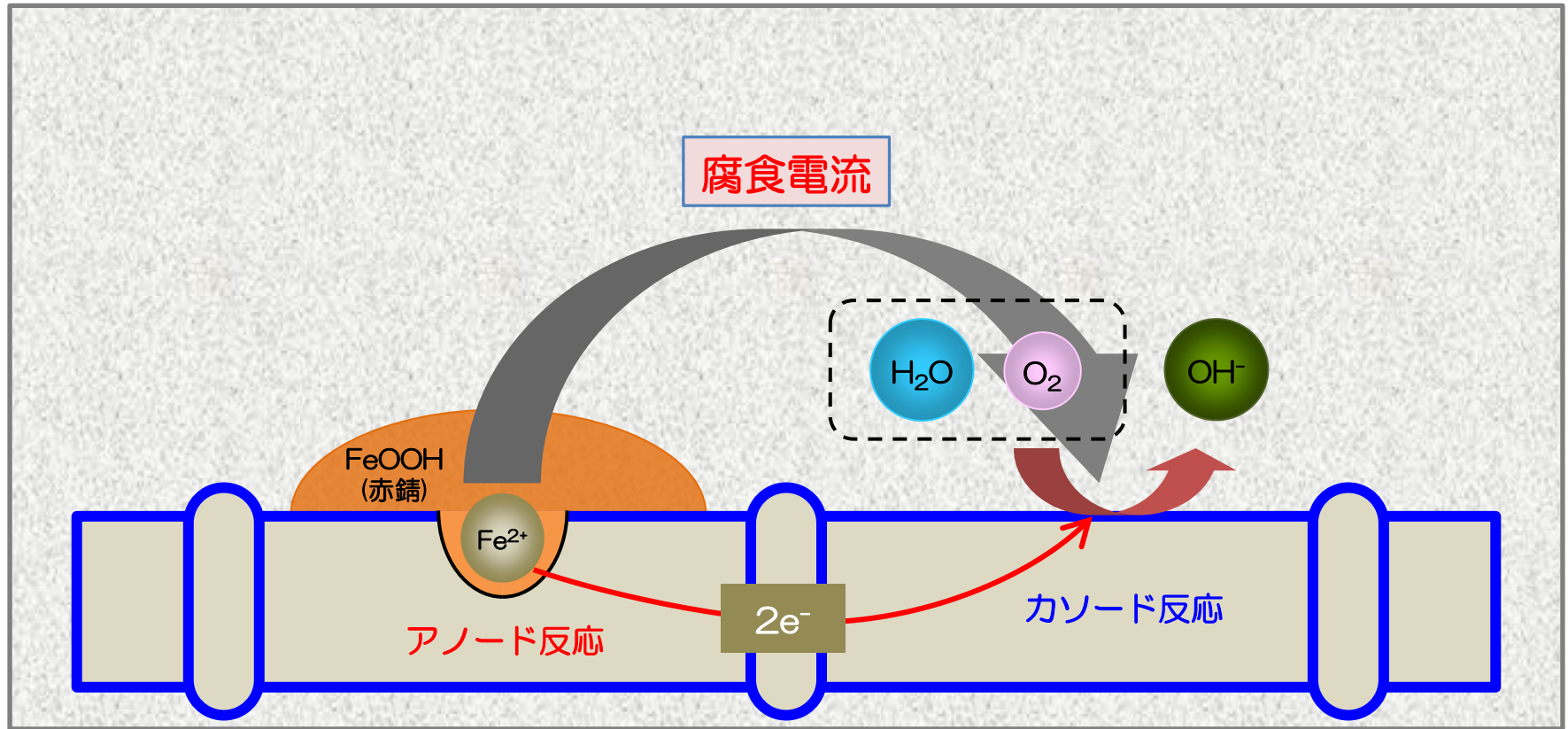
## ④ 錆の生成・成長



# 電気防食とは？

## ●電気防食適用前の鋼材表面

鉄の表面に腐食電池が形成され、腐食電流が生じている



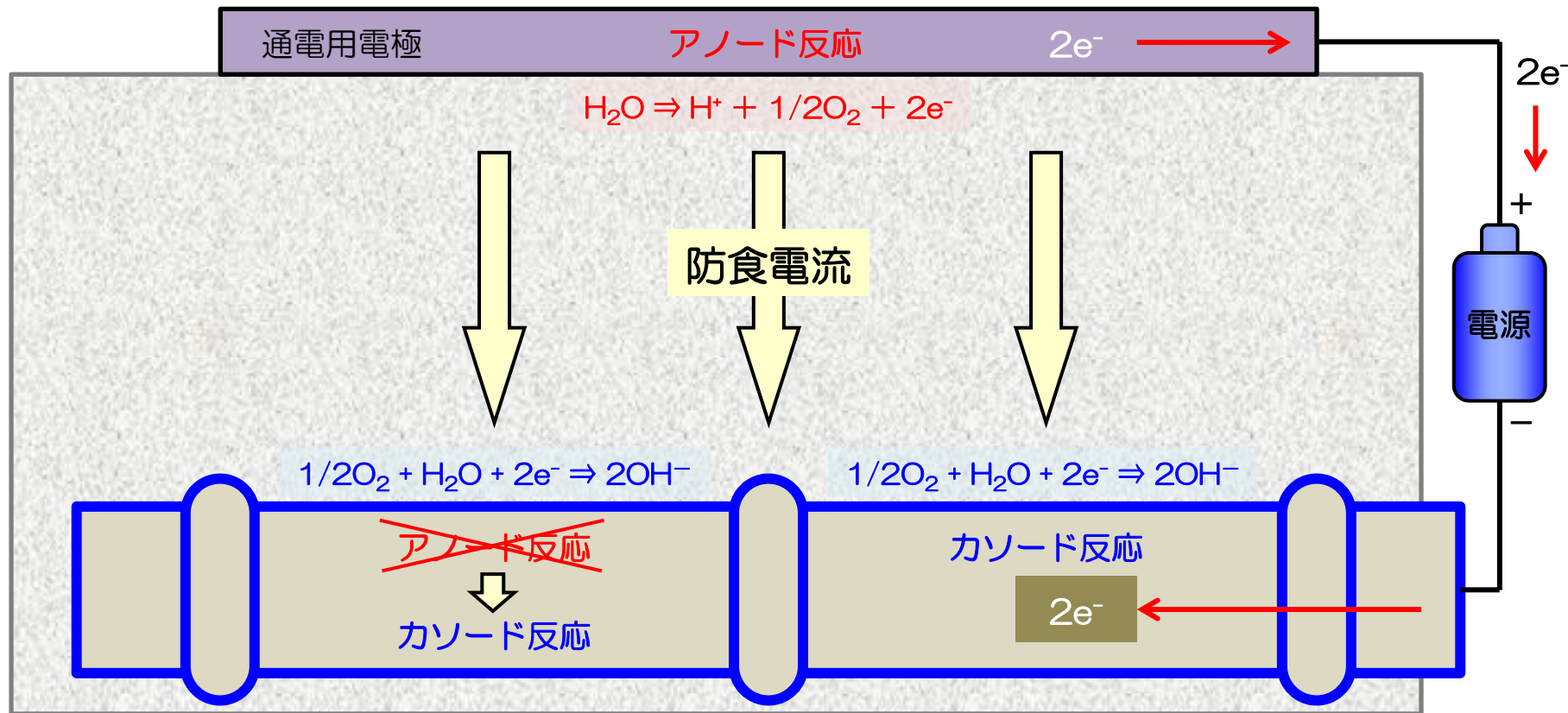
電気エネルギーによって電子の流れの向きを変えられれば腐食が抑制される



# 電気防食とは？

## ●電気防食適用後の鋼材表面（外部電源方式）

通電用の電極をコンクリート内部・外部に設置 ⇒ 外部電源を用いて通電

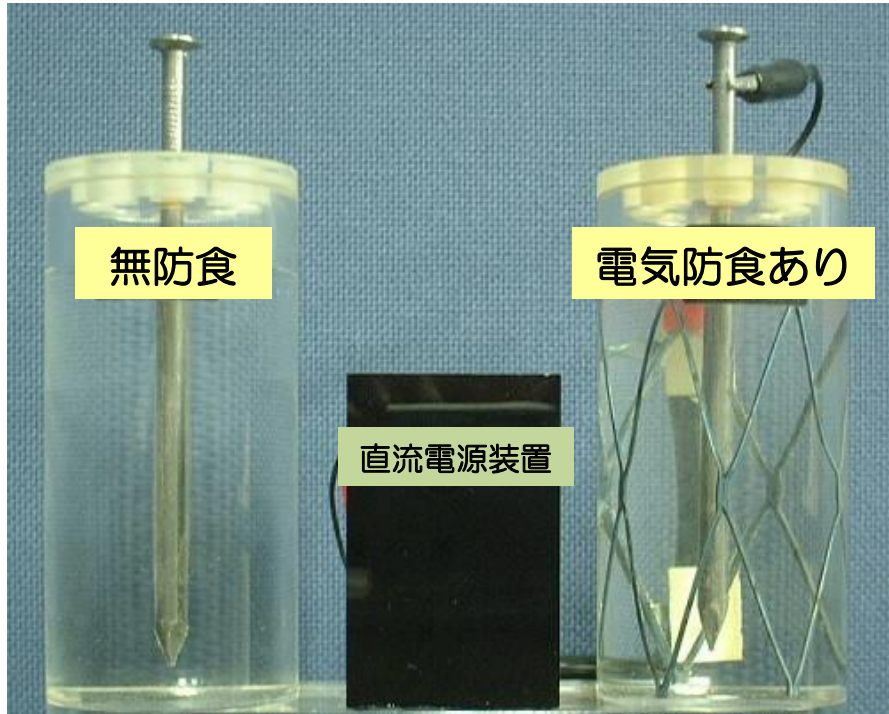


アノード(酸化)反応は全て通電用電極上で生じる ⇒ 腐食抑制

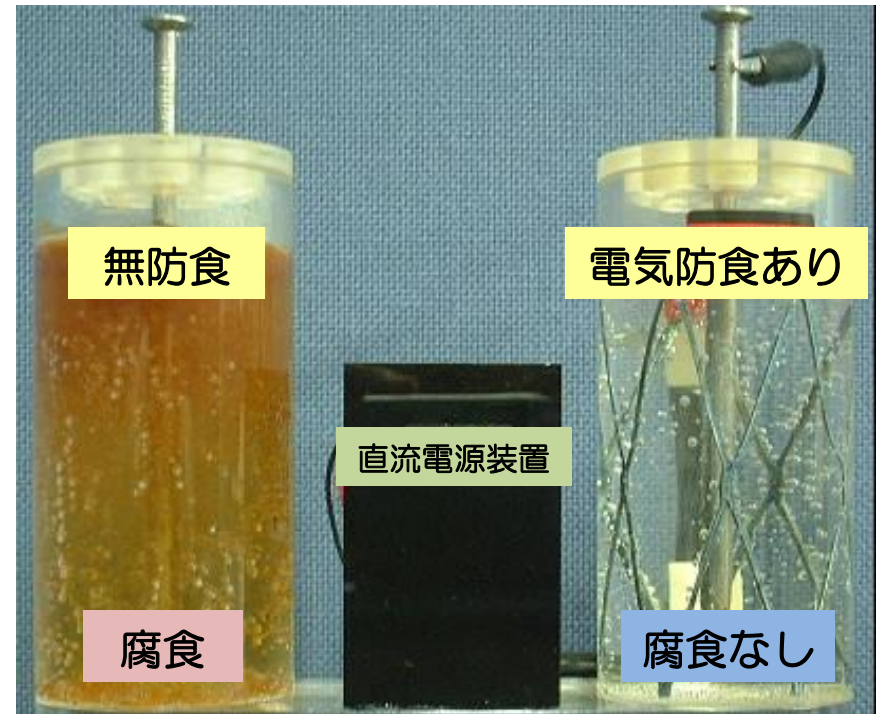
# 電気防食とは？

## ● 検証実験・・・食塩水に浸漬した鉄釘に電気防食を適用

《通電前》



《通電後》



出典：日本エルガード協会

電気エネルギーにより，鉄釘の腐食を抑制！

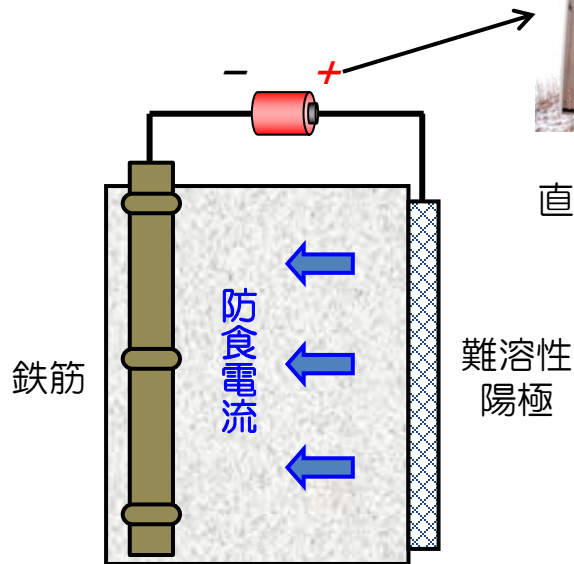
# 電気防食とは？

- 防食電流の供給方法によって2方式がある

## 電気防食工法

### 外部電源方式

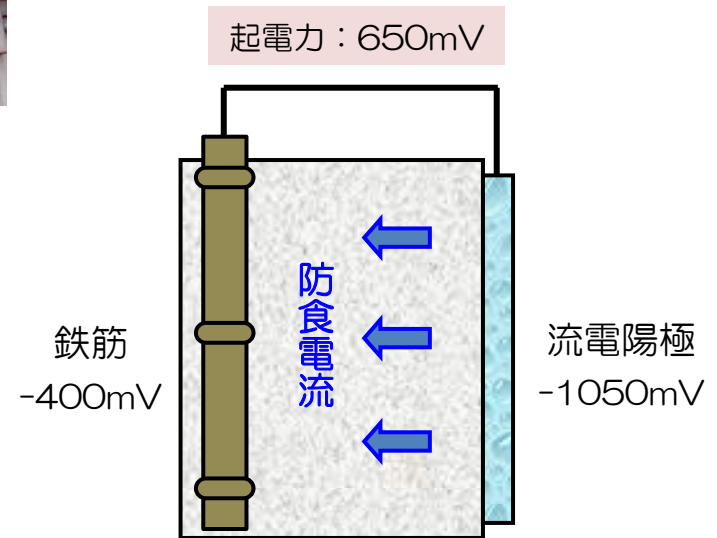
直流電源装置を用いる  
防食電流の調整可能



直流電源装置

### 流電(犠牲)陽極方式

陽極と鉄筋の電位差を利用する  
防食電流の調整不要



- 電気防食は腐食反応を直接的に抑制する！
- コンクリートでは鉄筋の再不動態化も担う！

## 1) 腐食による再劣化はしない

電流を供給している間は腐食は進行しない

## 2) 多量の塩分が存在する環境でも防食可能

所定の防食電流を供給すれば腐食は進行しない

## 3) 塩分を含有するコンクリートの除去が不要

塩分の存在は電気防食上は全く問題ない

## 4) 鉄筋の防錆処理が不要

コンクリート中の鉄筋の表面に錆びがあっても防食可能

※但し断面修復等によって露出した鉄筋に発生している錆は、

3種ケレン程度以上の処理を施す

## 5) 防食効果の確認が可能

防食効果の確認が定量的に可能

# 電気防食のデメリット

## 1) イニシャルコストが割高

約8~12万円/m<sup>2</sup>程度

## 2) 維持管理が手間（よくわからない）

外部電源方式は電源保守が必須。経年劣化に応じて交換も必要。

流電陽極方式も定期点検実施がベター

## 3) 電気代が必要（外部電源方式）

外部電源方式の場合 約30~50円/m<sup>2</sup>・年

## 4) 陽極材の定期的な交換が必要

流電（犠牲）陽極材の定期的な交換が必要

## 5) 陽極被覆材の劣化が起こる場合がある

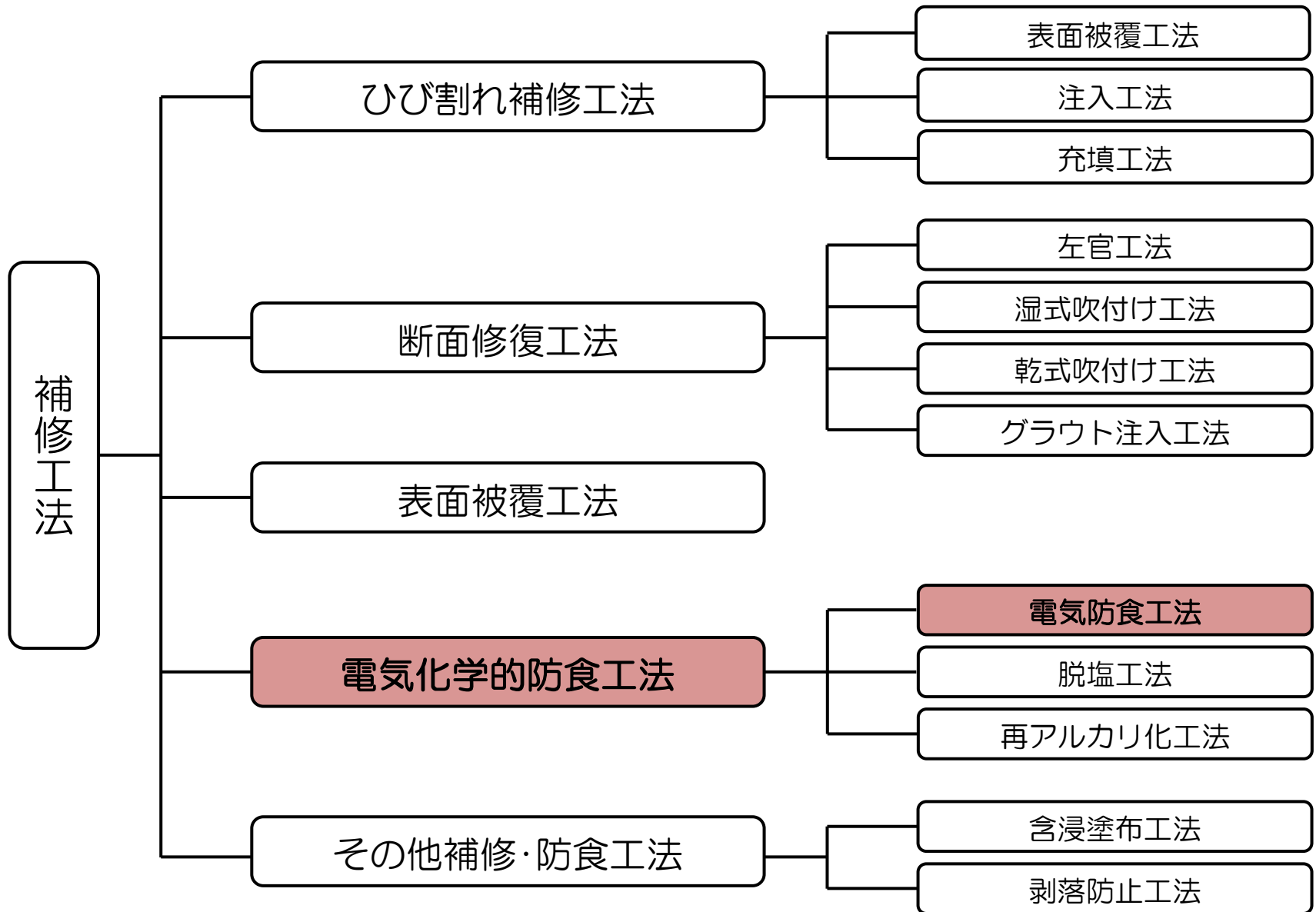
外部電源方式の陽極表面では水の電気分解反応が起こる。



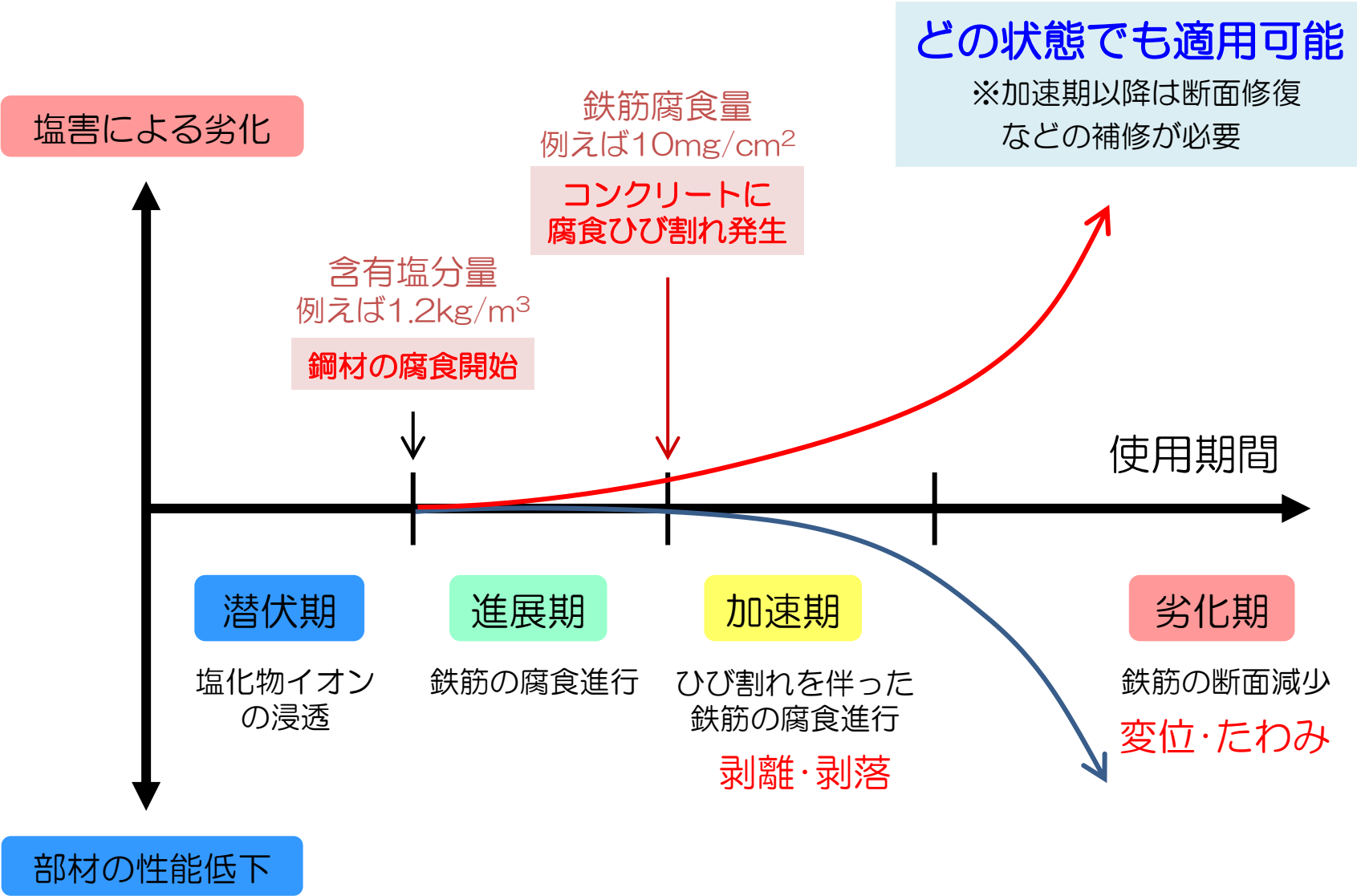
この時発生する酸(H<sup>+</sup>)で陽極被覆材が劣化する場合がある。

通常はコンクリートの主成分Ca(OH)<sub>2</sub>で中和される。

1. 鉄筋の腐食と電気防食
2. 劣化対策としての電気防食の位置づけ
3. 電気防食のマニュアル類
4. 電気防食設計と補修事例
5. 技術発展に向けた取り組み(トピックス)

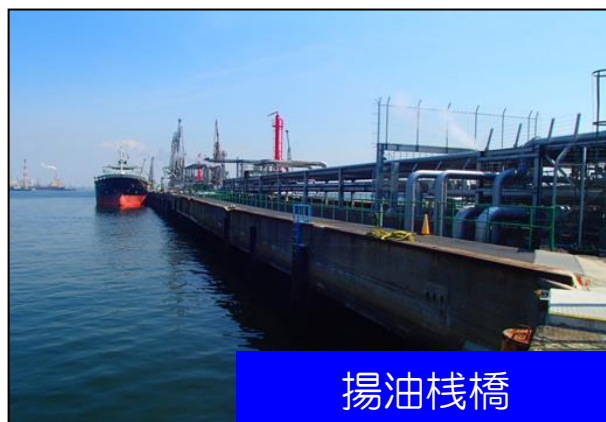


# 電気防食が適用できる劣化状態





# 適用できる環境は？



- 一般的な鉄筋コンクリート構造物であれば適用可能である
- 大気中、飛沫帯、干満帯等の環境に応じて防食方式を選定できる
- 基本的に水中部のコンクリートは電気防食が不要である
  - ※ Cl<sup>-</sup>があってもコンクリートと水で腐食に必要な量の酸素が鉄筋に達しない事が近年分かってきた
- 供用しながらの補修, 他の補修工法との併用, 部材単位での適用が可能である

断面修復材 : W/C = 45%相当の材料を使用と仮定

初期修復時 : 両工法ともに40%の断面修復を実施

社会的割引率 : 両工法ともに適用なし

## 表面被覆工法

耐用年数 : 15年

断面修復 : 表面被覆再補修時に40%の断面修復を実施

維持費 : 定期点検費

## 電気防食工法

耐用年数 : 100年(陽極)

維持費 : 電気代, 防食効果確認試験費

陽極システム, 配線配管, 電源装置等の更新費

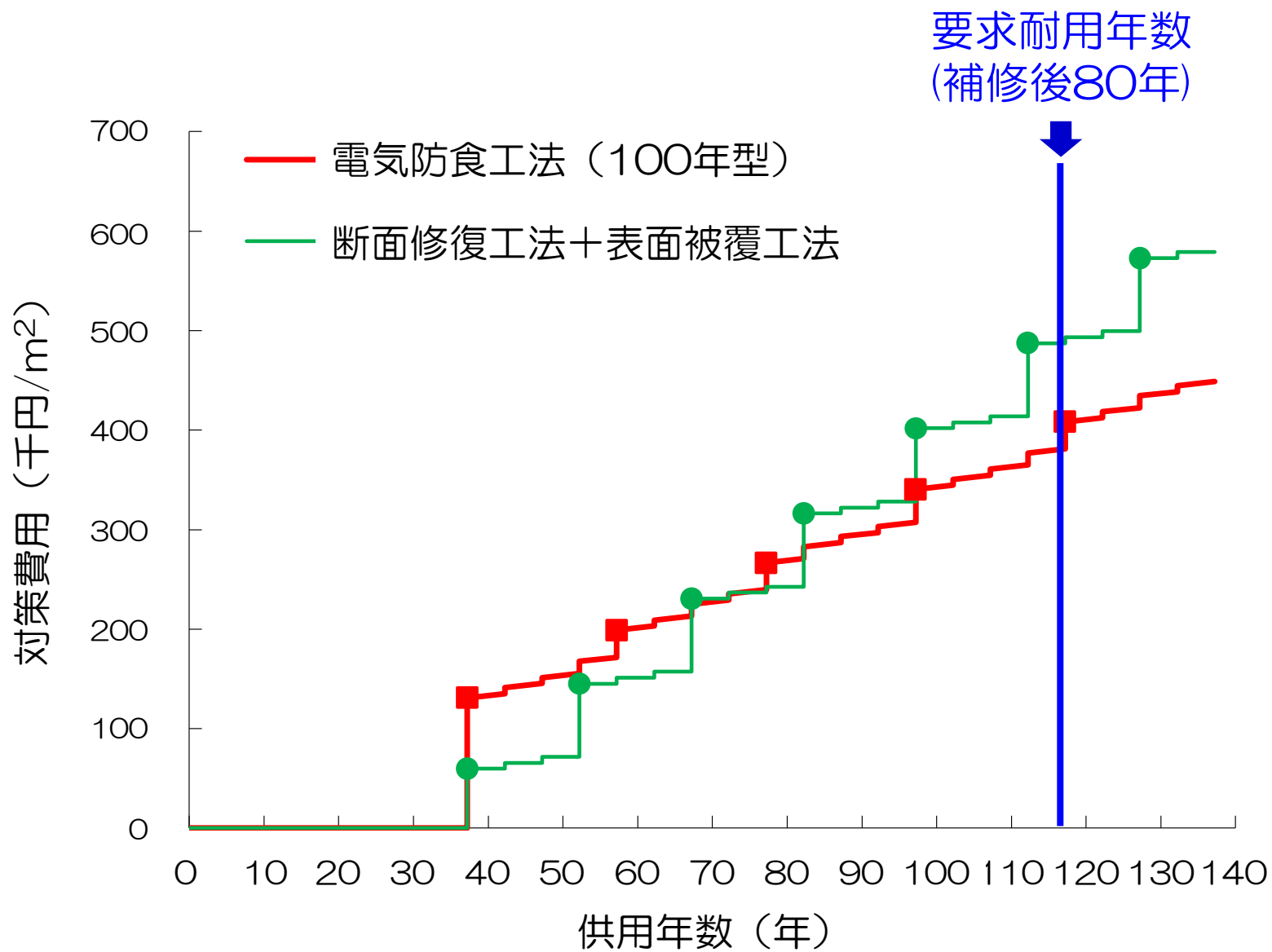
## 各工法補修費用

小断面修復工法	77,600	円/m <sup>2</sup>
電気防食工法	89,000	円/m <sup>2</sup>
表面被覆工法	17,600	円/m <sup>2</sup> (初回)
	19,500	円/m <sup>2</sup> (2回目以降)
仮設費	11,000	円/m <sup>2</sup>

## 維持管理費用

電気代 (1回/年)	30	円/m <sup>2</sup>
効果確認費 (1回/年)	800	円/m <sup>2</sup>
配線・配管 (1回/20年)	8,000	円/m <sup>2</sup>
電源装置 (1回/20年)	11,000	円/m <sup>2</sup>
一般定期点検 (1回/5年)	6,000	円/m <sup>2</sup>

参考：港湾空港技術研究所報告，第48巻第2号，2009.6

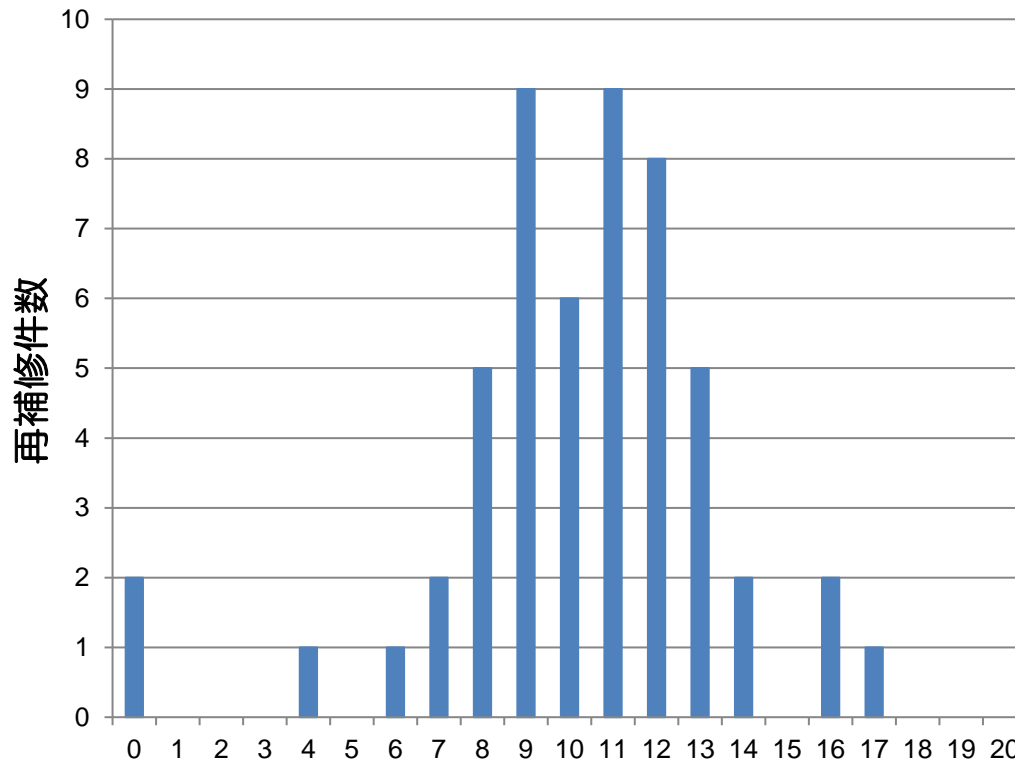


# 電気防食の信頼性

- ①電気防食は腐食反応や再不動態化に直接関与する**抜本的対策**
- ②アメリカFHWA公式見解  
⇒ 鋼材腐食を止めることが確認された**唯一の補修方法**が電気防食
- ③国内のコンクリート構造物では30年の実績 ⇒ **約40万㎡**

## 《1回補修した橋梁（53橋）の再補修時期》

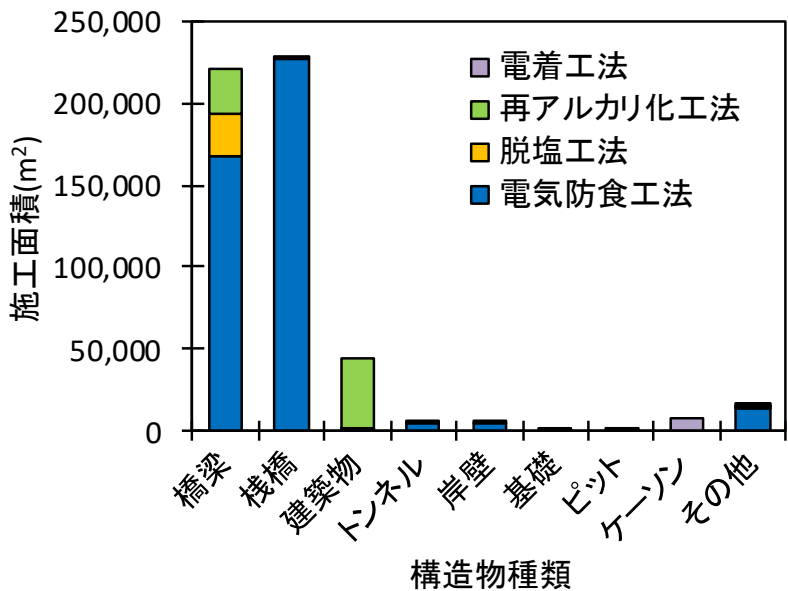
1回補修後の経過年数



1回補修した88橋（補修時期は  
供用後8～25年）のうち53橋で  
再補修実施  
初回補修より平均10年で再補修

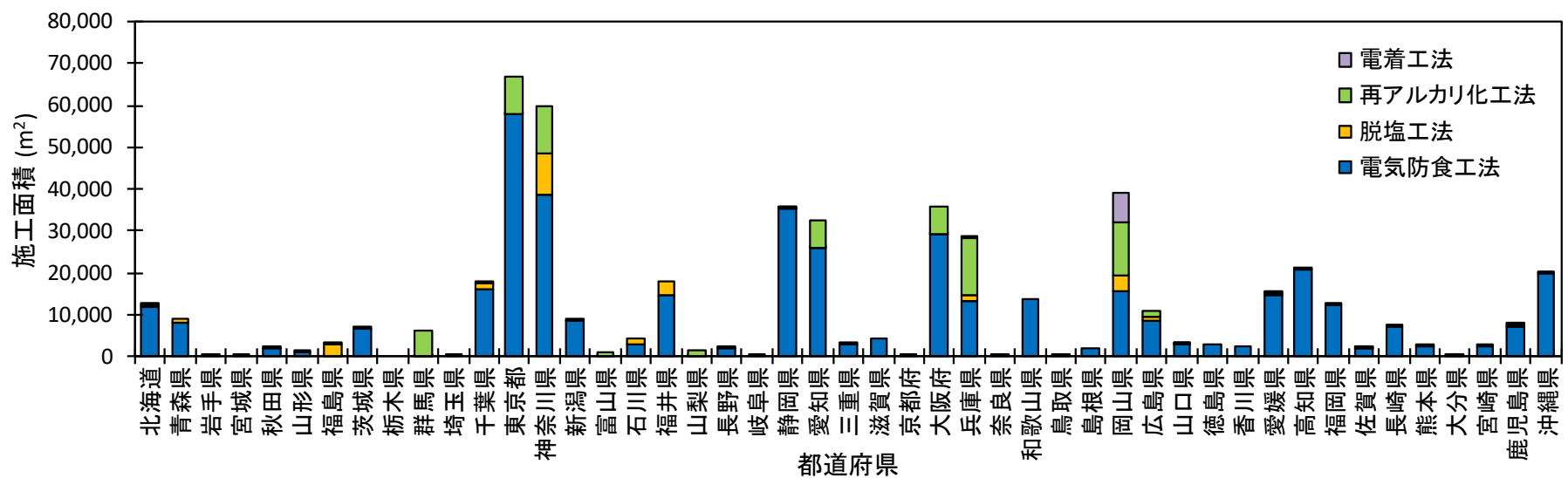
88橋のうち3橋で**電気防食**を  
適用⇒**再補修無し**（再補修し  
た53橋には入っていない）

# 電気化学的防食工法の施工実績



※CP工法研究会施工実績調査より

合計約53万m<sup>2</sup>(2022年3月現在)



1. 鉄筋の腐食と電気防食
2. 劣化対策としての電気防食の位置づけ
3. 電気防食のマニュアル類
4. 電気防食設計と補修事例
5. 技術発展に向けた取り組み(トピックス)

# 電気防食のマニュアル類

## ① 電気化学的防食工法指針

土木学会：コンクリートライブラリ157， 2020/9

## ② 電気防食工法研究委員会報告書

日本コンクリート工学会， 1994/10

## ③ 港湾コンクリート構造物補修マニュアル

沿岸技術研究センター 2019/7

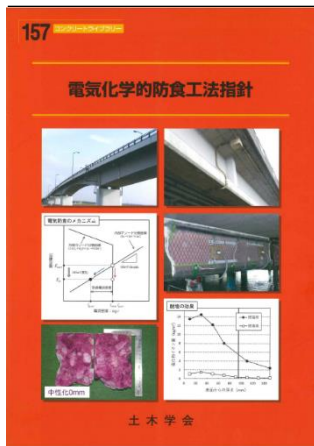
## ④ 栈橋劣化調査・補修マニュアル

東京港埠頭（株）， 2012/11

## ⑤ コンクリート構造物の電気防食Q&A

新建新聞社，日本エルガード協会編， 2008/5

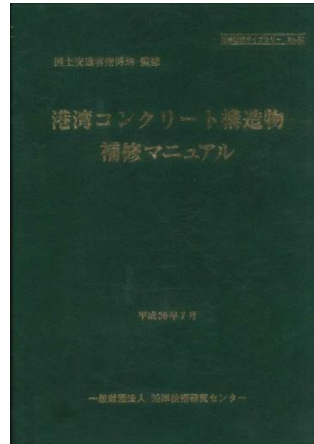
①



②



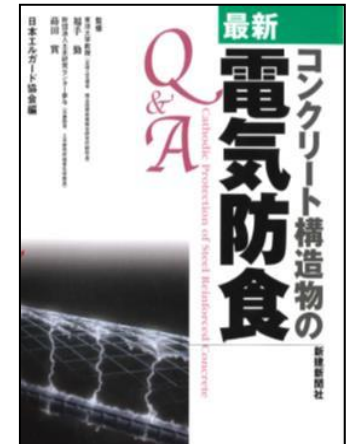
③



④



⑤

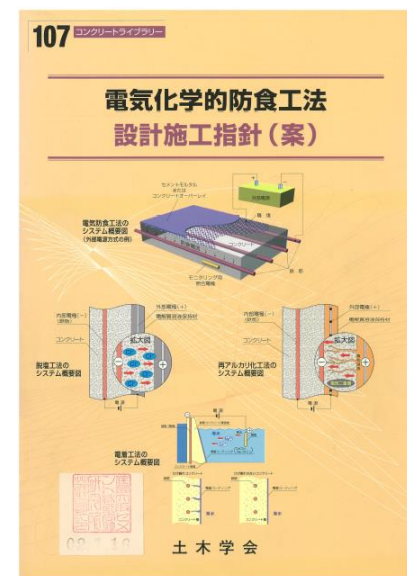




# 電気化学的防食工法指針について

旧指針「電気化学的防食工法設計施工指針（案）」は約20年にわたって、電気防食工法適用のためのより所となっていた

- 適用事例の蓄積によって明らかになった新たな課題
- **課題克服**のための調査研究による新しい知見や技術開発



旧 設計施工指針(案)

2018年電気化学的防食工法設計施工指針改訂委員会 (258委員会)

委員長 武若教授 (鹿児島大) 副委員長 濱田教授 (九州大)

幹事長 山口教授 (鹿児島大) 顧問 宮川教授 (京都大)

コンクリート構造物の電気化学的防食工法研究会  
日本エルガード協会からの 委託委員会

コンクリート標準示方書維持管理編等現行の示方書及び補修・補強標準との整合をとる。  
性能照査型設計への対応。  
最新の知見や実績データに基づく調査結果を反映。

コンクリートライブラリ-157 「電気化学的防食工法指針」へ改訂

# 電気化学的防食工法指針について

目次構成 「共通編」と「工法別編」に大きく分けて構成

共通編 電気防食工法、脱塩工法、アルカリ化工法、電着工法全てに適用

1章 総則、2章 調査、3章 設計、4章 施工、5章 維持管理、6章 記録

工法別標準編 電気防食工法 脱塩工法、再アルカリ化工法、電着の各工法別に定めた

電気防食工法標準

1章 概要、2章 適用範囲、3章 設計、4章 施工、5章 維持管理

附属資料 (CD-ROM)

電気防食工法に関する資料、電気防食工法のLCC・LCCO<sub>2</sub>の算定方法、設計施工維持管理のケーススタディ  
陽極方式の概要と実施例、分極量または復極量と防食効果の関係、照合電極の性能低下時の動作  
不具合とその対策に関する事例、ASRに配慮した電気化学的防食工法の適用に関するガイドライン 他

## 共通編 第3章 設計

### 3.4 維持管理計画

P.25

#### 3.4.3 評価

点検によって得られた情報に基づき、**設計防食期間にわたり目標とする防食効果が得られることを確認する。**

- 電気防食工法：システムの健全性と防食効果の総合的な確認
- その他の工法：防食のための管理基準を踏まえて防食効果を確認

## 共通編 第4章 施工

### 4.3 施 工

P.33

- (1) 施工計画に従って実施
- (2) 適用する電気化学防食工法に関する専門技術者の管理の下で実施
- (3) 使用する材料や機器類の特性に留意する
- (4) 品質管理計画に従った、施工の各段階での品質管理

### 4.4 検 査

P.34

- (1) 検査計画に従って、発注者の責任において検査を行う。
- (2) 検査結果が合格と判定されなかった場合は、対策措置を検討する。

### 3.5 防食管理指標

P.51

(1) 防食管理指標：鋼材の分極量あるいは復極量の水準を100mV以上とすること。（従来通り）



(2) 分極量または復極量で適正に防食効果を判定できないことが想定される場合は、鋼材の分極量あるいは復極量とは異なる防食管理指標を設定してもよい。

(3) PC 鋼材では、インスタントオフ電位も、防食管理指標  $-1000\text{ mV vs CSE}$ （飽和硫酸銅電極）よりもプラス（貴）側の電位を保つ

(2)(3)で管理する場合は、**予め構造物管理者と防食管理指標の運用方法について協議・合意しておく必要がある。**

1. 鉄筋の腐食と電気防食
2. 劣化対策としての電気防食の位置づけ
3. 電気防食のマニュアル類
4. 電気防食設計と補修事例
5. 技術発展に向けた取り組み(トピックス)

## 特別な調査は不要！

基本的に塩害対策・最低限必要な調査は**外観目視**

①外観目視によるひび割れ・浮き確認！

最低限の断面修復量を確認

②鋼材位置での塩化物イオン量

フィック拡散式で供用年数内に発錆するか予測する  
発錆するようならば電防は補修対策として有効

③腐食が顕在化していない場合は電気化学的測定

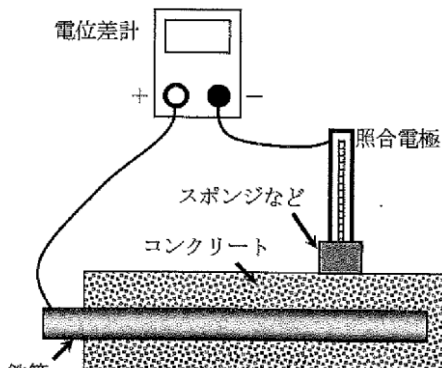
鉄筋腐食速度を推定し、ひび割れ発生が予測されれば  
電防は補修対策として有効

# 電気化学的測定（鉄筋の自然電位測定）

## 目的

塩害潜伏期または進展期において、外観上劣化が顕在化していない時期に鉄筋が腐食しているか否かを定性的に判定する。

鉄筋腐食が生じていない ⇒ 塩害潜伏期の可能性が高い  
 鉄筋腐食が生じている ⇒ 塩害進展期の可能性が高い



自然電位 $E$ 銅-飽和硫酸銅電極（飽和硫酸銅電極） を使用した場合 <sup>1</sup>	自然電位 $E$ 銀-飽和塩化銀電極（飽和塩化銀電極） を使用した場合 <sup>2</sup>	腐食の可能性
$-200\text{mV} < E$	$-80\text{mV} < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-350\text{mV} < E \leq -200\text{mV}$	$-230\text{mV} < E \leq -80\text{mV}$	不確定
$E \leq -350\text{mV}$	$E \leq -230\text{mV}$	90%以上の確率で腐食あり



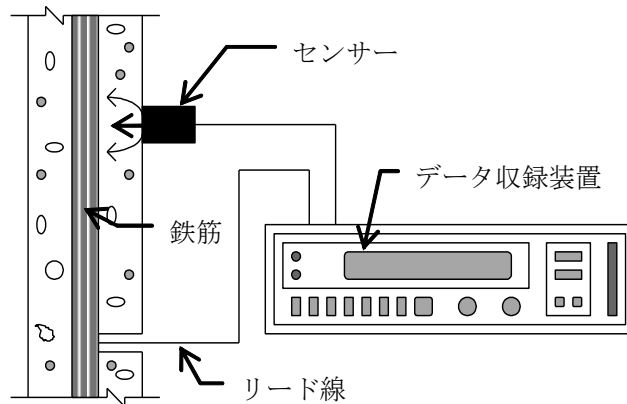
引用：港湾の施設の維持管理技術マニュアル



# 電気化学的測定（鉄筋の分極抵抗測定）

## 目的

塩害潜伏期または進展期において、外観上劣化が顕在化していない時期に鉄筋の腐食程度を測定し、ひび割れ発生時期を予測する。  
⇒ 補修時期を推定できる。



分極抵抗 $R_p$ ( $k\Omega\text{cm}^2$ )	腐食電流密度 $I_{corr}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	腐食速度の判定
130-260 より大	0.1-0.2 未満	不動態状態（腐食なし）
52 以上 130 以下	0.2 以上 0.5 以下	低から中程度の腐食速度
26 以上 52 以下	0.5 以上 1 以下	中から高程度の腐食速度
26 未満	1 より大	激しい、高い腐食速度

引用：港湾の施設の維持管理技術マニュアル

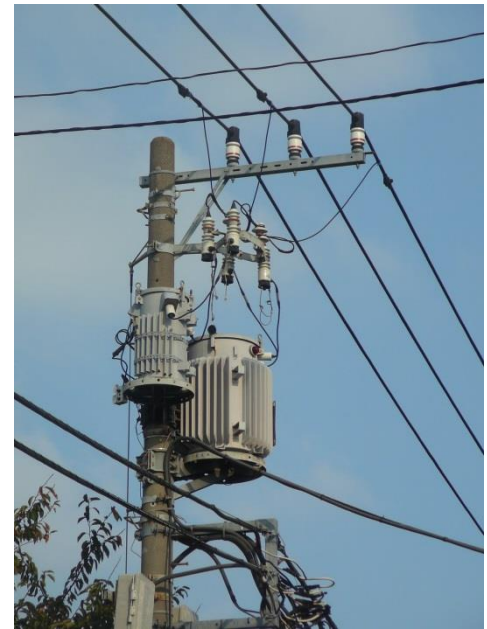
# 電源は？

## 流電陽極方式では電源不要

- 流電陽極と鉄筋を短絡するだけ！

## 外部電源方式では直流電源装置が必要

- 電柱や変圧器の有無を確認
- 施設近傍までの配電設備は電力会社負担
- 受電設備のみ利用者負担



どうしても電源が無い場合...

ソーラーや風力などの自然エネルギーも利用可能

## 防食方式選定条件

1. 建造物の供用期間
2. 建造物の形態と対象部位
3. 環境条件
4. 劣化の程度
5. 補修の履歴
6. コンクリートの電気抵抗
7. 電源の有無
8. 陽極の耐用年数
9. ライフサイクルコスト
10. 維持管理の難易度
11. 美観・外観の重要性

## 防食回路設計条件

1. 防食回路の面積
2. 陽極システムとその配置
3. 通電点および排流点の位置と数量
4. 配線・配管材料および設置位置
5. 電源装置および設置位置

## モニタリング回路設計条件

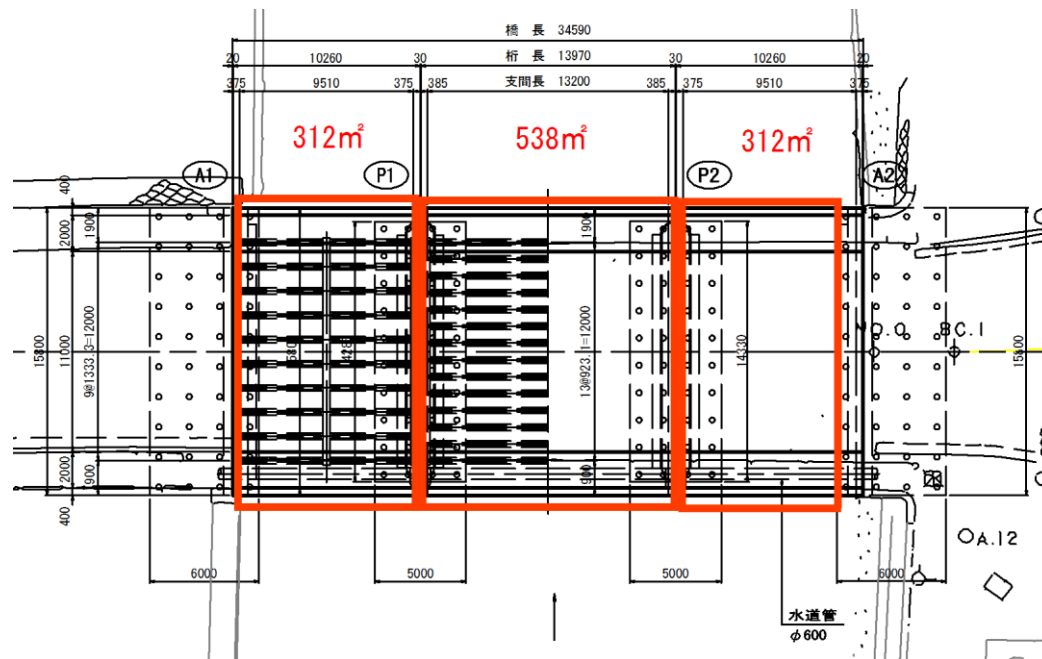
1. 対象建造物の種類
2. 形状および対象部位
3. 環境条件

# 電気防食設計 (電気防食工法比較表)

方式	外部電極方式					流電陽極方式 (電気代が不要)
	面状陽極方式		線状陽極方式		内部挿入方式	面状陽極方式 垂鉛シート方式
概要図						
方式の概要	金属酸化物をコーティングしたメッシュ状のチタン陽極をコンクリート表面に設置し、これをモルタル (オーバーレイ材) で被覆する。	金属チタンをコンクリート表面に溶射し、融媒液を塗布をすることにより、陽極皮膜を形成する。	保護カバーで覆われたチタン素材陽極、特殊バックフィルからなる陽極を、チタンビスでコンクリート表面に一定間隔で設置する。	金属酸化物をコーティングしたリボンメッシュ陽極をコンクリート表面に一定間隔で切削した溝に設置し、セメントモルタルにより充填する。	金属酸化物をコーティングした線状の内部挿入陽極をコンクリートにあけた直径12mm~25mmの孔の内部にバックフィルと共に挿入する。各電極はチタンワイヤーで結束し、モルタルで埋設する。	保護カバーで覆われた垂鉛シート、特殊バックフィルからなる垂鉛防食板をアンカーボルトでコンクリート表面に設置する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・死荷重が増加する (約30~50kg/m<sup>2</sup>)。かぶり厚さに影響されにくい。</li> <li>・施工全面にサンドブラストによる下地ケレンが必要で粉塵、廃棄物など発生する。</li> <li>・美観は良い。</li> <li>・施工後躯体コンクリートを目視できない。</li> <li>・施工実績が比較的多い。</li> <li>・電源装置の維持管理が必要である。</li> <li>・旧塗膜の撤去が必要である。</li> <li>・陽極材はチタン電極であり、高価である。</li> <li>・プライマーを使用できないため、付着程度が施工会社に左右される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・死荷重の増加がない。</li> <li>・かぶり厚さに影響されにくい。</li> <li>・施工全面にアルミナブラストによる下地ケレンが必要で粉塵、廃棄物などが多少発生する。</li> <li>・美観上全面に溶射膜が露出する。</li> <li>・施工後躯体コンクリートを目視できる。</li> <li>・施工実績が比較的多い。</li> <li>・電源装置の維持管理が必要である。</li> <li>・旧塗膜の撤去が必要である。</li> <li>・陽極材はチタン電極であり、高価である。</li> <li>・陽極材がコンクリート表面に露出するため外的要因により損傷を受けやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・死荷重の増加はあまりない。</li> <li>・かぶり厚さに影響されにくい。</li> <li>・はつりガラなどの廃棄物がほとんど発生しない。</li> <li>・FRPトレイが軸方向に一定間隔で配置される。</li> <li>・施工後躯体コンクリートを目視できる。</li> <li>・施工実績が最も多い。</li> <li>・電源装置の維持管理が必要である。</li> <li>・旧塗膜の部分撤去が必要である。</li> <li>・陽極材がコンクリート表面に露出するため外的要因により損傷を受ける可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・死荷重の増加がない。</li> <li>・陽極材を設置する溝をはつるため一定のかぶりが必要である。</li> <li>・溝はつりに伴うはつりガラが発生する。</li> <li>・防食全面にて切削跡が残る。</li> <li>・施工後躯体コンクリートを目視できる。</li> <li>・施工実績が最も多い。</li> <li>・電源装置の維持管理が必要である。</li> <li>・旧塗膜の撤去が必要である。</li> <li>・陽極材はチタン電極であり、高価である。</li> <li>・鉄筋がぶらぶらに露出する可能性は低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・死荷重の増加がない。</li> <li>・かぶり厚さに影響されにくい。</li> <li>・はつりガラなどの廃棄物がほとんど発生しない。</li> <li>・美観上削れ跡が残るが、部材厚によっては施工跡が露出しない (片面施工採用時)。</li> <li>・施工後躯体コンクリートを目視できる。</li> <li>・施工実績は少ない。</li> <li>・電源装置の維持管理が必要である。</li> <li>・ガス抜きのため旧塗膜の撤去が必要である。</li> <li>・陽極材は垂鉛+FRPであり、高価である。</li> <li>・陽極材がコンクリート表面に露出するため外的要因により損傷を受けやすい可能性がある。</li> </ul>	
施工概要	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 陰極端子・照合電極の設置</li> <li>② 防食対象面塗膜撤去</li> <li>③ コンクリート面ブラスト処理</li> <li>④ チタンメッシュ陽極設置</li> <li>⑤ セメントモルタルにて陽極被覆</li> <li>⑥ 配線配管</li> <li>⑦ 直流電源装置設置</li> <li>⑧ 通電調整、防食効果確認</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 陰極端子・照合電極の設置</li> <li>② 防食対象面塗膜撤去</li> <li>③ コンクリート面のブラスト処理</li> <li>④ チタンをアーク溶射</li> <li>⑤ 通電用チタン板設置</li> <li>⑥ 配線配管</li> <li>⑦ 直流電源装置設置</li> <li>⑧ 通電調整、防食効果確認</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 陰極端子・照合電極の設置</li> <li>② 陽極設置面塗膜撤去</li> <li>③ 陽極・バックフィル・FRPトレイ設置</li> <li>④ 配線配管</li> <li>⑤ 直流電源装置設置</li> <li>⑥ 通電調整、防食効果確認</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 陰極端子・照合電極の設置</li> <li>② コンクリート面溝切削</li> <li>③ リボンメッシュ陽極設置</li> <li>④ セメントモルタルにて陽極被覆</li> <li>⑤ 配線配管</li> <li>⑥ 直流電源装置設置</li> <li>⑦ 通電調整、防食効果確認</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 陰極端子・照合電極の設置</li> <li>② コンクリート面削孔</li> <li>③ 孔内にバックフィル材充填</li> <li>④ 孔内に内部挿入電極設置</li> <li>⑤ チタンワイヤー結線</li> <li>⑥ 配線配管</li> <li>⑦ 直流電源装置設置</li> <li>⑧ 通電調整、防食効果確認</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 陰極端子・照合電極の設置</li> <li>② 防食対象面塗膜撤去</li> <li>③ アンカーボルト設置</li> <li>④ 垂鉛防食板設置</li> <li>⑤ 陽極間目地工</li> <li>⑥ モニタリング用の配線配管</li> <li>⑦ モニタリング用測定箱設置</li> <li>⑧ 防食効果確認</li> </ol>
施工中写真						
仕上り写真						
耐用年数	20年以上 (陽極材は40年)	20年以上 (陽極材は40年)	20年以上 (陽極材は40年)	20年以上 (陽極材は40年)	20年以上 (陽極材は40年)	20年以上
概算直工費	150,000円/m <sup>2</sup>	適用できないため積算なし	適用できないため積算なし	103,500円/m <sup>2</sup>	153,300円/m <sup>2</sup>	136,400円/m <sup>2</sup>
ライフサイクルコスト (直接工事費)	初期費用 380,909,000円 維持費用 439,518,000円 ライフサイクルコスト 820,427,000円	-	-	初期費用 262,727,000円 維持費用 308,637,000円 ライフサイクルコスト 571,364,000円	初期費用 389,161,000円 維持費用 435,071,000円 ライフサイクルコスト 824,232,000円	初期費用 346,296,000円 維持費用 529,839,000円 ライフサイクルコスト 876,125,000円
本橋への適用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ややコストが高い。</li> <li>・機構等ではオーバーレイの硬化時間と現地作業可能時間の確保が必要。</li> <li>・防食区域では溶接作業に留意が必要。</li> <li>・近年事例が稀に少ない。</li> <li>・死荷重が大きいため、適用には留意が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陽極設置はアーク溶射にて行うため、防食区域での施工不可。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機構等で漂流物等と接触する環境では適用できない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陽極等の設置に伴う切削作業時の周辺環境に留意が必要。</li> <li>・機構構造等では最も施工実績が多い。</li> <li>・最もコストが高い。</li> <li>・防食区域では溶接作業に留意が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防食電流供給範囲とモニタリング位置との整合性に留意が必要。</li> <li>・鉄筋量が多い部材では施工が困難。</li> <li>・最もコストが高い。</li> <li>・他の防食方式に比べ電流分布に劣り、陽極設置間隔に留意が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流電陽極のため、防食区域に大きく影響しない。</li> <li>・死荷重が大きいため、適用には留意が必要。</li> <li>・比較的高価。</li> <li>・機構構造への適用事例あり。</li> </ul>
総合評価	△	-	-	◎	△	○

## 1. 電気防食回路の設計

電気防食の回路構成は1ブロック単位で500m<sup>2</sup>以下。  
また、腐食環境条件が異なる場合、回路を分けも考慮する。

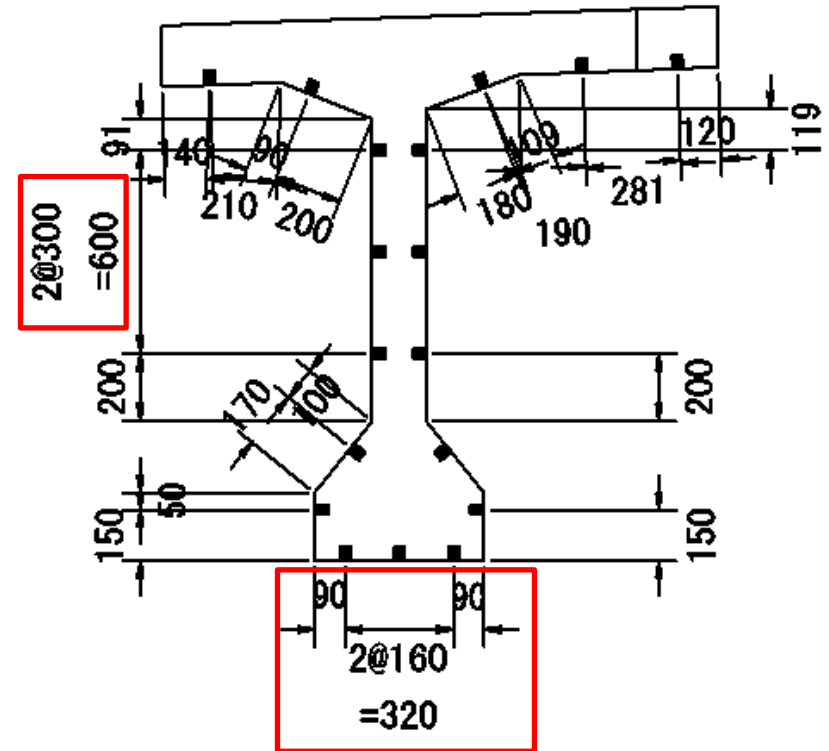


例  
第1、第3径間は500m<sup>2</sup>以下。  
第2径間は500m<sup>2</sup>超え。  
合計 4回路で構成。

## 2. 陽極システムとその配置

面状陽極システムでは、防食対象コンクリート面全面に陽極を設置する。

線状陽極方式や点状陽極方式では、鉄筋量から必要防食電流を計上し、さらに電流分布を考慮して陽極相互間が300mm以内になるように配置する。



### 線状陽極の設置例

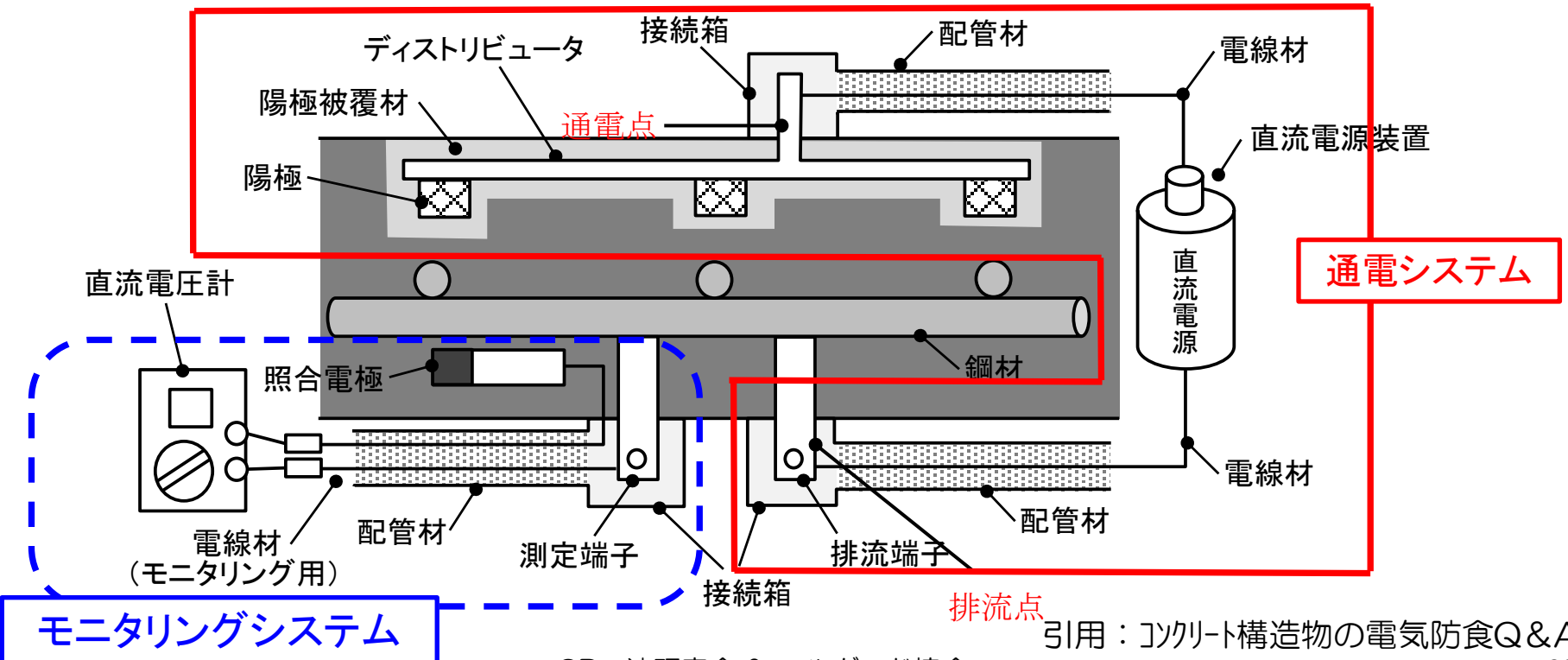
下フランジ底面では鋼材表面積が大きい = @ 160mm  
ウェブでは比較的鋼材表面積が小さい = @ 300mm

# 電気防食設計（電気防食設計）

## 3. 通電点・排流点の位置と数量

**通電点**は、陽極のIRドロップを考慮して配置する。**IRドロップ**は300mV以内になるようにする。一般的には、**栈橋構造物**では各部材に1カ所、**橋梁構造物**では各桁4~5m程度の範囲に1カ所設置する。

**排流点**は、1防食回路あたり2箇所以上設置することを基本とする。**栈橋構造物**の場合、1ブロックに対して均等に4カ所程度設置する。**橋梁**の場合、各桁2カ所程度設置する。



引用：コンクリート構造物の電気防食Q&A

## 4. 配線配管材料と設置位置

配線材料は必要な電圧・電流からIRドロップを考慮して使用するサイズを選定する。

電線管は屋外用・紫外線劣化を考慮して選定する。なお、外的要因による損傷を避ける位置に配管することを基本とする。

## 5. 直流電源装置

外部電源方式では、直流電源装置を使用するため、その設置場所は協議が必要となる。

現地踏査を行い、直流電源装置設置場所や主配管ルートを確認しておく必要がある。

直流電源装置設置箇所選定のポイント

- ① できれば発注者が管理している土地であること。
- ② 交流電力の配線が容易であること（電柱があると便利）。
- ③ なるべく第三者が干渉しないこと。場合によってはフェンスで囲う。



## 直流電源装置の設置例



8回路用直流電源装置の例  
基礎コンクリート上に設置。



1回路用直流電源装置の例  
コンクリート柱に設置。

## 6. モニタリング装置

モニタリング装置は、コンクリート中鋼材の電位を計測する照合電極と鉄筋幹線の測定端子で構成される。

照合電極は、電気防食1回路あたり2カ所以上設置することが「電気化学的防食工法指針」に記載。

モニタリング装置設置箇所選定のポイント

- ① 鋼材腐食が大きい箇所。
- ② 部材の種類が異なる箇所。
- ③ 環境条件。

# 施工の実際1/2

## ①モニタリング装置設置工マーキング



モニタリング装置や陽極の設置位置をマーキングする。

## ②モニタリング装置設置工端子取付部はつり



マーキング位置のコンクリートをはつり出し鉄筋を露出させる。

## ③モニタリング装置設置工端子類取付け



排流・測定用端子を溶接する。  
照合電極を鉄筋の近傍に設置する。

## ④モニタリング装置設置工鉄筋間導通確認



マルチメータを用いて排流線と鉄筋間の導通を確認し、  
1mV未満であれば合格。

# 施工の実際2/2

## ⑤モニタリング装置設置工はつり部復旧



コンクリートと同程度の抵抗率を有する無収縮のモルタルで埋戻す。

## ⑦配線配管工配線配管



コンダクターバーとリード線をプルボックス内で結線し、直流電源装置まで配線配管を行う。

## ⑥陽極設置工溝切り,陽極設置,埋戻し



陽極を埋込むために溝切りを行う。陽極・コンダクターバーを設置し修復材で埋戻す。

## ⑧直流電源設置工:電源設置,電流調整



直流電源装置の設置、配線の接続を行う。通電調整試験によって防食電流を決定し、通電する。

# 施工事例(外部電源方式 線状陽極 リボンメッシュ方式)

橋梁構造物への適用事例



橋梁・補強と併用の例



栈橋構造物への適用事例



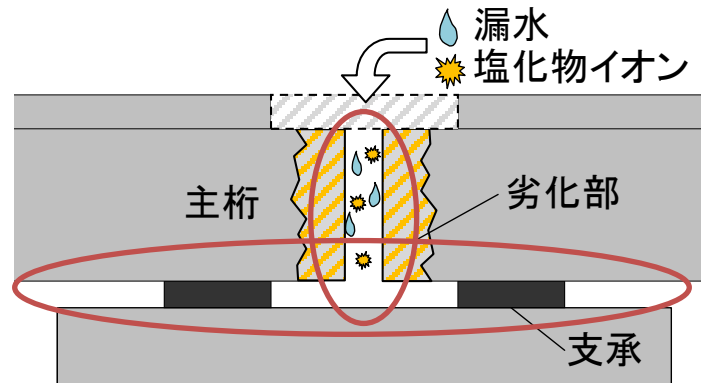
地下埋設構造物への適用事例



# 外ケーブル補強との併用例



近年では狭隘部に陽極を設置する工法も開発されている



1. 鉄筋の腐食と電気防食
2. 劣化対策としての電気防食の位置づけ
3. 電気防食のマニュアル類
4. 電気防食設計と補修事例
5. 技術発展に向けた取り組み(トピックス)

## ①土木研究所・東北大学(CP工法研究会・エルガード協会)

- 電気防食工法を用いた道路橋の維持管理手法に関する研究
- 電気防食適用橋梁の実態調査
- 電気防食工の技術整理、間欠通電適用検討、電気防食システム標準化  
(2016~2020)

## ②日本コンクリート工学会-JCI-(エルガード協会他)

- 軍艦島共通試験 (2016~2026)

## ③東洋大学(エルガード協会)

- 干満帯の電気防食基準 ConMat2015で成果発表 (2009~2014)

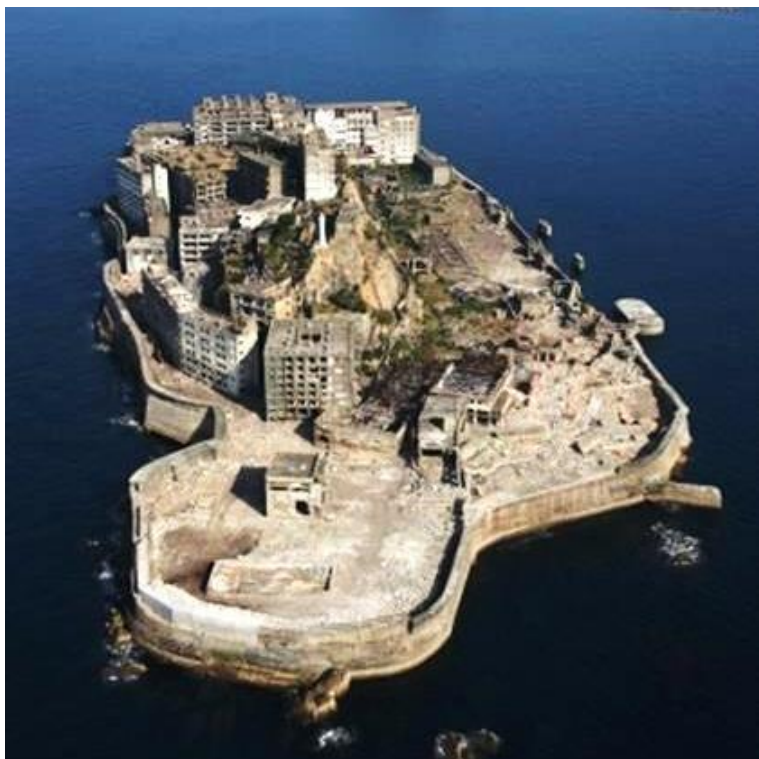
## ④岐阜大学(エルガード協会)

- 電気防食のLCM研究 (2017~2020)



## トピックス

# 世界遺産 軍艦島（端島）での 電気防食の長期性能検証試験に**チャレンジ中！！**



## 協会会員5社との協同応募

日本エルガード協会  
東洋建設  
ショーボンド建設  
ナカボーテック  
日本防蝕工業  
住友大阪セメント

# JCI 公募「軍艦島共通試験」



供試体の暴露状況



G1供試体；塩化物含有量 $5\text{kg}/\text{m}^3$



G2供試体；塩化物含有量 $5\text{kg}/\text{m}^3$   
＋暴露前電食(ひび割れ)

暴露3年後の解体調査

ご清聴ありがとうございました。